

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

Несколько замечаний, навеянных обзором  
В.Н. Бинги и А.В. Савина о магнитобиологии

А.Ю. Гросберг

PACS numbers: 82.39.-k, 87.10.+e, 87.50.Mn

## Содержание

1. Введение (1145).
  2. Эксперименты (1145).
  3. Теория (1146).
  4. Заключение (1147).
- Список литературы (1148).

## 1. Введение

Магнитобиология — поиски влияния магнитного поля на биологические системы — имеет очень длинную историю, примерно столь же длинную, как и само изучение магнетизма. Недавно в этой области произошло знаменательное событие — обзор по магнитобиологии был опубликован в одном из самых уважаемых физических журналов, *УФН* [1]. Можно было надеяться, что в эту сложную область, запутанную в противоречиях, будет наконец внесена долгожданная ясность настоящей физики. Цель этой заметки — выразить мнение, что этого не произошло, а скорее даже произошло обратное.

Чтобы понять степень запутанности области, достаточно сопоставить два факта. С одной стороны, во многих странах продаются всевозможные магнитные браслеты и накладки на разные части тела; изготовители и продавцы этого товара утверждают, что магнетизм помогает от очень многих болезней (и огромное количество людей этому верит). С другой стороны, не затихают обсуждения идеи (упоминаемой и в [1]), что магнитные поля линий электропередач, электрического транспорта и промышленного оборудования "загрязняют окружающую среду", вызывают рак или увеличивают вероятность рака, в частности лейкоза. Конечно, теоретически возможно, что постоянное поле полезно, а поле частотой 50 Гц страшно вредно. Но если бы дело обстояло так, то на продаваемых лечебных магнитах должно было быть крупными буквами написано, что их нельзя ни в коем случае трясать во избежание опасных

последствий, чего, как мы знаем, нет. Не удивительно, что магнитобиология занимает место в не очень почетном списке наук со скомпрометированной репутацией ("наук легкого поведения"); см., например, книгу [2].

Не улучшают положения и попытки, предпринимаемые время от времени физиками (иногда даже хорошими), доказать, что магнитобиологические эффекты невозможны. Доказать это, как совершенно справедливо отмечают авторы обзора [1], вряд ли удастся не только потому, что вообще теоремы несуществования или невозможности чего бы то ни было всегда трудны, но и, главным образом, потому, что доказательства таких теорем, когда они все-таки удаются, достаются ценой очень точного и обычно очень ограничительного определения того предмета, существование или несуществование которого обсуждается. Именно так, конечно, обстоит дело в двух самых знаменитых теоремах невозможности: уравнение пятой степени нельзя решить не вообще, а в радикалах, и к.п.д. тепловой машины не может превзойти предела Карно не вообще, а если машина удовлетворяет всем условиям, например, совсем не взаимодействует ни с чем холоднее "своего" холодильника. Предмет магнитобиологии, конечно, не может быть определен с точностью, позволяющей доказывать теоремы; и это не плохо, а скорее хорошо, как свидетельство открытости области, ее готовности непредвзято воспринять экспериментальные данные, каковы бы они ни были.

Все сказанное свидетельствует о сложной экспериментальной ситуации в магнитобиологии. Что же пишут об этом авторы обзора [1]?

## 2. Эксперименты

Авторы обзора [1] не скрывают от читателя невеселой картины противоречивых невоспроизводимых опытов, но, однако, даже не пытаются внести ясность. Вместо этого читателю предлагается объяснение, что в данной области воспроизводимость требовать не нужно, потому что, на авторском жаргоне, воспроизводимость "обусловлена одновременным попаданием как в электромагнитные, так и в физиологические окна". Надо ли говорить, что в этой ситуации никакой особенной специфики нет, всякий серьезный эксперимент всегда требует соблюдения ряда (и часто длинного ряда) противоречи-

А.Ю. Гросберг. Институт биохимической физики РАН  
119977 Москва, ул. Косыгина 4, Российская Федерация  
E-mail: grosb001@umn.edu

Статья поступила 1 июля 2003 г.

