

DOI: 10.55090/19964552\_2023\_2\_140\_147

# О ВАЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В КУРСЕ ФИЗИКИ МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

**Ельцов Анатолий Викторович,**

*доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры математики, физики  
и медицинской информатики*

ВО Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова  
Минздрава России, г. Рязань

 eltsov17@rambler.ru

**Попов Герман Максимович,**

*студент,*

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова

 german.popov.1985@mail.ru

---

## АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены различные воздействия магнитных полей на биологические организмы. Рассмотрено влияние переменного магнитного поля на мозг человека. Проиллюстрирован метод транскраниальной магнитной стимуляции в зависимости от формы индуктора. Показаны области воздействия на мозг и глубина проникновения магнитного поля в зависимости от используемого индуктора. Отмечены физические составляющие данного метода при изучении физики в медицинском университете. Показаны преимущества метода транскраниальной магнитной стимуляции перед транскраниальной электростимуляцией

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *физика, магнитное поле, биологические организмы, мозг, стимуляция, ТЭС, ТМС, индуктор.*

# ON THE IMPORTANCE OF STUDYING THE PROPERTIES OF MAGNETIC FIELDS IN THE PHYSICS COURSE OF THE MEDICAL UNIVERSITY

**Yeltsov A. V.,**

*Ph.D. (Education) Professor, Chair of Mathematics, Physics and Medical Information Technology,*

Ryazan State Medical University named after Academician Ivan Pavlov, Ryazan, Russian Federation

**Попов Н. М.,**

*student,*

Ryazan State Medical University named after Academician I. P. Pavlov, Ryazan, Russian Federation

---

## ABSTRACT

The article considers various effects of magnetic fields on biological organisms. The influence of an alternating magnetic field on the human brain is considered. The method of transcranial magnetic stimulation depending on the shape of the inductor is illustrated. The areas of influence on the brain and the depth of penetration of the magnetic field are shown, depending on the inductor used. The physical components of this method are noted when studying physics at a medical university. The advantages of the transcranial magnetic stimulation method over transcranial electrical stimulation are shown.

**KEYWORDS:** *physics, magnetic field, biological organisms, brain, stimulation, TES, TMS, inductor.*

Сезонная навигация у птиц и рыб вдоль линий магнитного поля (МП) Земли выявили его влияние на жизнедеятельность других простейших организмов (молюсков, червей, растений и т. д.). Многие живые организмы содержат в себе особые частицы — магнетиты ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Так есть бактерии, которые содержат такое количество таких частиц, что они оказывают влияние на их расположение и ориентацию вдоль линий магнитного поля. Кристаллы магнетитов присутствуют в теле голубей, пчел, многих млеко-

питающих и в мозге человека. Расположение таких частиц может усиливать влияние внешних МП, например, изменять поток ионов через мембраны клеток. В последнее время детальное изучение свойств магнитных полей обусловили использование их для диагностики и лечения.

Сегодня можно выделить различные воздействия МП на биологические организмы:

- усиление кровотока и улучшение транспортной функции крови;
- снижение вязкости крови и изменение ее реологических свойств;
- увеличение скорости движения ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$ ;
- изменение (рН) кислотно-щелочного баланса различных жидкостей;
- изменение скорости различных биохимических процессов;
- увеличение скорости выработки гормонов

Магнито-резонансная томография (МРТ) основана на использовании однородного импульсного магнитного поля большой интенсивности.

Сегодня можно утверждать, что МП оказывают значительное влияние на все живые организмы нашей планеты, хотя большинство компонентов живых организмов, благодаря наличию воды обладают слабыми диамагнитными свойствами. Под действием внешних МП электроны молекул воды могут лишь незначительно изменять свое положение, образованные этим токи смещения создают собственное МП противоположного направления, во много раз меньше приложенного. При исчезновении внешних магнитных полей электроны возвращаются на свои первоначальные орбиты, и молекулы воды перестают обладать магнитными свойствами. МП не изменяет химическую структуру воды, могут изменяться лишь силы взаимодействия для некоторых химических соединений. Известно, что при магнитной обработке воды молекулы солей кальция теряют способность выпадать в осадок и кристаллизуются в виде мелкодисперсной взвеси. При контакте воды, подвергшейся магнитной обработке, с уже выделившимися солями происходит их частичное растворение, а также разрушение до мелкого легкоудаляемого состояния.

В организме человека, согласно последним исследованиям, свободные ионы кальция рассматриваются как своеобразные «магниторецепторы», которые участвуют в преобразовании внешней магнитной энергии в нервные импульсы. Под воздействием внешних МП концентрация биоактивных ионов кальция  $\text{Ca}^{2+}$  в межклеточной жидкости понижается, значение потенциала покоя уменьшается. При деполяризации пресинаптических нейронов повышается проницаемость мембран для входа  $\text{Na}^{+}$  и появляются импуль-

сы у «молчавших» нейронов. Доказано, что МП могут оказывать непосредственное влияние на структуры головного мозга.

Переменные магнитные поля существенно отличаются от постоянных, поскольку, изменяющееся во времени МП индуцирует электрическое поле. Электрические поля оказывают определенное воздействие на биологические процессы в головном мозге и нервных тканях. В настоящее время показано, что при лечении депрессии, шизофрении, эпилепсии, болезни Паркинсона современным средством является транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС).

Метод ТМС заключается в создании индукционного электрического тока в определенной области человеческого мозга человека с помощью катушки (индуктора) подключенной к голове испытуемого. Программно создаваемые в катушке индуктивности электрические импульсы, длительностью в миллисекунду каждый, приводят к возникновению переменного МП, которое индуцирует ток в исследуемой области мозга. Форма катушки играет ключевую роль, определяя направление и интенсивность вектора электромагнитной индукции и возникающего электрического тока.

Важными аспектами метода, при изучении его физических составляющих, являются импеданс различных участков мозга (кора, белое вещество, базальные ганглии), глубина и площадь стимулируемых участков, влияющая на проницаемость магнитного воздействия и последующее возникновение электродвижущей силы (ЭДС). Из этого следует необходимость рассмотрения катушек разных форм с различной интенсивностью воздействия для имеющих сопротивлений тканей головного мозга.

Для определения направления и величины индукционного тока необходимо учитывать, что возникающая ЭДС будет определяться законом электромагнитной индукции:

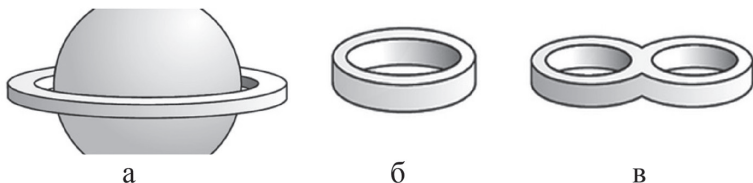
$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt},$$

где изменение магнитного потока  $d\Phi = BdS \cos\alpha$  ( $B$  — вектор индукции магнитного поля,  $dS$  — площадь контура, ограниченного катушкой) Силовые линии МП замкнуты, направление индукционного тока определяется по правилу Ленца (возникающий в замкнутом контуре индукционный ток, всегда имеет такое направление, что созданное им МП стремится противодействовать изменению МП, его породившему). Направление индукционного тока определяется по правилу правого винта (если совместить на-

правление вращения винта с направлением силовых линий индукционного магнитного поля, то поступательное движения винта укажет направление индукционного тока).

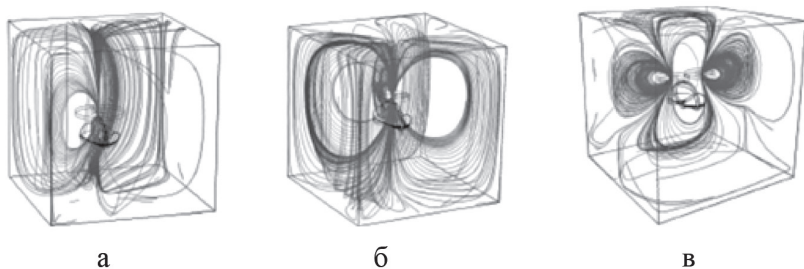
Магнитное поле, генерируемое катушкой, способно воздействовать на ионы, находящиеся в зоне его действия. Следовательно, возникающие в тканях мозга ионные токи лежат в плоскостях перпендикулярных плоскостям внешнего МП. Изменяя форму и расположение катушки относительно тканей головного мозга пациента, можно регулировать интенсивность воздействия на них.

Существуют 3 вида наиболее часто используемых индукторов: большая кольцевая катушка (а), малая кольцевая катушка (б), катушка типа «восьмерка» (в) (рис. 1).



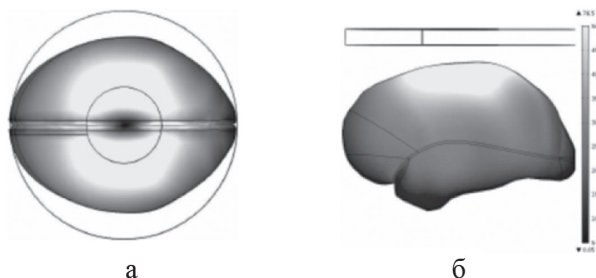
*Рис. 1. Наиболее распространенные типы индукторов*

Силовые линии магнитного поля данных катушек, будут зависеть от их формы (рис. 2) и соответственно площадь воздействия также будет находится в прямой зависимости от формы индуктора. Следовательно, эффективность создаваемых в тканях мозга токов также находится в непосредственной связи с геометрией излучателя магнитного поля.



*Рис. 2.*

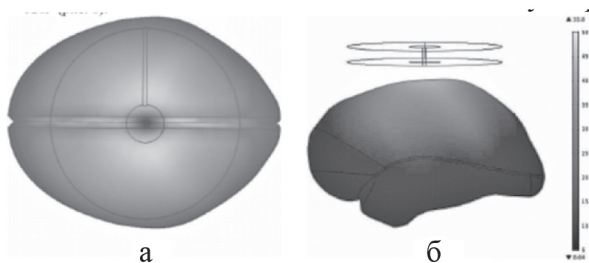
На рисунке 3 показана площадь и плотность индукционного тока на поверхности мозга при использовании большого кольцевого индуктора:



а — вид сверху, б — вид сбоку

*Рис. 3. Воздействие на мозг большим кольцевым индуктором*

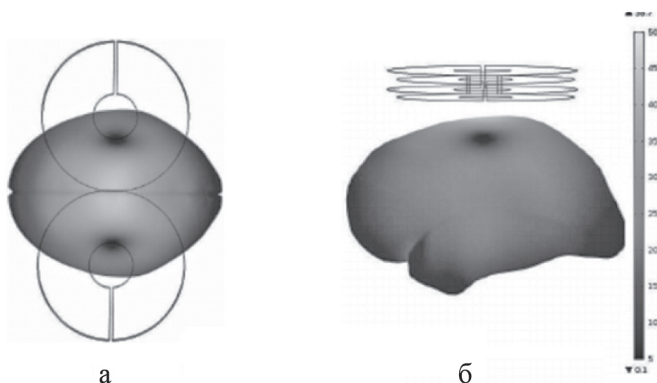
На рисунке 4 соответственно площадь и интенсивность индукционного тока на поверхности мозга при использовании малого кольцевого индуктора;



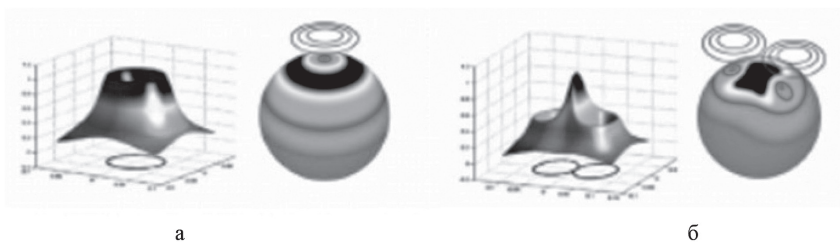
*Рис. 4. Воздействие на мозг малым кольцевым индуктором*

На рисунке 5 показана площадь и плотность индукционного тока на поверхности мозга при использовании индуктора в виде восьмерки.

Приведенные выше рисунки указывают на наличие корреляции между формой генератора магнитного поля катушки-индуктора, площадью распределения токов в тканях и его плотностью, в различных участках мозга.



**Рис. 5.** Воздействие на мозг индуктором типа восьмерка



**Рис. 6.** Глубина проникновения магнитного поля и форма области возбуждения в зависимости от типа индуктора: а- кольцевой индуктор, б- индуктор типа «восьмерка»

Из приведенного выше рисунка видно, что от формы индуктора также зависит глубина проникновения магнитного поля в ткани головного мозга.

Проникающее вглубь мозга магнитное поле индуцирует в тканях головного мозга электрическое поле, под воздействием которого происходят деполяризация мембран нейронов с возникновением потенциалов действия и распространение возбуждения в стимулируемых участках коры головного мозга.

Очевидным преимуществом ТМС перед транскраниальной электростимуляцией головного мозга (ТЭС) является значительно меньшая активизация болевых рецепторов, что позволяет применять этот метод для большего

количества обследуемых. С помощью ТМС возможно исследовать не только двигательные, но и другие зоны коры головного мозга.

С помощью восьмиобразной катушки можно осуществлять локальную стимуляцию близких к поверхности скальпа образований мозга, таких как кора полушарий большого мозга и мозжечок. Индуктор располагают тангенциально к скальпу, при этом вероятность стимулирования нервных структур максимальна в тех участках, которые ориентированы параллельно центральным сегментам катушки. Стимуляция более обширных участков проводится с помощью круглых индукторов. ■

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Никитин С. С., Куренков А. Л.* Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей. М., 2003.
2. *Кистень О. В., Давыдов М. В., Евстигнеев В. В.* // *ArsMedica*. 2010. № 12 (32). С. 79–85.
3. *Кистень О. В., Евстигнеев В. В., Давыдов М. В.* // Матер. шестого междисциплинарного конгресса «Нейронаука для медицины и психологии». Судак, 2010. С. 160–161.
4. *Червяков А. В., Пирадов М. А., Савицкая Н. Г. и др.* // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2012. Т. 6. № 3. С. 37–46.
5. *Давыдов М. В., Евстигнеев В. В., Осипов А. Н. и др.* // Сб. научн. статей VI Междунар. научн.-технич. конф. «Медэлектроника-2010. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии». Минск, 2010. С. 124–130.
6. *Ельцов А. В.* Интегративный подход как теоретическая основа осуществления школьного физического эксперимента. Издательство РГУ имени С. А. Есенина, Рязань, 2007. — 248 с.
7. *Ельцова Л. Ф.* Концепты пространства в медицинской терминологии. Автореф. дисс... канд. филол. наук. Рязань, 2000. 29 с.