

Сенсоры на основе кантилеверов *от атомов и молекул до живых клеток*

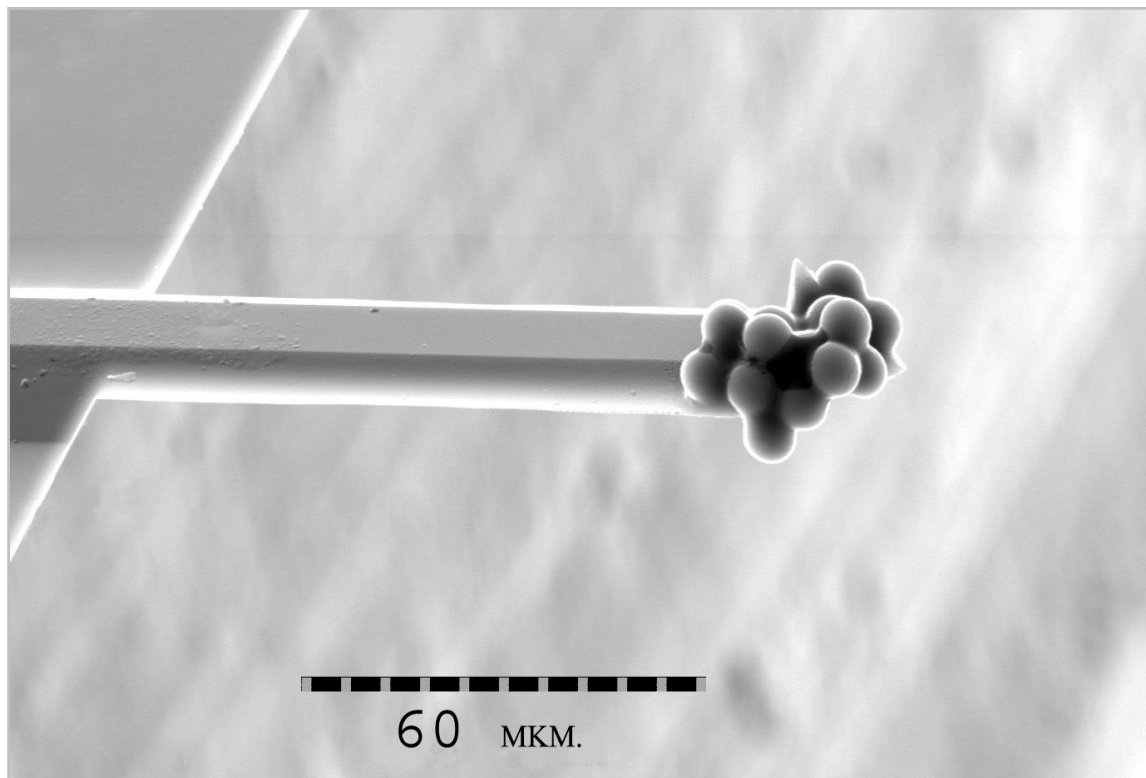


Яминский Игорь Владимирович

МГУ им. М.В. Ломоносова, физический и химические факультеты
Центр перспективных технологий

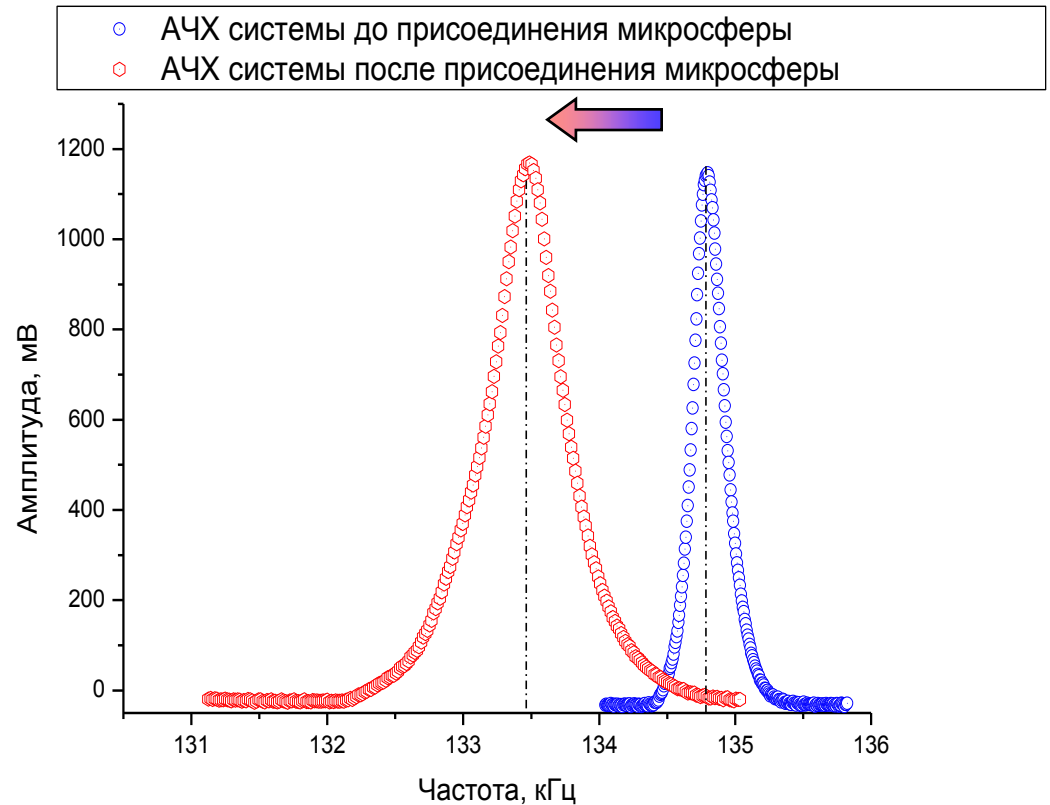
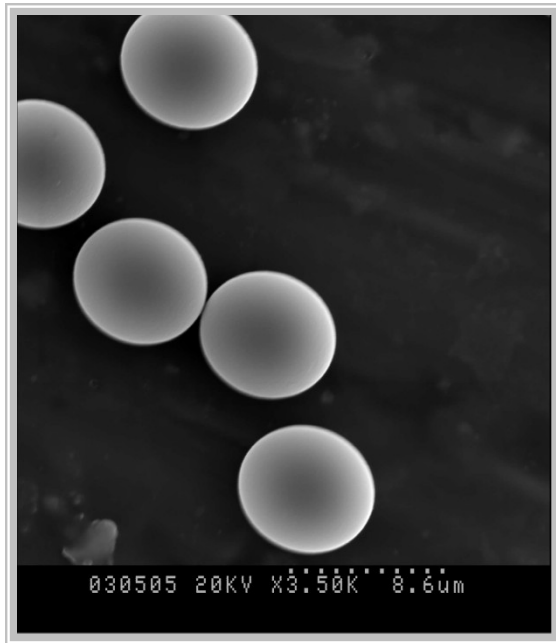
16 июня 2010 года

Нановзвешивание микрочастиц



Толщина T , мкм.	4
Ширина W , мкм.	30
Длина L , мкм.	125
Жесткость K , Н/м.	42
Резонансная частота F , кГц.	320

Нановзвешивание микрочастиц

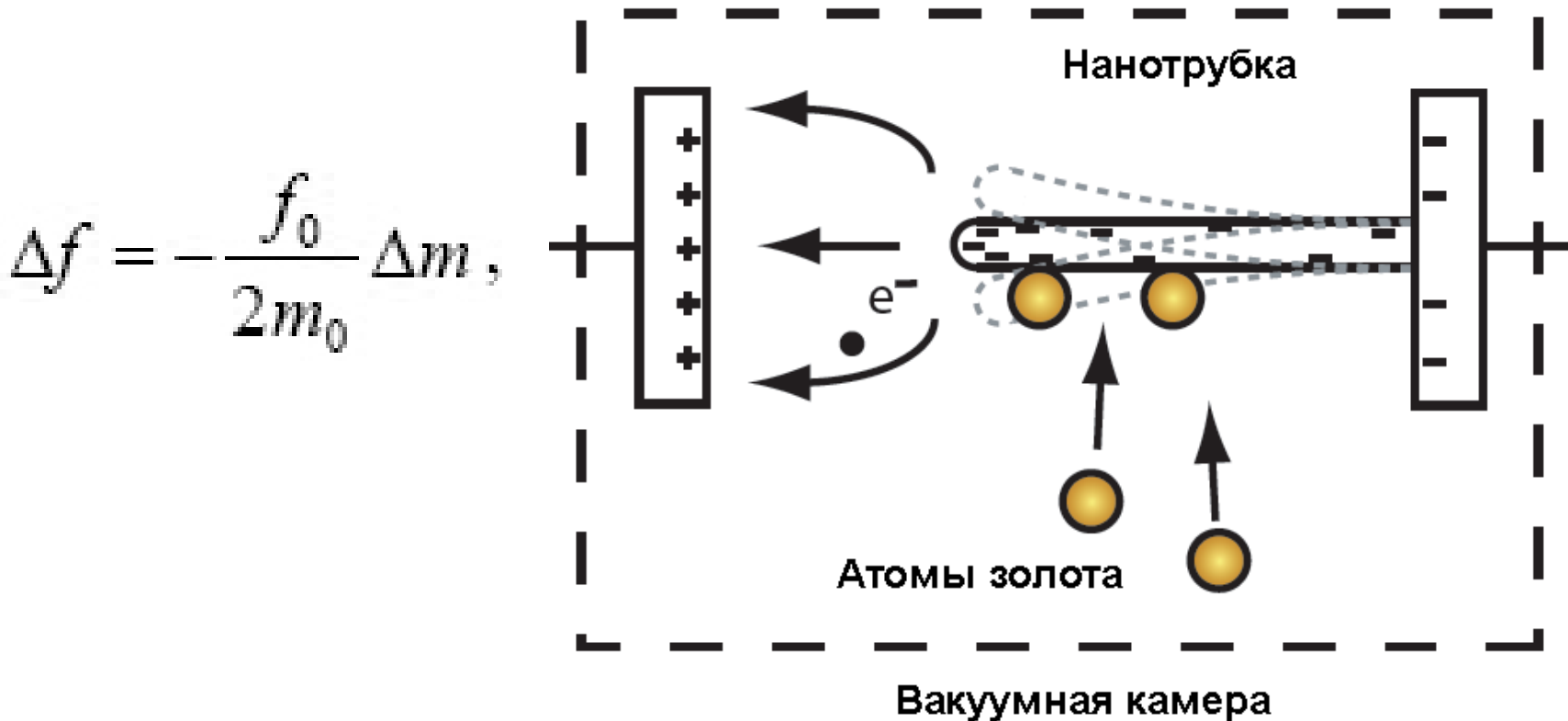


Взвешивались калибровочные полистирольные шарики:

диаметр 9.08 0.11 мкм

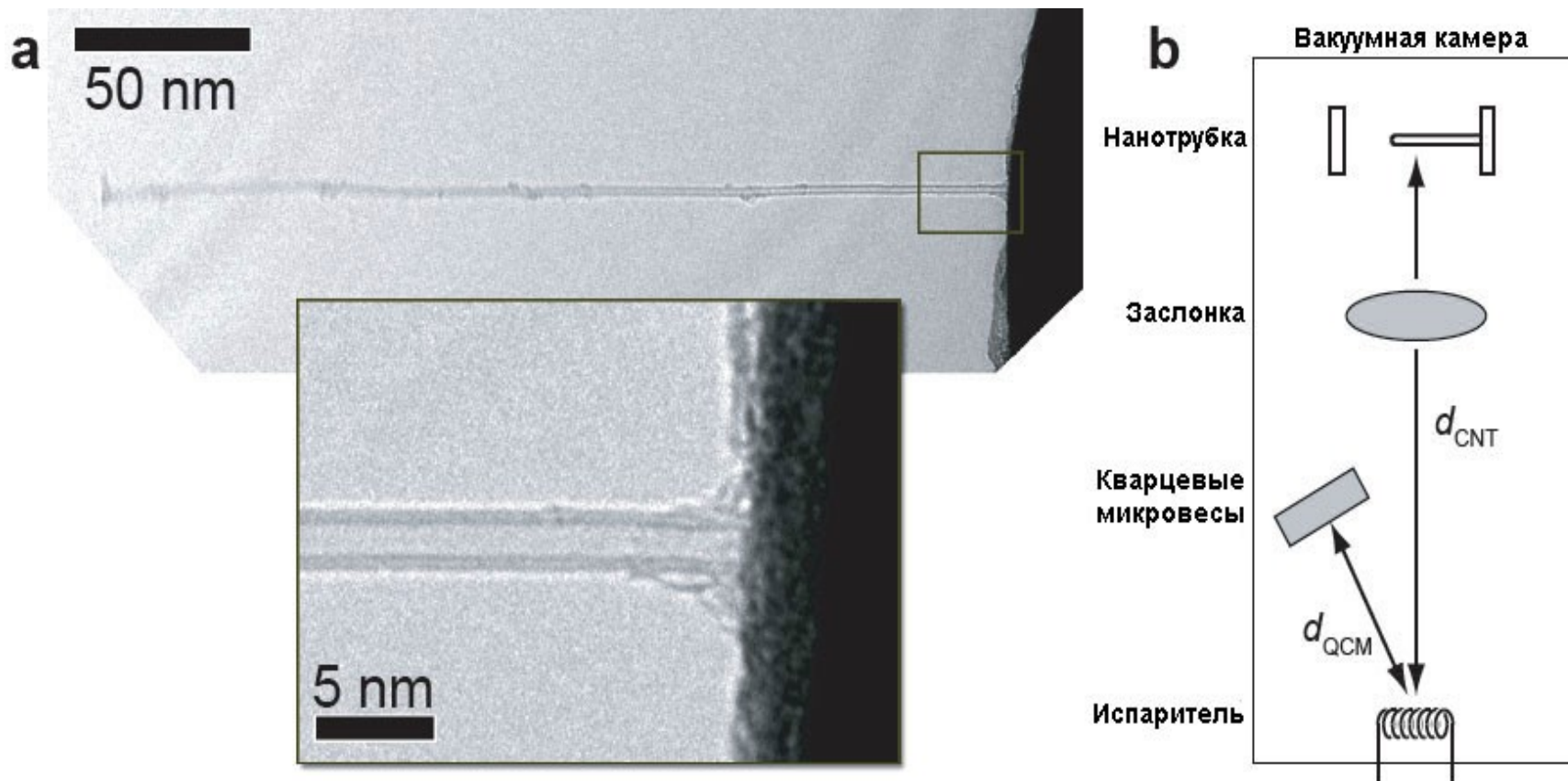
масса 470.1 1.73 пг

Измерение массы атома золота: схема установки



- Частота резонатора составила 328,5 МГц.
- Присоединение одного зептограмма массы (1 зептограмм (зг) = 10^{-21} г) соответствует уменьшению частоты резонатора на $\Delta f = 0,104$ МГц (то есть чувствительность резонатора равна 0,104 МГц/зг).

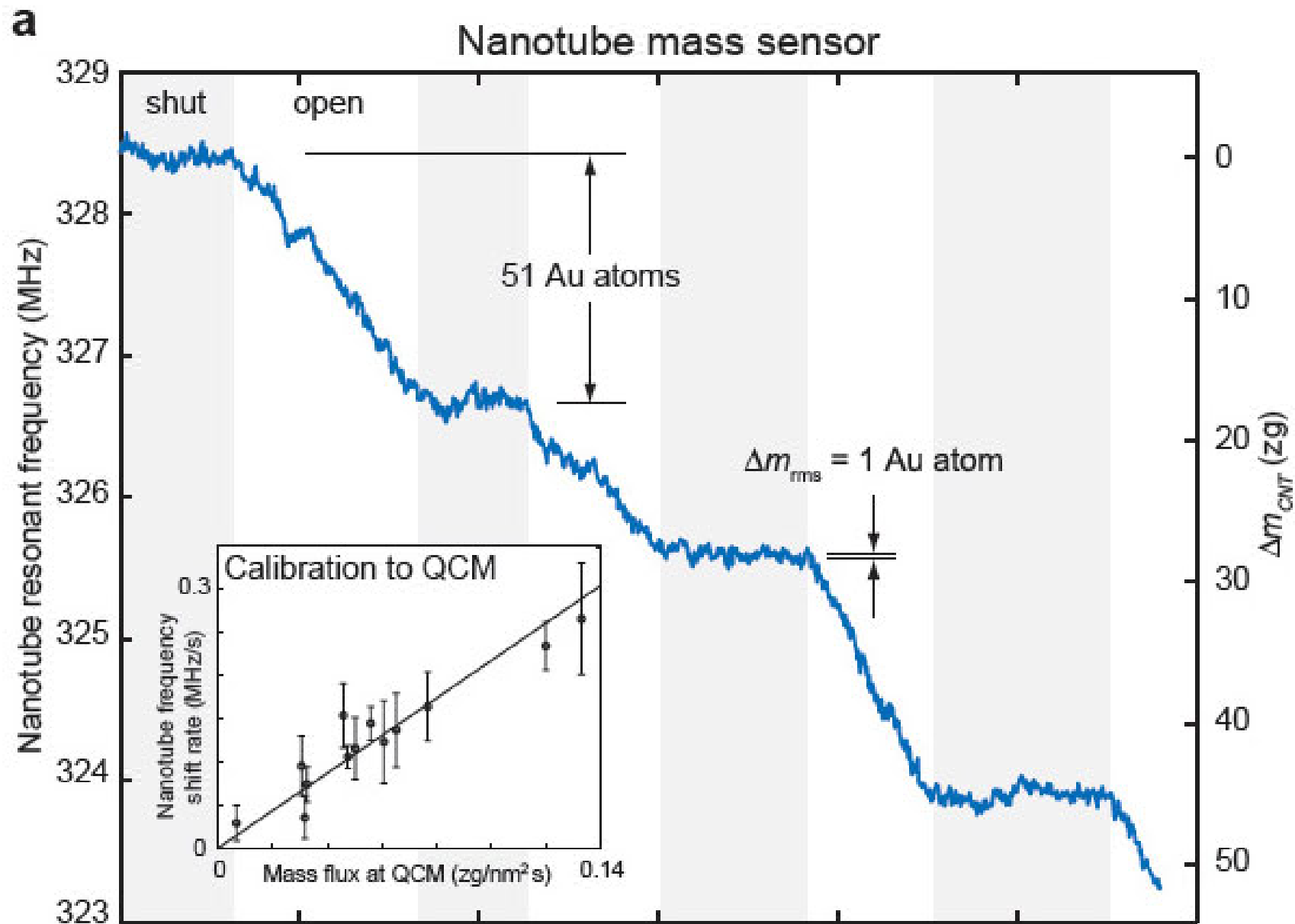
Измерение массы атома золота: использование нанотрубки в качестве измерительного элемента



