



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДЕНА

Решением ученого совета СПбГТИ(ТУ)
(протокол № 05 от 30.05.2023)

**ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
«КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ
ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМ
МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОГО НАСЛАИВАНИЯ»**

Санкт-Петербург
2023

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

1.1. Общие сведения по дополнительной профессиональной программе повышения квалификации (далее – программа) «Квантово-химические подходы к оптимизации процессов синтеза низкоразмерных систем методом молекулярного наслаивания»:

Предшествующий уровень образования слушателя	–	среднее профессиональное, высшее образование
Срок освоения (продолжительность обучения)	–	18 часов
Форма обучения	–	очная
Форма итоговой аттестации	–	зачет

1.2. Цель программы: совершенствование и (или) получение новых компетенций, необходимых для выполнения профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации работника (слушателя) в области технологий нанесения наноматериалов и наноструктур.

Описание перечня профессиональных компетенций, в рамках имеющейся квалификации работника (слушателя), качественное изменение которых осуществляется в результате обучения:

- способность моделировать процессы обработки твердофазных матриц и прогнозировать результаты их осуществления при различных режимах с использованием квантово-химических пакетов компьютерных программ.

1.3. Учет в содержании программы профессиональных стандартов:

В программе учитывается профессиональный стандарт 26.006 "Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов" для следующей трудовой функции:

- А/03.6 (Подбор технологических параметров процесса для производства наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами).

Профессиональный стандарт утвержден приказом Минтруда России от 08.09.2015 N 604н "Об утверждении профессионального стандарта "Специалист по разработке наноструктурированных композиционных материалов".

1.4. Учет в содержании программы квалификационных требований, указанных в квалификационных справочниках по соответствующим должностям, профессиям и специальностям, профессиям и специальностям.

В программе учитываются квалификационные требования, указанные в Квалификационном справочнике должностей руководителей, специалистов и других служащих, для следующих должностей:

- главный технолог;
- инженер-технолог (технолог)/

Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих утвержден Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 N 37 в ред. от 27.03.2018 (Начало действия редакции - 27.03.2018).

2. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

В результате освоения программы «Квантово-химические подходы к оптимизации процессов синтеза низкоразмерных систем методом молекулярного наслаивания» слушатель должен:

знать:

- основные принципы метода молекулярного наслаивания (МН);
- физико-химические основы получения композиционных материалов (А/03.6);
- возможности технологии молекулярного наслаивания по синтезу нанопокровов заданного состава и строения;
- методы проектирования технологических процессов и режимов производства с использованием квантово-химических расчетов (для должностей: главный технолог; инженер-технолог (технолог));
- основные особенности аппаратного и программного обеспечения для реализации квантово-химических расчетов.

уметь:

- осуществлять анализ и интерпретацию результатов квантово-химического расчета низкоразмерных систем на поверхности твердофазных матриц;
- оценивать тенденции влияния технологических параметров процесса молекулярного наслаивания на состав продуктов на основе результатов квантово-химического моделирования;
- подбирать технологические параметры процесса производства наноструктурированных композиционных материалов (А/03.6).

владеть навыками:

- построения квантово-химических моделей процессов, протекающих на различных стадиях молекулярного наслаивания;
- проведения квантово-химических расчетов;
- использования математического аппарата обработки и анализа квантово-химических данных.

3. УЧЕБНЫЙ ПЛАН

Учебный план программы «Квантово-химические подходы к оптимизации процессов синтеза низкоразмерных систем методом молекулярного наслаивания»

№ п/п	Наименование разделов, тем	Всего часов	В том числе:			Формы контроля*
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	Синтез наноматериалов и наноструктур по технологии молекулярного наслаивания	2	2			
2	Основные принципы и методология проведения квантово-химических расчетов	6	4	2		
3	Прогнозирование спектральных характеристик молекулярных и твердофазных объектов	2	1	1		
4	Прогнозирование химических превращений на поверхности твердофазных матриц методами квантовой химии	6	3	3		
	Итоговая аттестация	2				зачет
	Итого	18	10	6		2

* Промежуточная аттестации и текущий контроль в программе не предусмотрены

4. КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

Расписание занятий дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Квантово-химические подходы к оптимизации процессов синтеза низкоразмерных систем методом молекулярного наслаивания»*

Дата занятий	День недели	Планируемое время проведения занятий	Кол-во часов	Фамилия, инициалы преподавателя
	Понедельник	16.00 – 17.30**	2	
		18.00 – 19.30	2	
	Вторник	16.00 – 17.30	2	
		18.00 – 19.30	2	
	Среда	16.00 – 17.30	2	
		18.00 – 19.30	2	
	Четверг	16.00 – 17.30	2	
		18.00 – 19.30	2	
	Пятница	16.00 – 17.30	2	
Итого			18	

* Примерное расписание занятий. В расписании (день недели, планируемое время проведения занятий, количество часов) возможны изменения.

** Перерыв на питание 30 минут: с 17.30 до 18.00

5. РАБОЧАЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНЫХ ПРЕДМЕТОВ, КУРСОВ, ДИСЦИПЛИН (МОДУЛЕЙ), ПРАКТИК, СТАЖИРОВОК, РАЗДЕЛОВ, ТЕМ

5.1. Темы и содержание лекций

№ темы	Название темы	Объем, час
1	Синтез наноматериалов и наноструктур по технологии молекулярного наслаивания Остовно-функциональное строение твердого вещества. Реакции функционалов и остовные реакции твердого вещества. Принципы метода молекулярного наслаивания. Формирование многослойных и многозонных структур методом молекулярного наслаивания. Программирование состава и толщины зон с точностью в один монослой полиэдров.	1
	Получение функциональной поверхности с заданной реакционной способностью. Регулирование физико-химических свойств поверхностных структур. Регулирование параметров пористой структуры твердого тела и его приповерхностного слоя. Термическая устойчивость тонкослойных систем. Проведение синтеза оксидных, нитридных и сульфидных покрытий. Травление атомарного слоя (Atomic Layer Etching).	1
2	Основные принципы и методология проведения квантово-химических расчетов Основы квантовой механики. Теория Планка. Корпускулярно-волновой дуализм. Принцип Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Квантовые числа. Жесткий ротатор, гармонический осциллятор. Квантовая частица в потенциальной яме, туннелирование. Атом водорода. Электронные орбитали, набор квантовых чисел. Атом гелия, межэлектронное отталкивание, кулоновское и обменное взаимодействие.	1
	Квантово-химические программные пакеты. Принципиальные возможности прогнозирования состава, строения и свойств химических объектов с помощью квантовой химии. Аппаратные ограничения и пределы. Методы анализа выходного файла квантово-химического расчета. Ключевые слова и заголовки для поиска данных. Оценка корректности завершения расчета.	2
	Методы учета электронной корреляции. Поправки теории возмущений Меллера-Плессе различного порядка. Конфигурационное взаимодействие. Методы мультikonфигурационного самосогласованного поля и активное пространство. Методы связанных кластеров. Методы теории функционала плотности. Обменная и корреляционная составляющие. Гибридные функционалы.	1
3	Прогнозирование спектральных характеристик молекулярных и твердофазных объектов Колевательные спектры. Гармоническое приближение, ангармонические поправки. Расчет вероятности поглощения и комбинационного рассеяния. Спектры оптического поглощения, многодетерминантное приближение CIS и TDDFT, расчет характеристической энергии и вероятности поглощения. Прогнозирование спектров ЯМР.	1
4	Прогнозирование химических превращений на поверхности твердофазных матриц методами квантовой химии Феноменологические модели: химическая кинетика, химическая термодинамика. Правило фаз Гиббса. Метод поиска экстремумов характеристических функций.	3
Всего		10

5.2. Содержание практических занятий

№ темы	Содержание занятия	Объем, час
2	Подготовка расчетных заданий и выполнение квантово-химических расчетов для низкомолекулярных систем: выбор базисного набора АО и уровня теории.	1
	Расчетный анализ химического и электронного строения низкоразмерных систем: межатомные расстояния, порядок химических связей, электронные энергетические уровни. Полная энергия системы.	1
3	Прогноз колебательных спектров для низкоразмерных структур на поверхности твердой подложки. Оценка способов спектральной идентификации поверхностных центров	1
4	Термодинамический анализ химических процессов между активными центрами на поверхности твердофазных подложек с газофазными реагентами, априорный выбор оптимальной температуры синтеза и давления паров реагента.	3
Всего		6

6. ФОРМЫ АТТЕСТАЦИИ, ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

6.1. Формы контроля и аттестации, оценочные материалы по учебным предметам, курсам, дисциплинам (модулям), практикам, стажировкам, разделам, темам
Промежуточная аттестации и текущий контроль в программе не предусмотрены.

6.2. Оценочные материалы для итоговой аттестации
Итоговая аттестация проводится в форме зачета в виде устного ответа по основным темам программы.

6.2.1. Вопросы к итоговой аттестации по освоению программы

1. Реакции молекулярного наслаивания как химические превращения в гомологическом ряду твердых веществ.
2. Технологические стадии осуществления одного цикла молекулярного наслаивания и технологические параметры при организации процесса МН.
3. Схема экспериментальной установки с реактором проточного типа и описание процесса синтеза оксидного покрытия.
4. Уравнение Шредингера. Квантовые числа. Жесткий ротатор, гармонический осциллятор.
5. Квантово-механическое описание многоэлектронных систем. Метод ЛКАО. Метод самосогласованного поля.
6. Приближение Хартри-Фока (ХФ). Проблема сходимости ХФ. Особенности реализации метода ХФ для систем с открытыми оболочками.
7. Атомный базис (слэтеровский и гауссовский). Размер базиса. Валентное расщепление. Поляризационные и диффузные функции. Хартри-Фоковский предел.
8. Методы теории функционала плотности. Обменная и корреляционная составляющие. Гибридные функционалы.
9. Кластерное описание твердых тел. Псевдоатомы. Сходимость по размеру кластера.
10. Квазимолекулярные модели наноструктурированных материалов. Оценки размерных эффектов методами квантовой химии.
11. Перечень основных задач квантово-химических расчетов. Прогнозируемые свойства и характеристики.
12. Принципы анализа результатов квантово-химических расчетов. Программное обеспечение для анализа и визуализации квантово-химических данных.
13. Построение прогноза структуры веществ и материалов. Алгоритмы оптимизации. Зависимость строения от уровня теории. Понятие расчетной релаксации.
14. Прогнозирование колебательных спектров. Гармоническое приближение, ангармонические поправки. Расчет вероятности поглощения и комбинационного рассеяния.
15. Оценка химических равновесий с помощью квантово-химического моделирования. Расчет и анализ термодинамических потенциалов при различной температуре.

7 ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

7.1. Учебно-методическое обеспечение программы

7.1.1. Основная литература:

1. Бутырская, Е.В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами Gaussian и Gauss View / Е.В.Бутырская.- Москва: СОЛОН-Пресс, 2011.- 218 с. - ISBN 978-5-91359-095-4
2. Грибов, Л.А. Элементы квантовой теории строения и свойств молекул: Учебное пособие / Л.А.Грибов.- Долгопрудный: Интеллект, 2010.- 310 с. - ISBN 978-5-91559-082-2
3. Ермаков, А.И. Квантовая механика и квантовая химия: учебное пособие для вузов / А.И. Ермаков.- Москва: Юрайт, 2010.- 555 с. - ISBN 978-5-9916-0587-8. - ISBN 978-5-9692-0331-0 (ИД Юрайт)
4. Чернышев, С.Л. Моделирование и классификация наноструктур / С.Л.Чернышев.- Москва: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2011.- 210 с. - ISBN 978-5-397-01466-3
5. Фундаментальные и прикладные основы нанотехнологии молекулярного наслаивания: Учебное пособие. / С.И.Кольцов, А.А.Малыгин, А.А.Малков, Е.А.Соснов. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2021. - 279 с.

7.1.2. Вспомогательная литература:

1. Малыгин, А.А. Химическая сборка функциональных наноматериалов методом молекулярного наслаивания: конспект лекций / А.А.Малыгин.- Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012.- 74 с.
2. Барановский, В.И. Квантовая механика и квантовая химия: учебное пособие / В.И. Барановский. - Москва: Academia, 2008. - 383 с. - ISBN 978-5-7695-3961-9
3. Гусев, А.И. Наноматериалы. Наноструктуры. Нанотехнологии / А.И.Гусев. - Москва: Физматлит, 2007. - 415 с. - ISBN 978-5-9221-0582-8
4. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы / А.А.Елисеев, А.В.Лукашин; под ред. Ю.Д.Третьякова. – Москва: Физматлит, 2010. – 456 с. - ISBN 978-5-9221-1120-1
5. Суздаев, И.П. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П.Суздаев. – Изд. 2-е испр. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОМ», 2009. – 592 с. - ISBN 978-5-397-00217-2
6. Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г.Рамбиди, А.В. Березкин. - Москва: Физматлит, 2009.– 454 с. - ISBN 978-5-9221-0988-8

7.2. Материально-техническое обеспечение программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория	лекции	Компьютер с выходом в локальную сеть СПбГТИ (ТУ) и в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска. Программные пакеты MathCAD, MS EXCEL, GAUSSIAN, GAUSSVIEW
Учебная аудитория	практические занятия	Компьютерный класс с выходом в локальную сеть СПбГТИ (ТУ) и в Интернет. Персональный компьютер преподавателя. Программные пакеты MathCAD, MS EXCEL, MS WORD, GAUSSIAN, GAUSSVIEW

7.3. Кадровые условия реализации программы

Программа реализуется квалифицированными специалистами в области получения и квантовохимического моделирования наноструктурированных композиционных материалов с заданными свойствами, в т.ч. из числа сотрудников Первого Всероссийского инжинирингового центра технологии молекулярного наслаивания (ИЦТМН) СПбГТИ(ТУ).

8. ИНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Иные компоненты отсутствуют.

9. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Дополнительные сведения по программе «Квантово-химические подходы к оптимизации процессов синтеза низкоразмерных систем методом молекулярного наслаивания»:

Сведения о разработке: впервые; новая редакция; с изменениями и/или дополнениями	–	разработана впервые
Программа одобрена на заседании	–	кафедры химической нанотехнологии и материалов электронной техники 10.03.2023, протокол № 6
Соотнесение программы к укрупненной группе направлений подготовки (код, наименование)	–	22.00.00 Технологии материалов
Соотнесение программы к направлению подготовки (специальности) высшего образования (бакалавриата, специалитета, магистратуры, аспирантуры) или СПО (код, наименование)	–	22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
Организация, по инициативе которой осуществляется дополнительное профессиональное образование	–	СПбГТИ(ТУ)

10. СВЕДЕНИЯ О РАЗРАБОТЧИКАХ

10.1. Разработчики программы:

Доцент каф. ХНиМЭТ СПбГТИ(ТУ),

к.х.н.,

Ст. научн. сотр. ИЦТМН СПбГТИ(ТУ)

_____ Е.О. Дроздов

10.2. Руководитель структурного подразделения, разработавшего программу:

Зав. каф. ХНиМЭТ СПбГТИ(ТУ)

д.х.н., профессор,

Директор ИЦТМН СПбГТИ(ТУ)

_____ А.А. Мальгин