

Тарасов Василий Евгеньевич

**КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2011/10/20.html](http://www.gramota.net/materials/1/2011/10/20.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2011. № 10 (53). С. 57-60. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2011/10/](http://www.gramota.net/materials/1/2011/10/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

УДК 530.1

*Василий Евгеньевич Тарасов**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова**Московский авиационный институт (технический университет)*КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА В КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ<sup>©</sup>

К сожалению, курс общей физики и особенно его разделы, посвященные квантовой физике, часто излагают не как стройную теоретическую схему, подтвержденную в экспериментах, а как набор разрозненных фактов. Курс общей физики часто перегружают набором фактов, эффектов, свойств материалов и веществ, отдельными историческими событиями. Квантовая физика как часть курса общей физики представляет собой внушающее жалость скопление гипотез, принципов, утверждений, понятий и вычислительных рецептов, а не логически последовательную теорию.

Может показаться, что в курсе следуют некоторой исторической логикой развития, которая призвана сделать квантовую физику более понятной. Нет, это тоже неверно. При внимательном рассмотрении видно, что в курсе квантовой физики даже и не пытаются придерживаться исторической логики. Приведем несколько примеров.

1. Активно эксплуатируются гипотеза Планка (1900), в обоснование которой излагают квантовую оптику доквантовой эпохи, и выводят доквантовыми методами формулу Планка. Не проходят мимо обсуждения того, как электрон движется по орбитам Бора, хотя на самом деле орбит нет. Аккуратно формулируют постулаты Бора (1913), которые скорее являются не постулатами, а устаревшими гипотезами. При этом забывают рассказать о квантовых условиях Зоммерфельда-Вильсона (1915), которые единым образом описывают гармонический осциллятор по Планку и атом водорода по Бору. Зоммерфельд применил свои условия для релятивистского рассмотрения атома водорода, и открыл тонкую структуру водородного спектра. Его результаты играли огромную роль для развития квантовой физики.

2. Обязательно рассказывается о фотоэффекте и формуле Эйнштейна, и об эффекте Комптона. Однако не обсуждается создание теории дисперсии (1921-1924), открывшей новый подход к проблеме взаимодействия излучения и вещества. Не рассматриваются правила для интенсивностей излучения атомов (1924).

3. Ничего не говорится о создании квантовой механики Гейзенбергом (июнь 1925). Не упоминаются результаты Борна, Йордана, Винера и Дирака (1925). Не говорится о матричной форме квантовой механики, созданной до волновой механики Шредингера. Напомним, что именно Гейзенберг получил в 1932 году Нобелевскую премию «За создание квантовой механики в матричной форме». Шредингер и Дирак получили Нобелевскую премию на год позже, с формулировкой «За открытие новых форм атомной теории».

4. Отметим, что историческая логика обрывается как раз в тот момент (в 1925 году) когда только было начато построение квантовой механики. Странно, обрывать фильм, когда он только начался. Стоит показать хотя бы некоторые интересные сюжеты. Столько времени убить на «рекламу» квантовой теории в виде гипотезы Планка, постулатов Бора, эффекта Комптона, фотоэффекта, волн де Бройля и на самом интересном месте выключить «телевизор». А где основные результаты с 1925 по 2010 года? При этом далеко не все полученные фундаментальные результаты и фундаментальные понятия этих лет сложны математически и идейно. Некоторые даже проще и логичнее тех, которые обычно используются в курсе общей физики. Даже ограничившись критерием подбора материала по математической простоте (математически не сложнее, чем при традиционном изложении), квантовую механику можно излагать как современную и логически последовательную теорию, подтвержденную экспериментами.

Необходима существенная модернизация содержательной части курса. Квантовая механика, к огромному сожалению, преподается в курсе общей физики в том виде, который соответствует тридцатым годам прошлого века. За рамками курса общей физики остались все достижения квантовой механики последних 75 лет (начиная с 1927 года). Не рассматривают даже те понятия и законы, которые относятся к основам этой теории и не требуют серьезного математического аппарата.

Перечислим основные замечания к традиционному изложению квантовой механики в курсе общей физики.

1. Представляется странным тот факт, что в курсе общей физики именно квантовая механика излагается посредством симуляции исторической логики: тепловое излучение, формула Планка, постулаты Бора, фотоэффект, волны де Бройля, волновая функция, уравнение Шредингера. При этом изложение истории развития квантовой теории обрывается на середине 1926 года, и даже не упоминаются уравнения Гейзенберга, матрица плотности, уравнения фон Неймана, квантование Дирака и так далее. Отметим, что в курсе общей физики классическая физика не излагается в соответствии с исторической логикой ее становления. Изучение классической физики начинается с основных понятий и законов классической механики. Аналогично следует поступать и при изложении квантовой физики. Изучение квантовой физики следует начинать с теорий, лежащих в ее основе, то есть с квантовой механики, квантовой статистики и элементов квантовой теории поля.