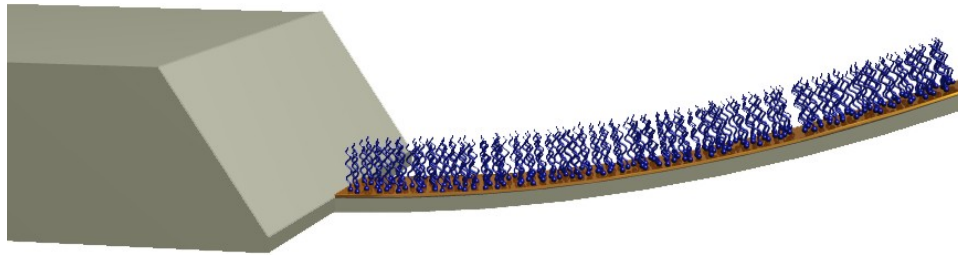
Устройство атомного сенсора массы

Nature Nanotechnology **3**, 533 - 537 (2008)

Измерение массы атома золота: результаты



Принцип работы микромеханических преобразователей



Резонансный режим

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$Q = \frac{f}{\Delta f}$$

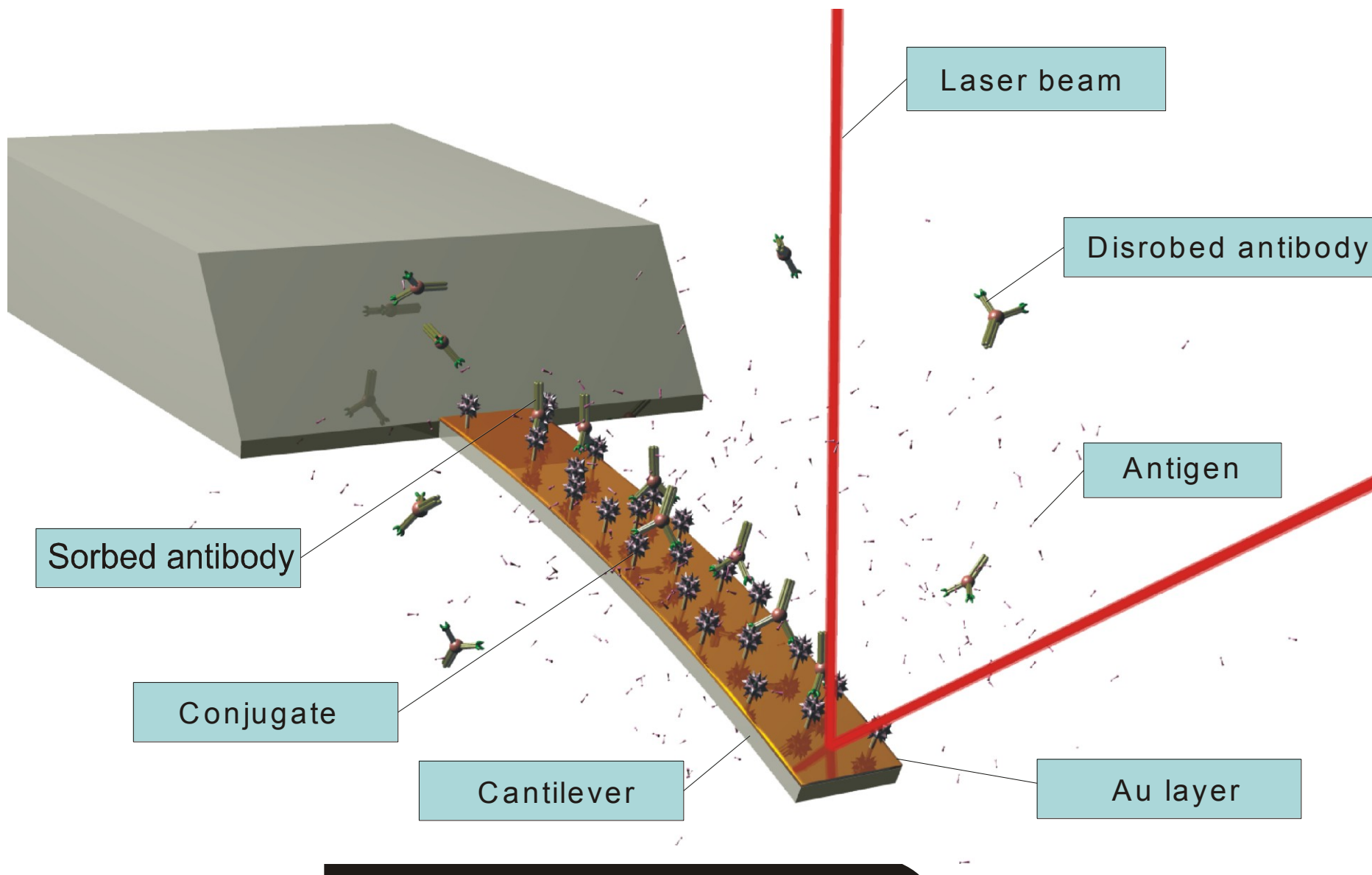
f – резонансная частота кантилевера,
 k – эффективная жёсткость,
 m – эффективная масса кантилевера,
 Q – добротность

Статический режим

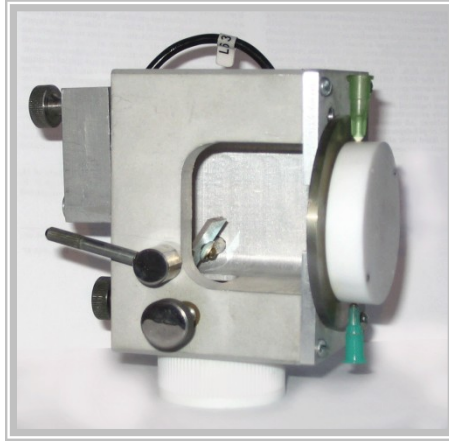
$$\Delta z = \frac{3 \cdot (1 - \nu) \cdot L^2}{E \cdot t^3} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

Δz – отклонение кантилевера,
 L, t – длина и толщина кантилевера,
 E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала кантилевера
 σ – поверхностное натяжение

