МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ИнститутФизико-технический
Направление 14.04.02«Ядерные физика и технологии»
Кафедра «Техническая физика»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия

УДК_539.128:546.29:544.076.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник	Сохорева В.В.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техническая физика	Шаманин И.В.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р1	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять свое научное мировоззрение.
Р2	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов.
Р3	Способность применять экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в профессиональной области.
Р4	Способность самостоятельно выполнять экспериментальные или теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования.
Р5	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения.
Р6	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем.
Р7	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.
Р8	Способностью к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности и другим нормативным актам.
Р9	Способность на практике применять знание основных понятий в Области интеллектуальной собственности, прав авторов, предприятия-работодателя, патента обладателя, основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ИнститутФизико-технический
Направление 14.04.02«Ядерные физика и технологии»
Кафедра «Техническая физика»

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ _____ _____
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр

Тема работы:

Моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 770/с 10.02.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать возможности применения пучков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов для получения ТМ и формировать треков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов в полимерном пленке ПЭТФ и исследование их рабочих характеристик. Определить условия исследования, обеспечивающие энергоэффективность и экологическую безопасность.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	При разработке магистерской диссертации должны быть рассмотрены следующие вопросы: 1.Литературный обзор технологий для получения ТМ при облучении протонами и альфа-частицами. 2.Исследование воздействия ионизирующего излучения на ПЭТФ с последующим химическим травлением привитых образцов,

	для получения ТМ. 3.Экспериментальные подтверждения рабочих характеристик полученной полимерной мембраны ПЭТФ. 4. Экономическое обоснование проведения НИР 5. Выводы по работе. Заключение.
Перечень графического материала	

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	**Консультант**
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Доцент, преподаватель кафедры «Менеджмент» Верховская Марина Витальева
«Социальная ответственность»	Ассистент кафедры «Прикладная физика» Гоголева Татьяна Сергеевна
По иностранному языку	Старший преподаватель кафедры иностранных языков физико-технического института Ермакова Янина Викторовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Литературный обзор, экспериментальный часть
Literaturereview, Experimentalpart

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	**ФИО**	**Ученая степень, звание**	**Подпись**	**Дата**
Старший научный сотрудник	Сохорева В.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	**ФИО**	**Подпись**	**Дата**
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр

Институт	Физико-технический	Кафедра	Техническая физика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:
1. Планирование и формирование бюджета научных исследований
2. Разработка календарного план-графика выполнения ВКР
Перечень графического материала:
1. Календарный план-график выполнения ВКР (диаграмма Ганта)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Верховская М.В.	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр

Институт	ФТИ	Кафедра	Техническая физика
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Изотопные технологии и материалы

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. *Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:*	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение, вредные вещества); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. *Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме*	– требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – химическая безопасность; – радиационная безопасность; – электробезопасность; – пожарная и взрывная безопасность.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. *Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. *Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:*	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02«Ядерные физика и технологии»
Уровень образования Магистрантура
Кафедра Техническая физика
Период выполнения (весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03.2017	Разработка ТЗ на ВКР	20
14.03-15.03.2017	Составление и утверждение технического задания	10
16.03-23.03.2017	Выбор направления исследования и способов решения задач	10
24.03-17.04.2017	Сбор и изучение научно-технической литературы	10
17.04-27.04.2017	Теоретические и экспериментальные исследования	5
27.04-12.05.2017	Разработка методики экспериментальных исследований	10
12.05-22.05.2017	Проведение экспериментальных исследований	10
22.05-26.05.2017	Анализ и обработка полученных результатов	5
26.05-30.05.2017	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	5
30.05-06.06.2017	Оформление пояснительной записки	5
06.06-16.06.2017	Подготовка к защите ВКР	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник	Сохорева В.В.			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Техническая физика	Шаманин И.В.	д.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 117 страниц, 42 рисунков, 24 таблиц, 39 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: трековая мембрана, полиэтилентерефталат, протон, альфа-частица, циклотрон, латентный трек, химическое травление, полимер, облучение

Объектом исследования является полимерная пленка полиэтилентерефталата,облученная протонами и альфа-частицами и последующим химическим травлениемдля формирования в ней сквозных треков.

Цель работы – исследование возможности применения пучков высокоэнергетических альфа-частици протонов для получения трековых мембран,и установление физико-химических процессов: формирования треков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов, разработка технологии трековых мембран для фильтрации.

В процессе исследования проводились: анализ литературы по заданной теме, теоретические расчеты, объясняющие процессы взаимодействия заряженных частиц с полимером полиэтилентерефталатом, создавалась технологическая модель получения трековых мембран, облучение полимера на циклотроне ФТИ ТПУ в специально разработанном устройстве, позволяющем проводить равномерное облучение, химическое травление полимера, исследование рабочих характеристик сформированных трековых мембран.

В результате исследования получены экспериментальные образцы трековых мембран, путем облучения протонами с энергией 6,8 МэВ и альфа-частицами с энергией 28 МэВ; получены экспериментальные зависимости диаметров пор от времени травления, распределения пучка заряженных частиц; получены экспериментальные зависимости диаметров пор полимера от дозы облучения.

Степень внедрения: технологическая модель получения трековых мембран, получены экспериментальные образцы полимерной трековой мембраны с высокой пористостью.

Область применения: для разделения малых количеств биологических жидкостей (область медицины и биологии), для ультрафильтрации различных растворов, для очистки воздуха.

Экономическая эффективность/значимость работы: разработаны основы технологии получения ТМ на основе ПЭТФ с пористостью $\geq 10^{13}$ пор/см^2.

В будущем планируется разработать промышленную технологию для формирования коммерческих доступных трековых мембран с высокой пористостью и порами ≤ 100 нм.

Обозначения и сокращения

ТМ – Трековая мембрана

ПЭТФ – Полиэтилентерефталат

SRIM – The Stopping and Range of Ions in Matter

NaOH – Гидроксид натрия

УФО – Ультрафиолетовое облучение

ВАХ – Вольт-амперная характеристика

СЭМ – сканирующий электронный микроскоп

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ ... 12
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ... 15
1.1 Мембранные технологии ... 15
1.2 Воздействие тяжелых ионов на полимеры и образование треков ... 16
1.2.1 Модели формирования треков при воздействии тяжелых ионов ... 16
1.2.2 Потери энергии и пробеги тяжелых ионов в веществе ... 18
1.2.3 Первичная и вторичная ионизация. Пространственное распределение поглощенной дозы в треке тяжелого иона ... 22
1.2.4 Химическое травление латентного трека тяжелого иона ... 25
1.2.5 Структура и размеры трека при химическом травлении ... 28
1.2.6 Трековые полимерные мембраны ... 29
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ... 32
2.1 Исследуемые материалы ... 32
2.2 Циклотрон Р-7М ФТИ, ТПУ ... 34
2.3 Установка для химического травления и ультрафиолетового облучения ... 35
2.4 Спектрофотометр ССП-310 ... 36
2.5 Сканирующий электронный микроскоп и атомно-силовой микроскоп ... 37
2.6 Лабораторная установка для исследования полупроводящих свойств мембраны ... 39
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ... 41
3.1 Облучение ускоренными ионами на циклотроне Р-7М ... 41
3.2 Расчет пробегов и потерь энергии ионов в ПЭТФ ... 43
3.3 Расчет поглощенной дозы при облучении протонами и альфа-частицами ... 45
3.4 Сенсибилизация и травление латентных треков в облученных образцов ПЭТФ ... 48
3.5 Исследования характеристики сформированных ТМ ... 49
4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ ... 51
4.1 Исследование оптической плотности ПЭТФ, облученной ионами и УФО, методом УФ-спектроскопии ... 51
4.2 Исследование плотности пор ТМ ... 53
4.3 Исследование поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа ... 57
4.4 Исследования диаметров пор и производительности ТМ ... 59
4.5 Исследование полупроводящих свойств мембраны ... 62
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ... 64
5.1 Предпроектный анализ ... 65
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования ... 65

5.1.2 SWOT-анализ 65
5.2 Планирование управления научно-техническим проектом 68
5.2.1 Иерархическая структура работ проекта 68
5.2.2 План проекта 69
5.2.3 Бюджет научно-технического исследования 71
5.2.3.1 Расчет материальных затрат НТИ 71
5.2.3.2 Основная заработная плата 74
5.2.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала 75
5.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды 76
5.2.3.5 Научные и производственные командировки 76
5.2.3.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями 76
5.2.3.7 Накладные расходы 77
5.3 Ресурсоэффективность 77
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ 81
6.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемые объектом исследования 81
6.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов 83
6.2.1 Организационные мероприятия 83
6.2.2 Технические мероприятия 83
6.2.3 Условия безопасной работы 85
6.3 Химическая безопасность 87
6.4 Радиационная безопасность 89
6.5 Электробезопасность 93
6.6 Пожарная и взрывная безопасность 95
ВЫВОДЫ 97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 98
СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ 99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 100
Приложение А 104

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные трековые мембраны (ТМ) изготовленные с применением ядерных технологий представляют собой пористый материал толщиной 10-20 мкм с очень гладкой гидрофобной поверхностью. В настоящее время они довольно широко используются в различных областях науки и техники (финишная доочистка питьевой воды, очистка воздуха в особо чистых помещениях, микроэлектроника, медицина и многое другое). Возможность задавать количество пор и контролировать их размеры обеспечили ТМ преимущества перед другими методами, в которых необходимо проводить прецизионную фильтрацию или разделение ионов в растворах.

В качестве примеров применения ТМ с порами (0,2-0,4) мкм для доочистки воды можно привести фильтры Исток-01 и Исток-02 [1]. Компактный фильтр Исток-01 позволяет очищать воду микрофильтрацией от железа, марганца, запахов и кишечной палочкив полевых и экстремальных условиях.

Применения мембраны в прикладных физических исследованиях, позволяет изучать прохождение электромагнитных волн, используя ТМ как структуру с равномерно заданным количеством и размером пор. Особый интерес представляют исследования электромембранного разделения ионов солей в раствора с помощью ТМ. Возникающие при этом в стенках пор электрические заряды изменяют массоперенос ионов в растворах.

Также ТМ применяются в качестве темплейтных шаблонов при выращивании наноструктур на поверхности различных материалов, а именно: при разработке защитных металлических покрытий, дорогостоящих катализатов.

Так как поры в трековой мембране распределены определенным образом и имеют неповторяемую трехмерную структуру, которую невозможно создать другими методами, такие ТМ можно применять как защитный знак при производстве дорогостоящих деталей и приборов.

Поры ТМ формируют в пленках полиэтилентерефталата (ПЭТФ), как правило, при облучении тяжелыми ионами с последующим химическим травлением. Существуют определенные ограничения пористости: площадь пор при диаметрах (0,2-0,4) мкм не должна превышать 20% от всей площади мембраны, так как от этого зависит прочность мембраны и возможность её эксплуатации.

В связи с этим возникла необходимость исследовать возможность увеличение пористости ТМ при уменьшении диаметров пор, а также её толщины при облучении высокоэнергетическими альфа-частицами и протонами.

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование возможности применения пучков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов для получения трековых мембран, и установление физико-химических процессов: формирования треков высокоэнергетических альфа-частиц и протонов, разработка технологии трековых мембран для фильтрации.

В соответствии с поставленной целью необходимо было решить следующие задачи:

1. Изучить обзор литературы по теме исследования и выбрать направления исследований.
2. Выбрать иследуемые материалы.
3. Провести теоретические оценки взаимодействия заряженных частиц с полимерами.
4. Провести облучение пленок полиэтилентерефталата высокоэнергетическими альфа-частицами и протонами на модернизированном циклотроне Р-7М ФТИ, ТПУ.
5. Получить экспериментальные образцы ТМ с сквозными порами с пористостью 10^7- 10^{13} пор/см^2.
6. Провести исследование основных характеристик ТМ: диаметров пор и пористости.
7. Провести анализ полученных результатов.

8. Сделать выводы на основании полученных результатов и основные рекомендации по применимости данного метода формирования ТМ.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Мембранные технологии

За последние 40 лет мембраны превратились из темы исследований в зрелую технологию промышленного разделения [2]. Это увеличением использования мембранной технологии по сравнению с обычными процессами сепарации является повышение экологического благополучия, и самое главное, строгие экологические нормы и правовое регулирование. На сегодняшний день в большинстве процессов разделения жидких и газообразных сред широко применяется мембранная технология и, следовательно, создание и получение новых типов мембран с обладающими различными свойствами имеет огромный практический интерес [3].

ТМ представляют собой тонкие кристаллические слои, металлические фольги или пленки (обычно полимерные, толщиной 5−25 мкм), система пор в которых образована облучением исходных непористых материалов высокоэнергетичными частицами (как правило, ускоренными тяжелыми многозарядными ионами, или осколками деления, или потоком летящих с высокими скоростями нано-и микрочастиц, или пучком синхротронного излучения, с последующим травлением латентных треков этих частиц до образования сквозных пор заданного диаметра) [4]. ТМ предлагает значительные преимущества по сравнению с другими пористыми мембранами,из-за их четко определенных структур пор и распределения монодисперсных пор по размерам [5]. Классические ТМ, полученные облучением полимеров ускоренными тяжелыми ионами (Ar, Xe, Co, Kr и т.д) с последующим травлением латентных треков, находят широкое применение в процессе разделения, медицине, биотехнологии и экологии и многих других.

Мембраны заняли важное место в химической технологии, многих других, и используются в широком спектре применений [6]. Ключевым свойством является способность мембраны контролировать скорость проникновения химического вещества через мембрану. При контролируемой

доставке лекарств целью является умеренная скорость проникновения лекарственного средства из резервуара в организм. В технологии разделения цель состоит в том, чтобы позволить одному компоненту смеси свободно проникать в мембрану, препятствуя проникновению других компонентов.

К 1960 году была разработана современная мембранная наука, но мембраны использовались лишь в нескольких лабораторных и небольших специализированных промышленных применениях. Мембраны страдали от четырех проблем, которые запрещали их широкое использование в качестве процесса разделения: они были слишком ненадежными, слишком медленными, слишком неселективными и слишком дорогими. Решения каждой из этих проблем были разработаны в течение последних нескольких лет, и процессы разделения мембран в настоящее время являются обычным явлением.

Существующие различные мембранные процессы можно разделить на следующие группы [7]:

- Микрофильтрация,
- Ультрафильтрация,
- Нанофильтрация,
- Обратный осмос,
- Газоразделение,
- Первапорация,
- Электородиализ.

1.2 Воздействие тяжелых ионов на полимеры и образование треков

1.2.1 Модели формирования треков при воздействии тяжелых ионов

Теорию образования трека в конденсированной среде нельзя считать окончательно завершенной, несмотря на широкий круг работ, посвященных этой проблеме [8]. Необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования структуры латентных треков, которые

позволят внести фундаментальный вклад в разработку механизма взаимодействия ускоренных ионов с твердым телом, а также создать основы технологии формирования пористых наноструктур. Первая теория процесса формирования трека в конденсированной среде–теория микровзрыва была представлена Гольданским еще в 1975 г. [9]. С тех пор взгляды на природу трека высокоэнергетичной частицы существенно изменились.

Латентный трек представляет область среды, в которой произошли изменения в свойствах, структуре либо в фазовом состоянии вещества вблизи траектории иона. Эти изменения являются результатом реакции среды на возмущение, вносимое ионом. До момента стабилизации этих изменений в среде происходит последовательность различных превращений, которая начинается с акта передачи среде порции энергии. При энергии иона более 10кэВ/а.е.м. потеря энергии в основном вызвана неупругими столкновениями. При неупругих процессах ион взаимодействует с электронной подсистемой среды. Результатом такого взаимодействия в молекулярной среде является появление либо электронно-возбужденных молекул, либо электрон-ионных пар. Образующиеся при ионизации вторичные электроны с высокой энергией могут также в каскаде столкновений возбуждать молекулы и генерировать электроны и ионы. Это первичная стадия формирования трека, теория которой изложена в обзорах [10].

При высоких скоростях первичных ионов акты потерь энергии изолированы друг от друга, и в этом случае вдоль трека образуются простейшие трековые формы (электрон-ионные пары и отдельные электронно-возбужденные молекулы). По мере замедления иона в результате перекрытия нескольких пар образуются трековые формы более сложной конфигурации (шпоры, блобы и короткие треки). Наконец, когда средняя длина свободного пробега иона становится меньше размера шпоры в среде образуется сплошной трек. В сплошном треке можно выделить область конусообразной формы, называемую сердцевиной, заполненной трековыми формами, образованными как непосредственно первичным ионом, так и вторичными электронами. В

исследованиях, относящихся к визуализации треков в диэлектриках методами травления [11], в качестве размера сердцевины предложено выбрать наиболее нарушенную область трека, ограниченную радиусом порядка 4 нм. Именно в этой области трека поглощается более половины энергии, переданной среде ионом. Предложенный размер сердцевины соответствует минимальной величине радиуса полости, получаемой при травлении.

Последующая стадия эволюции трека в молекулярных средах связана с химическими превращениями вещества либо со структурными перестройками на фоне процессов выноса избыточной энергии из объема трека и диффузии активных промежуточных частиц. В конденсированной среде химическая стадия подразделяется на трековый период, при котором имеет место пространственная неравномерность в распределении химически активных частиц, и последующий период с равномерным распределением реагентов. По завершении этой химической стадии в среде устанавливается химическое равновесие. В твердом диэлектрике эта стадия заканчивается образованием латентного трека.

Из многообразия процессов превращения можно заключить, что в формирование дефектов в латентном треке вносят вклад многие механизмы. Относительная роль того или иного механизма в генерации дефектов зависит от структуры среды и пространственного расположения этих дефектов. Для установления механизма, ответственного за генерацию дефектов в латентном треке, необходим тщательный анализ процессов, протекающих в треке на физико-химической стадии.

1.2.2 Потери энергии и пробеги тяжелых ионов в веществе

Тяжелые заряженные ионы взаимодействуют с веществом, главным образом, через кулоновские силы. При прохождении заряженных ионов через вещество происходят столкновения с атомными ядрами и электронами от атомных орбиталей. При этом они теряют свою энергию. Столкновения

тяжелых заряженных ионов с атомными ядрами, или ядерное взаимодействие, очень редки, так как ядро занимает относительно малый объем в атоме. При низких энергиях ионов (ниже 1 МэВ) доминирует ядерное взаимодействие [12]. И наоборот, при энергиях выше 1 МэВ роль электронной составляющей возрастает как $\sqrt{E}$ (где E–энергия иона), достигая максимума в зависимости от иона между энергией 20 и 40 МэВ, а затем с ростом энергии убывает как $1/E$ (рисунок 1) [13].

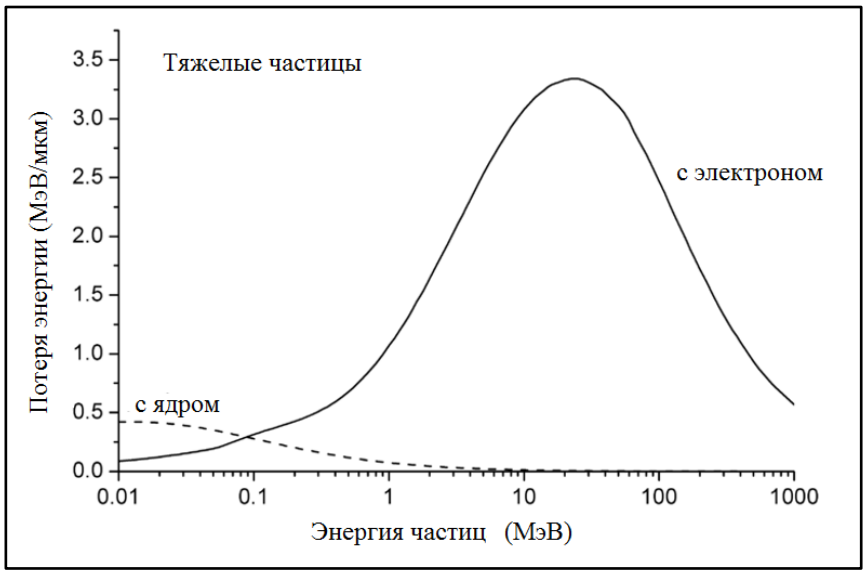


Рисунок 1 – Потеря энергии ионов при ядерном и электронном взаимодействии

Полные потери энергии можно представить в виде

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{полн} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{яд} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{эл}, \quad (1)$$

где правая часть выражения представляет собой сумму потерь энергии ядерных и электронных взаимодействий.

Заряженные ионы при электронном взаимодействии передают энергию в основном следующем путем:

1. За счет возбуждения, в этом случае заряженная частица может переносить энергию на атом, поднимая электроны до более высоких энергетических уровней.

