

## Режимы вращательного движения ферромагнитной наночастицы в вязкой жидкости под действием внешнего поля

Денисов С.И., *проф.*; Подосинная А.В., *студ.*;  
Лютый Т.В., *докторант*  
Сумский государственный университет, г. Сумы

Понимание регулярной динамики ферромагнитной наночастицы в вязкой среде под действием внешнего магнитного поля имеет большое значение для описания свойств феррожидкостей. В частности, интерес представляет задача о сферическом движении наночастицы или, другими словами, движении с неподвижным центром масс. Такое движение, возбуждаемое переменным во времени пространственно-однородным магнитным полем  $\mathbf{h} = \mathbf{h}(t)$ , описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{m}} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{m}, \\ I\dot{\boldsymbol{\omega}} = \mathbf{m} \times \mathbf{h} - 8\pi\eta n^3 R^3 \boldsymbol{\omega}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mathbf{m} = \mathbf{m}(t)$  – вектор магнитного момента частицы,  $\boldsymbol{\omega} = \boldsymbol{\omega}(t)$  – вектор ее угловой скорости,  $I = \frac{8}{15}\pi\rho R^5$  – момент инерции частицы ( $\rho$  и  $R$  – ее плотность и радиус),  $\eta$  – вязкость жидкости,  $n$  – коэффициент, определяющий гидродинамический радиус.

Путем аналитического и численного решения уравнений (1) установлено, что во вращающемся магнитном поле  $\mathbf{h} = h(\mathbf{e}_x \cos \Omega t + \mathbf{e}_y \sin \Omega t)$  ( $h$  и  $\Omega$  – амплитуда и частота поля,  $\mathbf{e}_{x,y}$  – орты декартовой системы координат), частота которого меньше критической

$$\Omega_{\text{cr}} = mh/8\pi\eta n^3 R^3,$$

частица совершает вращательное движение с периодом внешнего поля, причем ее магнитный момент лежит в плоскости  $xu$ . Если же условие  $\Omega < \Omega_{\text{cr}}$  нарушается, тогда характер установившегося движения частицы сильно меняется. Так, например, все три угловые координаты частицы становятся периодическими функциями времени, зависимость периода которых от амплитуды и частоты вращающегося поля была исследована численно. Показано также, что при достаточно большой частоте поля вращательное движение частицы приобретает колебательный характер.