

Методы оптической спектроскопии в науке и образовании

Федорова Ксения Вячеславовна

Усть-Лабинск, 3 июля 2026 года



Физический факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова

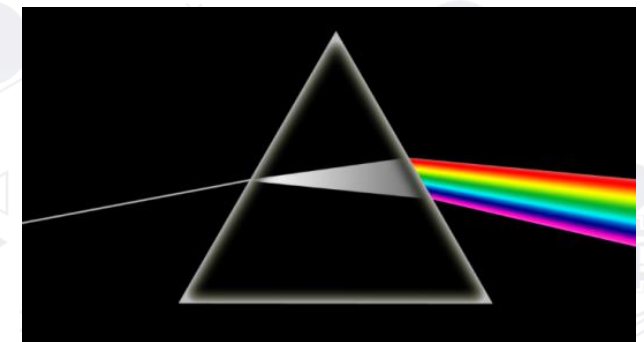
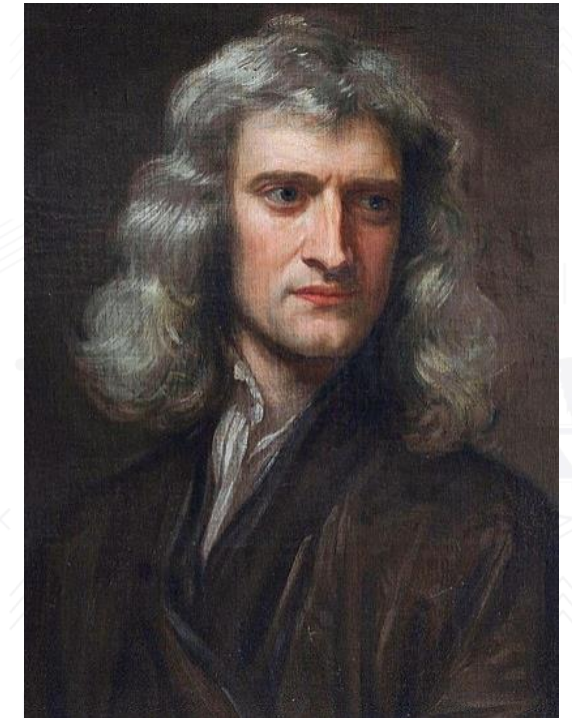


Федорова Ксения Вячеславовна

- Кандидат физико-математических наук
- Доцент кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества физического факультета МГУ
- Автор более 50 научных работ
- Член жюри многих конкурсов научных работ школьников



В научный обиход термин «спектр» ввёл Исаак Ньютон в 1671—1672 годах для обозначения многоцветной полосы, похожей на радугу, получающейся при прохождении солнечного луча через треугольную стеклянную призму. В те годы это была просто фиксация факта наличия электромагнитных волн разных длин в солнечном излучении, но позднее были получены и распределения по длинам волн.



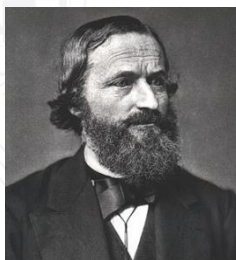
Историческая справка:

Сэр Исаак Ньютон: заложил основы спектроскопии:

получил спектры солнечного излучения, и объяснил их природу, показав, что цвет есть собственное свойство света, а не вносится призмой, как утверждал Роджер Бэкон в XIII веке.

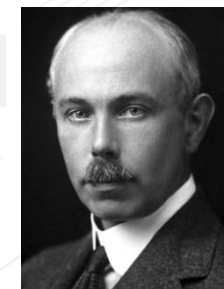
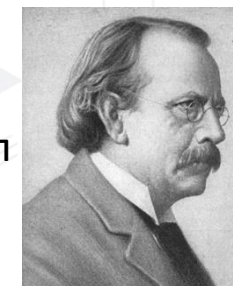


Уильям Волластон в 1802 году и Йозеф Фраунгофер наблюдали тёмные линии в солнечном спектре — линии поглощения.



В 1854 году Кирхгоф и Бунзен начали изучать спектры пламени, окрашенного парами металлических солей, и в результате ими были заложены основы спектрального анализа.

В 1910 году были получены *первые неэлектромагнитные спектры*: Дж. Дж. Томсон получил первые масс-спектры, а затем в 1919 году Астон построил первый масс-спектрометр.

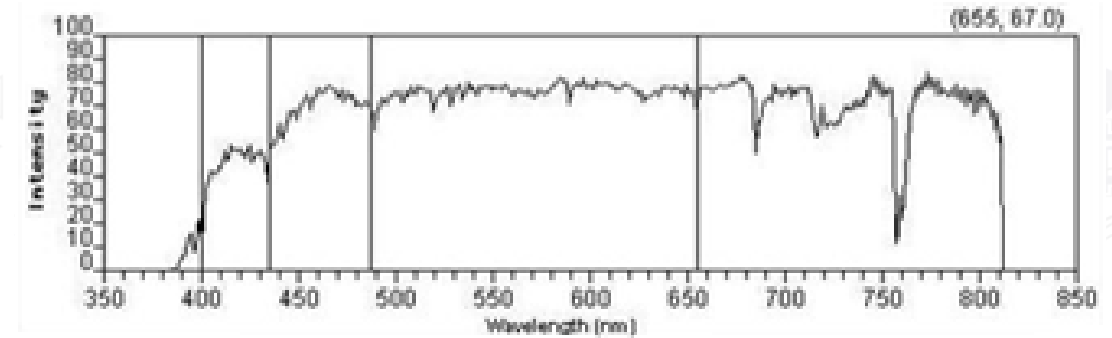
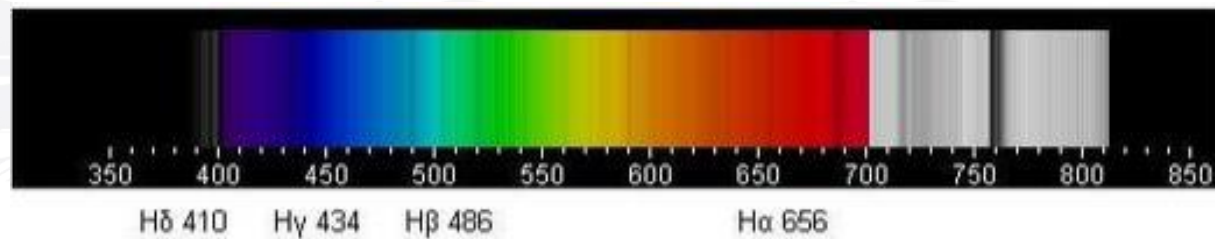


С середины XX века получили развитие радиоспектроскопические магнитно-резонансные методы — спектроскопии ядерного магнитного резонанса, электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), циклотронного резонанса (ЦР), ферромагнитного (ФР) и антиферромагнитного резонанса (АФР).



По характеру распределения значений физической величины спектры могут быть:

- дискретными (линейчатыми),
- непрерывными (сплошными),
- представлять комбинацию (наложение) дискретных и непрерывных спектров.

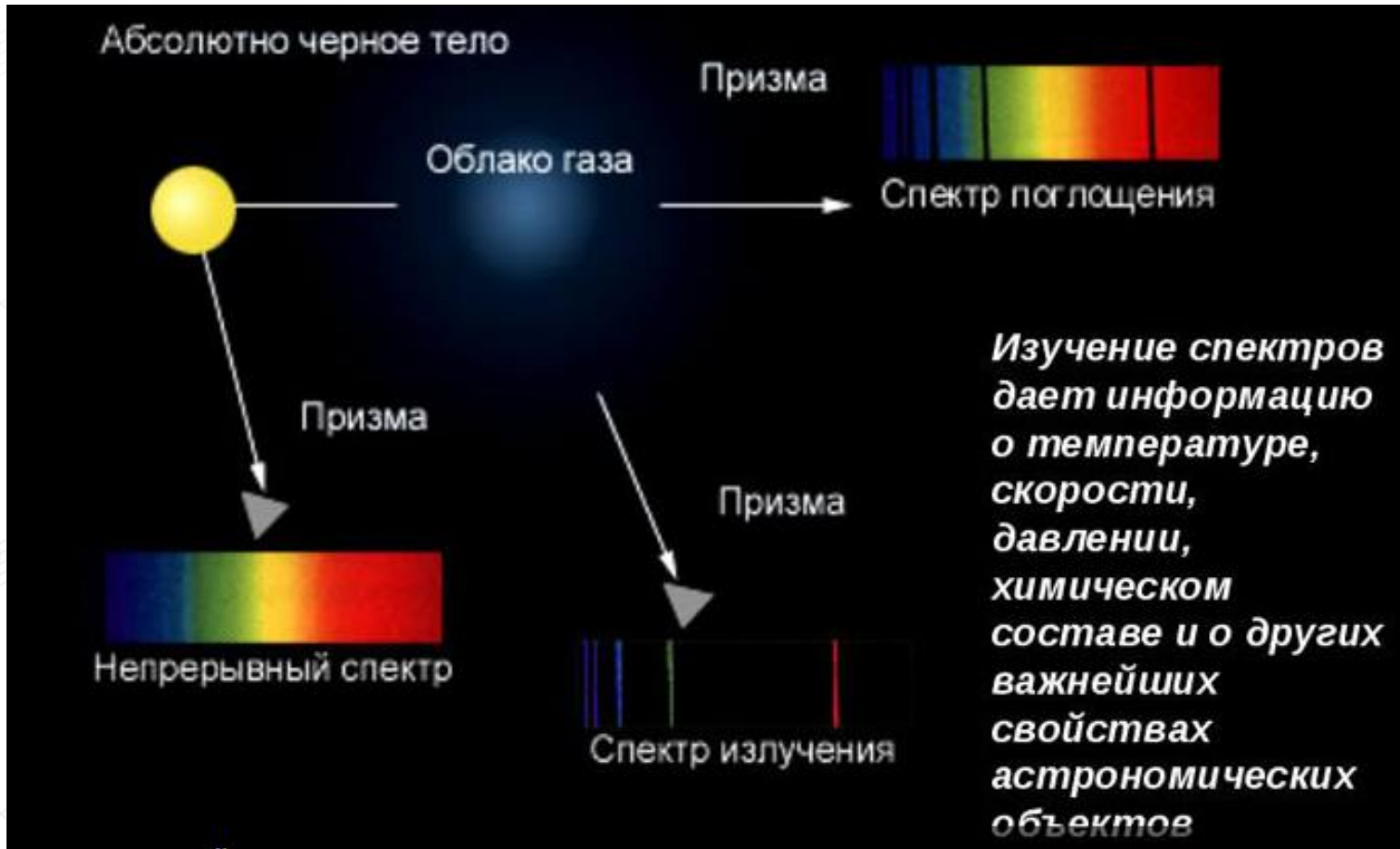


Другим критерием типизации спектров служат физические процессы, лежащие в основе их получения по типу взаимодействия излучения с материей, спектры делятся на

