

Электродинамика

Электрические и магнитные явления связаны с особой формой существования материи — электрическими и магнитными полями и их взаимодействием. Эти поля в общем случае настолько взаимозависимы, что принято говорить о едином электромагнитном поле.

Силовой характеристикой электрического поля является напряженность, равная отношению силы, действующей в данной точке поля на точечный заряд, к этому заряду

$$E = F/q.$$

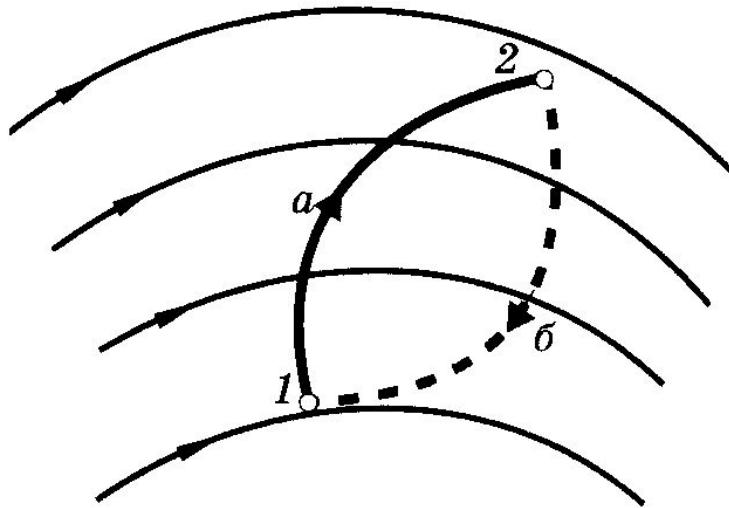
Напряженность — вектор, направление которого совпадает с направлением *СИЛЫ*, действующей в данной точке поля на положительный точечный заряд.

Представим себе, что заряд q перемещается в электрическом поле по траектории $1a2$.

Силы поля при этом совершают работу, которую можно выразить через

напряжен

$$A = \int_1^2 E_t q dl = q \int_1^2 E_t dl,$$



$$q \int_1^2 E_t dl = q \int_1^2 E_t dl.$$

(по a) (по $б$)

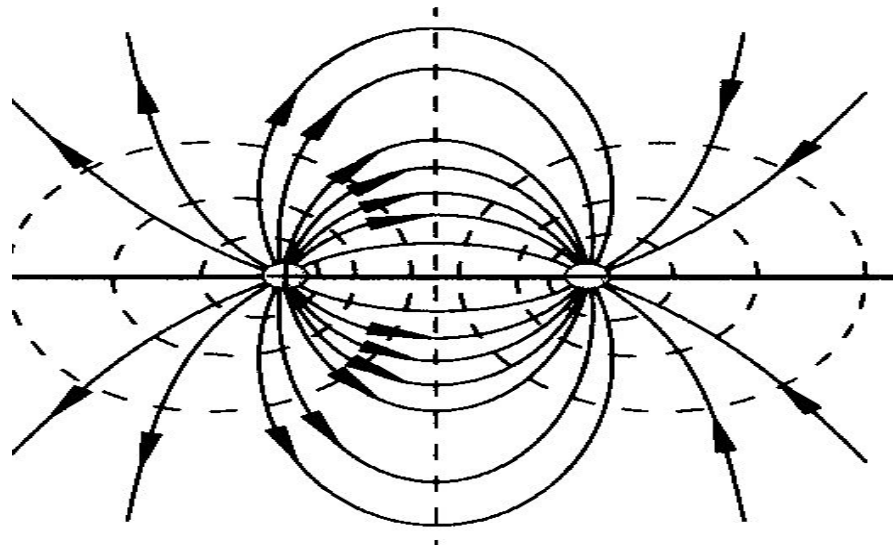
Разностью потенциалов между точками поля называют отношение работы, совершаемой силами поля при перемещении точечного положительного заряда из одной точки поля в другую, к этому заряду:

$$U_{12} = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = \frac{q \int_1^2 E_l dl}{q} = \int_1^2 E_l dl,$$

Потенциалы электрического поля **точечного**
заряда:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$$

Потенциалы электрического поля в различных
точках наглядно можно представить в виде
поверхностей одинакового потенциала
(**ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**).



Интегральная зависимость напряженности поля и потенциала дается формулой:

$$A = \int_1^2 E_l q dl = q \int_1^2 E_l dl,$$

Предположим, что точки 2 и 1 расположены сколь угодно близко, тогда из формулы получим **дифференциальную** связь :

$$d\varphi = -E_l dl, \text{ или } E_l = -d\varphi/dl.$$

$$\vec{E} = -\overrightarrow{\text{grad}}\varphi$$

Проводники и изоляторы

Проводник - это вещество, в котором есть некоторое число сравнительно свободных зарядов, способных перемещаться под действием электрического поля (металлы, растворы электролитов). Биологические ткани довольно разнородны по электропроводности. Электрическое сопротивление мембран клетки достаточно велико. Они подобны изоляторам. Наоборот, внутриклеточная жидкость является проводником, благодаря наличию в ней положительных и отрицательных ионов.

Физические основы электрографии.

Электрокардиография

Исследование электрического поля возбудимых клеток имеет большое значение в клинической и теоретической медицине.

