



Лекция 10

Магнетизм в Биологии

А.Б. Грановский

кафедра магнетизма физического факультета

МГУ им. М.В. Ломоносова

**БИОМАГНЕТИЗМ – СОБСТВЕННЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**МАГНИТОБИОЛОГИЯ – ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ И
МЕХАНИЗМОВ ДЕЙСТВИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

МБЭ слабых (до 10 Э) и сильных постоянных и переменных магнитных
(электромагнитных) полей





Магнитобиологический Эффект

Почему некоторые люди чувствуют себя неуверенно во время магнитных бурь?

Почему существует корреляция между уровнем магнитного шума и вероятностью раковых заболеваний?

Почему так много медицинских центров используют электромагнитные излучения для терапии широкого круга заболеваний человека?

Линии электропередач, бытовые электроприборы, мобильные телефоны ...
Люди как бы погружены в естественные и техногенные электромагнитные поля.
Они не безразличны к этим полям так же, как и все другие живые системы.
Этот факт подтверждается огромным числом научных работ.
Однако большинство авторов отмечают, что физическая причина этого явления до сих пор **неизвестна и парадоксальна.**

Лечение коксартроза магнитным аппаратом АЛМАГ-02

АЛМАГ-02 — физиоаппарат последнего поколения стационарного уровня, доступен и для домашнего применения.

АЛМАГ-02 воздействует бегущим импульсным магнитным полем.

В аппарате имеется специальная программа для лечения коксартроза (разработана в ГВКГ им. Бурденко).

Лечебный курс включает 15 процедур по одной процедуре в день. Используется основной излучатель (магнитный коврик), которым обрабатывается пояснично-крестцовая зона и тазобедренный сустав N-стороной (направление поля) к телу, включается программа №27 (бегущее слева-направо импульсное магнитное поле, индукция 15 мТл, частота

100 Гц, время воздействия 15 мин.). С 6-й процедуры используется программа №28 (бегущее слева-направо импульсное магнитное поле, индукция 10 мТл, частота 25 Гц, время воздействия 20 мин.). Повторные курсы проводятся 2-3 раза в год.

АЛМАГ-02 хорошо показал себя при лечении лимфостаза, варикозной болезни, осложнений сахарного диабета, мочекаменной болезни и др. заболеваний



Аппарат бегущего импульсного магнитного поля АЛМАГ-01

ПРИМЕНЯЕТСЯ ПРИ ЛЕЧЕНИИ:
остеохондроза, артроза, артрита, гипертонии I-II стадии, атеросклероза, сосудов, заболеваний желудочно-кишечного тракта, травм, позвоночника, переломов костей, невритов, варикозной болезни, хронического, тромбофлебита и др.

Гибкая конструкция. Удобное лечение без посторонней помощи; Компактен. Можно брать с собой в поездку, на дачу.

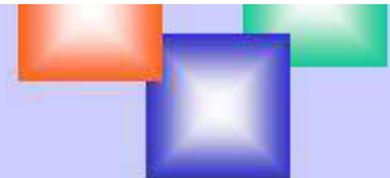
Аппараты не требуют специальной подготовки



План

- Магнитные и электрические свойства некоторых естественных биологических материалов.
- Простейшая классификация биокomпонентов, одноклеточных и многоклеточных живых систем.
- Магнитотактические бактерии.
- Окислы железа и ионы железа в живых организмах. Магнитные свойства крови.
- Биологические эффекты электромагнитных полей. Возможные механизмы воздействия слабых и сильных электромагнитных полей на биологические объекты.
- Структура и функции биомембран. Биомембрана в магнитном поле.

“I swear to tell the truth, all the truth and nothing but the truth”

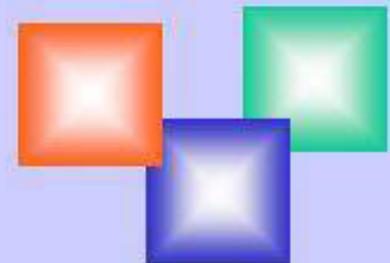


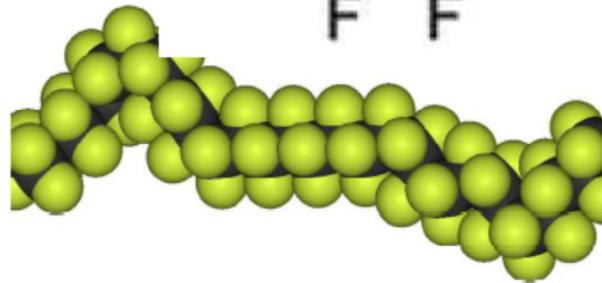
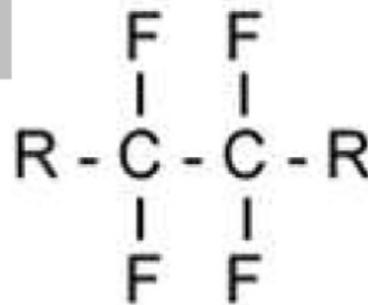


Магнитные и электрические свойства некоторых естественных биологических материалов

Биоматериалы: части живого организма; материал, получаемый на основе частей живого организма; биосовместимые ; материалы, полученные с использованием биотехнологий

Материалы, формирующие части живого организма, на **95%** состоят из атомов **4 биоэлементов – углерода, водорода, кислорода, азота**, объединенных в органические (белки, липиды, нуклеотиды...) и неорганические (вода, минеральные соли, газы) биомолекулы



**PTFE**

Существует множество типов биосовместимых материалов. В качестве примера опишем **политетрафлюорэтилен (PTFE)**, полимер, очень похожий на полиэтилен, но в отличие от полиэтилена, в политетрафлюорэтилене атомы водорода замещены атомами фтора. Самое важное свойство данного материала - это его практически абсолютная инертность в отношении других химических веществ, связанная с особенностями его химической структуры



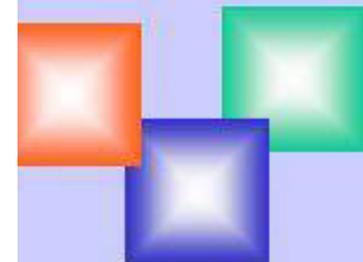
$$B = \mu H$$

$$\mu = 1 + \alpha$$

Магнитная восприимчивость

$\alpha \times 10^{-6}$

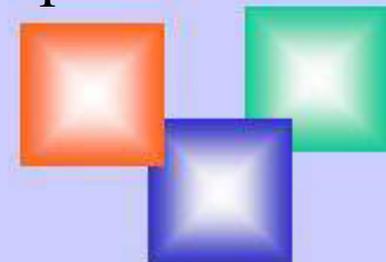
Воздух	+0.34
Вода	-9.05
Артериальная кровь	-9.01
Венозная кровь	-8.04
Эритроциты, обогащенные кислородом	-9.03
Эритроциты, не обогащенные кислородом	+3.88
Легкие на вдохе	-3.9
Легкие на выдохе	-4.1
Мускульная ткань	-9.0
Печень	-8.8
Костная ткань	-10



Относительная магнитная проницаемость биотканей близка к 1 с точностью до 2-го знака, поскольку основными компонентами биотканей являются вода, углеводы и липиды, которые относятся к диамагнетикам.

Эритроциты (клетки крови) – парамагнитны или диамагнитны, потому что центральное положение в молекуле гемоглобина занимает атом Fe и он может находиться в разном состоянии

Один из микроорганизмов (спирелла) способен синтезировать *ферритин* и накапливать его в специализированных органеллах – магнетосомах





Поэтому однородное магнитное поле легко проникает в организм, не сильно изменяется внутри него. Поэтому проще локализовать что-то (магнитную частицу или электрический диполь), и измерять какие-либо свойства внутри организма, используя магнитные методы измерений

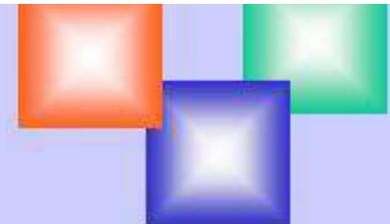
Диагностика

Хирургия (на конце скальпеля помещается магнит)

Терапия (избирательная способность здоровых и больных клеток поглощать наночастицы)

Нахождение металлических частиц в больных органах

Доставка лекарств





Самым нижним уровнем организации живых систем является *молекулярный*. На этом уровне проявляются такие процессы жизнедеятельности, как обмен веществ и превращение энергии, передача наследственной информации. Следующий уровень организации – *клеточный*. Все живые организмы состоят из клеток, клетка является структурной и функциональной единицей живого. В многоклеточном организме клетки объединяются в ткани, и, соответственно, выделяют *тканевой* уровень организации живых систем. **Тканью** называют систему клеток и межклеточного вещества, обладающую общностью строения, развития и специализированную для выполнения определенных функций. В организме различные ткани объединяются с образованием морфологически и функционально специализированных частей, *органов*.





Роберт Гук в 1665 г. Впервые описал строение коры пробкового дуба и стебля растений, ввел в науку термин «клетка».

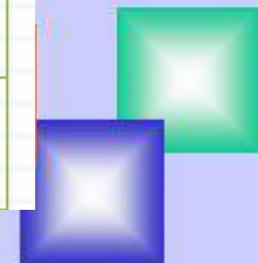


Микроскоп Роберта Гука





№	ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ	ОДНОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ	МНОГОКЛЕТОЧНЫЕ ОРГАНИЗМЫ
1	Количество видов	Более 60 000	Около 2350000
2	Размеры тела	От 0,2 мкм (микоплазмы) до 5-6 см (фораминиферы)	От 0,04 мм (коловратки) до 160 м (секвойя)
3	Тело состоит	С одной клетки	Из многих клеток и их производных (различные виды межклеточного вещества)
4	Клетки	Ядерные и безъядерные	Имеют ядро
5	Клетки	Представляет собой целостный организм	Неравноценны, дифференцированы
6	Органеллы (части одноклеточных организмов, выполняющие различные жизненные функции)	Скелетные (раковины саркодовых), двигательные (псевдоподии саркодовых), чувствительные (реснички инфузорий), нападения и защиты (трихоцисты инфузорий), пищеварительные (пищеварительные вакуоли простейших), экскреции и секреции (сократительные вакуоли простейших и некоторых водорослей)	Отсутствуют
7	Ткани и органы	Отсутствуют	Есть
8	Возникли	3500000000 (прокариоты) — 2 млрд лет назад (эукариоты)	Около 700 млн лет назад
9	Представители	Бактерии, цианобактерии, простейшие, некоторые грибы и водоросли	Растения, животные, грибы





Железо в человеке - примерно 4-5 г

Входит в состав сложных органических соединений

1. Мышечные белки (миоглобин)
2. Гемоглобин
3. Дыхательные ферменты

И в виде солей двух- и трехвалентного железа

Железосодержащие соединения: Содержащие ген (железопорфирин)- 75% в гемоглобине крови и мышц, Не содержащих ген - ферритин (15% общего белка в организме)

Ферритин — ГЛОБУЛЯРНЫЙ БЕЛКОВЫЙ КОМПЛЕКС, состоящий из 24 субъединиц и выполняющий роль основного внутриклеточного депо ЖЕЛЕЗА.

В растениях 2-5 мг железа

Нескомпенсированные магнитные моменты могут быть в радикалах

Эритроциты- примерно 8 мкм, форма двояковыпуклого диска, внутри очень гибкой оболочки – раствор гемоглобина и его соединений. Магнитный момент очень мал 10^{-18} Гс.

Электромагнитные параметры клеток крови определяют кинетику агрегационных процессов и суспензионную устойчивость крови [54, 60], ее вязкость и характер ее зависимости от скорости сдвига [19, 71], процессы свертывания крови, тромбирования сосудов [87] и многие другие. Даже слабые электромагнитные свойства клеток сказываются на особенностях течения клеточных суспензий во внешних ЭПМ, что используется в многочисленных медико–биологических, микробиологических, фармацевтических аппаратах и системах [149].



Биомагнетизм

Переменное
магнитное
поле

- МП электрических рыб
- МП сердца
- МП мышц
- МП мозга

Постоянное
магнитное
поле

- МП тканей тела, находящихся в магнитном поле Земли или других источников постоянного МП.

Магнитное поле
магнитных
включений

- Естественные включения
- Искусственные включения



Функционирование многих органов сопровождается **генерацией переменных электрических потенциалов**, регистрация которых на поверхности тела очень широко используется в медицине для диагностики состояния этих органов: электроэнцефалограмма – состояния головного мозга, электрокардиограмма – сердца, электромиограмма – сокращающихся скелетных мышц, электрогастрограмма – активности желудка, электроокулограмма – электрической активности наружных мышц глазного яблока, электронистагмография – регистрация движений глазных век и Т.д. Регистрация кожно–гальванических сигналов – электрических потенциалов, связанных с изменением потоотделения при эмоциональном возбуждении – используется для исследования эмоциональной активности и лежит в основе одного из видов «детектора лжи». Максимум электрической активности разных органов лежит в различных диапазонах частот, а величина амплитуды характеризует состояние органа.



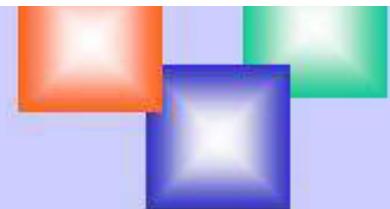
Таблица 1. Биоэлектрические и биоманнитные явления
(Катила, 1981)

Биоэлектрические явления	Амплитуда, мкВ	Биоманнитные явления	Амплитуда, пТл	Частотная полоса
Электрокардиограмма (Уоллер, 1887)	1000	Магнитокардиограмма (Боул, Макфи, 1963)	50	0,5—100
ЭКГ плода (Кремер, 1906)	5—50	МКГ плода (Караниели и др., 1974)	1—10	0,5—100
Электроэнцефалограмма (Бергер, 1924)	50	Магнитоэнцефалограмма (Коен, 1968)	1	0,5—30
Вызванные потенциалы зрительные (Уолтер и др., 1946) соматические (Даусон и др., 1950) слуховые (Дэвис и др., 1939)	10	Вызванные магнитные поля Коен, 1975 Бреннер и др., 1978 Рейт и др., 1978 ВМП плода (Баум и др., 1984)	0,1	0—60
Электромиограмма (Эдриан, 1929)	1000	Магнитомиограмма (Коен, 1972)	10	0—2000
Электроокулограмма (Дюбуа-Раймон, 1849)	1000	Магнитоокулограмма (Карп и др., 1976)	10	0
Электроретинограмма (Уоллстон, 1865)	100	Магниторетинограмма (Айттоиниemi и др.)	0,1	0,1—30

Any analysis of the history of magnetofossils must begin with the work of Heinz A. Lowenstam (1962). His seminal discovery of magnetite (Fe_3O_4) biomineralization in the *teeth of chitons* (mollusks of the class *Polyplacophora*) demonstrated that living organisms were able to precipitate the mineral magnetite

The next critical discovery was the discovery of the *magnetotactic bacteria* by Richard Blakemore in 1975.

The next intriguing discovery was made by Anne Demitrack in 1985, who, for her Masters thesis work at Stanford, studied magnetic extracts from the pond at Woods Hole, MA, where Blakemore had originally discovered the magnetotactic bacteria. Surprisingly, she discovered magnetosome-like objects that were made of the mineral *Greigite* (Fe_3S_4).



