

ДИНАМИКА ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В ЖИДКОСТИ

Лютый Т.В., доцент; Рева В.В., студент

Ферромагнитными жидкостями называют дисперсные структуры, которые содержат частички ферромагнитного материала, взвешенные в жидкости [1]. Такие объекты сочетают в себе одновременно свойства жидкости (текучесть, вязкость, поверхностное натяжение и т.д.), и свойства ферромагнетика (большая магнитная проницаемость, наличие внутреннего магнитного поля, управляемость с помощью внешнего магнитного поля). Указанное сочетание делает ферромагнитные жидкости чрезвычайно притягательными для всевозможных применений, спектр которых простирается от подачи ракетного топлива в условиях невесомости до адресной доставки лекарственных препаратов в организме человека [2] и методов сепарации макромолекул [2, 3].

В то же время, теоретическое описание таких систем есть чрезвычайно сложной задачей. В случае приближения сплошной среды многие аспекты освещены в [1], однако в настоящее время все большую актуальность приобретают системы, свойства которых невозможно задать, не учитывая дисперсный характер. Поэтому целью данной работы является изучение динамики ферромагнитных наночастиц на основе микроскопического подхода, в рамках которого рассматриваются все факторы, действующие на магнитный момент наночастицы. В частности, учитывается дипольное взаимодействие: полагается, что j -ая наночастица в месте расположения i -ой создает дипольное поле

$$H_i = \frac{3\mathbf{r}(m_j r) - r^2 m_j}{r^5}, \quad (1)$$

где \mathbf{r} – радиус-вектор, соединяющий центры двух частиц, \mathbf{m}_j – величина магнитного момента. Это поле обуславливает как ориентирующее действие на \mathbf{m}_i , что выражается наличием момента $\mathbf{N}_i = \mathbf{H}_i \times \mathbf{m}_i$, так и действие, обуславливающее смещение в пространстве, что выражается силой $\mathbf{F}_i = \mathbf{m}_i \cdot \text{div } \mathbf{H}_i$. В этом случае будут иметь место: 1) вращение наночастицы, 2) вращение магнитного момента, не связанное с механическим движением (описывается уравнением Ландау-Лифшица), и 3) дрейф наночастицы. В свою очередь, наличие дрейфа приведет к действию силы вязкого трения.

Решая численно полученную систему уравнений движения были получены временные зависимости координат и магнитных моментов двух наночастиц.

1. Р. Розенцвейг, Феррогидродинамика (М: Мир: 1989).
2. Q.A. Pankhurst, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. **36**, R167 (2003).
3. V.J. Kim, et al., Adv. Mater. **22**, 57 (2010).