Существует ряд методов исследования, основанных на регистрации электрических полей определенных органов:

электрокардиография (сердце),

электромиография (мышцы),

электроэнцефалография (мозг),

электронейрография (нервные волокна),

электрогастрография (желудок) и т.п. Основой

электрографии органов и тканей являются

Электрический диполь

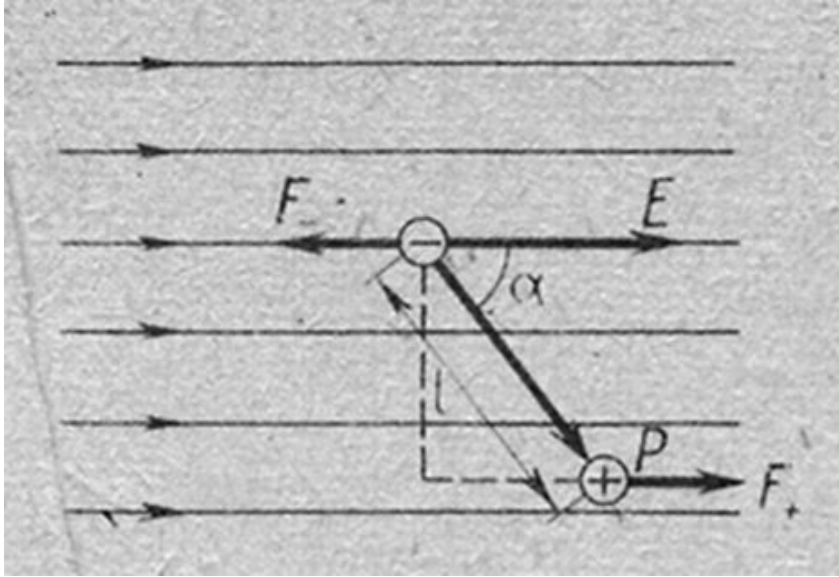
- два равных по величине и противоположных по знаку электрических заряда, расположенные на некотором расстоянии друг от друга, называемом плечом диполя.

Многие атомы и молекулы представляют собой электрические диполи.

Характеристики диполя. Дипольный момент определяется по формуле:

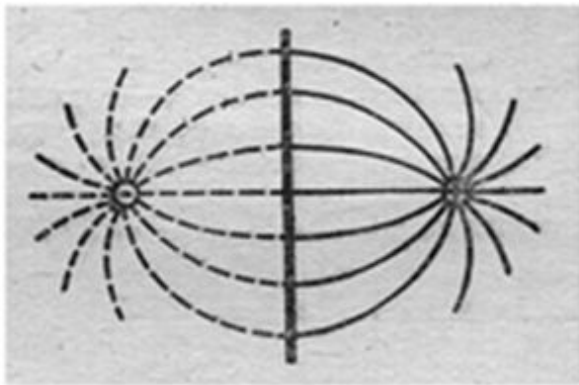
$$\vec{P} = \vec{l} \cdot q (1)$$

Диполь в однородном электрическом поле.



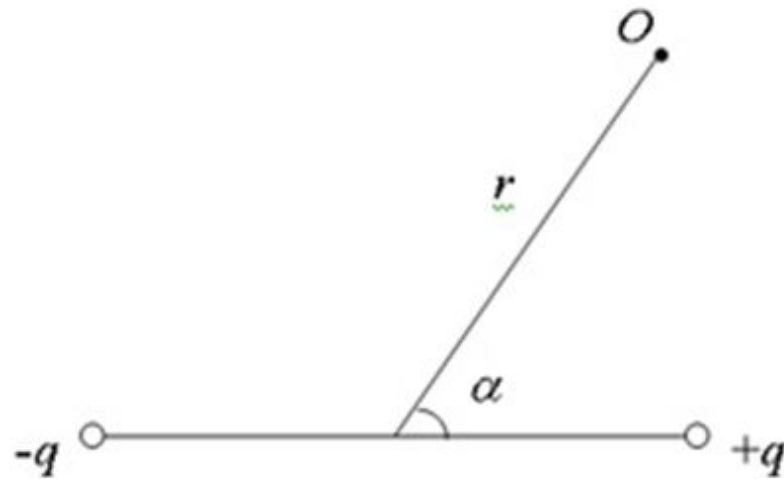
$$\vec{M} = \vec{P} \cdot \vec{E} \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Электрическое поле, созданное диполем, отличается от того, которое создаётся одиночным зарядом.



A

B



$$\varphi = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon} \cdot \frac{\vec{P} \cdot \cos \alpha}{r^2} \quad (3)$$

Электрокардиография

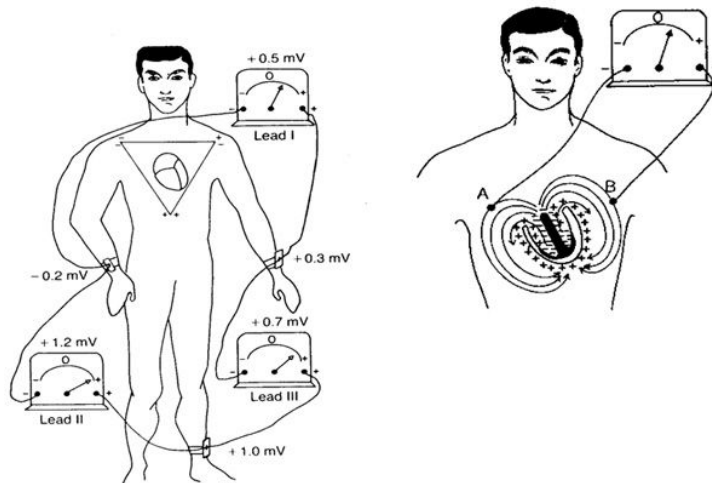
Каждая клетка сердечной мышцы создаёт электрическое поле. Изменения электрического поля сердца происходят при деполяризации и реполяризации мембраны клеток сердца. Эти изменения достаточны, чтобы создать изменения разности потенциалов между различными точками поверхности.



