

15. *Markovnikov V. V.* Zur Geschichte der Lehre über die chemische Structure.— *Z. Chem.*, 1865, 5.
16. Centenary of the theory of chemical structure/Eds. *Kazanskii B. A.*, *Bykov G. V.* Collection of papers by *Butlerov A. M.*, *Couper A. S.*, *Kekule A.*, *Markovnikov V. V.* Moscow, 1961.
17. *Russell C. A.*— *Arch. intern. histoire sci.*, 1962, 15.
18. *Butlerov A.* Lehrbuch der organischen Chemie zur Einführung in specielle Studium derselben. Leipzig, 1867—1868.
19. *Butlerov A.* Eine Antwort.— *Annalen*, 1868, 146.
20. *Kolbe H.* Moden der modernen Chemie.— *J. praktische Chem.*, 1871, Neue Folge, 4.
21. *Leicester H. M.* Kekule, Butlerov, Markovnikov: Controveries on chemical structure from 1860 to 1870.—In: *Kekulé centennial/Ed. Benfey O. T.* Washington, D. C., 1966.
22. *Марковников В. В.* Избранные труды. М., 1955.
23. *Giua M.* Storia della chimica dall'alchimica alle doffrine moderne. Torino, 1946.
24. *Bykov G. V.* La correspondance des chimistes étrangers avec A. M. Butlerov.— *Arch. intern. histoire sci.*, 1961, 14.
25. *Gillis J.* Een prioriteitsaanspraak van Butlerov to Stas gericht in 1862 en aanmerkingen van Kekulé.— *Mededelingen van de Koninklike Vlaamse Academie voor Wetenschappen. Kl. Wetensch.*, 1958, 20.
26. *Быков Г. В.* Аврст Кекуле. М., 1964.
27. *Butlerow A.* Ueber Verwandtschaft der mehraffinen Atome.— *Z. Chem.*, 1862, 5.
28. *Butlerow A.* Ueber die systematische Anwendung des Principis der Atomigkeit zur Prognose von Isomerie- und Metameriefällen.— *Z. Chem.*, 1864, 7.
29. *Bykow G. W. und Bekassowa L. M.* Beiträge zur Geschichte der Chemie der 60-er Jahre des XIX Jahrhundert. I. Briefwechsel zwischen E. Erlenmeyer und A. M. Butlerow (von 1862 bis 1976).— *Physis*, 1966, 8.
30. *Сыркин Я. К., Дяткина М. Е.* Химическая связь и структура молекул. М., 1946.
31. *Riddell F. G. and Robinson M. J. T.* J. H. Van't Hoff and A. de Beltheir historical contest.— *Tetrahedron*, 1974, 30.
32. *Быков Г. В.* Классификация моделей, применяемых в химии.— В кн.: *Моделирование в теоретической химии.* М., 1975.
33. *Bykov G. V., Jacques J.* Deux pionniers de la chimie moderne, Adolphe Wurtz et Alexander M. Boutlerov, d'après une correspondance inédite.— *Rev. histoire sci. leur appl.*, 1960, 13.
34. *Bykow G. W. und Bekassowa L. M.* F. Beilsteins Briefe an A. M. Butlerow.— *Physis*, 1966, 8.

Памятные даты

МАКС БОРН

(к 100-летию со дня рождения)

А. Т. ГРИГОРЬЯН

В 1963 году в журнале «Природа» № 1 (с. 97—99) была опубликована статья проф. А. Т. Григорьяна, посвященная творчеству выдающегося физика-теоретика, одного из создателей квантовой механики Макса Борна. Немецкий ученый откликнулся на эту публикацию. «Глубокоуважаемый господин коллега Григорьян,— писал он в письме от 3 сентября 1963 года,— недавно я получил Вашу статью, которую Вы опубликовали к моему 80-летию. Мне перевели ее в Мюнхене на немецкий язык. Статья написана тепло, с большим знанием дела и доставила мне огромную радость. Я испытал большое удовольствие от того, что моя работа признана и оценена русскими коллегами. Сердечно благодарю Вас за Ваш труд и дружеское расположение. С наилучшими пожеланиями глубоко преданный Вам Макс Борн».

Истекающие годы подтвердили справедливость оценок, сделанных советским историком науки, и создали необходимую историческую ретроспективу для более полного анализа той «героической эпохи» в теоретической физике, ярким представителем которой являлся Макс Борн.

