

§2. Попытка критического анализа состояния и достижений физической науки XX века

«Каждый элемент физической реальности должен иметь отражение в физической теории». А. Эйнштейн, Б. Подольский, Н. Розен. «Может ли квантовомеханическое описание физической реальности рассматриваться как полное?» - Успехи физических наук, 16, 1936, стр. 440.

Если попытаться оценить сжато, одной фразой, период развития современной физики – а это, условно говоря, последние сто лет, т.е. как раз период, очерченный рамками XX века – можно выразиться так: лавина экспериментальных данных и каскад революционных теорий, зачастую парадоксальных и опережающих эксперимент. Действительно, уже не просто отдельный исследователь, а целые научные школы не в состоянии подвергнуть разумному анализу огромный и разнообразный объем информации. Тем более что для такого анализа все в большей и большей мере разрабатываются математические методы и модели достаточно специфичные и нетривиальные. Иногда приходится иметь дело с весьма разрозненными данными, а в ряде случаев – попросту противоречивыми.

К примеру, никак не удастся при помощи простейших «классических» фотонных теорий, составляющих основу любого взаимодействия в рамках квантовой механики, привести исчерпывающие объяснения относительно природы постоянных полей – электростатического и магнитного. Ничуть не лучше обстоят дела и в электродинамике.

С одной стороны, фотоны, как природный феномен, недостаточно «чисто» (если не сказать больше и откровенно – очень плохо) стыкуются с электронной теорией Максвелла-Лоренца, неисчислимо количество раз проверенной на опыте. С другой стороны, классические модели отражения и преломления света (электромагнитных волн), успешно разработанные еще в свое время, а именно в 1823 году, выдающимся практиком и теоретиком О. Френелем, разработанные, подчеркнем, на основе представлений об упругих поперечных колебаниях эфира, по вынужденному признанию Ричарда Фейнмана работают значительно убедительней, чем их современные фотонные квантовомеханические аналоги.

В частности, поясняя механизмы рассеяния света, Р. Фейнман рассматривает «два атома, расположенные очень близко друг к другу по сравнению с длиной волны». При этом оказывается, что «под действием электрического поля *оба атома будут колебаться совместно, как целое... а энергия увеличится в четыре, а не в два раза по сравнению с энергией излучения от отдельного атома!*» [1]. По заключению Р. Фейнмана классический механизм великолепно справляется с этой задачей, в отличие от квантового. И таких «узких» мест в современной физической картине мира найдется, к сожалению, немало.

В дополнение к этому можно было бы отметить, что, видимо, потому-то и присутствуют даже в работах самого автора СТО и ОТО противоречивые пассажи и нотки пессимизма. Действительно, широко цитируются положения работы А. Эйнштейна «Принцип относительности и его следствия» (1910): «Нельзя создать удовлетворительную теорию, не отказавшись от существования некоей среды, заполняющей все пространство, т.е. эфира» [2].

В последующих же работах А. Эйнштейн отмечает: «Резюмируя, можно сказать, что общая теория относительности наделяет пространство физическими свойствами, таким образом, в этом смысле эфир существует. Согласно общей теории относительности пространство немислимо без эфира; действительно, в таком пространстве не только было бы невозможно распространение света, но не могли бы существовать масштабы и часы, и не было бы никаких пространственно-временных расстояний в физическом смысле слова». («Эфир и теория относительности», 1920 г.) [3]. «Мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира, т.е. континуума, наделенного физическими свойствами, ибо общая теория относительности, основных идей которой физики, вероятно, будут придерживаться всегда (?!), исключает непосредственное дальноедействие, каждая же теория близкогодействия предполагает наличие непрерывных полей, а следовательно, существование эфира». («Об эфире», 1924 г.) [4].

Мы не берем на себя смелость утверждать, что современная физика представляет собой тщательно проработанную систему принципов, постулатов и математических моделей, назначением которых в первую очередь являлась бы количественная оценка основных характеристик атомных явлений. Тем не менее, нельзя пройти мимо того факта, что задачи статистической физики микромира – элементарных частиц и электромагнитных полей, связанных с ними, – оказались чрезвычайно сложными, и поэтому, видимо, весьма далекими от таких решений, которые казались бы полными и конструктивными.

Нельзя утверждать, что «конфронтация» классической механики и квантовой механики со временем ослабевает. Просто острота этих проблем загоняется как бы внутрь, очень часто замалчивается. В научных кругах как-то привыкли считать чуть ли не «дурным тоном» упоминание «плюсов» классической механики и «минусов» квантовой механики.

Но хочется еще раз подчеркнуть, что классическая статистическая физика, включающая в себя, кроме статистической механики и молекулярной физики, также термодинамику и механику сплошных сред, со всеми своими достаточно ясно трактуемыми функциями распределения физических величин, является составной (значительной) частью фундамента теоретической физики.

В свою очередь фундамент квантовой механики, как уже обсуждалось в предисловии, составили в принципе четыре ключевые идеи – квантование энергии атомных осцилляторов (М. Планк, 1900 г.), фотонная теория фотоэффекта (А. Эйнштейн, 1905 г.), квантовая теория планетарного атома (Н. Бор, 1913 г.), корпускулярно-волновой дуализм (Л. де Бройль, 1924 г.).

Центральной же концепцией, составившей стержень всей квантовой механики, безусловно становится уравнение Шредингера и волновая функция, Ψ -функция, для описания состояния микрообъектов. Потребуется некоторое время для того, чтобы определиться с физическим смыслом Ψ -функции.

Шредингер поначалу предполагал заменять электрон волновым пакетом, де Бройль – «волнами материи», наконец М. Борн определяет $|\Psi|^2$ как плотность вероятности пребывания электрона в данном объеме.

Если говорить откровенно, то последняя интерпретация Борна была явным намеком на обычную для статистической физики функцию распределения по координатам, введенную Больцманом еще в XIX веке.

Весь драматизм ситуации заключался в том, что Шредингер, воспитанный на традициях классической физики, основанной на полном детерминизме, до конца своей активной творческой деятельности исследователя так и не принял квантовую механику как завершённую теорию. В дискуссии с Бором Шредингер высказывает-таки свое знаменитое сожаление: «Если мы собираемся сохранить эти проклятые квантовые скачки, то я вообще жалею, что имел дело с атомной теорией!»

В 1928 г. Эйнштейн послал Шредингеру письмо, в котором в общих чертах соглашался с шредингеровским отрицанием корпускулярно-волнового дуализма. Эйнштейн писал Шредингеру: «Успокаивающая философия (или религия?) Гейзенберга-Бора помогает верующему обрести подушку для спокойного сна. Его нелегко согнать с подушки. Пусть отлеживается. Но эта религия чертовски слабо действует на меня, и я, несмотря на все, говорю: не «Е и ν », а «Е или ν ». И именно не ν , а Е – эта величина, в конечном счете, и обладает реальностью. Но никаких математических изменений я из этого не могу вывести. Моя мозговая шарманка уж очень выдохлась...»

Известно, что острейшая полемика по поводу магистрального пути, которым следовало бы направить развитие физики, продолжалась вплоть до 1939 года, после чего по известным причинам заметно поутихла на десятилетие, чтобы вновь вспыхнуть с новой силой где-то с начала 50-х. М. Борн наконец-то получает Нобелевскую премию за работы по квантовой механике, выполненные еще в период ее становления как новейшей науки.

Немного найдется сторонников у тех толкователей концептуального анализа естественных наук, кто осмелился бы отрицать доминанту немецкой (или немецкоязычной) школы теоретической физики на протяжении первой половины XX века. Тем не менее, среди блестящей плеяды гениев, кумиров, талантов, тружеников, естествоиспытателей, философов, посвятивших себя формированию современной физики и соответствующей ей парадигмы, можно безошибочно указать несколько роковых или даже драматических имен. И, возможно, одним из первых пришлось бы в таком списке назвать имя Гейзенберга.

Часто ли приходится сопоставлять факты в их хронологической последовательности, пытаясь разрешить чисто психологические аспекты, сопутствующие отдельным проявлениям интеллектуального прозрения? Понятно, что естественные науки не существуют как бы сами собой вне социума, морали, нравственности, материальных достижений. Свидетельство тому – трагические самоубийства Л. Больцмана (5.IX.1905 г.), которому предшествовали непрерывные нападки со стороны противников кинетической теории газов, и П. Эренфеста (25.IX.1933 г.), причину гибели которого пытался выразить А. Эйнштейн [5]: «Те, кто были знакомы с ним так же хорошо, как было дано мне, знают, что эта чистая личность пала жертвой главным образом такого конфликта совести, от которого в той или другой форме не гарантирован ни один университетский профессор, достигший пятидесятилетнего возраста. В последние годы это состояние обострилось из-за удивительно бурного развития теоретической физики. Всегда трудно преподавать вещи, которые сам не одобряешь всем сердцем; это вдвойне трудно фанатически чистой душе, для которой ясность – все. К этому добавлялась все возрастающая трудность приспособливаться к новым идеям, трудность, которая всегда подстерегает человека, перешагнувшего за пятьдесят лет.¹ Не знаю, сколько читателей этих строк способны понять эту трагедию. Но все-таки она была главной причиной его бегства из жизни».

Можно вспомнить также Огюстена Френеля, который был сражен болезнью и умер в возрасте 39 лет из-за истощения, по мнению современников, в результате постоянного огромного умственного напряжения. Можно вспомнить Юлиуса Майера, доведенного до сумасшествия в результате травли со стороны ряда ученых, которая разразилась, когда он попытался защитить свой приоритет в открытии закона сохранения и превращения энергии. Кстати, «мне приходилось делить свое время между политикой и уравнениями» – это тоже А. Эйнштейн.

Итак, Вернер Карл Гейзенберг (5.XII.1901 – 1.II.1976), еще будучи студентом Мюнхенского и Геттингенского университетов, в 20 лет начинает свою блестящую научную карьеру под руководством самого Арнольда Зоммерфельда, который тут же, летом 1922 года, пишет профессору

¹ А. Эйнштейн (14.III.1879-18.IV.1955) почти на год старше П. Эренфеста (18.I.1880-25.IX.1933). Эйнштейн с 1914 – профессор Берлинского университета, Эренфест с 1912 – профессор Лейденского университета. Эренфест окончил Венский университет (1904), Эйнштейн формально не имел университетского образования, окончил Цюрихский политехникум (1900), который готовил учителей математики и физики для школ (по-современному – пединститут). Мы, конечно же, отдаем себе отчет в том, что пединститут пединституту рознь: Цюрихский политехникум знаменит не только славой Эйнштейна, но также и славой Вильгельма Рентгена, окончившего его в 1868 г. Однако, как известно, у Эйнштейна не заладились отношения с профессором Генрихом Фридрихом Вебером (не путать с Вильгельмом Эдуардом Вебером, профессором Геттингенского и Лейпцигского университетов), возглавлявшим кафедру физики, который как-то вынес вердикт: «Вы умный малый, Эйнштейн, очень умный малый, но у вас есть большой недостаток – вы не терпите замечаний». В дальнейшем судьбы учителя и ученика еще пересекутся – см. стр. 176.

теоретической физики Калифорнийского Технологического Института Паулю Эпштейну: «Я ожидаю огромных достижений от Гейзенберга, который, я думаю, является наиболее одаренным среди всех моих учеников, включая Дебая и Паули». Тем же летом 1922 года Гейзенберг встречается с уже ставшим к тому времени великим Н. Бором. Вот такой он этот Вернер Карл – еще очень и очень молодой, но уже почему-то очень знаменитый.

С 1923 года Гейзенберг обосновывается в Геттингене, где все еще по-прежнему фактически числится студентом, однако весьма плотно опекаемым М. Борном и Н. Бором. Наконец к 1925 году В. Гейзенберг разрабатывает так называемую матричную механику – первый вариант квантовой механики, где узаконивает, и надолго, «эти проклятые квантовые скачки» (по формулировке Э. Шредингера). Гейзенберг предложил отказаться от всех *ненаблюдаемых* величин, исключить их из рассмотрения, так как их нельзя ни увидеть, ни измерить, а опираться только на величины *наблюдаемые*. Как известно, первой реакцией М. Борна был вывод о том, что «гейзенберговский формализм... идентичен матричному исчислению, хорошо известному математикам». Таким образом, предлагалось заменить физические величины матрицами, чтобы существенно упростить ряд квантотеоретических проблем. Однако весь вопрос в том – какую цену надо заплатить за такое упрощение. Ценой понимания? Борн пишет: «Он разрубил гордиев узел философии принципом и заменил угадывание математическим правилом». Сам Гейзенберг пишет: «...я чувствовал математику, которая в известной мере казалась независимой от всех физических представлений».

Научная общественность просвещенной Европы цепенеет в некотором замешательстве от такого натиска молодого гения (все-таки, чуть ли не юноши!), однако победное шествие уже не остановить: результат – в 30 лет Нобелевская премия за создание квантовой механики в матричной форме (кто раньше?).

Вообще говоря, психологически, все это очень трудно понять. С одной стороны – двадцатилетний студент, пусть хоть и сильно опекаемый почему-то знаменитыми учеными новой волны, а с другой стороны – вся мировая научная элита. Эти «старые ворчуны» (по определению М. Борна), которые годами или десятилетиями вынашивали и решали собственные задачи (М. Планк, Дж. Дж. Томсон, Э. Резерфорд, Х. Лоренц, А. Зоммерфельд, А. Эйнштейн, П. Ланжевэн, А. Ланде, Д. Лармор, Ж.Б. Перрен, Ф. Ленард, О. Ричардсон, И. Штарк, О. Хевисайд, П. Дебай, Г. Гильом, Г. Брэгг, Э. Уиттекер), отличавшиеся всегда разумной долей научного консерватизма и вдруг занявшие такую пассивную позицию.

Безусловно, царство физической мысли было потрясено до основания. Нормальна ли такая ситуация? Ответить непросто. Наиболее приемлемой здесь была бы философия постпозитивизма И. Лакатоса и Т. Куна, считающих, что основу развития науки составляет смена научных парадигм. Если теоретическая программа не успевает за ростом эмпирического материала, она регрессивна, постепенно или вдруг ее вытесняет другая, более

динамичная программа, способная объяснить известные и предсказать неизвестные на сей момент факты.

Именно с таким обвалом, шквалом новых научных эмпирических данных столкнулись естествоиспытатели конца XIX и начала XX столетий. А объяснять-то что-то надо, а задачи-то решать надо и уже сегодня. Вот тут-то и возникают «герои нашего времени», «бронепойные» идеи и спасительные теории, которые поначалу кажутся совсем и несложными, однако гарантирующими получение нужного и достаточно быстрого результата. В такие моменты история называет имена: в 1900-м – М. Планк, в 1905-м – А. Эйнштейн (а мог бы быть А. Пуанкаре), в 1925-м – В. Гейзенберг (а мог бы быть В. Гайтлер, Г. Вейль или Ф. Блох).

Однако вернемся все же к функциям распределения физических величин, которые основательно вошли в статистическую физику с XIX века и связываются, прежде всего, с такими корифеями статистического анализа как Дж. К. Максвелл, Л. Больцман, Д. Гиббс. Из многочисленных же интерпретаций физического или математического смысла Ψ -функции явно просматривается (в частности, можно посмотреть у Д. И. Блохинцева [6]), что $|\Psi|^2$ – это все-таки функция распределения электронной плотности в атомах, молекулах и иных любых системах, например, в кристаллах.

В этом смысле мы снова как бы возвращаемся к истокам классической статистической физики. Круг замкнулся. Вместе с тем квантовой механике усилиями многих физиков, причем ведущих физиков, усомнившихся под влиянием романтического девиза о «революции в науке», передаются всеобъемлющие полномочия. Квантовая механика – это уже не только новая статистическая физика, но это уже фундамент всей физики. Если бы удалось освободиться от психологического давления мифологии и соответствующих заклинаний (по Эйнштейну – «...эта религия чертовски слабо действует на меня...»), как бы тогда можно было ответить на простой вопрос – что же представляет собой квантовая физика с точки зрения физика-теоретика начала XXI века?

Безусловно, это – хорошо отлаженный математический аппарат для вычисления усредненных характеристик атомных систем в рамках статистической механики микромира. При этом характер траекторий частиц, механизмы образования силовых полей и вообще механизмы физических явлений в квантовой теории не принимаются во внимание. Решение практически любой задачи ограничивается формальными математическими построениями, которые призваны, с одной стороны, значительно упростить рассматриваемый процесс, а с другой стороны, выполнить необходимый объем вычислений.

Далеко не каждый исследователь согласится с тем, что построенная таким образом физика может претендовать на роль фундаментальной теоретической основы естествознания, поскольку все-таки достаточно много положений и законов в таком случае приходится постулировать, опираясь на экспериментальные данные. При таком формальном подходе к реальному физическому явлению трудно разграничить отдельные физические эффекты

между собой или же выявить причинные связи между ними. Решение же большинства задач заканчивается, как правило, на стадии получения некоторых количественных характеристик рассматриваемых сложных систем, но не на глубоком анализе происходящих процессов.

