

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им.

В.П.АСТАФЬЕВА
(КГПУ им. В.П. Астафьева)

Институт математики, физики и информатики
Кафедра физики и методики обучения физике

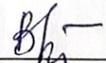
ИДИАТУЛИН ИЛЬДАР РАШИДОВИЧ

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

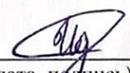
Пропедевтический курс для обучения квантовому программированию
обучающихся физико–математической направленности

Направление подготовки 44.04.01 Педагогическое образование
Направленность (профиль) образовательной программы
Физическое и технологическое образование в новой образовательной практике

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
доцент, кандидат педагогических наук
Латынцев С.В.
29.05.2023 
(дата, подпись)

Руководитель магистерской программы
профессор, доктор педагогических наук
Тесленко В.И.
05.05.2023 
(дата, подпись)

Научный руководитель
доцент, кандидат педагогических наук
Латынцев С.В.
05.05.2023 
(дата, подпись)

Дата защиты _____
Обучающийся
Идиатулин И.Р.
26.04.2023 
(дата, подпись)

Оценка отлично

Красноярск, 2023

РЕФЕРАТ

К магистерской диссертации

«Пропедевтический курс для обучения квантовому программированию обучающихся физико–математической направленности»

Данная работа посвящена формированию профессионального самоопределения у обучающихся 10-11 классов физико-математического профиля с помощью пропедевтического курса по квантовому программированию.

Объем и структура диссертации. Магистерская диссертация состоит из введения, двух глав (первая состоит из двух, вторая из трех подразделов), заключения, библиографического списка. Работа изложена на 81 странице, библиографический список содержит 67 наименований, использовано 5 таблицы и 16 рисунков.

Целью данной работы является: разработка и апробация пропедевтического веб-курса по квантовому программированию для обучающихся 10-11 классов в качестве средства профориентационных мер.

Для достижения цели решаются следующие **задачи**:

1. Охарактеризовать базовое устройство квантового компьютера: проанализировать историю, привести сравнение с традиционными вычислительными системы, разобрать основные квантовые алгоритмы.
2. Раскрыть сущность развития межпредметных связи в контексте профильного образования старшей школы.
3. Разработать программу, содержание и основные методические идеи веб-курса «Основы квантового программирования».
4. Разработать и апробировать рекомендации по реализации курса.

Объект исследования – развитие компетенций обучающихся в ходе образовательного процесса.

Предметом работы является формирование профессионального самоопределения у обучающихся 10-11 классов физико-математического профиля с помощью пропедевтического курса по квантовому программированию.

Гипотеза исследования состоит в следующем: реализация пропедевтического веб-курса по выбору для обучающихся 10-11 классов «Основы квантового программирования» будет способствовать укреплению профессионального самоопределения обучающихся в контексте физико-математического профиля старшей школы.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы:

- теоретические – изучение и анализ литературы по проблеме исследования;
- эмпирические – анкетирование, тестирование, наблюдение, анализ деятельности учащихся, которые использовались с целью диагностики уровня развития естественнонаучной компетентности у обучающихся; педагогический эксперимент (констатирующий, формирующий и контрольный);
- статистические – методы статистики, которые использовались для обработки полученных данных и посредством которых определялись значимость и надежность полученных результатов.

Научная новизна исследования состоит в обосновании возможности использования электронного курса по основам квантового программирования в качестве средства укрепления профессионального самоопределения выпускников.

Практическая значимость работы заключается в методической разработке и внедрении в процесс обучения математике и физике уроков с использованием электронного курса для обучающихся старшей школы.

На защиту выносится следующее положение: укрепление профессиональной ориентации обучающихся 10-11 классов физико-

математического профиля успешно осуществляется при помощи пропедевтического курса по основам квантового программирования.

Апробация работы осуществлялась в ходе педагогической деятельности автора исследования в МАОУ СШ № 158 Грани города Красноярск на протяжении всего периода исследования с 2021 года по 2023 год.

Основные результаты были **представлены** на педагогической конференции КГПУ им В.П. Астафьева, а именно:

- Идиатулин И. Р., Латынцев С.В. РОЛЬ И МЕСТО ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ В ПРОФИЛЬНЫХ КЛАССАХ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ // Образование и наука в XXI веке: математика, физика, информатика и технологии в смарт-мире. – 2023.

PAPER

To the master's thesis

« Propaedeutic course for teaching quantum programming to physics and mathematics students»

This work is devoted to the formation of professional self-determination of students in grades 10-11 of physics and mathematics with the help of propaedeutic course on quantum programming.

The **volume** and structure of the thesis. The master's thesis consists of an introduction, two chapters (the first consists of two, the second of three subsections), conclusion, bibliography list. The work is presented on 81 pages; the bibliography contains 67 references, 5 tables and 16 figures.

The aim of this work is to develop and test propaedeutic web-course on quantum programming for students in grades 10-11 as a means of career guidance measures.

To achieve the goal, the following **tasks** are addressed:

1. to characterize the basic structure of a quantum computer: analyze the history, give a comparison with traditional computing systems, parse the basic quantum algorithms.

2. To reveal the essence of interdisciplinary communication development in the context of high school profile education.

3. Develop the program, content and main methodological ideas of the web course "Quantum Programming Basics".

4. To develop and test recommendations for implementing the course.

1. The object of the research is the development of students' competences in the educational process.

The subject of the work is formation of professional self-determination of students of 10-11 classes of physics and mathematics profile with the help of propaedeutic course on quantum programming.

The hypothesis of the research is as follows: implementation of propaedeutic web-course for 10th-11th graders "Fundamentals of Quantum Programming" will help to strengthen professional self-determination of students in the context of physics and mathematics profile of high school.

The following methods were used to solve the set tasks:

- theoretical - study and analysis of the literature on the problem of research;
- empirical - questioning, testing, observation, analysis of students' activities, which were used to diagnose the level of development of natural-science competence in students; the pedagogical experiment (the ascertaining, forming and controlling);
- statistical methods of statistics, which were used for processing the received data and by means of which the significance and reliability of the received results were defined.

Scientific novelty of the study consists in substantiating the possibility of using an electronic course on the basics of quantum programming as a means of strengthening the professional self-determination of graduates.

Practical significance of work consists in methodical development and introduction in process of training to mathematics and physics of lessons with use of electronic course for pupils of the senior school.

The following statement is submitted for protection: strengthening of professional orientation of students of 10-11 classes of physics and mathematics profile is successfully carried out with the help of propaedeutic course on the basis of quantum programming.

Approbation of the work was carried out in the course of pedagogical activity of the author of research in Moscow Educational Establishment School № 158 Grani in Krasnoyarsk during the whole period of study from 2021 to 2023.

The main results were presented at the pedagogical conference of KSPU named after V.P. Astafyev, namely:

- Idiatulin I. R., Latyntsev S.V. THE ROLE AND PLACE OF QUANTUM PROGRAMMING TRAINING IN PROFILE CLASSES IN PHYSICAL MATHEMATICS // Education and Science in the XXI Century: Mathematics, Physics, Informatics and Technology in a Smart World. - 2023.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
ГЛАВА I. КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР В КОНТЕКСТЕ ОСНОВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ БУДУЩЕГО	8
§ 1.1. КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР: УСТРОЙСТВО И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ	8
§ 1.2. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЭМУЛЯЦИИ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ..	25
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ	37
ГЛАВА II. ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ	38
§1. ОБУЧЕНИЕ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ	38
§2. ОБЗОР КУРСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ ОБУЧАЮЩИХСЯ ФИЗИКО– МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ	51
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	75
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	76

ВВЕДЕНИЕ

В современной науке и технологиях все большую роль играет квантовая физика и квантовые вычисления. Как следствие, растет потребность в специалистах, владеющих инструментами квантовой обработки информации. Особенно важным является обучение физиков и математиков квантовому программированию, так как это формирует новое направление их роста в карьере.

Однако обучение квантовому программированию может быть непростым. В первую очередь, это связано с тем, что квантовая физика сильно отличается от классической. Стандартные подходы и интуитивные представления о том, как работает программирование в классических компьютерах, могут не работать в квантовых системах. Кроме того, квантовое программирование использует математические методы, такие как линейная алгебра и теория вероятностей, которые не всегда являются естественными для учащихся физико-математических направлений.

В связи с этим, обучение квантовому программированию должно быть основано на педагогических методах, которые способствуют формированию правильного мышления, позволяющего учащимся понимать квантовые концепции и выполнять квантовые операции. Необходимо привлекать краткосрочные курсы и обучение онлайн, так как это может уменьшить стоимость для обучения.

В современном мире существуют инструменты, которые облегчают обучение квантовому программированию. Например, инструменты Qiskit, Cirq и PyQuil, которые используют язык программирования Python, позволяют создавать квантовые программы и выполнять их на реальных квантовых компьютерах. Однако, учитывая высокий порог входа для этих инструментов, вначале лучше знакомиться с симуляторами квантовых компьютеров, которые позволяют запускать квантовые программы на классических компьютерах.

Важным является тот факт, что не смотря на столь обширный теоретический запас знаний по устройствам квантовых ПК, реальных прототипов не так уж и много. А значит очень важно привлекать к этой работе как можно больше специалистов, привлекая и знакомя их с проблематикой уже со школьной скамьи. На наш взгляд, это соответствует принципам НТИ (Национальной технологической инициативе), заложенных в 2016 году. Квантовое программирование в будущем откроет обширные возможности на рынке IT специалистов. Это видно уже сейчас, так как на рынке квантовых компьютеров уже работают больше 400 компаний. В разработку и выпуск аппаратной (самой дорогой), составляющей инвестируют Amazon, Archer, Atos, Fujitsu, Google.

Кроме этого, стоит отметить, что знание о квантовых вычислениях даст преимущество первопроходца, когда этот вид вычислений приобретет масштабы. Следовательно, именно сейчас нужно вовлекать одаренных детей для изучения данной области. Роль обучения квантовому программированию заключается в том, что в первую очередь развитие потенциала у обучающихся, которые готовы в будущем связать свою профессию в сфере IT. Тут стоит отметить, что те профессии, которые популярны сегодня могут быть не актуальны через несколько лет, поэтому задача учителя не только обучать детей действующим отраслям наук, но и смотреть в будущее. Именно для этого стоит развивать способности ребенка в этом направлении. Например, такая профессия как программист, вполне может стать менее популярна, если искусственный интеллект будет доведен до идеала, но такая сфера как квантовое программирование, готова к новым взглядам и предложениям. Кроме этого, для ребят есть хорошая возможность при успешном участии в различных олимпиадах и конкурсах связаться с учеными из других стран, что будет способствовать отличному опыту для новых проектов.

Также, одной из важных причин, по которой необходимо знакомить старшеклассников с квантовым программированием, может стать отсутствие

практико-ориентированных задач в области программирование. Не секрет, что старшая школа направлена в первую очередь на сдачу ЕГЭ. Однако, в курсе информатики задачи, связанные с программированием, не имеют ничего общего с реальной жизнью. Обучающиеся, по окончании школы, не имеют понимания профессии программиста, так как не знакомы с реальными кейсами, которые им придется решать. Квантовое программирование – это конкретный раздел программирования, в котором практико-ориентированные задачу имеют быть, к тому же, это позволит обучающаяся, которые решили связать мир с IT, расширить или сузить область будущей профориентации.

Программы для школьников в данный момент по квантовому программированию нет, можно найти элементы и некоторые советы, которые больше подходят для взрослых людей. Именно поэтому данная тема остается актуальна, самое главное разработать программу, задачи, которые помогут ребятам войти в данную тему, для этого необходимо их определённая физико-математическая подготовка. Также ребенок должен обладать хорошими навыками программирования. Только после этого он будет готов приступить к изучению курса по квантовому программированию.

Устройство квантовых компьютеров достаточно сложно и требует значительного бэкграунда в разных научных областях. Больше внимание стоит уделять не столько устройству ПК, сколько его программированию. Этому может способствовать большее количество компиляторов квантовых языков, написанных на C/Python, которые изучаются повсеместно.

В рамках общеобразовательной профилизации, в некоторых школах появлялись профильные классы. Обучение проходит по направлениям, одним из которых является физико-математическое. Степень глубины погружения в математическую науку в подобных классах намного ниже, чем в общих. Некоторые учебные пособия предлагают изучать темы, относящиеся к высшему

образованию. Грубо говоря, профильные классы берут не только качеством, но и количеством изучаемого материала.

Возникает следующее **противоречие**: с одной стороны, заявленная цель профилизации школьного образования заключается в формировании профессиональной самоопределенности обучающихся, с другой стороны, недостаточное количество практико-ориентированных задач и профориентационных мер со стороны преподавателей может привести к профессиональной неуверенности выпускников.

В связи с этим выделим **проблему исследования**: Профилизация не дает обучающимся четкой осознанности своей будущей профессии. Введение пропедевтических курсов по web-программированию, анализу данных и т.п. помогает обучающимся получить реальный практический опыт от изучаемого на уроках материала, что может благоприятно сказаться на профессиональном самоопределении выпускников. На наш взгляд, одним из таких курсов мог бы стать курс по квантовому программированию.

Таким образом, **актуальность** настоящего исследования обусловлена, с одной стороны, научным рывком, стимулированным современной государственной политикой и недостаточной готовностью образовательных учреждений к решению этих проблем, с другой стороны.

Объектом работы является процесс обучения обучающихся физико-математической направленности квантовому программированию.

Предметом работы является формирование профессионального самоопределения у обучающихся 10-11 классов физико-математического профиля с помощью пропедевтического курса по квантовому программированию.

Целью данной работы является: разработка и апробация пропедевтического веб-курса по квантовому программированию для

обучающихся 10-11 классов в качестве средства повышения профориентационного самоопределения выпускников.

Гипотеза исследования: реализация пропедевтического веб-курса по выбору для обучающихся 10-11 классов «Основы квантового программирования» будет способствовать укреплению профессионального самоопределения обучающихся в контексте физико-математического профиля старшей школы.

В связи с поставленной целью в данной работе решаются следующие **задачи:**

5. Охарактеризовать базовое устройство квантового компьютера: проанализировать историю, привести сравнение с традиционными вычислительными системы, разобрать основные квантовые алгоритмы.

6. Раскрыть сущность развития межпредметных связи в контексте профильного образования старшей школы.

7. Разработать программу, содержание и основные методические идеи веб-курса «Основы квантового программирования».

8. Разработать и апробировать рекомендации по реализации курса.

Для решения поставленных задач в выпускной квалификационной работе были использованы следующие **методы исследования:** теоретические (изучение нормативных документов, анализ психолого-педагогической и научно-методической литературы по теме исследования, обобщение методического опыта), эмпирические (сравнение, наблюдение, педагогический эксперимент).

Научная новизна исследования состоит в обосновании возможности использования электронного курса по основам квантового программирования в качестве средства укрепления профессионального самоопределения выпускников.

Практическая значимость работы заключается в методической разработке и внедрении в процесс обучения математике и физике уроков с использованием электронного курса для обучающихся старшей школы.

На защиту выносятся следующее положение: укрепление профессиональной ориентации обучающихся 10-11 классов физико-математического профиля успешно осуществляется при помощи пропедевтического курса по основам квантового программирования.

Апробация работы осуществлялась в ходе педагогической деятельности автора исследования в МАОУ СШ № 158 Грани города Красноярск на протяжении всего периода исследования с 2021 года по 2023 год.

Основные результаты были **представлены** на педагогической конференции КГПУ им В.П. Астафьева, а именно:

- Идиатулин И. Р., Латынцев С.В. РОЛЬ И МЕСТО ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ В ПРОФИЛЬНЫХ КЛАССАХ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ // Образование и наука в XXI веке: математика, физика, информатика и технологии в смарт-мире. – 2023.

Структура выпускной квалификационной работы. Работа состоит из введения, основной части, включающей две главы, заключения, списка используемых источников и приложений.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулирована его цель, объект, предмет, гипотеза и задачи; раскрыта практическая значимость, охарактеризованы методы исследования.

В первой главе были рассмотрены базовые принципы работы квантовых компьютеров и построения квантовых алгоритмов на основе кубитов. Проведен анализ инструментария исполнения квантовых языков программирования в контексте проведения образовательного процесса.

Во второй главе представлены методические разработки, разработан электронный курс по обучению квантовому программированию. Проведена

экспериментальная проверка эффективности данных разработок;
проанализированы полученные результаты.

В Заключении подведены итоги работы, обозначены перспективы дальнейшего исследования.

ГЛАВА I. КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР В КОНТЕКСТЕ ОСНОВНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ЕДИНИЦЫ БУДУЩЕГО

Данная глава посвящена описанию устройства и принципов работы квантовых вычислительных устройств в контексте традиционных компьютеров, основанных на транзисторах. Приведены примеры физической реализации квантовых компьютеров, рассмотрены принципы построения квантовых алгоритмов. Помимо того, проведен анализ современных инструментов выполнения квантовых алгоритмов в условиях проведения образовательного процесса.

§ 1.1. КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР: УСТРОЙСТВО И БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

История квантового компьютера началась с появления квантовой механики в начале XX века. Ученые пришли к тому, что мир на микроуровне работает по совершенно иным законам, чем макроскопический мир. Это привело к появлению новых технологий, среди которых были и квантовые компьютеры.

Согласно Бондареву А.В., **квантовый компьютер** — это «устройство, которое использует явления квантовой суперпозиции и квантовой запутанности, оно построено на совершенно иных принципах, нежели классический компьютер и является перспективным направлением развития электронно-вычислительных машин» [11].

