

УДК 53.01

ББК 74.262.23

Разработка электронного образовательного ресурса "Квантовая механика наносистем с Octave"

Алтунин Константин Константинович,

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики и технических дисциплин, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», г. Ульяновск, Россия

Штром Елена Сергеевна,

студентка 4 курса факультета физико-математического и технологического образования, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова», г. Ульяновск, Россия

Аннотация. Рассматриваются результаты разработки электронного образовательного ресурса "Квантовая механика наносистем с Octave" в виде дистанционного курса, созданного в системе управления обучением MOODLE. Электронный образовательный ресурс "Квантовая механика наносистем с Octave" посвящён изучению квантовых свойств наносистем и наноструктур с помощью возможностей системы для математических вычислений Octave. Проведено описание основных функциональных возможностей электронного образовательного ресурса "Квантовая механика наносистем с Octave", созданного в системе управления обучением MOODLE на образовательном портале университета. Обсуждаются возможности модульной структуры электронного образовательного ресурса "Квантовая механика наносистем с Octave".

Ключевые слова: квантовая механика, волновая функция, плотность вероятности, наносистема, наноструктура, дистанционный курс, электронный образовательный ресурс, математический пакет, Octave, MOODLE

Дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave" посвящён изучению фундаментальных идей квантовой механики наносистем и наноструктур с помощью возможностей системы для математических вычислений Octave. В работе рассматриваются теоретические и методические особенности процесса разработки дистанционного курса "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE, который может быть использован в вузовском курсе физики.

Целью исследования является описание научно-методических основ разработки дистанционного курса "Квантовая механика наносистем с Octave". Задача исследования состоит в разработке модульной структуры и банка вопросов дистанционного курса. Объектом исследования является курс "Квантовая механика наносистем с Octave". Предметом исследования является процесс создания информационных и контролирующих элементов дистанционного курса "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE. Гипотеза исследования состоит в том, что если использовать курс "Квантовая механика наносистем с Octave", основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой механики наносистем, то можно повысить познавательный интерес студентов к квантовой механике наносистем.

В работе [1] рассматривается расширение классической теории поля Максвелла до первой квантованной теории фотона, получая консервативный четырёх-ток Лоренца, нулевая компонента которого является положительно определённой числовой плотностью. Поля являются действительными, и их положительные (отрицательные) частотные части интерпретируются как поглощение (излучение) фотона с положительной энергией. При

инвариантной плоско-волновой нормализации оператор положения фотона является эрмитовым с мгновенно локализованными собственными векторами, которые преобразуются в виде четырёх-векторов Лоренца. Реальность полей и волновой функции обеспечивают причинное распространение и нулевое суммарное поглощение энергии в отсутствие заряженного вещества. Амплитуда вероятности фотона является действительной частью проекции вектора состояния фотона на базис собственных векторов положения, а его квадрат реализует правило Борна. Явная ковариантность и согласованность с квантовой теорией поля поддерживаются с помощью электромагнитного четырёх-потенциала и калибровки Лоренца.

В работе [2] проводится анализ закрученных (вихревых) параксиальных фотонов и электронов в рамках релятивистской квантовой механики. Использование представления Фолди-Ваутхейсена радикально упрощает описание релятивистских электронов и проясняет фундаментальные свойства скрученных частиц. Показано, что скрученные и другие структурированные фотоны являются люминальными. Их сублюминальность, очевидно, имеет место, потому что энергия фотона также вносится скрытым движением. Это движение исчезает при усреднении и исчезает в квазиклассическом описании, основанном на ожидаемых значениях операторов импульса и скорости. Доказано, что квазиклассические кванты структурированного света являются сверхсветовыми и массивными. Квантовомеханические и квазиклассические описания скрученных и других структурированных электронов приводят к аналогичным результатам. Предсказан эффект квантования скорости и эффективной массы структурированного фотона и электрона. Этот эффект наблюдается для фотона. Скрученные и раскрученные квазиклассические фотоны и электроны, моделируемые центроидами, рассматриваются в ускоренной и вращающейся неинерциальной системе отсчёта. Показано совпадение их инерционных масс с кинематическими массами. Орбитальный магнитный момент электрона Лагерра-Гаусса не зависит от радиального квантового числа.

В статье [3] показано, что квантовая механика допускает когерентную суперпозицию различных состояний материи. Это качество отвечает за основные неклассические явления, которые происходят в квантовых системах. Помимо состояний, когерентные суперпозиции также возможны среди квантовых эволюций. Теоретическая структура ресурса разработана для количественной оценки суперпозиции, присутствующей в произвольной квантовой эволюции. В дополнение к характеристике, структура рассматривает суперпозицию как квантовый ресурс. Этот ресурс может быть использован для выполнения определенных квантовых задач, которые в противном случае невозможны. Выявлены эволюции, которые могут позволить реализовать произвольные квантовые операции и супероперации.

Дебаты, инициированные основополагающими работами Эйнштейна, Подольского, Розена и Белла, ставят понятия реализма и нелокальности в основу почти всех философских и физических дискуссий, лежащих в основе основ квантовой механики. Однако, хотя экспериментальные критерии и количественные показатели к настоящему времени хорошо установлены для нелокальности, не существует чёткого количественного показателя степени реальности, связанной с непрерывными переменными, такими как координата и импульс. В работе [4] рассматриваются положение и импульс как эффективно дискретные наблюдаемые величины. Затем реализуем операционное понятие проективного измерения и, исходя из этого, критерий реальности для этих величин. Затем вводим квантификатор для степени нереальности дискретизированной непрерывной переменной, которая при применении к сопряжённой паре координата-импульс подчиняется соотношению неопределённости, что означает, что квантовая механика предотвращает классический реализм для сопряжённых величин. В качестве приложения формализма изучено появление элементов реальности в случае, когда гауссовское состояние подчиняется диссипативной динамике, подразумеваемой гамильтонианом Кальдиrola-Каная. В частности, в равновесии установлены некоторые связи с проблемой измерения и

определены аспекты, которые могут быть приняты в качестве квантового аналога понятия покоя.

Локальное сохранение физической величины, распределение которой изменяется со временем, математически описывается уравнением непрерывности. Соответствующий временной параметр, однако, определяется относительно идеализированных классических часов. В статье [5] рассмотрено, что происходит, когда это классическое время заменяется нерелятивистским квантовомеханическим описанием часов. Из зависящего от часов уравнения Шрёдингера (как аналог нестационарного уравнения Шрёдингера) выведено уравнение непрерывности, в котором вместо производной по времени возникает оператор плотности потока (вероятностного тока), который зависит от времени. Это зависящее от времени уравнение непрерывности может использоваться для анализа динамики квантовой системы и для изучения степеней свободы, которые могут использоваться в качестве внутреннего времени для приблизительного описания динамики оставшихся степеней свободы. В качестве иллюстрации изучена простую модель связанной электронно-ядерной динамики, и ядра интерпретированы как квантовые часы для электронного движения. Найдено, что всякий раз, когда справедливо приближение Борна-Оппенгеймера, уравнение непрерывности показывает, что ядра являются единственными соответствующими часами для электронов.

В работе [6] анализируется распространение волн на поверхности простейшего платоновского твёрдого тела в форме правильного тетраэдра. Найдено, что временная эволюция квантовой частицы, ограниченной такой поверхностью, эквивалентна дифракционной картине на решётке из определённого профиля и поэтому может быть исследована в простом дифракционном эксперименте. Квантовая частица демонстрирует нахождение в идеальном квантовом состоянии, которое приводит к дробному эффекту Тэлбота на дифракционной картине.

Осцилляторы Друде дают гармоническое описание флуктуаций заряда и широко изучаются как модельная система и для численных расчётов. В дипольном приближении гамильтониан, описывающий взаимодействие осцилляторов Друде, является квадратичным, поэтому его можно точно диагонализировать, но энергия расходится на небольшом расстоянии. В статье [7] рассмотрена квантовая механика осцилляторов Друде, взаимодействующих через полный кулоновский гамильтониан, для которого энергия взаимодействия не имеет этого дефекта. Эта типичная модель взаимодействия между веществом включает электростатику, индукцию и дисперсию. Кривые потенциальной энергии для димеров инертных газов очень близко соответствуют энергиям корреляции Друде и одной экспоненциальной функции. Точные решения и точные результаты, представленные в статье [7], помогают разграничить основные свойства физической модели и эффекты, возникающие в результате дипольного приближения.

В квантовой теории мы ссылаемся на вероятность нахождения частицы между местоположениями в данный момент, хотя у нас нет возможности точно предсказать, когда произойдет обнаружение частицы. В работе [8] представлен расширенный нерелятивистский квантовый формализм, где пространство и время играют эквивалентные роли. В этом контексте показано, что измерения энергии стационарного состояния показывают ненулевую дисперсию, и что неопределённость энергии-времени возникает из первых принципов. Центральный результат по времени прибытия, полученный с помощью подходов, которые прибегают к специальным предположениям, является естественной, встроенной частью формализма.

В работе [9] использован захваченный ион для изучения квантовых контекстуальных корреляций в одном кутрите, используя 5-наблюдаемое неравенство Клячко, Джана, Бинициоглу и Шумовского, которое, возможно, является наиболее фундаментальным неравенством неконтекстуальности для проверки квантовой механики. Полученные результаты нарушают

классическую оценку до 25 стандартных отклонений, в то же время, находясь в согласии с пределом квантовой механики.

В работе [10] рассматривается квантовая фазовая динамика, используя вигнеровское представление квантовой механики. Подчеркивается полезность интегральной формы для описания фазового тока Вигнера в качестве альтернативы популярной скобке Мойала. Интегральная форма выявляет симметрии между импульсным и позиционным представлениями квантовой механики, численно устойчива и позволяет выполнять некоторые вычисления, используя элементарные интегралы вместо звездных произведений Гренивольда. Основным результатом является явное элементарное доказательство, которое показывает, что только системы вплоть до квадратичных по своему потенциалу удовлетворяют теореме Лиувилля о сохранении объёма в квантовой механике.

В работе [11] рассматривается проблема игр в квантовом эксперименте и навязывается рациональное поведение по нескольким правилам. Эти правила дают в классическом случае байесовскую теорию вероятности через теоремы дуализма. В квантовой постановке они дают теорию Байеса, обобщённую на пространство эрмитовых матриц. Именно эта теория является квантовой механикой: на самом деле все её четыре постулата выводятся из обобщённой байесовской теории. Это означает, что квантовая механика является самосогласованной. Это также заставляет переосмыслить основные операции в квантовой механике как правила вероятности: правило Байеса (измерение), маргинализация (частичное отслеживание), независимость (тензорное произведение). Получается, что квантовая механика является байесовской теорией в комплексных числах.

В работе [12] исследованы квантовомеханические состояния нейтральных частиц, обладающих магнитным моментом (например, нейтроны, легкие атомы или даже нейтрино, хотя эффект будет крайне незначительным) в сочетании электромагнитного вихревого поля с постоянным магнитным полем. Показано, что эта система полей в принципе

способна захватывать частицу в перпендикулярном направлении и направлять её вдоль распространяющейся волны. Квантовая эволюция подвержена туннельным процессам, которые могут разрушить тонкий механизм захвата.

Слабые магнитные монополи с континуумом зарядов меньше минимума, подразумеваемого условием квантования Дирака, могут быть возможны в неассоциативной квантовой механике. Если слабо магнитно заряженный протон в атоме водорода лишь незначительно возмущает стандартный энергетический спектр, магнитные заряды могли бы избежать обнаружения. Проверка этой гипотезы требует совершенно новых методов вычисления энергетических спектров в неассоциативной квантовой механике. Такие методы представлены в работе [13] и оценены для верхних оценок магнитного заряда элементарных частиц.

В статье [14] представлен протокол для различения в конечное время и с произвольно высокой вероятностью успеха любой алгоритмической смеси чистых состояний из максимально смешанного состояния. Описана экспериментальная реализация с использованием модифицированной установки распределения квантовых ключей, где готовятся две разные случайные последовательности чистых состояний; эти последовательности неразличимы в соответствии с квантовой механикой, но они становятся различимыми, когда случайность заменяется псевдослучайностью в процессе подготовки эксперимента.

Принцип суперпозиции лежит в основе многих неклассических свойств квантовой механики. В связи с этим вводим строгую основу теории ресурсов для количественного определения суперпозиции конечного числа линейных независимых состояний. Эта теория является обобщением теории согласованности ресурсов. В статье [15] определена общая структура операций, которые не создают суперпозицию, найдена фундаментальную связь с однозначной государственной дискриминацией и предлагается несколько количественных мер суперпозиции. Используя эту теорию, показано, что операции уменьшения следов могут выполняться бесплатно,

что, когда специализируется на теории когерентности, решает остающийся открытым вопрос и используется для решения свободного вероятностного преобразования между чистыми состояниями. Наконец, доказываем, что линейно независимая суперпозиция является необходимым и достаточным условием для точного создания запутанности в дискретных условиях, устанавливая прочную структурную связь между нашей теорией суперпозиции и теорией запутывания.

В статье [16] предложено расширение квантовой механики, основанное на идее, что основной «квантовый шум» имеет ненулевое, хотя и очень маленькое, время корреляции. Стандартное (нерелятивистское) уравнение Шрёдингера восстанавливается до нулевого порядка за время корреляции и вычисляется первая поправка к энергетическим уровням. Обсуждаются некоторые последствия, в частности, нарушение принципа неопределённости Гейзенберга и восстановление локальности за короткое время.

В статье [17] обсуждается, что природа проективных измерений в квантовой механике может привести к нетривиальному смещению в немарковских мерах, количественно определяя поток информации между системой и её средой. Следовательно, в текущей форме предполагаемые приложения принципиально ограничены. В системе с захваченными ионами можно точно измерить такое смещение и провести локальное квантовое зондирование, чтобы продемонстрировать соответствующие ограничения. Сочетание расширенных мер и масштабируемого экспериментального подхода может предоставить универсальную справочную информацию, необходимую для понимания более сложных систем.

В работе [18] представлена математическая структура, основанная на квантовых интервальных вероятностных мерах, для изучения влияния экспериментальных несовершенств и измерений с конечной точностью на определяющие аспекты квантовой механики, такие как контекстуальность и правило Борна. Хотя основополагающие результаты, такие как теоремы Кохена-Спекера и Глисона, действительны в контексте бесконечной точности,

в целом они не могут быть выполнены в мире с ограниченными ресурсами. Здесь используется интервальный каркас, чтобы установить границы действительности этих теорем в реальных экспериментальных условиях. Таким образом, не только можно количественно оценить идею измерения с конечной точностью в рамках теории, но также можно предложить возможное разрешение дискуссии Мейера-Мермина о влиянии измерения с конечной точностью на теорему Кохена-Спекера.

Когерентная суперпозиция состояний в сочетании с квантованием наблюдаемых представляет собой одну из самых фундаментальных особенностей, которые отмечают отход квантовой механики от классической области. Квантовая когерентность в системах многих тел воплощает сущность запутанности и является важным компонентом для множества физических явлений в квантовой оптике, квантовой информации, физике твёрдого тела и нанодисперсной термодинамике. В последние годы исследования наличия и функциональной роли квантовой когерентности в биологических системах также привлекают значительный интерес. Несмотря на фундаментальную важность квантовой когерентности, разработка строгой теории квантовой когерентности как физического ресурса была начата лишь недавно. В работе [19] обсуждается и рассматривается развитие этой быстро растущей области исследований, которая охватывает характеристику, количественную оценку, манипулирование, динамическое развитие и оперативное применение квантовой когерентности.

Понятие измерения имеет как фундаментальное, так и инструментальное значение в квантовой механике, а когерентность, разрушаемая измерениями (декогеренция), лежит в основе перехода от квантовой к классической механике. Качественные аспекты этого явления были широко признаны и проанализированы с момента создания квантовой теории. В статье [20] развивается идея о том, что когерентность и квантовая неопределённость являются двойственными точками зрения одной и той же квантовой основы, и рассматриваем количественное определение

когерентности путём идентификации когерентности состояния (по отношению к измерению) с квантовой неопределённостью измерения. Следовательно, меры когерентности могут быть приведены в соответствие с мерами квантовой неопределённости. Проиллюстрированы последствия для интерпретации квантовой чистоты как максимальной когерентности и квантового разногласия как минимальной когерентности, если выбрать среднюю квантовую информацию Фишера как меру квантовой неопределённости.

Когда кто-то пытается учесть нетривиальную вакуумную структуру квантовой теории поля, стандартные функционально-интегральные инструменты, такие как генерирующие функционалы или переходные амплитуды, часто оказываются совершенно неадекватными для таких целей. В статье [21] предложен обобщённый производящий функционал для функций Грина, который позволяет легко различать непрерывный набор вакуумов, которые взаимно связаны через унитарные канонические преобразования. Чтобы максимально упростить обсуждение, ограничимся квантовой механикой, в которой производящий функционал функций Грина строится с помощью интегралов по путям фазового пространства. Квантовомеханическая установка позволяет акцентировать основные логические этапы, не прибегая к техническим сложностям, таким как перенормировка или неэквивалентные представления, которые в противном случае должны рассматриваться в полноценной квантовой теории поля. Проиллюстрируем внутреннюю работу производящего функционала, полученную в результате обсуждения функций Грина среди вакуума, которые связаны между собой посредством трансляций и дилатаций. Также кратко обсуждаются важные вопросы, в том числе связь с квантовой теорией поля, амплитуды перехода вакуум-вакуум и расширение возмущения в параметре вакуума.

В работе [22] используется проективное измерение в качестве фундаментальной аксиомы в квантовой механике, хотя оно является прерывистым и не может предсказать, какое измеренное собственное

состояние оператора будет наблюдаться в каком экспериментальном прогоне. Вероятностное правило Борна даёт ему ансамблевую интерпретацию, предсказывающую пропорции различных результатов в течение многих экспериментальных прогонов. Понимание постепенных слабых измерений требует замены этого сценария динамическим уравнением эволюции для коллапса квантового состояния в отдельных экспериментальных сериях.

Многие базовые наборы для расчетов электронной структуры развиваются с изменяющимися внешними параметрами, такими как движущиеся атомы при динамическом моделировании, что приводит к дополнительным производным членам в динамических уравнениях. В работе [23] возвращаемся к этим производным в контексте дифференциальной геометрии, тем самым, получая более прозрачную формализацию и геометрическую перспективу для лучшего понимания полученных уравнений. Эффект эволюции базиса в охватываемом гильбертовом пространстве явно отделяется от эффекта поворота самого пространства при движении в пространстве параметров, когда касательное пространство поворачивается при движении в искривленном пространстве. Новые идеи получены с использованием знакомых концепций в этом контексте, таких как кривизна Римана. Дифференциальная геометрия не является строго такой, как для искривленных пространств, как в общей теории относительности, более адекватные математические рамки обеспечиваются расслоениями. Однако используемый здесь язык будет ограничен тензорами и базовой квантовой механикой. Локальная калибровка, подразумеваемая плавно меняющимся базисным набором, легко связывается с формализмом Берри для геометрических фаз. Обобщенные выражения для связи Берри и кривизны получены для зависящего от параметра заполненного гильбертова пространства, натянутого на неортогональные функции Ванье. Формализм применим к базисным наборам, состоящим из атомно-подобных орбиталей, а также к более адаптивным движущимся базисным функциям (таким как методы, использующие функции Ваньера в качестве промежуточных или

опорных баз), но также должен применяться к другим ситуациям, в которых неортогональные функции или связанные проекторы должны возникать. Формализм применяется к зависящей от времени квантовой эволюции электронов для движущихся атомов. Представленные геометрические данные позволяют предлагать новые интеграторы времени с конечной разностью, а также лучше понимать уже предложенные.

Ультрахолодные атомные системы представляли большой исследовательский интерес в прошлом, при этом более недавнее внимание уделялось системам смешанных видов. В работе [24] проведено непертурбативное моделирование Монте-Карло с интегралом по путям для различных частиц при конечной температуре, которые можно рассматривать как ультрахолодную атомную систему.

Недавние результаты, полученные в квантовых измерениях, показывают, что фундаментальные связи между тремя физическими свойствами системы могут быть представлены сложными условными вероятностями. В работе [25] показано, что эти отношения обеспечивают полностью детерминированную и универсально действительную структуру, на которой может основываться вся квантовая механика. В частности, квантовая механика может быть получена путём объединения правил байесовской теории вероятностей только с одним дополнительным законом, который объясняет фазы комплексных вероятностей. Этот закон, который вводится как закон квантовой эргодичности, основан на наблюдении, что реальность физических свойств не может быть отделена от динамики, с помощью которой они возникают в измерительных взаимодействиях. Сложные фазы являются выражением этой неразделимости и представляют собой динамическую структуру превращений между различными свойствами. В своей количественной форме закон квантовой эргодичности описывает фундаментальную связь между эргодическими вероятностями, полученными динамическим усреднением, и детерминированными отношениями между тремя свойствами, выраженными комплексными условными вероятностями.

Полный формализм квантовой механики может быть выведен из этого единственного отношения без каких-либо аксиоматических математических предположений о векторах состояний или суперпозициях. Поэтому можно объяснить все квантовые явления как следствие одного фундаментального закона физики.

В работе [26] введён принцип действия для класса целочисленных клеточных автоматов и получены гамильтоновы уравнения движения. Используя теорию дискретизации, эти дискретные детерминированные уравнения обратимо отображаются на континуальные уравнения для набора гармонических генераторов с ограниченной полосой пропускания, которые кодируют уравнение Шрёдингера.

Знакомые понятия векторов состояний и операторов в квантовой механике опираются на ассоциативные произведения наблюдаемых. Однако эти понятия не применяются к некоторым экзотическим системам, таким как магнитные монополи, которые, как известно, давно приводят к неассоциативным алгебрам. Их квантовая физика осталась неясной. В работе [27] представлен первый вывод потенциально проверяемых физических результатов в неассоциативной квантовой механике, основанных на эффективных потенциалах. Они подразумевают новые эффекты, которые нельзя воспроизвести в обычной квантовой механике со стандартными магнитными полями.