Подобного же рода тревожные выводы мы можем обнаружить в «Замечаниях о новой постановке проблем в теоретической физике», предложенных еще в 1932 году А. Эйнштейном для широкой дискуссии [7]: «В последнее время перестройка всей системы теоретической физики в целом привела к тому, что признание умозрительного характера науки стало всеобщим достоянием. Мы не задаем более вопроса об «истинности» какой-нибудь теории, а спрашиваем лишь, насколько полезна теория и какие результаты можно получить с ее помощью. Если первоначально теорию мыслили как описание реальных предметов, то в более поздние времена ее рассматривали лишь как «модель» процессов, происходящих в природе. Что же касается новейшей фазы развития, то квантовая механика привела к частичному отказу даже от представления о модельном характере теории. Поскольку любое теоретическое исследование носит умозрительный характер, квантовая механика видит свою главную цель в достижении результатов с помощью минимума теоретических элементов. Ради этой цели квантовая механика охотно жертвует даже принципом строгой причинности».

И, наконец, как это нередко мы встречаем у Эйнштейна, великий теоретик, наделенный незаурядной интуицией, завершает свои «Замечания» на осторожной и пессимистичной ноте: «Особенно остро ощущается отсутствие логически удовлетворительного синтеза теории поля и квантовой механики. Все убеждены, что необходимые составные части будущей единой теории содержатся в обеих названных выше теориях. Но никто не может утверждать, что он работал с большим успехом и безграничным самопожертвованием. Ни у кого не порождают сомнения в успехе даже головоломные загадки, которые ставит перед нами природа; я все же думаю, что оптимизм нашего поколения основан отнюдь не на трезвой оценке трудности этой проблемы».

Статистический подход к явлениям микромира, независимо от классического или квантового характера, изначально не рассматривает физику процессов, но это совсем не означает, что сложных физических феноменов или «внутренних» механизмов не существует, или их не дано понять кому-либо в принципе. В подходе, продиктованном квантовой теорией, при анализе явлений микромира совершенно необоснованно утверждается агностицизм, т.е. непознаваемость физических механизмов тех явлений, которые характерны для атомных и молекулярных систем, которые проявляются при взаимодействии частиц с излучением и другими силовыми полями.

Именно в статистической физике микромира обнаруживается наибольшая степень непонимания тех многочисленных эффектов, которые чаще всего интерпретируются как чисто квантовые явления в физике элементарных частиц. До сих пор не поняты до конца границы применимости и

концептуально-идейная сущность квантовой механики, и, как результат, на протяжении 70 лет приходится иметь дело с тем, что продолжают разгадывания ее тайн и переинтерпретация очередных достижений.

На этом фоне особенно заметно заклинание о невозможности интерпретации, а уж тем более хоть какого-то мало-мальски разумного вывода, уравнения Шредингера с классических позиций. В некотором смысле даже просматривается определенная гордость основоположников квантовой механики относительно «чистоты» и «кастовости» данного догмата. Иногда, правда, приходится задумываться – уж не боязнь ли это типа – а вдруг и в классической механике что-то подобное да «отыщется»?

Ввиду необычайной сложности возникших в XX столетии задач физики микромира, которые на протяжении длительного времени не поддавались решению в рамках классических представлений, у многих (если не у большинства) ученых создалась иллюзия, а у кого-то откровенно твердое убеждение, что иного пути, кроме квантовомеханического описания процессов и явлений, не существует. Происходила всеобщая ломка традиций, устоявшихся физических понятий и представлений о природе, даже философии естествознания, в которой до того главенствовали идеи причинности и детерминизма.

Таким образом, «новая и непонятная» физика сразу поставила вне рамок заинтересованности и должного уровня теоретического развития физику «старую и испытанную», классическую, которая закономерно и неминуемо скатилась к состоянию, которое иначе как глубокий кризис и не обозначишь. Однако дело было, конечно же, не в классической физике. Очевидно, те сложные задачи первостепенной важности, которые предложил новый научный век, век триумфа исследований и открытий в области атомной физики, превышали возможности физиков-теоретиков. Ученые еще не научились решать такие сложные задачи, а когда задача не решается, физик готов на любой «акт отчаяния», готов даже подвергать сомнению уже все без исключения.

Складывалась такая ситуация, когда стройное здание классической физики, возводимое на протяжении многих и многих поколений усилиями ученых самых различных научных школ, представляющих мировую интеллектуальную элиту, готово было в любую минуту рухнуть.

Х. Лоренц, осознавая в полной мере всю степень ответственности и драматизма момента, на I Сольвеевском конгрессе в 1911 году отмечал те трудности, которые переживала тогда наука [8]: «...нас не покидает чувство, что мы находимся в тупике; старые теории оказываются все менее способными проникнуть во тьму, окружающую нас со всех сторон». И в то же время он предостерегал об опасности безоговорочного доверия теориям новым: «... принципы, на которых будут построены эти теории, должны, во всяком случае, обладать не меньшей точностью, чем принципы нынешней механики. Так вот, именно эта точность, мне кажется, отсутствует еще в новых теориях...»

Следует признать, что сравнительно с темпами развития естественнонаучных знаний новейшего времени в теоретической физике на долгое время устанавливается атмосфера почти полного благополучия, поскольку весьма скоро разрабатываются достаточно эффективные методы вычисления различных усредненных характеристик физических явлений, т.е. так называемых «наблюдаемых величин».

Особенно заметными успехи оказываются в физике твердого тела, где различные применения решения уравнения Шредингера убедительно демонстрировали универсальность последнего. Однако процесс эволюции физической мысли не всегда тесно коррелировал с экспериментальной физикой, и дело тут не обошлось без серьезных трудностей. Например, физика ядра (деление, открытие нейтрона, законы радиоактивности) явно опередила теорию, до сих пор «не хочет» подчиняться теории БКШ высокотемпературная сверхпроводимость [9], только при неумном желании и большой фантазии знаменитые экспериментальные открытия В. Шоттки и У.Б. Шокли в области физики полупроводников можно зачислить на счет «трофеев» квантовой теории.

Разумеется, никто и не возражает против количественных оценок, добываемых в результате сложнейших расчетов, предлагаемых математическим аппаратом квантовой теории, однако при этом до понимания физической сути этих расчетов, до возможных модельных представлений и новых понятий всегда было далеко. Уже в октябре 1927 г. в Брюсселе на 5-м Физическом конгрессе Института Сольвей, посвященном теме «Электроны и фотоны», авторы квантовой теории, в числе которых, прежде всего, отличался молодой и напористый двадцатипятилетний Гейзенберг, считали, что физическая теория достигла своего совершенства. «Нашей партии, я полагаю, удалось победоносно отразить все нападения», - утверждал тогда В. Гейзенберг [10].

Мягко говоря, это не совсем так – всех нападений отразить не удалось, разногласия, даже в лагере копенгагенской школы, не были исчерпаны и стороны не пришли к полному соглашению, что дало повод Полю Ланжевону заявить, что на конгрессе «путаница в мыслях достигла своего максимума». По образному же сравнению П. Эренфеста – все это напоминало «смещение языков, нарушившее строительство Вавилонской башни».

Острые дискуссии продолжались и на Сольвеевском конгрессе в 1930 г., и на Сольвеевском конгрессе, посвященном проблемам строения и свойств атомных ядер, в 1933 г. На этом фоне следует знаменитая статья А. Эйнштейна, Б. Подольского, Н. Розена («Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?»), опубликованная в Phys. Rev. [11], которая «благодаря своей ясности и, казалось бы, безупречной аргументации... вызвала волнение среди физиков и сыграла большую роль в дискуссии об общепризнанных вопросах физики».

Действительно, по-видимому, чтобы как-то оправдать нетрадиционные методы анализа перед лицом научной общественности разрабатываются целые философские системы нового квантового мышления в рамках

парадигмы квантовой механики. В частности, полемизируя с Эйнштейном, Н. Бор в 1949 г. написал статью для серии «Living Philosophers» [12], где попытался четко очертить свою позицию: «В квантовой механике мы имеем дело не с произвольным отказом от детального анализа атомных явлений, но с признанием того, что такой анализ принципиально исключается. Свойственная квантовым эффектам неделимость ставит нас в отношении понимания результатов опыта, проведенного в точно определенных условиях, перед новой ситуацией, не предусмотренной классической физикой и не совместимой с обычными представлениями, приспособленными для того, чтобы разбираться в опытах обычного типа. Именно в этом отношении пришлось пересмотреть в результате развития квантовой теории основания для применения простейших понятий, и этот пересмотр составил дальнейший шаг в том развитии теории, которое началось с создания теории относительности и которое так характерно для современной науки». В этой же пространной статье можно найти невнятные высказывания мистического толка, которые просто невозможно понять: «...Психофизический параллелизм в форме данной Лейбницем и Спинозой, раздвинул свои рамки благодаря развитию атомной физики, которая вынуждает нас в проблеме явлений занять позицию, напоминающую мудрый завет древних: в поисках гармонии в жизни никогда не забывать, что в драме бытия мы являемся одновременно и актерами, и зрителями».

И там же, в этой же статье, Н. Бор приводит аргументы, которые вполне могли бы устроить любого, кому близки понятия и принципы классической механики: «На международном конгрессе физиков в Комо, посвященном памяти Вольты и созванном в сентябре 1927 г., новейшие успехи атомной физики были предметом обстоятельных дискуссий. В своем докладе я развил тогда точку зрения, которую кратко можно охарактеризовать словом «дополнительность»; эта точка зрения позволяет, с одной стороны, охватить характерную для квантовых процессов черту неделимости и, с другой стороны, разъяснить существующие в этой области особенности постановки задачи о наблюдении. Для этого решающим является признание следующего основного положения: как бы далеко не выходили явления за рамки классического физического объяснения, все опытные данные (evidence) должны описываться при помощи классических понятий.

Обоснование этого состоит просто в констатации точного значения слова «эксперимент». Словом «эксперимент» мы указываем на такую ситуацию, когда мы можем сообщить другим, что именно мы сделали и что именно мы узнали. Поэтому экспериментальная установка и результаты наблюдений должны описываться однозначным образом на языке классической физики».

В этом отношении Н. Бор солидаризируется с патриархом «старой школы» физиков Х.А. Лоренцем, который также в свое время «усиленно настаивал на том, что по его убеждению, теоретическая физика должна оставаться детерминистической и продолжать использовать ясные образы в классических рамках пространства и времени».

Характерной чертой творческого наследия всех без исключения основоположников «новой школы» физиков становится их активное обращение к общефилософским проблемам и категориям, которые подвергаются ревизии и переосмыслению под нужды квантовой теории. Дальше всех здесь, пожалуй, зашел П. Иордан, который в своем сочинении под весьма претенциозным названием «Physics of 20th century» [13] откровенно и прямо заявлял о «ликвидации материализма».

Вообще говоря, считается общепризнанным факт, что «копенгагенская школа» буквально с первых своих шагов ориентируется на позитивистские позиции, а в дальнейшем, благодаря, прежде всего, философским концепциям Н. Бора, способствует «развитию субъективистских взглядов на сущность квантовой механики» [6, 14]. Можно доверять позиции одной группы исследователей, можно не доверять позиции другой «школы», однако всегда существуют авторитеты мирового уровня, с точкой зрения которых обязан, если и не считаться, то, по крайней мере, знакомиться любой исследователь проблем современного состояния физической науки.

Безусловно, невозможно пройти мимо наследия Л.Д. Ландау и Д.И. Блохинцева, которые на протяжении всего своего творческого пути твердо держались позиций материализма, а также, обладая умением не вовлекаться в несвойственные для физика-теоретика умопостроения сомнительных философских систем, в то же время всегда могли четко и однозначно обозначить и формальную схему квантовой механики, и границы применимости квантовой механики, и основные понятия квантовой механики.

Д.И. Блохинцев так определяет главные задачи квантовой теории:

«1) Определение возможных значений физических величин (определение спектра величин).

2) Вычисление вероятности того или иного значения этих величин в ансамбле микрочастиц.

3) Изменение ансамбля во времени (движение микрочастиц).

Принадлежность микрочастицы к определенному ансамблю характеризуется в квантовой механике волновой функцией Ψ . Эта функция есть функция полного набора величин...»

В принципе и все. Не больше и не меньше. Но с другой стороны и вполне достаточно для достижения определенных целей, для определенного этапа постижения научной истины. Однако «копенгагенцам» этого явно недостаточно.

И мы уже встречаем попытки всячески «протащить идеалистические и мистические взгляды», прежде всего с помощью В. Гейзенберга, В. Паули, являющегося до такой степени ярким сторонником философских взглядов К.Г. Юнга,² что даже сподобился на совместную публикацию книги, Н. Бора,

² Позволим себе небольшую цитату из К.Г. Юнга: «Те государства, где властвует рационалистический материализм, имеют тенденцию превращаться не столько в тюрьмы, сколько в сумасшедшие дома». (К.Г. Юнг. AION, с.207). К.Г. Юнг частенько поднимал

который всю жизнь оставался под влиянием идей глубоко религиозного философа С. Кьеркегора. Многие известные физики первой половины двадцатого столетия оказались не просто последователями позитивизма, культивируемого Э. Махом (1838-1916) и Р. Авенариусом (1843-1896), но также и приверженцами таких различных путаных традиций, которые своими корнями уходят в древние восточные манускрипты индуистского толка. Например, Д. Бом – автор известнейшей монографии «Квантовая теория» [15], ставшей по сути дела первым в методологическом плане выверенным учебником, предназначенным для высшей школы, – явно практиковал в своей научно-педагогической деятельности элементы философии индуизма.

Что же касается второго позитивизма (эмпириокритицизма) Э. Маха, то, уже начиная с 20-х годов XX века, для многих исследователей вопрос об ошибочности позитивистских теорий является решенным. Однако такое «прозрение», очень похоже, мало затронуло, если не совсем миновало, М. Борна, Н. Бора, В. Паули, В. Гейзенберга, для которых описательность провозглашается идеалом науки, а объяснительные функции науки исключаются.

Известно, что А. Эйнштейн в начале творческого пути питал сочувствие философским взглядам Э. Маха, однако со временем это сочувствие сменилось сначала на стихийное недоверие, а затем уже и на стойкую антипатию.

Иное дело Н. Бор, который всю жизнь, даже на склоне лет, проводит твердую политику своего понимания принципа дополнительности, когда на первый план выдвигаются не объективные явления физического мира, точнее микромира, к описанию которых наиболее приемлемо подходить статистически, а субъективные возможности наблюдателя. А это, как говорится, реальности разного онтологического порядка.

В работе «Квантовая физика и философия» [16] Н. Бор категоричен: «В самом деле, весьма возможно, что для объяснения новых закономерностей, открывающихся при исследовании атомных процессов весьма большой энергии, потребуется ввести в математический аппарат дальнейшие абстракции. Решающим является, однако, то обстоятельство, что при этом не может быть и речи о возвращении к такому способу описания, которое в большей степени шло бы навстречу привычным требованиям наглядного модельного представления связи между причиной и следствием. Тот факт, что квантовые закономерности не могут быть проанализированы в классическом духе, обуславливает, как мы видели, необходимость ввести при описании того, что мы узнаем посредством опыта, логическое различие между измерительными приборами и атомными объектами, – различие, принципиально исключающее возможность исчерпывающего детерминистического описания... При всех различиях в ситуациях,

вопросы, выходящие за рамки рационалистических представлений, в частности он исходил из идей «синхронистичности», т.е. непричинной корреляции событий, для анализа явлений, имеющих явно статистический характер.

характерных для применений понятий относительности и дополнительности, эти ситуации представляют в гносеологическом отношении значительное сходство».

В некотором смысле еще дальше Н. Бора заходит В. Паули в своем стремлении получать математически впечатляющие результаты, нередко при этом не обременяя себя обязанностью интерпретации физической сущности последних. Поэтому было бы нелишним поподробнее ознакомиться с точкой зрения В. Паули на ту роль, которую играют СТО и квантовая механика в современной физике [17]: «...специальная теория относительности явилась первым шагом на пути отказа от наивных наглядных представлений. В ней было покончено с представлениями об эфире – гипотетической среде, вводимой ранее для описания распространения света. Это случилось не только потому, что эта среда оказалась ненаблюдаемой, но также и потому, что в качестве элемента математического формализма она оказалась лишней, так как нарушала присущие этому формализму теоретико-групповые свойства.

В общей теории относительности (ОТО), благодаря расширению группы преобразований, Эйнштейну удалось избавиться от представления о выделенности инерциальных систем координат, так как это представление оказалось несовместимым с теоретико-групповыми свойствами теории. Формулировка квантовой механики в ее современном виде была бы невозможна без этого общего критического подхода, в котором предпочтение отдается концептуальному анализу соответствия между экспериментальными данными и математическими величинами в формализме теории перед наивными наглядными представлениями. Анализ следствий конечности кванта действия в квантовой теории, с присущей ей дополнительностью, еще дальше уводит нас от наглядности. На этот раз в жертву рациональным обобщениям приносятся как понятие классического поля, так и понятие траектории частиц (электронов) в пространстве и времени. И снова от этих понятий отказались не только потому, что траектории ненаблюдаемы, но также и потому, что они стали лишними и нарушают симметрию, присущую общей группе преобразований, лежащей в основе математического формализма теории».

Таким образом, В. Паули приносит в жертву математическому формализму (конечно же «наивные»!) попытки физиков хоть как-то понять физику и механизмы целого ряда сложных физических явлений, более того, такого рода попытки откровенно осуждаются.

Задолго до Паули, Бора, Гейзенберга сходные мысли по поводу «улучшения» физических теорий высказывал А. Пуанкаре: «Трудно отделить качественную проблему одновременности от количественной проблемы измерения времени. Мы не можем непосредственно на основе интуиции определить ни одновременность, ни равенство двух промежутков времени. Если мы считаем, что у нас есть такая интуиция, мы впадаем в иллюзию. Мы заменяем ее с помощью некоторых правил, которые мы применяем почти всегда, не отдавая себе в этом отчета. Какова же природа этих правил?»

Общего правила нет. Есть множество частных правил, применяемых в каждом отдельном случае. Эти правила не навязываются нам, и можно было бы позабавиться, придумывая другие. Однако от них нельзя отойти, не усложняя формулировку физических законов, законов механики и астрономии.

Следовательно, мы выбираем эти правила не потому, что они верны, а потому, что они наиболее удобны, и мы можем их резюмировать следующим образом:

«Одновременность двух событий или порядок их следования, равенство двух длительностей должны определяться таким образом, чтобы формулировка естественных законов была бы настолько простой, насколько это возможно. Другими словами, все эти правила, все эти определения являются лишь плодом неосознанного соглашения» [18].

Таким образом, предыстория вопроса о том, как готовилась подмена объективной реальности (физического явления) на субъективную реальность (опытное, приборное наблюдение), начинается с философских упражнений конца XIX века и перерастает в особую философскую концепцию дополненности, возвращаемую копенгагенской школой на протяжении почти всего XX столетия. Понятно же, что ортодоксальная направленность боровского принципа дополненности при его приложении к физическим задачам способна сформировать субъективную интерпретацию волновой функции и того, что обычно связывается с понятием состояния в квантовой механике.

Надо понимать, что волновая функция по Бору – это, прежде всего, характеристика эмпирической информированности наблюдателя в процессе измерения. Однако статистические закономерности атомной физики – радиоактивный распад, рассеяние элементарных частиц на частицах же или кристаллах, оптические спектральные характеристики – имеют совершенно точно объективный характер.

Как теперь представляется, абсурдными, если не самоубийственными для квантовой механики идеями становятся попытки наделить отдельное микроявление или микрочастицу свойствами статистического квантового ансамбля. При этом частица лишается права на траекторию или пространственную локализацию. Принцип неопределенности Гейзенберга позволяет «размазать» частицу по молекуле, создавать «электронные облака» в атомах, находиться частицам одновременно в разных точках пространства.

Цитируем Большой Энциклопедический Словарь (БЭС) «Физика» (гл. редактор А.М. Прохоров), статья «Обменное взаимодействие»: «Обменное взаимодействие – специфическое взаимное влияние тождественных частиц, эффективно проявляющееся как результат некоторого особого взаимодействия.

Обменное взаимодействие – чисто квантовомеханический эффект, не имеющий аналога в классической физике... Величину

$$A = e^2 \int \frac{\psi_n^*(\mathbf{r}_1) \psi_m(\mathbf{r}_1) \psi_m^*(\mathbf{r}_2) \psi_n(\mathbf{r}_2)}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|} d\tau_1 d\tau_2,$$

называемую обменным интегралом, можно интерпретировать как электростатическое взаимодействие заряженных «облаков» с плотностями заряда $e\psi_n^*(\mathbf{r}_1)\psi_m(\mathbf{r}_1)$ и $e\psi_m^*(\mathbf{r}_2)\psi_n(\mathbf{r}_2)$, т.е. каждый из электронов находится одновременно в состояниях ψ_n и ψ_m (что бессмысленно с точки зрения классической физики)» [19]. От себя добавим – и с точки зрения здравого смысла тоже.

Здесь, как и вообще в квантовой физике как научной дисциплине в целом, в «нужный» момент и в «нужном» месте происходит определенная подмена понятий. Вдруг «забывается» необходимость рассматривать процесс статистически и предлагается рассматривать «одинокую» микрочастицу в точно фиксированный момент времени, вынужденную посему, дабы видимо поспеть всюду, «размазываться облаком» по конфигурационному пространству.

С другой стороны, когда требуется решить задачу о степени влияния на динамику микрочастицы со стороны приборного (экспериментального) макрообъекта,³ в таком случае индивидуальная микрочастица немедленно наделяется всеми атрибутами статистической физики, в частности, на первый план выходят соотношения неопределенностей Гейзенберга

$$\overline{\Delta p_x^2} \overline{\Delta x^2} \geq \frac{h^2}{4},$$

принцип запрета Паули, принцип дополнительности и принцип соответствия Бора, а также «своей» индивидуальной Ψ - функцией.

Мэтр теоретической физики Л.Д. Ландау, которому в отличие от Н. Бора и В. Паули всевозможные изыски философии позитивистского толка были весьма далеки, прямо и конкретно формулирует: «Отсутствие у электрона определенной траектории лишает его самого по себе также и каких-либо других динамических характеристик. Ясно поэтому, что для системы из одних только квантовых объектов вообще нельзя было бы построить никакой логически замкнутой механики» [20].

Мы полагаем, что «путаница в мыслях достигла своего максимума» не тогда, когда об этом говорил П. Ланжевэн в октябре 1927 г., а сейчас. Д.И. Блохинцев, убедительно «клея» позитивистские позиции копенгагенской школы в интерпретации волновой функции, обращает свой «праведный гнев» прежде всего на Н. Бора.

³ У Л. Ландау: «В этой связи «классический объект» обычно называют «прибором», а о его процессе взаимодействия с электроном говорят, как об «измерении». Необходимо, однако, подчеркнуть, что при этом отнюдь не имеется в виду процесс «измерения», в котором участвует физик-наблюдатель. Под измерением в квантовой механике подразумевается всякий процесс взаимодействия между классическим и квантовым объектами, происходящий помимо и независимо от какого-либо наблюдателя».

По-видимому, ближе всего к истине наш великий теоретик оказывается в момент, когда провозглашает свой вывод: «Мы видим, таким образом, что субъективная трактовка волновой функции покоится на забвении ее статистической сущности».

Данный вывод последовал вскоре после анализа ситуации, рассмотренной А. Эйнштейном с соавторами в знаменитой статье, которая здесь цитируется неоднократно (см., например, эпиграф) [11]. Статья написана под влиянием дискуссии между Эйнштейном и Бором, которая показалась Блохинцеву столь значимой, что он счел необходимым привести ее краткий пересказ со своими комментариями. Речь, разумеется, идет о широко известном мысленном эксперименте, получившем наименование – по первым буквам фамилий авторского коллектива – парадокса ЭПР. За короткое время в соответствующей литературе терминология типа – аргументы ЭПР, статья ЭПР и т.д. – становится общеупотребительной. Весьма часто, тем не менее, в связи с интерпретацией парадокса ЭПР приходится встречаться с упреками по поводу якобы устаревших идей.⁴ Вот, мол-де, физика, в частности, квантовая, давно уже перешагнула уровень малоизвестной нынче дискуссии между Эйнштейном и Бором, опубликованной в 1948 г. в «Dialectica». [*Einstein A. Quantenmechanik und Wirklichkeit// Dialectica. November 1948. P. 320-324. Рус. пер.: Эйнштейн А. Собр. Науч. Тр. М.: Наука. Т. 3. С. 612-616*].

Однако конфликтная ситуация не ускользнула от пристального внимания известнейшего философа науки Карла Раймунда Поппера, который значительную часть своего знаменитого Постскрипума к «Логике научного открытия» посвятил противостоянию ортодоксальной (копенгагенской) и неортодоксальной (А. Эйнштейн, Э. Шредингер, Л. де Бройль, Д. Бом, А. Ланде, К. Поппер) интерпретаций.

Поппер напоминает нам умеренные и простые аргументы Эйнштейна против копенгагенской интерпретации квантовой механики: «Во-первых, он формулирует то, что теперь называют принципом локальности, т.е. принцип исключения действия на расстоянии... Затем он отмечает, что принципы квантовой механики... несовместимы с принципом локальности и что в случае истинности квантовой механики... в природе должно существовать действие на расстоянии».

«Мне кажется, – продолжает далее Эйнштейн, – не подлежит сомнению, что физики, которые считают квантовомеханический способ описания принципиально окончательным, будут на эти соображения реагировать следующим образом: они откажутся от требования... о независимом существовании имеющихся в различных областях пространства физических

⁴ Как-то само собой прививается в сознании убеждение, что начало «новой эры» в квантовой физике определилось в связи с выходом в свет пятого тома «Теоретической физики» Л. Д. Ландау и М. Е. Лившица и двухтомного учебника А. Мессиа. Однако сейчас в научной литературе принята демаркация – «ортодоксальная и неортодоксальная интерпретации». На ней настаивают физики (условно говоря, «диссиденты»), которые идут против течения и пытаются решить те проблемы, которые «ортодоксы» считают закрытыми.

реальностей, они могут с полным правом ссылаться на то, что квантовая механика нигде в явном виде не применяет это требование».

Новые подходы связаны с переформулировкой ЭПР эксперимента в терминах спина, которая была дана Д. Бомом, и описание которой частично приводилось нами в предыдущем параграфе. Еще дальше, как известно, пошел Дж. Белл, утверждающий, что эксперимент, сформулированный в терминах спина, может быть реально выполнен, теоретические основы такого эксперимента проработаны, более того, ряд экспериментов выполнен. Речь идет о проверке того, что теперь называется неравенством Белла. Однако мы не склонны считать, что бомовская или даже белловская аргументация что-то принципиально изменяет в позициях ЭПР.⁵

Поэтому, вынужденно сделав такое пространное отступление, вызванное необходимостью отразить возможные нападки и упреки в некомпетентности, вернемся вновь к «Основам квантовой механики» Д.И. Блохинцева, где, в частности, во всех подробностях рассмотрен классический пример:

«Имеются две частицы, 1 и 2, претерпевающие столкновение. Пусть их состояние до столкновения, в начальный момент времени, характеризуется волновой функцией

$$\psi^0(x_1, x_2) = \psi^0(x_1) \cdot \psi^0(x_2).$$

Волновую функцию этих частиц после столкновения, по истечении достаточно большого времени, обозначим через $\psi(x_1, x_2)$. Эта функция уже не будет произведением функций, зависящих от x_1 и x_2 порознь.

Измерим теперь какую-либо величину, относящуюся только к первой частице для определенности, скажем, импульс этой частицы p_1 . После этого измерения волновая функция первой частицы будет $\psi_{p_1}(x_1)$.

Разложим $\psi(x_1, x_2)$ по функциям $\psi_p(x_1)$:

$$\psi(x_1, x_2) = \int \varphi_p(x_2) \psi_p(x_1) dp,$$

где $\varphi_p(x_2)$ суть амплитуды в разложении $\psi_p(x_1, x_2)$ по $\psi_p(x_1)$. Если измерение импульса, произведенное над первой частицей, даст импульс p_1 , то волновая функция редуцируется к одному члену суперпозиции

$$\psi(x_1, x_2) \rightarrow \varphi_{p_1}(x_2) \psi_{p_1}(x_1).$$

⁵ Тем более, что К. Поппер в совершенном отчаянии вынужден признать: «Мы так мало знаем о спине... Говоря это, я имею в виду то, что у нас нет реалистической теории спина. Спин, присутствующий в теории атома, отличается от того, что мы обычно реалистически называем спином. Спин – это что-то очень странное и в некотором смысле слова неклассическое».

Таким образом, меняется и состояние второй частицы, хотя над ней не производилось никаких измерений, и она уже давно перестала взаимодействовать с первой. Следовательно, говорят, изменились «сведения» об этой частице, а стало быть, и ее состояние, т.е. понятие «состояния» в такой трактовке оказывается равносильным понятию «сведения о состоянии».

Это и есть субъективная трактовка волновой функции. Эта трактовка связана с тем, что копенгагенская школа вообще отодвигает на задний план статистический характер квантовой механики.

В квантовой механике состояние частицы характеризуется действительно не «само по себе», а принадлежностью частицы к тому или иному ансамблю (чистому или смешанному). Эта принадлежность имеет совершенно объективный характер и не зависит от сведений наблюдателя. Если эти сведения не соответствуют природе ансамбля, то из них никаких новых сведений, кроме разве что нелепых, получиться не может».

Блохинцев верно замечает, что подмена понятий «физическое явление» и «приборное измерение» (результат наблюдения) составляет суть, доминанту, основную канву новой научной парадигмы, сформировавшейся в стенах копенгагенской школы теоретической физики.

Нелишне еще раз подчеркнуть, что такая установка, в общем-то, претендует на стопроцентное соответствие позитивистским устремлениям Э. Маха. В принципе, это-то и странно воспринимается особенно с учетом того факта, что в любом сколько-нибудь полном и последовательном курсе, посвященном изложению основ квантовой теории, становится чуть ли не традицией уже в начальных главах описывать впечатляющие эксперименты К. Дж. Дэвиссона и Л. Г. Джермера [21].

Более того у Дж. Л. Тригга, известного популяризатора физики и видного современного историка науки (редактора *Phys. Rev. Letters*), мы находим такие пафосные пассажи при описании экспериментов К. Дэвиссона, Л. Джермера, Дж. П. Томсона,⁶ Е. Кнауэра, О. Штерна, И. Эстермана: «Таким образом было показано, что материя обладает волноподобными свойствами, которые можно сделать наблюдаемыми, должным образом выбрав соответствующие параметры. Не удивительно, что в свое время эти свойства, а также аналогичное поведение света рассматривались как парадоксальные. Постепенно, однако, все более укреплялась следующая интерпретация: ни классическая концепция «частицы», ни представление о «волне» не могут быть верными, когда они применяются по отношению к миру очень малых

⁶ Несмотря на то, что исследования Дж. П. Томсона в конечном итоге оказались отмечены Нобелевской премией (1937) и медалями Д. Юза (1939), Королевской (1949) и М. Фарадея (1960), тем не менее анализ его экспериментов по волновым свойствам вещества значительно более сложен, чем анализ опыта Дэвиссона- Джермера, и по этой причине, очевидно, значительно реже привлекается в качестве «неопровержимого доказательства» гипотезы Л. де Бройля.

объектов. Скорее, существует нечто третье, для чего у нас еще нет единого названия, что иногда подобно классической частице, а в других случаях подобно классической волне. Это и есть тот «материал», из которого построена Вселенная» [22].

Описание дифракции электронов не ограничивается рамками и условиями реального эксперимента, а с легкостью дополняется описанием и интерпретацией так называемых «мысленных экспериментов», которые в реальной практике физического эксперимента никогда непосредственно не наблюдались.

Такое подробное и всестороннее обсуждение «мысленных экспериментов» по дифракции электронов на приборах с различными конфигурациями щелей обнаруживается в работах Р. Фейнмана, Д. Бома, Л. Ландау, Д. Блохинцева, Н. Бора.

Можно сказать, что практика интерпретации «мысленных экспериментов» по дифракции электронов в учебно-методической и научной литературе становится не просто ординарным мероприятием, а обязательным элементом, причем воздействующим таким образом на процесс познания, что уже мало кто сомневается в ирреальности или иррациональности таких экспериментов. Вместе с тем подчеркнем, что никаких опытов в действительности «на щелях» нет, а есть конкретно опыты по дифракции электронов на кристаллах никеля, рассеянию H_2 на кристаллах LiF , а также некоторые более поздние «модификации» этих канонических экспериментов⁷ [23]. Причем опыты эти технически сложны и допускают возможность совсем иного толкования, нежели интерпретация в духе Л. де Бройля. Поэтому-то только обсуждение результатов по дифракции электронов (на кристаллах!) целесообразно выделить в отдельную главу. По крайней мере, таким образом, появляется вероятность избежать быстрых и, возможно, спекулятивных суждений и выводов.

На чем же, в конечном счете, фиксируется внимание во всей этой проблематике, возникающей из задач взаимодействия микрочастицы с макрообъектом-прибором, во всей этой проблематике, связанной с категориями «физическое явление» и «приборное измерение», во всех этих дискуссиях, основанных на «убедительно» построенных и нужным образом интерпретируемых «мысленных экспериментах»? Если бы речь шла о политике или о социально значимых явлениях, то это бы называлось «политикой двойных стандартов». Более емкого термина, чем «политика двойных стандартов», нам не найти, когда дело касается некоторых ключевых аспектов квантовой теории.

Действительно, Д.И. Блохинцев в своем «праведном гневе» обрушивается на Н. Бора и всю его копенгагенскую школу, являющуюся оплотом

⁷ На самом деле все обстоит гораздо серьезнее и запутаннее. Поэтому интерпретацию более поздних экспериментов по дифракции микрочастиц, таких как например, эксперименты В. Фабриканта, Л. Бибермана, Н. Сушкина, П.С. Тартаковского, Йенсена, целесообразно выполнить в специальных параграфах, посвященных этой проблеме. При этом следовало бы обсудить и опыты по нейтронографии.

позитивистских умонастроений в физике от эмпириокритицизма Э. Маха и Р. Авенариуса до неопозитивизма Л. Витгенштейна и Б. Рассела. «Яблоком раздора» становится, в общем-то, искусственно раздутая до вселенских масштабов проблема, чем-то напоминающая, в конечном счете, те самые «три сосны», в которых обречены заблудиться известные нам мудрецы.

А. Эйнштейн и его соавторы-сотрудники критикуют квантовую механику за неполноту представления в связи с невозможностью одновременного измерения p и x , даже в случае отсутствия прямого вмешательства прибора. Н. Бор, исходя из принципа дополнительности, категорически утверждает, что измерительные приборы в принципе всегда устроены так, что возможно определение или только p , или только x .

Д. Блохинцев уличает Н. Бора в полуправде, считая, что Бор выдвигает на первое место возможности измерительных приборов, а на самом деле вся «суть дела заключается в новой природе объектов измерения – микрочастиц, к которым неприменимо классическое понятие движения по траектории».

Вся эта имитация активных боевых действий способна обескровить и поставить в тупик какую угодно когорту и физиков-теоретиков, и физиков-экспериментаторов.

Нельзя, конечно, утверждать, что ларчик открывается совсем уж просто. Однако проблемы во многом решаются, если не предавать забвению статистический характер законов и явлений, присущий всем без исключения феноменам физики микромира. Более того, статистический характер феноменов атомной физики должен бы всячески подчеркиваться и выдвигаться на первое место.

Действительно, имеем ли мы дело с макроскопическим фрагментом кристалла, даже достаточно сложным кластерным образованием, – мы обязаны считаться с тем, что электронов, по крайней мере, присутствует столько же, если не на порядок больше, чем атомов, с которыми мы безропотно соотносим такие понятия как «статистический ансамбль». Имеем ли мы дело с микрообъектом (принципиально возможно отследить «судьбу» отдельного атома, используя современные достижения техники эксперимента) – мы обязаны считаться с тем, что даже «отдельно взятый» электрон с некоторой характерной энергией в 1 эВ уже имеет скорость всего лишь где-то в 500 раз меньше скорости света, а стало быть «накрутит» за односекундное время приборного наблюдения на пространстве порядка «атомных размеров» возможно около 10^{16} «орбит».

Таким образом, и к «отдельно взятому» электрону в пределах атома (молекулы) приходится применять статистический подход, т.е. решение физических задач методами теории вероятности, в частности описание динамических характеристик соответствующими функциями распределения.

В классической статистической физике ключевой гипотезой, которая служит, собственно говоря, обоснованием статистической физики, как известно, является эргодическая гипотеза – средние по времени значения физических величин, характеризующих систему, равны их средним статистическим значениям. Можно более подробно: эргодическая гипотеза

есть предположение о том, что средние по времени функции от фазовых переменных, взятые по траектории системы как точки в фазовом пространстве, равны средним статистическим по равномерному распределению фазовых точек в бесконечно тонком слое вблизи поверхности постоянной энергии. И дело даже не в том, что из данного положения следуют микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения Дж. В. Гиббса, где, например, для случая классической статистики статистический ансамбль характеризуется функцией распределения $f(p,q)=A\delta[H(p,q) - E]$, а в квантовой статистике такому распределению соответствует матрица плотности $\rho=A\delta(H - E)$.

Дело в радикальности идеи, которая составляет суть гипотезы. Нет необходимости с секундомером «гоняться» за каждой молекулой в МКТ – достаточно сделать «мгновенный снимок» всех. В квантовой механике возможны «чудеса», когда плоская световая волна в 5000 \AA (о геометрических поперечных размерах умолчим) вдруг обрушивается на один единственный электрон с классическим радиусом $r_e=2,818 \cdot 10^{-5} \text{ \AA}$, и тогда обычно говорят, что имеет место фотоэффект.

По-видимому, чтобы как-то отвлечься от проблемки такого рода: как бы это «обмотать» волну-лаццо 10^8 раз быстро и незаметно «вокруг» скакуна-электрона – предлагаются естественно квантовые механизмы. А почему бы нет? Хотя это и не вполне в духе основателей квантовомеханических концепций в физике – предлагать к рассмотрению физические модели или реальные механизмы взаимодействия.

Действительно, квантовая механика – это, прежде всего, «математический формализм» (В. Паули), отказ «от идеи прямого изображения физической реальности в пространстве и времени» (А. Эйнштейн), а по Д. Бому следует, что «принцип дополнительности требует отказа даже и от математических моделей», т.е. от любых представлений об индивидуальной системе как о точно определенном едином целом, «все стороны которого одновременно и, так сказать, недвусмысленно доступны нашему умственному взору». Иными словами, принцип дополнительности отрицает возможность отражения в нашем сознании микрообъекта как такового [24].

Механизм называется квантовым, модель называется квантовой. Но «квант» – это термин, всего лишь слово. С таким же успехом можно было бы разъяснить, что заряд – это «заряд», или даже «charge», или даже «источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем». А поле – это «поле», или даже «field», или «особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между электрически заряженными частицами, т.е. материальными носителями». Не без участия квантов, разумеется, – какие проблемы?

Про кванты мало что известно, почти ничего, за исключением знаменитых опытов Вальтера Боте по рассеянию слабых пучков рентгеновского излучения на металлических фольгах, о чем чуть поподробнее будет представлен анализ в *Заключении* (стр. 480). А может быть электромагнитный квант, он же «фотон» с 1929 года с легкой руки

американского физико-химика Г.Н. Льюиса, имеет геометрические, пространственные параметры сопоставимые с размерами электрона? Неизвестно. Известны спин, зарядовая четность, мультипольность, принадлежность к бозонам, масса покоя $< 4 \cdot 10^{-21} m_e$. А вот пространственная локализация неизвестна.

Как говаривал в свое время «старик» А.Ф. Иоффе: «Правда, наряду с конкретными моделями мы пользуемся и самыми абстрактными обобщениями, как например теорией квантов, но мы утешаем себя надеждой, что со временем, научившись применять кванты, научимся и понимать их. Кванты – это яйцо с сюрпризом: со временем мы узнаем его содержание, а пока вносим его в нашу картину как оно есть – в оболочке» [25].

С другой стороны, нетрудно обратиться к классическим теориям О.Ж. Френеля, правильно описывающим законы отражения и преломления без каких-либо квантов. Нетрудно также оценить сколько электронов и атомов «накрывает» электромагнитная волна (или фотон?), даже если пучок тщательно сфокусирован и коллимирован.

Какие бы эффекты, наблюдаемые в физике твердого тела и имеющие казалось бы исключительно квантовую интерпретацию, не пришлось рассматривать, например, фотолюминесценцию, спектры оптического поглощения, фотохимические реакции, экзоэлектронную эмиссию [26], неизбежно выпадают два пути. Первый, возможно более простой, – это рассматривать взаимодействие тех или иных активных центров (АЦ) непосредственно с квантами. Второй, по всей видимости более сложный, – это рассматривать взаимодействие электромагнитных волн с огромным количеством электронов (статистический ансамбль), колебание последних, в том числе и в условиях возможных резонансных частот, быстрый обмен энергией между микрочастицами, т.е. так как это имеет место в классической МКТ. Это действительно статистический путь анализа, но это – сложный путь. Конечно же, исключительно в психологическом плане, первый путь, даже если он и далек от истины, кажется гораздо привлекательней, чем второй. Элементы новизны, парадоксальности, короткий и четкий «сценарий» взаимодействия: фотон – электрон – эффект.

Второй «сценарий», как бы он не стоял ближе к истине, смотрится намного «хлопотливее»: волны – поглощение – колебание – перераспределение энергии – диссипация – статистика – резонанс – эффект. Однако истинная красота там, где истина. Поэтому уместно данные аспекты теории выделить также в отдельные параграфы, например, подвергнув тщательному анализу феномен фотоэффекта.⁸

Такой глубокий разворот в сторону статистической физики неизбежно порождает ряд вопросов. Коль скоро речь идет о статистических

⁸ В принципе можно было бы обсуждать детально технику цветной фотографии или просто феномен цветного зрения с точки зрения классической и квантовой физики. Кстати сказать, эти вопросы в немалой степени занимали в свое время Дж. К. Максвелла.

закономерностях да функциях распределения – до какой степени можно было бы пренебрегать характеристиками, присущими «отдельно взятым» микрочастицам или их достаточно элементарным комбинациям?

Например, в классической статистической физике не приходится иметь дело с траекториями, энергиями, импульсами атомов и молекул, однако это вовсе не означает, что последнее слово остается за МКТ. Каждой молекуле присущи свои индивидуальные наборы параметров и динамических характеристик, включая наличие непрерывной траектории и геометрических размеров.

История науки имеет печальный опыт в лице Вильгельма Фридриха Оствальда (2.IX.1853 – 4.IV.1932), который, активно отстаивая и пропагандируя теорию энергетизма, длительное время, вплоть до 1908 г., отрицал реальность существования атомов. Правда, это не помешало ему получить в 1909 г. Нобелевскую премию по химии за работы по катализу.

Немало соответствующих оценок было высказано в свое время на страницах научной печати по поводу кризисных ситуаций в физике. В частности Д. Бом, основательно обсуждая возможности интерпретации квантовой теории, отмечал: «Наша эпистемология в значительной степени определяется существующей теорией. Поэтому было бы неразумным основывать возможные формы будущей теории на чисто эпистемологических ограничениях, налагаемых уже существующими теориями.

В развитии обычной интерпретации квантовой теории значительную роль, по-видимому, сыграл принцип, запрещающий постулировать существование объектов, которые в настоящее время недоступны непосредственному наблюдению.

Этот принцип, основывающийся на общефилософских воззрениях, которые в XIX веке назывались «позитивизмом» или «эмпиризм», приводит к дополнительным, «нефизическим» ограничениям возможности выбора того или иного варианта теории. Мы намеренно употребляем термин «нефизический», ибо ни экспериментальные данные, ни математический аппарат теории никак не позволяют решить, всегда ли данные объекты будут принципиально ненаблюдаемы, или их не удастся наблюдать только в настоящее время.

Вообще говоря, нет причин избегать общих принципов нефизического происхождения – они могут сослужить полезную службу в качестве рабочих гипотез. Однако данный общий принцип никак нельзя считать хорошей рабочей гипотезой. В самом деле, история науки полна примеров, когда представления о тех или иных объектах оказывались исключительно плодотворными задолго до того, как были открыты способы наблюдать эти объекты экспериментально.

Как раз такой пример дает нам атомная теория. Действительно, представление об атомах было введено сначала чисто постулативным путем для объяснения ряда макрофизических результатов, которые, однако, можно было бы понять и не предполагая существования атомов – в терминах чисто макрофизических понятий.

В связи с этим в XIX веке некоторые позитивисты, исходя из чисто философских соображений, настойчиво оспаривали предположение о действительном существовании атомов, ибо последние никогда непосредственно не наблюдались. С позитивистской точки зрения атомная теория представляла собой не более, чем любопытный способ вычисления различных наблюдаемых величин, характеризующих микроскопические свойства вещества.

Тем не менее, люди, принявшие атомную гипотезу всерьез, не боясь того, что отдельных атомов еще никто никогда не видел, в конце концов, нашли доказательства реального существования атомов.

Может быть, аналогично обстоит дело и в квантовой теории, в обычной интерпретации которой возможность объективного истолкования волновой функции индивидуальной системы не рассматривается из тех соображений, что современные эксперименты и теории не позволяют ее непосредственно наблюдать» [27].

Очень похоже, что в диалектике природы в который уже раз возникает кризисная ситуация, когда сообщество естествоиспытателей готово вновь ступить на «одни и те же грабли». Приходится наблюдать ту удивительную поспешность, с которой из физики микромира изгоняются конкретные понятия, считавшиеся до сих пор формообразующими признаками и параметрами микрочастиц. И вот уже присутствует на страницах всех официальных изданий набор канонических клише следующего типа: «В квантовой механике не существует понятия траектории частицы... Отсутствие у электрона определенной траектории лишает его самого по себе также и каких-либо других динамических характеристик... Динамические характеристики электрона появляются лишь в результате самого измерения... В квантовой механике не существует понятия скорости частицы в классическом смысле этого слова... Квантовая механика не может делать строго определенных предсказаний относительно будущего поведения электрона»[20].

Можно дополнить этот список еще рядом классических пассажей (серия учебных пособий для вузов И.Е. Иродова): «И такой математический формализм был создан. Он ставит в соответствие каждой частице некоторую комплексную пси-функцию $\Psi(\mathbf{r}, t)$... Таким образом, электронам, вообще говоря, нельзя приписать траектории... Таким образом, мы имеем дело с микрообъектами, которые обладают одновременно как корпускулярными, так и волновыми свойствами... Длина волны электрона... В то время как, согласно интерпретации Ψ -функции, частица, как говорят, «размазана» в пространстве, потенциальная энергия U рассматривается как функция локализованной точечной частицы в силовом поле...

Если пучок электронов обладает волновыми свойствами, то можно ожидать, даже не зная механизма отражения этих волн, что их отражение от кристалла будет иметь такой же интерференционный характер, как у рентгеновских лучей» [28].

В конечном итоге, будучи в смятении, в оглушенном состоянии, мы почти что готовы согласиться с тем, что частица – это вовсе и не частица, а волна. Или, возможно, иногда частица, а иногда волна. Или, наконец, совершенно логически непостижимое, несовместимое предположение – одновременно и частица, и волна. Как, в свое время, иронизировал Генри Брэгг-старший: «По понедельникам, средам и пятницам электрон ведет себя как волна, по вторникам, четвергам и субботам – как частица, в воскресенье же он отдыхает».

Попыток примирения или сглаживания противоречий, которые были предприняты основоположниками квантовой теории, можно насчитать, по-видимому, немало. Сюда можно отнести и гипотезы о волновом пакете, о волне-пилоте или ассоциированной волне, о корпускулярно-волновом дуализме, затем вообще отказ от модельных представлений. Затем вновь возврат к ним отдельных «диссидентов», например, Л. де Бройля, настолько терзающегося проблемами, которые по сути дела сам и породил, что эти проблемы принуждают его к изложению – практически одновременному – различных и мало согласованных точек зрения.

В работе «*La physique nouvelle et les quanta*» [29], переизданной в 1946 г., находим, казалось бы, полное благополучие: «В классических теориях, где появляются вероятности, считают, что элементарные процессы подчинены строгим законам. Вероятности вводились там для описания явлений крупного масштаба, включающих огромное число элементарных процессов.

В квантовой физике, наоборот, вероятности прямо вводятся для описания хода элементарных процессов... Волновые и корпускулярные свойства никогда не вступают в конфликт, ибо они никогда не существуют одновременно. Мы пребываем в постоянном ожидании борьбы между волной и частицей, но ее никогда не происходит, так как никогда оба противника не появляются вместе.

Понятие электрон, так же как и другие элементарные физические понятия, имеет, таким образом, два противоречивых аспекта, к которым, однако, нужно обращаться по очереди, чтобы объяснить все его свойства».

Семь лет спустя, в 1953 г., Л. де Бройль вновь мучительно возвращается к роковому 5-му Сольвеевскому конгрессу [30]: «Если исходить из того, что волна Ψ имеет статистический и чисто фиктивный характер (а это считается твердо установленным и признанным, по-видимому, всеми), то теория волны-пилота приводит к тому неприемлемому результату, что движение частицы определяется непрерывной волной Ψ , то есть величиной, которая не имеет никакого реального физического значения, зависит от состояния знаний того, кто ее применяет, и должна резко изменяться, когда какая-либо информация изменяет эти знания...»

На Сольвеевском конгрессе в октябре 1927 года мой доклад о волне-пилоте встретил мало сторонников. Паули привел против моих концепций серьезные возражения, возможный ответ на которые я смутно предвидел, но не мог достаточно точно сформулировать. Шредингер, который не верил в существование частиц, не мог следовать за мной. Бор, Гейзенберг, Борн,

Паули, Дирак и другие развивали чисто вероятностную интерпретацию, о которой я уже говорил как об интерпретации, являющейся в настоящее время ортодоксальной. Лоренц, который председательствовал на конгрессе, не мог признать подобного толкования и усиленно настаивал на том, что, по его убеждению, теоретическая физика должна оставаться детерминистической и продолжать использовать ясные образы в классических рамках пространства и времени. Эйнштейн критиковал вероятностную интерпретацию...

Несомненно, некоторые, зная, что я оставил свои первые попытки и в течение 25 лет во всех своих работах излагал интерпретацию Бора и Гейзенберга, быть может, обвинят меня в непостоянстве, когда увидят, что я вновь испытываю сомнения по этому поводу и задаю себе вопрос, не была ли в конечном счете правильной моя первая ориентация. Если бы я захотел пошутить, я мог бы на это ответить словами Вольтера: «Глуп тот, кто не изменяется». Но возможен и более серьезный ответ. История наук показывает, что прогресс науки постоянно тормозился тираническим влиянием некоторых концепций, которые, в конце концов, стали считаться догмами. Ввиду этого следует периодически подвергать глубочайшему пересмотру принципы, которые были признаны как окончательные и больше не обсуждались.

Чисто вероятностная интерпретация волновой механики на протяжении четверти века, несомненно, сослужила физикам немалую службу, так как она помешала им увязнуть в изучении очень сложных и трудноразрешимых проблем, вроде тех, которые выдвигает концепция двойных решений, и, таким образом, позволила им уверенно следовать по пути применений, многочисленных и плодотворных. *Но в настоящее время волновая механика в том виде, как она преподается, по-видимому, в значительной мере исчерпала свою способность к объяснению явлений. Это признается всеми...»*

Аналогичного рода сомнения и терзания на протяжении всей жизни посещали также М. Планка, Э. Шредингера. Нечто подобное переживали А. Эйнштейн, Н. Бор. Свободу от сомнений, чтобы «уверенно следовать по пути применений, многочисленных и плодотворных», можно было бы приобрести, опираясь на строго согласованную позицию.

Весьма романтично ее озвучил Л.Д. Ландау: «Человек может понять даже то, что не в силах себе представить». Звучит многообещающе и красиво, однако мы уже видели выше, как А. Эйнштейн относился к порой излишне оптимистичным тенденциям: «...я все же думаю, что оптимизм нашего поколения основан отнюдь не на трезвой оценке трудности этой проблемы».

Но согласованной позиции мало, надо было отвоевать временной промежуток, свободный от сомнений, для утверждения новой физической парадигмы. Эту задачу на протяжении 20-30 лет весьма активно, можно даже сказать агрессивно, обеспечивала партия Бора-Борна-Гейзенберга-Иордана-Паули. Инакомыслие пресекалось.

В этой связи весьма характерной выглядит даже не позиция теоретико-научной элиты, которая по статусу своему, очевидно, обязана формировать и

отстаивать ортодоксальные рубежи академической науки, а позиция тех, кто ответственен за учебно-методический процесс наших университетов, тех, кто из года в год печется о том, чтобы естествознание облекалось в рафинированные формы, достойные энциклопедических заметок. Действительно, много ли можно отыскать сомнений или альтернативных суждений в конспектах и учебниках современных маститых физиков? Чуть ли не единичные эпизоды. Вот честный и неутомимый, безусловно, смелый и ищущий Ричард Фейнман: «Мы не знаем, как с учетом квантовой механики построить самосогласованную теорию... Так эта проблема и осталась нерешенной... Ведь в один прекрасный день явится кто-нибудь и объяснит, насколько мы глупы. Мы не догадаемся, в каком месте мы совершаем глупость, покуда не вырастем над собой». Он же: «**Я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает!..**» Да дело разве только в квантовой механике?

Опять апеллируем к авторитету Р. Фейнмана: «Свободное движение не имеет никакой видимой причины. Почему предметы способны вечно лететь по прямой линии, мы не знаем. Происхождение закона инерции до сих пор остается загадкой... До сих пор у нас нет иной модели для теории гравитации, кроме математической... До сих пор никому не удалось представить тяготение и электричество как два разных проявления одной и той же сущности. Сегодня наши физические теории, законы физики – множество разрозненных частей и обрывков, плохо сочетающихся друг с другом. Физика еще не превратилась в единую конструкцию, где каждая часть – на своем месте» [32]. И это – «один из самых ярких физиков нашего времени», «выдающийся педагог и исследователь, равные которому вырастают не часто». Сомнения, вопросы, разочарования, догадки...

Обратимся же теперь, например, к серии учебников, задачников, книг, подготовленных и выпущенных нашими маститыми, пожалуй, лучшими, методистами – И.В. Савельевым, И.Е. Иродовым. Ни малейшего намека на дискуссию. Полная ясность. Конец главы под названием «Физика». Но все-таки?..

Все-таки стоит лишний раз поразмыслить и над тем, как это «каждой частице ставится в соответствие некоторая комплексная пси-функция», или каким таким образом «пучок электронов обладает волновыми свойствами», или почему «можно ожидать, даже не зная механизма отражения этих волн, что отражение от кристалла будет иметь интерференционный характер».

Вот тут-то как раз и появляются сомнения вроде того, что «не ладно что-то в датском королевстве». Итак, *предварительно* обсуждаем проблему дифракции микрочастиц. А ргіогі – любимый оборот, с подачи А. Эйнштейна, среди физиков-популяризаторов.

Почему бы не привлечь в помощь стандартную классическую аналогию – физико-математический эксперимент, известный нам как «стрельба по плоской мишени», когда результаты эксперимента естественным образом

описываются гауссовской кривой (нормальное распределение):

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad ?$$

Возможны два пути (третий вариант, когда «Бог играет в кости», а мы всего лишь наблюдатели в этой игре, пока оставим до лучших времен). Первый: пуля, летящая в мишень, «тащит» вместе с собой (или содержит в себе, или «знает») кривую Гаусса $f_X(x)$, подлетает к мишени, «спрашивает» у кривой куда ей лечь – туда и ложится.

Кстати, кривую можно, используя стандартные методы гармонического анализа, разложить на Фурье-компоненты (насколько нам известно, в докомпьютерную эру существовали даже такие сравнительно простенькие аналоговые приборы), так что можно было бы утверждать, что с мишенью провзаимодействовала волновая компонента функции плотности $f_X(x)$.

Однако функция плотности – это математическая фикция, она не обладает физической реальностью и, по той же причине, по которой, скажем, синус (угла падения) не может провзаимодействовать с кристаллом и стать причиной преломления световых лучей, так и функция плотности не в состоянии «нащупать» мишень.

Второй: математическая фикция под названием «нормальное распределение» описывает (со стороны, абстрактно, умозрительно, апостериорно) статистические случайные процессы, в основу которых заложены все-таки законы механики. Обращает на себя внимание также тот факт, что задолго до постулата неопределенности Гейзенберга становится ясным, что дисперсию σ^2 обратить в нуль не удастся.

Риторический вопрос: так «несет» электрон в себе (может быть, на себе) Ψ -волну, которая должна бы провзаимодействовать на предмет дифракции с кристаллом, или нет? Пока что физических Ψ -полей никто не наблюдал, Ψ -зарядов не обнаружено. До Ψ -квантов вроде бы человеческий гений еще не додумался. Против того, что Ψ -функция – это математический субъект, математический образ, математическая фикция никто не возражает.

Тогда в какой же момент электрон (реальная физическая микрочастица) успевает стать математической фикцией? А если электрон вовсе и не волна, тогда надо начинать все с самого начала. Надо разбираться в физике процесса, приводящего к дифракции электрона, уподобляющего электрон якобы волне. Но то, что Ψ -функция не взаимодействует с кристаллом, поскольку не являясь физической реальностью, а являясь описательной математической фикцией (как, кстати, и любая функция распределения), можно констатировать совершенно точно. Тут можно, видимо, сойти с ума. Или остаться на позициях математического формализма квантовой физики.

Тогда быстро складывается ситуация, которую достаточно метко обозначил академик О.Д. Хвольсон: «...в этом новом учении, увы, главенствующую (!) роль играет математика, так что никакой физики и не

осталось. Притом это не та высшая математика, что обычно преподается в университетах и которой пользуются физики. Нет, тут на первом плане оказываются такие отделы математики, о которых ни один физик никогда ничего не слышал. И число этих отделов все растет, так что лишь немногие физики могут следить за этой математической вакханалией».

В такой обстановке полемика быстро подавляется, т.к. всегда найдутся «посвященные», прошедшие обряд «инициации» с помощью специальной математической подготовки, и те, кому по иерархии полагаются низшие ступени. А когда критерии истины подменяются авторитетом иерархии, тогда в ход, прежде всего, идут аргументы такого рода: «...предпочтение отдается концептуальному анализу соответствия между экспериментальными данными и математическими величинами в формализме теории перед наивными наглядными представлениями» (В. Паули).

И далее примерно в том же плане: «Мы стоим здесь перед крушением обычных физических наглядных представлений... О возвращении к способу описания, совместному с принципом причинности, не могло быть и речи... Эти новые черты потребовали еще большего отказа от объяснения явлений на основе наглядных модельных представлений... Решение, достигнутое в результате изобретательных и остроумных догадок многих из самых выдающихся физиков-теоретиков нашего времени, было удивительно просто. Как и при формулировании теории относительности, так и здесь соответствующий аппарат был найден в форме чрезвычайно развитых математических абстракций» (Н. Бор).

Считается общепризнанным, что Эйнштейн был побежден в известном споре с Бором. Истина, однако, в другом. «Действительной темой дискуссии Эйнштейна и Бора было то, что они оба называли... проблемой полноты, т.е. *является ли квантовая механика полной... стала ли квантовая механика (по меньшей мере в принципе) последним словом физики*» [31].

Там же рядом К. Р. Поппер пытается напомнить для многих не вполне удобные моменты нарождающегося кризиса в физике. Причем, это легко видно, Поппер пытается быть предельно объективным: «Я восхищаюсь Бором и Гейзенбергом как революционерами в науке. Но я считал (и сейчас считаю) их эпистемологическое кредо скандальным. Причем это кредо вызывало оппозицию и у других людей.

Копенгагенская интерпретация, или, более точно, – точка зрения Бора и Гейзенберга на статус квантовой механики, состояла, попросту говоря, в утверждении, по которому квантовая механика стала последней, окончательной и никогда не могущей быть превзойденной революцией в физике.

Кроме того, в ней содержался тезис, что истина о положении вещей в физике выводится из самой физики, точнее из соотношений

неопределенностей Гейзенберга. Тем самым декларировалось, что *физика достигла конца своего пути* и что дальнейшие прорывы невозможны».⁹

Можно также привести комментарии, не имеющие казалось бы прямого отношения к предмету обсуждения, очерченного рамками данного параграфа, однако характерен сам безапелляционный стиль таких комментариев: «...Другими словами, нужно предположить «желеобразный» характер эфира. Это очень печально! Мы должны подготовиться к встрече непреодолимых трудностей в попытке механистического¹⁰ описания эфира... Для того чтобы построить эфир в виде желеобразной механической субстанции, физика должна принять несколько чрезвычайно неестественных предположений. Мы не будем приводить их здесь: они относятся к почти забытому прошлому... Но имеются другие и более простые возражения против эфира, чем трудности его построения. Если свет передается только в среде, то не может быть никакого пустого пространства... (!) Здесь все бесполезные попытки построить эфир простым путем, так же как и другие возражения, обнаруживают, что ошибка лежит в фундаментальном положении о том, что все явления в природе можно объяснить с механистической точки зрения. Наука не имела успеха в последовательном проведении механистической программы, и сегодня ни один физик не верит в возможность ее выполнения» [33].

Еще хуже обстоит дело, когда приходится пересекаться с современными апологетами квантовомеханических наук, которые, как правило уже

⁹ Характеристика ситуации была бы неполной без следующего описания: «...Именно Гейзенберг вел целое поколение физиков к принятию абсурдной позиции, согласно которой квантовая механика учит, что «объективная реальность испарилась». Подход Бора к квантовой механике, на мой взгляд, весьма отличен от подхода Гейзенберга. Я полагаю, что Бор в основаниях своих суждений был реалистом. Квантовая теория была для него изначально загадочной. Он никогда не отделался от этих трудностей. Во всех его удивительных победах присутствовал элемент неудачи. Нечто непостижимое, непроницаемое не позволяло ему достигнуть ясности». И еще один небольшой штрих, малоизвестный, но все-таки значимый: «Хотя этот довод [аргумент ЭПР] прост и ясен, а потому – убедителен, он не принят в качестве такового. Мне представляется, что причина тому – авторитет Бора, а не сила его контраргументов. Ибо по сравнению с простыми и ясными идеями Эйнштейна контраргументы Бора весьма трудны для понимания. **Эйнштейн никогда не понимал их (как он сам мне говорил), и я не встречал ни одного физика, способного изложить их просто и ясно**» [31].

¹⁰ Даже в том, что вместо термина «механический» постоянно предлагается «механистический», угадывается некая попытка унизить, уронить позиции своих оппонентов. Действительно, в первом случае прилагательное образуется от слова «механика» (наука о движении в пространстве и о силах, вызывающих это движение). Во втором случае прилагательное образуется от слова «механицизм» (философское направление, сводящее все многообразие мира к механическому движению однородных частиц материи, а сложные закономерности развития – к законам механики). По-видимому, такие мелкие «шалости» спровоцировали Ж. Вассэля на ответную реакцию, когда он представителей «копенгагенской школы» недостаточно почтительно именуется физиками-«квантовиками».

издалека, задолго до дискуссии, предпринимают в качестве артподготовки психологический прессинг. Где возможно самым безобидным будет: «... К концу XX века естественные науки образуют стройное и в основном завершенное здание (в частности, в отличие от начала века, говорить о кризисе физики не приходится), и попытки «подкопа» под него кустарными средствами наивны. Не являясь специалистами в области философии и гуманитарных наук, мы можем отметить недостаточный уровень понимания естественнонаучных вопросов гуманитариями, что делает их легкими жертвами наукообразно (например, математически) оформленных и нередко недобросовестных спекуляций» [34].

Правда, страничкой ниже находим странное продолжение (что-то с логикой какие-то нелады): «По нашему мнению, оптимистические заявления о завершенности новой картины мира в настоящее время необоснованны – реально здесь больше поставлено проблем, чем найдено решений. В ряде случаев нам кажется необходимым указать на незаконные (по крайней мере, сейчас) претензии естественных наук и разграничить область их полномочий от других сфер реальности, поскольку «простые» объяснения, основанные на применении неадекватного аппарата и языка, часто ведут к глубоким заблуждениям».

Однако вернемся к корпускулярно-волновому дуализму, к этой поистине «болевым точкам» теоретической физики, и к тесно связанному с ним вопросу о статистической интерпретации волновой функции. Современная академическая точка зрения на проблему находит отражение в коллективном труде московских авторов – А.А. Соколова, И.М. Тернова и В.Ч. Жуковского [35]: «При наличии многих электронов статистическая интерпретация волновой функции не вызывает каких-либо трудностей. В этом случае величину $f = |\Psi|^2$ следует рассматривать как функцию распределения. Дифракционную картину мы можем интерпретировать следующим образом: на светлые пятна попадает наибольшее число электронов, т.е. функция f достигает максимума. Вероятность же движения электронов по направлению темных пятен, наоборот, будет наименьшей.

Большие затруднения в статистической интерпретации волновой функции возникли при описании движения одного электрона. В самом деле, квантовая механика не может точно указать, по какому направлению он начинает двигаться после прохождения дифракционной щели. Неправильно было бы говорить, что электрон представляет собою и частицу и волну.

Если бы один электрон представлял собою волну, то тогда одна его часть пошла бы по одному направлению, а другая часть – по другому. На самом же деле электрон представляет собою чрезвычайно малую частицу, размеры которой еще не определены. Эксперименты по изучению столкновения электронов очень большой энергии, например, с позитронами говорят лишь о том, что электронный радиус меньше чем 10^{-16} см. Поэтому при прохождении одного электрона сквозь дифракционную щель на экране мы будем наблюдать лишь одну точку.

Однако, если начать последовательно пропускать отдельные электроны, то одиночные точки будут постепенно сливаться, образуя в совокупности на экране дифракционную картину, совпадающую с той, которая возникает от одновременного пропускания многих электронов.

Это напоминает до некоторой степени стрельбу по мишени, когда попадание одной пули дает как будто бы случайную отметку. Однако при большом числе выстрелов можно установить некоторый закон попадания. Отличие заключается в том, что пули представляют собою смешанный (классический) ансамбль, и поэтому возникает лишь один максимум, лежащий в центре (гауссова кривая).

Совокупность электронов представляет собою чистый (квантовый) ансамбль, и поэтому вместо гауссовой кривой мы получаем дифракционную картину, т.е. наряду с главным максимумом, лежащим в центре, мы будем иметь ряд относительных максимумов. Такую же картину мы получим при последовательном пропускании отдельных фотонов.¹¹

Таким образом, приходится пересмотреть вопрос о причинности в теории движения точечных частиц. Если по классической механике при известных силах и начальных условиях мы можем точно и однозначно предсказать траекторию движения частицы и ее скорость,¹² то по квантовой механике мы можем предсказать лишь вероятность того, по какому направлению и с какой скоростью или импульсом точечный электрон будет двигаться, причем точность предсказания ограничена соотношением неопределенностей $\Delta p_x \cdot \Delta x \geq h$. Вокруг этого вывода разгорелись большие методологические дискуссии. Одна из попыток объяснить некоторую «свободу» поведения основана на введении так называемого *принципа дополнительности* (Бор, Гейзенберг).

