

К столетнему юбилею квантовой теории (несколько замечаний) ^{*)}

В.Л.Гинзбург

14 декабря 1900 г. Макс Планк сделал в Берлине доклад «К теории распределения энергии излучения нормального спектра», который обоснованно считается актом рождения квантовой теории. В настоящее время, через сто лет, квантовая теория (и особенно ее нерелятивистский вариант – квантовая механика) лежит в фундаменте всего естествознания. Квантовая механика представляет собой, как известно, обобщение классической (ньютоновской) механики на область атомных (микроскопических) явлений. Другое, второе великое обобщение классической механики, в этом случае на область движений с большими скоростями - это теория относительности. При этом релятивистская теория гравитации и, в частности, ее простейший вариант – общая теория относительности Эйнштейна (ОТО) является неквантовой теорией, т.е. не учитывает квантовых эффектов. Обобщение ОТО (или, возможно, более общей классической релятивистской теории гравитации) на квантовую область является важнейшей, быть может главной задачей современной теоретической физики. Эта проблема осознана уже довольно давно, но попытки ее решить в прошлом веке не увенчались успехом – она «перешла» на новое столетие. Квантовое обобщение ОТО очевидным образом необходимо для исследования космологических вопросов и, вообще, областей пространства-времени вблизи сингулярностей, присутствующих в ОТО (помимо космологической сингулярности речь идет о черных дырах и некоторых топологических «дефектах»). Впрочем, область сверхсильных гравитационных полей представляет актуальный интерес и в теории

^{*)} Статья для сборника «100 лет квантовой теории (история, физика, философия)».

элементарных частиц (или, по другой терминологии, для физики высоких энергий). Один из наиболее популярных в настоящее время путей анализа квантовой теории гравитации - это теория суперструн. Но, несмотря на уже два-три десятилетия исследований, решающих успехов в этом направлении достичь еще не удалось. Когда такой успех придет, конечно, не известно – мы имеем здесь дело со сложнейшей проблемой, быть может центральной в физике XXI-го века.

Конференция «100 лет квантовой теории (история, физика, философия)» послужила поводом для обсуждения пути развития квантовой теории, в частности, ее будущего. Основное внимание было, однако, привлечено к историческим и философским вопросам. Особое место здесь занимает обсуждение интерпретации нерелятивистской квантовой механики. Содержание конференции отражено в настоящем сборнике ее трудов.

По предложению Оргкомитета конференции я выступал на ее первом и заключительном заседаниях, но речь шла лишь о некоторых замечаниях. Никакой претензии сделать общее введение и подвести итоги работы у меня не было. То же относится и к настоящему тексту, причем это в известной мере принципиальная позиция. Времена идеологического (да и всякого иного) диктата и цензуры, характерных для советского режима, прошли и, будем надеяться, навсегда. Естествоиспытатели и философы должны иметь и сейчас фактически имеют право свободно высказывать свое мнение без необходимости следовать ограничениям типа обязательной приверженности диалектическому материализму или какой-либо иной философской позиции. К сожалению, свободой слова у нас сейчас злоупотребляют, в результате чего публикуется немало явно лженаучной литературы. Перед редколлегией настоящего сборника (я в нее не вхожу) в этом отношении стояла нелегкая задача. Впрочем, лучше уж пропустить

нечто весьма сомнительное, чем проявить излишнюю строгость и заглушить ростки чего-то интересного.

