

## МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ В ВУЗЕ

© 2010 О.А.Янкевич

Поволжская государственная социально-гуманитарная академия

Статья поступила в редакцию 02.08.2010

И в квантовой, и в классической физике существуют трудности, преодоление которых может потребовать модификации этих теорий. Предлагаются определения «классической» и «квантовой» физических величин и предполагается, что эти определения могут быть использованы и в современной, и в «модифицированной» физической теории с целью различения классического и квантового поведения изучаемых объектов.

Ключевые слова: классическая теория, квантовая теория, определение классической физической величины.

В процессе преподавания курсов классической и квантовой механики возникает ряд трудностей и нерешенных вопросов, тесно связанных с нерешенными вопросами классической и квантовой теорий: расходящиеся выражения массы и энергии точечных частиц, проблема множителя  $4/3$  в классической теории точечного электрона и т.п. Затруднения возникают и при решении со студентами одной из основных проблем: как ответить на вопрос, чем же квантовая теория отличается от классической теории? Казалось бы, ответ на этот вопрос известен и очевиден. Например, для нерелятивистской частицы во внешнем силовом поле механика Ньютона это классическая теория, а механика Шредингера это квантовая теория. Это действительно так. Но, допустим, появилась новая теория для той же частицы, отличная от ньютоновой и от шредингеровой механики. Как определить, является ли новая теория классической или квантовой теорией, не прибегая к сравнениям с уже известными теориями? Оказывается, общих определений «квантовая теория» и «классическая теория» нет, и однозначного ответа на поставленный выше вопрос не существует.

В квантовой механике амплитуды  $\varphi$  являются решениями строго детерминистского уравнения, уравнения Шредингера, в том смысле, что если амплитуда  $\varphi$  известна в момент времени  $t=0$ , то мы будем знать ее во все последующие моменты времени. Истолкование же величины  $|\varphi|^2$  как вероятности события – чисто индетерминистское истолкование. Однако, такое истолкование не приводит к каким-либо внутренним противоречиям. Это было показано Борном, Бором, Гейзенбергом, Нейманом и многими другими физиками на многочисленных примерах раз-

личных частных случаев. Однако, нельзя считать доказанным, что такие противоречия никогда не возникнут. По этой причине квантовая механика кажется новичку трудной и до некоторой степени таинственной дисциплиной. Тайна постепенно уменьшается по мере того, как разбирается все большее число примеров, но никогда не исчезает полностью ощущение, что у этого предмета есть что-то необычное. Существует несколько сложно формулируемых, полностью еще не разработанных проблем интерпретации квантовой механики, над которыми стоило бы поработать<sup>1</sup>. Одна из них – доказать, что вероятностная интерпретация волновой функции  $\varphi$  является единственно возможной последовательной интерпретацией этой величины. Мы и наши измерительные приборы являемся частью природы и, следовательно, должны описываться функцией, удовлетворяющей детерминистскому уравнению. На первый взгляд, в нашем мире нет симметрии по оси времени и наше знание прошлого качественно отличается от нашего знания будущего. На наш взгляд, утверждение о существовании асимметрии между прошлым и будущим следует уточнить. Теоретические выводы следует сравнивать и в прошлом, и в будущем лишь с теоретическими выводами. Результаты измерений аналогично следует сравнивать лишь с результатами измерений, и тогда отмеченной Фейнманом и Хибсом асимметрии не возникнет. Действительно, пользуясь уравнением Шредингера и зная, задав условно или определив из измерений, волновую функцию  $\varphi$  в момент времени  $t=0$ , мы можем определить значение этой функции в любой момент времени, как в прошлом  $\varphi \ll t < 0$ , так и в будущем  $\varphi \ll t > 0$  времени. Но если в прошлом производились измерения, то мы не можем в общем случае сказать,

<sup>0</sup>Янкевич Ольга Александровна, старший преподаватель кафедры теоретической физики.  
E-mail: [olga\\_ssttu@mail.ru](mailto:olga_ssttu@mail.ru)

<sup>1</sup> Фейнман Р., Хибс А. Квантовая механика и интегралы по траекториям. – М.: 1968. – С. 34 – 35.

какие именно результаты этих измерений привели к данному значению волновой функции  $\varphi$ . Как с помощью известной волновой функции нельзя точно определить значения измеряемых физических величин, так и известные точные значения физических величин не позволяют в общем случае определить значение волновой функции. Не существует физической величины или набора физических величин, измерение которых в общем случае, то есть в произвольном состоянии объекта, позволило бы однозначно определить его волновую функцию<sup>2</sup>. Заметим, что квантовая теория (механика Шредингера) и классическая теория (механика Ньютона) в обычном смысле находятся в сложном взаимоотношении. Классическая теория не только и не столько частный или предельный случай квантовой теории, но и ее методологическая база. Существуют соотношения и закономерности, общие для обеих теорий. К ним относятся значения масс покоя и зарядов элементарных частиц, то есть физических величин, обладающих единственными, точными значениями. Сюда же, по видимому, следует отнести и значения собственных механических и магнитных моментов частиц. Хотя, по традиции, спин считается исключительно квантовой характеристикой<sup>3</sup>. Классический вид имеют и соотношения, получающиеся в результате усреднения по совокупности измерений квантовомеханических операторных уравнений. Однако формального критерия, который позволял бы для любого утверждения или соотношения установить, является ли это соотношение чисто классическим или же оно учитывает и квантовые эффекты, не существует. На наш взгляд, такой критерий был бы полезен при анализе новых утверждений и соотношений, имеющих формально «классический вид». Заметим также, что не существует удовлетворительного математического перехода от квантовой теории к классической теории. Иногда такой переход делают, устремляя значение постоянной Планка к нулю. Но, во-первых, постоянная не может куда-либо «стремиться». Во-вторых, в рамках более общей будущей теории может оказаться, что заряд и масса частицы зависят от постоянной Планка и в предельном случае обращаются в нуль или в бесконечность. Также не существует автоматического перехода от классической модели какого-либо явления к его квантовомеханическому описанию. В квантовой ме-

ханике существуют различные варианты математического формализма, в рамках которых по-разному формулируются правила перехода от квантовой теории к классической и наоборот. По-разному формулируются и условия, при выполнении которых возможно классическое описание объекта, или, точнее, условия, при выполнении которых классическое описание поведения объекта оказывается адекватным природе. Казалось бы, фейнмановский подход в максимальной степени сблизил квантовое и классическое описания системы, но это сближение лишь формальное. Промежуточные состояния объекта не могут быть отождествлены с помощью какой-либо измерительной процедуры. Это не реальные, а виртуальные состояния, специально конструируемые в рамках используемого формализма и подчиняющиеся единственному условию: амплитуда перехода объекта из начального состояния в конечное должна получаться правильной. Вернемся к проблеме определения понятий «квантовая теория» и «классическая теория». Сформулируем определение классической физической величины и классической системы (объекта). Если физическая величина  $f$ , характеризующая некий физический объект, может быть определена в любой момент времени как функция своего начального значения  $f_0$  и конечного числа производных по времени  $\dot{f}_0, \ddot{f}_0, \ddot{\ddot{f}}_0, \dots$ , заданных в начальный момент времени  $t_0$ :  $f \equiv f(f_0, \dot{f}_0, \ddot{f}_0, \ddot{\ddot{f}}_0, \dots, t_0)$ , то такую величину будем называть классической или будем говорить, что в рассматриваемом случае физическая величина  $f$  ведет себя классическим образом. Если некоторая совокупность физических величин  $f, g, \dots, h$  подчиняется некоторому условию или уравнению, которое позволяет определить значения этих величин в любой момент времени по начальным значениям этих величин и их производных по времени конечного порядка, то такую совокупность физических величин будем называть классической совокупностью или же будем говорить, что рассматриваемая совокупность физических величин ведет себя классическим образом в некотором интервале времени и в рассматриваемых условиях. Если классическая система величин является полной, то есть полностью характеризует состояние физического объекта, так что любая другая физическая величина, характеризующая состояние этого же объекта, может быть однозначно определена по значениям исходной системы величин, то рассматриваемый физический объект будем называть классическим физическим объектом или же будем говорить, что в рассматриваемых условиях в соответствующем промежутке времени физический объект ведет себя классическим образом. В

<sup>2</sup> Tarnovskii A.S., Yankevich O.A. On inexistence of physical value, which measurement would allow to determine general state of quantum mechanical object? // «Концепции симметрии и фундаментальных полей в квантовой физике XXI века». Тезисы докладов. – Самара: 2005. – С. 71 – 72.