вых требований. Так обстояло дело всегда, начиная с опыта Кавендиша по измерению гравитационной постоянной и кончая бесчисленными опытами в нынешней физике или биологии. Нет сомнений — поставить надежно воспроизводимый информативный опыт трудно, но, казалось бы, другого пути нет. Нет? Авторы обзора [1] считают, что обходной путь есть: вместо безмерно трудоемкой экспериментальной работы предлагается выделить "общность в проявлениях магнитобиологических эффектов в разных лабораториях, во множестве экспериментальных конфигураций и на разных биологических объектах", а затем эту "общность" подвергнуть теоретическому обобщению. Попросту говоря, вместо одного хорошего воспроизводимого эксперимента (которого, по мнению авторов, пока нет) нужно подойти к делу "демократически": взять много опытов умеренного качества, невозпроизводимых, и посмотреть, что есть в результатах общего. Будет ли такой новаторский подход к науке работать? Хотя напрашивающийся общий ответ отрицательный, посмотрим, как авторы обзора [1] применяют свой подход в специфическом контексте магнитобиологии.

В обзоре [1] приведены в общей сложности четыре графика с экспериментальными точками. Характерен рис. 5, представляющий зависимость подвижности диатомовых водорослей от частоты приложенного магнитного поля. Вряд ли все читатели *УФН* знают, что такое диатомовые водоросли (автор настоящего письма, например, этого не знает). А что такое в этом контексте "подвижность"? Это что — величина, связанная соотношением Эйнштейна с коэффициентом диффузии? Или это какая-то характеристика жизнедеятельности организма? Какая? И почему мы должны смотреть на эту водоросль? Ответов на все эти простые вопросы нет.

Рисунок 12 представляет данные измерения вязкости суспензии кишечных палочек. Что за этими словами стоит, опять-таки остается совершенно непонятным. Идет ли речь о разбавленной суспензии, где изменение вязкости можно понять в терминах изменений размеров и формы частиц (в данном случае — бактерий), или же суспензия концентрированная, и вязкость определяется взаимодействием частиц? Нет ответа.

Рисунки 3 и 4 представляют данные о клетках РС-12, и здесь те же самые вопросы, начиная с вопроса, что же это собственно такое — РС-12.

Нужно понимать, что в биологических системах, даже сравнительно простых, зачастую бывает, что одна и та же реакция вызывается разными воздействиями, например, многие белки денатурируют как при нагревании, так и при охлаждении; но не реже бывает и так, что одно и то же воздействие вызывает совершенно разные реакции, как, например, при положительном и отрицательном хемотаксисах, когда одни бактерии плывут по градиенту концентрации определенного вещества, а другие — против этого же градиента. Разумеется, *УФН* не место для обсуждения деталей биологических экспериментов. Вместе с тем, существует необходимый минимум, без которого обсуждение становится беспредметным. Например, "биофизическая классика" — выяснение, как телеграфное уравнение описывает распространение нервного импульса вдоль аксона. Рассказывая физикам о соответствующих экспериментах (кстати, прекрасно воспроизводимых), было бы бессмысленно просто сооб-

щить, что данные получены на нейронах кальмара. Уж если упоминать бедного кальмара, то надо сказать, что его нейроны хороши просто тем, что большие, а физика у них такая же, как и у нейронов любых других организмов. Если же речь идет о каких-то специальных водорослях и какой-то суспензии каких-то бактерий (причем эксперименты плохо воспроизводятся, и, значит, у других организмов свойства другие), то это уже все физики понимают с трудом, а обычно и не интересуются, справедливо полагая, что такого рода данные для физики не годятся.

Вкратце можно резюмировать, что обзор [1] никакого вклада в прояснение экспериментальной ситуации не вносит. Справедливости ради нужно отметить, что обзор [1] посвящен в основном теории, и экспериментальные данные обсуждаются не сами по себе, а только в связи с теорией. Посмотрим, что же говорится о теории.

### 3. Теория

Главная теоретическая идея обзора [1] — идея молекулярного гироскопа. Молекулярный гироскоп — это часть молекулы, вращающаяся в вакууме так, что термализация не происходит, и квантовая когерентность вращательного состояния сохраняется в течение миллисекунд или даже секунд. Чтобы оправдать возможность молекулярного гироскопа, авторы постулируют наличие внутри белковых глобул вакуумных полостей размером 30 Å или больше, а также возможность вращения молекулярной группы вокруг пары точно соосных  $\sigma$ -связей практически почти совсем без диссипации.

Начать, вероятно, стоит с того, что, если бы такую когерентную молекулярную систему удалось найти или создать, ей нашлось бы много применений куда интереснее магнитного эффекта в диатомовых водорослях. На основе такой системы можно было бы начать строить квантовый компьютер или, например, заняться вопросом, не является ли квантовым компьютером мозг.

