

Департамент образования города Москвы  
Государственное бюджетное образовательное учреждение «Лицей № 1535»

Институт химии Санкт-Петербургского государственного университета

Образовательный центр «Сириус»

**«ПОЛУЧЕНИЕ МИКРО- И НАНОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ»**

индивидуальный учебный проект

**ВЫПОЛНИЛА:**

ученица 10 «И» класса

Тягусова Ксения Михайловна

совместно с научной группой на  
базе ОЦ «Сириус»

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

учитель биологии

Карасев Сергей Андреевич

к.ф.-м.н. Рогожин В.Б

к.ф.-м.н. Лезова А.А.

Москва, Санкт-Петербург, Сочи

2022

# Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ .....	1
ВВЕДЕНИЕ .....	2
1. «ЗЕЛЁНЫЙ» СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА .....	4
1.1. ПОЛУЧЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА.....	4
1.2. АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА .....	7
2. ПОЛУЧЕНИЕ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ МИКРО- И НАНОЧАСТИЦ .....	8
2.1. КОМПОЗИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ И КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ .....	8
2.2. МАГНИТНО-УПРАВЛЯЕМЫЙ КАТАЛИЗАТОР НА БАЗЕ $MnO_2$ .....	10
3. ПОЛУЧЕНИЕ МИКРО- И НАНОВОЛОКОН МЕТОДОМ ВЫТЯГИВАНИЯ, ЭЛЕКТРОСПИННИНГА .....	17
3.1. МЕТОД ВЫТЯГИВАНИЯ. ....	17
3.2. ЭЛЕКТРОСПИННИНГ .....	19
3.3. СОЗДАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ВОЛОКОН МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА С МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ .....	21
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	23
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	24

## Введение

В последние десятилетия микро- и наноразмерные материалы находят все большее применение в самых разных направлениях человеческой деятельности: микроэлектронике, химической промышленности, медицине, фармацевтике и множестве иных областей [10]. К таким материалам относятся системы, включающие в себя или состоящие из объектов, хотя бы по одному измерению входящие в диапазон микро- (как правило от единиц до десятков микрон) или наноразмеров (от десятков до сотен нанометров). В частности, это могут быть отдельные частицы, соответствующие этим диапазонам в направлении всех трех измерений, волокна (ограниченные указанными размерами по толщине при значительно большей длине), пленки (ограничение только по толщине). Также сюда относят квазитрехмерные материалы, а именно, многослойные структуры с наноразмерными дислокациями, сверхрешетки, нанокластеры [5].

Важным условием, характеризующим принадлежность к указанным материалам, является наличие особых свойств, уникальных характеристик, зависящих непосредственно от размеров микро- и нанообъектов в их составе [9]. Так, известно, что прочность волокон самого широкого спектра как органических, так и неорганических материалов резко возрастает по мере уменьшения их диаметра: еще в экспериментах Гриффитса [13] было показано, что по мере уменьшения толщины стеклянных волокон их прочность на разрыв возрастает в десятки раз (рис. 1).

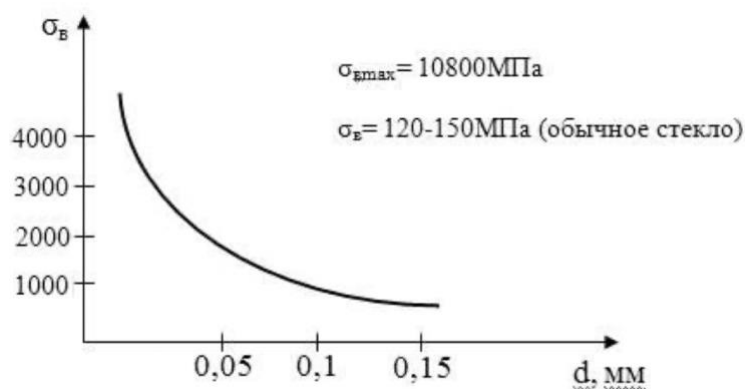


Рис. 1. Зависимость предела прочности при растяжении стеклянных волокон от диаметра волокна.

Уникальные свойства наноматериалов, такие как высокая поверхностная энергия, сорбция, изменение физико-химических свойств, малые размеры, наличие магнитных свойств и биосовместимость открывают новые перспективы диагностик [16], доставки лекарств, создания нанопрепаратов при лечении различных заболеваний (наиболее популярное направление – терапия онкологических заболеваний [8]), изготовления некоторых видов материалов в промышленности [10]. Различные методы получения наноматериалов позволяют создавать материалы/частицы с подходящими свойствами для выполнения поставленных задач [1].

Проблема систематизации, изучения и усовершенствования уже имеющихся методов остается актуальной вследствие быстрого роста научного, промышленного и коммерческого интереса к перспективной отрасли нанотехнологий. Проект направлен на изучение и обобщение различных методов синтеза наночастиц, нановолокон и пленок, которые были предложены до настоящего. Он начинается с выведения общих принципов каждого метода и выделения основных параметров, определяющих образование наночастиц и наноматериалов, и их физико-химических характеристик, создание и усовершенствование уже имеющихся приборов для получения определенного вида частиц/материалов, а также анализ полученных вследствие экспериментов продуктов и сфер их возможного применения.

На основании изложенного мы сформулировали **цель проекта** – получение и изучение микро- и нанодисперсных материалов на основе низкомолекулярных веществ и полимеров, а также внедрение в их состав магнитных микро- и наночастиц с целью создания функциональных магнитоуправляемых материалов различного назначения.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- проектирование и сборка лабораторных установок на базе имеющихся блоков и материалов
- получение микро-и нанодисперсных материалов и нановолокон
- исследование свойств полученных материалов и анализ возможных сфер их применения

**Предмет работы** – получение и анализ микро- и нанодисперсных материалов

**Объект работы** – наночастицы, нановолокна, нанопленки

## **1. «Зелёный» синтез наночастиц серебра**

В последние годы активно развиваются подходы *in vitro*, в которых для биовосстановления ионов металлов с образованием наночастиц используют растительные экстракты. Такие подходы обеспечивают гибкий контроль за размером и формой наночастиц (например, путем изменения рН среды и температуры проведения реакции) и отличается большей экологичностью по отношению к иным методикам [3].

Подобные наночастицы, могут быть использованы в следующих направлениях:

- терапия онкологических заболеваний [8]
- в качестве антисептических средств (за счет своих антибактерицидных свойств [12,14,15])
- в направленной доставке лекарств
- молекулярной визуализации
- очистке жидкостей и газов, катализе
- создании биосенсоров
- топливных элементов
- покрытий и косметических средств, а также для решения иных задач

### **1.1. Получение наночастиц серебра**

В нашей работе для получения наночастиц серебра 2% водный раствор нитрата серебра в пропорциях, приведенных в табл.1, добавлялся к растительным экстрактам, смешанным с 10% водным раствором натрий додецилсульфата (в качестве стабилизирующего агента). Растительные экстракты готовились из листьев *Melissa officinalis* (мелисса) и кожуры *citrus maxima* (помело), а также зеленого чая и чая Габа (образцы предоставлены научной группой Бессоновой Елены Андреевны).

