

**Автономная некоммерческая организация
«Корпоративная Академия Госкорпорации «Росатом»
(АНО «Корпоративная Академия Росатома»)**

УТВЕРЖДАЮ

генеральный директор

АНО «Корпоративная Академия
Росатома»

_____ Ю.Б. Ужакина

« » 20__ г.

**Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации
«Квантовые вычисления»**

Москва 2021



1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ

1.1 Цель программы:

1.1.1 Развитие профессиональной компетентности специалистов атомной отрасли в области квантовых вычислений.

1.1.2 Ознакомление с математическими методами: описания квантовых вычислительных цепей и схем, исследование их свойств.

1.1.3 Получение навыков по применению методов построения математических моделей теории информации и их применение.

1.1.4 Ознакомление с современными результатами теории квантовых вычислений, а также современными проблемами, стоящими перед этой дисциплиной.

1.2 Категория слушателей – сотрудники атомной отрасли.

1.3 Требования к уровню подготовки поступающего на обучение: К освоению дополнительной профессиональной программы допускаются лица, имеющие среднее профессиональное и (или) высшее образование, а также лица, получающие среднее профессиональное и (или) высшее образование

1.4 Трудоемкость программы – 21 час.

1.5 Форма обучения: дистанционная.

1.6 Условия и особенности реализации программы: нет

1.7 Связь ДПП с профессиональными стандартами: нет

1.8 Документ о квалификации: удостоверение о повышении квалификации установленного образца АНО «Корпоративная Академия Росатома».

2. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ, ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ:

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

ЗНАТЬ: основные методы научно-исследовательской деятельности;

УМЕТЬ: выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач;



ВЛАДЕТЬ: навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме; навыками выбора методов и средств решения задач.

3. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

УЧЕБНЫЙ ПЛАН дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Квантовые вычисления»

№ п/п	Наименование раздела	Трудоемкость, час	Контактная работа, час		Самостоятельная работа, час	Формы контроля
			лекции	семинары		
1.	Введение в квантовую физику и технологии	5	3,5	-	1,5	-
2.	Квантовый компьютер	7	6	-	1	-
3.	Применение квантового компьютера	4	1,5	1,5	1	-
4.	Практический семинар	2	-	-	2	-
5.	Итоговая аттестация	3	-	3	-	экзамен



4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них:				Самостоятельная работа обучающегося, часы, из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.)	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
<p>1. Что такое квантовые технологии и особенности курса: введение в квантовые технологии; парадоксы квантовой физики: квантовая запутанность; квантовая телепортация; квантовые коммуникации, в том числе:</p> <p>1.1. Какое влияние оказала квантовая физика на развитие современного мира;</p> <p>1.2. Чем квантовые технологии отличаются от классических технологий;</p> <p>1.3. Почему передача данных с помощью квантовых технологий максимально безопасна и конфиденциальна;</p> <p>1.4. Какие ограничения существуют у современных суперкомпьютеров;</p> <p>1.5. Что такое квантовая запутанность, и в чем заключается проблема теоретического описания этого явления;</p> <p>1.6. Как экспериментально проверить квантовую запутанность и каково ее практическое применение;</p> <p>1.7. Почему «наблюдение» за квантовыми объектами изменяет их положение;</p> <p>1.8. Что такое перепутанные состояния;</p>	5	3,5			3,5	1,5		1,5



<p>1.9. Почему невозможно телепортировать человека, как в научно-фантастических романах, и как это возможно на самом деле;</p> <p>1.10. Насколько ученые близки к телепортации материальных объектов;</p> <p>1.11. Какие вызовы в области защиты коммуникаций встают перед компаниями в современном мире;</p> <p>1.12. Как работает квантовое шифрование данных;</p> <p>1.13. Какие устройства уже есть на рынке и как они передают зашифрованные данные;</p> <p>1.14. Что такое квантовые сети и как их планируется развивать.</p>							
<p>2. Квантовый компьютер: классические и квантовые вычисления; квантовые вычисления со сверхпроводниковыми кубитами; квантовые вычисления с оптическими кубитами; квантовые вычисления с нейтральными атомами; квантовые вычисления с ионами в ловушке; поляритонная платформа для квантовых вычислений; спинтроника для квантовых технологий; квантовое превосходство, в том числе:</p> <p>2.1. Теоретические модели, которые стоят за квантовыми вычислениями;</p> <p>2.2. Принципы построения квантовых компьютеров;</p> <p>2.3. Какие результаты работы с квантовыми компьютерами достигаются сегодня;</p> <p>2.4. Как работает сверхпроводимость;</p> <p>2.5. Что из себя представляют кубиты и как ими управляют;</p> <p>2.6. Как реализуется квантовая электроника;</p> <p>2.7. Какие преимущества имеет фотон в качестве кубита;</p> <p>2.8. Какие особенности имеют и как реализуются квантовые вычисления с оптическими кубитами;</p> <p>2.9. Устройство оптического пинцета и оптических ловушек;</p> <p>2.10. Физические законы, лежащие в основе квантовых компьютеров;</p>	7	6		6	1		1



