

ОТЗЫВ

официального оппонента Юдина Владимира Евгеньевича

о диссертации Иванова Дмитрия Анатольевича на тему «Новый комплекс методов *in situ* физико-химического анализа с использованием синхротронного излучения», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. – Физическая химия (Химические науки)

Актуальность темы диссертации

Методы рентгеноструктурного анализа играют неоспоримую роль в развитии наук о материалах, в том числе полимерных, о которых идет речь в диссертационной работе. В настоящее время эти методы выходят далеко за рамки использования только лабораторных рентгеновских приборов. Современные научные задачи полимерного материаловедения требуют рентгеноструктурных измерений с высоким временным и пространственным разрешением, а также интеграции рентгеноструктурного анализа с дополнительными физико-химическими методами. В этой связи актуальность диссертационной работы Д.А. Иванова, в которой разрабатываются комплексы методов для проведения одновременных теплофизических и структурных исследований полимерных материалов с использованием синхротронных источников, является несомненной. Важно отметить, что актуальность этой темы для нашей страны обусловлена также тем, что в настоящее время, в соответствии с указом Президента № 356 «О мерах по развитию синхротронных и нейтронных исследований, и исследовательской инфраструктуры в Российской Федерации» от 25.07.2019, ведется строительство ряда высокотехнологичных научных объектов, включающих синхротроны.

Цели и задачи диссертационной работы

Целью данной диссертационной работы является разработка нового комплекса методов анализа надмолекулярной структуры и определения характеристик термического и деформационного поведения ряда кристаллизующихся линейных (термопластичных) и супрамолекулярных полимеров, в которых синхротронное рентгеновское рассеяние применяется одновременно с *in situ* физико-химическими методами исследования. Для достижения этой цели автором были поставлены задачи, включающие семь пунктов. К наиболее важным задачам с позиций физической химии относится разработка нано-термоанализатора, позволяющего в реальном времени сочетать термический анализ на чипе с рентгеновской дифракцией. Этот комбинированный метод используется для изучения процессов реорганизации в частично кристаллических полимерах в ходе их нагрева, включая сверхбыстрые нагревы на скоростях более тысячи градусов в секунду.

Также представляется важной разработка метода анализа структуры тонких пленок в геометрии скользящего пучка, при котором образец находится в камере с контролируемой влажностью. В этом случае рентгеноструктурный анализ позволяет

в реальном времени зарегистрировать последовательность фазовых превращений, происходящих при селективном набухании структуры на основе амфифильных молекул.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа представляет собой логически выстроенное и завершённое научное исследование, которое включает в себя введение, 8 разделов, заключение и выводы. Во **введении** содержится описание актуальности и степени разработанности научного исследования, постановка целей и задач, обсуждаются научная новизна, практическая значимость, методология и методы исследования, положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности, апробация результатов и личный вклад автора в проведенные исследования. **Первый раздел работы** посвящен исследованию термического поведения и структуры неламеллярных термопластичных эластомеров. В этом разделе автор рассматривает полностью алифатические сегментированные полиэфирамиды, включающие жесткий и мягкий сегменты, в которых толщина кристаллов полностью определяется первичной химической структурой и не зависит от термической истории образца. Для иллюстрации этого неординарного в полимерной науке факта автор использует сочетание одноосного механического растяжения с двумерной рентгеновской дифракцией, а также сверхбыструю калориметрию. **Во втором разделе работы** автор исследует структуру и динамику её формирования сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с помощью сочетания синхротронного рентгеновского рассеяния в больших и малых углах в зависимости от температуры и T_2 -релаксометрии ЯМР. Автор сопоставляет данные ЯМР по плотности сетки физических зацеплений с параметрами частично кристаллической структуры, полученными из рентгеновских измерений. Это позволило ему доказать, что полимерные кристаллы, полученные кристаллизацией из разбавленного раствора, при нагреве образуют расплав, в котором происходит быстрое взаимопроникновение цепей, сопровождающееся увеличением плотности сетки физических зацеплений. Этот фундаментальный результат, связанный с получением различными химическими методами так называемых «реакторных порошков» СВМПЭ, имеет в настоящее время большое практическое значение для разработки высокопрочных полиэтиленовых нитей. **Третий раздел диссертационной работы** посвящен изучению структуры и фазовых превращений в супрамолекулярных полимерах на основе клиновидных и дискотических мезогенов. Используя сочетание поляризационной оптической микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии и малоуглового рассеяния рентгеновских лучей в зависимости от температуры показано, что исследуемые полимеры самоорганизуются в жидкокристаллические фазы, характеризующиеся сосуществованием ламеллярных и колончатых подрешеток. Интерес к таким системам связан с перспективами разработки полимерных материалов, обладающих различными транспортными путями носителей заряда, что имеет перспективы для