Квантовые технологии, а вместе с ними и сопутствующие вычислительные системы, все чаще мелькают в СМИ, при этом рабочих прототипов, используемых в производственных или научных целях не так много. У обывателя может возникнуть логичный вопрос: в чем потребность создавать подобный компьютер, при этом тратя на него столь много ресурсов и сил? В попытке ответить на этот вопрос, рассмотрим квантовый компьютер в контексте современных (уже традиционных) вычислительных машин.

Как известно, главной вычислительной единицей современных процессоров (вычислительных ядер современных ПК) является транзистор. Согласно Жимарши Ф., **транзистор** — это электронный полупроводниковый прибор, в котором ток в цепи двух электродов управляется третьим электродом [30]. Существует несколько видов транзисторов. Первыми были изобретены полевые транзисторы (1928 год), а биполярные появились в 1947 году в лаборатории Bell Labs. И это была, без преувеличения, революция в электронике.

В 50-х годах прошлого века появились первые интегральные схемы - множеству транзисторов на одной пластинке полупроводника. Примерно в это же время Гордон Мур указал на то, что количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца. Сегодня это наблюдение известно как закон Мура [63].

Однако, многие утверждают, что данный закон больше не работает и человечество достигло весьма ощутимого предела. Рост вычислительной мощности достигался путем уменьшения транзисторов, позволяющем увеличить их количество на кристалле. Все вышеописанное говорит о том, что мы нуждаемся в принципиально новом подходе к компьютерным вычислениям поэтому, уже сейчас меняется сама форма компьютерных вычислений. Архитекторам вскоре не нужно будет думать о том, что еще предпринять, чтобы успеть за законом Мура. На данный момент постепенно внедряются новые идеи, которые позволят достичь высот, недоступных обычным компьютерным системам с традиционной архитектурой. Возможно, в скором будущем скорость вычислений будет иметь не такое и большое значение, улучшить производительность систем можно будет иначе.

Однако, уже сегодня есть технология способная полностью (или заменить отдельные вычислительные отрасли) заменить современный подход к компьютеростроению. Многие ученые не первый год бьются над созданием квантовых вычислительных систем, отметим, что данная борьба началась

примерно во времена создания современных компьютерных устройств. Далее, предлагается рассмотреть данную хронологию более внимательно.

1900 год – М. Планк выдвигает гипотезу, которая гласит что атомы испускают электромагнитную энергию (свет) отдельными порциями — квантами, а не непрерывно [39]. Данную идею поддержали многие ученые, такие как Эйнштейн, Шредингер, Бор и другие, что в своем счете привело к созданию новой физической отрасли – квантовой физике.

Квантовая физика — раздел теоретической физики, в котором изучаются квантово-механические и квантово-полевые системы и законы их движения [37]. Основные законы квантовой физики изучаются в рамках квантовой механики и квантовой теории поля и применяются в других разделах физики и других наук. Все современные космологические теории также опираются на квантовую механику, которая описывает поведение атомных и субатомных частиц.

В 1980 году русский ученый Алексей Китаев опубликовал работу, в которой впервые упоминалось о возможности создания квантовых компьютеров. Ученый называет эту гипотезу «максимально эстетичной и красивой — настолько, насколько это возможно в физике и геометрии». Однако в те годы эту идею приняли недостаточно серьезно и значимых событий в тот период не наблюдалось, но тем не менее его работы послужили базисом для будущих квантовых вычислительных систем.

В 90-е годы прошлого столетия квантовые компьютеры стали получать все большую популярность. В 1994 году ученые из ИВМ создали первый квантовый бит (qubit) на основе ядра атома. В 1998 году физики из университета в Калифорнии нашли способ сохранения квантовых данных в течение 12 миллисекунд — это был рекорд для того времени.

К концу 90-х годов различные компании начали создавать прототипы квантовых компьютеров, но они были очень слабыми. Некоторые ученые считали, что квантовые компьютеры никогда не станут реальностью. Однако,

последующие десятилетия будут полностью посвящены попыткам создать рабочий прототип.

Как итог, в 2011 году произошло то, что изменило все. Ученые из компании D-Wave Systems создали первый коммерческий квантовый компьютер. Он был далек от совершенства, но это был огромный шаг вперед. Кроме того, квантовые компьютеры начали привлекать внимание правительств и различных финансовых институтов.

Сегодня квантовые компьютеры все еще далеки от того, чтобы заменить классические ЭВМ. Однако ученые продолжают работать над улучшением технологии, и мы можем ожидать, что в ближайшие годы квантовые компьютеры станут значительно мощнее и будут использоваться в самых разных областях науки и технологий. Осознавая это, многие выделяют значительную часть средств и ресурсов на создание рабочих прототипов. Подобно рвению в попытках создать квантовые компьютеры привело к квантовой гонке между странами/корпорациями/отдельными учеными.

На текущий же момент основные усилия (и более-менее значимые результаты) у всех ведущих игроков сосредоточены на двух направлениях [37]:

Специализированные квантовые компьютеры, которые направлены на решение одной конкретной специфической задачи, например, задачи оптимизации. Примером продукта являются квантовые компьютеры D-Wave.

Универсальные квантовые компьютеры — которые способны реализовать произвольные квантовые алгоритмы (Шора, Гровера, и т.д.). Реализации от IBM, Google.

Прочие же вектора развития, которые дает нам квантовая физика, такие как: квантовые сенсоры; квантовая сеть, как основа для квантовой криптографии и др. безусловно тоже в списке направлений для исследований, но каких-то более-менее значимых результатов в настоящее время нет.

Далее, предлагается рассмотреть базовое устройство квантового компьютера.

Базовая единица квантового компьютера – квантовый объект. Квантовый объект — объект микромира (квантового мира), который проявляет квантовые свойства (каждое из свойств, попробуем объяснить на примере подброса монеты):

1. *Имеет определенное состояние с двумя граничными уровнями.*

Классический пример из реального мира — монета. У нее есть состояние «сторона», которая принимает два граничных уровня — «орел» и «решка».

2. *Находится в суперпозиции своего состояния до момента измерения.*

Монетку можно подбросить вверх, при этом задав ей некоторое вращение. В то время, пока она вращается невозможно сказать в каком из граничных уровней находится ее состояние «сторона». Но стоит нам ее «прихлопнуть» и посмотреть на результат — как суперпозиция состояний тут же переходит в одно из двух граничных — «орел» и «решка». Схлопывание монетки в нашем случае и есть измерение.

3. *Запутывается с другими объектами для создания квантовых систем.*

Если представить, что мы подбросили три монетки так, что они вращаются цепляясь друг за друга, то в каждый момент времени не только каждая из них находится в суперпозиции состояний, но эти состояния взаимно влияют друг на друга (монетки сталкиваются с друг другом). Отметим, что данный пример направлен лишь на понимание самой концепции запутанности, в реальности прямого взаимодействия между объектами нет.

Что касается квантовых систем, то согласно Холево А.С., подобные системы предоставляют из себя отдельные частицы вещества или совокупности частиц, процессы в которых подчиняются законам квантовой механики. Также, система должна подчиняться следующим свойствам:

- Квантовая система находится в суперпозиции всех возможных состояний объектов, из которых она состоит
- Нельзя узнать состояние системы до момента измерения
- В момент измерения система реализует один из возможных вариантов своих граничных состояний

И в качестве следствия из этих свойств, можно выделить схожие следствия для компьютерных программ:

- Квантовая программа имеет заданное состояние системы на входе, суперпозицию внутри, суперпозицию на выходе
- На выходе программы после измерения имеем вероятностную реализацию одного из возможных конечных состояний системы (плюс возможные ошибки)
- Любая квантовая программа имеет архитектуру дымоходной трубы (вход → выход. Нет циклов, нельзя посмотреть состояние системы в середине процесса.)

4. *Выполняет теорему о запрете клонирования (нельзя скопировать состояние объекта).*

Пока монетки летят и вращаются, мы никаким образом не можем создать отдельную от системы копию вращающегося состояния любой из монеток. Система живет сама в себе и очень ревностно относится к тому, чтобы выдать наружу какую-либо информацию.

В рамках дальнейших объяснений, стоит упомянуть эксперимент с «котом Шрёдингера», который также описывает часть приведенных свойств. Напомним, что данный опыт являлся мысленным эксперимент, предложенный одним из создателей квантовой механики Эрвином Шрёдингером в 1935 году при обсуждении физического смысла волновой функции. В ходе эксперимента возникает суперпозиция живого и мёртвого кота, что выглядит абсурдно с точки

зрения здравого смысла. Однако, в контексте современной квантовой физики, подобное «граничное» описание суперпозиции не совсем верно.

Принцип суперпозиции — фундаментальный принцип квантовой механики, согласно которому, если для некоторой квантовой системы допустимы состояния Ψ_1 и Ψ_2 , то допустима и любая их линейная комбинация $\Psi_3 = c_1\Psi_1 + c_2\Psi_2$. Данная комбинация называется суперпозицией состояний

Для монеток это можно себе представить визуально — в зависимости от начальной скорости, угла подброса, состояния окружающей среды, в которой летит монетка, в каждый момент времени вероятность получить «орел» или «решку» разная. И, как говорилось ранее, состояние такой летящей монетки можно себе представить как «находится во всех своих граничных состояниях одновременно, но с разной вероятностью их реализации».

Возвращаясь, к квантовым ПК, отметим, что любой объект, для которого выполняются вышеуказанные свойства и который мы можем создать и управлять, может использоваться как носитель информации в квантовом компьютере, исполняя основную роль любого компьютера – производить работу с информацией. Рассмотрим данный аспект поподробнее, также как и выше, опираясь на традиционные вычислительные системы, декомпозируя и рассматривая каждую из ролей отдельно.

Начать следует с **логического уровня**, говоря иначе с базовой концепции, на котором строятся, как сама система, так и принципы взаимодействия с ней. В традиционном ПК, основной логической единицей информации является детерминированный бит, принимающий два значения: 0 или 1. Цепочки битов, выстраиваемые по определенным правилам кодировки, позволяют хранить и обрабатывать различные виды информации. Однако, детерминированный бит не годится для описаний состояния квантовых объектов, в следствии суперпозиции пограничных состояний последних. Квантовый бит не может описан лишь двумя

состояниями, поэтому для в качестве логической единицы квантовых компьютеров был выбран квантовый бит, более известный как кубит.

Кубит (quantum bit) — наименьшая единица информации в квантовом компьютере (аналог бита в обычном компьютере), используемая для квантовых вычислений. Как и бит, кубит допускает два собственных состояния, обозначаемых $|0\rangle + B|1\rangle$ (обозначения Дирака), но при этом может находиться и в их суперпозиции. В общем случае его волновая функция имеет вид $\{A|0\rangle + B|1\rangle$, где A и B называются амплитудами вероятностей и являются комплексными числами, удовлетворяющими условию $|A|^2 + |B|^2 = 1$. Состояние кубита удобно представлять как стрелку на сфере Блоха, представленной на рисунке 1.

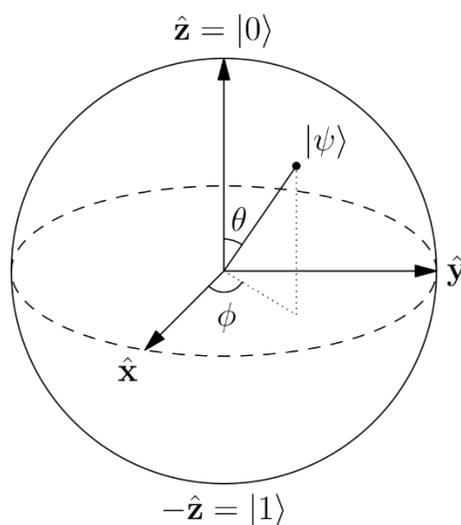


Рисунок 1. Представление кубита в виде сферы Блоха.

Говоря о практическом применении квантовых битов, стоит отметить, что кубит может иметь промежуточное значение, например 0,63. Трактовать это следует следующим образом: когда измеряется состояние кубита, результат всегда равен 0 или 1, но в ходе вычисления кубит может действовать так, как если бы он представлял собой смесь состояний — например, 63% нуля и 37% единицы.

Исходя из вышеописанной схемы, можно сделать вывод, что кубит — это вектор в комплексном векторном пространстве. Рассмотрим операции, совершаемые над квантовым битом.

Начать стоит традиционного бита, который в силу своей структуры, позволяющую ему принимать только 0 или 1, обладает следующим набором логических операций:

- $|$ — (Побитовое ИЛИ (OR))
- $\&$ — (Побитовое И (AND))
- \wedge — (Исключающее ИЛИ (XOR))
- \sim — (Побитовое отрицание (NOT))
- \ll — (Побитовый сдвиг влево)
- \gg (Побитовый сдвиг вправо)

Таблица №1 представляет полную трассировку вышеописанных логических операций.

Таблица 1 Битовые операции

A	0	1	0	0	1	1	0	1
B	0	0	1	1	1	0	0	0
$A B$	0	1	1	1	1	1	0	1
$A \& B$	0	0	0	0	1	0	0	0
$A \wedge B$	0	1	1	1	0	1	0	1
$\sim A$	1	0	1	1	0	0	1	0
$\sim B$	1	1	0	0	0	1	1	1
$A \ll 1$	1	0	0	1	1	0	1	0
$A \gg 1$	0	0	1	0	0	1	1	0

Однако, как уже было сказано выше, данные операции не применимы к квантовым битам. Такими операциями являются:

1. Измерение кубита. При попытке измерить значение кубит, мы получим 0 или 1, со следующим распределением вероятностей (вероятности в данном случае — это просто проекции на соответствующие базисные вектора):

$$q = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \rightarrow$$

$$\begin{cases} \alpha|0\rangle - \text{с вероятностью } |\alpha|^2 \\ \beta|1\rangle - \text{с вероятностью } |\beta|^2 \end{cases}$$

2. **Присваивание (клонирование).** Одной из базовых логических операций в традиционном алгоритмостроении является присваивание — процесс присвоения значения одной переменной другой. Согласно теореме о запрете клонирования (см. выше), в квантовом программировании данная операция не выполнима.

3. **Отрицание (not).**

Кубит является вектором, который может быть повернут в пространстве вокруг сферы. Для выполнения такой операции используется соответствующая матрица. Все операции, выполняемые над кубитами, являются матрицами, которые являются **унитарными**.

Унитарные матрицы характеризуются специальным свойством, которое формулируется через их конкретное математическое представление, включающее транспонирование и комплексное сопряжение. Это свойство крайне важно в контексте квантовых вычислений, поскольку оно гарантирует наличие обратной операции для каждой операции над кубитами. Другими словами, каким бы не было исходное положение вектора, всегда можно вернуть его в исходное состояние при помощи обратной операции.

Теперь, понимая принцип записи квантовых операций, определим матрицу **логического отрицания**:

$$\begin{cases} |0\rangle \rightarrow |1\rangle \\ |1\rangle \rightarrow |0\rangle \end{cases} \rightarrow X = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Оператор **not** (в данном случае, обозначим его через x) применяется следующим образом:

$$X|0\rangle = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$X|1\rangle = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Переходя к **физическому уровню** строения квантовых компьютеров, напомним, что традиционный бит реализуется через полупроводниковый транзистор, которые умеет проводить (или не проводить) ток, используя уровень напряжения сети в качестве носителя информации. Говоря иначе, бит реализуется по факту наличия или отсутствия электрического тока. Однако, квантовый компьютер на практике реализуется с помощью любых квантовых объектов. Обобщая данное, получаем, что любой физический объект, в котором есть два состояния и эти два состояния находятся в состоянии суперпозиции можно использовать для построения квантового компьютера. В качестве примера, приведем следующую цитату Юнусова Р.Р.: «Если мы умеем помещать атом в два разных уровня и управлять ими, то вот вам и кубит. Если мы можем это сделать с ионом, — кубит. С током то же самое. Если мы запускаем его по часовой стрелке и против часовой стрелки одновременно, вот вам кубит».

В таблице №2, представлены основные физические реализации кубитов на данный момент:

Таблица 2 Физические реализации кубитов

<i>Реализация</i>	<i>Описание</i>
Сверхпроводящие кубиты	Основаны на электрических цепях из сверхпроводящих материалов, которые имеют два дискретных энергетических уровня. Сверхпроводящие кубиты имеют высокую скорость операций и масштабируемость, но низкое коэрентное время и точность операций. Сверхпроводящие кубиты используются в квантовых компьютерах IBM, Google, Intel и Rigetti.
Ионные кубиты	Основаны на заряженных атомах (ионах), которые поддерживаются в ловушке электрическим или магнитным полем. Ионные кубиты имеют высокое коэрентное время и точность операций, но низкую скорость операций и масштабируемость. Ионные кубиты используются в квантовых компьютерах IonQ и Alpine Quantum Technologies.
Фотонные кубиты	Основаны на световых частицах (фотонах), которые могут быть кодированы поляризацией или частотой. Фотонные кубиты имеют высокое коэрентное время и скорость операций, но низкую точность операций и

	масштабируемость. Фотонные кубиты используются в квантовых компьютерах Xanadu и PsiQuantum.
Спиновые кубиты	Основаны на спине электрона или ядра атома, который может быть ориентирован вверх или вниз. Спиновые кубиты имеют среднее коэрентное время и точность операций, но высокую масштабируемость. Спиновые кубиты используются в квантовых компьютерах Intel и QuTech.

