

## Дисипація енергии ферромагнітної наночастици в вязкій жидкості под дієствием переменного внешнього поля

Заїка А.В., студент; Лютий Т.В., докторант  
Сумський національний університет, м. Суми

Одним из самых примечательных применений ферромагнитных жидкостей [1] является метод магнитной гипертермии в терапии раковых заболеваний [2]. В данном методе нагревание ткани происходит за счет поглощения энергии переменного поля магнитными наночастицами. Непосредственное превращение в тепловую энергию для достаточно крупных наночастиц ( $> 20$  нм) реализуется посредством трения вращающейся в вязкой среде частицы. При этом тепловыми флуктуациями можно пренебречь для практических интересных временных масштабов.

В данной работе рассмотрено сферическое регулярное движение ферромагнитной наночастицы под действием внешнего поля вида

$$\mathbf{H} = h(\mathbf{e}_x \cos \Omega t + \mathbf{e}_y \sigma \sin \Omega t) + \mathbf{e}_x H_x + \mathbf{e}_z H_z, \quad (1)$$

где  $h$  и  $\Omega$  – амплитуда и частота поля, соответственно,  $\mathbf{e}_{x,y,z}$  – орты декартовой системы координат,  $\sigma = 1$  для циркулярно-поляризованного поля и  $\sigma = 0$  для линейно-поляризованного поля,  $H_{x,z}$  – статические поля вдоль соответствующих осей. Исходное положение магнитного момента относительно системы координат задается углами  $\theta_0$  и  $\varphi_0$ .

Скорость нагревания среды определяется поглощаемой мощностью  $q$  на единицу объема наночастицы, которая зависит от траектории частицы. Были найдены аналитические выражения для величины  $q$  в случае малых частот для циркулярно-поляризованного поля, а также в случае больших частот для циркулярно- и линейно-поляризованного полей. Численно получены данные для произвольных амплитуд и частот переменного поля. Проанализировано влияние параметров  $H_{x,z}$  и  $\theta_0$  на поглощаемую мощность; указаны условия, при которых статические поля могут увеличивать или уменьшать  $q$ .

1. M.I. Shliomis, *Sov. Phys. Usp.* **17**, 153 (1974).
2. Q.A. Pankhurst, J. Connolly, S.K. Jones, J. Dobson, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36**, R167 (2003).