будущих электронных и оптоэлектронных приложений. Автор также описывает создание и применение измерительной ячейки для наблюдения за структурой тонких пленок в геометрии скользящего пучка при контролируемой влажности. В этом случае процесс набухания в амфифильных супрамолекулярных системах может сопровождаться фазовыми превращениями, наблюдение за которыми в режиме *ex situ* было бы очень затруднено. Возможность наблюдать за фазовыми переходами в режиме реального времени и, в частности, переход колончатой структуры Co_{hd} в биконтинуальные кубические фазы Cub_{bi} сопровождается образованием перколяционной сети ионпроводящих путей. Образование подобных фаз улучшает ионную проводимость и может быть интересным для применений, связанных с разделением транспортных путей носителей заряда. **Четвертый раздел работы** сфокусирован на изучении структуры тонких пленок полупроводящих органических полимеров, имеющих потенциал применения для органической фотовольтаики. Автор показывает, что, вопреки ряду публикаций, ориентация молекулярной плоскости полимера обусловлена присутствием длинных боковых цепей, а не агрегацией в растворе. Систематическое изучение надмолекулярной структуры ряда полупроводящих полимеров привело автора к выводу о том, что фторирование и функционализация объемными алкильными боковыми цепями необходимы для достижения эффективности преобразования энергии выше 10%. **Пятый раздел диссертационной работы** посвящен развитию методов микро- и нанофокусной рентгеновской дифракции для изучения морфологии полимерных молекул. На примере модельного частично кристаллического полимера, политриметилентерефталата (ПТТ), диссертант показывает каким образом данные, полученные методом синхротронной микро- и нанофокусной рентгеновской дифракции, позволяют детально изучить структуру надмолекулярных агрегатов, так называемых кольцевых сферолитов. При кристаллизации из расплава ПТТ образует высокоорганизованные структуры, характеризующиеся регулярным закручиванием полимерных кристаллитов вокруг оси быстрого роста. Период закручивания оказался связан сложным образом с температурой кристаллизации, при этом при определенной температуре кристаллизации этот период становится очень большим, что означает рост практически «плоских» кристаллов. На основе предложенной автором методологии обработки массивов микродифрактограмм, измеренных на кольцевых сферолитах, автор получает детальную информацию о трехмерной форме полимерных кристаллов, их хиральности, а также о наклоне полимерных цепей в кристалле. Данная информация позволила проверить широко известную в литературе модель образования кольцевых сферолитов Кейта и Паддена, которая до сих пор не подвергалась прямой экспериментальной проверке. **Шестой раздел диссертационной работы** посвящен развитию термического анализа на чипе и его интеграции в инфраструктуру синхротронных станций для проведения *in situ* сверхбыстрых термоаналитических экспериментов. В этом разделе автор описывает создание нанокалориметрического устройства на основе тонкопленочного чипового сенсора, на активную область которого нанесены нагревательные элементы и

термопары. Благодаря чрезвычайно низкой собственной теплоемкости данное устройство позволяет проводить термоаналитические измерения на скоростях нагрева, превосходящие на несколько порядков таковые для классической дифференциальной сканирующей калориметрии. Разработанное автором устройство работает как в режиме линейных нагревов (DC калориметрия), так и в модуляционном режиме (AC калориметрия). Автором проведена интеграция разработанного устройства в инфраструктуру микрофокусной синхротронной станции для проведения комбинированных рентгеноструктурных и калориметрических экспериментов на сверхвысоких скоростях нагрева. Автор иллюстрирует работу собранной установки на примере изучения плавления и кристаллизации микрочастицы индия и феномена множественного плавления частично кристаллических полимеров на примере ПТТ. Приведенные эксперименты показывают наличие для ПТТ в процессе его нагрева протекание процессов структурной перестройки, для изучения которых автором предложена диаграмма реорганизации. **Седьмой раздел работы** рассматривает структуру и термическое поведение блок-сополимеров, включающих многолучевые структуры. Акцент в этой части сделан на изучении молекулярной самосборки в тонких пленках сополимеров, включающих кремнийорганические блоки, имеющие перспективы использования в нанотехнологиях. **Восьмой раздел диссертации** посвящен изучению структуры, молекулярных механизмов деформации и фазовых переходов в блок-сополимерах, включающих щеточный блок. Данная часть работы нацелена на создание новых биомиметических полимерных материалов, механическое поведение которых аналогично поведению при деформации мягких живых тканей. При этом, целью работы является не просто воспроизведение модуля упругости той или иной биологической ткани при малых механических деформациях, но воспроизведение всей деформационной кривой вплоть до максимальных деформаций. Для изучения механического поведения линейных и графт-сополимеров, включающих щеточный блок, автором были проведены *in situ* эксперименты по одноосному их растяжению одновременно с измерением малоуглового рентгеновского рассеяния. Авторы подробно исследуют иерархическую структуру щеточных сополимеров, проверяют ряд скейлинговых соотношений между характерными расстояниями и, в частности, рассматривают изменение положения так называемого «щеточного пика» в зависимости от деформации. Показано, что расстояние, соответствующее этому пику, примерно равно диаметру молекулы, а резкое изменение положения этого пика соответствует этапу деформационного упрочнения материала, что связано с нелинейной эластичностью предварительно растянутых основных цепей. В **заклучении** автор кратко описывает спектр научных вопросов, которые могут быть решены с помощью разработанных в диссертации методов *in situ* физико-химического анализа с использованием синхротронного излучения. Сделанные рекомендации являются полностью обоснованными и соответствуют целям и задачам, сформулированным во введении. В **выводах** автор подытоживает основные результаты работы.

Научная новизна диссертационной работы Иванова Д.А. состоит в том, что в ней показано как методы *in situ* физико-химического анализа дополняют информацию, получаемую в ходе эксперимента по синхротронному рентгеновскому рассеянию для изучения фазовых переходов, теплофизических и механических свойств разнообразных по своей структуре и морфологии полимеров, имеющих явную перспективу их использования в современной технике. Созданный в работе термоанализатор на основе тонкопленочного чипового сенсора позволяет проводить одновременные термоаналитические и рентгеноструктурные эксперименты в ходе сверхбыстрых нагревов (до нескольких тысяч градусов в секунду) полимерных материалов. Сконструированная автором ячейка для рентгеновских измерений в скользящем пучке при контролируемой атмосфере позволяет исследовать структурные превращения в тонких пленках. Автор также показывает, что использование *in situ* экспериментов позволяет изучать механическую деформацию материалов на уровне макромолекул и объяснить эффекты их деформационного упрочнения. Кроме того, автор разработал подходы к анализу результатов микро- и нанодифракционных экспериментов для углубленного структурного анализа надмолекулярных агрегатов в кристаллизующихся полимерах, что, в частности, позволило экспериментально проверить предсказания эмпирической модели образования кольцевых сферолитов Кейга и Паддена.

Практическая значимость рецензируемой диссертационной работы состоит в том, что созданные автором методы *in situ* физико-химического анализа уже прошли апробацию на станциях европейского центра синхротронного излучения и в будущем смогут быть интегрированы в инфраструктуру строящихся в нашей стране объектов подобного типа. Разработанный автором термоанализатор на основе тонкопленочного чипового сенсора в сочетании с синхротронным рентгеновским рассеянием сможет найти применение не только в исследованиях теплофизических свойств полимеров, но также фармацевтических препаратов и других высокотехнологичных материалов. Измерительная ячейка для проведения экспериментов по рентгеновскому рассеянию в геометрии скользящего пучка в контролируемой атмосфере может стать важным элементом, например, для разработки мембранных технологий. Сочетание механических испытаний материалов с одновременным анализом их структуры должно найти применение при разработке полимерных систем с программируемыми механическими свойствами, включающими деформационное упрочнение.

Достоверность и обоснованность научных результатов в диссертационной работе Иванова Д.А. подтверждается использованием при ее выполнении самых современных объектов научной инфраструктуры, системностью исследований и всесторонним анализом результатов. Основные результаты работы опубликованы в 50 статьях в рецензируемых научных журналах, из которых 44 статьи опубликованы

в журналах Q1 и 6 статей в журналах Q2. Следует отметить, что представленные публикации сделаны в высокорейтинговых научных журналах, таких как *Science*, *Nature Materials*, *ACS Central Science*, *Materials Horizons*, *Science Advances*, и других. Результаты диссертационной работы были представлены на 14 международных и российских научных конференциях.

Замечания и дискуссионные положения

1. Было бы полезным, как это сделано для кремнийорганических блок-сополимеров из восьмого раздела диссертации, сопоставить анализ структуры изученных термопластичных полимеров (ТПЭ, СВМПЭ, ПТТ) с их механическим и, возможно, реологическим поведением. Тогда бы работа приобрела дополнительный практический смысл, связанный с прогнозированием эксплуатационных свойств термопластов в зависимости от особенностей их надмолекулярной организации.
2. Вывод № 2 (стр. 58) свидетельствует о создании автором диссертации нанотермоанализатора. В этой связи было бы нелишним подтвердить это «создание» патентом или авторской заявкой (есть ли таковые?), а также уточнить, чем созданный нанотермоанализатор отличается от уже созданного фирмой Mettler Toledo нанокалориметра Flash DSC 1, коммерчески доступного?
3. В диссертации перечислена 51 публикация в высокорейтинговых журналах, но поскольку в работе, судя по ее названию, речь идет о создании «нового комплекса методов *in situ* физико-химического анализа», то какими патентами и в каком количестве подтверждена их новизна?
4. В работе не уточняется, являются ли характерные признаки процессов структурной реорганизации в ПТТ общими или специфичными только для данного материала и, кроме того, насколько полиморфизм повлиял на исследование термического поведения ПТТ, представленного в работе?
5. Использование интенсивных синхротронных источников может вызывать деградацию полимерных материалов, исследуемых в работе. Возможно ли решить эту проблему в совмещенных экспериментах с чип-калориметрией?
6. Хотелось бы уточнить достижимый температурный диапазон, а также диапазон скоростей нагрева и охлаждения для совмещенных рентгеновских и калориметрических измерений.
7. Проводились ли совмещенные калориметрические и структурные эксперименты на высоких скоростях нагрева для СВМПЭ?

Оценка содержания диссертационной работы

Представленная работа является оригинальным и завершенным научным исследованием, результатом которого явилось создание ряда комплексных методов исследования, основанных на синхротронном рентгеновском рассеянии. Автор показывает каким образом созданные методы могут быть использованы для целого

ряда научных задач, связанных с разработкой и исследованием фазовых превращений, а также теплофизических и механических свойств материалов.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы, которая прошла успешную апробацию на многочисленных конференциях, а полученные результаты опубликованы в высокорейтинговых журналах и полностью нашли отражение в автореферате.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия согласно п.1 -Экспериментально-теоретическое определение энергетических и структурно-динамических параметров строения молекул и молекулярных соединений, п.2- изучение термодинамических аспектов фазовых превращений и фазовых переходов и п.7 - Макрокинетика, механизмы сложных химических процессов, растворение и кристаллизация.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Дмитрия Анатольевича Иванова является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, связанной с разработкой нового комплекса методов физико-химического анализа для определения характеристик термического и деформационного поведения ряда ковалентных и супрамолекулярных полимеров, в которых синхротронное рентгеновское рассеяние применяется одновременно с *in situ* физико-химическими методами исследования.