11 декабря 1982 г. исполняется 100 лет со дня рождения выдающегося физика-теоретика, лауреата Нобелевской премии Макса Борна. Имя Борна прочно вошло в историю современной физики. Специалисты уже давно привыкли к таким выражениям, как «энергия кристаллической решетки Борна», «приближенный метод Борна», «нелинейная электродинамика Борна—Инфельда» и т. д. Кроме того, Борн известен широкому кругу физиков как один из ветеранов квантовой механики, принимавший участие в разработке ее основ, в разработке того, что сам он назвал впоследствии «обоснованием нового способа мышления о явлениях природы». Наконец, учащиеся физических факультетов хорошо знают Борна как автора многочисленных учебных пособий, из которых такие, как «Динамическая теория кристаллической решетки», «Оптика» и «Современная физика», выдержали неоднократные переиздания и были переведены на многие языки.

В общую сокровищницу науки Борн внес многогранный вклад. Не стремясь дать полный отчет о его работах, мы упомянем лишь наиболее важные достижения Борна.

Со времен Ньютона метод математического анализа — дифференциальное и интегральное исчисление — является обычной формой выражения физических закономерностей на языке математики. Успехи, достигнутые при помощи этого метода, общеизвестны. С законным правом могло укрепиться, а отчасти и действительно укрепилось мнение, что метод математического анализа — единственный адекватный природе метод, так что, например, уравнение в частных производных — это универсальный способ изображения процессов, протекающих в природе. В то же время свободное творчество математиков уже давно вышло за рамки анализа, введя в рассмотрение такие понятия, как группа, алгебраическое поле, матрица и т. п. Новые понятия обнаружили способность подчиняться стройной системе закономерностей, и на их основе были построены новые математические теории. Оставалось, однако, совершенно неясно, как и где они могут найти практическое применение.



Макс Борн

В таком состоянии находились физика и математика, когда В. Гейзенберг, анализируя данные спектроскопических измерений, установил для внутриатомных переходов закономерности необычного типа. Эти закономерности изображались совокупностями чисел, группирующихся в матрицы, произведение которых, в отличие от обычных чисел, зависело от порядка сомножителей. Как мы знаем теперь, в указанном открытии Гейзенберга заключалось зерно всего будущего развития квантовой физики. Известно также, что смысл нового направления первым понял Борн.

Размышляя над открытием Гейзенберга, Борн, по его собственному признанию, вспомнил об одной математической теории, которую он изучал, будучи студентом. Речь шла об алгебре матриц. Применение ее к атомной физике дало блестящие результаты: матричное исчисление оказалось одной из математических форм квантовой механики.

Матричная формулировка квантовой механики принадлежит к числу важнейших открытий Борна. Между прочим, именно работы по квантовой механике наряду с разработ-

кой теории кристаллической решетки были отмечены решением комиссии о присуждении Борну Нобелевской премии в 1954 г.

Борн внес фундаментальный вклад в развитие физики твердого тела. Именно в этой области он впервые присоединился к квантовой теории, разработав вместе с Т. Карманом (независимо от П. Дебая) в 1912 г. квантовую теорию теплоемкости кристаллической решетки.

Исследования Борна и его сотрудников в области динамической теории кристаллов в 1912—1914 гг. были обобщены в монографии «Динамика кристаллической решетки», вышедшей в 1915 г. в Берлине. В этой работе сформулированы физические принципы теории и разработан ее математический аппарат. Книга была переведена на русский язык в 1932 г. В 1923 г. Макс Борн написал обзорную статью «Атомная теория твердого состояния» для «Математической энциклопедии». После появления квантовой механики наступил новый этап в развитии теории твердого тела. Квантовые идеи, в частности идея фононов, позволили заново пересмотреть физические принципы теории. В 1933 г. появился труд Борна, написанный им в сотрудничестве с Марией Гепперт-Майер, опубликованный в «Handbuch der Physik», т. 24, переведенный в 1938 г. на русский язык под названием «Теория твердого тела», содержащий обзор результатов до 1933 г.

Интенсивное развитие работ по теории твердого тела побудило Борна написать в 1954 г. монографию «Динамическая теория кристаллических решеток», вышедшую в русском переводе в 1958 г. Таким образом, исследования Борна в области теории твердого тела продолжались свыше 40 лет и явились фундаментальным вкладом в развитие этой отрасли физической науки.

