

## О ПРОБЛЕМЕ ПОНИМАНИЯ В ФИЗИКЕ

**М.Б. Челноков**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

e-mail: l-chelnok@yandex.ru

*Рассмотрена проблема понимания в физике. До начала XX в. картина мира представлялась чисто механистической, и объяснение любого явления сводилось к наглядным образам. Однако с появлением квантовой механики наглядные представления во многом исчезли. При этом проблема понимания резко обострилась. Проведено разделение основных физических понятий на первичные и вторичные, рассмотрены два аспекта определения первичных понятий — операциональный и интуитивный. Особое внимание уделено физике микромира. Рассмотрено сочетание детерминистической и вероятностной картины на этом уровне, введено понятие вероятностного детерминизма. Проанализирована не материальная, не физическая, а чисто математическая природа волны де Бройля и волны вероятности. Это — объект принципиально нового характера, на что до сих пор обращалось мало внимания. Интерпретация этих аспектов опирается на фундаментальный эксперимент по дифракции поочередно летящих электронов, проведенный В.А. Фабрикантом в 1949 г.*

**Ключевые слова:** фундаментальные частицы, детерминизм, вероятность, причина, следствие, первичные объекты, пространство, время.

## ON THE PROBLEM OF UNDERSTANDING IN PHYSICS

**M.B. Chelnokov**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

e-mail: l-chelnok@yandex.ru

*In this article the problem of understanding in physics is considered. Until the early twentieth century world view is represented by purely mechanistic and an explanation of any phenomenon was solved to a visual image. But with the advent of quantum mechanics visual representations largely disappeared. Thus the problem of understanding become aggravated sharply. In this paper, we have separated the basic physical concepts of primary and secondary. Two aspects of the definition of primary concepts as the operational and the intuitive ones are considered. Particular attention is given to the physics of the microworld. It has been considered a combination of deterministic and probabilistic pattern at this level. The concept of probabilistic determinism was introduced. In this article there is an analysis of not material, not physical, but the pure mathematical nature for de Broglie wave and probability waves. Perhaps, this is a fundamentally new type object, on that so far little attention was paid. Interpretation of all these aspects is based on the fundamental experiment for diffraction of alternately flying electrons carried out by V.A. Fabrikant in 1949 year.*

**Keywords:** fundamental particles, determinism, probability, reason, consequence, primary objects, space, time.

Вопрос о том, как мы что-то понимаем, лежит на стыке философии, гносеологии и естествознания. Этот вопрос чрезвычайно важен, между тем, он задается редко даже в явной форме, а ответы на него порою либо туманны, либо просто безграмотны.

Поставим, например, вопрос: почему произошло то или иное событие? Ответ обычно гласит: потому, что для этого была некоторая причина. И в жизни, и в работе мы встречаемся с причинно-следственной связью необозримое число раз, и настолько к ней привыкли, что считаем ее самоочевидной, не нуждающейся в каком-то объяснении. Между тем, с проникновением человека в микромир, с появлением квантовой механики это положение уже ставится под сомнение. Обсудим этот вопрос ниже.

Пусть есть некоторый предмет, понятие, явление, объект, и необходимо понять, что это такое. Например, нас интересует вопрос: что такое абсолютно твердое тело? Мы можем дать следующий ответ: это твердое тело, деформацией которого в данных условиях можно пренебречь. Ответ вполне корректен и дает нам понимание того, что такое абсолютно твердое тело.

Однако в этом ответе фигурируют другие понятия, объекты: просто твердое тело, деформация. Можно дать определения этих понятий (объектов), в которых, в свою очередь, будут фигурировать еще объекты. Таким образом, выстраивается цепочка определений: чтобы определить какие-то объекты, привлекаются другие объекты, которые, в свою очередь, определяются через третьи и т.д.

Эта цепочка по своему смыслу не может быть бесконечной — она где-то обрывается (или, если мы идем вглубь материи, лучше утверждать: она где-то начинается).

Все понятия (объекты) в физике делятся на два класса: вторичные и первичные. Вторичные объекты понимаются (определяются) через другие объекты. Первичные объекты не определяются через что-то другое, они, по крайней мере, на данный момент развития науки, являются исходными, фундаментальными, первичными. В некотором смысле они похожи на аксиомы математики. Тем не менее широко распространенное мнение, что первичные объекты в физике вообще не определяются, принципиально неверно. Они определяются, но совершенно иначе, чем вторичные объекты.

Определение первичных объектов (понятий) складывается из двух взаимодополняющих друг друга аспектов: операционального и интуитивного. Операциональный аспект определения означает задание экспериментальных операций, методов, с помощью которых мы измеряем основные параметры исследуемого объекта и составляем представление о нем, понимаем его.