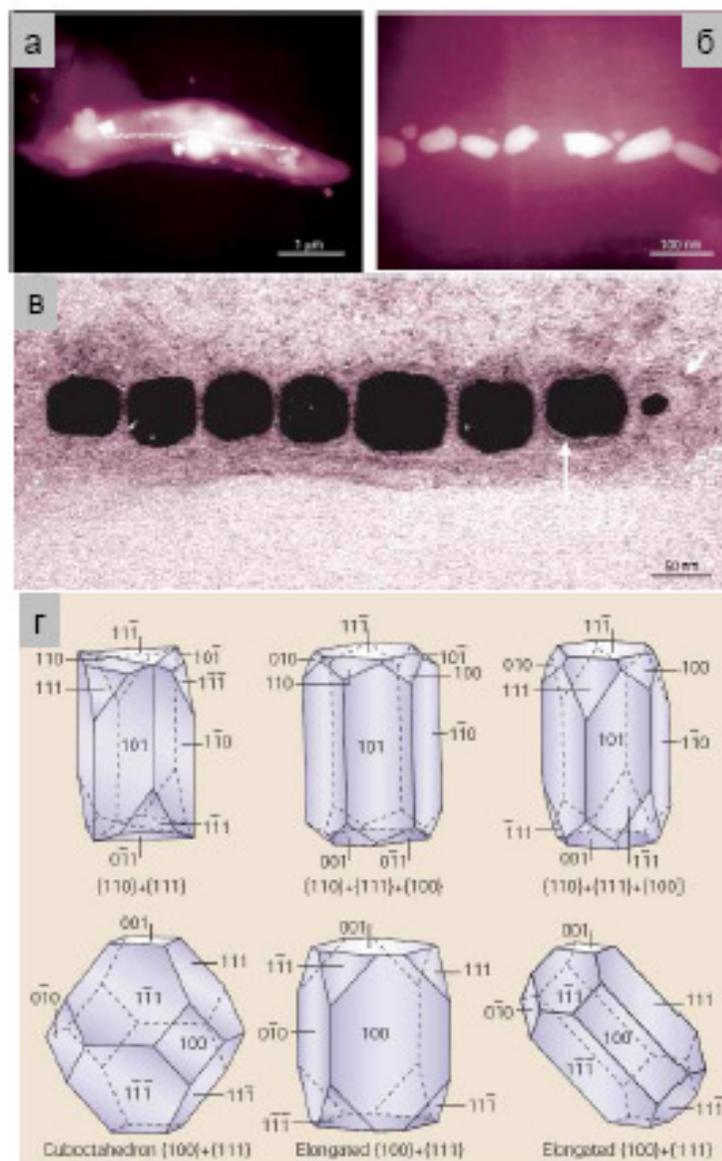
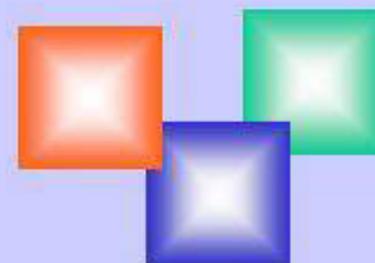


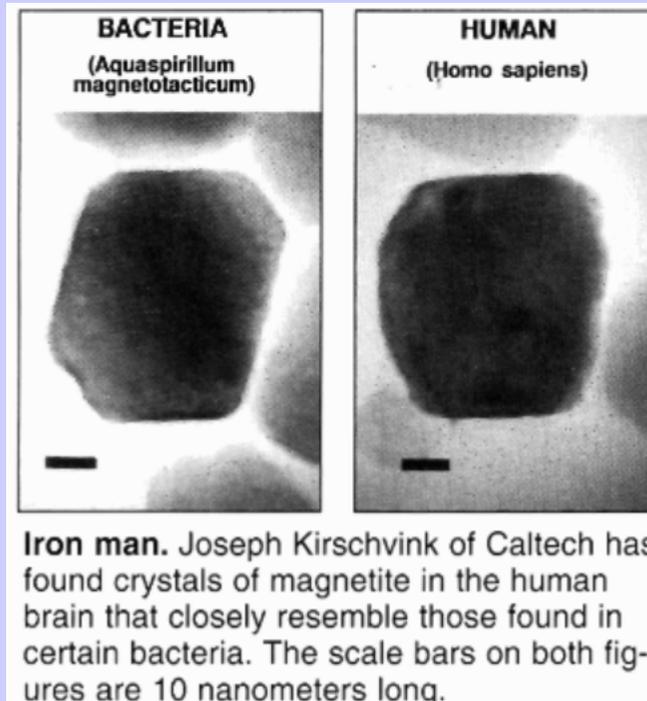
Рис 7. Кристаллы магнетита типа «зубы акулы» внутри бактерии «*Spirillum de Passolanus* Estlinii» при двух разных увеличениях (а-б). Кристаллы магнетита внутри бактерии «*Spirillum MV-4*» (в). Набор кристаллографических форм наночастиц магнетита, обнаруженных в бактерии «*Spirillum MV-4*» (г). D.A. Bazylinski, R.B. Frankel, NATURE REVIEWS, Microbiology, Vol. 2, March 2004, 229.





It is well worth contemplating how we reached this moment of discovery. More than 4 billion years ago this piece of rock was formed as a part of the original crust of Mars. After billions of years it broke from the surface and began a 16 million year journey through space that would end here on Earth. It arrived in a meteor shower 13,000 years ago. And in 1984 an American scientist on an annual U.S. government mission to search for meteors on Antarctica picked it up and took it to be studied. Appropriately, it was the first rock to be picked up that year -- rock number 84001.

Today, rock 84001 speaks to us across all those billions of years and millions of miles. **It speaks of the possibility of life.** If this discovery is confirmed, it will surely be one of the most stunning insights into our universe that science has ever uncovered. Its implications are as far-reaching and awe-inspiring as can be imagined. Even as it promises answers to some of our oldest questions, it poses still others even more fundamental. August 7, 1996 , КЛИНТОН



Рак, навигация, темные пятна в MRI ???

“ Мы знаем, что оно там, но не знаем зачем и что оно делает”



Магнетит или минерал **магнитный железняк** представляет собой **закись-окись железа Fe_3O_4** , являясь одной из составляющих железной руды. По химическому составу магнетит состоит примерно на 31% из FeO и на 69% из Fe_2O_3 . Он не является ферромагнетиком, как считалось ранее. Магнетит относится к не скомпенсированным антиферромагнетикам, иначе, **ферримагнетикам**. Имеет свойства одного и другого.

Важным условием при рассмотрении магнитных свойств магнетита являются его **размер и форма**. Речь идёт о размерах частиц магнетита в пределах **от сотен ангстрем до сотен микрон**. Магнетит может находиться (в порядке увеличения) в **суперпарамагнитном, однодоменном, псевдодоменном и многодоменных состояниях**.

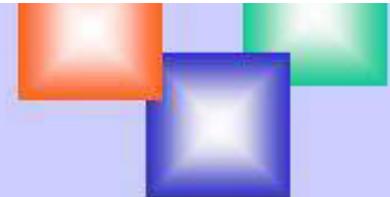
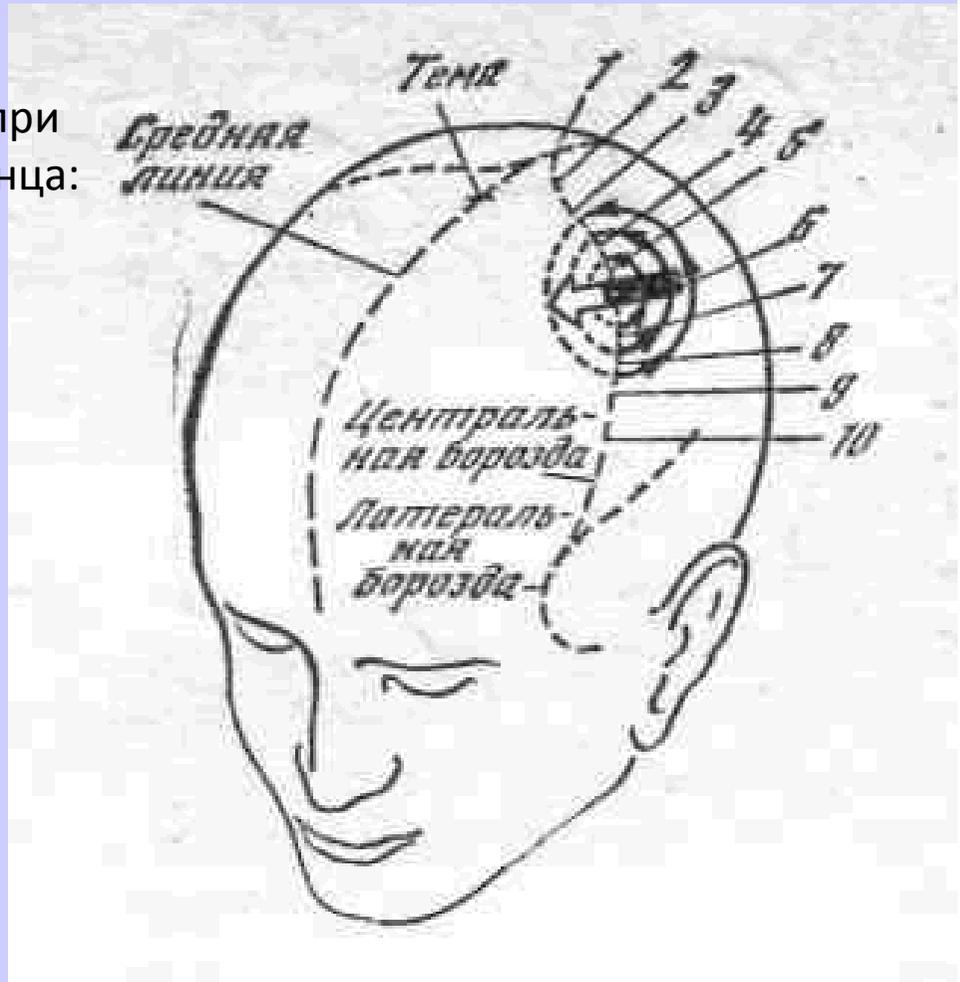
Магнитное поле живых организмов



Токовый диполь и его магнитное поле (концентрические стрелки), возникающие при электрическом раздражении правого мизинца:

Проекционные зоны чувствительных рецепторов некоторых других частей тела:

- 1 - нога;
- 2 - туловище;
- 3 - рука;
- 4 - запястье;
- 5 - кисть;
- 6 - мизинец;
- 7 - большой палец;
- 8 - лицо;
- 9 - губы;
- 10 - язык



Магнитное поле живых организмов

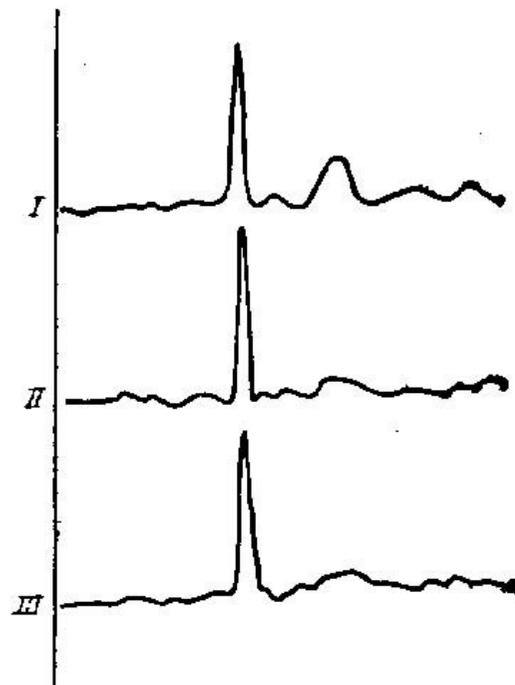
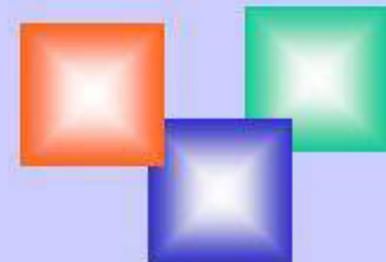


Рис. 22. Магнитокардиограмма человека при нормальном внешнем магнитном поле Земли ($I - 0,49 \cdot 10^{-4}$ Тл), при искусственном увеличении внешнего магнитного поля ($I - 1,1 \cdot 10^{-4}$ Тл) и при его уменьшении ($III - 0$) (Петерс и др., 1980)

Рис. 23. Магнитокардиограмма кролика

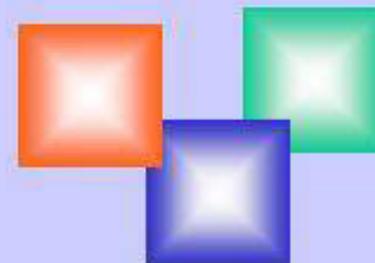




Магнитная навигация живых существ

Учёные насчитывают около 50 видов живых существ - млекопитающих, **птиц**, земноводных, пресмыкающихся, **рыб** и даже насекомых, которые могут пользоваться **магнитным** полем Земли для **навигации**.

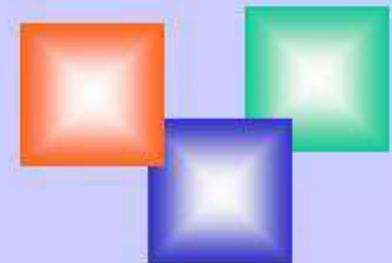
По последним сообщениям **Nature**, исследователи из **University of Oldenburg** обнаружили, что перелетные птицы не просто «чувствуют» магнитное поле Земли, но видят его глазами.





Magnetoception

Cryptochromes in the photoreceptors neurons of birds' eyes are involved in magnetic orientation during migration. Cryptochromes are also essential for the light-dependent ability of *Drosophila* to sense magnetic fields. Furthermore, magnetic fields affect cryptochromes in *Arabidopsis thaliana*: growth behavior is affected by magnetic fields in the presence of blue (but not red) light. According to one model, cryptochrome forms a pair of two radicals with correlated spins when exposed to blue light





David Dickman of the Baylor College of Medicine in the US set up an experiment in which pigeons were held in place, while the magnetic field around them was varied in its strength and direction.

Prof Dickman and his colleague Le-Qing Wu believed that the 53 neurons were candidates for sensors, so they measured the electrical signals from each one as the field was changed. Every neuron had its own characteristic response to the magnetic field, with each giving a sort of 3-D compass reading along the familiar north-south directions as well as pointing directly upward or downward. In life, this could help the bird determine not only its heading just as a compass does, but would also reveal its approximate position. Each cell also showed a sensitivity to field strength, with the maximum sensitivity corresponding to the strength of the Earth's natural field. And just like a compass, the neurons had opposite responses to different field "polarity" - the magnetic north and south of a field, which surprised the researchers most of all.

Одной из уникальнейших наноструктур, созданных природой, и которой обязана своим существованием живая материя, является биологическая мембрана. С помощью этой пленки толщиной менее 10 нм осуществляются практически все жизненно важные процессы в клетках – преобразование внешней энергии (световой и химической) в энергию электрического поля большой (более 10^5 В/см) напряженности, организация селективного массообмена, передача информационного и управляющего сигнала, движение клетки, ее деление и многие другие.

Биологическая мембрана (БМ) представляет собой пленку, состоящую из двух симметрично расположенных слоев липидных молекул, гидрофильные головки которых обращены к примыкающему к ним слою воды, а гидрофобные хвосты молекул обращены внутрь пленки. Пленка, которую называют липидным бислоем (ЛБ) или липидным сэндвичем пронизана крупными белками.



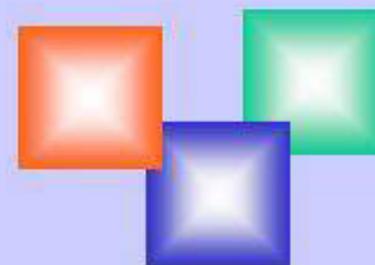
Клеточные мембраны обладают избирательной проницаемостью: через них медленно диффундируют глюкоза, аминокислоты, жирные кислоты, глицерол и ионы, причем сами мембраны в известной мере активно регулируют этот процесс — одни вещества пропускают, а другие нет. Существует четыре основных механизма для поступления веществ в клетку или вывода их из клетки наружу: диффузия, осмос, активный транспорт и экзо- или эндоцитоз. Два первых процесса носят пассивный характер, то есть не требуют затрат энергии; два последних — активные процессы, связанные с потреблением энергии.

Избирательная проницаемость мембраны при пассивном транспорте обусловлена специальными каналами — интегральными белками. Они пронизывают мембрану насквозь, образуя своего рода проход. Для элементов К, Na и Cl есть свои каналы.

Относительно градиента концентрации молекулы этих элементов движутся в клетку и из неё. При раздражении каналы натриевых ионов раскрываются и происходит резкое поступление в клетку



Клеточная мембрана (также цитолемма, плазмолемма, или плазматическая мембрана) — эластическая молекулярная структура, состоящая из белков и липидов. Отделяет содержимое любой клетки от внешней среды, обеспечивая её целостность; регулирует обмен между клеткой и средой; внутриклеточные мембраны разделяют клетку на специализированные замкнутые отсеки или органеллы, в которых поддерживаются определённые условия среды.



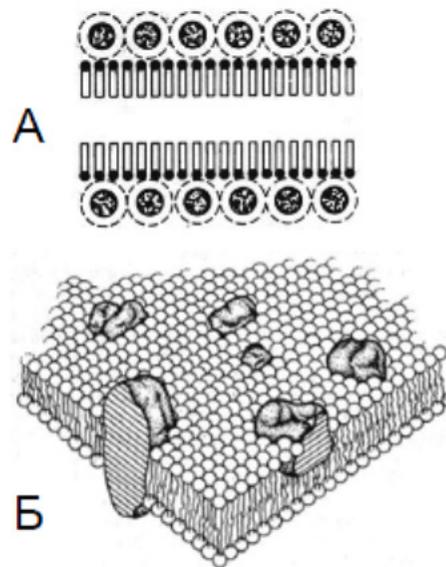
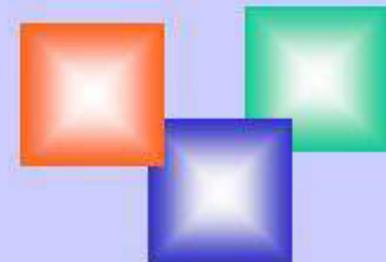


Рис. 8.2. Модели строения биологических мембран: *А* — «бутербродная модель» строения биологических мембран по Давсону и Даниели, *Б* — жидкостно- мозаичная модель Сингера и Николсона.





МАГНИТОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ

в поле $H=10000$ Э =1Тл $\mu\text{H}/\text{kT}=0,01!!!!$

Норматив для жилых помещений 10 мкТл=0,1 Э

Когда внешнее магнитное поле ослаблено или, того хуже, отсутствует, организм оказывается в критической ситуации. В эксперименте группы российских ученых под руководством Л.Непомнящих, мышей поместили в камеры, экранированные от магнитного поля Земли. Уже через сутки у них началось разложение тканей. Детеныши таких мышей рождались лысыми и росли больными.



Магнитобиологический Эффект

Ориентация магнитных атомов или молекул
в поле $H=10000 \text{ Э} = 1 \text{ Тл}$ $\mu H/kT=0,01!!!!$

Ориентация диамагнитных молекул воды в этом поле -1 сек,
но в биологической жидкости вязкость в 100 раз больше-
значит часы.

Действие на биотоки: частота от 10 до 1000 пульсаций в секунду,
 10^{-4} - 10^{-1} В, амплитуда тока до $i=10^{-3}$ А, то по *оценке Дорфмана* на
участки шириной 1 см в поле 1 Тл действуют сила $F=iH$ и давление
порядка 10^{-7} - 10^{-2} Па (порог для уха 10^{-5} Па). То есть шанс!!!!

Особенно при резонансе (академик Девятов)





Феноменологические модели

- эквивалентные электрические цепи
- уравнения химической кинетики
- стохастический резонанс
- магниточувствительные фазовые переходы

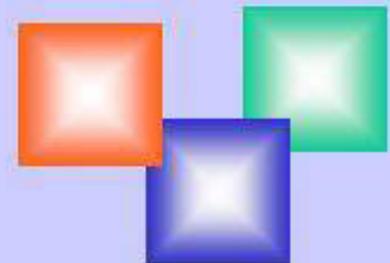
Макроскопические модели:

- биомагнетит и ферромагнитное загрязнение
- джоудево тепло и вихревые токи
- сверхпроводимость на уровне клеточных структур , альфа-спиральных белковых молекул, водно-молекулярных ассоциатов
- магнитогидродинамические модели
- Макроскопические кластеры ионов, заряженные вихри в цитоплазме



Микроскопические модели:

- стохастические резонансы молекулярных систем
- резонансы при движении свободных зарядов в МП
- резонансы при движении в осцилляторных потенциалах
- резонансоподобная интерференция квантовых состояний
- реакции с участием пар свободных радикалов
- биологически-активные метастабильные состояния жидкой воды, чувствительные к вариациям МП

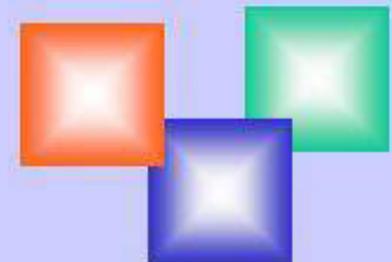




“Теория — это когда все известно, но ничего не работает.
Практика — это когда все работает, но никто не знает почему.
Мы же объединяем теорию и практику: ничего не работает... и
никто не знает почему! “

Альберт Эйнштейн

THANK YOU!!!



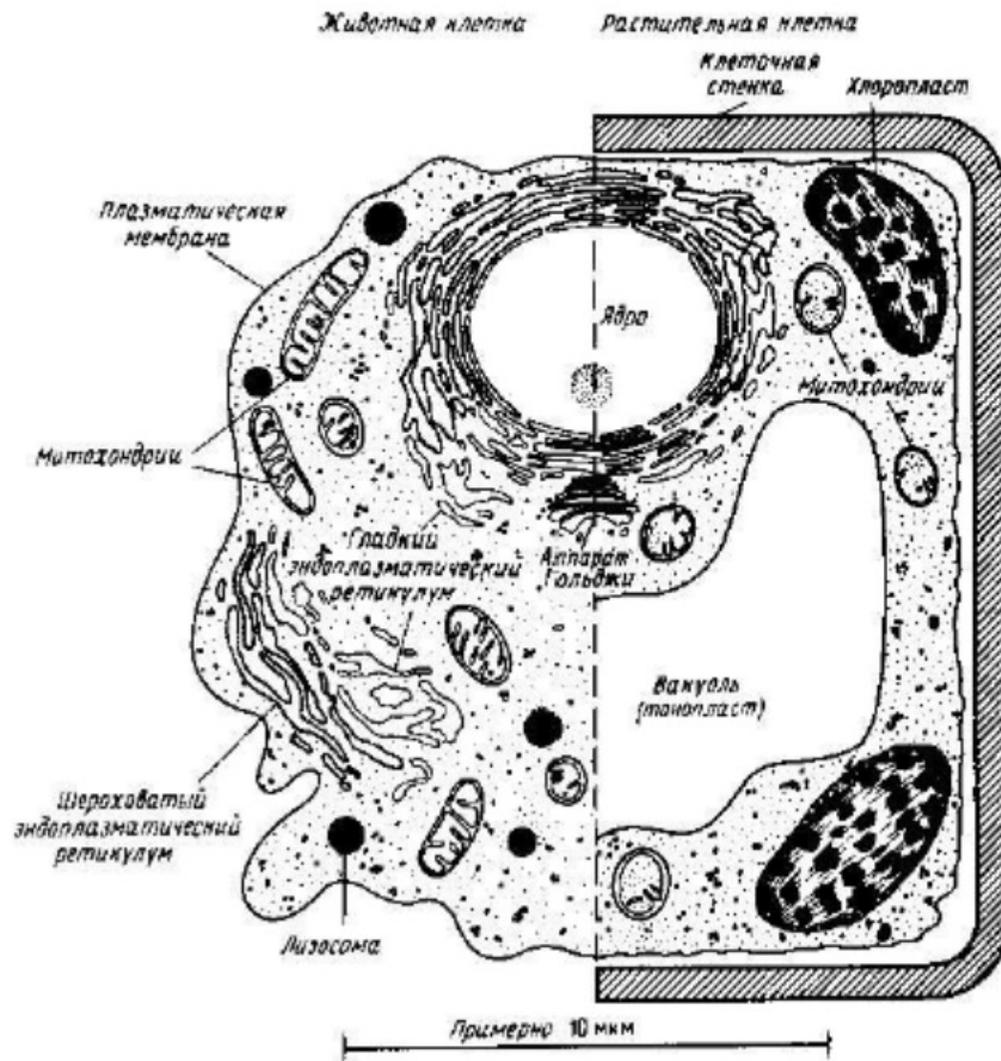


Рис. 8.1. Схематическое изображение оргanelл клеток на основании данных электронной микроскопии.