



eNANO

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ

18 апреля 2017



ОТКРЫТЫЙ ЛЕКТОРИЙ

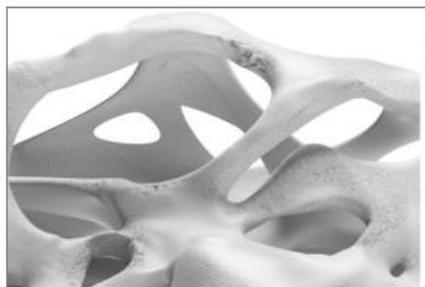
OPENAUDITORIUM.EDUNANO.RU



28 марта 2017 года

[Кузьмин Денис Владимирович](#)

Разработка антимикробных препаратов нового поколения: кому и зачем это надо?



14 февраля 2017

[Слиняков Альберт Юрьевич](#) и [Новиков Антон Евгеньевич](#)

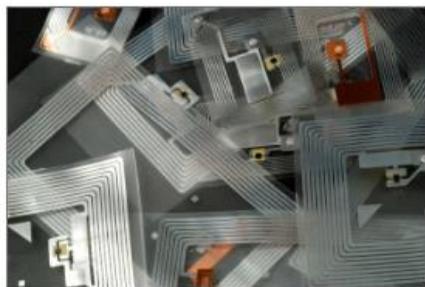
Нанотехнологии в медицине: инновационные решения для лечения пациентов на примере костного цемента



13 декабря 2016

[Мишков Павел Евгеньевич](#)

Контроль санитарно-гигиенического состояния предприятия пищевой промышленности. Современные методы экспресс-анализа



20 октября 2016

[Михайлов Алексей Владимирович](#)

Основные элементы RFID-системы, виды RFID-оборудования и RFID-меток. Интеграция в учётные системы



26

вебинаров в рамках проекта «Открытый лекторий»



2

международные лекции с онлайн трансляцией



более **5000**

просмотров на канале YouTube



Курьяков Владимир Николаевич

ведущий специалист компании «Фотокор», н.с. Института проблем нефти и газа РАН.

Занимается научными и прикладными исследованиями методом динамического рассеяния света уже более 15 лет, имеет опыт применения данного метода к объектам различной природы (наночастицы, мицеллы, везикулы, белки, квантовые точки и т.д.).

Ключевые вопросы:

- ▶ Об основных принципах метода динамического рассеяния света
- ▶ Процедуру проведения измерений и требованиям к образцам
- ▶ Об особенностях использования данного метода для измерений различных нано- и субмикронных объектов



eNANO

МАТЕРИАЛЫ ВЕБИНАРА

- ▶ Вопросы докладчикам можно задавать по ходу вебинара во вкладке ЧАТ
- ▶ По техническим вопросам просьба вебинара задавать вопросы во вкладке ЧАТ
- ▶ Просьба к организациям-участникам указать число участников вебинара в студии во вкладке ЧАТ
- ▶ Запись «Открытого лектория» вы найдете на нашем сайте:
[OPENAUDITORIUM.EDUNANO.RU](https://openauditorium.edunano.ru)
- ▶ Уважаемые коллеги, обращаем ваше внимание, что вы сможете получить ответы на вопросы, если обратитесь по почте: ENANO@RUSNANO.COM



eNANO

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

Измерение размеров наночастиц методом динамического рассеяния света. Теория и практика применения

Курьяков Владимир Николаевич

Ведущий специалист компании

ООО «Фотокор», н.с. ИПНГ РАН

PHOTOCOR





eNANO

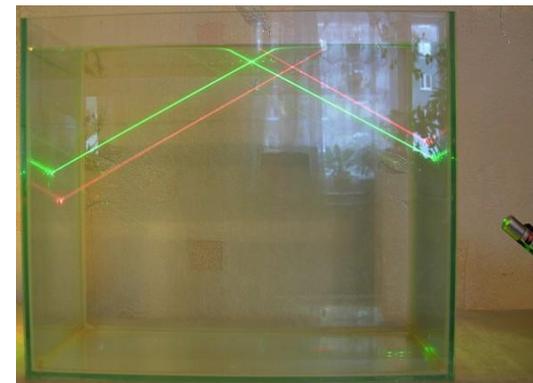
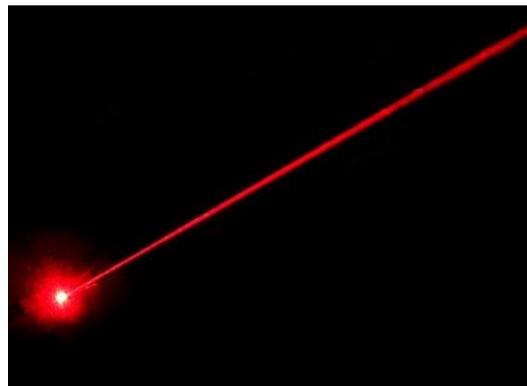
Примеры рассеяния света

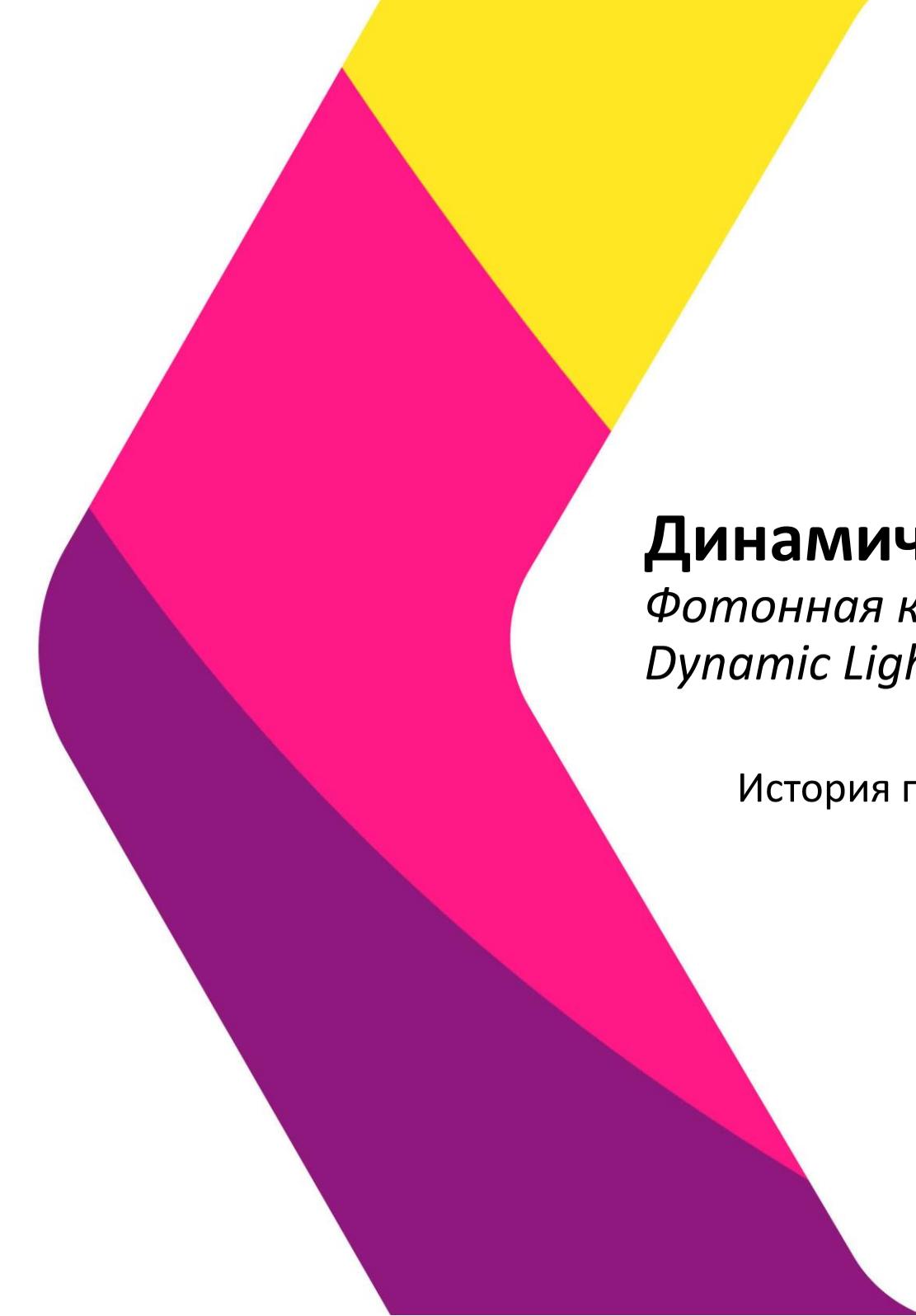
Голубое небо и оранжевое солнце



Рассеяние в воздухе и на поверхности

Рассеяние в жидкости





Динамическое рассеяние света (ДРС)

Фотонная корреляционная спектроскопия
Dynamic Light Scattering (DLS)

История появления, теория, основные характеристики



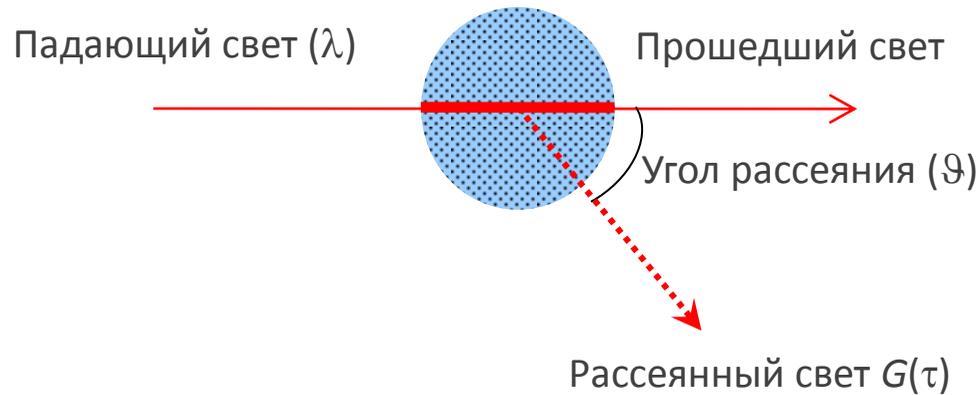
Основные идеи метода динамического рассеяния света

Дисперсные частицы или макромолекулы, диспергированные в жидкости, совершают **броуновское движение**. Это движение приводит к локальным флуктуациям концентрации частиц и соответствующим локальным флуктуациям показателя преломления. В результате, интенсивность рассеянного света также флуктуирует с временем релаксации, равным времени релаксации флуктуаций концентрации частиц.

В соответствии с гипотезой Онзагера броуновское движение может быть описано обычным макроскопическим уравнением диффузии. Величина **коэффициента диффузии** частиц обратно пропорциональна времени релаксации флуктуаций рассеянного света. Время релаксации может быть найдено из измеренной временной корреляционной функции рассеянного света.

Размер частиц может быть рассчитан с использованием формулы Эйнштейна-Стокса, которая связывает размер частиц с их коэффициентом диффузии и вязкостью жидкости.

Схема рассеяния света



Корреляционная функция

$$G(\tau) = \langle I(t) \cdot I(t - \tau) \rangle = \lim_{t_m \rightarrow \infty} \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} I(t) \cdot I(t - \tau) dt$$