2. Вызывает удивление тот факт, что изложение таких вопросов как «волны де Бройля», «дуализм волн и частиц» и «соотношение неопределенностей» до определения основных понятий квантовой механики.

Следует сначала определить основные понятия. В квантовой кинематике основными понятиями являются «квантовые наблюдаемые», «квантовые состояния» и «средние значения». Соотношения неопределенностей являются следствием коммутационных соотношений для квантовых наблюдаемых.

3. Очень большое внимание в лекциях и в задачах уделяется волнам де Бройля, что не оправдано и ведет к неправильному пониманию квантовой механики. Волны де Бройля не относятся к основным понятиям квантовой механики и могут быть упомянуты лишь как ненормируемые (нефизические) решения уравнений Шредингера.

4. Изучение соотношений неопределенности Гейзенберга до изучения средних значений и дисперсий квантовых наблюдаемых необоснованно, так как эти соотношения записывается для дисперсий, а не для загадочных неопределенностей. Заметим, что средние значения физических величин и их дисперсии рассматриваются даже на первом курсе при изучении теории ошибок и закрепляются при выполнении лабораторных работ. Они так же изучаются в разделе, посвященном статистической механике. При изучении квантовой физики в курсе общей физики эти понятия почему-то боятся использовать, хотя они необходимы. Кроме того, соотношения неопределенностей Гейзенберга иногда записывается в неправильном виде, без коэффициента  $1/2$ . Отметим, что их легко доказать, используя аналогию с теоремой косинусов, хорошо известной школьникам и студентам.

5. Полное игнорирование процедуры квантования классических наблюдаемых в курсе общей физики вызывает только удивление. Эта процедура значительно проще наводящих соображений, обосновывающих уравнение Шредингера и использующих оптико-механическую аналогию, уравнения Гамильтона-Якоби. Более того, данная аналогия является только эвристической, и не имеет никакого отношения к выводу уравнений Шредингера.

6. Отсутствие, даже в серьезных пособиях по квантовой механике, описания процедуры квантования классических состояний и уравнений эволюции наблюдаемых [7] вообще странно. Данная процедура не сложнее квантования наблюдаемых, иногда излагаемого в этих пособиях. К сожалению даже некоторые ученые считают, что для определения квантования достаточно квантование наблюдаемых.

7. При изучении квантовой механики в курсе общей физики обязательно следует рассматривать не только чистые состояния и уравнения Шредингера, описывающие их эволюцию, но и смешанные состояния и уравнения фон Неймана [3; 5]. Чистые состояния являются частным случаем квантовых состояний. Они менее наглядны, чем смешанные состояния, если описываются волновыми функциями. Это обусловлено тем, что волновая функция не соответствует никакому классическому понятию, хорошо известному студентам, и не имеет непосредственного физического смысла. Квантовые состояния, в общем случае, описываются функцией, называемой матрицей плотности, которая имеет классический аналог в виде функции распределения. Последняя подробно изучается в разделах курса общей физики, посвященных статистической механике. Кроме того, описание состояний с помощью матрицы плотности и уравнений фон Неймана более последовательно и просто. Отметим, что аналогичной точки зрения придерживались Джон фон Нейман, Макс Борн, Илья Пригожин, академики Д. И. Блохинцев и Л. Д. Фадеев [5], а профессора МГУ О. Д. Тимофеевская и О. А. Хрусталев [4] активно следовали этой точки зрения в своих учебных пособиях. К огромному сожалению этот подход не нашел должного отражения в курсах общей физики. Квантовая механика в этих курсах обычно излагается на основе волновой функции и уравнений Шредингера.

Выделим некоторые отличия уравнения фон Неймана от уравнения Шредингера, которые подчеркивают необходимость активного использования именно уравнения фон Неймана как основного уравнения квантовой механики.

а. Уравнение фон Неймана записывается для функции, называемой матрицей плотности и имеющей физический смысл. Диагональные элементы этой функции описывают плотность распределения вероятности. Уравнение Шредингера записано для вспомогательной величины - волновой функции, не имеющей непосредственного физического смысла.

б. Уравнение фон Неймана имеет классический аналог в виде уравнения Лиувилля и связано с этими уравнениями процедурой квантования. Уравнение Шредингера не имеет классических аналогов и его нельзя получить через квантование какого-либо классического уравнения.

в. Уравнение фон Неймана верно как для чистых, так и для смешанных состояний. Уравнение Шредингера, описывает эволюцию только чистого состояния гамильтоновой системы.

г. Для чистых состояний гамильтоновых систем уравнение Шредингера и уравнение фон Неймана эквивалентны. Эквивалентность уравнения фон Неймана для чистого состояния гамильтоновой системы уравнению Шредингера является отражением (следствием) того факта, что чистые состояния гамильтоновых систем эволюционирует только в чистые состояния, и никогда не эволюционирует в смешанные. Поэтому уравнение Шредингера можно рассматривать как частный случай уравнения фон Неймана, записанного для чистого состояния гамильтоновой системы.

е. Уравнение Лиувилля для открытых (негамильтоновых, диссипативных, акретивных) классических систем при квантовании приводит к уравнению Лиувилля-фон Неймана для соответствующих квантовых систем. Отметим, что в общем случае, чистые состояния эволюционируют с течением времени в смешанные состояния и эта эволюция описывается уравнениями Лиувилля-фон Неймана и не описывается уравнениями Шредингера.

8. Изучение базовых понятий релятивистской квантовой теории в курсе общей физики было бы очень полезно. Изложение релятивистской квантовой механики следует увязать с изучением физики элементарных частиц. Отметим, что в рамках курса общей физики изучение квантовой механики электрона со спином, уравнения Паули, релятивистской квантовой механика электрона, уравнения Дирака является особенно необходимым для студентов физических специальностей.

9. При изложении квантовой механики в курсе общей физики для простоты изложения материала можно ограничить предмет обсуждения. Можно использовать только координатное и вignerовского представления. Импульсное, голоморфное, энергетическое, спектральное и другие представления можно не рассматривать и не обсуждать. Изучать только основные понятия, принципы и законы квантовой механики. За рамками курса общей физики видимо придется оставить многие методы квантовой теории. Для студентов технических специальностей можно не обсуждать симметрии квантовых систем, теорию рассеяния, квазиклассические методы, теорию возмущений, и многое другое. Однако эти методы следует рассматривать для студентов физических специальностей. Видимо не следует рассматривать математические структуры (алгебры, пространства) на множествах наблюдаемых, состояний.

10. В курсе общей физики полезно рассмотреть формулировку основ квантовой механики, предложенную Дираком. Ее основу составляет введение некоторого абстрактного пространства векторов, описывающих чистые состояния. Такое пространство является обобщением на бесконечномерный случай евклидова пространства. В математике эти пространства называются гильбертовыми пространствами. Из формулировки квантовой механики, предложенной Дираком, вытекает как матричная механика, так и волновая механика, аналогично тому, как в геометрии из векторной формулировки вытекают конкретные представления и формы записи, отвечающие различным системам координат. Очевидно, что в дальнейшем эта формулировка существенно изменит принятый в настоящее время метод изложения квантовой механики в курсе общей физики, подобно тому, как векторная форма записи практически вытеснила принятый ранее координатный метод.

11. Необходимо существенное расширение и усиление разделов общей физики, посвященных квантовой физике для студентов, обучающихся по специальностям направления «прикладная математика и информатика». Это обусловлено возникновением и бурным, лавинообразным развитием теории квантовых компьютеров, квантовых вычислений и квантовой телепортации [1]. Известно, что законы физики позволяют уменьшить размеры компьютеров до размеров атомов. В этом случае квантовое поведение оказывает доминирующее влияние. При этом квантовые законы не препятствуют проведению вычислений, а наоборот позволяют существенно (на порядки) их ускорить. Квантовые вычисления способны повысить быстродействие на много порядков. Квантовые компьютеры могут приводить к экспоненциальному ускорению вычислений, при этом сами компьютеры реализуются на атомных расстояниях. Ожидаемый технологический прорыв может превзойти все ожидания. Проблему создания квантового компьютера уже сравнивают с проблемой освоения ядерной энергии и полетами человека в космос. В эту гонку уже включились исследовательские структуры Пентагона и НАТО, ведущие компьютерные фирмы (Microsoft, IBM и другие), многие научно-исследовательские центры.

12. При обучении методам решения задач в курсе общей физики необходимо существенно расширить применение систем компьютерной математики *Maple* и *Mathematica*, позволяющих решать огромное количество задач не только численно, но и аналитически. В настоящее время практически любую задачу, которая может быть представлена в математическом виде, можно решить, используя системы аналитических вычислений и компьютерной математики *Maple*, *Mathematica*, *MATLAB*. Эти системы должны занять центральное место при обучении решениям задач по квантовой механике [7], в силу следующих причин: (1) системы символьной математики являются мощным инструментом решения не только учебных, но и научных задач; (2) при их использовании внимание сосредотачивается на содержательной, а не на вычислительной стороне задачи или проблемы; (3) использование систем компьютерной математики не исключает изучение и освоение методов решения задач, а избавляет от ненужной рутины; (4) системы компьютерной математики позволяют графически визуализировать как сам процесс решения, так и полученное решение в виде двумерных и трехмерных графиков, анимационных и статических графиков, линий уровней, векторных полей, и т.д. Подобно тому, как калькуляторы уже давно вытеснили логарифмические линейки и школьные таблицы Брайса, теперь компьютерные системы *Maple*, *Mathematica*, *MATLAB* активно вытесняют таблицы интегралов, справочники по дифференциальным уравнениям и специальным функциям. Проведение рутинных преобразований выражений благодаря системам компьютерной математики уходит в прошлое вслед за таблицами логарифмов и таблицами тригонометрических функций. Большинство задач может решаться в режиме прямого диалога с компьютерной системой *Maple* или *Mathematica* без прямого использования методов программирования со стороны студента. Для решения огромного множества задач не требуют написания на языке программирования каких-либо программ, вполне достаточно задать в компьютерной системе условие данной задачи в математическом виде.

Подводя итог всему сказанному, можно сделать вывод - необходима существенная модернизация курса общей физики, и, прежде всего, раздела, посвященного квантовой физике. Отметим, что некоторые изменения изложения квантовой механики в курсе общей физики было предпринято А. Н. Матвеевым в его пособии [2].

## Список литературы

1. **Квантовый компьютер и квантовые вычисления** / В. А. Садовничий. М. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 1999. Т. 1, 2.
2. **Матвеев А. Н.** Атомная физика. 2-е изд. М.: Оникс; Мир и Образование, 2007. 328 с.
3. **Тарасов В. Е.** Квантовая механика: лекции по основам теории. 2-е изд. М.: Вузовская книга, 2005. 328 с.
4. **Тимофеевская О. Д., Хрусталёв О. А.** Лекции по квантовой механике. М. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2007. 316 с.
5. **Фадеев Л. Д., Якубовский О. А.** Лекции по квантовой механике для студентов-математиков. М. - Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001. 256 с.
6. **Цыганов А. В.** Квантовая механика с *Maple*: курс лекций. СПб., 2000 [Электронный ресурс]. URL: [http://nsu.ru/matlab/Exponenta\\_RU/educat/systemat/tsiganov/00.asp.htm](http://nsu.ru/matlab/Exponenta_RU/educat/systemat/tsiganov/00.asp.htm)
7. **Tarasov V. E.** Quantum Mechanics of Non-Hamiltonian and Dissipative Systems. New York: Elsevier Science, 2008. 540 p.

УДК 517.91

Людмила Геннадьевна Устинова, Наталья Геннадиевна Ходырева  
 Московский энергетический институт (филиал) в г. Волжском

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДА ЛАГРАНЖА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ<sup>©</sup>

В качестве математических моделей систем автоматизации часто выступают дифференциальные уравнения. Дифференциальное уравнение моделирует процесс или явление в том смысле, что оно описывает его эволюцию, характер происходящих с материальной системой изменений, возможные варианты этих изменений в зависимости от первоначального состояния системы.

Одной из важных практических задач является вычисление погрешностей автоматизированных систем учета электроэнергии, в частности трансформатора тока.

Целью моделирования трансформатора тока является получение достаточно точной аналитической модели, которая отражает влияние всех параметров первичной и вторичной цепи на его систематическую погрешность.

Основываясь на принципе действия трансформатора тока, само устройство заменим следующей схемой (Рис. 1).

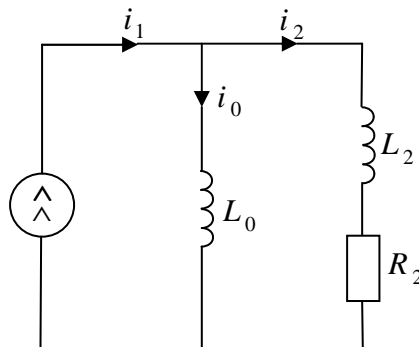


Рис. 1

Для первичной цепи трансформатора тока переходной процесс будет протекать по следующему закону

$$i_1 = I_{1\max} \cos(t + \Delta_1) + I_{1A} e^{-\frac{t}{T_1}}, \quad (1)$$

где  $I_{1\max}$  - амплитуда первичного периодического тока, зависящая от условий короткого замыкания;  $\Delta_1$  - фаза этого тока в начальный момент переходного процесса при  $t = 0$ ;  $I_{1A}$  - начальное значение аperiodической составляющей тока;  $T_1 = \frac{L_1}{R_1}$  - постоянная времени затухания аperiodической составляющей.

Построим модель переходного процесса в трансформаторе тока при следующих допущениях: трансформатор тока имеет постоянную нагрузку; характеристика намагничивания трансформатора носит характер линейной зависимости.