С 1921 по 1933 г. Борн был профессором в Геттингене. В эти годы Геттинген стал «Меккой» теоретической физики, куда съезжались теоретики со всех стран мира. В 1926 г. в Геттинген приехал известный советский физик-теоретик Я. И. Френкель, также внесший существенный вклад в теорию твердого тела (в особенности металлов). В Геттингене Я. И. Френкель работал над своим известным курсом «Электродинамика». Закончив немецкий текст рукописи, он показал ее Борну.

«Сегодня я свою рукопись свез Борну,— писал Я. И. Френкель,— и изложил ему в весьма дружественной и продолжительной беседе сначала причины, поощрившие мою литературную деятельность, а затем и содержание самой книги. Он еще хочет

сам ее просмотреть. Завтра я получу от него отзыв — письмо для Шпрингера (немецкого издателя научной литературы), а послезавтра двинусь в Берлин на пару дней для закрепления завоеванных позиций»¹.

В письме, адресованном Шпрингеру, Борн писал: «Ознакомившись с книгой проф. Френкеля, я нахожу, что это очень хорошая и оригинальная работа, которая к тому же появляется весьма своевременно, так как сколько-нибудь заслуживающих внимания руководств по электродинамике, кроме устаревшей книги Абрагама, в настоящее время нет. Я уверен, что труд профессора Френкеля получит весьма широкое распространение. Я сам могу по нему еще многому научиться»². Борн не ошибся. «Электродинамика» Я. И. Френкеля получила широкое распространение и была принята в качестве основного учебника в ряде европейских и американских университетов. Сам Борн с большой теплотой вспоминал о времени своего сотрудничества с Френкелем. 10 октября 1961 г. Борн писал: «Френкель был моим сотрудником в двадцатых годах, и я высоко ценил его. Он был буквально заполнен идеями и вместе с тем превосходно владел всей техникой теоретической физики... Я горд тем, что могу причислить его к моим друзьям и научным коллегам. Его ранняя смерть причинила мне большое огорчение»³.

В 1924 г. вышла в свет книга М. Борна «Лекции по атомной механике», написанная на основе лекций, прочитанных им в Геттингене в 1923—1924 гг. Эта книга содержала изложение «старой» квантовой теории, или «классической» атомной механики. Борн чувствовал, что должна быть «высшая», как он выражался, атомная физика, и предполагал посвятить ей второй том. Но он полагал, что «до совершенной квантовой механики еще далеко»⁴. Однако уже в 1925 г., спустя несколько месяцев после выхода книги Борна, появилась первая работа В. Гейзенберга. В то же время Борн в сотрудничестве с П. Иорданом разработал математический аппарат новой квантовой механики. Этот аппарат известен под названием матричного исчисления.

В 1926 г., используя идеи Л. де Бройля о волновых свойствах материи, Э. Шредингер разработал свой вариант новой атомной механики, так называемую волновую механику. В теории Шредингера центральным пунктом является носящее его имя волновое уравнение для некоторой функции Ψ . Поведение электрона в атоме определяется ходом этой функции, физический смысл которой оставался неясным. Борн первым предложил интерпретацию этой функции, согласно которой квадрат модуля Ψ определяет вероятность пребывания электрона в данном состоянии.

Эта статистическая интерпретация волновой функции в настоящее время рассматривается как единственно правильная. Вместе с тем она явилась одним из источников философских обобщений копенгагенской школы, в частности «принципа дополнительности», которому автор этого принципа Н. Бор придавал широкое философское значение, далеко выходящее за рамки физики.

М. Борн научными корнями своего творчества тесно связан с копенгагенской школой. Однако в своих теоретико-познавательных работах Борн не соглашается с идеалистическими выводами некоторых копенгагенцев и принимает существование объективной познаваемой реальности. По Борну, представление об объективной реальности связано с выявлением инвариантных сущностей, отысканием в изменчивом мире того, что не зависит от систем отсчета, приборов, органов чувств. Несмотря на не вполне удовлетворительную с точки зрения философского материализма трактовку реальности, эта позиция Борна несомненно свидетельствует о стихийно-материалистических взглядах ученого.

