

Оптический пинцет (физика)

(решение задач блока ФИЗИКА, как и других блоков, позволит отобрать ТРЕХ человек на очный тур, набравших при решении задач ЭТОГО блока наибольшее количество баллов. Дополнительно по результатам очного тура эти претенденты будут бороться за специальную номинацию «Физика наносистем». На очный тур будет отобрано также еще 5 человек, набравших наибольшее абсолютное количество баллов, поэтому после решения задач по своей специальности есть полный смысл решать задачи из других блоков.)

На сегодняшний день так называемый метод оптического пинцета широко применяется для изучения микро- и нанообъектов. Этот метод заключается в захвате микрообъектов, помещенных в кювету с жидкостью, сильно сфокусированным лазерным пучком. Захват обеспечивается действием сил светового давления на частицу со стороны лазерного пучка. В большинстве случаев эффективный потенциал такой оптической ловушки вблизи положения устойчивого равновесия аппроксимируется потенциалом гармонического осциллятора. Колебания частицы, амплитуда которых, как правило, составляет не более сотни нанометров, регистрируются по смещению лазерного луча, рассеянного на захваченном объекте, с помощью четырехсекционного фотодиода. При этом считается, что показания позиционно-чувствительного диода прямо пропорциональны смещениям объекта. Метод оптического пинцета применяется также для определения упругих свойств макромолекул, например, ДНК и полимеров. Для этого один «конец» молекулы иммобилизуют на подложку, а на второй закрепляют сферическую микрочастицу, захватываемую с помощью «оптического пинцета».

Рассмотрим эксперимент по изучению упругих свойств некоторой линейной макромолекулы (см. рисунки). С одного конца макромолекула длиной $L=0.5\text{мкм}$ закреплена на подложке, к ее другому концу прикреплена сферическая частица диоксида кремния диаметром $D=1$ микрон. Система помещена в водную среду (динамическая вязкость $\eta=0.001$ Па*с) при комнатной температуре. Сферическая частица, находясь в положении равновесия, захватывается оптическим пинцетом. Сигнал с квадрантного фотодиода регистрируется четырехканальным аналого-цифровым преобразователем с частотой дискретизации 10кГц по каждому из каналов. В ходе эксперимента определяются автокорреляционные функции колебаний частицы по координатам x и y . Ось x совпадает направлением молекулы.

1. По графикам получаемых корреляционных функций (см. рисунки) оцените коэффициент жесткости оптической ловушки, а также коэффициент жесткости макромолекулы (5 баллов).

Далее ловушку начали отодвигать в положительном направлении вдоль оси x , при этом захваченная частица также начала менять свое местоположение.

2. Оцените максимально возможное смещение частицы, если длина волны лазера, используемого в эксперименте, равна 1064 нм (5 баллов).

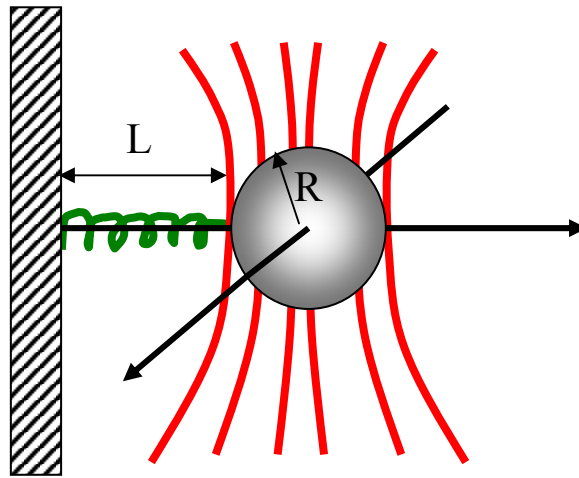


Рис. 1. Схема эксперимента.

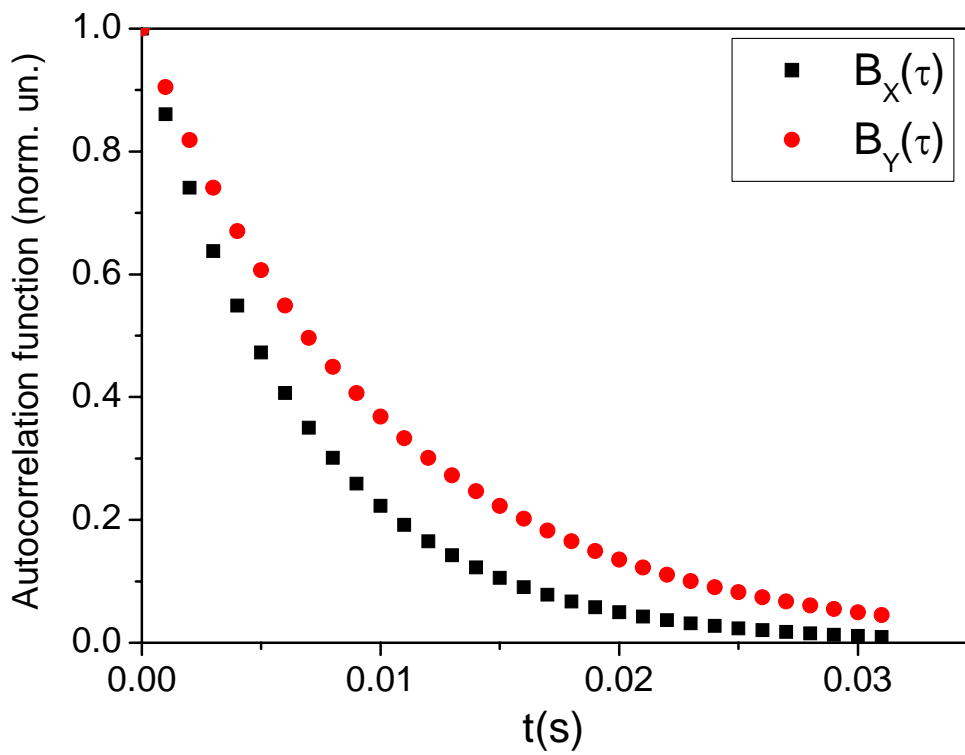


Рис. 2. Автокорреляционная функция колебания частицы в оптической ловушке.