

Квантово-механические аспекты магнитобиологии

Дроздов А.В.

Учреждение Российской
академии наук Институт аналитического
приборостроения РАН, Санкт-Петербург



**«Биофизические основы применения слабых магнитных полей
в биологии и медицине» Пушкино, 23 марта 2010**

▶▶▶ План доклада

1

«Взлеты» и «проблемы» магнитобиологии

2

Квантово-механические подходы в магнитобиологии

3

О «мишенях» действия магнитного поля и их роли для магнитобиологии

4

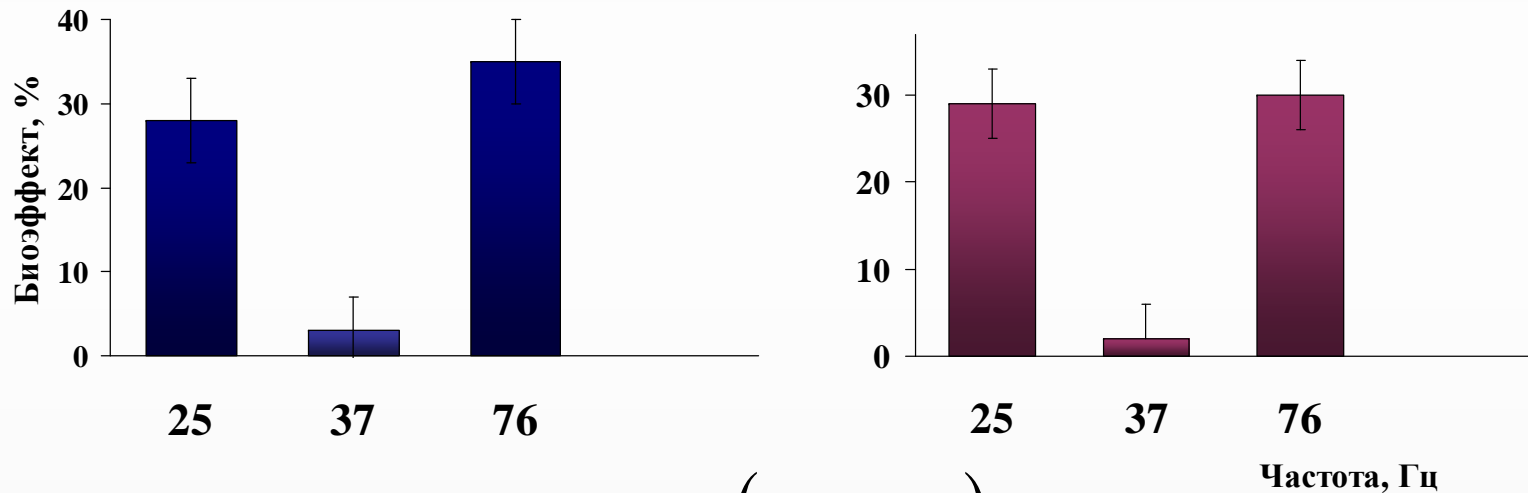
О возможной роли воды

«Взлеты» и «проблемы» магнитобиологии



«Взлеты»

Зависимость величины биоэффекта от частоты переменной компоненты «микротеслового» поля ($B_{DC} = 46.5$ мкТл, $B_{AC} = 1,6$ мкТл, $f_{AC} = 25, 37, 76$ Гц)

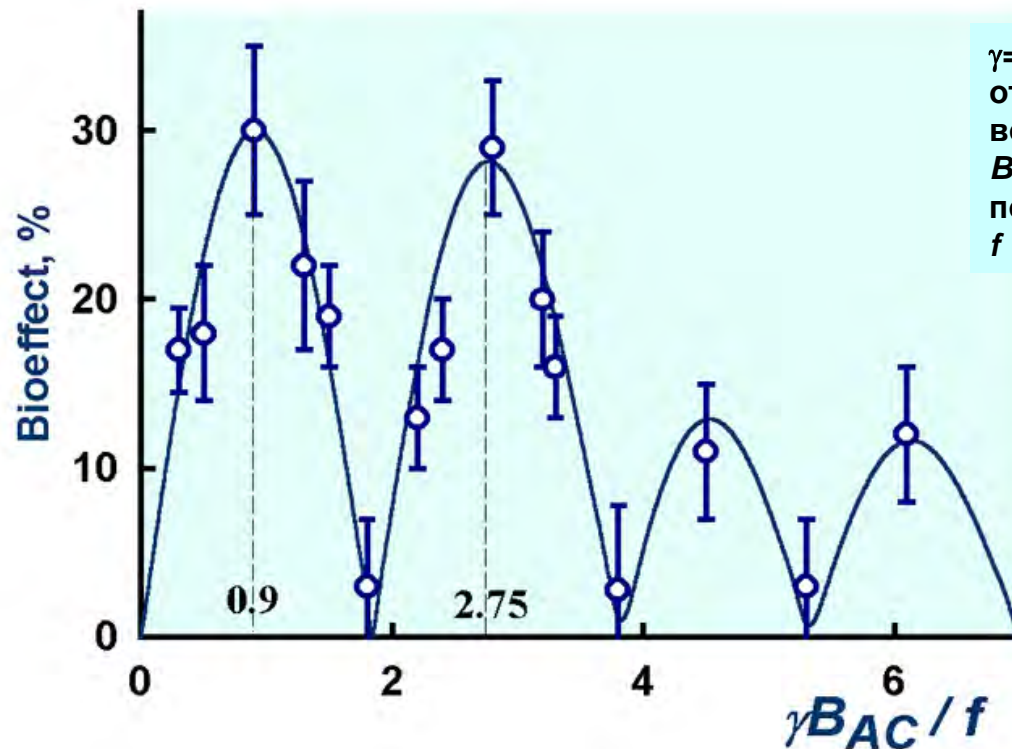


$$\text{Биоэффект} = \frac{(\alpha_{\text{э}} - \alpha_{\text{к}})}{\alpha_{\text{к}}} \times 100\%$$

«Взлеты»

