

Н. БОР И ПРОБЛЕМА СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Б. Е. ЯВЕЛОВ

Сверхпроводимость была открыта Г. Камерлинг-Оннесом в 1911 г., но только к 1957 г. удалось достичь понимания физической природы этого явления (см., например, [1]). Почти столетия оно оставалось одной из самых интригующих загадок физики, своеобразным вызовом научному сообществу. Попытки, неизменно оказывавшиеся тщетными, ответить на этот вызов предпринимались множеством физиков, в числе которых можно назвать Г. Бете, Л. Бриллюэна, М. Борна, В. Гейзенберга, Л. Д. Ландау, Г. А. Лоренца, В. Паули, Дж. Дж. Томсона, Р. Фейнмана, Я. И. Френкеля, Э. Шредингера, А. Эйнштейна. Неудивительно, что и Н. Бор не остался равнодушен к загадке сверхпроводимости, тем более, что его магистерская и докторская диссертации (соответственно 1909 и 1911 гг.) были посвящены электронной теории металлов; этот же раздел физики твердого тела стал предметом курса лекций, прочитанных Бором весной 1914 г. в Копенгагенском университете [2]¹. В литературе о Боре можно встретить ряд прямых указаний на его интерес к сверхпроводимости. Вот несколько таких свидетельств, принадлежащих физикам, в разное время работавших ассистентами Бора (см. также свидетельство Ф. Блоха [3, с. 34]).

Х. Казимир: «Что касается приложений (квантовой механики.— Б. Я.), то Бор любил возвращаться к вопросам, рассмотренным в его замечательной (докторской.— Б. Я.) диссертации, и до конца жизни он был очарован (fascinated) сверхпроводимостью» [4, с. 110].

Л. Розенфельд: «...«Два последних лета (summers) своей жизни ему (Бору.— Б. Я.) удалось снова на время сосредоточиться на глубинном явлении, очень близком к тем, с которых начинался его путь в науке,— сверхпроводимость металлов»... [5, с. XLIV].

С. Розенталь: «На протяжении целого ряда лет его (Бора.— Б. Я.) внимание было приковано к теоретическим проблемам сверхпроводимости... Однако Бор не написал ни одной статьи на эту тему, ибо считал свои идеи недостаточно зрелыми и убедительными» [6, с. 225].

Весьма существенно, что свидетельство Розенталя не вполне точно. Бор, действительно, ничего не опубликовывал по сверхпроводимости, но одна статья, посвященная этой проблеме, была все же им написана, хотя так и не появилась в печати. Кроме того, опубликовано одно довольно пространное высказывание Бора о сверхпроводимости, сделанное им в порядке обсуждения доклада на конференции. Ниже рассматриваются оба этих «вещественных доказательства» живого интереса Бора к сверхпроводимости, причем в обоих случаях сначала дается краткая характеристика соответствующего историко-физического «фона».

Неопубликованная статья Бора

В самом конце 1928 г. появилась классическая работа Блоха [7], ставшая фундаментом современной квантовой электронной теории металлов (см., например, [8]). В работе излагалась докторская диссертация

¹ Кстати, в этих лекциях рассказывалось об исследованиях Камерлинг-Оннеса [2, с. 447, 448].

ция Блоха, которую тот защитил летом 1928 г. в Лейпцигском университете под руководством Гейзенберга [9]. После защиты Блох в течение двух семестров работал ассистентом у В. Паули в Цюрихском политехникуме. По воспоминаниям Казимира, Паули прислал Бору отклик блоховской статьи, на котором сделал примерно такую надпись: «Из этого отписка ты убедишься в своем полном триумфе над миром физиков» [10, с. 166].