Переходя к конкретным замечаниям, раньше всего хочу отметить высокий уровень освещения в СССР истории физики. Особенно ярко это проявилось в издании фундаментальной серии книг «Классики науки», основанной С.И.Вавиловым. К этой серии принадлежат и «Избранные труды» М.Планка [1]. Это то, что называется «академическое издание», в томе 788 страниц и помимо научных работ, статей и речей М.Планка, помещен ряд приложений. Среди последних нужно отметить большую статью Л.С.Полака «М.Планк и возникновение квантовой физики». Еще раньше вышел сборник статей М.Планка «Единство физической картины мира» [2], также снабженный биографической статьей (ее автор Е.М.Кляус). Из изданных у нас книг, посвященных истории создания и развития квантовой теории, упомяну «У истоков квантовой теории» У.И.Франкфурта и А.М.Френка [3], а также перевод книги М.Джеммера «Эволюция понятий квантовой механики» [4] и книжки М.Клейн «В поисках» [5]. Из иностранных книг хотелось бы отметить небольшую книжку Д.Тер Хаара “The Old Quantum Theory” [6], содержащую в виде приложений (точнее, это основная часть книги) пионерские работы М.Планка, А.Эйнштейна, Э.Резерфорда, Н.Бора, Дж.Франка-Г.Герца и В.Паули. Такая форма публикаций (общее введение и приложение оригинальных работ) представляется мне особенно эффективной и полезной. Разумеется, в книгах [1] и [6] содержится и доклад М.Планка от 14 декабря 1900 г., юбилей которого мы отмечаем.

Было бы неуместно, если бы я пустился здесь в пересказ разнообразного материала, содержащегося как в упомянутых [1-6], так и в многочисленных других источниках. Поэтому сделаю лишь несколько разрозненных замечаний.

В статьях некоторых физиков, не говоря уже о популяризаторах (журналистах), все еще приходится сталкиваться с утверждениями чуть ли не о «конце» физики. Имеется в виду мнение о том, что почти все вопросы решены, еще немного и будет создана «теория всего» (“Theory of Everything”). На самом же деле фундаментальных вопросов в физике осталось отнюдь не меньше, чем в прошлом. Другое дело, что эти вопросы (например, почему мю-лептон в 207 раз тяжелее электрона и позитрона или почему существует лишь три типа заряженных лептонов), вообще говоря, не имеют значения для биологии, химии и т.д. Раньше же фундаментальные вопросы, стоявшие перед физикой (строение атомов и их ядер) имели определяющее значение для всего естествознания. Не буду здесь развивать эту тему (см., например, ряд статей в сборнике [7]). Она упомянута лишь потому, что излагаемая ниже история, имевшая место с М.Планком, является прямо классическим примером слепоты, проявляемой иногда учеными мужами. Так, М.Планк (1858-1947) примерно в двадцатилетнем возрасте (т.е. году так в 1880) *) обратился к одному почтенному профессору с вопросом, стоит ли ему заниматься физикой. А тот ответил: «Молодой человек, зачем вы хотите испортить себе жизнь? Ведь теоретическая физика уже закончена, дифференциальные уравнения решены, остается рассмотреть отдельные частные случаи... Стоит ли браться за такое бесперспективное дело?» (см. [2], с.250). А было это даже до открытия рентгеновских лучей и радиоактивности, не говоря уже о теории относительности и квантовой теории. Я убежден в том, что современные

*) В статье [25] этот разговор отнесен к 1874 г. Автор статьи [25] - активно работающий физик, и я рад констатировать, что некоторые его замечания во многом близки к моим. Статьи [25,26] посвящены юбилею квантовой теории. При этом в [26] речь идет о проблеме квантового обобщения ОТО.

«пророки», предсказывающие конец физики, не так уж сильно отличаются от процитированного профессора.

В литературе не раз подчеркивался известный консерватизм Планка, в частности, по сравнению с Эйнштейном. А в более поздние времена (собственно, и до сих пор) упоминается о консерватизме Эйнштейна по сравнению с Бором, ибо Эйнштейн якобы «не понимал» квантовую механику. В действительности введение Эйнштейном в 1905г. представления о световых квантах (фотонах) было еще более революционным, чем квантование энергии, осуществленное Планком в 1900 г. И Планк даже в 1909 г. и несколько позже «не верил в реальность световых квантов» (см., например, [2], с.256). А Бор «не понимал», а правильнее сказать, конечно, не считал достаточно плодотворным представление о световых квантах даже в 1922 г. (!). Так, в своей Нобелевской лекции в этом году он говорил: «Гипотеза о световых квантах... не может пролить свет на природу излучения» ([8], с.233), Только в 1923 г., а с большей полнотой в 1925 г., после опытов А.Комптона (имеются в виду наблюдения Комптон-эффекта) стало ясно, что законы сохранения энергии и импульса с участием фотонов строго справедливы. Бор же, совместно с Крамерсом и Слетером, в опубликованной в 1924 г. статье пытался отказаться от законов сохранения в индивидуальных процессах, видимо, чтобы «избавиться» от фотонов. Я здесь вовсе, конечно, не критикую подлинно великих людей – Эйнштейна, Бора и Планка. Они столкнулись с очень необычной и глубокой проблемой корпускулярно-волнового дуализма и видели соответствующие трудности, давали им различные оценки. Адресованные Планку и Эйнштейну упреки в консерватизме представляются, в свете сказанного, легковесными. В оценке роли гипотезы о фотонах явно ближе к истине был Эйнштейн, чем Бор. Далее, Эйнштейн первым поддержал ДеБройля ([8], с.239) и в известной