Сверхпроводящие кубиты – являются одним из самых распространенных типов кубитов на данный момент. Они состоят из сверхпроводящего контура, включающего два джозефсоновских перехода — твердотельного сверхпроводникового нанозлемента, в котором через тонкую изолирующую или несверхпроводящую прослойку между двумя сверхпроводниками протекает туннельный ток. Эти переходы действуют как «вентили», контролирующие поток заряда в кубите. Эта схема позволяет эффективно управлять кубитами и выполнять гейтовые операции.

На рисунке 2 представлена схема работы квантового компьютера:

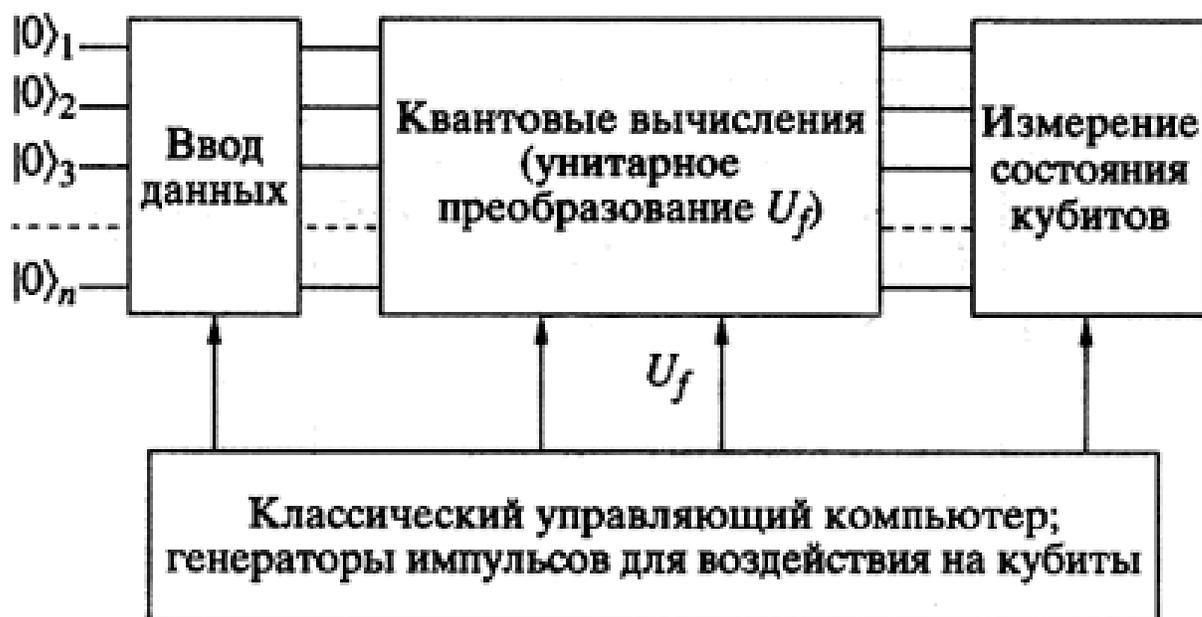


Рисунок 2 Устройство квантового ПК

Другим важным элементом строения квантовых ПК, является **квантовый регистр** — основной элемент квантовых компьютеров и квантовых вычислений. Квантовый регистр состоит из двух основных элементов - кубитов и элементов управления кубитами, представляющих логическую составляющую.

Обычно квантовые регистры используются для хранения и обработки информации в квантовых алгоритмах. Они могут содержать несколько кубитов, что позволяет хранить и обрабатывать более сложные квантовые состояния и выполнять более сложные операции.

Как и у классических компьютеров, квантовые регистры имеют свое ограничение на точность и продолжительность хранения информации. В квантовых регистрах информация может быть сохранена только в течение некоторого ограниченного времени и подвержена декогеренции - процессу, при котором кубиты теряют свои квантовые свойства и переходят в классическое состояние.

Логический и физический уровень образуют уникальный подход к самому принципу работы квантового компьютера. У традиционного, компьютера, работающего на битах, принцип работы лежит в исполнении цифровых детерминированных алгоритмов, обладающий следующими свойствами:

- Дискретность
- Детерминированность (определённость)
- Понятность
- Завершаемость (конечность)
- Массовость (универсальность)
- Результативность

Подобный принцип позволяет получать от ПК четкий ответ, в независимости от количества выполненных операций. На этих принципах была построена вся современная информатика и языки программирования.

В свою очередь, квантовый компьютер работает на аналоговом, вероятностном принципе. Результат работы заданного алгоритма на заданном начальном состоянии представляет собой выборку из вероятностного распределения конечных реализаций алгоритма плюс возможные ошибки. Справедливости ради, данный подход широко применяется в различных областях традиционного программирования, таких как машинное обучение, статистика, прикладная математика, финансовая аналитика и прочее. Есть широко распространённые реализации языков программирования, используемых данный подход, например Prolog. Использование вероятностного подхода в программировании позволяет значительно улучшить качество решений, повысить точность прогнозов и уменьшить риски. Он также может быть полезен для выявления скрытых зависимостей и распознавания образов.

Вышеописанные принципы приводят к тому, что традиционные алгоритмы, совершенно не подходят для реализации на квантовом компьютере. Это требует совершенно иной подход к алгоритмостроению.

Алгоритмы в квантовых языках программирования — это алгоритмы и программы, написанные на языках, которые описывают работу квантовых компьютеров. Квантовые алгоритмы используют квантовые явления и операции для решения задач с большими объемами данных и повышения скорости работы алгоритмов.

Далее, предлагается рассмотреть основные **алгоритмы квантового программирования**. Отметим, что данный список не является полным и последовательным, полный анализ списка алгоритмов потребовал бы отдельного исследования.

1. Алгоритм Шора. Данный алгоритм является одним из наиболее известных квантовых алгоритмов и используется для факторизации больших чисел на простые множители. Он занимает важное место в криптографии,

поскольку может быть использован для дешифрования кодов. Алгоритм Шора состоит из нескольких шагов:

1. Создание квантовой суперпозиции — он инициализирует два регистра, один для классических битов и второй для кубитов.

2. Алгоритм периодичности Фурье - используется для вычисления периода функции, который в данной задаче является ключевой информацией для вычисления простых множителей большого числа.

3. Анализ контрольных точек - на этом этапе проводится определение простых множителей числа с помощью операций над кубитами.

2. Алгоритм Гровера — квантовый алгоритм решения задачи перебора, то есть нахождения решения уравнения $f(x) = 1$. В квантовых алгоритмах используется в качестве алгоритма поиска, используемого для нахождения нужного элемента в неупорядоченном списке элементов. задача, которую можно решить, проверив каждый элемент, но такой подход иногда может быть неэффективным при большом количестве элементов. Алгоритм Гровера состоит из нескольких шагов:

1. Создание квантовой суперпозиции - он инициализирует регистр кубитов в квантовой суперпозиции.

2. **Оракул** - используется для определения и разметки искомых элементов, которые нужно найти.

3. Алгоритм гуляния по кругу - используется для уточнения искомых элементов и их удаления до тех пор, пока не найдется нужный элемент.

3. Квантовый муравьиный алгоритм используется для решения задач комбинаторной оптимизации, таких как задача о коммивояжере. Алгоритм обрабатывает маршрут, проходящий через набор городов, и пытается минимизировать расстояние, пройденное коммивояжером.

4. Квантовые нейронные сети - используются для классификации данных и обработки изображений. Они представляют собой фреймворки, построенные

на кубитах, которые используются для обучения и работы квантовых нейронных сетей.

5. Алгоритм Копперсмита—Винограда - используется для умножения матриц, является распространенным инструментом в области численных методов. Алгоритм позволяет сократить количество операций умножения, необходимых для вычисления произведения матрицы.

Вышеописанные подходы к реализации квантовых вычислений уже возымели успех на практике. Например, **IBM Q System One** — это один из наиболее известных квантовых компьютеров, который был представлен в 2019 году. Он создан компанией IBM в сотрудничестве с МПТ и государственным университетом Нью-Йорка. Он оснащен сверхпроводящими кубитами, которые хранят информацию в виде квантовых состояний. Компьютер содержит 20 кубитов и использует систему контроля, которая управляет их работой.

Одним из важных преимуществ квантового компьютера IBM Q System One является его относительно невысокая мощность, что делает его доступным для использования в бизнесе и научных исследованиях. Ключевым на наш взгляд является тот факт, что он также предоставляет доступ к **IBM Quantum Experience** — облачной платформе, которая позволяет пользователям экспериментировать с квантовыми компьютерами, используя квантовые алгоритмы без необходимости иметь собственный квантовый компьютер, что будет рассмотрено нами далее в рамках данной работы.

Несмотря на все преимущества и достижения, связанные с разработкой квантового компьютера IBM Q System One, еще многое нужно сделать для развития квантовой технологии, чтобы она стала широкодоступной и полезной для решения различных задач, как в бизнесе, так и в науке. Действительно, на данный момент квантовые компьютеры все еще находятся на стадии развития, не смотря на вышеописанные достижения и прорывы в данной области. Однако, уже

сегодня они применяются в некоторых областях науки и технологий, таких как криптография, оптимизация и моделирование молекулярных систем и не только.

В будущем, с развитием технологий, квантовые компьютеры станут все более мощными и доступными, что позволит использовать их для решения задач, над которыми классические компьютеры не справляются. Именно поэтому научные и технологические исследования в области квантовых компьютеров продолжаются, и это правильная стратегия для того, чтобы развивать технологии и использовать их в повседневной жизни.

§ 1.2. АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЭМУЛЯЦИИ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Современные компьютерные технологии тесно связаны с языками программирования — формальными языками, описывающими компьютерные программы. Разработчики с помощью компьютера пишут программное обеспечение для запуска на том самом компьютере. Однако, как уже было сказано выше, в настоящее время нет доступной физической реализации квантовой вычислительной машины. Возникает вопрос: как же тогда в условиях квантового голода осуществлять обучение квантовым языкам программирования?

Так как данное исследование проводится в рамках изучения образовательного процесса в средней и старшей ступени общего образования, то следует обозначить, что дальнейший анализ инструментов квантовых исчислений проводится с целью выявления наиболее подходящего из них в качестве основного при обучении школьников. Немного отступим в сторону и выделим основные критерии выбора:

1. Инструмент должен обладать детальной документацией, описывающей процессы инсталляции, конфигурации и дальнейшей эксплуатации. Документация должна быть доступной и понятной как педагогу, так и школьнику.

2. Языки квантового программирования должны быть основаны на языках (или быть родственными, принадлежать семейству), которые обучающиеся изучают в базовой школьной программе. Такими языками являются: Python, Pascal, C/C++ (последнее, только в рамках подготовки к олимпиадам).

3. Приведенный инструментарий должен исполняться на большинстве современных сред, в которых работают обучающиеся и не требовать лишних зависимостей, которые требуют сложной инсталляции.

4. Инструмент должен быть актуальным (хотя бы на момент проведения исследования): должна происходить поддержка кода/документации; инструмент обладает живым комьюнити пользователей.

На данный момент запуск программ, написанных на квантовых языках программирования, возможен с помощью технологий, использующих облачные вычисления и специальных программ-эмуляторов, симулирующих работу квантовых вычислительных систем. Остановимся более подробно на первом варианте.

Облачные вычисления (от англ. cloud computing) — модель обеспечения удобного сетевого доступа по требованию к некоторому общему фонду конфигурируемых вычислительных ресурсов (например, сетям передачи данных, серверам, устройствам хранения данных, приложениям и сервисам — как вместе, так и по отдельности), которые могут быть оперативно предоставлены и освобождены с минимальными эксплуатационными затратами или обращениями к провайдеру [20]. Говоря иначе, крупные компании, такие как Google, Microsoft, IBM и D-wave, предоставляют доступ к квантовому оборудованию, при том совершенно бесплатно. Алгоритм работы в таком случае состоит в следующем:

1. Происходит выбор целевой платформы.
2. Пользователь проходит регистрацию на платформе, получает **access token** (личный ключ доступа для обращения к сервису из прикладных программ)
3. Производится написания программы с использованием квантовых языком программирования и выбранного ранее SDK — набора инструментов для разработки программного обеспечения целевой платформы.
4. Происходит запуск кода:

i. Программный код отправляется по сети Интернет в целевую платформу

ii. Происходит исполнения кода на квантовых вычислительных системах целевой платформы

iii. Результат возвращается пользователю

5. Далее, происходит повторение 3 и 4 пункта до достижения необходимого результата.

Таким образом, облачные технологии полностью снимают проблему отсутствия оборудования, потому как для написания и исполнения квантовых программ достаточно лишь среднего ПК, способного обрабатывать текстовые документы, имеющего необходимую среду исполнения выбранного языка и оснащенного доступом к Интернету. В современных условиях проведения ЕГЭ/ОГЭ по информатике (и не только), каждая школа обязана иметь подобное оборудование.

Как уже было сказано, помимо облачных технологий, квантовые алгоритмы можно исполнять с помощью **эмуляторов** — специальных комплексов программных, аппаратных средств или их сочетании, предназначенных для копирования (или эмулирования) функций одной вычислительной системы (гостя) на другую, отличную от первой, вычислительную систему (хост) таким образом, чтобы эмулированное поведение как можно ближе соответствовало поведению оригинальной системы.

Большинство рассматриваемых далее технологий могут работать в 2-х описанных выше режимах.

Современные квантовые языки программирования зачастую строятся на традиционных широко распространённых языках, таких как C/C++, Assembler, Python и др. В нашем случае, стоит остановиться более детально на Python, так как именно он занимает первое место по индексу ТЮВЕ на момент написания данной работы. Также Python — является одним языков программирования,

даваемых на выбор во время сдачи ЕГЭ по информатике, что в купе с научно-экспериментально ориентированностью данного языка делает его наиболее предпочтительным в обучении современных школьников.

Python — высокоуровневый язык программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированный на повышение производительности разработчика, читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нём программ [55].

В случае Python, нет отдельной реализации данного языка для исполнения квантовых алгоритмов. Существуют отдельные пакеты (библиотеки, модули), содержащие перечень инструментов для эмуляции или выполнении квантовых алгоритмов в облачной среде, которые работают в экосистеме Python, не заменяя его, а лишь расширяя его основной функционал. Это является несомненным преимуществом в обучении, так как обучающиеся не тратят время на изучение нового языка, а наоборот закрепляют ранее изученное с помощью освоения новых сфер применения языка.

В таблице 2 представлено краткое описание Python-пакетов, исполняющих квантовые алгоритмы:

Таблица 3 Python-пакеты для квантовых вычислений

Название	pyQuil	ProjectQ	cirq	QISKit
Производство	Rigetti	ETH Zurich	Google	IBM
Первый релиз	v0.0.2 15.01.2017	v0.1.0 03.01.2017	0.1.1712.901 04.01.2018 (pre-release)	0.1 0.7.03.2017
Текущая версия	3.5.2	0.8.0	1.1.0	0.43.0
Open Source	Да	Да	Да	Да
Лицензия	Apache-2.0	Apache-2.0	Apache-2.0	Apache-2.0

Операционные системы	Mac, Windows, Linux	Mac, Windows, Linux	Mac, Windows, Linux	Mac, Windows, Linux
Зависимости	Python3, Anaconda	Python2, Python3	Python>=3.7.0	Python 3.5+, Jupyter Notebooks (для обучения), Anaconda3
Базовый язык	Python	Python	Python	Python
Язык квантового программирования	Quil	none/hybrid	OpenFermion	OpenQASM
Характеристики вычислительной мощности	8 кубитов	Нет выделенного оборудования, может подключаться к серверным устройствам IBM	none	IBMQX2 (5 куб.), IBMQX4 (5 куб.), IBMQX5 (16 куб), QS1_1 (20 куб)

Рассмотрим представленные библиотеки более детально на примере вентиля Адамара, представленным следующим образом:

$$H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Вентиль Адамара особенно важен, потому что с его помощью можно создать суперпозицию состояний $|0\rangle$ и $|1\rangle$. Говоря иначе, если попробовать измерить данное состояние, мы получим 0 или 1 с вероятностью 50%. Данный вентиль часто сравнивают с подбрасыванием монетки.

Эту операцию проще всего визуализировать с помощью сферы Блоха как поворот вокруг оси x на π радиан (180°) с последующим поворотом вокруг оси y (по часовой стрелке) на $\pi/2$ радиан (90°). Рисунок №3 отображает данную операцию.