Так что же — возможен ли такой когерентный молекулярный гироскоп? Представить себе трудно. Во-первых, вакуумная полость. Авторы справедливо констатируют, что отсутствие полостей в структурах белков, определенных рентгеноструктурным анализом, оставляет надежду, что что-то найдется в белках в растворе. Однако никаких данных, прямых или косвенных, в поддержку такого предположения нет. И сильный это аргумент или слабый, но в существующие теоретические представления о структуре белков полости вписываются плохо. Во-вторых, отсутствие трения или очень маленькое трение. Если взять молекулу этана  $C_2H_6$ , то вокруг связи  $C-C$  возможно вращение, при этом из-за атомов водорода потенциальная энергия имеет барьеры каждые  $120^\circ$ . Больше того, эти барьеры флуктуируют вместе с валентными углами. Больше того, и барьеры, и их флуктуации становятся, как правило, сильнее с заменой водородов на более громоздкие боковые группы, типичные для молекул в биологии. В физике полимеров была даже дискуссия о том, какой механизм диссипации доминирует, причем одним из кандидатов было "трение" между боковыми группами при вращательной изомеризации цепей. В конце концов этот механизм оказался не главным, но он дает вполне заметный вклад в потери (см., например, [3]). Как при таких обстоятельствах обезопасить молекулярный ги-

роскоп от диссипации на макроскопическое время, совершенно непонятно.

Можем ли мы доказать невозможность когерентного молекулярного гироскопа? Скорее всего — нет (по причинам, уже упомянутым выше). Но, однако, задача доказать невозможность перед нами и не стоит. Как юриспруденция невозможна без принципа презумпции невиновности, возлагающего обязанность доказывать на обвинителя, так и наука требует доказательства возможности от изобретателя или автора. Поэтому мы просто констатируем, что никакие доказательства возможности молекулярного гироскопа на данном этапе не приведены, если, конечно, абстрагироваться от мысли (которую вряд ли кто-то из читателей *УФН* воспримет серьезно), что магнитные свойства водорослей (или даже наше непонимание их природы) сами по себе представляют желанное доказательство квантовой когерентности.

Другая реализация родственной идеи используется авторами для того, чтобы предложить объяснение опытов с диатомовыми водорослями в терминах циклотронного резонанса определенных ионов. Чтобы не повторяться, оставим в стороне вопрос, как можно защитить вращение этих ионов от трения (авторы отвечают на этот вопрос неубедительно, как и в случае гироскопа). Сосредоточимся здесь на другой стороне дела, что совпадение одного числа (в данном случае — частоты) ни в коей мере не может служить доказательством правильности теории, в особенности для системы такой сложности. О чем, например, свидетельствует примерное совпадение периода сердечных сокращений со временем сворачивания самых медленно сворачивающихся белков? Скорее всего — ни о чем. Таким образом, гипотеза о циклотронном резонансе ионов в биологической клетке остается необоснованной экспериментально и неправдоподобной теоретически.

Большое место в обзоре [1] занимает проблема, называемая авторами "проблемой  $kT$ ", — тот факт, что характерные энергии взаимодействия с магнитным полем обычно на порядки меньше тепловой энергии. Обсуждая эту проблему, авторы отмечают, что биологические системы не равновесные. Это, безусловно, правда. Вместе с тем кажется уместным подчеркнуть, что характер неравновесности в молекулярно-биологических системах довольно своеобразный: эти системы частично неравновесные, что подразумевает сравнительно небольшое число степеней свободы, определяющих конструкцию [4] и используемых для записи информации и т.д., тогда как по отношению к подавляющему большинству всех остальных степеней свободы система находится в термодинамическом равновесии или очень близко от равновесия. Конечно, хотя особых степеней свободы и немного, но они исключительно важны, и (повторим еще раз во избежание недоразумений) система как целое очень далека от равновесия. Однако утверждение состоит в том, что, хотя система и не равновесная, температура у системы есть. Характер неравновесности таков, что существует хорошо определенная температура, что, конечно, знает всякий, кто когда-либо болел простудой и держал под мышкой термометр. В этом смысле величина  $kT$  сохраняет свою роль универсальной энергетической валюты, хотя, конечно, огромная осторожность необходима: особые степени свободы есть, они важны, некоторые из "пружин" обмениваются потенциальной энергией с термостатом удивительно

медленно. Больше того, было бы серьезной ошибкой думать, что изменение энергии на величину меньшую  $kT$  никогда никакой роли не играет. Яркий контрпример дает перестановка двух нуклеотидов в ДНК: хотя разница в энергии двух состояний (до перестановки и после) может составлять совершенно ничтожную долю  $kT$ , последствия для организма могут быть грандиозными, даже разрушительными (правда, кроме разницы энергий, есть еще барьер, и он обычно много больше  $kT$ ).

