

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)



УТВЕРЖДАЮ

Ректор МФТИ

д-р физ.-мат. наук, профессор

Д. В. Ливанов

«29» августа 2025 г.

**Дополнительная профессиональная
программа повышения квалификации
«Оборудование и технологии для перспективной электроники»**

УГСН 03.00.00 Физика и астрономия

Направление подготовки

03.03.01 Прикладные математика и физика

03.04.01 Прикладные математика и физика

ОКВЭД 72 Научные исследования и разработки

Москва 2025

1. Общая характеристика программы

1.1.Цель реализации программы

Целью реализации дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Оборудование и технологии для перспективной электроники» является в области оборудования и технологий для перспективной электроники, а также научных кадров для разработок научно-технологических решений направленных на создание научных приборов мирового уровня.

Лицам, успешно освоившим программу и прошедшим итоговую аттестацию, выдается удостоверение о повышении квалификации установленного образца.

1.2.Совершенствуемые и/или приобретаемые компетенции

Компетенции, формируемые и совершенствуемые в результате обучения, представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

№	Компетенции в соответствии с направлением подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика (Собственный стандарт МФТИ)	Код компетенции
1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1
2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2

Таблица 2

№	Компетенции в соответствии с направлением подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика (Собственный стандарт МФТИ)	Код компетенции
1.	Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1

1.3.Планируемые результаты обучения

Планируемые результаты обучения представлены в таблице 3.

Таблица 3

№	Уметь - знать	Направление подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика
		Квалификация: бакалавр
		Код компетенции
1	Знать: Основы синтеза наночастиц методом искрового газового разряда, взаимодействия наночастиц с излучением, Физику межподзонных электронных переходов и низкоразмерных структур с множественными квантовыми ямами, Физические	УК-1

	<p>основы явления комбинационного рассеяния света, Физические принципы генерации сверхкоротких лазерных импульсов, Принципы нелинейно-оптической спектроскопии, Аналитические методы нелинейно-оптической спектроскопии.</p> <p>Уметь: поставить задачу и планировать эксперимент для исследования печатной структуры, определять и формулировать круг задач в области в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения.</p>	
	<p>Знать: Основы синтеза наночастиц методом искрового газового разряда, взаимодействия наночастиц с излучением, Физику межподзонных электронных переходов и низкоразмерных структур с множественными квантовыми ямами, Физические основы явления комбинационного рассеяния света, Физические принципы генерации сверхкоротких лазерных импульсов, Принципы нелинейно-оптической спектроскопии, Аналитические методы нелинейно-оптической спектроскопии</p> <p>Уметь: определять и формулировать круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, поставить задачу и планировать эксперимент для исследования конкретной узла устройства микроэлектроники</p>	УК-2
		<p>Направление подготовки 03.04.01 Прикладные математика и физика (Собственный стандарт МФТИ)</p>
		Квалификация: магистр
	<p>Знать: Основы синтеза наночастиц методом искрового газового разряда, взаимодействия наночастиц с излучением, Физику межподзонных электронных переходов и низкоразмерных структур с множественными квантовыми ямами, Физические основы явления комбинационного рассеяния света, Физические принципы генерации сверхкоротких лазерных импульсов, Принципы нелинейно-оптической спектроскопии, Аналитические методы нелинейно-оптической спектроскопии</p> <p>Уметь: поставить задачу и планировать эксперимент для исследования печатной структуры, определять и формулировать круг задач в области в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, решать практические задачи, направленные на выбор оптимальной стратегии исследования, настраивать и подготавливать к измерениям рамановские спектрометры, проводить измерения на портативных и микроскопных рамановских спектрометрах.</p>	ПК-1

№ п/п	Наименование разделов (модулей) и тем	Всего, ак. час.	Лекции	Практич . работа	Самост. работа	Форма контроля
1	Модуль 1. «Современные методы и оборудование для научных исследований»	33	17		16	
1.1	Лекция 1 Вводная лекция	1	1			
1.2	Лекция 2 «Формирование микроструктур методам сухой аэрозольной печати наночастицами»	4	2		2	
1.3	Лекция 3 «Физика и технология источников терагерцового излучения на основе квантово-каскадных лазеров»	4	2		2	
1.4	Лекция 4 «Особенности проектирования масс- спектрометрического оборудования»	4	2		2	
1.5	Лекция 5 «Трехмерные микроструктуры для реализации элементов фотоники»	4	2		2	
1.6	Лекция 6 «Методы оптической литографии. От создания планарных элементов электроники до 3D-элементов фотоники»	4	2		2	
1.7	Лекция 7 «Рамановская спектроскопия. Концепция, реализация, применения»	4	2		2	
1.8	Лекция 8 «Нелинейная оптическая спектроскопия- микроскопия для биоимиджинга и определения состава»	4	2		2	

№ п/п	Наименование разделов (модулей) и тем	Всего, ак. час.	Лекции	Практич. работа	Самост. работа	Форма контроля
1.9	Лекция 9 «Эффекты муара, Тальбота и Лау и их применение в оптических растровых преобразователях перемещений (энкодерах) субмикронного уровня точности»	4	2		2	
2.	Модуль 2 «Печатная и гибридная электроника»	28	18		10	
2.1	Лекция 1 «Активные элементы и системы»	6	4		2	
2.2	Лекция 2 «Функциональные материалы»	6	4		2	
2.3	Лекция 3 «Технологии формирования элементов»	4	2		2	
2.4	Лекция 4 «Оборудование для аддитивных технологий»	6	4		2	
2.5	Лекция 5 «Пассивные элементы и системы»	6	4		2	
3.	Модуль 3. Лабораторный практикум «Перспективное научно-техническое оборудование»	10	2			
3.1	Лабораторный практикум	8				
3.2	Лекция «Метрологическое обеспечение научного оборудования»	2	2			
	Итого по модулю 3	10	2			
	Итоговая аттестация	1		1		Тестирование (зачет)
	Итого:	72	37	1	26	

2.2.Календарный учебный график

Календарный учебный план составляется при сформированной группе с учетом уровня их подготовки.

Календарный учебный график отражает периоды теоретических занятий, практик, процедур промежуточной и итоговой аттестаций и т.д.

КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

Учебные недели	1	2
Учебные занятия (Т)	Т	Т
Практические занятия (П)		П
Самостоятельная работа (СР)	С Р	С Р
Стажировка (С)		
Контроль Зачет, экзамен (З, Э)		З
Итоговая аттестация (А)		А

2.3.Рабочая программа

Содержание учебной программы приведено в таблице 5.