Зависимость скорости регенерации планарий от параметра $\gamma B_{AC} / f$

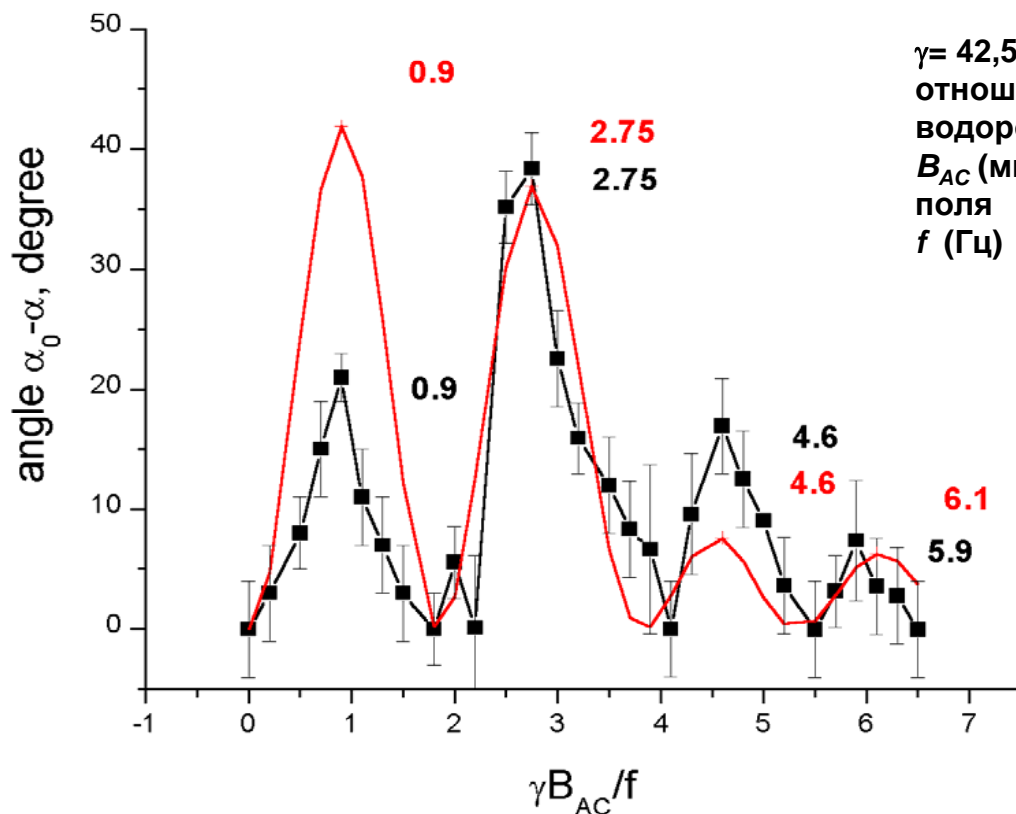
$B_{DC} = 42$ мкТл, $B_{AC} = 1.6$ мкТл



$\gamma = 42,578$ (Гц/мкТл) - гиромангнитное отношение для спинов ядер атомов водорода
 B_{AC} (мкТл) - амплитуда переменного поля
 f (Гц) - частота переменного поля

«Взлеты»

Зависимость гравитропической реакции корней кресс-салата от параметра $\gamma B_{AC}/f$



$\gamma = 42,578$ (Гц/мкТл) - гиромагнитное отношение для спинов ядер атомов водорода
 B_{AC} (мкТл) - амплитуда переменного поля
 f (Гц) - частота переменного поля

Н.И.Богатина, Н.В.Шейкина

Киевский национальный университет, Биологический факультет

ЯДЕРНО-МАГНИТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИНТЕЗОМ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ

А. Л. Бучаченко, Д. А. Кузнецов

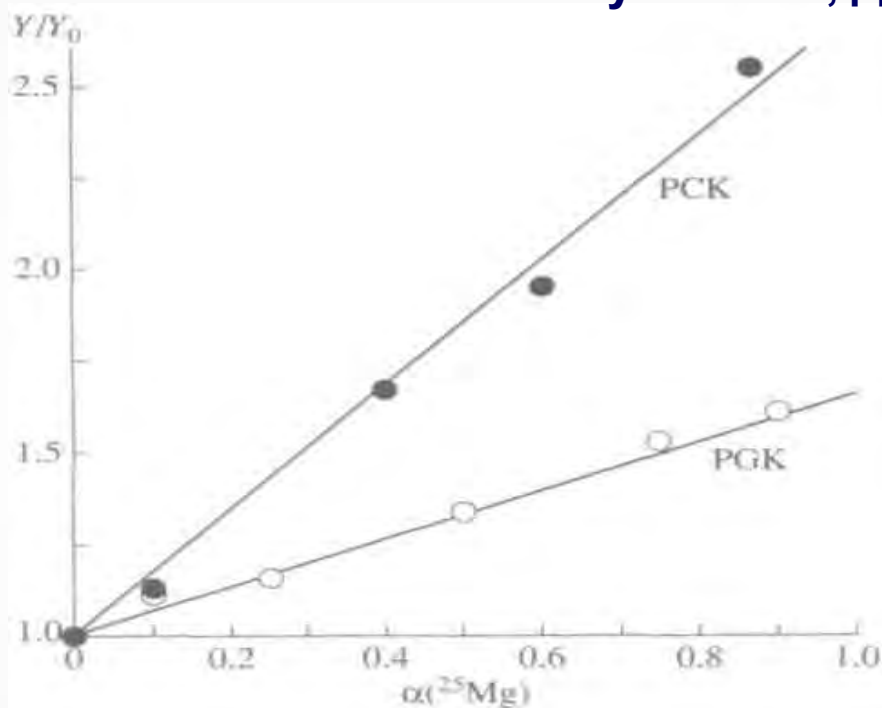


Рис. 2. Зависимость относительного выхода АТФ (Y/Y_0) от доли изотопа ^{25}Mg для креатинкиназы (РСК) и фосфоглицераткиназы (РГК)

Синтез молекулярных энергоносителей в живых организмах осуществляется ферментами. Все они работают только в присутствии ионов магния. Но если в ферментах заменить природный магний его чистой изотопной формой ^{25}Mg , то производство энергоносителей возрастает в 2-3 раза. Это открытие послужило основой создания новых медицинских средств против гипоксии и сердечной недостаточности.

▶▶▶ «Проблемы»

- ❖ Плохая повторяемость экспериментальных результатов
- ❖ Механизм действия
- ❖ Проблема «*кТ*»

Квантово-механические ПОДХОДЫ в магнитобиологии



Могут ли влиять магнитные поля на скорость химической реакции?