#### 4. Заключение

Несколько замечаний под конец.

Авторы обзора [1] приводят диаграмму экспоненциального роста магнитобиологических публикаций по годам. Беда в том, что вся наука экспоненциально растет по любому критерию — числу журналов, числу статей, числу ученых и т.д. Причем период удвоения во всех случаях около 10 лет. Поэтому утверждение о взрывообразном росте интереса к магнитобиологии не имеет обоснования.

Трудно обойти стороной предложенное в обзоре [1] сравнение ситуаций в таких областях, как магнитобиология и высокотемпературная сверхпроводимость. Хотя авторы правы в том, что в обеих областях отсутствует полная теория, различия в качестве и уровнях эксперимента колоссальные. Сам факт высокотемпературной сверхпроводимости в определенных материалах прекрасно воспроизводится, и, разумеется, многие свойства явления тоже хорошо установлены. Магнитобиология, судя по обзору [1], пока далека от этого уровня.

Не обходят авторы и пугающую медицинскую статистику. Если, пишут они, магнитное поле увеличивает вероятность "онкологических заболеваний... всего на 1%, то потери страны с населением 50 млн человек могут составить до 1000 человек в год". Здесь беда состоит не только в том, что цифра 1% взята в буквальном смысле слова ниоткуда (как и 50 млн), но и в том, что это рассуждение ведет нас в область медицинской статистики. Поразительный (хотя и понятный) факт из этой области состоит в том, что массовое применение антибиотиков привело к существенному повышению "вероятности онкологических заболеваний" (используя авторскую терминологию). Конечно, потому что "до рака" доживают многие из тех, кто без антибиотиков умер бы раньше от туберкулеза, пневмонии или менингита. Из этого примера вытекает, что ссылки на медицинскую статистику остаются неубедительными без углубления в медицинскую специфику, что вряд ли уместно в *УФН*. Кроме того, надежные опыты в медицине должны быть дважды слепыми<sup>1</sup>, что опять возвращает нас к вопросу о качестве опытов.

Какое же вывод? Вывод состоит в том, что обзор [1] не пролил ясности на область магнитобиологии, и область по-прежнему ждет убедительных опытов с тем

<sup>1</sup> В медицинском опыте, чтобы изучить воздействие какого-то фактора (скажем, нового лекарства) на организм человека, необходимы две группы пациентов, опытная и контрольная, получающие соответственно реальное средство и безопасный пассивный заменитель (плацебо). Чтобы психологический фактор не определял исход опыта, необходимо скрывать от пациента, получает он плацебо или нет (слепой опыт), но также и от испытателя необходимо скрывать, что он дает тому или иному пациенту (дважды слепой опыт).

же стандартом качества и воспроизводимости, который принят в других разделах физики и биофизики.

И последнее. Критическая заметка о магнитобиологическом обзоре может вызвать контркритику: дескать, традиционная наука "не пускает" новаторов. На это можно ответить словами Ж.-Б. Ламарка, настоящего научного революционера, знавшего, о чем он говорил: "Лучше, чтобы истина, раз понятая, была обречена на долгую борьбу, не встречая заслуженного внимания, чем чтобы все, что порождается пылким воображением человека, легковерно воспринималось" (цитируется по книге [5]).

Автор благодарит М.И. Каганова за внимательное критическое чтение этого письма.

### Список литературы

1. Бинги В Н, Савин А В *УФН* **173** 265 (2003)
2. Park R L *Voodoo Science: the Road from Foolishness to Fraud* (Oxford: Oxford Univ. Press, 2002)
3. де Жен П-Ж *Идеи скейлинга в физике полимеров* (М.: Мир, 1982)
4. Блюменфельд Л А *Проблемы биологической физики*, 2-е изд. (М.: Наука, 1977)
5. *Жизнь науки: Антология вступлений к классике естествознания* (Сост. С П Капица) (М.: Наука, 1973)