

01;05;09

## Тепловое флуктуационное электромагнитное поле в среде как источник ее магниточувствительности

© Ю.А. Карташов, И.В. Попов

Северо-Западный заочный политехнический институт, С.-Петербург

Поступило в Редакцию 23 июля 1999 г.

Решена так называемая проблема  $kT$  между тепловыми колебаниями и магниточувствительностью конденсированной среды: при действии магнитного поля на любую свободную заряженную частицу, находящуюся в тепловом флуктуационном электромагнитном поле конденсированной среды, возникает вращающий момент, одинаково направленный для всех частиц среды, знак заряда которых одинаков. При этом величина вращающего момента пропорциональна тепловой энергии  $kT$  и может существенно увеличиваться при выполнении условия циклотронного резонанса.

В настоящее время существует несколько теорий магниточувствительности конденсированных сред [1], в том числе и биологических [2]. При этом непреодолимой для авторов трудностью является так называемая "проблема  $kT$ ". Эта проблема состоит в том, что потенциальная энергия магниточувствительной частицы (молекулы, атома, протона и пр.) в магнитном поле (МП) очень мала по сравнению с ее тепловой энергией даже в случае очень больших МП.

В настоящей работе делается попытка подойти к решению проблемы с другой стороны, используя тепловое электромагнитное поле (ЭМП) как источник движения заряженной частицы. При таком рассмотрении проблемы, как показано в данной работе, в среде, помещенной в МП, возникает вращающий момент, одинаково направленный для всех частиц, знак заряда которых одинаков. Эта ситуация является аналогией появления малой дрейфовой скорости на фоне громадных тепловых скоростей в проводящей среде в слабом электрическом поле (ЭП).

Рассмотрим динамику движения свободной частицы зарядом  $q$  и массой  $m_0$  (молекулы, атома, протона и пр.) в ЭМП

$$m_0 \frac{d\mathbf{V}}{dt} = -\frac{m_0}{\tau} \mathbf{V} + q\mathbf{V} \times \mathbf{B} + q\mathbf{E}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{V}$  — скорость частицы;  $\tau$  — время ее релаксации в среде;  $\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}$ , где  $\mathbf{B}_0$  — постоянная и  $\mathbf{B}$  — переменная индукций МП, причем  $\mathbf{B}_0 \parallel \mathbf{B}$ ;  $\mathbf{E}$  — напряженность равновесного теплового флуктуационного ЭП в среде.

Решение (1) в спектральном представлении имеет вид

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{V}} = & \frac{q}{m_0} \exp\left(-\frac{t}{\tau} + i\frac{q}{m_0} \int_0^t B dt'\right) \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{e}(\omega) d\omega \left[ \exp\left(i\omega t' + \frac{t'}{\tau} + i\frac{q}{m_0} \int_0^{t'} B dt''\right) dt' \right] \\ & + \tilde{V}_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau} - i\frac{q}{m_0} \int_0^t B dt'\right), \end{aligned} \quad (2)$$

где введена система декартовых координат с осью  $z$ , направленной вдоль  $\mathbf{B}_0$ ;  $\tilde{\mathbf{V}} = V_x + iV_y$ ,  $\tilde{V}_0$  — значение  $\tilde{V}$  при  $t = 0$ ;  $\tilde{\mathbf{E}} = E_x + iE_y = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{e}(\omega) \exp(i\omega t) d\omega$ .

Рассмотрим случай периодического МП. Решение (2) примет вид (полагаем  $t \gg \tau$ )

$$\tilde{\mathbf{V}} \simeq \frac{q}{m_0} \sum_{\nu, n=-\infty}^{\infty} b_n b_\nu^* \exp(-i\nu\Omega t) \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{e}(\omega) \frac{\exp[i(\omega + n\Omega)t]}{1/\tau + i(\omega + \Omega_c + n\Omega)} d\omega, \quad (3)$$

где

$$\sum_{-\infty}^{\infty} b_n \exp(in\Omega t) = \exp\left(i\frac{q}{m_0} \int_0^t \tilde{B} dt'\right),$$

$\Omega_c = (q/m_0)B_0$  — циклотронная частота,  $\Omega$  — частота колебаний МП.

Найдем среднее по ансамблю значение  $z$ -й компоненты вращающего момента со стороны сил Кулона.

$$\mathbf{M}_z = \overline{(\mathbf{r} \times q\mathbf{E})_z} = q \overline{(xE_y - yE_x)} = (q/2i) (\overline{\tilde{\rho}^* \tilde{E}} - \overline{\tilde{\rho} \tilde{E}^*}), \quad (4)$$

где  $\mathbf{r}$  — радиус-вектор частицы,  $\tilde{\rho} = x + iy = \int \tilde{V} dt$ , \* — знак комплексного сопряжения.

Чтобы провести усреднение в выражении (4), учтем флуктуационно-диссипационную теорему [3], тогда имеем

$$\overline{\tilde{e}^*(\omega)\tilde{e}(\omega')} = \frac{2}{3}g_E(\omega)\delta(\omega - \omega'),$$

где

$$g_E(\omega) = 3m_0\theta(\omega, T)/\pi q^2\tau,$$

$$\theta(\omega, T) = \hbar\omega/2 + \hbar\omega/[\exp(\hbar\omega/kT) - 1]$$

— средняя энергия квантового осциллятора. Для упрощения математических преобразований в дальнейшем будем полагать, что  $\hbar\omega \ll kT$ . В таком случае вращающий момент составит

$$\begin{aligned} \overline{M}_z = & -\frac{2kT}{\tau} \left\{ \sum_{\nu, n=-\infty}^{\infty} b_n^* b_\nu \frac{\exp[-i(n-\nu)\Omega t]}{1/\tau - i(\Omega_c + \nu\Omega)} \right. \\ & \left. - \sum_{\nu, n=-\infty}^{\infty} b_n b_\nu^* \frac{\exp[i(n-\nu)\Omega t]}{1/\tau + i(\Omega_c + \nu\Omega)} \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

В частности, в случае действия только постоянного МП ( $b_n = \delta_{n0}$ , где  $\delta_{n0}$  — символ Кронекера), из выражения (5) получим

$$\overline{M}_z = -\frac{2kT\Omega_c\tau}{1 + \Omega_c^2\tau^2}. \quad (6)$$

Отметим, что знак в выражениях (5) и (6) показывает, что  $\overline{M}_z$  направлен противоположно  $\mathbf{B}_0$  для положительно заряженной частицы. Из этих выражений следует, что на свободную заряженную частицу в конденсированной среде действует периодический, с частотой переменного МП, либо постоянный (если переменное МП отсутствует) вращающий момент  $\overline{M}_z$ , пропорциональный тепловой энергии  $kT$ . При этом, как видно из (5),  $\overline{M}_z$  может существенно увеличиваться, если выполняется условие

$$\Omega_c + n\Omega = 0 \quad (7)$$

и время релаксации  $\tau \gg 1/\Omega_c$ . Условие (7) — это условие экспериментально обнаруженного циклотронного резонанса [4].

Момент  $\overline{M}_z$  приводит, в свою очередь, к появлению крутящих моментов в сетке связей среды (например, в сетке водородных связей)

и, следовательно, к изменению ее структуры. Так как вышеуказанный момент пропорционален  $kT$ , то при повышении температуры влияние МП на структуру вещества увеличивается (разумеется, до тех пор, пока эта структура не разрушена флуктуационными колебаниями). Таким образом, теряет смысл сама постановка "проблемы  $kT$ " — нет противоречия между тепловыми колебаниями и магниточувствительностью среды. Напротив, магниточувствительность возникает благодаря тепловым колебаниям.

Отметим, что с указанными вращающими моментами, по-видимому, связано явление "омагничивания воды" [1] при ее движении в МП, так как наличие  $\overline{M}_z$  будет уменьшать микромасштаб турбулентности, что приведет к изменению адсорбционных и других свойств воды. Возможно, с действием вращающих моментов на фоне дефектов Бьеррума связано явление "памяти воды" [5]. Так как живое на Земле возникло и эволюционировало в условиях геомагнитного поля, то органическая структура жизни при изменении  $\overline{M}_z$  в условиях гипомангнитного поля будет существенно нарушена [6].

Отметим, что если провести рассмотрение в соответствии с (2) и (4) для случая амплитудно-модулированного МП, то можно обнаружить экспериментально наблюдаемое явление циклотронного резонанса на частоте модуляции [7].

Нетрудно понять, что и тепловое флуктуационное МП в среде также будет вызывать вращающий момент, величина которого будет пропорциональна в общем случае более высокой степени  $kT$ , чем в (5).

В заключение следует подчеркнуть, что, как видно из проведенного выше рассмотрения, на колеблющуюся в МП заряженную частицу в среде будет действовать вращающий момент независимо от природы сил, вызывающих ее колебания.

## Список литературы

- [1] *Класен В.И.* Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982. 296 с.
- [2] *Новиков В.В., Жадин М.Н.* // Биофизика. 1994. Т. 39. В. 1. С. 45–49.
- [3] *Рытов С.М.* Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1966. 404 с.
- [4] *Liboff A.R., Smith S.D., McLeod B.R.* // Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living System. N.Y.,L.: Plenum Press, 1987. P. 109.

- [5] *Березин М.В., Лятин Р.Р., Салецкий А.М.* Препринт МГУ. Физич. фак. № 21. М., 1988. 14 с.
- [6] *Копанев В.И., Шакула А.В.* Влияние гипомагнитного поля на биологические объекты. Л.: Наука, 1985. 241 с.
- [7] *Adey W.R.* // Proceedings IEEE. 1980. V. 68. N 1. P. 119.