Согласно этому принципу соотношение неопределенностей возникает благодаря тому, что воздействие наблюдателя на объект нельзя свести к нулю.

¹¹ Как бы само собой разумеющееся замечание, попутное, вскользь. Неверный ход. Грубая ошибка, граничащая с умышленной фальсификацией. Во-первых, еще не установлен достоверно физический механизм, который мог бы стопроцентно объяснить дифракцию реальных микрочастиц-электронов, не говоря уже о гипотетических фотонах. Во-вторых, до сих пор не существует чистых экспериментов по однофотонной дифракции. Более того, полную неясность в этом вопросе можно наблюдать и у великого П.А.М. Дирака: «Фотон может интерферировать лишь с самим собой». Наконец, уже в самом начале данного параграфа со ссылкой на авторитет Р. Фейнмана упоминалось о непреодолимых трудностях, с которыми сталкивается квантовая теория при разного рода попытках интерпретации явлений отражения и преломления света. Дифракция света, как по Френелю, так и по Фраунгоферу, объясненная в свое время как результат интерференции вторичных волн (принцип Гюйгенса-Френеля), явилась решающим доказательством волновой природы света. Тогда при чем же здесь фотоны?

¹² То есть теперь уже нас статистические закономерности и распределение Гаусса не интересуют? Вот тебе раз!

Тем не менее объяснение возникновения вероятностного характера теории движения электрона с помощью введения неконтролируемого воздействия наблюдателя не является удовлетворительным, так как с его помощью нельзя понять все выводы квантовой механики. Вероятностный характер квантовой теории свидетельствует лишь об ограниченности применимости лапласовского детерминизма и носит, бесспорно, объективный характер. Таким образом, квантовая механика независимо от приборов и способов наблюдения должна описывать объективные закономерности микромира».

Несмотря на то, что классической механике усиленно навязывается исключительный детерминизм в пику индетерминизму, «инкриминируемому» квантовой механике, в целом, можно полностью согласиться со статистической интерпретацией волновой функции, которая здесь приводится почти без комментариев.

В принципе видно, что уже намечается конструктивный подход и к грандиозной проблеме волновых свойств электрона, «стоившей» мировой науке, как минимум, двух Нобелевских премий (Л. де Бройль в 1929 г. и К. Дэвиссон и Дж.П. Томсон в 1937 г.). Однако А.А. Соколов с соавторами все-таки останавливаются буквально в шаге от окончательного решения проблемы (шутка: от третьей Нобелевской премии?), видимо, поддавшись гипнозу авторитетных суждений предшественников. Как, впрочем, и при решении задачи о лэмбовском сдвиге уровней энергии за счет взаимодействия электрона с электромагнитным вакуумом этот последний шаг, если можно так выразиться, в сторону физических полей оказался ими не пройденным.

Что же касается индетерминистической мистификации, произрастающей, как известно, на почве квантовой механики, которую многие специалисты охотно представляют эзотерической, то по данному вопросу резко и непримиримо в свое время выступал известный французский физик Ж. Вассэль. Правда, выступления его иногда носили излишне политизированный характер, что, впрочем, вполне понятно и простительно, если учесть соответствующий исторический фон.

Можно даже не сомневаться, что цитирование Ф. Энгельса у «героев нашего времени» непременно вызовет снисходительную усмешку (и, мы уверены, совершенно напрасно): «... Механический детерминизм «на словах отрицает случайность в общем, чтобы на деле признавать ее в каждом отдельном случае». Механический детерминизм, старая метафизическая иллюзия, непримирим с наукой. Но заслуга открытия этой истины принадлежит не физикам-«квантовикам», а тем, кто создал диалектический материализм и в то же время разбил механистический материализм столетие тому назад» [36].

Однако, не успев обвинить Ж. Вассэля в архаичности взглядов, можно было бы задаться вопросом – кто же из авторов более продвинут в своих оценках установившихся доктрин квантовой теории. Ж. Вассэль 50-х годов или академики 70-х?

Например, аккуратный и безукоризненный в методическом отношении А.А. Соколов предлагает официальную точку зрения: «Взаимодействие с вакуумом приводит к тому, что электрон в атоме начинает «дрожать» на своей орбите. В результате он как бы размазывается в пространстве, и вследствие этого меняется его взаимодействие с ядром. Притяжение к ядру ослабевает, и уровни энергии стационарных состояний повышаются». Вакуумные колебания приводят к некоторой эффективной размазанности точечного электрона, причем размеры соответствующей области, по которой «размазан» электрон, определяются средним геометрическим между классическим радиусом электрона $r_{кл} = \frac{e^2}{m_0 c^2}$ и комптоновской длиной

волны $\lambda = \frac{\hbar}{m_0 c}$:

$$r_{\text{вак}} = \sqrt{(\overline{\delta r})^2} \sim \sqrt{\alpha} \frac{\hbar}{m_0 c} = \sqrt{\frac{e^2}{m_0 c^2} \frac{\hbar}{m_0 c}},$$

где $(\overline{\delta r})^2 = \frac{2}{\pi} \alpha \left(\frac{\hbar}{m_0 c} \right)^2 \ln \frac{2n^2}{(Z\alpha)^2}$ – средний квадрат смещения и

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}.$$

Численные оценки для 2s-состояния, выполненные в 1947 году по формуле, установленной Х.А. Бете:

$$\delta E_{\text{вак}} = \frac{8}{3\pi} \alpha^3 \frac{Z^4}{n^3} R\hbar \ln \frac{2n^2}{(Z\alpha)^2},$$

показывали сравнительно хорошее согласие с экспериментальными данными, зафиксированными в опытах У. Лэмба и Р. Ризерфорда в том же году.

Не может быть и речи, чтобы такой неистовый картезианец и энциклопедист как Ж. Вассэль оставался в неведении относительно новейших успехов наук. Однако он и по прошествии еще нескольких лет непреклонно ведет свою партию: «Электрон,двигающийся в так называемой пустоте, в действительности перемещается в движущейся материальной среде, в эфире. Он также должен беспрестанно взаимодействовать со своей средой, а такое взаимодействие, учитывая его прерывный и нерегулярный, беспорядочный характер, может объяснить флуктуации импульса электрона. Точно так же, как броуновское движение частицы определяется тепловым движением молекул окружающего воздуха, механическое движение электрона должно быть обусловлено присущим окружающему эфиру «возбуждением», природу которого остается уточнить. По крайней мере это одна из возможных гипотез, открывающих путь исследованию.

Если же, напротив, представлять себе пустоту как абсолютно ничто, в противоречии со всей физикой полей и излучений, тогда квантовые флуктуации импульса частиц, отраженные именно в соотношении Гейзенберга, уже невозможно разумно объяснить.

В том, что случайность может сказаться в движениях атомных частиц так же, как она обнаруживается в тепловом движении молекул и повсюду в природе, нет ничего необыкновенного. Но что случайность означает абсолютное отрицание необходимых законов – это уже грубая фальсификация реальности» [37].

На уровне здравого смысла, можно было бы с недоверием воспринимать эмоциональные, к тому же не несущие внутри себя содержательной расчетно-математической компоненты, теории профессора физики, наделенного задатками философа рационалистической традиции. В то же время, когда приходится сталкиваться с азартными, если не с агрессивными, заклинаниями доктора П. Иордана по поводу «ликвидации материализма» на волне постулата неопределенности Гейзенберга, то Ж. Вассэль уже кажется добрым ворчуном. И только не надо утверждать, что-де торжество официальной доктрины квантовой механики зиждется исключительно на чисто академических дискуссиях при галстуках и белых воротничках в исключительно «толстых» академических журналах. Как известно, в нужный момент подключалась даже пресса, готовая «перемыть косточки» упрямам и «старым ворчунам».

Известен постыдный факт, когда с критикой А. Эйнштейна выступила солидная газета «Нью-Йорк таймс» (30 марта 1953 года): «Принцип неопределенности привел, в конце концов, к всеобщему признанию всеми современными физиками (за исключением доктора Эйнштейна), что в природе не существует причинности или детерминизма. Только доктор Эйнштейн в величественном одиночестве устоял против всех этих концепций квантовой теории».

Если уравнение Шредингера – это математический фундамент квантовой науки, тот самый «язык», на котором только и можно договариваться при решении задач атомной физики, то *принцип неопределенности* Гейзенберга претендует на новую философию, философию квантового мышления. «Буква и дух» квантовой парадигмы нашли отражение в радикальных идеях Э. Шредингера и В. Гейзенберга. Откуда дует ветер перемен, принесший чуждую естественнонаучному материализму моду на эзотерический индетерминизм и отказ от причинности, установлено, канонизировано и уже не обсуждается. В этой связи, остается выразить сожаление, что идеи классической физики не находят должного понимания у исследователей двадцатого столетия. А когда нарушается преемственность – неизбежно зреют конфликты.¹³

¹³ Чтобы как-то разрешить острые противоречия, накопившиеся в физике микромира, А. Л. Шаляпин первым (считаем нужным подчеркнуть приоритет), начиная с 1980 г., в течение четверти века осуществляет «отчаянную» попытку решать ключевые задачи

Своеобразное отображение такой ситуации легко заметить, когда соответствующий анализ *принципа неопределенности* Гейзенберга в конечном итоге приводит нас к классическим истокам – теореме Ж. Лиувилля, установленной еще в 1838 г. Известно, что данная теорема механики, утверждающая, что фазовый объем системы, подчиняющейся уравнениям механики в форме Гамильтона, остается постоянным при движении системы, сыграла ключевую роль во всей статистической физике, которая как научное направление ассоциируется у нас прежде всего с Дж. К. Максвеллом, Л. Больцманом, Дж. У. Гиббсом. Напомним точную формулировку.

Если в начальный момент времени фазовые точки (p^0, q^0) непрерывно заполняли некоторую область G_0 в фазовом пространстве, а с течением времени перешли в другую область G_t этого пространства, то соответствующие фазовые объемы – $2N$ -мерные интегралы – равны между собой:

$$\int_{G_0} dp^0 dq^0 = \int_{G_t} dpdq \text{ или } \int dG = const ,$$

где dG обозначает элемент объема фазового пространства.

Изменение состояния системы во времени представляется как движение фазовой точки в $2N$ -мерном пространстве, где N – число степеней свободы системы. Таким образом, движение точек, изображающих состояния системы в фазовом пространстве, подобно движению несжимаемой фазовой жидкости.

Теорема Лиувилля позволяет ввести *функцию распределения* плотности вероятности нахождения фазовой точки в элементе фазового объема $dG = dpdq$ и поэтому является основой статистической физики.

Функции распределения $w(p, q)$ можно дать также следующее истолкование. Если рассматривать одновременно большое число одинаковых систем и считать, что каждая точка в фазовом пространстве изображает состояние одной такой системы, тогда усреднение параметров системы за достаточно длительный интервал времени наблюдения можно воспринимать как усреднение по совокупности этих систем или, как говорят, по статистическому ансамблю. Подобный метод усреднения параметров системы соответствует эргодической гипотезе.

физики XX столетия исключительно в рамках классической механики, классической электродинамики и классической статистической физики [38-44]. В дальнейшем для обсуждения этих проблем к нему подключаются Б. Л. Двинянинов (в качестве научного редактора), и, наконец, В. И. Стукалов, оказывающий огромную поддержку и неоценимую помощь в обсуждении ключевых задач, издании монографий и являющийся соавтором ряда работ [45-50]. Сложившийся коллектив авторов, спаянных общей целью, полагает, что в случае успешной реализации данной программы физика обретет, наконец, единый и прочный фундамент на основе классических представлений.

С одной стороны, можно даже не сомневаться, что *принцип неопределенности* Гейзенберга отражает принципиальную невозможность «стянуть» фазовый объем в нуль. И в этом своем предельно ясном предназначении *принцип неопределенности*, по-видимому, утрачивает ореол философичности и мистического поклонения. С другой стороны, теорема Лиувилля «развязывает руки» для широкого применения спектрального метода Фурье для нужд механики микромира. В качестве обоснования данного метода приведем весьма кратко общие положения из спектрального анализа.

Распределение некоторой физической величины во времени, по частоте, координатам, скоростям и т.д. называется функцией распределения, плотностью вероятности или просто спектром физической величины по данной переменной. Среди этих параметров можно выделить пары сопряженных независимых переменных, с помощью которых реализуется прямое и обратное преобразование Фурье.

Так, например, распределение величины во времени t можно охарактеризовать также частотным спектром, т.е. распределением по ν , распределение по оси линейных геометрических размеров x - пространственно-частотным распределением по пространственной частоте f_x (и аналогично – для других координатных пар переменных). В этих примерах параметры t и ν , x и f_x есть естественным образом сопряженные пары независимых переменных, образующих прямое и обратное преобразования Фурье.

Характерной особенностью прямого и обратного преобразований Фурье является сохранение некоторого своеобразного «фазового объема», существование «закона сохранения» или «инварианта» для переменных, образующих верно подобранную для нужд спектрального анализа сопряженную пару физических величин. К примеру: если временной импульс имеет длительность Δt , то его частотный спектр занимает характерную полосу $\Delta \nu$, пропорциональную $\frac{1}{\Delta t}$. Тогда произведение $\Delta t \Delta \nu$ при любых изменениях длительности импульса останется неизменным, т.е. $\Delta t \Delta \nu = const$, при этом постоянная в правой части, при соответствующим образом подобранных размерностях, близка к единице и определяется, в конечном итоге, формой импульса.

Совершенно аналогичным образом, с учетом теоремы Лиувилля, можно считать, что при анализе движения системы в фазовом пространстве переменные q и p как нельзя лучше подходят в качестве сопряженной пары переменных, предназначенных для применения по отношению к ним спектральных методов Фурье [45].

Таким образом, функция распределения системы частиц по импульсам будет подобна спектру Фурье по пространственным частотам. При этом импульс p_x (динамическая переменная) с точностью до некоторого размерного коэффициента может служить аналогом пространственной

частоты f_x для сопряженной кинематической переменной x . Характерно, что для «чистой» математики как бы проблем с размерностью вообще не возникает: если функция $f(t)$ абсолютно интегрируема на $(-\infty; +\infty)$ и кусочно

гладкая, то она представима в виде $f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \mathcal{F}(v) e^{2\pi i v t} dv$, где

$$\mathcal{F}(v) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-2\pi i v t} dt \text{ - прямое преобразование Фурье.}$$

Легко находим в математических приложениях к известнейшей монографии – или точнее, к учебному пособию для университетов, если проще, то к учебнику, к настольной книге физика-теоретика – Д.И. Блохинцева [6]:

$$\varphi(p_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x) e^{-i\frac{p_x x}{\hbar}} dx,$$

$$\psi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\hbar}} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(p_x) e^{i\frac{p_x x}{\hbar}} dp_x,$$

где \hbar - не что иное как размерный коэффициент, который может быть определен из эксперимента. В последних соотношениях хорошо видно, что переменная $\frac{p_x}{\hbar}$ выполняет роль пространственной частоты f_x , т.е.

$$p_x = \hbar f_x = 2\pi\hbar f_x = \frac{2\pi}{\lambda} \hbar = \hbar k_x.$$

Все обозначения стандартные – и нет никакой необходимости в привлечении гипотезы Л. де Бройля. Теперь становится понятным соотношение, очень часто используемое в атомной физике как постулат, $p = \hbar k$. Далее в том же учебнике, собственно говоря, не обращаясь к аппарату квантовой механики, приводится известный классический вывод на базе спектрального анализа Фурье *соотношения неопределенностей в наиболее общем и строгом виде*. Исходными величинами считаются:

$$\overline{\Delta x^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^*(x) x^2 \psi(x) dx,$$

$$\overline{\Delta p_x^2} = -\hbar^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^*(x) \frac{d^2 \psi(x)}{dx^2} dx.$$

Для установления связи между $\overline{\Delta p_x^2}$ и $\overline{\Delta x^2}$ рассматривается вспомогательный интеграл:

$$I(\xi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left| \xi x \psi + \frac{d\psi(x)}{dx} \right|^2 dx \geq 0,$$

откуда и получается «знаменитое»:

$$\overline{\Delta p_x^2} \cdot \overline{\Delta x^2} \geq \frac{\hbar^2}{4}.$$

Вывод принципа неопределенности в классическом варианте, без утомительных дискуссий о сверхновой идее. Так сказать, «сухой остаток». Здесь лишний раз появляется возможность подчеркнуть, что для вывода соотношения $\Delta p_x \Delta x \geq \frac{\hbar}{2}$ принципиально не требуется привлечения никаких специфических «атрибутов» квантовой механики, в частности, фотонов, постулатов Бора, матричной механики Гейзенберга, волновых уравнений Шредингера. Хотя желаящий, да не увидит, да не услышит, естественно сразу же указующим перстом уткнется в «квант действия» (?), в постоянную Планка \hbar . Однако проблема излучения абсолютно черного тела – это уже совсем-совсем другая проблема. Подискутировать-поподемизировать, конечно, полезно и даже нужно, но ни в коем случае попутно и мимоходом, а решать эту задачу лучше в специальных статьях и главах соответствующих учебников.