Таблица 5

№ п/п	Наименование модуля, разделов и тем	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы	Объем, ак.час.
1	Модуль 1. «Современные методы и оборудование для научных исследований»	Лекция 1: Вводная лекция	1
		Лекция 2: «Формирование микроструктур методом сухой аэрозольной печати наночастицами» Самостоятельная работа: Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
		Лекция 3: «Физика и технология источников терагерцового излучения на основе квантово-каскадных лазеров» Самостоятельная работа: Изучение обзорных статей по тематике терагерцовых квантово-каскадных лазеров	4
		Лекция 4: «Особенности проектирования масс-спектрометрического оборудования» Самостоятельная работа:	4

№ п/п	Наименование модуля, разделов и тем	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы	Объем, ак.час.
		Проектирование измерительной масс-спектрометрической системы для решения конкретной прикладной задачи	
		Лекция 5: «Трехмерные микроструктуры для реализации элементов фотоники» Самостоятельная работа: Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
		Лекция 6: «Методы оптической литографии. От создания планарных элементов электроники до 3D-элементов фотоники» Самостоятельная работа: Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
		Лекция 7: «Рамановская спектроскопия. Концепция, реализация, применения» Самостоятельная работа: Изучение научных статей по тематике лекций (самостоятельный поиск + из предложенного списка), самостоятельное проведение измерений жидких и твердых образцов на рамановских спектрометрах	4
		Лекция 8: «Нелинейная оптическая спектроскопия-микроскопия для биоимиджинга и определения состава» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
		Лекция 9: «Эффекты муара, Тальбота и Лау и их применение в оптических растровых преобразователях перемещений (энкодерах) субмикронного уровня точности» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
2	Модуль 2 «Печатная и гибридная электроника»	Лекция 1 «Активные элементы и системы» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	6
		Лекция 2 «Функциональные материалы» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	6

№ п/п	Наименование модуля, разделов и тем	Содержание обучения, наименование и тематика практических занятий (семинаров), самостоятельной работы	Объем, ак.час.
		Лекция 3 «Технологии формирования элементов» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	4
		Лекция 4 «Оборудование для аддитивных технологий» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	6
		Лекция 5 «Пассивные элементы и системы» Самостоятельная работа Самостоятельное изучение литературы и статей по теме лекции	6
3	Модуль 3. Лабораторный практикум «Перспективное научно-техническое оборудование»	Лабораторный практикум	8
		Лекция 1 «Метрологическое обеспечение научного оборудования»	2
	Итоговая аттестация	Тестирование (зачет)	1
	Итого:		72

3. Формы аттестации и оценочные материалы

3.1.Формы аттестации

Итоговая аттестация по программе является обязательной.

Форма итоговой аттестации: зачет.

Критерии оценивания:

- Корректный ответ / некорректный ответ на два теоретических вопроса по программе лекций;
- Выполнение / не выполнение практических заданий.

Оценивание

Таблица 6

Критерий	Соответствует	Не соответствует
корректный ответ / некорректный ответ на два теоретических вопроса по программе лекций	1 балл	0 баллов
выполнение / не выполнение практических заданий	1 балл	0 баллов

Оценивание проводится преподавателем на основе представленных критериев и шкалы оценки.

Зачет выставляется слушателю, если по результатам оценивания слушатель получает 2 балла.

3.2.Оценочные материалы

Таблица 7

Наименование модуля, разделов и тем	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки	Вес задания, %
Модуль 1. «Современные методы и оборудование для научных исследований»	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос Практические задания по темам лекций	25
Модуль 2 «Печатная и гибридная электроника»	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос Практические задания по темам лекций	25
Модуль 3. Лабораторный практикум «Перспективное научно-техническое оборудование»	УК-1, УК-2, ПК-1	Устный опрос Практические задания по темам лекций	25
Итоговая аттестация	УК-1, УК-2, ПК-1	Тестирование	25

Примеры заданий

Тестовые вопросы:

1. Чем фундаментально отличаются квантово-каскадных лазеров от традиционных межзонных полупроводниковых лазеров?

Варианты ответов:

- а) полупроводниковыми материалами
- б) диапазоном частот генерации
- в) конструкцией волновода
- г) типом электронных переходов (межподзональные переходы)

Правильный ответ – г)

2. Какие волноводы используются в квантово-каскадных лазерах терагерцового диапазона?

Варианты ответов:

- а) диэлектрический волновод
- б) плазмонный волновод
- в) двойной металлический волновод и поверхностно-плазмонный волновод
- г) двойной металлический волновод

Правильный ответ – в)

3. В каком диапазоне частот работают терагерцовые квантово-каскадные лазеры?

Варианты ответов:

- а) 1-10 ТГц
- б) 2-10 ТГц
- в) 1.5 – 6 ТГц
- г) 0.3-10 ТГц

Правильный ответ – в)

4. В какой из перечисленных областей применения не используются терагерцовые квантово-каскадные лазеры

Варианты ответов:

- а) агрокультура
- б) беспроводная связь на дальние расстояния
- в) визуализация
- г) исследование атмосферы и космоса

Правильный ответ – б)

5. Назовите три любых метода печатной электроники, кратко опишите принцип действия и укажите проектные нормы.

6. Опишите принцип действия анализатора дифференциальной электрической подвижности частиц.

7. В предложенном списке укажите масс-спектрометрические анализаторы, при помощи которых возможно достижение разрешающей способности выше 10000 для $m/z = 1000$

Вариант ответа	Правильный/Неправильный
Времяпролетный (TOF)	Да
Трёхмерная ионная ловушка (3D Ion Trap)	Нет
Линейная ионная ловушка (LIT)	Нет
Масс-спектрометр ИЦР (FT ICR)	Да
Квадрупольный масс-фильтр	Нет

8. В вакуумной камере необходимо поддерживать давление на не ниже $1\text{E}-6$ Торр при натекании, которое осуществляется из системы напуска с регулируемой величиной натекания и не превышает величину 10 Торр*(л/с). Какой стандарт соединений вакуумной арматуры и материал целесообразно использовать, если стенки вакуумной камеры необходимо прогревать до температуры не выше 50 градусов Цельсия?

Вариант ответа	Правильный/Неправильный
Con Flat (CF), трубопроводы полимерные	Нет
KF (QF), ISO, трубопроводы полимерные	Да
Con Flat (CF), трубопроводы металлические	Нет
KF (QF), ISO, трубопроводы металлические	Да

9. Какими преимуществами как аналитический метод обладает рамановская спектроскопия?

- 1. Скорость проведения анализа
- 2. Высокая точность и специфичность
- 3. Неразрушающие воздействие на исследуемые образцы
- 4. Все вышеперечисленные

10. Для чего используются SERS-подложки в современной рамановской спектроскопии?

- 1. Для усиления рамановского сигнала от образцов малой концентрации
- 2. Для юстировки рамановского спектрометра
- 3. Используются как составные части оптической схемы рамановского спектрометра
- 4. Не используются в современной рамановской спектроскопии

11. Нелинейный процесс какого порядка лежит в основе двухфотонной фотополимеризации?