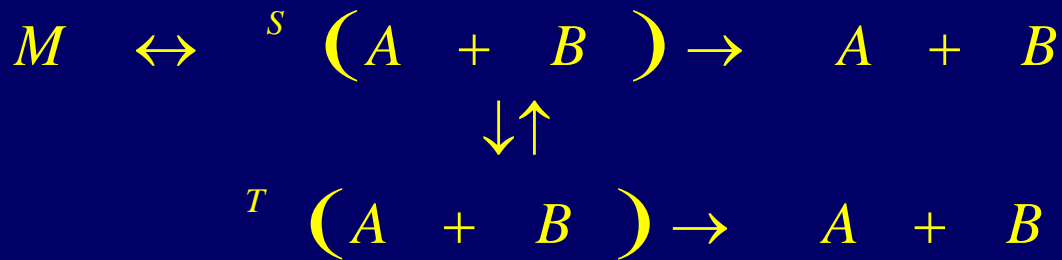
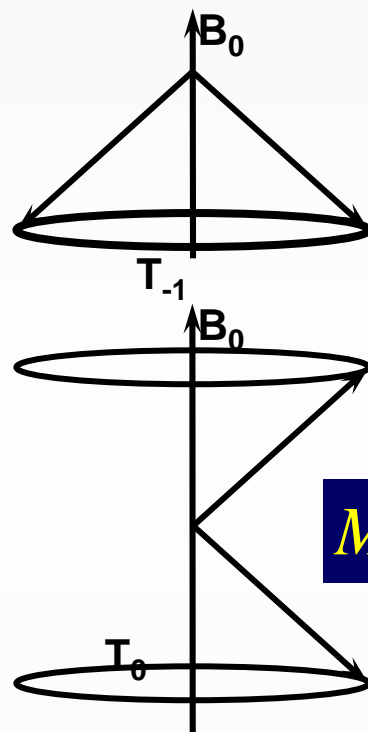
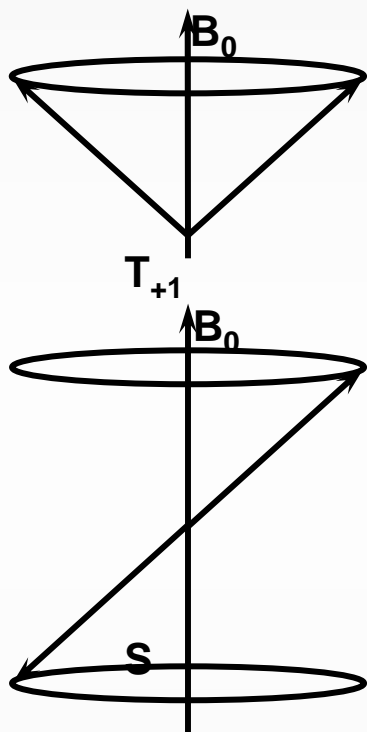
**Влияние
магн. поля**

**На
движущиеся
в магнитном
поле заряды**

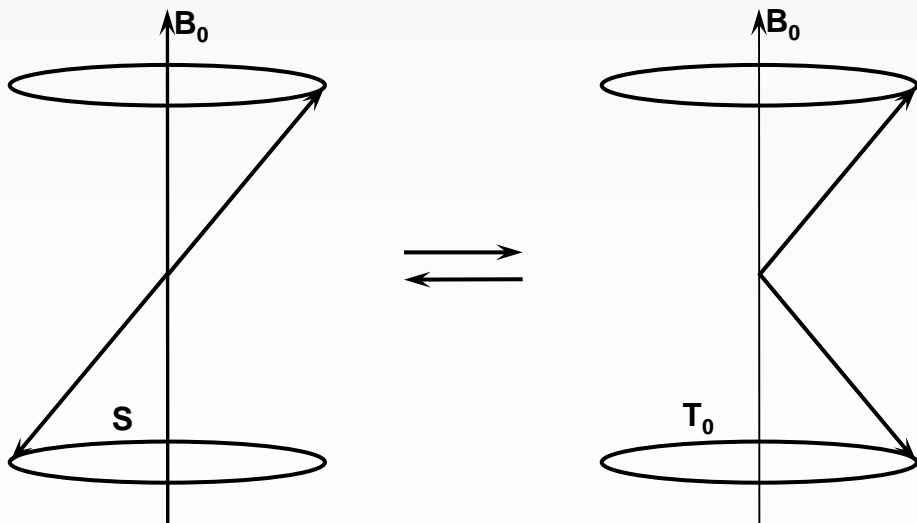
**На магнитные
частицы**

Спиновая химия

Центральное событие химии – рождение молекулы.



« Δg -механизм»

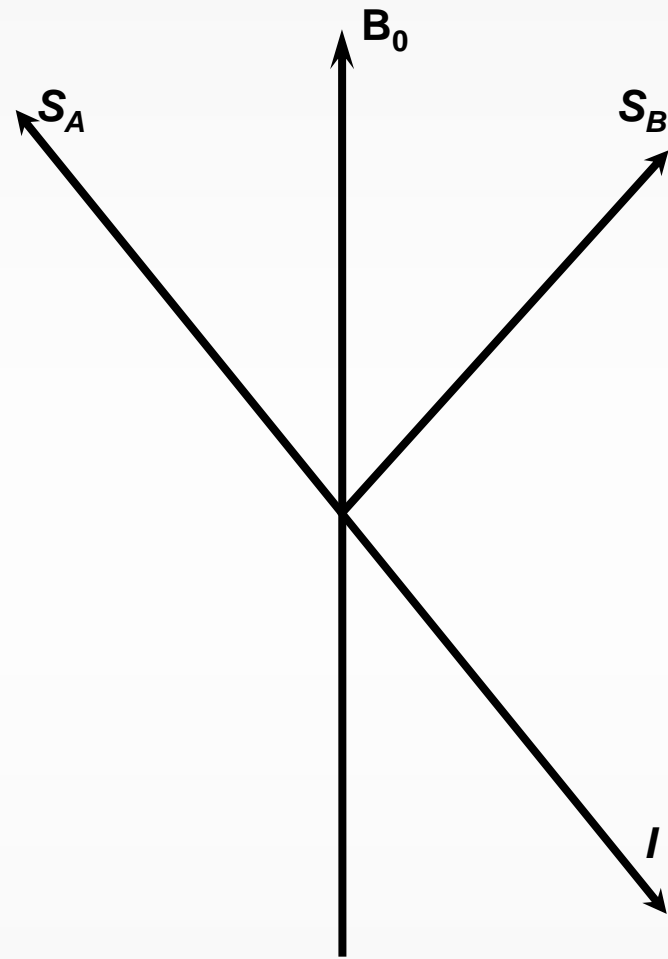
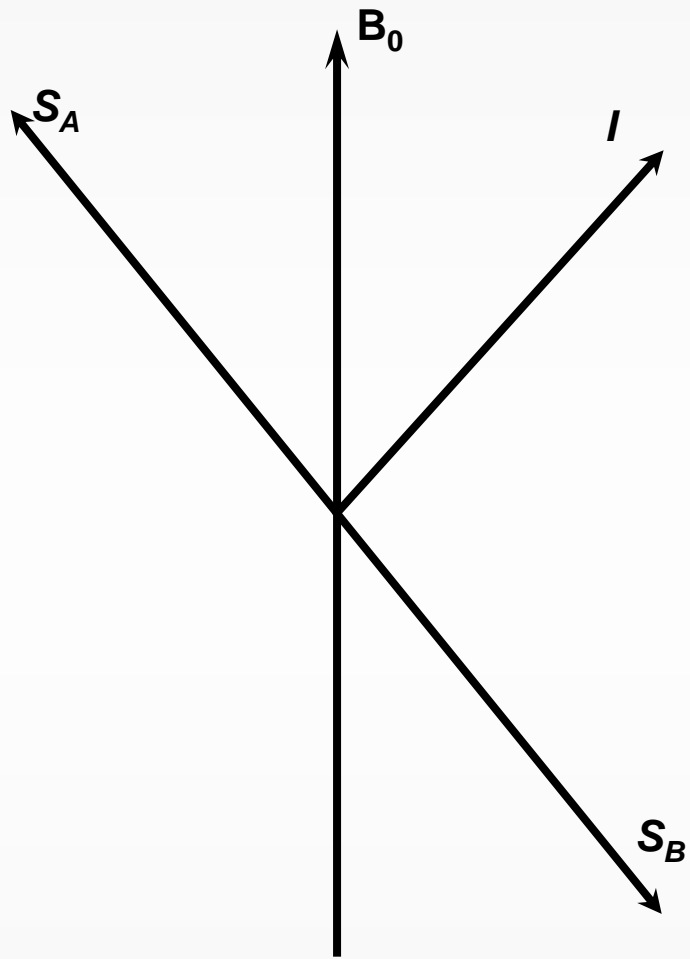


$$\omega_1 = \frac{g_A \beta B_0}{\hbar}$$

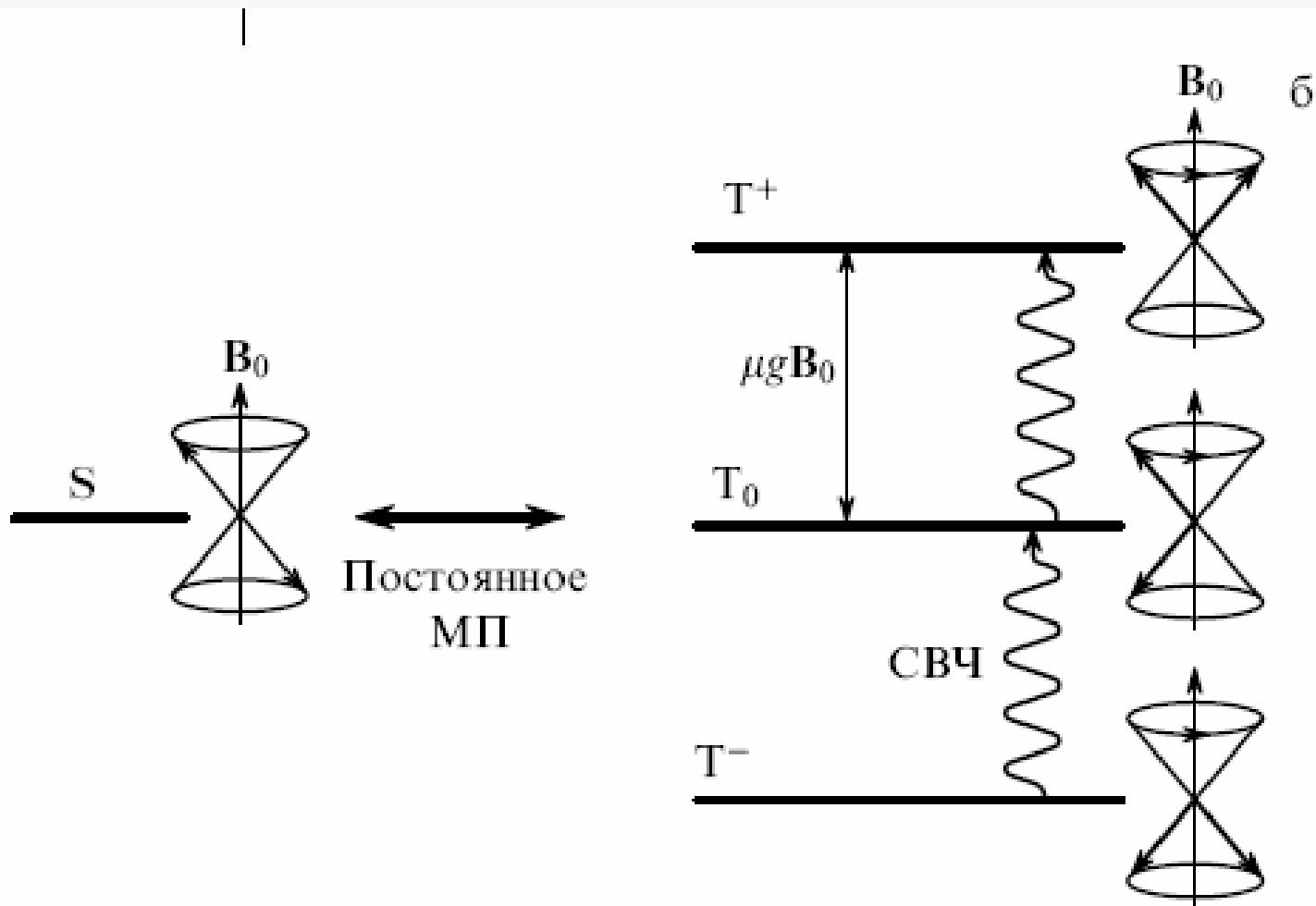
$$\omega_2 = \frac{g_B \beta B_0}{\hbar}$$

$$\tau_{TS} = \frac{\pi}{\omega_1 - \omega_2} = \frac{\hbar \pi}{(g_A - g_B) \beta H_0}$$

«СТВ-механизм»



СВЧ стимуляция магнитных эффектов



«... скорость спиновой релаксации, обусловленной спин-вращательным взаимодействием, увеличивается в слабых полях»

«... в сильных магнитных полях (B_0) ЭПР-переходы разрешены только при $B_1 \perp B_0$, в то время как в слабых полях разрешены также переходы при $B_1 \parallel B_0$.»

М.В.Федин, С.Р.Шакиров, П.А.Пуртов, Е.Г.Багрянская //Электронная спиновая релаксация радикалов в слабых магнитных полях. Изв.Акад.наук сер.хим, 2006, №10, стр.1643-1655

▶▶▶ Проблема кТ

**«СПИНОВЫЙ ПОДХОД» ПОЗВОЛЯЕТ
РЕШИТЬ ПРОБЛЕМУ кТ**

**О «мишенях» действия
магнитного поля и их роли
для магнитобиологии**

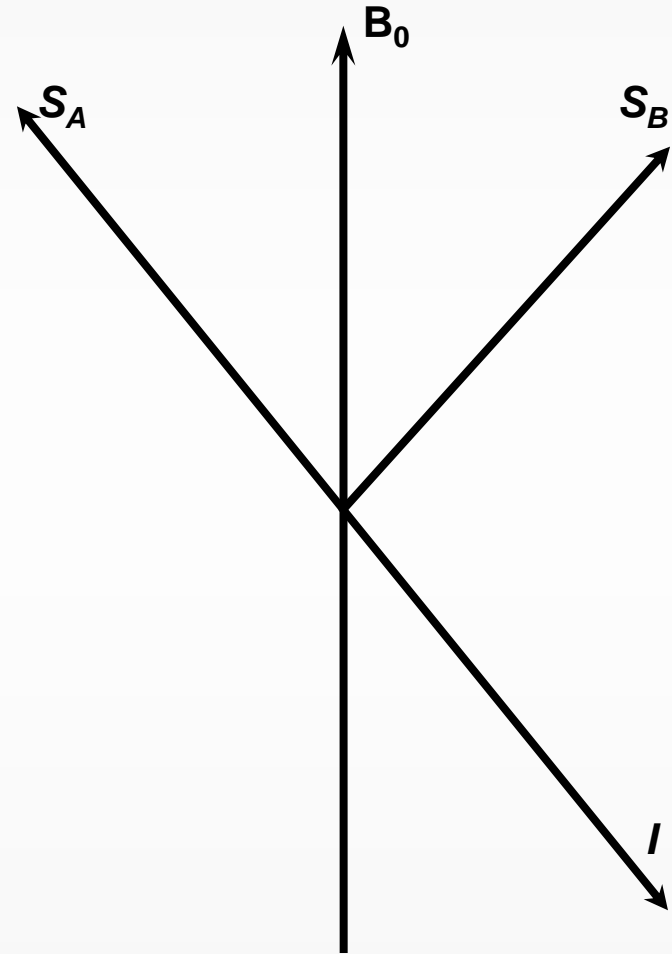
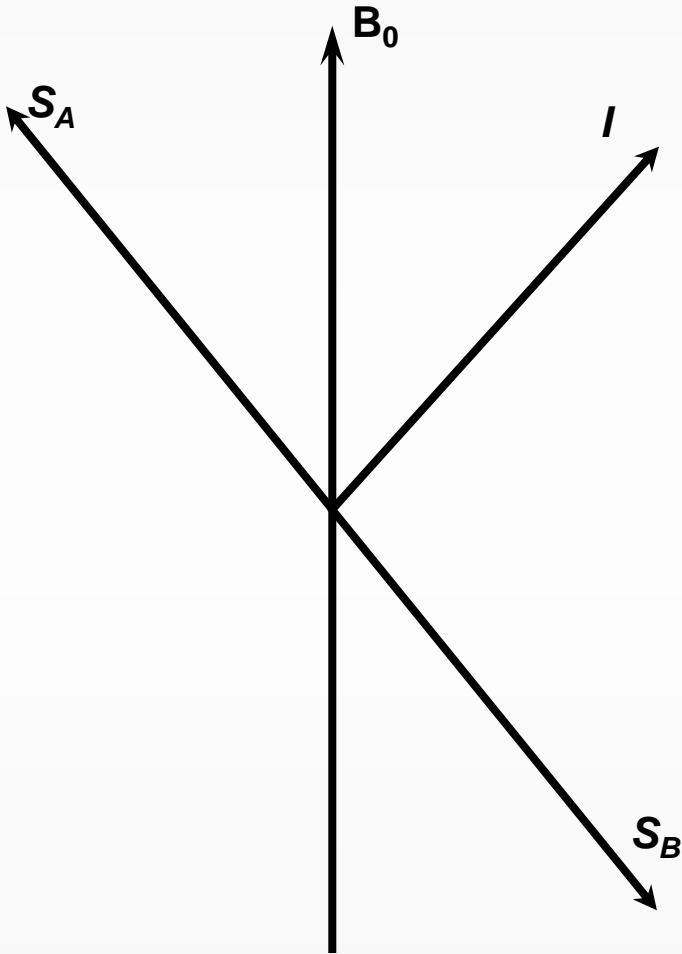


▶▶▶ «Мишени» и не только магнитные

- ❖ Лазерная биостимуляция
(фотодинамическая терапия)
(С.Д.Захаров)
- ❖ Спин протона, спин электрона,
орбитальный магнитный момент
(В.В.Леднев)

О возможных последствиях воздействия на «мишени»

Диполь-дипольное взаимодействие



О возможных последствиях воздействия на «мишени»

Действие комбинированного магнитного поля приводит к фазированию

$$B = B_{DC} + B_{AC} \cos 2\pi ft$$

В этом случае амплитуда частотно модулированного поля может быть представлена в виде

$$A = A_0 \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n \left(\gamma \frac{B_{AC}}{f} \right) e^{i2\pi(\nu_0 + nf)}$$

