



Московский технологический университет

Кафедра коллоидной химии им. С.С. Воюцкого

# ***Методы исследования поверхности***

## ***Лекция 5***

Направление подготовки М1.В.13 «Химия», 6 курс

**Современная микроскопия. Микроскопы, их устройство и возможности для изучения поверхности на микро- и наноуровне.**

**М.Ю. Плетнев, доктор хим. наук**

Москва – 2017



## План лекции

- **Виды микроскопии. Оптическая микроскопия – на индивидуальную подготовку.**
- **Просвечивающая электронная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия, электросиловая микроскопия и магнитно-силовая микроскопия.**
- **Основные физические процессы, происходящие в электронном микроскопе. Формирование изображения в электронном микроскопе. Характеристики изображения. Устройство современных электронных микроскопов. Требования к образцам и способы их подготовки. Методы просвечивающей электронной микроскопии.**
- **Сканирующая (растровая) электронная микроскопия. Принципы работы сканирующих и сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующие элементы (сканеры) зондовых микроскопов. Устройства для перемещений зонда и образца. Формирование и обработка СЗМ изображений.**



# Методы исследования поверхности

Сканирующая зондовая  
микроскопия



# Открытие сканирующей зондовой микроскопии

- Сканирующий микроскоп – Герд Биннинг и Генрих Рорер (1982 г.)
- Нобелевская премия за открытие туннельной и атомно-силовой микроскопии (1986 г.)



# Виды сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ)

- Сканирующая туннельная микроскопия
- Атомно–силовая микроскопия

СТМ (англ. STM — scanning tunneling microscope) — вариант сканирующего зондового микроскопа, предназначенный для измерения рельефа проводящих поверхностей с высоким пространственным разрешением.

АСМ используется для определения рельефа поверхности с разрешением от десятков ангстрем вплоть до атомарного.



# Принцип сканирующей зондовой микроскопии

Регистрация неизлучательной компоненты электромагнитного поля – основной принцип сканирующей зондовой микроскопии.

Отличительной особенностью СЗМ является наличие:

- зонда,
- системы перемещения зонда относительно образца по двум (X-Y) или трем (X-Y-Z) координатам,
- регистрирующей системы.

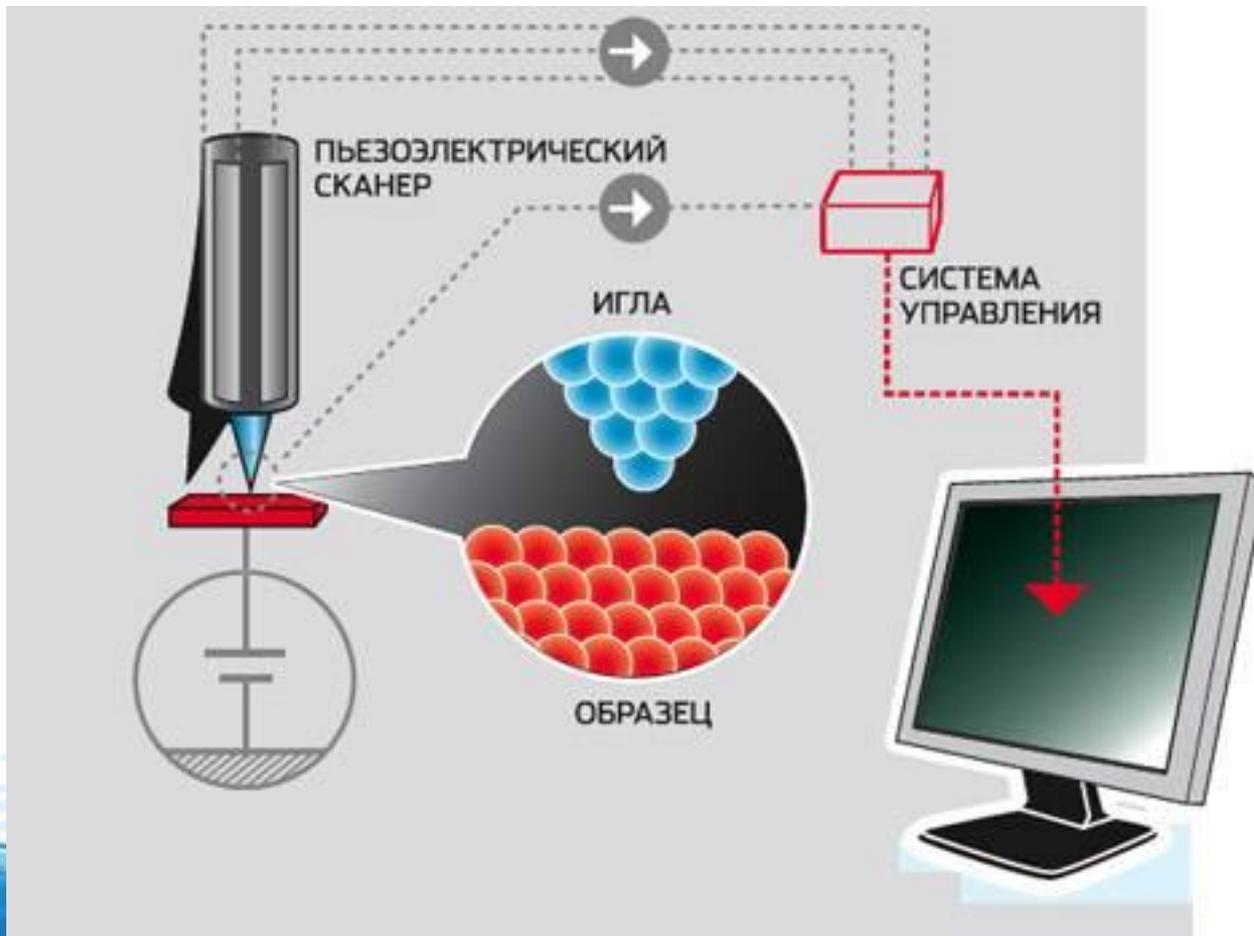
Регистрирующая система фиксирует значение функции, зависящей от расстояния зонд-образца. Обычно регистрируемое значение обрабатывается системой отрицательной обратной связи, которая управляет положением образца или зонда по одной из координат (Z).



# Основные задачи, которые решает СЗМ

- Определение размеров частиц
- Исследование активных центров на поверхности твердого тела
- Изучение механизмов сшивания каучуков и реактопластов
- Определение молекулярной поверхностной структуры
- Определение жесткости, вязкости нанообъектов
- Изучение электронных и квантово-размерных свойств
- Оценка модификации поверхности на атомном уровне

# Сканирующий зондовый микроскоп





# Сканирующая туннельная МИКРОСКОПИЯ

- 1. *Физический принцип* - туннельный эффект
- 2. *Регистрируемый сигнал* – величина туннельного тока, определяемая по формуле:

$$Y = U \cdot \exp(-A \cdot \Phi^{1/2} \cdot S),$$

U – напряжение между зондом и образцом,

Φ – величина потенциального барьера в зазоре,

S – ширина зазора

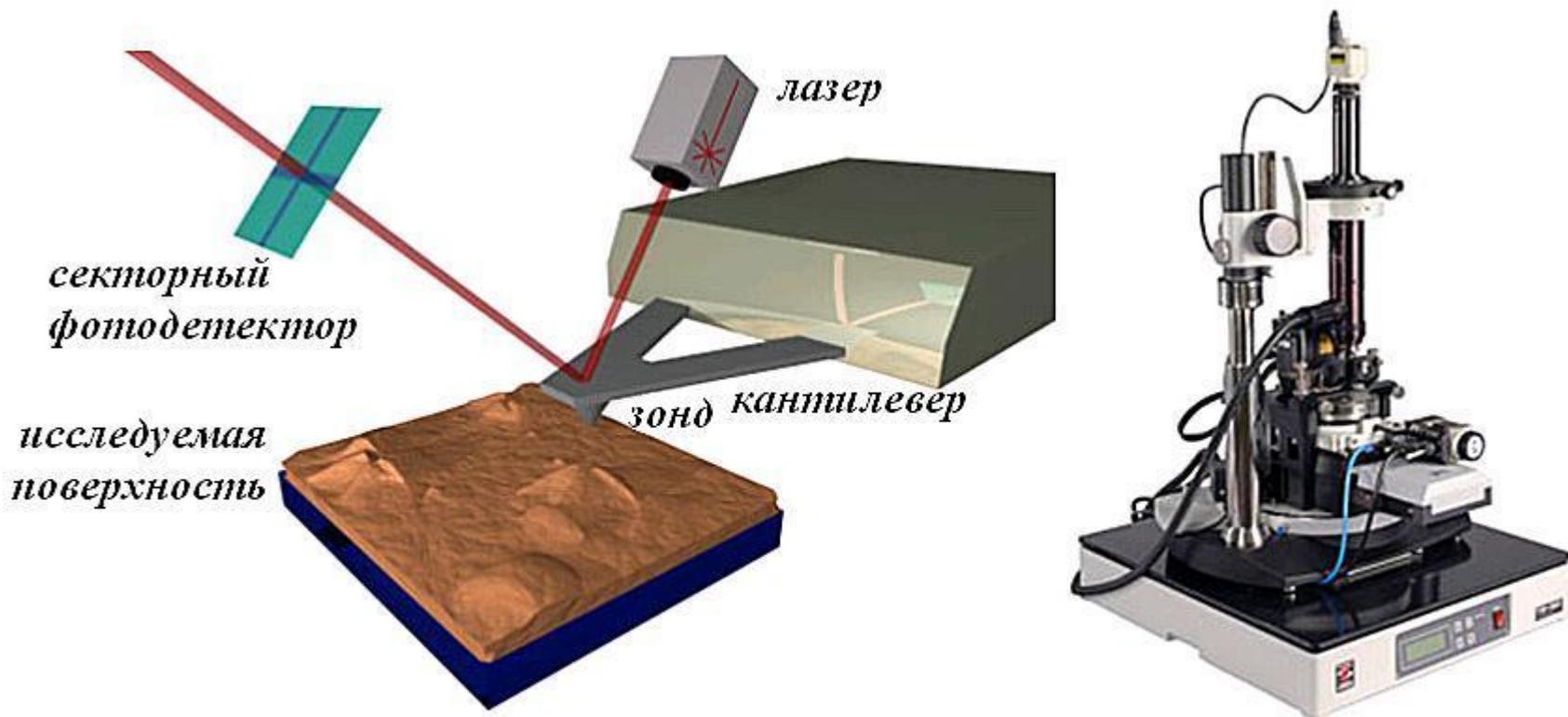
- 3. *Принцип работы прибора* – сканирование зондом по поверхности образца с разрешением 0,3–1 нм
- 4. *Исследуемые объекты* – твердые проводящие поверхности.



# Атомно – силовая микроскопия

1. *Физический принцип* – измерение силы, которая возникает при перемещении зонда по поверхности
2. *Регистрируемый сигнал* – деформация пружины с жесткостью  $\sim 1$  Н/м или иного объекта
3. *Принцип работы прибора* – сканирование зондом по поверхности образца с разрешением 0,3–1 нм
4. *Изучаемые объекты* – твердые проводящие и непроводящие поверхности

# АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОП



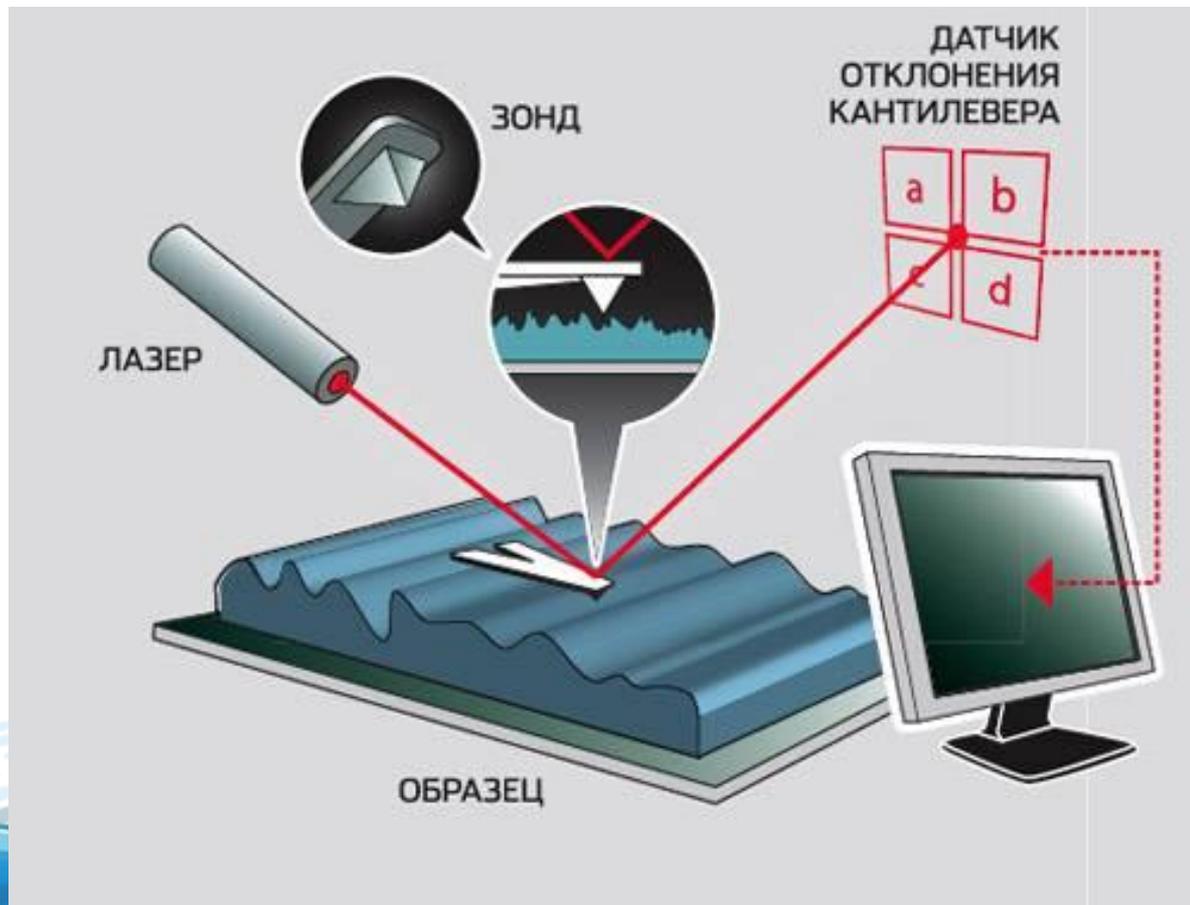
**Рис.1.** Принципиальная схема и общий вид атомно-силового микроскопа (НТ-МДТ).



# Типы сканирующих зондовых микроскопов

- Лазерный силовой микроскоп
- Микроскоп магнитных сил
- Микроскоп электростатических сил
- Оптический микроскоп ближнего поля

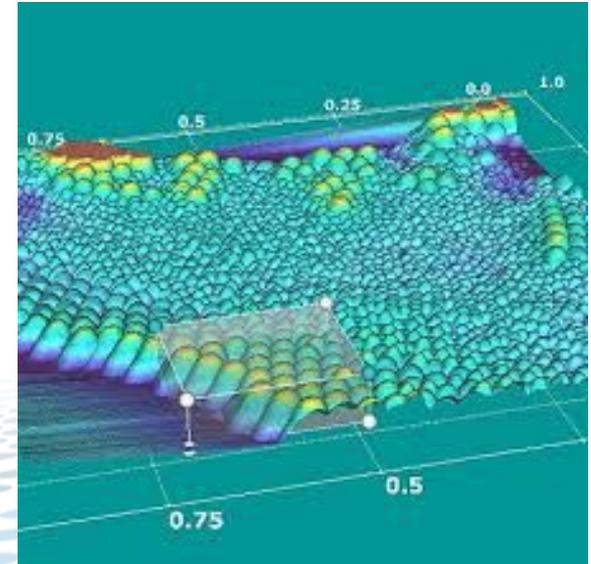
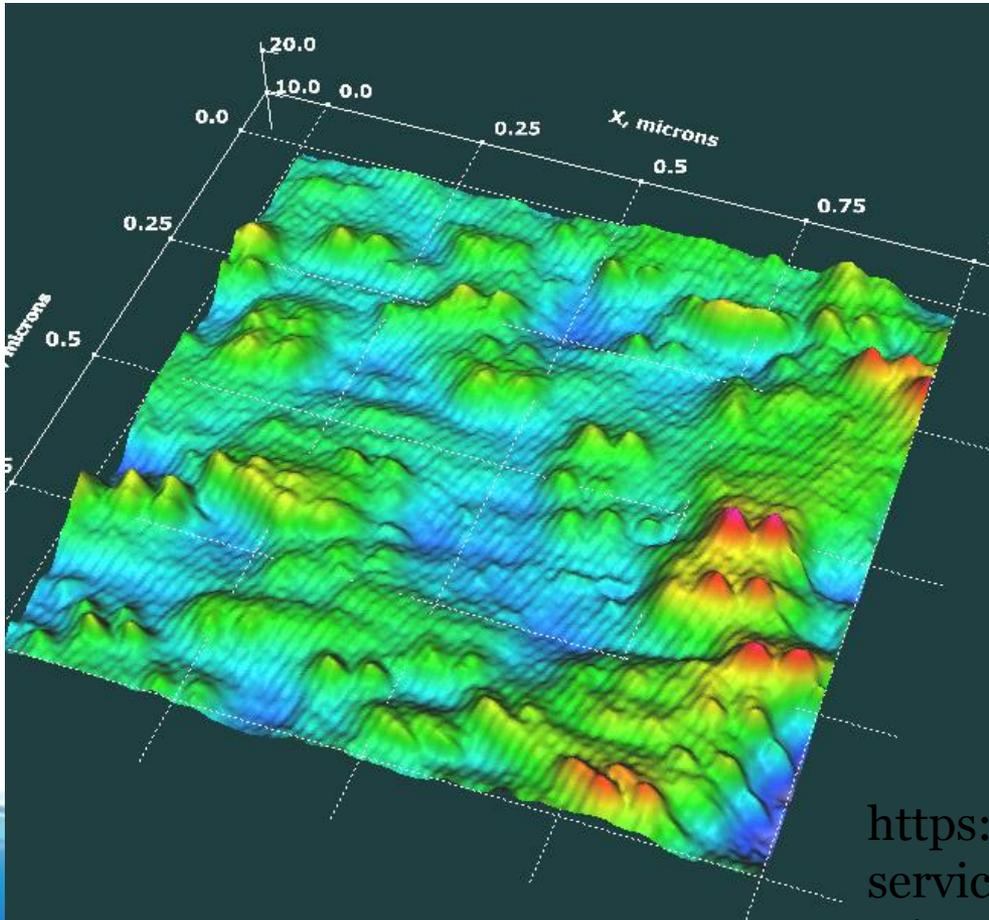
# Схематическое изображение зондового датчика





## Лекция 5. Современная микроскопия

# Изображения, получаемые методом СЗМ



<https://www.uantwerpen.be/en/rg/bams/service/s-sims---afm-surface/atomic-force-microsc/>



# Возможности метода сканирующей зондовой микроскопии

Разрешающая способность $\Delta XY$	до 0,05 нм
Разрешающая способность $\Delta Z$	до 0,01 нм
Минимальная область сканирования	от 30×30 нм <sup>2</sup>
Максимальная область сканирования	До 100×100 нм <sup>2</sup>
Минимальный шаг сканирования	0,015 нм
Размеры исследуемых образцов	21мм/5мм

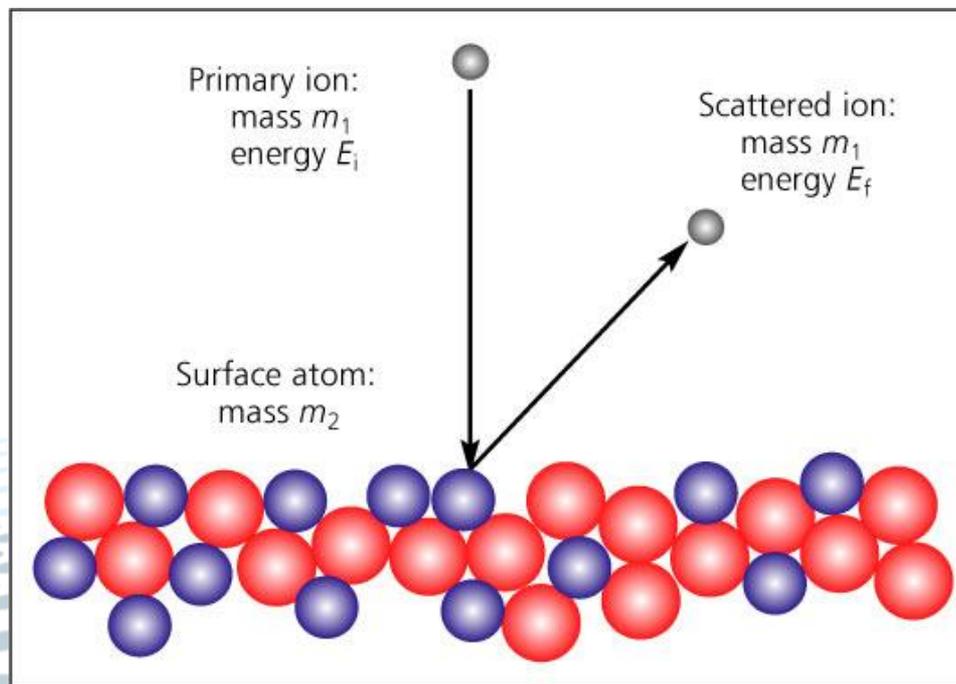


# Преимущества метода сканирующей зондовой микроскопии

- Получение изображений проводящих и непроводящих поверхностей
- Информация о конкретной части поверхности
- Неразрушающий метод
- Нет необходимости высокого вакуума
- Возможность работы в среде диэлектрика или нормальных условиях
- Высокая скорость и низкая стоимость анализа, компактность прибора

# Методы зондирования поверхности заряженными частицами

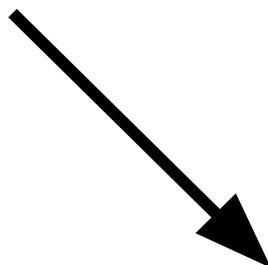
- Спектроскопия ионного рассеяния
- Вторичная ионная масс-спектропия



# Взаимодействие ионов с поверхностью твёрдого тела при использовании метода СИР

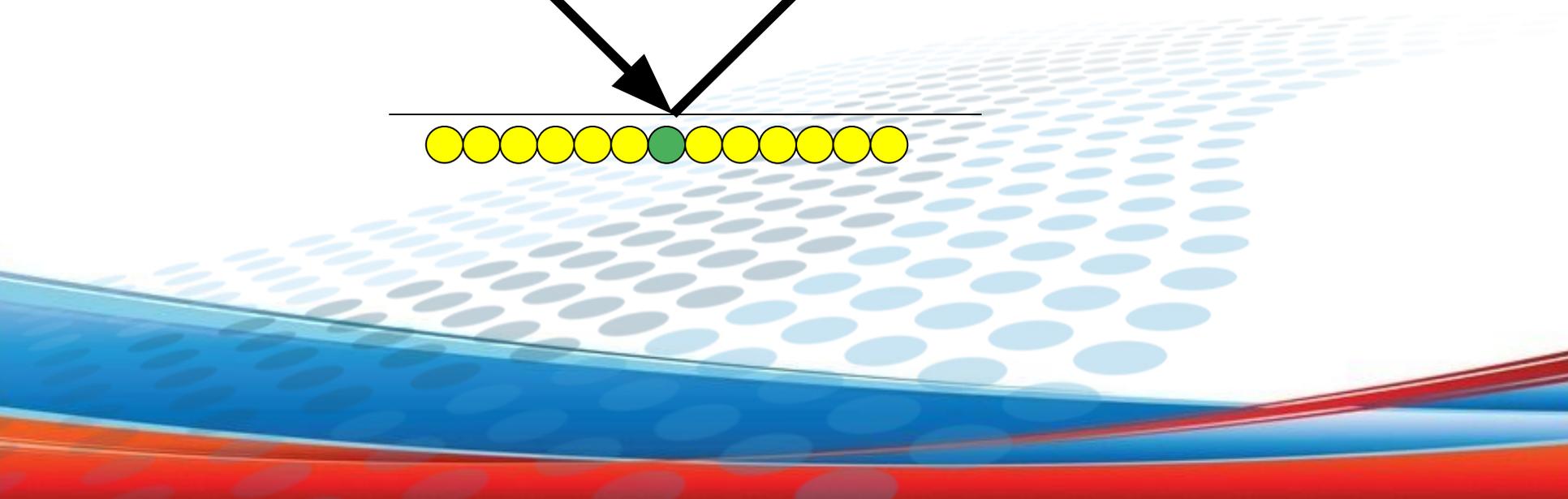
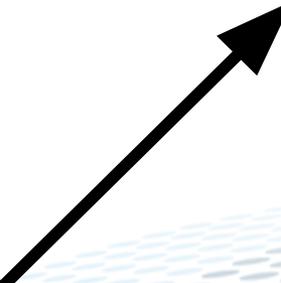
Первичный ион

$E_0$ ,  
 $M_1$



Рассеянный ион

$E$ ,  $M_1$

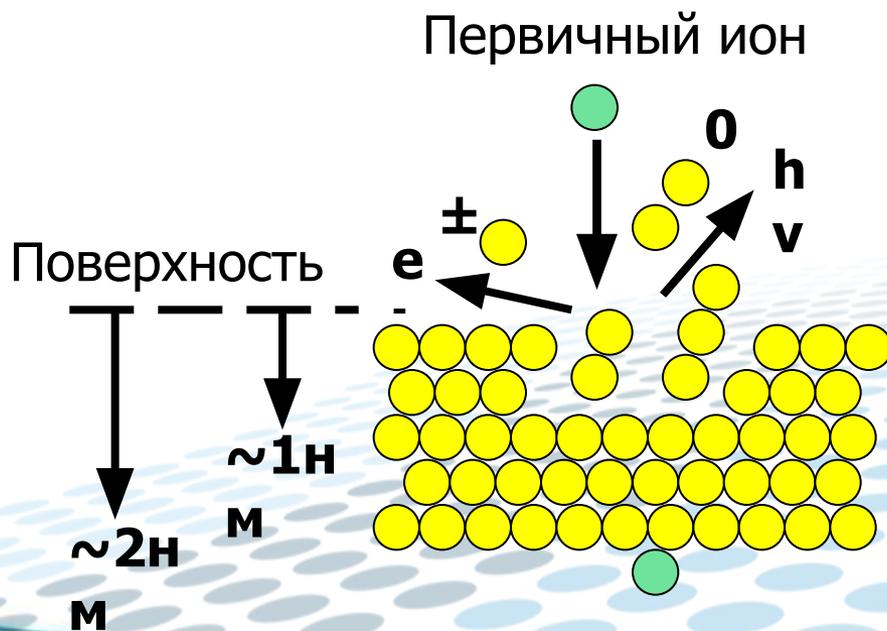




# Физический принцип вторичной- ионной масс-спектропии

- Взаимодействие ионов высоких энергий  $>20$  кЭВ с поверхностью твердого тела
- Разрушение поверхностных слоев с образованием нейтральных или заряженных частиц, кластеров, выброс фотонов или нейтронов

# Взаимодействие ионов с поверхностью твердого тела при использовании метода ВИМС



# Литература

- *Миронов В.Л.* Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Техносфера, 2004, 143 с.
- <https://koltovoi.nethouse.ru/page/941254>

### **НА САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ:**

**Оптическая микроскопия. Возможности и варианты оптического микроскопа.**

**Электронный микроскоп – принцип, варианты, возможности.**





*Пожалуйста, задавайте вопросы*



*E-mail: [myupletnev@mitht.ru](mailto:myupletnev@mitht.ru)*