Казалось бы, подвергнуть нашу позицию остракизму не составило бы ни малейшего труда, однако это далеко не так. Дело в том, что в союзниках у нас числятся авторитетнейшие силы, например, в лице уже не раз упоминавшегося здесь всемирно признанного доктора натурфилософии Карла Поппера. Опровергнуть же точку зрения К. Р. Поппера мало кому удавалось, включая Эйнштейна, Бора и Гейзенберга.¹⁴ Обратимся к первоисточникам [31]: «Квантовая механика трактуется как последняя революция в физике, поскольку в ней были достигнуты имманентные границы знания. Таково реальное содержание соотношения неопределенностей.

Мой ответ: эти соотношения следует рассматривать всего лишь как соотношения рассеяния».

¹⁴ Весьма примечательна следующая сравнительная характеристика: «Эйнштейн никогда не рассматривал какую-либо из революций, которую он произвел, в качестве *последней*. Свою собственную фотонную теорию и необходимость использовать ее вместе с волновой теорией света, т.е. то, что потом было названо корпускулярно-волновым дуализмом, он трактовал как временную меру... Он трактовал свою специальную теорию относительности как неудовлетворительную (и вполне справедливо). Для этого у него были основания, в частности то, что она просто заменила абсолютное пространство абсолютным множеством инерциальных систем отсчета. Он называл общую теорию относительности эфемерной и с момента ее рождения и до конца своей жизни старался превзойти ее.

Другое дело – Бор и Гейзенберг. На Гейзенберга произвел грандиозное впечатление тот прорыв, который он произвел и который сопровождался у него интуитивным видением новой теории. Он заметил тогда для себя, что «важнейшим критерием истинности» является «простота законов природы, которая всегда светит нам в конце пути».

Я думаю, что это великое переживание, видение «светоносной простоты» стало решающим для Гейзенберга. Он ощутил, что «это было *оно*», это было окончание пути, конечная истина. И это заставляло его негодовать на тех, кто не признавал, что это действительно окончание пути (особенно он негодовал на Эйнштейна)».

И далее уже в отдельном параграфе «Неопределенность или рассеяние» К. Поппер подробно развивает свою точку зрения, в корне отличную от ортодоксальной интерпретации: «Мою точку зрения на так называемые соотношения неопределенностей Гейзенберга практически не изменило то обстоятельство, что я оставил частотную интерпретацию вероятности в пользу пропенситивной... Формулу $\Delta x \Delta p_x \geq \hbar \dots$ я по-прежнему рассматриваю как часть формализма, который нам следует интерпретировать, и по-прежнему интерпретирую ее как соотношение рассеивания... формула предсказывает, что будет наблюдаться реальное статистическое рассеивание, если мы повторяем рассматриваемый эксперимент много раз, всякий раз с единичной частицей».

Однако для Гейзенберга именно его интерпретация являла собой символ веры, так как только в таком случае декларация о том, что *«физика достигла конца своего пути»* обретала черты, с одной стороны, непревзойденной революции, а, с другой стороны, завершенности программы в физике. Если соглашаться с тезисом Гейзенберга, что *«истина о положении вещей в физике выводится из соотношений неопределенности»*, то легко можно было бы пройти, скажем, мимо ядерной физики, где возможен более глубокий уровень физической реальности.¹⁵

Подводя черту под данным анализом состояния физической науки и достижений физической мысли в XX веке, можно было бы завершить наше эссе крылатой фразой, приписываемой А. Эйнштейну: «Чем больших успехов добивается квантовая теория, тем бестолковее она выглядит»[51]. Однако сие легковесное высказывание принадлежит, увы, Эйнштейну молодому, а посему недопустимо в качестве «последнего слова», да и не вполне честно и объективно.

Итоговыми оценками могут быть только собственноручно письменно зафиксированные признания уже убежденного сединами мудрости и опыта мэтра физики. Их много [52]: «Своеобразие современной ситуации в квантовой механике состоит, по-моему, в том, что сомнениям подвергается не математический аппарат теории, а физическая интерпретация ее утверждений. Каково отношение Ψ -функции к конкретной единичной ситуации, т.е. к индивидуальному состоянию некоторой отдельно взятой системы? Иными словами: что говорит Ψ -функция об (индивидуальном) «реальном состоянии»?

Прежде всего можно усомниться в том, что такой вопрос вообще имеет какой-либо смысл. Действительно, можно встать на такую точку зрения: «реальное» есть только результат отдельного наблюдения, а не то, что

¹⁵ Поппер вспоминал: «Но не такова точка зрения Гейзенберга. Я провел вечер, беседуя с ним, когда он приезжал в Вену (кажется, это было в 1935 г.). В то время Гейзенберг полагал, что исследования в ядерной области не выведут квантовую механику на новый уровень глубины... Сегодня уже ясно, что те, кто не верил в тезис окончания пути, были правы... Более того, сейчас этот тезис выглядит настолько абсурдным, что, как я полагаю, сегодня мало кто из физиков вообще поверит в то, что он когда-то функционировал или, уж если и функционировал, то пользовался серьезным доверием».

объективно существует в пространстве и времени независимо от акта наблюдения.

Принимая эту чисто позитивистскую точку зрения, можно, очевидно, не думать о том, как понимать «реальное состояние» в рамках квантовой теории. Тогда попытки ответить на поставленный вопрос напоминают борьбу с призраками». Это из статьи «Элементарные соображения по поводу интерпретации основ квантовой механики» за 1953 год.

В 1948 году А. Эйнштейн пишет: «В этой статье я хочу кратко и элементарно изложить, почему я не считаю метод квантовой механики в принципе удовлетворительным. Однако в то же время я хочу заметить, что никоим образом не собираюсь отрицать того, что эта теория представляет выдающийся, в известном смысле даже окончательный, шаг в физическом познании. Мне представляется, что эта теория будет содержаться в более поздней примерно так, как *геометрическая оптика в волновой оптике*: связи останутся, но основа будет развита и, соответственно, заменена более широкой...

Если спросить, что характерно для мира физических идей, независимо от квантовой теории, то прежде всего бросается в глаза следующее: понятия физики относятся к реальному внешнему миру, т.е. они предполагают идеи о вещах, требующих независимого от воспринимающих субъектов «реального существования» (тела, поля и т.д.); эти идеи, с другой стороны, приводятся в возможно более верное соответствие с чувственными восприятиями. Характерным для этих физических объектов является, далее, то, что они мыслятся распределенными некоторым образом в пространственно-временном континууме...

Для относительной независимости пространственно отдаленных объектов (А и В) характерна следующая идея: внешнее влияние А не имеет никакого *непосредственного* влияния на В; это известно как «принцип близкодействия», который последовательно применяется только в теории поля. Полное упразднение этого основного положения сделало бы невозможной идею о существовании (квази-) замкнутых систем и вместе с тем установление эмпирически проверяемых законов в привычном для нас смысле... Я утверждаю, что квантовая механика в ее интерпретации не совместима с [таким] основным положением» [53].

Без особого труда находим у А. Эйнштейна еще более категорические оценки: «Очевидно, в прошлом никогда не была развита теория, которая, подобно квантовой, дала бы ключ к интерпретации и расчету группы столь разнообразных явлений. Несмотря на это, я все-таки думаю, что в наших поисках единого фундамента физики эта теория может привести нас к ошибке: она дает, по-моему, неполное представление о реальности... Неполнота представления является результатом статистической природы (неполноты) законов... Неужели какой-нибудь физик действительно верит, что нам не удастся узнать что-либо о важных внутренних изменениях в отдельных системах, об их структуре и причинных связях?.. Думать так

логически допустимо, но это настолько противоречит моему научному инстинкту, что я не могу отказаться от поисков более полной концепции...

Нет сомнения, что в квантовой механике имеется значительный элемент истины и что она станет пробным камнем для любой будущей теоретической основы, из которой она должна быть выведена как частный случай, подобно тому, как электростатика выводится из уравнений Максвелла для электромагнитного поля или термодинамика из классической механики. Однако я не думаю, что квантовая механика является исходной точкой поисков этой основы, точно так же, как нельзя, исходя из термодинамики (или соответственно из статистической механики), прийти к основам механики...

Если импульс и координаты частиц обладают объективной реальностью, то квантовомеханическое описание не является полным описанием... квантовая механика – это вторичная система по отношению к классической картине мира...

Некоторые физики, среди которых нахожусь и я сам, не могут поверить, что мы раз и навсегда должны отказаться от идеи прямого изображения физической реальности в пространстве и времени, или что мы должны согласиться с мнением, будто явление подобно игре случая...

Большие первоначальные успехи теории квантов не могли меня заставить поверить в лежащую в ее основе игру в кости... Физики считают меня старым глупцом, но я убежден, что в будущем развитие физики пойдет в другом направлении, чем до сих пор» [54].

Целесообразно ознакомиться с точкой зрения на проблемы современной физики и других видных теоретиков нашего времени, имея в виду XX столетие. Так, П. Дирак заключает [55]: «Современная квантовая механика – величайшее достижение, но вряд ли она будет существовать вечно... возврат к причинности может стать возможным лишь ценой отказа от какой-либо другой фундаментальной идеи, которую мы сейчас безоговорочно принимаем ... Современная квантовая теория прекрасно работает до тех пор, пока мы не требуем от нее слишком многого... Релятивистская квантовая теория как фундамент современной науки никуда не годится... Человек не чувствует себя удовлетворенным, если теория дает только вероятности».

Позиция «виновника» переворота в физике, Макса Планка, может быть обозначена как непоследовательная и противоречивая, меняющаяся от одного периода жизни к другому. «Сложилась беспримерная в истории науки ситуация: подарив миру обоюдоострую и чрезвычайно эффективную теорию, ее творец, устранившись масштаба последствий, начал всячески противодействовать тому, чтобы она укоренилась в науке» [56].

Вне всякого сомнения, консервативный профессор М. Планк выражал свою обеспокоенность: «Введение гипотезы квантов равносильно крушению классической теории, а не простому ее видоизменению, как в случае с теорией относительности. Конечно, если бы гипотеза квантов во всех вопросах действительно превосходила классическую теорию, либо *по меньшей мере* была бы ей равноценна, то ничто не мешало бы целиком

пожертвовать всей классической теорией; больше того, на эту жертву необходимо было бы решиться» [57].

В декабре 1929 г., когда, казалось бы, позиции квантовой механики уже основательно укрепились в научной среде, М. Планк в своей речи «О новой физике» констатировал: «Не будет преувеличением сказать, что по своей глубине и остроте, кризис, в котором находится сегодня физическое мировоззрение, превышает все предыдущие. Кризис углубляется еще тем, что он наступил в момент, когда казалось, что физическая наука достигла высшей степени совершенства» [58].

Малоизвестным остается признание Э. Шредингера: «Как бы то ни было, претензия заявлена. Новая наука самонадеянно присваивает себе право третировать все наше философское воззрение... Можно, конечно, считать, что в конце концов полный набор всех наблюдений, которые уже были сделаны и когда-либо еще будут сделаны, представляют собой реальность – единственный предмет, с которым имеет дело физическая наука... Однако подобное утверждение, высказанное по отношению ко всем наблюдениям, проведенным в рамках квантово-механической теории, не имеет разумного основания и не может претендовать на философскую серьезность... Я хочу ясно сказать, что отныне и впредь беру на себя ответственность за свое упрямство. Я иду против течения. Но направление потока изменится» [59].

Резкое неприятие ортодоксальной концепции квантовой механики обнаруживается в работах А. Ланде, относящихся уже к пятидесятым годам [31]: «Гейзенберг все еще оперирует с квантовыми мистериями, с тремя символами веры, как их называет Ланде [60], – дуализмом, неопределенностью и дополнительностью, а также с другими бесплатными приложениями к квантовым мистериям – такими, как слияние субъекта и объекта, переход возможного в действительное в результате измерения и квантовые скачки.

Среди предвосхитивших пропенситивную¹⁶ интерпретацию лишь Ланде попытался развить ее систематически и последовательно, чтобы с ее помощью развеять большинство знаменитых квантовых мистерий, приплюсованных к квантовой механике их создателями. Я полагаю, что приоритет в этой интерпретации принадлежит в значительной степени ему».

Приведем оценки классиков «квантовой немеханики» (термин принадлежит Д. Бому) еще более поздних времен, отстоящих от нас совсем недалеко. Академик И.Е. Тамм в 1967 г. писал: «*В последнее время у физиков становится все более явным ощущение, что мы находимся накануне фундаментальной революции в теории, которая приведет к не менее серьезному пересмотру представлений и понятий, чем это было сделано теорией относительности и квантовой теорией.*

Такое убеждение основывается на двух обстоятельствах. Прежде всего современное состояние релятивистской квантовой теории явно

¹⁶ От англ. *propensity* – склонность, наклонность к ч.-л. (to), расположение, пристрастие, тенденция.

неудовлетворительно. В этом она резко отличается от нерелятивистской квантовой теории, в которой речь идет о не очень больших скоростях и энергиях. Нерелятивистская квантовая теория – абсолютно прозрачная, последовательная, законченная теория, которая так же незыблема в своей области применимости, как для макроскопических явлений, не связанных с большими скоростями, незыблема теория Ньютона. Но, когда мы переходим к большим энергиям, к очень малым пространственным масштабам, оказывается, что современной теории уже недостаточно, что она внутренне непоследовательна.

Приведу пример. При вычислении в соответствии с релятивистской квантовой теорией любой конкретной величины, например, длины волны излучения или массы частицы, получается бесконечность, то есть абсурд. Правда, мы имеем весьма остроумный рецепт, как из бесконечности вычесть другую бесконечность, чтобы оставшаяся конечная разность их точно соответствовала эксперименту. И в ряде случаев действительно получается согласие с измерениями – с точностью до пяти знаков. Но, во-первых, это не универсальный способ: есть случаи, когда такие методы неприменимы, а во-вторых, в теорию приходится вводить принципиально ненаблюдаемые величины, и притом так, чтобы они не входили в конечный результат. Совершенно необходимо построение новой, последовательной теории, свободной от этих недостатков...

Вопрос о построении новой теории крайне актуален. В каком направлении пойдет ее развитие – пока совершенно неизвестно, поскольку выдвигается и исследуется очень много различных идей...

Мы не знаем, когда это произойдет, но, повторяю, необходимость в создании такой теории назрела» [61].

Однако, *audiatur et altera pars. Nunc et nunc.*¹⁷ Как известно, не был лишен склонности к философии Вернер Гейзенберг, как, впрочем, и любой другой значимый (или знаковый) представитель партии физиков-«квантовиков»:

«Таким образом, в XIX веке естествознание было заключено в строгие рамки, которые определяли не только облик естествознания, но и общие взгляды людей. Эти рамки во многом определялись основополагающими понятиями классической физики: такими, как пространство, время, материя и причинность. Понятие реальности относилось к вещам или процессам, которые мы воспринимаем нашими чувствами или которые могут наблюдаться с помощью усовершенствованных приборов, представленных техникой. Материя являлась первичной реальностью. Прогресс науки проявлялся в завоевании материального мира. Польза была знаменем времени.

С другой стороны, эти рамки были настолько узкими и неподвижными, что трудно было найти в них место для многих понятий нашего языка, например

¹⁷ Пусть будет выслушана и другая сторона. Здесь и теперь (лат.).

понятий духа, человеческой души или жизни. Дух включался в общую картину только как своего рода зеркало материального мира...

Особенно трудно было найти место в этой системе знания для тех сторон реальности, которые составляли предмет религии и которые теперь представляются более или менее иллюзией... Эта вера в научный метод и рациональное мышление заменили все другие гарантии человеческого духа.

Если теперь возвратиться к вопросу, что внесла в этот процесс физика нашего века, то можно сказать, что важнейшее изменение, которое было обусловлено ее результатами, состоит в разрушении неподвижной системы понятий XIX века.

Это разрушение совершилось путем двух самостоятельных шагов. Первым шагом является открытие, происшедшее в связи с теорией относительности... Вторым шагом явилось разъяснение понятия материи, которое было вызвано результатами экспериментов по изучению строения атома. Идея реальности материи, вероятно, являлась самой сильной стороной жесткой системы понятий XIX века; эта идея в связи с новым опытом по меньшей мере должна была быть модифицирована...

Следует признать, что на основе открытий современной физики наша позиция относительно таких понятий, как Бог, человеческая душа, жизнь, должна отличаться от позиции XIX века, так как эти понятия принадлежат именно к естественному языку и потому непосредственно связаны с реальностью.

Вероятно, легче привыкнуть к понятию реальности в квантовой теории лишь в том случае, если не следовать наивному материалистическому образу мыслей, господствовавшему в Европе в первые десятилетия нашего века» [62].

И, наконец, Артур Стенли Эддингтон, «вдохнувший» жизнь в общую теорию относительности¹⁸ своим знаменитым экспериментом в 1919 году: «...доводы современной науки дают, быть может, возможность сделать заключение, что религия стала приемлемой для здравого научного ума, начиная с 1927 г.» [63].

РЕЗЮМЕ:

1. XX век – век атомной физики, физики микромира.
2. Под напором экспериментальных исследований, требующих сиюминутного решения теоретических проблем, классическая физика «выбрасывает белый флаг».
3. В качестве доминанты теоретической физической мысли утверждается квантовая механика.
4. Квантовая механика как метафизическая доктрина неуязвима для критики внутри себя, так как представляет собой внутренне

¹⁸ Тем не менее, людская молва приписывает Эддингтону оценку теории относительности, данную им уже на склоне лет, – «красивый, но бесполезный цветок».

непротиворечивую, внутренне самосогласованную и самодостаточную теорию.

5. Впервые в истории естественных наук открыто провозглашаются в лице квантовой механики принципы формальной (математической) описательности и отказ от физического моделирования объектов и явлений.
6. Краеугольным камнем квантовой механики утверждается идея об интерференции состояний (амплитуд вероятностей) в пику аддитивности вероятностей для классических распределений.
7. Материализм (и атеизм) в физике подвергнут сомнению до такой степени, что всерьез рассматриваются полный отказ от материализма (П. Иордан), отказ от причинности (Н. Бор), возврат к религиозному духу (М. Планк, В. Гейзенберг, В. Паули).
8. К «достижениям» квантовой механики следует причислить полное «размытие» понятия микрочастицы, почти полное нивелирование понятий частица и волна. Как результат: «частица» уже чаще рассматривается не иначе как «волна», а «волна» - это уже «квант, фотон, частица». Такая мешанина в осмыслении основных категорий – театр абсурда физических явлений и объектов, *ad absurdum*.
9. *Ad absurdum* – это когда в обоснование каждого проблемного явления можно предложить новый квантовый объект, существование которого либо вообще не подтверждается экспериментально, либо находит подтверждение в очень сомнительных формах, например, нейтрино, кварки, глюоны, виртуальные фотоны, тахионы, гравитоны, фридмоны, струны и суперструны. Где самодостаточным понятием заряда объявляется квантовое число, где самодостаточным понятием силового поля объявляется пространство, описываемое математическими числовыми функциями и «населенное» операторами рождения и уничтожения то ли псевдочастиц, то ли квазичастиц. Это когда из бесконечности вычитается бесконечность и в результате получается число с точностью до пятого знака после запятой. Это когда физический процесс находит «объяснение» в наборе «остроумных» терминов, достойных лучшего применения, типа «цвет, аромат, очарование» и т.д. Это когда набор постулатов и формул может быть объявлен «объяснением» или «истиной» в последней инстанции.
10. Квантовая механика – классический, характерный образец теории-вампира, длительное существование которой возможно лишь за счет угнетения и агрессивного уничтожения любой альтернативной идеи. При необходимости самозащиты на свет божий извлекаются фокусы-покусы из арсенала по «промывке мозгов» – обструкция, остракизм, академическая (считай, государственная) цензура и где-то даже административный ресурс. Так достигается всеобщее согласие или, по крайней мере, умолчание.
11. Квантовая теория практически не подвержена критике не только по причинам, отмеченным выше, но еще и потому, что разрослась до

какой-то необозримой масштабности. Подобный прецедент в физхимии – это теория флогистона, которую предложил на рубеже XVII и XVIII веков Георг Эрнст Сталь. Новоявленная «заумь» никакой конструктивной критике не поддавалась. Почти столетие спустя Антуану Лавуазье, опираясь на свои научные открытия, удалось «похоронить» флогистон [64]. Возможно, что в настоящее время существует единственный путь – это построение совершенно независимой интерпретации атомной физики, основанной не на математическом формализме, а на физическом моделировании явлений. Время покажет. А иначе *vae victis*...¹⁹

Библиографический список

1. Фейнман Р., Лэйтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 3. Излучение. Волны. Кванты. – М.: Мир, 1965. С. 110-115.
2. Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1965. Т.1, с. 138-164. *Principe de relativité et ses conséquences dans la physique moderne. Arch. sci. phys. Natur.,ser.4, 1910, 29, 5-28, 125-144.*
3. Эйнштейн А. Эфир и теория относительности. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1965. Т.1, с. 682-689. *Ather und Relativitätstheorie. Verlag von Julius Springer. Berlin, 1920.* (Речь, произнесенная 5 мая 1920 г. в Лейденском университете по поводу избрания Эйнштейна почетным профессором этого университета).
4. Эйнштейн А. Об эфире. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1965. Т. 2, с. 154-160. *Über den Äther. Schweiz. naturforsch. Gesellschaft, Verhandlungen, 105, 1924, 85-93.*
5. Эйнштейн А. Памяти Пауля Эренфеста. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1967. Т. 4, с. 190-192. *Nachruf Paul Ehrenfest. В кн.: «Almanak van het Leidsche Studencorps». Leiden – Doesburg, 1934.*
6. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. – М.: Высшая школа, 1963. - 620 с.

¹⁹ Горе побежденным (лат.).

7. Эйнштейн А. Замечания о новой постановке проблем в теоретической физике. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1967. Т. 4, с. 167-169. *Bemerkungen über den Wandel der Problemstellungen in der theoretischen Physik.* В кн.: «Emmanuel Libman Anniversary Volumes», v. 1, Intern. Press. New York, 1932, 363-364.
8. Лоренц Х.А. Старые и новые проблемы физики. – М.: Наука, 1970. С. 98-99.
9. Высокотемпературные сверхпроводники. Пер. с англ. / Под ред. Д. Нелсона, М. Уиттингема, Т. Джорджа. – М.: Мир, 1988.
10. Кляус Е.М., Франкфурт У.И. Макс Планк (1858- 1947). – М.: Наука, 1980. - 392 с. С.151.
Гейзенберг В. Философские проблемы атомной физики. – М.: Издательство иностранной литературы, 1953, с. 117.
11. Эйнштейн А., Подольский Б., Розен Н. Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным? Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1966. Т. 3, с. 604-611.
Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be considered complete? (With B. Podolsky and N. Rosen). *Phys. Rev.*, 1935, 47, 777-780.
Статья напечатана также в журнале «Успехи физических наук», 16, 1936, стр. 440.
12. Бор Н. Дискуссии с Эйнштейном о проблемах теории познания в атомной физике (1949 г.) В кн.: «Атомная физика и человеческое познание». – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. С. 51-94.
Статья для книги «Альберт Эйнштейн, философ-ученый». Библиотека современных философов. Т. 7, 1949, стр. 199.
(Albert Einstein, *Philosopher-Scientist*, Library of Living Philosophers, Evanston Illinois, 1949.)
Статья напечатана также в журнале «Успехи физических наук», 66, вып. 4, 1958, стр.571.
13. P. Jordan, *Physics of 20th century*, Phil. Library, New York, 1944.
14. N. Bohr, *Atomtheorie und Naturbeschreibung*, J. Springer, Berlin, 1931.
15. Бом Д. Квантовая теория. – М.: Изд-во «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1965. - 727 с.
16. Бор Н. Квантовая физика и философия. В кн.: «Атомная физика и человеческое познание». – М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. С. 139-147.

Статья напечатана также в журнале «Успехи физических наук», 67, вып. 1, 37 (1959).

17. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, 1983.
18. Пуанкаре А. Измерение времени. В кн.: «Принцип относительности. Сборник работ по специальной теории относительности». Составитель А.А. Тяпкин. – М.: Атомиздат, 1973. -332 с. С. 12-21.
Статья из журнала «Revue de Métaphysique et de Morale» (1898, Т. VI, р. 1-13). – Перевод с франц. И.С. Зарубиной.
19. Физика. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – 4-е изд. - М.: Большая российская энциклопедия, 1998. – 944 с. С. 474-475.
20. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика. Т. III. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963. 702 с.
21. Фейнман Р., Лэйтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Вып. 8. Квантовая механика (I). – М.: Мир, 1966.
22. Тригг Дж. Л. Решающие эксперименты в современной физике. – М.: Издательство «Мир», 1974, 160 с. С. 153-154.
23. Davisson C.J., Germer L.H., The Physical Review, 30, 705-740 (1927).
24. Бом Д. О возможности интерпретации квантовой теории на основе представления о «скрытых» параметрах, ст. 1. В кн.: «Вопросы причинности в квантовой механике»/Под ред. Я.П. Терлецкого и А.А. Гусева. – М.: Издательство иностранной литературы, 1955, 334с. С. 34-64.
Bohm D., Phys. Rev., 85, 166 (1952).
25. Иоффе А.Ф. О физике и физиках. Л.: Наука, 1977, 260 с. С. 21-22.
Статья «Новые пути научной мысли в области физики» опубликована также в сб.: Научно-технический вестник, т. 1, № 3, с. 1-3, 1921.
26. Кортон В.С., Слесарев А.И., Рогов Б.В. Экзоэмиссионный контроль поверхностей деталей после обработки. – Киев: Наукова думка, 1986, 176 с.
27. Бом Д. О возможности интерпретации квантовой теории на основе представления о «скрытых» параметрах, ст. 2. В кн.: «Вопросы причинности в квантовой механике»/ Под ред. Я.П. Терлецкого и А.А. Гусева. – М.: Издательство иностранной литературы, 1955, 334с. С. 84-85.
Bohm D., Phys. Rev., 85, 180 (1952).

28. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы: Учеб. пособие для вузов. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002, 272 с.
29. Луи де Бройль. Революция в физике. Новая физика и кванты. – М.: Атомиздат, 1965, 232с. С. 182-186.
30. Луи де Бройль. Останется ли квантовая физика индетерминистической? В кн.: «Вопросы причинности в квантовой механике»/ Под ред. Я.П. Терлецкого и А.А. Гусева. – М.: Издательство иностранной литературы, 1955, 334с. С. 11-33.
Louis de Broglie. La physique quantique restera-t-elle indéterministe? Paris, 1953, p. V-VII, 1-22.
31. Поппер К.Р. Квантовая теория и раскол в физике. Из «Постскриптума» к «Логике научного открытия»/Пер. с англ., комментарии, послесловие А.А. Печенкина. – М.: Издательская корпорация «Логос», 1998. 192 с.
32. Фейнман Р. Характер физических законов: Пер. с англ. – 2-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 160 с.
33. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. Развитие идей от первоначальных понятий до теории относительности и квантов. Пер. с англ. и послесл. С.Г. Суворова. Изд. 3-е, испр. – М.: Наука, 1965. – 327 с.
Einstein A., Infeld L. The Evolution of Physics. – N. Y.: Simon and Schuster, 1938.
34. Ирхин В.Ю., Кацнельсон М.И. Уставы небес: 16 глав о науке и вере. – Екатеринбург: У-Фактория, 2000. – 512 с.
35. Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.Ч. Квантовая механика. – М.: Наука, 1979. – 528 с.
36. Вассэль Ж. Так называемый индетерминизм в атомной физике. В кн.: «Вопросы причинности в квантовой механике»/ Под ред. Я.П. Терлецкого и А.А. Гусева. М.: Издательство иностранной литературы, 1955, 334с. С. 134.
Vassails G. Le soi-disant indéterminisme en physique atomique, Paris, 1951. Лекция, прочитанная на конференции в Сорбонне 23 января 1951 года, которая происходила под председательством профессора Музея естественной истории, генерального секретаря Союза рационалистов Ж. Орсея.
37. Ibid., с. 131-132.

38. Шаляпин А.Л. Термодинамика и механизм излучения абсолютно черного тела/Урал. политех. ин-т. Свердловск, 1986. Деп. в ВИНТИ. 1986. N 3618 – В 86.
39. Шаляпин А.Л., Лукичев А.А. Анализ уравнений движения электронов в электромагнитном поле/ Урал. политех. ин-т. Свердловск, 1985. Деп. в ВИНТИ. 1985. N 3004 – В 85.
40. Шаляпин А.Л. О природе дефекта масс связанных частиц и релятивистском движении/ Урал. политех. ин-т. Свердловск, 1986. Деп. в ВИНТИ. 1986. N 8246 – В 86.
41. Шаляпин А.Л. Анализ движения атомной системы и классический вывод уравнения Шредингера/ Урал. политех. ин-т. Свердловск, 1988. Деп. в ВИНТИ. 1988. N 3540 – В 88.
42. Шаляпин А.Л. О динамике частиц и механизме формирования электромагнитных полей/ Урал. политех. ин-т. Свердловск, 1989. Деп. в ВИНТИ. 1989. N 118 – В 89.
43. Шаляпин А.Л. Классический вывод и анализ уравнения Шредингера. I научно-техническая конференция физико-технического факультета 13 – 15 мая 1994 г. Тезисы докладов УГТУ-УПИ. Екатеринбург, 1994. С. 143-144.
44. Шаляпин А.Л., Зуев М.Г. Неквантовый механизм формирования атомных и молекулярных орбиталей и функции распределения электронной плотности в оксидных материалах. Всероссийская конференция «Химия твердого тела и новые материалы». Тезисы докл. Октябрь, 1996. ИХТТ УрО РАН. Екатеринбург, 1996. С. 326.
45. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. К вопросу о применимости метода Фурье в дифракционных моделях/УГТУ-УПИ. Екатеринбург, 1996. Деп. в ВИНТИ, 1996. N 2693 – В 96.
46. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. Введение в классическую электродинамику и атомную физику. Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 1999. 194 с.
47. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. О некоторых принципиальных предпосылках феноменологических теорий сверхпроводимости для материалов ВТСП. XXXIII Всероссийское совещание по физике низких температур. Тезисы докладов «Сверхпроводимость, Наноструктуры и низкоразмерные системы». 17 – 20 июня 2003 г. УрО РАН, Екатеринбург, с. 88 – 89.

48. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. Анализ механизма магнитных взаимодействий с привлечением акустической модели квазиупругого физического вакуума – I. II – Байкальская международная конференция «Магнитные материалы», 19 – 22 сентября 2003 г. Тезисы докладов. Иркутск, Иркутский государственный педагогический университет, Иркутский государственный университет, 175 с. С. 166 – 167.
49. Шаляпин А.Л., Стукалов В.И. Анализ механизма магнитных взаимодействий с привлечением акустической модели квазиупругого физического вакуума – II. Сборник трудов XIX международной школы-семинара «Новые магнитные материалы микроэлектроники», 28 июня – 2 июля 2004 г. Москва, изд-во физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. – 920 с. С. 76.
50. Стукалов В.И., Шаляпин А.Л. Некоторые эпистемологические и дидактические аспекты теории относительности, сопутствующие анализу группы Лоренца. Физика в системе современного образования (ФССО-05). Материалы восьмой международной конференции, 29 мая – 3 июня 2005 г. Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2005. – 704 стр. С. 116 – 119.
51. Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна: Пер. с англ./Под ред. акад. А.А. Логунова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 568 с.
52. Эйнштейн А. Элементарные соображения по поводу интерпретации основ квантовой механики. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1966. Т. 3, с. 617-622.
53. Эйнштейн А. Квантовая механика и действительность. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1966. Т. 3, с. 612-616.
54. Эйнштейн А. Физика и реальность. – М.: Наука, 1965. – 360 с.
Эйнштейн А. Физика и реальность. Собр. науч. трудов в 4-х томах. – М.: Наука, 1967. Т. 4, с. 200-227.
Physik und Realität. Journal Franklin Institut, 1936, 221, 313-347 (немецкий текст) и 349-382 (английский текст). Немецкий текст также воспроизведен в «Zs. für freie deutsche Forschung», т. 1, 1938, №1, р. 5-19; №2, р. 1-14. Paris.
55. Дирак П. Пути физики. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
56. Кляус Е.М., Франкфурт У.И. Макс Планк (1858 - 1947). – М.: Наука, 1980. – 392 с. С.85.

57. Кляус Е.М., Франкфурт У.И. Макс Планк (1858 - 1947). – М.: Наука, 1980. – 392 с. С.86.
Планк М. Физическая закономерность в свете новых исследований. – Успехи физических наук, 1926, т. 6, вып. 3, с. 194.
58. Ibid., с. 154.
59. Шредингер Э. Избранные труды по квантовой механике. С. 295.
60. Lande A. The Logic of Quanta//British Journal for the Philosophy of Science. 1956. № 6. P. 301.
61. Тамм И.Е. На пороге новой теории. – Наука и жизнь, 1967, №1, с. 7-15.
62. Гейзенберг В. Физика и философия. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 204 с. С. 168-172.
63. Эддингтон А.С. Природа физического мира.
64. Самин Д.К. Сто великих научных открытий. – М.: Вече, 2002. – 480 с. С. 35 – 39.