<sup>3</sup> Физическая энциклопедия / Гл. ред. А.М.Прохоров. – М.: 1994. – Т. 4. – С. 631.

качестве физической величины можно рассматривать не только индивидуальную характеристику объекта, но и усредненную по совокупности опытов. Физическую величину и физический объект, которые не удовлетворяют сформулированным условиям, будем называть неклассическими. Заметим, что в соответствии с приведенным определением физический объект в статическом или стационарном состоянии является классическим объектом, точнее, физическим объектом, ведущим себя классическим образом. И, вообще, любая характеристика объекта, не изменяющаяся со временем, например, масса или спин, по нашему определению является классической величиной. Это не означает, что совокупность стационарных состояний объекта и их характеристики можно определить из классической теории. Для этого может потребоваться знание динамики системы, относящейся уже к компетенции квантовой теории.

На наш взгляд, те проблемы, которые хотя бы для частных случаев можно сформулировать на классическом языке, следует пытаться решать сначала в рамках классической теории. Во всяком случае, не следует пренебрегать такой возможностью. С другой стороны, если в неклассической теории появились утверждения, которые можно сформулировать на классическом языке и которые остаются справедливыми и в классическом пределе, например, существование стационарных состояний для электрона в атоме, то такие утверждения следует включать в классическую теорию. Закон взаимосвязи массы и энергии для покоящегося тела следует считать частью не только релятивистской, но и классиче-

ской механики. Точно так же принцип эквивалентности гравитационной и инертной массы тела, исторически впервые сформулированный в ОТО, следует считать тоже частью классической механики и теории гравитации. На теорию физического явления следует смотреть как на двуединую теорию, включающую в себя классическую и неклассическую части. В тех случаях, когда речь идет о необходимости модификации полной «двуединой теории», в принципе безразлично, с какого конца начинать эту модификацию. Можно сначала модифицировать классическую теорию, и это автоматически приведет к изменению квантовой теории. Можно модифицировать сначала квантовую теорию, что, в свою очередь, может привести к изменению ее предельного или частного случая. Во всяком случае, следует попытаться добиться, чтобы в завершённой «двуединой» теории классическая теория, получаемая на основании своих исходных принципов, совпадала с теорией, получаемой из квантовой в качестве ее классического предела. По крайней мере, противоречий между классической теорией и классическим пределом квантовой теории быть не должно. Приведенные рассуждения носят элементарный характер и могут быть использованы на индивидуальных и семинарских занятиях со студентами, изучающими теоретическую физику в педагогическом вузе. Как показывает педагогический опыт, подобные общефизические и философские обсуждения повышают интерес студентов к изучению общей и теоретической физики.

## METHODOLOGICAL ASPECTS OF CLASSICAL THEORY AND QUANTUM THEORY TEACHING AT A HIGHER EDUCATION INSTITUTION

© 2010 O.A.Yancevich<sup>o</sup>

Povolzhskaya State Academy of Social Sciences and Humanities

Both in quantum and classical physics there are some difficulties. Overcoming these difficulties may require some modification of these theories. Definitions of «classical» and «quantum» quantities are suggested. These definitions are supposed to be used in modern and as well as in «modified» physical theories for the purpose of distinguishing classical and quantum behavior of the studied objects.

Keywords: classical theory, quantum theory, definition of a classical quantity.

---

<sup>o</sup> Olga Aleksandrovna Yancevich, senior teacher of Department of theoretical physics. E-mail: [olga\\_ssttu@mail.ru](mailto:olga_ssttu@mail.ru)