Таким образом, к концу 20-х годов появилась уверенность в том, что задача создания последовательной квантовой электронной теории металлов, наконец, решена, по крайней мере в принципе. Что же касается сверхпроводимости, то это явление по-прежнему оставалось совершенно загадочным, и, вероятно, многие физики разделяли убежденность Паули в том, что, кроме объяснения этого явления, никаких по-настоящему фундаментальных задач в теории металлов больше не существует [9, с. 27]. Вполне понятно поэтому, что Блох, поступивший под начало Паули осенью 1928 г., сразу же был «брошен» на ликвидацию «настоящего скандала»² со сверхпроводимостью [9]. Но попытки Блоха, несмотря на всю их настоячивость (в значительной мере стимулированную Паули)³, были обречены на неудачу. И дело тут даже не в том, что квантовая механика электронного коллектива в металлах тогда находилась еще на начальном этапе развития. Важнее другое: еще не была в достаточной мере выявлена эмпирическая картина явления. Так, в частности, только после открытия в конце 1933 г. эффекта Мейснера выяснилось (причем далеко не сразу), что помимо нулевого сопротивления сверхпроводники обладают еще одним, может быть даже более фундаментальным, свойством — «непроницаемости» по отношению к внешнему магнитному полю [12]. А до тех пор пока это удивительное свойство сверхпроводников не было осознано, сверхпроводимость считалась равнозначной идеальной проводимости, и соответственно теоретическая мысль целиком сосредоточивалась на одной — и как ретроспективно ясно, неразрешимой! — задаче изыскания условий, «запрещающих» рассеяние электронов, участвующих в переносе «обычного»⁴ тока.

Начало размышлений Бора над квантово-механической трактовкой сверхпроводимости, вероятно, можно датировать на основании письма Паули О. Клейну от 16 марта 1929 г. Паули писал: «Г-н Блох здесь (в Цюрихе.— *Б. Я.*) продвинулся в теории сверхпроводимости; я еще не хочу утверждать, что ему уже удалось найти объяснение сверхпроводимости, но его последние результаты дают повод для основательных надежд. Во всяком случае я теперь полагаю, что путь к пониманию сверхпроводимости, в порядке предположения указанный Бором прошлой осенью⁵, пролегал в совершенно неверном направлении!» [14, с. 495].

В июне 1932 г. Бор направил в журнал «Naturwissenschaften» небольшую статью, вернее заметку «К вопросу о сверхпроводимости»⁶.

² Выражение П. Эренфеста (см. [11, с. 501]).

³ Неизменные неудачи ассистента породили у Паули раздражение. «Много лет спустя,— вспоминал Блох в 1980 г.— когда туман, столь долго опутывавший явление (сверхпроводимости.— *Б. Я.*) начал рассеиваться, я не удержался и напомнил Паули, что решить задачу оказалось не так-то просто, как он думал тогда, ставя ее передо мной. Прошло много лет, и Паули помягчал — настолько, что согласился» [9, с. 27].

⁴ Согласно современным представлениям, «сверхпроводящий» ток аналогичен диамагнитным токам атомов и молекул и тем самым имеет совершенно иную природу, нежели «омический» ток (см., например, [13]).

⁵ По-видимому, после ознакомления с диссертацией Блоха. Судя по переписке Паули, он обсуждал проблему сверхпроводимости с Бором и Клейном в Копенгагене в середине сентября 1928 г. [14, с. 473]. В открытке Бору от 16.I.1929 г. Паули сообщал: «По вопросу о сверхпроводимости я не смог прийти ни к каким определенным результатам» (там же, с. 485).

⁶ Машинописный текст заметки «Zur Frage der Supraleitung», доведенной до стадии корректуры, находится в собрании рукописей Бора Американского института физики (Нью-Йорк). Автор благодарен докторам П. Джозефсону (Гарвардский универ-

Свое рассмотрение Бор начинает с констатации успехов квантово-механической теории металлов Зоммерфельда — Блоха в преодолении тех известных принципиальных трудностей, перед которыми в течение трех десятилетий пасовала классическая теория Друде — Лоренца. «Однако, — отмечает Бор с полной уверенностью, — исходя из предположения об электронах, движущихся в металлах независимо один от другого (а квантовая теория, подобно классической, также базировалась на этом предположении. — *Б. Я.*), совершенно невозможно понять открытое Камерлинг-Оннесом резкое исчезновение сопротивления ряда металлов при некоторой определенной температуре».