Отведения электрокардиограммы

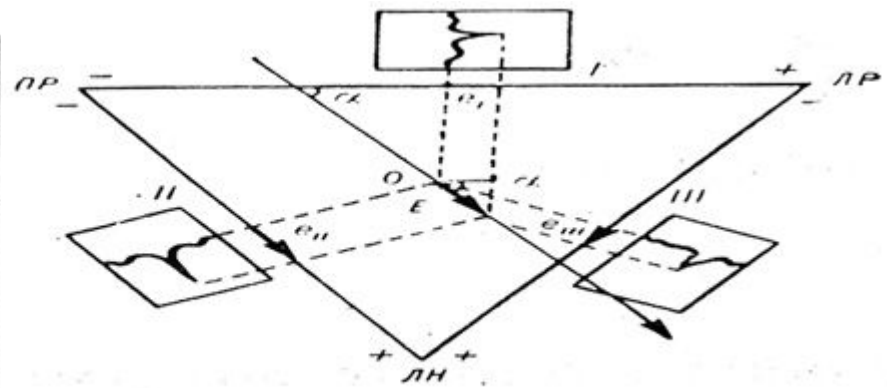
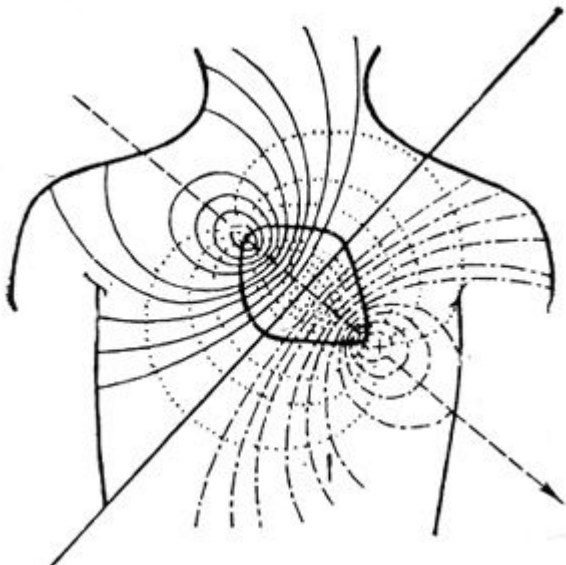
Форма и размер зубцов электрокардиограммы зависит от положения электродов на поверхности тела.

Эйнтховен предложил использовать стандартные отведения: отведение I - между правой и левой руками; отведение II - между правой рукой и левой ногой; отведение III - между левой рукой и левой ногой.



Дипольная теория электрокардиограммы.

Суммарный дипольный момент сердца является результатом наложения дипольных моментов клеток. Вот почему сердце можно рассматривать как дипольный электрический генератор. Направление суммарного дипольного момента сердца часто называют **электрической осью сердца**.

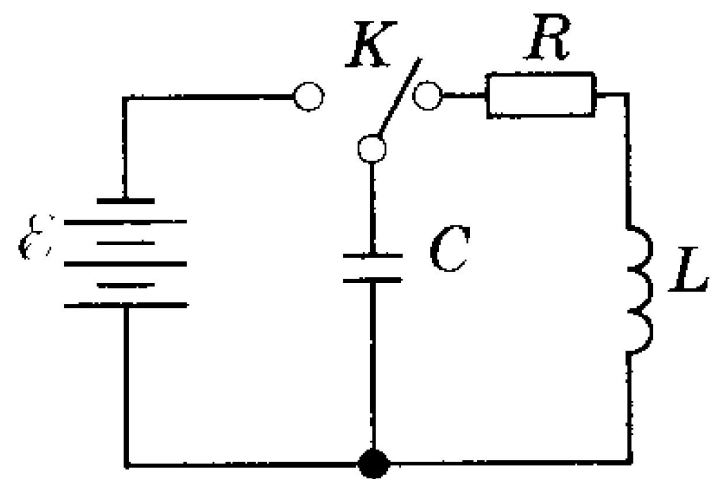


Электромагнитные колебания и волны

Электромагнитными колебаниями называют периодические взаимосвязанные изменения зарядов, токов и характеристик электрического и магнитного полей. Распространение электромагнитных колебаний в пространстве происходит в виде электромагнитных волн.

Свободными (собственными) электромагнитными колебаниями называют такие, которые совершаются без внешнего воздействия за счет первоначально накопленной энергии.

Рассмотрим колебательный контур, состоящий из резистора R , катушки индуктивности L и конденсатора C .



В контуре возникает ЭДС самоиндукции,

$$\text{ЭДС} = -L di/dt,$$

которая, согласно закону Ома, будет равна сумме напряжений на элементах цепи:

на резисторе $UR = IR$ и конденсаторе $Uc = q/c$.

Поэтому запишем: $-LdI/dt = IR + q / C$

Преобразуем это уравнение, поделив все члены на L и учитывая, что $I = dq/dt$ и $dI/dt = d^2q/dt^2$, получаем

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{Rdq}{Ldt} + \frac{q}{LC} = 0$$

Это есть *дифференциальное уравнение свободных электромагнитных колебаний*.

Произведя замены: $R/L=2\beta$ и $1/LC= \omega_0^2$ получим уравнение:

$$d^2 q / dt^2 + 2\beta dq / dt + \omega_0^2 q = 0$$

Решением ^{$R/L = 2\beta$} этого уравнения будет затухающее колебание

$$q = q_m e^{-\beta t} \text{Cos}(\omega t + \varphi_0)$$

Частота: $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta_0^2}$

логарифмический декремент затухания:

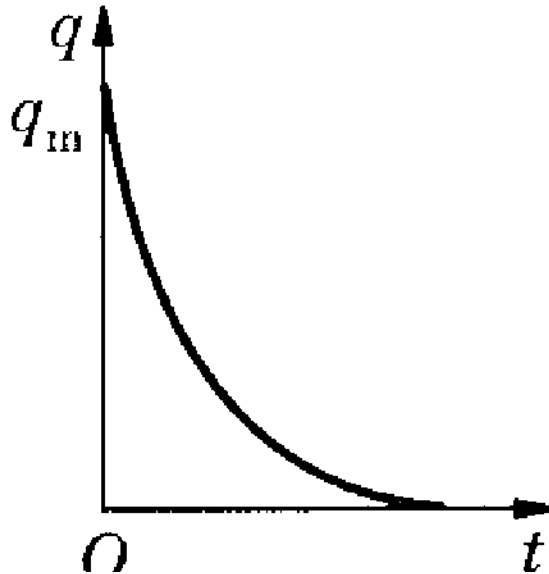
$$\lambda = \beta T = \frac{R}{2L} \cdot 2\pi \sqrt{LC} = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

- Если $L=0$, то наблюдаем разряд конденсатора на резистор:

- $$IR = -\frac{q}{C}, \frac{dq}{dt} R = -\frac{q}{C} \text{ или } , \frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC}$$

- Решением этого дифференциального уравнения будет:

$$q = q_m e^{-\frac{t}{RC}}$$



- **Незатухающие колебания.**

Если контур не содержит резистора , то имеем:

$$d^2q / dt^2 + \omega_0^2 q = 0$$

его решение имеет вид: $q = q_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$;

где q_m — наибольший (начальный) заряд на обкладках конденсатора,

ω_0 - круговая частота собственных колебаний (**собственная круговая частота**) контура,

φ_0 — начальная фаза.