В 1933 г. в связи с приходом к власти фашистов Борн вынужден был эмигрировать из Германии. Он уехал в Англию, где занял кафедру теоретической физики сначала в Кембридже, а затем с 1936 г. в Эдинбурге. В 1954 г. он вернулся в ФРГ.

Научные заслуги Борна получили широкое признание. Он состоял членом многих зарубежных академий. В 1934 г. М. Борн был избран иностранным членом Академии наук СССР. Его научные исследования и открытия, прежде всего фундаментальный вклад в разработку основ квантовой механики, теорию кристаллических решеток и

¹ Цит. по статье И. Е. Тамма «Яков Ильич Френкель» (Успехи физических наук, т. 76, вып. 3, 1962, с. 431).

² Там же.

³ Там же.

⁴ См. Борн М. Лекции по атомной механике. Т. I. Харьков — Киев, 1934, с. 5.

теплоемкости твердых тел, теорию атомных столкновений, обеспечили ему почетное место в истории науки.

Макс Борн был не только крупным ученым, но и выдающимся борцом за мир во всем мире. В трагические годы второй мировой войны он решительно выступал против массового истребления людей, против духовных отцов атомной бомбы. Он решительно отмежевывался от преступной деятельности своего бывшего ученика Эдварда Теллера, выступавшего с проповедью водородной бомбы и третьей мировой войны. В апреле 1957 г., когда активизировались реакционные силы Западной Германии, Борн вместе с 17 выдающимися западногерманскими учеными-атомщиками подписал протест против атомного вооружения возрождающегося бундесвера. Таковы главные вехи борьбы Борна за мир, за взаимопонимание между народами.

Имя Макса Борна заслуженно пользуется всемирной известностью и окружено всеобщим уважением.

Список книг М. Борна на русском языке

1. Теория относительности Эйнштейна. Пг.: Наука и жизнь, 1922.
2. Динамика кристаллической решетки. М.: ОНТИ, 1932.
3. Лекции по атомной механике. Т. I. Харьков — Киев: ГНТИУ, 1934.
4. Современная физика. М.—Л.: Гостехиздат, 1935.
5. Оптика. Харьков — Киев: ГНТИУ, 1937.
6. Теория относительности Эйнштейна и ее физические основы. Л.—М.: ОНТИ, 1938.
7. (В соавторстве с М. Гепперт-Майер). Теория твердого тела. М.—Л.: ОНТИ, 1938.
8. (В соавторстве с Хуан Кунем). Динамическая теория кристаллических решеток. М.: ИЛ, 1958.
9. Физика в жизни моего поколения. М.: ИЛ, 1963.
10. Эйнштейновская теория относительности. М.: Мир, 1964 (2-е изд. 1972).
11. (В соавторстве с Э. Вольфом). Основы оптики. М.: Наука, 1970 (2-е изд. 1973).
12. Атомная физика. М.: Мир, 1970.
13. Моя жизнь и взгляды. М.: Прогресс, 1973.
14. Размышления и воспоминания физика. М.: Наука, 1977.

Некоторые классические статьи М. Борна по квантовой механике имеются в юбилейном выпуске УФН, посвященном 50-летию квантовой механики: УФН, 1977, т. 122, вып. 4.

ПРОБЛЕМА СЛУЧАЙНОСТИ В РАБОТАХ МАКСА БОРНА

В. А. ШУКОВ

Один из выдающихся физиков-теоретиков XX столетия — Макс Борн, как известно, является наряду с В. Гейзенбергом, П. Иорданом, П. Дираком, Э. Шредингером и Лун де Бройлем создателем квантовой механики. Он же автор статистической интерпретации квантовой механики.

К 1926 г. было в основном закончено формирование математического аппарата квантовой механики, который, как писал Борн, «оказывает совершенно удивительную услугу в деле описания сложных вещей. Но он несколько не помогает в понимании реальных процессов» (курсив мой — В. Ш.) [1, с. 87]. «Сложные вещи», с которыми столкнулась физика, — это выявившийся дуализм «не только электронов, но и реальных атомов обычного вещества, вроде атомов водорода или гелия» [там же]. Казалось бы, чисто физическая проблема — описывать ли один и тот же процесс как поток частиц или как волновое движение — породила целый ряд фундаментальных гносеологических вопросов, решение которых затянулось на многие десятилетия.