$$G(\tau) = a \cdot \exp(-2\tau/\tau_c) + b$$

Уравнение диффузии

$$\partial c(\vec{r}, t) / \partial t = D \Delta c(\vec{r}, t)$$

Решение уравнения диффузии

$$1/\tau_c = Dq^2$$

Волновой вектор рассеяния

$$q = (4\pi n / \lambda) \sin \theta / 2$$

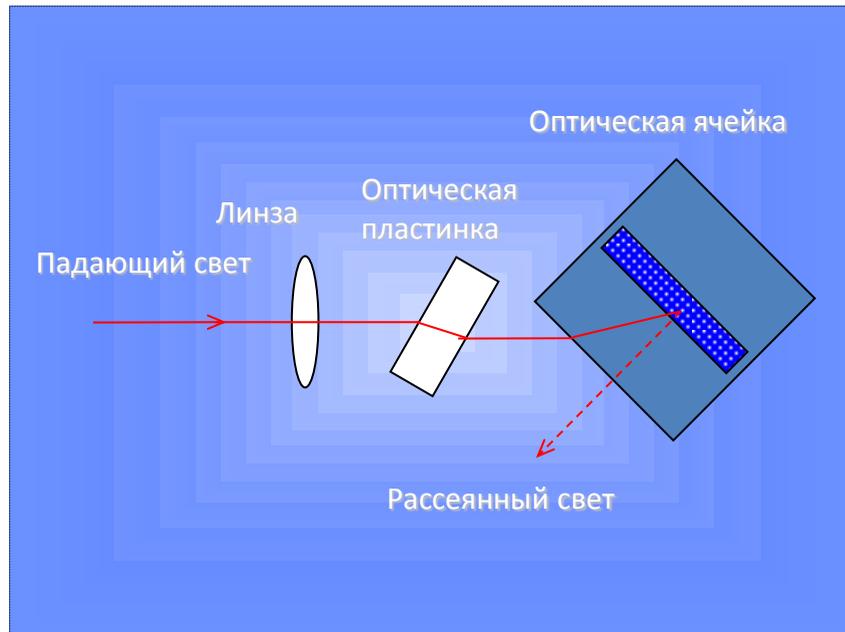
Формула Эйнштейна-Стокса

$$R_h = \frac{k_b T}{6\pi\eta D_T}$$

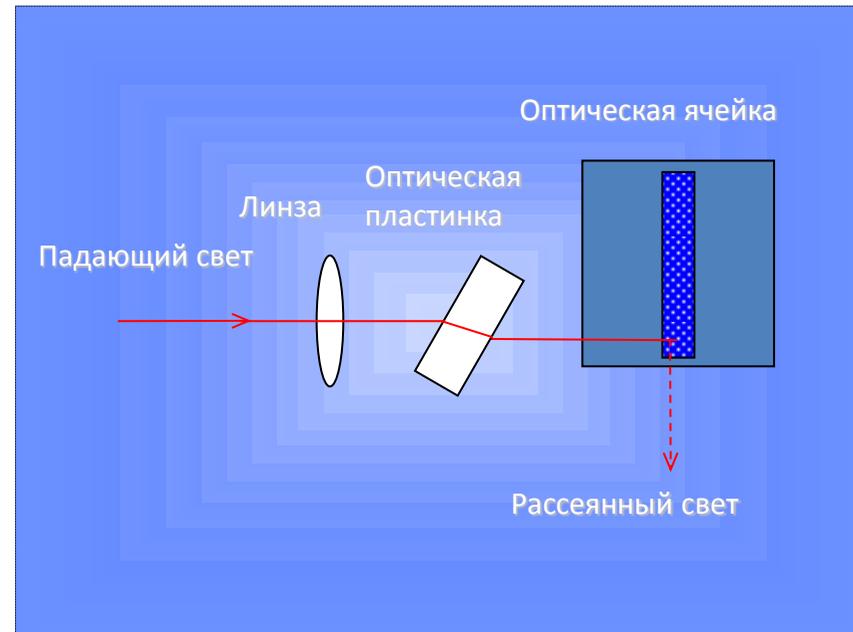
Оптические схемы DLS для измерения размеров частиц в непрозрачных жидкостях

Прямоугольная кювета располагается под углом 45° по отношению к падающему лучу. Оптическая ось фотоприемной системы перпендикулярна к плоскости входного окна кюветы. Рассеянный свет собирается из области входа лазерного луча в исследуемую жидкость. Специальный адаптер кюветы и дополнительное устройство смещения падающего луча позволяет изменять положение рассеивающего объема в соответствии с экспериментальными условиями. Мощность падающего лазерного луча может ослабляться для предотвращения паразитного эффекта “тепловой линзы”.

Данный метод успешно применялся во многих исследованиях непрозрачных систем, таких как красители, растворы асфальтенов, нефти и т.д.



Геометрия “Обратного рассеяния”



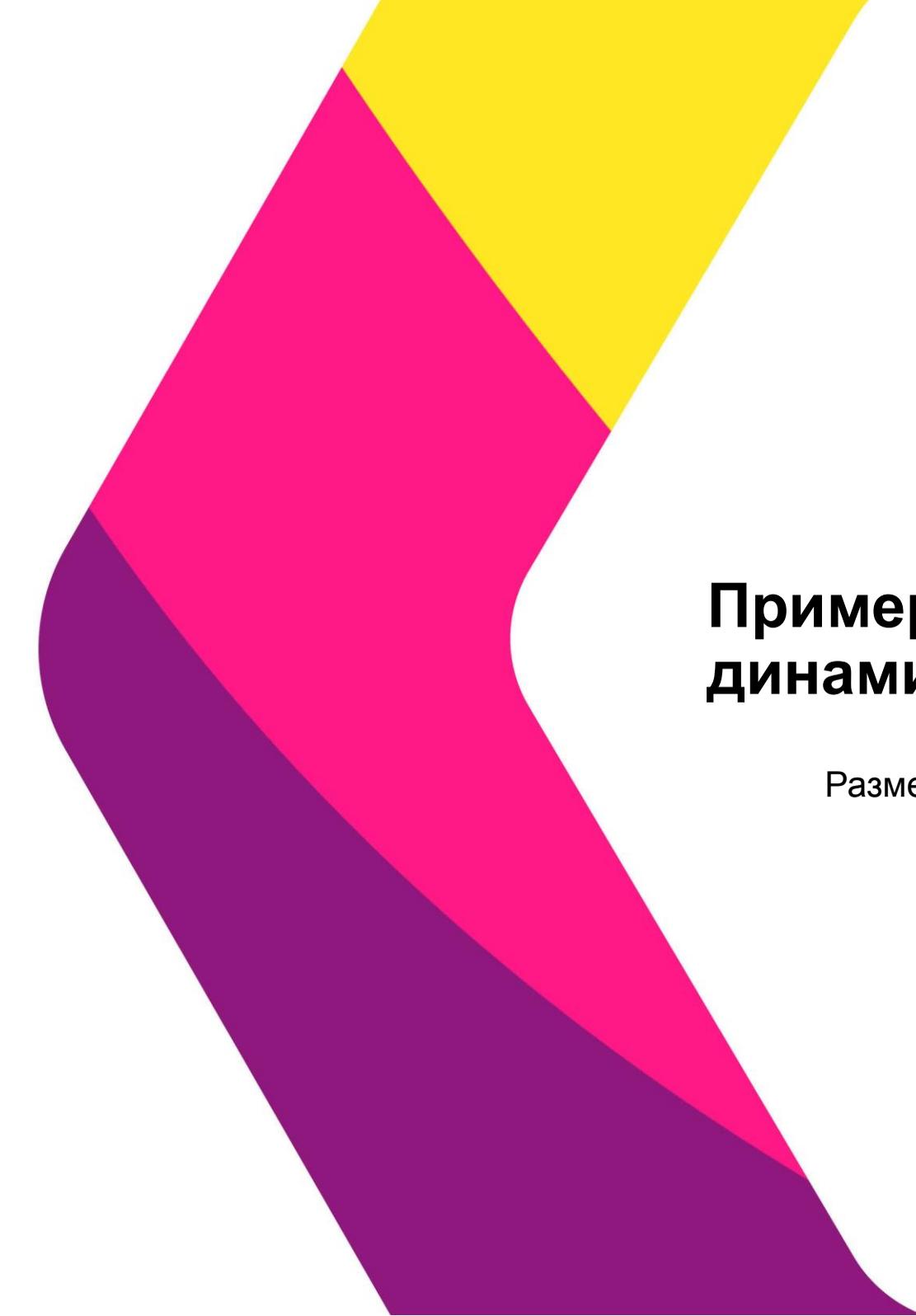
“Угловая” геометрия



Основные характеристики метода DLS

- **Измеряемый размер частиц: от 0,5 нм до нескольких микрон**
- **Типичная погрешность измерения: 1%**
- **Объем образца: от 50 мкл**
- **Время проведения одного измерения: около 30 секунд**
- **Неразрушающий метод исследований**
- **Не требуется предварительной калибровки**
- **Высокая чувствительность: измерения при низких концентрациях частиц, чувствительность к наличию агрегатов**
- **Низкая себестоимость измерений**
- **Возможность измерений в широком интервале температур и давлений**
- **Разрешающая способность метода: два типа частиц будут разрешаться в виде отдельных компонент, если их размеры отличаются не менее, чем в 2-3 раза.**

Метод динамического рассеяния света используется также для измерения скоростей потоков жидкостей и газов (лазерная доплеровская анемометрии (ЛДА)) и измерения электрофоретической подвижности наночастиц (измерение дзета-потенциала).



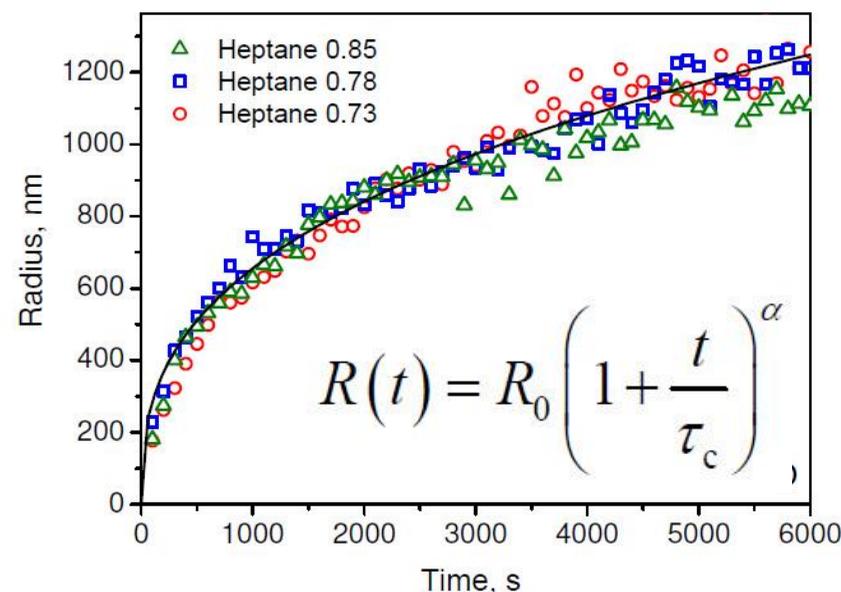
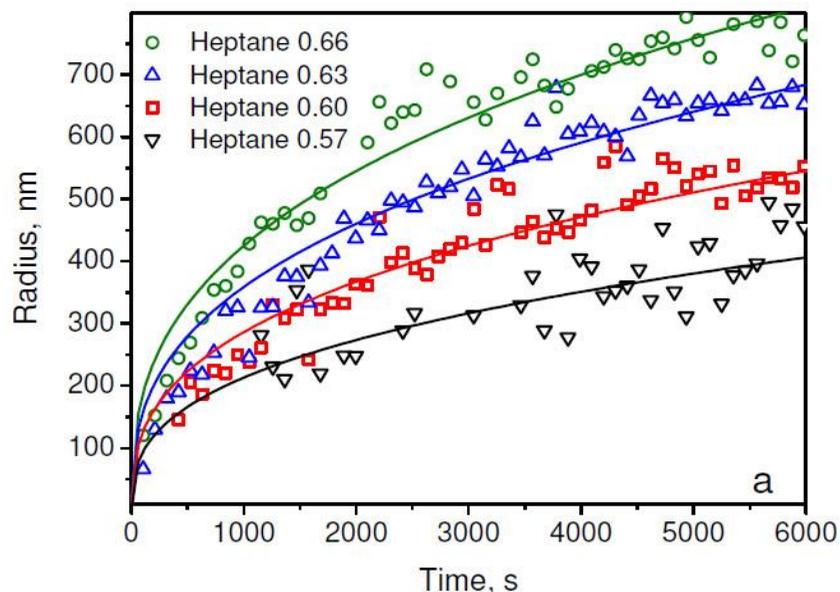
Примеры исследований методом динамического рассеяния света

Размеры частиц, агрегация, фазовые и структурные переходы, стабильность коллоидных систем

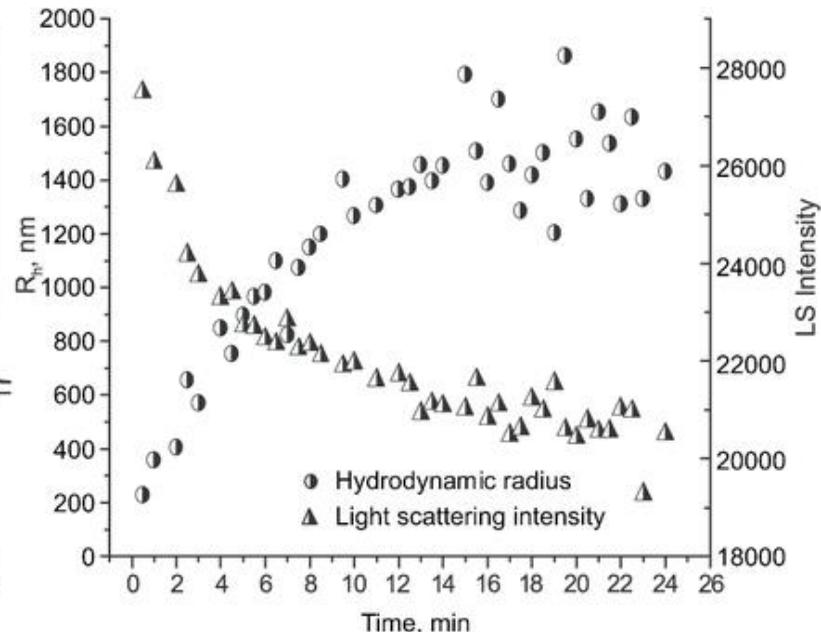
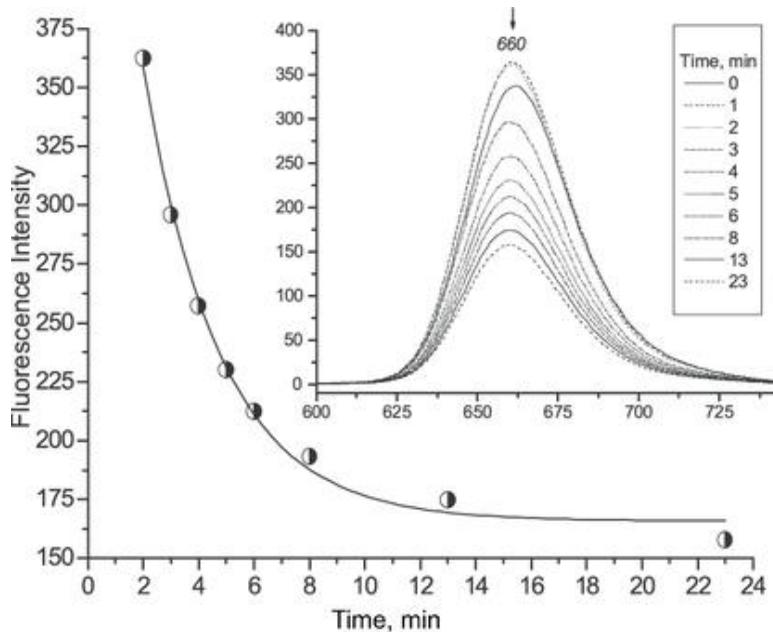


eNANO

Агрегация (коллоидное золото, асфальтены и порфирины)



Energy Fuels, 2014, 28 (10), pp. 6200–6209

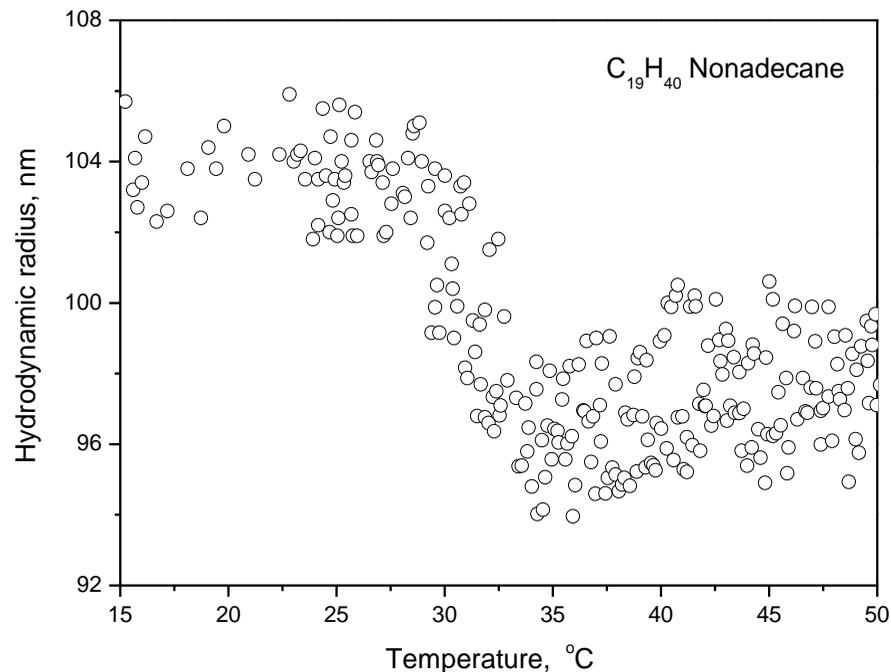
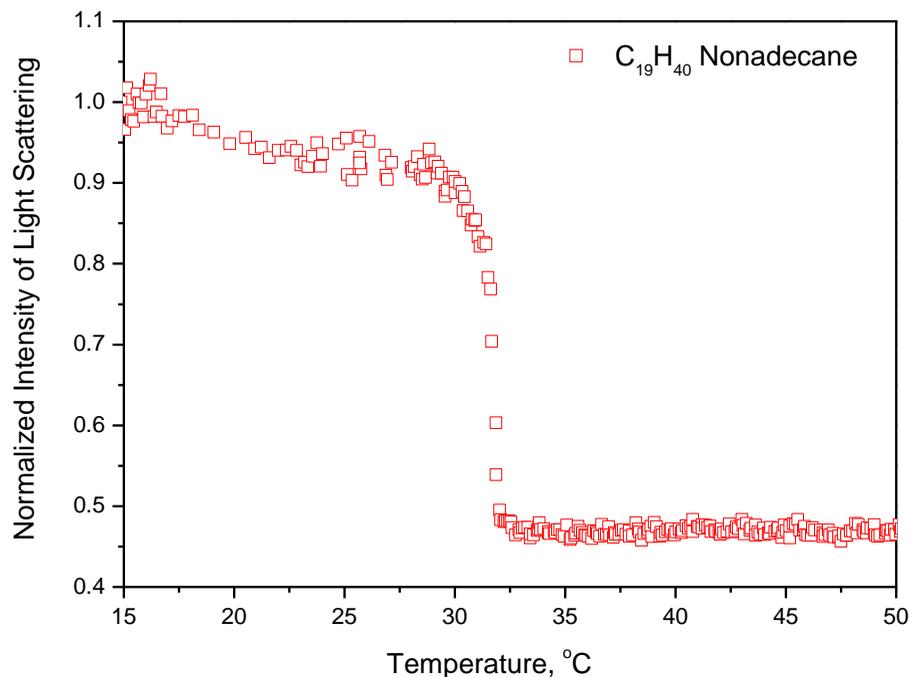


Макрогетероциклы, 2015, 8 (3), стр. 244–251



eNANO

Микро- и наноэмульсии



Парафиновая эмульсия в воде. Приготовлена с помощью ультразвукового диспергирования. Средний радиус эмульсии около 100 нм.

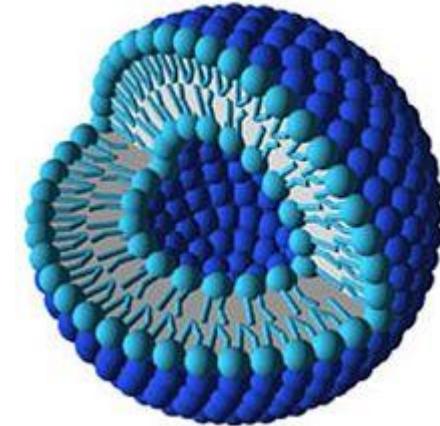
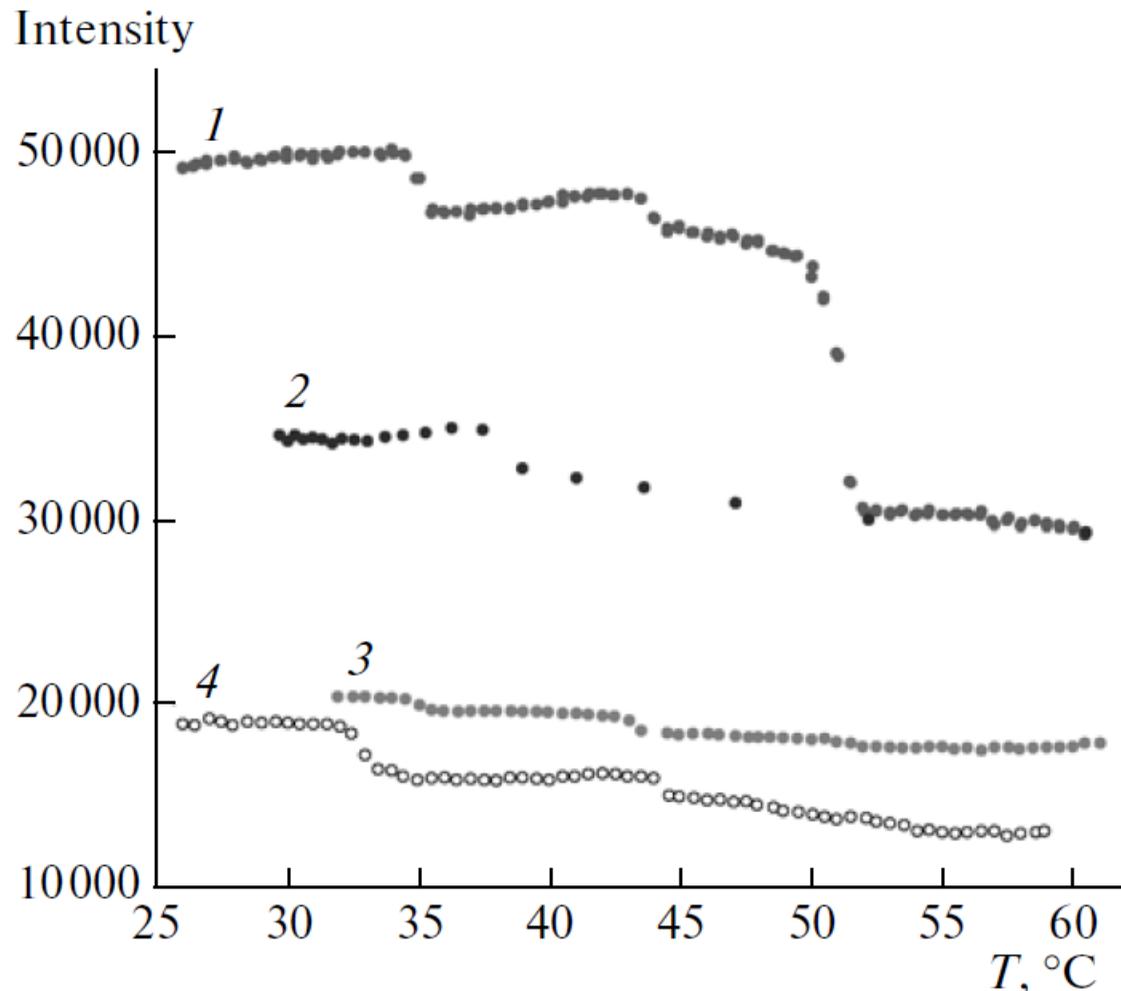
Фазовый переход 1-го рода, плавление

Микроэмульсии - жидкие коллоидные системы, состоящие из двух жидкостей с ограниченной взаимной растворимостью (напр., вода и масло), термодинамически устойчивые. Размеры микрокапель не превышают 100 нм. Микроэмульсии обладают эффективным моющим действием, служат для диспергирования лекарственных средств. Микроэмульсии, состоящие из воды, липида и белка, участвуют в метаболизме жиров, липопротеинов. Микроэмульсии с перфторированными углеводородами — перспективные кровезаменители.

Наноэмульсии – размер капель менее 100 нм, кинетически стабильны, термодинамически нестабильны.



Везикулы и мицеллы



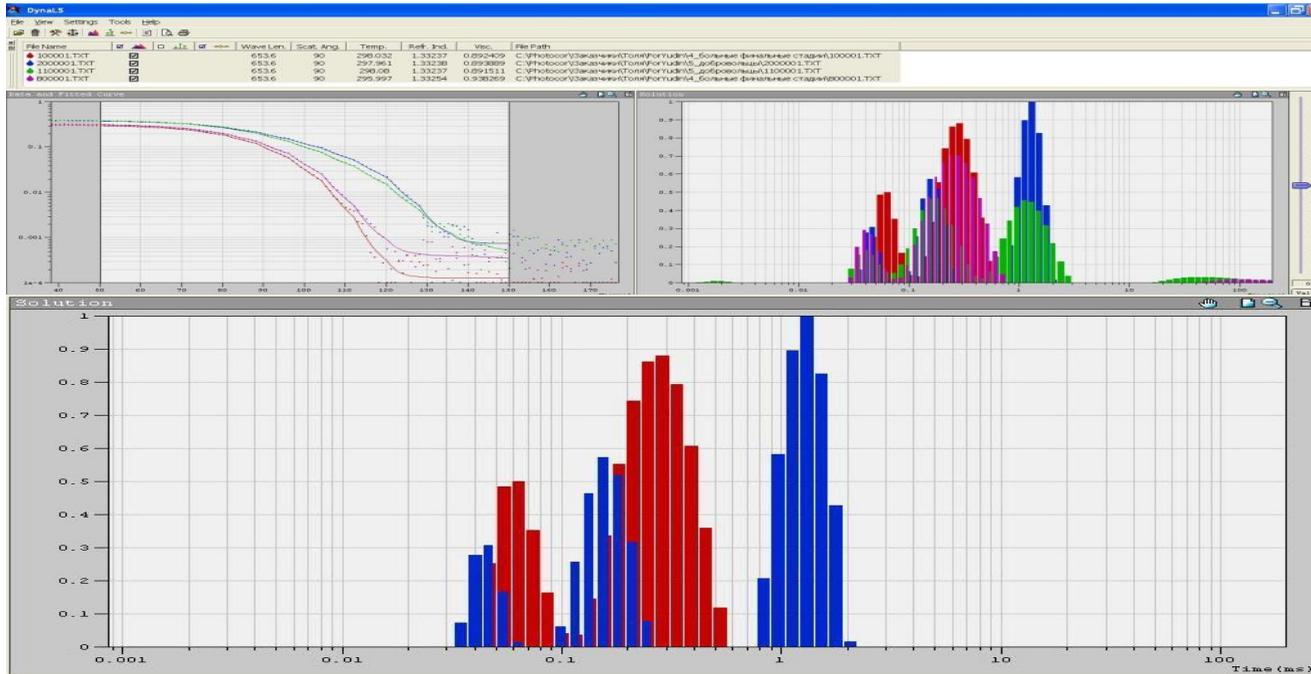
относительно маленькие внутриклеточные органоиды, мембрано-защищённые сумки, в которых запасаются или транспортируются питательные вещества. Везикула отделена от цитозоля минимальным липидным слоем.

Для везикул DODAB определены три фазовых перехода при нагреве с температурами 35,2 °C (субгель – гель), 44,6 °C (гель – жидкость) и 52,4 °C (субгель – жидкость, для MLV) при нагревании и один переход при температуре 40,4 °C (жидкость – гель) при охлаждении. (*JETP*, 2012, 115(6), pp. 1105-1110)



eNANO

Белки (протеины)

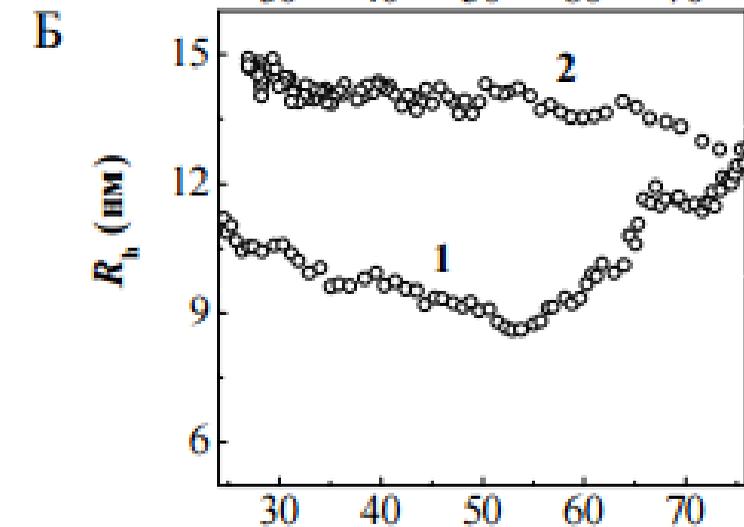
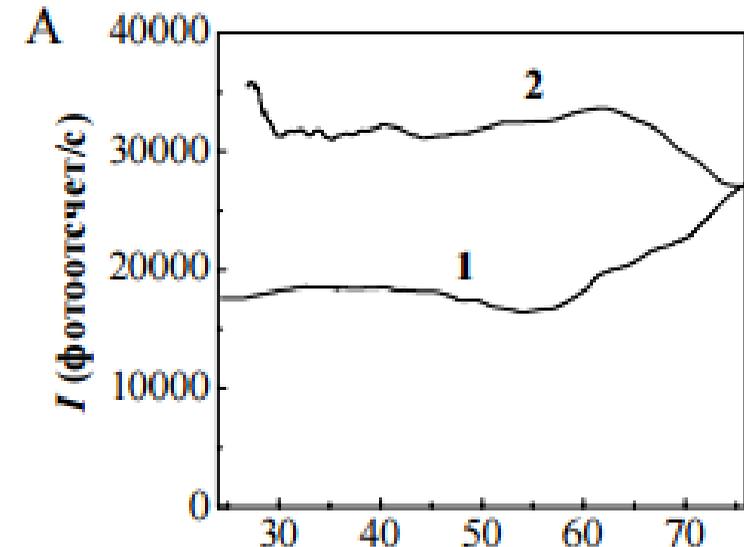
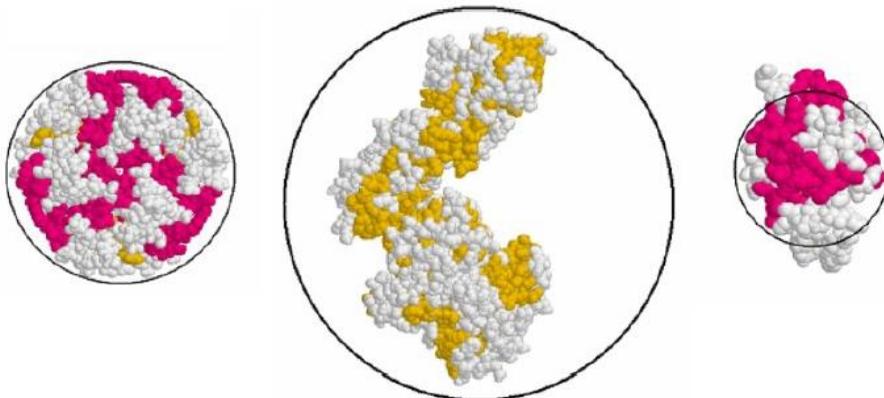


Полидисперсный анализ белковых агрегатов в плазме крови

Hexameric Human Insulin (34.2kDa)
 $R_H = 2.7\text{nm}$

Immunoglobulin G (160kDa)
 $R_H = 7.1\text{nm}$

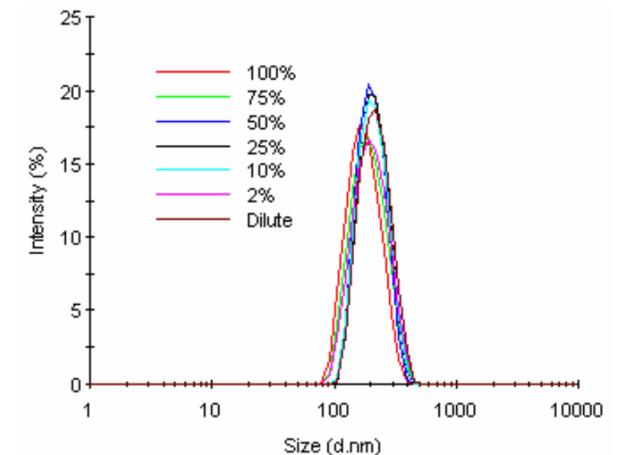
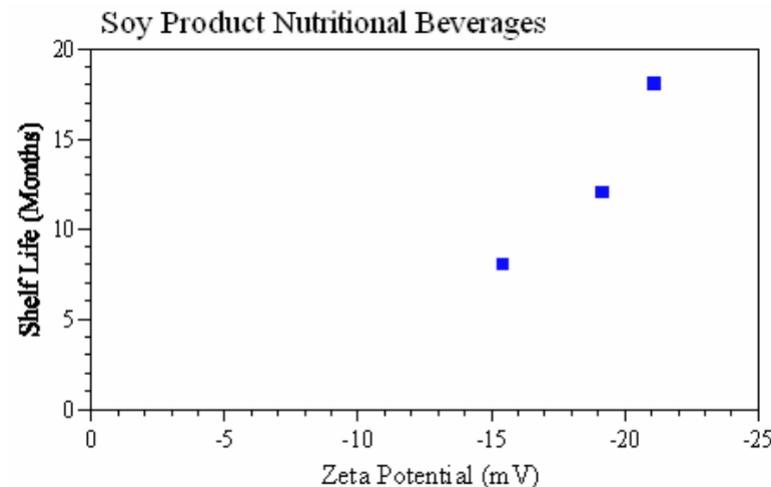
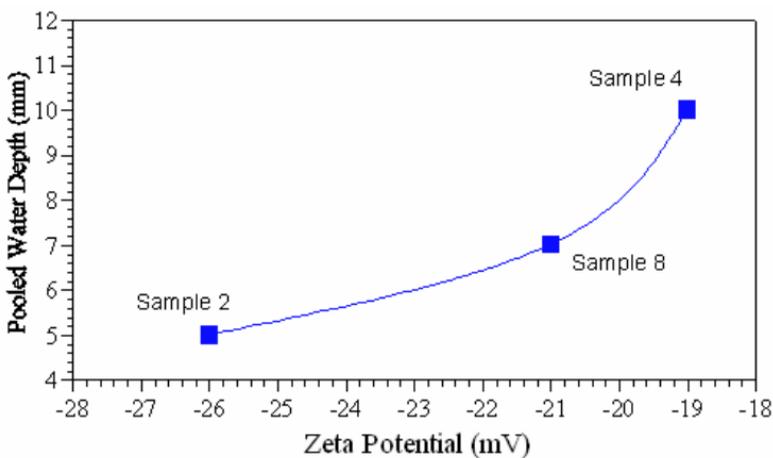
Hen Lysozyme (14.7kDa)
 $R_H = 1.9\text{nm}$