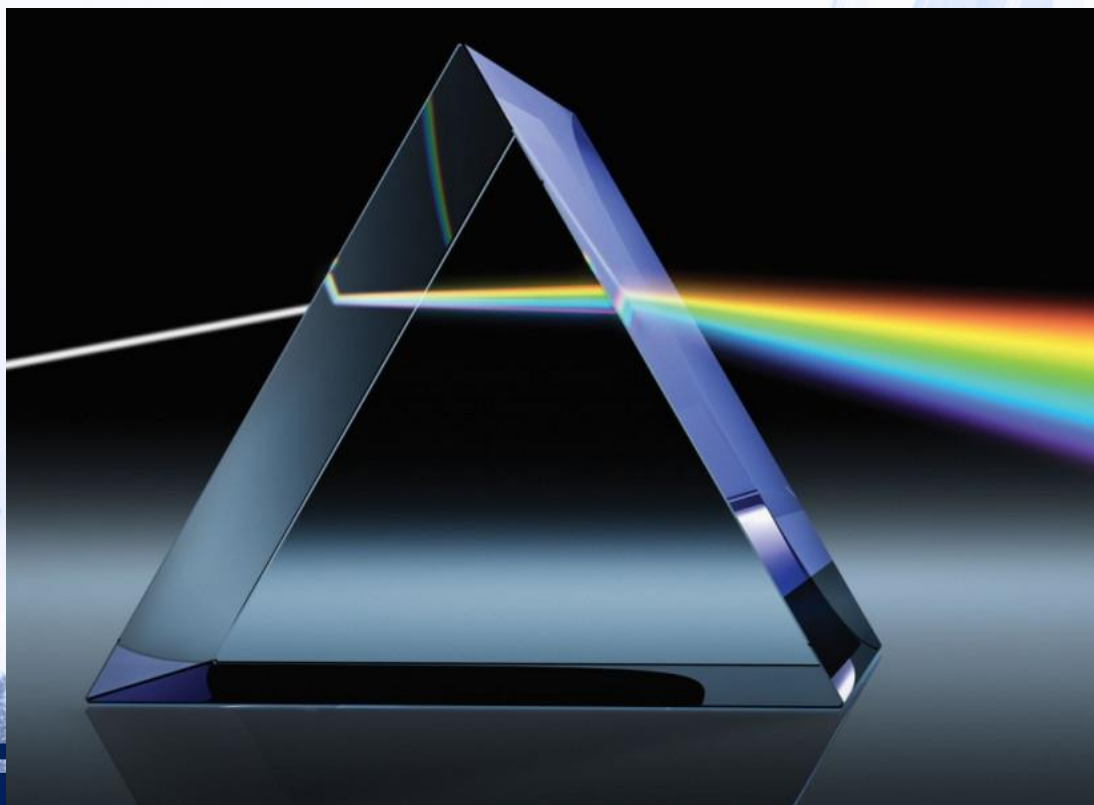
- эмиссионные (спектры излучения),
- абсорбционные (спектры поглощения),
- спектры рассеяния.



Общие сведения

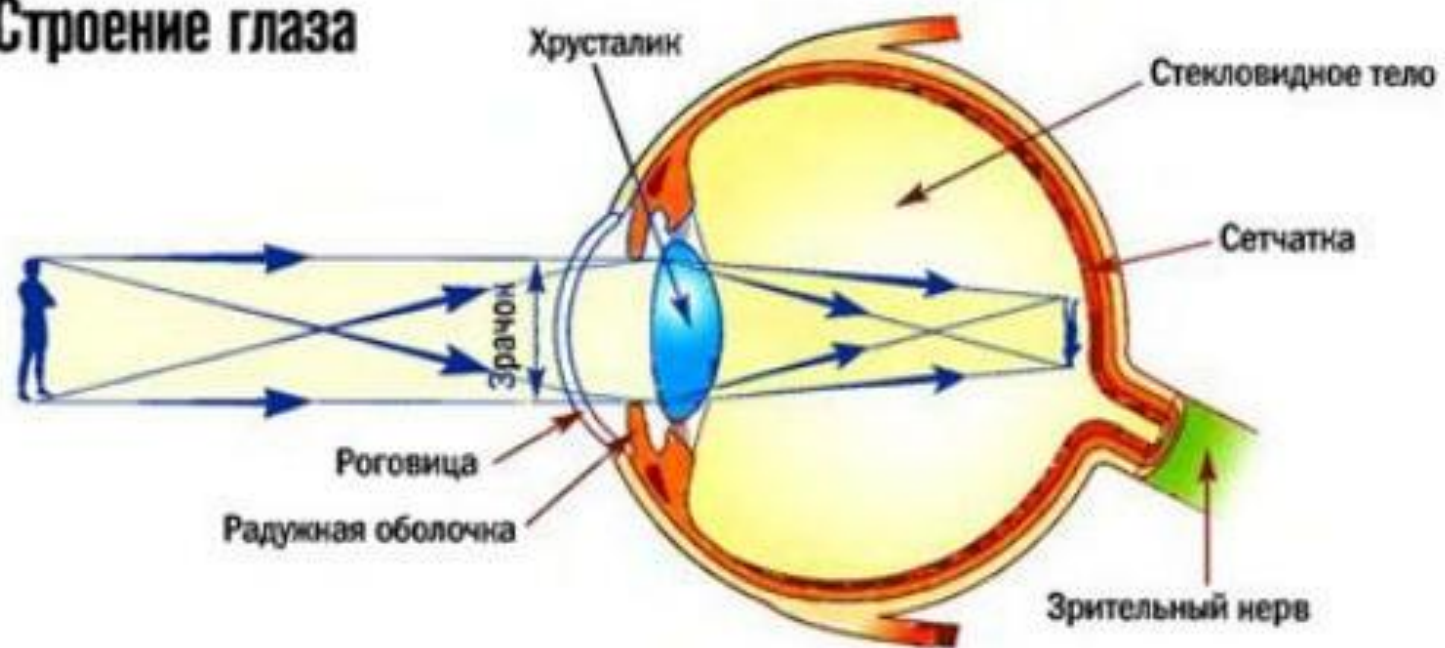


Спектрометры



Физический факультет Московского государственного университета
имени М.В. Ломоносова

Строение глаза



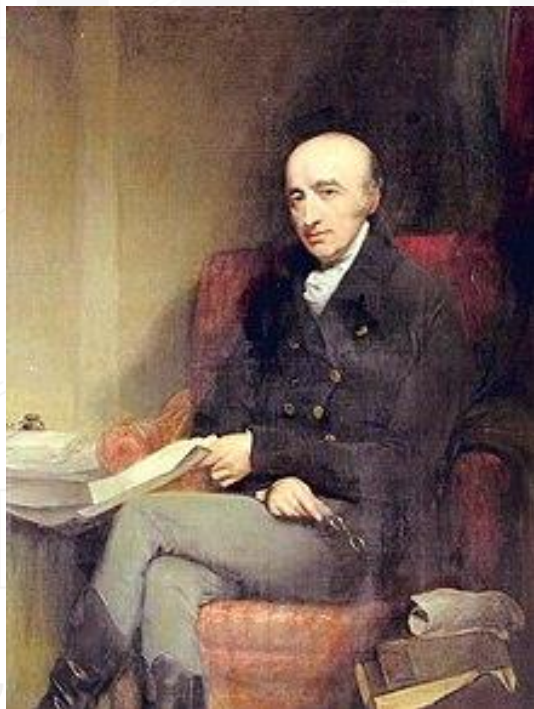


Исаак Ньютон (1642-1726)

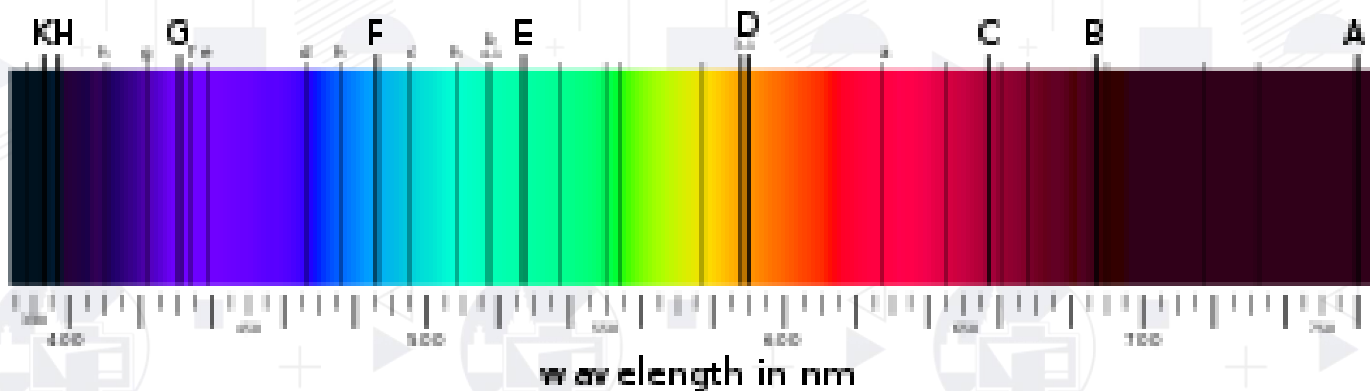
проводил эксперименты по разделению света и
теоретически обосновал дисперсию света



Физический факультет МГУ



Простейшая конструкция была усовершенствована Уильямом Х. Волластоном (1802 г.), наблюдавшим пробелы в спектре Солнца (полосы Фраунгофера)



Спектр излучения Солнца





Фраунгофер впервые применил дифракционную решётку вместо призмы. Это позволило увеличить разрешающую способность спектрометра и проградуировать спектральную шкалу.

Установленная Фраунгофером шкала была использована в изучении спектра Солнца и пламени с ионами различных элементов.

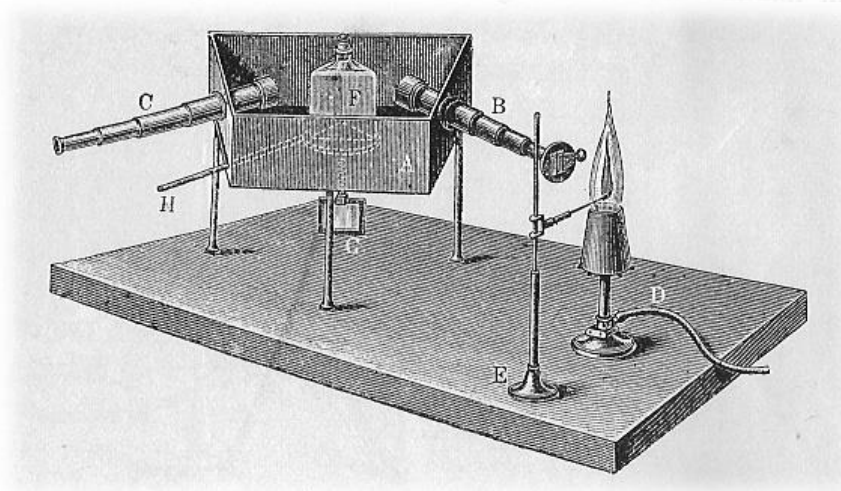
Йозеф фон Фраунгофер, 1787-1826



В середине 19 века были оформлены основы спектроскопии. Например, были получены 3 закона спектроскопии:

- Раскалённые тела испускают непрерывный спектр,
- Разреженные раскалённые газы имеют линейчатый спектр излучения
- Разреженные ненагретые газы имеют линейчатый спектр поглощения

Кирхоффом и Бунзеном были проведены систематические исследования спектров химических элементов на одной из моделей спектрографа



Спектроскоп Кирхоффа и Бунзена



Спектроскоп из приборов проф. Московского императорского университета Н.А Любимова