- А) Первого
- Б) Второго
- В) Третьего
- Г) Четвёртого

12. Реакция полимеризации фоторезиста запускается после поглощения двух фотонов лазерного излучения одновременно. Процесс реализуется с помощью фемтосекундного лазера с импульсами длительностью 100 фс, частотой повторения 100 МГц. В фокусе микробъектива площадь светового пятна достигает значения 10^{-9} см². Характерная величина сечения двухфотонного поглощения фоторезиста порядка 10^2 ГМ (10^{-48} с*см⁴/ фотон), характерная концентрация поглощающих элементов 10^{19} см⁻³ и энергия фотонов порядка $2,5 \cdot 10^{-19}$ Дж (фотоны с длиной волны 800 нм = $2 \cdot 400$ нм). Какого порядка должно быть минимальное значение средней мощности лазера для инициации процесса?

- А) 0,1 мВт
- Б) 10 мВт
- В) 1 Вт
- Г) 10 Вт

4. Организационно-педагогические условия реализации программы

4.1. Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы

4.1.1. Список литературы

Основная литература

1. Recent development of surface-enhanced Raman scattering for biosensing. Journal of Nanobiotechnology. Volume 21, Article number: 149 (2023);
2. Surface-enhanced Raman spectroscopy. Nature Reviews Methods Primers. Volume 1, Article number: 87 (2021);
3. An Introduction to Raman Spectroscopy / Boris A. Kolesov. - Newcastle upon Tyne : Cambridge Scholars Publishing, 2022;
4. Advances in Surface-Enhanced Raman Spectroscopy for Therapeutic Drug Monitoring. MDPI Molecules. 30(1):15. 2024. DOI:10.3390/molecules30010015;
5. Review of the application and mechanism of surface enhanced raman spectroscopy (sers) as biosensor for the study of biological and chemical analyzes. JCAMECH Vol. 51, No. 2, December 2020, pp. 501-509. DOI:10.22059/jcamech.2020.307294.540;
6. Глава коллективной монографии "Терагерцовая фотоника", том 2, стр. 464-521, 2024 г., Р.А. Хабибуллин, М.А. Середина, Р.А. Сурис, "Применение квантово-каскадных лазеров терагерцового диапазона";
7. «Моделирование зонных диаграмм гетероструктур на основе полупроводников АЗВ5» [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Хабибуллин Р.А., Пономарев Д.С., Глинский И.А. и др. — М., Московский технологический университет (МИРЭА), 2016 — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM);
8. «Основы молекулярно-лучевой эпитаксии и методы исследования свойств тонких пленок» [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Пономарев Д.С., Хабибуллин Р.А., Глинский И.А. и др. — М., Московский технологический университет (МИРЭА), 2016 — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM);
9. Hinds W.C. Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles. Aerosol technology. — 2nd ed. — Hoboken, NJ: Wiley, 1999;

10. Liu Y., Qin G., Yin L., Jian X., Li X. A review of inorganic particles synthesized through electrical discharge in different dielectric media: from devices, structures and components to applications // *Frontiers of Materials Science*. — 2024. — Vol. 18. — A review of inorganic particles synthesized through electrical discharge in different dielectric media. — No. 2. — P. 240679;
11. Lizunova A.A., Efimov A.A., Arsenov P.V., Ivanov V.V. Influence of the sintering temperature on morphology and particle size of silver synthesized by spark discharge // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. — 2018. — T. 307. — C. 012081;
12. Khabarov K., Nouraldeen M., Tikhonov S., Lizunova A., Efimov A., Ivanov V. Modification of Aerosol Gold Nanoparticles by Nanosecond Pulsed-Periodic Laser Radiation // *Nanomaterials*. — 2021. — Vol. 11. — No. 10. — P. 2701;
13. Климов, В. В. Наноплазмоника. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009;
14. Борен, К., Хафмен, Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986;
15. Subekin A.Yu., Pylaev T.E., Kukushkin V.I., Rudakova E.V., Khlebtsov B.N. Investigation of the Optical Properties of Assembled Silver and Gold Nanoparticles for Creating SERS Sensors // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences, Physics*. — 2024. — T. 88. — № 2. — C. 178-185;
16. Huang Q., Zhu Y. Printing Conductive Nanomaterials for Flexible and Stretchable Electronics: A Review of Materials, Processes, and Applications // *Advanced Materials Technologies*. — 2019. — Vol. 4. — Printing Conductive Nanomaterials for Flexible and Stretchable Electronics. — No. 5. — P. 1800546;
17. Efimov A.A., Potapov G.N., Nisan A.V., Ivanov V.V. Controlled focusing of silver nanoparticles beam to form the microstructures on substrates // *Results in Physics*. — 2017. — Vol. 7. — P. 440-443;
18. Khabarov K., Korniyushin D., Masnaviev B., Tuzhilin D., Saprykin D., Efimov A., Ivanov V. The Influence of Laser Sintering Modes on the Conductivity and Microstructure of Silver Nanoparticle Arrays Formed by Dry Aerosol Printing // *Applied Sciences*. — 2019. — Vol. 10. — No. 1. — P. 246.
19. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. М.: Высшая школа, 1990.
- 20 А Я. Техника высокого вакуума. М.: Мир, 1975.
21. Сысоев А.А., Чупахин М.С. Введение в масс-спектрометрию. М., Атомиздат, 1977.
22. John F. O'Hanlon (Author), Timothy A. Gessert (Author). *A Users Guide to Vacuum Technology* 4th Edition. Wiley, Oct 31, 2023, 576 pages, ISBN-10 : 1394174136
23. William O. Nichols. *Mass Spectrometry: Theory and Applications*. Nova Science Pub Inc. July 6, 2021, 213 pages, ISBN-10 : 1536197904
24. Musorin A.I., Shorokhov A.S., Chezhegov A.A., et al.//*Physics –Uspekhi*. 2023.V66. №12.P.1211 – 1223
25. Bessonov, V. O. and Rozanov, A. D. and Fedyanin, A. A.// *JETP Lett*. 2024 V119, P257
26. Mu X., Wu S., Cheng L. and Fu H.Y.// *Appl. Sci*. 2020, V10, P1538
27. Cheng L., Mao S., Li Z., et al.// *Micromachines* 2020 V.11. P.666.
28. Matital R.P., Kolymagin D.A., Pisarenko A.V., et al.// *Phys. Wave Phenom*. 2023. V.31. №4. P.217-222.
29. Demenev, A.A., Kovalchuk, A.V., Polushkin, E.A. et al. // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*2021 V. 85, P.159–164 (2021).
30. Vitukhnovsky, A.G., Zvagelsky, R.D., Kolymagin, D.A. et al. // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 2020 V.84, P.760–765
31. Kolymagin D.A., Chubich D.A., Shcherbakov. D.A., et al.// *Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys.* 2023. V87. №12. P.1779-1784.

32. Rilond 2022 Matital R. P., Kolymagin D. A., Chubich D. A., et al.// J. SCI-ADV. MATER. DEV. 2022. V.7. №2. P.100413.
33. T. E. e. al., «Neural nano-optics for high-quality thin lens imaging,» Nature communications, т. 12, № 1, pp. 1-7, 2021.
34. V. K. P. F. T. Q. J. B. E. B. C. & W. M. Hahn, «Rapid assembly of small materials building blocks (voxels) into large functional 3D metamaterials,» Advanced Functional Materials, т. 30, № 26, p. 1907795, 2020.

Дополнительная литература

1. Raman Spectroscopy
<https://mgcub.ac.in/pdf/material/2020042711020020c0cc2b91.pdf>
2. Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектроскопия) Рамановская спектроскопия
<https://100ballnik.com/wp-content/uploads/2020/06/present-biologia910-sirius2020-5.pdf>
3. Raman Spectroscopy PowerPoint PPT Presentation
https://www.powershow.com/view/de936-ZGYyN/Raman_Spectroscopy_powerpoint_ppt_presentation
4. Raman spectroscopy
<http://www.horizoncruisesinc.com/beats.php?wilsonJefriyanto1/raman-spectroscopy-58655569#1>
5. Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS)
https://www.powershow.com/viewfl/1abaf6-ZDc1Z/Surface_Enhanced_Raman_Spectroscopy_SERS_powerpoint_ppt_presentation
6. Raman Spectroscopy
<https://pdfs.semanticscholar.org/4afa/debd5919f2831e9c2aac7569db748b5847c2.pdf>
7. Vitiello, M. S., & Tredicucci, A. (2021). Physics and technology of Terahertz quantum cascade lasers. *Advances in Physics: X*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23746149.2021.1893809>
8. Scalari, G., Faist, J. 30 years of the quantum cascade laser. *Commun Phys* 7, 394 (2024).
<https://doi.org/10.1038/s42005-024-01888-z>
9. Gao, Liang, Feng, Chao and Zhao, Xian. "Recent developments in terahertz quantum cascade lasers for practical applications" *Nanotechnology Reviews*, vol. 12, no. 1, 2023, pp. 20230115. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2023-0115>
10. А.Т. Лебедев, К.А. Артеменко, Т.Ю. Самгина. Основы масс-спектрометрии белков и пептидов. М.: Техносфера, 2018г.
11. T. M. C. Saleh B. E. A., Fundamentals of photonics, New York: Wiley, 1991.
12. A. F. e. al., «Aberration-free ultrathin flat lenses and axicons at telecom wavelengths based on plasmonic metasurfaces,» Nano letters, т. 12, № 9, pp. 4932-4936, 2012.
13. I. K. e. al., «Realization of three-dimensional guiding of photons in photonic crystals,» Nature Photonics, т. 7, № 2, pp. 133-137, 2013.
14. R. S. A. G. F. Braun P. V., «Introducing defects in 3D photonic crystals: state of the art,» Advanced Materials, т. 18, № 20, pp. 2665-2678, 2006.
15. M. S. S. S. Lodahl P., «Interfacing single photons and single quantum dots with photonic nanostructures,» Reviews of Modern Physics, т. 87, № 2, p. 347, 2015.
16. I. K. e. al., «Realization of three-dimensional guiding of photons in photonic crystals,» Nature Photonics, т. 7, № 2, pp. 133-137, 2013.
17. K. P. R. R. P. J. Chou S. Y., «Imprint lithography with 25-nanometer resolution,» Science, т. 272, № 5258, p. 85, 1996.
18. G. Son, S. Han, J. Park, K. Kwon и K. Yu, «High-efficiency broadband light coupling between optical fibers and photonic integrated circuits,» Nanophotonics, т. 7, № 12, pp. 1845-1864, 2018.
19. N. Lindenmann, S. Dottermusch, M. L. Goedecke, T. Hoose, M. R. Billah, T. P. Onanuga, A. Hofmann, W. Freude и C. Koos, «Connecting Silicon Photonic Circuits to Multicore

Fibers by Photonic Wire Bonding,» *Journal of lightwave Technology*, т. 33, № 4, pp. 755-760, 2014.

20. M. Schumann, T. Bückmann, N. Gruhler, M. Wegener и W. Pernice, «Hybrid 2D–3D optical devices for integrated optics by direct laser writing,» *Light: Science & Applications*, т. 3, p. e175, 2014.

21. A. W. Schell, J. Kaschke, J. Fischer, R. Henze, J. Wolters, M. Wegener и O. Benson, «Three-dimensional quantum photonic elements based on single nitrogen vacancy-centres in laser-written microstructures,» *Scientific Reports*, т. 3, p. 1577, 2013.

22. A. Toma, S. Tuccio, M. Prato, F. De Donato, A. Perucchi, P. Di Pietro, S. Marras, C. Liberale, R. Proietti Zaccaria, F. De Angelis, L. Manna, S. Lupi, E. Di Fabrizio и L. Razzari, «Squeezing Terahertz Light into Nanovolumes: Nanoantenna Enhanced Terahertz Spectroscopy (NETS) of Semiconductor Quantum Dots,» *Nano letters*, т. 15, № 1, p. 386–391, 2015.

23. A. G. Milekhin, S. A. Kuznetsov, L. L. Sveshnikova, T. A. Duda, I. A. Milekhin, E. E. Rodyakina, A. V. Latyshev, V. M. Dzhanan и D. R. T. Zahn, «Surface-Enhanced Infrared Absorption by Optical Phonons in Nanocrystal Monolayers on Au Nanoantenna Arrays,» *The Journal of Physical Chemistry C*, т. 121, № 10, pp. 5779-5786, 2017.

24. A. N. Shatokhin, A. O. Kolesnikov, P. V. Sasorov, E. A. Vishnyakov и E. N. Ragozin, «High-resolution stigmatic spectrograph for a wavelength range of 12.5–30 nm,» *Optics Express*, т. 26, № 15, pp. 19009-19019, 2018.

25. S. Wang, Y. Yu, H. Liu, K. T. P. Lim, B. M. Srinivasan, Y. W. Zhang и J. K. W. Yang, «Sub-10-nm suspended nano-web formation by direct laser writing,» *Nano Futures*, т. 2, № 2, p. 025006, 2018.

26. J. Fischer и M. Wegener, «Three-dimensional direct laser writing inspired by stimulated-emission-depletion microscopy,» *Optical Materials Express*, т. 1, № 4, pp. 614-624, 2011

27. T. Tanaka, H.-. B. Sun и S. Kawata, «Rapid sub-diffraction-limit laser micro/nanoprocessing in a threshold material system,» *Applied Physics Letters*, т. 80, № 2, pp. 312-314, 2002.

