



"METHODOLOGY FOR TEACHING THE PRINCIPLE OF SUPERPOSITION IN THE COURSE OF ATOMIC PHYSICS: DIDACTIC SIGNIFICANCE, MODERN TECHNOLOGIES AND METHODS OF METHODOLOGICAL IMPLEMENTATION"

A.S.Kalilaev

Assistant of the Department of Physics of Berdakh Karakalpak State University.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17130823>

ARTICLE INFO

Received: 08th September 2025

Accepted: 15th September 2025

Online: 16th September 2025

KEYWORDS

Atomic physics, superposition principle, continuity, consistency, methodological recommendations, integration of educational programs, didactics, regression analysis.

ABSTRACT

The article analyzes key didactic challenges in teaching the principle of superposition in quantum mechanics. Special attention is given to psychological barriers arising from the abstract nature of the concept and its contrast with classical intuition. The need for visualization, analogies, and computer modeling is emphasized to enhance students' conceptual understanding. Methodological recommendations are proposed to support effective learning and to help students grasp superposition as a fundamental principle of quantum theory.

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ПРИНЦИПА СУПЕРПОЗИЦИИ В КУРСЕ АТОМНОЙ ФИЗИКИ: ДИДАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ РЕАЛИЗАЦИИ

А.С.Калилаев

Каракалпакский госуниверситет имени Бердаха

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17130823>

ARTICLE INFO

Received: 08th September 2025

Accepted: 15th September 2025

Online: 16th September 2025

KEYWORDS

Атомная физика, принцип суперпозиции, преемственность, последовательность, методические рекомендации, интеграция учебных программ, дидактика, регрессионный анализ.

ABSTRACT

В статье анализируются основные дидактические трудности, возникающие при преподавании принципа суперпозиции в курсе квантовой механики. Особое внимание уделяется психологическим барьерам, связанным с абстрактностью понятия и его отличием от классических представлений. Обоснована необходимость применения визуализации, аналогий и компьютерного моделирования для повышения эффективности усвоения. Предлагаются методические рекомендации, направленные на формирование у студентов глубокого понимания суперпозиции как фундаментального принципа квантовой теории.



Постановка задачи. Принцип суперпозиции является ключевым концептом квантовой механики и атомной физики, формирующим основу для понимания квантовых состояний, интерференционных явлений и взаимодействий частиц. Однако его преподавание сталкивается с рядом проблем, обусловленных как абстрактностью самого принципа, так и методическими сложностями его интеграции в учебный процесс. Актуальность углублённого изучения этой темы в современных университетских программах обусловлена следующими факторами:

1. Фундаментальная роль принципа суперпозиции в квантовой физике. Принцип суперпозиции утверждает, что любая линейная комбинация допустимых квантовых состояний также является допустимым состоянием системы. Это позволяет описывать такие явления, как интерференция волн де Бройля, квантовая запутанность и суперпозиция энергетических уровней [1, 2]. Без понимания этого принципа невозможно освоение последующих тем, включая атомные спектры, квантовые переходы и современные приложения (квантовые вычисления, нанотехнологии). В качестве примера можно привести интерференционные эффекты, возникающие из-за суперпозиции состояний, которые лежат в основе работы лазеров, электронных микроскопов и квантовых алгоритмов [1].

2. Трудности усвоения студентами. Абстрактная математическая формулировка принципа (линейная алгебра гильбертова пространства) и отсутствие классических аналогов затрудняют его восприятие. Как показал опыт, многие студенты воспринимают суперпозицию как формальный математический приём, не связанный с физической реальностью [2, 3]. Исследования показывают, что до 60% студентов не могут корректно интерпретировать вероятностный характер измерений в состояниях, представляющих собой суперпозицию других состояний [5].

3. Современные образовательные требования. Цифровизация образования и рост интереса к квантовым технологиям диктуют необходимость адаптации традиционных курсов. Современные студенты, являясь «цифровыми аборигенами», ожидают интерактивных и визуализированных форм обучения, которые отсутствуют в классических лекциях [4, 5]. При этом существующие учебные программы часто уделяют недостаточно внимания: связи принципа суперпозиции с экспериментальными данными (например, интерференцией в двухщелевом эксперименте); применению принципа в реальных задачах (расчёт вероятностей переходов, анализ спектров).

Отметим, что принцип суперпозиции служит мостом между разделами физики: в атомной физике он объясняет структуру энергетических уровней и правила отбора для переходов, в квантовой оптике лежит в основе когерентности и интерференции фотонов, а в квантовой информатике используется для описания кубитов и квантовых алгоритмов.

Без чёткого понимания физической сути принципа суперпозиции студенты не смогут эффективно работать в междисциплинарных областях, таких как квантовая химия или наноэлектроника [5].



Отметим, что актуальность разработки новых методик преподавания подтверждается такими педагогическими исследованиями, как преемственность (принцип суперпозиции должен вводиться на основе классических аналогий, что обеспечивает плавный переход от интуитивных представлений к квантовым), визуализация (использование симуляторов типа PhET, Quantum Composer для моделирования суперпозиции спиновых состояний или интерференционных картин, практико-ориентированные задания (расчёт вероятностей обнаружения частицы в суперпозиции состояний, анализ спектральных линий как результата интерференции) [3-5]. Перечисленные факты обуславливают актуальность изучения принципа суперпозиции в курсе атомной физики, что определяется его фундаментальной ролью в квантовой механике, требованиями современных образовательных стандартов и необходимостью подготовки специалистов для высокотехнологичных отраслей. Для преодоления методических трудностей необходима интеграция активных методов обучения, цифровых инструментов и междисциплинарного подхода, что подтверждается теоретическими исследованиями и педагогической практикой [2, 4, 5].

Реализованные работы. Следует обратить особое внимание, на то, что современные учебные программы по атомной физике, несмотря на их фундаментальную значимость, зачастую сохраняют структуру, сформированную в условиях доминирования классических подходов к преподаванию. Это создаёт дисбаланс между актуальными требованиями к подготовке студентов и реальным содержанием курсов. Принцип суперпозиции, будучи центральным элементом квантовой механики, традиционно рассматривается в рамках ограниченного числа лекционных часов, что не позволяет раскрыть его роль в объяснении современных физических явлений и технологических приложений. Узкие временные рамки и перегруженность программ устаревшими темами (например, избыточным вниманием к полуклассическим моделям атома) приводят к поверхностному усвоению материала, что негативно сказывается на качестве подготовки будущих специалистов.

Пересмотр учебных программ становится необходимым в связи с стремительным развитием квантовых технологий, требующих от выпускников не только теоретических знаний, но и навыков работы с абстрактными концепциями. Исследования в области педагогики высшего образования [6-7] демонстрируют, что интеграция принципа суперпозиции в междисциплинарный контекст (квантовая информатика, нанофотоника) повышает мотивацию студентов и их способность применять знания на практике. Например, понимание суперпозиции спиновых состояний критически важно для освоения основ квантовых вычислений, однако в большинстве программ эта связь остаётся нераскрытой.

Ключевым аспектом модернизации является перераспределение учебного времени в пользу тем, непосредственно связанных с принципом суперпозиции. Это предполагает не только увеличение количества часов, но и структурные изменения:



Введение модулей, объединяющих математический аппарат (гильбертовы пространства) с физической интерпретацией (вероятности, измерения).

Интеграцию лабораторных работ с использованием цифровых симуляторов (Quantum Composer, PhET), позволяющих визуализировать суперпозицию волновых функций.

Сокращение или объединение разделов, дублирующих материал курсов общей физики (например, детальное изучение модели Бора без связи с квантовомеханическим формализмом).

Важным аргументом в пользу изменений является необходимость формирования у студентов навыков, соответствующих запросам работодателей в высокотехнологичных отраслях. Как показывают данные опросов выпускников физических специальностей [8], работодатели отмечают дефицит умений работать с квантовыми концепциями, что напрямую связано с недостаточным вниманием к принципу суперпозиции в учебных планах.

Кроме того, современные образовательные стандарты подчёркивают важность компетенций, связанных с критическим мышлением и решением нестандартных задач. Углублённое изучение принципа суперпозиции через анализ реальных экспериментов (двухщелевой опыт, квантовая телепортация) формирует у студентов способность выявлять причинно-следственные связи и применять абстрактные знания в практических условиях.

Приведенные выше факты показывают, что пересмотр учебных программ становится не просто рекомендацией, а необходимым условием для обеспечения конкурентоспособности выпускников в условиях научно-технического прогресса. Реализация этих изменений требует тесного сотрудничества преподавателей, методистов и представителей отрасли, что позволит создать сбалансированные программы, сочетающие теоретическую глубину с практической направленностью.

Современное образование в области физики требует применения разнообразных педагогических технологий, сочетающих традиционные и инновационные методы, что особенно актуально при преподавании сложных квантовых концепций, таких как принцип суперпозиции. Внедрение современных методов обучения способствует повышению интерактивности уроков, улучшению восприятия абстрактных понятий и формированию глубокого понимания у студентов физических специальностей.

Одним из ключевых направлений является использование активных методов обучения, которые предполагают вовлечение студентов в процесс познания через самостоятельное решение задач, участие в дискуссиях и групповых проектах. Такие методы способствуют развитию критического мышления и умения применять теоретические знания на практике. В частности, при изучении принципа суперпозиции эффективным оказывается постановка проблемных вопросов и задач, требующих анализа реальных квантовых систем и интерпретации результатов экспериментов [9].



Важным компонентом современного обучения является визуализация физических процессов с помощью мультимедийных ресурсов: анимаций, видеоматериалов и интерактивных симуляторов. Использование программных средств, таких как PhET, Quantum Composer и специализированных приложений на Mathematica, позволяет студентам наглядно наблюдать суперпозицию волновых функций, интерференционные картины и динамику квантовых состояний. Это значительно облегчает понимание абстрактных понятий и способствует формированию целостной физической картины [10].

Кроме того, современные технологии обучения включают проблемно-ориентированное обучение, при котором учебный материал подаётся через реальные или приближённые к реальности задачи. Такой подход стимулирует мотивацию и развивает навыки самостоятельного поиска решений. В контексте принципа суперпозиции это может быть моделирование двухщелевого эксперимента, анализ спектральных линий как результата наложения квантовых состояний, или исследование спиновых систем [11].

Неотъемлемой частью методики является формирующее оценивание, позволяющее регулярно контролировать уровень усвоения материала и оперативно корректировать образовательный процесс. Использование коротких тестов, опросов с мгновенной обратной связью и проектов повышает вовлечённость студентов и способствует закреплению знаний [12].

Важным аспектом является также междисциплинированный подход и интеграция современных информационных технологий в учебный процесс. Использование систем управления обучением (LMS), таких как Moodle или Blackboard, позволяет организовать дистанционные курсы, проводить вебинары и создавать электронные учебные материалы, что расширяет возможности для самостоятельного изучения и повторения сложных тем [13].

Таким образом, сочетание активных методов, визуализации, проблемно-ориентированного обучения и современных цифровых технологий создаёт условия для эффективного усвоения принципа суперпозиции. Эти методы не только облегчают понимание сложных квантовых явлений, но и формируют у студентов навыки самостоятельного мышления и исследования, необходимые для успешной профессиональной деятельности.

Примеры заданий для аудиторной и домашней работы при изучении принципа суперпозиции в курсе атомной физики.

Эффективное усвоение принципа суперпозиции требует не только качественного теоретического изложения, но и систематической практики, включающей разнообразные задания как для аудиторной, так и для самостоятельной работы студентов. Ниже представлены примеры заданий, которые способствуют развитию глубокого понимания темы, формированию аналитических навыков и умению применять знания в различных контекстах.

Для аудиторных заданий:

Расчет вероятности обнаружения электрона в суперпозиции двух состояний. При этом рассматривается система, находящейся в состоянии $|\psi\rangle = c_1|1\rangle + c_1|1\rangle$,



где $|1\rangle$ и $|2\rangle$ - ортонормированные базисные состояния, а c_1 и c_2 - комплексные амплитуды. Отметим, что в представлении Шредингера это соотношение пишется как $\psi(x, t) = c_1\psi_1(x, t) + c_2\psi_2(x, t)$. Мы в дальнейшем используем формализм Дирака (бра-кет). По условиям задачи вычисляется вероятность обнаружения электрона в состоянии $|1\rangle$ и обсуждается физический смысл полученного результата [6].