Принцип дополненности Бора является одним из центральных понятий в квантовой механике, который ограничивает совместные измерения для определённых наблюдаемых величин. Конечно, последующее развитие показывает, что совместное измерение может быть возможным для таких наблюдаемых величин при введении определённой степени нерезкости или нечёткости в измерении. В статье [28] показано, что оптимальная степень нерезкости, которая гарантирует совместное измерение всех возможных пар дихотомических наблюдаемых, определяет степень нелокальности в квантовой механике, а также в более общих теориях отсутствия сигналов.

В работе [29] решено уравнение Максвелла-Дирака для изучения динамики пространственно локализованной заряженной частицы в одном пространственном измерении. В то время как связь уравнений Максвелла с уравнением Дирака правильно предсказывает привлекательное или отталкивающее взаимодействие между различными частицами, оно также обнаруживает нефизическое взаимодействие одного электрона или позитрона с самим собой, приводящее к усиленному пространственному распространению волнового пакета. Используя сравнение с релятивистским ансамблем взаимно взаимодействующих классических квазичастиц, предполагаем, что это квантовомеханическое самоотталкивание можно понять с точки зрения релятивистской классической механики. Показано, что благодаря простой форме закона Кулона в одном пространственном измерении можно найти аналитические выражения зависящей от времени пространственной ширины для взаимодействующего классического ансамбля. Лучшее понимание динамического воздействия этого неизбежного эффекта самоотталкивания актуально для недавних исследований процесса создания пар, вызванного полем, из вакуума.

Квантовая механика устанавливает ограничения на то, как быстро могут протекать квантовые процессы при определённой энергии системы через отношения неопределённости времени и энергии, и они подразумевают, что время и энергия являются компромиссами друг с другом. В работе [30] предлагается измерять энергию времени как единое целое для квантовых каналов. Рассматриваем меру энергии времени для квантовых каналов и вычисляем ее нижнюю и верхнюю границы, используя каналные операторы Крауса. Для специального класса каналов (который включает в себя деполяризующий канал) можем получить точное значение измерения энергии времени.

Рассмотрим краткое описание физических задач, решаемых в курсе. В качестве одной из физических задач в составе курса рассмотрим задачу частице, находящейся в одномерной потенциальной яме с бесконечно

высокими стенками. Теоретическая задача состоит в нахождении волновых функций и собственных значений энергии частицы. Численная задача состоит в построении графиков зависимости волновой функции и плотности вероятности от координаты средствами математического пакета Octave. На рис. 1-12 приведены изображения окон математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, при различных значениях квантовых чисел в ходе выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE. По графикам возможно нахождение нулей и максимумов волновой функции.

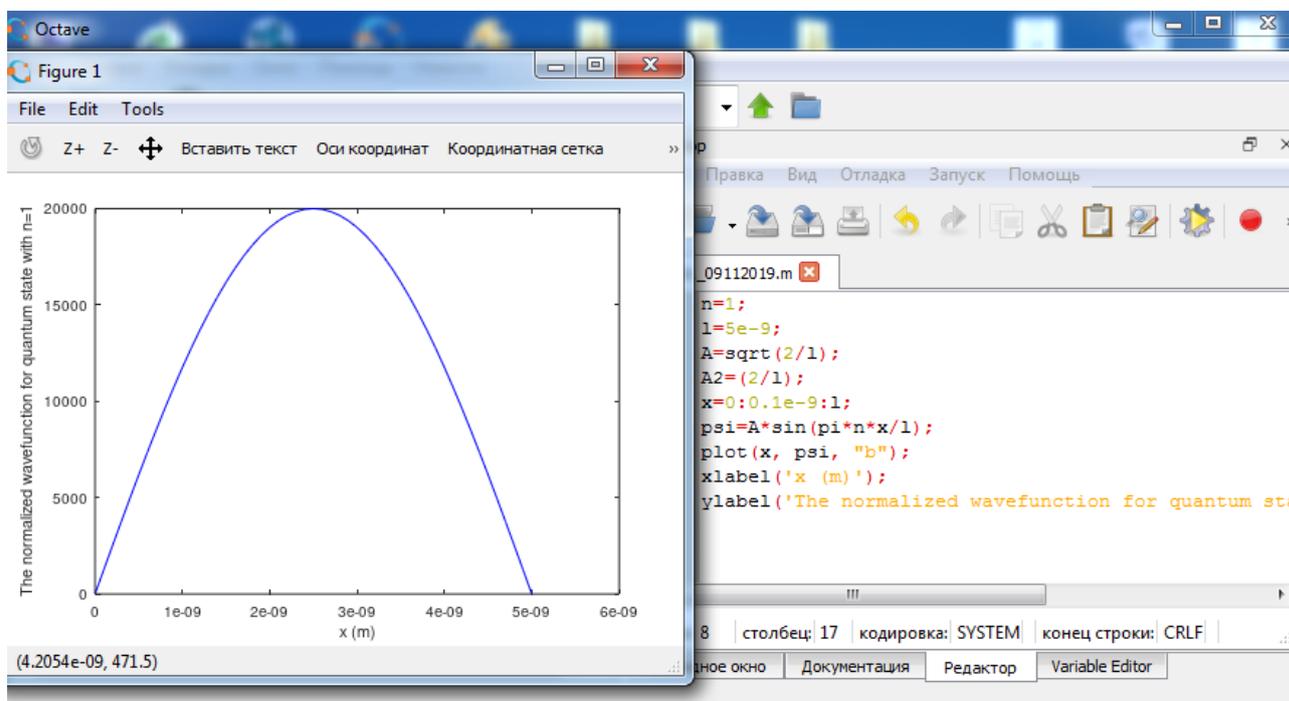


Рис. 1. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_1(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

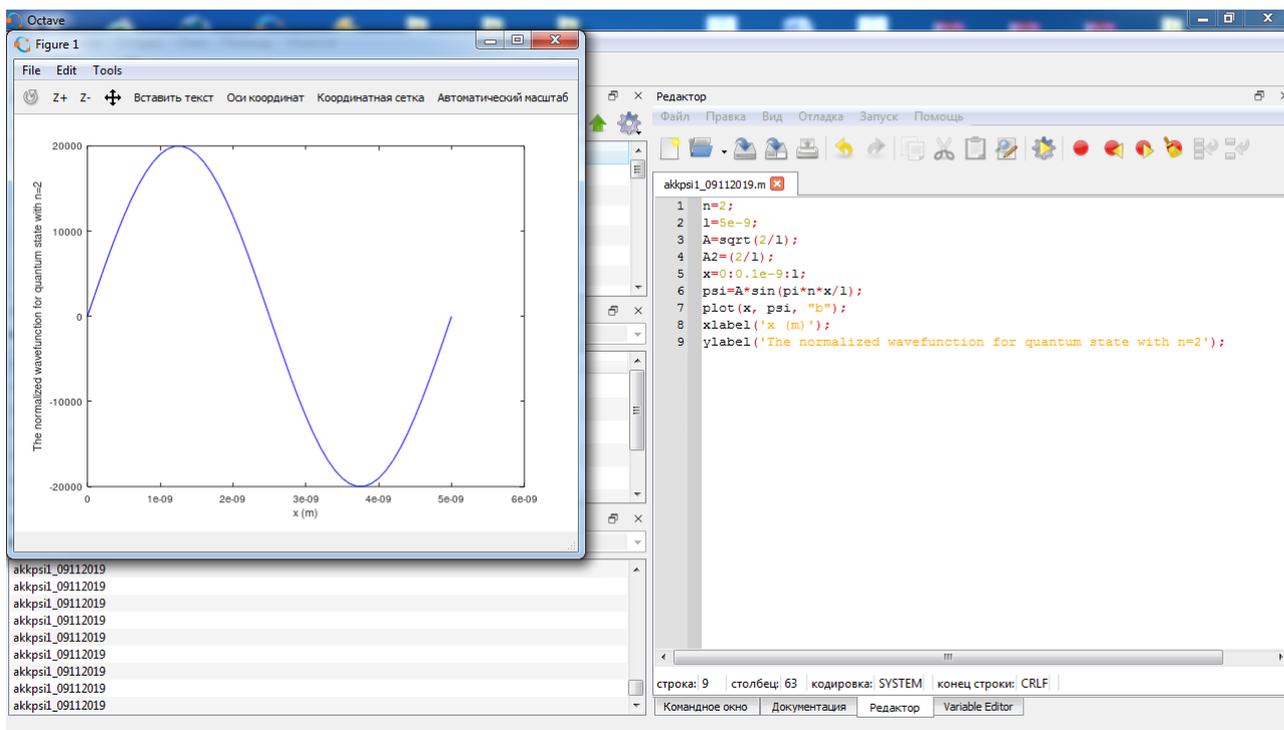


Рис. 2. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_2(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

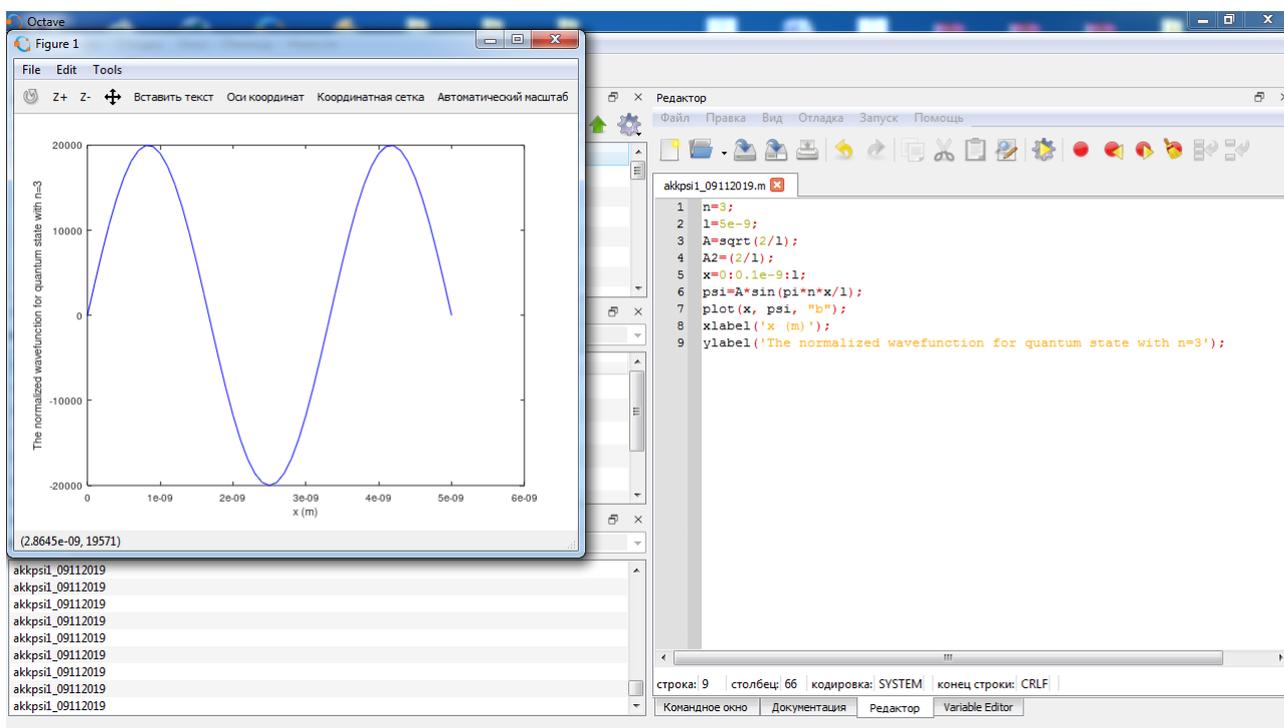


Рис. 3. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_3(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

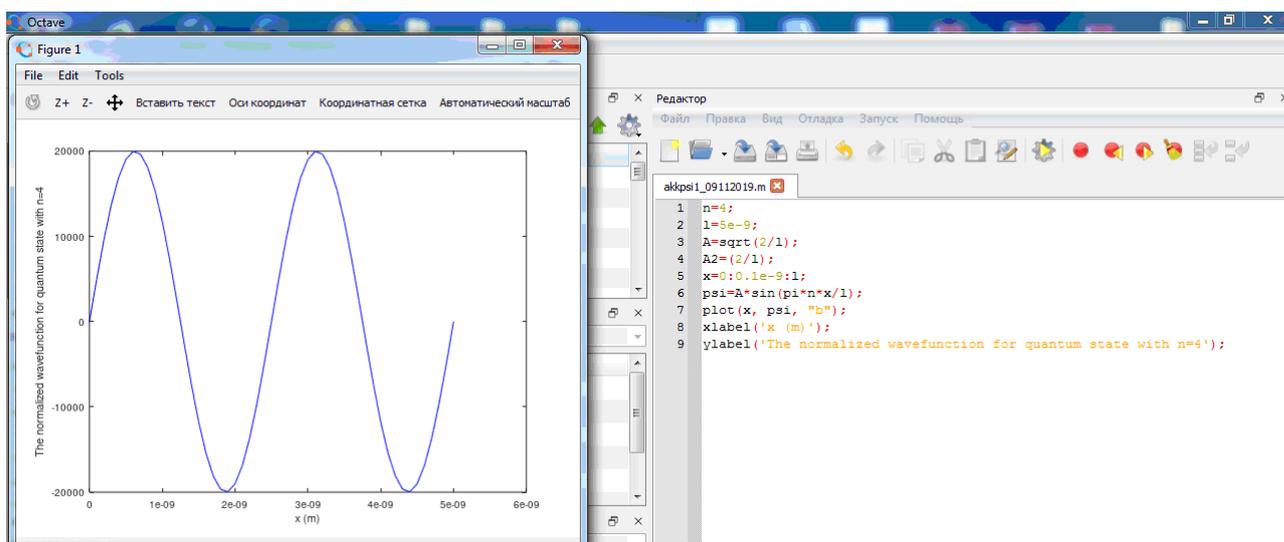


Рис. 4. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_4(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

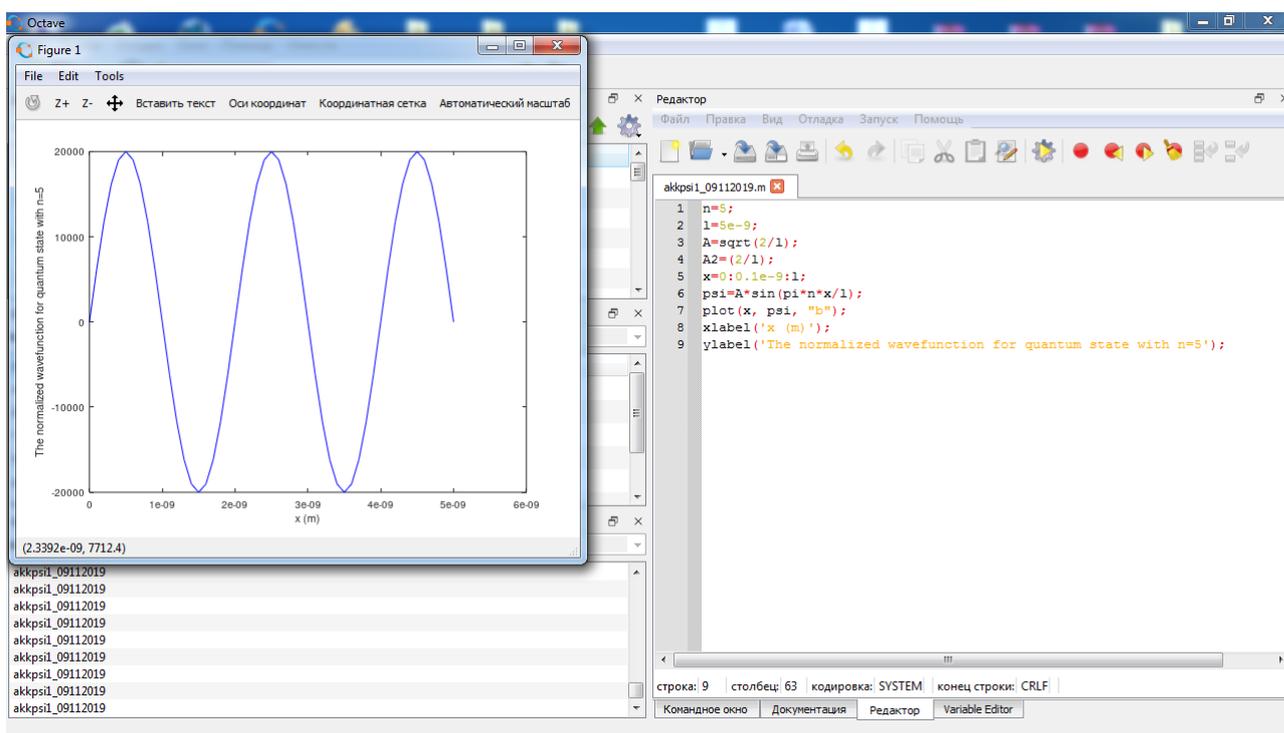


Рис. 5. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_5(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

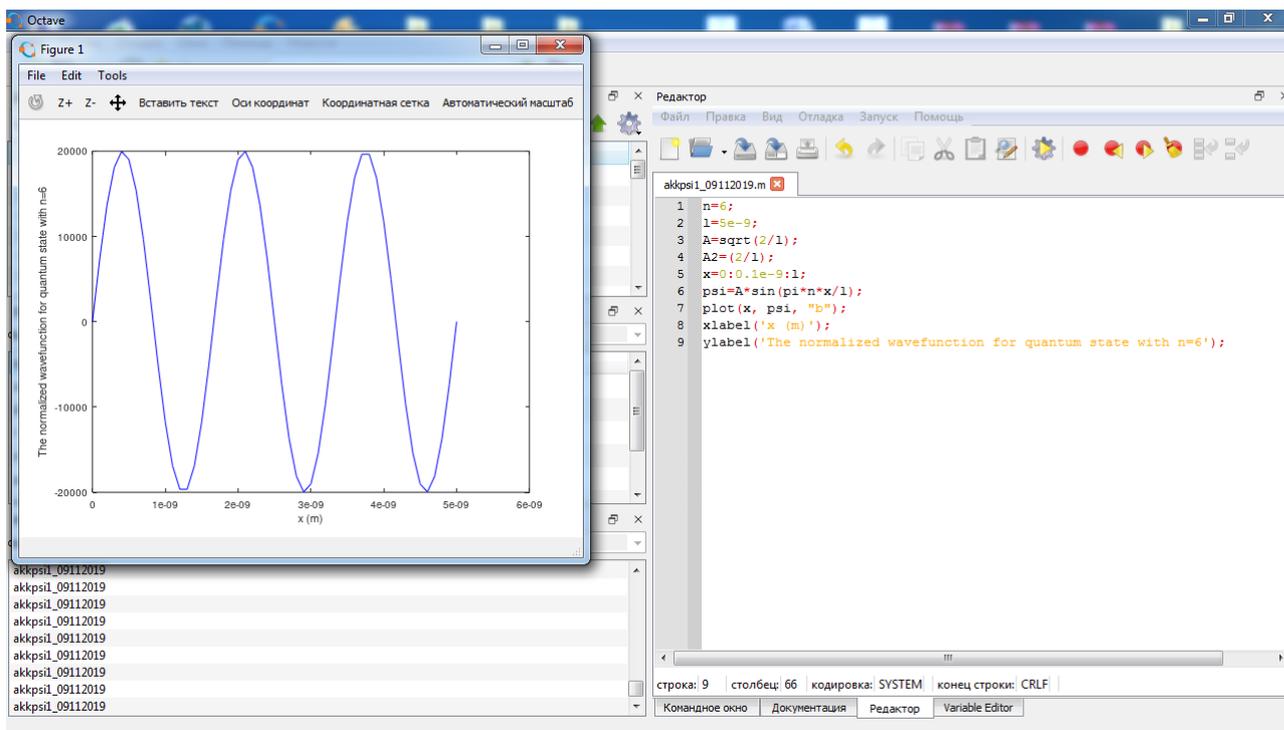


Рис. 6. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_6(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

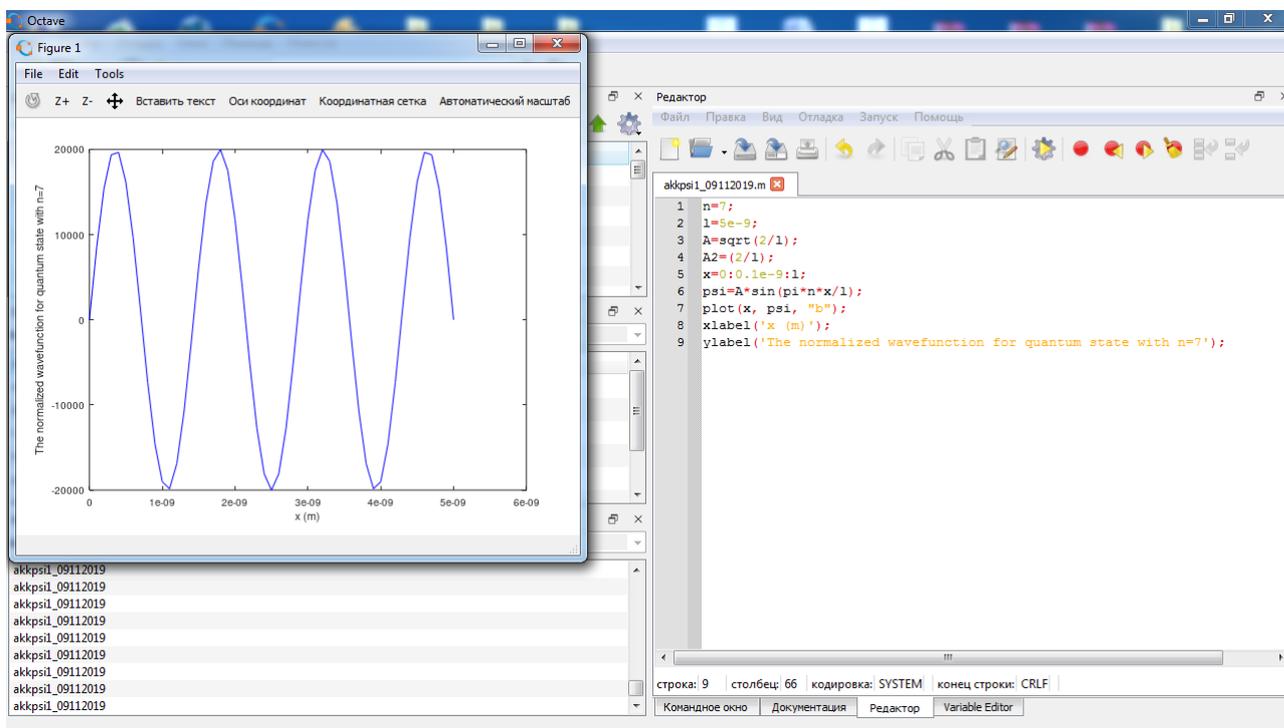


Рис. 7. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_7(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

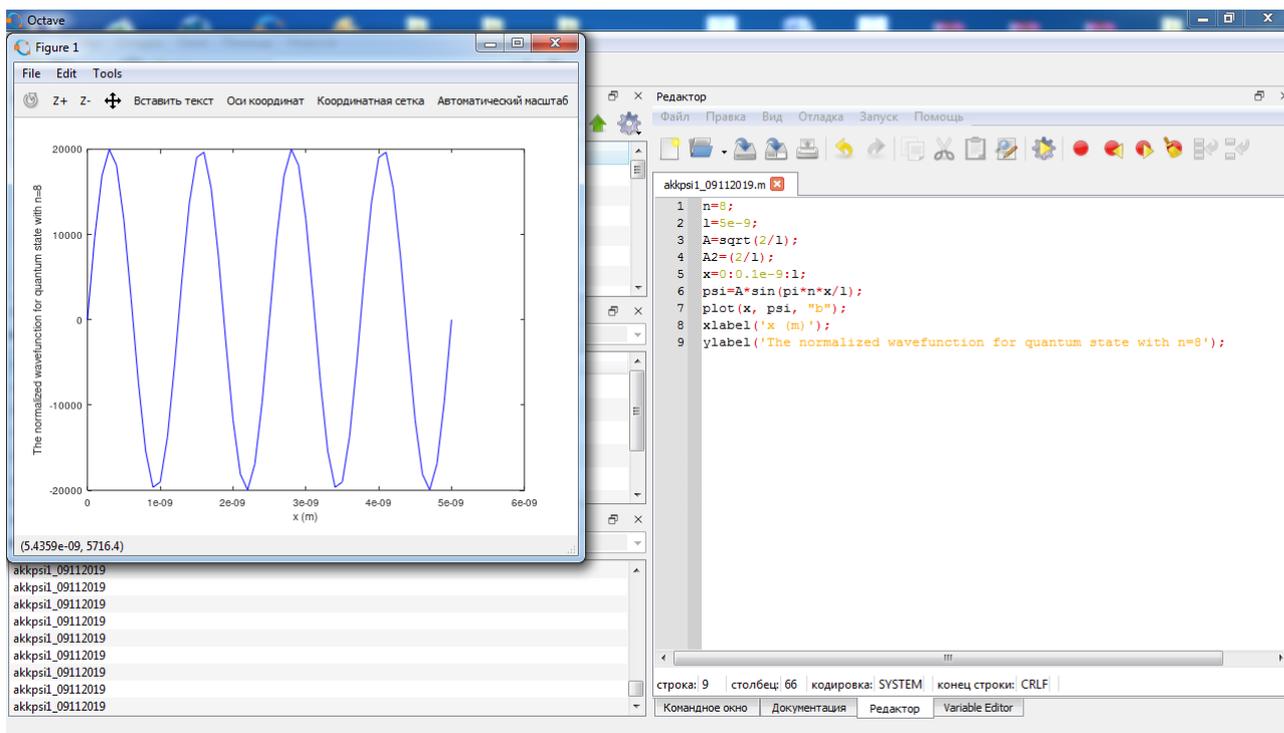


Рис. 8. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_8(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

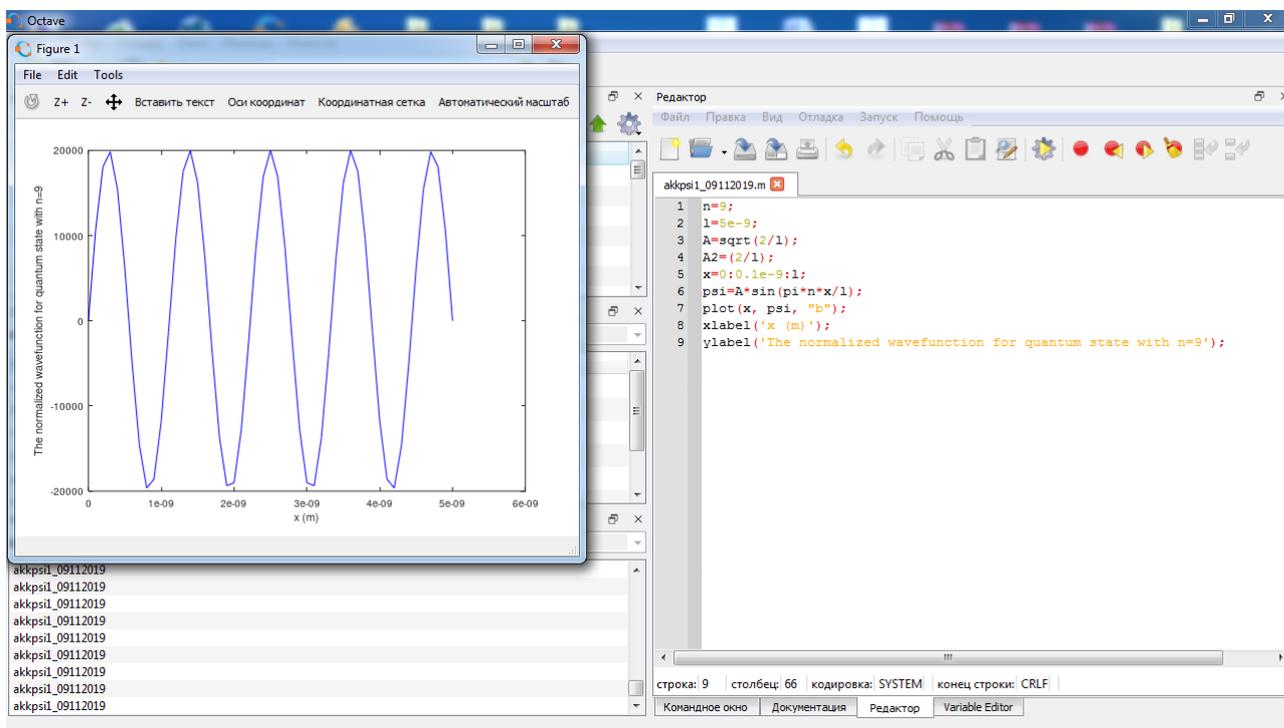


Рис. 9. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_9(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

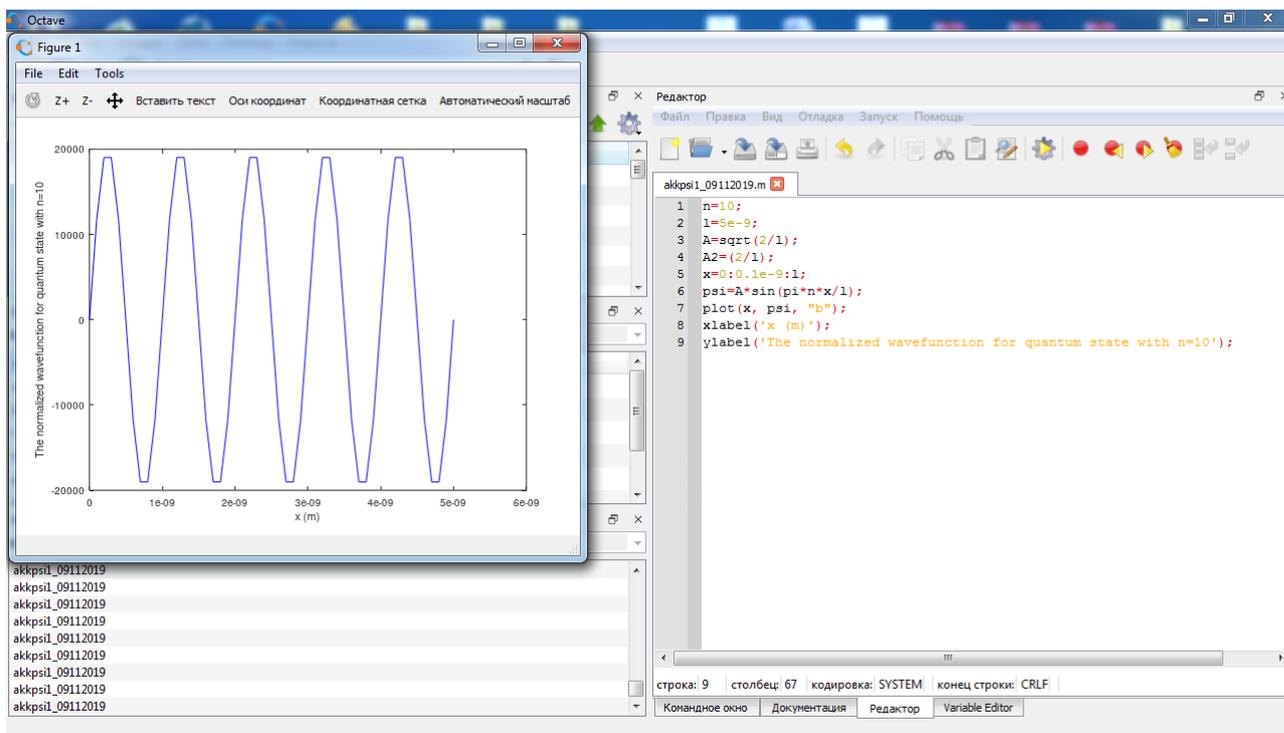


Рис. 10. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_{10}(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