Таблица 1. Приготовление коллоидных растворов серебра

№ образца	AgNO <sub>3</sub> 2% водный р-р, мл	Экстракт, мл	Натрий додецилсульфат, 10% водный р-р, мл	Вода, мл	Время хранения
1.	1	Melissa officinalis 2	1	-	неделя
2.	0,5	Melissa officinalis 2	1	-	неделя
3.	0,1	Melissa officinalis УФ 2	-	12	неделя
4.	2	Citrus maxima, УФ 12	-	-	неделя
5.	0,1	Зелёный чай, УФ 1	-	10	неделя
6.	0,1	Чай Габа, УФ 1	-	10	неделя

Изменение цвета раствора, характерное для образования наночастиц серебра [11] (рис.1) наблюдалось примерно через 2 минуты после смешивания компонент в случае образцов 1 и 2 при комнатной температуре. В случае образцов 3-6 реакция шла под воздействием ультрафиолета.

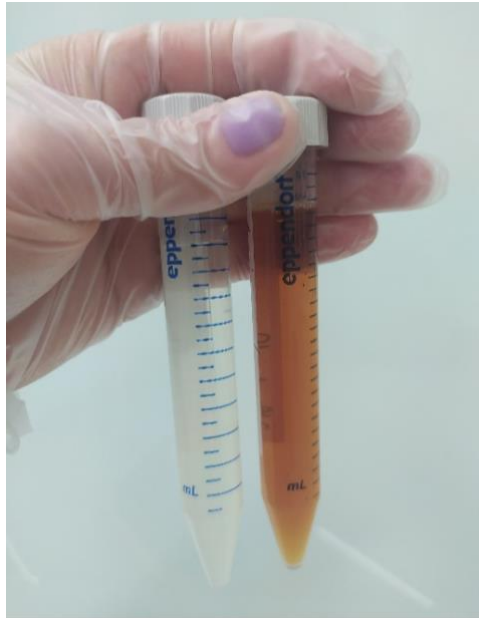
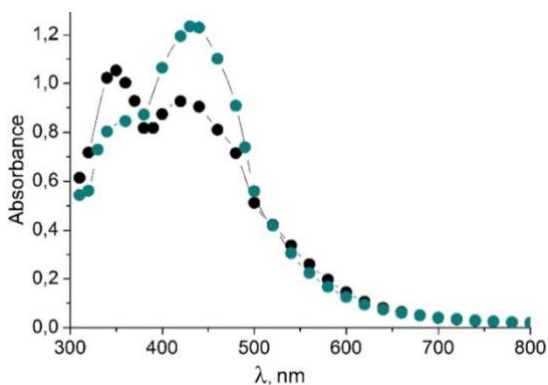


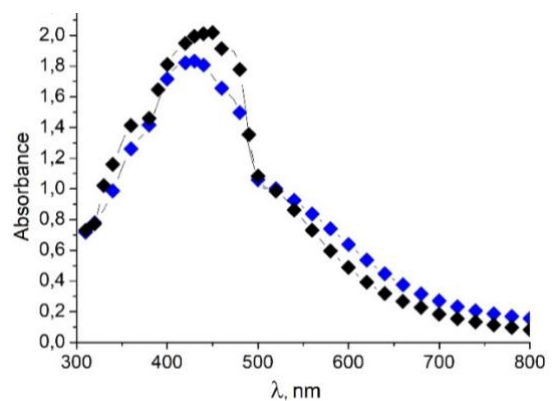
Рис. 1. Изменение цвета раствора при формировании наночастиц Ag (образец 5).

Растворы оставались стабильными в течении всего времени последующих экспериментов, выпадение осадка не наблюдалось.

Спектры оптического поглощения» полученных растворов, полученные с помощью фотометра КФК-3 ЗОМЗ, приведены на рисунке 2. Видно, что спектры оптического поглощения для всех образцов показывают наличие пика плазмонного резонанса в области 425-445 нм, характерного для наночастиц серебра [4].



а)

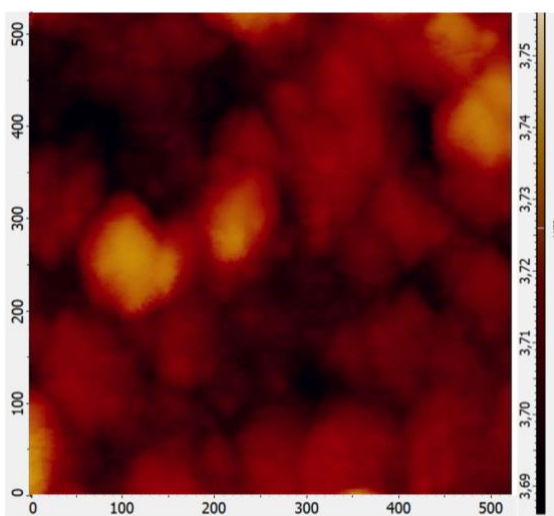


б)

Рис. 2. Спектры поглощения растворов НЧ серебра: в экстракте помело (черные круги), Melissa (зеленые круги) (а); зеленого чая (черные ромбы) и чая Габа (синие ромбы) (б)

Далее для получения композитных микро- и наночастиц нами был использован образец 3, Табл.1.

Размер полученных наночастиц серебра определялся из данных атомно-силовой микроскопии (АСМ). Коллоидный раствор частиц серебра был разбавлен дистиллированной водой в концентрации 1:10 по отношению к исходному объему раствора, после чего наносился тонким слоем на предметное стекло и высушивался. Данные АСМ представлены на рис. 3. На представленном рисунке наблюдаются скопления отдельных частиц размером от 10 до 30 нм.

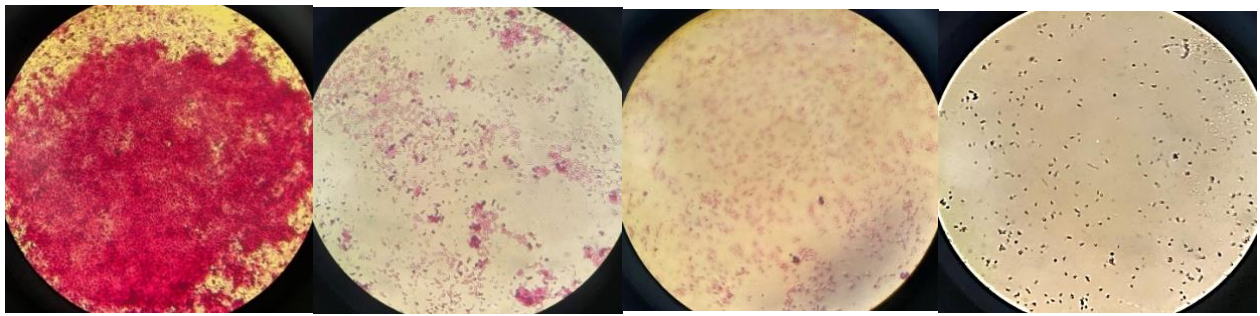


*Рис. 3. Результаты исследования методом атомно-силовой микроскопии*

## **1.2. Антибактериальные свойства наночастиц серебра**

Нами были продемонстрированы антибактериальные свойства наночастиц серебра на колонии бактерий *E. Coli* (рис. 4), свидетельствующие о значительном подавлении роста бактерий даже для самых малых концентраций исходного коллоидного раствора наночастиц серебра (образец 3, табл.1). Окрашивание бактерий проводилось по методу Грама, колония выращивалась в течение двух дней в термостате на питательной среде.