мере был его предтечей (см., например, [8]). При интерпретации же квантовой механики говорить, что Эйнштейн «ее не понимал» представляется мне просто пошлым. В спорах Бора с Эйнштейном речь шла в первую очередь о гносеологических вопросах, о методологии физики. Грубо говоря, Эйнштейн считал вероятностное описание, присущее квантовой механике, неполным (отсюда известное его изречение: «Бог не играет в кости»), и в этой связи считал квантовомеханическое описание недостаточным. Или, другими словами, отводил квантовой механике роль, аналогичную статистической механике, за которой скрывается детерминированная классическая механика. Наиболее полное и, вместе с тем, по сути дела, последнее отражение в печати ^{*}, эта точка зрения нашла в статье Эйнштейна, Подольского и Розена, опубликованной в 1935 г. [9]. Дальнейшая дискуссия явно показала, что эта статья ЭПР ни в какой мере не дискредитировала квантовую механику, а только способствовала ее лучшему пониманию. Что же касается попыток выйти за пределы нерелятивистской квантовой механики в области ее применимости (т.е. без учета релятивистских и радиационных эффектов) путем введения каких-то «скрытых параметров», то они (по крайней мере, до сих пор) не привели абсолютно ни к каким положительным результатам. Подобным результатом и, конечно, подлинным успехом мог бы быть выход за пределы вероятностных предсказаний. Конкретно, в опытах по диффракции электронов квантовая механика предсказывает вероятность (она равна $\frac{1}{N}$) попадания электрона в точку (x, y) на экране (скажем, фотопластинке), стоящем за диффракционной решеткой. В классической же физике можно было бы, в принципе, указать с

^{*} Здесь имеются в виду публикации самого Эйнштейна. Сама же статья [9] до сих пор упоминается в огромном числе статей (см. [10] и указанную там литературу).

достоверностью точку попадания каждого электрона. К такому идеалу и стремятся, по сути дела, все критики квантовой механики, предсказывающей лишь вероятность попадания в ту или иную точку экрана. Конечно, если бы электрон (или другая микрочастица) представлял собой некий маленький «шарик», движущийся по определенной траектории, то полная теория должна была бы предсказывать, в какую именно точку на экране попадает каждый электрон. Однако сам факт диффракции электронов ^{*)} является ярким проявлением корпускулярно-волнового дуализма, свидетельствует о том, что электрон не подобен маленькому шарикю. Здесь, разумеется, не место подробнее освещать эту хорошо известную аргументацию. Она ясно свидетельствует о том, что вероятностный элемент в квантовой механике отражает тот реальный факт, что микрообъекты (электроны и т.д.) - это не микрошарики. Хорошо известно и то обстоятельство, что квантовая механика вовсе не противоречит принципу причинности (не буду повторять здесь соответствующие общеизвестные аргументы, ибо даже мне приходилось еще 40 лет назад их приводить; см. [7], с.426).

