

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета МГУ  
имени М.В. Ломоносова



В.В. Белокуров  
(инициалы, фамилия)

(подпись)  
М.П.

2024г.

## ПРОГРАММА

### ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ

Программа профессиональной переподготовки «Теоретические и  
экспериментальные основы квантовых технологий»

с присвоением квалификации «Специалист в области квантовых  
технологий»

Москва, 2024

## **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ**

**1.1. Цель реализации программы** состоит в формировании у слушателей новых или развитие уже имеющихся компетенций в области квантовых технологий: квантовой оптики, квантовых вычислений и квантовой криптографии.

### **1.2. Требования к поступающему для обучения на программе слушателю**

Лица, поступающие на обучение, должны иметь документ о получении высшего образования по следующим направлениям бакалавриата или специальностям:

010900	Прикладные математика и физика
011200	Физика
011800	Радиофизика
030301	Прикладные математика и физика
030302	Физика
030303	Радиофизика
030502	Фундаментальная и прикладная физика
090302	Информационные системы и технологии
110302	Инфокоммуникационные технологии и системы связи
110303	Конструирование и технология электронных средств
110304	Электроника и нанoeлектроника
120304	Биотехнические системы и технологии
220301	Материаловедение и технологии материалов

### **1.3. Трудоемкость обучения**

Нормативный срок освоения программы составляет: 940 часов, включая все виды аудиторной и внеаудиторной (самостоятельной) работы слушателей.

Форма обучения – заочная с применением дистанционных технологий.

## **2. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВОГО ВИДА ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НОВОЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

Выпускник должен быть готов к профессиональной экспериментальной и (или) теоретической деятельности с области квантовых технологий, включающих квантовую оптику, квантовые коммуникации и квантовые вычисления.

Квалификационный уровень по национальной рамке квалификаций: 7.

## **3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Выпускник по программе профессиональной переподготовки для выполнения нового вида профессиональной деятельности, приобретения новой квалификации *специалист в области квантовых технологий* в соответствии с целями программы и задачами профессиональной деятельности должен обладать следующими основными универсальными и профессиональными компетенциями (ПК):

### **Универсальные компетенции**

#### **а) инструментальные:**

способность использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности (ИК-1);

способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение (ИК-2);

#### **б) системные:**

способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению самостоятельных гипотез (СК-1);

способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (СК-2);

способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, к изменению научного и научно-



производственного профиля деятельности; к инновационной научно-образовательной деятельности (СК-3).

### **Профессиональные компетенции**

способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских и научно-инновационных задач (ПК-1);

способность использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в своей профессиональной деятельности (ПК-2);

способность и готовность применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчётов, обзоров, докладов и статей (ПК-4);

способность использовать профессиональные знания в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов интернета для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки (ПК-5);

способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (ПК-6);

Результатом освоения дисциплины является формирования у слушателей специализированных компетенций по профессиональным знаниям в области квантовых технологий в части квантовой оптики, квантовых вычислений и квантовых коммуникаций.

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### 4.1. Учебный план

Наименование дисциплин	Общая трудоемкость, час.	По учебному плану с использованием дистанционных образовательных технологий, час.								СРС, час.	Текущий контроль*			Промежуточная аттестация**	
		Аудиторные занятия, час.				Дистанционные занятия, час.					РК РГР Реф.	КР	КП	Зачет	Экзамен
		всего	из них			всего	из них								
			лекц	лаб. раб.	прак. зан., семинары		лекц	лаб. раб.	прак. зан., семинары						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>1 семестр</b>															
1. Основы квантовой физики и квантовой информатики	72					36	36			34	РК			2 (Д)	-
2. Квантовая оптика	108					36	36			68	РК			4 (Д)	
3. Квантовая электроника	108					36	36			68	РК			4 (Д)	
4. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 1	216	96		96						118	РК			2 (Д)	
<b>2 семестр</b>															
5. Основы квантовой криптографии	108					36	36			68	РК			4 (Д)	
6. Введение в квантовые вычисления	108					36	36			68	РК			4 (Д)	
7. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 2	216	96		96						118	РГР, РК			2 (Т)	
<b>Итого</b>	<b>936</b>	192		192		180	180			542				22	

Итоговая аттестация	итоговый экзамен 4
<p>* КП - курсовой проект, КР - курсовая работа, РК - контрольная работа, РГР - расчетно-графическая работа, Реф. – реферат.  ** В соответствующей графе указывается количество и технология приема:  «Т» - прием, осуществляемый по традиционной образовательной технологии;  «Д» - прием, осуществляемый с использованием дистанционных образовательных технологий.</p>	