Возникшее в связи с открытием дуализма противоречие (чем же на самом деле является объект — частицей или волной?) сразу же обнаружило проблематичность существующего понимания реальности, и не только в физическом, но и в философском смысле.

Другая фундаментальная трудность состояла в том, что, согласно соотношению Гейзенберга, точные определения положения и скорости исключают друг друга. Квантовые законы утверждают невозможность точного знания положения и скорости в данный момент времени и поэтому невозможность такого предсказания будущего дви-

жения, которое было характерно для классической механики. Невыполнимость требований строгого однозначного детерминизма была истолкована как вообще крах детерминизма и, следовательно, принципа причинности. «Познание того,— писал Борн в 1936 г.,— что открытие квантовых законов кладет конец строгому детерминизму, который был существенной чертой классической физики, само по себе имеет огромное философское значение» [1, с. 90].

Попытки разрешения возникших противоречий и трудностей неизбежно вызвали философские дискуссии. Одним из самых активных участников этих дискуссий с самого начала был Макс Борн. Поэтому для истории науки и философии очень важно знать существо его философской и методологической концепции. Исследования философского наследия М. Борна страдают, к сожалению, фрагментарностью и, как нам кажется, не вполне точно отражают некоторые моменты его философских взглядов [см. 4—7].

Результаты современных физических и в особенности философских исследований недвусмысленно утверждают большую эвристическую значимость вероятностных методов познания. В настоящее время идет активный процесс переосмысления содержания категорий закона, необходимости, случайности, причинности, детерминизма. Непосредственной виновницей такого переосмысления оказалась квантовая механика и ее статистическая интерпретация.

Теперь уже ясно, что старое представление о случайности как выражении только *внешних, единичных, несущественных, неустойчивых* и тому подобных связей и отношений несостоятельно. Еще более неубедительным выглядит традиционное представление о случайном как *незакономерном*: противопоставление случая и закона оказывается не соответствующим современной науке, причем не только в квантовой теории, но и в биологии, социологии и т. д. Стало ясно, что случайность способна отражать внутренние и существенные связи, и поэтому возникла потребность понять, каким образом можно избежать противопоставления случая и закона и, более того, теоретически обосновать неизбежность включения случайности в структуру закона [см., например, 9, 12, 13].

Одним из первых, кто понял эти наметившиеся перемены в стиле мышления, был Макс Борн. Начиная с 20-х годов, он отстаивал объективную значимость вероятности, поскольку, как он говорил, «приходится постулировать законы случая, в которых предсказывается проявление законов природы или законов человеческого поведения» [2, с. 143]. Он считал, что после открытия квантовых законов необходимо не только отказаться от устаревших способов описания и исследования реальности, но также и сформулировать новое, более глубокое понятие физической реальности. Особое внимание он уделял проблеме детерминизма, а вместе с ним и причинности. По этим вопросам Борн написал много работ, которые до сих пор оцениваются далеко неоднозначно. Поэтому имеет смысл еще раз рассмотреть его философскую и методологическую концепцию.

Это тем более важно потому, что, во-первых, сам М. Борн, несмотря на свой очень значительный вклад в развитие физики, писал в одной из последних работ в 1968 г.: «Философский подтекст науки всегда интересовал меня больше, чем ее специальные результаты» [2, с. 19]. Он действительно придавал очень большое значение философскому осмыслению новых научных данных, постоянно подчеркивая, что работа любого ученого-естественника и особенно физика-теоретика теснейшим образом переплетается с философией [см. 2, с. 44].

Во-вторых, это важно потому, что его философские идеи о науке, которые он «развивал как физик всю свою жизнь» [3, с. 20], оказали существенное влияние на современников и в основных своих чертах способствовали разрешению трудных и запутанных вопросов философской интерпретации квантовой механики.

Н. Кеммер и Р. Шлапп подчеркивали, что философская интерпретация квантовой механики до сих пор является предметом спора, однако при этом большинство физиков исходит из концепции, развитию которой положили начало работы М. Борна [см. 7, с. 260]. Сюда прежде всего следует отнести статьи 1926—1928 гг.: «Квантовая механика и статистика» [1], «Физические аспекты квантовой механики» [3], «О значении процессов столкновения для понимания квантовой механики» [1], «О значении физических теорий» [1], в которых Борн разрабатывает философское обоснование статистической интерпретации квантовой механики. Уже в это время он был убежден, что