По объему выполненных исследований, своей актуальности, научной новизне и практической значимости диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (с изменениями от 21 апреля 2016 г. №335) и пп. 2.1-2.5 «Положения о порядке присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской Академии Наук» от 29 марта 2024 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Автор диссертации, Иванов Дмитрий Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4.Физическая химия.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механики полимеров и композиционных материалов» доктор физико-математических наук, доцент

Юдин Владимир Евгеньевич

филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений 199004, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31, Россия
Тел. +7-812-3235065 Email: yudinve@gmail.com

Подпись гл.н.с., доктора физ.мат. наук Юдин В.Е. **заверяю**

Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС



Сведения об официальном оппоненте

по диссертационной работе Иванова Дмитрия Анатольевича на тему

«Новый комплекс методов *in situ* физико-химического анализа с использованием синхротронного излучения», представленную на соискание ученой степени доктора химических наук по специальности 1.4.4. – Физическая химия

(Химические науки)

Фамилия Имя Отчество оппонента	Юдин Владимир Евгеньевич
Шифр и наименование специальностей, по которым защищена диссертация	01.04.19 - физика полимеров
Ученая степень и отрасль науки	Доктор физико-математических наук Химические науки
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы оппонента	филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений
Занимаемая должность	Главный научный сотрудник
Почтовый индекс, адрес	199004, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31
Телефон	+7-812-3235065
Адрес электронной почты	yudinve@gmail.com
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	<ol style="list-style-type: none">1. Nashchekina Y., Militsina A., Elokhovskiy V., Ivan'kova E., Nashchekin F., Kamalov A., Yudin V. Precisely printable silk fibroin / carboxymethyl cellulose / alginate bioink for 3D printing // <i>Polymers</i>. – 2024. – Vol. 16. – P.1027.2. Головки К.П., Юдин В.Е., Овчинников Д.В., Барсук И.А., Иванькова Е.М., Александров В.Н., Нащекина Ю.А., Гордина Е.М., Божкова С.А. Антибактериальное раневое покрытие на основе хитозана и повидона, полученное методом 3D-печати // <i>Известия Российской военно-медицинской академии</i>. - 2024. - Т. 43. - № 1. - С. 23–34.3. Kamalov A., Vaganov G., Simonova M., Kraft V., Nesterova A., Saprykina N., Romasheva M., Filippov A., Yudin V. Effect of the molar mass of polyimide based on pyromellitic dianhydride and 4,4'-oxydianiline on dielectric and mechanical properties of nonwoven oriented polyimide materials // <i>Polym Eng Sci</i>. – 2024. – Vol. 64. – P.2894.

4. Malafeev K.V., Moskalyuk O.A., **Yudin V.E.**, Suslov D.A., Popova E.N., Ivan'kova E.M., Popova A.A. Studies of the in vivo bioresorption rate of composite filaments on the basis of polylactide filled with chitin nanofibrils or silver nanoparticles // Express Polym. Letters. -2024. - Vol.18. - No.3. - P.296.
5. Vaganov G., Ivan'kova E., Didenko A., Popova E., Smirnova V., Elokhovskiy V., **Yudin V.** Comparison of properties of carbon reinforced plastic obtained on the basis of semicrystalline polyimide R-BAPB and other high-temperature-resistant thermoplastic matrices // J Appl Polym Sci. -2023. – Vol.140. - P.e54283.
6. Nashchekina Y., Chabina A., Moskalyuk O., Voronkina I., Evstigneeva P., Vaganov G., Nashchekin A., **Yudin V.**, Mikhailova N. Effect of Functionalization of the Polycaprolactone Film Surface on the Mechanical and Biological Properties of the Film Itself // Polymers.- 2022.- Vol. 14.- P.4654.
7. Polyakov I., Vaganov G., Didenko A., Ivan'kova E., Popova E., Nashchekina Y., Elokhovskiy V., Svetlichnyi V., **Yudin V.** Development and Processing of New Composite Materials Based on High-Performance Semicrystalline Polyimide for Fused Filament Fabrication (FFF) and Their Biocompatibility // Polymers.- 2022.- Vol. 14.- P. 3803.
8. Nazarychev, V.M., Vaganov G.V., Larin S.V., Didenko A.L., Elokhovskiy V.Y., Svetlichnyi V.M., **Yudin V.E.**, Lyulin S.V. Rheological and Mechanical Properties of Thermoplastic Crystallizable Polyimide-Based Nanocomposites Filled with Carbon Nanotubes: Computer Simulations and Experiments // Polymers.- 2022.- Vol. 14.- P. 3154.
9. Ivan'kova E, Vaganov G, Popova E, **Yudin V.** Morphological Transformation in Polymer Composite Materials Filled with Carbon Nanoparticles: Part 2-Thermal and Mechanical Properties // Materials.- 2022.- Vol. 15.- P. 5094.
10. Kamalov A.M., Borisova M.E., Didenko A.L., Nikonorova N.A., Svetlichnyi V.M., Smirnova V.E., Castro R.A., **Yudin V.E.** Relaxation Behavior of Thermoplastic Polyimide R-BAPB in the Amorphous State // Polymer Science Series A.- 2020.- Vol. 62.- P. 107.
11. Smotrina T.V., Dresvyanina, E.N., Grebennikov S.F., Kazakov M.O., Maslennikova T.P., Dobrovolskaya I.P.,

	<p>Yudin V.E. Interaction between water and the composite materials based on chitosan and chitin nanofibrils // Polymer.- 2020.- Vol. 189.- 122166.</p> <p>12. Vaganov G.V., Didenko A.L., Ivan'kova E.M., Popova E.N., Elokhovskii V.Y., Volkov A.V., Yudin V.E. Preparation and Properties of a Thermoplastic Partially Crystalline Polyimide in the Oriented State // Russian Journal of Applied Chemistry.- 2020.- Vol. 93.- P. 72.</p> <p>13. Didenko A.L., Smirnova V.E., Popova E.N., Vaganov G.V., Kuznetsov D.A., Elokhovskii V.Y., Ivanov A.G., Svetlichnyi V.M., Yudin V.E., Kudryavtsev V.V. Heat Resistance and Dynamic Mechanical and Rheological Properties of a Blend of Crystallizing Polymers, Polyimide and Copoly(urethane-imide), at Identical Chemical Structure of the Imide Blocks in the Initial Polymers // Russian Journal of Applied Chemistry.- 2020.- Vol. 93.- P. 45.</p> <p>14. Kuznetsov D.A., Didenko A.L., Svetlichnyi V.M., Smirnova V.E., Popova E.N., Vaganov G.V., Yudin V.E., Kudryavtsev V.V. Effect of Hard Segment Structure on the Thermomechanical Properties of Polyurethaneimides // Polymer Science Series A.- 2019.- Vol. 61.- P. 142.</p> <p>15. Smirnova N.V., Kolbe K.A., Dresvyanina E.N., Grebennikov S.F., Dobrovolskaya I.P., Yudin V.E., Luxbacher T., Morganti P. Effect of Chitin Nanofibrils on Biocompatibility and Bioactivity of the Chitosan-Based Composite Film Matrix Intended for Tissue Engineering // Materials.- 2019.- Vol. 12.- 1874.</p>
--	---

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник, руководитель лаборатории
 “Механики полимеров и композиционных материалов”
 доктор физико-математических наук, доцент

Юдин Владимир Евгеньевич

филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» – Институт высокомолекулярных соединений
 199004, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31, Россия

Тел. +7-812-3235065

Email: yudinve@gmail.com



Подпись г.л.н.с., доктора физ.мат. наук Юдин В.Е. **заверяю**

Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИВС



Секретарь Ю.О.

2022