Интуитивный аспект определения связан с тем, что представление о первичных объектах вырабатывается постепенно на основе нашего жизненного опыта (как индивидуального, так и общечеловеческого). К числу ярких примеров первичных, исходных, фундаментальных

понятий (объектов) относятся пространство и время. Мы живем в пространстве и во времени, умеем измерять их параметры, знаем их закономерности.

Непонимание того обстоятельства, что первичные физические объекты в принципе невозможно определить так же, как вторичные, встречается довольно часто и приводит к фантастическим результатам. Так, доктор философских наук, профессор В.А. Канке пишет:

“Совокупность пространственных характеристик вещей типа длин, площадей, объемов, угловых размеров, отношений “слева”, “справа” называется пространством. Пространство есть выражение сосуществования вещей (явлений, процессов). Совокупность временных характеристик вещей типа длительностей, отношений “раньше”, “позже”, “одновременно” называется временем. Время выражает сменяемость вещей (явлений, процессов)” [1].

Безграмотность этих определений просто невероятна. И эта книга рекомендована Минобразования РФ в качестве учебника для студентов вузов, выдержала множество изданий, награждена дипломом Министерства!

Подчеркнем еще раз очень важный для дальнейшего изложения момент: наше представление о первичных понятиях, объектах вырабатывается на основе нашего макроскопического опыта. Однако ниоткуда не следует, что представления о первичных объектах, сложившиеся на основе этого макроскопического опыта, сохраняют силу при переходе в мир совершенно иных масштабов, при переходе в микромир или в мегамир.

В начале XX в. с зарождением и развитием квантовой механики постепенно выяснилось, что многие первичные понятия, взятые из макроскопического опыта, теряют смысл при переходе в микромир. Эти понятия не преобразуются, а полностью утрачивают свой смысл, им просто ничего не соответствует в реальной природе. Так, в микромире не существует понятия траектории, казалось бы, столь очевидного в макромире.

Осознание этого факта пришло не сразу, постепенно, и вызвало самый настоящий шок. Это, наряду с глубоким математическим аппаратом, и является главной причиной, почему человек, не изучавший серьезно физику, не может понять закономерности микромира.

Как же создаются, вырабатываются первичные понятия микромира? Наш макроскопический опыт здесь ничем не может нам помочь, он бессилён. Представления о первичных понятиях, объектах микромира конструируются, создаются нашим разумом. Но назвать это свободной конструкцией разума нельзя. Эти конструкции должны быть такими, чтобы полученные на их основе результаты подтверждались нашим

макроскопическим опытом. Но даже если такое подтверждение состоялось, то остается вопрос о том, единственная ли это возможная конструкция или существуют еще и другие?

Есть еще одно очень важное обстоятельство: измерение в микромире — это всегда взаимодействие микрочастицы с макрообъектом — прибором, так что ответ всегда дается на классическом макроскопическом языке. У нас, видимо, не существует никаких реальных возможностей получить хоть какой-то результат измерения на квантовом, микроскопическом языке. В силу этого квантовая механика говорит на классическом языке, который не вполне адекватен микромиру.

И вот здесь-то и возникает кажущееся противоречие, сочетание несочетаемого — так называемый корпускулярно-волновой дуализм. Принято утверждать, что в одних опытах микрочастица проявляет себя как корпускула, в других — как волна, т.е. обладает свойствами и того, и другого. На наш взгляд, никакого корпускулярно-волнового дуализма не существует.

Просто микрочастица — это исходный, первичный, фундаментальный объект, для которого у нас нет никаких наглядных представлений и который при взаимодействии с макроприбором говорит на классическом корпускулярном или волновом языке, т.е. как бы переводит свой язык на другой.

Как известно, в настоящее время практически общепринятой является так называемая “копенгагенская” интерпретация волновой функции, предложенная М. Борном. Эта интерпретация называется еще статистической, или вероятностной. О том, как мучительно тяжело эта интерпретация пробивала себе дорогу в жизнь, говорит следующий факт: Борн выдвинул свою идею в 1926 г., а получил за нее Нобелевскую премию в 1954 г. — через 28 лет.

Необходимо отметить принципиальное отличие вероятностного описания, существовавшего в классике, от вероятностного описания в квантовой механике. В принципе в классике вероятность при все более детальном исследовании можно было бы не вводить, здесь вероятность — это всего лишь метод описания. В квантовой механике вероятность — это фундаментальное, исходное, первичное начало природы, вероятность присуща каждой отдельно взятой изолированной частице. Это было блестяще доказано в опытах Фабриканта–Бибермана–Сушкина (1949) [2], в которых исследовалась дифракция электронов, летящих поодиночке.