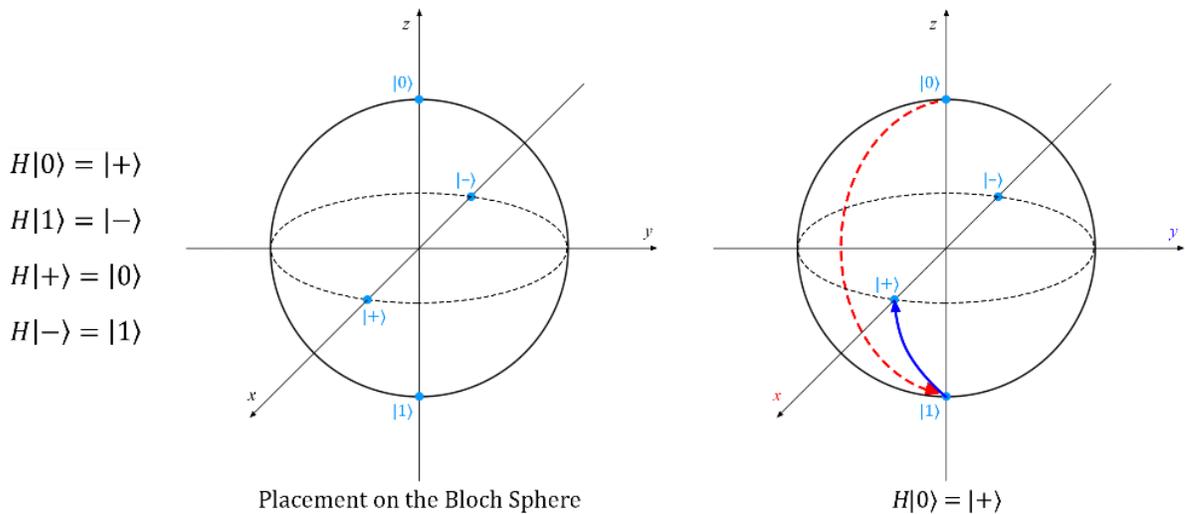


Рисунок 3 Визуализация Вентилля Адамара

Теперь, имея представления о базовых принципах работы вентилля Адамара, перейдем к анализу модулей квантового программирования:

pyQuil — это библиотека для языка Python с открытым исходным кодом, разработанная компанией Rigetti для создания, анализа и выполнения квантовых программ. Она построена на основе языка Quil — открытого языка квантовых инструкций (или просто квантовый язык), специально разработанного для ближайших перспективных квантовых компьютеров и основанного на общей модели классической/квантовой памяти (это означает, что для памяти доступны как кубиты, так и классические биты).

PyQuil также поддерживает различные платформы, такие как компьютеры с настольным ПК, серверы и облачные платформы, и может использоваться как в настольных, так и в онлайн-средах. С помощью PyQuil разработчики могут создавать новые квантовые алгоритмы и приложения, и тестировать их на квантовом компьютере Forest, предоставляемом Rigetti.

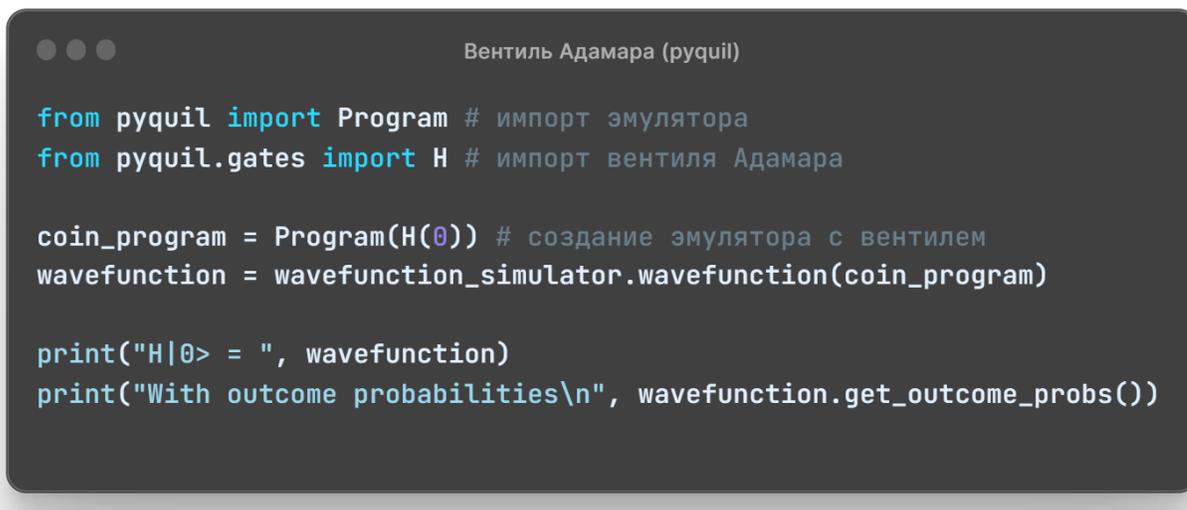
Анализируя документацию и протестировав основной функционал, можно сделать вывод о том, что данный модуль отлично подходит для обучения квантовому программированию ввиду следующих причин:

Во-первых, PyQuil владеет простым и интуитивно понятным синтаксисом, что облегчает для начинающих программистов изучение квантовых вычислений. Например, на PyQuil можно написать простую программу для создания простейшего квантового цепочного блока с помощью всего лишь нескольких строк кода.

Во-вторых, PyQuil имеет богатую документацию и обширное сообщество разработчиков. Это значит, что при возникновении вопросов или проблем обучающиеся могут обратиться за помощью к другим разработчикам или найти решение в уже существующих сообществах.

Однако, описываемый модуль требует сторонних инструментов при установке и конфигурации, что в теории может ограничить процесс обучения обучающимся при самостоятельном использовании.

На рисунке № 4 представлена реализация Адамара с помощью PyQuil:



```
from pyquil import Program # импорт эмулятора
from pyquil.gates import H # импорт вентилля Адамара

coin_program = Program(H(0)) # создание эмулятора с вентилем
wavefunction = wavefunction_simulator.wavefunction(coin_program)

print("H|0> = ", wavefunction)
print("With outcome probabilities\n", wavefunction.get_outcome_probs())
```

Рисунок 4 Рисунок 4 Реализация вентилля Адамара на pyquil

ProjectQ — это программная среда с открытым исходным кодом для квантовых вычислений. Данный программный комплекс представляет собой среду с открытым исходным кодом, которая может использоваться для квантовых вычислений. ProjectQ не имеет собственного специализированного квантового компьютера. Тем не менее каждый имеет возможность подключения

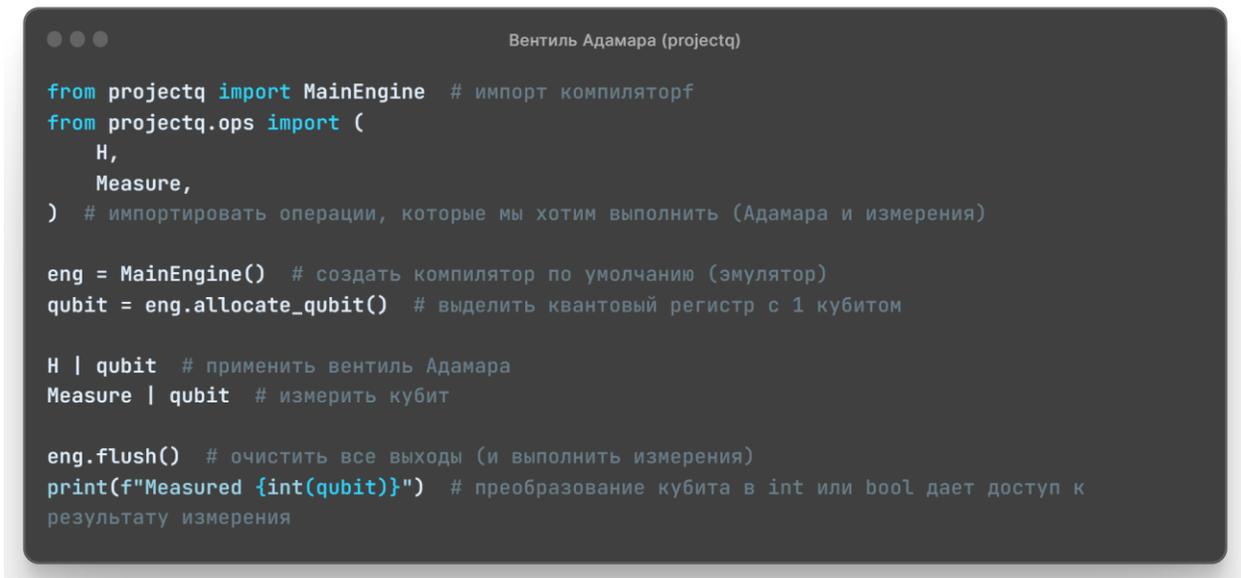
к квантовым бэкендам IBM, а также высокопроизводительному квантовому компьютерному симулятору и нескольким библиотечным плагинам.

Одна из главных особенностей ProjectQ — это то, что библиотека обеспечивает высокоуровневый API для написания квантовых программ. Это означает, что программирование квантовых вычислений становится более интуитивным и менее трудоемким для обучающихся. Модуль эффективно использует базовый синтаксис Python, перенося на понятийный аппарат квантового алгоритмостроения.

ProjectQ, в отличие от предыдущего модуля, не требует дополнительных зависимостей при установке, что делает его доступным для более широкой аудитории, в том числе обучающихся.

Эти преимущества делают описываемый инструмент доступным для школьников, которые заинтересованы в изучении квантовых вычислений и программировании. Они могут использовать ProjectQ для создания своих собственных квантовых программ, что поможет им развить навыки программирования и аналитического мышления и лучше понять роль науки в современном мире.

На рисунке № 5 представлена реализация Адамара с помощью ProjectQ:



```
Вентиль Адамара (projectq)

from projectq import MainEngine # импорт компиляторf
from projectq.ops import (
    H,
    Measure,
) # импортировать операции, которые мы хотим выполнить (Адамара и измерения)

eng = MainEngine() # создать компилятор по умолчанию (эмулятор)
qubit = eng.allocate_qubit() # выделить квантовый регистр с 1 кубитом

H | qubit # применить вентиль Адамара
Measure | qubit # измерить кубит

eng.flush() # очистить все выходы (и выполнить измерения)
print(f"Measured {int(qubit)}") # преобразование кубита в int или bool дает доступ к
результату измерения
```

Рисунок 5 Реализация вентиль Адамара на ProjectQ

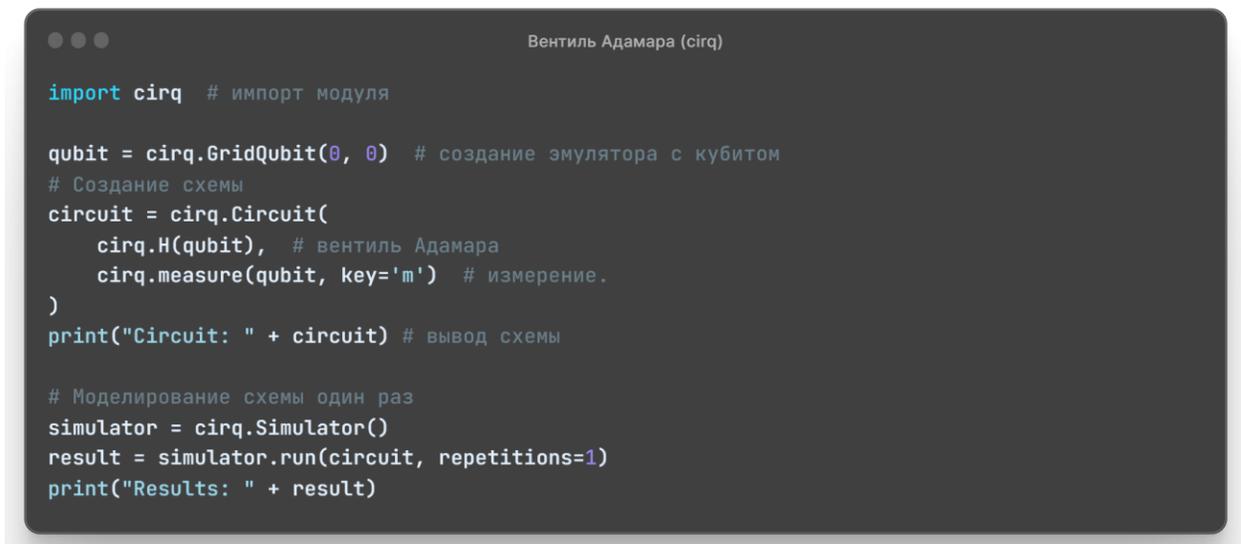
Cirq — это фреймворк с открытым исходным кодом для создания алгоритмов квантовых вычислений. Он разработан компанией Google и предоставляет программистам возможность писать квантовые алгоритмы для решения различных задач. Cirq так же использует язык программирования Python и поддерживает API, совместимый с различными платформами квантовых вычислений. Данный инструмент упрощает процесс создания квантовых алгоритмов, обеспечивая удобный способ создания квантовых цепочек и графов. Он также включает в себя библиотеку базовых операций для квантовых вычислений, которые можно использовать для создания более сложных алгоритмов.

Cirq поддерживает различные платформы квантовых вычислений, включая Google Quantum Computing Service, IonQ, Rigetti и другие. инструмент также обладает высокой гибкостью и масштабируемостью, что позволяет создавать более сложные алгоритмы, а также экспериментировать с различными конфигурациями и параметрами.

Данный модуль предоставляет ряд утилит, включая симулятор квантовых вычислений, который позволяет обучающимся создавать и тестировать свои алгоритмы на реалистических условиях без необходимости использования дорогостоящего оборудования.

Наконец, Cirq совместим с определенными фреймворками, используемыми в машинном обучении, такими как TensorFlow и PyTorch, что может быть интересно для школьников, которые хотят изучить машинное обучение, используя квантовые вычисления.

На рисунке № 6 представлена реализация Адамара с помощью cirq:



```
import cirq # импорт модуля

qubit = cirq.GridQubit(0, 0) # создание эмулятора с кубитом
# Создание схемы
circuit = cirq.Circuit(
    cirq.H(qubit), # вентиль Адамара
    cirq.measure(qubit, key='m') # измерение.
)
print("Circuit: " + circuit) # вывод схемы

# Моделирование схемы один раз
simulator = cirq.Simulator()
result = simulator.run(circuit, repetitions=1)
print("Results: " + result)
```

Рисунок 6 Реализация вентилля Адамара на cirq

Qiskit (Quantum Information Software Kit) представляет собой комплект разработчика программного обеспечения (SDK) с открытым исходным кодом для работы с квантовым языком OpenQASM и квантовыми процессорами в платформе IBM Q. Он доступен для языков Python, JavaScript и Swift, но здесь мы обсуждаем только версию Python.

Данный модуль также, как и другие представленные модули, предоставляет возможность запускать программы на симуляторе квантовых вычислений, что позволяет школьникам тестировать свои программы в условиях, близких к реальным, без необходимости использования дорогостоящего оборудования.

На рисунке № 7 представлена реализация Адамара с помощью qiskit:

```
Вентиль Адамара (qiskit )

from qiskit import QuantumCircuit, QuantumRegister, ClassicalRegister, execute
from qiskit_aer import QasmSimulator

q = QuantumRegister(1) # квантовый регистр
c = ClassicalRegister(1) # классический регистр

superposition_state = QuantumCircuit(q, c) # создаем схему
superposition_state.h(q) # применяем Вентиль адамара
superposition_state.measure(q, c) # измерение

job = execute(superposition_state, backend=QasmSimulator()) # выполнение схемы
result = job.result() # результат

print(result.get_counts(superposition_state))
```

Рисунок 7 Реализация вентиль Адамара на Qiskit

Данный пример отличается от других тем, что используется, как квантовый регистр (из одного кубита), так и классический для записи результата измерений.

Qiskit имеет утилиты, позволяющие создавать и визуализировать квантовые схемы, что дает возможность обучающимся создавать свои программы и визуализировать их. Так, например, выглядит схема с применением 2-х вентилей Адамара подряд (рисунок 8), которая эмулирует двойное подбрасывание монеты:

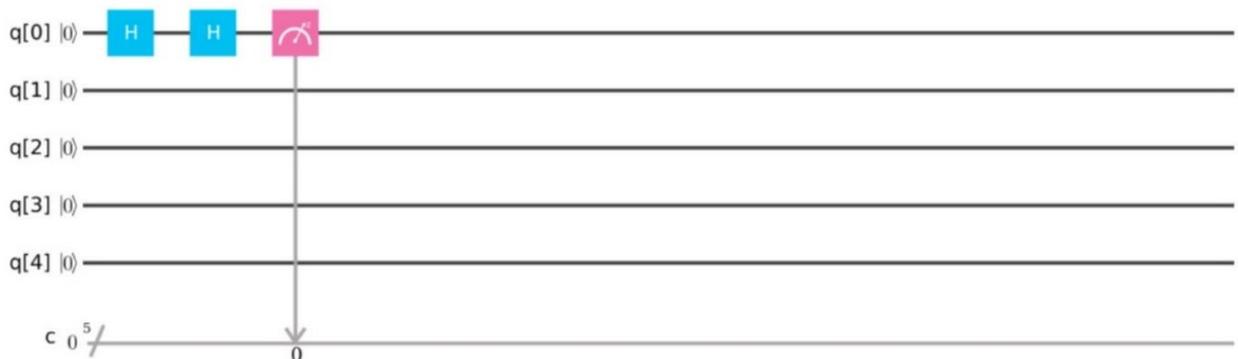


Рисунок 8 Схема двойного оператора Адамара

На наш взгляд, Qiskit является отличным выбором для обучающихся, которые желают изучить квантовые вычисления и программирование в приятной

и интуитивно понятной среде. В Qiskit легко начать, она имеет простой интерфейс программирования и обширную документацию, а также возможность тестирования на симуляторе квантовых вычислений. Именно на нем и будет основываться дальнейшее исследование, используя его в качестве основного модуля построения квантовых алгоритмов.

Подводя итог вышеизложенному анализу квантовых языков и модулей, отметим, что все описанные платформы являются значительными достижениями в области квантовых вычислений и отличными инструментами для обучающихся и исследователей по программированию реальных квантовых компьютеров. В целом, выбор инструмента и языка программирования для выполнения и эмуляции квантовых вычислений зависит от уровня знаний, целей и доступности квантовых вычислительных ресурсов. Чтобы достичь лучших результатов, рекомендуется использовать несколько инструментов и языков программирования, в зависимости от задачи и потребностей.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В данной главе были рассмотрены основные принципы устройства квантового компьютера и его базовые принципы работы. **Квантовый компьютер** — это устройство, которое использует кубиты вместо битов для обработки информации. Кубиты основаны на квантовых явлениях, способных представлять суперпозиции и квантовые взаимодействия. Они хранят информацию в виде квантового состояния, которое можно менять и контролировать при помощи квантовых операций.

Ключевым принципом работы квантовых компьютеров является их способность работать с несколькими состояниями одновременно. Это позволяет выполнять сложные вычисления значительно быстрее, чем обычные компьютеры.

Тем не менее, существуют определенные трудности, связанные с работой квантовых компьютеров, в том числе и проблемы с точностью и устойчивостью к ошибкам. Для решения этих проблем на сегодняшний день существуют различные подходы, включая использование квантовых устройств охлаждения, улучшения кубитов и разработки алгоритмов для квантовых вычислений.

В целом, развитие квантовых компьютеров представляет огромный потенциал для науки, технологии и бизнеса, и на данный момент идет интенсивная работа в этом направлении.

Однако, квантовые компьютеры находятся пока еще в ранней стадии развития, и для их массового использования необходимо решить ряд технических проблем. Тем не менее, уверенность в потенциале квантовых вычислений приводит к значительным инвестициям в исследования и разработки этой технологии, и квантовый компьютер может стать одним из самых значимых достижений в истории вычислительной науки.

ГЛАВА II. ОСНОВЫ И ПРИНЦИПЫ ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

В данной главе рассматриваются основы обучения квантовому программированию, предложены принципы построения образовательного процесса, рассмотрены различные варианты реализации взаимодействия при обучении. Помимо того, были рассмотрены варианты реализации электронного курса в качестве основного инструмента выстраивания образовательного процесса, проведен разбор такого курса, реализованного в рамках данного исследования.

§1. ОБУЧЕНИЕ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ: ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ОСОБЕННОСТИ СОДЕРЖАНИЯ

Обучение квантовому программированию имеет свои особенности, связанные с уникальностью сферы применения квантовых вычислений и особенностями их работоспособности. Анализ методической литературы по данной теме, показал, что на сегодняшний день нет описанных методик по обучению данному виду деятельности (в контексте среднего образования). Поэтому, перед началом образовательного процесса необходимо выделить основные требования и принципы к его построению, опираясь на особенности обучающихся средней/старшей школы и выбранной темы.

Являясь первопроходцами в данной области, на основе известных принципов обучения программированию в целом, приведем основные принципы обучения квантовому программированию.

Во-первых, необходим фокус на фундаментальных концепциях квантовой механики: чтобы понимать квантовые вычисления и программирование, необходимо иметь базовое понимание основных концепций квантовой механики. Это включает в себя состояния, операторы и измерения.

Данный принцип крайне важен, так как понимание основных концепций квантовой механики необходимо для эффективного создания квантовых программ и алгоритмов. Обучающиеся должны понимать особенности построения вычислений и их различия от традиционных. Во-первых, это позволит им наиболее безболезненно войти в новую парадигму программирования, которая довольно сильно отличается от традиционной. Во-вторых, понимание подноготной построения вычислений, обучающимся будет проще ориентироваться в выборе инструментария и методов разработки.

Квантовая механика является относительно сложной и нетривиальной теорией, и поэтому без понимания ее основных концепций может быть трудно понять логику работы квантовых вычислительных систем и алгоритмов. Однако, даже базовое понимание позволит обучающимся приступить к написанию первых квантовых программ.

Знание фундаментальных концепций также помогает в определении ограничений и возможностей квантовой механики и, соответственно, квантовых вычислительных систем. Кроме того, понимание таких основных понятий, как состояния, операторы и измерения, помогает эффективно использовать инструменты и языки программирования для выполнения квантовых вычислений.

Во-вторых, важным является практическая направленность процесса обучения, основанная на программировании. Это необходимо ввиду следующего: для того, чтобы действительно понять квантовые вычисления и программирование, необходимо иметь возможность практиковаться. Это включает в себя создание квантовых алгоритмов и их реализацию на квантовых компьютерах (или эмуляторах).

В отличие от классического программирования, квантовое программирование требует многократных экспериментов для понимания, как работают квантовые алгоритмы в реальных условиях. Обучение на практике

позволяет обучающимся не только получить практические навыки в создании и реализации квантовых алгоритмов, но и эффективнее усваивать теоретический материал.

Кроме того, проведение практических занятий на квантовом компьютере позволяет ученику получить представление о том, как устройство реагирует на программный код и как можно взаимодействовать с другими участниками процесса. Как было сказано выше, квантовая механика является достаточно сложной в изучении и практические занятия за счёт инструментов визуализации, описанных выше, смогут предоставить наиболее полную картину представления данной области физики и информатики.

В-третьих, процесс обучения может быть репетитивным. Первое знакомство со сложными концепциями квантовой механики может быть трудным, и многие обучающиеся могут не понять материал с первого раза. Репетитивное обучение позволяет обучающимся повторять материал до тех пор, пока они его не усвоят. Это можно сделать с помощью повторения материала на лекциях и практических занятиях, а также посредством использования дополнительных обучающих материалов, таких как книги и учебные пособия.

В-четвертых, контроль в обучении позволяет учителю и обучающемуся оценить уровень понимания материала. Учитель может использовать различные формы контроля, такие как тесты, экзамены, домашние задания, чтобы проверить, насколько хорошо учащиеся усвоили учебный материал. Это помогает ученикам вовремя обнаруживать свои ошибки, а учителям - корректировать курс обучения и улучшать его качество.

В-пятых, корректировка — это важный процесс в обучении, который позволяет исправлять ошибки обучающихся и улучшать качество обучения в целом. В контексте обучения квантовому программированию корректировка может использоваться для исправления затруднений на любом этапе обучения. Например, если ученик не понимает определенный концепт квантовой механики,

учитель может использовать дополнительные объяснения и примеры, чтобы помочь ему лучше понять этот концепт.

Методы корректировки могут варьироваться в зависимости от обучающегося и его потребностей. Некоторые школьники могут требовать дополнительных занятий, чтобы улучшить свои навыки, в то время как другие могут требовать индивидуальных консультаций, чтобы получить более глубокое понимание теории.

Важно заметить, что корректировка может происходить не только со стороны учителя, но и со стороны обучающегося. Например, обучающийся может предложить учителю свой способ интерпретации материала, который может быть более легким для него восприниматься. А также ученики могут учить друг друга, обмениваясь знаниями и опытом в ходе учебного процесса.

В-шестых, Принцип наглядности очень важен для эффективного обучения квантовому программированию. Дело в том, что многие концепты квантовой механики, которые используются в квантовом программировании, не являются интуитивно понятными для большинства людей, поэтому нужно искать понятные и наглядные способы объяснения этих концептов, чтобы учащиеся могли их понимать и применять в своих задачах.

Один из способов обеспечения наглядности при обучении квантовому программированию - использование визуализации и аналогии. Например, можно объяснить работу квантовых битов с помощью метафоры маятника — квантовые состояния кубитов можно представить как различные углы, на которые отклоняется маятник, а обработку информации - как изменение этих углов.

Также можно использовать интерактивные примеры и симуляторы, которые позволяют учащимся самостоятельно экспериментировать с квантовыми системами и получить практический опыт.

Важно понимать, что принцип наглядности необходим не только на начальном этапе обучения, но и в более продвинутых курсах и задачах.

Разработчики курсов по квантовому программированию должны продолжать следить за тем, чтобы объяснения были понятны и наглядны, а также использовать различные формы обучения, чтобы помочь учащимся понимать сложные концепты и законы квантовой механики.

На наш взгляд, вышеописанные принципы в полной мере могут покрыть требования к построению учебного процесса при обучении квантовому программированию. При их построении мы опирались на сложность темы и ее отсутствие в школьной образовательной программе.

Практическая реализация образовательного процесса должна выражаться в самой потребности введения данной темы в школьный курс. Эту потребность мы выражаем следующим образом:

- **Подготовка будущих специалистов.** Мировые эксперты прогнозируют, что квантовые технологии будут продолжать развиваться и менять мир. Во многих отраслях будут нужны специалисты, которые могут программировать квантовые компьютеры и разрабатывать квантовые алгоритмы. Обучение квантовому программированию может создать основу для будущей карьеры в этой области.

- **Для развития мышления.** Квантовое программирование может быть сложной дисциплиной, которая требует от ученика логического мышления, математических знаний и технической квалификации. Обучение квантовой программированию может развивать любознательность, творческое мышление и хорошо развитые навыки анализа.

- **Создание новых возможностей.** Квантовые технологии создают много новых возможностей и решений, которые не могут быть достигнуты с использованием традиционных вычислительных средств. Ученики, которые занимаются квантовым программированием, могут получить возможность создавать новые продукты, инновации, изобретения и решения.

- **Участие в исследованиях.** Обучение квантовому программированию может вдохновить учеников на участие в научных исследованиях в области квантовых технологий, что может быть весьма подходящей для тех, кто хочет заниматься научно-исследовательской работой.

Анализируя данные потребности, делаем вывод, что образовательный процесс должен иметь строго пропедевтический характер. Обучающиеся должны узнать о том, насколько актуальна данная тема, изучить ее основы и применить их на практике в будущем (при выборе соответствующей профессии) или в своих исследованиях, все еще находясь в стенах школы. Напомним, что индивидуальный проект является обязательным для обучающихся 10-х классов. Квантовое программирование и его практическое в реальной жизни может поспособствовать многим исследованиям в рамках данной научно-исследовательской деятельности.

Сложность темы не позволяет применять данный курс у обучающихся ниже старшей школы основной ступени образования (однако пропедевтический характер обучения позволяет присутствию обучающихся 8-9 классов). Более того узконаправленный инженерный профиль в совокупности со сложностью предполагает следующий контингент обучающихся: ученики 10-11 классов физико-математической направленности.

Обобщая описанные требования и потребности, делаем вывод о том, что наиболее подходящим инструментом построения учебного процесса будет являться электронный курс.

Электронный учебный курс (ЭУК) — это образовательное электронное издание, или информационная система комплексного назначения для реализации дидактических возможностей средств информационно-коммуникационных технологий и поддержки учебного процесса в учреждениях общего, специального, профессионального образования, а также для самообразования в

рамках учебных программ, в том числе нацеленных на непрерывное образование [59]. ЭУК является частью электронного образования.

Электронный курс может быть весьма полезным при смешанном обучении, так как он предоставляет ученикам доступ к учебному материалу в удобное для них время и место, что может быть особенно важно для учеников, желающих учиться в свободное от университетских занятий время. Электронный курс также может помочь ученикам лучше усваивать материал благодаря возможности пошагового прохождения материала, освещения специфики профиля обучения того или иного конкретного обучающегося. Все вышеописанное позволяет выполнять все основные методические функции электронных изданий, такие как:

- **Функцию информационного источника.** Электронный курс является полноценным учебником, который содержит весь необходимый учебный материал для обучения определенной теме или предмету.

- **Функцию образовательного инструмента.** Курс может использоваться в качестве обучающего материала, который может включать в себя видеоуроки, тесты, задания, дополнительные материалы и прочие элементы, которые помогают ученикам лучше понимать материал.

- **Функцию технологического средства.** Электронный курс может использоваться как платформа для создания интерактивных учебных материалов, игр, тестов и других интерактивных приложений.

- **Функцию организационного инструмента.** Электронный курс может использоваться для организации обучения, например, в качестве системы для проведения вебинаров, обсуждений и консультаций.

- **Функцию аналитического инструмента.** Электронный курс позволяет отслеживать прогресс учеников, собирать статистические данные и проводить анализ эффективности курса.

Таким образом, электронный курс является универсальным инструментом для создания и использования электронных учебных материалов. Он позволяет выполнять все основные методические функции электронных изданий, что делает обучение более удобным и эффективным. Более того, описанные функции полностью сочетаются с вышеописанными принципами обучения квантовому программированию, что позволяет использовать его в качестве фундамента будущего образовательного процесса.

Однако, стоит отметить, что электронный курс может быть использован как в качестве самостоятельной образовательной среды, не предполагая очное взаимодействие ученика и учителя (дистанционное обучение), так и в качестве средства, дополняющего традиционное обучение, используя преимущества обоих подходов (смешанное обучение).

В таблице 4 представлен сравнительный анализ смешанного и дистанционного обучения:

Таблица 4 Сравнение смешанного дистанционного обучения

Характеристика	Дистанционное обучение	Смешанное обучение
Место обучения	Ученики учатся дистанционно, не выходя из дома или места работы	Часть обучения проходит дистанционно, а часть в учебном заведении
Свобода выбора	Ученики могут выбирать удобное для себя время и место для обучения	Ученики имеют свободу выбора, но не полную, так как часть обучения все-таки проходит в определенном месте
Взаимодействие с учителем	Взаимодействие происходит через интернет-платформы, включая чаты, форумы, видеоконференции и др.	Взаимодействие происходит как в режиме онлайн, так и оффлайн, ученики имеют больше возможностей для общения с учителем
Время обучения	Ученики могут заниматься в любое время суток, в том числе дополнительно по вечерам и выходным	Время обучения ограничено часами, которые проводятся в учебном заведении
Стоимость	Дистанционное обучение в среднем стоит дешевле, так	Смешанное обучение стоит дороже, так как требует затрат

	как нет затрат на аренду помещения и оборудования	на аренду помещения и оборудования
Гибкость	Дистанционное обучение более гибкое, можно выбирать интересующие курсы и модули, просматривать записи лекций, повторять материал несколько раз	Смешанное обучение менее гибкое, так как частично проходит в определенном месте, по расписанию
Мониторинг успеваемости	Мониторинг успеваемости происходит через учебные платформы	Мониторинг происходит как в режиме онлайн, так и оффлайн, учителя имеют больше возможностей для оценки успехов учеников
Необходимое оборудование	Для дистанционного обучения необходим компьютер или мобильный телефон и доступ к интернету	Для смешанного обучения необходим компьютер или мобильный телефон и доступ к интернету
Структура обучения	Обучение имеет более свободную структуру и зависит от выбранных учеником курсов и модулей	Обучение имеет более четкую структуру, ученики должны следовать расписанию и программируемым заданиям

Однако, высокая сложность темы и исследовательский уклон построения образовательного процесса предполагает очную работу ученика и учителя. В теории, электронный курс может полностью соответствовать принципам дистанционного самостоятельного образования, но для достижения наибольшей эффективности, описываемый курс рассматривается в рамках смешанного обучения.

Смешанное обучение — образовательный подход, который совмещает обучение с участием учителя (лицом к лицу) и онлайн-обучение. Смешанное обучение предполагает элементы самостоятельного контроля учеником образовательного маршрута, времени, места и темпа обучения, а также интеграцию опыта обучения с учителем и онлайн [65].

Главной целью смешанного обучения является совмещение преимуществ присутственного и дистанционного обучения, что позволяет реализовать гибкий, эффективный и доступный для учеников учебный процесс. Электронный курс

может стать основой для формирования электронных заданий, тестов и игр, что позволит учителям контролировать прогресс обучения и адаптировать материал под индивидуальные особенности каждого ученика.

Кроме того, электронный курс может использоваться для формирования навыков самостоятельной работы обучающихся, что может быть полезно при подготовке к выпускным экзаменам и будущей научной работе на других ступенях обучения. Электронный курс также позволяет наладить коммуникацию между учителем и учениками, что может улучшить качество обучения и способствовать формированию знаний и навыков учеников.

Определившись с технологией построения обучения, стоит отметить, что обучение в профильных классах физико-математической направленности имеет свои особенности, которые включают следующие аспекты:

1. **Углубленное изучение математики и физики.** Профильный класс физико-математической направленности предназначен для обучения тех, кто в будущем желает связать свою карьеру с математикой, физикой, IT-сферой или научной деятельностью. Поэтому ученики изучают математику и физику на более глубоком уровне, чем в обычных классах.

2. **Развитие логического мышления.** В профильных классах физико-математической направленности ставится задача развития у учеников логического мышления, выражаемых в современных образовательных документах в виде познавательных УУД, что является необходимым навыком для решения сложных задач в области математики и физики.

3. **Научный подход.** Ученики профильных классов физико-математической направленности учатся работать с научной литературой, формулировать и решать проблемы, проводить эксперименты и анализировать результаты.

4. **Практические задания.** Ученики профильных классов физико-математической направленности получают больше практических заданий,

которые помогают закрепить теоретические знания и научиться их применять на практике.

5. **Тесное взаимодействие с учителями.** Ученики профильных классов физико-математической направленности получают более индивидуальный подход от преподавателей, что позволяет более эффективно решать задачи и эффективно осваивать учебную программу.

6. **Командная работа.** В профильных классах физико-математической направленности проводятся коллективные проекты и задания, которые помогают ученикам научиться работать в команде, что важно для дальнейшей научной и профессиональной деятельности.

Таким образом, обучение в профильных классах физико-математической направленности имеет свои особенности и направлено на развитие логического мышления, закрепление теоретических знаний и их применение на практике, а также на развитие научного подхода и командной работы.

Квантовое программирование представляет собой достаточно сложную тему, которая, как правило, изучается на уровне высшего образования. Однако для обучающихся 10-11-классов также можно составить набор задач, которые помогут им ознакомиться с основами квантового. Ниже представлены несколько **возможных задач**:

1. Исследовать, как работает квантовый компьютер, и сравнить его с классическим компьютером. Какие задачи можно решить на квантовом компьютере быстрее, чем на обычном компьютере?

2. Разработать программу на языке квантового программирования Qiskit для создания представления «колебания Шредингера». Это позволит школьникам создать первые квантовые алгоритмы и закодировать данные в квантовые состояния.

3. Создать квантовую игру или зашифровать сообщение с помощью квантовых состояний. В игре можно использовать квантовые состояния для

передачи информации между устройствами, а в качестве шифра можно использовать квантовые протоколы типа BB84 для защиты передачи данных.

4. Конструирование квантовых логических элементов с использованием спинового взаимодействия. Задача будет состоять в разработке аппаратного устройства на основе управляемого спинового взаимодействия для создания простых квантовых логических элементов.

5. Решение задачи симметричного шифрования классических данных. Школьники смогут попробовать разработать квантовый протокол для шифрования электронной почты или другой формы электронной коммуникации.

6. Разработка квантовой телепортации. Школьникам можно объяснить принцип квантовой телепортации и попросить их разработать программу на квантовых языках программирования для создания прототипа телепортации квантового состояния.

7. Разработка криптостойкого квантового протокола. Школьники могут попробовать разработать квантовый протокол, который обеспечит надежную защиту передачи данных в условиях присутствия перехватчика.

8. Управление квантовыми состояниями. Школьникам можно предложить исследовать способы управления квантовыми состояниями с помощью классических устройств. Эта задача позволит школьникам ознакомиться с управлением состояниями, их измерением и управлением.

9. Создание квантовых алгоритмов для решения задач оптимизации. Школьники могут разработать алгоритмы для решения задач оптимизации (например, задачи коммивояжера) на квантовом компьютере.

10. Разработка квантового искусственного интеллекта. Школьники могут попробовать создать простой квантовый алгоритм машинного обучения или прогнозирования на основе данных.

Решение этих задач поможет школьникам понимать принципы квантового программирования и их возможности в решении сложных вычислительных

задач. Они также позволят обучающимся заложить основы для дальнейшего изучения квантовой физики, математики и программирования.

§2. ОБЗОР КУРСА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ КВАНТОВОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ ОБУЧАЮЩИХСЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

В рамках данного исследования был разработан пропедевтический курс «Основы квантового программирования» для обучающихся 10-11 классов. Основные характеристики описываемого курса представлены ниже.

Пояснительная записка:

Стремительное развитие квантовых технологий вызывает необходимость подготовки специалистов в этой области, что в свою очередь делает изучение квантового программирования актуальным для учеников 10-11 классов.

Квантовое программирование — это принципиально новый вид программирования, который обучает логике квантовой механики и механизмам, лежащим в основе квантового вычисления. Так как квантовые компьютеры могут решать задачи, которые невозможно решить на обычных компьютерах, знания квантового программирования будут важным знаменателем будущей науки и технологий. Кроме того, изучение квантового программирования поможет школьникам лучше понимать принципы работы компьютерных систем и современных технологий, что позволит им успешно продолжить обучение в смежных областях, таких как квантовая физика, математика, информатика, инженерия и другие.

Данный курс **предназначен** для обучающихся 10-11 классов и рассчитан на 34 часа с нагрузкой 1 час в неделю. Данная программа носит пропедевтическую направленность. Курс состоит из 2-х логических модулей. Первый посвящён теоретической части, где большая часть времени выделена на ознакомление обучающихся основам квантовой механики и применению ее в устройстве вычислительных машин. Также, участники курса углубятся в устройство классических вычислений для того, чтобы лучше понимать актуальность и преимущества одной технологии над другой. Вторым модулем

имеет более практический характер: обучающиеся познакомятся с конкретными квантовыми алгоритмами и инструментами выполнения квантовых языков программирования, с помощью которых смогут реализовать, как известные алгоритмы, так и собственные.

Содержание курса является дополнением к учебному материалу, характеризуется теми же базисными понятиями и их структурой, но не дублирует его. Занятия в данном курсе имеют ознакомительный и профориентационный характер. Обучающиеся в рамках курса получают возможность ознакомиться с одной из новых вех в программировании, что должно помочь им в определении с будущей профессией, а также поможет им лучше понимать устройство вычислительных систем.

Цели курса:

- Ознакомление обучающихся 10-11 классов с основами квантовых технологий, играющих решающую роль в будущем и современном мире.
- Позволить школьникам понять, что такое квантовые вычисления и как они отличаются от классических вычислений.
- Оснастить школьников знаниями и навыками, которые необходимы для создания квантовых программ и реализации их потенциала в реальном мире.
- Обучить школьников созданию и разработке квантовых программ, которые могут решать сложные вычислительные задачи, такие как оптимизация и шифрование данных.
- Предоставить школьникам возможность научиться работать с квантовыми компьютерами и использовать их для разработки квантовых программ.
- Привить учащимся интерес к квантовой физике, математике и программированию и поставить перед ними задачу стать лидерами в развитии квантовых технологий.

Задачи курса:

- Познакомить обучающихся с принципами квантовой физики и механики, что позволит им понимать разницу между классическими и квантовыми вычислениями.
- Обучить участников курса искусству программирования на языке квантовых компьютеров. Это включает объяснение основных понятий квантовой информатики и предоставление инструментов для создания квантовых программ.
- Предоставить обучающимся возможность поработать с квантовыми компьютерами.
- Познакомить учеников с методами создания сложных квантовых программ, чтобы они могли решать сложные вычислительные задачи и использовать их для различных целей.
- Познакомить обучающихся с примерами квантовых алгоритмов, таких как алгоритм Дойча и алгоритм Гровера.
- Разработать индивидуальные и групповые проекты, которые позволят участникам курса на практике применять полученные знания.
- Наглядно продемонстрировать примеры использования квантовых технологий для решения реальных проблем и задач в различных областях, таких как наука, медицина, финансы, экология и др.

Ожидаемый результат:

По окончании курса обучающиеся будут понимать, что такое квантовые технологии, а также различия между квантовыми и классическими вычислениями. Они также будут оснащены знаниями и навыками, необходимыми для создания квантовых программ и реализации их потенциала в реальном мире. Наконец, участники курса будут иметь возможность научиться работать с квантовыми компьютерами и использовать их для разработки квантовых приложений.

Виды деятельности на занятиях: лекция учителя, беседа, практикум, консультация, онлайн-уроки, работа с компьютером, онлайн чаты, прямые эфиры, самостоятельное изучение теории.

Содержание курса:

Данный курс состоит из теоретических интерактивных лекций и практических занятий. В рамках теоретических лекций, учащимся будут представлены основы квантовой физики и механики, основы квантовой информатики, технологии квантовых вычислений. В ходе практических занятий учащиеся будут создавать простые и более сложные квантовые программы. А также будут проводиться сеансы работы с квантовыми компьютерами.

Курс состоит из 6 **тематических разделов** со следующим содержанием:

Раздел 1: «Квантовая механика и компьютеры: просто о сложном».

- Классические вычислительные системы: как устроен бит?
- История развития квантовой механики
- От бита до кубита: кубиты как основа квантовых вычислений
- Отличия квантовых вычислений от классических

Раздел 2: «Квантовая механика: погружение».

- Квантовые состояния и их описание
- Принцип неопределенности и его последствия
- Амплитуды вероятностей и измерения

Раздел 3: «Квантовый компьютер: как он устроен?»

- Устройство квантового компьютера: Логический уровень
- Устройство квантового компьютера: Физический уровень

Раздел 4: «Квантовые алгоритмы: где логика?».

- Единичные квантовые операции и их реализация
- Квантовые алгоритмы – Базис Гровера, Алгоритм Шора, Алгоритм

Гровера

- Практические задания для реализации квантовых операций и алгоритмов.

Раздел 5: «Квантовое программирование: подчиняем квантовые законы себе».

- Python как язык квантового программирования.
- Qskit — квантовый модуль: применение и тестирование.
- Реализация вентиля Адамара на qskit: подкидываем монетку.

Раздел 6: «Квантовое программирование: закрепляем успех».

- Визуализация квантовых схем с помощью qskit.
- Реализация основных алгоритмов на qskit.
- Анализ инструментов квантовых вычислений.

Раздел 7: «Перспективы развития квантового программирования».

- Искусственный интеллект на квантовом компьютере
- Квантовая система для обработки больших данных

Помимо теоретических и практических заданий, электронный курс содержит в себе понятийный глоссарий, ссылки на тематические ресурсы по теме и форум, в котором участники курса могут делиться опытом, решать проблемы и просто обсуждать интересных для них темы в специализированных топиках.

Образовательные результаты изучения по итогам данного курса могут быть выявлены в рамках следующих форм контроля:

- **текущий контроль** (прохождение лекций и выполнение в них заданий дается определённое количество баллов, выполнение итогового теста по завершению каждого раздела, выполнение итогового задания, также поощряется активная работа в чатах и заполнение wiki-страницы)
- **тематический контроль** (участие в онлайн-уроках, выполнение групповых заданий);

- **итоговый (обобщающий) контроль** (в результате прохождения курса у обучающегося будет сформирован рейтинг, по которому будет видно каких результатов он достиг).

Результаты выполнения заданий на курсе будут оценены, а также ученики смогут получать значки за свои достижения, что поможет разнообразить форму оценивания и добавит мотивации для прохождения курса. В рамках курса предусмотрено отслеживание своего рейтинга, что поможет ученикам определить, в каких областях им необходимо еще улучшить свои знания.

Методическое обеспечение:

В процессе изучения материала используются как традиционные формы обучения, так и дистанционное обучение, выраженные в смешанном обучении.

В качестве системы построения электронных курсов изначально был выбран вектор в сторону собственного веб-приложения, минуя использование готовых конструкторов. Такой подход имеет ряд **преимуществ**:

1. **Индивидуальный дизайн.** Создание своего веб-приложения позволяет лучше адаптировать дизайн под ваш бренд и целевую аудиторию. С использованием конструктора, возможно будет иметь шаблонный вид и ограниченный выбор стилистических элементов.

2. **Более высокий уровень функциональности и гибкости.** Собственное веб-приложение может быть создано с учетом конкретных требований и потребностей в функциональности, включая возможности интеграции с другими программными продуктами.

3. **Контроль над разработкой и обновлениями.** При создании своего приложения, вы полностью контролируете время и прогресс разработки, а также можете легко обновлять его в соответствии с потребностями пользователей.

Но, не смотря на вышеописанные плюсы такого подхода, собственные веб-приложения обладает рядом недостатков, выраженных следующим:

1. **Высокая стоимость.** Создание собственного веб-приложения может

быть значительно более затратным, чем использование конструктора, особенно если над приложением работают профессиональные разработчики.

2. Сложность разработки. Создание собственного веб-приложения по сравнению с использованием конструктора может быть более сложным процессом, требующим большой экспертизы в области разработки.

3. Необходимость постоянного технического обслуживания. Собственное веб-приложение требует постоянного обновления, обслуживания и ремонта, чтобы обеспечить его безопасность, устранение ошибок и поддержку.

4. Риски безопасности. Создание собственного веб-приложения может повлечь за собой риски безопасности, связанные с ошибками в коде, уязвимостями и возможностью более сложных атак на приложение, таких как DDoS-атаки.

5. Увеличенное время разработки. Собственное веб-приложение может занять больше времени для разработки и запуска, поскольку вы будете стремиться создать максимально полезное и эффективное приложение.

Справедливости ради, отметим, что описанные плюсы и минусы исследуемых подходов варьируются от уровня разработчика и предполагаемого результата. Проанализировав вводные данные, мы пришли к выводу о том, что конструктор курсов – наиболее подходящее решение для реализации курса.

Анализ методической литературы и собственный опыт в использовании электронных ресурсов привел нас к Moodle.

Moodle — это открытая система управления онлайн-обучением (LMS), которая подходит для создания и развертывания электронных курсов по квантовому программированию для обучающихся 10-11 классов. Далее, описаны возможные сферы применения данной системы в нашем курсе:

1. **Создание учебного курса.** В Moodle есть возможность создавать курсы, содержащие видеоуроки, интерактивные задания, тесты и другие материалы. Это значит, что есть возможность создать учебный курс,

включающий разделы, посвященные различным аспектам квантового программирования, таким как основы квантовой механики, кубиты и их свойства, базовые операции над кубитами, а также методы программирования в квантовых компьютерах.

2. **Проверка знаний обучающихся.** Moodle предлагает широкий набор инструментов для проверки знаний, таких как тесты, опросы и задания. В рамках курса можно создать тесты, проверяющие понимание материала, включающие вопросы на выбор, сопоставление, открытые вопросы, а также задания, необходимые для выполнения в рамках курса.

3. **Создание форумов для дискуссий.** Форумы в Moodle помогают участникам курса обсуждать вопросы, возникающие при изучении курса, делиться своими идеями и мыслями. Это также поможет ученикам получить ответы на свои вопросы и задачи, которые они не могут решить самостоятельно.

4. **Обеспечение доступа к материалам курса.** Предоставление доступа к онлайн-материалам курса — это простой и удобный способ для учеников получить необходимую информацию. Есть возможность загружать видеоуроки, презентации, статьи, задания и тесты на платформу Moodle.

5. **Мониторинг прогресса обучающихся.** С Moodle появляется возможность отслеживать успеваемость учеников и прогресс курса. Имеется доступ к просмотру статистики по каждому обучающемуся, а также получить отчет о работе учеников в общем.

Методические идеи курса:

1. Реализация электронного курса с использованием онлайн платформы Moodle.

2. При разработке структуры курса следует учитывать особенности предметной составляющей (квантовая механика и устройство квантовых вычислительных систем), а именно сложность и отсутствие данных тем в образовательной программе средней и старшей школы.

3. Электронный курс должен быть адаптирован под разные типы и уровень обучающихся; под разные виды устройства образовательного процесса. Материал должен удовлетворять принципам наглядности и использовать все возможные виды представления информации: аудио, видео, презентации, электронные образовательные ресурсы и другие.

4. Организованный контроль образовательного процесса с личным присутствием педагога, представленным: очными встречами, оставление комментариев к выполненным заданиям, общением на форуме. Обратная связь с обучающимися должна быть эффективной – отвечать на вопросы, отправлять проверенные работы с комментариями и ставить баллы за выполненные задания.

5. Создание систему оценивания, которая может включать в себя как классические баллы, так и награды, такие как значки или звания «achievements», чтобы оценка была интересной и мотивирующей для учеников.

6. Формулирование заданий таким образом, чтобы обучающиеся могли поэтапно решать объемные задачи, начиная с написания набросков и ответов на вопросы, а затем переходить к целостному описанию решения задачи.

Реализация:

Проведенный нами анализ содержания, критериев оценивания, статистики выполнения заданий высокого уровня сложности и основных затруднений, испытываемых обучающимися при выполнении заданий, позволил осуществить отбор содержания для курса и составить учебно-тематический план, представленный в таблице № 5.

Таблица 5 Учебно-тематический план

Учебно-тематический план						
№	Раздел курса (наименование)	Всего часов	В том числе			Форма контроля
			лекции	семинары	практика	
Раздел 1: «Квантовая механика и компьютеры: просто о сложном».						
1	Классические вычислительные	1	1	0	0	Тесты, фронтальный

	системы: как устроен бит?					опрос, дискуссии
2	История развития квантовой механики	1	1	0	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
3	От бита до кубита: кубиты как основа квантовых вычислений	3	1	1	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
4	Отличия квантовых вычислений от классических	1	1	0	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
	Всего часов	6	4	1	1	
Раздел 2: «Квантовая механика: погружение».						
1	Квантовые состояния и их описание	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
2	Принцип неопределенности и его последствия	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
3	Амплитуды вероятностей и измерения	1	1	0	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
	Всего часов	5	4	0	1	
Раздел 3: «Квантовый компьютер: как он устроен?»						
1	Устройство квантового компьютера: Логический уровень	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
2	Устройство квантового компьютера: Физический уровень	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
3	Современные квантовые компьютеры	1	1	0	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
	Всего часов	5	4	0	1	
Раздел 4: «Квантовые алгоритмы: где логика?».						

1	Единичные квантовые операции и их реализация	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
2	Квантовые алгоритмы – Базис Гровера, Алгоритм Шора, Алгоритм Гровера	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
Всего часов		4	4	0	1	
Раздел 5: «Квантовое программирование: подчиняем квантовые законы себе».						
1	Python как язык квантового программирования.	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
2	Qskit — квантовый модуль: применение и тестирование.	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
3	Реализация вентиля Адамара на qskit.	1	0	1	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
Всего часов		5	2	1	2	
Раздел 6: «Квантовое программирование: закрепляем успех».						
1	Визуализация квантовых схем с помощью qskit.	2	1	0	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
2	Реализация основных алгоритмов на qskit.	3	1	1	1	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
3	Анализ инструментов квантовых вычислений.	1	0	1	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
Всего часов		6	2	2	2	
Раздел 7: «Перспективы развития квантового программирования».						
1	Искусственный интеллект на квантовом компьютере	2	1	1	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии

2	Квантовая система для обработки больших данных	1	0	1	0	Тесты, фронтальный опрос, дискуссии
	Всего часов	3	1	2	0	
	Всего часов (весь курс)	34				

Описываемый курс размещен на оплачиваемом хостинге и доступен по следующему адресу: <https://clck.ru/34bhBq>

Реализованный электронный курс (представленная программа на платформе имеет следующий вид, представленный на рисунке № 9.