К истории создания квантовой механики я могу сообщить лишь об одном, быть может неизвестном свидетельстве. Именно, известный физик Феликс Блох (1905-1983), работавший вместе с Бором и Гейзенбергом (кажется, он был первым ассистентом Гейзенберга), рассказывал мне, что соотношение неопределенности, по его мнению, принадлежит не Гейзенбергу, а Бору. Сам Гейзенберг, по словам Блоха, признавал это в разговоре с ним, заявив что-то в таком роде: Бор выражается туманно, вот я и написал это в более понятном виде

^{*)} Стоит подчеркнуть, что на эксперименте диффракция электронов была обнаружена лишь в 1927 г., т.е. уже после создания квантовой механики как в матричной (1925 г.), так и в «волновой» форме (т.е. с введением - функции) в 1926 г. (подробнее см. [4,8]).

(сказанное я уже сообщал в [7], с.374, но не указал фамилии Блоха). Прав ли Блох? Замечу лишь, что из хорошо документированной книги А.Пайса [8] это прямо не следует, хотя и не исключено.

Стандартная или копенгагенская, как чаще говорят, интерпретация квантовой механики ни в какой мере не противоречит материалистическому мировоззрению или, если угодно, вовсе не свидетельствует о торжестве позитивистской философии, как иногда утверждалось в литературе. Существенно, что это подчеркивает и Гейзенберг (см. [11], с.88, где говорится: «... копенгагенская интерпретация квантовой теории никоим образом не является позитивистской»). В советские времена (подумать только, менее лет 15-ти назад!) считалось обязательным ссылаться на позицию диалектического материализма. Сегодня упоминаний о диамате мне совсем не приходится видеть. Это понятно, ибо диамат был одним из краеугольных камней в официальной идеологии коммунистическо-большевистского режима, установившегося в России после октябрьского переворота 1917 г. Мое отношение к этому режиму ясно уже из предыдущей фразы и я об этом уже неоднократно писал (см. [12,13]). Здесь же пишу для того, чтобы вместе с тем защитить диалектический материализм и атеизм. Совершенно абсурдно отказываться от диамата и атеизма только на том основании, что эта идеология разделялась большевиками. Это такая же «логика» как, скажем, попытка ниспровергать христианство, ссылаясь на зверства инквизиции или преследования старообрядцев. Аналогично, недопустимо отождествлять атеистов с так называемыми воинствующими безбожниками, поддерживавшимися большевиками и по сути дела отрицавшими свободу совести. Между тем, возрождение омерзительного клерикализма в России, свидетелями чего мы являемся, в значительной

мере обусловлено реакцией ^{*)} на антирелигиозные бесчинства, кульминацией которых явился взрыв Храма Христа Спасителя в Москве. Разумеется, я как был убежденным атеистом, так им и остался [14]. Сложнее обстоит дело с диалектическим материализмом, ибо нужно еще уточнить это понятие. Определения, которые мне встречались в энциклопедиях советского периода, не представляются приемлемыми. Что сейчас называют диаматом наши философы, не знаю. Я придерживаюсь определения, предложенного Е.Л.Фейнбергом [15]: «Материализм диалектический (признающий правомочность интуитивного суждения наряду с дискурсией, логикой)». Насколько могу судить, новым здесь является важное подчеркивание роли «интуитивных суждений», т.е. суждений, которые не могут быть доказаны или опровергнуты. Раньше же многие, я во всяком случае, просто имели в виду сочетание материализма с диалектической логикой. Конечно, уже сама эта логика, как мне кажется, предполагает возможность свободы выбора и дискуссий. Но в условиях тоталитарной системы ни о какой свободе дискуссий не было речи, их подменял догматизм, достигший крайних пределов у невежественных проходимцев типа Презента и Митина. Любопытно, что ситуацию, царившую в СССР, особенно в биологии, можно лишь с заменой некоторых слов охарактеризовать утверждениями великого Галилея (речь идет об его послании герцогине Лотарингской):

«Профессора-богословы не должны присваивать себе права регулировать своими декретами такие профессии, которые не подлежат

^{*)} Разумеется, сказанное относится к малообразованной части населения. Значительная же часть интеллигенции (или, правильнее сказать, так называемой интеллигенции) демонстрирует псевдорелигиозность, навесив крестик, из конъюнктурных соображений или просто следуя моде.

их ведению, ибо нельзя навязывать естествоиспытателю мнения о явлениях природы... Мы проповедуем новое учение не для того, чтобы посеять смуту в умах, а для того, чтобы их просветить; не для того, чтобы разрушить науку, а чтобы ее прочно обосновать. Наши же противники называют ложным и еретическим все то, что они не могут опровергнуть. Эти ханжи делают себе щит из лицемерного религиозного рвения и унижают Священное писание, пользуясь им как орудием для достижения своих личных целей... Предписывать самим профессорам астрономии, чтобы они своими силами искали защиты против их же собственных наблюдений и выводов, как если бы все это были один обман и софистика, означало бы предъявлять к ним требования более чем невыполнимые; это было бы все равно, что приказывать им не видеть того, что они видят, не понимать того, что им понятно, и из их исследований выводить как раз обратное тому, что для них очевидно».

Как сказано, замените здесь «профессоров-богословов» на уже упомянутых Презента, Митина и им подобных, а священное писание на диамат или цитаты из изречений «корифея всех наук» товарища Сталина, и вы получите картину гонений на научную биологию, кибернетику, космологию и т.д. В этом, очевидно, виноват большевистский тоталитаризм, а не диалектический материализм.

Недавно была опубликована [16] история «проработки» в Горьковском университете в 1950-1952 гг. Г.С.Горелика за мнимые ошибки в его книге «Колебания и волны». Г.С.Горелика совершенно безосновательно обвиняли в идеализме. Я был среди тех, к сожалению, немногих, кто его защищал в университетской газете «За сталинскую науку» от 14 марта 1952 г. Авторы [16] цитируют мой вывод: «Я считаю, что эта книга не дает оснований обвинять ее автора в идеализме». Но дальше и я призываю к «активной борьбе за диалектический материализм, пропаганде великих идей Маркса, Энгельса, Ленина и

Сталина»^{*)}. Подобный призыв был в те времена практически обязательным, да еще при защите против обвинений в идеализме. И я не каюсь в том, что такое написал, тем более что «ходил в космополитах», был исключен из Ученого совета и вообще остался цел лишь в связи с участие в создании водородной бомбы ([12], с.247). Но, вместе с тем, я каюсь в том, что, будучи уже взрослым человеком (в 1952 г. мне было 36 лет), я не понимал, что Сталин, да и Ленин, являются авторами не великих идей, а кровавых бесчинств. Только доклад Хрущева на XX-ом Съезде КПСС открыл мне глаза (и то еще далеко не совсем) на истинную природу большевизма. Знаю, что не все верят, что огромное число людей, в том числе и образованных, были слепы долгие годы. Быть может, поверят, прочитав помимо многих, в том числе моих, свидетельств, книгу А.Н.Яковлева [17].

К великому счастью времена диктатуры позади и научные дискуссии в России сейчас совершенно свободны от идеологического давления. Нам приходится беспокоиться сегодня даже о злоупотреблениях свободой печати, что привело к появлению огромного количества лженаучной и просто бредовой литературы. Но это уже другая тема, останавливаться на которой здесь нет места (позволю себе все же сослаться на некоторые свои статьи в сборнике [12]).

Вернемся к квантовой теории. Обсуждение ее основ, в первую очередь интерпретации квантовой механики, очень бурное в 20-ые и 30-ые годы, сменилось довольно длительным затишьем (думаю, что главной причиной была война и последующая разруха). Но в 1952 г. появилась интерпретация Бома [18], а в 1957 г. «многомировая» интерпретация Эверетта [19], а затем и целый ряд других статей, посвященных интерпретации и реинтерпретации квантовой механики (ссылки см. в [10,20]). Несомненно, такое возрождение интереса к

^{*)} Самой моей статьи у меня нет, поэтому и цитирую, согласно [16].

основам квантовой механики связано с колоссальными успехами в области экспериментальных исследований квантовых эффектов, особенно в оптике. Здесь важно подчеркнуть только одно: все новые опыты только подтверждают квантовую теорию (квантовую механику и квантовую оптику). Ни малейших отклонений от существующей теории не обнаружено.

