ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Лю Наньнань
«Изучение механизмов тепловыделения в магнитных наночастицах, перспективных для лечения рака с помощью магнитной гипертермии: магнитотепловые свойства наночастиц феррита ZnMn», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений

Аспирантка **Лю Наньнань** проводила экспериментальные измерения магнитотепловых свойств наночастиц лаборатории динамических процессов кафедры физики колебаний под моим руководством с начала 2020 года. Ее деятельность была посвящена изучению и оптимизации метода магнитной гипертермии и проходила в рамках сотрудничества по данной тематике нашей лаборатории с коллегами кафедры общей физики и физики конденсированного состояния.

За время работы в лаборатории Лю Наньнань успешно освоила методы измерения магнитотепловых свойств, настройки радиочастотного генератора переменного магнитного поля, аналитические и численные методики обработки кривых Бокса-Люкаса, а также способы расчета удельной поглощенной мощности SAR. Параллельно в лабораториях коллег она теоретически изучала различные механизмы магнитной гипертермии, осваивала методы синтеза магнитных наночастиц, выполняла основной объем работ по суммированию полученных результатов и оформлению их в публикации.

Основные результаты диссертации Лю Наньнань относятся к выбору оптимального сочетания параметров магнитного поля и образцов наночастиц. В магнитной гипертермии, как и в любой медицинской практике, одной из главных проблем остается баланс между лечебным воздействием и побочными эффектами: переменные магнитные поля вызывают как полезный эффект нагрева магнитных наночастиц, так и нежелательный нагрев здоровых биологических тканей.

Паразитный нагрев возникает за счет электромагнитной индукции Фарадея, величина которой пропорциональна производной магнитного поля по времени. Из этих соображений был сформулирован так называемый критерий Брезовича: произведение амплитуды поля на его частоту не должно превышать 10^9А/(м·с). Если увеличивать частоту магнитного поля, нужно уменьшать его амплитуду и наоборот. Так возникает дилемма: чему отдать предпочтение – большему полю или большей частоте?

Механизмы нагрева наночастиц в переменном магнитном поле отличаются от индукционных и бывают нескольких видов: для малых (<10 нм) частиц преобладает магнитная релаксация, для более крупных частиц уже становятся заметны потери на гистерезис. Обычно при использовании в гипертермии отдают предпочтение суперпарамагнитным наночастицам, для которых характерен релаксационный механизм, однако механизм,

характерный для более крупных частиц и связанный с потерями на гистерезис, также представляет большой практический интерес, поскольку площадь частной петли гистерезиса возрастает как четвертая или даже пятая степень амплитуды переменного магнитного поля. Это позволяет уменьшать частоту, увеличивая амплитуду магнитного поля, оставляя неизменным и равным пределу Брезовича их произведение, оптимизируя при этом нагрев наночастиц и минимизируя паразитный нагрев биологических тканей.

За время работы в лаборатории Лю Наньнань проявила феноменальную трудоспособность и ответственность в выполнении поручений. Несмотря на объективные трудности, связанные с работой в иной языковой среде и культуре, она упорно продвигалась вперед и стала квалифицированным экспериментатором и специалистом по магнитным материалам.

По теме диссертации ею опубликовано 7 статей в реферируемых научных изданиях. Лю Наньнань неоднократно выступала на российских и международных научных конференциях, участвовала в летних школах для молодых ученых.

Считаю, что диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, соответствует специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений и удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова». Рекомендую диссертационную работу Лю Наньнань к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по 1.3.12 Физика магнитных явлений.

Научный руководитель,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН, Пятаков А.П.
профессор кафедры физики колебаний
физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Подпись Пятакова А.П. удостоверяю: