

Нанофлуктуации в фотонно-силовом микроскопе

Сильносфокусированное лазерное излучение позволяет захватывать прозрачные объекты микронного и субмикронного размеров благодаря действию градиентных сил давления света. Суспензия изучаемых микрообъектов помещается в кювету с прозрачной жидкостью, как правило с водой. Этот метод получил название метода «оптического пинцета» («optical tweezers» - англ.) и в настоящее время широко применяется для изучения одиночных биологических клеток.

Размер оптической ловушки (R) по порядку величины составляет несколько длин волн излучения используемого лазера (как правило, $R \sim 1\text{-}5\text{ мкм}$). Важной характеристикой оптической ловушки является ее жесткость (k). Эффективная потенциальная яма, в которую попадает прозрачная частица, вблизи положения равновесия аппроксимируется потенциальной ямой гармонического осциллятора, жесткость которого и является эффективной жесткостью ловушки. В экспериментальных работах $k \sim 1\text{-}10\text{ пН/мкм}$.

Отдельным классом задач, решаемых с помощью метода оптического пинцета является так называемая «фотонно-силовая микроскопия» («photonic force microscopy» - англ.). Суть ее заключается в следующем: зная жесткость оптической ловушки, по смещению из положения равновесия определяют силу, действующую на частицу ($F = kx$). Такой метод позволяет измерять силы от десятков *фемто*ньютон до нескольких *пико*ньютон.

Рассмотрим следующий эксперимент. С помощью оптической ловушки, сформированной излучением непрерывного инфракрасного лазера (1064 нм), жесткость ловушки $k_z = 1\text{ пН/мкм}$, захвачена прозрачная частица диоксида кремния диаметром 2 мкм , покрытая случайным образом непрозрачными металлическими наночастицами размером 70 нм . Площадь покрытой области составляет 10% от площади поверхности всей частицы. Частица плавает в воде, находящейся при комнатной температуре. На поверхность частицы фокусируется излучение непрерывного лазера с длиной волны излучения 532 нм и мощностью 1 мВт , как показано на рисунке. Динамическая вязкость воды $\eta = 10^{-3}\text{ (Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2\text{)}$. Температуру считать комнатной.

Оценить регулярное смещение частицы диоксида кремния, вызванное давлением излучения со стороны зеленого лазера. Нагревом пренебречь. **(3 балла)**

Оценить среднее значение флуктуаций положения частицы в ловушке, вызванных давлением излучения зеленого лазера, по координате Z (см. рисунок), считая жесткость по другим направлениям: $k_x \gg k_z$, $k_y \gg k_z$. **(5 баллов)**

Как должны быть распределены наночастицы серебра по поверхности, чтобы флуктуации были максимальны? Минимальны? Оценить значения максимальных и минимальных флуктуаций. **(3 балла)**

Сравнить амплитуду флуктуаций с амплитудой броуновского движения захваченной частицы. **(5 баллов)**

РИСУНОК:

