

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ МОДЕЛИ
В.В.ЛЕДНЕВА

Панчелюга В.А.

ИТЭБ РАН

Пушино, 23 марта 2010 г.

Первая публикация. 1989г.:

В.В. Леднев Возможный механизм влияния слабых магнитных полей на биосистемы.
// Препринт. Институт биологической физики, Пущино, 1989 – 7 с.

Было экспериментально показано:

$$B = B_0 + B_1 \cos \omega t$$

$$\Omega_c = \frac{qB_0}{m} + \text{гармоники}$$

Полиэкстремальность

Проблема кТ

**«...мы предлагаем радикально иное объяснение «циклотронного резонанса»
в биологических системах» (с. 2)**

$$E = E_1 \exp \left[i \left(\frac{E_1 - E_0}{h} t + \varphi_1 \right) \right] + E_2 \exp \left[i \left(\frac{E_2 - E_0}{h} t + \varphi_2 \right) \right]$$

Интенсивность света, излученного осциллятором, пропорциональна $|E|^2$ и равна

$$I(t) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Omega t + \varphi)$$

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

$$\Omega = \frac{|E_2 - E_1|}{h}$$

Возбужденное состояние

1) имеет конечное время жизни τ

2) распадается по закону $(1/\tau) \exp(-t/\tau)$

Среднее значение интенсивности излучения:

$$\bar{I} = \int_0^{\infty} I(t) \frac{\exp(-t/\tau)}{\tau} dt = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \frac{\cos \varphi - \Omega \tau \sin \varphi}{1 + \Omega^2 \tau^2}$$

Слабые поля: $\Omega \tau = 1$

Возникает эффект кажущейся резонансной (псевдорезонансной) зависимости интенсивности от Ω - частоты биений между подуровнями

Сильные поля: $\Omega \tau \gg 1$

Биения не наблюдаются.

Продолжение...

Подгорецкий М.И. К вопросу о модуляции и «биениях» в квантовых переходах. // Препринт Р-491 Международного объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, **1960**.

Подгорецкий М.И., Хрусталеv О.А. О некоторых интерференционных явлениях в квантовых переходах. // УФН, **1963**, 81, 217-247.

Александров Е.Б. и др. // ЖЭТФ, **1963**, т. 45, с. 503.

Постулаты:

1. Первичным звеном в цепи событий, запускаемых воздействием слабого магнитного поля на биосистему является ион Ca^{2+} , специфически связанный с Ca^{2+} -связывающим центром белка, который обладает Ca^{2+} -зависимой ферментативной активностью.
2. Связанный Ca^{2+} может рассматриваться, как изотропный, заряженный осциллятор.
3. Колебания данного осциллятора возбуждаются тепловыми флуктуациями.
4. Постулируется, что потенциал, в котором движется возбужденный Ca^{2+} -ион имеет сферическую симметрию. Т.е. рассматриваемый осциллятор – изотропный.
5. В постоянном магнитном поле вырожденный колебательный уровень с характеристической частотой ω расщепится на три подуровня согласно эффекту Зеемана.
6. Колебания магнитных подуровней ω_1 и ω_2 когерентны: отношение их амплитуд и разность фаз не зависят от времени. Данная когерентность дает возможность интерференционного взаимодействия между подуровнями Ca^{2+} осцилляторов и, соответственно, возможность отклика биосистемы на воздействие слабых магнитных полей на фоне теплового шума.

7. Колебания связанного Ca^{2+} осциллятора будут продолжаться до тех пор пока он не диссоциирует из связывающего центра. Поэтому, тепловые флуктуации связанного Ca^{2+} будут прерываться согласно закону диссоциации.

$$B = B_0 + B_1 \cos vt$$

Наложение переменного поля приводит к частотной модуляции подуровней ω_1 и ω_2 .

$$\omega_{1,2}(t) = \omega_{1,2}(1 + \kappa \cos vt)$$

$$\kappa = \frac{|\Delta\omega|_{\max}}{\omega} = \frac{qB_1}{2m\omega}$$

Суммарная амплитуда электромагнитного излучения с подуровней ω_1 и ω_2

$$A = A_1 e^{i(\omega_1 t + \alpha_1 \cos vt)} + A_2 e^{i(\omega_2 t + \alpha_2 \cos vt)}$$

В общем случае: $\alpha_1 \neq \alpha_2$

Вероятность перехода с возбужденных подуровней ω_1 и ω_2 записывается в виде:

$$\overline{p} = |A|^2$$

...

$$\overline{p} \approx A_1^2 + A_2^2 + 2A_1^2 A_2^2 J_n \left(\frac{2v_c}{v} \right) \Bigg|_{nv = \frac{qB_0}{m}}$$

$$\overline{p} = A_1^2 + A_2^2 \Bigg|_{nv \neq \frac{qB_0}{m}}$$

Дальнейшие публикации:

1. V.V. Lednev Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. // Bioelectromagnetics, 12: 17 – 75, **1991**.
2. V.V. Lednev Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems: correction of the basic expression and its consequences. // Electricity and magnetism in biology and medicine, San Francisco Press, Inc., San Francisco, **1993**, 550-552.
3. V.V. Lednev Interference with vibrational energy sublevels of ions bound in calcium-binding proteins as the basis for the interaction of weak magnetic fields with biological systems. // On the nature of electromagnetic field interactions with biological systems, Ed. By Allan H. Frey, **1994**, R.G. Landes Company, Medical Intelligence Unit.

«Наблюдаемый эффект может быть рассмотрен, как аналог феномена известного в атомной спектроскопии как параметрический резонанс [Александров и др., 1963] или как проявление эффекта квантовых биений [Подгорецкий, 1960]. В любом случае, термин «циклотронный резонанс» видится мало удовлетворительным, т.к. он может привести к недопонимаю физической природы наблюдаемых явлений» [2, с. 72].

В.В. Леднев Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей. // Биофизика, т. 41, вып. 1, 1996, 224-232.

Новые постулаты:

1. За момент возбуждения Ca^{2+} -осциллятора принимается момент его входа в Ca^{2+} -связывающий центр белка. После такого возбуждения Ca^{2+} -осциллятор совершает незатухающие колебания, прерываемые лишь его диссоциацией из центра связывания.
2. Магнитное поле (постоянное, переменное, комбинированное) вызывает прецессию оси вибраций Ca^{2+} -осциллятора относительно направления магнитного поля. При определенных соотношениях между временем жизни Ca^{2+} -осциллятора и параметрами магнитного поля, можно существенно изменить степень поляризации колебаний Ca^{2+} -осциллятора в плоскости, перпендикулярной направлению магнитного поля.
3. Постулируется, что вероятность изменения структуры Ca^{2+} -связывающих центров в каждом цикле Ca^{2+} -зависимой биохимической реакции и, следовательно, вероятность изменения сродства Ca^{2+} к Ca^{2+} -связывающим центрам зависит от степени средней по времени поляризации колебаний Ca^{2+} -осциллятора. Указанная зависимость лежит в основе эффектов воздействия слабых магнитных полей на биосистемы.

Величина поляризации колебаний Ca^{2+} -осциллятора в XY-плоскости:

$$p = \frac{\overline{A_X^2} - \overline{A_Y^2}}{\overline{A_X^2} + \overline{A_Y^2}}$$

Комбинированное магнитное поле:

$$B = B_0 + B_1 \cos \Omega t$$

Комбинированное магнитное поле приводит к модуляции частот подуровней:

$$\omega_{1,2}(t) = \omega_{1,2} (1 + \chi_{1,2} \cos \Omega t)$$

$$\chi_{1,2} = \frac{|\Delta\omega|}{\omega_{1,2}}$$

Согласно теории эффекта Зеемана колебания вдоль осей X и Y заряженного изотропного осциллятора с массой m и зарядом q , помещенного в постоянное магнитное поле с вектором магнитной индукции направленным вдоль оси Z:

$$A_X = A_1 \cos(\omega_1 t + \delta_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \delta_2)$$

$$A_Y = A_1 \cos(\omega_1 t + \delta_1 + \frac{\pi}{2}) + A_2 \cos(\omega_2 t + \delta_2 + \frac{\pi}{2})$$

Допустим, что некоторый осциллятор возбужден в момент времени t_0 . Пусть τ - среднее время жизни осциллятора в центре связывания белка и соответственно $k=1/\tau$ - константа диссоциации иона из этого центра. Тогда вероятность того, что время жизни иона в связанном состоянии превышает t :

$$df = ke^{-k(t-t_0)} dt$$

...

$$p = J_0^2(2\alpha) \frac{1}{1 + \Omega_c^2 \tau^2} + \sum_{n=1}^{\infty} J_n^2(2\alpha) \left[\frac{1}{1 + (n\Omega - \Omega_c)^2 \tau^2} + \frac{1}{1 + (n\Omega + \Omega_c)^2 \tau^2} \right]$$

$$\Omega_c = \frac{qB_0}{m}$$

$$\alpha = \frac{\Omega_L}{\Omega}$$

$$\Omega_L = \frac{qB_1}{2m}$$

Воздействие только постоянного магнитного поля: $B_0 \neq 0, B_1 = 0$

$$p = \frac{1}{1 + f_c^2 / \lambda^2}$$

Воздействие только переменного магнитного поля: $B_0 = 0, B_1 \neq 0$

$$p = J_0^2\left(\frac{2f_L}{f}\right) + \frac{2J_1^2(2f_L/f)}{1 + f^2/\lambda^2} + \frac{2J_2^2(2f_L/f)}{1 + 4f^2/\lambda^2} + \frac{2J_3^2(2f_L/f)}{1 + 9f^2/\lambda^2} + \dots$$

Резонансные частоты: величина p резонансным образом зависит от частоты переменной компоненты поля. Максимальные значения соответствуют частотам равным «циклотронной» или ее гармоникам:

$$f = \frac{f_c}{n} = \frac{1}{n} \frac{qB_0}{m}$$

Зависимость эффекта от соотношения амплитуд B_1/B_0 : $f = f_c/n, f_c ? \lambda$

$$p = J_n^2(2f_L/f) = J_n^2(B_1/B_0) \quad \left| \begin{array}{l} n = 1: f = f_c \\ p = J_1^2(2f_L/f) = J_1^2(B_1/B_0) \\ \text{Нули: } B_1/B_0 = 0, 3.8, 7, 10.2 \\ \text{Максимумы: } B_1/B_0 = 1.8, 5.3, 8.5 \end{array} \right.$$