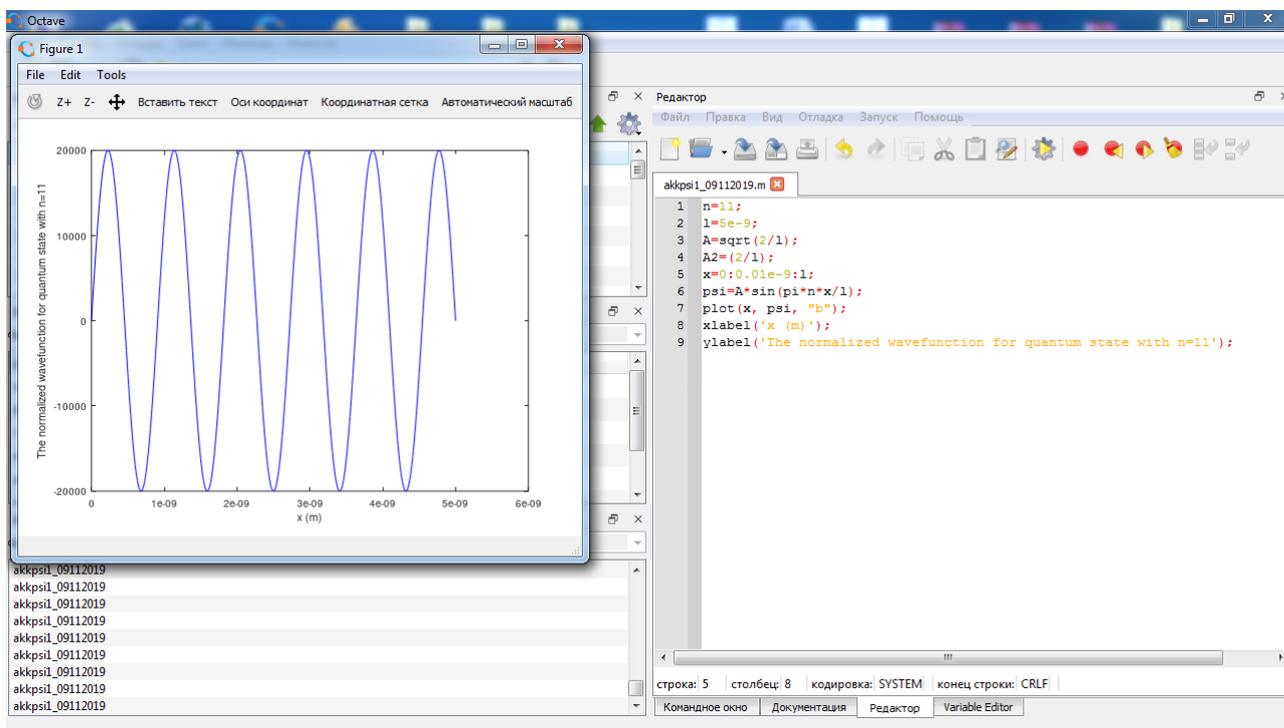


Рис. 11. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_{11}(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

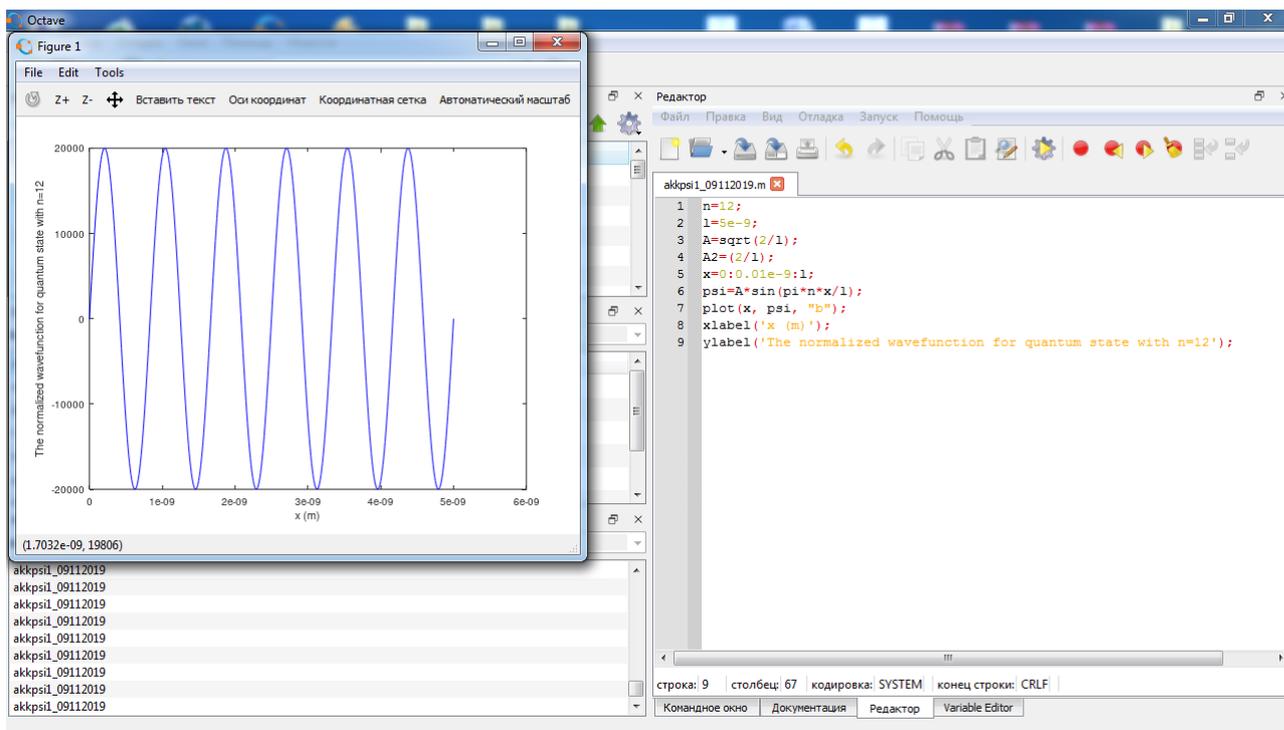


Рис. 12. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости волновой функции $\psi_{12}(x)$ электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

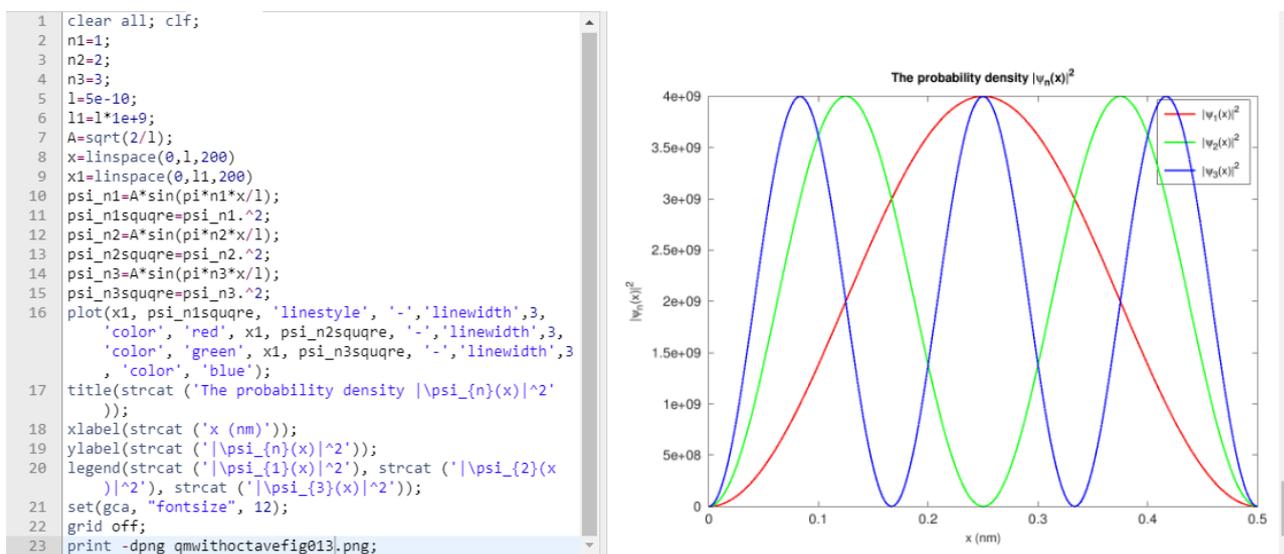


Рис. 13. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

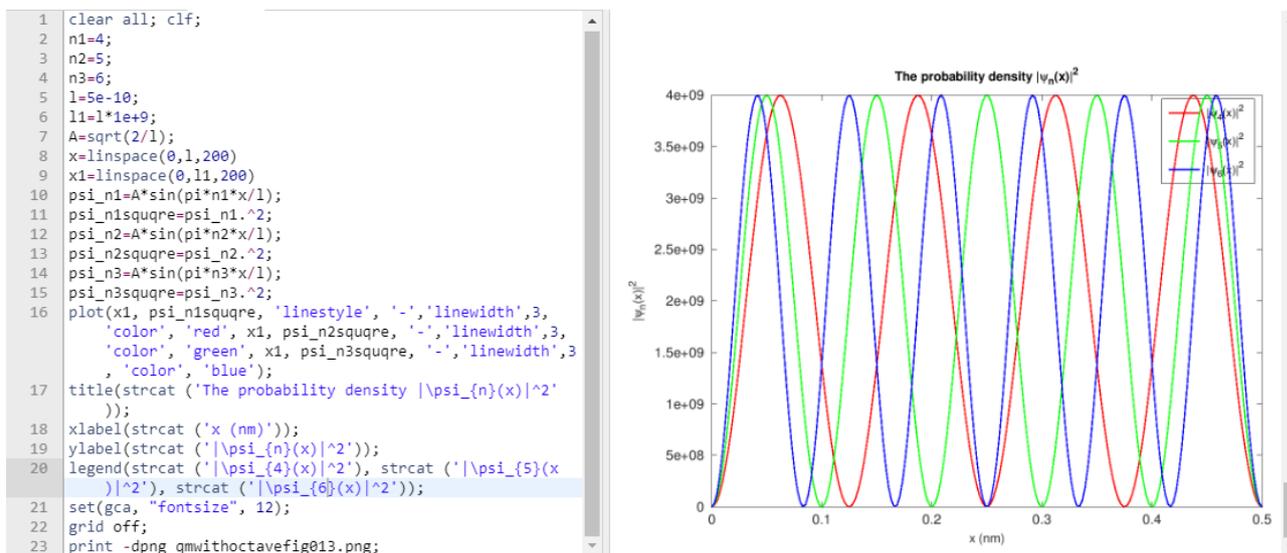


Рис. 14. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

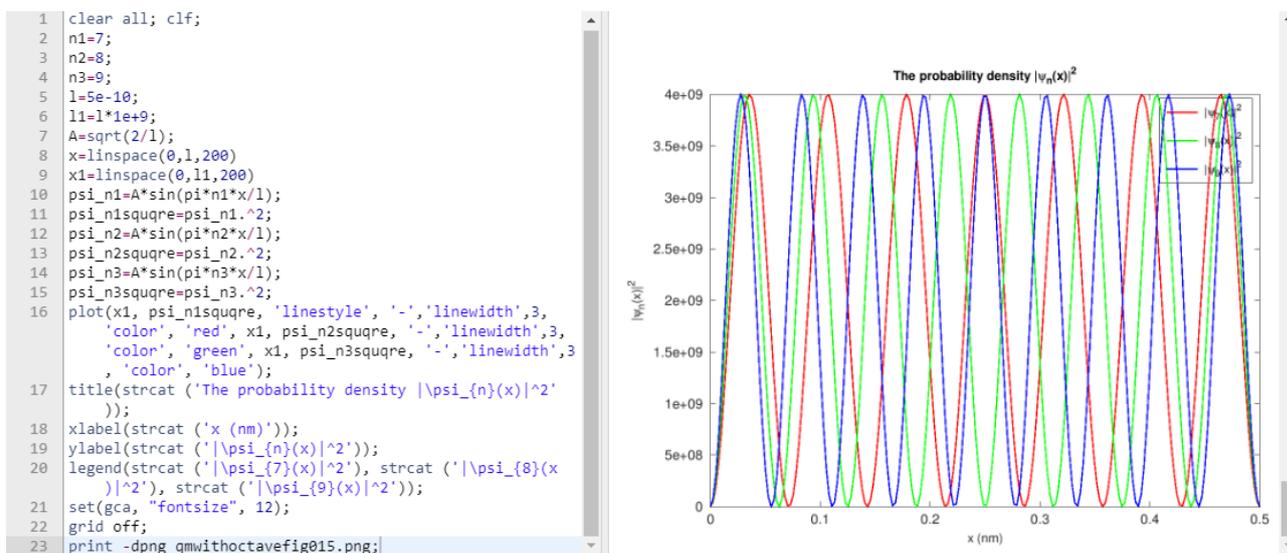


Рис. 15. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

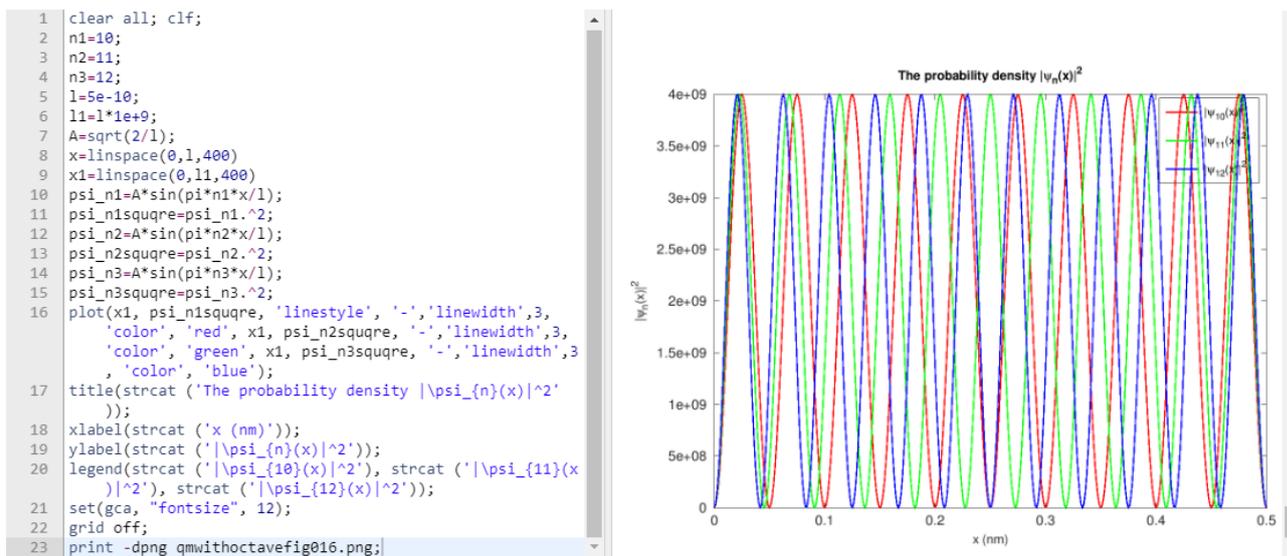


Рис. 16. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

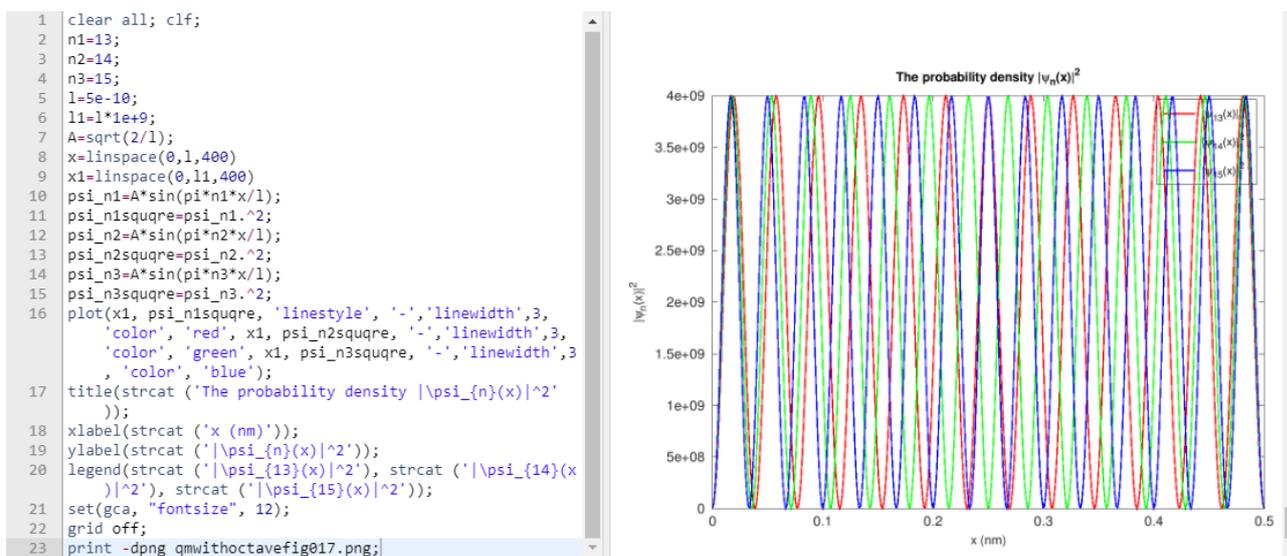


Рис. 17. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

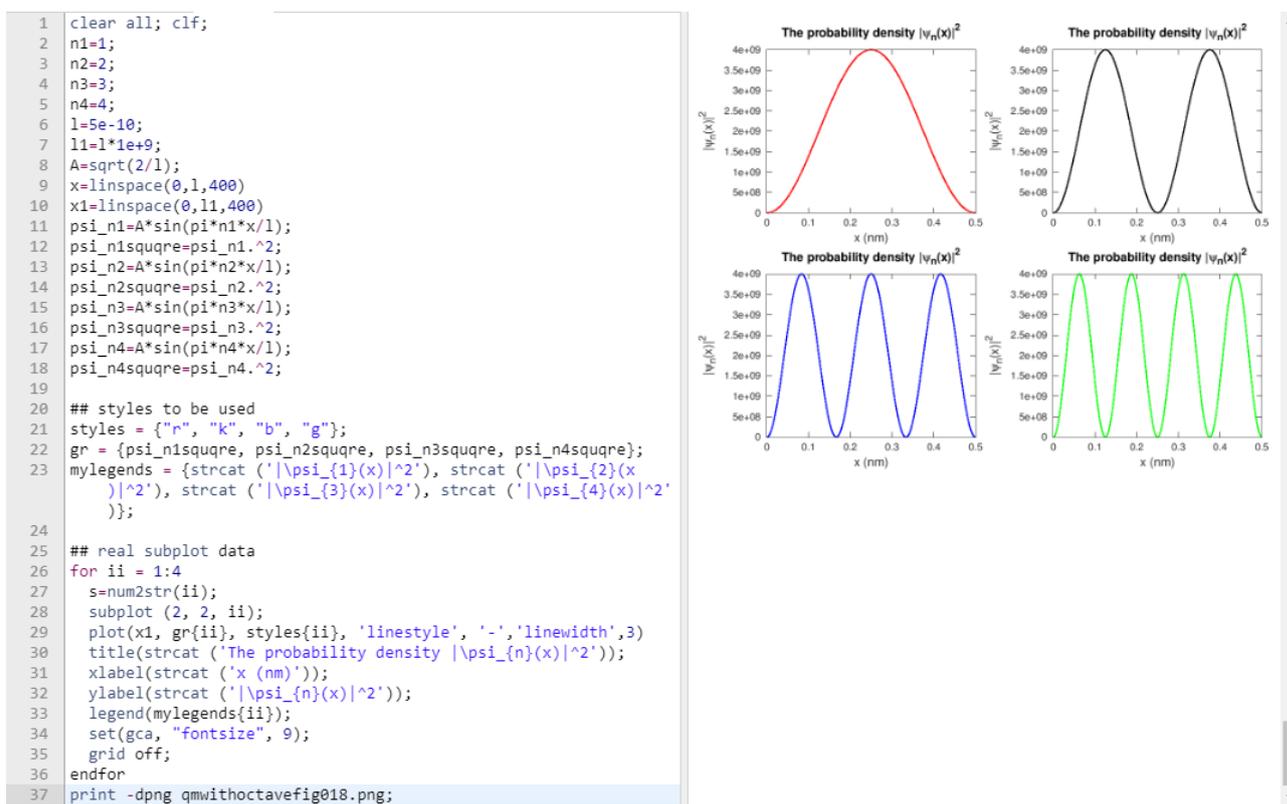


Рис. 18. Окно математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE.

На рис. 13-18 приведены изображения окон математического пакета Octave с компьютерной программой для расчёта координатной зависимости плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме, для выполнения задания по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE. По графикам возможно нахождение нулей и максимумов плотности вероятности электрона, находящегося в одномерной потенциальной яме.

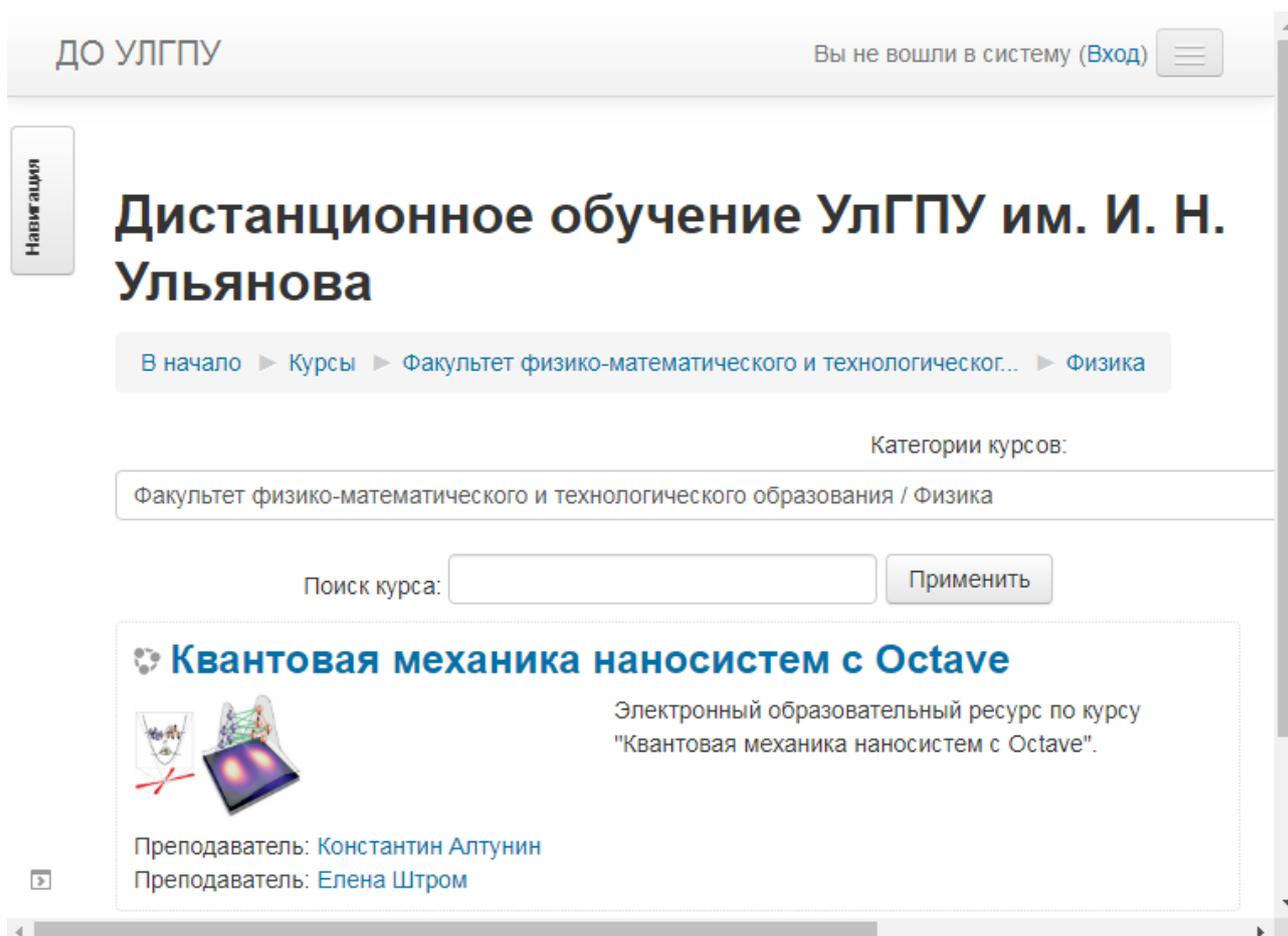


Рис. 19. Входная страница дистанционного курса «Квантовая механика наносистем с Octave» в системе управления обучением MOODLE.

Рассмотрим результаты процесса создания дистанционного курса "Квантовая механика наносистем с Octave" в системе управления обучением MOODLE. На рис. 19 приведено изображение входной страницы дистанционного курса «Квантовая механика наносистем с Octave», созданного в системе управления обучением MOODLE. Основной отличительной особенностью курса является использование комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой механики наносистем. На рис. 20 представлено изображение части структуры модулей дистанционного курса «Квантовая механика наносистем с Octave», созданного в системе управления обучением MOODLE. Основные задачи изучения курса "Квантовая механика наносистем с Octave" состоят в развитии у студента логики мышления, интуиции и творческих способностей; овладении системой

знаний и умений по квантовой механике наносистем и наноструктур. Закрывая и открывая модули можно поддерживать темп продвижения по курсу «Квантовая механика наносистем с Octave» средствами системы MOODLE. Правильная подборка физических задач и заданий в каждом тематическом модуле курса поможет закрепить изученный материал и подготовить студента с помощью курса "Квантовая механика наносистем с Octave".



Рис. 20. Структура модулей дистанционного курса «Квантовая механика наносистем с Octave» в системе управления обучением MOODLE.

Итак, в работе описан результат разработки дистанционного курса "Квантовая механика наносистем с Octave", который готов к началу использования в учебном процессе в университете, позволяет автоматизировать проверку знаний по квантовой механике наносистем и наноструктур. Дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave", созданный в системе управления обучением MOODLE, способствует

систематизации хранения учебного материала по квантовой механике наносистем и наноструктур. При изучении курса "Квантовая механика наносистем с Octave" система дистанционного обучения MOODLE привносит то, что кроме основного курса по изучаемой дисциплине, используется материал для подготовки в домашних условиях, который позволяет расширить учебное содержание, а также провести дифференциацию учебного материала в соответствии с индивидуальными потребностями и запросами студентов, изучающих курс. Система управления обучением MOODLE позволяет открывать и закрывать тематические модели в соответствии со временем изучения, что позволяет поддерживать необходимый темп продвижения по курсу "Квантовая механика наносистем с Octave". В качестве подтверждения гипотезы исследования спроектирован дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave", основанный на комбинации теоретических методов и численных методов в процессе изучения квантовой механики наносистем, позволяющий повысить познавательный интерес студентов к квантовой механике наносистем по традиционной, смешанной и дистанционной формам обучения с применением компьютеров. Дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave", созданный в системе управления обучением MOODLE, способен стать эффективным помощником, автоматизирующим наиболее трудоёмкие элементы труда преподавателя в процессе преподавания учебных дисциплин физико-математической направленности. Созданный дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave" позволит планировать, организовывать и проводить изучение теоретического материала курса по квантовой механике наносистем в дистанционной или смешанной форме обучения. Разработанный дистанционный курс "Квантовая механика наносистем с Octave" может занять особое место среди дистанционных курсов по физико-математической тематике, предназначенных для студентов физико-математических профилей подготовки университетов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 20.Hawton M. Maxwell quantum mechanics // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 100. p. 012122. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.012122>.
- 21.Silenko A. J., Zhang P., Zou L. Relativistic quantum-mechanical description of twisted paraxial electron and photon beams // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 100. p. 030101. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.030101>.
- 22.Bera M. N. Quantifying superpositions of quantum evolutions // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 100. p. 042307. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.042307>.
- 23.Freire I. S., Angelo R. M. Quantifying continuous-variable realism // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 100. p. 022105. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.022105>.
- 24.Schild A. Time in quantum mechanics: A fresh look at the continuity equation // Phys. Rev. A. 2018. Vol. 98. p. 052113. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.052113>.
- 25.Belin J., Horsley S. A. R., Tyc T. Quantum mechanics and Talbot revivals on a tetrahedron // Phys. Rev. A. 2019. Vol. 100. p. 033806. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.100.033806>.
- 26.Sadhukhan M., Manby F. R. Quantum mechanics of Drude oscillators with full Coulomb interaction // Phys. Rev. B. 2016. Vol. 94. p. 115106. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.94.115106>.
- 27.Dias E. O., Parisio F. Space-time-symmetric extension of nonrelativistic quantum mechanics // Phys. Rev. A. 2017. Vol. 95. p. 032133. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.95.032133>.
- 28.Malinowski M., Zhang C., Leupold F. M., Cabello A., Alonso J., Home J. P. Probing the limits of correlations in an indivisible quantum system // Phys. Rev. A. 2018. Vol. 98. p. 050102(R). URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.050102>.

29. Kakofengitis D., Oliva M., Steuernagel O. Wigner's representation of quantum mechanics in integral form and its applications // *Phys. Rev. A*. 2017. Vol. 95. p. 022127. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.95.022127>.
30. Benavoli A., Facchini A., Zaffalon M. Quantum mechanics: The Bayesian theory generalized to the space of Hermitian matrices // *Phys. Rev. A*. 2016. Vol. 94. p. 042106. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.94.042106>.
31. Radozycki T. Guiding neutral particles endowed with a magnetic moment by an electromagnetic wave carrying orbital angular momentum: quantum mechanics // *Phys. Rev. A*. 2018. Vol. 98. p. 013424. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.98.013424>.
32. Bojowald M., Brahma S., Buyukcam U., Guglielmon J., van Kuppeveld M. Small magnetic charges and monopoles in nonassociative quantum mechanics // *Phys. Rev. Lett.* 2018. Vol. 121. p. 201602. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.121.201602>.
33. Grande I. H. L., Senno G., de la Torre G., Larotonda M. A., Bendersky A., Figueira S., Acin A. Distinguishing computable mixtures of quantum states // *Phys. Rev. A*. 2018. Vol. 97. p. 052306. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.97.052306>.
34. Theurer T., Killoran N., Egloff D., Plenio M. B. Resource theory of superposition // *Phys. Rev. Lett.* 2017. Vol. 119. p. 230401. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.119.230401>.
35. Bouchaud J.-Ph. Quantum mechanics with a nonzero quantum correlation time // *Phys. Rev. A*. 2017. Vol. 96. p. 052116. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.052116>.
36. Wittemer M., Clos G., Breuer H.-P., Warring U., Schaetz T. Measurement of quantum memory effects and its fundamental limitations // *Phys. Rev. A*. 2018. Vol. 97. p. 020102(R). URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.97.020102>.
37. Tai Y.-T., Hanson A. J., Ortiz G., Sabry A. Quantum interval-valued probability: contextuality and the Born rule // *Phys. Rev. A*. 2018. Vol. 97. p. 052121. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.97.052121>.

38. Streltsov A., Adesso G., Plenio M. B. Colloquium: quantum coherence as a resource // *Rev. Mod. Phys.* 2017. Vol. 89. p. 041003. URL: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.89.041003>.
39. Luo Sh., Sun Yu. Quantum coherence versus quantum uncertainty // *Phys. Rev. A.* 2017. Vol. 96. p. 022130. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.022130>.
40. Blasone M., Jizba P., Smaldone L. Generalized generating functional for mixed-representation Green's functions: a quantum-mechanical approach // *Phys. Rev. A.* 2017. Vol. 96. p. 052107. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.052107>.
41. Patel A., Kumar P. Weak measurements, quantum-state collapse, and the Born rule // *Phys. Rev. A.* 2017. Vol. 96. p. 022108. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.022108>.
42. Artacho E., O'Regan D. D. Quantum mechanics in an evolving Hilbert space // *Phys. Rev. B.* 2017. Vol. 95. p. 115155. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.115155>.
43. Dawkins W. G., Gezerlis A. Path-integral Monte Carlo study of particles obeying quantum mechanics and classical statistics // *Phys. Rev. A.* 2017. Vol. 96. p. 043619. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.96.043619>.
44. Hofmann H. F. Derivation of quantum mechanics from a single fundamental modification of the relations between physical properties // *Phys. Rev. A.* 2014. Vol. 89. p. 042115. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.89.042115>.
45. Elze H.-Th. Action principle for cellular automata and the linearity of quantum mechanics // *Phys. Rev. A.* 2014. Vol. 89. p. 012111. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.89.012111>.
46. Bojowald M., Brahma S., Buyukcam U. Testing nonassociative quantum mechanics // *Phys. Rev. Lett.* 2016. Vol. 115. p. 220402. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.115.220402>.

47. Banik M., Gazi Md. R., Ghosh S., Kar G. Degree of complementarity determines the nonlocality in quantum mechanics // *Phys. Rev. A.* 2013. Vol. 87. p. 052125. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.87.052125>.
48. Lv Q. Z., Norris S., Su Q., Grobe R. Self-interactions as predicted by the Dirac-Maxwell equations // *Phys. Rev. A.* 2014. Vol. 90. p. 034101. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.90.034101>.
49. Fung Ch.-H. F., Chau H. F. Time-energy measure for quantum processes // *Phys. Rev. A.* 2013. Vol. 88. p. 012307. URL: <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.88.012307>.