Волновая функция в квантовой механике описывает волну вероятности. Здесь одинаково важны оба аспекта — и вероятностный, и волновой. Причем, если волновой аспект быстро получил всеобщее

признание, в первую очередь, благодаря дифракционным экспериментам Дэвиссона – Джермера, то вероятностный аспект входил в физику долго и трудно, и дискуссии на эту тему продолжаются до сих пор. Приведем на эту тему хронологию, связанную с тремя главными действующими лицами.

В 1923 г. Л. де Бройль связал с движением частицы распространение волны, получил Нобелевскую премию в 1929 г. В 1926 г. Э. Шрёдингер вывел уравнение, получил Нобелевскую премию в 1933 г. М. Борн выдвинул идею вероятностной интерпретации волновой функции в 1926 г., получил Нобелевскую премию в 1954 г. Итак, промежутки времени между открытием и Нобелевской премией: де Бройль — 6 лет, Шрёдингер — 7 лет, Борн — 28 лет.

Итак, что такое волна вероятности, и какова ее природа? Прежде всего, это — не материальная, не физическая волна в том смысле, что она не имеет никакого материального носителя, не переносит никакой энергии. Это — чисто математическая волна, в которой колеблется скалярная комплексная величина — волновая функция.

Тем не менее эта волна вполне реальна так же, как реальны наши мысли, информация, сознание, вся духовная сфера жизни человечества. Реальность перечисленного выше состоит, в частности, в том, что все это оказывает влияние на наш материальный мир, например, волна вероятности определяет поведение микрочастицы, интерференционные и дифракционные явления, туннельный эффект и др.

Первичными, фундаментальными, исходными основами в микромире, по крайней мере, в настоящее время являются вероятность и детерминизм. Они сочетаются в микромире довольно своеобразно. Это описано в работах [3, 4].

Детерминизм, причинно-следственная связь не отменяются в квантовой механике, а лишь существенно дополняются вероятностным элементом. На наш взгляд, в микромире причинно обусловленным является не конкретное численное значение того или иного параметра (или динамической переменной) квантово-механического объекта в некоторый момент времени, а вероятность данного значения этого параметра, причем имеет место набор значений, и каждое из них — со своей вероятностью. Эта точка зрения наиболее четко изложена в работе [3], где она названа вероятностной причинностью, а мы добавим — вероятностный детерминизм.

Согласно этой точке зрения, состояние микрочастицы, системы в данный момент времени однозначно определяется начальными условиями (т.е. состоянием в предшествующий момент или отрезок времени) и внешними условиями, однако способ описания состояния становится вероятностным. В соответствии с изложенной точкой зрения

классическая картина представляется до предела простой:  $A \rightarrow B$ , где  $A$  — причина;  $B$  — следствие.

Квантово-механическая причинно-следственная связь становится более сложной (рисунок). Здесь  $A, B$  — по-прежнему причина и следствие, а  $P$  — некий генератор вероятности, который ставит в соответствие одной причине  $A$  целый набор, множество следствий  $B$ .

Это множество может быть как дискретным, так и непрерывным, как ограниченным, так и бесконечным. При этом генератор вероятности  $P$  следует понимать чисто символически, он, видимо, не существует как отдельный конкретный элемент в нашем мире. Итак, одна причина  $A$  может вызывать множество следствий  $B$ , каждое — со своей вероятностью [5–10].

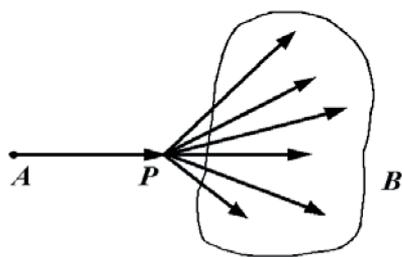
Разумеется, эта картина в пределе должна переходить в картину классическую. Понять такой переход достаточно просто: с макроскопической точки зрения множество  $B$  становится пренебрежимо малым, практически сжимается в точку, и мы возвращаемся к классической причинно-следственной связи  $A \rightarrow B$ . При этом все стрелки, направленные от генератора  $P$  к множеству  $B$ , естественно, сливаются в одну.

Во избежание недоразумений отметим, что мы понимаем индетерминизм как такую картину мира, в которой события происходят без какой-либо причины, абсолютно непредсказуемо. В квантовой механике есть и причина, и предсказуемость вероятности события, и, следовательно, говорить об отмене детерминизма не приходится.

Детерминизм ведет к фатализму, к абсолютной предопределенности будущего, а индетерминизм — к полной непредсказуемости событий. Таким образом, детерминизм отнимает у человека свободу воли, а индетерминизм не дает возможности ничего планировать, действовать целесообразно. При полном индетерминизме, например, при повороте руля автомобиля вправо, сам автомобиль может повернуть в любую сторону или продолжать ехать по прямой.

В этом плане можно сказать, что природа мудро выбрала нечто среднее, нечто промежуточное, и при этом в жизни имеет место и свобода воли, и предсказуемость событий.

Планирование будущего и, в определенных рамках, воздействие на него, является важнейшим элементом человеческой деятельности, человеческого мозга, сознания. И это планирование возможно только



Символическое изображение причинно-следственной связи в квантовой механике

при одновременном наличии двух элементов: с одной стороны, свободы воли, а, с другой, определенных закономерностей, которым подчиняется природа. Зная эти закономерности, используя их и обладая в определенных границах свободой воли, мы и планируем будущее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Канке В.А. Философия. М.: Логос, 2004. С. 180.
2. Биберман Л.М., Сушкин Н.Г., Фабрикант В.А. Дифракция поочередно летящих электронов // ДАН СССР. 1949. Т. 66. С. 185.
3. Мякишев Г.Я. Динамические и статистические закономерности в физике. М.: Наука, 1973. 272 с.
4. Челноков М.Б. Детерминизм и вероятность как фундаментальные основы природы // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2012. № 4 (47). С. 33–43.
5. Бом Д. Причинность и случайность в современной физике. М.: ИЛ, 1959. С. 111.
6. Терлецкий Я.П. Динамические и статистические законы физики. М.: Изд-во МГУ, 1950. С. 73.
7. Давыдов Б.С. Ответ на возражения Я.П. Терлецкого // ЖЭТФ. 1949. Т. 17. С. 485.
8. Гейзенберг В. Физические принципы квантовой теории. М.: Гостехиздат, 1932. С. 78.
9. Гейзенберг В. Физика и философия. М.: ИЛ, 1963. С. 52.
10. Гейзенберг В. Философские принципы атомной физики. М.: ИЛ, 1953. С. 8.

## REFERENCES

- [1] Kanke V.A. *Filosofiya* [Philosophy]. Moscow, Logos Publ., 2004. 180 p.
- [2] Biberman L.M., Sushkin N.G., Fabrikant V.A. Diffraction of alternately flying electrons. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* [Proc. Acad. Sci. USSR], 1949, vol. 66, p. 185 (in Russ.).
- [3] Myakishev G.Ya. *Dinamicheskie i statisticheskie zakonomernosti v fizike* [Dynamical and statistical laws in physics]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 272 p.
- [4] Chelnokov M.B. Determinism and probability as the fundamental bases of nature. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2012, no. 4, pp. 33–43 (in Russ.).
- [5] Bohm D.J. Causality and chance in modern physics. London, Routledge & Kegan Paul Ltd, 1957. (Russ. ed.: Bom D. Prichinnost' i sluchaynost' v sovremennoy fizike. Moscow, IL Publ., 1959, p. 111.).
- [6] Terletskiy Ya.P. *Dinamicheskie i statisticheskie zakony fiziki* [Dynamical and statistical laws of physics]. Moscow, MGU Publ., 1950. 98 p. (p. 73).
- [7] Davydov B.I. The answer to J.P. Terletskiy objections. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* [J. Exp. Theor. Phys.], 1949, vol. 17, p. 485 (in Russ.).
- [8] Heisenberg W. *Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie*. Stuttgart, Hirzel, 1930. (Russ. ed.: Geyzenberg V. *Fizicheskie printsipy kvantovoy teorii*. Moscow, Gostekhizdat Publ., 1932, p. 78. Eng. ed.: Heisenberg W. *The physical principles of the quantum theory*. Courier Dover Publications, 1930. 183 p.).
- [9] Heisenberg W. *Physics and philosophy*. New York, Harper & Row, 1958. (Russ. ed.: Geyzenberg V. *Fizika i filosofiya*. Moscow, IL Publ., 1963, p. 52.).

[10] Geyzenberg V. Filosofskie problemy atomnoy fiziki [Philosophical problems of atomic physics]. Moscow, IL Publ., 1953, p. 8.

Статья поступила в редакцию 02.04.2014

Челноков Михаил Борисович — канд. техн. наук, доцент кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 научных работ в области физики плазмы, спектроскопии, релятивистской электродинамики, квантовой механики.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Chelnokov M.B. — Cand. Sci. (Eng.), assoc. professor of “Physics” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 40 publications in the field of plasma physics, spectroscopy, relativistic electrodynamics and quantum mechanics. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.