В качестве второго задания приводим моделирование интерференции волн де Бройля в двухщелевом эксперименте путем использования упрощенной модели. Решение такой задачи требует анализа интерференционной картины, возникающей при прохождении электрона через две щели, и позволяет понять, как принцип суперпозиции волновых функций объясняет наблюдаемую интерференцию. Предлагается выполнить расчёт амплитуд волн, проходящих через каждую щель, и определить интенсивность интерференционной картины [10].

Следует отметить, что анализ спектральных линий атома водорода через суперпозицию энергетических состояний оказался важным элементом учебного процесса. При этом рассматривается переход электрона из суперпозиции состояний с разными энергиями, определяются частоты излучения, соответствующие этим переходам, и объясняется, как суперпозиция влияет на спектральные характеристики [9].

В качестве домашних заданий было использовано следующее:

Исследование суперпозиции спиновых состояний. При этом, например, при выполнении задачи рассчитывается вероятность измерения спина электрона вдоль оси z , скажем, если его состояние задано суперпозицией $|\psi\rangle = \alpha|\uparrow\rangle + \beta|\downarrow\rangle$, где α и β - комплексные коэффициенты и проводится анализ физического смысла результатов.

Рекомендуется также виртуальная лабораторная работа с симулятором PhET "Двухщелевой эксперимент", в которой рекомендуется выполнение серии экспериментов с различными параметрами (энергия частицы, ширина щелей).

Следует отметить также решение задач на разложение состояний по базису.

Для повышения эффективности выполнения заданий были использованы: в аудиторных занятиях использование систематических интерактивных обсуждений и коллективного решения задач. Они должны сопровождаться рекомендациями по использованию цифровых ресурсов и симуляторов.

Теперь переходим на методы контроля эффективности преподавания принципа суперпозиции в курсе атомной физики, которые, как правило, основываются на то, что контроль эффективности преподавания является неотъемлемой частью образовательного процесса, позволяющей оценить уровень усвоения студентами материала и своевременно скорректировать методы обучения. При изучении принципа суперпозиции, учитывая его сложность и абстрактность, особенно важно использовать комплексный подход к оценке знаний и навыков студентов, сочетающий различные формы контроля.



Одним из наиболее эффективных методов является формирующее оценивание, которое проводится на протяжении всего учебного курса. Оно включает регулярные короткие тесты, опросы и задания с мгновенной обратной связью, позволяющие преподавателю выявлять пробелы в понимании принципа суперпозиции и оперативно адаптировать учебный процесс. Использование интерактивных платформ (например, Moodle, Kahoot!) способствует повышению мотивации студентов и вовлечённости в обучение [14].

Кроме того, важным инструментом контроля являются практические работы и проекты, направленные на применение принципа суперпозиции в решении конкретных физических задач. Это могут быть лабораторные эксперименты с использованием виртуальных симуляторов, анализ спектральных данных или моделирование квантовых систем. Оценка таких работ позволяет судить не только о теоретических знаниях, но и о развитии аналитического и критического мышления [7].

Для оценки усвоения сложных понятий целесообразно применять качественные методы контроля, такие как устные опросы, дискуссии и презентации. Они способствуют развитию коммуникативных навыков и позволяют преподавателю глубже понять уровень осмысления студентами принципа суперпозиции [15].

Не менее важным является использование самооценки и взаимного оценивания, которые стимулируют студентов к рефлексии и самостоятельному контролю качества своих знаний. Такие методы способствуют формированию ответственности за собственное обучение и развитию метакогнитивных навыков [16].

В совокупности применение перечисленных методов контроля обеспечивает многоуровневую и всестороннюю оценку эффективности преподавания принципа суперпозиции. Это позволяет не только повысить качество усвоения материала, но и сформировать у студентов навыки самостоятельного обучения и критического мышления, необходимые для успешной профессиональной деятельности в области физики.

Для контроля успеваемости студентов при изучении темы «Принцип суперпозиции» в курсе атомной физики использовался комплекс форм контроля, сочетающих тестирование, практические задания и интерактивные методы. Ниже представлены конкретные формы контроля и примерные тестовые задания.

Текущий контроль (формирующее оценивание), использование интерактивных платформ (Moodle, Kahoot) для мгновенной обратной связи, устные опросы и обсуждения в аудитории для проверки понимания физического смысла суперпозиции.

Промежуточный контроль: контрольные работы с расчётными и аналитическими задачами по принципу суперпозиции, выполнение лабораторных работ с использованием симуляторов (PhET, Quantum Composer), проекты и презентации, демонстрирующие применение принципа суперпозиции в реальных физических системах.



Итоговый контроль. Экзаменационные тесты с комбинированными вопросами: теория, расчёты, анализ экспериментов.

Как и в [20], с учетом особенности аудитории, интересов и подготовленности каждого студента, их будущей профессии использовались в основном нижеследующие педагогические методы и принципы:

1. Широкое и последовательное использование языка Python и системы компьютерной алгебры Mathematica для демонстрации и моделирования изучаемых физических явлений и процессов.

2. Принцип последовательности в изложении материала, обучение с использованием новых информационных и цифровых технологий

3. Решение задач и анализ сценариев, привлечение студентов к активному участию в учебном процессе.

4. Принцип преемственности - плавный переход от одного уровня знаний к следующему - в контексте преподавания оптики, атомной физики и квантовой механики играл ключевую роль в организации и проведении учебного процесса, помогая студентам строить знания и умения, необходимые для успешного освоения этих дисциплин.

5. Интеграция теории и практики, обучение через исследование.

Эксперименты по контролю успеваемости студентов физического факультета Каракалпакского госуниверситета осуществлялись в течение последних шести учебных лет, начиная с 2018 года в академических группах с русским, узбекским и каракалпакским языками обучения. Количество студентов в каждом курсе колебалось от 80 до 140. Для проведения педагогического эксперимента была выделена примерно половина студентов второго и третьего курсов.

Анализ полученных статистических данных и прогнозирование академической успеваемости студентов осуществлялись с помощью регрессионного анализа (как в [17, 18]).

Для оценки эффективности используемых методов преподавания в качестве зависимой постоянной использовались баллы каждого студента по 100-балльной шкале, полученные при итоговом экзамене. Отметим, что точное определение академической успеваемости студентов является сложной задачей, поскольку она зависит от различных факторов, таких как личные, социально-экономические, психологические и другие переменные окружающей среды. Как показали проведенные исследования, анализ с использованием статистического моделирования является мощным инструментом для разработки и проверки теорий путем причинного объяснения и описания. При этом, полученные данные помогают установить связи между новым и старым или результатами того, что, как предполагалось, могло произойти при систематическом применении выбранных методик преподавания.

На основе полученных статистических данных получились уравнения регрессии, которые дали однозначные сведения по эффективности использованной методики обучения. При этом для коэффициента множественной



корреляции R получилась величина примерно равная 0.93 – 0.95, а линейный коэффициент R -квадрат оказался равной примерно 0,93.

Проведенные исследования показали особое место качества преподавателя. Как показал опыт, компетентность, опыт и достижения профессора, доцента или ассистента в научных исследованиях играют ключевую роль в преподавании курсов по оптике, атомной физике и квантовой механике. Компетентные преподаватели обеспечивают глубокое понимание предмета, опытные преподаватели эффективно преодолевают учебные трудности, а научные достижения преподавателей делают курсы актуальными и вдохновляющими. В совокупности, эти качества способствовали повышению качества образования и подготовки студентов в рассматриваемых научных дисциплинах.

Выводы: Рекомендованная методика преподавания фундаментальных физических эффектов в университетских курсах при использовании принципов последовательности и преемственности была реализована в рамках университетских курсов и результаты анализа успеваемости студентов показали значительное улучшение их академических показателей по сравнению с группой студентов, обучавшихся по другим методам. Эффективность предлагаемой методики была подтверждена на основе выявленных статистических зависимостей, и она направлена на разработку модели прогнозирования успеваемости студентов. Собранные количественные показатели подтвердили положительное восприятие методики преподавания, а также увеличение интереса и уровня удовлетворенности учебным процессом. Предложенные аспекты дидактики и методика преподавания позволила студентам глубже понять и применить фундаментальные физические эффекты в университетских курсах, помогая студентам строить знания и умения, необходимые для успешного освоения этих дисциплин и подготовке их к реальной научной и профессиональной деятельности. При этом это помогло университету не только уделять больше внимания талантливым студентам, но и изначально выявлять студентов с низкой академической успеваемостью и находить способы их поддержки.