где A_0 -амплитуда ЭМП излучаемого одним магнитным моментом вращающимся с частотой $\nu_0 = \gamma B_{DC}$, J_n -функция Бесселя целого порядка n с аргументом $\gamma B_{AC}/f$

Интенсивность электромагнитного поля, излучаемого ансамблем магнитных моментов на частоте модуляции

$$I = |J_1(\gamma B_{AC}/f) \times [J_2(\gamma B_{AC}/f) - J_0(\gamma B_{AC}/f)]|$$

Кагрис, 1948; Александров и др., 1963; Александров, Козлов, 1964; Померанцев и др., 1972, Подгорецкий, 1960

Влияние магнитного поля на выбор пути реакции

«...перенос электрона от аниона фосфатной группы АДФ к иону Mg^{2+} ; при этом рождается пара радикалов - парамагнитный катион Mg^+ и фосфатный радикал. В такой паре есть два состояния - синглетное, когда угловые моменты неспаренных электронов вычитаются (компенсируются), и триплетное, когда угловые моменты складываются. Эти два состояния создают два канала фосфорилирования - синглетный и триплетный. Фундаментальная роль иона $^{25}Mg^+$ состоит в том, что магнитный момент ядра ^{25}Mg изменяет электронный угловой момент и стимулирует триплетный канал фосфорилирования. Выход АТФ в этом канале в 2-3 раза выше, чем в синглетном.»

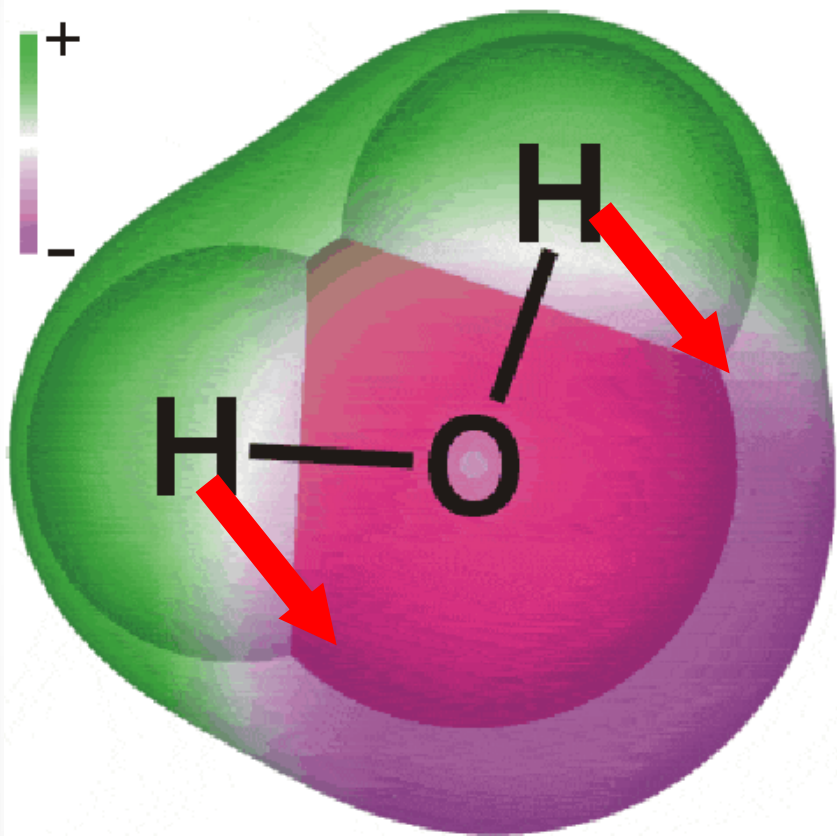
А. Л. Бучаченко, Д. А. Кузнецов, ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, 2008, том 78, № 7, с. 579-583

О возможной роли воды

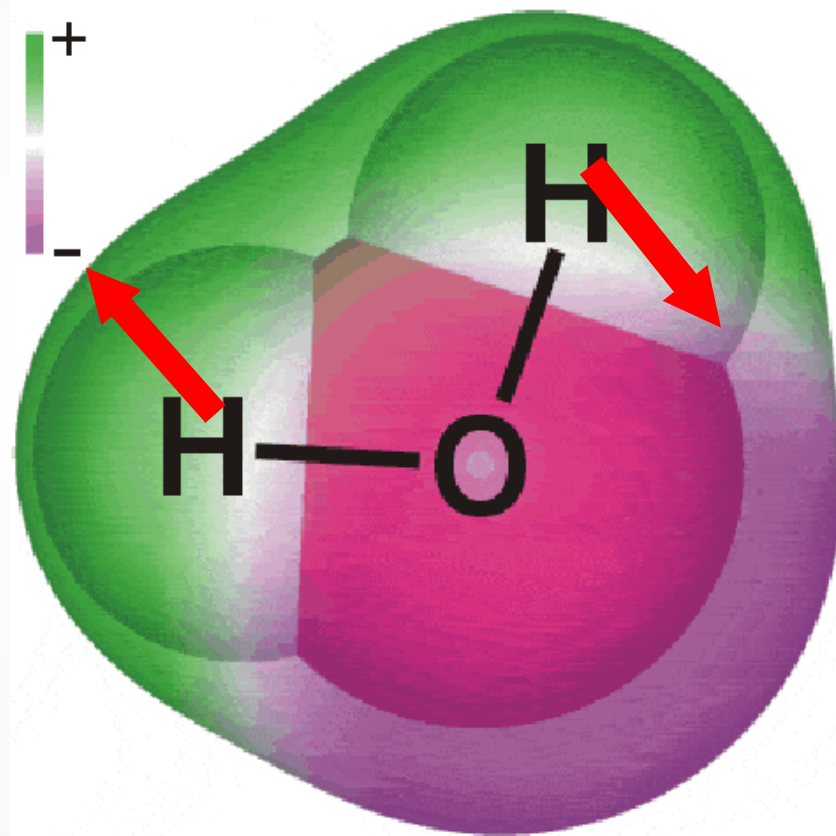


▶▶▶ Орто- и пара- изомеры Н₂О

Орто-изомер



Пара-изомер



Орто/пара изомеры

• Учитывая возможность разности в адсорбционных свойствах у спиновых изомеров воды, следует заметить, что изменение соотношения *орто*- / *пара*- воды, входящей в биологическую систему, должно приводить к изменению степени гидратации биоструктур, а это, в свою очередь, должно привести к изменению их биологической активности. Таким образом,

стимуляция процесса спиновой конверсии



должна приводить к изменению масштабов биологических процессов, ускоряя или замедляя их.