28. J. Fischer и M. Wegener, «Three-dimensional optical laser lithography beyond the diffraction limit,» *Laser and Photonics Reviews*, т. 7, № 1, pp. 22-44, 2013.

29. H. J. M. Schwenger W. J., «High-speed acousto-optic shutter with no optical frequency shift,» *Review of Scientific Instruments*, т. 83, № 8, p. 083110, 2012.

30. S. W. Hell, «Strategy for far-field optical imaging and writing without diffraction limit,» *Physics Letters A*, т. 326, № 1-2, pp. 140-145, 2004.

31. S. W. Hell, «Nanoscopy with Focused Light (Nobel Lecture),» *Angewandte Chemie International Edition*, т. 54, № 28, pp. 8054-8066, 2015.

32. D. Wildanger, B. R. Patton, H. Schill, L. Marseglia, J. P. Hadden, S. Knauer, A. Schönle, J. G. Rarity, J. L. O'Brien, S. W. Hell и J. M. Smith, «Solid Immersion Facilitates Fluorescence Microscopy with Nanometer Resolution and Sub-Ångström Emitter Localization,» *Advanced Materials*, т. 24, № 44, pp. OP309-OP313, 2012.

33. J. Schneider, J. Zahn, M. Maglione, S. J. Sigrist, J. Marquard, J. Chojnacki, H.-. G. Kräusslich, S. . J. Sahl, J. Engelhardt и S. W. Hell, «Ultrafast, temporally stochastic STED nanoscopy of millisecond dynamics,» *Nature Methods*, т. 12, p. 827–830, 2015.

34. J. Fischer, J. B. Mueller, A. S. Quick, J. Kaschke, C. Barner-Kowollik и M. Wegener, «Exploring the Mechanisms in STED-Enhanced Direct Laser Writing,» *Advanced Optical Materials*, т. 3, № 2, pp. 221-232, 2015.

35. J. Fischer, G. von Freymann и M. Wegener, «The Materials Challenge in Diffraction-Unlimited Direct-Laser-Writing Optical Lithography,» *Advanced Materials*, т. 22, № 32, pp. 3578-3582, 2010.

36. T. . J. A. Wolf, J. Fischer, M. Wegener и A.-. N. Unterreiner, «Pump–probe spectroscopy on photoinitiators for stimulated-emission-depletion optical lithography,» *Optics Letters*, т. 36, № 16, pp. 3188-3190, 2011.

37. B. Harke, W. Dallari, G. Grancini, D. Fazzi, F. Brandi, A. Petrozza и A. Diaspro, «Polymerization Inhibition by Triplet State Absorption for Nanoscale Lithography,» *Advanced Materials*, т. 25, № 6, pp. 904-909, 2013.
38. L. Li, R. R. Gattass, E. Gershgoren, H. Hwang и J. T. Fourkas, «Achieving $\lambda/20$ Resolution by One-Color Initiation and Deactivation of Polymerization,» *SCIENCE*, т. 324, № 5929, pp. 910-913, 2009.
39. M. P. Stocker, L. Li, R. R. Gattass и J. T. Fourkas, «Multiphoton photoresists giving nanoscale resolution that is inversely dependent on exposure time,» *Nature Chemistry*, т. 3, p. 223–227, 2011.
40. T. F. Scott, B. A. Kowalski, A. C. Sullivan, C. N. Bowman и R. R. McLeod, «Two-Color Single-Photon Photoinitiation and Photoinhibition for Subdiffraction Photolithography,» *SCIENCE*, т. 324, № 5929, pp. 913-917, 2009.
41. Z. Gan, Y. Cao, R. A. Evans и M. Gu, «Three-dimensional deep sub-diffraction optical beam lithography with 9 nm feature size,» *Nature Communications*, т. 4, p. 2061, 2013.
42. H.-. B. Sun и S. Kawata, «Two-Photon Photopolymerization and 3D Lithographic Microfabrication,» в *Advances in Polymer Science*, т. 170, Berlin, Heidelberg, Springer, 2004, pp. 169-273.
43. M. Gu, *Advanced optical imaging theory*, Springer, 2000.
44. T. Baldacchini, *Three-Dimensional Microfabrication Using Two-Photon Polymerization*, William Andrew, 2015.
45. T. A. Klar, R. Wollhofen и J. Jacak, «Sub-Abbe resolution: from STED microscopy to STED lithography,» *Physica Scripta*, т. 2014, № T162, p. 014049, 2014.
46. S. Thiele, T. Gissibl, H. Giessen и A. M. Herkommer, «3D-printed eagle eye: Compound microlens system for foveated imaging,» *Science advances*, т. 3, № 2, p. e1602655, 2017.
47. H. Gehring, A. Eich, C. Schuck и W. H. Pernice, «Broadband out-of-plane coupling at visible wavelengths,» *Optics letters*, т. 44, № 20, pp. 5089-5092, 2019.
48. K. Weber, M. L. Nesterov, T. Weiss, M. Scherer, M. Hentschel, J. Vogt, C. Huck, W. Li, M. Dressel, H. Giessen и F. Neubrech, «Wavelength Scaling in Antenna-Enhanced Infrared Spectroscopy: Toward the Far-IR and THz Region,» *ACS Photonics*, т. 4, № 1, p. 45–51, 2017.
49. M. Lyubomirskiy, F. Koch, K. A. Abrashitova, V. O. Bessonov, N. Kokareva, A. Petrov, F. Seiboth, F. Wittwer, M. Kahnt, M. Seyrich, A. A. Fedyanin, C. David и C. G. Schroer, «Ptychographic characterisation of polymer compound refractive lenses manufactured by additive technology,» *Optics Express*, т. 27, № 6, pp. 8639-8650, 2019.
50. R. Wollhofen, J. Katzmann, C. Hrelescu, J. Jacak и T. . A. Klar, «120 nm resolution and 55 nm structure size in STED-lithography,» *Optics Express*, т. 21, № 9, pp. 10831-10840, 2013.
51. A. Zhao Y., «Tailoring the dispersion of plasmonic nanorods to realize broadband optical meta-waveplates,» *Nano letters*, т. 13, № 3, pp. 1086-1091, 2013.
52. Y. N. e. al, «Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction,» *Science*, т. 334, № 6054, pp. 333-337, 2011.
53. H. L. e. al., «Three-dimensional optical holography using a plasmonic metasurface,» *Nature communications*, т. 4, 2013.
54. L. J. e. al., «Giant nonlinear response from plasmonic metasurfaces coupled to intersubband transitions,» *Nature*, т. 511, № 7507, pp. 65-69, 2014.
55. D. J., «Unit magnification optical system without Seidel aberrations,» *Josa*, т. 49, № 7, pp. 713-716, 1959.

4.1.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

www.mipt.ru

https://old.mipt.ru/upload/medialibrary/63d/bookmanual_compressed_1.pdf

<https://rutube.ru/video/dbf9df025bf49af1207fd9286015b581>

4.2. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по программе

Таблица 8

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Система дистанционного обучения	Лекция	Проектор, компьютер для преподавателя
Аудитория	Практическая работа	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор
-	Самостоятельная работа	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет
Аудитория	Итоговая аттестация	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор

5. Организация образовательного процесса

В таблице 9 описаны образовательные технологии.


Таблица 9

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	Лекция	Ознакомление с теоретическими основами анализа данных	Актуализация и систематизация теоретических знаний по дисциплине
2	Практическая работа	Выполнение заданий	Осознание связей между теорией и практикой, повышение степени понимания материала
3	Самостоятельная работа	Самостоятельное изучение дополнительных материалов и литературы.	Получение дополнительных теоретических знаний
4	Итоговая аттестация	Тестирование	Контроль освоения программы


6. Составители программы

- Батурин Андрей Сергеевич, к. ф.-м.н., директор Физтех-школы Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики,
- Иванов Виктор Владимирович, д. ф.-м.н., член корреспондент РАН по специальности «Нанотехнологии», директор института квантовых технологий,
- Хабибуллин Рустам Анварович, к. ф.-м.н., доцент по специальности ВАК, заведующий лабораторией квантово-каскадных лазеров,
- Попов Игорь Алексеевич, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией молекулярной медицинской диагностики,
- Колымагин Данила Анатольевич, к. ф.-м.н., главный конструктор конструкторское бюро оптической литографии,
- Бровко Артём Михайлович, PhD (экв. к.т.н.), ведущий инженер лаборатории квантово-каскадных лазеров,
- Надточенко Виктор Андреевич, д.х.н., заведующий лабораторией фемтосекундной лазерной спектроскопии.

Согласовано,
Эксперт ОСОП


Ж. И. Зубцова

Согласовано
Директор Физтех-школы Электроники,
Фотоники и Молекулярной Физики


Батурин А.С.

Пояснительная записка
к разработке и реализации программы повышения квалификации
программы
«Оборудование и технологии для перспективной электроники»

№	Информация о программе и организаторе курса	Данные
1	Планируемое название дополнительной профессиональной или общеобразовательной программы (далее - программы)	Оборудование и технологии для перспективной электроники
2	Вид программы	ДО/ПК/ПП
3	Выдаваемый документ	Сертификат/удостоверение
4	Форма обучения	Очно-заочно
5	Режим обучения	Синхронные/асинхронные/смешанные занятия
6	Объем, в ак. ч.	72
7	Подразделение	Подразделение МФТИ Кафедра нанометрологии и наноматериалов ФЭФМ МФТИ
8	Контактное лицо	Батурин Андрей Сергеевич Директор Физтех-школы baturin.as@mipt.ru 8-903-623-55-91
9	Цель и задачи программы	<p>По итогам освоения программы, обучающиеся будут знать основные принципы формирования структур методом сухой аэрозольной печати, овладеют современными методами исследования и контроля морфологии наночастиц в составе аэрозолей, а также научиться планировать эксперимент для исследования печатной структуры. Слушатели познакомятся с физикой межподзонных электронных переходов и низкоразмерных структур с множественными квантовыми ямами, принципом работы квантово-каскадных лазеров (ККЛ), технологией изготовления ККЛ, методами управления спектральными характеристиками и формой лазерного пучка у ККЛ.</p> <p>Программа направлена на обучение слушателей направленному выбору метода исследования для реализации в рамках конкретной технологической цепочки или процедуры, создания ТЗ на его разработку и осуществлению приемочных процедур согласно разработанному ТЗ.</p> <p>Обучающиеся будут знать физические основы явления комбинационного рассеяния света, основные принципы работы современных рамановских спектрометров, варианты технологической реализации рамановских спектрометров, основные направления применения технологии рамановской спектроскопии. Фундаментальные знания о современных методах нелинейно-оптической спектроскопии-микроскопии в исследовании новых материалов и биологических систем. Слушатели будут изучать элементы нелинейной оптики и применение</p>

		<p>сверхкоротких лазерных импульсов в исследовании сверхбыстрых химико-физических процессов, химическом картировании сложных по структуре и составу микрообъектов и биоимиджинга. Углубление знаний по оптике, а также формирования представления об актуальных направлениях фотоники.</p>
10	Краткое содержание программы	<ul style="list-style-type: none"> – Перечислить модули или дать общее краткое описание. – Программа содержит следующие разделы: – Основы физики аэрозолей; – Получение наночастиц металлов и полупроводников заданной морфологии методом искрового газового разряда с последующей лазерной оптимизацией; – Современные методы контроля аэрозолей; – Формирование элементов микроэлектроники на основе наночастиц металлов и полупроводников методом сухой аэрозольной печати. – Физика и технология источников терагерцового излучения на основе квантово-каскадных лазеров – -Общий принципы использования методов исследования в технологических процессах; – Обзор методов исследования; – Применение методов исследования в технологических процессах; – Особенности развития технологических процессов путем введения в них методов исследования – Явление комбинационного рассеяния света; – Основные конструкционные схемы современных рамановских спектрометров; – Исследование твердых и жидких веществ с помощью рамановских спектрометров; – Обработка и интерпретация рамановских спектров. <p>Генерация сверхкоротких лазерных импульсов – синхронизация мод.</p> <p>Принципы нелинейно-оптической спектроскопии: практический подход;</p> <ul style="list-style-type: none"> – Оператор плотности. – Теория возмущений. – Диаграммы Фейнмана в нелинейной оптике – Нелинейно-оптический отклик вещества. – Время-разрешенные методы исследования быстропротекающих процессов в веществе. <p>Аналитические методы нелинейно-оптической спектроскопии: генерация гармоник, многофотонная люминесценция, когерентная спектроскопия комбинационного рассеяния.</p> <p>Биоимиджинг и химическое картирование, связь морфологии и состава образца.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Изучение физических основ метода прямого лазерного письма (DirectLaserWriting – DLW-фотолитография), основанном на двухфотонном

		поглощении фемтосекундного лазерного излучения; и микроструктурам, созданным данным методом.
11	Целевая аудитория программы	Программа предназначена для студентов магистратуры, аспирантов и специалистов в области физики конденсированного состояния и физической электроники
12	Продолжительность	3 недели
13	Сроки (период) обучения	22 сентября - 10 октября 2025 г.
14	Количество слушателей	
15	Источник финансирования	ФЛС
16	Стоимость обучения, р.	XXXX
17	Условие запуска курса	Пример: Запись необходимого количества слушателей (указать количество) / плановое обучение по проекту..., по требованиям ...
18	Оборудование	Персональные компьютеры/ноутбуки, доступ в Интернет, принтеры, проектор, программное обеспечение Microsoft Visual Studio 2010 или
19	Состав преподавателей	<p>ФИО, должность, регалии, другая информация:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Батурин Андрей Сергеевич, главный конструктор (Лаборатория эмиссионной электроники), директор (Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики), к.ф.-м.н., baturin.as@mipt.ru, +7(903)623-55-91; 2) Борисов Владислав Игоревич, ведущий инженер технолог (Центр испытаний функциональных материалов), borisov.vi@mipt.ru, +7(963)606-68-52; 3) Долгов Виктор Александрович, инженер Центр испытаний функциональных материалов, dolgov.va@mipt.ru, +7(916)421-52-84; 4) Хабибуллин Рустам Анварович, старший научный сотрудник-заведующий лабораторией (Лаборатория квантово-каскадных лазеров), главный конструктор (Лаборатория квантово-каскадных лазеров), к. ф.-м.н, доцент по специальности ВАК, khabibullin.ra@mipt.ru, +7(910)463-79-30; 5) Попов Игорь Алексеевич, ведущий научный сотрудник-заведующий лабораторией (Лаборатория молекулярной медицинской диагностики), доцент (Кафедра физической химии), главный конструктор (Лаборатория молекулярной медицинской диагностики), доцент, к.ф.-м.н. popov.ia@mipt.ru, +7(926)526-35-37; 6) Бровко Артём Михайлович, ведущий инженер (Лаборатория квантово-каскадных лазеров), PhD (экв. к.т.н.), brovko.am@mipt.ru, +7(911)902-06-06 7) Колымагин Данила Анатольевич, главный конструктор (Конструкторское бюро оптической литографии), к. ф.-м.н., kolymagin.da@mipt.ru, +7(929)599-93-34

		8) Надточенко Виктор Андреевич, МФТИ, заведующий лабораторией фемтосекундной лазерной спектроскопии, nadtochenko.va@mipt.ru , +7(915)226-93-47
20	Теги по программе	#микроэлектроника, #печатнаяэлектроника, #наноструктуры, #терагерцовоеизлучение, #рамановскаяспектроскопия, #фотолитография

Директор Физтех-школы
Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики

 А.С. Батури́н

Приложение 3

КВАЛИФИКАЦИЯ И ОПЫТ ПРИВЛЕКАЕМОГО ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ

«ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Ф.И.О. лектора, год рождения	Информация об образовании, полученном в соответствии с образовательными программами высшего профессионального образования, дополнительного профессионального образования (в т.ч. о наличии званий и ученых степеней) и т.д.	Место работы, занимаемая должность в настоящий момент, общий трудовой стаж	Опыт преподавания и консультирования по предмету, согласующемуся с направлением программы (перечислить), педагогический стаж	Наличие опыта практической работы в отечественных и зарубежных организациях в сфере деятельности, совпадающей с направлением преподавания
Батурин Андрей Сергеевич, 1975	К. ф.-м.н.	МФТИ, Директор ФЭФМ, стаж 25 лет	1) Курс «Электроника», чтение лекций (стаж 10 лет), проведение лаб. работ (17 лет) 2) Курс «Метрология в нанотехнологиях», чтение курса лекций (3 года)	МФТИ, ВНИИОФИ, 23 года
Иванов Виктор Владимирович, 1957	Д. ф.-м.н., член корреспондент РАН по специальности «Нанотехнологии»	МФТИ, Директор института квантовых технологий, стаж 42 года		с 2002 года — занимался научно-организационной работой в качестве заместителя директора Института электрофизики УрО РАН по научным вопросам; с 2008 года

Приложение 3

					— директор Сертификационного центра ГК «Роснано»; с 2010 по 2015 год — генеральный директор Метрологического центра в группе РОСНАНО; с 2016 по 2023 год — директор Физтех- школы электроники, фотоники и молекулярной физики
Борисов Владислав Игоревич, 1997	-	МФТИ, ведущий инженер- технолог, стаж 7 лет	-	-	Ведущий инженер-технолог центра испытаний функциональных материалов (2022-2025)
Долгов Виктор Александрович, 2002	-	МФТИ, инженер, стаж 3 года	-	-	инженер центра испытаний функциональных материалов (2023-2025)
Хабибуллин Рустам Анварович, 1986	К. ф.-м.н., доцент по специальности ВАК	МФТИ, заведующий лабораторией квантово- каскадных лазеров, стаж 17 лет	Курс «Физика поверхности полупроводников», чтение лекций (стаж 11 лет)	Курс «Физика поверхности полупроводников», чтение лекций (стаж 11 лет)	Ведущий научный сотрудник ИСВЧПЭ РАН
Попов Игорь Алексеевич, 1981	К.ф.-м.н.	МФТИ, доцент, заведующий лабораторией молекулярной медицинской диагностики, стаж 21 год	1) Курс «Физические методы исследования», лекции, семинары, лабораторные работы – 20 лет; 2) Общая физика, лаб. работы – 2 года	1) Курс «Физические методы исследования», лекции, семинары, лабораторные работы – 20 лет; 2) Общая физика, лаб. работы – 2 года	С.н.с. ИБХФ РАН, с.н.с. ФИЦ ХФ РАН, в.н.с. рук. лаб. МФТИ
Кольмагин Данила Анатольевич, 1994	К. ф.-м.н.	МФТИ, главный конструктор конструкторского бюро	1) Проведение лабораторного практикума по курсам	1) Проведение лабораторного практикума по курсам	Младший научный сотрудник лаборатории 3D-печати функциональных

Приложение 3

		оптической литографии, стаж 10 лет	общей физики «Электричество и магнетизм» и «Оптика» (3 года) 2) Курс «Физические основы двухфотонной фотолитографии (DLW- фотолитографии)» читаемый в рамках программы «Ментор» в МФТИ (3 года)	микроstruktur МФТИ (2017- 2022) Ведущий инженер-технолог КБ Оптической литографии МФТИ (2022-2024) Главный конструктор ОКР «Разработка однолучевого оптического литографа с превышением дифракционного предела» (шифр «ОЛ- однолуч») (2024-2025)
Бровко Артём Михайлович, 1993	PhD (экв. к.т.н.)	МФТИ, ведущий инженер лаборатории квантово- каскадных лазеров, ст. науч. сотр., зав. лаб. Рамановской спектроскопии, стаж 8 лет	-	Главный конструктор ОКР «Рам-ИК» (2023-2024)
Надточенко Виктор Андреевич, 1953	Д.х.н.	МФТИ, заведующий лабораторией фемтосекундной лазерной спектроскопии, стаж	-	Главный научный сотрудник ФИЦ ХФ РАН

Директор Физтех-школы
Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики


А.С. Батулин

Аннотация на программу дополнительного профессионального образования, представляемую для рассмотрения на УМС
 _____ 2025 для утверждения к запуску в 2025-2026 учебном году

№	Название программы	Объем, ч	Организаторы	Форма обучения	ФГОС, ОКВЭД	Краткая аннотация
	Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Оборудование и технологии для перспективной электроники»	72	<p>Наименование подразделения Кафедра нанометрологии и наноматериалов ФЭФМ МФТИ</p> <p>Ответственное за организацию обучения лицо: Батурин Андрей Сергеевич Тел. 89036235591 E-mail baturin.as@mipt.ru</p> <p>Преподаватели: 1. Батурин А.С. 2. Борисов В.И., 3. Долгов В.А., 4. Хабибуллин Р.А. 5. Попов И.А. 6. Колымагин Д.А. 7. Бровко А.М. 8. Надточенко В.А.</p>	Очно-заочная		<p>Целью реализации программы является совершенствование компетенций слушателей в области оборудования и технологий для перспективной электроники, а также научных кадров для разработок научно-технологических решений направленных на создание научных приборов мирового уровня. Проведение исследований (разработок) в области печатной электроники в целях получения результатов мирового уровня; в области физики и технологии создания источников терагерцового излучения на основе квантово-каскадных лазеров. Исследования и разработки в области аналитического приборостроения для исследования молекулярных и супрамолекулярных систем; исследования и прикладные разработки в области рамановской спектроскопии в целях получения результатов мирового уровня. Изучение физических основ метода прямого лазерного письма (DirectLaserWriting – DLW-фотолитография), основанном на двухфотонном поглощении фемтосекундного лазерного излучения; и микроструктурам, созданным данным методом. Дать слушателям фундаментальные знания о современных методах нелинейно-оптической спектроскопии-микроскопии в исследовании новых материалов и биологических систем. Слушатели будут изучать элементы нелинейной оптики и применение сверхкоротких лазерных импульсов в исследовании сверхбыстрых химико-физических процессов, химическом картировании сложных по структуре и составу микрообъектов и биоимиджинга.</p> <p>В результате освоения программы слушатель должен знать:</p>

Приложение 1

					<ul style="list-style-type: none"> - Основы синтеза наночастиц методом искрового газового разряда, взаимодействия наночастиц с излучением, основы формирования структур методами печатной электроники и современные методы исследования аэрозолей; - Физику межподзонных электронных переходов и низкоразмерных структур с множественными квантовыми ямами, принцип работы квантово-каскадных лазеров (ККЛ), технологию изготовления ККЛ, методы управления спектральными характеристиками и формой лазерного пучка у ККЛ; уметь: поставить задачу и планировать эксперимент по исследованию ККЛ; - Физические основы явления комбинационного рассеяния света, основные принципы работы современных рамановских спектрометров, варианты технологической реализации рамановских спектрометров, основные направления применения технологии рамановской спектроскопии; - Физические принципы генерации сверхкоротких лазерных импульсов – синхронизации мод. Принципы нелинейно-оптической спектроскопии: практический подход; <ul style="list-style-type: none"> • Оператор плотности. • Теория возмущений. • Диаграммы Фейнмана в нелинейной оптике • Нелинейно-оптический отклик вещества. • Время-разрешенные методы исследования быстпропротекающих процессов в веществе. <p>Аналитические методы нелинейно-оптической спектроскопии: генерация гармоник, многофотонная люминесценция, когерентная спектроскопия комбинационного рассеяния.</p> <p>Биоимиджинг и химическое картирование, связь морфологии и состава образца;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Углубленные знания по оптике, а также формирования представления об актуальных направлениях фотоники. <p>уметь:</p>
--	--	--	--	--	--

Приложение 1

					<ul style="list-style-type: none"> - поставить задачу и планировать эксперимент для исследования печатной структуры, определять и формулировать круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения; - определять и формулировать круг задач в области в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения; - определять и формулировать круг задач в области в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения; решать практические задачи, направленные на выбор оптимальной стратегии исследования; - настраивать и подготавливать к измерениям рамановские спектрометры, проводить измерения на портативных и микроскопных рамановских спектрометрах, использовать в научных и прикладных целях получаемые рамановские спектры различных веществ. - курс направлен на развитие экспериментальных навыков и практических знаний. <p>Программа предназначена для специалистов в области электроники, имеющих высшее или среднее профессиональное образование, а также лиц, получающих высшее или среднее профессиональное образование.</p> <p>Программа предусматривает изучение следующих тем:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Основы физики аэрозолей; - Получение наночастиц металлов и полупроводников заданной морфологии методом искрового газового разряда с последующей лазерной оптимизацией; - Современные методы контроля аэрозолей; - Формирование элементов микроэлектроники на основе наночастиц металлов и полупроводников методом сухой аэрозольной печати; - Физика и технология источников терагерцового излучения на основе квантово-каскадных лазеров; - Измерение физических величин;
--	--	--	--	--	--

Приложение 1

						<ul style="list-style-type: none"> - Основы методов проектирования оборудования для физических измерений; - Явление комбинационного рассеяния света; - Основные конструктивные схемы современных рамановских спектрометров; - Исследование твердых и жидких веществ с помощью рамановских спектрометров; - Обработка и интерпретация рамановских спектров; - Спектроскопия и микроскопия с использованием многофотонных процессов, - Спектроскопия и микроскопия когерентного комбинационного рассеяния света. - Оптика пучков, физика двифотонного поглощения, улучшение разрешения с помощью методики гашения возбуждения вынужденным излучением (Stimulated Emission Depletion – STED), элементы плазмоники, микрооптика, рентгеновская оптика и физика волноводов. <p>Форма проведения итоговой аттестации: тестирование (зачет).</p>
--	--	--	--	--	--	---

Эксперт ОСОП

Ж. И. Зубцова



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА № 11

заседания учебно-методического совета от 29 августа 2025 года.

ПОВЕСТКА:

Рассмотрение дополнительных общеобразовательных и профессиональных программ.

Проректор по учебной работе А. А. Воронов.

СЛУШАЛИ: заместителя директора (Центр дополнительного, дополнительного профессионального и онлайн-образования "Пуск") А. И. Рыбакову о представлении дополнительных общеобразовательных и профессиональных программ (Центр «Пуск», МФТИ).

ПОСТАНОВИЛИ:

Рекомендовать к утверждению в установленном порядке дополнительную профессиональную программу повышения квалификации
«Оборудование и технологии для перспективной электроники».

Решение принято единогласно.

Форма проведения заседания: заочная.

Председатель УМС МФТИ

Ученый секретарь УМС МФТИ



А.А. Воронов

М.В. Березникова