а)

б)

в)

г)

Рис. 4 Контрольный образец - мазок бактерий *E. Coli* без наночастиц серебра (а), образцы мазка с бактериями *E. Coli* и коллоидным раствором наночастиц серебра в концентрации 0,001г/мл (б), 0,01 г/мл (в), 0,1 г/мл (г)

## 2. Получение магнитоуправляемых микро- и наночастиц

### 2.1. Композитные наночастицы на основе ферромагнитной жидкости и коллоидного раствора наночастиц серебра, полученные методом распылительной сушки

Магнитная жидкость, использованная нами, была получена и предоставлена нам научной группой Ванина Александра Александровича. Исходный образец после разбавления дистиллированной водой, нанесения тонким слоем на предметное стекло и высушивания был исследован методом АСМ (рис. 5). На рисунке наблюдаются крупные скопления частиц размером от 20 до 40 нм.

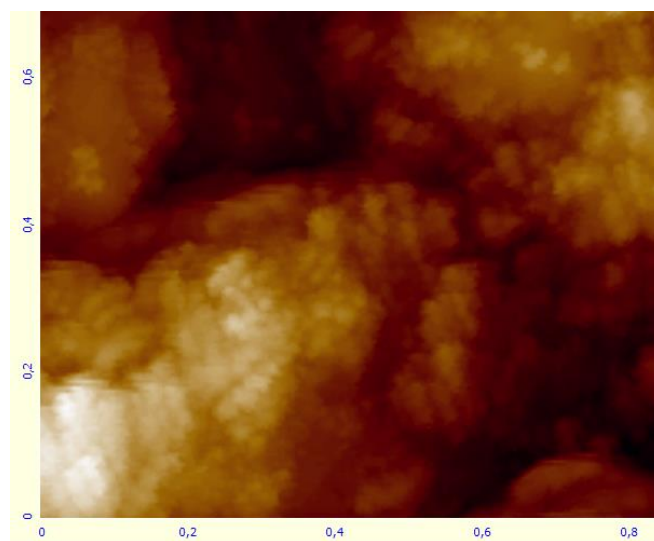


Рис. 5. Частицы ферромагнитной жидкости после высушивания на предметном стекле, атомно-силовая микроскопия.

Для получения управляемых магнитным полем композитных частиц на основе ферромагнитной жидкости и коллоидного раствора наночастиц серебра был использован метод распылительной сушки. Метод распылительной сушки при сравнительной простоте реализации является одним из самых производительных методов получения наночастиц и позволяет работать с широким спектром растворов [1]. Схема и модель установки приведена на рис. 6. Исходные образцы в равной пропорции смешивались друг с другом, распылялись компрессорным распылителем (размер капель 2-4 мкм), высушивались в сушильной камере в потоке сухого воздуха и осаждались на электродах электростатического фильтра, выполненных из меди. Схема изготовленного в процессе выполнения работы фильтра приведена на рис.7. Съемные электроды были выполнены из медной фольги, наклеенной двойным скотчем на пластмассовые пластины 10 x 16 см.

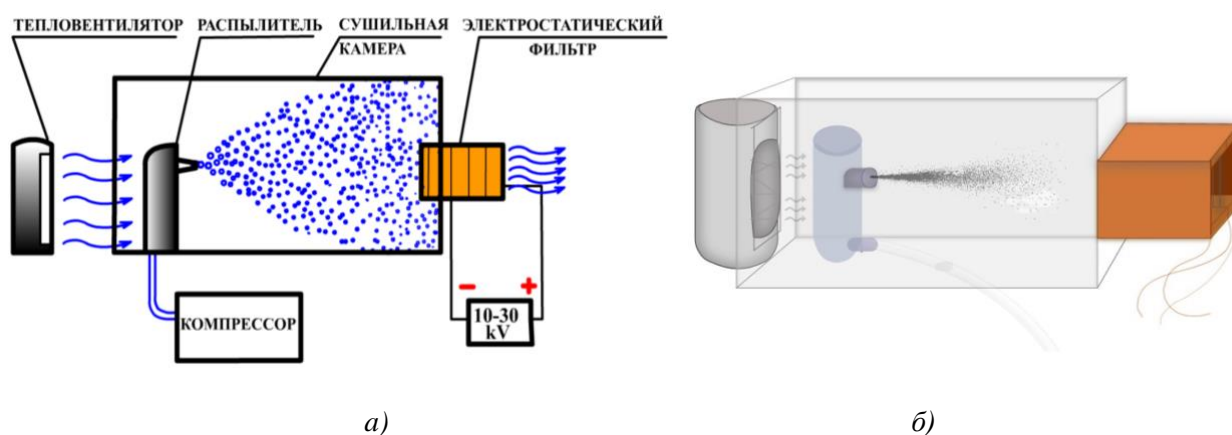


Рис. 6. а) схема и б) 3D-модель установки для получения микро- и наночастиц методом распылительной сушки.

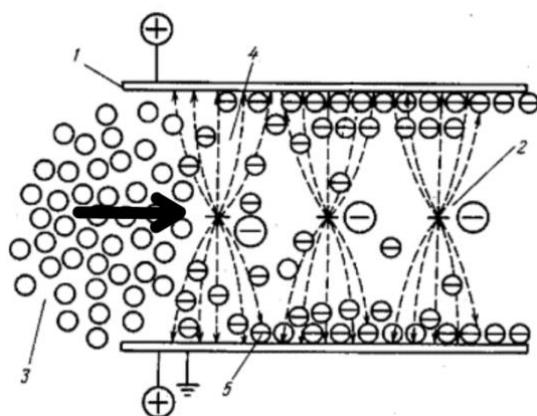


Рис. 7. Принципиальная схема электростатического фильтра

Здесь 1- осадительный электрод, 2 – коронирующий электрод, 3 – электронейтральные частицы в потоке газа, 4 – заряженные осаждающиеся в электрическом поле частицы, 5 – осажденные на электрод частицы.

Образцы полученных частиц были исследованы методом АСМ. Перед исследованием частицы наносились на поверхность двойного скотча, предварительно приклеенного к подложке. Результаты исследования отражены на рис. 8. Отмечается формирование частиц в диапазоне от ста нанометров до 1,5 мкм.

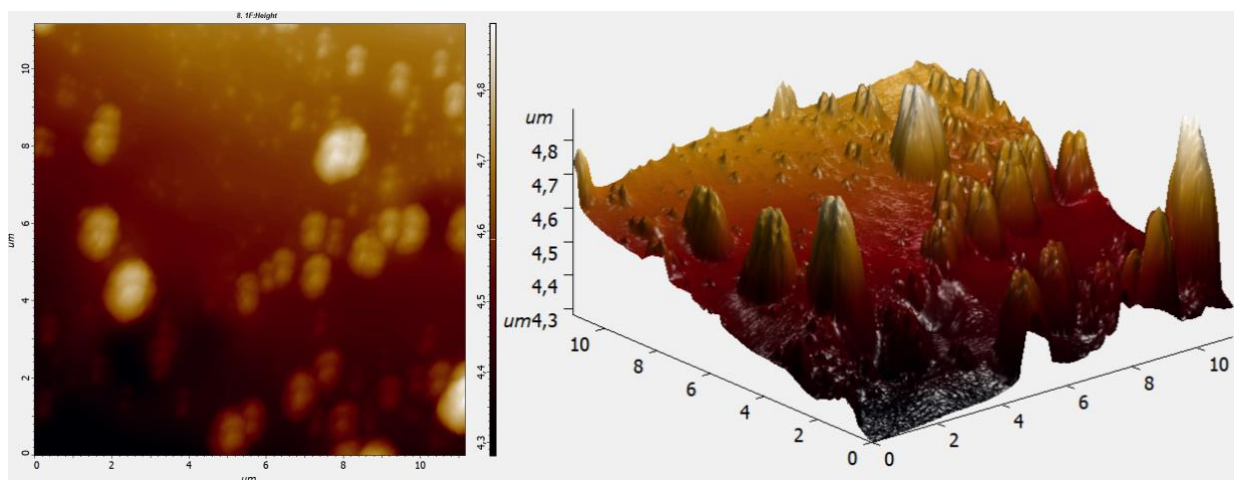


Рис. 8 Композитные микро-и наночастицы, АСМ

## 2.2. Магнитно-управляемый катализатор на базе $MnO_2$

### 2.2.1. Практическая значимость

Одним из возможных применений полученных частиц может быть создание катализаторов для дожигания угарного газа до  $CO_2$ . Магнитные свойства позволяют управлять поведением частиц, в частности, удерживать их без дополнительных фильтров в зоне реакции. Малый же размер обеспечивает большую суммарную площадь контакта с реагентами. Однако в мелкопористой, в частности, состоящей из сыпучих компонент, среде затруднено распространение внешних реагентов, а потому важно наличие более крупных каналов для доступа ко всему ее объему. В магнитном поле можно добиться их появления за счет выстраивания частиц катализатора в вытянутые агломераты, направленные вдоль линий магнитной индукции. Сами по себе полученные частицы не проявляли такого свойства (рис. 9, а), но при смешивании с

более крупными (1-10 мкм, рис. 9, б) частицами магнетита в соотношении 1:1 удалось добиться требуемого результата (рис. 9, г). Данная структура динамична и легко перестраивается в изменяемом магнитном поле, что также способствует ее освобождению от внешних загрязнителей, в частности, пыли, и соответственно, приводит к увеличению сроков службы катализатора. Кроме того, облегчается и процесс его замены – при отключении магнитного поля отработанный материал можно просто высыпать из корпуса прибора и заполнить новой порцией вещества.

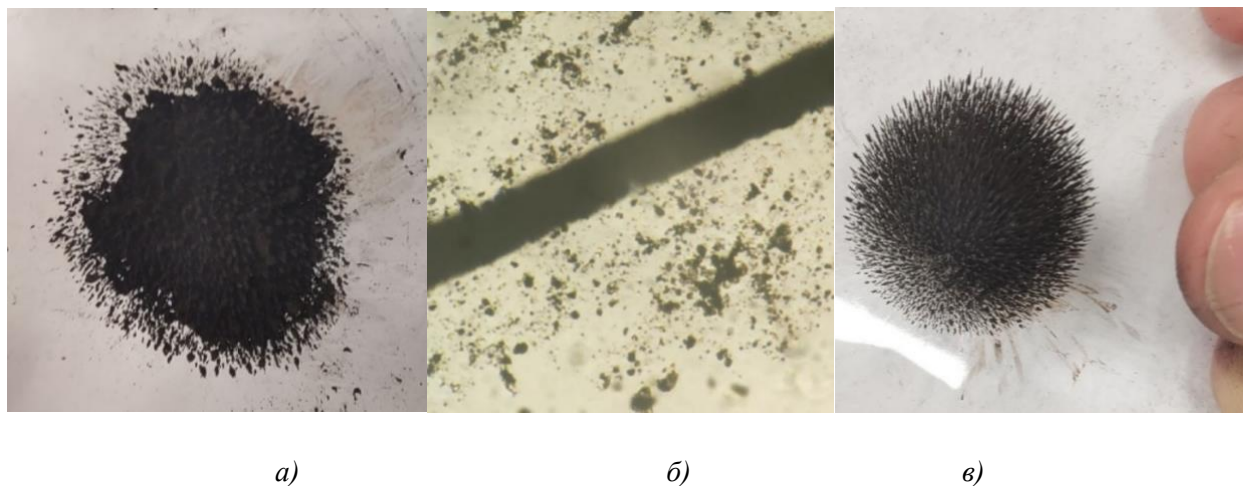


Рис. 9. Исходные композитные частицы в магнитном поле (а), микрочастицы магнетита в сравнении с вольфрамовой проволокой диаметром 25 мкм под оптическим микроскопом (б), поведение смеси композитных частиц и частиц магнетита в магнитном поле (в)

Дожиганию CO до CO<sub>2</sub> также способствует использование катализаторов на основе оксидов ряда металлов. Мы исследовали возможность создания магнитоуправляемых катализаторов на базе оксида марганца MnO<sub>2</sub> и микрочастиц магнетита (0,1 – 1 мкм).

### 2.2.2. Получение наночастиц MnO<sub>2</sub>

Нами были получены наночастицы MnO<sub>2</sub>, с целью проверки их на каталитическую активность. Для синтеза была взята методика, представленная в статье Малинской [7], в которой был подробно описан процесс приготовления данных наночастиц.

0,03 г KMnO<sub>4</sub> растворили в 1,97 г воды для получения 1,5 % раствора. Из полученного раствора при помощи дозатора отобрали 1 мл жидкости и добавили 9 мл воды (довели до метки 10 мл). Полученный раствор разделили на 2 части (чтобы при

добавлении реактива была возможность сравнить цвет конечного раствора с исходным) и начали добавлять по каплям 3%  $\text{H}_2\text{O}_2$  для получения золя  $\text{MnO}_2$ , который образовывался в ходе реакции:



Всего было приготовлено 4 одинаковых образца раствора  $\text{KMnO}_4$  (по методике, описанной выше) для того, чтобы добавить различное количество капель  $\text{H}_2\text{O}_2$ . К образцу 1 добавили 5 капель  $\text{H}_2\text{O}_2$ , цвет раствора стал вишнево-красным; к образцу 2 добавили 13 капель, цвет раствора изменился на красновато-бурый с желтоватым оттенком; к образцу 3 добавили 25 капель, цвет раствора стал похожим на цвет образца 3 (после добавления перекиси) только с желто-зеленым оттенком; к образцу 4 добавили 40 капель, цвет раствора стал похожим на раствор 3 (после добавления перекиси) (рис. 10).



а)

б)

Рис. 10. а) Раствор  $\text{KMnO}_4$ , б) полученные золи с  $\text{MnO}_2$ .

Полученные золи были оставлены на несколько часов. В образцах 3,4 наблюдалось выпадение черного осадка  $\text{MnO}_2$ . Осадок в образце 1 выпал, но спустя более длительное время. В образце 2 осадок не образовался, поэтому, он был использован для дальнейших экспериментов. По методике, аналогичной описанной выше, образец 2 был исследованы методом АСМ, результаты приведены на рис. 11. Отмечается формирование частиц в диапазоне от 10 до 50 нм.

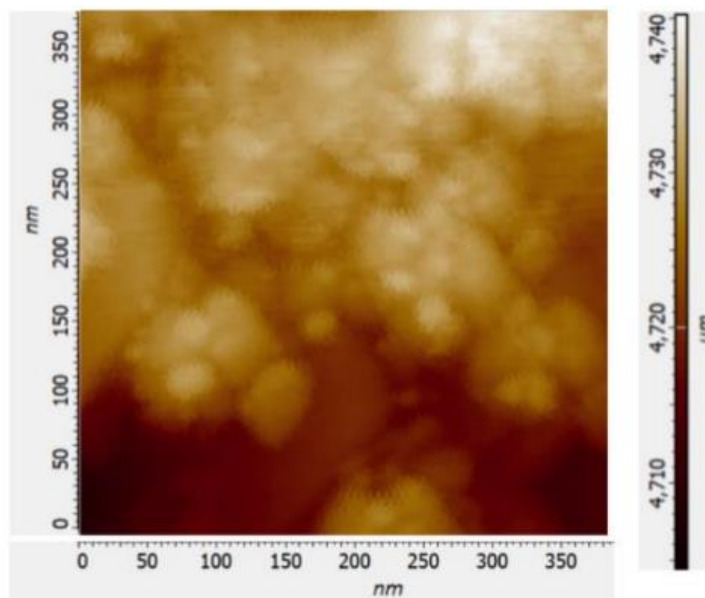


Рис. 11 Наночастицы  $MnO_2$ , АСМ

Спектр поглощения исходного раствора  $KMnO_4$  и образца 2 приведены на рис. 12. Изменение спектра поглощения свидетельствует о совершении химической реакции с образованием  $MnO_2$ .

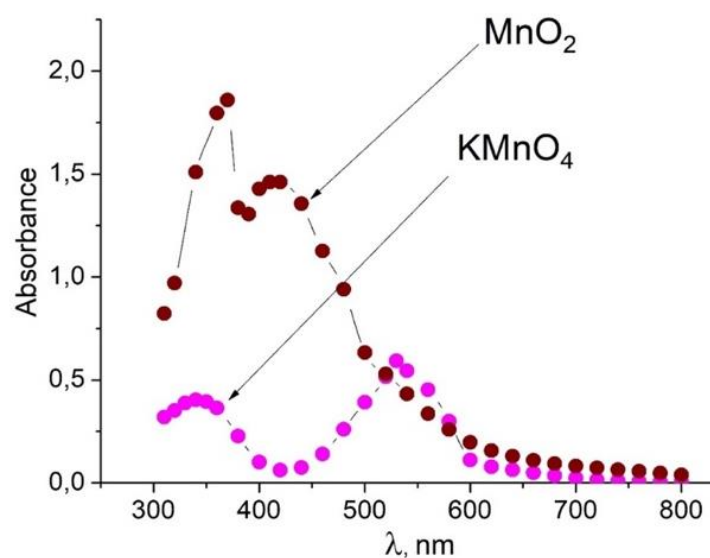
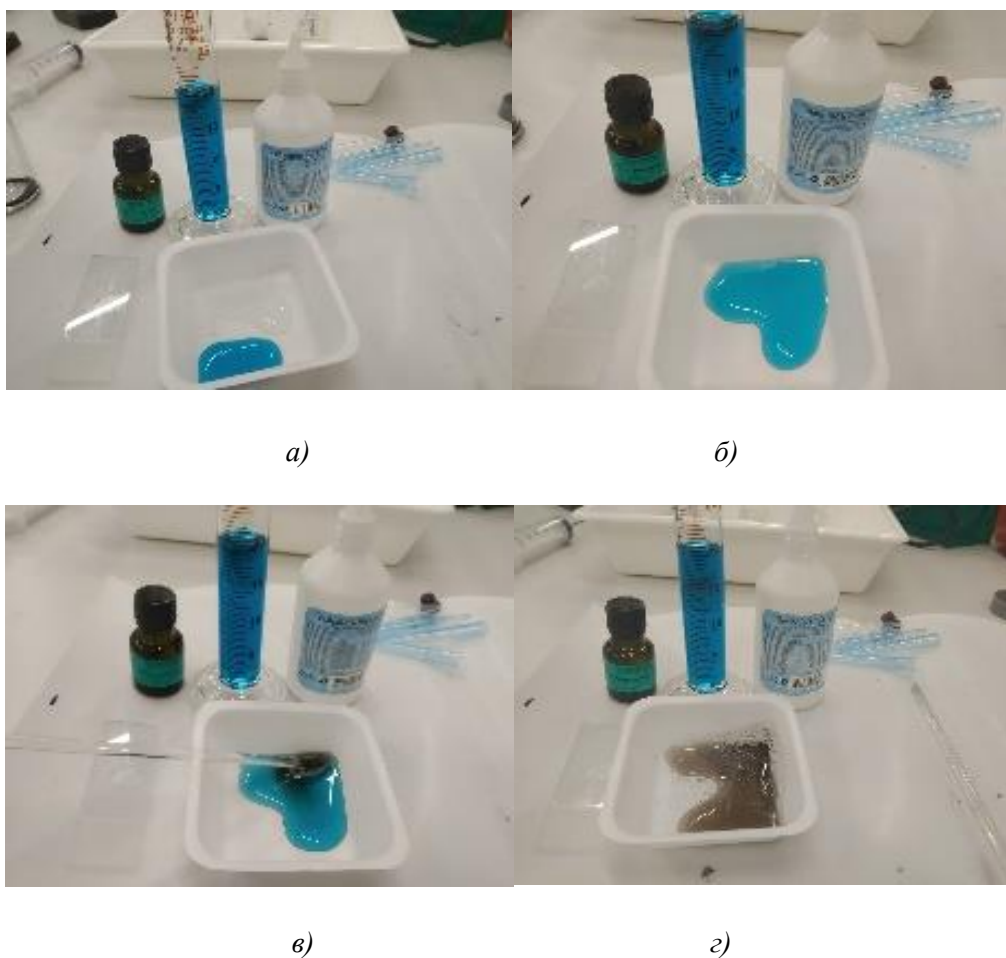


Рис. 12. Спектры поглощения раствора  $KMnO_4$  и золя, содержащего  $MnO_2$  (образец 2) после завершения реакции.

Проверка полученного вещества на каталитическую активность:

Смешали объемы бриллиантового зеленого и перекиси водорода в отношении 1:2. Происходило медленное разложение зеленки, о чем свидетельствовало постепенное изменение окраски. Но этот процесс происходил очень долго. Для ускорения процесса в полученную смесь веществ мы добавили полученный нами золь  $MnO_2$ , который

катализировал разложение перекиси, в результате чего образовывались пероксидные радикалы, которые в свою очередь окисляли бриллиантовый зеленый, и происходило его обесцвечивание (рис. 13).



*Рис.13. Проверка золя на каталитическую активность в реакции бриллиантового зеленого и перекиси водорода: а) исходные компоненты, б) смесь бриллиантового зеленого и перекиси водорода по истечении 10 минут после смешивания, в) добавление к смеси реагентов золь  $MnO_2$ , г) обесцвечивание смеси по истечении 1 минуты после добавления золя  $MnO_2$*

**Вывод:** мы получили частицы вещества, которые могут обладать каталитической активностью.

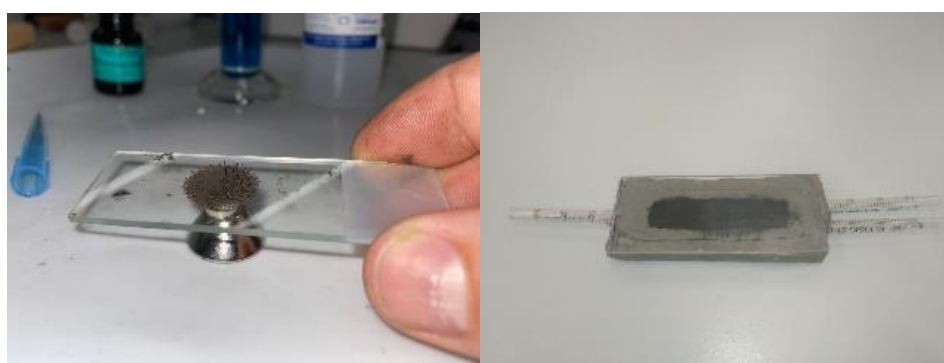
### 2.2.3. Изготовление катализатора

После получения наночастиц, обладающих каталитической активностью, мы изготовили магнитоуправляемый катализатор на основе  $MnO_2$  и микрочастиц магнетита. Для этого мы в магнетит ( $Fe_3O_4$ ) с размером зерна в от 1 до 10 мкм добавляли полученный золь  $MnO_2$  в расчете 1 г на 2,5 мл. В процессе смешивания жидкость

заметно обесцвечивалась. После чего смесь была подвержена фильтрации. Отфильтрованная жидкость представляла собой раствор КОН, что подтверждалось изменением окраски индикаторной бумаги, отвечающей рН 10. Измеренный спектр поглощения жидкости показал полное отсутствие полос поглощения, характерных как для  $\text{KMnO}_4$ , так и для  $\text{MnO}_2$ , что свидетельствует о том, что  $\text{MnO}_2$  связался с зернами магнетита. После высушивания образца нами был получен порошок из частиц магнетита с модифицированной наночастицами  $\text{MnO}_2$  поверхностью. Сохранение каталитических свойств оксида марганца, связанного с частицами магнетита было подтверждено по описанной выше схеме реакции раствора бриллиантового зеленого и перекиси водорода.

#### 2.2.4. Проверка способности катализатора доокислять СО до $\text{CO}_2$ .

Полученный катализатор был проверен на способность доокислять СО до  $\text{CO}_2$ . Катализатор массой 15 г. был размещен в реакторе, представляющем собой емкость с плоскими гранями объемом  $7 \text{ см}^3$ , к которой были подведены две трубки для подачи СО и  $\text{O}_2$  и одна – для вывода продуктов реакции (рис. 14). В схеме конструкции катализатора использован принцип выстраивания агломератов ферромагнитных частиц в магнитном поле, аналогичный описанному в первой части, благодаря которому газ регулируемым образом проходит через весь объем катализатора, эффективно реагируя с частицами смеси.



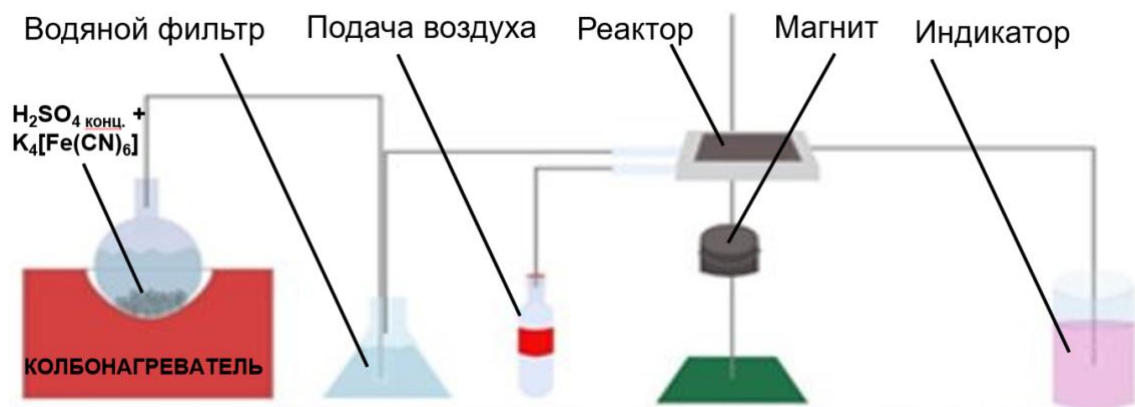
а)

б)

Рис. 14. Катализатор в магнитном поле (а) и размещенный в реакторе (б)

Для качественного определения реакции доокисления СО до  $\text{CO}_2$  нами была собрана схема, отраженная на рис. 15 (а), внешний вид установки показан на рис. 15 (б).





а)



б)

Рис. 15 Схема установки для получения CO и окисления его до CO<sub>2</sub> (а) и внешний вид установки (б)

### Принцип работы установки:

1. В круглодонной колбе происходит реакция желтой кровяной соли с концентрированной серной кислотой (при нагревании), в ходе которой выделяется угарный газ:
 
$$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 6 \text{H}_2\text{SO}_4 + 6 \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} 2 \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 + 3 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 6 \text{CO}$$
2. Полученный газ поступает по трубке в водяной фильтр, где очищается от паров кислоты.
3. Очищенный газ проходит через катализатор, где под действием воздуха, поступающего из отдельной трубки, окисляется до CO<sub>2</sub>.
4. Для того, чтобы проверить действительно ли образовался CO<sub>2</sub>, полученный газ попадал в раствор NaOH с фенолфталеином. Так как происходило

обесцвечивание раствора (рис. 16), мы сделали вывод, что протекла химическая реакция, а так как CO не взаимодействует с NaOH, то можно понять, что мы действительно получили углекислый газ. При помощи этого эксперимента, мы убедились, что катализатор способствует окислению CO до CO<sub>2</sub>.



Рис. 16 Изменение окраски фенолфталеина до и после реакции с продуктами реакции доокисления CO до CO<sub>2</sub>

С учетом среднего размера частиц магнетита (3 мкм) была оценена суммарная площадь исходных частиц, как 6м<sup>2</sup>. Однако неправильная форма частиц катализатора и мелкие детали рельефа, задаваемые наночастицами оксида марганца на поверхности зерен магнетита, могут значительно увеличивать суммарную площадь катализатора.

Дальнейшее совершенствование магнитоуправляемого катализатора возможно на основе как модификации химической природы поверхности зерен ферромагнитных частиц, так и самой ее структуры – например, придания ей дополнительной пористости за счет особенностей предварительной обработки.

### **3. Получение микро- и нановолокон методом вытягивания, электроспиннинга**

#### **3.1. Метод вытягивания.**

Суть метода вытягивания: растворение полимера (в нашем случае ПММА) в разных растворителях и механическое вытягивание волокон.

Этот метод состоит в том, что тонкое остриё слегка погружается при помощи микроманипулятора в каплю полимерного раствора (расплава) вблизи контактной

границы (см. рис. 1.3). Затем остриё извлекается из капли со скоростью  $\sim 10^{-4}$  м·с<sup>-1</sup>, вытягивая за собой нановолокно. Этим методом могут быть получены нановолокна полимеров, выдерживающих большие деформации, находясь в вязко-текучем состоянии. Длина получаемых волокон определяется скоростью отверждения волокна за счет испарения растворителя (при формовании раствора полимера) или стеклования расплава (при формовании расплава полимера).

Для формирования волокон методом вытягивания мы воспользовались раствором полиметилметакрилата (ПММА) в хлороформе. Обнаружилось, что даже при сравнительно малой концентрации раствора (5 г/дл) оказалось возможным вытягивание волокна с очень большими для данного метода скоростями (порядка 1 м/с). Возможно, это обусловлено высокой молекулярной массой используемого полимера ( $M=1.8 \cdot 10^6$  г/моль, определена по значению характеристической вязкости раствора ПММА)

На рис. 17 показаны полученные волокна в сравнении с вольфрамовой проволокой (черный цвет) диаметром 23 мкм. Диаметры волокон, полученных данным методом, существенно разнятся в диапазоне от 5 до 20 мкм.



*Рис. 17. Волокна ПММА, полученные методом вытягивания.*

На базе этих волокон было получено магнитоуправляемое волокно путем смешивания исходного раствора ПММА с частицами магнетита. За счет большой вязкости раствора в процессе эксперимента частицы не успевали выпасть в осадок и фиксировались в составе волокна. На рис. 18 показаны волокна с зафиксированными в

них частицами магнетита. Диаметр волокна при этом варьировался в диапазоне от 5 до 20 мкм.



*Рис. 18 Волокна ПММА, модифицированные микрочастицами магнетита*

Несмотря на достигнутую относительно высокую скорость производства волокон, данным методом не удалось добиться уменьшения разброса по диаметрам. И в дальнейшем для получения полимерных волокон использовался метод электроформирования волокон (электроспиннинг).

### **3.2. Электроспиннинг**

Электроформование (ЭФ) – это процесс, который приводит к формированию нановолокон в результате действия электростатических сил на электрически заряженную струю полимерного раствора или расплава. Метод электроформирования волокон позволяет формировать полимерные волокна с толщиной в диапазоне от нескольких микрон вплоть до десятков нанометров. Данный метод относится сейчас к одному из наиболее часто используемых при производстве нановолокон и позволяет получать наноструктурированные материалы в самом широком диапазоне их свойств [2,6]. Схема установки представлена на рис. 19, внешний вид использованной установки – на рис. 20.

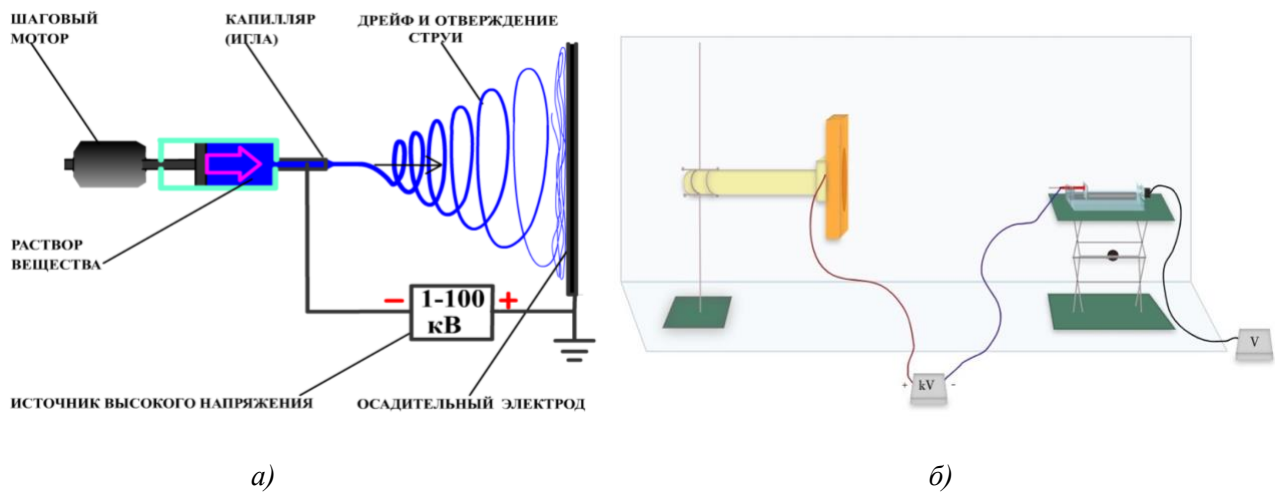


Рис. 19 Принципиальные схемы установки для электроспиннинга:

а) общая схема; б) модель реальной установки

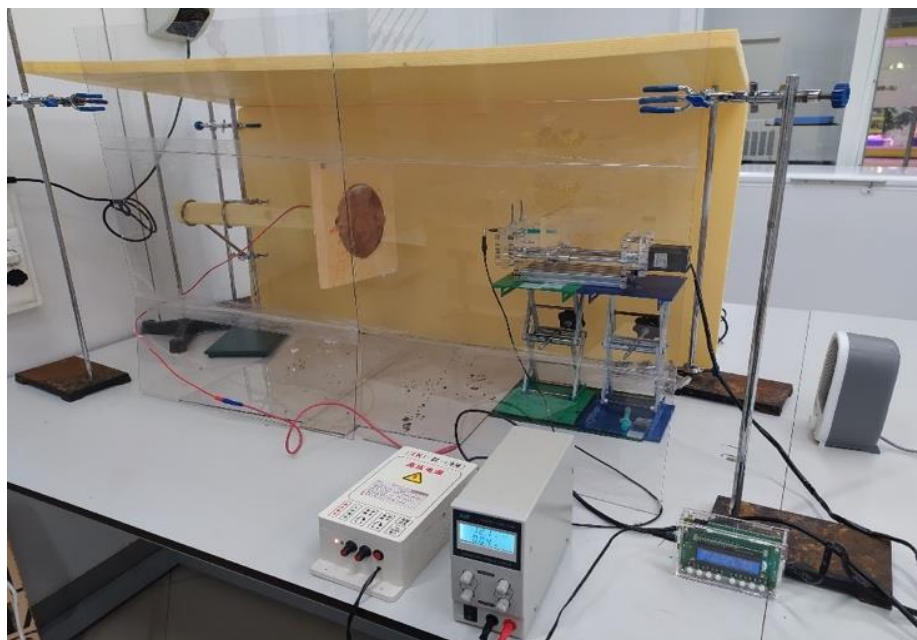


Рис. 20. Установка, использованная в эксперименте

С помощью электроспиннинга нам удалось получать из раствора ПММА в хлороформе разной концентрации (от 0,5 до 2 г/дл) однородные волокна, примерно равные по толщине, в диапазоне диаметров от 1 до 10 мкм (рис. 21)



а)

б)

в)

*Рис. 21 Волокно ПММА, диаметр 5 мкм, на электроде (а), волокно ПММА диаметром 10 мкм (б), волокно ПММА, диаметр около 1 мкм, в сравнении с вольфрамовой проволокой толщиной 23 мкм (в)*

Волокнами менее 2 мкм было сложно манипулировать. Поэтому, не смотря на возможность дальнейшего уменьшения толщины волокон, мы ограничились в дальнейшей работе этим диаметром волокна.

### **3.3. Создание модифицированных волокон методом электроспиннинга с магнитными наночастицами**

Магнитоуправляемые волокна были получены путем смешивания исходного раствора ПММА в хлороформе с микро- и наночастицами размером от 100 нм до 10 мкм, полученными методом распылительной сушки из образцов, предоставленных группой к.х.н. Ванина Александра Александровича. Осажденные на электродах электрофильтра частицы показаны на рис. 22.