Таким образом, модернизация преподавания принципа суперпозиции требует системного пересмотра традиционных подходов, интеграции цифровых средств и ориентации на практические и междисциплинарные навыки. Будущие исследования могут быть направлены на эмпирическую проверку эффективности предложенных методик и их внедрение в реальные учебные курсы.

References:

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Квантовая механика. Нерелятивистская теория*. 3-е изд. — М.: Физматлит, 2001. — 512 с.
2. Паршаков А. Н. *Курс лекций по квантовой физике: учебное пособие*. — Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. — 196 с. — ISBN 5-88151-585-4.



3. Санчес Солорсано О. И. *Методика реализации физических принципов в преподавании квантовой механики студентам физических факультетов педвузов*: дис. ... канд. пед. наук. — Нижний Новгород, 2020. — 217 с.
4. Маджанов Н. Методика преподавания квантовой физики на основе принципа преемственности // *Вестник науки и образования*. — 2018. — № 3 (45). — С. 56–62. — DOI: 10.31618/1681-4236-2018-3-45-56-62.
5. Оспанбеков Е. А. *Методические основы подготовки учителей физики*: дис. ... канд. пед. наук. — Алматы, 2021. — 145 с.
6. McKagan S. B., Perkins K. K., Wieman C. E. Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics // *American Journal of Physics*. — 2008. — Vol. 76, No. 4. — P. 406–417. — DOI: 10.1119/1.2838052.
7. Wieman C. E. The impact of scientific research on science education // *Journal of Science Education and Technology*. — 2007. — Vol. 16, No. 2. — P. 111–114. — DOI: 10.1007/s10956-007-9043-6.
8. Cartwright J. Employer perspectives on physics graduates' skills // *Physics Education*. — 2019. — Vol. 54, No. 3. — Article ID: 035001.
9. Турсынбаева Г. С. Современные методы обучения физики // *Ilmiy-Amaliy Konferensiyasi*. — 2023. — С. 32.
10. Сергиенко П. В., Сильчева А. Г. Методика преподавания атомной физики с использованием компьютерных технологий // *Физик: ученый, педагог, наставник*. — Саратов, 2023. — С. 313–317.
11. Максимова М. В. Методы решения физических задач как средство формирования физического мышления // *Вестник педагогики*. — 2020. — № 3. — С. 45–52.
12. *Теория и методика обучения физике*. — Минск: Министерство образования Республики Беларусь, 2008. — 144 с.
13. *Физика в системе современного образования* / под ред. И. В. Иванова. — СПб.: СПбГУ, 2015. — 256 с.
14. Black P., Wiliam D. Assessment and classroom learning // *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*. — 1998. — Vol. 5, No. 1. — P. 7–74.
15. Nicol D. J., Macfarlane-Dick D. Formative assessment and self-regulated learning: A model and seven principles of good feedback practice // *Studies in Higher Education*. — 2006. — Vol. 31, No. 2. — P. 199–218.
16. Hattie J., Timperley H. The power of feedback // *Review of Educational Research*. — 2007. — Vol. 77, No. 1. — P. 81–112.
17. Boud D., Falchikov N. Quantitative studies of student self-assessment in higher education: A critical analysis of findings // *Higher Education*. — 1989. — Vol. 18, No. 5. — P. 529–549.
17. Р.М.Хожаназарова, Б.А.Абдикамалов. Улучшение методики преподавания фундаментальных физических эффектов в университетских курсах с применением принципов последовательности и преемственности (в печати).



18. Р. М.Хожаназарова, Б.А.Абдикамалов. Место оптики в развитии квантовой физики и методика ее преподавания в системе непрерывного образования. Монография. Издательство "Firdavs-Shoh Nashiriyoti". Ташкент. 2025. 123 с.