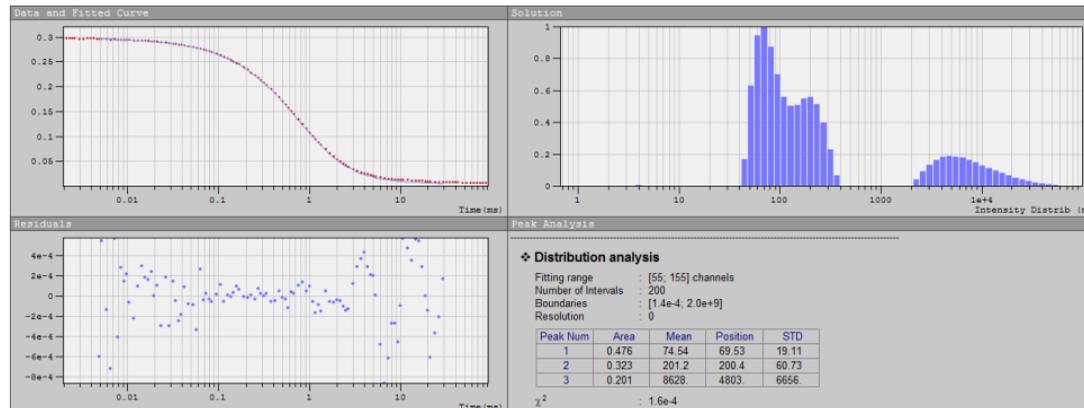
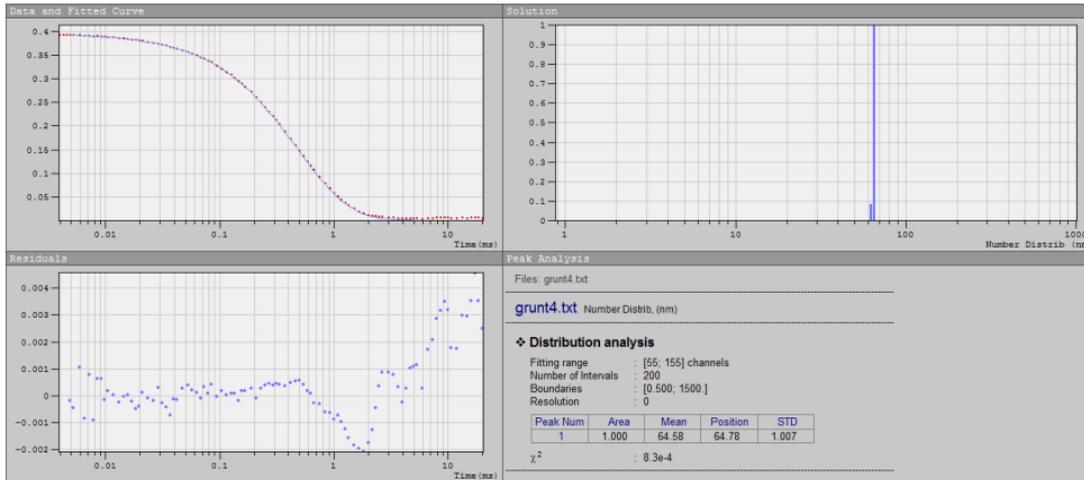
Денатурация и агрегация α -кристаллина при нагревании

Размер частиц и поверхностный заряд имеют большое значение для исследователей в пищевой промышленности из-за их влияния на срок годности продукта, эстетическую привлекательность и вкусовые качества.

Используя метод DLS можно исследовать коллоидные свойства эмульсий масла в воде (жировые эмульсии), молочных продуктов: размер частиц молока (казеин) влияет на его микроструктуру и определяет коллоидную стабильность. Различия в размере мицелл казеина могут повлиять на переработку молока, особенно на производство сыра. Размер мицелл казеина является важной характеристикой сырого молока.

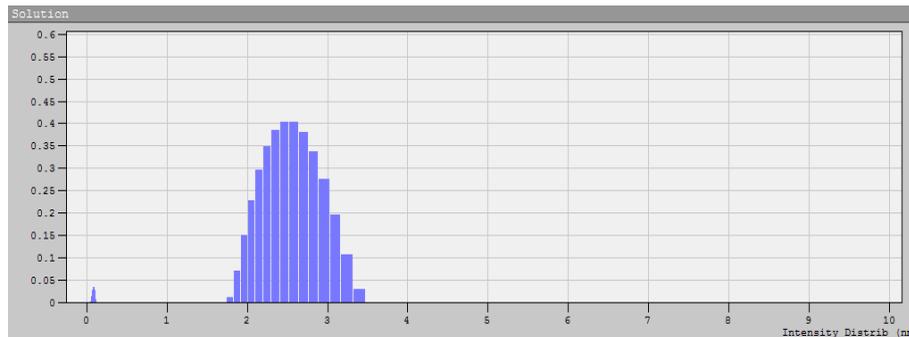


Метод динамического рассеяния света может быть использован для контроля качества современных наноразмерных добавок, используемых при производстве строительных материалов.



Исходно монодисперсный грунт, существенно меняет свои свойства после процесса заморозки-разморозки

- **Транспорт и производство лекарств**
- **Наночастицы (магнитные НЧ) в медицине**
- **Диагностика заболеваний**
- **Мицеллы и везикулы**



Compliment 3 нм	День за днём 2 нм и 200 нм
Auchan 7-8 нм	Новосвит 2 нм и 100 нм
Черный жемчуг 3 нм	Чистая линия 7-8 нм



eNANO

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

БЛАГОДАРИЮ ЗА ВНИМАНИЕ

-  117036, г. Москва, проспект
60-летия Октября, 10А,
-  Тел.: +7 495 988 53 88
-  E-mail: info@edunano.ru
-  www.edunano.ru