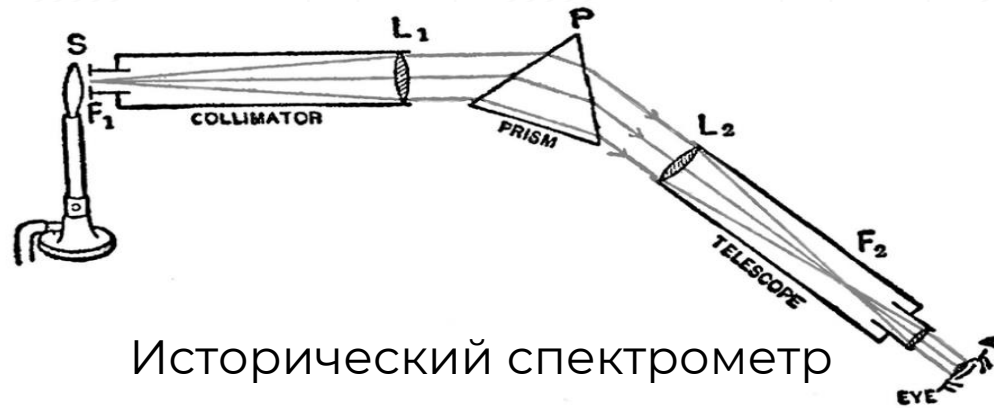


Дальнейшие усовершенствования

- Исследование Августом Бером вопроса поглощения света и создание прообраза фотометра
- Изобретение фотографии и применение для регистрации спектров (в спектрографах)
- Изобретение Генри Роуландом вогнутых диффракционных решёток
- Начало XX века – первые неэлектромагнитные спектры



Современные спектрометры



Спектрометры состоят из трёх основных частей:

Осветительная:

- источник света
- конденсорные линзы
- зеркала
- диафрагма

Оптическая:

- коллиматор
- призма или диф. решётка
- оптическая щель
- выходной объектив

Регистрирующая:

- окуляр
- фотопластинка
- фотоприёмник (детектор)



Источники спектров в оптической спектроскопии:

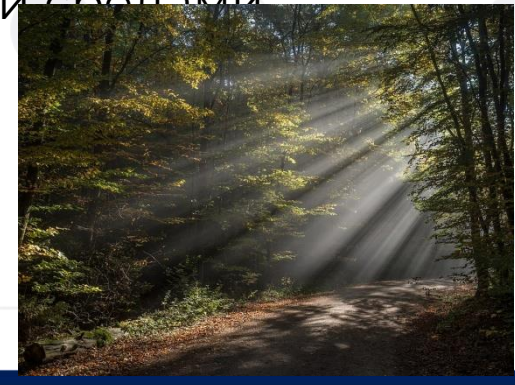
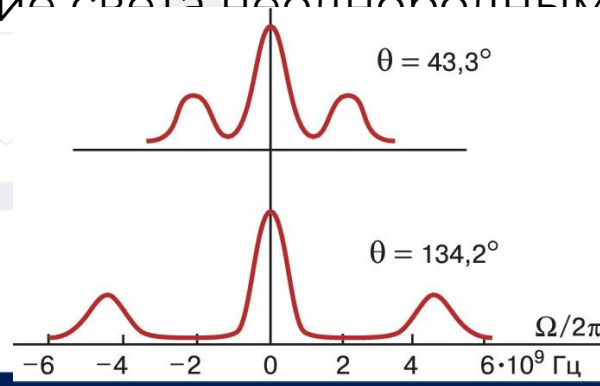
- Спектры поглощения,
- Спектры испускания
- Упругое рассеяние
- Неупругое рассеяние



Рассеяние света — рассеяние электромагнитных волн видимого диапазона при их взаимодействии с веществом. При этом происходит изменение пространственного распределения, частоты, поляризации оптического излучения, хотя часто под рассеянием понимается только преобразование углового распределения светового потока. Рассеиваемый свет даёт информацию о структуре и динамике материала.

Виды рассеяния, свойственные для света:

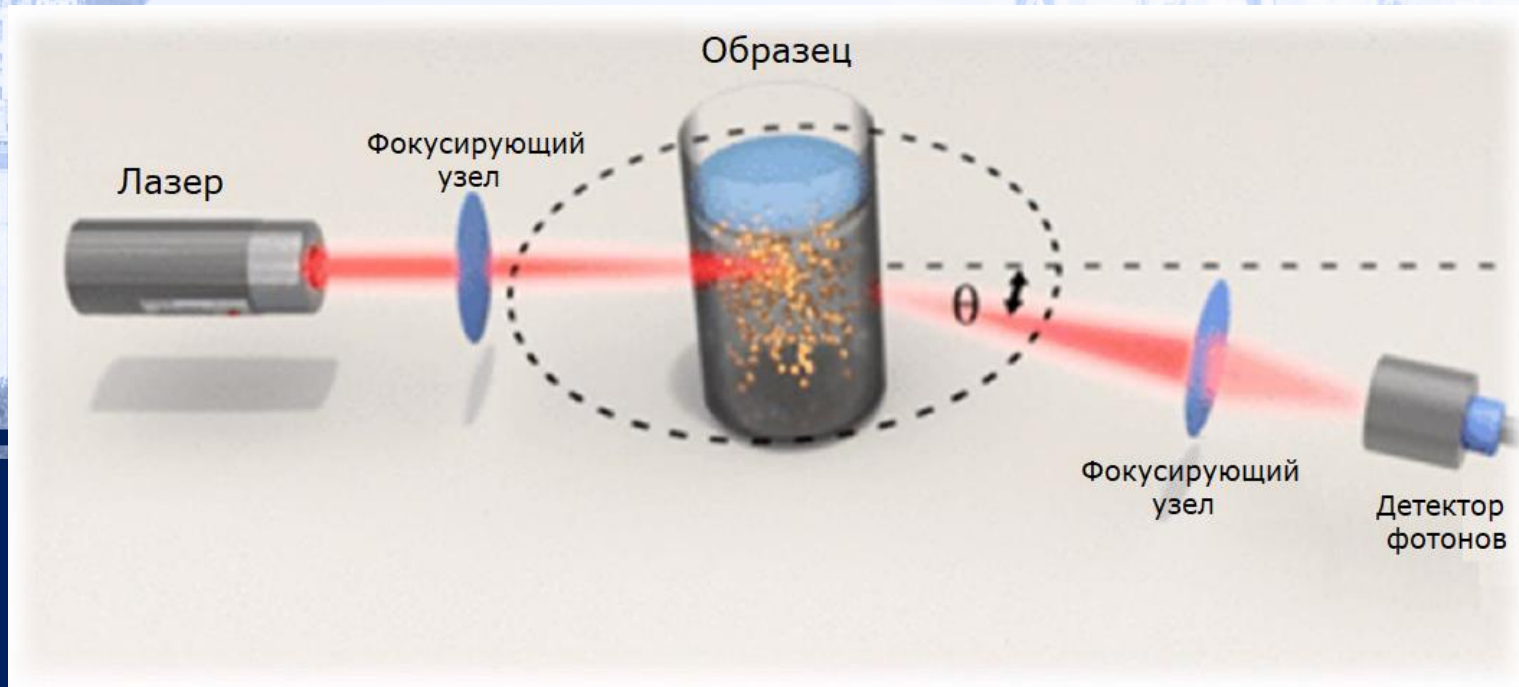
- **Рассеяние Рэлея** — упругое рассеяние на малых частицах, размером много меньше длины волны.
- **Рассеяние Ми** — упругое рассеяние на крупных частицах.
- **Рассеяние Мандельштама — Бриллюэна** — неупругое рассеяние на колебаниях решётки.
- **Комбинационное рассеяние** — неупругое рассеяние на атомных колебаниях в молекуле.
- **Рассеяние Тиндалла** — упругое рассеяние света неоднородными средами.



Методы лазерного светорассеяния

Детальное изучение свойств рассеянного света позволяет получить сведения о структуре молекул и молекулярных систем, о природе межмолекулярных и внутримолекулярных сил, а также производить качественный и количественный анализ различных соединений.

Наиболее прямыми и эффективными методами исследования этих свойств являются оптические методы (неразрушающие и неинвазивные), в том числе методы статического и динамического рассеяния света.



Сравнение физических методов

		Разрешение	Размер объектов	Ограничения на исследуемый образец	Сложность
Оптические методы	Рентгеноструктурный анализ	●	○	○	○
	Ядерно-магнитный резонанс	○	○	○	○
	Томография	○	○	○	○
	Флюоресценция	○	●	●	●
	Методы рассеяния света	○	○	●	●
	Электронная микроскопия	○	○	○	○

Дополняют друг друга и хорошо описывают объект

● благоприятный ○ неблагоприятный



Физический факультет МГУ

Области применения

Физика и химия

- Коллоидные и полимерные дисперсии, латексы, мицеллы, микроэмульсии, везикулы, золи, гели, жидкие кристаллы, процессы нуклеации и агрегации, кинетика химических реакций, фазовые переходы и критические явления...

Биология и медицина

- Клетки, вирусы, бактерии, белки, липосомы, мембраны, периферийное кровообращение, иммунологические реакции...

Технология

- Пигменты, красители, клеи, порошки, нефтяные и газо-конденсатные флюиды, буровые растворы, контроль мембранных фильтров и процессов ультрафильтрации...

Экология

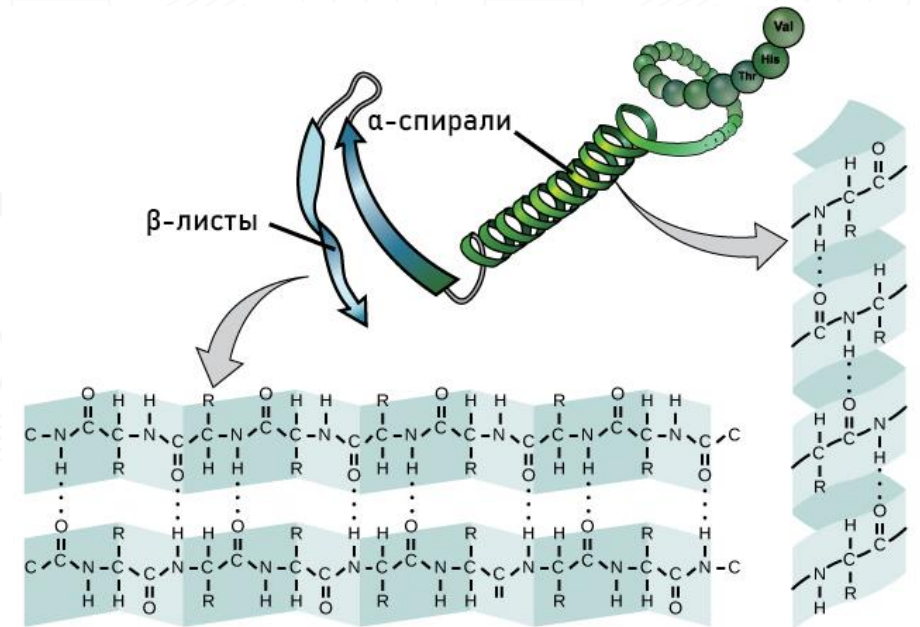
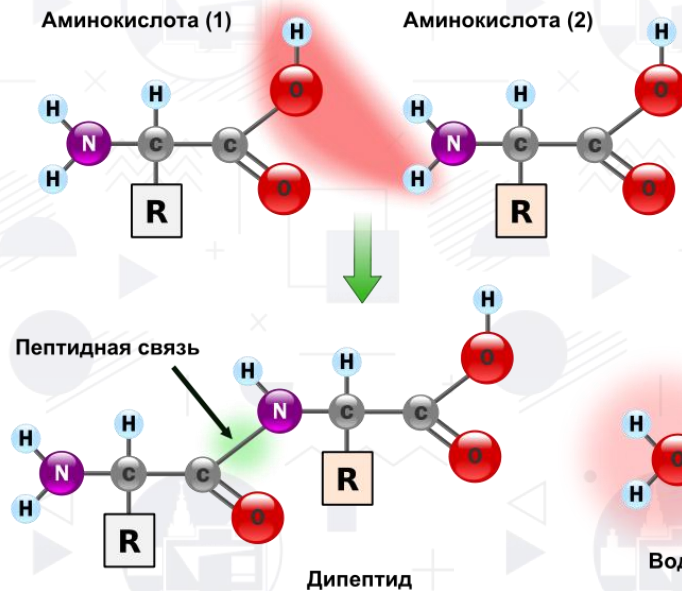
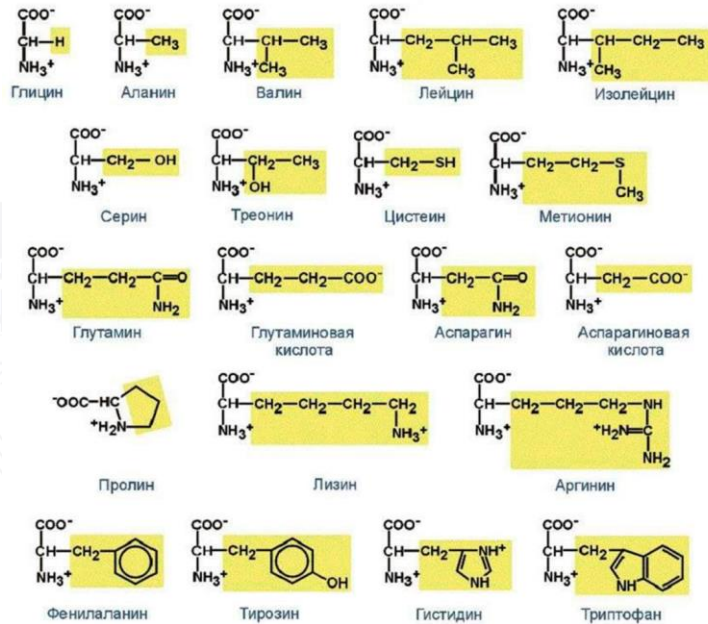
- Дисперсные загрязнения, контроль качества продуктов...

Образование

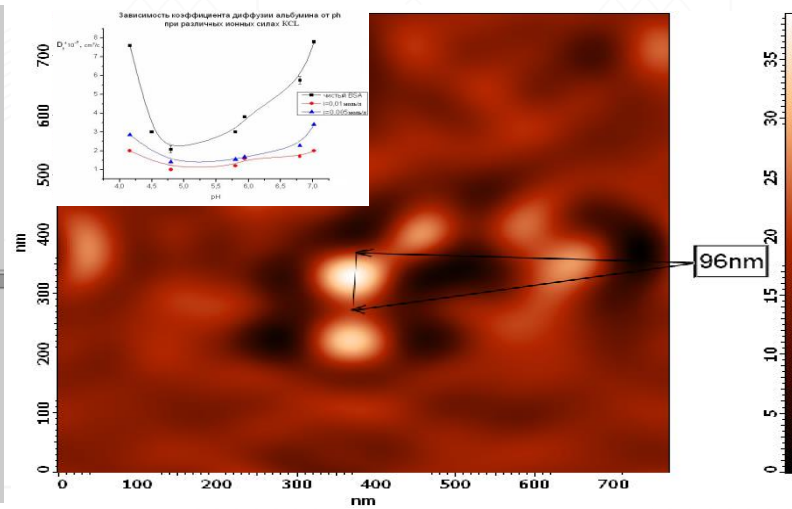
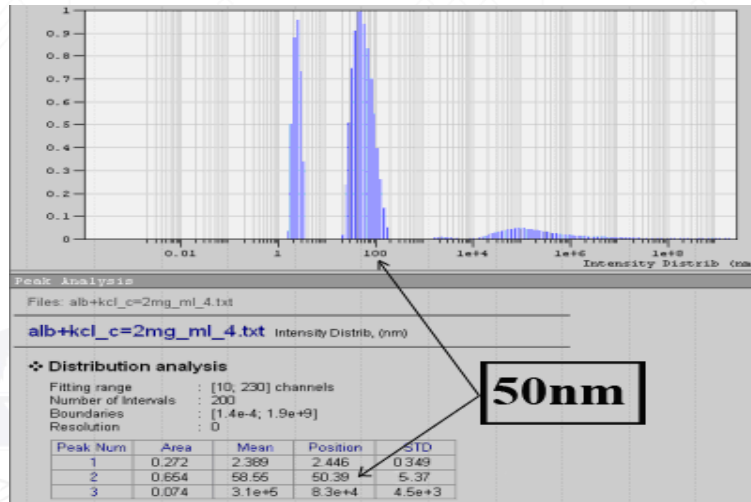
- Широкий спектр новых лабораторных работ по физике, химии, биологии и прикладным инженерным дисциплинам.



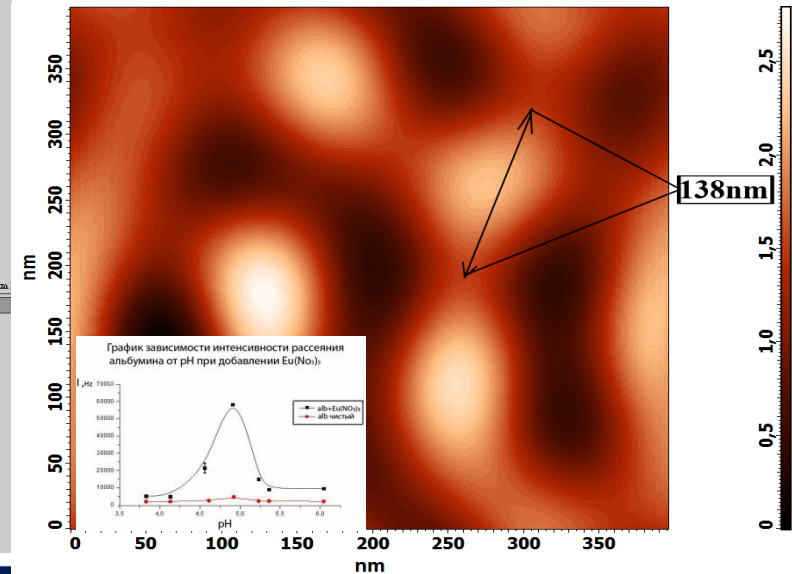
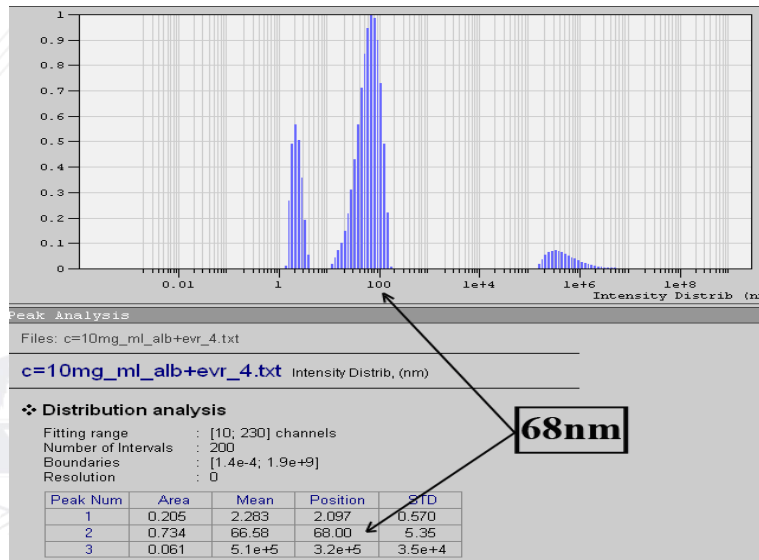
Состав и строение белков



Определение массы и размера белковых агрегатов:



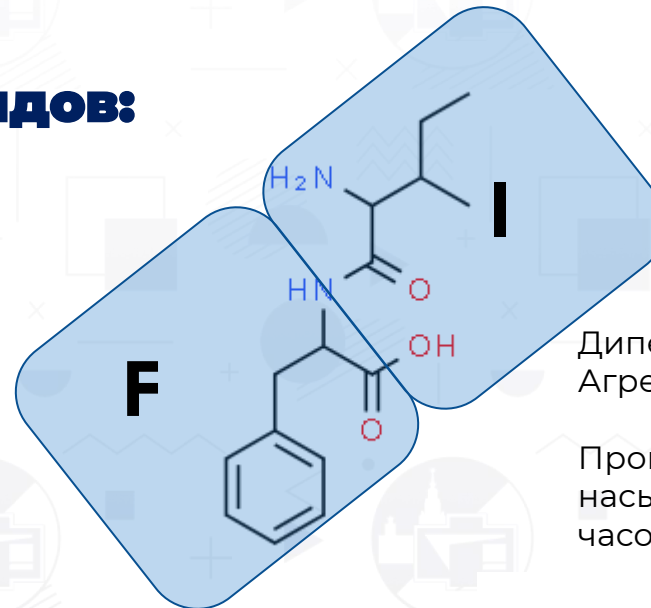
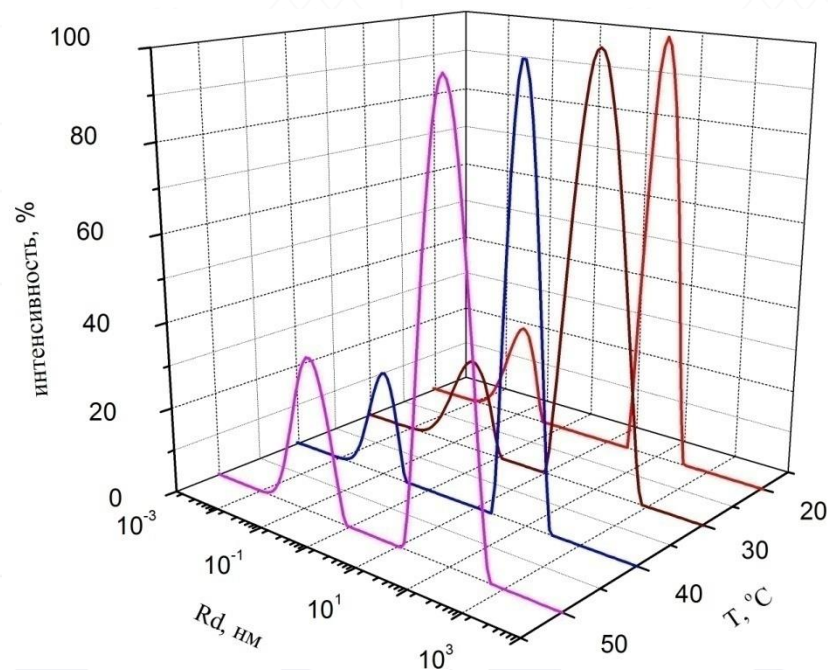
Радиус нанокластеров альбумина, детектируемый спектрометром при добавлении KCl и снимок АСМ.



Радиус нанокластеров альбумина, детектируемый спектрометром при добавлении $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ и снимок АСМ.

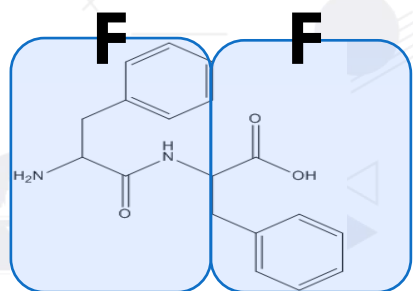


Исследование агрегации пептидов:



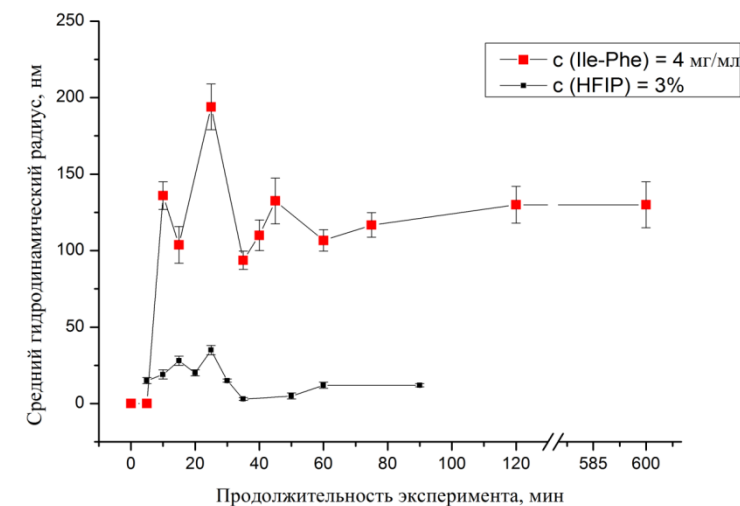
Дипептид IF $R_h = 0.25$ нм
Агрегаты IF $R_h = 125$ нм

Процесс агрегации занимает по времени 10 ± 3 минут, насыщение наступает при длительности наблюдения 8 часов

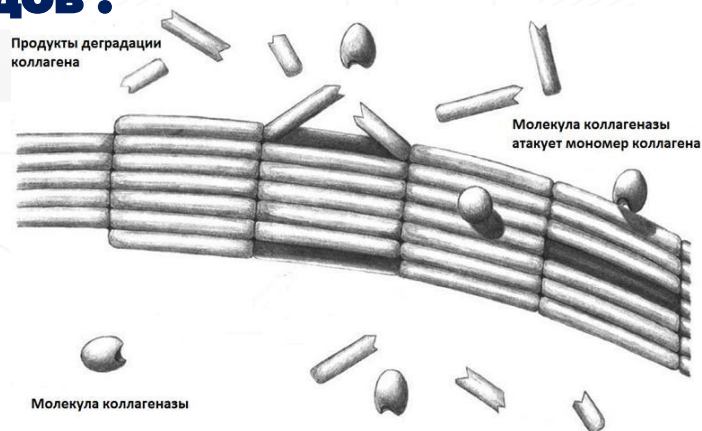


Дипептид FF $R_h = 0.26$ нм
Агрегаты FF $R_h = 150$ нм

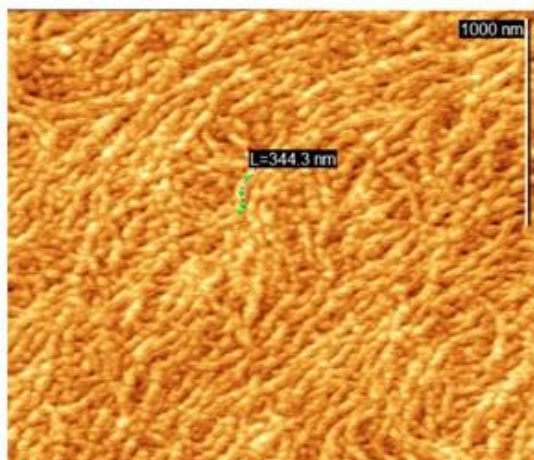
При нагревании размер кластеров уменьшается, а затем после охлаждения возвращается к первоначальному значению.



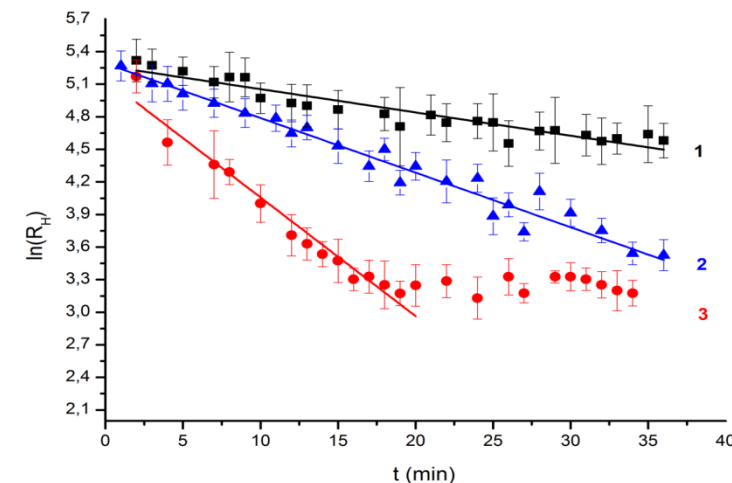
Мониторинг процесса биодegradации коллагена I типа при воздействии бактериальной коллагеназы в растворах с помощью спектрально-оптических методов :



Коллагенолиз (биодegradация белка коллагена)



АСМ изображение молекул I I типа коллагена



Логарифмическая зависимость R_h для растворов коллагена и коллагеназы (1), с добавлением $ZnCl_2$ (2) и $CaCl_2$ (3)

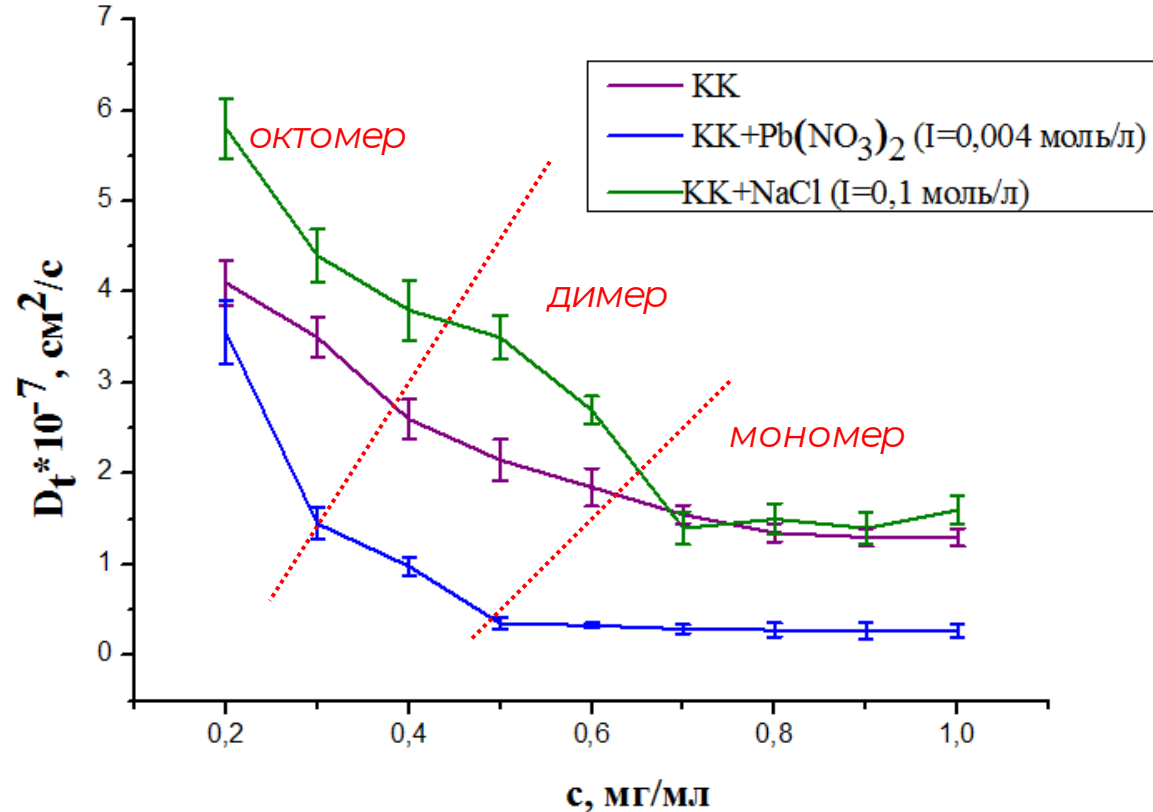
Изучение механизма взаимодействия белка коллагена и фермента коллагеназы в растворах при изменении различных внешних факторов (температура, pH, добавление активаторов/ингибиторов и др.) с помощью динамического рассеяния света для разработки методики контроля скорости биодegradации коллагена в условиях, приближенных к физиологическим.



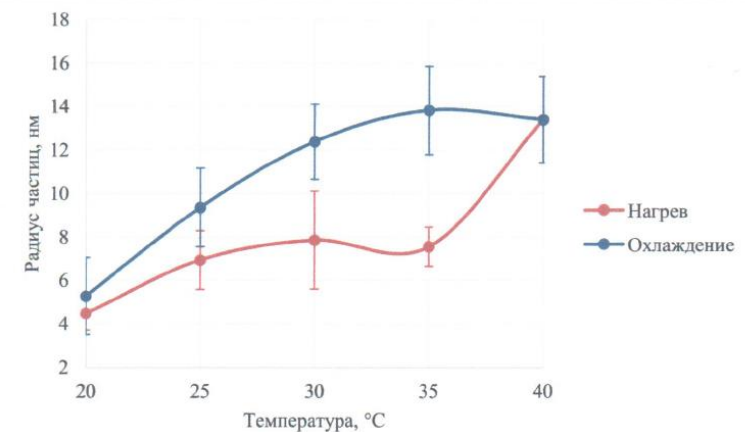
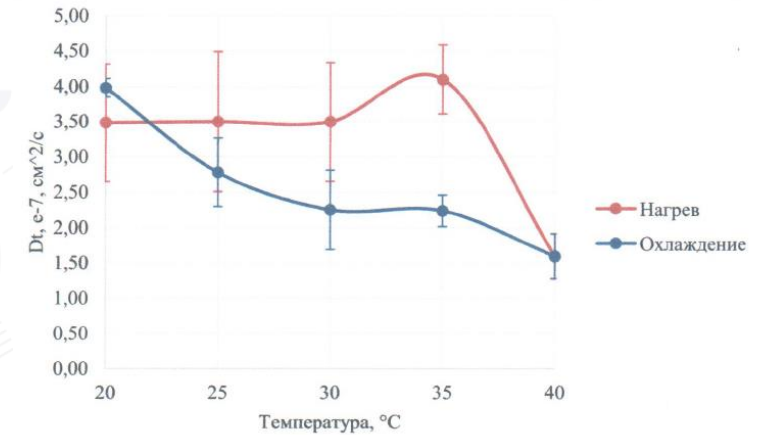
Исследование структурных изменений в молекулах ферментов:



Концентрационные структурные переходы
креатинкиназы



Температурные структурные переходы
лизозима

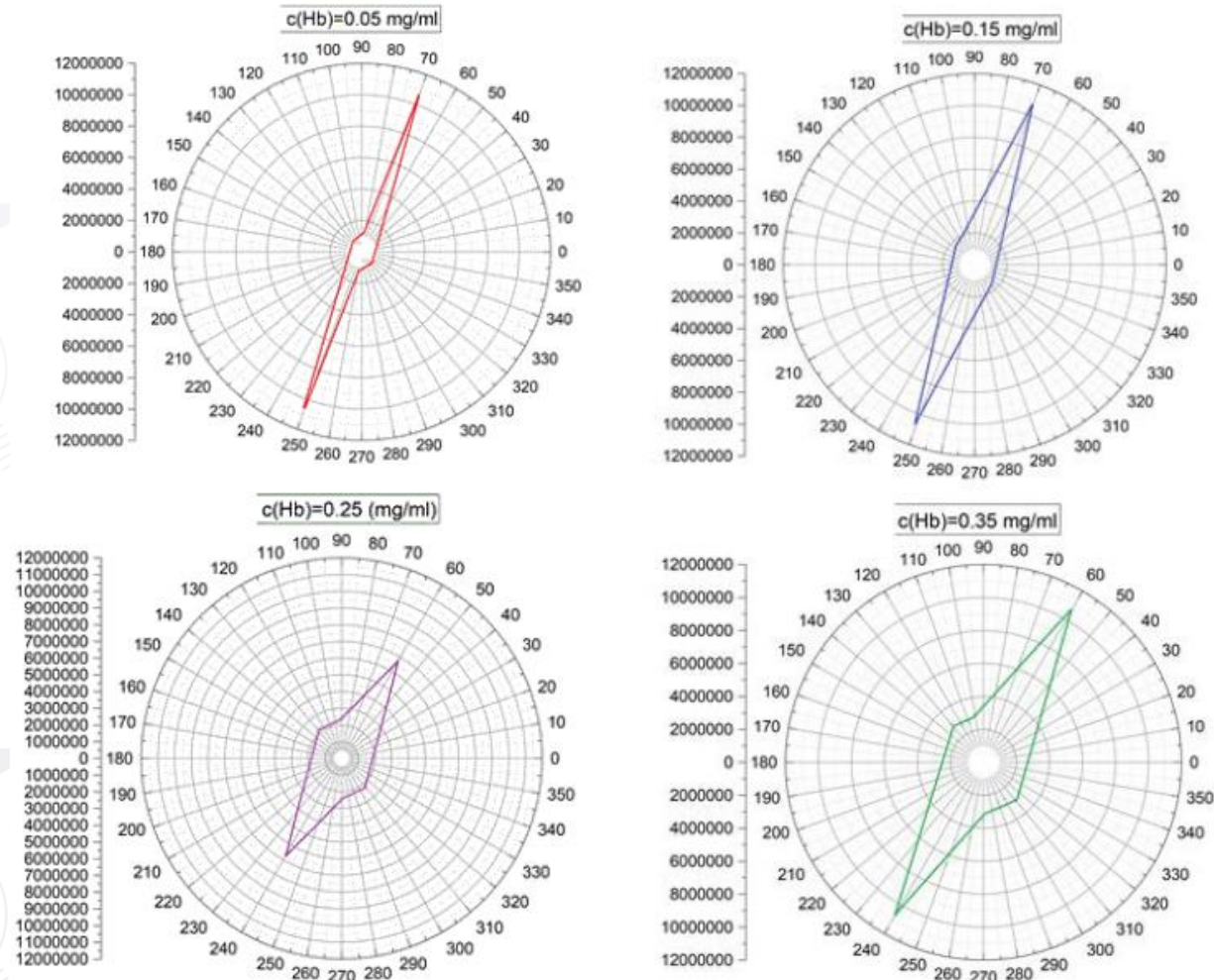


Физический факультет МГУ

•Егоров П.Г., Аненкова К.А., Федорова К.В. // Сборник Тезисов Всероссийской школы-конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Материалы и технологии XXI века", Казань: Изд-во Казанского федерального университета, тезисы 2014, с. 231

•Prudyus M.I., Fedorova K.V., Petrova G.P. // Book of Abstracts of 22th (ALT'14), Cassis, France, тезисы, 2014, с. S2-P20-S2-P20

Мониторинг процессов изменения структуры гемоглобина:



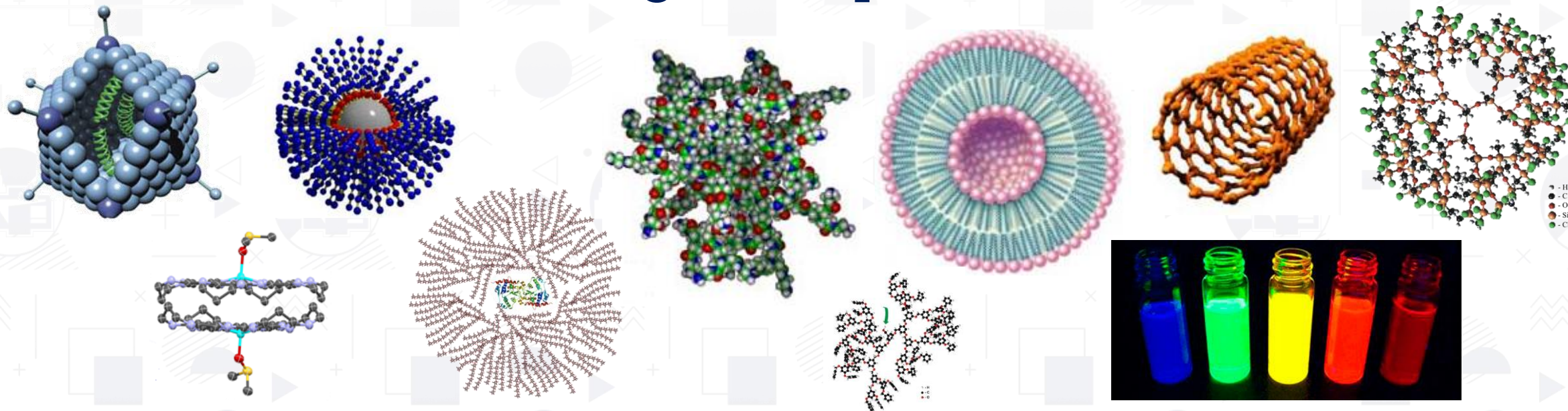
Метод асимметрии (метод обработки экспериментальных данных) позволяет определить:

- Коэффициент асимметрии Z .
- Фактор внутримолекулярной интерференции P .
- Исследовать форму молекул.
- Относительные размеры молекулы гемоглобина D/λ .
- Среднюю массу M , $M = 67500 \pm 6000 \text{ г/моль}$.
- Рассчитать значение радиуса инерции частиц гемоглобина $R = 146 \text{ нм}$.

c	$c_1 = 0.05$	$c_2 = 0.15$	$c_3 = 0.25$	$c_4 = 0.35$
Z	2.27	2.61	1.49	1.61
P^{-1}	2.05	2.44	1.38	1.48
$\frac{D}{\lambda}$	0.45	0.50	0.40	0.45
Форма	клубки	клубки	палочки	палочки



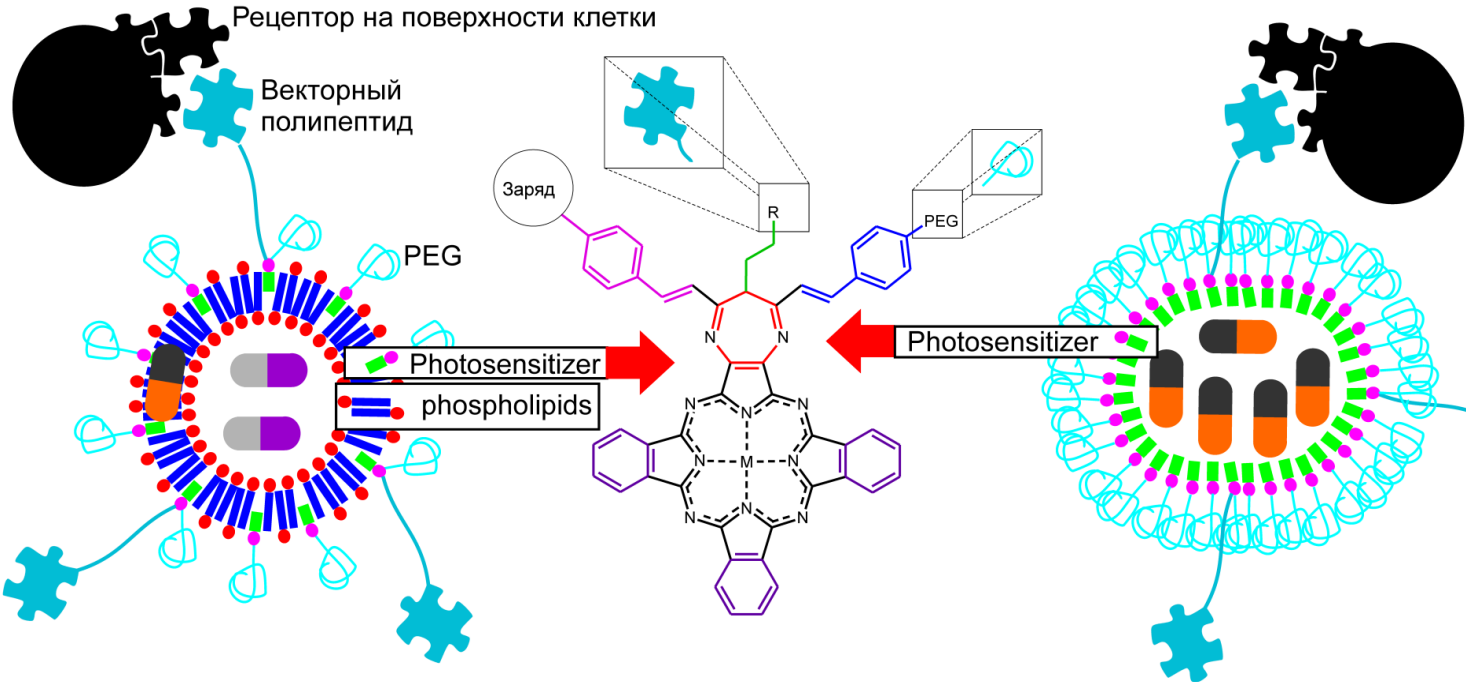
Наночастицы и субмикронные частицы



Биологический мир буквально наполнен наночастицами — это ферменты (белки с каталитической активностью), молекулы ДНК и РНК, рибосомы, клеточные везикулы, вирусы и пр. Отличительной особенностью таких объектов является их способность к агрегации и самоорганизации. Это свойство активно используется при создании искусственных конструкций, имитирующих реальные биологические структуры. Яркий пример представляют собой различные однокомпонентные и мультикомпонентные липосомы, которые способны при определенных условиях формироваться из раствора смеси липидов. Часто на практике используют и уже существующие в природе биологические наночастицы.

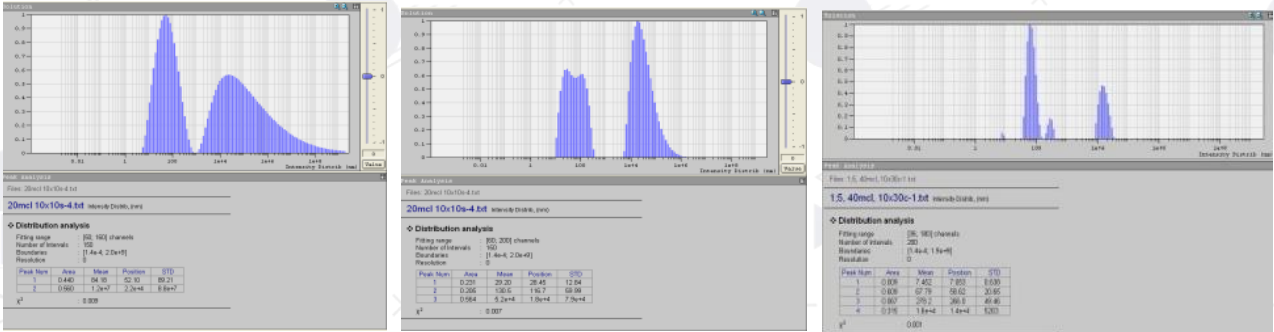
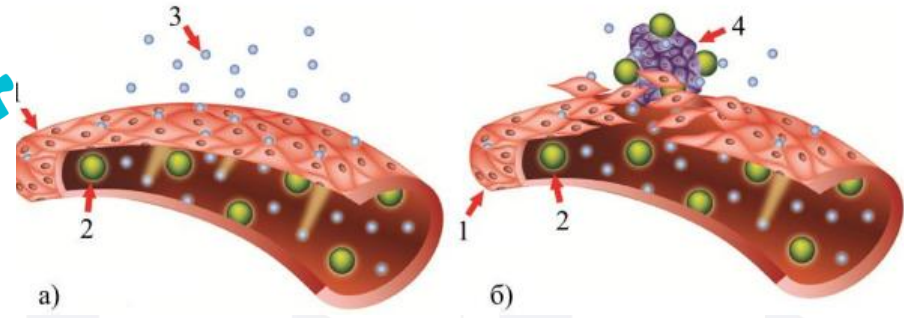


Контроль роста фотосенсибилизаторов на основе порфиразинов:



Гидрофобные лекарственные препараты

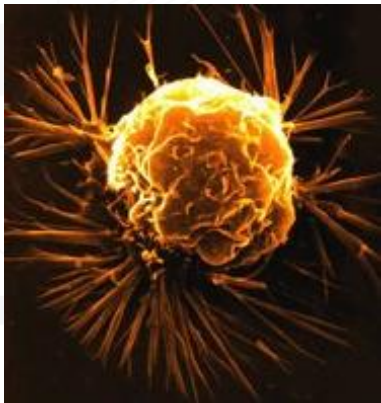
Гидрофильные лекарственные препараты



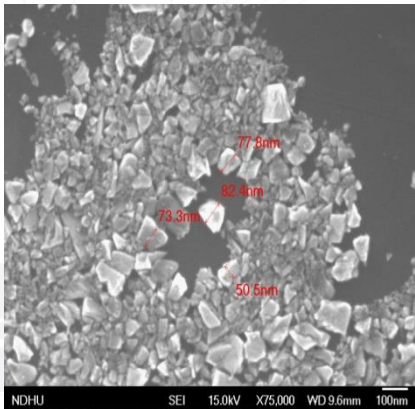
Образец	Средний гидродинамический радиус компонент, нм
РТ-1 – ПВП (1:1)	124 ± 20; 418 ± 75
VP-6 – ПВП (1:2)	43 ± 7; 79 ± 19
VP-6 – ПВП (1:5)	59 ± 17; 169 ± 43
УК-2 – ПВП (1:1)	23 ± 7; 107 ± 37
УК-3 – ПВП (1:1)	10 ± 4; 104 ± 8



Взаимодействие наночастиц с основными белками сыворотки крови



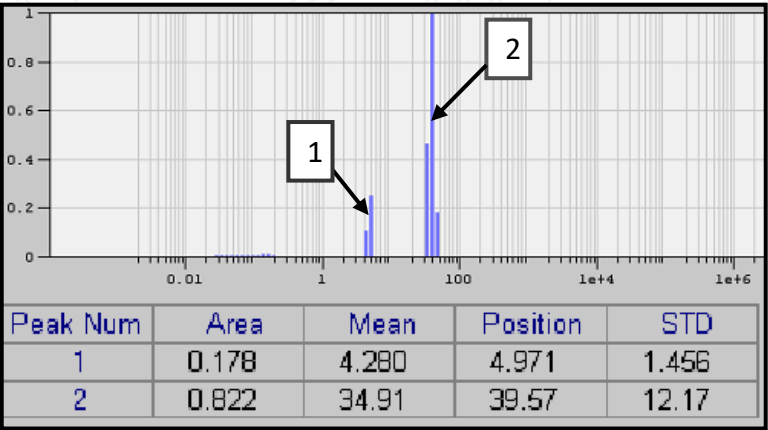
Наночастицы золота



Алмазные наночастицы



Наночастицы поликристаллического кремния



1 – γ -глобулин,
2 – наночастицы золота

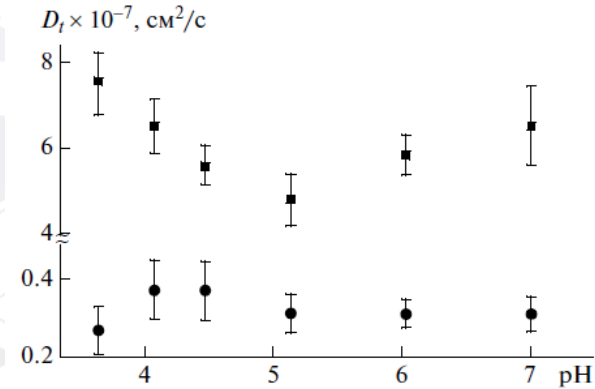
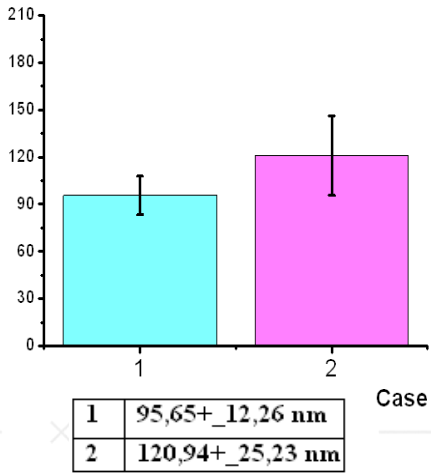
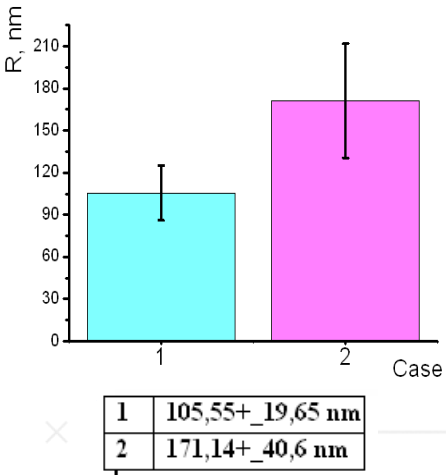
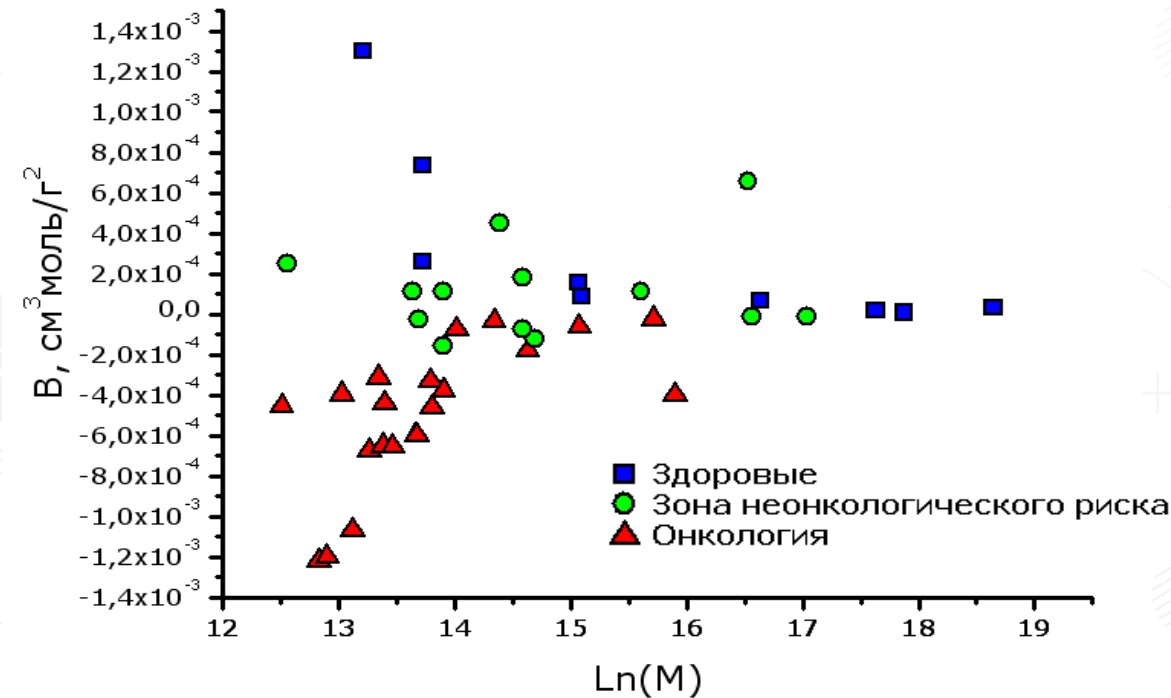


Рис. 3. Зависимость коэффициента трансляционной диффузии от pH для водного раствора смеси BCA и NPSi: квадраты – BCA, кружки – NPSi.

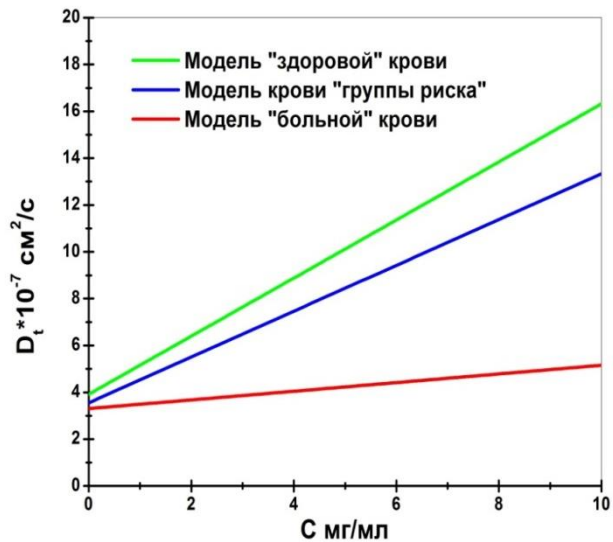


Разработка новых физических методов медицинской диагностики :



Преимущества метода:

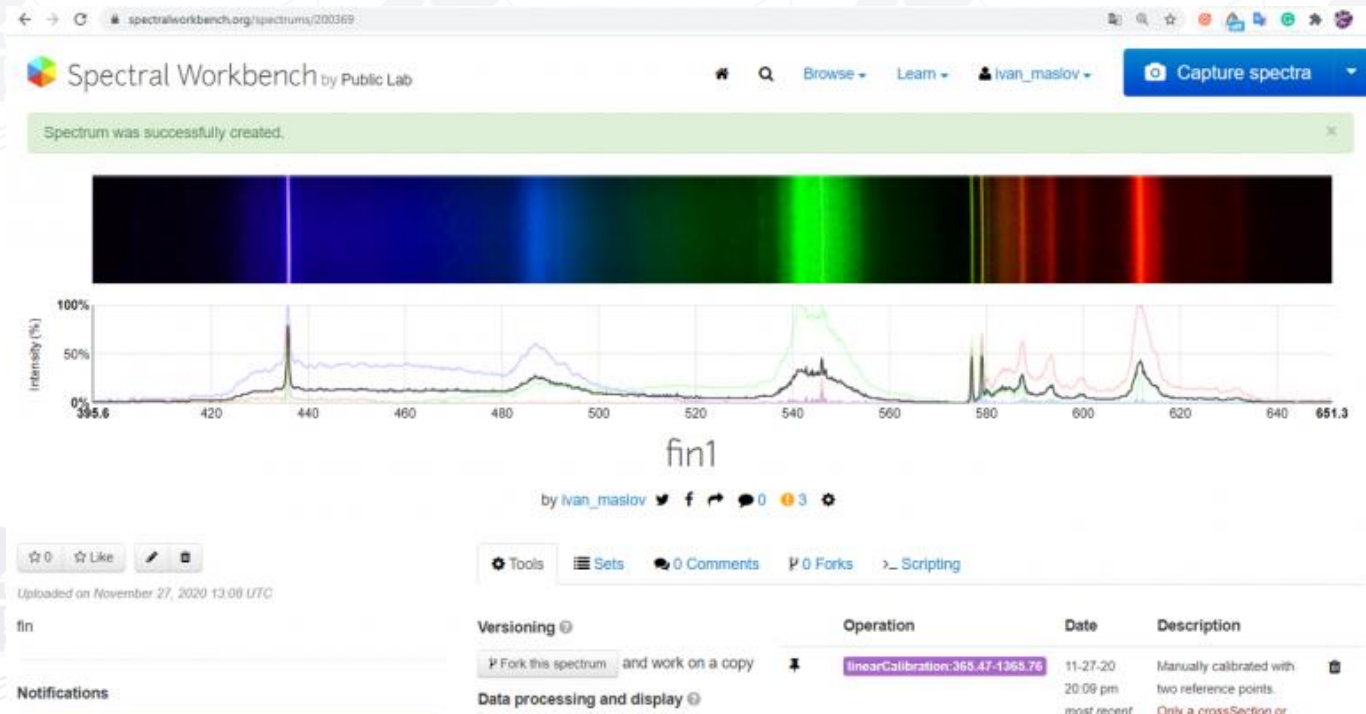
- ✓ Малые объемы проб
- ✓ Быстрота регистрации
- ✓ Простота подготовки образцов исследования
- ✓ Высокая чувствительность

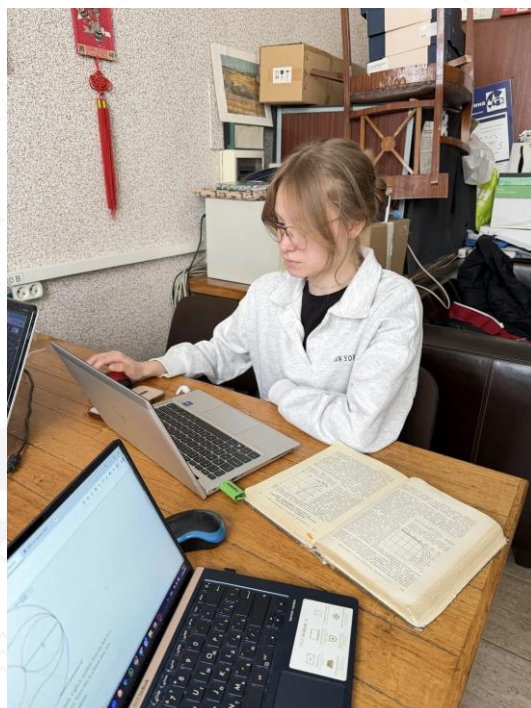
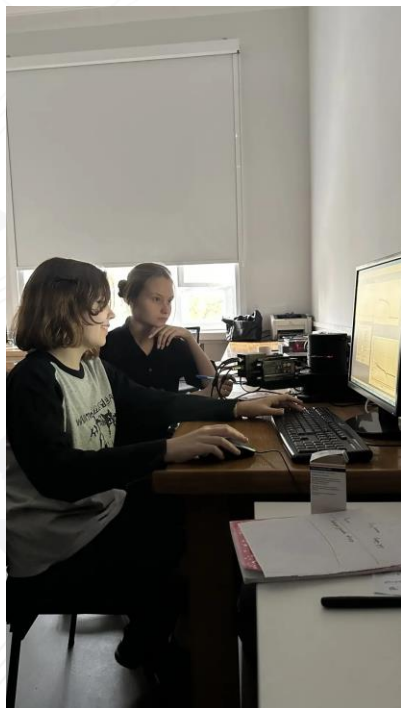


	Значение углового коэффициента
Модель «здоровой» крови	0,7-1,5
Модель крови «группы риска»	0,3-0,9
Модель «больной» крови	0,1-0,5



Спектроскопические задачи в образовании





Экскурсии для
школьников и научная
работа в лаборатории
анизотропных
жидкостей и растворов.



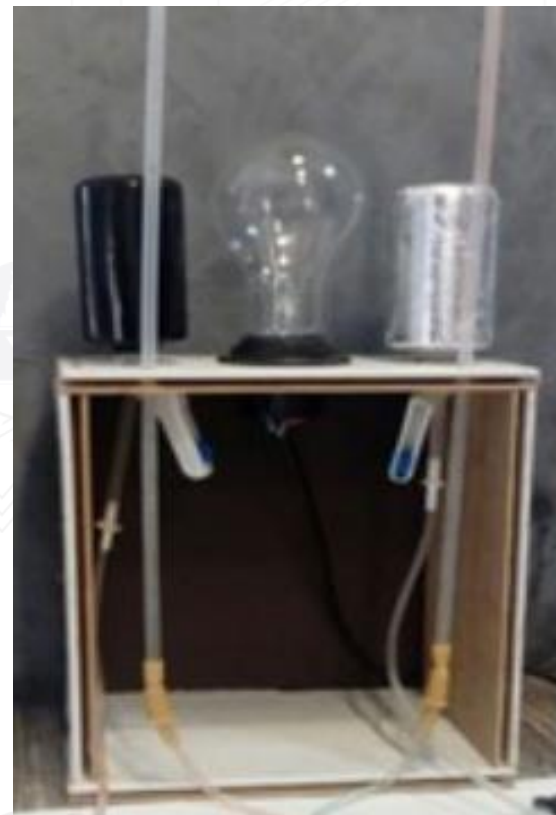
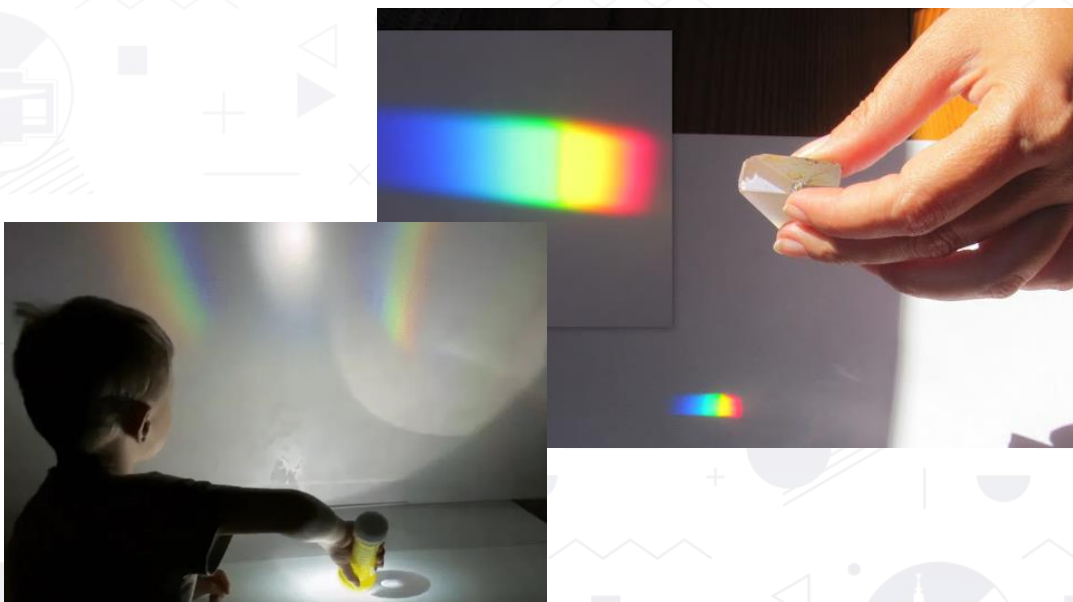
Физический факультет МГУ

Базовые и наглядные проекты (5–8 классы)

Создание "радуги" в домашних условиях

Цветовой диск Ньютона

Почему черное нагревается быстрее



Физический факультет МГУ

Экспериментальные и исследовательские проекты (9–11 классы)

- **Исследование спектра светодиода.**
- **Количественная спектроскопия.**
- **Зависимость свойств света от длины волны.**
- **Спектры поглощения растений.**



Междисциплинарные и прикладные проекты (10–11 классы)

- **Спектральный анализ в астрономии.**
- **Спектроскопия в химии и криминалистике.**
- **Изучение поляризованного света.**



Маслов Иван 11 класс

СУНЦ НГУ (2021 год)

Хабр | Все потоки | Новый навык за несколько недель

popscience 5 мар 2021 в 15:17

Спектральный анализ пламени костра. Что делает огонь желтым – наночастицы углерода или соли натрия?

9 мин 47K

Научно-популярное, Физика, DIY или Сделай сам, Мозг, Химия

Из песочницы | Технотекст 2021



ИНФОРМАЦИЯ

В рейтинге	Не участвует
Откуда	Новосибирск, Новосибирская обл., Россия
Зарегистрирован	21 февраля 2021
Активность	4 июня в 15:01

ВКЛАД В ХАБЫ

Химия	327.0
DIY или Сделай сам	327.0
Физика	327.0
Научно-популярное	327.0
Мозг	188.0
Нанотехнологии	139.0

<https://habr.com/ru/articles/545710/>

Хабр | Все потоки | Новый навык за несколько недель

popscience 9 мар 2021 в 11:58

Самодельный спектрометр с высоким разрешением

3 мин 39K

Научно-популярное, Нанотехнологии, Физика, DIY или Сделай сам, Химия

Тutorial



Радуга над плато УКОК на Алтае

<https://habr.com/ru/articles/545810/>



Физический факультет МГУ

**ПОМНИ О ТЕХНИКЕ
БЕЗОПАСНОСТИ!**



**ФИЗИКА – ЭТО
КРАСИВО!**



Физический факультет МГУ