

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Квантовые вычисления

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Квантовые вычисления относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: Знать: базовые понятия и методы популяционной генетики, условия их применимости к решению задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.2: Уметь: определять и профессионально применять математические методы квантовых вычислений для решения задач производственно-технологической деятельности, анализировать полученные результаты</p> <p>ПК-11.3: Владеть: навыками программной реализации вычислительных методов и алгоритмов квантовых вычислений для решения задач производственно-технологической деятельности</p>	Отчет по лабораторным работам Собеседование Тест Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические	ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей	ПК-4.1: Знать: базовые понятия и методы популяционной генетики,	Отчет по лабораторным работам Задания	Зачёт: Контрольные вопросы

модели решаемых научных проблем и задач	<p>решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>условия их применимости к решению задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-4.2: Уметь: определять и профессионально применять математические методы квантовых вычислений для решения научных проблем и задач, анализировать полученные результаты.</p> <p>ПК-4.3: Владеть: навыками программной реализации вычислительных методов и алгоритмов квантовых вычислений для решения научных проблем и задач</p>	Задачи	
---	--	---	--------	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0
	Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	часы
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Квантовая информация	30	5	5	10	20
Элементы теории вычислений	30	5	5	10	20
Квантовые вычисления	47	6	6	12	35
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1: Квантовая информация.

Тема 2: Элементы теории вычислений.

Тема 3: Квантовые вычисления.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Стронгин Р.Г. Исследование операций. Модели экономического поведения. Электр. ресурс.
Режим доступа свободный, <http://www.intuit.ru/department/algorithms/opres>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

Задание 1: Какие гейты входят в универсальный набор для квантовых вычислений согласно теореме Соловья-Китаева?

Ответ а): H, T, CNOT

Ответ б): X, Y, Z

Ответ в): H, CNOT, Toffoli

Правильный ответ – а).

Задание 2: Какой из гамильтонианов не требует декомпозиции Троттера?

Ответ а):

Ответ б):

Ответ в):

Правильный ответ – в).

Задание 3: Для какой задачи предназначен алгоритм Гровера?

Ответ:

Алгоритм Гровера используется для поиска элемента в неупорядоченной базе данных из N элементов за время .

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Для состояний кубита $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ и $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ приведите решения:

Задание 1. Какой квантовый вентиль из перечисленных переводит кубит из состояния $|0\rangle$

в состояние с равными весами $|0\rangle$ и $|1\rangle$?

Ответ а): H ;

Ответ б): Y ;

Ответ в): Z .

Правильный ответ – а).

Задание 2. Примените гейта CNOT (control = 0, target = 1) к состоянию $|+\rangle \otimes |0\rangle$, где $|+\rangle = \frac{|0\rangle + |1\rangle}{\sqrt{2}}$. Какое состояние получится?

Ответ а): $\frac{|00\rangle + |01\rangle}{\sqrt{2}}$;

Ответ б): $\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$;

Ответ в): $\frac{|00\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}$.

Правильный ответ – б).

Задание 3: Какое состояние используется в сверхплотном кодировании для передачи двух классических битов?

Ответ:

Ответ а): $|01\rangle = \frac{|00\rangle + |01\rangle}{\sqrt{2}}$;

Ответ б): $|00\rangle = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$;

Ответ в): $\frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$.

Правильный ответ – в).

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности.
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
--------	--------------------

зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Машины и цепи Тьюринга.
2. Классы сложности. Обратимые вычисления.
3. Универсальные квантовые вентили.
4. Аппроксимация унитарности одного кубита универсальным набором вентилей.
5. Пропагация квантовых систем на квантовых компьютерах (декомпозиция Троттера).
6. Квантовое преобразование Фурье.
7. Алгоритм Гровера.
8. Квантовые поиск как квантовые вычисления.
9. Квантовые операции и каналы.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Классическая информация.
2. Кубиты.
3. Однобитовые вентили. Двухбитовые состояния и вентили.
4. Управление U-вентильями, теорема о запрете клонирования и квантовая телепортация.
5. Е-бит, классические вычисления в квантовых цепях.
6. Квантовый параллелизм, алгоритмы Дойча и Дойча-Йожи, преобразование Фурье в квантовых цепях.
7. Основные понятия квантовой механики.
8. Измеряющий оператор.
9. Матрица плотности. Разложение Шмидта.
10. Неравенство Белла. Локальный реализм.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно» либо хотя бы одна из компетенций сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Блохинцев Дмитрий Иванович. Основы квантовой механики : [учеб. пособие для вузов]. - 6-е изд., стер. - М. : Наука, 1983. - 664 с. : ил. - 1.60., 15 экз.
2. Прескилл Джон. Квантовая информация и квантовые вычисления = Quantum Information and Computation. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютер. исслед., 2008-. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 1 / пер. с англ. Т. С. Нечаевой ; под науч. ред. С. С. Епифанова, С. Г. Новокшенова. - М. ; Ижевск, 2008. - 464 с. - ISBN 978-5-93972-651-1 : 140.00., 1 экз.
3. Прескилл Джон. Квантовая информация и квантовые вычисления = Quantum Information and Computation. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютер. исслед., 2008-. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 2 / пер. с англ. Т. С. Нечаевой ; под науч. ред. С. Г. Новокшенова. - 2011. - 312 с. - ISBN 978-5-4344-0030-5 : 300.00., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Самарский Александр Андреевич. Численные методы : [учеб. пособие для вузов по специальности "Прикладная математика"]. - М. : Наука, 1989. - 429, [1] с. : ил. - ISBN 5-02-013996-3 (в пер.) : 1.20., 44 экз.
2. Китаев А. Классические и квантовые вычисления. - М. : МЦНМО : ЧеРо, 1999. - 192 с. - (Новые математические дисциплины). - ISBN 5-900916-35-9 : 19.00., 1 экз.
3. Стин Э. Квантовые вычисления / пер. с англ. И. Д. Пасынкова. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регуляр. и хаот. динамика", 2000. - 112 с. - ISBN 5-93972-023-4 : 27.38., 1 экз.
4. Сысоев Сергей Сергеевич. Введение в квантовые вычисления. Квантовые алгоритмы : Учебное пособие / Санкт-Петербургский государственный университет. - СПб : Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 2019. - 144 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-288-05933-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=630532&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- официальный сайт языка Python <https://www.python.org/>
- Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/> .

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Бастракова Марина Валерьевна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Иванченко Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.