

Четырехфотонная лазерная спектроскопия водных растворов биомолекул и наночастиц в микроволновом диапазоне частот

А.Ф. Бункин

Научный центр волновых исследований Института общей физики им. А.М.Прохорова,
 РАН, Москва, 119991, ул. Вавилова, 38.

abunkin@rambler.ru

Спектроскопия четырехфотонного рассеяния (ЧФР) была применена для регистрации вращательных резонансов молекул H_2O и H_2O_2 в водных растворах белков, ДНК, денатурированной ДНК и углеродных нанотрубок в диапазоне $\pm 250 \text{ см}^{-1}$ со спектральным разрешением 3 ГГц (0.1 см^{-1}). Метод состоит в фазировании в макроскопическом объеме гиперзвуковых и ориентационных движений молекул с помощью двух лазерных волн с частотами ω_1 и ω_2 , разность которых $(\omega_1 - \omega_2)$ сканируется в микроволновом диапазоне. Измеряемым параметром является состояние поляризации излучения на частоте $\omega_s = \omega_1 - (\omega_1 - \omega_2)$, нелинейный источник которого:

$$P_i^{(3)} = 6\chi_{ijkl}^{(3)}(\omega_s; \omega_1; \omega_2; -\omega_1) E_j^{(1)} E_k^{(2)} E_l^{(1)*} \quad (1)$$

Здесь $\chi^{(3)}$ – кубическая восприимчивость среды, пропорциональная корреляционной функции флуктуаций оптической анизотропии, $E^{(1)}$ и $E^{(2)}$ – амплитуды взаимодействующих полей, а интенсивность регистрируемого сигнала $I_s \propto |\chi^{(3)}|^2 I_1^2 I_2$.

В спектрах зарегистрированы резонансы вращательного спектра молекулы H_2O_2 , а также орто- и пара-изомеров молекулы H_2O . Обнаружен значительный рост резонансного вклада вращательных переходов этих молекул в растворе по сравнению с дистиллированной водой. Этот факт может быть интерпретирован как проявление специфических свойств гидратного слоя на границе воды с биомолекулами и углеродными нанотрубками. Анализ спектров ЧФР показал, что концентрация молекул H_2O_2 в гидратном слое молекулы ДНК выросла в 3 раза после денатурации. Были получены спектры ЧФР водных растворов белка α -химотрипсин в спектральном диапазоне $\pm 7 \text{ см}^{-1}$ и концентрациях от 0 до 20 мг/см^3 . Обнаружено, что скорость гиперзвука водного раствора белка, измеряемая по сдвигу компонент Мандельштама-Бриллюэна (МБ) в спектре рассеяния, имеет кубическую зависимость от концентрации и достигает 3000 м/с при 20 мг/см^3 .

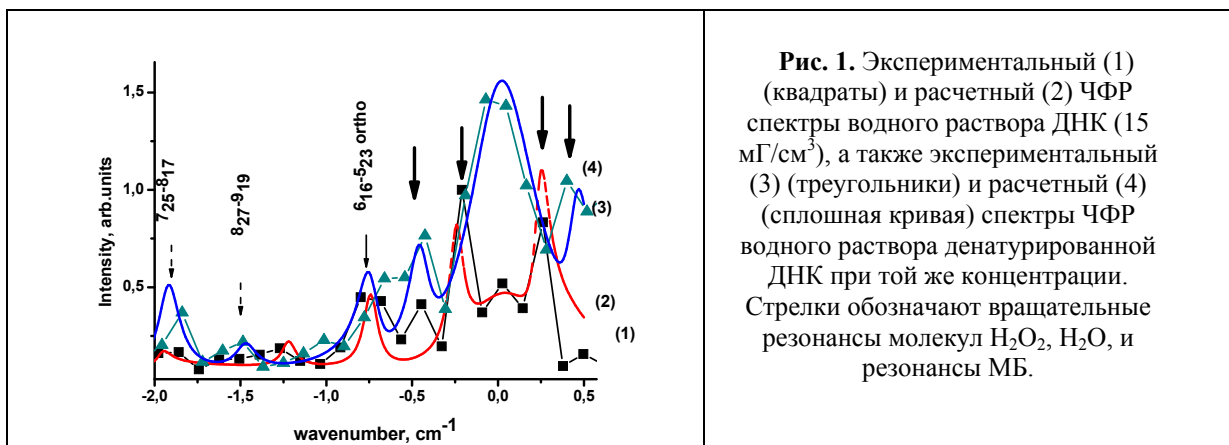


Рис. 1. Экспериментальный (1) (квадраты) и расчетный (2) ЧФР спектры водного раствора ДНК (15 мг/см^3), а также экспериментальный (3) (треугольники) и расчетный (4) (сплошная кривая) спектры ЧФР водного раствора денатурированной ДНК при той же концентрации. Стрелки обозначают вращательные резонансы молекул H_2O_2 , H_2O , и резонансы МБ.