

УДК 537.3.043

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ЖИВЫЕ ОБЪЕКТЫ

© 2003 г. В. Н. Аносов, Э. М. Трухан

Представлено академиком В.А. Шумаковым 26.11.2002 г.

Поступило 17.12.2002 г.

Многочисленные сообщения об удивительных биологических эффектах, вызываемых слабыми и сверхслабыми магнитными полями, появившиеся в последние годы, вызывают большой интерес (см., например, [1]). При этом чрезвычайно малая интенсивность первичного акта воздействия на объект говорит скорее об информационном, чем о силовом характере влияния поля. Однако гипотезы о физических механизмах этих удивительных явлений пока нельзя признать убедительными.

Мы хотим привлечь внимание к известному, но мало востребованному в биофизике понятию магнитного векторного потенциала. Мы полагаем, что это позволит перевести проблему биологической активности слабых магнитных полей на новую, более конструктивную основу.

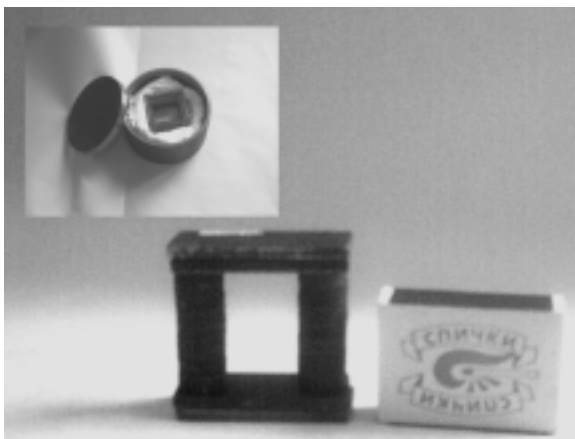
Магнитный векторный потенциал,  $\mathbf{A}$ , обычно вводится в теорию поля, как величина, облегчающая вычисление магнитного поля,  $\mathbf{B}$ , ( $\mathbf{B} = \text{rot}\mathbf{A}$ ), и не претендующая на самостоятельный физический смысл [2]. Однако после идеи, высказанной в 1959 г. Аароновым и Бомом [3], стало возможным рассматривать векторный потенциал как поле, имеющее самостоятельное физическое значение и способное оказывать непосредственное воздействие на физические процессы, в том числе и тогда, когда в месте расположения объекта воздействия  $\text{rot}\mathbf{A} = 0$ , т.е. магнитного поля нет. Эти соображения получили экспериментальное подтверждение (“эффект Ааронова–Бома”) и дальнейшее развитие в ряде работ других авторов [4–6], хотя и остаются малоизвестными. Физический механизм воздействия векторного потенциала основан на том, что, входя в уравнение Шредингера в виде  $\mathbf{A}$ , (а не  $\text{rot}\mathbf{A}$ ), он вносит дополнительный сдвиг фаз в  $\psi$ -функцию частицы:

$$\Delta\varphi = (e/\hbar) \int \mathbf{A} d\mathbf{r}, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд частицы,  $\hbar$  – постоянная Планка, а интегрирование проводится вдоль “траектории”

частицы. Фаза  $\psi$ -функции не влияет на распределение электронной плотности  $\rho$  ( $\rho = |\psi|^2$ ) уединенного электрона. Поэтому часто ошибочно полагают, что, влияя лишь на фазу  $\psi$ -функции, векторный потенциал вообще не способен оказать физически измеримое воздействие. Однако при суперпозиции нескольких  $\psi$ -функций результирующая электронная плотность зависит от фаз слагаемых функций. Это наглядно проявляется в эффекте Ааронова–Бома в виде смещения полос электронной плотности на экране при интерференции электронных волн от двух щелей в вакууме [4]; в периодическом изменении суммарного тока с ростом приложенного  $\mathbf{A}$  при интерференции параллельных токов через микрополукольца в проводнике [5]; в эффекте Джозефсона на контакте двух сверхпроводников [6]. Поскольку интерференция  $\psi$ -функций отвечает за многие элементарные физические и химические процессы, то можно предположить, что перечень возможных проявлений действия векторного потенциала значительно шире. Так, например, можно ожидать, что  $\mathbf{A}$  должен влиять на скорость химической реакции с параллельными или конкурирующими путями переноса зарядов, на скорость химических реакций и физических процессов с участием стадий туннелирования электронов и протонов. Многие биохимические процессы включают стадию туннельного переноса элементарных зарядов от донора к акцептору. Туннельный перенос, являясь изоэнергетическим процессом, обеспечивает направленный необратимый перенос только благодаря релаксационным процессам в доноре или (и) акцепторе, которые часто лимитируют скорость всей реакции [7]. При этом амплитуды  $\psi$ -функций на доноре и акцепторе до начала и в первый период релаксации близки друг к другу. Эта ситуация напоминает случай с туннелированием электронных пар между двумя сверхпроводниками через тонкий зазор в эффекте Джозефсона. Поэтому в первом приближении скорость переноса заряда можно описать так же, как и в эффекте Джозефсона [6]:

$$v = v_0 \sin \varphi, \quad (2)$$



**Рис. 1.** Фотография источника векторного потенциала. Вертикальные цилиндры – магниты, горизонтальные перемычки – стальные магнитопроводы. В верхнем углу показан вид источника векторного потенциала в стальном экране.

где  $v_0$  – максимальное значение скорости, зависящее от туннельной прозрачности барьера между донором и акцептором,  $\varphi$  – разность фаз между  $\psi$ -функциями зарядов на доноре и акцепторе, содержащая вклад, создаваемый сторонним векторным потенциалом по (1). Для реальных биохимических систем скорость переноса будет иметь более сложный вид, но зависимость ее от  $A$  в некотором виде должна сохраниться. При этом могут измениться весовые вклады альтернативных путей процесса, а с этим – не только скорость результирующей реакции, но и качественный состав ее продуктов.

Возможной мишенью воздействия векторного потенциала может быть и вода, являющаяся важнейшей средой для биохимических и биофизических процессов. Перестройка структуры воды, вызванная нарушением равновесных условий на внутриклеточном масштабе, происходит в основном посредством туннелирования протонов вдоль межмолекулярных водородных связей. Этот процесс также может быть объектом действия векторного потенциала, изменяющего скорость и направление процесса, а вместе с этим и судьбу биохимической системы клетки.

Приведенные общие элементарные соображения говорят о том, что эти сугубо квантовые явления могут вызывать заметные макроскопические изменения состояния и поведения живых систем. При этом первичный акт воздействия, заключающийся в изменении фазы отдельных  $\psi$ -функций, носит сигнальный, информационный характер, в то время как ожидаемый макроскопический эффект является результатом усиления первичных процессов за счет энергетических ресурсов самого объекта воздействия. Поэтому экспериментальное исследование влияния векторно-

го потенциала на живые объекты представляется не только не лишенным смысла, но и актуальным, имеющим фундаментальное и практическое значение.

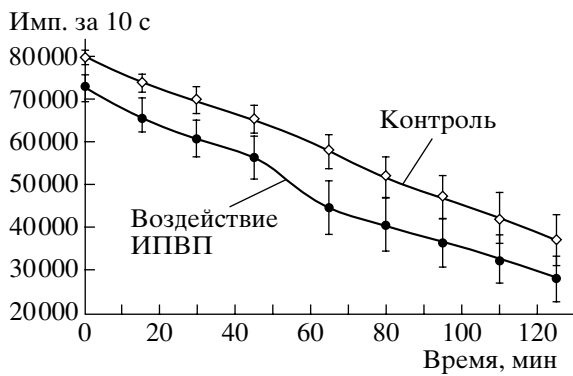
В данном сообщении приводятся экспериментальные результаты воздействия стороннего векторного потенциала на некоторые физические характеристики простейших живых объектов: интенсивность биолюминесценции живых клеток, скорость оседания эритроцитов, подвижность гидробионтов, а также на скорость простой химической реакции в водном растворе.

### Методика и условия проведения эксперимента

Источником поля векторного потенциала в экспериментах служило устройство из двух параллельно расположенных цилиндрических постоянных самарий-кобальтовых магнитов (с собственной индукцией 150 мТл), диаметром 1.5 см и длиной 4 см, торцы (“полюса”) которых соединены между собой стальными магнитопроводами “северный” полюс одного с “южным” другого (рис. 1). Магнитная индукция  $B$  в образовавшемся замкнутом прямоугольном кольце сосредоточена в его сердечнике и вне него практически отсутствует. Небольшое поле рассеяния, обусловленное неполным замыканием магнитного потока и неточностью сборки устройства, дополнительно ослаблено замкнутым стальным экраном цилиндрической формы, который охватывает магнитное кольцо. Внешний диаметр экрана 12 см, его высота 7 см, толщина стенок 1 см. Вне экрана остаточное магнитное поле, измеренное микроверметром Ф-191, не превышало магнитного поля Земли ( $<50$  мкТл.). Линии безроторного векторного потенциала охватывают сердечник кольца и свободно проходят через стенки экрана. При этом “пучность” линий векторного потенциала находится в центральной плоскости кольца на его оси симметрии. Векторный потенциал в “пучности” направлен по оси симметрии, а его величина, приближенно рассчитанная по известным формулам [2], составляет 100 мкТл · м. Внешние размеры экрана и измерительных кювет определяют минимальное расстояние в 5–6 см, на которое объект воздействия отстоит от точки максимума. Величину векторного потенциала в объеме испытываемого образца можно при этом оценить как 30 мкТл · м.

### Свечение бактерий

В качестве удобного объекта был выбран генноинженерный штамм кишечной палочки *Escherichia coli*, полученный пересадкой гена люциферазной системы *Photobacterium fischeri* в геном *E. coli*, удобный и широко используемый для определения токсичности водных сред объект (препарат Эколюм фирмы “Аргумент”). Интенсивность биолюминесценции водной суспензии явля-

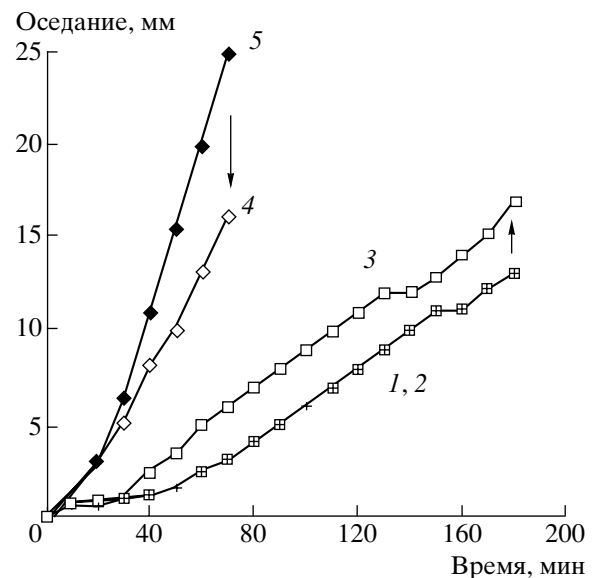


**Рис. 2.** Кинетика интенсивности свечения бактериального препарата “Эколюм” в контроле и после часового воздействия источника постоянного векторного потенциала.

ется показателем качества водной среды и физиологического состояния бактерий [8]. Для измерения свечения использовался люминометр Биотокс-7 с комплектом стеклянных пробирок для образцов. Подготовка образцов проводилась по стандартной методике, используемой для токсикологических тестов. Опытная группа из 5 пробирок с водной суспензией бактерий помещалась на 1 ч на расстоянии 5 см от источника векторного потенциала. Контрольная группа пробирок с идентичной суспензией выдерживалась в течение этого же времени на расстоянии более 1 м от опытной группы. Затем пробирки поочередно помещались в люминометр, который считал фотоны, попавшие в фотоумножитель от каждой пробирки за 10 с. Усредненные результаты наблюдения за свечением бактерий представлены на рис. 2. Отчетливо видно угнетающее действие векторного потенциала после часовой экспозиции, результаты которого сохраняются в течение двухчасового периода наблюдения.

### Реакция оседания эритроцитов

Для проведения измерений скорости оседания эритроцитов был использован метод Панченкова [9] и соответствующий прибор. Кровь получали от практически здоровых мужчин и женщин в возрасте от 49 до 65 лет. Стабилизированная цитратом натрия кровь набиралась в несколько пипеток, около одной из которых на расстоянии 3 см располагался источник поля векторного потенциала. Характер влияния векторного потенциала на реакцию оседания эритроцитов индивидуален и зависит от состояния системы крови донора, как и сама исходная величина скорости оседания эритроцитов (СОЭ). Обычная клиническая норма СОЭ – от 5 мм за 1 ч у мужчин до 12 мм за 1 ч у женщин. Некоторые результаты наблюдения за СОЭ крови доноров с разной ее исходной величиной приведены на рис. 3. Ясно видно воздействие источника поля векторного потенциала, в неко-



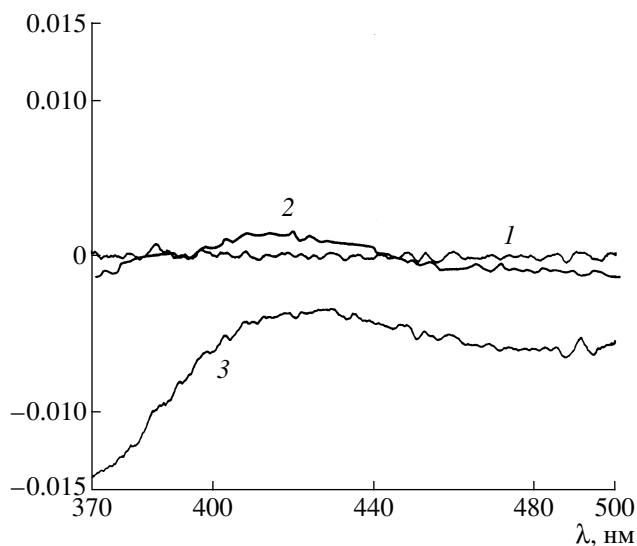
**Рис. 3.** Динамика оседания эритроцитов крови двух доноров без дополнительного воздействия (1, 5), в магнитном поле 1 мТл (2) и при действии постоянного векторного потенциала (3, 4). Стрелками показан сдвиг кривых под действием векторного потенциала.

тором смысле “нормализующее” показатели СОЭ крови пациентов. Зависимость степени воздействия векторного потенциала от его величины также индивидуальна и нелинейна. Так, например, у пациента с пониженным значением СОЭ при наблюдении в течение 1 ч векторный потенциал величиной до 50 мкТл · м вызывает монотонное возрастание СОЭ, приближая его к “норме”, значение до 100 мкТл · м приводит к насыщению эффекта. Увеличение потенциала до 200 мкТл · м, полученное добавлением второго источника векторного потенциала, вновь выводит СОЭ за пределы “нормы”, но уже в сторону его увеличения. Это явление особенно хорошо выражено при длительных экспозициях и (конечно очень условно) может быть названо “передозировкой”.

На рис. 2 в качестве контроля представлено также влияние на СОЭ отдельно созданного магнитного поля (1 мТл), значительно превышающего поле рассеяния источника векторного потенциала. Практически полное отсутствие влияния магнитного поля указанной напряженности позволяет отнести наблюдаемый в нашем случае эффект к действию собственно векторного потенциала.

### Двигательная активность инфузорий спиростом

Для определения влияния векторного потенциала на двигательную активность гидробионтов использовали несколько измененную стандартную методику определения функционального состояния культивируемых в лабораторных условиях инфузорий спиростом (*Spirostomus ambiquum*) по уровню двигательной активности, определяемому



**Рис. 4.** Дифференциальные спектры оптической плотности водных растворов смеси  $10^{-4}$  М гидрохинона и  $0.8 \cdot 10^{-2}$  М КОН. По вертикальной оси – разность оптической плотности между двумя кюветами. 1 – в обеих кюветках исходная смесь через 5 мин после приготовления, 2 – то же через 3.5 ч, 3 – одна из кювет с исходной смесью находилась 3.5 ч в поле векторного потенциала.

как число пересечений визира окуляра микроскопа МБС-1 спиростомами в ячейке специальной камеры.

Популяция спиростом делилась на две части: экспериментальную и контрольную по 100 особей в каждой. Опытная группа спиростом в чашке Петри с водой на время экспозиции размещалась вблизи источника векторного потенциала на расстоянии 5 см от него по оси устройства, вторая группа в своей чашке размещалась на удалении более 1 м от первой.

Контрольная и опытная группы перед воздействием имели одинаковые индексы двигательной активности (ИДА):  $2.3 \pm 0.05$ . За 1 ч воздействия векторным потенциалом контрольная группа практически сохранила величину ИДА ( $2.37 \pm 0.05$ ), опытная же группа снизила этот показатель до  $2.05 \pm 0.05$ .

Дополнительно были проведены контрольные эксперименты в той же постановке, но с заменой источника векторного потенциала источником постоянного магнитного поля с напряженностью 2 мТл в месте расположения чашки со спиростомами. Эти эксперименты показали, что постоянное магнитное поле указанной величины не оказывает заметного воздействия на измеряемый параметр.

#### Реакция окисления раствора гидрохинона

Исходную реакционную смесь – 20 мл  $10^{-4}$  М раствора гидрохинона (Гост 19627-74) и 0.5 мл  $0.8 \cdot 10^{-2}$  М КОН (ч.д.а.) в воде с удельным сопротивлением 18.2 МОм · см (установка фирмы “Millipore” MILLI-Q UF PLUS) наливали в 50-мл колбу с притертой пробкой. Смесь встряхивали и выдерживали в течение 5 мин, потом ею быстро заполняли на три четверти две кварцевые кюветы (100-QS 10mm, фирма “HELLMA”) и с помощью спектрофотометра UV-2100 фирма “Shimadzu” регистрировали дифференциальный спектр поглощения исходной смеси.