*Рис. 22. Электроды электрофильтра с осажденными магнитными частицами (черный цвет)*

Внешний вид модифицированных магнитными частицами волокон под оптическим микроскопом показан на рис. 23

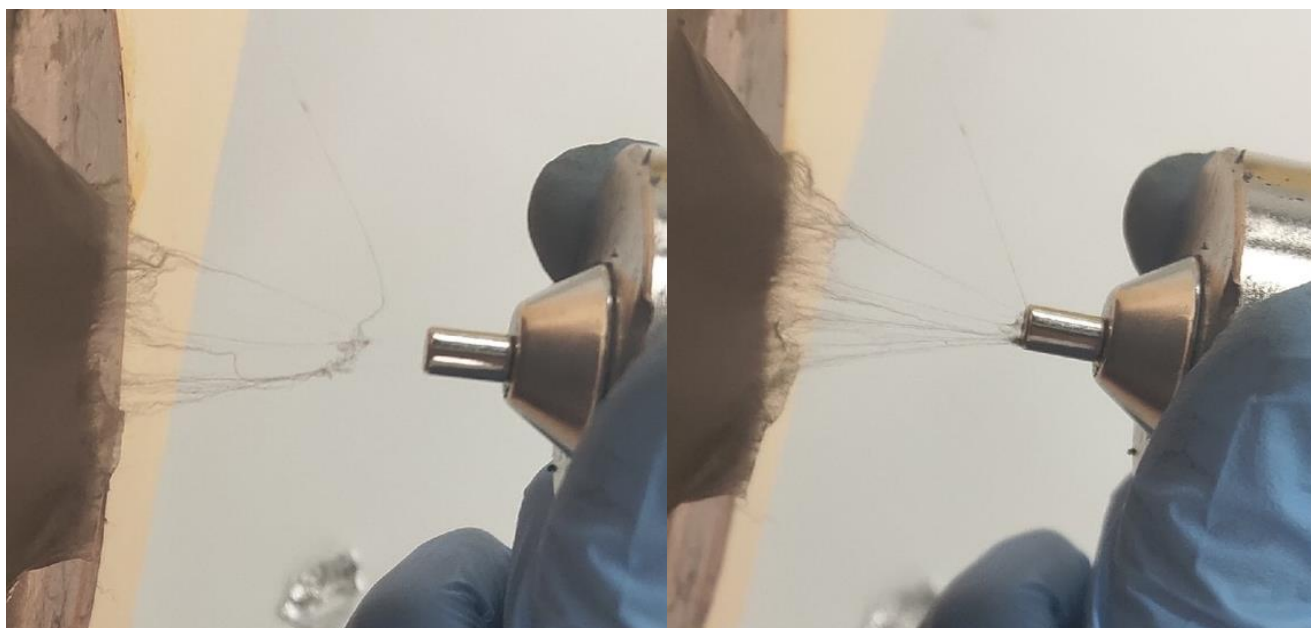


а)

б)

*Рис. 23. Модифицированные магнитными частицами волокна под оптическим микроскопом в сравнении с вольфрамовой проволокой толщиной 23 мкм (а) и ранее полученные методом вытягивания в том же масштабе (б)*

Полученное волокно легко управляется магнитным полем, что демонстрирует рис. 24.



*Рис. 24. Реакция модифицированного магнитными частицами волокна на внешнее магнитное поле*

## Заключение

Благодаря наличию особых свойств, уникальных характеристик, зависящих непосредственно от размеров, микро- и нанодисперсные материалы находят применение в самых разных сферах человеческой деятельности. Высокая поверхностная энергия, изменение физико-химических свойств, сорбция, а также наличие магнитных свойств и биосовместимость открывают все новые перспективы исследований, создания нанопрепаратов, доставки лекарств, диагностик, изготовления видов материалов в промышленности и т.п. Разные методы получения наноматериалов позволяют создавать материалы/частицы с необходимыми свойствами и параметрами. Однако проблема систематизации, изучения и усовершенствования уже имеющихся методов является актуальной и сегодня вследствие быстрого роста научного, промышленного и коммерческого интереса к перспективной отрасли нанотехнологий. Именно данной проблеме и было посвящено исследование.

В результате исследовательского проекта были спроектированы и собраны лабораторные установки для получения микро- и наночастиц и волокон, успешно реализованы методы получения микро- и наночастиц частиц и волокон, такие, как распылительная сушка, метод вытягивания, электроспиннинг. Более того, были созданы магнитоуправляемые материалы: композитные микро- и наночастицы и волокна, а также проанализированы области возможного применения подобных материалов: создание долговечных катализаторов, магнитоуправляемых микроманипуляторов, устройств управления микропотоками жидкости в микрофлюидике, медицинских устройств.



## Список используемой литературы

1. А. Ф. Гусева, А. Я. Нейман, С. С. Нохрин, Учебно-методический комплекс дисциплины «Методы получения наноразмерных материалов»; Федер. агентство по образованию, Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького, ИОНЦ "Нанотехнологии и перспективные материалы" [и др.], Екатеринбург: [б. и.], 2007.
2. А.Т.Матвеев, И.М. Афанасов, Получение нановолокон методом электроформования, МГУ, учебное пособие, 2010
3. В. В. Макаров, А. Лав, О. В. Сеницына, С. С. Макарова, И. В. Яминский, М. Э. Тальянский, Н. О. Калинина., Зеленые нанотехнологии: синтез металлических наночастиц с использованием растений. ТОМ 6 № 1 (20) 2014. ACTA NATURAE.
4. В. С. Лебедев, А. С. Медведев, Д. Н. Васильев, Д. А. Чубич, А. Г. Витухновский, Квантовая электроника, 2010, том 40, номер 3, 246–253
5. Журавлёва Наталья Геннадиевна, Шляхтин Олег Александрович. Наночастица. Роснано
6. И.Ю. Филатов, Ю.Н. Филатов, М.С. Якушкин, Электроформование волокнистых материалов на основе полимерных микро- и нановолокон. История, теория, технология, применение, Вестник МИТХТ, 2008, т. 3,
7. Малинская В.П. Ахметханов Р.М., Получение и свойства коллоидных растворов, учебное пособие, Уфа, 2011
8. Михайлов Георгий Андреевич, Васильева Ольга Сергеевна Технология будущего: использование магнитных наночастиц в онкологии // Сибирский научный медицинский журнал. 2008. №3.
9. Рахими Бхавсар, Нитин И. Вайдья, Парта Гангули, Алан Хамфрис, Агат Робиссон, Хуэйлинь Ту, Нэйтан Уикс, Гарет Х. Мак-Кинли, Фредерик Поше, «Новые интеллектуальные материалы», Нефтегазовое обозрение; 2007 г.
10. Яманова Р. Р., Николаенко Г. Р. О применении наночастиц серебра в легкой промышленности // Вестник Казанского технологического университета. 2013. №22.
11. Amin Baghizadeh, Shahla Ranjbar, Vinod Kumar Gupta, Mohammad Asif, Shahram Pourseyedi, 4 Mohammad J. Karimi, Reza Mohammadinejad, Green synthesis of silver nanoparticles using seed extract of *Calendula 2 officinalis* in liquid phase. *Journal of Molecular Liquids*.
12. Begum N.A., Mondal S., Basu S., Laskara R.A., Mandal D. Biogenic synthesis of Au and Ag nanoparticles using aqueous solutions of Black Tea leaf extracts // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2009. V.71. P.113-118.
13. Griffith A.A., *Phil. Trans, The Phenomena of Rupture and Flou in Solids*, 221 (1921), 163-198
14. Nadagouda M.N., Varma R.S. Green synthesis of silver and palladium nanoparticles at room temperature using coffee and tea extract // *Green Chem*. 2008. V.10. P.859- 862.
15. Ravindra S., Murali Mohan Y., Narayana Reddy N., Mohana Raju K. Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via "Green Approach" // *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 2010. V.367. P.31-40.
16. Rosi N.L., Mirkin C.A, *Nanostructures in Biodiagnostics.*, *Chem. Rev.* 2005. 105:1547-1562.