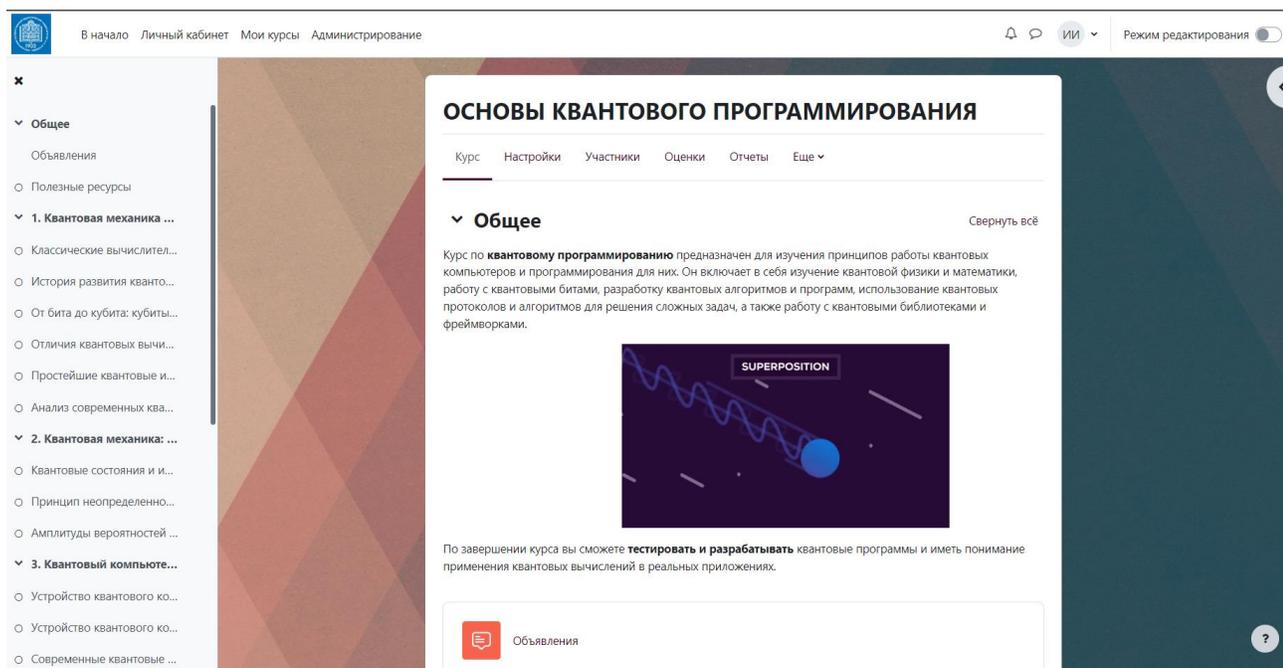


Рисунок 9 Главная страница курса

Отметим, что в данный момент на портале находится несколько курсов из других исследований.

Главная страница электронного курса содержит описание, блоки с календарем, глоссарием и ссылками на полезные материалы. Также присутствует

форум, где обучающиеся могут делиться опытом, решать проблемы. Структура и содержание курса представлены на рисунке №10

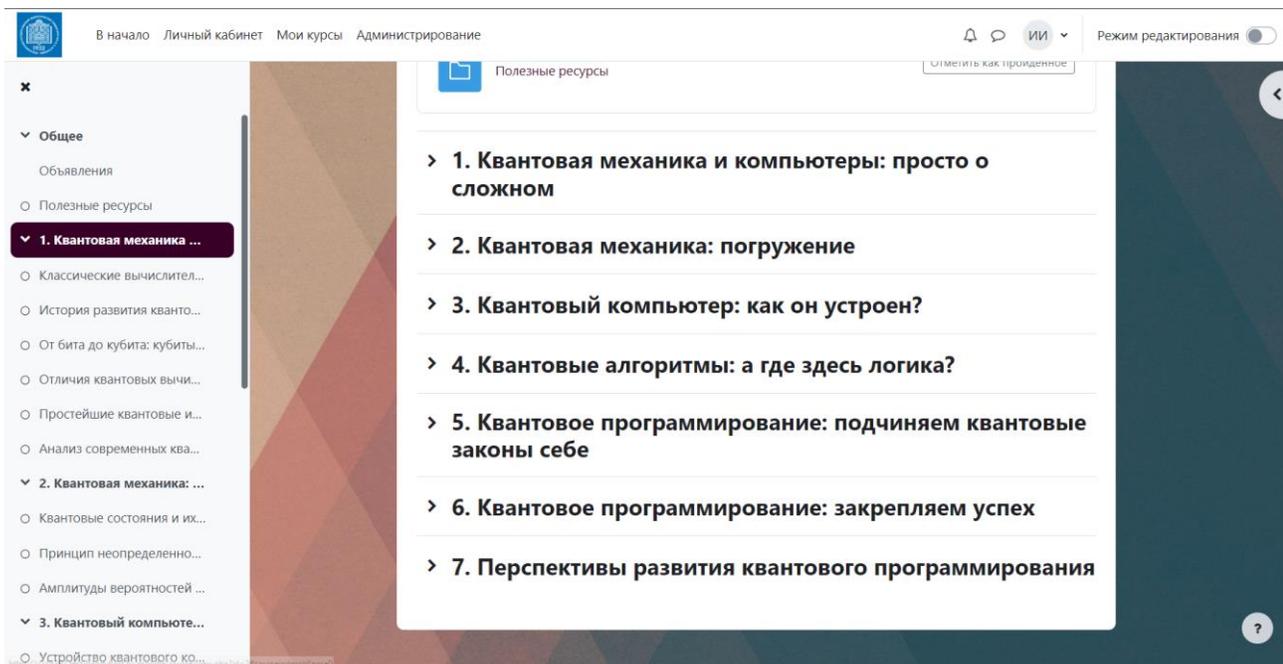


Рисунок 10 Структура и содержание курса

Раздел, в более подробном изложении, выглядит следующим образом представленном на рисунке № 11.

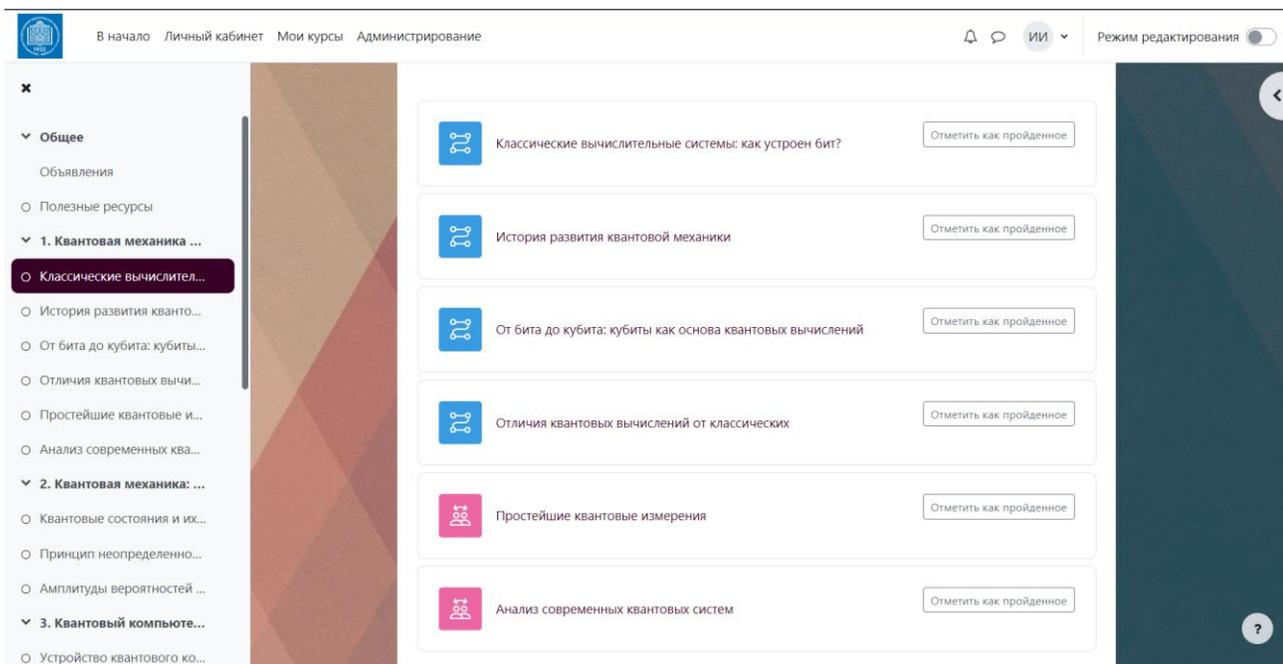


Рисунок 11 Подробное описание курса

На данный момент реализацию курса считаем полностью законченной. Нами использован полный функционал, предлагаемый Moodle, включая различные дополнения и модули, дополняющие предложенный функционал.

§3. ЭКСПЕРИМЕНТ О РЕЗУЛЬТАТАХ ВНЕДРЕНИЯ В ПРАКТИКУ ОБУЧЕНИЯ

Курс «Основы квантового программирования» был апробирован на базе школы №158 «Грани» города Красноярск.

Среди обучающихся 10 и 11 классов был проведен опрос с целью выяснить количество учеников, желающих изучить и пройти данный курс. Среди классов старшей школы особое желание проявили ученики технического профиля. Для них данный курс показался интересным и желаемым для прохождения. Данные результаты являются ожидаемыми, так как после проведения краткого экскурса о курсе количество обучающихся, которые готовы записаться на курс составило 15 человек. Говоря об этих обучающихся, отметим, что это особая категория детей, обладающая определёнными знаниями и навыками в программировании, физике и математике. В последствие нами было установлено, что большинство из них сдает экзамены ЕГЭ именно по этим предметам.

После того как обучающиеся были записаны на курс (посредством регистрации и выдачи прав на портале), ими начался процесс выполнения заданий и изучения предложенной теории. В большинстве случаев, задания сдавались и обсуждались в онлайн формате, лекции и теоретический материал также был представлен на данной платформе. Это обусловлено высокой занятостью ребят в подготовке к ЕГЭ и прочих активностях (подготовка к выпускным, последним звонкам). Кроме этого, нами была организована обратная связь на протяжении всей работы обучающихся на курсе, связь также поддерживалась онлайн путем организации форумов и оставлении комментариев к лекциям и выполненным заданиям.

Перед тем как обучающимся был анонсирован курс, им был предложен опрос, направленный на выявление следующего: имеются ли у них базовые знания квантовом программировании (глубина этих знаний); осведомлённость

обучающихся о перспективах исследований в данной области. Мы получили следующие результаты, представленные на рисунке №12.



Рисунок 12 Сведения от обучающихся о квантовом программировании

Представленная диаграмма показывает низкую осведомленность учеников по данной теме, большинство обучающихся не слышали или не знают о данном направлении в программировании. На наш взгляд, описанную выше категорию детей стоит познакомить с этим направлением по причинам, приведённым в теоретической части работы. По результатам этого опроса мы поняли, что большинство обучающихся среди опрошенных действительно заинтересовались данной темой.

Стоит отметить, что одной из целью описываемого курса является профориентация, что подтверждается высокой практико-ориентированностью учебного материала. Для выпускников, выбор будущей профессии — это один из самых актуальных вопросов, на это, собственно, и должно быть направлена вся старшая ступень общего образования. Однако, зачастую, недостаток практико-ориентированных задач в школьном курсе, не дает обучающимся

каких-либо познаний о будущей профессии. Ориентируясь на вышесказанное, нами было проведен следующий опрос: с чем вы хотите связать свою будущую профессию? Нами были получены результаты, представленные на рисунке № 13.



Рисунок 13 Диаграмма по профориентации обучающихся

Полученные данные показывают, что большая часть опрошенных выбирает ИТ-сферу. Это обуславливаются общим (глобальным) трендом в данной области. На сегодняшний день ИТ-сфера является одной из самых престижных и оплачиваемых областей. Данный тренд поддерживает не только обществом, но и государством, выделяющей последнее время льготы и послабления на для данной категории граждан.

Анализируя данные опроса, мы пришли к выводу о той, что данная категория обучающихся востребована в представленном курсе. После проведения личных бесед с обучающимися на предмет того, куда именно они бы хотели поступать и чем заниматься, то тут нами были замечены определенные затруднения в ответах детей. Большинство обучающихся не знакомы подробно с современным перечнем ИТ-профессий, однако выбор специализации строго связан с будущим поступлением в высшие учебные заведения.

На наш взгляд, прохождение исследуемого курса может выступить некой профориентационной линией в обучении ребят. В рамках предложенного образовательного процесса, ребята ознакомятся не только с перспективами работы в сфере квантового программирования, но и других смежных профессий таких как «Разработка искусственного интеллекта» и «Работа с большими данными». Если говорить не только об ИТ-сфере, данный курс уделяется большое внимание квантовой механике и устройству вычислительных систем, что в будущем может положительно сказаться на выборе обучающимися профессии в сторону инженерии и научно-исследовательской деятельности.

После прохождения курса, важно было определить какие предметные результаты получили обучающиеся, уделяя наибольшее внимание тому, как мы можно оценить результаты курса (и обучающихся), если мы не предлагали решать задачи из ЕГЭ и школьного курса физики, информатики и технологии.

Вышеописанное привело к тому, что нами было принято решение провести опрос (в виде теста) по основам программирования Python до прохождения курса и после. Полученные результаты представлены на рисунке № 14:

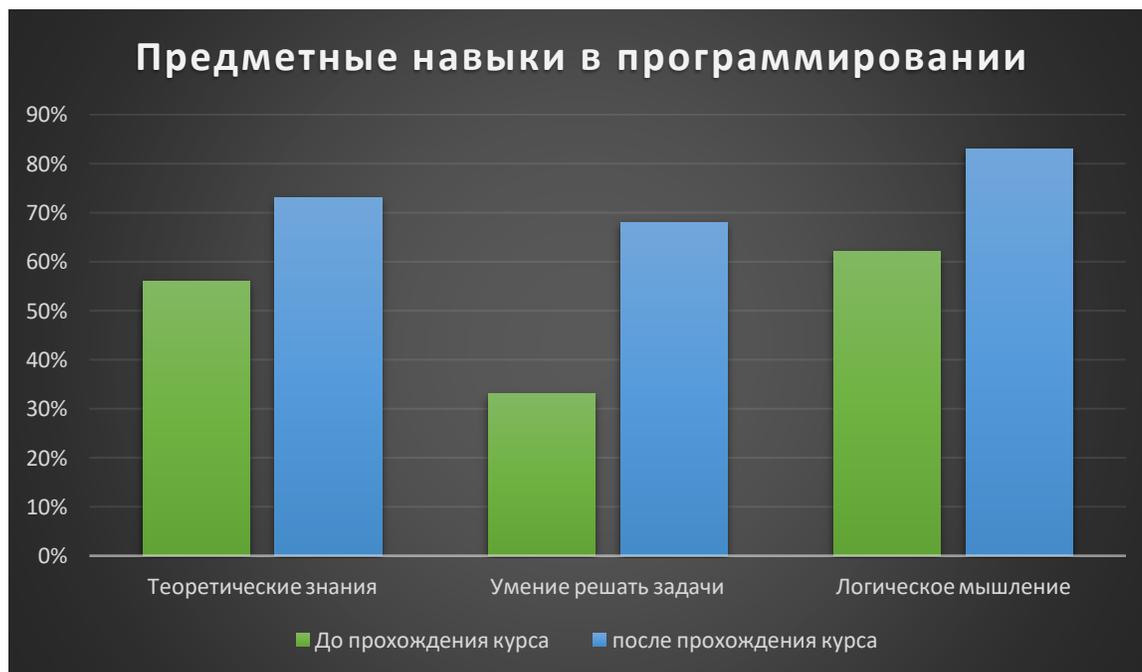


Рисунок 14 Результаты прохождения диагностических работ обучающихся

Анализируя полученные данные, был отмечен значительный качественный рост предметных знаний у обучающихся. Справедливости ради, отметим, что и первоначально у учеников были довольно высокие результаты. На наш взгляд, обуславливается тем, что нами была выбрана определённая категория детей (физико-математический профиль, старшая школа), но и сам курс требовал именно такой подготовки обучающихся. Исходя из вышесказанного, делаем вывод, что данные результаты является показателем того, что курс показывает хорошие результаты: дети заинтересованы в данном материале и готовы работать в этом направлении.