## 4.2. Дисциплинарное содержание программы

1. Квантовые технологии (1 семестр)
2. Квантовая электроника (1 семестр)
3. Квантовая оптика (1 семестр)
4. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 1 (1 семестр)
5. Введение в квантовые вычисления (2 семестр)
6. Основы квантовой криптографии (2 семестр)
7. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 2 (2 семестр)

## 5. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

### 5.1. Квалификация преподавателей, участвующих в реализации программы

Реализация программы обеспечивается научно-педагогическими работниками физического факультета МГУ, а также лицами, привлекаемыми к реализации программы на условиях гражданско-правового договора. Квалификация педагогических сотрудников соответствует квалификационным характеристикам, установленным в Едином квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и служащих, утвержденного приказом Министерства социального развития и здравоохранения РФ от 11 января 2011г. №1н и профессиональным стандартам.

К чтению лекций по специальным дисциплинам привлекаются разработчики программы:

Кулик Сергей Павлович - доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель Центра квантовых технологий физического факультета МГУ,

Борщевская Надежда Алексеевна - кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ, руководитель практикума по квантовой оптике и квантовой информатике;



Страупе Станислав Сергеевич - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ.

Молотков Сергей Николаевич - доктор физико-математических наук, профессор факультета ВМиК МГУ, ведущий научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ

Владимирова Юлия Викторовна - кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета МГУ, старший научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ.

## **5.2. Материально-технические условия реализации программы**

Программа реализуется с использованием материально-технической базы физического факультета, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом.

При реализации программы может использоваться, наряду с материально-технической базой физического факультета, материально-техническая база иных структурных подразделений МГУ, а также материально-техническая база организаций, осуществляющих деятельность по профилю программы в рамках реализации договоров или соглашений о научно-образовательном сотрудничестве.

Практические занятия проводятся в специализированной учебной аудитории, оснащенной оборудованием для выполнения задач практического блока.

## **5.3. Учебно-методическое обеспечение программы**

Реализация обеспечивается доступом каждого слушателя к базам данных и библиотечным фондам физического факультета МГУ, по содержанию соответствующих полному перечню дисциплин из расчета обеспеченности учебниками и учебно-методическими пособиями не менее 0,5 экземпляра на одного студента, наличием методических пособий и рекомендаций по всем дисциплинам и по всем видам занятий - практикумам, практикам, а также наглядными пособиями, аудио-, видео- и мультимедийными материалами.

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечивается индивидуальным неограниченным доступом к электронной информационно-образовательной среде физического факультета МГУ, в т.ч. к электронным базам данных научной периодики и к научной литературе.

## 6. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Перечень предметов, по которым проводится аттестация

1. Квантовые технологии
2. Квантовая оптика
3. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 1
4. Введение в квантовые вычисления
5. Основы квантовой криптографии
6. Квантовая электроника
7. Практика по квантовой оптике и квантовой информатике Часть 2

6.1. Оценочными средствами для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации являются:

- тестирования в течение всего курса (для дисциплин 1-7, п.4.2),
- итоговый контроль в виде коллоквиумов на взаимную проверку (для дисциплин 1, 2, 4, 5, 6 п.4.2)
- опрос и обсуждение занятия в очном режиме или средствами электронного образования (форум, вебинар, телеконференция, чат) (для дисциплин 3,7, п.4.2),
- устное собеседование перед допуском к каждой лабораторной работе (для дисциплин 3,7, п.4.2)
- письменные отчеты по результатам выполненных лабораторных работ (для дисциплин 3,7, п.4.2)
- устное собеседование по результатам выполненных лабораторных работ(для дисциплин 3,7, п.4.2)

6.2 Критерии оценивания для дисциплин 1, 2, 4, 5, 6, п.4.2.

- Обучающийся допускается к итоговому тесту, если сумма набранных баллов за курс больше 58%. Количество вопросов итогового теста определяется исходя из критериев, приведенных в таблице

Количество набранных баллов, %	Число вопросов итогового теста
91-100	10
76-90	20
58-75	30

- Критерием прохождения итогового тестового задания по каждому курсу (для дисциплин 1, 2, 4, 5, 6, п.4.2) является



сумма набранных баллов за вопросы теста выше установленного порога. Решение об аттестации по дисциплине принимается в соответствии с критериями, приведенными в таблице критериев оценивания:

Количество набранных баллов, %	Решение об аттестации (с оценкой)
91-100	аттестован (отлично)
76-90	аттестован (хорошо)
50-75	аттестован (удовлетворительно)
≤ 50	не аттестован

### 6.3 Критерии оценивания для дисциплин 3 и 7, п.4.2.

После теоретической лекции к лабораторной работе дается набор контрольных вопросов и задач суммарно на 25 баллов. Для допуска к семинарскому занятию нужно набрать не менее 20 баллов. На это дается 5 попыток.

После семинара дается контрольный набор тестовых вопросов и задач суммарно на 10 баллов. Для получения итогового зачета, нужно на контрольном тесте набрать не менее 6 баллов (при этом дается попытка одна). Для тех, кто не набрал необходимого числа баллов на контрольных тестах предусматривается одна пересдача в конце курса.

Перед допуском к лабораторной работе дается от 5 до 10 тестовых вопросов, относящихся к выполнению эксперимента. Чтобы быть допущенным к выполнению работы нужно правильно ответить не менее чем на половину вопросов, при этом дается 4 попытки.

За лабораторную работу слушатель сможет максимально набрать 20 баллов. Все задачи должны быть решены подробно, со строгим логическим обоснованием всех переходов (необходимо указывать, какое определение/утверждение). В задачах, содержащих вычисления, необходимо привести все выкладки. Задачи, решенные с применением «запрещенных» методов, оцениваются в 0 баллов.

<b>Критерии оценивания письменных отчетов по лабораторным работам (Максимальное суммарное количество баллов – 10)</b>				
<b>5 баллов</b>	<b>5 баллов</b>	<b>5 баллов</b>	<b>5 баллов</b>	<b>10 баллов</b>
Правильно проведен эксперимент	Правильно проведена обработка экспериментальных	Сформулированы правильные выводы по результатам	Отчет правильно оформлен	В ходе устного собеседования продемонстрировано понимание

	данных	работы		проведенной работы и владение теоретическим материалом.
--	--------	--------	--	---

Слушатель может быть допущен к аттестации по программе, если он:

- 1) набрал более 60% от максимальной итоговой оценки за задания по семинарам, выполнив их в установленный срок
- 2) выполнил все практические работы в установленный срок,
- 3) сдал отчеты по всем практическим работам в установленный срок.

Формой итогового контроля является:

1. Создание отчетов по всем лабораторным работам
2. Собеседование с преподавателем по результатам всех лабораторных работ.
  - Критерием прохождения итоговой аттестации является сумма набранных баллов по всем заданиям курса выше установленного порога. Решение об аттестации по дисциплине принимается в соответствии с критериями, приведенными в таблице критериев оценивания:

Общее количество набранных баллов, %	Решение об аттестации (с оценкой)
91-100	аттестован (отлично)
76-90	аттестован (хорошо)
50-75	аттестован (удовлетворительно)
≤ 50	не аттестован

К итоговой аттестации допускаются лица, выполнившие требования, предусмотренные программой и успешно прошедшие все оценочные процедуры, предусмотренные программами общепрофессиональных курсов. Решение об итоговой аттестации по программе принимается при условии успешной аттестации по всем дисциплинам.



Лицам, прошедшим соответствующее обучение в полном объеме и аттестацию, образовательным учреждением выдается диплом установленного образца.

Лицам, не прошедшим итоговую аттестацию или получившим на итоговой аттестации неудовлетворительную оценку, а также лицам, освоившим часть программы, выдается справка об обучении или о периоде обучения.

Для оценивания содержания и качества учебного процесса, а также отдельных преподавателей со стороны обучающихся по итогам обучения проводится анкетирование обучающихся.

## **7. РАЗРАБОТЧИКИ ПРОГРАММЫ**

Разработчики программы:

Кулик Сергей Павлович - доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель Центра квантовых технологий физического факультета МГУ,

Борщевская Надежда Алексеевна - кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ, руководитель практикума по квантовой оптике и квантовой информатике;

Страупе Станислав Сергеевич - кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ.

Катамадзе Константин Григорьевич - кандидат физико-математических наук.

Молотков Сергей Николаевич - доктор физико-математических наук, профессор факультета ВМиК МГУ, ведущий научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ

Владимирова Юлия Викторовна - кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета МГУ, старший научный сотрудник Центра квантовых технологий физического факультета МГУ.