И соответственно, по мнению Бора, ключ к разгадке сверхпроводимости следует искать на пути дополнения квантовой теории металлов учетом межэлектронного взаимодействия⁷.

В своем дальнейшем рассмотрении Бор пытается учесть межэлектронное взаимодействие, не прецизируя его природу (впрочем, вполне возможно, что он имел в виду электронные корреляции, диктуемые принципом Паули). Приближенное выражение для волновой функции системы взаимосвязанных электронов ученый строит «по типу» блоховских модулированных плоских волн, соответствующих движениям отдельных «свободных» электронов. Подставляя затем эту волновую функцию в известное квантово-механическое соотношение для тока частиц, Бор получает следующее выражение для плотности тока:

$$\sigma = \delta \frac{e\hbar N}{maV} A,$$

где e и m — заряд и масса электрона, N — число электронов в объеме V металла, a — постоянная решетки, A — константа, характеризующая связь электронов проводимости с ионами, δ — малый параметр размерности длины, имеющий физический смысл смещения всей электронной системы как целого. Оценка показывает, что уже столь малым значениям параметра δ , как 10^{-8} см, соответствуют значительные плотности тока. «Таким образом, — резюмирует Бор, — мы получаем парадоксальный с классической точки зрения результат, что ток тех величин, с которыми имеют дело в опытах по сверхпроводимости, можно трактовать фактически как некоторое „смещение“ всей системы электронов через решетку металла, происходящее без нарушения их взаимной связи». То, что это «смещение» представляет собой сверхпроводящий ток, аргументируется следующим рассуждением.

В проведенном рассмотрении ионы металла считались неподвижными, а в таком случае, соответствующем абсолютному нулю температуры, «предположение об электронах, движущихся взаимозависимо, также приводит к бесконечной проводимости». Но с повышением температуры в кристаллической решетке металла возбуждаются упругие волны, на которых происходит рассеяние электронов проводимости, означающее возникновение сопротивления. «Однако в случае токов, отвечающих представлению, соответствующему решению $\psi(\delta)$ (построенная Бором волновая функция связанной электронной системы. — *Б. Я.*), подобный перенос импульса от электронной системы к решетке ионов не имеет места. Вернее сказать, колебания решетки включены в описание нормальных бестоковых состояний — по крайней мере, если отвлечься от решеточных колебаний с длинами волн, сравнимыми с a/δ ». По этой же при-

ситет) и Р. Вёрту (Центр по истории физики Американского института физики) за предоставление копии заметки Бора и некоторых других относящихся к ней архивных материалов.

⁷ Следует сказать, что эта совершенно верная с современной точки зрения идея разрабатывалась в те годы несколькими физиками, например Блохом [9, с. 27], Я. Г. Дорфманом [15] и Я. И. Френкелем [16, 17].

чине, полагает Бор, исчезает и сопротивление, обусловленное рассеянием электронов на статических нерегулярностях решетки. И таким образом, становится понятной сверхпроводимость сплавов, которые согласно теориям «свободных» электронов, должны и при температуре абсолютного нуля сохранять конечное (остаточное) сопротивление.

Разрушение сверхпроводимости выше некоторой критической температуры Бор предположительно трактует как следствие того, что решение $\psi(\delta)$ становится нестабильным в том смысле, что помимо самого низкого энергетического состояния электронной системы возникает множество более высоких (по энергии.— *Б. Я.*) состояний. Статистика этих состояний в конце концов совпадает с максвелловским распределением электронов, рассматриваемых как свободные». При этом скачкообразное исчезновение сверхпроводимости выступает как «явление, подобное процессу плавления, что с самого начала подчеркивал Камерлинг-Оннес».

В заключительной фазе автор заметки выражал сердечную благодарность Блоху и Розенфельду за «проясняющие обсуждения».

Бор, конечно, признавал, что «это рассмотрение имеет лишь качественный характер», но, несомненно, твердо верил в справедливость или по меньшей мере конструктивность своей исходной идеи объяснения сверхпроводимости. Это видно, в частности, из сохранившихся рукописных фрагментов Бора с дальнейшими расчетами по теории сверхпроводимости, из отрывка машинописного текста последующего варианта заметки, где говорится, что позднее будет опубликовано «подробное сообщение», и, наконец, из машинописного сообщения (?) Бора «О сверхпроводимости» (2,5 страницы на датском языке)⁸ о его дискуссии с Блохом и Р. де Л. Кронигом⁹, состоявшейся, по-видимому, в сентябре 1932 г.

В последнем из упомянутых выше документов Бор писал, что в связи с трудностями общей квантово-механической аргументации предложенной им трактовки и ее сопоставления с экспериментальными результатами вынужден был задержать корректуру своей заметки на несколько месяцев. Тем временем появилась датированная 31 августа статья Кронига [20], основанная на представлениях, схожих с развитыми Бором. Крониг указывал, что сверхпроводимость связана с возникновением жесткой трехмерной решетки электронов, имеющей возможность без искажений двигаться сквозь решетку ионов. В дискуссии Бор и Блох сумели убедить Кронига в том, что его трехмерная электронная решетка из-за потенциальных барьеров внутрикристаллического электростатического поля ионов неспособна к перемещению. Тем самым речь не может идти не только о сверхпроводимости, но и о нормальной проводимости. В ноябре 1932 г. Крониг отослал в редакцию пересмотренный вариант своей теории [21], в котором сверхпроводящий ток интерпретировался как движение отдельных цепочек трехмерной электронной решетки¹⁰. Естественно, Крониг выразил благодарность Бору и Блоху за «энергично подчеркнутую» ими трудность исходного варианта теории (там же, с. 204).

Вероятно, критике подвергался и подход Бора и в описанной дискуссии, и в его переписке 1932—1933 гг. с Кронигом, Блохом, Гейзенбергом и Клейном¹¹. Думается, эта критика, хотя и не переубедила Бора, все

⁸ Упомянутые документы также находятся в собрании рукописей Бора Американского института физики.

⁹ Ассистент Бора в 1925 и 1927 гг. [18, с. 152] и ассистент Паули в 1928 г. [19, с. 37].

¹⁰ В таком случае потенциальные барьеры как будто неспособны затормозить движение электронов.

¹¹ С этой перепиской, также хранящейся в собрании рукописей Бора Американского института физики, ознакомиться не удалось.

же заставила его отказаться от публикации собственного наброска теории сверхпроводимости. И тем не менее нужно сказать, что о работе Бора многие знали — и не только те, с кем он ее непосредственно обсуждал [22, с. 885].

20 лет спустя

В июне 1953 г. в Лейдене проходила международная конференция, посвященная столетнему юбилею двух знаменитых лейденцев — Камерлинг-Оннеса и Лоренца. Естественно, значительное внимание было уделено сверхпроводимости, проблеме, которая фактически уже находилась накануне своего блистательного решения. Но участники мемориального форума — а среди них были и Бор, и Блох, и Гейзенберг, и Казимир, и Крониг, и Розенфельд, — разумеется, об этом не знали.

Бор доклада не представил (хотя на конференции наряду с прочим живо обсуждались принципиальные вопросы квантовой механики) и принял участие лишь в обсуждении одного доклада¹². Это был доклад Г. Фрëлиха «Сверхпроводимость и колебания решетки» [23], посвященный ставшей ключевой в решении проблемы идее о том, что приводящее к сверхпроводимости межэлектронное взаимодействие возникает за счет происходящего между электронами обмена квантами решеточных колебаний — фононами (так называемое электрон-фононное взаимодействие). Эта идея, выдвинутая Фрëлихом в 1950 г., в том же году была подтверждена экспериментаторами, независимым образом пришедшими к открытию предсказанного Фрëлихом изотопического эффекта¹³ (см. например, [24]).

Первым в обсуждение доклада Фрëлиха включился Бор [25]. «Будучи одним из тех, — начал он свое выступление, — кто помнит, как задачи металлической проводимости обсуждались со времен Лоренца и Камерлинг-Оннеса, я хотел бы — хотя в последние годы я не занимался активно проблемами сверхпроводимости¹⁴ — сделать некоторые замечания, или, вернее, поднять некоторые вопросы, касающиеся современной ситуации». Далее Бор констатирует, что основы трактовки явлений металлической проводимости «с приходом квантовой механики претерпели радикальное изменение» и особо отмечает «огромную значимость вклада Фрëлиха в наше понимание взаимодействия между электронами, возникающего за счет их связи с ионной решеткой». Однако при всем этом электрический ток по-прежнему рассматривается как явление существенно статистического характера. И тут Бор подходит к центральному, как он считает, вопросу: возможна ли в принципе статистическая трактовка сверхпроводимости? «В качестве примера разительных различий между обычной металлической проводимостью и сверхпроводимостью я хочу особо привлечь внимание к тому, как влияет на сопротивление току наличие примесей в почти однородном металле. В самом деле, одним из наибольших успехов статистической теории металлической проводимости является именно объяснение остаточного сопротивления как возникающего вследствие рассеяния волн свободных электронов на инородных атомах в решетке. При сверхпроводимости, напротив, влияние примесей сводится просто к изменению температуры перехода; но при более низких температурах их — (примесей. — Б. Я.) влияние полностью исчезает¹⁵, и это свидетельствует о том, что ничего похожего на рассея-

¹² Во всяком случае, если судить по опубликованным трудам конференции.

¹³ Зависимость $T_k \sim M^{-1/2}$, где T_k — критическая температура сверхпроводящего перехода, а M — атомная масса изотопа.

¹⁴ Этой оговоркой Бор как будто дает понять, что в былые годы он достаточно «активно» занимался сверхпроводимостью.

¹⁵ Несомненно, это слишком сильное утверждение (см., например, [26]).

ние свободных электронов в таких условиях не имеет места. Поэтому мне представляется, что механизм сверхпроводимости не может быть описан на основе статистических методов».

Очевидную альтернативу статистическому подходу Бор усматривает в описании «высокоупорядоченного» состояния электронов сверхпроводника с помощью «волновой функции в конфигурационном пространстве», учитывающей как взаимодействие электронов с ионной решеткой, включая примеси, так и взаимодействия между отдельными электронами. В таком случае ток можно представлять себе как адиабатическую модификацию полной (comprehensive) волновой функции, и поэтому он не должен сопровождаться никаким переносом импульса от электронов к решетке, который является неотъемлемым атрибутом нормального тока».

Бор осознает «большие трудности», встающие на пути реализации этой «внешне простой идеи» и не претендует на ее оригинальность (она, «несомненно, разделяется многими»). «Целью моих замечаний просто поднять вопрос, не требует ли объяснение сверхпроводимости, несмотря на широкую сферу применимости статистических методов, скорее выяснения их ограничений».

В дискуссии принял участие и Блох: «Представляется очевидным, что объяснение сверхпроводимости требует радикального отхода от одноэлектронной модели, так что нет никаких причин, по которым волновая функция всей системы не могла бы записываться в форме, предложенной Бором. При этом, однако, остается еще та трудность, что нужно доказать наличие у подобного описания искомого свойства — представлять состояние, которое, согласно Лондону¹⁶, отвечает минимуму энергии в магнитном поле. Такое состояние обнаруживало бы диамагнитные свойства с токами макроскопических масштабов» [27].

Ни Бор, ни Блох ни словом не обмолвились о своих 20-летней давности настойчивых попытках объяснить сверхпроводимость. Примечательно, однако, что по физическому содержанию дискуссионное замечание Бора 1953 г. в сущности идентично его неопубликованной заметке 1932 г. И, значит, отказавшись — по неясным причинам¹⁷ — от публикации заметки, Бор ни в коей мере не отказался от своей идеи. Более того, создается впечатление, что верность этой идее ученый сохранил и после появления в 1957 г. микроскопической теории сверхпроводимости; по словам Розенфельда, «он пытался, но без успеха развить некоторую абстрактную теорию этих (макроскопических квантовых.— Б. Я.) эффектов на более физической основе (выделено мною.— Б. Я.)» [5].