Дополнительно к прохождению курса, было осуществлено исследование, связанное с оценкой качества образовательного материала, на основании его интерпретации и понимания обучаемыми. Для анализа качества предоставленного материала был проведен опрос среди обучаемых, включая вопросы о восприятии теоретического материала, доступности практических занятий, важности решаемых задач. Вследствие проведенного исследования, были получены следующие выводы, представленные на рисунке № 15:

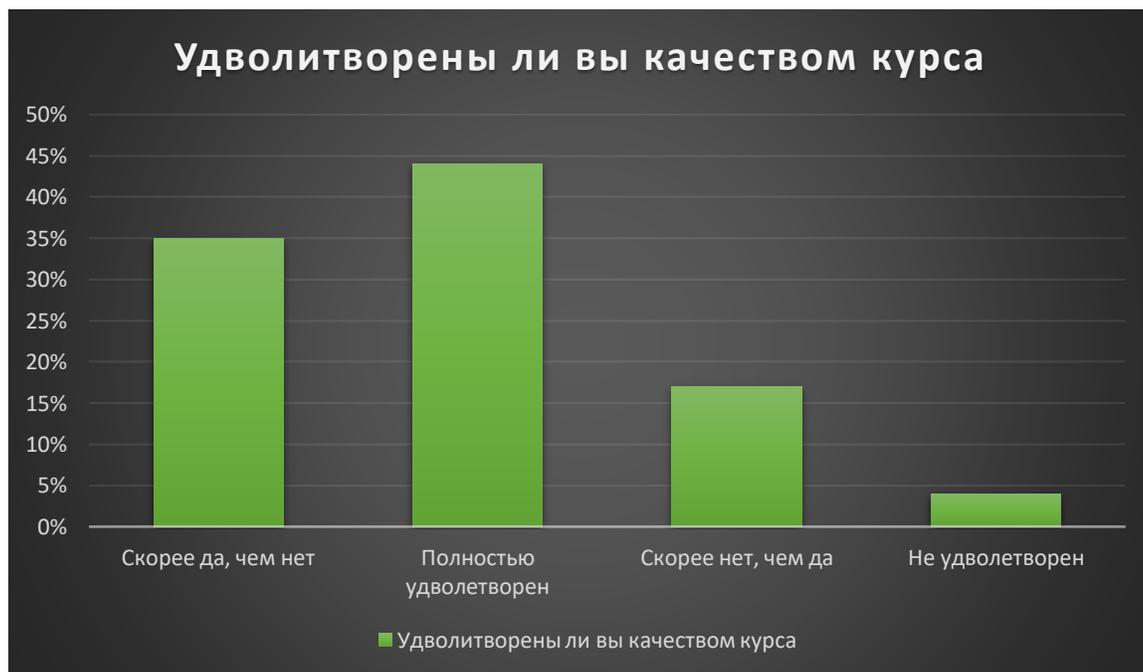


Рисунок 15 Мнение от обучающихся по поводу качества курса

Проведенный анализ данных проведенного опроса дал возможность сделать заключение, что большинство обучающихся оценили предложенный курс квантового программирования положительно. Из данного исследования можно утверждать, что значительная часть учеников получила ценную информацию и осталась удовлетворенной программой. Кроме того, оценка второй группы обучающихся, выраженная скорее положительно, чем отрицательно, также свидетельствует о том, что они начали прохождение курса с положительными ожиданиями и получили хорошие результаты.

Несмотря на положительную общую оценку курса квантового программирования, группа учеников, составляющая 4% от общего числа, которые были не удовлетворены предложенным курсом, имеет значимость. Однако, проведение анализа причин недовольства этой группы учеников позволит в дальнейшем улучшить курс, предпринять меры по улучшению материала, обеспечив его большую эффективность.

Подводя итог, отмечаем, что из данной диаграммы следует, что подавляющее большинство обучающихся оценивают курс положительно, однако необходимо продолжить анализ результатов опросов, чтобы выявить недостатки, которые могут влиять на удовлетворенность учеников. В свою очередь, положительные отзывы подтверждают эффективность проведенной работы, которая привела к хорошим результатам в процессе обучения

Концепция нашего курса заключалась в стимулировании интереса обучающихся к теме квантового программирования, с целью обеспечить их возможность проводить исследования в этой области и/или поддерживать постоянный интерес к ней. Для достижения этой цели, был проведён опрос, направленный на выявление готовности учеников к выполнению исследовательских работ, связанных с квантовым программированием, и

наличия интереса к данной теме в будущем. Результаты данного опроса приведены на рисунке № 16:



Рисунок 16 Результаты опроса обучающихся

Обучение квантовому программированию является важным этапом в процессе обучения выбранной категории обучающихся. В ходе курса они получили теоретические знания в области квантовой механики, которые применяли для разработки и программирования квантовых алгоритмов. Кроме того, ученики приобрели практический опыт в использовании инструментов и технологий, применяемых в квантовом программировании.

Ключевой задачей нашего курса являлось заинтересовать участников курса в теме квантового программирования с целью обеспечить их способность проводить научные исследования на основе полученных знаний. Мы провели опрос, чтобы определить, насколько готовы обучающиеся продолжать работу в области квантового программирования и применять полученные знания в будущих исследованиях. Итогом явилось то, что курс не только расширил

теоретические знания учащихся, но и произвел практические навыки в области квантового программирования. Обучающиеся намерены применять свою квантовую технологическую компетенцию для разработки новых идей и решений в будущих исследованиях.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

В результате проведенного исследования были выделены основы и принципы обучения квантовому программированию. Важно, чтобы обучающиеся получали фундаментальные знания в области квантовой механики, которые будут использованы для создания и программирования квантовых алгоритмов. Кроме того, практический опыт использования инструментов и технологий, используемых в квантовом программировании, является необходимым элементом обучения.

Также было подчеркнуто, что заинтересованность обучающихся, выраженная профориентационной потребностью, в теме является важной составляющей, которая позволяет им проводить исследования в области квантового программирования и использовать свои знания для создания новых решений и идей.

Были выделены принципы построения образовательного процесса на основе электронного курса на базе Moodle.

Итак, основы и принципы обучения квантовому программированию включают в себя получение фундаментальных теоретических знаний в области квантовой механики, практический опыт использования инструментов и технологий, а также заинтересованность обучающихся в теме, что позволит им использовать свои знания в будущих исследованиях и разработках на основе квантовых технологий.

Проведена апробация на базе МБОУ «СОШ № 158» города Красноярск, в ходе которой была проведена диагностика 15 обучающихся 10-11 классов, позволившая подтвердить поставленную гипотезу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении дипломной работы можно сделать вывод, что пропедевтический курс по квантовому программированию является эффективным инструментом для обучения студентов физико-математической направленности. Особенно в свете того, что квантовые вычисления являются областью, которая является технологически значимой и находится в фокусе внимания научной общественности.

В работе было показано, что пропедевтический курс должен иметь интерактивное содержание, включать задачи и упражнения, благодаря чему обучающий процесс становится более эффективным и интересным для студентов. Безусловно, такие курсы должны быть разработаны с учетом рекомендаций как локальных, так и федеральных органов по организации и управлению образованием, а также отвечать современным требованиям и потребностям выпускников физико-математических специальностей.

Данный исследовательский проект также позволил выявить, что помимо содержания курса, важно учитывать индивидуальные особенности и потребности студентов при разработке и реализации учебной программы. Важно подбирать наиболее эффективные методы обучения, которые будут способствовать максимальному усвоению материала студентами.

В целом, данное исследование позволяет сделать вывод, что пропедевтический курс по квантовому программированию является необходимым компонентом образования для учащихся физико-математических специальностей в современном мире. Разработка и внедрение таких курсов должны стать приоритетом для учебных заведений, предоставляющих образование в области квантовых технологий. Такой подход позволит готовить высококвалифицированные кадры, способные эффективно работать в сфере квантовых технологий и вносить свой вклад в развитие этой области науки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Altenkirch T., Grattage J. A functional quantum programming language //20th Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS'05). – IEEE, 2005. – С. 249-258.
2. Gay S. J. Quantum programming languages: Survey and bibliography //Mathematical Structures in Computer Science. – 2006. – Т. 16. – №. 4. – С. 581-600.
3. Sanders J. W., Zuliani P. Quantum programming //International Conference on Mathematics of Program Construction. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2000. – С. 80-99.
4. Selinger P. A brief survey of quantum programming languages //International Symposium on Functional and Logic Programming. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. – С. 1-6.
5. Selinger P. Towards a quantum programming language //Mathematical Structures in Computer Science. – 2004. – Т. 14. – №. 4. – С. 527-586.
6. Абрамян М. Э. Электронный задачник для подготовки к ЕГЭ по информатике с поддержкой языков Pascal, C++, Python //Информатизация образования и науки. – 2016. – №. 2. – С. 70-84.
7. Аксенова Н. И. Формирование метапредметных образовательных результатов за счет реализации программы формирования универсальных учебных действий //Актуальные задачи педагогики: материалы междунар. науч. конф.(г. Чита. – 2011. – С. 94-100.
8. Афанасьева Т. П., Немова Н. В. Профильное обучение: педагогическая система и управление. – 2004.
9. Богданов Ю. И., Валиев К. А., Кокин А. А. Квантовые компьютеры: достижения, трудности реализации и перспективы //Микроэлектроника. – 2011. – Т. 40. – №. 4. – С. 243-255.
10. Боженкова Л. И. Познавательные универсальные учебные действия в обучении математике //Наука и школа. – 2016. – №. 1. – С. 54-60.

11. Бондарев А. В. Обзор элементной базы квантовых компьютеров //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2019. – Т. 8. – №. 3. – С. 96-100.
12. Босова Л. Л. Как учат программированию в XXI веке: отечественный и зарубежный опыт обучения программированию в школе //Информатика в школе. – 2018. – №. 6. – С. 3-11.
13. Бочаров Н. А., Кирилюк М. А., Парамонов Н. Б. Квантовые вычисления и некоторые сложности их реализации //Приборы. – 2021. – №. 7. – С. 18-25.
14. Бухарова Г. Д. и др. Важность и необходимость внедрения языка программирования python в процесс обучения студентов //Новые информационные технологии в образовании. – 2014. – С. 40-42.
15. Валиев К. А. Квантовые компьютеры и квантовые вычисления //Успехи физических наук. – 2005. – Т. 175. – №. 1. – С. 3-39.
16. Великанов Е. М. КАК ДОСТИЧЬ КВАНТОВОГО ПРЕВОСХОДСТВА: ПРОГРАММИРОВАНИЕ КВАНТОВЫХ КОМПЬЮТЕРОВ //Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета. – 2020. – С. 239-240.
17. Войтович И. К. Специфика создания электронных образовательных курсов //Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2015. – №. 1 (154).
18. Газейкина А. И. Обучение программированию будущего учителя информатики //Педагогическое образование в России. – 2012. – №. 5.
19. Гребнева Д. М. Обзор методических подходов к обучению программированию в школе //Научное обозрение. Педагогические науки. – 2016. – №. 3. – С. 13-27.

20. Головань А. М., Клашанов Ф. К., Петрова С. Н. Облачные вычисления //Вестник МГСУ. – 2011. – №. 6. – С. 411-417.x
21. Гушанский С. М., Потапов В. С. Методика разработки и построения квантовых алгоритмов //Информатизация и связь. – 2017. – №. 3. – С. 103-106.
22. Данюшенков В. С. Целостный подход к методике формирования познавательной активности при обучении физике. – 2016.
23. Даутова О. Б., Крылова О. Н., Тряпицына А. П. Современные педагогические технологии в профильном обучении. – 2006.
24. Деза Е. И. Методика реализации курса «Численные методы» в условиях смешанного обучения студентов //Проблемы современного образования. – 2016. – №. 2. – С. 158-162.
25. Доронин С. И., Фельдман Э. Б., Зенчук А. И. Квантовое программирование на пятикубитной платформе квантового компьютера фирмы ИВМ.
26. Душкин Р. В. Квантовые вычисления и функциональное программирование //М.: Проспект. – 2014. – С. 150-163.
27. Душкин Р. В. Квантовые вычисления и функциональное программирование //М.: Проспект. – 2014. – С. 150-163.
28. Елисеева Д. С. Познавательные универсальные учебные действия младшего школьника как педагогический феномен //Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 16-26.
29. Жидкова А. Е., Титова Е. И. Изучение школьной математики как пропедевтический курс ее обучения в техническом вузе //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 6. – С. 283-283.
30. Жимарши Ф. Сборка и программирование мобильных роботов в домашних условиях / Ф. Жимарши; пер. с фр. М. А. Комаров. – М.; НТ Пресс, 2007. – 288 с.: ил. (В помощь радиолюбителю);

31. Жметко О. А., Байгузова А. В. Модель формирования универсальных учебных действий на уроках информатики в начальной школе //Информационные технологии в социальной сфере. – 2017. – С. 83-87.
32. Заенчик В. М. и др. Современные проблемы науки и образования. – 2016.
33. Зыкова Т., Шершнёва В., Сидорова Т. Проектирование, разработка и методика использования электронных обучающих курсов по математике. – Litres, 2022.
34. Иванов А. И. Квантовые компьютеры: прошлое, настоящее и будущее //Защита информации. Инсайд. – 2015. – №. 2. – С. 52-58.
35. Китаев А. Ю. Квантовые вычисления //Семинар в Институте физических проблем им. ПЛ Капицы РАН" Мезоскопические и сильнокоррелированные системы. – 1996. – Т. 166. – №. 8. – С. 901.
36. Кондратьева В. А. Обучение основам программирования на языке Python в школьном курсе информатики //Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. – 2021. – №. 1. – С. 8-16.
37. Коробченко Е. и др. Квантовый компьютер: основные понятия, класс решаемых задач, перспективы развития //Экономическая безопасность и качество. – 2018. – №. 3 (32).
38. Корольков А. В. О некоторых прикладных аспектах квантовой криптографии в контексте развития квантовых вычислений и появления квантовых компьютеров //Вопросы кибербезопасности. – 2015. – №. 1 (9).
39. Кронберг Д. А., Ожигов Ю. И., Чернявский А. Ю. Квантовая информатика и квантовый компьютер //Учебное пособие МГУ имени МВ Ломоносова, факультет ВМК. – 2011.

40. Кулик С. Д. Четыре постулата квантовой механики и четыре правила для квантовых алгоритмов //Естественные и технические науки. – 2015. – №. 5. – С. 180-181.
41. Куликова Н. Ю. Учебный курс" Разработка электронных образовательных ресурсов" //III Всероссийская научно-практическая конференция" Информационные технологии в образовании XXI века"(ИТО-XXI) сборник научных трудов.-Москва: НИЯУ. – 2013.
42. Левченко И. В. Основные подходы к обучению элементам искусственного интеллекта в школьном курсе информатики //Информатика и образование. – 2019. – №. 6. – С. 7-15.
43. Лисицына Л. С. Педагогический дизайн электронных курсов //СПб: Университет ИТМО. – 2018.
44. Ллойд С. Программируя Вселенную: Квантовый компьютер и будущее науки. – Al'rina non-fikshn, 2013. – С. 978-5.
45. Магомадов В. С. Квантовые вычисления, квантовая теория и искусственный интеллект //Инженерный вестник Дона. – 2018. – №. 4 (51). – С. 155.
46. МАРКОВ С. А., САЗОНОВА А. В., ФИЛИППОВ В. В. КВАНТОВОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ //ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА: ВЗГЛЯД МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ. – 2020. – С. 104-107.
47. Матджумаева Р. Р., Юнусов Р. Ф. Опыт использования электронных курсов по общей физике //Современные научные исследования и инновации. – 2016. – №. 9. – С. 415-422.
48. Махотин Д. А. Методические основы формирования УУД //Педагогическая мастерская. Все для учителя. – 2014. – №. 4. – С. 4-8.
49. Медведева О. А. Интерактивные возможности электронного учебного курса, разработанного на основе системы MOODLE //Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2019. – Т. 4. – №. 1.

50. Муханов С. А., Нижников А. И. Проектирование учебного курса //Педагогическая информатика. – 2014. – №. 4. – С. 39-46.
51. Нурмухамедов Г. М. Электронные учебные курсы: потребности образования, проектирование, разработка, проблемы и перспективы //Информатика и образование. – 2012. – №. 1. – С. 33-39.
52. Ожигов Ю. И. Квантовый компьютер. – 2020.
53. Пекуш А. Е., Погодина И. А. Теоретические аспекты пропедевтического курса информатики в начальной школе //Modern Science. – 2019. – №. 6-1. – С. 46-49.
54. Правильщиков П. А. Использование квантовых компьютеров и квантовых ускорителей в информационных технологиях (Обзор) //Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2016. – №. 2. – С. 3-12.
55. Рашка С. Python и машинное обучение. – Litres, 2022.
56. Ромадина О. Г., Соловьева М. С. Интерактивные ресурсы как средство формирования универсальных учебных действий учащихся //Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. ВП Астафьева. – 2015. – №. 1 (31). – С. 69-73.
57. Самойленко П. Теория и методика обучения физике. – Litres, 2022.
58. Турдиева Г. С., Сулайманова М. А. К. Методы организации электронных учебных ресурсов в образовательном процессе через платформу дистанционного обучения moodle //Academy. – 2020. – №. 5 (56). – С. 40-42.
59. Усмонов М. С. Создание интерактивных электронных учебных курсов на основе информационных технологий и методика их использования //Актуальные проблемы современной науки. – 2013. – №. 3. – С. 103-106.
60. Федоров А. Квантовые вычисления: от науки к приложениям //Открытые системы. СУБД. – 2019. – №. 3. – С. 14-14.

61. Федорова Н. Е. Структура, содержание и методические подходы к преподаванию языка программирования Python в школе //Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2011. – №. 7. – С. 892-897.
62. Холево А. С. Квантовые системы, каналы, информация //М.: мцнмо. – 2010. – Т. 328. – С. 13.
63. Цветков В. Я. Закон мура и другие //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – №. 1-2. – С. 370-370.
64. Чуланова Н. А., Черняева Т. Н. Нормативный контекст определения" познавательные универсальные учебные действия" //Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 6. – С. 860-860.
65. Шолина И., Ребрин О., Сысков А. Смешанное обучение //Высшее образование в России. – 2005. – №. 8. – С. 68-72.
66. Шумский С. Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта. – Aegitas, 2019.
67. Якименко О. В. Применение обучающих программ-тренажеров в обучении программированию //Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2009. – №. 1. – С. 54-56.