

КВАНТОВАЯ ЧАСТИЦА И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЕ ПОСТУЛАТЫ В «ТЕОРФИЗИЧЕСКОЙ» ИНТЕРПРЕТАЦИИ

В принципе разные «интерпретации» (точнее парадигмы) предполагают разные онтологии. К.Поппер в 1930-х выделил три семейства «интерпретаций»: «копенгагенскую» (возглавляемую Н.Бором), «антикопенгагенскую» (во главе с А.Эйнштейном) и «работающих физиков», имея в виду физиков, строящих физические теории и не обращающих внимания на споры первых. Наиболее общепринятой в философии науки является первая. Вторая представлена главным образом знаменитыми «парадоксами», которые призваны показать незаконченность «копенгагенской интерпретации». Представляющие ее онтологии связаны со «статистической интерпретацией», с интерпретацией со скрытыми параметрами (бомовской) и т.п. Третья интерпретация, по Попперу, является чисто инструментальной, сводящейся к математическому формализму, онтологии она не предполагает. Я, исходно принадлежа сообществу «работающих физиков», выявил в основе действий этой группы четкую онтологическую формулировку квантовой механики, в рамках которой никаких парадоксов нет. Поскольку в своем анализе я здесь следовал призыву Эйнштейна: «Если вы хотите кое-что выяснить у физиков-теоретиков о методах, которые они применяют, я советую вам твердо придерживаться одного принципа: не слушайте, что они говорят, а лучше изучайте их действия», то назвал эту формулировку «теорфизической интерпретацией». Она задает «основания квантовой механики» в соответствии с общей схемой, изложенной в [Липкин 2014], где физика представляется как совокупность разделов физики ($РФ_j$), каждый из которых имеет собственные основания ($ОРФ_j$) в виде системы постулатов, определяющих базовые понятия, среди которых особое место занимают «первичные идеальные объекты» (ПИО), образующие *онтологические основания физики*: из них строятся физические модели явлений, которые будем называть «вторичными идеальными объектами» (ВИО). В физике идеальные объекты (ИО) – то, что «движется» в некотором общем смысле, определяемом тем, что движение представляется как переход объекта из одного состояния в другое $S_A(t_1) \rightarrow S_A(t_2)$.

Сказанное можно выразить следующей схемой:

$$\{ОРФ_j [ПИО_j]\} \rightarrow [ВИО(\{ПИО_j\})] \leftarrow \text{Явление.} \quad (1).$$

Итак, ВИО явным образом определяются через ПИО, а ПИО задаются в основаниях с использованием неявного типа определения, т.е. не независимо, а в рамках системы базовых понятий. Такой тип определения для геометрии ввел Д.Гильберт. Этот тип определения позволяет вводить более сложные и непривычные и менее наглядные (визуальные) понятия, к которым относится и ПИО квантовой механики – «квантовая

частица». Т.е. «квантовую частицу» надо воспринимать как новый онтологический физический объект, обладающий новыми непривычными свойствами корпускулярно-волнового и вероятностного поведения, задаваемого, в первую очередь, постулатами М. Борна. Последние представим в виде трех положений (пунктов).

В качестве первого возьмем общепринятую «вероятностную интерпретацию волновой функции» М. Борна, задающую правила, позволяющие по математическому образу состояния $\Psi_A(t)$ определить *распределения вероятностей* соответствующих измеримых величин. Волновая функция Ψ_A задает распределение вероятностей всех измеримых величин в данном состоянии объекта-системы (если мы знаем Ψ_A , то мы можем узнать распределение вероятностей любой измеримой величины).

Логичным продолжением первого **пункта** является второй: *в квантовой механике состояние физического объекта определяется не значениями, а распределениями вероятности значений* соответствующих измеримых величин¹. Это центральное для оснований квантовой механики положение.

Из этого следует третий **пункт** – *одно измерение ничего не говорит о состоянии объекта* (ни до, ни после этого акта измерения, если оно не приготовлено в особом «собственном» состоянии), и, чтобы определить распределение вероятностей, *требуется достаточно длинная серия измерений* (предполагающая к тому же использование «томографического» метода² или его аналога, чтобы выявить и характерную для волны фазу). Это существенное изменение операций измерения по сравнению с классической механикой.

Задаваемое этими постулатами корпускулярно-волновое и вероятностное поведение – это новый тип поведения, оно имеет какие-то общие свойства с поведением частицы и какие-то общие свойства с поведением волны (интерференция и дифракция), но не сводится к ним. Эти свойства очень ярко проявляются в известном мысленном двухщелевом эксперименте, где, пуская квантовую частицу (фотон, электрон) по одной, мы получим на фотопластинке поглощение ее определенном месте (корпускулярное свойство), а если будем продолжать достаточно долго это повторять, то на распределении вероятности получим типичную дифракционно-интерференционную картинку (волновое свойство).

Другое яркое проявление этого поведения выявляет *соотношение неопределенности Шрёдингера*. Здесь важно понимать: 1) что оно *теоретически выводится* из постулатов Борна и постулатов Шрёдингера. Последние формируют математический слой оснований

¹ Очень часто при изложении квантовой механики акцент делают, во-первых, на средних значениях, а не на распределении вероятностей, во-вторых, на положении частицы, хотя эти правила относятся к любой измеримой величине.

² Этот метод предполагает серии измерений взаимодополнительных величин (см.: [Dunn et al, 1995; KurtSiefer et al, 1997] и другие работы, указанные в [Клышко, Липкин 2000]).

квантовой механики (мы пользуемся здесь представлением Шрёдингера), задавая математический образ состояния системы (объекта) в виде волновой функции и уравнения движения в виде уравнений Шрёдингера; 2) оно является *свойство не измерения, а состояния*. Состояние, полностью описываемое волновой функцией, определяет распределение вероятностей для всех измеримых величин, включая взаимодополнительные.

Чтобы задать квантово-механический объект (систему), состоящий из одной или многих квантовых частиц, надо указать еще способ построения *математического образа физического объекта* – квантовый оператор Гамильтона $H_{кв}$, который входит в «уравнение движения» (уравнение Шрёдингера). Стандартную процедуру его построения можно представить в виде *процедуры квантования «затравочного» (классического) объекта (системы)*.

Эта общая процедура состоит в следующем. Сначала берется классическая модель объекта (например, планетарная модель атома). Для него строится классический математический образ – классический гамильтониан $H(x,p)$ в декартовой системе координат (являющийся функцией от положений (x) и импульсов (p) частиц). Затем проводится процедура квантования в виде замены импульсов на соответствующие операторы (например, компоненту импульса частицы p_x меняют на оператор $(-i\hbar/4\pi)\partial/\partial x$). В результате этого получают квантовый гамильтониан $H_{кв}$, т. е. математический образ квантового объекта, отвечающий квантово-механической физической модели (так получается квантово-механическая модель атома с делокализованными состояниями (“орбиталями”) электронов в атоме). Эта процедура (но без такого особого названия) была сформулирована в фундаментальных работах 1927-1930 гг. Джона фон Неймана и Поля Дирака, а у Луи де Бройля она существует под именем «автоматический вывод волнового уравнения». Эта введенная Гейзенбергом процедура используется и при приготовлении объекта в начальном состоянии.

К перечисленным выше постулатам Шрёдингера, Борна и квантования, задающим «теорфизическую» «интерпретацию» для одночастичных систем, для многочастичных систем требуется добавить *принцип тождественности квантовых частиц*, который определяет правила сборки многочастичных систем в квантовой механике. Из него следует «принцип Паули» для заполнения орбит электронов в атоме. Из него также следует наличие двух типов частиц – бозонов (фотоны) и фермионов (электроны, протоны, нейтроны), обладающих разными коллективными свойствами («статистиками»).

Это холистский принцип. Из-за него система частиц не сводится к совокупности частиц³. Без него нельзя описать явления сверхпроводимости и сверхтекучести при низких температурах и многие другие многочастичные (коллективные) квантовые эффекты.

Задав постулаты «теорфизической» «интерпретации» можно провести классификацию (и сравнение) указанных в начале трех «интерпретаций» по следующим трем пунктам:

Три «интерпретации» квантовой механики

Интерпретация	Существует ли состояние квантовой системы объективно и независимо от измерения?	Является ли вероятностное описание отдельной микрочастицы принципиальным фактом квантовой механики?	Полна ли «новая» квантовая механика
«Копенгагенская»	НЕТ	ДА	ДА
«Антикопенгагенская»	ДА	НЕТ	НЕТ
«Теорфизическая»	ДА	ДА	ДА

В заключение обратимся к «разоблачению» «парадоксов» квантовой механики, которых в «теорфизической интерпретации» нет. Во-первых, все они существуют только в рамках «копенгагенской» интерпретации, только при «копенгагенском» ответе на первый вопрос (который, кстати, противоречит их ответу на второй вопрос). Другой причиной, которая приводит к парадоксам, в частности к «редукции (коллапсу) волновой функции», является лапласионизм – редукция всего к физике: у Лапласа к ньютоновской механике, у Шредингера – к квантовой механике, более новый вариант – к квантовой статистической механике. Но технические процедуры сравнения с эталоном, например измерение длины с помощью метра, есть не явление природы, а техническое действие [Липкин 2010; 2014]. Фон Нейман в своей теории измерений, где он вводит процедуру растворения прибора в теоретическом описании, справедливо фиксирует, что при таком анализе измерения обязательно есть «нерастворимый» в его процедуре «остаток», который не является предметом физической теории. Этот остаток он описывает по Маху, на языке восприятий, у Н.Бора по сути тот же остаток фиксируется как «необходимость использование классических приборов» (и языка), утверждение о «редукции (коллапсе) волновой функции», которое добавляется как *ad hoc* гипотеза, - другая форма фиксации этого остатка. В «теорфизической» интерпретации этот остаток, исходя из анализа того, что лежит в основе отличия физики от натурфилософии со времен Г.Галилея, представляет собой технические операции сравнения с эталоном.

³ Ярким примером этого являются введенные в рассмотрение Эйнштейном, Подольским и Розеном «перепутанные» состояния двух частиц. В многочастичных системах квантовой теории поля этот принцип проявляется в процедуре «временного упорядочения» в математическом слое.

Липкин А.И. Основания физики. Взгляд из теоретической физики. М.: УРСС, 2014.

Липкин А.И. Две методологические революции в физике – ключ к пониманию оснований квантовой механики // Вопросы философии 2010, вып. 4, с. 74-90.

Клышко Д.Н., Липкин А.И. О "коллапсе волновой функции", "квантовой теории измерений" и "непонимаемости" квантовой механики // Электронный журнал «Исследовано в России». 2000, с. 736 - 785 <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/053.pdf>.