2. За счет ионизации. Если заряженная частица обладает достаточной энергией для удаления электрона, может произойти ионизация.

Потери энергии заряженного иона с высокой энергией в веществе при электронном взаимодействии, определяются формулой Бете-Блоха [14]:

$$\frac{dE}{dx} = 0{,}30711 \cdot \rho \frac{Z_{ядер} \cdot z}{A \cdot \beta^2}\left[\frac{1}{2}\ln\left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{макс}}{I^2}\right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2}\right], \frac{МэВ \cdot см^2}{г} \quad (2)$$

где z – заряд падающей частицы в единицах заряда электрона, ρ – плотность вещества, $Z_{ядер}$– заряд ядра, A – атомный вес вещества, $\beta = \upsilon / c$ (υ – скорость частицы, c – скорость света) , m_e – масса электрона, $\gamma = E / M$ - Лоренц фактор частицы, $T_{макс}$–максимальная энергия, передаваемая частицей атомному электрону, β^2– релятивистская поправка, δ – поправка на эффект плотности, I – средний ионизационный потенциал атома среды. В приведенном уравнении член β^2 учитывает случаи рассеяния релятивистской частицы с большими передачами энергии. Легко оценить, что характерное значение логарифма в (2) равно 30. Поэтому поправка, связанная с членом β^2, не превышает 10–15% [15]. В области энергии 1-100 МэВ величиной δ можно пренебречь [14].

Для всех ионов потеря энергии уменьшается с увеличением энергии частицы (рисунок 2) [16] и в конечном итоге достигает постоянного, не зависящего от энергии значения.

Так как ионы теряют энергию при прохождении в веществе, они в конечном итоге потеряют всю свою кинетическую энергию и остановятся. Тогда полный путь, который заряженный ион проходит до остановки определяет пробег иона R. Из формулы (2) интегрированием получают выражение пробега иона от энергии R(E).

$$R = \int\left(\frac{dE}{dx}\right)^{-1} dE \quad (3)$$

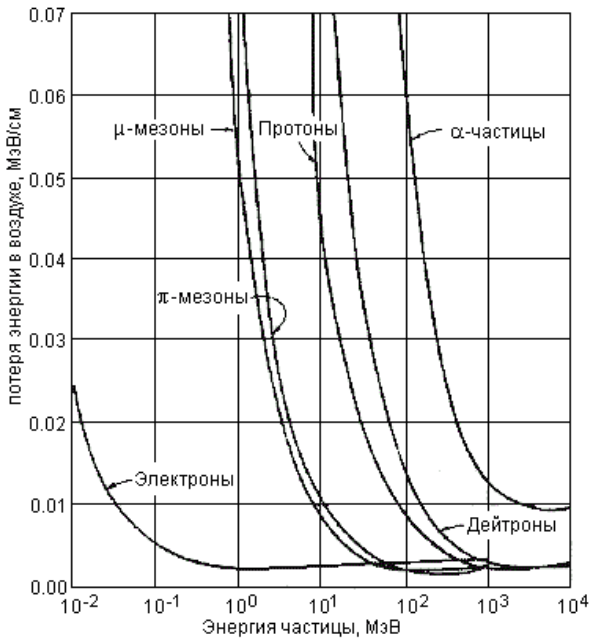


Рисунок 2 – График зависимости потерь энергии в воздухе от энергии частицы для нескольких типов частиц

На рисунке 3 представлены график зависимости dE/dx для некоторых ионов в полимере ПЭТФ и соответствующие данные для пробегов, взятые из [17].

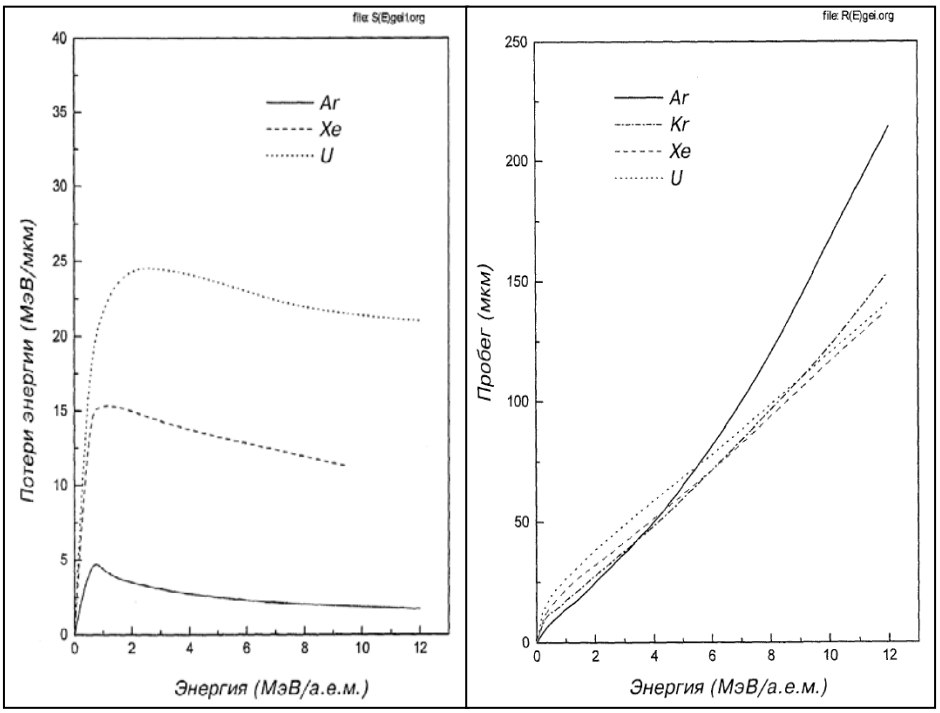


Рисунок 3 –Потери энергии ионов аргона (Ar), ксенона (Xe), урана (U), и пробег ионов аргона (Ar), криптона (Kr), ксенона (Xe), урана (U) в ПЭТФ полимере

1.2.3 Первичная и вторичная ионизация. Пространственное распределение поглощенной дозы в треке тяжелого иона

Протон и более тяжелые заряженные ионы, проникающие в вещество, оставляет за собой трек возбужденных атомов и свободных электронов с низко энергии, которые приобрели некоторую энергию при столкновении. Большинство из этих электронов получают очень небольшое количество энергии. Однако некоторые электроны приобретают достаточную энергию для перемещения макроскопических расстояний в веществе, которые способны сами создавать объемную плотность ионизации. Эти высокоэнергетические электроны называются дельта (δ) – электронами или вторичными электронами [18]. На рисунке 4 изображено образование латентного трека заряженного иона в веществе.

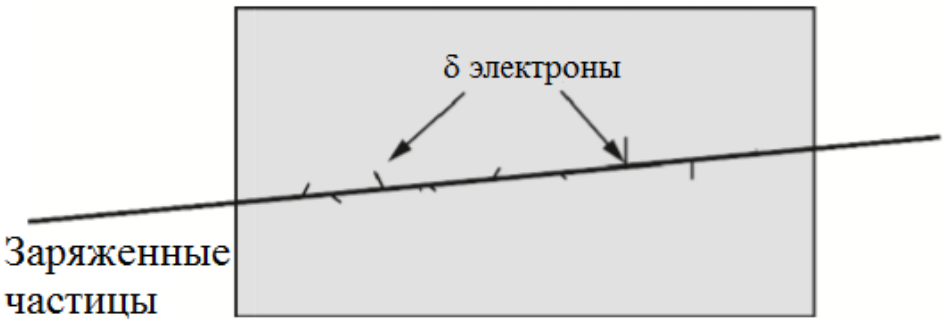


Рисунок 4 – Латентный трек заряженного иона ввеществе

Первичная ионизация – это ионизация, вызванная прохождением заряженных частиц, а ионизация, вызванная δ-электронами является вторичной ионизацией. Для оценки количества δ-электронов, выбрасываемых ионами на единицу длины ионного пути с энергиями между E и $E+\Delta E$, используется формула, приведённая в работе [19]:

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2\pi N Z_{эфф}^2 e^4}{mc^2\beta^2}\frac{1}{E^2}\left[1+\frac{\beta^2 E}{E_m}+\frac{\pi\beta Z_{эфф}^2}{137}\sqrt{\frac{E}{E_m}}\left(1-\frac{E}{E_m}\right)\right] \qquad (4)$$

здесь: e и m – заряд и масса электрона, N – число свободных электронов на см^2 в веществе, E_m – максимальная энергия, которую ион может переносить на свободный электрон, задаваемый формулой:

$$E_m = \frac{2mc^2\beta^2}{1-\beta^2} \tag{5}$$

В формуле (4) $Z_{эфф}$– эффективный зарядионапредставляетсявследующем виде:

$$Z_{эфф} = Z\left[1-\exp\left(\frac{-125\beta}{Z^{2/3}}\right)\right] \tag{6}$$

Первичная ионизация I, представляющая скорость первичной ионизации или плотность радиационного нарушения, является функцией атомного номера Z и скорости $\beta(v/c)$ иона. Обычно используется функциональная форма, основанная на работе Бете [20]:

$$I = \frac{a\cdot Z_{эфф}^2}{\beta^2}\left[\ln\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right)+K-\beta^2-\delta\right] \tag{7}$$

где a и K – константы для данной тормозящей среды, δ – релятивистская поправка, связанная с поляризацией этой среды (для β<0,8; δ=0), $Z_{эфф}$– эффективный заряд.

Формированный латентный трек при бомбардировке заряженного иона в материалах (рисунок 5) состоит издве основной части – сердцевина и оболочка. За счет первичной ионизации и низкоэнергетических электронов формируется сердцевина. За счет вторичной ионизации или высокоэнергетических дельта-электронов формируется оболочка. На рисунке 5 изображено поперечное сечение латентного трека спустя 10^{-15} секунд после прохождения заряженного иона [17].

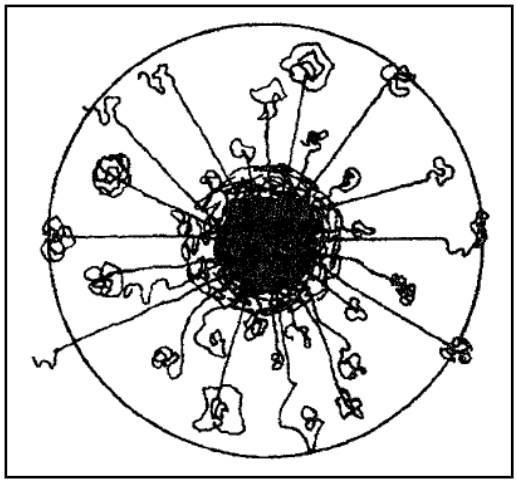


Рисунок 5 – Поперечное сечение латентного трека

Расчет пространственного распределения поглощенной дозы в треке тяжелого иона в разных работах [21-22] выполнен. Соответственно по этим работам пространственное распределение поглощенной дозы *D(r)* от функции радиуса *r* в полимерах представлено следующим выражением:

$$D(r) = K[1/r^2 - 1/(r \cdot r_{\max})] \qquad (8)$$

где *K* – коэффициент, который зависит от свойств вещества, атомного номера и энергии иона; r_{max} – максимальный пробег дельта-электронов.

На работе [23] проводились измерение радиальной скорости травления V_r трека иона ксенона при кондуктометрическом методе в тонком слое диэлектрического детектора из ПЭТФ, иллюстрированы размер и травимость латентного трека в соответствии с поглощенной дозы (рисунок 6). Из рисунка 6 видно, что V_r максимальна в относительно узком интервале доз вблизи центра трека, и уменьшение V_r вдоль радиуса трека связано с падением поглощенной дозы [12].

Ниже на рисунке *а* – образование трека; *1* – направление движения иона; *2* – фронт травления; *3* – область радиационного нарушения материала. Точки показывают плотность радиационных дефектов; штриховая линия ограничивает район латентного трека, где радиальная скорость травления области трека V_r больше скорости травления материала; $V_м$, V_T – скорость травления материала в области трека иона вдоль его траектории; θ – угол конуса; *б* – изменение

поглощенной дозы $D(r)$ (слева) и радиальной скорости V_r (справа) при увеличении расстояния r от траектории иона.

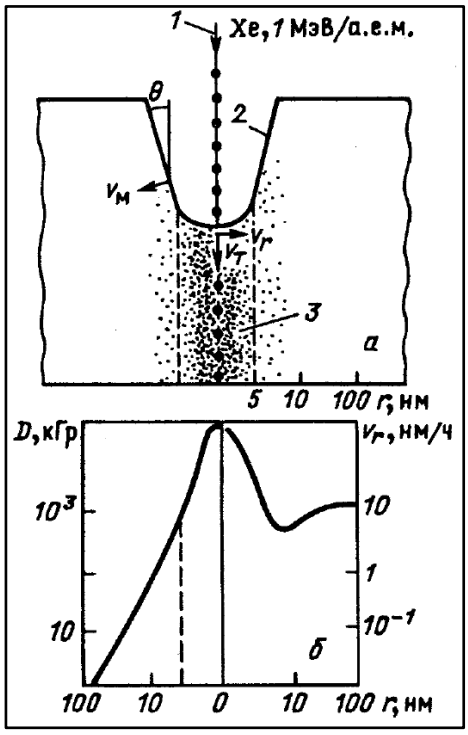


Рисунок6 – Схематическая модель процесса травления трека ксенона

1.2.4 Химическое травление латентного трека тяжелого иона

Наблюдение латентных треков электронным микроскопом, возникающее в результате прохождения тяжелых заряженных ионов, обеспечивает привлекательный метод для изучения основных процессов радиационного повреждения в тех кристаллах или полимерах, в которых образуются трекы. Эти наблюдения стимулировали повышенный интерес к исследованиям треков тяжелых ионов в материалах. Непосредственные наблюдения латентных треков затруднялись тем обстоятельтвом, что под электронным микроскопом в большинстве материалов они быстро исчезали. С этой досадной особенностью удалось справиться посредством применения химического травления облученного материала. Оказалось, что в материале после травления его химическими реагентами латентные треки тяжелых ионов

увеличиваются до размеров, при которых они становятся видимыми в оптическом микроскопе [24].

Химическое травление – это процесс образования пор в полимере. При химическом травлении поврежденная зона латентного трека удаляется и трансформируется в полый канал или сквозный пор. При подходящих условиях химически модифицированный материал вдоль ионной траектории в полимере растворяется с большей скоростью, чем необлученный материал.

Количественная зависимость между скоростью травления вдоль трека V_T, скоростью травления неповрежденного полимера V_B, и характеристикой X тяжелого заряженного иона часто аппроксимируется эмпирическим соотношением [25]:

$$V_T / V_B = 1 + aX^b \qquad (9)$$

где в качестве X могут выступать dI/dx, линейная передача энергии (*ЛПЭ*), $(Z_{eff}/\beta)^2$, a и b – эмпирические коэффициенты.

Коэффициенты a и b могут получить с помощью калибровочных экспериментов. Соотношение V_T / V_B является мерой избирательности травления латентного треака. Данное соотношение определяет геометрию фигуры, формирующейся в результате химичекого травления поврежденной зоны в месте прохождения заряженого иона.

Процесс травления, протекающий вдоль ионной траектории в полимере, иллюстрируется схематической моделью на рисунке 7 [17].

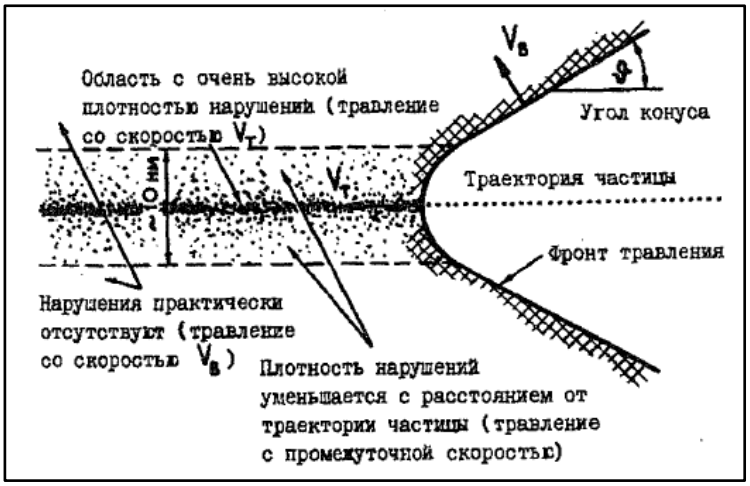


Рисунок 7 – Схематическая модель процесса травления трека

Угол конуса или угол открытия поры определяется выражением:

$$\vartheta = \arcsin\frac{V_B}{V_T}. \qquad (10)$$

Таким образом, поры различной геометрии могут быть получены путем изменения избирательности травления: чрезвычайно высокое отношение V_T / V_B приводит к цилиндрической геометрии пор ($\vartheta \sim 0$), а $V_T / V_B \geq 2$ приводит к порам биконической формы ($\vartheta > 0$).

В радиационной химии потери энергии бомбардирующего иона предпочитают называть линейной передачей энергии (ЛПЭ). Избирательность травления треков обычно увеличивается с увеличением ЛПЭ, однако при очень высоких значениях ЛПЭ (близких к 10кэВ/нм и выше) эта функция имеет тенденцию к насыщению или даже может показывать максимум. На рисунке 8 показан график зависимости величины V_T / V_B от линейной передачи энергии различных ионов в ПЭТФ [7].

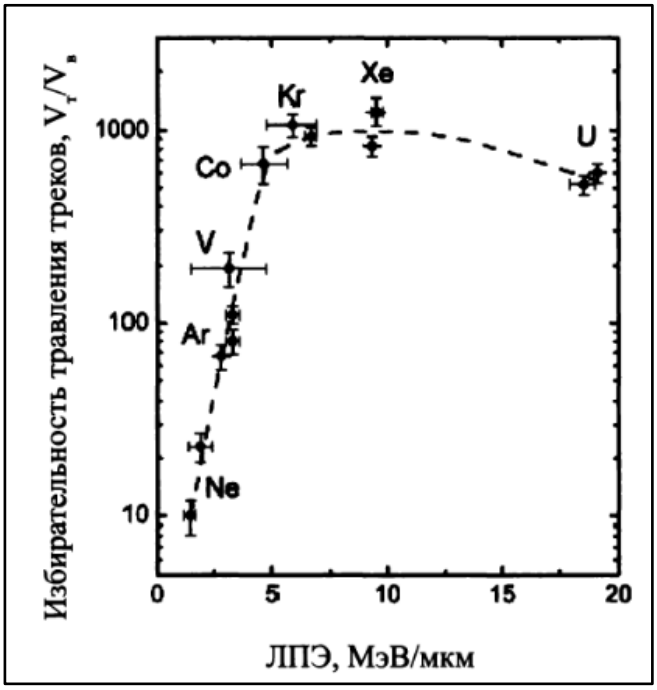


Рисунок 8 – График зависимости величины V_T / V_B в ПЭТФ пленках от ЛПЭ образующего трек иона. Треки сенсибилизированы УФ – излучением

1.2.5 Структура и размеры трека при химическом травлении

Как изучены в предыдущих подглавах, энергетические ионы создают изменения в полимере вдоль своей траектории, при прохождении через вещества. Эти изменения, структурныеихимические, изменяют свойства полимера. Проходя через вещество, заряженный ион взаимодействует с электронами среды, передавая им часть своей кинетической энергии. Как показана на рисунке 5, сердцевина, в которой происходит первичная ионизация, имеет диаметр порядка 10 нм. Вторичная ионизация вызывают образование радиационных дефектов в оболочке трека, имеющей поперечный размер порядка 100 нм [26].

Простейшее описание геометрии пор основано на двух параметрах – скорость травления вдоль трека (V_T) и скорость травления неповрежденного полимера (V_B). Соответствующая иллюстрация приведена на рисунке 9 [5].

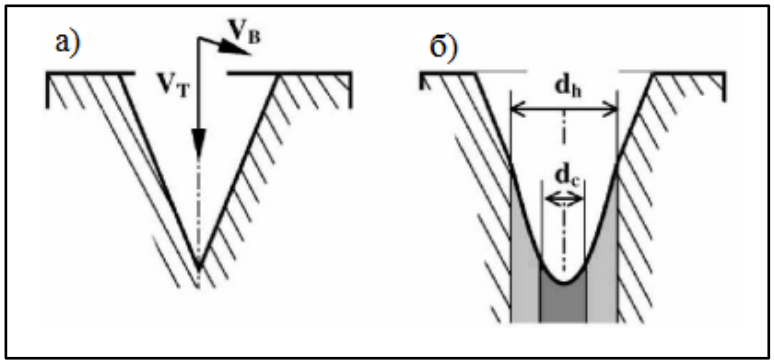


Рисунок 9 – Геометрия формирования пор: а) – в изотропной однородной среде. б) – на нанометровом уровне

Коническая форма пор преобразуется в цилиндрическую форму при V_T>>V_B. Форма острия фигуры травления зависит поперечных размеров сердцевины трека (d_c) и оболочки трека (d_h) (рисунок 9 б). Скорость травления неповрежденного полимера (V_B) зависит от большего числа факторов, таких как: чувствительность к материалам, условия облучения, условия после облучения и условия травления. Для увеличения скорости травления трека используются различные методы сенсибилизации: окисление кислородом воздуха, фотоокисление и действие различных растворителей. Избирательность

травления играет ключевую роль в технике травления полимеров и в технологии производства ТМ. При соотношении $V_T / V_B \approx 30$ поры имеют сужение в толще мембраны. При избирательности травления треков порядка 10^3, поры получаются цилиндрические. Поры могут быть изготовлены в различной форме, например, цилиндрические, конические, биконические и воронкообразные, как это схематически показано на рисунке 10.

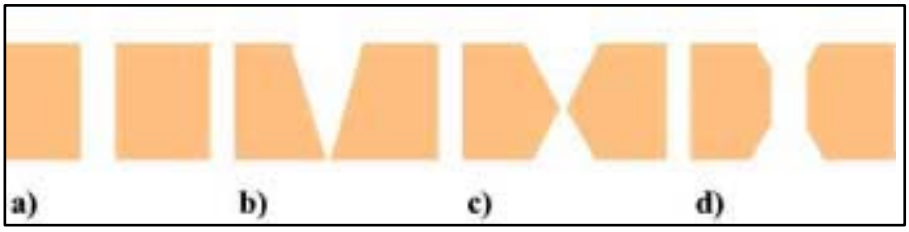


Рисунок 10 – Схематическое представление пор в различных геометрических формах, которые могут быть созданы химическим травлением треков тяжелых ионов в полимерах.a) цилиндрический, b) конический, c) биконический, d) воронкообразный

1.2.6 Трековые полимерные мембраны

Трековые мембраны известны как точные пористые пленки с очень узким распределением пор по размерам. Использование треков заряженных ионов для получения пористых мембран было предложено после обнаружения протравленных треков в твердотельных детекторах [5]. Область обнаружения твердотельных треков возникла в 1958 году, когда первые наблюдения были представлены Янгом Д.А. [27]. Янг Д.А. проводился исследования, в которых кристаллы фторида лития, удерживаемые в 1 мм от пленки оксида урана, были облучены тепловыми нейтронами. После облучения кристаллы подвергались химической обработке реагентом ($HF+CH_3COOH$). В результате на поверхности кристалл обнаружен ряд мелких ямок. Оттуда появился мысль получения пористых мембран.

Первая технологическая обработка была реализована на практике в 70ые годы прошлого века фирмой NucleporeCo., которая выпустила трековые

мембраны из поликарбонатной пленки при облучении осколок деления ядер урана [26].

С 1960 года, В Лаборатории ядерных реакций в Дубне начали проводить эксперименты с использованием пучки ускоренных тяжелых ионов для того чтобы получить новые материалы. Итогом в 1970-е годы, производили трековые мембраны с использованием ускоренных ионов.

Уникальным свойством ТМ является то, что количество пор и размер пор являются двумя почти независимыми параметрами, которые могут варьироваться в очень широких пределах. Диаметр пор может составлять от 10 нм до десятков микрометров. Плотность пор доступен в диапазоне от 10^4 до 10^{10} $см^{-2}$ с пористостью до 20% [28]. Никакой другой тип мембран не предоставляет такую возможность.

ТМ производятся с использованием различных полимеров, таким как полиэтилентерефталат (ПЭТФ), поликарбонаты (ПК), полипропилен (ПП), поливинилиденфторид (ПВДФ), полиимиды (ПИ), CR-39 и т.д.

ПЭТФ полимер довольно устойчив в кислотах, органических растворителях, биологически инертен и механически прочен. Достигается высокое соотношение скорости травления (при использовании УФ-сенсибилизации), что позволяет производить широкий диапазон мембран с различными диаметрами пор. Процедура травления проста и быстра. Щелочные растворы (иногда с добавками) используются для разработки дорожек. Мембраны являются относительно гидрофильными без какой-либо дополнительной модификации.

ПК полимер –это материал, который использовался для производства трековой мембраны с семидесятых годов. Технология производства ТМ из ПК очень близка к технологии производства ТМ из ПЭТФ. По сравнению с ПЭТФ, чувствительность ПК выше, что позволяет производить мембраны с диаметром пор ~0,01 мкм и пропускать стадию УФ-сенсибилизации. Поликарбонатные трековые мембраны отличаются от ПЭТФ мембран, это более низкая стойкость к органическим растворителям и более низкая смачиваемость.

ПП полимер был исследован в качестве исходного материала для мембран, которые будут использоваться для фильтрации некоторых агрессивных жидкостей, таких как сильные щелочные растворы или неорганические кислоты. Химическое травление в сильных окислителях (триоксид хрома) эффективно при создании латентных треков в полипропилене [29]. Процесс травления значительно сложнее, чем травление ПЭТФ или ПК. Образцы трековых мембран из полипропилена с различными диаметрами пор в диапазоне от 0,1 до 3 мкм были изготовлены в лабораторных условиях. Мембраны являются гидрофобными.

Значительные усилия были предприняты для создания трековых мембран из фторированных полимеров. Наилучшие результаты были получены с ПВДФ полимером, который проявляет хорошие химические, механические и регистрационные свойства частиц. ПВДФ имеет также некоторые специальные свойства (пьезоэлектричество), которые привлекают внимание исследователей. Так как ПП полимер, травление ПВДФ с сильными окислителями создает проблемы. Обычно для достижения размера пор в микрометрическом диапазоне требуется несколько часов.

ПИ полимеры обладают превосходной стабильностью при высоких температурах, отличной механической прочностью и исключительной радиационной стойкостью. Возможность изготовления трековой мембраны была показана. Для получения ТМ с помощью полиимидах были публикованы в нескольких работах [30-32]. NaClO и H_2O_2 обеспечивают довольно высокое соотношение скоростей травления, позволяющее получать пористую мембрану хорошего качества. Однако неустойчивость травителей во времени при высоких температурах является серьезной проблемой для технологии.

Теперь мы понимаем определяющие факторы и имеем множество эмпирических данных, позволяющих нам производить какой-либо конкретный продукт на основе ПЭТФ и других полимеров. Геометрия пор может быть выполнена цилиндрической, конической, воронкообразной и биконической по желанию.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Трековые мембраны производится путем облучения полимеров ускоренными тяжелыми ионами (Ar, Xe, Co, Kr и т.д) с последующим химическим травлением латентных треков. Для проведения всех технологических процессов исследования применялись следующие методы:

– Химическое травление на основе гидроксида натрия (NaOH);
– Спектрофотометрическое исследование;
– Программа расчета потерь и пробега SRIMM;
– Микроскопический метод;
– Метод “Пузырька”.

В качестве оборудования для исследования применялись:

– Циклотрон Р-7М ФТИ, ТПУ;
– Спектрофотометр ССП-310;
– Сканирующий электронный микроскоп HitachiTM-1000;
– Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима;
– Лабораторная установка для измерения вольт-амперной характеристики.

2.1 Исследуемые материалы

Выбор материала для изготовления трековых мембран основан на ряде требований. Основными требованиями являются: доступность материала, высокая прочность, химическая стойкость, стабильность механических свойств в широком диапазоне температур, дешевизна и другие. При учете данных требований полиэтилентерефталатная пленкас толщиной ~10мкм была выбрана приемлемым материалом для изготовления трековых мембран.

Преимущества ПЭТФ пленки [33]:

– Полимерный гибкий материал. Если сравнивать с полиэтиленовыми плёнками, плёнка ПЭТФ обладает более высокой механической прочностью и прозрачностью;

– Прочная, очень гибкая и долговечная пленка;

– При растяжении, пленка ПЭТФ довольно трудно разрывается. Она отличается особой влагостойкостью и необыкновенной стойкостью к большинству химикатов. Интервал выдерживаемых температур (-70°С-150°С);

– Выпускается в рулонах шириной 900 мм, весом до 200 кг. Также её производят в роликах шириной от 10 мм и более с шагом 5 мм;

– Срок хранения – 12,5 лет со дня изготовления.

– Деструкция начинается почти при 300 °С;

– Химическая стойкость (к основным классам химических веществ);

– Низкая газо- и влаг проницаемость;

– Простая технология окраски без металлизации;

– Легко растягивается, оставаясь прочной к разрыву и проколу;

– Требует низкихтеплозатрат для формовки;

– Легкость цветной печати на ее поверхности;

– Возможность использования разнотипных методов переработки и вторичного использования.

Рисунок 11– Выпускаемая полиэтелентерефталатная пленка

Свойства ПЭТФ пленки [34]:

- Температура стеклования 70°С;
- Температура плавления 264°С;
- Теплостойкость 130°С;
- Кристалличность 40–60%;
- Прочность на разрыв 26–28кг/мм^2;
- Модуль упругости 4000МПа.

2.2 Циклотрон Р-7М ФТИ, ТПУ

Циклотрон – резонансный циклический ускоритель нерелятивистских тяжёлых заряженных частиц (протонов, ионов), в котором частицы двигаются в постоянном и однородном магнитном поле, а для их ускорения используется высокочастотное электрическое поле неизменной частоты.

Преимущества облучения ионами на циклотроне:

- Стабильность ядер ускоряемых ионов.
- Возможность регулировки энергии бомбардируемых частиц и угла их ввода.

Для формирования латентных треков в полимерах используются различные ионные ускорители. В настоящей работе был выбран ионный ускоритель циклотрон Р-7М ФТИ, ТПУ (рисунок 12 а). Протонное облучение и облучение альфа-частиц проводятся в воздухе на циклотроне Р-7М ФТИ, ТПУ (рисунок 12 б). На таблице 1 приведены характеристики ускоренных частиц на циклотроне Р-7М.

Таблица 1 – Характеристик иускоренных частиц на циклотрине.

Частицы	$E_{макс}$**, МэВ /** $I_{макс}$**,мкА**
H	10 / 50
He	28 / 50
C, N, O, Ar	1 МэВ/нукл./ 0,15

Рисунок 12 а) Циклотрон Р-7М. б) Мишенный узел (место установки облучаемого полимера)

2.3 Установка для химического травления и ультрафиолетового облучения

Для формирования сквозных пор в облученных полимерах применяется технология химического травления. В широком применении химической обработки полимеров для формирования сквозных пор применяются щелочные травители на основе KOH, Na_2CO_3, K_2CO_3 и в частности на основе NaOH, который в свою очередь использовался именно в нашем исследовании. Ниже, на рисунке 13 продемонстрирована установка по травлению облученных полимеров в лаборатории 16, ФТИ, ТПУ.

Рисунок 13 – Установка для травления латентных треков

Для управления скоростью химического травления латентных треков и основы полимера и с целью уменьшения времени травления облученных

пленок, перед химическим травлениемоблученные полимерыподвергается по традиционному УФ-облучению (сенсибилизации) в диапазоне длин волн 310-330 нм. Часть излучения в диапазоне λ = 305-315 нмпоглощается в поверхности образцы, приводя к фотохимическим изменениям (деструкция, повышенная скорость травления).

В данном исследовании использовалась установка УФО с эритемными лампами типа Э–300 с длиной волной λ=(300–320) нм.дляоблучения полимеров ультрафиолетом, которая приведена на рисунке 14.

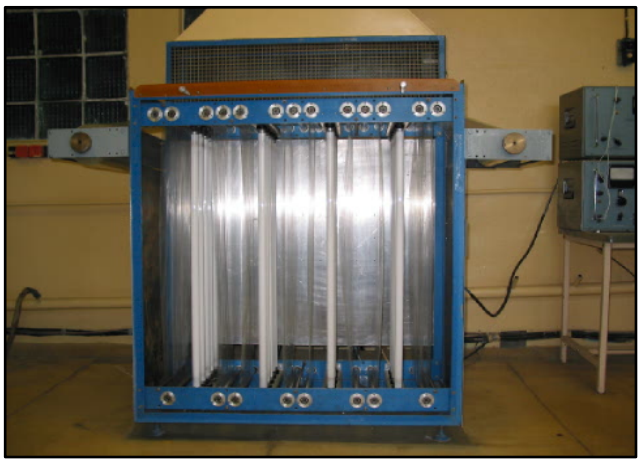


Рисунок 14 – Установка УФО для облучения пленки ультрафиолетом

2.4 Спектрофотометр ССП-310

Спектрофотометры СПЕКС ССП серий 310 предназначены для измерения коэффициента пропускания и оптической плотности твёрдых и жидких проб различного происхождения в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазоне спектра. Принцип действия спектрофотометров основан на спектрально-избирательном поглощении потока оптического излучения при прохождении его через жидкие или твёрдые материалы и вещества.

После УФ-облучения использовался спектрофотометр ССП-310 в ФТИ, ТПУ (рисунок 15) для исследования оптических изменений полимерах.

Рисунок 15 – Спектрофотометр ССП-310 в ФТИ, ТПУ

2.5 Сканирующий электронный микроскоп и атомно-силовой микроскоп

После химического травления в полимерах образуются сквозные поры. Для исследования пористости и морфологии поверхности полимеров ТМ были использованы микроскопические методы.

В нашем исследовании использовались сканирующий электронный микроскоп Hitachi “TM-1000” (рисунок 16) в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) и Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима (NT-MDT) в ТПУ(рисунок 17). Технические характеристики сканирующего электронного микроскопа HitachiTM-1000 [35]:

- Ускоряющее напряжение: 15кВ;
- Увеличение: х20-10000;
- Разрешение: 30 нм;
- Глубина резкости: 0,5 мм;
- Детектор: Твердотельный детектор обратнорассеяных электронов;
- Размер области обзора: X=15 мм, Y=18 мм;
- Максимальный размер образца: 70 мм в диаметре, 20 мм в высоту;
- Режимы: обычный ($5 \cdot 10^{-2}$ Па) или низкого вакуума ($(30\text{-}50) \cdot 10^{-2}$ Па) для наблюдения образцов с низкой проводимостью или содержащих влагу биологических образцов.

Рисунок 16 – Сканирующий электронный микроскоп Hitachi “TM-1000

Технические характеристики атомно-силового микроскопа Интегра-Терма-Прима (NT-MDT) [36]:

– Размер образца: до 40 мм в диаметре, до 15 мм в высоту;

– Вес образца: До 100 г;

– XY позиционирование образца: 5x5 мм;

– Разрешение позиционирования: разрешение – 5 мкм, минимальное перемещение – 2 мкм;

– Поле сканирования; 100x100x10 мкм, 3x3x2,6 мкм, не более 1x1x1 мкм;

– Нелинейность, XY: ≤0,1%;

– Ошибка измерения линейных размеров: ± 0.5%.

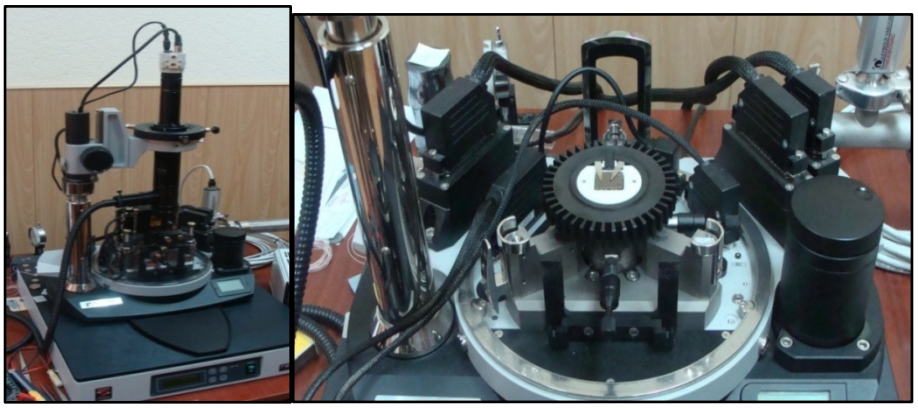


Рисунок 17 – Атомно-силовой микроскоп NT-MDT

2.6 Лабораторная установка для исследования полупроводящих свойств мембраны

Исследование полупроводящих свойств мембраны и измерение вольт-амперной характеристик (ВАХ) проводилось на лабораторной установке, которая включает в себя двухсекционную ячейку (рисунок 18). Размеры ячейки: длина: ширина: высота – 10:10:10 см. Внутренний объем –40 дм^3. Между секциями расположены изолированные от раствора мембрана, которую можно было легко менять. В качестве материала для изготовления секций, был выбран полистирол, который имеет высокую электрическую прочность, инертен в различных средах (в том числе агрессивных) и технологичен. Толщина боковых стенок ячейки составляла 30 мм.

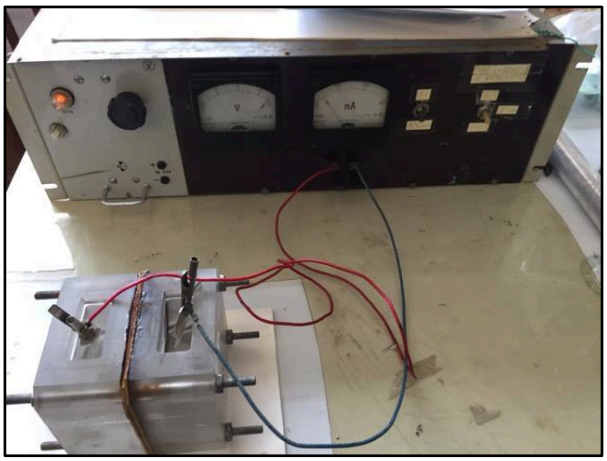


Рисунок 18 – Лабораторная установка для измерения ВАХ

2.7 Метод “Пузырька” для определения диаметров пор и проницаемости ТМ

Для определения диаметра пор трековых мембран используется метод “пузырька“, заключающийся в продавливании газообразного азота через мембрану, пропитанную смачивающей жидкостью (этиловый спирт). Схема установки для определения диаметра пор представлена на рисунке 19.

Если над мембраной поместить слой этилового спирта и постепенно повышать давление азота под мембраной, то при определенном давлении,

зависящим от диаметра пор, над поверхностью мембраны появляются визуально наблюдаемые пузырьки газа. В момент массового появления пузырьков газа в центральной части контролируемого образца фиксируется давление газа на мембрану.

Диаметр пор определяется по формуле:

$$d = 0{,}65/P \qquad (11)$$

где d – диаметр пор, мкм, P – давление в кг/см^2 .

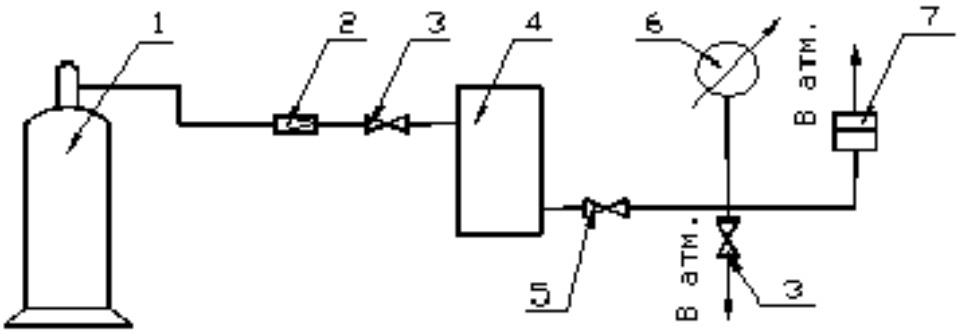


Рисунок 19 – Схема установки для определения диаметра пор. (1) Баллон с сжатым газом, (2) Редуктор 25-150, (3) Вентиль запорный, (4) Буферная емкость, (5) Вентиль регулировочный, (6) манометр образцовый, (7) устройства держателя с трековой мембраной

4 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

4.1 Исследование оптической плотности ПЭТФ, облученной ионами и УФО, методом УФ-спектроскопии

После УФО облучения перед химическим травлением проводились исследования изменения оптических характеристик пленок на УФ-спектрофотометре. На рисунке 26 представлены спектры пропускания для пленок ПЭТФ, после облучения ионами гелия, а также после воздействия УФО в течение 120 минут. Из рисунка видно, что спектр для образца, облученного ионами гелия и УФО, при исследовании на пропускание, сдвинут в сторону большей длины волны по сравнению с спектром от образца, облученного только ионами гелия. На рисунке черна линия – спектр УФ для ПЭТФ, красная линия – спектр для ПЭТФ после воздействия УФО, время экспозиции 120 минут.

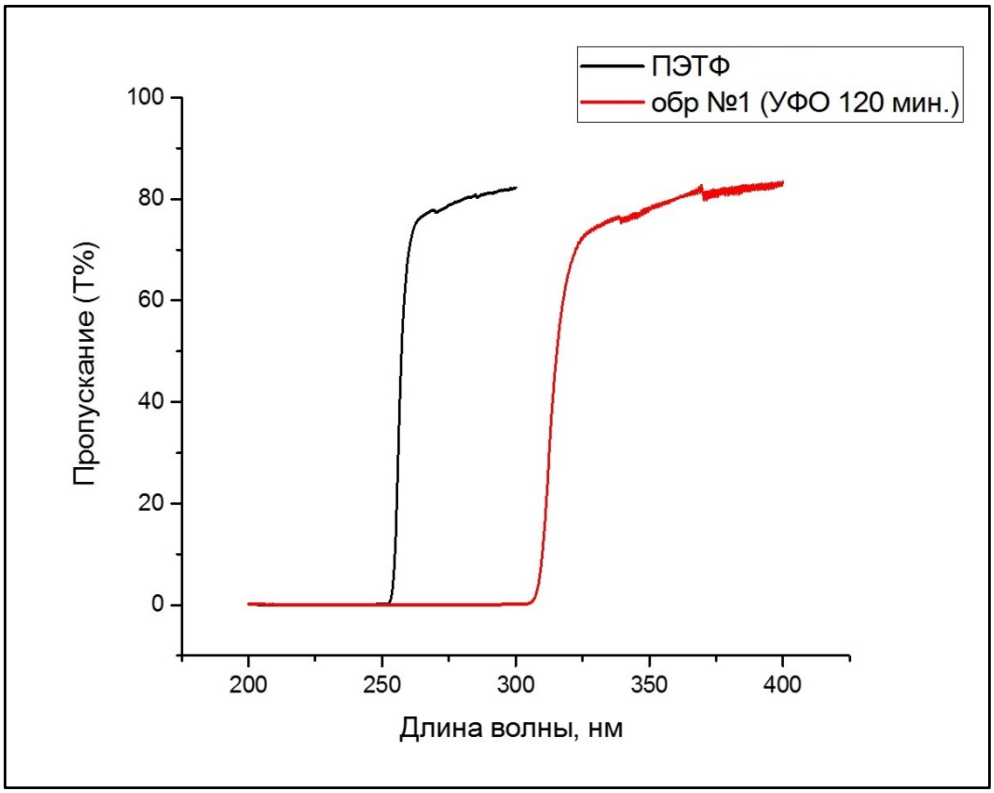


Рисунок 26 – УФ-спектры пропускания для пленок ПЭТФ

Сдвиг спектральной линии, вероятно, можно объяснить уменьшением плотности облученных образцов, за счет разрыва ковалентных связи и образования в треке “пустот ” [17].

На рисунке 27 представлены УФ-спектры для серии образцов облученных протонами. В данном случае, исследуемые образцы облучились протонами при разных экспозициях.

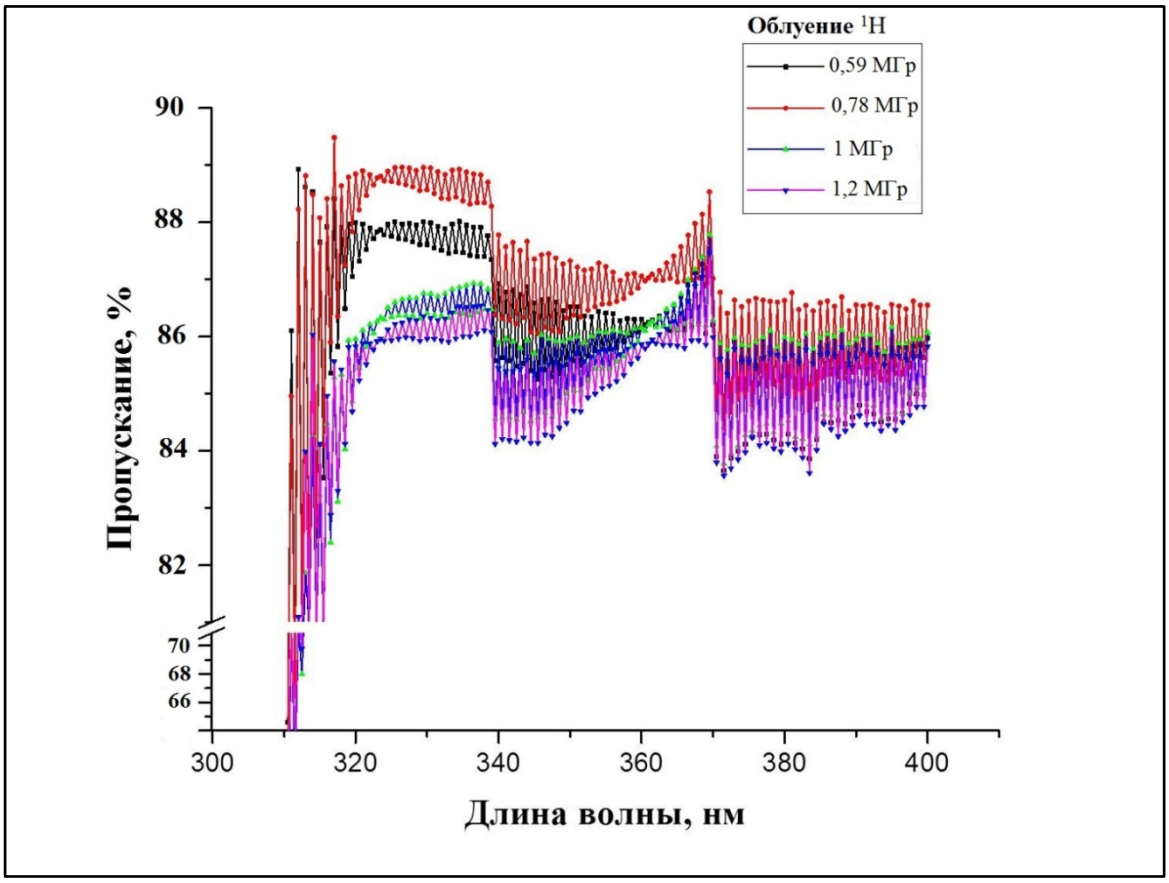


Рисунок 27–УФ-спектры пропускания дляобразцов после облучения ^{1}H

При процессе облучения исследуемых образцов нарушается кристаллическая структура пленки. Поэтому, анализируя спектры, представленные на рисунке 27 можно сделать следующий вывод, что при увеличении дозы облучения понижается оптическая плотность облученных образцов. Исключением из всех спектров оказаласьоптическаяплотность при дозе облучения, равной 0,78 МГр, что, вероятно, связано с некорректной работой спектрофотометра или калибровкой прибора.

Рисунок 28 демонстрирует УФ-спектры для образцов, облученных протонами и последующим облучением УФО в течение 30 минут. Из

энергетических спектров следует что после облучения УФО увеличилась дефектность кристаллической структуры исследуемых пленок ПЭТФ и уменьшилось пропускание УФ. На рисунке 28 черна линия – спектр УФ для ПЭТФ, красная линия – спектрдля ПЭТФ после воздействия УФО, время экспозиции 120 минут.

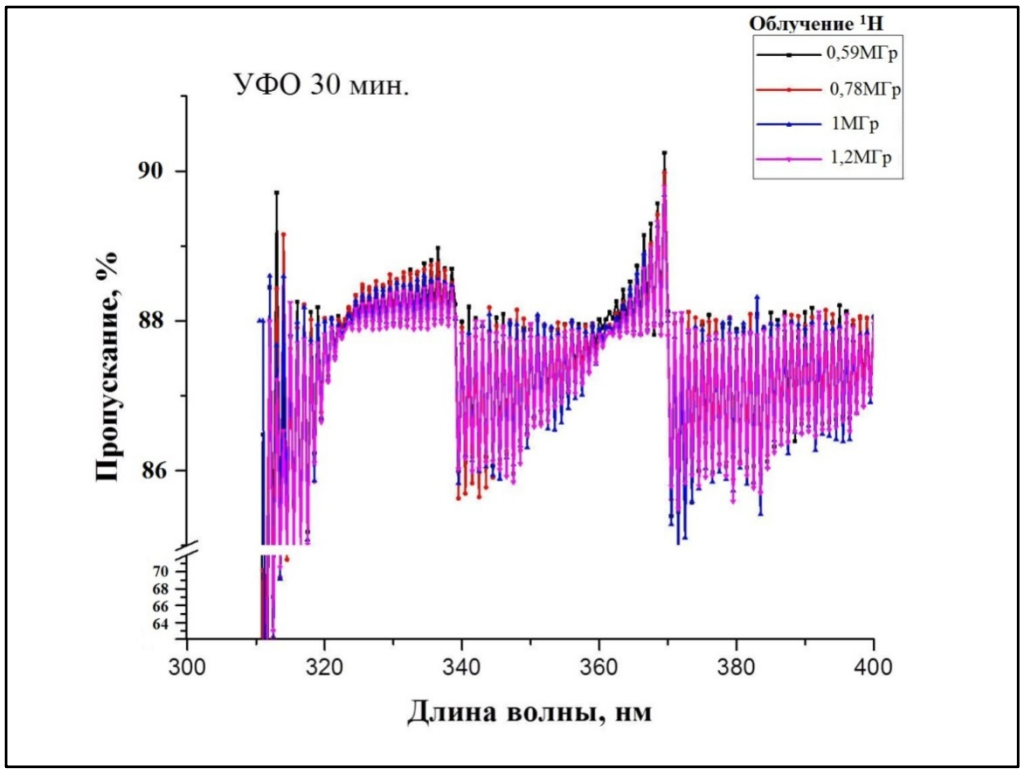


Рисунок 28 – УФ-спектры пропускания для образцов ПЭТФ

4.2 Исследование плотности пор ТМ

Исследование микроструктуры образцов, плотности пор мембран проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi TM 1000. Также исследование поверхности ТМ после травления проводили с помощью атомно-силового микроскопа NT-MDT в режиме постоянного сканирования.

На рисунке 29 продемонстрирована фотография поверхностей ТМ, облученных и протравленных для получения сквозных пор.

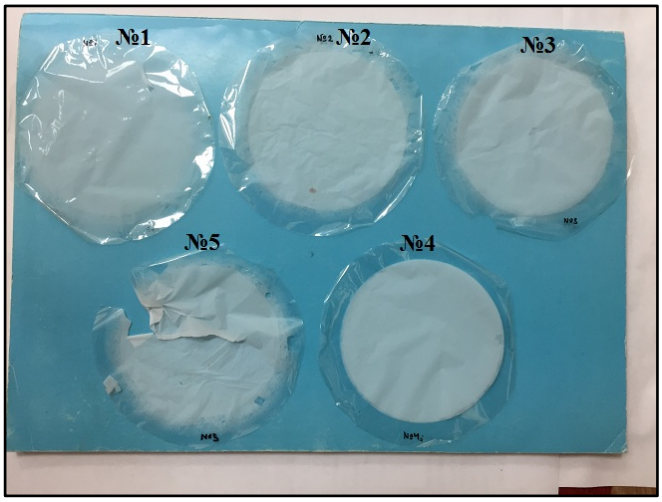


Рисунок 29 – Фотография поверхностей ТМ с сквозными порами

С помощью электронного микроскопа проводились исследование пористости ТМ для разных серий, облученных альфа-частицами и протонами образцов. Ниже на рисунке 30 представлены микрофотографии поверхности ТМ, облученных разными дозами протонов для энергии 6,8 МэВ. На рисунке а) – микрофотография ТМ – доза облучения 0,59 МГр; б) – 0,78 МГр; в) – 0,99 МГр; д) – 1,2 МГр соответственно. Время облучения ультрафиолетом для всех образцов составляло 30 минут, авремя травления – 25 минут.

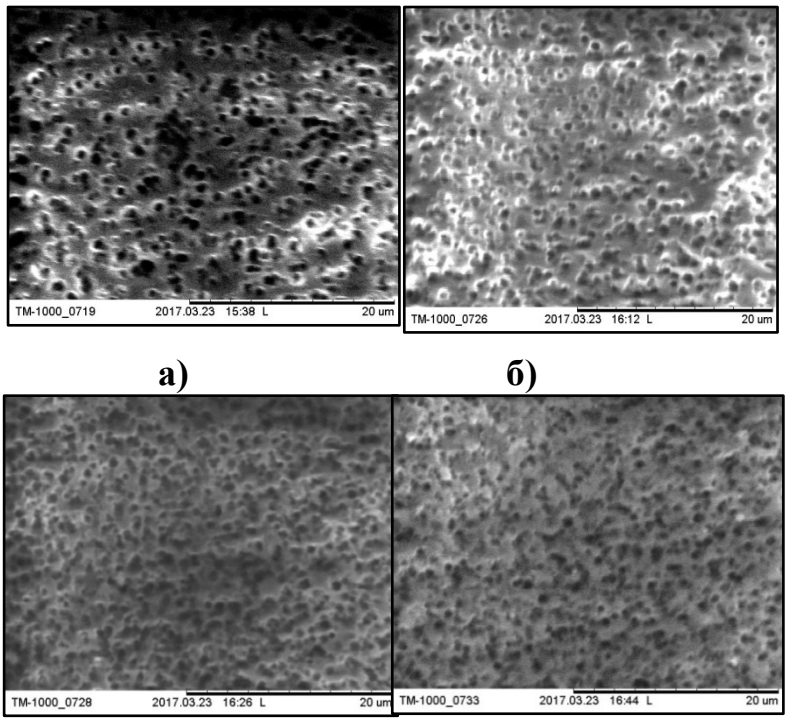
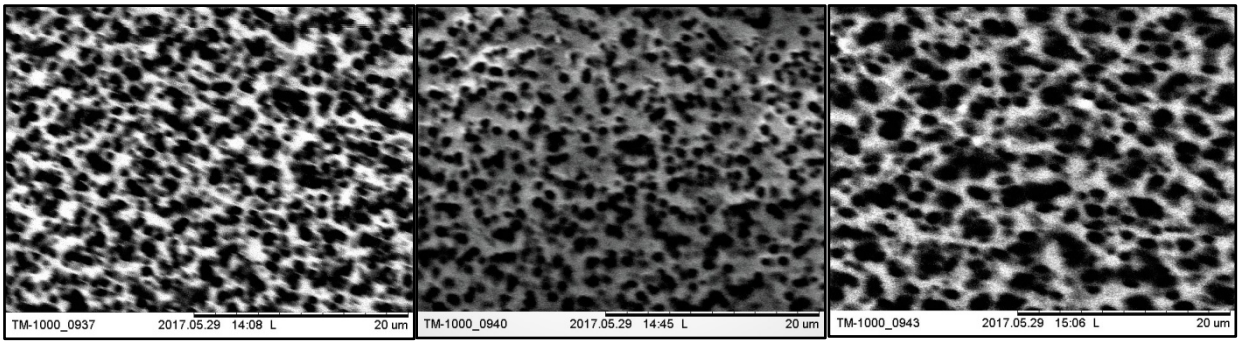


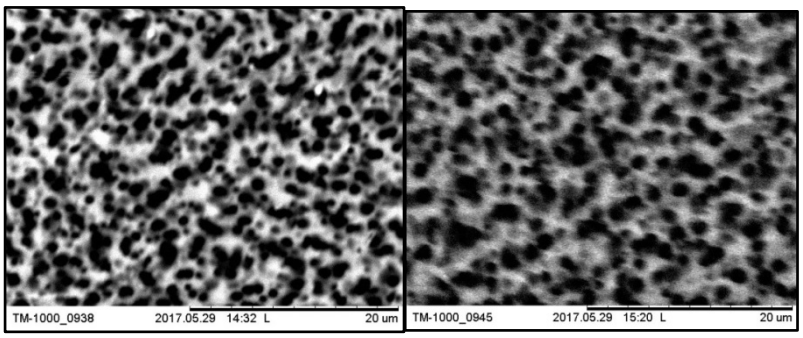
Рисунок 30 –Электронные микрофотографии поверхности ТМ (облучение протонами)

На рисунке 31 представлены микрофотографии поверхности ТМ, облученных дозами 2,3 МГр альфа-частицами для энергии 28 МэВ. На рисунке а) – микрофотография ТМ – время травления 25 минут; б) – 35 минут; в) – 45 минут; д) – 50 минут; е) – 60 минут соответственно. Время облучения альфа-частицами для всех образцов составляло 90 секунд, а время облучения ультрафиолетом – 120 минут.

Определить диаметров пор на этих снимках не представляется возможным изза большего количества пор, которые, возможно, прикрываются и из за этого размер диаметров не соответствует истинным диаметром. Поэтому диаметр пор определялось известным методом “пузырька” и контролировались кондуктометрией.



а) **б)** **в)**



д) **е)**

Рисунок 31 – Электронные микрофотографии поверхности ТМ (облучение альфа-частицами)

Для подсчета количества пор и определения плотности пор, выбирался участок на микрофотографии, площадью 2 см^2, затем проводился подсчет пор на эти площади мембраны и определялась пористость в количестве пор на см^2. Результаты определения пористости приведены на таблице 5 и 6.

Таблице 5 – Характеристики ТМ, облученных протонами

№ образца	**Время облучения, сек.**	**Доза облучения, МГр**	**Время травления, мин**	**Количество пор, 1/см^2 $\pm 5\%$**
1	90	0,59	25	$2{,}7\cdot 10^7$
2	120	0,78		$3{,}2\cdot 10^7$
3	150	0,99		$3{,}8\cdot 10^7$
4	180	1,2		$4{,}4\cdot 10^7$

Таблице 6 – Характеристики ТМ, облученных альфа-частицами

№ образца	**Время облучения, сек**	**Доза облучения, МГр**	**Время травления, мин**	**Количество пор, 1/см^2 $\pm 5\%$**
1	90	2,3	25	$3{,}5\cdot 10^{13}$
2			35	$4{,}7\cdot 10^{13}$
3			45	$5\cdot 10^{13}$
4			50	$5{,}5\cdot 10^{13}$
5			60	$6\cdot 10^{13}$

Из таблиц 5 и 6 следует, что при облучении протонами была сформирована трековая мембрана с плотностью пор ~10^7 пор/см^2, а при облучении альфа-частицами плотность пор ТМ составила ~10^{13} пор/см^2.

Высокая степень ионизация альфа частиц позволяет получать высокие плотности пор в ТМ вплоть до 10^{13} пор/см^2, в то время как плотность пор в ТМ, облученных протонами, определенная по микрофотографиям 10^7 пор/см^2. Такое различие в пористости ТМ возможно происходит из за наложения латентных треков, обусловленных размерами протона, и массой, которая в 4 раза меньше чем у иона гелия. Здесь следует отметить, что пористость классических трековых мембран, облученных тяжелыми ионами таких как аргон, ксенон, кобальт, не превышают 10^9 пор/см^2.

4.3 Исследование поверхности ТМ с помощью атомно-силового микроскопа

Рельеф поверхности ТМ сквозными порами исследовался с помощью атомно-силового микроскопа. Для этого из образцов мембраны вырезались кусочки размером 2х2 см и размещались в исследуемую камеру.

В качестве зондов использовали стандартные кантилеверы fp N10 с углом при вершине ~10 нм. Сила при сканировании в диапазоне 1,0-45 кН. Число точек сканирования – 512, поля сканирования: 10х10 мкм.

На рисунке 32 приведены изображения поверхностей ТМ, полученных с помощью атомно-силового микроскопа.

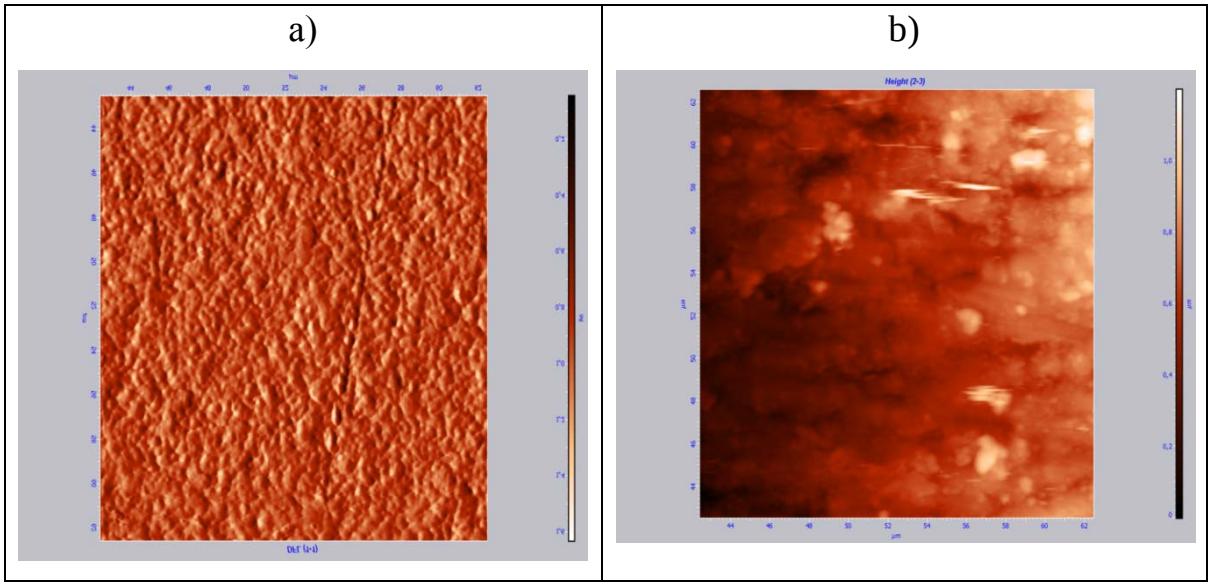


Рисунок 32– Рельеф поверхности ТМ.a) поверхность ТМ, облученная ионами гелия; b) ТМ – облученная протонами

На поверхности полимера после травления треков появляется различные дефекты в виде небольших кратеров. Наличие кратеров можно объяснить различием в скоростях травления облученных областей и не подвергнутой облучению основы ПЭТФ. Из за этого факта поверхность становится шероховатой. Следует отметить что травиться в щелочи как поверхность так и область трека, но с разной скоростью. При этом должно соблюдаться

соотношение $\frac{V_t}{V_b} \leq 100\%$, где V_t - скорость травления в треке, V_b – скорость травления основы.

Топографические снимки поверхности ТМ были получены в режиме 3D (рисунок 33).

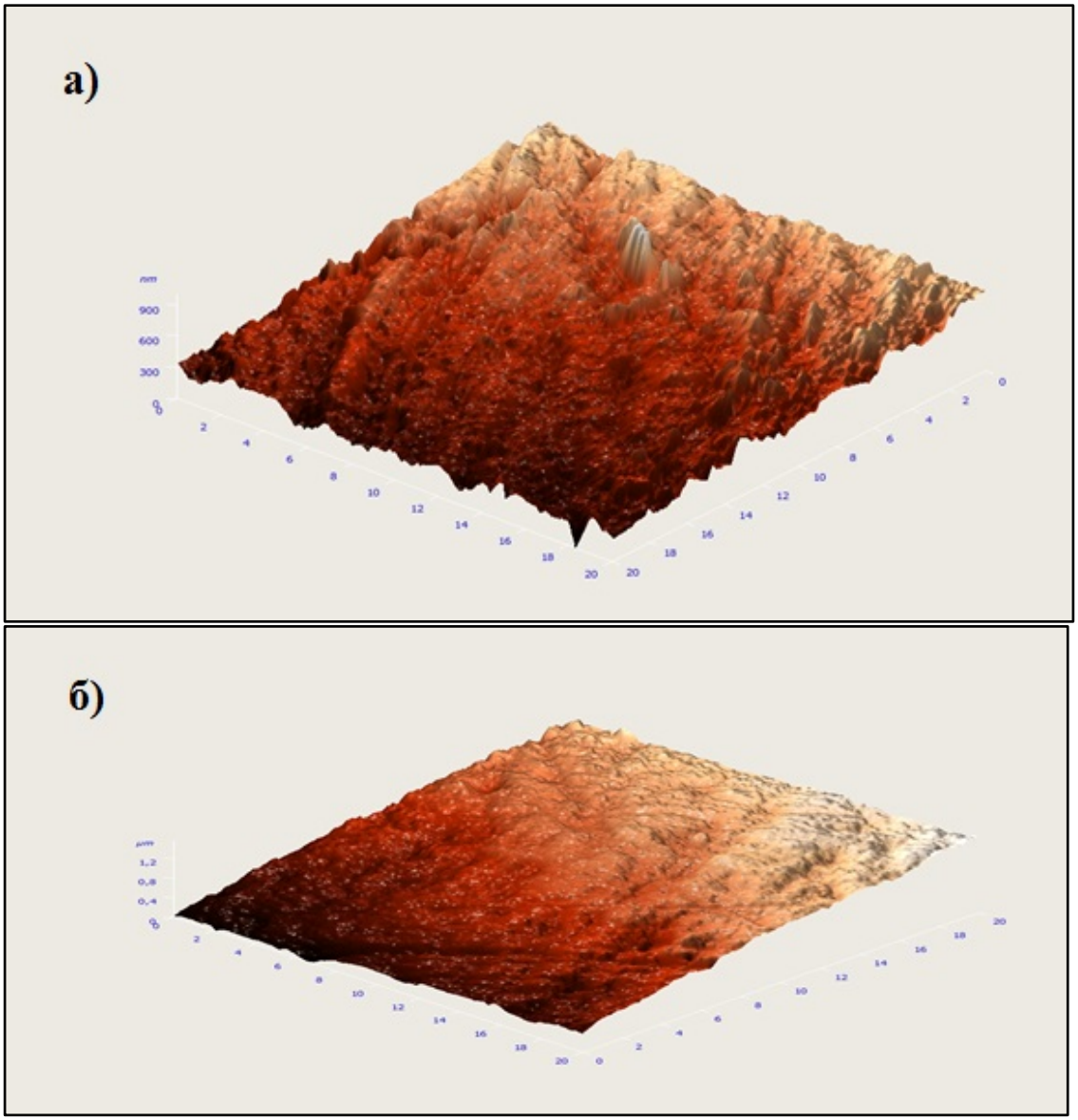


Рисунок 33 – Изображение области поверхности ТМ, облученной альфа-частицами (а) и облученной протонами (б)

На рисунке 33 хорошо видно, что поверхность ТМ, облученная альфа-частицами нарушена больше, чем поверхность мембраны, облученная протонами. Это, вероятно, можно объяснить тем, что масса протона в 4 раза

меньше масса иона гелия и при одинаковой дозе, расстояния между порами будет меньше, чем при облучении альфа-частицами.

4.4 Исследования диаметров пор и производительности ТМ

Методом «пузырька» определили диаметр пор и проницаемость ТМ, облученных протонами. Диаметры пор ТМ рассчитывались по формуле (11), в результате получили средние диаметры пор для данных ТМ (53,4-72) нм, и соответственно проницаемость по азоту ТМ (45,5-68,5) л·см^2/мин.

В таблице 7 представлены результаты определения диаметров пор и проницаемости ТМ, облученных протонами.

Таблица 7 –Основные характеристики ТМ, облученных протонами

№ образца	**Доза облучения, МГр**	**Р, кг/см^2**	**Диаметр пор по методу “пузырька”, нм,** $\pm 5\%$	**Проницаемость, л/мин· (см^2)**
1	0,59	12,2	53,4	45,5
2	0,78	10,8	60,2	56
3	0,99	10	64,7	62,5
4	1,2	9	72	68,5

На рисунке 34 представлен график зависимости величины диаметров пор ТМ от дозы облучения протонами.

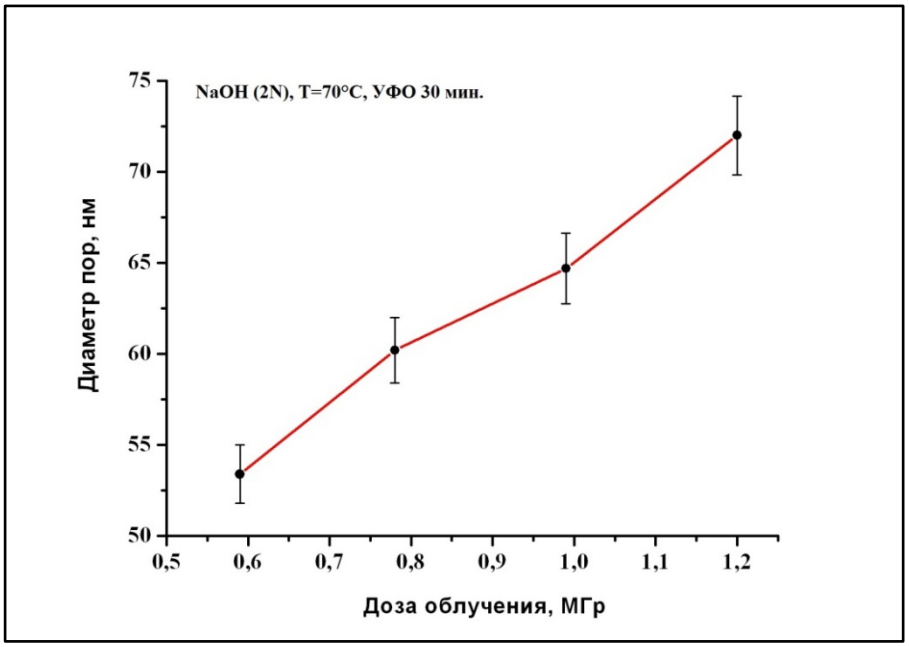


Рисунок 34 – Зависимость диаметров пор ТМ (облученные протонами) от дозы облучения

Из графика видно, что самые большие диаметры пор ~ 70 нм у ТМ, латентные треки, которых были получены при дозе облучения 1,2 МГр.

В результате анализа исследования d_p и Q былсделан вывод о влиянии дозы и вида облучения. Были получены зависимости диаметров пор ТМ (облученных протонами) от дозы облучения

По вышеуказанному методу также были рассчитаны диаметр пор и проницаемость образцов, облученных ионами гелия, равные (75,7-130,2) нм и (97,5-157,5) л/мин·см^2 соответственно. В таблице 8 представлены результаты измерения диаметров пор и проницаемости ТМ, облученных ионами гелия.

Таблица 8 – Основные характеристики ТМ, облученных альфа-частицами

№ образца	**Доза облучения, МГр**	**P, кг/см^2**	**Диаметр пор по методу “пузырька”, нм, ±5%**	**Проницаемость,л/мин·(см^2)**
1	2,3	8,6	75,7	97,5
2		7,5	86,7	113,5
3		6,7	97,4	132,5
4		6,8	95,8	140
5		5	130,2	157,5

На рисунке 35 приведена зависимость диаметров пор ТМ (облученные ионами гелия) от времени травления.

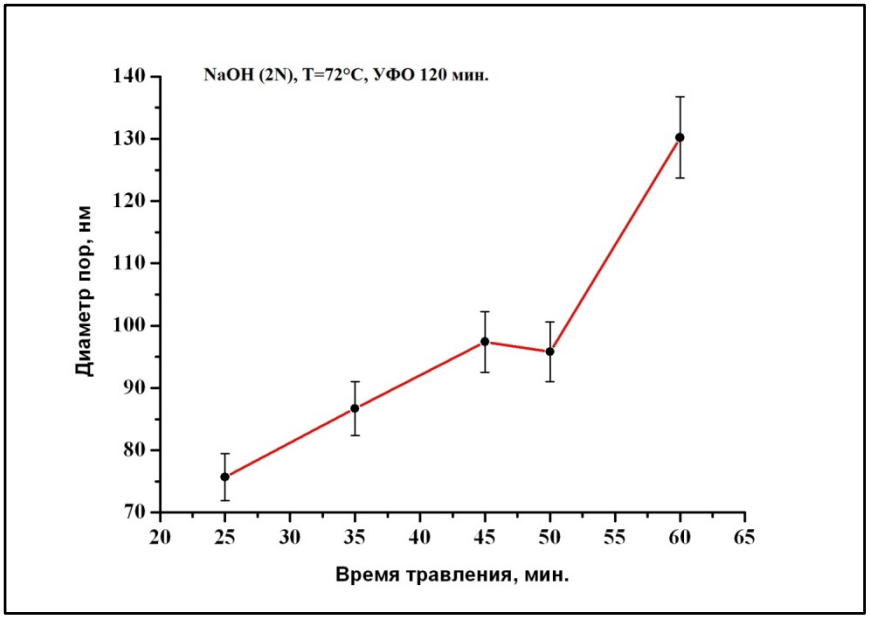


Рисунок 35 – Зависимость диаметров пор ТМ (облученные ионами гелия) от времени травления

Из графика видно, что увеличение диаметров пор имеет линейную зависимость в пределах 25-45 минут. Отклонение значения диаметров пор при 50 минутах от линейности графика обусловлено незначительным уменьшением температуры (до 70ºС) травящего раствора.

4.5 Исследование полупроводящих свойств мембраны

Был проведен эксперимент по применению, созданной с использованием радиационной химической технологии ТМ для обессоливания модельного раствора морской воды.

Исследование полупроводящих свойств мембраны проводилось на лабораторной установке, которая включает в себя двухсекционную ячейку. Для исследования полупроводящих свойств мембраны использовался модельный солевой раствор с концентрацией 30 гр/л в одной из ячейки находилось дистиллированной вода в другой модельный раствор. Анод и катод были из платиновой фольги. Напряжение на электроды подавалось от стабилизованной источники питания СА-01.

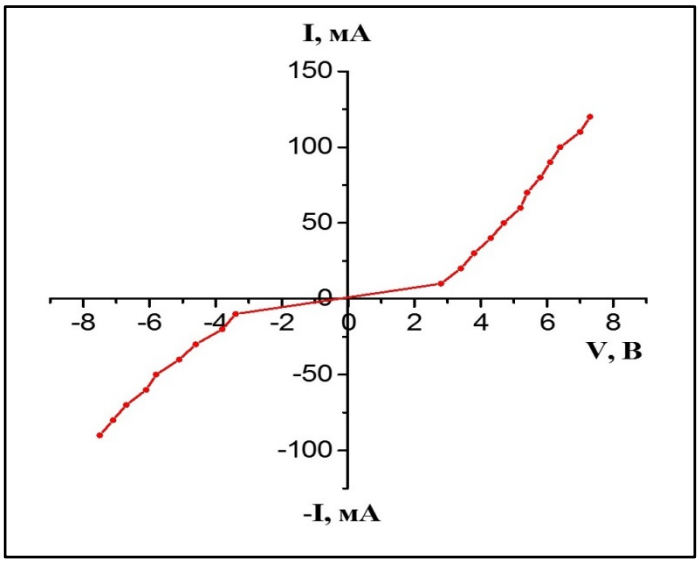


Рисунок 36 – Вольт-амперной характеристика ТМ, облученных альфа-частицами

На рисунке 36 представлена зависимость изменения тока электролита от изменения напряжения на электродах, поданного прямом и обратном направлении. Из графика видно, что смена напряжения на электродах в обратном направлением (-) приводит к возникновению плато на обратной ветви ВАХ. Это говорит о том, что поры сформированной нами мембраны имеют асимметрию, и поэтому скорость ионов Na и Cl в растворе различна. Измеренная плотность раствора при обратном включении показала увеличение

концентрации ионов натрия в левой части ячейки. Таким образом, было показано, что мембраны, полученные облучением ионами гелия и протонами можно использовать для разделения растворов солей.

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Работа направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия. В настоящей работе проводились исследования возможности использования альфа-частиц и протонов высокой энергии для создания ТМ с высокой пористостью и регулируемыми толщинами основы.

Классические ТМ получаются облучением полимеров ускоренными тяжелыми ионами (Ar, Xe, Co, Kr и т.д) с последующим травлением латентных треков. Однако, площадь, занимаемая порами в таких мембранах не должна превышать 20 % от общей площади трековых мембран из-за уменьшения её прочности. Кроме того, выбор толщины мембранной основы будет зависеть от энергии ионов и, соответственно, от пробегов их в полимере. Получение и исследование полимера полиэтилентерефталата происходили путем радиационно-химической разработки. Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научного проекта, разработка механизма управления и контролирование этапов реализации. В нем представляются результаты следующих этапов управления научным проектом:

- Инициация проекта;
- Планирование проекта;
- Исполнение проекта.

Данным этапам должен предшествует предпроектный анализ, направленный на сбор информации, описывающий требования к продукту или услуге.

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Конечным продуктом данного научного исследования является трековая мембрана с ультрамалыми порами и ее проводящие свойства. Сегментам рынка данной продукции можно отнести здравоохранительные и учебные учреждения, физические лица.

5.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Он проводится в несколько этапов.

В первом этапе описываются сильные и слабые стороны проекта, выявляются возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Соответствия или несоответствия помогут выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа строится интерактивная матрица проекта (таблица 10). Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечаем либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в табличной форме (таблица 9).

Таблица 9 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:**
	С1. Оригинальные методы и подходы длясоздания ТМ с высокой пористостью. С2. Низко затратные высокоэффективные мембранные материалы для процессов разделения. С3. Радиационно-химическая разработка не требует использования инициаторов, что обеспечивает чистоту продукта. С4. Большие возможности управления структурой и матрицы ПЭТФ. С5. Экологичность технологии.	Сл1. Литературные данные о получении ТМ при облучении ионами гелия немногочисленны. Сл2. Широкий спектр используемых методов не всегда позволяет получить должного результата. Сл3. Недостаток финансовых средств. Сл4. Проблемы материального обеспечения.
Возможности: В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.		

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
		С1	С2	С3	С4	С5
Возможности проекта	В1	+	-	0	+	-
	В2	-	-	-	-	+
	В3	-	0	0	-	0

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	В1	-	+	+	
	В2	-	-	0	
	В3	-	0	0	

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	0	-	0	0	0
	У2	0	-	0	0	-
	У3	+	-	-	-	-

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3	Сл.4
	В1	-	-	0	0
	В2	-	-	0	-
	В3	0	-	-	+

В рамках третьего этапа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 11).

Таблица 11– Итоговая матрица SWOT – анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Оригинальные методы и подходы длясоздания ТМ с высокой пористостью. С2. Низко затратные высокоэффективные мембранные материалы для процессов разделения. С3. Радиационно-химическая разработка не требует использования инициаторов, что обеспечивает чистоту продукта. С4. Большие возможности управления структурой и матрицы ПЭТФ. С5.Экологичность технологии.	**Слабые стороны научно-исследовательского проекта:** Сл1. Литературные данные о получении ТМ при облучении ионами гелия немногочисленны. Сл2. Широкий спектр используемых методов не всегда позволяет получить должного результата. Сл3. Недостаток финансовых средств. Сл4. Проблемы материального обеспечения.
Возможности: В1. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ.	При использовании инновационной инфраструктуры ТПУ упрощается проведения	Результат экспериментальных данных может позволить нам выявить соответствующие

В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	процессов модифицирования полимерных пленок, с помощью которого появиться возможность получения ТМ с высокой пористостью. Для проведения радиационно-химической разработки применяют широкий спектр различных источников ионизирующего излучения, что возможно при использовании инновационной инфраструктуры ТПУ. Появление спроса на новый продукт может быть увеличен за счет технологичности и экологичности продукта.	теоретические данные на основе закономерностей. Нормы по радиационной безопасности ограничивают энергетический спектр и интенсивности излучения. Если использовать инновационную инфраструктуру ТПУ, то появится возможность избавиться от недостатка финансовых средств.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства. У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением.	На сегодняшний день существует широкий спектр различных методов для получения ТМ, которые широко применяются в других научных организациях, поэтому может возникнуть проблема вывода ТМ с высокой пористостью на рынок.	Отсутствие спроса на новые технологии, могут ограничить поступление финансовых средств.

5.2 Планирование управления научно-техническим проектом

5.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. План управления научным проектом должен включать в себя иереархическую структуру работ.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупленной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется

содержание всего проекта. На рисунке 37 представлена иерархическая структура по выпускной квалификационной работе.

Рисунок 37 – Иерархическая структура по ВКР

5.2.2 План проекта

В рамках планирования выпускной квалификационной работы построен календарный график работы (таблица 12).

Таблица 12 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников Ф.И.О
1	Разработка ТЗ на ВКР	1	13.03.2017	13.03.2017	руководитель
1.1	Составление и утверждение технического задания	2	14.03.2017	15.03.2017	руководитель

2 2.1	Выбор направления исследования и способов решения задач	7	16.03.2017	23.03.2017	дипломник
2.2	Сбор и изучение научно-технической литературы	24	24.03.2017	17.04.2017	дипломник
3	Теоретические и экспериментальные исследования	10	17.04.2017	27.04.2017	руководитель, дипломник
3.1	Разработка методики экспериментальных исследований	15	27.04.2017	12.05.2017	руководитель, дипломник
3.2	Проведение экспериментальных исследований	10	12.05.2017	22.05.2017	руководитель, дипломник
3.3	Анализ и обработка полученных результатов	4	22.05.2017	26.05.2017	руководитель, дипломник
4 4.1	Обобщение и оценка эффективности полученных результатов	4	26.05.2017	30.05.2017	руководитель, дипломник
4.2	Оформление пояснительной записки	7	30.05.2017	06.06.2017	дипломник
4.3	Подготовка к защите ВКР	10	06.06.2017	16.06.2017	дипломник
Итого		94			

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Построен график в виде таблица 13 с разбивкой по месяцам и

декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. Работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 13 – Календарный план – график проведения ВКР по теме

№ работы (из ИСР)	кал. дн.	Испол-нители	Март		Апрель			Май			Июнь	
			Декады									
			1	2	1	2	3	1	2	3	1	2
1	1	Р										
1.1	2	Р										
2	7	Д										
2.1												
2.2	24	Д										
3	10	Р,Д										
3.1	15	Р,Д										
3.2	10	Р,Д										
3.3	4	Р,Д										
4	4	Р, Д										
4.1												
4.2	7	Д										
4.3	10	Д										

- Дипломник - Руководитель

5.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

5.2.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат

включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчёт затрат по статье "Сырьё и материалы"

Материалы	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб,	Сумма, руб.
1. ПЭТФ	кг	0,001	1310,1	1,31
2. Платина	г	0,05	1500	75
3. Гидроксид натрия	кг	0,04	80	3,2
4. Уксусная кислота	кг	0,05	130	6,5
5. Хлорид магния	кг	0,78	300	23,4
6. Хлорид кальция	кг	0,041	43	1,76
7. Азот газообразный технический	л	0,05	350	17,5
8. Лабораторная химическая посуда	мл.	0,08	5000	400
9. Компьютер	дней	2	20000	40
Всего за сырье и материалы				568,67
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				41,804
Итого по статье $С_м$				610,474

На статью "Спецоборудование" для разработки и экспериментальных работ относятся затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д. При выполнении данной работы всё используемое оборудование собственное.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по следующей формуле:

$$C_a = \sum_i^n \frac{Ц_{бал} \cdot Н_a \cdot g_i \cdot t}{Ф_{эф}} \qquad (16)$$

где $Ц_{бал}$ – стоимость *i*-го вида оборудования, руб;

H_a– норма годовых амортизационных отчислений;

g_i– количество единиц i-го вида оборудования;

t– время работы i-го вида оборудования;

$Ф_{эф}$ – эффективный фонд времени работы оборудования.

Эффективный фонд рабочего времени $Ф_{эф}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$Ф_{эф} = (Ф_{кал} - Ф_{пр,}) \cdot к_{см} \cdot к_{нп} \quad (17)$$

где $Ф_{кал}$– количество календарных дней в году, дни;

$Ф_{пр,вых}$– количество праздничных и выходных дней в году, дни;

$k_{см}$– коэффициент сменности (в данном случае $k_{см}$=1);

$k_{нп}$– коэффициент неучтённых потерь ($k_{нп}$=20÷30 %).

Эффективный фонд рабочего времени составляет 250 дней.

Таблица 15 – Расчёт затрат по статье "Спецоборудование"

Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб.	Норма Амортизации, %	Время использования, час.	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1. Циклотрон	10000000	15	4	3000
2. Электронный микроскоп ТМ-1000	2150000	12,5	2	269
Итого по статье $С_а$:				3269

Затраты на потребляемую электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$З_{ЭЭ} = \sum_{i=1}^{n} (P_i \cdot T_{pi}) \cdot \tau, \quad (18)$$

где $T_{раб1}$ = 100 часов – время работы компьютера;

P_1= 0,3 кВт – потребляемая мощность компьютера;

$T_{раб2}$ = 832час – время в течение которого действует освещение;

P_2 = 0,35кВт – мощность, необходимая для освещения лаборатории;

$Т_{раб3}$ = 50 часов – время работы источника питания;

$Р_З$=0,5кВт – потребляемая мощность источника питания;

τ = 5,8 руб./кВт·ч–тариф на электроэнергию.

Тогда

$З_{ээ} = (Т_{раб1} \cdot Р_1 + Т_{раб2} \cdot Р_2) \cdot \tau = (100 \cdot 0{,}3 + 832 \cdot 0{,}35 + 50 \cdot 0{,}5) \cdot 5{,}8 = 2007{,}96$ руб.

5.2.3.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

$$C_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (19)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (20)$$

где $З_{осн}$–основная заработная плата одного работника;

$Т_{раб}$– продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$З_{дн}$– среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_м \cdot М}{F_д}, \quad (21)$$

где $З_м$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

М – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб.дня М =11,2 месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб.дней М=10,4 месяца, 6-дневная неделя;

$F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 16).

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	 52 14	 104 14
Потери рабочего времени: - отпуск - невыходы по болезни	 48 –	 24 –
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$З_м = З_б \cdot к_р = 30000 \cdot 1{,}3 = 39000 \text{ руб},$$

где $З_б$– базовый оклад, руб.;

$к_р$– районный коэффициент, равный 1,3.

На примере расчета основной заработной платы руководителя, проводим расчеты для дипломника, затем сводим все результаты в таблицу 17.

Таблица 17 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$З_{тс}$, руб.	$К_р$	$З_м$, руб.	$З_{дн}$, руб.	$Т_{раб}$ раб.дн.	$З_{осн}$, руб.
Руководитель	30000	1,3	39000	1553	32	49696
Дипломник	1750	1,3	2275	102	100	10200
Итого, Зосн, руб.						59896

5.2.3.3 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}\ , \qquad (22)$$

где $З_{доп}$– дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$– коэффициент дополнительной зарплаты ($к_{доп}$=0,13);

$З_{осн}$– основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$З_{доп}= 0,13 \cdot 49696 = 6460,48 руб.$$

5.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным нормам от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$c_{внеб}=k_{внеб} \cdot (З_{осн}+З_{доп}) \quad (23)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

$$c_{внеб} = 0,3 \cdot (69296 + 6460,48) = 22726,94 \text{ руб.}$$

5.2.3.5 Научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителейопределяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов научного и производственного персонала. Для данной работы, затраты по этой статье нулевые.

5.2.3.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость контрагентных работ, т.е. работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу даннойнаучно-технической организации, результаты которых используются вконкретном НТИ. Затраты равны нулю, т.к. все работы осуществляются своимисилами.

5.2.3.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, и т.д. Ихвеличина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 6) \cdot k_{\text{нр}} \qquad (24)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.3 Ресурсоэффективность

Все научно-исследовательские работы должны проводиться с полным технико-экономическим обоснованием ожидаемой и фактической эффективности результатов разработки. В связи с многообразием формвоздействия результатов НИОКР на все стороны общественного развития, виды эффекта от выполняемых работ можно классифицировать грубо по двум признакам; по сфере проявления эффекта и характеру его воздействия на общественное развитие. По характеру воздействия на общественное развитие выделяется три основных эффекта; экономический, оборонный, социальный.

В связи с тем, что под эффектом НИОКР, в общем подразумевают полезный результат, отдача её выполнения и последующего за тем внедрения, существует система количественных и качественных характеристик оценки разных видов эффектов.

Социальный эффект можно рассматривать как совокупность его основных разновидностей:

- социально-политический,
- социально научный,
- социально-культурный.

Социально-научный эффект в росте числа открытий, изобретений, увеличение суммарного объема научно-технической информации, полученной

в результате выполнения НИОКР. За последние годы появилось предложение не только определять по количественной характеристике социального эффекта, но и по системе количественных показателей его оценки.

Элементом количественной оценки социально-научного эффекта следует определение научно-технического эффекта проекта по методике. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент социально-научного эффекта НИОКР:

$$H_r = \sum_{i=1}^{4} r_i k_i \qquad (25)$$

где r_i– весовой коэффициент i-го признака научно – технического эффекта;

k_i– количественная оценка i-го признака.

Количественная оценка уровня новизны определяется на основе значений балов. Теоретический уровень полученных результатов проекта определяется на основе значений балов, приведенных в таблице 18.

Таблица 18 – Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта

Признаки научно-технического эффекта	Примерные значения r_i
Уровень новизны	0,4
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,3
Масштабы реализации	0,3

Оценим по данной методике научно-технический эффект данной дипломной работы и сравним её по коэффициентам научно-технического эффекта с максимально и минимально возможным.

Таблица 19 – Баллы уровней новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	баллы
Принципиальное	По-новому или впервые улучшены известные факты, закономерности. Разработано существенное усовершенствование.	8-10
Новое	Разработано усовершенствование. Впервые прощены расчеты. Разработаны более простые способы для достижения прежних результатов.	5-7
Относительно новое	Результаты исследований систематизируются и обобщаются имеющиеся сведения. Определяют пути дальнейшего исследования. Проведена рациональная частичная	2-4

	модификация.	
Традиционные	Работа выполнена по традиционной методике. Результат исследований носит информационный характер. Подтверждены или поставлены под сомнения известные представления, нуждающиеся в проверке.	1
Не обладающие новизной	Получен результат, который был ранее известен.	0

Таблица 20 – Вероятность реализации научных результатов (теоретических работ) по времени и масштабу реализации

№	Время реализации	Баллы
1	В течение первых лет	5-10
2	От 5 до 10 лет	3-4
3	Более 10 лет	0-2

Таблица 21– Масштабы реализации

№	Масштабы реализации	Баллы
1	Одно или несколько предприятий	0-2
2	Отрасль (министерство)	3-4
3	Народное хозяйство	5-10

Настоящая дипломная работа оценивается следующим образом:

– балл уровня новизны – 4

– балл значимости теоретического уровня – 5

– балл по времени реализации – 10

– балл по масштабам реализации – 3

Коэффициент научно-технического эффекта дипломной работы составляет:

$$H_r=0,4\cdot4+0,4\cdot5+0,3\cdot5+0,3\cdot3=5,2$$

Максимальный возможный коэффициент:

$$H_{Tmax}=10,4$$

Минимально возможный коэффициент:

$$H_{Tmin}=1$$

Работа была направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия.

Из проделанных расчетов следует, что основные затраты на научно-техническое исследование приходятся на оплату труда исполнителей темы. Это связано с тем, что при выполнении данной работы ввиду ее особенностей отсутствовали, либо были минимизированы прочие затраты.

В ходе выполнения данной дипломной работы был составлен календарный план по НИОКР, рассчитана смета затрат на проект, общая сумма затрат на проект равна 95680,854руб. Произвели оценку научно-технического эффекта НИОКР, которая получилась равной 5.2. При сравнении с максимальным коэффициентом H_{Tmax}=10,4, пришли к выводу, что работа выполнена на среднем уровне.

Результатом исследования является получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия. Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации, связанные с ионообменными мембранами. В связи с обширным диапазоном практических приложений мембранные технологии быстро развиваются на целом ряде российскихпредприятий: ОАО «Пластполимер» (г. С.Петербург), ООО «Инновационное предприятие «Мембранная технология» (г. Краснодар).

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

К социальной ответственности относятся соблюдение трудовой дисциплины, своевременная оплата труда, обеспечение льготами работников вредных производств, предоставление отпуска и многие другие мероприятия, регулируемые законодательством.

Основным и одним из самых важных условий обеспечения социальной ответственности при осуществлении работы любого предприятия является выполнение основ безопасности. Обеспечение социальной ответственности – это совокупность мероприятий организационного и технического характера, которые направлены на предотвращение на рабочем месте несчастных случаев на создание безопасных условий труда.

С целью обеспечения охраны труда на рабочем месте прикладываются все усилия для того, чтобы сделать труд работающих людей безопасным.

Со своей стороны, работник должен пройти инструктаж и подписать соответствующие документы, обязывающие его соблюдать меры предосторожности.

В данном разделе изложены результаты анализа рабочего места лаборанта химической лаборатории – исполнителя, на предмет выявления вредных и опасных факторов. Проведена оценка степени воздействия идентифицированных вредных и опасных факторов в процессе исследовательской деятельности на работника, общество и природную среду.

Предложены мероприятия по снижению их воздействий и защиты от них.

6.1 Анализ вредных и опасных факторов, создаваемые объектом исследования

В данном разделе рассмотрены условия работы на циклотроне Р-7М ФТИ ТПУ, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

Данная работа направлена на моделирование процессов, получение и исследование характеристик трековых мембран (ТМ) с ультрамалыми порами при облучении ионами гелия. Модифицирование пленки происходило радиационно-химическим способом. Для таких целей применялся циклотрон Р-7М, а также проводились химические реакции.

В таблице 22 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 22 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.0.003-74ССБТ		Нормативные документы
НИИ ТПУ ФТИ кафедра «Техническая физика», лаборатория 17, радиационно-прививочная полимеризация полимерных пленок	Вредные	Опасные	
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».
		Пожарная опасность	Федеральный закон от 22.07.2013 г № 123 – ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
	Химические вещества		ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные везества. Классификация и общие требования безопасности.
	Воздействие ионизирую-щего излучения		СП 2.6.1-758-99. Нормы радиационной безопасности, НРБ-99.

6.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

6.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием.

6.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации.

То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зонелегкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 38.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

– документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева);

– литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

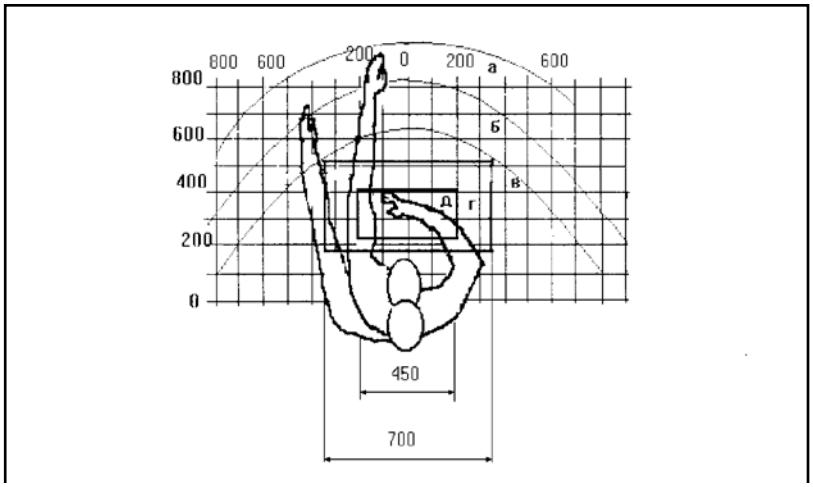


Рисунок 38 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и

глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45º к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30º. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте 3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15º. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов).

При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

6.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда, – это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность,скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [38] и приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	**Температура,°С**	**Относительная влажность,%**	**Скорость движения воздуха, м/с**
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 $м^3$ на человека – не менее 30 $м^3$ в час на человека; при объёме помещения более 40 $м^3$ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25˚С, зимой – 13-15°С.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками

кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, атакже проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [38] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

– в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 25 В/м;

– в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

– в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц – 250 нТл;

– в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

– увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

– применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [31] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

6.3 Химическая безопасность

Лаборатория, в которой проводились эксперименты, характеризуются наличием значительного количества вредных для человеческого организма паров, газов и пыли различных химических веществ.

При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать требования техники безопасности, обеспечивать нормальные условия работы.

Ниже в таблице 24 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) некоторых химических веществ в воздухе помещения в:

Таблица 24 – ПДК химических веществ

Наименование веществ	**ПДК р.з., мг/м^3**
Щелочи, NaOH	0,5
Серная кислота, хлор	1
Уксусная кислота, CH_3COOH	5

Нормальные для работы условия в лабораториях обеспечиваются при создании приточно-вытяжной вентиляции, поддержании температуры воздуха в цехе в летнее время в пределах 18-20°С и хорошем освещении.

Используемый раствор серной кислоты и щелочи представляют собой едкие вещества, с особыми токсичными действиями. Вдыхание паров серной кислоты вызывает затруднение дыхания, кашель, поражая дыхательные пути и слизистые оболочки. Раствор щелочи, при попадании на кожу быстро проникает вглубь тканей, вызывает покраснение, образование пузырей.

При работе с серной кислотой и щелочью следует соблюдать следующие правила техники безопасности [39]:

– Хранить концентрированную кислоту (КК) и щелочи следует в вытяжном шкафу в прочной посуде на поддоне.

– Все работы с КК и щелочами нужно проводить в вытяжном шкафу.

– Разбавление кислот следует проводить в тонкостенной стеклянной или фарфоровой посуде, при этом кислоту следует приливать к воде небольшими порциями. Нельзя приливать воду к КК, так как в этом случае выделяется большое количество теплоты. Вода, как менее плотное вещество,вскипает на поверхности кислоты, и жидкость может быть выброшена из сосуда. Разливать кислоты следует обязательно через воронку, предохраняя глаза с помощью защитных очков.

– Нельзя добавлять концентрированную серную кислоту в толстостенные стеклянные приборы.

– Разбивание кусков гидроксида натрия следует производить в специально отведенном месте, предохраняя глаза с помощью защитных очков.При растворении куски щелочи можно брать только пинцетом или шпателем, но не руками. Растворение гидроксида натрия следует проводить небольшими порциями.

– Остатки кислот и щелочей сливают в специальную хорошо закрывающуюся и небьющуюся пластмассовую емкость.

Таким образом, лабораторное помещение, помимо общей приточно-вытяжной вентиляции, должны быть оборудованы вентиляционными устройствами для отсоса воздуха из установки для УФО и установки для травления пленки. Рабочие столы и вытяжные шкафы, предназначенные для работы с кислотами и щелочами – должны быть покрыты антикоррозионным материалом. Перед уходом из лаборатории необходимо убрать за собой рабочее место, проверить выключены ли все нагревательные приборы, электроприборы.

6.4 Радиационная безопасность

Основные требования к защите людей от облучения в результате воздействия ионизирующего излучения и к безопасности источников излучения обычно излагаются в нормах радиационной безопасности. Основным сборником таких норм являются «Нормы радиационной безопасности НРБ-99».

Основными факторами радиационной опасности на циклотронеявляются:

– пучки выведенных ускоренных частиц и сопутствующие им нейтроны, тормозное излучение, бета-частицы и рентгеновское излучение;

– в процессе работы ускорителя ускоренные частицы наводят на деталях ускорителя остаточную активность и детали продолжают испускать лучи и при выключенной машине;

– на взвешенных частицах пыли в воздухе образуются активные аэрозоли, которые могут попасть внутрь организма при вдыхании;

– выхлопные газы от форвакуумных насосов, которые могут быть радиоактивными;

– косвенные факторы: озон и оксиды азота, которые образуются в результате ионизации воздуха.

Радиационно-опасные места на циклотроне: ускорительная камера,выводной патрубок из ускорительной камеры, ионопроводы, фланцы, выводные окна каналов циклотрона, пробники тока пучка, дефлектор, дуанты.

Экспериментальные работы на циклотроне включают в себя работу, связанную с подготовкой мишени к облучению, работу во втором канале по ее установке и снятию, а также работу, связанную с дальнейшим измерением наведенной активности.

Воздействие ионизирующего излучения может быть внутренним или внешним и может происходить различными путями.

Внутренне воздействие ионизирующего излучения происходит, когда радионуклиды вдыхаются, поглощаются или иным образом попадают в кровообращение (например, в результате инъекции, ранения). Внутреннее воздействие прекращается, когда радионуклид выводится из организма либо самопроизвольно (с экскрементами), либо в результате лечения.

Внешнее радиоактивное заражение может возникнуть, когда радиоактивный материал в воздухе (пыль, жидкость, аэрозоли) оседает на кожу или одежду. Такой радиоактивный материал часто можно удалить с тела простым мытьем.

Воздействие ионизирующего излучения может также произойти в результате внешнего излучения из соответствующего внешнего источника (например, такое как воздействие радиации, излучаемой медицинским рентгеновским оборудованием). Внешнее облучение прекращается в том случае, когда источник излучения закрыт, или когда человек выходит за пределы поля излучения.

По отношению к облучению население делится на 3 категории.

Категория А облучаемых лиц или персонал (профессиональные работники) – лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Категория Б облучаемых лиц или ограниченная часть населения - лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию ионизирующих излучений.

Категория В облучаемых лиц или население - население страны, республики, края или области.

Для категории А вводятся предельно допустимые дозы – наибольшие значения индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при которой равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами. Для категории Б определяется предел дозы.

Устанавливается три группы критических органов:

– 1 группа – все тело, гонады и красный костный мозг.

– 2 группа – мышцы, щитовидная железа, жировая ткань, печень, почки, селезенка, желудочно-кишечный тракт, легкие, хрусталики глаз и другие органы, за исключением тех, которые относятся к 1 и 3 группам.

– 3 группа – кожный покров, костная ткань, кисти, предплечья, голени и стопы.

Дозовые пределы облучения для разных категорий лиц указаны в таблице 24.

Таблица 24 – Дозовые пределы внешнего и внутреннего облучения (бэр/год)

Категория лиц	**Группы критических органов**		
	1	2	3
Категория А, предельно допустимая доза (ПДД)	5	15	30
Категория Б, предел дозы (ПДД)	0,5	1,5	3

Организационные мероприятия, проводимые перед началом работы:

– к работе на циклотронной установке допускаются лица не моложе 18 лет;

– вводный инструктаж, проводимый научным руководителем при поступлении на циклотрон Р-7М;

– медицинское освидетельствование, которое не обнаружило медицинских противопоказаний для работы, связанной с источниками ионизирующего излучения;

– сдача экзамена по радиационной безопасности для получения допуска к работе, связанной с источниками ионизирующего излучения;

– прошедшие курс обучения по принципам работы с вычислительной техникой, специальное обучение по работе на персональном компьютере с использованием необходимого для работы программного обеспечения.

Для работ, проводимых на циклотроне, персоналу выдаются необходимые индивидуальные средства защиты (хлопчатобумажный халат,чепчик, обувь) и индивидуальный дозиметр.

Технические мероприятия, проводимые при подготовке мишени к облучению и при измерении наведенной активности уже после облучения:

– необходимо предупредить о начале работы с источником ионизирующего излучения всех работающих в данной лаборатории;

– перед началом работы с радиоактивными веществами необходимо тщательно подготовить рабочее место таким образом, чтобы сам работающий не подвергался облучению свыше предельно допустимой дозы (источники излучения разместить за защитными экранами, предохраняющими их от случайных аварий). Соседние рабочие места также не должны подвергаться негативному воздействию ионизирующего излучения. На рабочем месте должно находиться минимально необходимое количество источников ионизирующего излучения, и только, то оборудование и приборы, которые нужны для проведения данной работы;

– перед началом работ необходимо убедиться в технической исправности используемого оборудования и приборов (категорически запрещается иметь на рабочем месте посторонние предметы и личные вещи);

– источники ионизирующего излучения открытого и закрытого типа,не используемые в работе, а также по окончании работы с ними, должны храниться в специально отведенных для этих целей и соответственно оборудованных хранилищах (помещение, сейф и т.п.);

– место хранения источников должно быть обозначено знаком радиационной опасности;

– после окончания работы рабочее место должно быть прибрано и дезактивировано до допустимых величин;

– в лабораториях, где проводятся работы с радиоактивными веществами, должна быть установлена контрольная дозиметрическая аппаратура для измерений загрязнений рук. Во время проведения работ с радиоактивными веществами эта аппаратура должна быть включена и находиться в рабочем состоянии.

Транспортировку радиоактивных источников внутри здания следует производить с соблюдением условий безопасности (в перчатках, в контейнерах,на специальных тележках) с учетом вида ионизирующих излучений и активности транспортируемых препаратов.

При правильно организованной работе вредное действие излучений можно свести к минимуму. Наоборот, пренебрежение правилами безопасности приводит к тяжелым последствиям, как для успеха всей выполняемой работы,так и для здоровья самого человека, а иногда и нескольких людей. Следует помнить, что ликвидировать загрязнение радиоактивным веществом всегда труднее, чем предупредить эту опасность.

6.5 Электробезопасность

Электронасыщенность современного производства формирует электрическую опасность, источником которой могут быть электрические

сети,электрифицированное оборудование и инструмент, вычислительная и организационная техника, работающая на электричестве.

Для проведения опытов использовали различные электрооборудования и электроприборы.

В данной работе исследования проводились на электроустановках с напряжением 220В, что вызывает опасности для риска жизни. Все электрооборудование и приборы находятся на специально отведенных местах и заземлены

Правила работы с электрическими приборами в лаборатории [40]:

– Нельзя переносить с места на место включенные в электросеть приборы, а также ремонтировать электрооборудование, находящиеся под током.

– В случае перерыва в подаче тока все электроприборы следует немедленно выключить.

– При работе с легковоспламеняющимися жидкостями (стирол,толуол) допускается применять электронагревательные приборы только с закрытой спиралью с асбестовым покрытием.

– Все электронагревательные приборы должны быть размещены на термоизоляционном материале – асбестовом покрытии, керамических плитках и т.д.

Основными техническими средствами защиты являются защитное заземление и защитное отключение.

Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу и к другим нетоковедущим частям электроустановок, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам. При этом все металлические нетоковедущие части электроустановок соединяются с землей с помощью заземляющих проводников и заземлителя.

Для заземления оборудования в первую очередь используют естественные заземлители: железобетонные фундаменты, а также расположенные в земле металлические конструкции зданий и сооружений.

Системой защитного отключения называется быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении в ней опасности пробоя на корпус.

Системы защитного отключения обеспечивают наибольшую электробезопасность при прикосновении к корпусам электроустановок. Но применяются они только в сочетании с защитным заземлением и защитным занулением.

Помещение, в котором проводится работа, относится к группе помещений без повышенной опасности: сухое (влажность воздуха не превышает 75%), не жаркое (температура не превышает 28 °С), токонепроводящими полами, без токопроводящей пыли. Все провода,подводящие напряжение к электрооборудованию, электроизолированы и находятся в заземленной металлической оплетке. Рубильник распределительного щитка имеет пластмассовый кожух. Также имеются отключающие автоматы. Выполнен контур защитного заземления из стальной полосы сечением 30 мм^2 по периметру помещения. Все электрические приборы в лаборатории заземлены.

6.6 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно НПБ 105-95 (нормам пожарной безопасности), в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, так как содержит твердые сгорающие вещества.

Возможные причины загорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;

– несоблюдение правил пожарной безопасности;

– наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Согласно требованиям пожарной безопасности на этаже находится два огнетушителя ОП-3, лестничные пролеты оборудованы гидрантами, имеется кнопка пожарной сигнализации.План эвакуации изображен на рисунке 39.

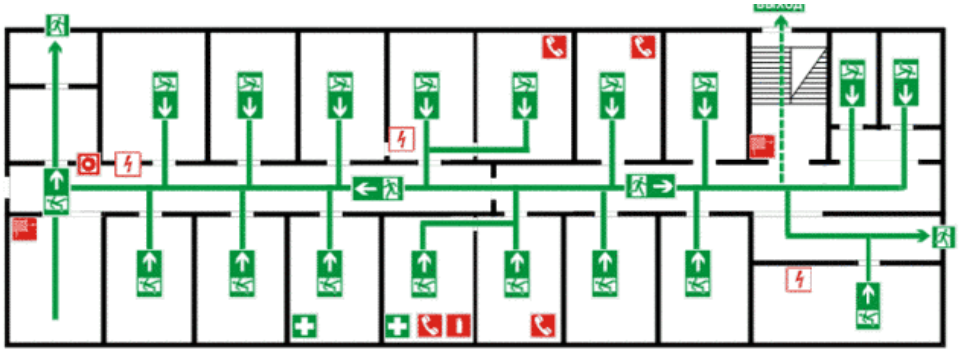


Рисунок 39 – План эвакуации

В целях предупреждения возникновения пожара в лабораторияхпроводятся следующие мероприятия:

– помещения постоянно содержатся в чистоте и порядке;

– курение разрешено только в специально оборудованных местах, где имеются урны и ванночки с водой; эти места обозначены табличкой “Место для курения”;

– проходы, выходы и лестницы постоянно содержатся в хорошем состоянии, не загромождаются и имеют свободный проход для людей и эвакуации оборудования лабораторий;

– спецодежда обслуживающего персонала хранится в специально предназначенном для нее месте;

– все лаборатории и другие помещения обеспечены первичными средствами пожаротушения;

– работа в лаборатории с легковоспламеняющимися и горючими веществами без наличия проточно-вытяжной вентиляции строго воспрещается;

– запрещается в лаборатории оставлять без присмотра включенные приборы и оборудование.

ВЫВОДЫ

По результатам исследований, проведенных в процессе работы над магистерской диссертацией, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально исследована возможность применения пучка высокоэнергетических альфа-частиц и протонов для получения трековых мембран;

2. Методами статистического анализа с использованием компьютерного моделирования (метод Монте-Карло) были рассчитаны функции распределения пробегов альфа частиц и протонов в ПЭТФ пленках с учетом реальной геометрии облучения, используемой для формирования мембран на циклотроне р-7М;

3. Получены данные по изменению оптической плотности ПЭТФ, облученныеионами гелия и протонами;

4. Получены экспериментальные образцы трековой мембраны из полимера ПЭТФ при облучении высокоэнергетическими альфа-частицами и протонами, ускоренными на ускорителе циклотрон Р-7М ФТИ ТПУ с пористостью $5 \cdot 10^{7}$-$5{,}4 \cdot 10^{13}$ и порами (50-130) нм;

5. Получены экспериментальные зависимости диаметров пор от дозы облучения высокоэнергетическими ионами гелия и протонами и от времени травления;

6. Разработана модель технологического процесса получения трековых мембран путем облучения альфа-частицами и протонами с последующим химическим травлением;

7. Показано, что ТМ, сформированная по данной технологической модели обладает полупроводящими свойствами, в следствииасимметрии входного и выходного отверстия поры;

8. По результатам исследования по теме диссертации сделан и опубликован доклад.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была получена трековая мембрана, облученная альфа-частицами и протонами с нанометровыми (50-130) нм порами, высокой пористостью высокой.

Данная технология получения ТМ является альтернативной и коммерчески привлекательной, так как может быть использована в случае отсутствии возможности использования тяжелых ионов.

Высокая степень ионизация альфа частиц позволяет получать высокие плотности пор в ТМ 10^{13} пор/см^2 по сравнению с ТМ облученными тяжелыми ионами (10^9 пор/см^2). Кроме того данный метод формирования пор, позволяет значительно увеличить толщину мембраны ≥ 100 мкм. И тем самым расширить область применений, особенно в тех случаях, когда в процессе очистки растворов необходимо воздействие на мембрану высокого давления.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ

1. С. Чинзориг, А.Г. Мацымоха, В.В. Сохорева.“Особенности формирование пор в пленках полиэтилентерефталат при облучении высокоэнергетическими протонами и α-частицами” // XVIII Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева “Химия и химическая технология в XXI веке” // 29 мая – 01 июня 2017 г., Томск 2017, С. – 500.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исток-01 и Исток-02. [электронный ресурс]. – Режим доступа:http://portal.tpu.ru/departments/laboratory/lprv/science/Tab1.

2. Pabby A. K., Rizvi S. S. H., Requena A. M. S. (ed.). Handbook of membrane separations: chemical, pharmaceutical, food, and biotechnological applications. – CRC press, 2015.

3. Косарев С. А. Реакторные трековые мембраны. Получение, структура и свойства :дис. – 2004.

4. Волков В. В. и др. Мембраны и нанотехнологии //Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3. – №. 11-12. – С. 67-99.

5. Apel P. Track etching technique in membrane technology //Radiation Measurements. – 2001. – Т. 34. – №. 1. – С. 559-566.

6. Baker R. W. Membrane technology and applications //John Wiley & Sons, Ltd. – 2004.

7. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии //М.: Научный мир. – 2013. – С. 126-163.

8. Мчедлишвили Б.В., Березкин В.В., Олейников В.А. и др.// Кристаллография, 2006. Т.51. № 25. С.169.

9. Гольданский В.И., Ланцбург Е.Я., Ямпольский П.А. // Письма в ЖЭТФ. 1975. Т.21. №12. С. 365.

10. Каплан И.Г., Митерев А.М. // Химия высоких энергий. 1985. Т. 19. № 3. С. 208.

11. Fleischer R. L., Price P. B., Walker R. M. Nuclear tracks in solids: principles and applications. – Univ of California Press, 1975.–С. 20.

12. Третьякова С. П. Диэлектрические детекторы и их использование в экспериментальной ядерной физике //Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 1992. – Т. 23. – №. 2, – С. 366-384.

13. FEDERATION R. Joint ICTP-IAEA Workshop on Nuclear Reaction Data for Advanced Reactor Technologies. – 2010.

14. Немец О.Ф. Справочник по ядерной физике / Немец О.Ф, Ю.В. Гофман. Киев. «Наукова думка». – 1975. - С. 80.

15. Денисов С. П. Ионизационные потери энергии заряженных частиц //Соросовский образовательный журнал. – 1999. – №. 11. – С. 90-96.

16. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/pm01.htm.

17. Апель Павел Юрьевич. Треки ускоренных тяжелых ионов в полимерах / Российская академия наук, институт физической химии. – Москва, 1998, – С. 5-150.

18. Вторичная ионизация [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/ihem/ihem02.htm#2.5.

19. Cucinotta F. A. et al. Radial dose distributions in the delta-ray theory of track structure //AIP Conference proceedings. – AIP, 1996. – Т. 362. – №. 1. – С. 245-265.

20. Bhagwat A. M. Solid State Nuclear Track Detection: Theory and Applications. – 1993. – С. 12.

21. Katz R.,Kobetich E. J. – Physical review, – 1968. – Т. 170. – №. 2. – С. 391-396; – С. 401-405.

22. Waligorski M. P. R., Hamm R. N., Katz R. The radial distribution of dose around the path of a heavy ion in liquid water //International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1986. – Т. 11. – №. 6. – С. 309-319.

23. Apel P. Y., Pretzsch G. Investigation of the radial pore-etching rate in a plastic track detector as a function of the local damage density around the ion path //International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1986. – Т. 11. – №. 1-2. – С. 45-53.

24. Митерев А. М. Теоретические представления о формировании и эволюции треков заряженных частиц //Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – №. 10. – С. 1131-1164.

25. Краисц Л. И., НЛмитрисв С., Лпсль П. Л. О. Получение и свойства полипропиленовых трековых мембран. – 1997. – С. 1-12.

26. Ярославцев А. Б. Мембраны и мембранные технологии //М.: Научный мир. – 2013. – С. 126-163.

27. Bhagwat A. M. Solid State Nuclear Track Detection: Theory and Applications. – 1993. – С. 12.

28. Track-etchedmembranes [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.hahnemuehle.com/fileadmin/user_upload/bilder/filtration/pdf/FILTRATION_Flyer_6seiter_TEM_Track_Etched_Membranes_EN.pdf.

29. Kravets L. I., Dmitriev S. N., Apel P. Y. Production and properties of polypropylene track membranes //Collection of Czechoslovak chemical communications. – 1997. – Т. 62. – №. 5. – С. 752-760.

30. Vater P. Production and applications of nuclear track microfilters //International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements. – 1988. – Т. 15. – №. 1-4. – С. 743-749.

31. Komaki Y. et al. Heavy ion track microfilter of polyimide film //Polymer communications. – 1989. – Т. 30. – №. 2. – С. 43-44.

32. Vilensky A. I. et al. Polyimide track membranes for ultrafiltration and microfiltration //Polymer science. – 1994. – Т. 36. – №. 3. – С. 391-400.

33. ГОСТ 24234-80 Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия. – С. 3.

34. Полиэтилентерефталат. [электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/полиэтилентерефталат.

35. Сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-1000. [электронный ресурс]. – Режим доступа:https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/05/09/Hitachi_TM1000_SEM_USERMANUAL_v1.pdf.

36. Атомно-силовой микроскоп Интегра-Терма-Прима (NT-MDT). [электронный ресурс]. – Режим доступа:http://www.ntmdt-si.ru/modular-afm/prima

37. Прогромма “NIST”[электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.nist.gov/pml/stopping-power-range-tables-electrons-protons-and-helium-ions.

38. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. – Введ.1976.01.01. – М.: 1976, 34 с.

39. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – Введ. 01.01.76.- М: 1976, 7 с.

40. ГОСТ 12.1.019-2009/ ССБТ. Электробезопасности. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Введ. 2011.01.01. – М.: 2011, 13 с.

Приложение А

The investigation of main characteristics of track-etched membranes with ultra-small pores by helium ion irradiation

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5А	Чинзориг Сайханбаяр		

Консультант кафедры Технической физики:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Новоселов И.Ю.			

Консультант – лингвист кафедре ИЯ ФТИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ермакова Я.В.			

Introduction

Track membranes (TM) are thin crystalline layers, metal foils or films (usually polymer, 5-25 microns thick), the pore system in which is formed by irradiating the nonporous materials with high-energy particles (usually accelerated by heavy charged ions or fission fragments, followed by chemical etching the latent tracks of these particles to form pores with given diameters). Classical TM, which are obtained by irradiating polymers with accelerated heavy ions (Ar, Xe, Co, Kr, etc.) followed by chemical etching of latent tracks, are used widely in the separation process, medicine, biotechnology and ecology and many others. Track-etched membranes offer distinct advantages over conventional membranes due to their precisely determined structure. Their pore size, shape and density can be varied in a controllable manner so that a membrane with the required transport and retention characteristics can be produced.

The purpose of following dissertation work is to investigate the possibility of using high-energy alpha particles and protons to create TM with high porosity and adjustable thicknesses.

In this work, a literature review is represented for studying and understanding the effect of heavy ions on polymers and the formation of tracks in polymers.

A1. The range and energy loss of heavy particles in matter

Heavy charged ions interact with matter, mainly through Coulomb forces. When charged ions pass through a substance, collisions occur with atomic nuclei and electrons from atomic orbitals. At the same time, they lose their energy. Collisions of heavy charged ions with atomic nuclei, or nuclear interaction, are very rare, since the nucleus occupies a relatively small volume in the atom. At low ion energies (below 1 MeV), nuclear interaction dominates. Conversely, at energies above 1 MeV, the role of the electronic interaction increases (where *E* is charged ion energy), graph reaches a maximum at ion energy between 20 and 40 MeV, and then decreases with increasing energy as function of 1/E (Fig. A1).

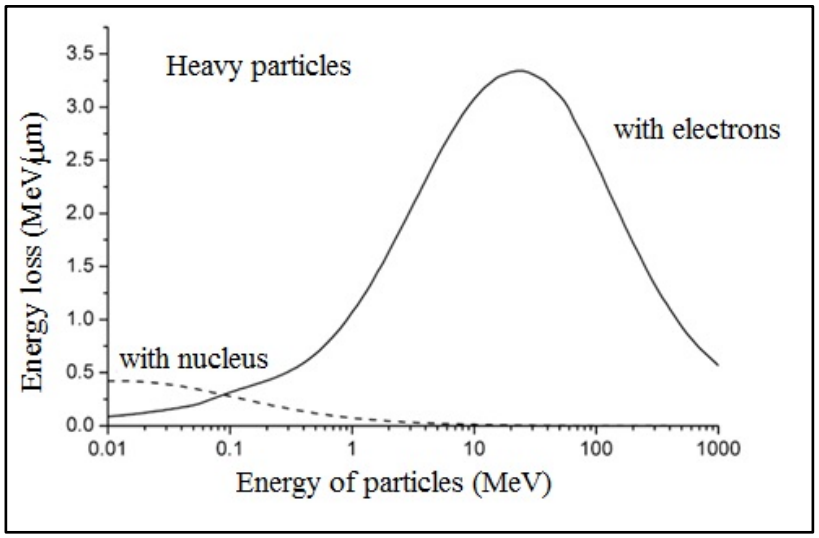


Figure A1 –The energy lossby nuclear and electronic interactions

Total energy loss can be represented in this form:

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{total} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{nuclear} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{electronic},$$

here: the right-hand side of the expression is the sum of the energy losses of nuclear and electronic interactions.

Charged ions lossenergy through electronic interaction in the following way:

1. Due to excitation, in this case a charged particle can transfer energy to an atom, raising electrons to higher energy levels.

2. Due to ionization. If a charged particle has sufficient energy to remove an electron from its orbit, then ionization can occur.

The energy loss of a high energetic ion in matter by electron interaction is determined by the Bethe-Bloch equation:

$$\frac{dE}{dx} = 0.30711 \cdot \rho \frac{Z \cdot z}{A \cdot \beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right], \frac{MeV \cdot cm^2}{g}$$

z –atomic number of incident particle,

ρ–density of substance,

Z–atomic number of substance,

A–atomic mass of substance,

$\beta = \upsilon / c$ (υ is the particle velocity, c is the speed of light),

m_e – massof the electron,

$\gamma = E / M$ – Lorentz factor of particle,

T_{max}– the maximum energy transferred by the particle to the atomic electron,

β^2 – the relativistic correction**,**

δ –correction for the density effect,

I– characteristic ionization constant, material dependent.

In the above equation, the member of equation β^2 is considered the cases of scattering of a relativistic particle with large transfer energy. It is easy to estimate that the characteristic value of the β^2 in the Bethe-Bloch equation, which is 30 Therefore, the correction associated with the member of equation β^2 does not exceed 10-15%. In the energy region 1-100 MeV, the value of δcan be neglected.

The energy loss or stopping power in several other materials is shown in Fig. A2. Except in hydrogen, particles with the same velocity havesimilar rates of energy loss in different materials, although there is a slow decreasein the rate of energy loss with increasing Z. The qualitative behavior difference athigh energies between a gas (He in the figure) and the other materials shown in thefigure is due to the density-effect correction, $\delta(\beta_\gamma)$.

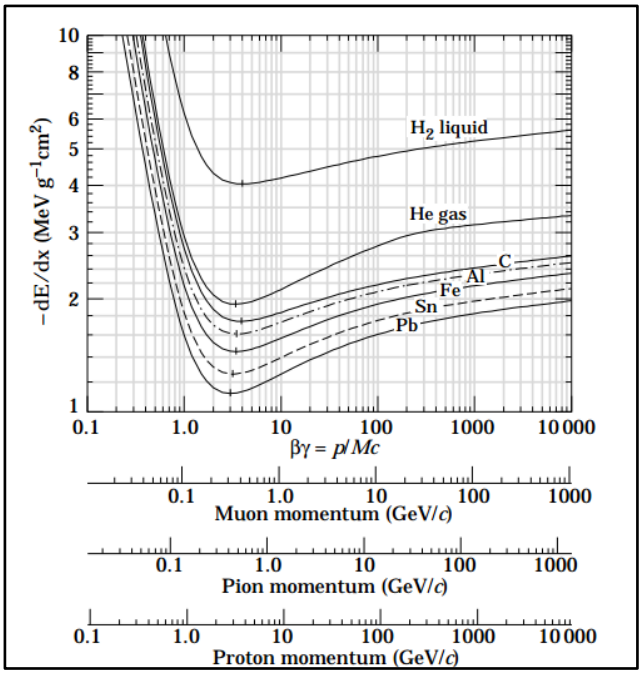


Figure A2 – Mean energy loss rate in liquid (bubble chamber) hydrogen, gaseous helium, carbon, aluminum, iron, tin, and lead. Radiative effects, relevant for muons and pions, are not included. These become significant for muons in iron for $\beta_\gamma > \sim 1000$, and at lower momenta for muons in higher-Z absorbers.

In passing through matter, charged particles ionize and thus lose energy in many steps, until their energy is (almost) zero. The distance to this point is called the range of the particle. The range depends on the type of particle, on its initial energy and on the material through which it passes.The range of a charged particle can be derived from the Bethe-Blochequation and gives:

$$R = \int \left(\frac{dE}{dx} \right)^{-1} dE$$

In Figure A3 are showngraphs of the dependence for some ions in the PET polymer and the corresponding data for the ranges, which are taken from Doctors dissertation work by Apel P.Yu. (1998).

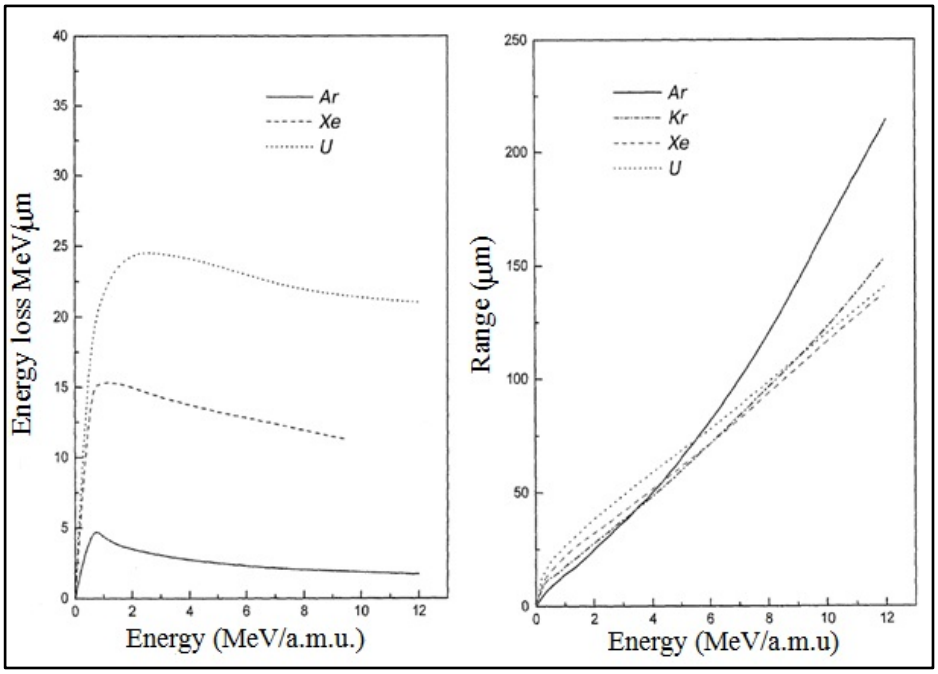


Figure A3 – Energy losses of argon ions (Ar), xenon (Xe), uranium (U), and the range of argon (Ar), krypton (Kr), xenon (Xe), uranium (U) ions in PET polymer.

A2. Primary and secondary ionization.Spatial distribution of the absorbed dose in heavy ion track.

A proton, and more generally any charged particle, penetrating in matter leaves behind a trail of excited atoms and free electrons that have acquired some energy in the collision. Most of these electrons have only received a very small amount of energy. However, some of the electrons acquire sufficient energy to travel macroscopic distances in matter. These high-energy electrons are sometimes called δ-electrons. These have sufficient energy themselves to excite or ionize atoms in the medium.

This type of energy loss due to the interaction of the charged particle with electrons is often referred to as ‘energy loss due to ionization’. This is strictly speaking not correct since many atoms are only brought to an excited state, not ionized. Figure A4 illustrates the passage of a charged particle in matter and shows some of the ionization electrons.

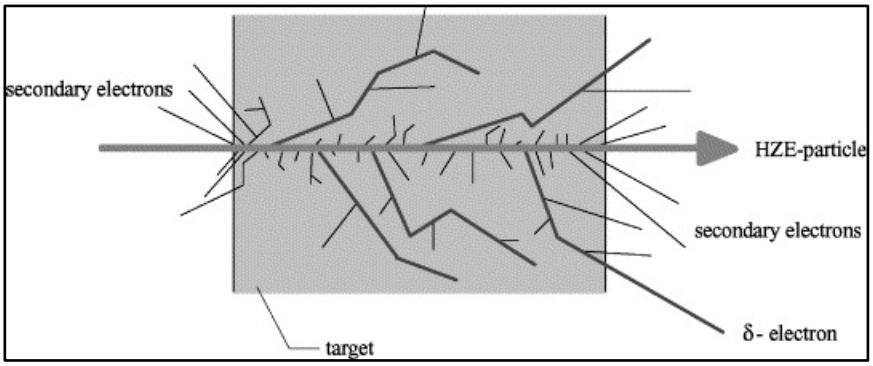


Figure A4 – Latent track of a charged ion in materials.

The ionization caused by the passing particle is the primary ionization; the ionization caused by δ electrons is secondary ionization. The number of δ electrons per centimeter of path of a relativistic particle of charge is roughly proportional to z^2 (this is useful for particle identification in bubble chambers and in emulsions).The amount of secondary ionization depends on the material, and it can be up to 10 times the amount of primary ionization.

In orderto estimate the number of free electrons ejected by an ion per unit length of the ion path with energies between E and $E + \Delta E$, the following formula was used:

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2\pi N Z_{eff}^2 e^4}{mc^2\beta^2}\frac{1}{E^2}\left[1 + \frac{\beta^2 E}{E_m} + \frac{\pi\beta Z_{eff}^2}{137}\sqrt{\frac{E}{E_m}}\left(1 - \frac{E}{E_m}\right)\right]$$

e and m are the electron charge and mass, N is the number of free electrons per cm^2 in the substance, E_m is the classical value for the maximum energy that an ion can transfer to a free electron given by:

$$E_m = \frac{2mc^2\beta^2}{1-\beta^2}$$

Z_{eff} – the effective charge number of the ion which is represented as:

$$Z_{eff} = Z\left[1 - \exp\left(\frac{-125\beta}{Z^{2/3}}\right)\right]$$

The primary ionization I represents the rate of primary ionization or the density of radiation damage, which is a function of the atomic number Z and the velocity $\beta(v/c)$ of the ion. Usually a functional form based on Bethe's work is used:

$$I = \frac{a \cdot Z_{эфф}^2}{\beta^2}\left[\ln\left(\frac{\beta^2}{1-\beta^2}\right) + K - \beta^2 - \delta\right]$$

a and *K* are constants for a given stopping medium, δ is the relativistic correction associated with the polarization of this medium (for β<0.8, δ = 0), Z_{eff} is the effective charge number.

The formed latent track in the bombardment of a charged ion in materials (Figure A5) consists of two main parts – the core and the halo. Due to primary ionization and low-energy electrons, a core is formed. Due to secondary ionization or high-energy δ-electrons, a halois formed. Figure A5 shows the cross section of the latent track after 10^{-15}secondsafter passing a charged ion.

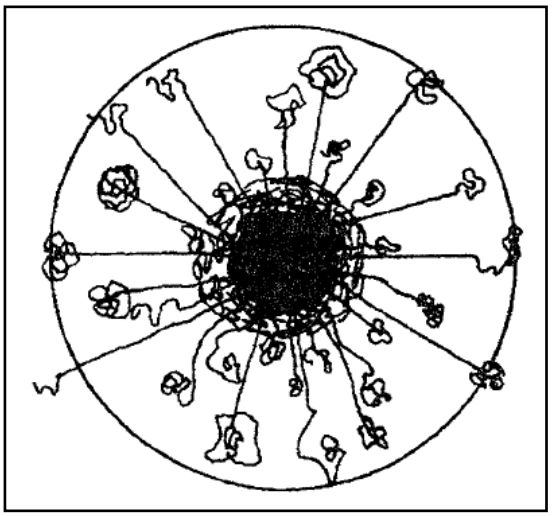


Figure A5 – Cross section of the latent track.

Calculation of the spatial distribution of the absorbed dose in the track of a heavy ion in different worksis fulfilled. The spatial distribution of the absorbed dose *D(r)* from the function of radius r in polymers is represented by the following expression:

$$D(r) = K[1/r^2 - 1/(r \cdot r_{\max})]$$

K is the coefficient, which depends on the properties of the substance, atomic number and ion energy; R_{max} is the maximum range of delta electrons.

The radial etching rate V_r of the xenon ion track was measured using a conductometric method in a thin layer of a PET dielectric detector, and the size and etching parameter of the latent track in accordance with the absorbed dose are

illustrated (Fig. A6). Figure A6 shows that V_r is maximal in a relatively narrow dose range near the center of the track, and a decrease in V_r along the track radius is associated with a drop in the absorbed dose.

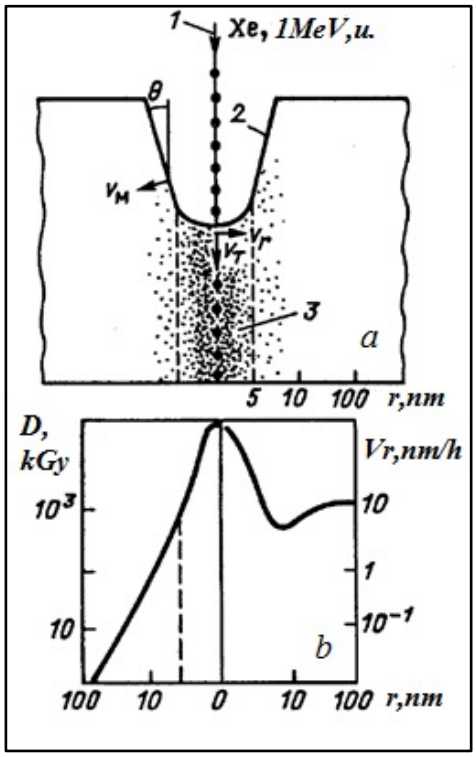


Figure A6 – Schematic model of the etching process of track by xenon ion: a – the formation of the track; 1– direction of ion motion; 2 – etching front; 3 – area of radiation damage to the material. Points show the density of radiation defects; The dashed line limits the area of the latent track, where the radial etching velocity of the track region V_r is greater than the etching rate of the material; V_m, V_T are the etching rate of the material in the region of the ion track along its trajectory; $\theta$is the angle of the cone; b – change in absorbed dose $D(r)$ (left) and radial velocity V_r (right) as the distance r from the ion trajectory increases.

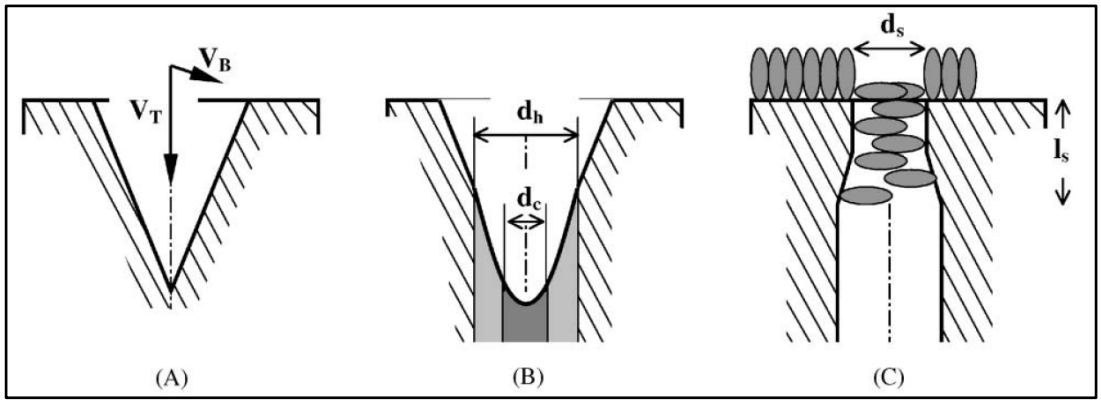
A3. The chemical etching of latent tracks

The electron microscope observation of "tracks" resulting from the passage of heavy charged particles provides an attractive method of studying the basic processes of radiation damage in those crystals in which tracks are formed.

Chemical etching effect provides a striking demonstration of localized, radiation-induced corrosion. It also serves to "develop" and "fix" charged-particle tracks for observation in the electron microscope and hence increases the usefulness of this method of particle detection.

The chemical etching effect was first discovered in synthetic fluor-phlogopite mica. When a pre thinned mica flake containing fission-fragment tracks was immersed in a suitable reagent, the volume of material composing the tracks was very selectively attacked. The reagent etched fine hollow channels along the paths taken by the fission fragments and left the rest of the mica essentially untouched. With increasing immersion time the etchant enlarged the channels by dissolving the surrounding mica at a rate which varied with the type and temperature of the reagent. The channels were usually not tapering but were uniform in width along their entire length.

Chemical etching is a process of pore formation. During chemical etching the damaged zone of a latent trackis removed and transformed into a hollow channel. It is the pore-size-determining and pore-shape-determining stage of the technology. The simplest description of pore geometry is based on two parameters–the bulketch rate V_B and the tracketch rate V_T (Fig. A7 (A)). It is applicable for larger ($\geq$1 μm in diameter) pores. The conical pore shape is transformed into a cylindrical one at $V_T >> V_B$. The geometry of smaller pores is determined also by the size and structure of the damaged zone around the particle path (Fig. A7 (B)). The submicroscopic kinetics of pore formation can be described usingthe method proposed by Mazzei et al. (1985). Even more complex kinetics of pore growth takes place in an etchant containing a surfactant (Fig. A7 (C)). The bulk etch rate depends on the material, on the etchant composition and on the temperature. The tracketch rate depends on a much greater number of factors. They can be classified into a few categories: sensitivity of the material, irradiation conditions, post-irradiation conditions, and etching conditions.



FigureA7 (A) – Etched pore geometry to a first approximation. The pore shape (a cone) is determined by the chemical dissolution along the particle trackat a rate V_T and general attackon the etched surface and on the interior surface of the etched trackat a lesser rate V_B. (B) – Pore shape on a submicroscopic scale. The pore geometry depends on the size of the highly damaged zone (core), d_c, and the diameter of the cross-linked halo, d_h. The latter is etched out at a rate lower than V_B. (C) – Pore geometry dictated by the presence of a surfactant. The bottleneckis formed due to the protective layer of the surfactant adsorbed on the surface. The diameter of the neck, d_s, depends on the length of the surfactant molecules and their configuration; the length of the neck, l_s, is determined by the hindered diffusion of the surfactant molecules into the etched track.

A4. Track-etched polymeric membranes

Track membranes are known as fine porous films with a very narrow pore size distribution. The use of tracks of charged ions to produce porous membranes was proposed after detection of etched tracks in solid-state detectors. The area of detection of solid-state tracks arose in 1958, when the first observations were presented by Young D.A.Observations by Young D.A. were carried out in which lithium fluoride crystals held 1 mm from a film of uranium oxide were irradiated with thermal neutrons. After irradiation, the crystals were chemically treated with a reagent ($HF+CH_3COOH$). As a result, a number of small pits were found on the surface of the crystal. From this observation came up the idea of obtaining porous membranes.

The first technological processing was implementedin practice in the 70s of the last century by Nuclepore Co., which produced track membranes from polycarbonate film at irradiation of a fragment of fission of uranium nuclei.

A unique property of TM is that the number of pores and the size of the pores are two almost independent parameters that can vary within very wide limits. The pore diameter can be from 10 nm to tens of micrometers. The pore density is available in the range from 10^4 to 10^{10} cm^{-2} with a porosity of up to 20%. No other type of membrane provides this capability.

TM are produced using various polymers such as polyethylene terephthalate (PET), polycarbonates (PC), polypropylene (PP), polyvinylidene fluoride (PVDF), polyimides (PI), CR-39 or allyl diglycol carbonate (ADC), etc.

The process of trackformation and etching in polyethylene terephthalate is well-studied. PET is rather stable in acids, organic solvents, biologically inert, and mechanically strong. The high etch rate ratio is achievable (when using UV sensitization) which makes it possible to produce a wide range of membranes with different pore diameters. The etching procedure is simple and fast. Alkali solutions (sometimes with additives) are used to develop tracks. The membranes arerelatively hydrophilic without any additional modification.

Polycarbonate is the material that has been used for thetrackmembrane production since the seventies. The production technology is very close to that for PET. Compared to PET, the sensitivity of PC is higher, which makes it possible to produce membranes with a pore diameter as small as ~0.01 μm and omit the UV sensitization stage. Polycarbonate track membranes differ from PET membranes by a lower resistance to organic solvents and a lower wet ability.

Polypropylene (PP) was investigated as a raw material for membranes to be used for the filtration of some aggressive liquids such as strong alkali solutions or inorganic acids. Chemical etching in strong oxidizers (chromium trioxide) is effective in developing the latent tracks in PP. The etching procedure is considerably more complex than the etching of PET or PC. Samples of PP track membranes with various pore diameters ranging between 0.1 and 3 μm have been fabricated on a laboratory

scale. The membranes are hydrophobic. A commercial production of PP membranes has not been launched because of the limited estimated market.

Much effort was made to develop track membranes from fluorinated polymers. The best results were obtained with polyvinylidene fluoride (PVDF) that exhibits good chemical, mechanical and particle registration properties. PVDF has also some special properties (piezoelectricity) that attracts the attention of researchers. Samples of PVDF track membranes were produced and tested in several laboratories. Similarly to PP, the etching of PVDF with strong oxidizers creates problems. Normally it takes hours to achieve a pore size in the micrometer range. Commercial production of PVDF track membranes was not set up because it cannot compete with the casting PVDF membranes existing on the market. Many other fluorinated polymers have been studied and etchable tracks have been observed in some of them. However, numerous attempts to obtain porous structure in fully fluorinated polymers by the track-etch method were not successful.

Polyimides (PI) have an excellent stability at high temperatures, excellent mechanical strength, and extraordinary radiation resistance. Films of polypyrromelithimide different in thickness are available for the past 20 years. Research workon PI as a track-recording medium has been performed in several laboratories. The possibility of trackmembrane manufacturing has been shown. A few recipes for tracketching in polyimides were reported. NaClO and H_2O_2 provide a rather high etch rate ratio enabling one to produce a porous membrane of good quality. However, instability of the etchants in time at high temperatures is a serious problem for the technology.

Now we understand the determining factors and have numerous empirical data enabling us to manufacture any particular product based on PET and other polymers. Pore shape can be made cylindrical, conical, funnel-like, and cigar-like at will.

In the present work, studies will be carried out with the PET polymer for the formation of TM by radiation exposure to high-energy helium and proton ions.

Conclusion

In this work, was considered a literature review for studying and understanding the effect of heavy ions on polymers and the formation of tracks in polymers. Also sections about models of ion track formation by heavy ion irradiation, general concepts for understanding the range and energy loss of heavy particles in matter, primary and secondary ionization and spatial distribution of the absorbed dose in heavy ion track, the chemical etching of latent tracks and track-etched polymeric membranes were represented.