



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 1. Наночастицы для спинтроники

1. На магнитный диполь в постоянном магнитном поле действует момент сил, ориентирующий магнитный момент диполя по направлению приложенного поля \mathbf{B} . Если диполь прошел положение равновесия по инерции, то возникающий момент сил будет возвращать диполь обратно к положению равновесия. Поведение будет аналогично поведению стрелки компаса в магнитном поле или витку с током в магнитном поле.
2. Угловое ускорение можно найти из уравнения моментов: $I\beta = N$, где I — момент инерции, β — угловое ускорение, N — момент сил. В начальный момент сил $N = \mu B$, а момент инерции можно рассчитать, полагая стержень тонким, т. к. $h \gg R$, а наночастицы точечными массами, т. к. $h \gg r$. Момент инерции $I = \left(\frac{Ml^2}{12} + 2m \left(\frac{l}{2} \right)^2 \right)$, где M — масса стержня, а m — масса наночастицы. Найдем массы: $M = \rho h \pi R^2 = 7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot 3.14 \cdot (4 \cdot 10^{-9} \text{ м})^2 \approx 3.52 \cdot 10^{-20} \text{ кг} = \rho \frac{4}{3} \pi R^3 = 10 \cdot 10^3 \frac{\text{кг/м}^3 \cdot 4 \cdot 3.14}{3} \cdot (3 \cdot 10^{-9} \text{ м})^3 \approx 1.1 \cdot 10^{-21} \text{ кг}$. Таким образом, вклад в момент инерции стержня больше почти в 6 раз. В дальнейшем ограничимся вкладом стержня. Угловое ускорение: $\beta = \frac{\mu B}{I} = \frac{10^{-17} \text{ Дж/Тл} \cdot 10^{-4} \text{ Тл}}{\frac{3.5}{12} \cdot 10^{-20} \text{ кг} \cdot 10^{-14} \text{ м}} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ рад/с}^2$.
3. Для того чтобы магнитный диполь вращался вокруг оси, необходимо приложить переменное магнитное поле. Частота изменения магнитного поля не должна быть больше частоты собственных колебаний магнитного диполя, т. е. действие момента сил за время движения к положению равновесия должно иметь один знак, иначе магнитный диполь будет колебаться возле одного положения. Из пункта 2 следует, что стержень повернется за $T/4$ на угол $\pi/2$ за время не менее чем $t = \sqrt{\frac{\pi}{\beta}} = 3 \cdot 10^{-7} \text{ с}$ (оценка следует из предположения о равноускоренном движении). Таким образом частота не должна превышать $\nu = \frac{1}{T} \approx 10^6 \text{ Гц}$.