**Программа учебной дисциплины «Основы квантовых вычислений»**

Утверждена

Академическим советом ООП

Протокол № от « » \_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

|  |  |
| --- | --- |
| Автор | Владимирова Юлия Викторовна |
| Число кредитов |  |
| Контактная работа (час.) | 40 |
| Самостоятельная работа (час.) | 80 |
| Курс | 4 курс бакалавриата |
| Формат изучения дисциплины | без использования онлайн курса |

1. **ЦЕЛЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРЕРЕКВИЗИТЫ**

Целями освоения дисциплины **«Основы квантовых вычислений»** являются ознакомление с основами квантовых вычислений; ознакомление с особенностями различных реализаций квантовых компьютеров.

В результате освоения дисциплины студент должен:

• Знать:

основные положения квантовой теории информации, различия между квантовыми и классическим вычислениями, основные модели квантовых компьютеров и подходы к их реализации.

• Уметь:

ориентироваться в современных достижениях квантовой теории информации и кван-товых вычислений

• Иметь навыки (приобрести опыт):

- работы с современной научной литературой по данному вопросу;

- решения простейших задач квантовой теории информации

В результате изучения дисциплины студент осваивает следующие профессиональные

инструментальные компетенции:

в научно-исследовательской деятельности

ПК-10. Способен ставить задачи в области физики и проводить научные эксперименты и/или теоретические (аналитические и имитационные) исследования для их решения;

УК-3. Способен к самостоятельному освоению новых методов исследований, изменению научного и производственного профиля своей деятельности;

УК-8. Способен вести профессиональную, в том числе научно-исследовательскую, деятельность в международной среде.

в проектной деятельности

ПК-14. Способен передавать результат проведенных физико-математических и прикладных исследований в виде конкретных рекомендаций, выраженных в терминах предметной области; в технологической деятельности

ПК-15. Способен применять физические методы теоретического и экспериментального исследования, методы математического анализа и моделирования для постановки задач по развитию, внедрению и коммерциализации новых наукоемких технологий;

Изучение дисциплины **«Основы квантовых вычислений»** базируется на следующих дисциплинах:

* Оптика.
* Линейная алгебра.
* Квантовая механика.
* Основы теории информации

Для освоения учебной дисциплины студенты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

* знать основные законы классической и современной физики;
* знать простейшие методы решения физических задач;

1. **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Тема 1. Введение в квантовые вычисления** Однокубитовые элементы, многокубитовые элементы, измерения в базисах, отличных от вычислительного, квантовые схемы, схема копирования кубита, состояния Белла, квантовая телепортация, классические вычисления на квантовом компьютере, квантовый параллелизм, алгоритм Дойча, алгоритм Дойча-Йожа, классификация квантовых алгоритмов, экспериментальная обработка квантовой информации, эксперимент Штерна-Герлаха

**Тема 2 Аппарат квантовой механики.** Постулаты квантовой механики Квантовые измерения Различение квантовых состояний Сверхплотное кодирование Общие свойства операторов плотности Редуцированный оператор цлотности 1 Разложение Шмидта и расширения до чистого состояния Парадокс Эйнштейна - Подольского - Розена и неравенство Белла

**Тема 3 Квантовые вычисления.** Квантовые схемы. Квантовое преобразование Фурье и его приложения Квантовые алгоритмы поиска

**Тема 4 Квантовые компьютеры: физическая реализация** Условия для квантового вычисления, гармонический осциллятор как модель квантового, квантовый компьютер на оптических фотонах, квантовый компьютер на ионах и нейтральных атомах, квантовый компьютер на сверхпроводниках.

**ОЦЕНИВАНИЕ**

Оценки по всем формам контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

**Промежуточный контроль** предусматривает письменную контрольную работу, выполняемую в конце 2-го модуля.

**Итоговый контроль:** экзамен в конце 3-го модуля. Проводится в устной форме. Экзамен состоит из двух частей:

* + теоретической, проводится в форме устной беседы по тематике дисциплины (30 мин.);
  + в билете на экзамене содержатся 1 задача и 2 устных вопроса.

Финальная оценка за работу в семестре равна S = 0.4 X + + 2, где X - оценка за устный опрос, 2 – максимальный балл за посещаемость в 1-м и 2-м модулях.

Итоговая оценка за курс равна (S+E)/2, где E - оценка за устный экзамен. Студенты, у которых S = 10, освобождаются от устного экзамена и получают итоговую оценку 10. Студенты c оценкой S = 8 или S = 9 могут отвечать только на половину билета (1 вопрос по выбору) на устном экзамене.

Перевод в пятибалльную оценку осуществляется в соответствии со следующей таблицей.

Таблица 1 Соответствие оценок по десятибалльной и пятибалльной шкалам.

|  |  |
| --- | --- |
| **По десятибалльной шкале** | **По пятибалльной шкале** |
| 1 – неудовлетворительно  2 – очень плохо  3 – плохо | неудовлетворительно – 2 |
| 4 – удовлетворительно  5 – весьма удовлетворительно | удовлетворительно – 3 |
| 6 – хорошо  7 – очень хорошо | хорошо – 4 |
| 8 – почти отлично  9 – отлично  10 – блестяще | отлично – 5 |

1. **ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**10.1** Оценочные средства для промежуточной аттестации

**Примеры контрольных вопросов при устном опросе.**

1. Как отобразить произвольное состояние кубита на блоховской сфере? Что такое операторы поворота вектора Блоха?

2. Как экспериментально осуществляются повороты вектора Блоха?

3. Можно ли копировать произвольное квантовое состояние?

4. Как получаются экспоненциально большие выигрыши в памяти и числе операций в квантовом компьютере? Как решается проблема измерения выходного состояния в квантовых алгоритмах (на примере алгоритма Дойча)?

5. Привести пример вычисления любой сбалансированной функции.

6. Сформулировать аналог теоремы Шеннона для квантового канала связи.

7. В чем состоит суть квантовой телепортации? Объяснить на конкретном примере.

8 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Оценочные средства для промежуточной аттестации

**Примеры задач и вопросов на экзамене.**

Задачи:

1. Для заданного двухкубитового состояния |ψ> вычислить матрицы плотности ρА и ρВ. Найти разложение Шмидта для состояния |ψ>

2. Покажите, что операторы Rx(θ) и Ry(θ) реализуют поворот на угол θ вокруг осей x и y соот-ветственно.

3. Вычислить матрицу плотности состояния ГХЦ.

Вопросы:

1. Вычисление дискретного логарифма.

2. Протокол квантовой телепортации.

3. Квантовое невозмущающее измерение.

1. **РЕСУРСЫ**
   1. **Основная литература**
2. Нильсен М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. —М: Мир, 2006.
   1. **Дополнительная литература**
3. Кайе Ф., Лафламм Р., Моска М. Введение в квантовые вычисления. —М.–Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2009. 364 с.
4. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. — М.–Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2004. 320 с.
5. Прескилл Дж. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т.1. —М.–Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2008. 464 с.
6. В.И.Емельянов, Ю.В. Владимирова. «Квантовая физика. Биты и кубиты» Москва. 2012.
   1. **Программное обеспечение**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование** | **Условия доступа** |
| 1. | Microsoft Windows 10 | *Из внутренней сети университета (договор)* |

* 1. **Профессиональные базы данных, информационные справочные системы,   
     интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование** | **Условия доступа** |
|  | ***Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы*** | |
| 2. | Электронно-библиотечная система Юрайт | URL: https://biblio-online.ru/ |
|  | ***Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)*** | |
|  |  |  |

* 1. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);

мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для лабораторных и самостоятельных занятий по дисциплине оснащены ­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­­ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ.