



eНано

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

Инструментарий нанотехнологий: Анализ траекторий наночастиц. Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

Курьяков Владимир Николаевич

к.ф.-м.н., ведущий специалист компании

ООО «Фотокор», н.с. ИПНГ РАН

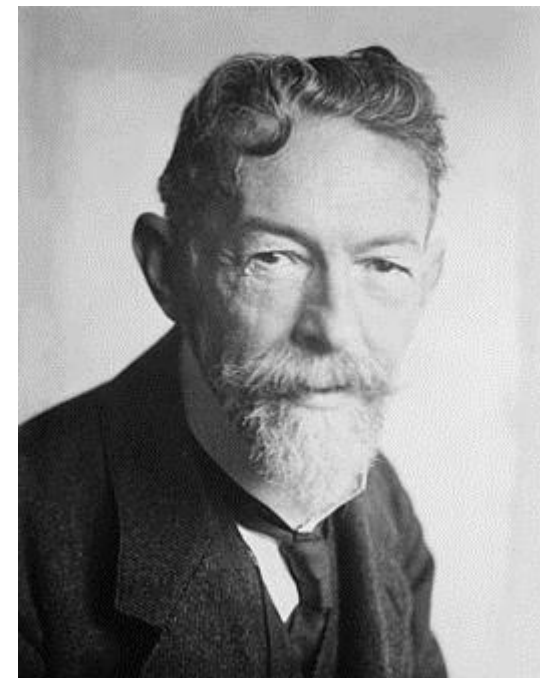
PHOTOCOR



Анализ траекторий наночастиц (NTA) — метод визуализации и изучения наночастиц в растворах, разработанный компанией Nanosight (Великобритания). В основе данного метода лежит оптическая схема ультрамикроскопа. В ультрамикроскоп наблюдаются не сами наночастицы, а пятна дифракции света на них, что позволяет отслеживать перемещение (броуновское движение) наночастиц в поле зрения. Из анализа броуновского движения наночастиц можно определить размер (гидродинамический радиус) наночастиц, зная вязкость жидкости, в которой они находятся. Данный метод также позволяет измерять концентрацию наночастиц в образце. Метод Анализа траекторий наночастиц может применяться для коллоидных растворов частиц размером от 10 до 1000 нм, диапазон измеряемых размеров зависит от природы наночастиц.

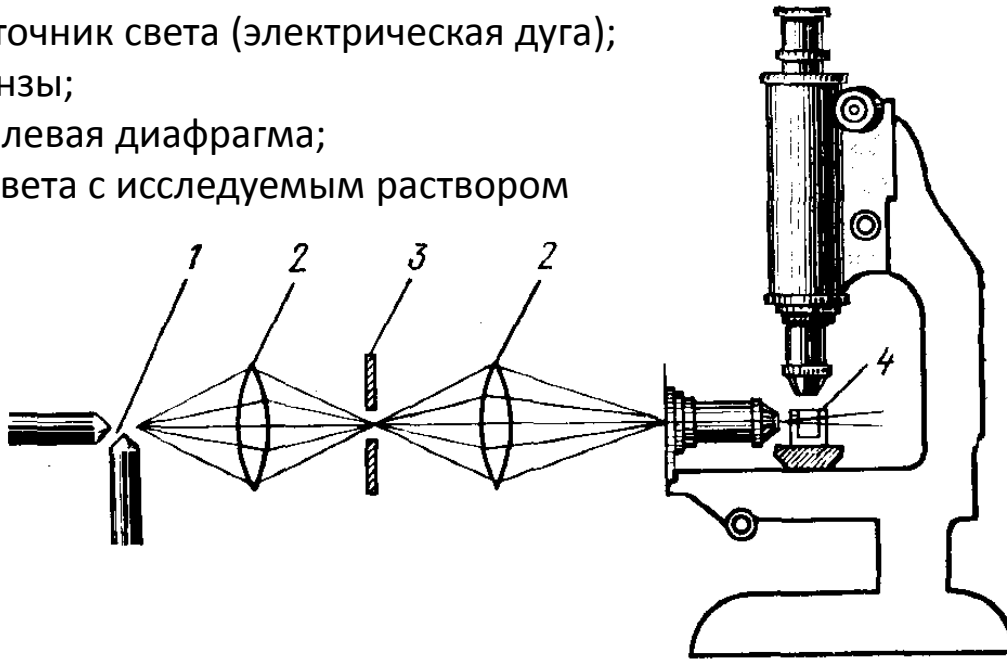


- Рихард Зигмонди австро-венгерский, а затем немецкий химик. В 1903 году Зигмонди совместно с Г. Зидентопфом изобрёл щелевой ультрамикроскоп, а затем (1913) так называемый иммерсионный ультрамикроскоп
- Лауреат Нобелевской премии по химии в 1925 году «за установление гетерогенной природы коллоидных растворов и за разработанные в этой связи методы, имеющие фундаментальное значение в современной коллоидной химии»
- Разработка компании NanoSight (основана в 2003 году) техники Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)
- 2013 год. Компания Malvern приобрела компанию NanoSight



Технические основы метода

- 1 — источник света (электрическая дуга);
- 2 — линзы;
- 3 — щелевая диафрагма;
- 4 — кювета с исследуемым раствором



Дифракционный предел — это минимальное значение размера пятна (пятно рассеяния), которое можно получить, фокусируя электромагнитное излучение. Меньший размер пятна не позволяет получить явление дифракции электромагнитных волн. Дифракционный предел был открыт в 1873 году Эрнстом Аббе. Минимальный дифракционный предел определяется формулой $d_{\min} = \lambda / 2n$, где λ — длина электромагнитной волны в вакууме, n — показатель преломления среды.

Броуновское движение — беспорядочное движение микроскопических видимых взвешенных в жидкости или газе частиц твёрдого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа.

Средний квадрат смещения броуновской частицы пропорционален времени наблюдения t . Коэффициент пропорциональности — коэффициент диффузии D .

Для двумерного случая

$$\langle r_{xy}^2 \rangle = 4D$$

Для трехмерного случая

$$\langle r_{xyz}^2 \rangle = 6D$$

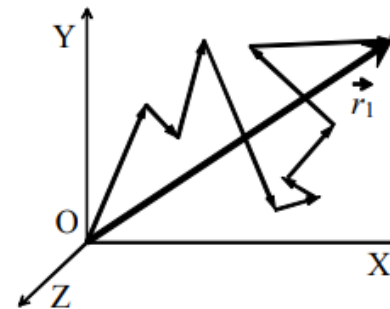


Рис. 1

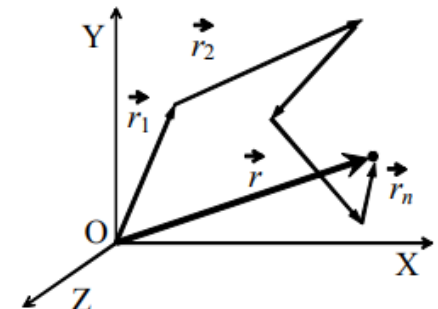


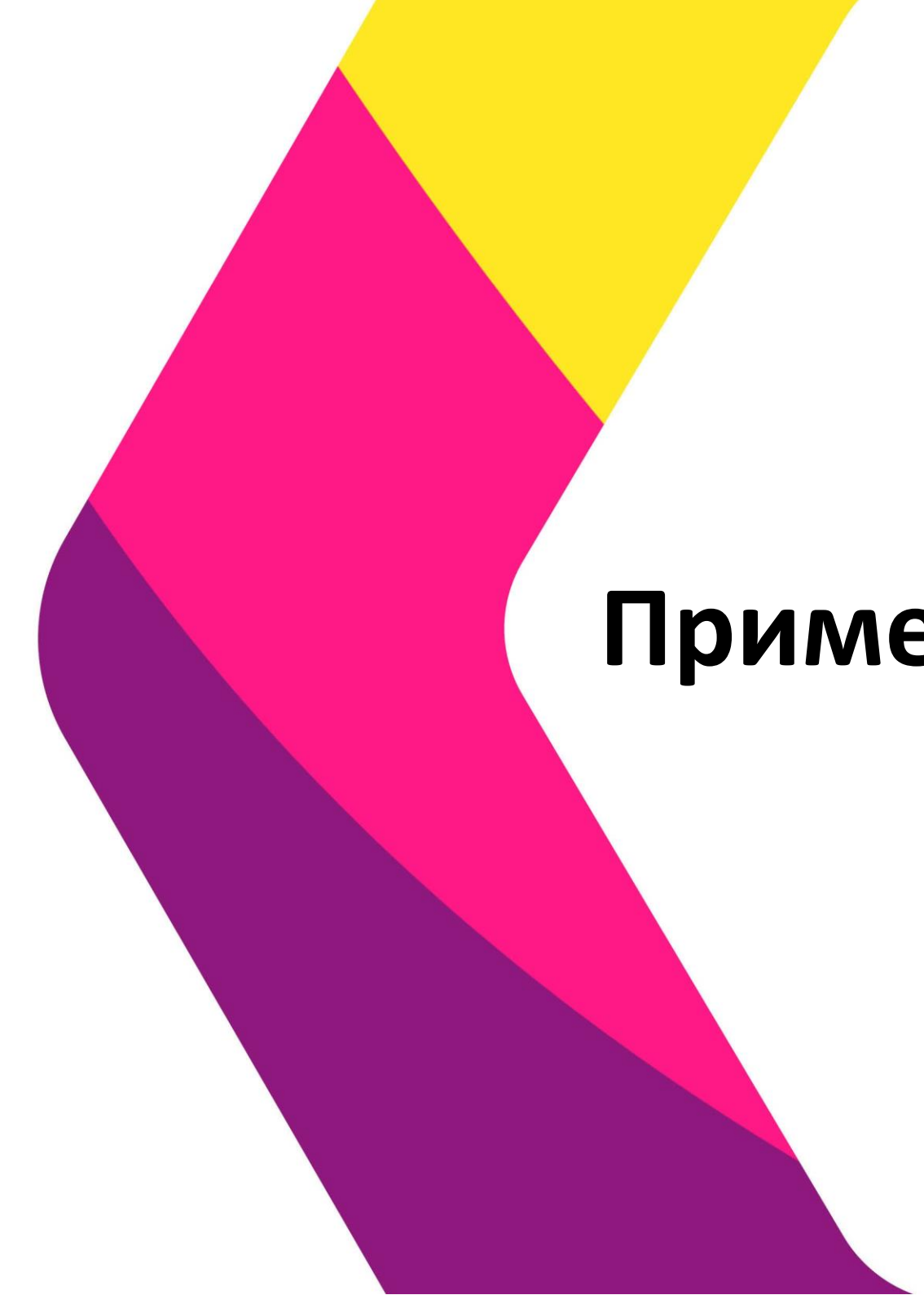
Рис. 2

В 1905 году Альбертом Эйнштейном была создана молекулярно-кинетическая теория для количественного описания броуновского движения. В частности, он вывел формулу для коэффициента диффузии сферических броуновских частиц

$$D = \frac{Tk_B}{6\pi\eta R_h}$$

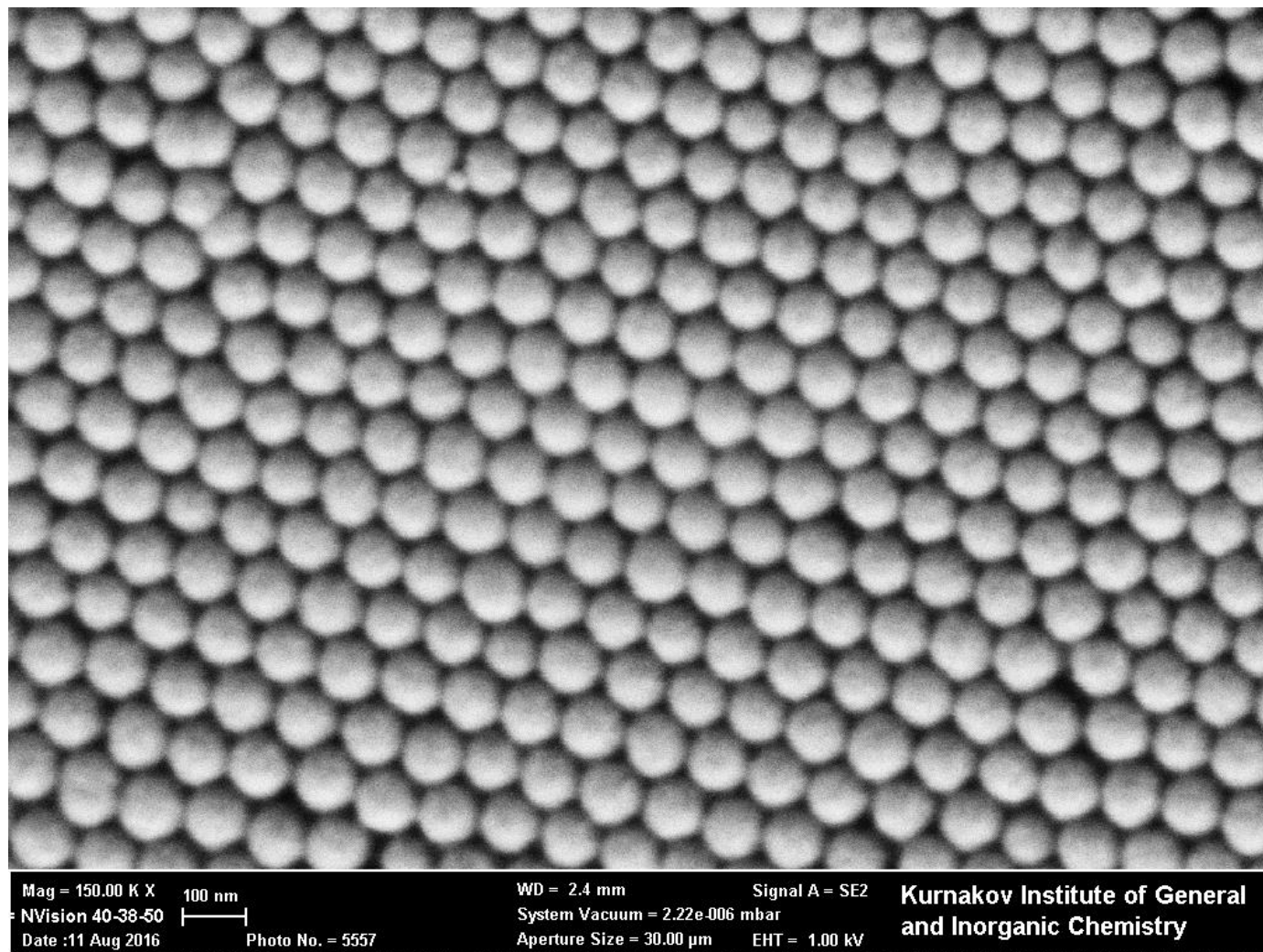
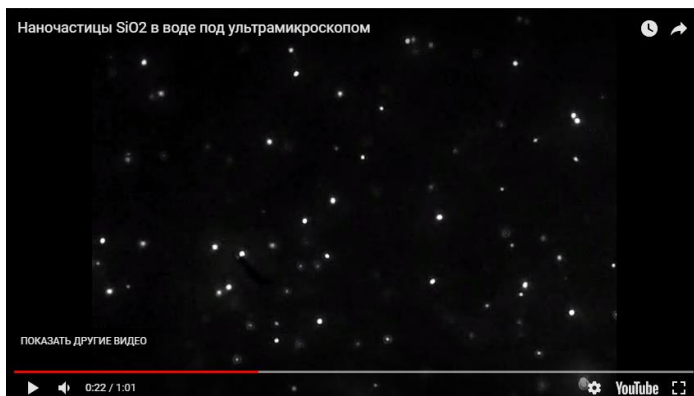
- Данный метод может применяться для коллоидных растворов частиц размером от 10 до 1000 нм. Диапазон сильно зависит от характера конкретного образца
- Измерение концентрации частиц в образце
- Дискриминация частиц по их материалу
- Анализ флуоресцирующих частиц
- Измерение дзета-потенциала частиц
- ASTM E2834 - 12 Standard Guide for Measurement of Particle Size Distribution of Nanomaterials in Suspension by Nanoparticle Tracking Analysis (NTA)

- Концентрации для NTA в 10-1000 меньше, чем для DLS
- Рабочие концентрации метода 10^7 to 10^9 частиц/мл
- NTA измеряет распределение частиц по размеру, а DLS распределение частиц по вкладу в рассеяние
- Отсутствие градиентов температур, отсутствие «пыли»
- Пробоподготовка
- Нижний предел измеряемых размеров зависит от природы частиц:
 - ~ 10 нм для металлических частиц
 - ~ 30 нм для полимерных частиц
 - ~ 40 нм для липосом (везикул)



Примеры

Наночастицы SiO_2 в воде



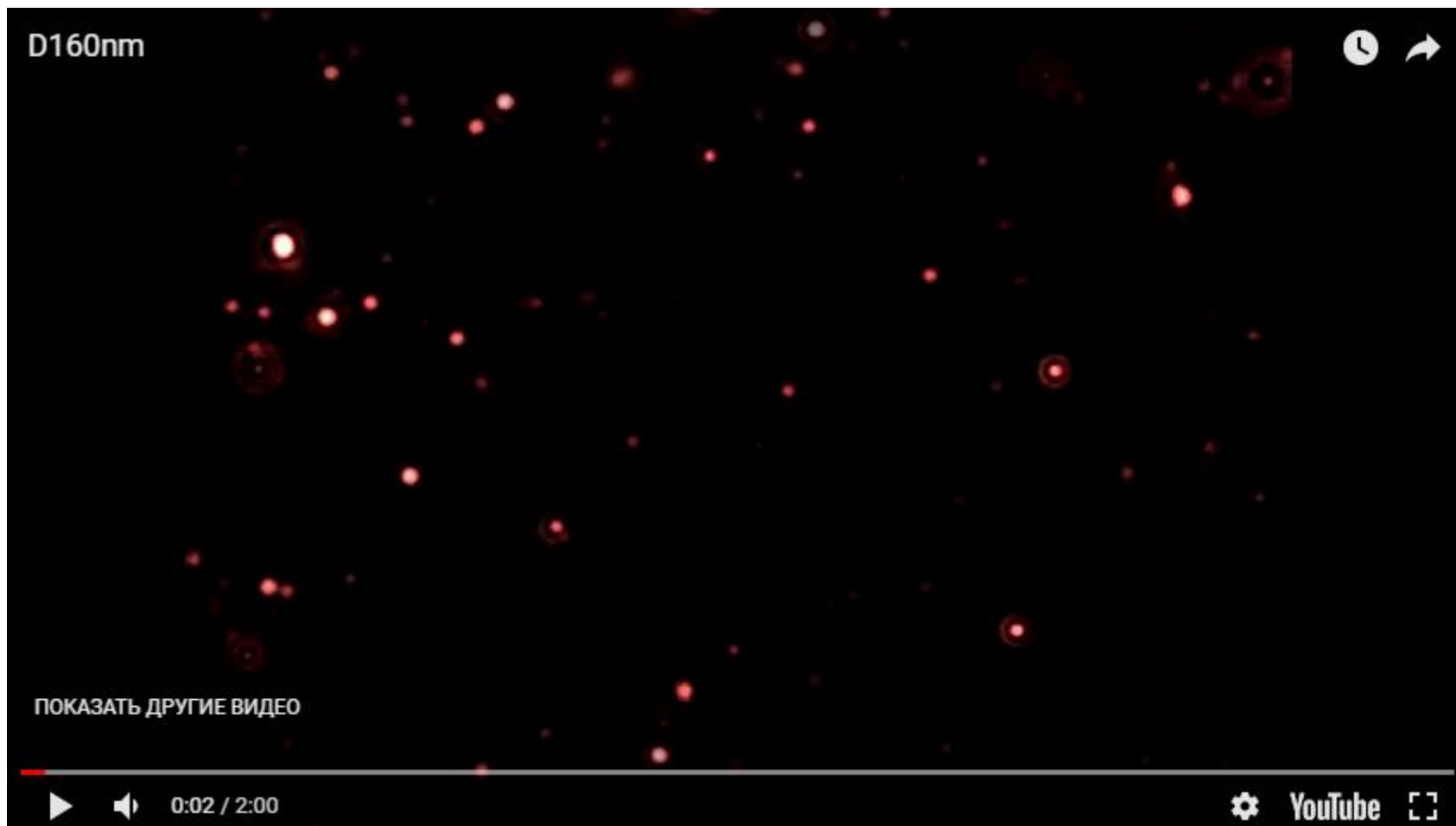
Наночастицы латексные 270 нм.

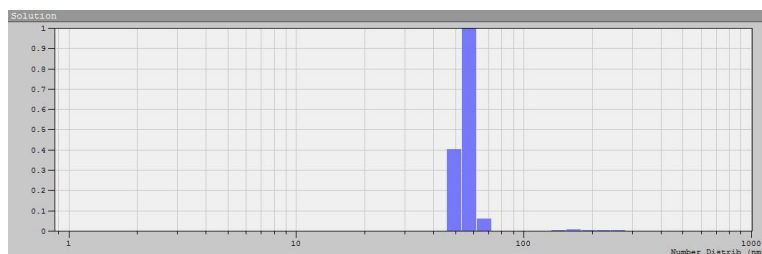




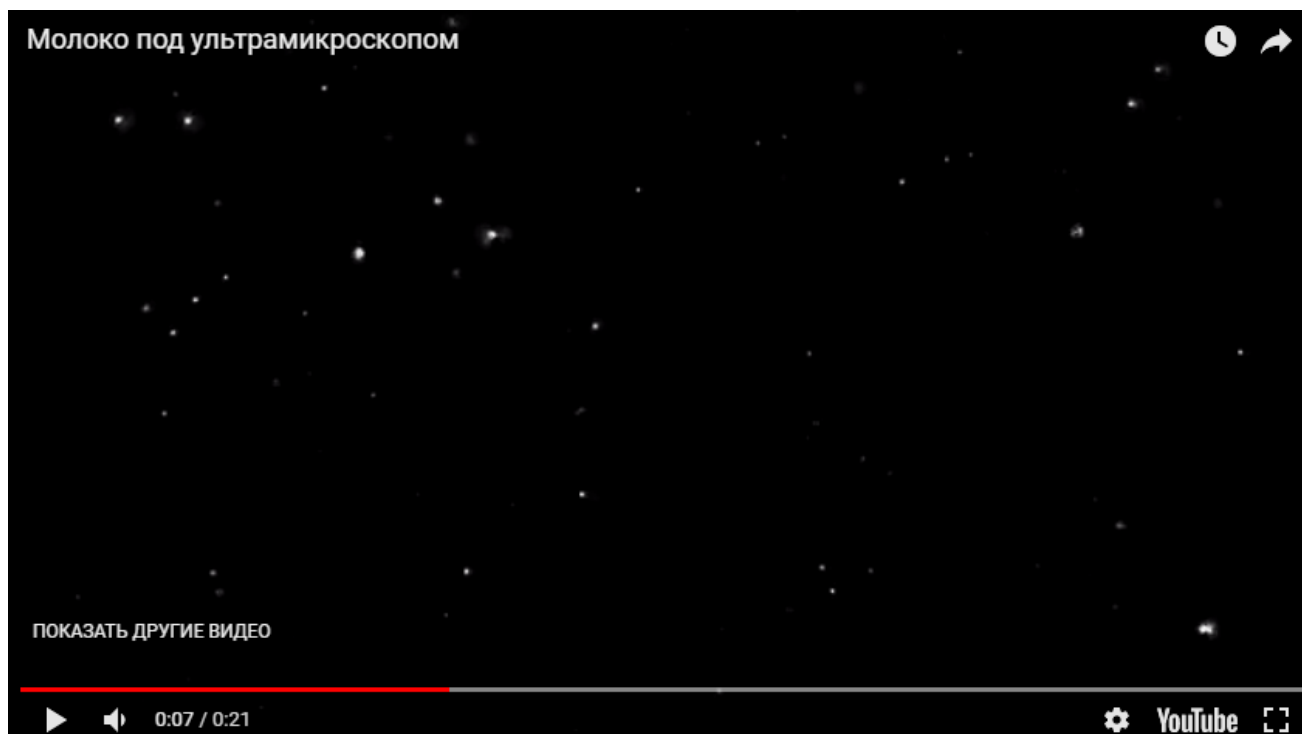
eNANO

Наночастицы латексные 160 нм.

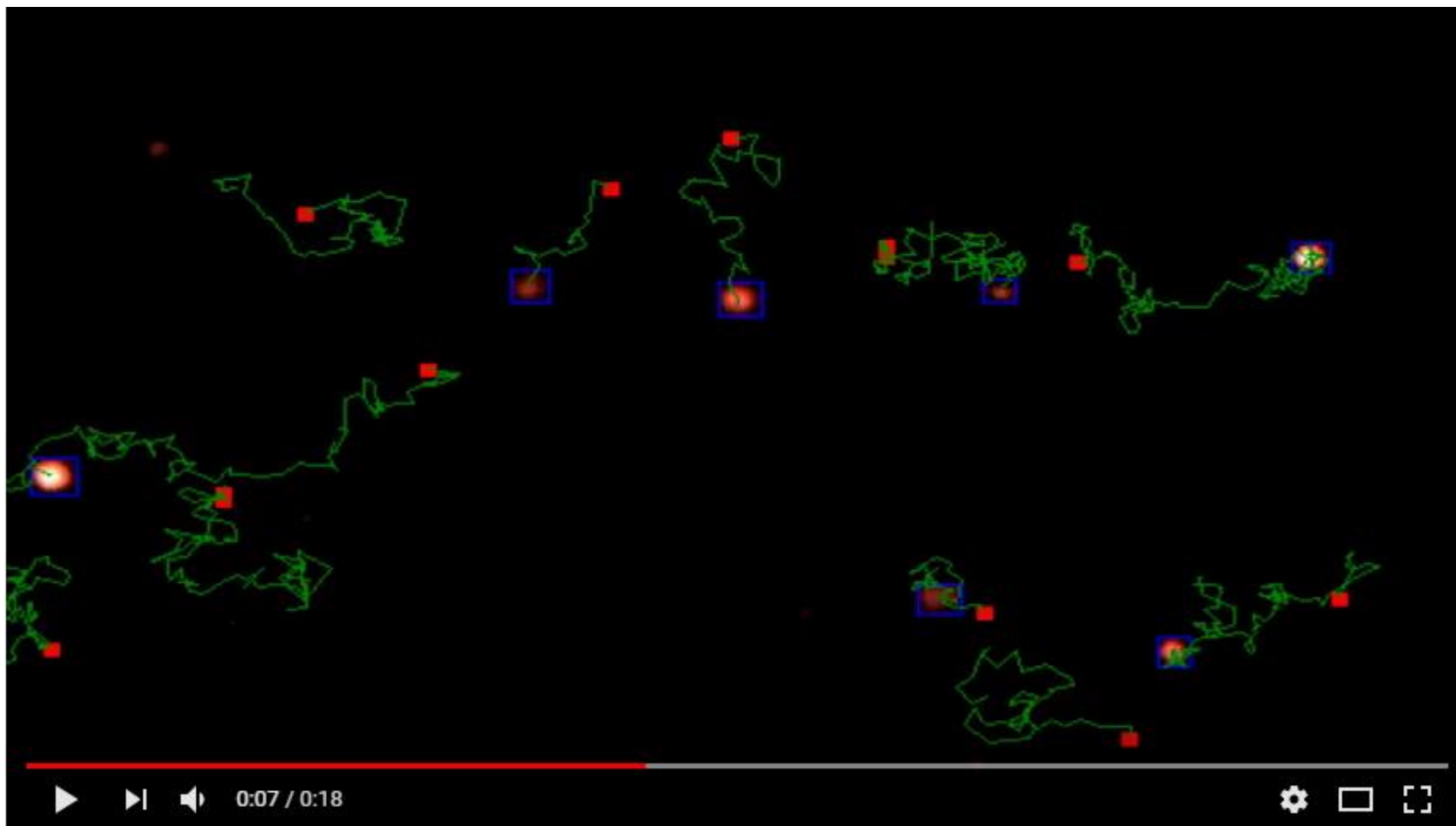




Методом DLS характерный
размер 60 нм



Трекинг частиц





еНано

ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
ДЛЯ НАНОИНДУСТРИИ

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ

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