Итак, за 75 лет со времени создания квантовой механики в 1925-26 гг. она не встретила ни с какими противоречиями, и торжествует. Вместе с тем, никакого успеха на пути ее «улучшения» или обобщения в направлении получения ответа на вопрос «куда же попадет данный электрон», т.е. отказа от вероятностного описания, достигнуто не было. Я уверен, что изменений в этом отношении и не будет, ибо, как уже подчеркивалось, вероятностное описание поведения микрообъектов обусловлено «природой вещей» – электрон и другие микрочастицы это не классические «шарики», имеющие определенные координату и импульс. Однако частично статистическое описание не всех удовлетворяет, и искали и, вероятно, все еще ищут какие-то «скрытые параметры», использование которых все же позволит вернуться к классическому строго детерминированному описанию дифракционных и других экспериментов. Мне не известны никакие, выходящие за пределы филологии, успехи в этом направлении. Критику подхода Бома [18] можно найти, например, в разделе VIII первой части книги Гейзенберга [11]. Кстати, там же критикуются некоторые построения А.Д.Александрова и Д.А.Блохинцева, которых я вообще не понимаю. Интерпретации Эверетта Гейзенберг не упоминает. Возможно, что он о ней не знал (предисловие к соответствующей части книги [11] написано в 1959 г., а статья Эверетта [19] была опубликована только в 1957 г.). Однако Гейзенберг не упоминает и о каких-либо иных экстравагантных интерпретациях, например, включающих обсуждение роли сознания

наблюдателя. Все такие попытки, включая интерпретацию Эверетта, представляются мне метафизическими (об этом пишет и М.Б.Менский [10, 20]), и я отношусь к ним резко отрицательно. Однако это лишь интуитивное суждение, а не доказательство. Приверженность к интерпретации Эверетта некоторых известных физиков (ссылки см. в [10] и статье Е.Шиховцева в настоящем сборнике) не позволяет просто игнорировать такой подход. Нельзя также, конечно, а priori отвергать возможность того, что какое-то развитие теории в будущем прольет новый свет и на нерелятивистскую квантовую механику. Особенно «под подозрением» находится понятие о времени, рассматриваемое сейчас в квантовой теории лишь как классический параметр. Тем не менее, мое интуитивное суждение заключается в том, что ничего нового в нерелятивистскую квантовую механику в области ее применимости дальнейшее развитие физики не внесет (подобно тому, как не изменится классическая, ньютоновская механика при пренебрежении лишь релятивистскими и квантовыми эффектами). На уже использованном выше языке можно сказать, что узнать, «куда попадет каждый электрон», в диффракционном опыте невозможно, а значит и никогда не станет возможным.

В заключение остановлюсь на судьбе Макса Планка. Вторая половина жизни Планка поистине трагична (см. [2], биографическая статья). В 1909 г. умерла его первая жена, под Верденом погиб старший сын, затем скончались две дочери. В начале 1945 г. был повешен за участие в покушении на Гитлера младший сын Планка. Затем в конце войны Планк попал в страшную бомбежку, а потом был ограблен. Но и это еще не все. Планк был одним из немногих видных, поистине выдающихся немецких физиков, оставшихся в стране с приходом в 1933 г. к власти фашистов. Но он, как и Макс фон Лауэ, не только не примкнул к гитлеровцам, а всячески старался спасти что можно и кого

можно [2, 21]. При этом, оставаясь в руководстве Прусской Академии наук и Общества кайзера Вильгельма, Планк был вынужден платить немалую цену, чтобы иметь возможность делать полезное для людей и науки. В превосходной книге Е.Л.Фейнберга [22] приводится такой эпизод (с.237): «Планк как президент Общества кайзера Вильгельма ... прибыл на открытие Института металлов ... в Штутгарте. Он должен был произнести речь (это, по-видимому, было в 1934 г.), и мы смотрели на Планка, ожидая как он справится с процедурой открытия, поскольку к этому времени было уже официально предписано такую речь начинать словами «Хайль Гитлер!»... Планк стоял на возвышении. Он поднял немного руку, но опустил ее. Он сделал это еще раз. Затем наконец рука пошла вверх, и он сказал «Хайль Гитлер!». Ретроспективно мы понимали: это было единственное, что можно было сделать, если не желать поставить под угрозу существование всего Общества кайзера Вильгельма». Кстати сказать, теперь это Общество, германский аналог Российской Академии наук, носит имя Макса Планка.

Какая это была мука для Планка идти на бесконечные компромиссы и вскидывать руку в нацистском приветствии ради сохранения науки на любимой им Родине, ради защиты людей. Ведь ему лично, если бы он сразу ушел в отставку, ничто не угрожало, жил бы себе в тишине и почете. Но он следовал своим жизненным принципам, платя за это огромную цену. Совершенно аналогична была ситуация в СССР - тоталитаризм един в своей сущности и своих проявлениях (см., например, [12,13,17]). Конкретно, буквально в положении Планка находился у нас Президент АН СССР Сергей Иванович Вавилов (1891-1951), 110-летие со дня рождения которого мы недавно отмечали [23,24].

Макс Планк был поистине великим физиком и замечательным человеком. Поэтому вполне естественно, что мы отдаем дань памяти о его трудах и о нем самом.

Литература

1. М.Планк «Избранные труды». М., «Наука» (1975)
2. М.Планк «Единство физической картины мира». М., «Наука» (1966).
Там же помещена биографическая статья Е.М.Кляуса «Макс Планк»
3. У.И.Франкфурт, А.М.Френк «У истоков квантовой теории». М., «Наука» (1975)
4. М.Джеммер «Эволюция понятий квантовой механики». М., «Наука» (1985)
5. М.Клейн «В поисках (физики и квантовая теория)». М., Атомиздат (1971)
6. D. Ter Haar “The Old Quantum Theory”. Pergamon Press. Oxford (1967)
7. В.Л.Гинзбург «О физике и астрофизике». М., «Бюро Квантум» (1995)
8. A.Pais “Niels Bohr’s Times”. Clarendon Press. Oxford (1991)
9. A.Einstein, B.Podolsky, N.Rosen. Phys. Rev. 47, 777 (1935).
Русский перевод: УФН 16, 440 (1936)
10. М.Б.Менский. УФН 170, 631 (2000). См. также статью М.Б.Менского в настоящем сборнике
11. В.Гейзенберг «Физика и реальность». М., «Наука» (1989)
12. В.Л.Гинзбург «О науке, о себе и о других». М., (2001); первое издание М., «Наука» (1997)
13. В.Л.Гинзбург «Расстрел Мейерхольда и других... (юридический приговор коммунизму-большевизму)». «Литературная Газета» № 14, 4-10 апреля 2001 г.
14. В.Л.Гинзбург «Разум и вера (замечания в связи с энцикликой Папы Иоанна-Павла II «Вера и разум»)». «Вестник РАН» 69, 546 (1999)
15. Е.Л.Фейнберг «Наука, искусство, религия». «Вопросы философии» № 7, с.54 (1997)

16. А.А.Касьян, С.М.Пономарев «Провинциальное эхо великих потрясений: Г.С.Горелик в Горьковском университете». «Вопросы истории естествознания и техники» № 1, с.97 (2001)
17. А.Н.Яковлев «Омут памяти». М., «Вагриус» (2000)
18. D. Bohm. Phys. Rev. 85, 166 (1952)
19. H.Everett. Rev. Mod. Phys. 29, 454 (1957)
20. Письма в редакцию с обсуждением статьи [10]. УФН 171, № 4, 437-462 (2001)
21. М.Уолкер «Наука при национал-социализме». «Вопросы истории естествознания и техники» № 1, 3 (2001)
22. Е.Л.Фейнберг «Эпоха и личность (Физики. Очерки и воспоминания)». М., «Наука» (1999)
23. Е.Л.Фейнберг «Сергей Иванович Вавилов и его время». УФН (в печати)
24. В.Л.Гинзбург «О Сергее Ивановиче Вавилове». УФН (в печати)
25. A.Zeilinger “The quantum centennial”. “Nature” 408, 639 (2000)
26. G.Amelino-Camelia “Quantum theory’s last challenge”. “Nature” 408, 661 (2000)