С позиций современных теоретических представлений о сверхпроводимости подход Бора едва ли может быть расценен как шаг в верном направлении и еще менее — как конструктивный шаг такого рода. И этот факт, несомненно, хорошая иллюстрация объективной трудности, которую составила разгадка микроскопической природы сверхпроводимости. Но все же достойно удивления, что Бор не усмотрел аналогии — как теперь ясно, совершенно естественной и оправданной — между сверхпроводящим током и «электронным» током стационарных атомных орбит, постулированных им в знаменитой «трилогии» 1913 г. И как знать, может быть, дело тут в том, что одним из важнейших «гносеологических уроков, преподанных нам атомной физикой» [28, с. 125], Бор считал именно фундаментальное разграничение микро- и макромира как управляемых соответственно квантовыми и классическими законами.

¹⁶ Имеется в виду феноменологическая теория сверхпроводимости Ф. Лондона и Г. Лондона (см., например, [26]).

¹⁷ Кажется, главную роль тут сыграла критика молодых коллег.

Литература

1. Гинзбург В. Л. К истории открытия и изучения сверхпроводимости.— ВИЕТ, 1980, № 1.
2. Bohr N. Lectures on the electron theory of metals (translation of notes).— In: Bohr N. Collected works. V. 1. Amsterdam, 1972.
3. Bloch F. Reminiscences of Niels Bohr.— Phys. Today, 1963, v. 16.
4. Casimir H. B. G. Recollections from the years 1929—1931.— In: Niels Bohr. His life and work as seen by his friends and colleagues. Amsterdam, 1967.
5. Rosenfeld L. Niels Bohr. Biographical sketch.— In: Bohr N. Collected works. V. 1, Amsterdam, 1972.
6. Розенталь С. 40—50-е годы.— В кн.: Нильс Бор. Жизнь и творчество. М.: Наука, 1967.
7. Bloch F. Über die Quantenmechanik der Elektronen in Kristallgittern — Zeitschr. f. Phys., 1928, B. 52.
8. Harrison W. A. Electrons in metals.— Phys. Today, 1969, v. 22.
9. Bloch F. Memories of electrons in crystals.— Proc. Roy. Soc., 1980, v. A 371.
10. Casimir H. B. G. Development of solid — state physics.— In: Proc. Int. School Phys. «Enrico Fermi», Course 57, History of XX-th century physics. N. Y., 1977.
11. Brillouin L. La theorie des electrons dans les metaux; la supraconductibilité.— Rev. gen. de l'électr., 1935, t. 38.
12. Явелов Б. Е. К истории открытия эффекта Мейснера.— В кн.: Тр. XXIV науч. конф. аспирантов и молодых специалистов по истории естествознания и техники. Секция истории физики и механики. М.: Ин-т истории естествознания и техники АН СССР. 1981. (Рукопись депонирована в ВИНТИ 5 апр. 1983 г., № 1750—83 Деп.).
13. Weisskopf V. F. The formation of Cooper Pairs and the nature of superconducting currents.— Contemp. phys., 1981, v. 22.
14. Pauli W. Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg a. o. V. 1. N. Y., 1979.
15. Dorfman J. Mechanism of superconductivity.— Nature, 1932, v. 130.
16. Френкель Я. И. Возможное объяснение сверхпроводимости.— ЖЭТФ, 1933, т. 3.
17. Frenkel J. The explanation of superconductivity.— Nature, 1934, v. 133.
18. Robertson P. The early years. The Nils Bohr Institute 1921—1930. Kobenhavn, 1979.
19. Kronig R. The turning point.— In: Theoretical physics in the twentieth century. A memorial volume to Wolfgang Pauli. London, 1960.
20. Kronig R. de L. Zur Theorie der Supraleitfähigkeit.— Zeitschr. f. Phys., 1932, B. 78.
21. Kronig R. de L. Zur Theorie der Supraleitfähigkeit II.— Zeitschr. f. Physik., 1933, B. 80.
22. McLennan J. C. Electric supra-conduction in metals.— Nature, 1932, v. 130, Suppl.
23. Fröhlich H. Superconductivity and lattice vibrations.— Physica, 1953, v. 19.
24. Bardeen J. Advances in superconductivity.— Phys. Today, 1969, v. 22.
25. Bohr N. [Discussion remark.] — Physica, 1953, v. 19.
26. Жень П. де. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968.
27. Bloch F. [Discussion remark.] — Physica, 1953, v. 19.
28. Бор Н. Атомы и человеческое познание. 1955.— В кн.: Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.