Сенсор на основе кантилевера

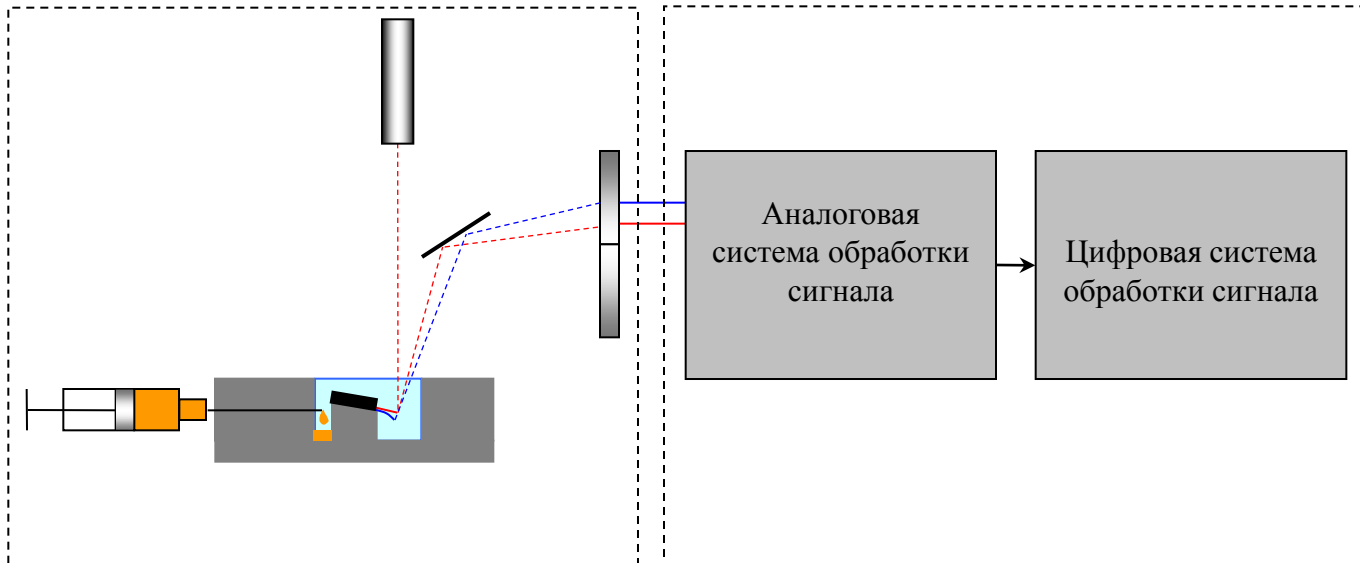


Экспериментальная установка для измерения поверхностных сил в пленках



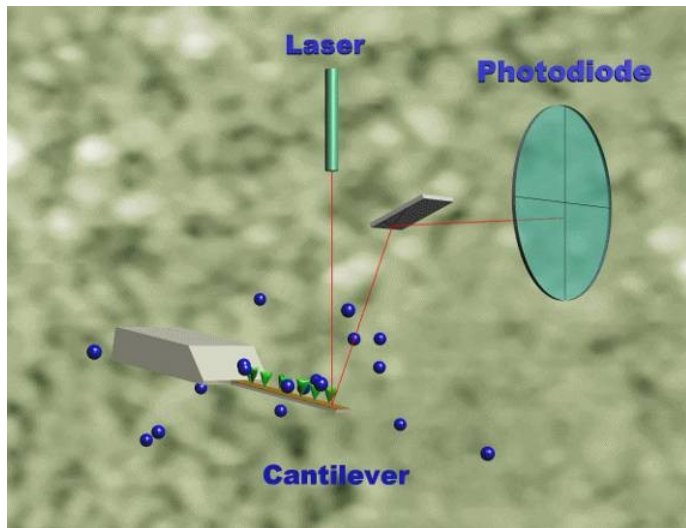
Механическая часть

Электронная часть



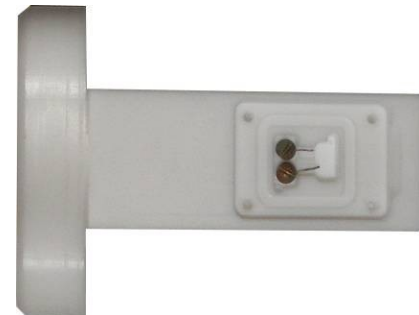
Измерение статического изгиба кантилевера

Принцип работы микромеханических преобразователей



$$\Delta z = \frac{L}{l} \Delta h \approx 200 \Delta h$$

z – положение кантилевера,
 L - длина оптического пути,
 l – длина кантилевера,
 h – положение луча на детекторе

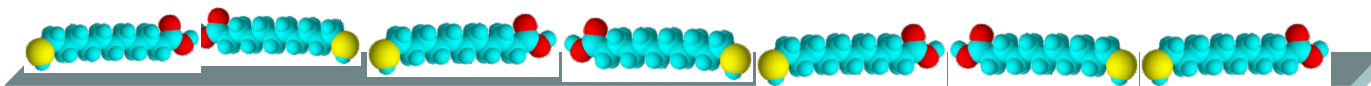


Стадии образования монослоев

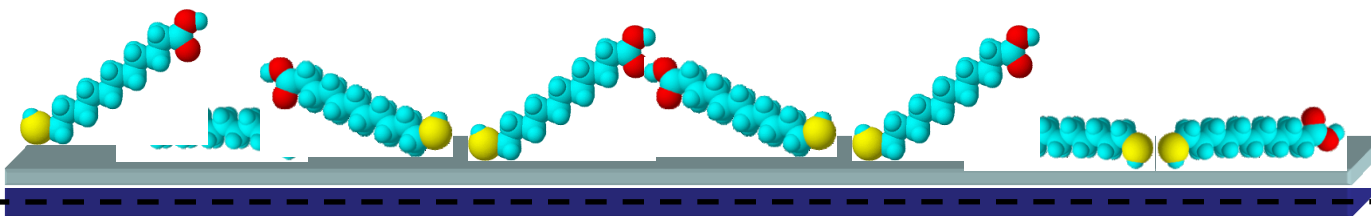
А



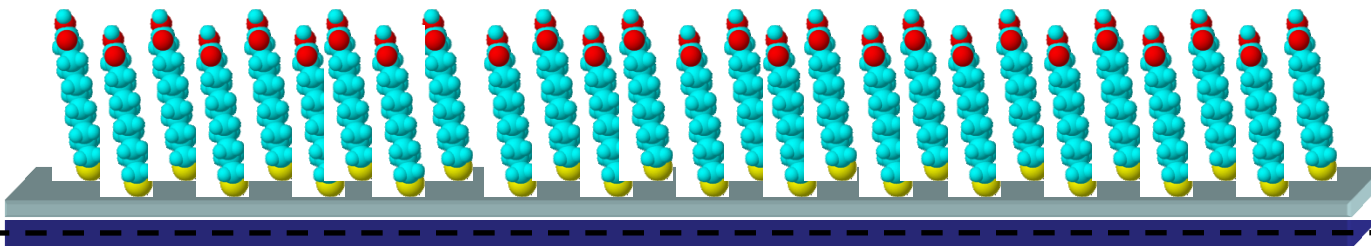
Б



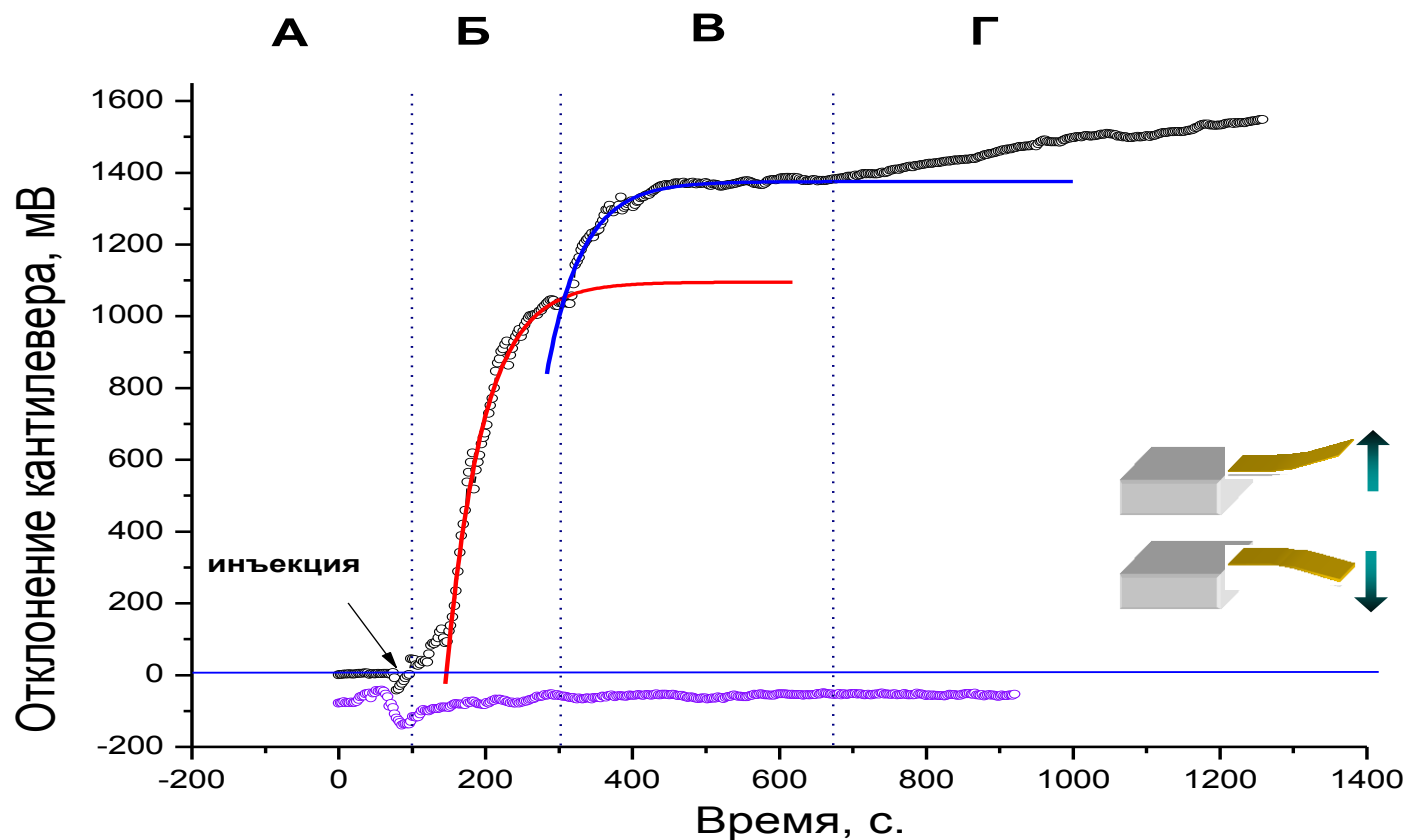
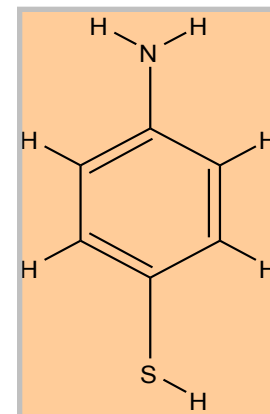
В



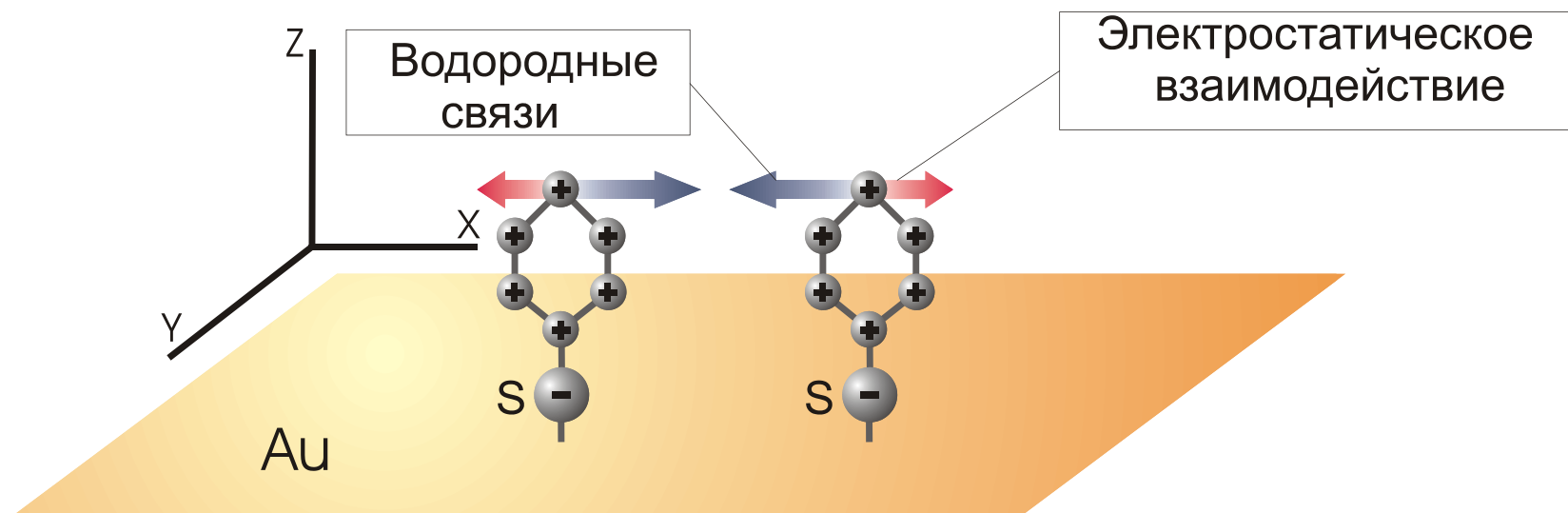
Г



Сорбция 4-аминотиофенола



Конкуренция взаимодействий между мономерами в процессе формирования пленки

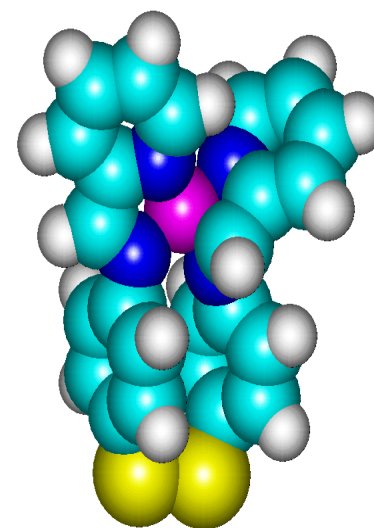
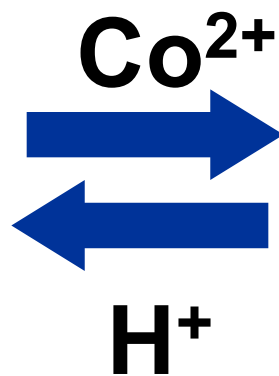
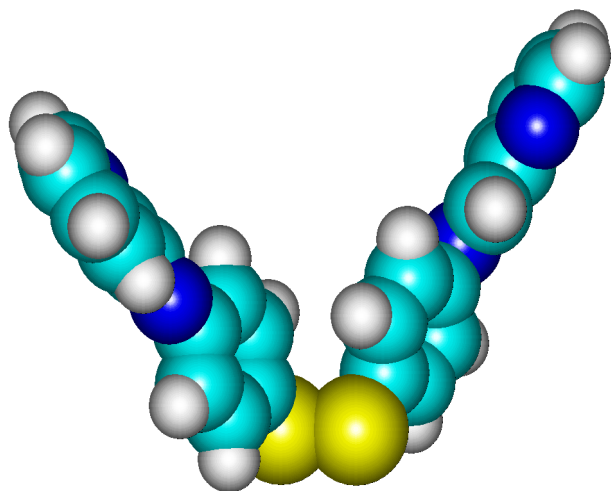
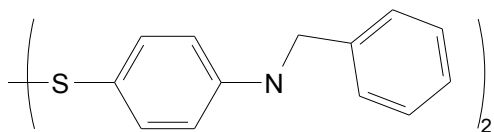


Сенсоры на ионы металлов

Co

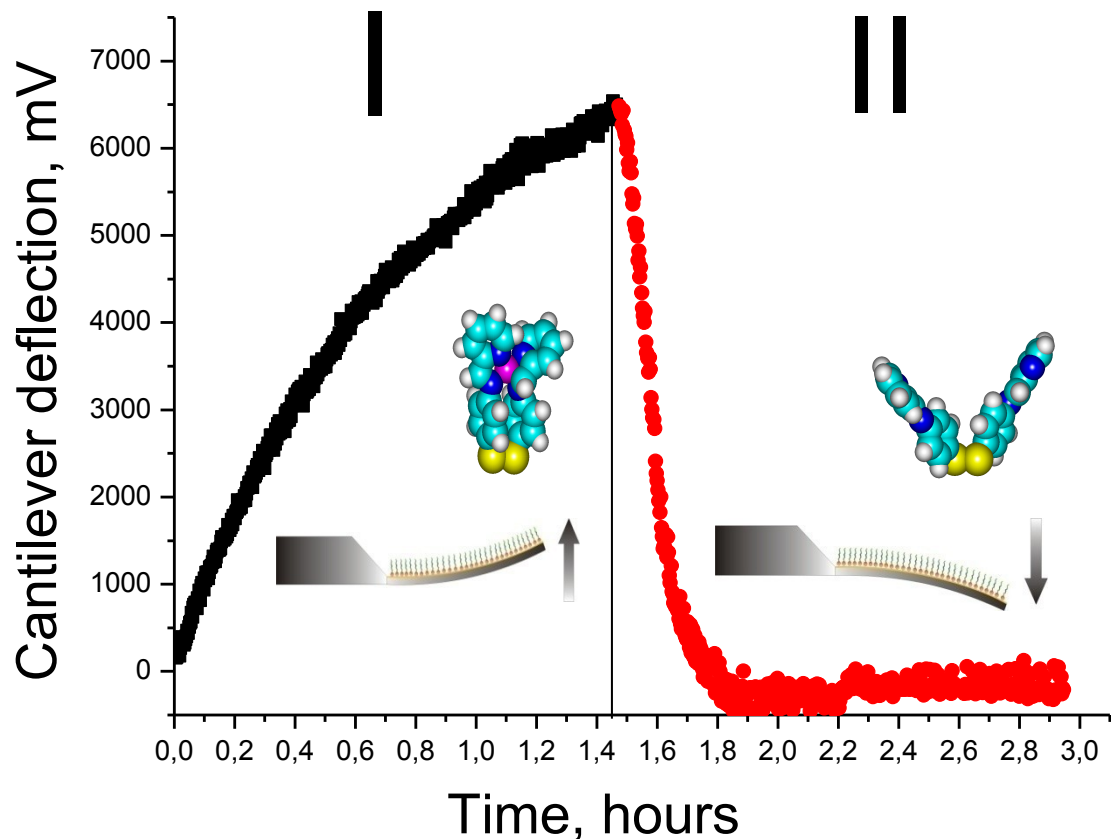
Pb

Cu



Формирование на поверхности кантилевера сенсорного слоя

Регистрация ионов кобальта с помощью химически модифицированного кантилевера



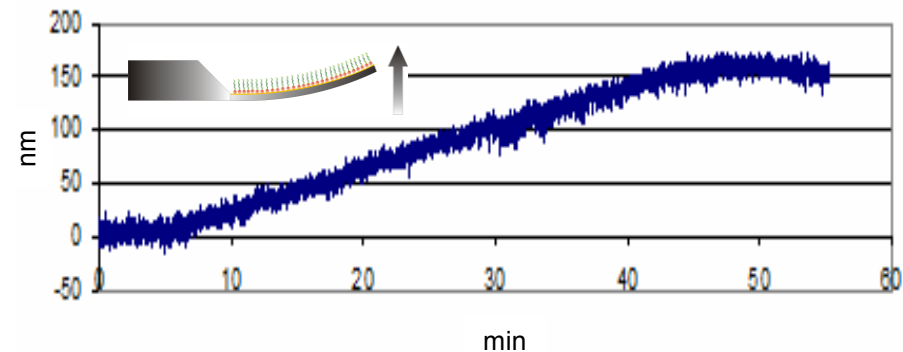
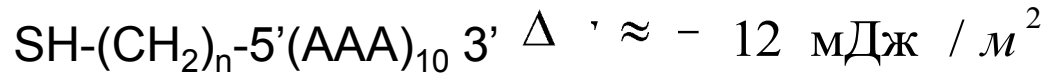
Кривая I – образование комплексов кобальт-тиол на поверхности кантилевера

Кривая II – диссоциация комплексов кобальт-тиол после введения 0.05M раствора HCl

Эксперименты с гомогенной ДНК

Буфер Трис-ЭДТА (pH 7,4 1M NaCl)

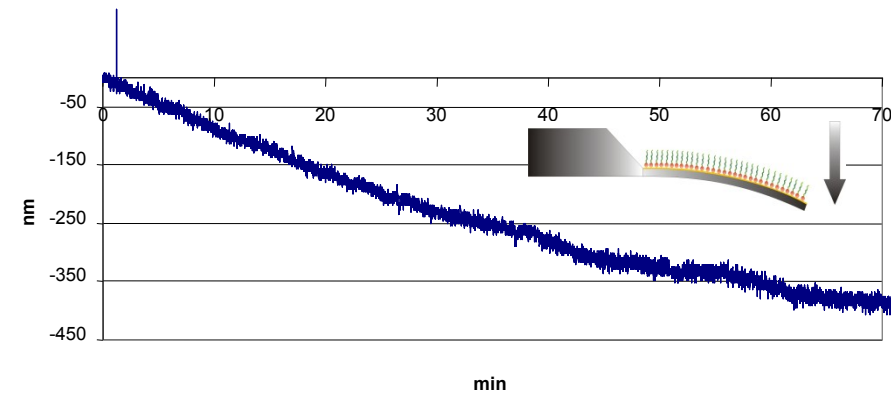
Иммобилизация поли-А



Гибридизация поли-А и поли-Т



$$\Delta \gamma \approx 298 \text{ мДж} / \text{м}^2$$

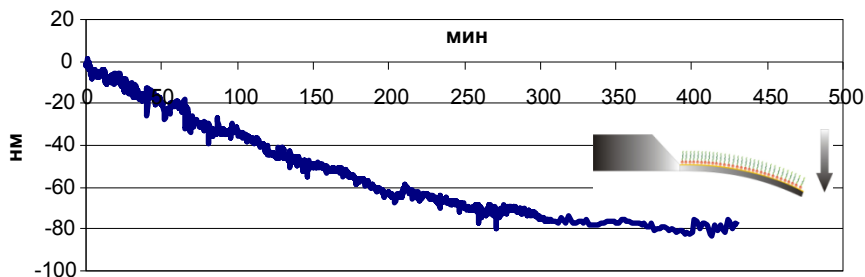


Эксперименты с гетерогенной ДНК

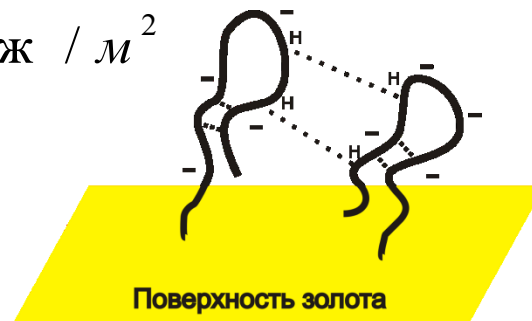
Буфер Трис-ЭДТА (pH 7,4 1M NaCl)

Иммобилизация ДНК

SH-(CH₂)_n-5'CTT TTT TTT CTT TCC TTC TAT TCG
AGA TCT CCT CGA

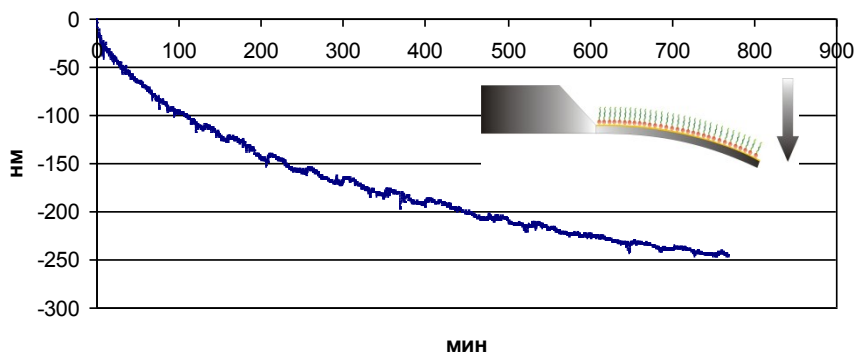


$$\Delta \gamma \approx 50 \text{ мДж} / \text{м}^2$$

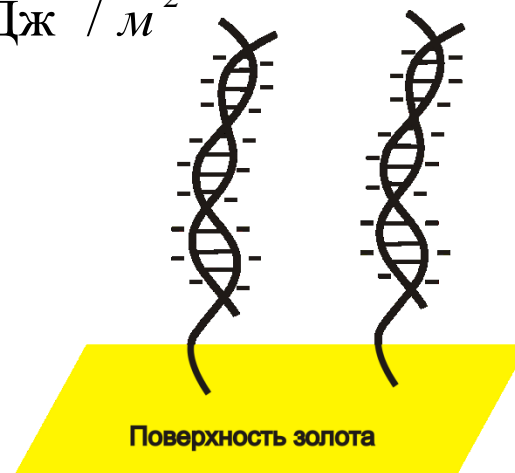


Гибридизация ДНК

3' TCG AGG AGA TCT CGA ATA GAA GGA AAG



$$\Delta \gamma \approx 186 \text{ мДж} / \text{м}^2$$



Balance

Спасибо!