По гармоническому закону изменяется не только заряд на обкладках конденсатора, но и напряжение, и сила тока в контуре, соответственно:

$$U = U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где $U_m = q_m / C,$

$$I = -I_m \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \text{ где } I_m = q_m \omega_0.$$

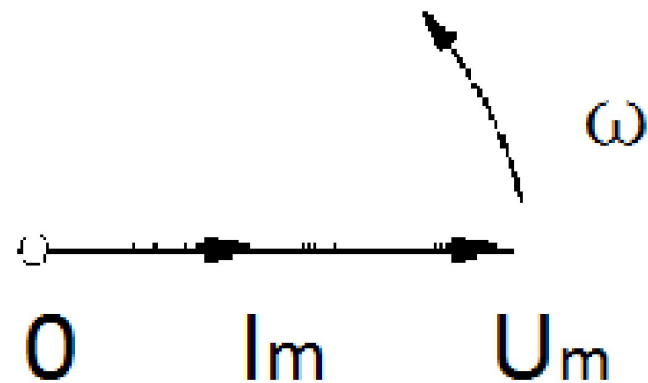
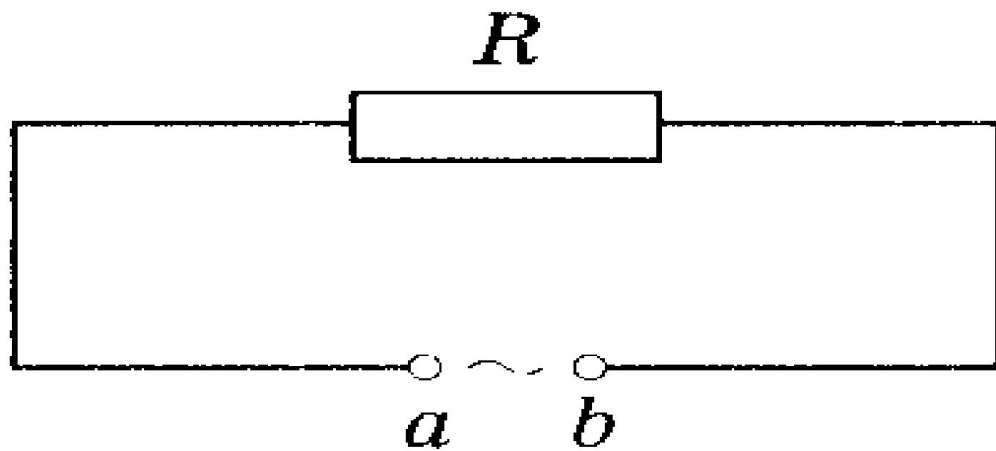
Графики зависимости заряда (напряжения) от времени аналогичны графику зависимости смещения $x(t)$, а график зависимости силы тока от времени - графику скорости $v(t)$ механического колебания.

Переменный ток

Допустим к точкам a и b приложено переменное напряжение $U=U_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

Используя закон Ома, получим выражение для тока через сопротивление $I=I_m \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ где $I_m=U_m/R$ - амплитуда тока.

В цепи с сопротивлением R (омическим сопротивлением) происходит выделение тепла.



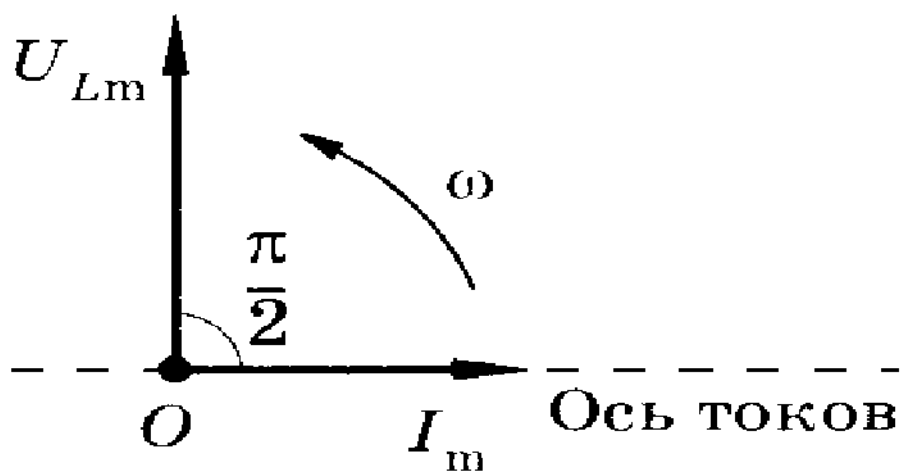
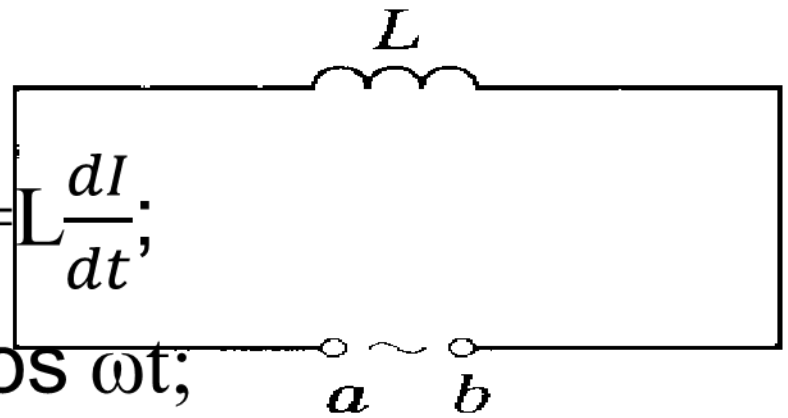
•

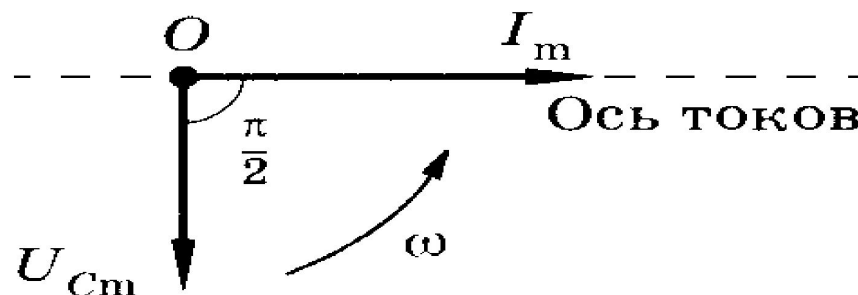
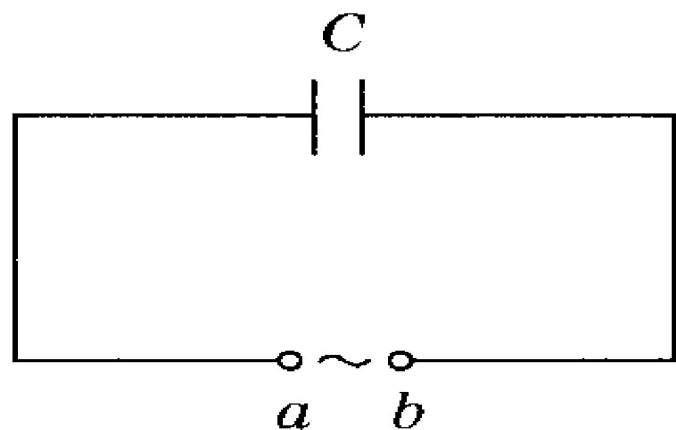
• $U_{Lm} \cos \omega t = L \frac{dI}{dt};$

• $dI = U_{Lm} / L \cos \omega t;$

• $I = I_m \sin \omega t.$

• $I_m = U_{Lm} / X_L, X_L = L \omega.$





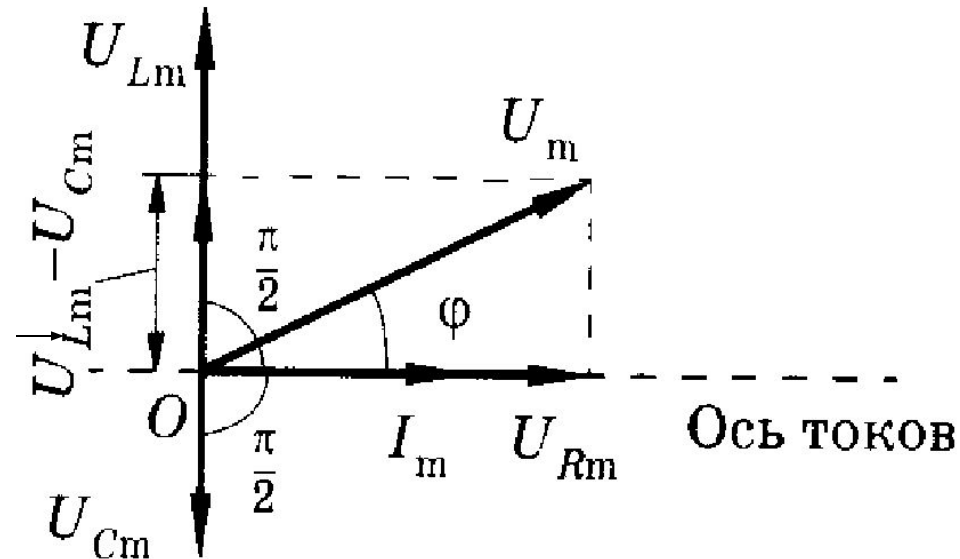
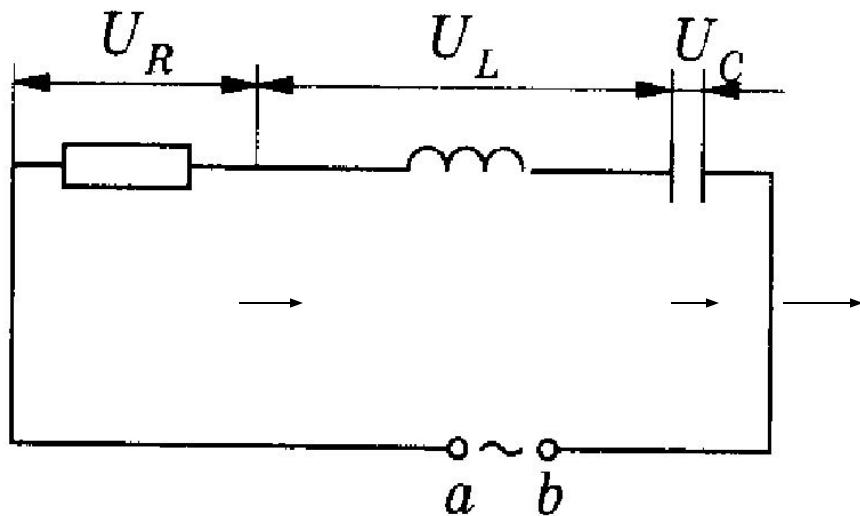
$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}(CU_c) = C \frac{dU_c}{dt}.$$

$$I = -U_{Cm} C \omega \sin \omega t = I_m \cos (\omega t + \pi/2),$$

$$X_C = 1/(C\omega)$$

Полное сопротивление в цепи переменного тока. Резонанс напряжений.

Представим цепь, в которой последовательно соединены резистор, катушка индуктивности и конденсатор.



$$U = U_m \cos \omega t = U_R + U_L + U_C$$

$$I = I_m \cos (\omega t - \varphi)$$

$$U_m^2 = U_{Rm}^2 + (U_{Lm} - U_{Cm})^2$$

$$I_m^2 Z^2 = I_m^2 R^2 + [I_m L\omega - I_m / (C\omega)]^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 + [L\omega - 1 / (C\omega)]^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I_m = U_m / Z = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

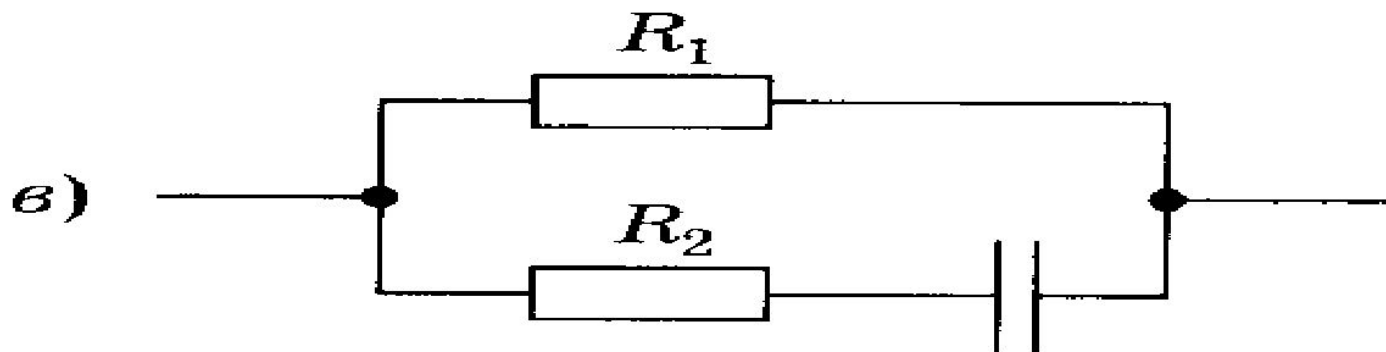
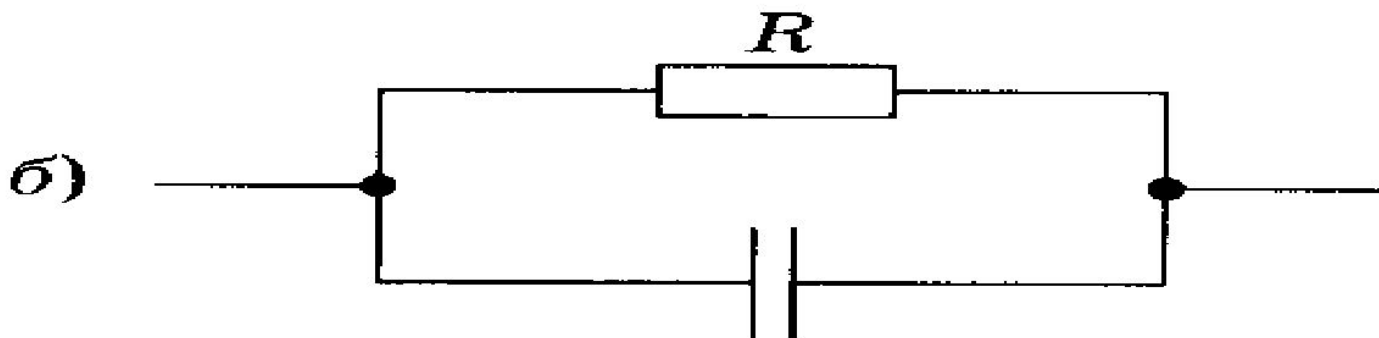
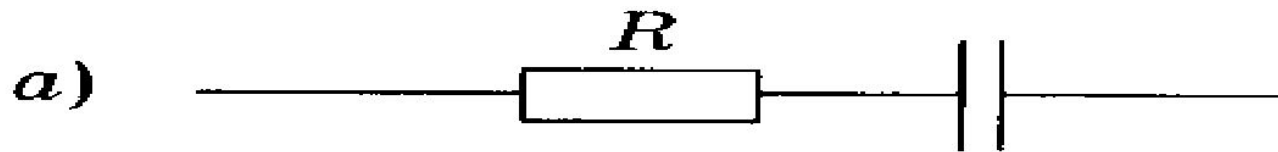
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_{Lm} - U_{Cm}}{U_{Rm}} = \frac{I_m L\omega - I_m / (C\omega)}{I_m R} = \frac{L\omega - 1 / (C\omega)}{R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

**Импеданс тканей организма.
Физические основы реографии.**

Измерения обычно проводят
на частоте 30 кГц.

Название ткани	Разность фаз в градусах
Кожа человека, лягушки	-55
Нерв лягушки	-64
Мышцы кролика	-65

Эквивалентная электрическая схема тканей организма.



Электромагнитные волны

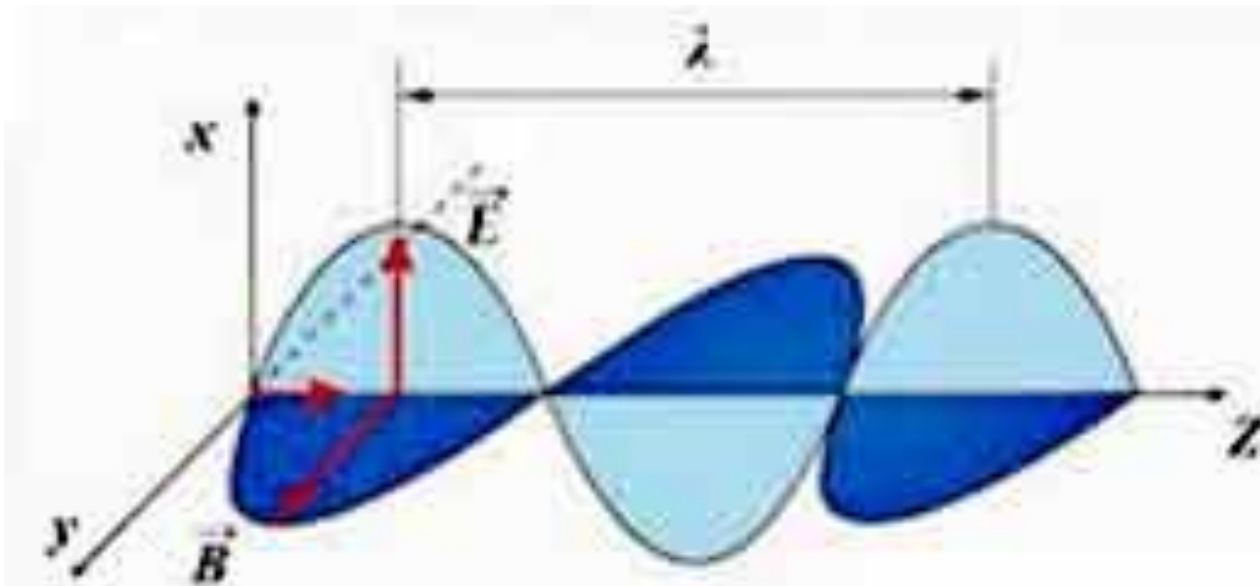
В основе теории Максвелла лежат два положения: а) всякое переменное электрическое поле порождает магнитное и б) всякое переменное магнитное поле порождает электрическое (явление электромагнитной индукции).

Взаимное образование электрических и магнитных полей приводит к понятию электромагнитной волны — распространение единого электромагнитного поля в пространстве.

$$E = E_m \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right] \text{ и } B = B_m \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \right];$$

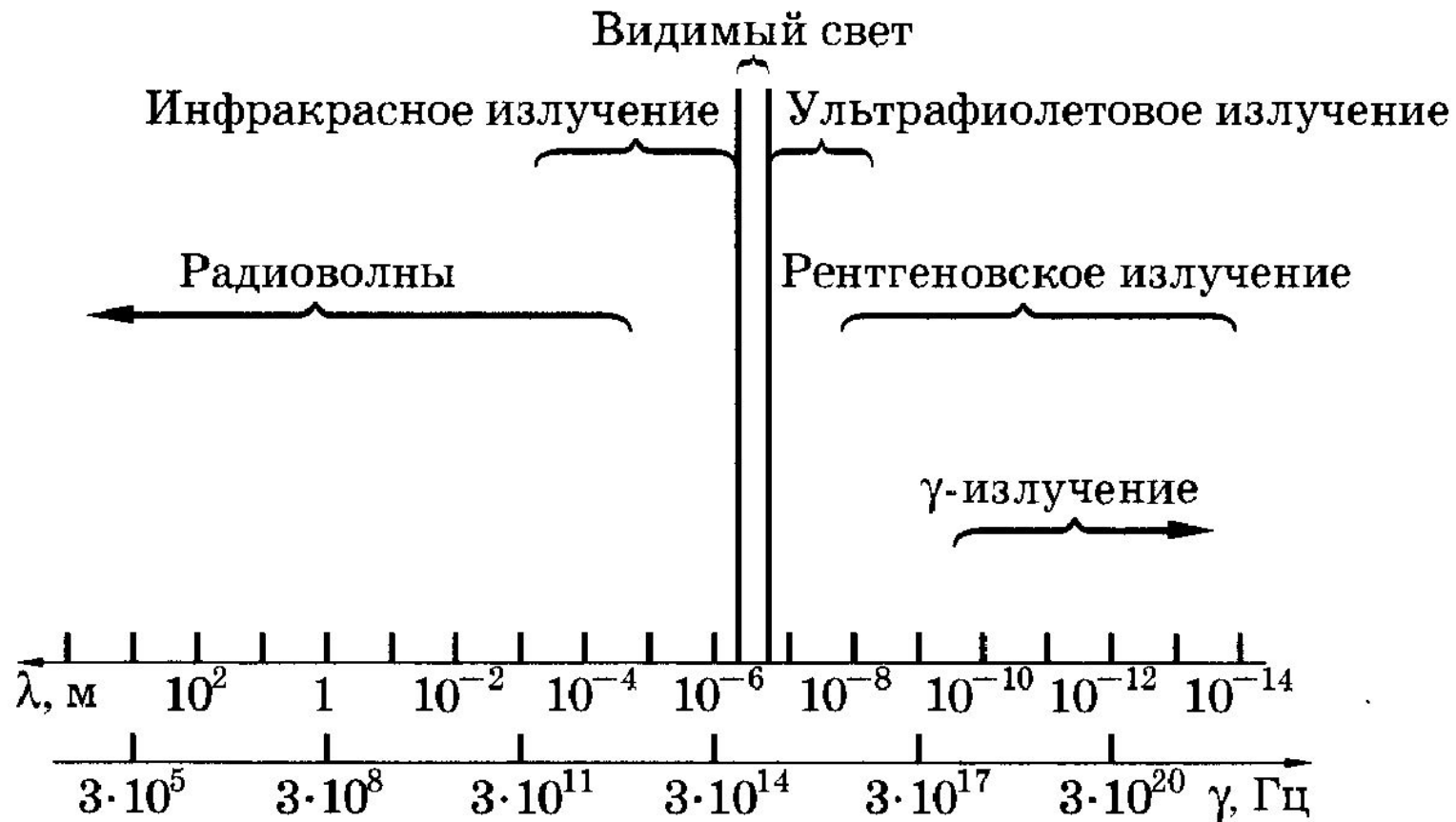
здесь E и B соответственно напряженность электрического поля и магнитная индукция, E_m и B_m — их амплитудные значения.

Векторы E , B и v (скорость распространения волны) взаимно перпендикулярны



Шкала электромагнитных волн.

Классификация частотных интервалов, принятая в медицине



Низкие (НЧ)	от 0 до 20 Гц
Звуковые (ЗЧ)	20 Гц — 20 кГц
Ультразвуковые (УЗЧ)	20 кГц — 200 кГц
Высокие (ВЧ)	200 кГц — 30МГц
Ультравысокие (УВЧ)	30МГц — 300МГц
Сверхвысокие (СВЧ)	300 МГц — 300 ГГц
Крайневысокие (КВЧ)	свыше 300 ГГц

Физические процессы в тканях при воздействии током и электромагнитными полями

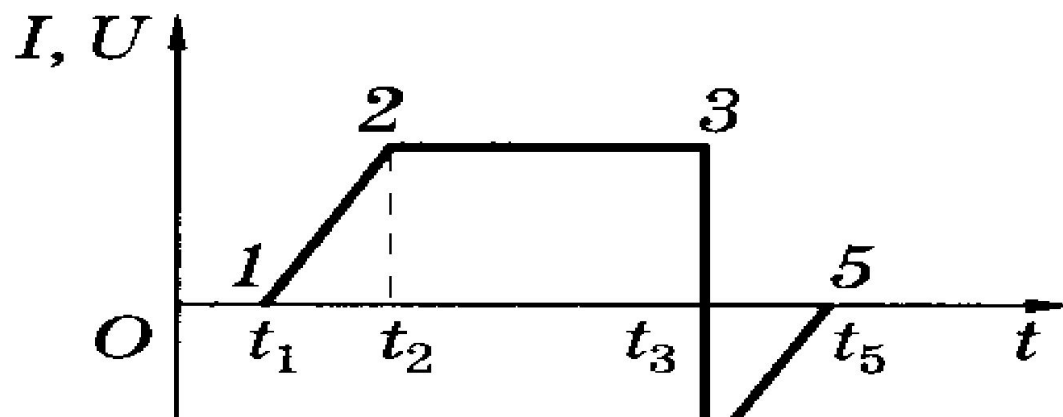
- Все вещества состоят из молекул, каждая из них является системой зарядов. Поэтому состояние тел существенно зависит от протекающих через них токов и от воздействующего электромагнитного поля. Первичный механизм воздействия токов и электромагнитных полей на организм — физический, он и рассматривается применительно к медицинским лечебным методам.

- Воздействие постоянного тока на организм зависит от силы тока, поэтому весьма существенно электрическое сопротивление тканей и прежде всего кожи. Влага, пот значительно уменьшают сопротивление, что даже при небольшом напряжении может вызвать значительный ток через организм.
- Непрерывный постоянный ток напряжением 60—80 В используют как лечебный метод физиотерапии (*гальванизация*). Дозируют силу постоянного тока по показаниям миллиамперметра, при этом обязательно учитывают предельно допустимую плотность тока — 0,1 мА/см².
- Постоянный ток используют в лечебной практике также и для введения лекарственных веществ через кожу или слизистые оболочки. Этот метод получил название электрофореза лекарственных веществ.

Воздействие переменными (импульсными) токами

- Действие переменного тока на организм существенно зависит от его частоты. При низких, звуковых и ультразвуковых частотах переменный ток, как и постоянный, вызывает раздражающее действие на биологические ткани. Это обусловлено смещением ионов растворов электролитов, их разделением, изменением их концентрации в разных частях клетки и межклеточного пространства.
- Раздражение тканей зависит также и от формы импульсного тока, длительности импульса и его амплитуды. Так, например, увеличение крутизны фронта импульса уменьшает пороговую силу тока, который вызывает сокращение мышц.

нервно-мышечной системы, сердечно-сосудистой системы используют токи с различной временной зависимостью. Ток с импульсами прямоугольной формы с длительностью 0,8—3 мс и диапазоном частот 1—1,2 Гц применяют во вживляемых (имплантируемых) кардиостимуляторах. Ток с импульсами треугольной формы с длительностью 1—1,5 мс, (частота 100 Гц), а также с импульсами экспоненциальной формы с длительностью 3—60 мс, (частоты 8—80 Гц) применяют для возбуждения мышц, в частности при электрогимнастике.



- При частотах приблизительно более 500 кГц смещение ионов становится соизмеримым с их смещением в результате молекулярно-теплового движения, поэтому ток или электромагнитная волна не будет вызывать раздражающего действия. Основным первичным эффектом в этом случае является тепловое воздействие. Лечебное прогревание высокочастотными электромагнитными колебаниями обладает рядом преимуществ перед таким традиционным и простым способом, который реализуется грелкой.

- Прогревание высокочастотными колебаниями удобно и тем, что, регулируя мощность генератора, можно управлять мощностью тепловыделения во внутренних органах, а при некоторых процедурах возможно и дозирование нагрева. Кроме теплового эффекта электромагнитные колебания и волны при большой частоте вызывают и внутримолекулярные процессы, которые приводят к некоторым специфическим воздействиям.

- При диатермии применяют ток частотой около 1 МГц со слабозатухающими колебаниями, напряжение 100—150 В; сила тока несколько ампер.
- Так как наибольшим удельным сопротивлением обладают кожа, жир, кости, мышцы, то они и нагреваются сильнее.
- Для местной дарсонвализации применяют ток частотой 100—400 кГц, напряжение его — десятки киловольт, а сила тока небольшая — 10—15 мА.

В тканях, находящихся в переменном электрическом поле возникают токи проводимости в проводниках и частично в диэлектрике, а также имеет место изменение поляризации диэлектрика. Обычно для лечебной цели используют электрические поля ультравысокой частоты, поэтому соответствующий физиотерапевтический метод получил название УВЧ-терапии. (В России при УВЧ терапии используют частоту 40,58 МГц)

- При диатермокоагуляции применяют ток плотностью 6— 10 мА/мм², в результате чего температура ткани повышается и ткань коагулирует.
- При диатермотомии плотность тока доводят до 40 мА/мм², в результате чего острым электродом (электроножом) удается рассечь ткань.

- Количество теплоты в электролите , выделяющееся за 1 с в 1 м3 ткани вычисляется по формуле:

$$q = P/(Sl) = E^2/\rho,$$

- а количество теплоты, выделяющееся за 1 с в 1 м3 ткани в диэлектрике - формулой:

$$q = \frac{P}{Sl} = \omega E^2 \varepsilon \varepsilon_0 \operatorname{tg} \delta$$