N. BOHR AND THE PROBLEM OF SUPERCONDUCTIVITY

B. E. YAVELOV

The article is mainly dedicated to Bohr's unpublished work on the superconductivity, to the phenomenon, which was drawing attention of many of the outstanding physicists of the XX-th century.

НИЛЬС БОР И НАУКА XX ВЕКА [Симпозиум в Пущино]

В связи со столетним юбилеем Н. Бора Институт истории естествознания и техники АН СССР, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, Философское общество СССР, Научный центр биологических исследований, Институт биологической физики АН СССР организовали Всесоюзный симпозиум «Нильс Бор и наука XX века», который состоялся 5—7 октября 1985 г. в г. Пущино.

Во время работы симпозиума было проведено 4 пленарных заседания и 6 секционных. В нем приняло участие около 120 ученых, представлявших институты АН СССР и союзных республик, университеты и различные научно-исследовательские организации из 15 городов Советского Союза.

Во вступительном слове Л. С. Полак, отмечая роль Бора в современной науке, подчеркнул, что мышление Бора вовлекает в свою сферу огромные пласты духовных богатств, накопленных человеческой мыслью за многие столетия, тем самым придавая черты единства, целостности всей человеческой культуре.

Три момента творчества Бора, еще недостаточно освещенные, заслуживают пристального внимания:

1. Фундаментальный принцип дополнительности Бора очень часто считают перенесенным в физику из психологии. Это, по крайней мере, недостаточно для объяснения его происхождения, а скорее всего и не совсем верно. Есть основания предполагать, что Бор, который в молодые годы много занимался историей философии, знал о трудах и концепции Николая Кузанского, основой которых был «принцип совмещения противоположностей». Многие высказывания Бора, связанные с принципом дополнительности, буквально совпадают с положениями Кузанского.

2. Введение в ходе обобщения и математической разработки теории Бора переменных «действие — угол» раскрыло путь для разработки топологических концепций и методов в классической механике, существенно повлияв на ее дальнейшее развитие.

3. Бор был убежденным атомистом, но он считал, что одна атомистика недостаточна для построения многогранной картины реального космоса. Нужно еще найти законы возникновения и эволюции всего многообразия природных структур. Отсюда огромный интерес Бора к проблемам биологии, где с исключительной силой зримо проявляется процесс эволюционного созидания новых структур на атомно-молекулярной основе, отсюда его интерес к проблеме «стрелы времени».

И. С. Алексеев в докладе «Творческая биография Нильса Бора» отметил поразительную особенность творческой личности Бора, проявившуюся в том, как упорно в течение многих лет Бор мог рассматривать захватившие его проблемы в разных ракурсах и взаимосвязях с другими проблемами. После создания квантовой механики Бор занялся вопросами ее интерпретации, сформулировав принцип дополнительности, который он пытался распространить и за пределы физики. Характерный для Бора глубокий подход к проблемам, которые ставила перед ним наука и жизнь, проявился в том, что уже во время работы в США над созданием атомной бомбы Бор начинает задумываться над вопросами международного сотрудничества в деле мирного использования атомной энергии, выступает как активный борец за мир. Замечательным, стимулировавшим лучшие человеческие качества и творческую активность, был стиль работы Бора с учениками.

Атмосфера живого захватывающего рассказа возникла на докладе Е. Л. Фейнберга «Нильс Бор в Москве в 1961 г.». Автор зачитал записи своих впечатлений от встреч с Бором, сделанные «по горячим следам» в те же дни, когда он видел Бора и участвовал в беседах с ним. Е. Л. Фейнберг присутствовал на встречах с Бором в