Затем обе кюветы вынимали из кюветодержателя спектрофотометра, одну из них устанавливали на столе на расстоянии 5 см от источника векторного потенциала по его оси, другую на расстоянии 15 см от оси источника под общий деревянный кожух. После экспозиции (обычно 1–3.5 ч) обе кюветы возвращали в спектрофотометр и регистрировали дифференциальный спектр. Аналогичным образом проводили контрольный опыт: обе кюветы после регистрации дифференциального спектра исходной смеси вынимали из кюветодержателя спектрофотометра и устанавливали на стол на расстоянии 15 см друг от друга под общий кожух, а через заданное время вновь регистрировали дифференциальный спектр смеси.

Цвет растворов во всех кюветках заметно менялся со временем. Однако разница в спектрах поглощения между контрольными кюветками практически отсутствовала, в то время как поглощение кюветкой, экспонированной в поле векторного потенциала, измеренное в дифференциальном режиме, значительно отличалось (рис. 4).

#### Обсуждение результатов

Полученные результаты можно рассматривать как проявление действия векторного потенциала на элементарные процессы, усиленное в неравновесной системе до макроскопического уровня.

Вероятно, некоторые исследователи нашу постановку опытов, не зная их цели, ошибочно трактовали бы как действие слабых магнитных полей. Мы же целенаправленно снижали величину **B** до минимально возможного уровня и в контрольных измерениях показали, что эффект коррелирует именно с величиной **A**, а не с его ротором. Возможно, что некоторые из многочисленных опытов с воздействием слабых магнитных полей содержат подобную ошибку в интерпретации результатов: действующим фактором в них являлось не слабое магнитное поле, а немалый, но безроторный векторный потенциал. А так как при заданной величине **B** значение **A** зависит от конструкции источника поля, то это может объяснить плохую воспроизводимость результатов по действию слабых магнитных полей, получаемых в разных лабораториях. В реальных условиях Земли все объекты

находятся в поле естественного векторного потенциала, который складывается из галактической, солнечной и земной составляющих. Их векторная сумма зависит от их взаимной ориентации и испытывает изменения с различными периодами. Лабораторные экспериментальные поля векторно складываются с естественным, а величина результирующего поля зависит от места и времени проведения эксперимента. Это может влиять на повторяемость результатов во времени даже в одной и той же лаборатории. Это важное обстоятельство требует специальной проверки.

Прогресс в понимании физических механизмов генерации и действия полей векторного потенциала будет способствовать созданию принципиально новых видов медицинской диагностики и терапии и нового направления в технологии живых систем. Следует отметить, что за рубежом идет активное патентование методов и устройств, использующих безроторный векторный потенциал для изменения свойств материалов, для воздействия на химические и биохимические процессы, а также в качестве высоко проникающего носителя информации для целей связи [10–13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования. Материалы III Междунар. конф. М.; СПб., 2002.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989. 504 с.
3. Aharonov Y., Bohm D. // Phys Rev. 1959. V. 115. P. 485–491.
4. Tonomura A., Osakabe N., Matsuda T. et al. Phys. Rev. Lett. 1986. V. 56. P. 792–795.
5. Имри Дж., Уэбб Р. // В мире науки. 1986. № 6. С. 24–31.
6. Фейнман Р., Лейтон Р. Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 9. Квантовая механика II. М.: Мир, 1967. 259 с.
7. Чернавский Д.С., Чернавская Н.М. Белок-машина. М.: Янус-К, 1999. 256 с.
8. Акимов С.А., Трухан Э.М. // Сенсор. системы. 2002. Т. 16. № 3. С. 245–250.
9. Справочник по клиническим лабораторным методам исследования / Под ред. Е.А. Кост. М.: Медицина, 1975. 8 с.
10. Кропп В. Способ обработки субстрата в поле магнитного векторного потенциала и устройство для его осуществления. Пат. РФ № 2101842 // Бюлл. Открытия, изобр., промышл. образцы, товар. знаки. 1998. № 1.
11. Gelinas R.C. Apparatus and Method for Transfer of Information of Curl-Free Magnetic Vector Potential Field. Pat. US 4.432.098.
12. Gubernic J., Cioca Ch. Method of Improving Skin Condition // Pat. US 5.905.265.
13. Puthoff H.E. Communication Method and Apparatus with Signal Comprising Scalar and Vector Potentials without Electromagnetic Fields // Pat. US 5.845.220.