Энергитические уровни и соотношение орто- и пара-изомеров H_2O

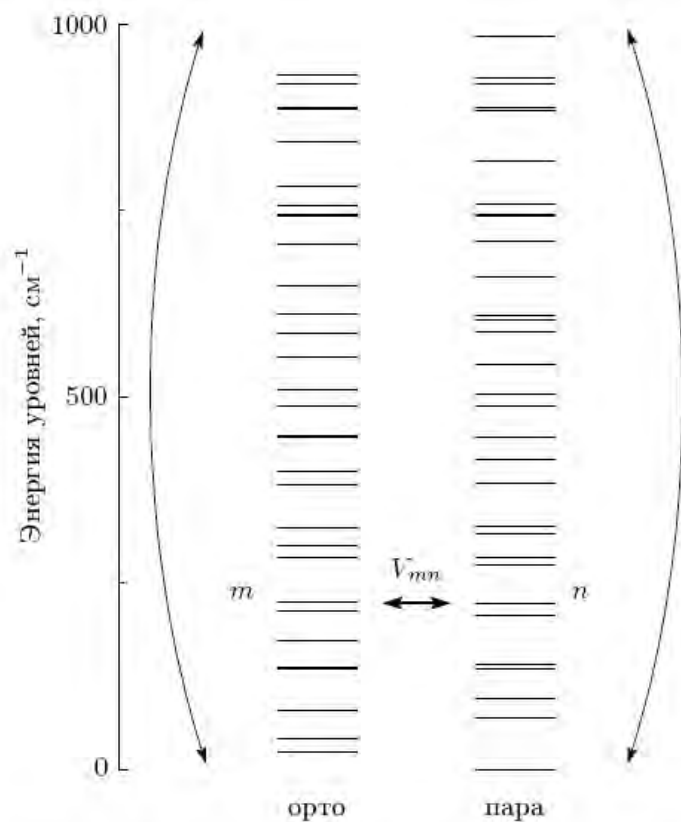


Рис. 2. Орто- и парауровни основного колебательного состояния молекулы H_2O . На схеме отмечена пара уровней наиболее важная для спиновой конверсии H_2O

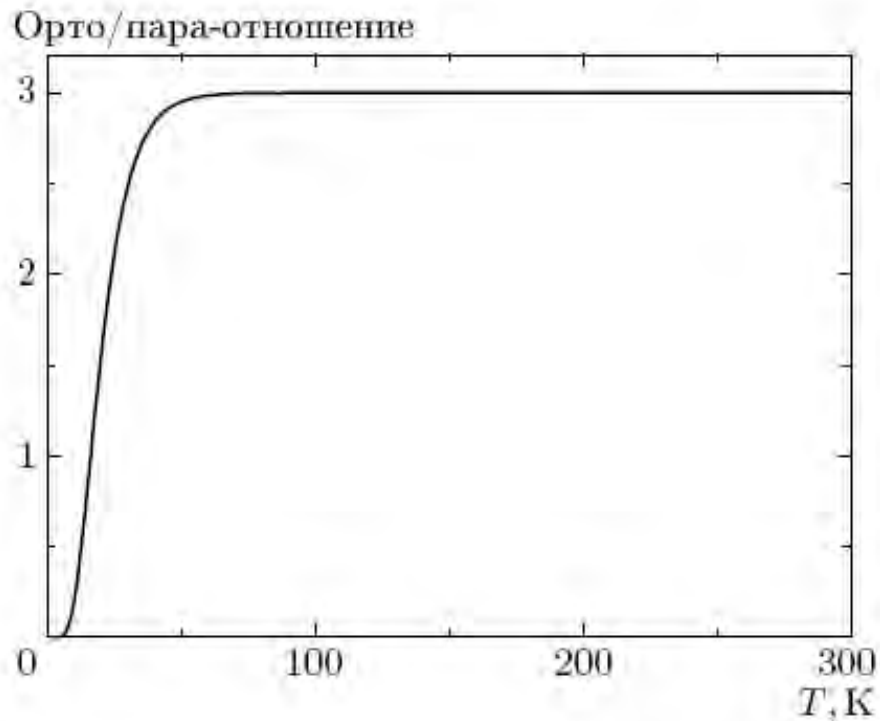
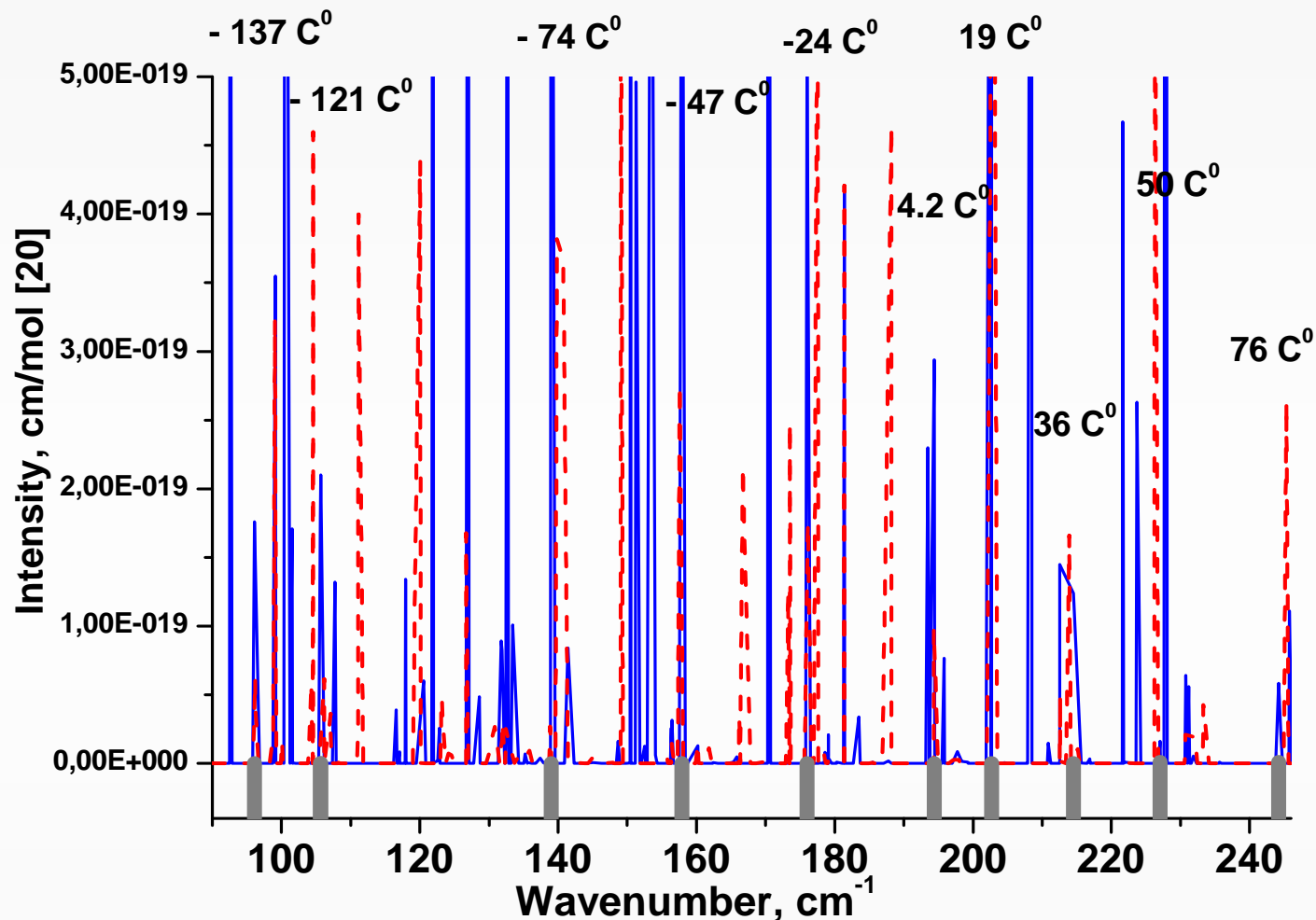


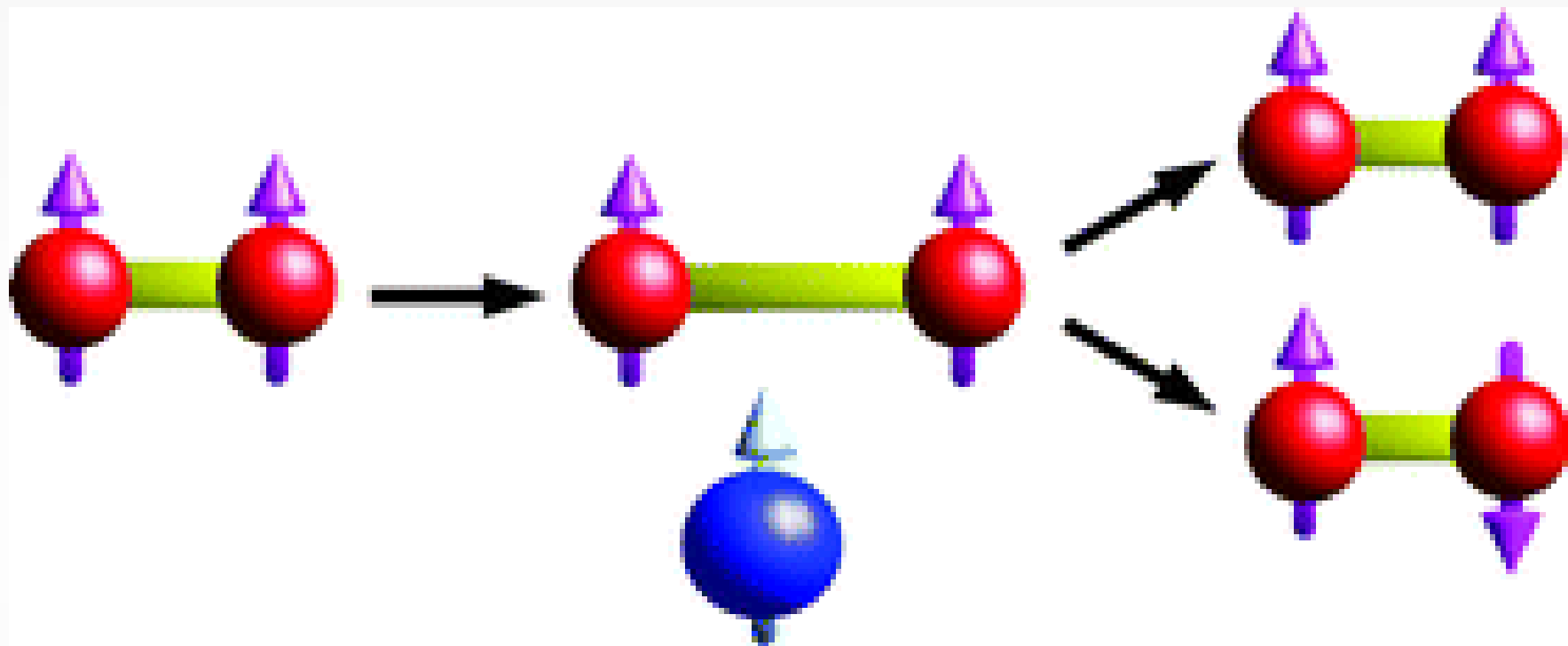
Рис. 3. Равновесное орто/пара-отношение для молекул H_2O как функция температуры

Орто/пара изомеры в области особых точек H_2O



S.M.Pershin, *Phys. of Wave Phenomena*, 2008, 16(1), 15-25

Роль градиента магнитного поля



Mechanism of nuclear spin initiated para-H₂ to ortho-H₂ conversion
G. Buntkowsky, H.-H. Limbach et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 8, 1929 (2006)

ИТОГО

- ❖ Спиновая конверсия (электронов, протонов, орбитальных магнитных моментов, *пара*-H₂O ↔ *орто*-H₂O) должна приводить к изменению скорости химических и биохимических реакции
- ❖ Фазирувание спиновой подсистемы комбинированными магнитными полями



Градиент магнитного поля



Увеличение вероятности спиновой конверсии

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