<p>2.11. Физические процессы, идущие в квантовых компьютерах, и алгоритмы их работы;</p> <p>2.12. Какими преимуществами обладает ион в качестве кубита;</p> <p>2.13. Что из себя представляют особенности и реализация квантовых платформ с ионными кубитами;</p> <p>2.14. Что такое поляритоны;</p> <p>2.15. В чем отличие поляритонов от фотонов;</p> <p>2.16. Как образуются поляритоны;</p> <p>2.17. Чем интересны экситонные поляритоны в контексте квантовых технологий и как потенциально их можно использовать;</p> <p>2.18. Какие вызовы современной физики решает спинтроника;</p> <p>2.19. Как развивалось это направление и как оно связано с магнитной оперативной памятью – новым поколением вычислительной техники;</p> <p>2.20. Что обозначают основные понятия (спин, кубит, молекулярные кластеры) и какие их спинтронные реализации;</p> <p>2.21. Физические законы, на которые опираются современные спинтронные технологии;</p> <p>2.22. Зачем ученые пытаются создать квантовый компьютер и достичь квантового превосходства;</p> <p>2.23. Какие результаты нам может принести применение квантовых вычислений в физических задачах.</p>								
<p>3. Применение квантового компьютера: цифровое и аналоговое квантовое моделирование; применения квантовых вычислений в бизнес-задачах; обзор платформы для квантовых вычислений; обзор платформы для адиабатических вычислений, в том числе:</p> <p>3.1. Что лежит в основе квантовых вычислений и какие платформы для квантовых вычислений существуют;</p> <p>3.2. Концепции, которые стоят за цифровым аналоговым квантовым моделированием;</p>	4	1,5	1,5	3		1		1



3.3. Перспективные области применения цифровых и аналоговых квантовых симуляторов. Возможности и ограничения данных подходов; 3.4. Основные направления, в которых квантовые вычисления применяются уже сегодня и часто демонстрируют свое превосходство над классическими методами, и о тех, где они только в перспективе, вероятно, будут интегрированы в работу.								
4. Практический семинар в области квантовых вычислений: 4.1. Презентация современных платформ для квантовых вычислений; 4.2. Презентация платформ для адиабатических квантовых вычислений и устройств квантового отжига; 4.3. Самостоятельное решение задач на платформах; 4.4. Обсуждение результатов практической работы.	2					2		2
5. Итоговая аттестация	3		3	3				



5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Типовые вопросы к экзамену:

квантовые технологии;
квантовый компьютер;
квантовая запутанность;
квантовые коммуникации;
платформы для квантовых вычислений;
спинтроника для квантовых технологий;
квантовое превосходство.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).



Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений (B1, СПК1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых вычислений
ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений (B2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых вычислений
ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (B3, СПК-3).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских



			задач в области физики квантовых вычислений	задач в области физики квантовых вычислений	задач в области физики квантовых вычислений
УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых вычислений и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов
УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений (У2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых вычислений
УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать их с помощью	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых вычислений, и решать	В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых	Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых



современной аппаратуры и оборудования (УЗ, СПК-3)		их с помощью современной аппаратуры и оборудования	вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования	вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования	вычислений, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования
ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений (31, СПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых вычислений
ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений (32, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений	Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых вычислений
ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики	Отсутствие навыков	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования



<p>квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПКЗ)</p>		<p>области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>планирования исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>исследований в области физики квантовых вычислений, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>
---	--	---	--	---	--



6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература:

1. Дж. Прескилл, Квантовая информация и квантовые вычисления. Том 1: издательство «Мир», 2006
2. M. A. Nielsen and I. L. Chuang, Quantum Computation and Quantum Information: Cambridge University press, 2010
3. Львовский А.И., Отличная квантовая механика. Учебное пособие: ООО «Альпина нон-фикшн», 2019
4. Jack D. Hidary, Quantum Computing: An Applied Approach, Publisher: Springer
5. Yamamoto, Yoshihisa, Kouichi Semba, Principles and Methods of Quantum Information Technologies: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS
6. T.P. Pearsall, Quantum Semiconductor Devices and Technologies: Springer, Boston, MA
7. С. Ааронсон, Квантовые вычисления со времен Демокрита: ООО «Альпина нон-фикшн», 2018
8. Жизан Н., Квантовая случайность: нелокальность, телепортация и другие квантовые чудеса: ООО «Альпина нон-фикшн», 2016
9. Сет Ллойд, Программируя вселенную: квантовый компьютер и будущее науки: ООО «Альпина нон-фикшн», 2019

7. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНТЕРНЕТ

Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины: <https://quantumexperience.ng.bluemix.net/>

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины: для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа. Также настоятельно рекомендуется выполнение практических работ на симуляторе/облачном квантовом компьютере для получения навыков программирования реального квантового процессора.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

При реализации учебной работы в рамках программы «Квантовые вычисления» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном и учебной доской и трансляции содержимого на подключенных участников обучения.





Документ подписан и передан через оператора ЭДО АО «ПФ «СБ Контур»

	Владелец сертификата: организация, сотрудник	Сертификат: серийный номер, период действия	Дата и время подписания
Подписи отправителя:	 АНО "Корпоративная Академия Росатома" Ужакина Юлия Борисовна, Генеральный директор	029DE57F0005AE9B924CA6831DF0F994EE с 21.12.2021 10:35 по 21.03.2023 10:35 GMT+03:00	11.02.2022 16:50 GMT+03:00 Подпись соответствует файлу документа