

Медицинская и биологическая физика

под общей редакцией члена-
корреспондента АПН Украины,
профессора Чалого О.В.

Том I

Раздел 4

страницы 259-356

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ

Автор презентации

Ученица 11-Б классу III группы
УМЛ НМУ им. О. О. Богомольца
Овчаренко Елена Анатоліевна

Руководитель

Дялько Вера Ивановна

Содержание:

- Электростатика
- Постоянный ток. Электропроводимость биологических тканей
- Магнитное поле
- Электромагнитные колебания
- Электромагнитные волны
- Семинар «Методика получения, регистрации и передачи медико-биологических информации»
- Лабораторный практикум
- Контрольные вопросы

Электростатика



Электрическое поле - это поле, которое
образуется электрическими зарядами и
взаимодействует между ними

**Количественными характеристиками
электрического:**

- напряженности электрического поля.

$$E = \frac{F}{q}$$

- вектор электрической индукции. D

$$D = \varepsilon_0 E$$

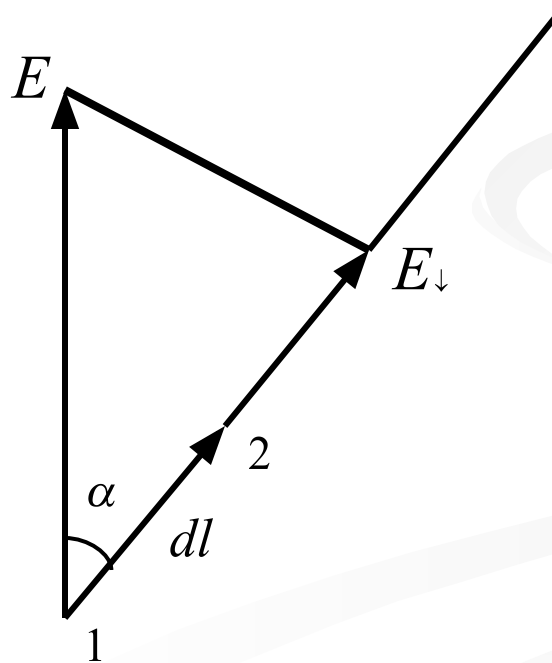
Электрическое поле потенциально

- Потенциал – это скалярная физическая единица, которая характеризуется возможностью поля осуществлять работу. И определяется формулой:

$$\varphi = \frac{W}{q} ; \quad [\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

Связь между напряжением и потенциалом

- dl - точечный заряд
- 1,2 - расстояние
- α - угол между векторами силы и перемещения



Вектор напряженности электрического поля в любой точке равен градиенту потенциала взятого со знаком минус

$$E = -grad\varphi = -\nabla\varphi$$

Таким образом, вектор напряженности электрического поля совпадает с направлением изменения самого большого потенциала

Электрический диполь

Диполем называют совокупность двух равных по величине точечных зарядов (q) противоположного знака, находящихся друг от друга на малом расстоянии (l), которое называют **плечом диполя**:



Дипольный момент:

$$p = q \times l; \quad [p] = Кл \times м$$

Поле, созданное диполем.

Диполь. в целом электрически нейтрален, образует вокруг себя электрическое поле. Найдем выражение для потенциала поля, созданного диполем в некоторой отдаленной точке пространства А (рис. 4.5).

Поскольку для точечного заряда:

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

То согласно принципу суперпозиции имеем:

$$\varphi_A = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_2} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{r_2 - r_1}{r_2 r_1}$$

Поле, созданное диполем

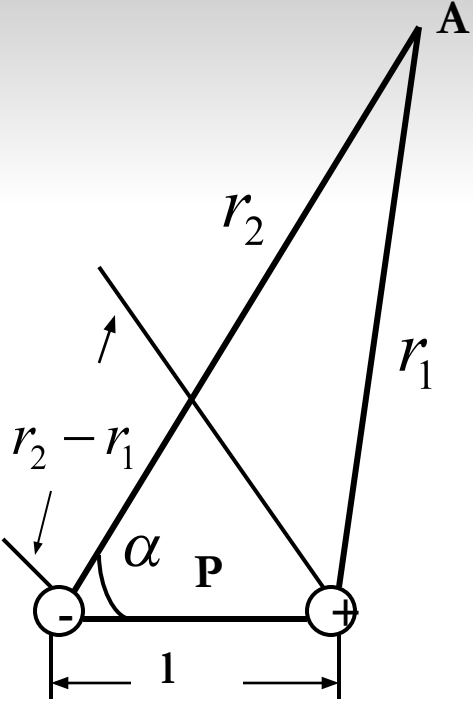


Рис. 4,5

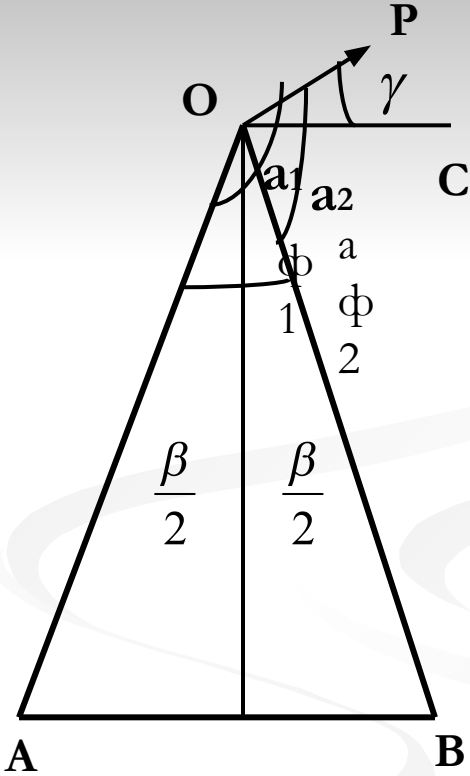


Рис.4,6

Учитывая, что расстояния до точки А от зарядов r_1 и r_2 гораздо больше за плечо диполя l , можно записать $r_2 - r_1 = l \cos \alpha$, где α - угол между векторами r_1 и r_2 . Подставив эти выражения, получим:

$$\varphi_A = \frac{ql \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{p \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Диполь в электрическом поле

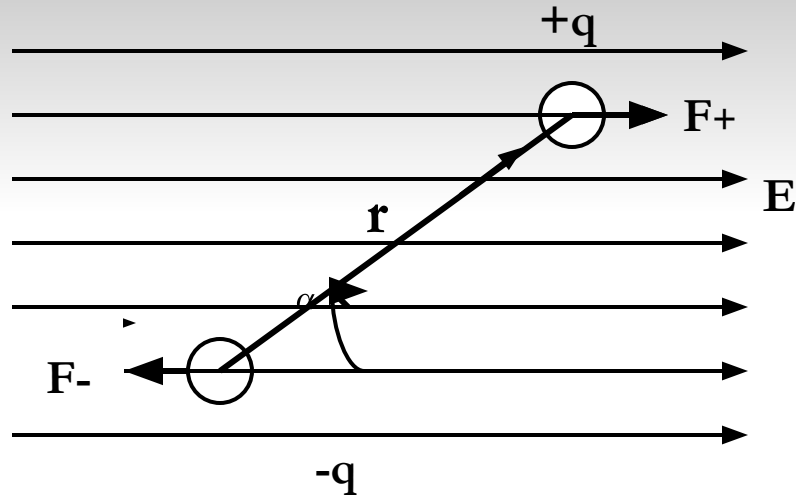


Рис. 4,7

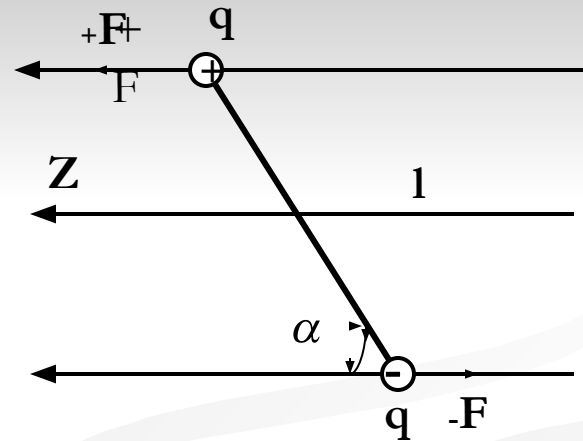


Рис. 4,8

В неоднородном поле, где напряженность
меняется от точки к точке, диполь не только
ориентируется вдоль линий напряженности, но
и втягивается в область большей
напряженности

$$F = p \cos \alpha \times E$$

Диэлектрики -

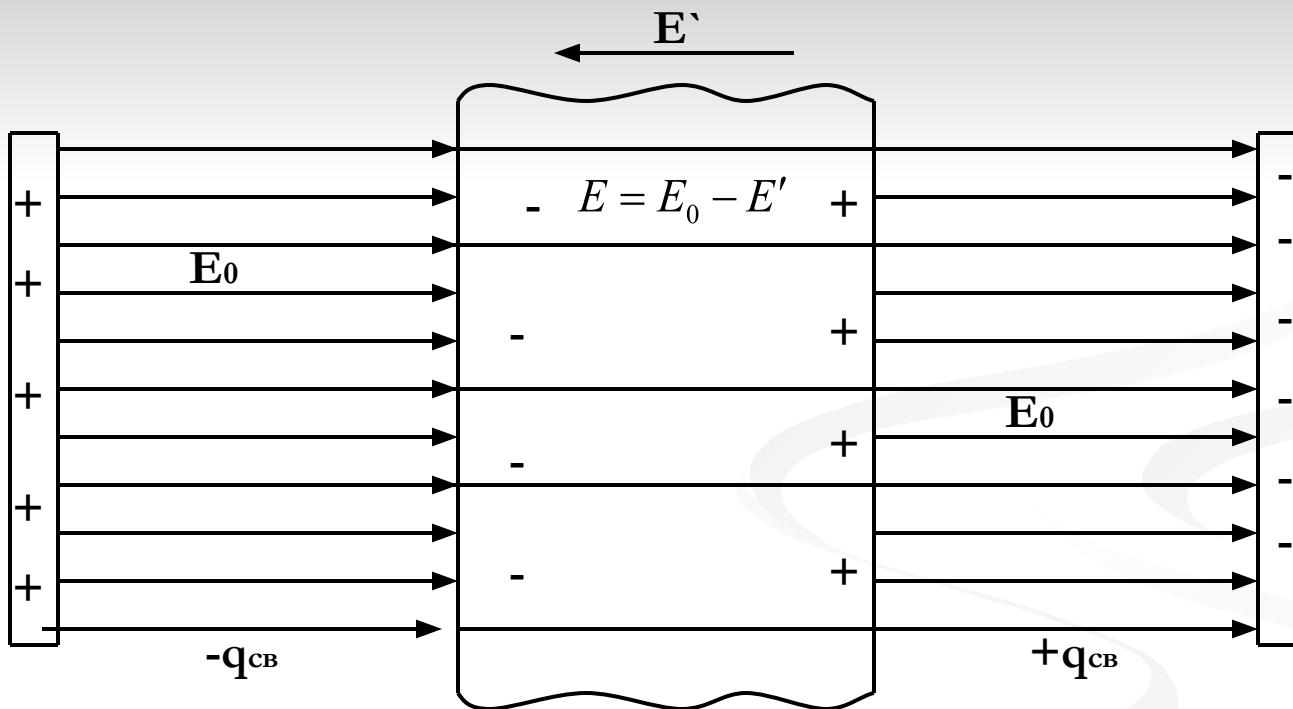
вещества, которые в обычных условиях плохо проводят электрический ток.

Термин "диэлектрик" был введен [М. Фарадеем](#). К диэлектрикам принадлежат все газы, некоторые жидкости (вода, керосин) и некоторые твердые тела.

Электропроводимость диэлектриков очень мала, их удельное электрическое сопротивление:

$$\rho \approx 10^6 - 10^{16} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Относительная диэлектрическая проницаемость среды



$$\varepsilon = E_0 / E = E_0 / (E_0 - E')$$

Поляризация среды і диэлектриков,

в частности, является процесс образования объемного дипольного электрического момента среды. Поляризация может осуществляться не только под действием электрического поля, но и некоторых других факторов, например, механического напряжения.

Мерой поляризации диэлектрика является вектор диэлектрической поляризации. P

$$P = \frac{1}{V} \sum_{i=1}^N P_i$$

диэлектрическая восприимчивость-
безразмерная величина, которая для вакуума
равен нулю, а для диэлектриков является
положительным числом.

$$P = \varepsilon_0 \alpha E$$

Электрическая индукция в диэлектрике определяется суммой двух слагаемых:

$$D = \varepsilon_0 E + P \text{ или с учетом } P = \varepsilon_0 \alpha E$$

$$D = \varepsilon E + \varepsilon_0 \alpha E = \varepsilon_0 (\alpha + 1) E$$

Сравнивая результаты получим,
 $1 + \alpha = \varepsilon$ где ε - относительная
диэлектрическая проницаемость

Таблица диэлектрическая проницаемость веществ:

| Речовина | | Речовина | |
|---------------------------------|------------|-------------------------|------|
| Повітря (при нормальних умовах) | 1.005 8 | Біла речовина мозку | 90 |
| Віск | 7.8 | Сіра речовина мозку | 85 |
| Парафін | 2.1 | Речовина зорового нерва | 89 |
| Скло | 5-7 | Кров | 85 |
| Вода | 81 | Білок яйця | 72 |
| Гас | 2 | Крохмаль | 12 |
| Поліетелен | 2.2 | Хлористий натрій | 6.12 |

Ориентация поляризации

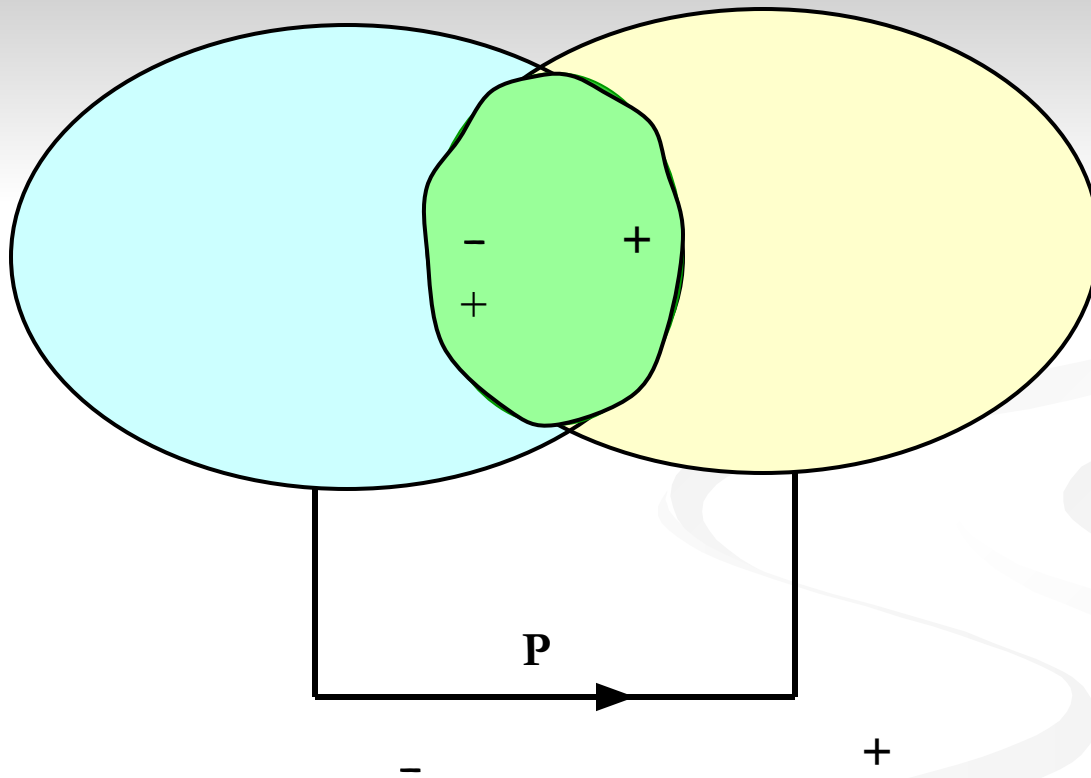
При отсутствии внешнего поля в жидкость и газах с полярными молекулами вектор поляризация $\mathbf{P} \equiv \mathbf{0}$. Внешнее поле пытается сориентировать полярные молекулы вдоль силовых линий. Вследствие совместной действия двух факторов (внешнего поля и хаотического теплового движения) в диэлектрике появляется преобладающая ориентация молекулярных диполей в направлении поля

Деформационная (электронный) поляризация

обусловлена смещением электрических зарядов в атомах и молекулах под действием внешнего электрического поля, что приводит к появлению дипольного момента p у этих частиц (рис. 4.11).

$$p = \beta \varepsilon_0 E$$

Рис 4,11



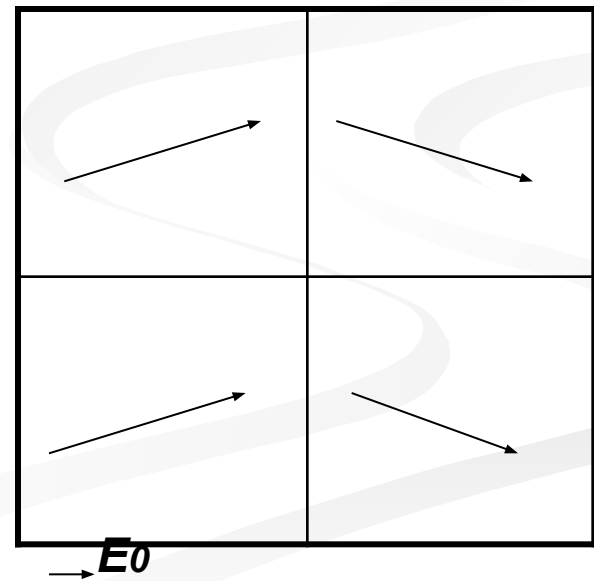
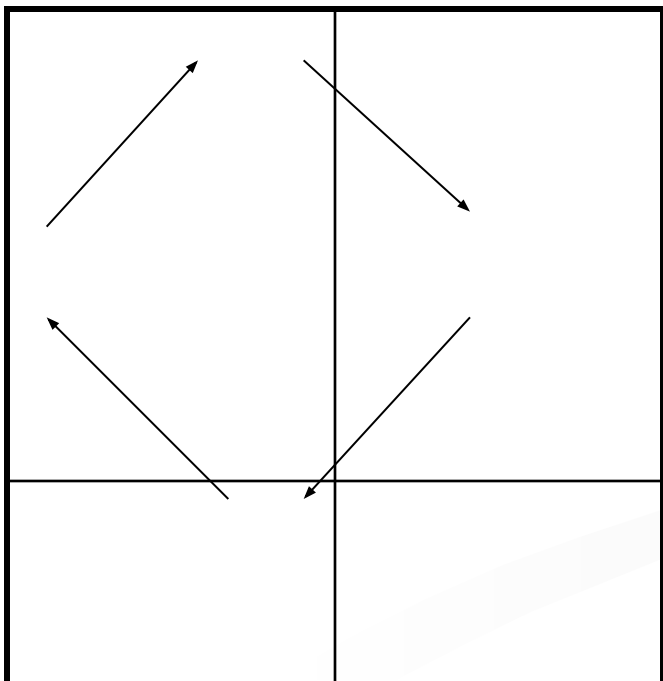
Ионная поляризация

В ионных кристаллах (например, NaCl) можно условно выделить подуровни которые образованы положительными и негативными ионами. Действием внешнего поля она уровня содвигаются в противоположные стороны и на поверхности диэлектрика появляется связанный заряд.

Спонтанная поляризация

В кристаллах сегнетоэлектриков при отсутствии внешнего электрического поля существуют области, внутри которых дипольные моменты молекул одинаково направлены. Такие области самопроизвольно (спонтанной) поляризации называют **доменами**.

Поляризация сегнетоэлектриков сводится к ориентации доменов во внешнем поле E



Диэлектрическая проницаемость возрастает при увеличении E_0 и достигает значений $\varepsilon \approx 10^4$

сегнетоэлектрики сохраняют некоторую остаточную поляризацию даже после прекращения действия внешнего электрического поля. На сегнетоэлектрических свойства вещества значительно влияет изменение температуры. Температура, при которой вследствие роста интенсивности теплового движения молекул домены разрушаются, называется температурой Кюри.

Для биологических тканей характерны все типы поляризации

существенную роль играет объемная
поляризация (эффект Максвелла-Вагнера),
которая имеет место в электрически
изолируемых от окружающей среды объемах
(например, клетках) (рис. 4,13).

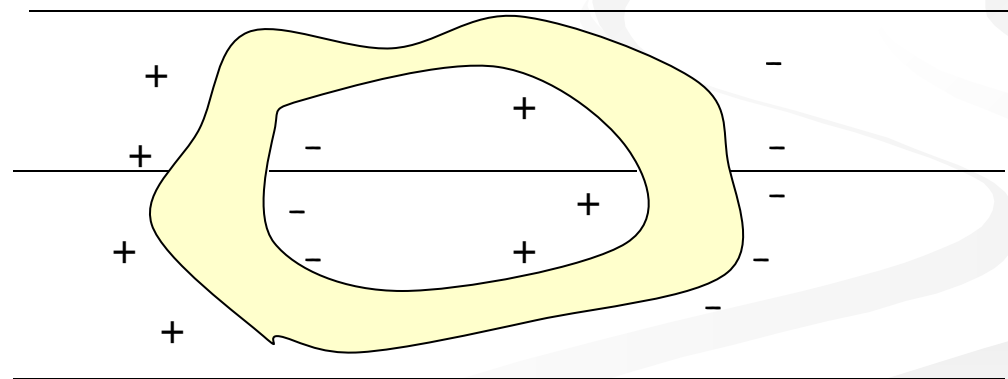


Рис. 4,13

Диэлектрические свойства биологических тканей

Теория Поляризация, которую мы рассмотрели, принадлежит в основном Дебая и Ланжевена.

Согласно этой теории по экспериментальной установленной температурной зависимости диэлектрической проницаемости можно определить, какой тип поляризации имеет место в данном диэлектрике.

Диэлектрические свойства тканей определяются биоструктурами, которые по значениям дипольных моментов можно разделить на три группы:

- внутриклеточные органоиды, значение их дипольных моментов являются максимальными
- биологически активные полярные макромолекулы, содержащихся как в цитоплазме, так и в мембранах.
- молекулы воды и растворенных в ней различных неорганических веществ. Дипольные моменты таких веществ имеют значение 1-2 Дебая.

В переменном поле диэлектрическая проницаемость при увеличении частоты внешнего поля (табл.4.2)

Инерционность процессов поляризации является причиной их отставания в отношении изменений поля, которым они обусловлены:

$$P = P_0 \sin(2\pi\nu t - \sigma)$$

Таблиця 4,2

| Тканина | 100 Гц | 1000 Гц | $2 \cdot 10^8$ Гц | $3 \cdot 10^9$ Гц |
|----------------|--------|---------|-------------------|-------------------|
| Скелетний м'яз | 800 | 130 | 56 | 42 |
| Печінка | 820 | 145 | 50-56 | 34-38 |
| Жирова тканина | 150 | 50 | 4-7 | 4-7 |

Пьезоэлектрический эффект

В некоторых веществах при механических деформациях в определенных направлениях возникает электрическая поляризация даже при отсутствии электрического поля (прямой Пьезоэлектрический). Следствием прямого Пьезоэлектрического есть обратный пьезоэффект - появление механических деформаций под действием электрического поля.

Пироэлектрики -

кристаллы, в которых изменение спонтанной Поляризация происходит при изменении температуры. Типичный пироэлектрик - турмалин. В нем при изменении температуры на один градус возникает электрическое поле пироэлектрики - приемник и индикаторы излучений.



Турмалин

Электрет -

вещества, которые способны длительное время сохранять отличный от нуля вектор

Поляризация, создавая в окружающем пространстве собственное электрическое поле.

С этой точки зрения Электрет подобны в постоянных магнитов, которые создают собственное магнитных поле.

**Постоянный ток.
Электропроводимость
биологических тканей**



Характеристики электрического тока.

Электрический ток - это упорядоченный (направленный)

движение электрических зарядов.

Свойства:

- Тепловое действие
- Химическая действие
- Магнитная действие

Формулы

- Сила тока

$$I = \frac{q}{t}; \quad [I]=\text{А}$$

- Густота Тока

$$j = \frac{I}{S}; \quad [j]=\text{А/м}^2$$

- Закон Ома

$$R = \rho \frac{l}{S}; \quad [R]=\text{Ом}$$

- Удельная теплопроводность

$$\sigma = \rho^{-1}$$

Электропроводность биологических тканей и жидкостей

Биологические среды - электролиты:

- кровь
- спинномозговая жидкость,
- лимфа и другие.

Носители тока в электролитах - **положительные и отрицательные ионы**, которые возникают в результате электрической диссоциации.

Скорость упорядоченного движения ионов

Скорость упорядоченного движения ионов прямопропорциональна к напряженности поля

$$v = b E$$

b - коэффициент пропорциональности, который называется подвижностью носителей.

Подвижность b численно равна скорости упорядоченного движения в поле с напряженностью $E = 1 \text{ В / м}$

Значение подвижности для некоторых ИОНОВ

| Вид іона | $b, \text{ м}^2 / \text{В с}$ |
|-----------------|-------------------------------|
| Na^+ | $5.2 \cdot 10^{-8}$ |
| Cl^+ | $7.9 \cdot 10^{-8}$ |
| K^+ | $6.7 \cdot 10^{-8}$ |
| NO_3^- | $6.4 \cdot 10^{-8}$ |
| H^+ | $67 \cdot 10^{-8}$ |
| Ag^+ | $5.6 \cdot 10^{-8}$ |

Воздействие электрического тока на живой организм

Первичная действие постоянного тока на организм связано с двумя процессами:

- **Поляризацией -**

возникновения дипольного момента;

- **движением заряженных частиц -**

появление и изменение концентрации носителей тока.

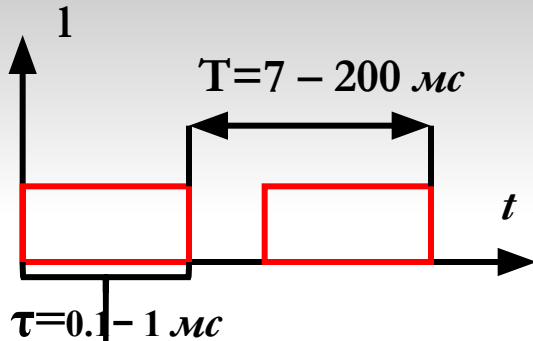
Использование электрического тока в лечебных целях

Постоянного тока с напряжением $U = 60 - 80\text{В}$
используются:

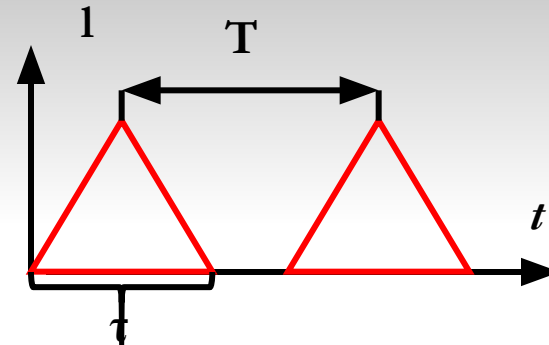
- при физиологических исследованиях;
- с лечебной целью.

Важное значение для адекватности к определенным физиологическим раздражителям имеет - **форма импульса**, конфигурация его переднего и заднего фронтов.

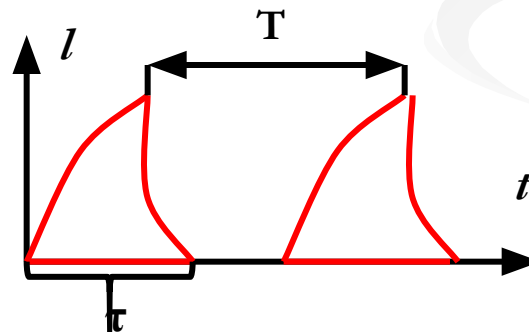
ФОРМЫ ИМПУЛЬСОВ



прямоугольная



треугольная



экспоненциальная

Закон Джоуля-Ленца

Пропускание электрического тока через биологические ткани сопровождается нагреванием. Количество теплоты, которое при этом выделяется, может быть найдена по закону Джоуля-Ленца

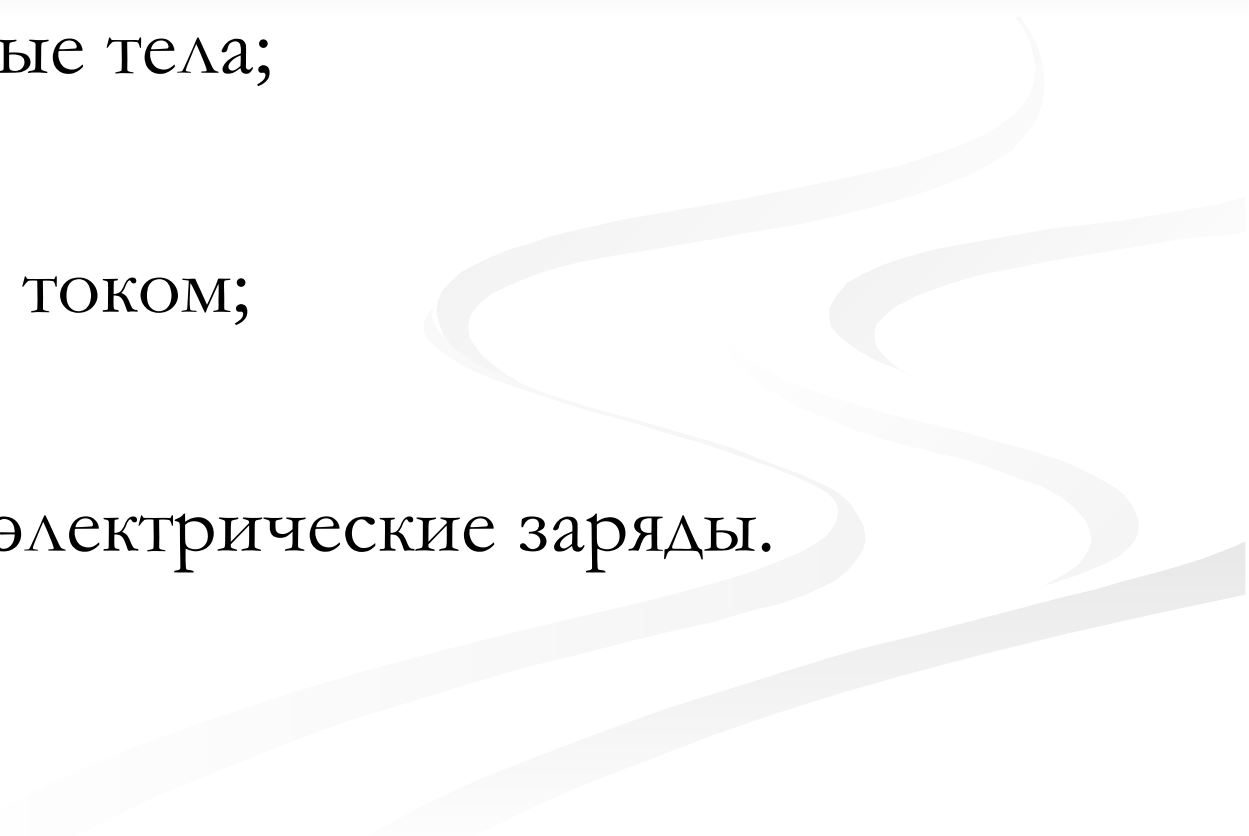
$$\underline{Q = I^2 R t}$$

Магнитное поле



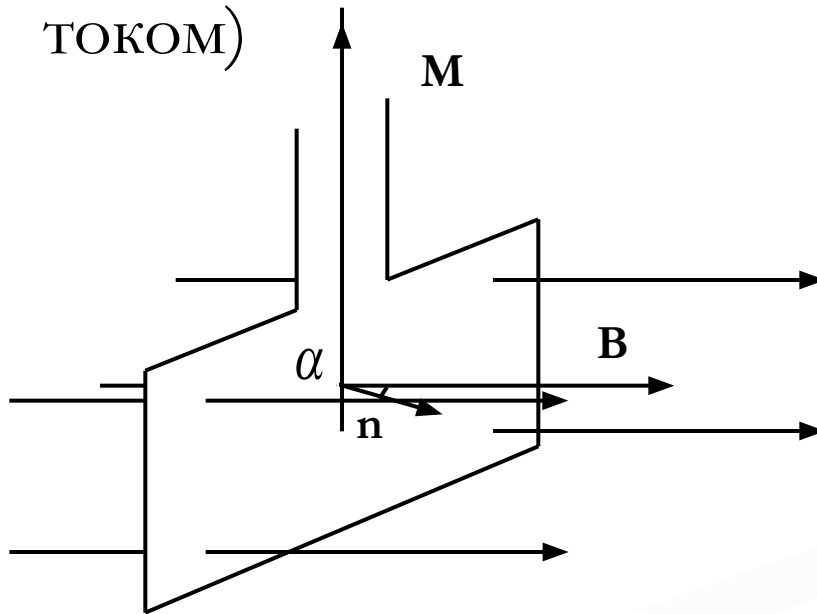
Магнитное поле в вакууме

Источники макроскопического магнитного поля:

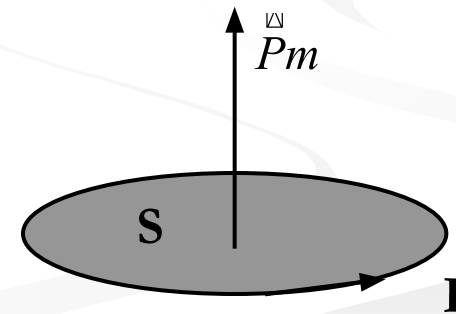
- намагниченные тела;
 - проводники с током;
 - движущиеся электрические заряды.
- 

Магнитное поле определяют:

- по действию на движущиеся электрические заряды (Проводник или рамка с током)



- по воздействию на постоянные магниты (Магнитная стрелка)



Магнитная индукция

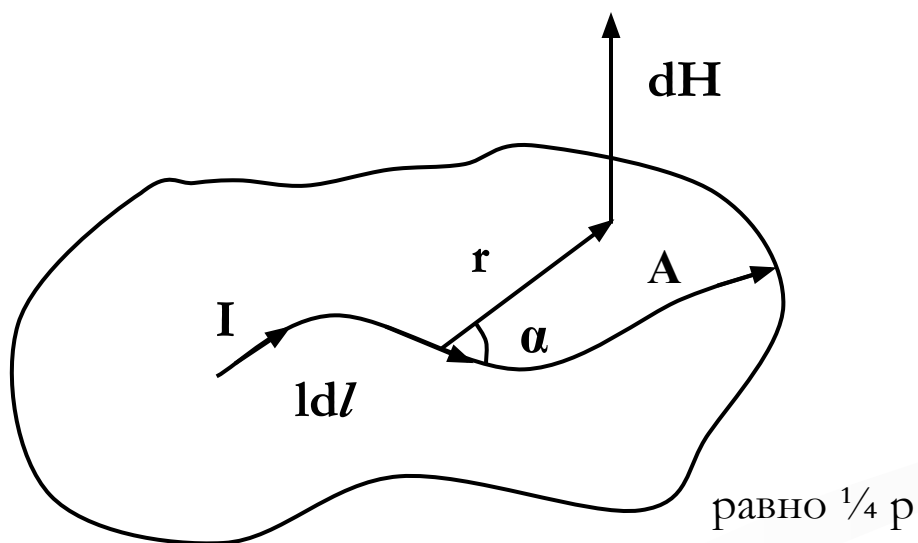
Отношение в определенной точке максимального крутящего момента, действующего на пробную (бесконечно малых размеров) рамку с током до магнитного момента рамки:

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m} = \frac{M_{\max}}{I S}$$

Закон Био - Савара - Лапласа - Лапласа

Открытый экспериментально французскими физиками Ж. Б. Био и Ф. Савар в 1820 г. и сформульований в общем виде П. С. Лаплас.

По закону напряженность магнитного поля H , созданного постоянным током:



$$dH = k \frac{I dl \sin \alpha}{r^2}$$

k -коэффициент, в системе СИ

Действие магнитного поля на движущийся электрический заряд

На проводник с током в магнитном поле действуют сила Ампера и сила Лоренца, которые являются результатом действия магнитного поля на движущиеся электрические заряды, которые создают данный электрический ток.

Сила Ампера

Результат действия магнитного поля на движущиеся электрические заряды

$$F_A = I B dl \sin \underline{\alpha}$$

α - угол, образованный векторами dl и B

Сила Лоренса

Действует на отдельный электрический заряд и может быть определена из соотношения:

$$F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{I B dl \sin\alpha}{N}$$

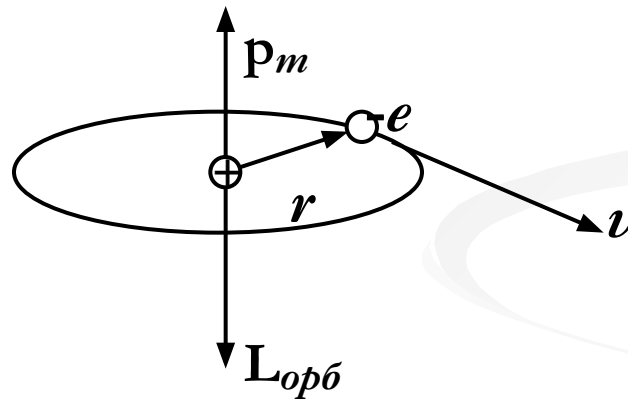
$N = n V = n dl S$ - общее количество свободных носителей заряда в проводнике

Магнитные свойства веществ

Способность вещества намагничиваться, т. е. создавать собственное магнитное поле, обусловлена наличием у атомов и молекул собственных магнитных моментов: орбитальных, спиновых и ядерных.

Орбитальный магнитный момент

Обусловленный движением электронов вокруг ядра, который аналогичен круговой токовой.



Магнитный момент такого тока:

$$p_m = I S = I \pi r^2 = e v r / 2$$

Спиновый магнитный момент (наименьший магнитный момент частицы)

возможна ориентация во внешнем магнитном поле с проекцией на направление напряженности магнитного поля лишь в двух значениях:

$$\pm \frac{\hbar |e|}{2 m_e}$$

Атомный магнит Бора:

$$\mu_{ms} = \pm \frac{\hbar |e|}{2 m_e} = \mu_B = \pm 0,927 * 10^{-23} \text{ А м}^2$$

Ядерный магнитный момент

Размер зависит от структуры ядра,
незначительный,
мало влияет на общий магнитный момент
атома.

Единица измерения –
ядерный Магнетон:

$$\mu_{яд} = \frac{\hbar |e|}{2 m_p}$$

Относительная магнитная проницаемость вещества

Показывает, во сколько раз индукция магнитного поля в веществе больше (или меньше) за индукцию магнитного поля в вакууме.

По магнитными свойствами вещества подразделяются:

- парамагнетики,
- диамагнетики,
- ферромагнетики.

Парамагнетики

В отсутствие магнитного поля имеют отличный от нуля магнитный момент

Содержат не спаренных число электронов.

Cr, Mn, Sn, Al, Pt, Na, K, O, воздух, окись азота, луга и щелочно-земельные элементы.

Диамагнетики

Магнитная восприимчивость $\chi < 0$,
магнитный момент атома равен нулю,
содержат лишь не спаренные электроны.

Bi, Ag, P, Se, C, H₂O, Au, Cu, Zn, инертные газы,
белки, углеводы

Ферромагнетики

Внутреннее (собственное) магнитное поле может быть многократно (сотни, тысячи) сильнее, чем внешнее поле, вызвавшее намагничивание.

Железо, кобальт, никель и некоторые другие материалы

Магнитные свойства тканей организма

Биологические ткани характеризуются низкой величиной магнитной проницаемости, поскольку основные химические компоненты биосреды (белки, углеводы, липиды, вода) относятся к диамагнетиков.

Биотоки, возникающие в организме, является источником слабых магнитных полей.

Действие магнитного поля на биологические объекты

В основе действия лежат первичные физические процессы:

- *изменение концентрации молекул в неоднородном поле,*
- *действие силы Лоренца на ионы,*
- *эффект Холла,*
- *различные кинетические процессы.*

Электромагнитные колебания

-периодические изменения напряженности и
индукции

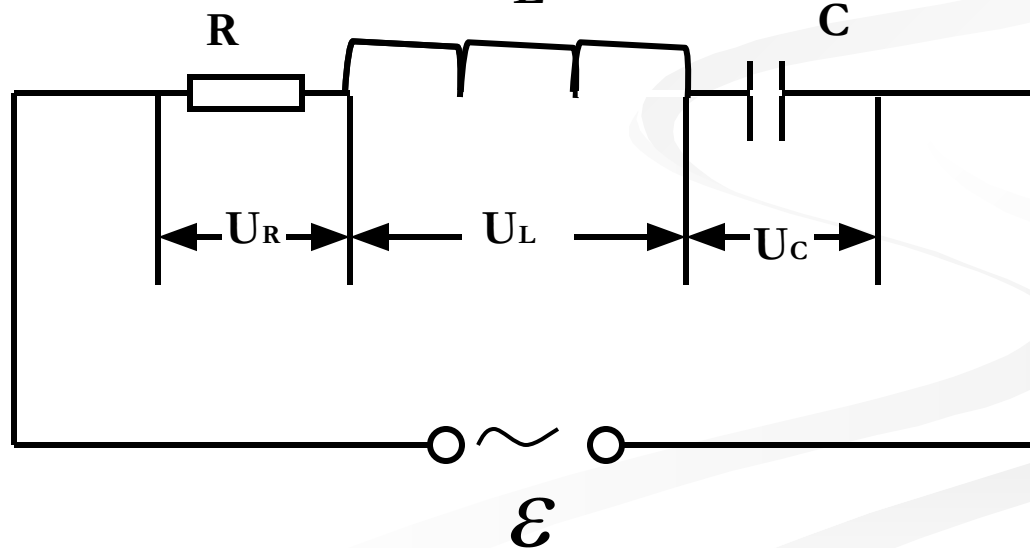
Электромагнитными колебаниями являются
радиоволны, микроволны, инфракрасное
излучение, видимый свет, ультрафиолетовое
излучение, рентгеновские лучи, гамма-лучи.



Уравнение электрических колебаний

Дифференциальное уравнение
электрических колебаний

$$L \frac{d^2 l}{dt^2} + R \frac{dl}{dt} + \frac{l}{C} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$



Электромагнитные волны

Ток смещения

Ток смещения - в гипотезе Максвелла - гипотетический источник магнитного поля, обусловленный изменением напряженности электрического поля со временем.

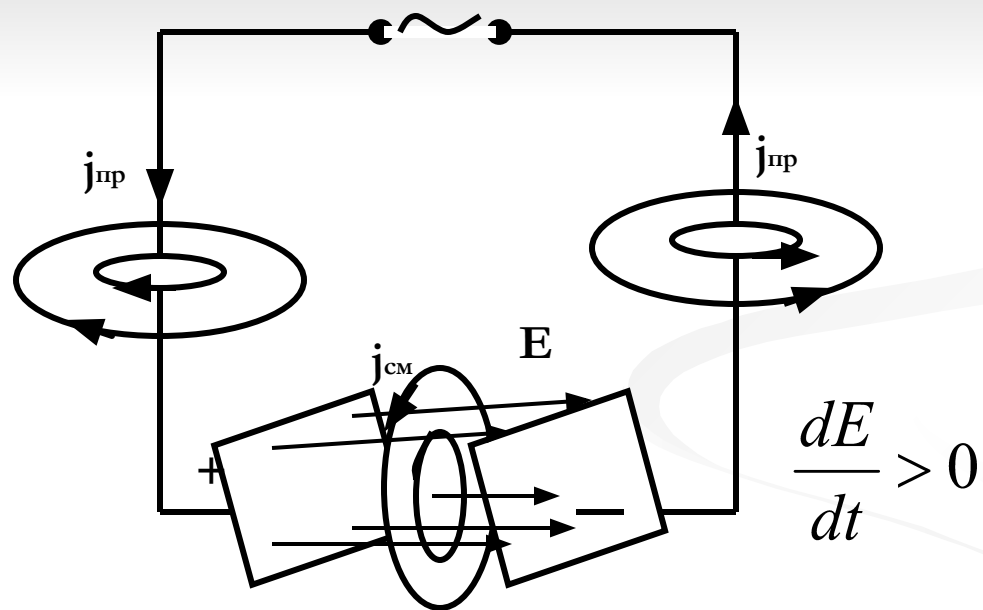
$$I_{зм} = I_{пр} = dq / dt. ,$$

$I_{пр}$ здесь, ток проводим $I_{см}$ -ток смещения.

$$q = CU = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d} Ed = \epsilon\epsilon_0 SE \quad \text{-заряд на обкладках плоского конденсатора.}$$



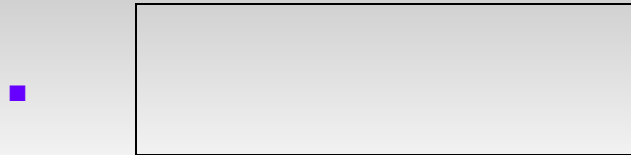
Ток смещение в электрическом круге с конденсатором



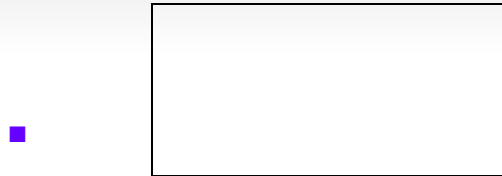
Формулы



- Сила тока смещения в конденсаторе



-плотность тока смещения



- исходя из этой формулы, плотность тока смещения равна скорости изменения со временем индукции электрического поля.

$$D = \varepsilon_0 E + P.$$

поляризации P

-соотношение между вектором напряженности E и

$$j_{\text{сд}} = \varepsilon_0 \frac{dE}{dt} + \frac{dP}{dt}.$$

-плотность тока смещения в диэлектрике

Самое главное свойство тока смещения заключается в том, что он, как и ток проводимости, создает вихревое поле: Вихревое магнитное поле - это поле с замкнутыми силовыми линиями

Уравнения Максвелла

Дж. К. Максвелл записал свои гениальные уравнения в 1865г. Уравнения Максвелла - это фундаментальные уравнения электродинамики, описывающие электромагнитные явления в любой среде. Они обобщают экспериментальные и теоретические труды физиков первой половины XIX в. и прежде всего исследования М. Фарадея. Основные законы электродинамики Максвелл сформулировал в виде четырёх уравнений.

Первое уравнение Максвелла:

$$\int_l H_l \cdot dl = \int_S (j_n + \frac{\partial D_n}{\partial t}) dS$$

H_l - Где проекция вектора напряженности магнитного поля на направление касательной к контуру l в данной точке, j_n

D_n - нормальная к выбранной площадке составляющая плотности тока проводимости, - нормальная к площадке составляющая вектора электрической индукции.

Второе уравнение

отражает закон электромагнитной индукции
Фарадея:

Второе уравнение отражает закон электромагнитной индукции
Фарадея:

$$\varepsilon_i = \frac{\partial \hat{O}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S B dS = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S B_n dS$$

Электродвижущая сила ЭПС, как известно, равна работе сторонних сил по перемещению единичного заряда, то есть,

$\int E_l dl$ поэтому будем иметь

$$\int_l^l E_l dl = -\partial \Phi / \partial t \rightarrow \int_l^l E_l dl = -\int_S (\partial B_n / \partial t) dS$$

E_l , Где - проекция вектора напряженности электрического поля на направление касательной контуру в данной точке, B_n - нормальная к поверхности составляющая вектора магнитной индукции.

Третье уравнения Максвелла показывает, что источником электрического поля являются электрические заряды:

$$\int_S D_n dS = q$$

Левая часть этого уравнения - поток вектора индукции электрического поля через замкнутую поверхность площадью S .

Четвертое уравнение отражает факт отсутствия магнитных зарядов.

$$\int_S B_n dS = 0$$

Приведены уравнения Максвелла не учитывают
строение вещества и взаимодействие
электромагнитного поля с частицами вещества.

Влияние среды на электромагнитное поле задается
через его электропроводность, а также
диэлектрическую ϵ и магнитной μ проницаемости.
Поэтому к уравнениям Максвелла следует добавить
еще три уравнения, называемых материальными:

Поэтому к уравнениям Максвелла следует добавить еще три
уравнения, называемых материальными:

$$\mathbf{D} = \epsilon\epsilon_0\mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu\mu_0\mathbf{H}$$

$$\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}$$

Плоские электромагнитные волны.

Вектор условие- Пойнтинга

Периодические изменения электрического или магнитного поля в некоторой области пространства дают начало совокупности последовательных взаимосвязанных преобразований этих полей, которые охватывают все новые области пространства. Оба эти поля являются вихревыми, причем векторы **E** и **H** находятся во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Электромагнитное поле, которое периодически меняется, распространяясь в пространстве, образует электромагнитную волну.

Электромагнитная волна - волна, порожденная колебанием параметра электромагнитного поля.

Уравнение для изотропного диэлектрика, в котором нет свободных электрических зарядов:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{\epsilon \epsilon_0 \mu \mu_0} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial x^2}$$

Уравнение для напряженности магнитного поля \mathbf{H} :

$$v = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu} \quad , \text{ Где } \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф / м -}$$

электрическая постоянная.

Магнитная постоянная, ϵ и μ - относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

$$\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ А}^2 / \text{В} \cdot \text{м}$$

-Магнитная постоянная, ϵ и μ - относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды.

В вакууме скорость распространения электромагнитных волн равна -

$$c = 1 / \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Тогда как в среде

$$v = c / \sqrt{\epsilon \mu} = c / n$$

Абсолютный показатель преломления среды.

Абсолютный показатель преломления среды - это отношение скорости света в вакууме к фазовой скорости света в заданном среде.

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Шкала электромагнитных волн

Как известно, в зависимости от частоты или длины волны $\lambda = c / \nu$ электромагнитные волны делят на:

- радиоволны,
- инфракрасное излучение,
- видимый свет, ультрафиолетового излучения,
- рентгеновские волны,
- γ -излучения.

Частота спектра

| Частота ν , Гц | Вид излучения |
|----------------------------------|----------------------------|
| $10^3 - 10^{12}$ | Радиоволны |
| $1.5 * 10^{11} - 3.75 * 10^{14}$ | Инфракрасное излучение |
| $(1.5 - 3.75) * 10^{14}$ | Видимый свет |
| $7.5 * 10^{14} - 3 * 10^{16}$ | Ультрафиолетовое излучение |
| $3 * 10^{16} - 3 * 10^{22}$ | Рентгеновское |
| $> 3 * 10^{18}$ | γ -излучения |

| Частота ν , Гц | Виды излучения | Длина волны λ , м |
|--------------------|---|---------------------------|
| 3-30 | Крайне низкая | 10^8-10^7 |
| 30-300 | Низкая (мегаметровые) | 10^7-10^6 |
| $(0.3-3)10^3$ | Инфранизкие (гектометровые) | 10^6-10^5 |
| $(3-30)10^3$ | Очень низкая | 10^5-10^4 |
| $(30-300)10^3$ | Низкая частота (километровая) | 10^4-10^3 |
| $(0.3-3)10^6$ | Средняя частота (гектометровые) | 10^3-10^2 |
| $(3-30)10^6$ | Высокие частоты (декаметровые) | 100-10 |
| $(30-300)10^6$ | Очень высокие (метровые) | 10-1 |
| $(0.3-3)10^9$ | Ультравысокие (УВЧ) (дециметровые) | 1-0.1 |
| $(3-30)10^9$ | Надвысокие (НВЧ) (сантиметровые) | 0.1-0.01 |
| $(30-300)10^9$ | Крайневысокие (КВЧ) (миллиметровые) | 0.01-0.001 |
| $(0.3-3)10^{12}$ | Гипервысокие (ГВЧ) (децимиллиметровые) | $(1-0.01)10^{-3}$ |

Табл.

- Электромагнитных волны - все они имеют одинаковую природу, но отличаются лишь частотой.
- Радиоволны, которые излучаются антенной, полностью аналогичны по природе к γ -излучения, которое зарождается в атомном ядре.
- Согласно Международным регламентом радиосвязи радиоволны делят на двенадцать диапазонов.

С лечебной целью в основном используются такие проявления взаимодействия электромагнитного поля с биологическими системами:

- **Возбуждение** (электростимуляция);
- **Лечебное** прогревание высокочастотными полями; его механизм наиболее досконально изучен
- **Специфическое** действие; характерной особенностью ее является реакция биологических систем на чрезвычайно низкие интенсивности, которые недостаточны для возбуждения и прогревание.

Типы задач:

- № 1 Найти плотность тока в электролите, если концентрация ионов в нем, $n = 10^{10} \text{ м}^{-3}$ их подвижности, $b_- = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$
 $b_+ = 6,55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$. Напряженность электрического поля. $E = 10^3 \text{ В} / \text{м}$
Считая плотность тока одинаковой, найти силу тока, если площадь каждого электрода. $S = 4 \text{ м}^2$ Ионы одновалентных.
- № 2 Найти потенциал поля, созданного диполем, заряды которого $q = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ и плечо $\ell = 2 \text{ см}$, в точке, находящейся на расстоянии $r = 20 \text{ см}$ от оси диполя, если вектор r и ось диполя образуют угол $\alpha = 60^\circ$. Диполь находится в воде.
- № 3 Линейный бесконечно длинный проводник с током силой I и радиусом R . Найти напряженность магнитного поля в центре петли.

**Семинар «Методика получения,
регистрации и передачи
медико-биологических
информации»**



Задача № 1

Найти плотность тока в электролите, если концентрация ионов в нем $n = 10^{10} \text{ см}^{-3}$, их подвижности $b_+ = 4,65 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$, $b_- = 6,55 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 / \text{В} \cdot \text{с}$. Напряженность электрического поля $E = 10^3 \text{ В} / \text{см}$. Считая плотность тока одинаковой, найти силу тока, если площадь каждого электрода $S = 4 \text{ см}^2$. Ионы одновалентных.

Решение

По закону Ома в дифференциальной форме плотность тока равна $j = \delta E$, где δ - удельная электропроводность. В случае электролитов с (4.37) имеем:

$$\delta = n \cdot z \cdot e (b_+ + b_-).$$

По условию задачи валентность $z = 1$. Окончательно получим:

$$j = n e (b_+ + b_-) E.$$

По определению $j = I / S$, то есть сила тока $I = jS$.

Выполним вычисления:

$$j = 10^{10} \text{ см}^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot (4,65 + 6,55) \cdot 10^{-4} \text{ см}^2 / \text{Вс} \cdot 10^3 \text{ В} / \text{см} = 1,78 \cdot 10^{-9} \text{ А} / \text{см}^2.$$

$$I = 7,1 \cdot 10^{-9} \text{ А}.$$

Задача №2

Найти потенциал поля, созданного диполем, ради которого q_1 и плечо l , в точке, находящейся на расстоянии $r = 20$ см от оси диполя, если вектор r и ось диполя образуют угол. Диполь находится в воде.

Решение

Потенциал поля, созданного в достаточно отдаленной точке, определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{p \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, ее значение для воды можно найти в таблице

$$p = q_1 l \quad (\epsilon = 81),$$

- Электрический момент диполя.

Выполним вычисления:

$$\varphi = \frac{2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 0.5}{4\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м} \cdot 0.04 \text{ м}^2} = 0.1 \text{ В}.$$

Линейный бесконечно длинный проводник с током силой I и радиусом R .

Найти напряженность магнитного поля в центре петли.

Решение

Напряженность магнитного поля в точке O равна геометрической сумме напряженностей полей, созданных бесконечно длинным проводником и круговыми током. Согласно

$$H_1 = I / 2\pi r,$$

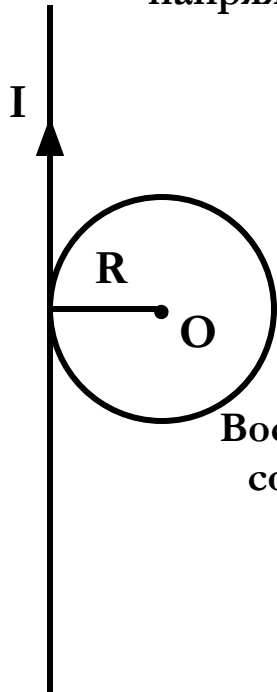
где R - расстояние от точки O к проводнику.

А напряженность поля, созданного круговыми током соответственно равна:

$$H_2 = I / \pi R.$$

Воспользовавшись правилом сверла, видим, что направления векторов, совпадают, так геометрическую сумму можно заменить арифметической: $\vec{H}_1 \vec{H}_2$

$$H = \frac{I}{2\pi R} + \frac{I}{2R} = \frac{\pi + 1}{2\pi R} I.$$



Приборы для измерения электрических параметров и их классификация

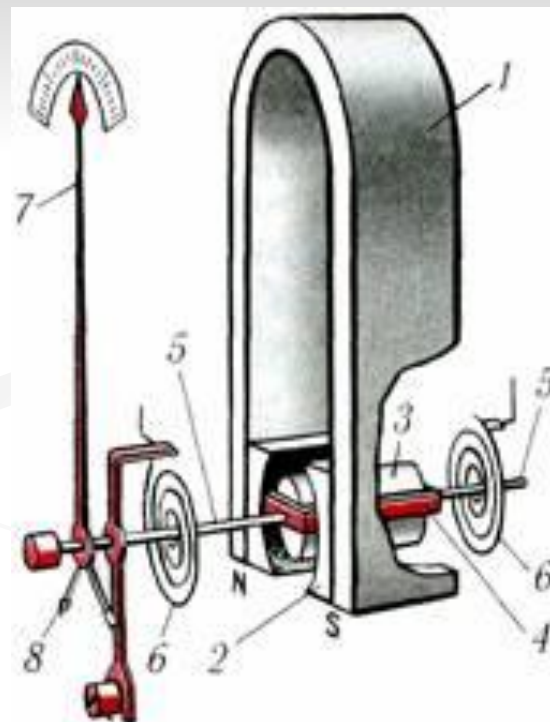
Приборы для измерения электрических параметров и их классификация

Электроизмерительные приборы - это устройства, с помощью которых осуществляют сравнение физической величины с эталоном, принятым за единицу измерения. В современной технике все более широко используются электроизмерительные приборы с цифровой индикацией.

Приборы магнитоэлектрические СИСТЕМЫ

Используется действие момента сил на рамку с током, которая находится в поле постоянного магнита.

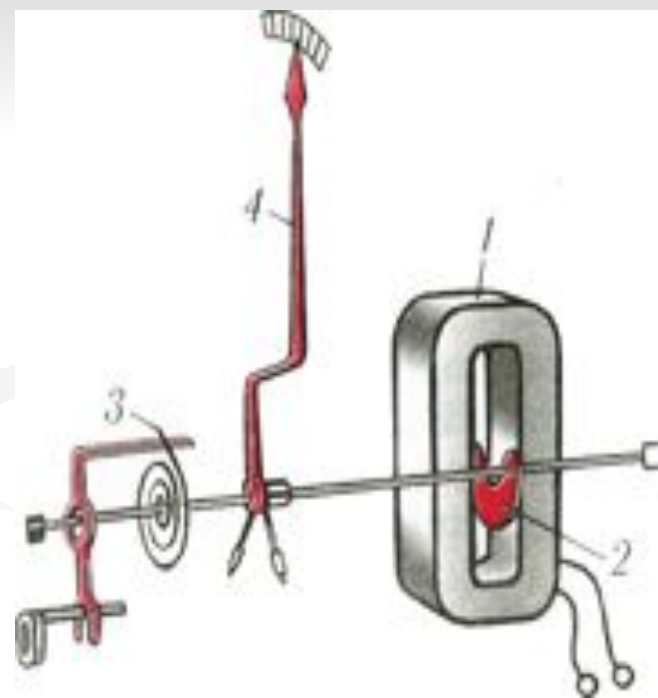
Приборы этой системы высокочувствительные, достаточно точны, имеют равномерную шкалу. Используются для измерения только постоянных электрических величин.



Приборы электромагнитной системы

Они основаны на явлении втягивания железного сердечника в магнитное поле соленооида.

Приборы этой системы простые, надежные, дешевые, но малочувствительны, имеют неравномерную шкалу и невысокую точность. Они пригодны для измерения как постоянных, так и переменных электрических величин.



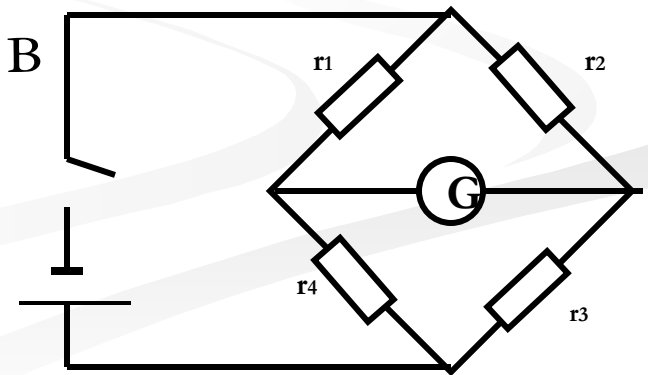
**По назначению
электроизмерительные приборы
делят на:**

- Приборы для измерения силы тока
- Приборы для измерения напряжения
- Приборы для измерения мощности

Измерение сопротивлений

Сопротивление любого проводника наиболее просто определить с помощью амперметра и вольтметра: $R = U / I$. Для точных измерений сопротивлений используют метод сравнений неизвестного сопротивления с известным, это осуществляют с помощью мостковой схемы.

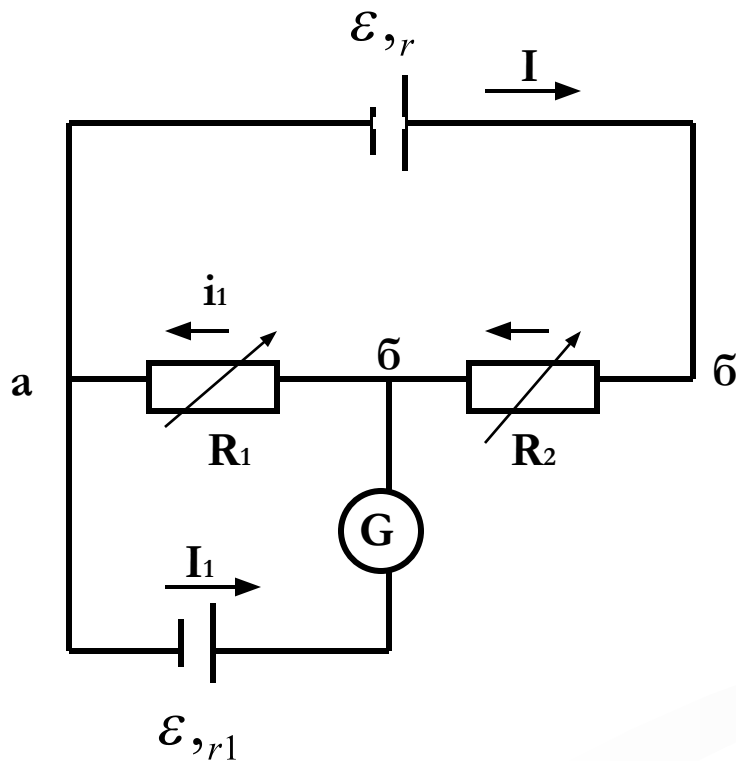
Вместительные схемы используются в многих приборах: в болометрии, в реографы и других.



Измерение неизвестной ЭДС

КОМПЕНСАЦИОННЫМ МЕТОДОМ.

Схема, используемая для измерения ЭДС
компенсационным методом, изображенная
на рисунке



$$R_1 + R_2 = R = \text{const}$$

$$I = i_1, I(R_1 + R_2) = \varepsilon, IR_1 = \varepsilon_1$$

Тогда:

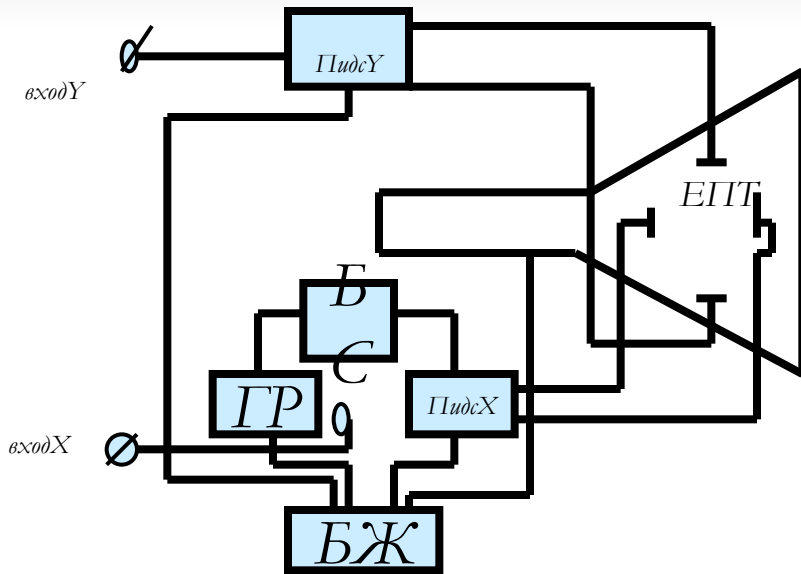
$$\varepsilon_1 = \varepsilon \frac{R_1}{R}$$

Осциллографы, генераторы, усилители, датчики

- **Электронный осциллограф** - прибор, используемый для исследования периодических и Аперiodические процессы. С его помощью можно наблюдать кривые периодического процесса, измерять напряжение, фазу, глубину модуляции.
- **Генераторы** - это устройства, преобразующие энергию источников постоянной ЭДС в энергию электромагнитных волн различной частоты и формы.

Блок-схема простейшего осциллографа

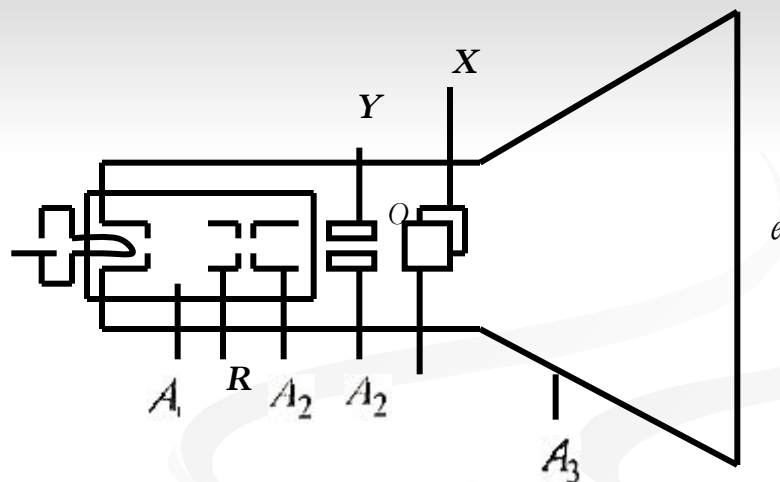
представлена на рисунке и имеет электронно-лучевую трубку (ЭЛТ), блок питания (БП), генератор горизонтальной раскладки (ГР), усилитель вертикального отклонения (ПидсУ), блок синхронизации (БС) и делители напряжения.



- В состав *электронно-лучевой трубки*, которая представляет собой вакуумную колбу входит ряд электродов, который фокусирует пучок на экране трубки и дает электронам необходимую скорость.

- Для устранения нестойкости осциллограммы генератор горизонтальной розкладки согласовуют с исследуемым сигналом, заставляют их работать синхронно. Эту функцию *блок синхронизации*.

- *Блок питания* – обеспечивает необходимое постоянное напряжение на электродах электронно-лучевой трубки.



Генератор меток времени.

Современные осциллографы имеют генератор меток времени или калибратор длительности. Точность определения длительности процессов возрастает с увеличением количества отметок времени на осциллографе.

Генератор калибровочного сигнала.

Чтобы измерять напряжение, необходимо сравнить исследуемый сигнал с сигналом калиброванного напряжения. Для ее получения в осциллографе существует специальный генератор, который работает от стабилизатора напряжения. С помощью калибровочного сигнала определяют цену отметки

$$Z = U_k (B) / A_k (\text{дл})$$

Усиление и генерация электрических сигналов

Основной характеристикой усилителя есть коэффициент усиления, который равняется отношению смены исходного сигнала к смене исходного, которым она обусловлена:

$$k_U = \frac{\Delta U_{GUX}}{\Delta U_{GX}}, k_I = \frac{\Delta I_{GUX}}{\Delta I_{GX}}, k_P = \frac{\Delta P_{GUX}}{\Delta P_{GX}}$$

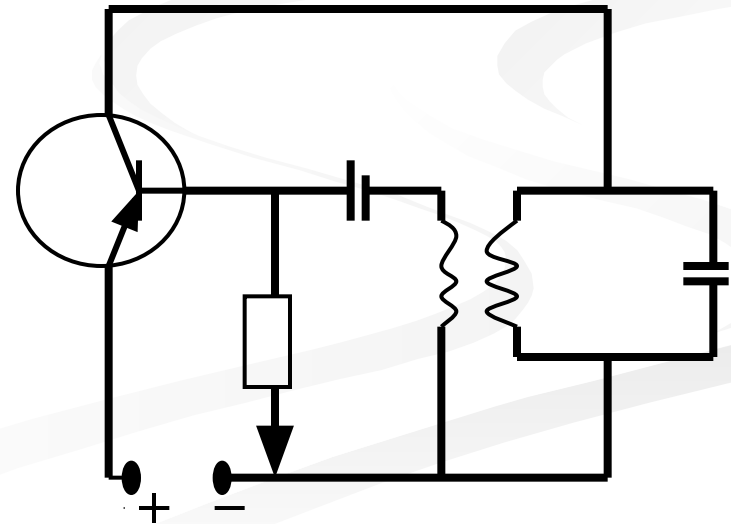
При усилении синусов синусоидальных сигналов пользуются отношением амплитуд сигналов

$$k = \frac{A_{i.GUX}}{A_{i.GX}}$$

Основной характеристикой усилителя есть коэффициент усиления, который равняется отношению смены исходного сигнала к смене исходного, которым она обусловлена.

При усилении синусов синусоидальных сигналов пользуются отношением амплитуд сигналов

$$\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$$



Электроды и датчики медико-биологической информации

Датчиком

называют устройство, которое превращает величину, что измеряется или наблюдается, в сигнал, в удобный для передачи как правило электромагнитных сигналов. Датчики разделяются на *генераторные* и *параметричные*.

- ***Генераторные*** – это датчики, которые под действием электроизмеряемой величины непосредственно генерируют сигнал электромагнитной природы.
- ***Параметричные*** – это датчики, в которых под действием измеряемой величины изменяется некоторый параметр.

Датчик характеризуется: *функцией
превращения* $Y=f(X)$,

чувствительностью, в которой мера исходная
величина реагирует на смены входящей:

$$Z = \Delta Y / \Delta X$$

Электроды— это проводники, что соединяют
биологическую систему с измеряющим кругом,
при помощи которого подается
электромагнитный сигнал на биообъект.

Структурная схема круга для получения, передачи и регистрации медико-биологической информации



Предположим, что \underline{X} – предполагаемый параметр биологической системы, который нужно определить; \underline{Y} – величина, которая получается на регистрирующем приборе. Для этого должна быть известна зависимость

$$Y = f(X)$$

Лабораторный практикум

- ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
- ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
- ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
- ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



Лабораторная работа №1

Определение величины артериального
давления с помощью емкостного
датчика

Цель работы:

Овладеть методом измерения и регистрации давления крови с помощью емкостного датчика (сфигмоманометра).

Приборы и материалы:

- Сфигмоприбор с приемником пульса;
- Манжетка с манометром;
- Регистрирующий прибор (осциллограф, самописец или векторкардиоскоп).

Контрольные вопросы для подготовки к лабораторной работе

- Датчики, их основные виды и типы.
- Свободные электрические колебания.
Колебательный контур. Собственная частота колебаний.
- Емкость. Конденсаторы, их виды и способы соединения.
- Вынужденные электрические колебания.
- Кинематика течения жидкости.
- Пульсовые волны. Сфигмография.

Дополнительная литература

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1992.
- Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 370-373; 204-210; 171-174; 323-326.
- Ливенцев Н.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1978. – Ч.1, с.242-249.

Краткие теоритические ведомости

Устройство сфигмографическое используется для регистрации пульсовых волн. С его помощью можно фиксировать малые изменения объемов запертых пустот, получать кривые колебаний стенок артерий и вен. Он дает возможность следить за изменениями артериального давления на протяжении кардиоцикла. При наличии двух сфигмопространств можно определить распространение пульсовой волны по сосуду.

Принцип измерения давления с помощью сфигмоманометра базируется на преобразовании малых изменений объема в изменении частоты электрических колебаний $\Delta\nu$ колебательного контура.

Изменение давления в сосуде ΔP сопровождается смещением поверхности кожи, которое вызывает изменение объема ΔV приемника пульса (ЧП).

По соединительной трубке T эти изменения передаются в пустоту датчика D , одна из стенок которого есть одновременно и пластиной конденсатора, что и приводит к смещению этой пластины. Емкость конденсатора изменяется, а значит и изменяется собственная частота колебательного контура:

$$(\nu \pm \Delta \nu) = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C \pm \Delta C)}}$$

Детектор выделяет изменение напряжения ΔU , величина которой зависит от ΔC , а значит и от ΔP . Т.е. имеет место такая цепочка преобразований:

$\Delta P \rightarrow \Delta V \rightarrow \Delta C \rightarrow \Delta \nu \rightarrow \Delta U$. Эти изменения напряжения подаются на *У-пластины* осциллографа и регистрируются. За их величиной и находят изменения давления ΔP .

Технические характеристики:

- Максимальная разность давлений в камерах I и II датчика – 5 мм рт. ст.
- Верхняя граница компресивного давления в камерах (при одновременной его подаче) – 200 мм рт. ст.
- Чувствительность – не меньше 5 мВ/гг рт. ст.
- Нелинейность амплитудной характеристики - 10-15%.

Режимы работы:

- **Исх. I, III** - (камеры I и II соединены между собой и патрубком 1) - исходная позиция.
- **PI, PII** – камеры I, II и патрубок 1 разъединенные (если приемник пульса *ППП* присоединенный к патрубку 2, то изменение давления в *ППП* поступает в камеру II) – рабочий режим.
- **Исх. II** - камеры I и II соединены между собой, патрубок 1 - отсоединенный (режим выравнивания давления в камерах, применяется при регистрации пульсовых волн в венах).
- **PIII** – камера I разъединена с камерой II, и камера II соединена с патрубком 1 (применяется для определения синхронной разности пульсовых давлений в разных участках сосуда).

Ход работы

Подключить сфигмоприбор к осциллографу. Проверить наличие приемника и манжетки с манометром.

Задание 1. Регистрация артериальных пульсаций.

- Зафиксируйте приемник пульса на плечевой артерии.
- Поставьте переключатель *ПР* у положение *И*.
- Подсоедините к штуцеру *II* резиновый трубопровод приемника пульса.
- Переведите кран у положение *П I*, *П II*.
- Наладьте осциллограф на необходимую чувствительность для визуального наблюдения сфигмоколебаний.
- Зарисуйте колебание, которые наблюдаете.
- Кран возвратите в начальное положение *Исх. I*, *III*.

Задание 2. Определение систолического артериального давления.

- Оденьте манжетку на предплечье руки, на которой закреплено приемник пульса.
- Получите стойкое изображение пульсовой волны в лучевой артерии на экране осциллографа.
- Выполните медленное нагнетание воздуха в манжетку, наблюдая за амплитудой пульсаций. Определите величину давления в манжетке, когда пульсации исчезнут. Величина давления в манжетке равняется систолическому артериальному давлению ($P_{сис} = P_m$)
- Возвратите кран в начальное положение *Исх.* И, III

Задание 3. Регистрация объемного пульса предплечья.

- Поставьте переключатель ПР в Исх. И, III.
- Подсоедините к штуцеру II трубку манжетки.
- Подсоедините к штуцеру I ручной насос с манометром.
- Осуществите медленное нагнетание воздуха в систему к давлению 30 мм рт.ст.
- Переведите переключатель ПР у положение П I и П II.
- Подберите необходимую чувствительность осциллографа для наблюдений изменений объемного пульса предплечья.
- Зарисуйте кривую, которая наблюдается в тетрадь.
- Зменшіть давлення к нулю, открыв вентиль манометра.
- Кран переведите у положение Исх. И, III .

Задача 4. Регистрация зависимости амплитуды объемного пульса от давления в манжетке.

Схема коммутации устройства, манжетки и манометра аналогичная, как и при выполнении задачи 3.

- Осуществите медленное нагнетание воздуха в манжетку к давлению, которое превышает систолический на 10 мм рт.ст
- Переведите кран ПР в П I, П II. Убедитесь в отсутствии пульсовых колебаний на экране (должны наблюдаться пульсации давления, которые вызваны изменениями объема манжетки в проксимальном участке). Измерьте величину пульсаций. Поставьте ПР в Исх. И, III.

Запрещается резко уменьшать давление, если кран не переведено у положение “Исх. I, III” - 0.

- Медленно уменьшить давление на 10 мм рт. ст. и переведите кран у положение П I, П II.
- Измерьте ΔP . Повторите процедуру 2 и 3, уменьшая давление каждый раз на 10 мм рт. ст. , пока P_2 не станет равнять нулю.
- Измерьте значение амплитуды пульсовых колебаний ΔP для всех значений давления в манжетке P_2 и занесите к таблице.
- Постройте график (рис. 4.53). Отметьте систолическое давление. Максимальное пульсовое давление имеет величину, близкую к диастолическому давлению

Величина $\Delta P = P_{\text{сис}} - P_{\text{диас}}$ равняется ΔP_y . Таким образом мы можем проградуировать шкалу пульсовых колебаний. Заполните таблицу полностью, выполнив переход от *гг рт. ст.* к *Па* ($1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па}$).

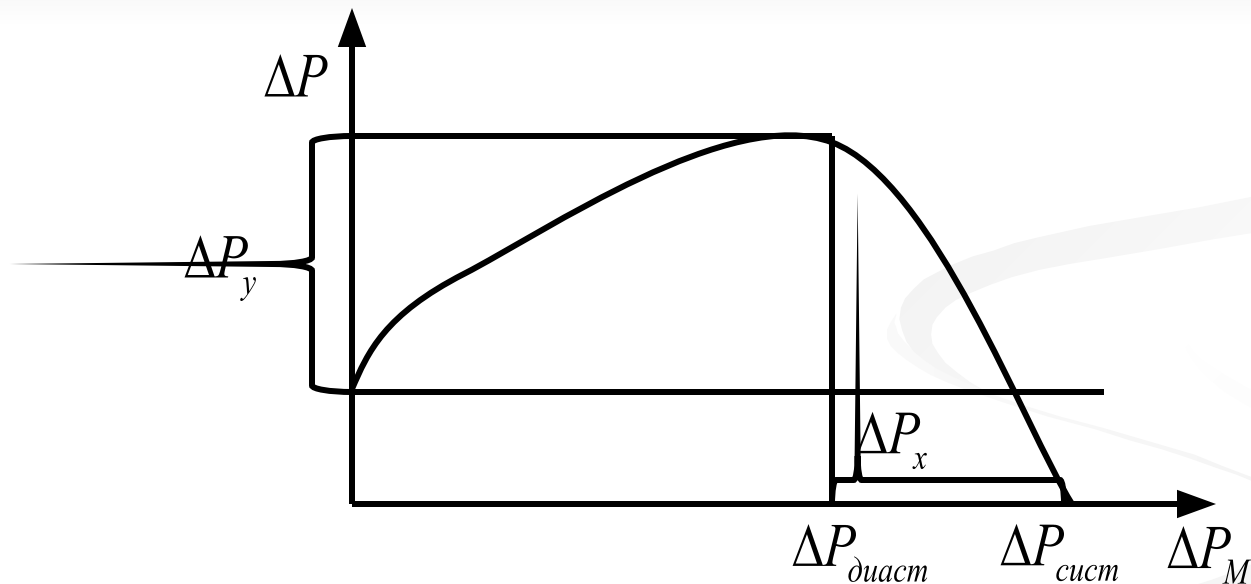


Рис. 4,53

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Полупроводниковый диод

Приборы и материалы:

- германиевый диод;
- миллиамперметр;
- микроамперметр;
- два вольтметра;
- источник ЕРС;
- переключатель;
- Соединительные проводники.

Контрольные вопросы для подготовки к лабораторной работе

- Виды проводимости в полупроводниках (электронная и дырочная, собственная и примесевая).
- Полупроводники n-и p-типа.
- Контактные явления в полупроводниках.

Дополнительная литература

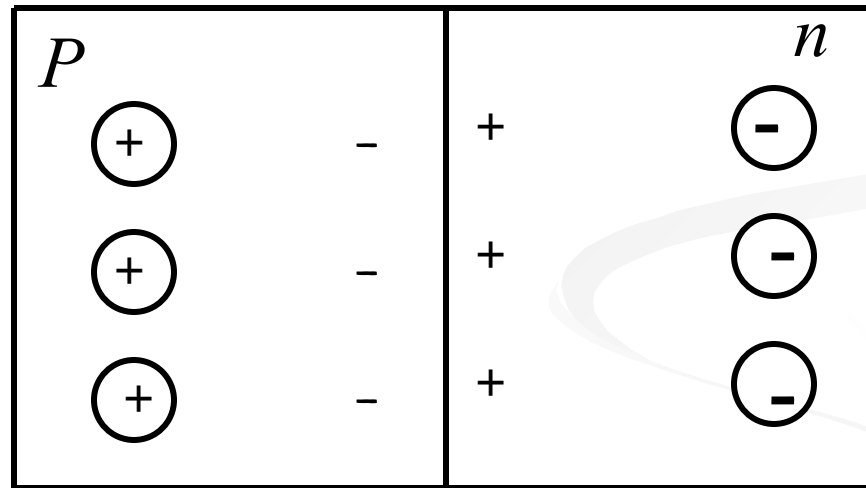
- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. - М.: Высшая школа, 1992.
- Ливинцев Н.М. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1974. - С. 279-283.
- Ливенцев Н.Н. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1978. - Ч.1, с. 242-249.

Краткие теоритические ведомости

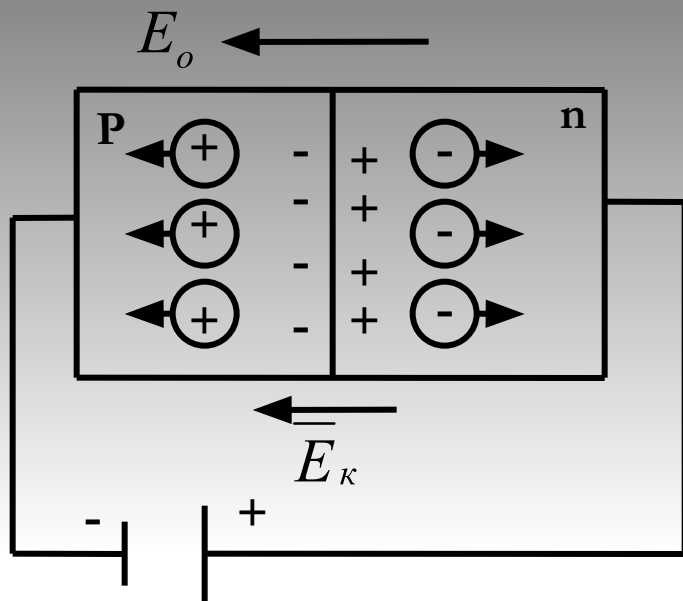
- Тонкий пласт полупроводника, в котором имеет место пространственное изменение типа проводимости от электронной до дырочной, называется электронно-дырочным или *p-n*-переходом. Электропроводность *p-n*-перехода зависит от направления тока: в одном направлении (прямому) она большая, в другом (обратному) – мала.
- Рассмотрим *p-n*-переход при отсутствии внешнего поля. Свободные электроны диффундируют из *n*-области в *p*-область, где их концентрация намного меньшая и там рекомбинируют с дырками. В результате этого в *p*-области остаются отрицательно заряженные акцепторные атомы, в *n*-области – положительно заряженные донорные атомы. Поскольку акцепторные и донорные атомы недвижимы, на границе *p-n*-переходу возникает двойной пласт пространственного электрического заряда (рис. 4.54.), который называют запирающим пластом.

Рис. 4,54

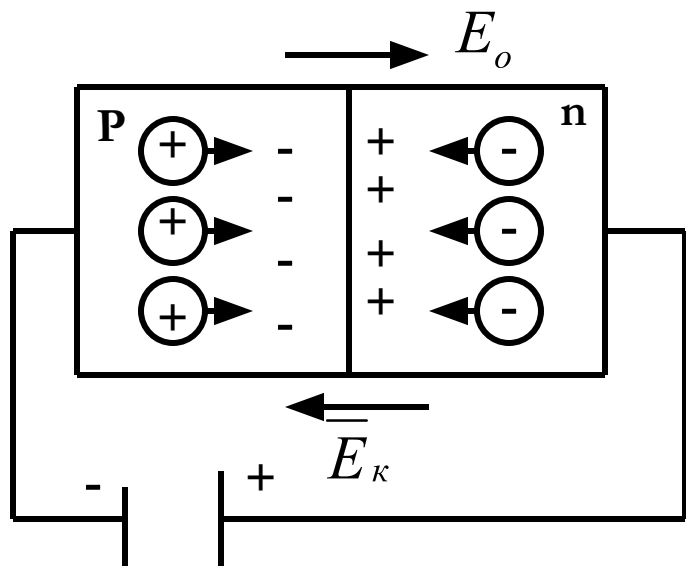
$$E_0 = 0$$



Он создает контактное электрическое поле E_k , которое противодействует дальнейшей диффузии основных носителей. Разность потенциалов, которой характеризуется контактное поле, имеет величину несколько десятков милливольт, ее называют контактной разностью потенциалов или высотой потенциального барьера. В условиях теплового равновесия и при отсутствии внешнего электрического поля ток через p - n -перехід равняется нулю: существует динамическое равновесие между током неосновных и основных носителей.



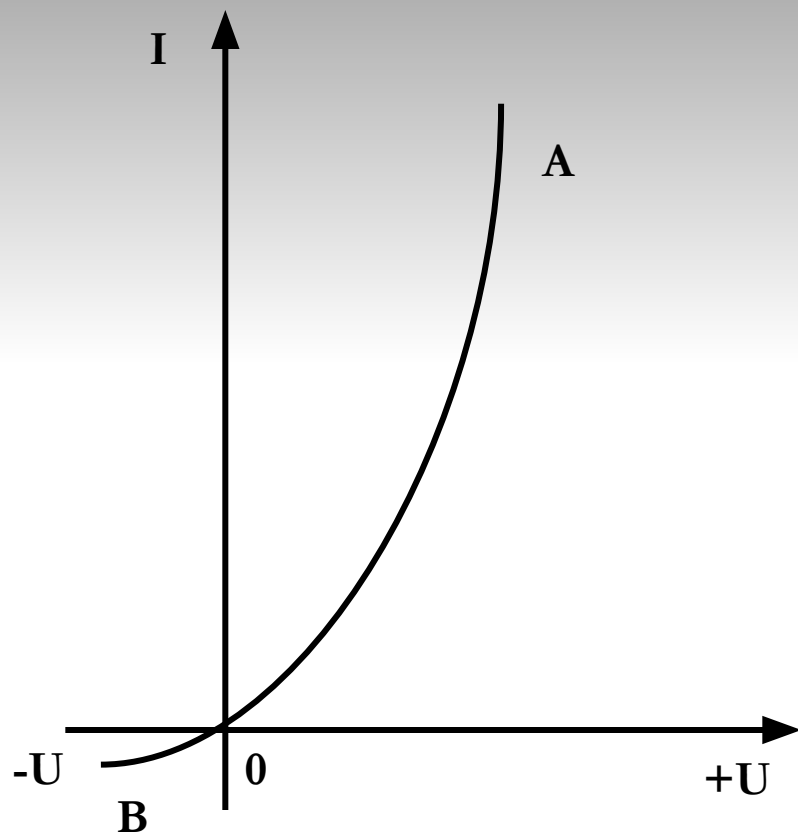
а)



б)

Внешнее электрическое поле изменяет высоту барьера и поднимает равновесие потоков основных и неосновных носителей. Если внешнее электрическое поле имеет направление, противоположное к контактному E_k , то высота потенциального барьера уменьшается (рис. 4.55.). Через контакт будет идти ток, величина которого зависит от величины внешнего поля E_o . Это направление называется прямым или пропускным.

Если направление внешнего электрического поля E_0 совпадает с направлением E_k , то модули их напряженостей прибавляются, что и приводит к увеличению контактной разности потенциалов. За этого условия ток основных носителей через контакт будет равняться нулю. Такое направление поля и соответствующий способ подключения называют обратным



На рис. 4.56 показана зависимость силы тока от напряжения. Кривой ОА соответствует прямой ток, а кривой ОВ - незначительный обратный ток, обусловленный движением неосновных носителей электрического заряда.? Как видно из графика, сила прямого тока зависит от напряжения - она увеличивается с увеличением напряжения.

Рис. 4.56

Сила обратного тока от напряжения практически не зависит. Она определяется количеством неосновных носителей, возникающих за единицу времени. А это количество неизменна при фиксированных внешних условиях (температура, освещенность и т.д.). Условное изображение напивнопровидникового диода показан на

рис. 4.57



Качество полупроводникового диода оценивается коэффициентом выпрямления k , который равняется отношению силы прямого тока к обратному, вымеренных при одинаковом напряжении

$$(|U_{пр}| = |U_{зв}|) k = I_{пр}/I_{зв}$$

При работе с диодом необходимо учитывать значение наибольшего обратного напряжения, которое может быть приложена к диоду без нарушения его нормальной работы.

Порядок выполнения работы

- Собрать электрический круг по схеме, показанной на рис. 4.58.
- Соединить с помощью проводников собранный круг с источником питания.
- Поставить повзунок реостата в крайнее положение (как изображено на схеме).
- Подать напругу на реостат (потенциометр) замкнутого ключа *K*.
- Перемещая повзунок вдоль реостата, наблюдать за показателями вольтметра и міліамперметра. Записать 5-6 показателей вольтметра и соответствующих им показателей міліамперметра. Данные занести в таблицу 1.
- Изменить полярность напряжения, которое подается на диод (вытянуть вилку с диодом из гнезда, возвратить ее на 1800 и снова включить).

- Действия п. 5 повторить.
- За снятыми показателями вольтметра и миллиамперметра построить вольт-амперную характеристику.
- Вычислить коэффициент выпрямления для максимального значения напряжения, которое используется в работе

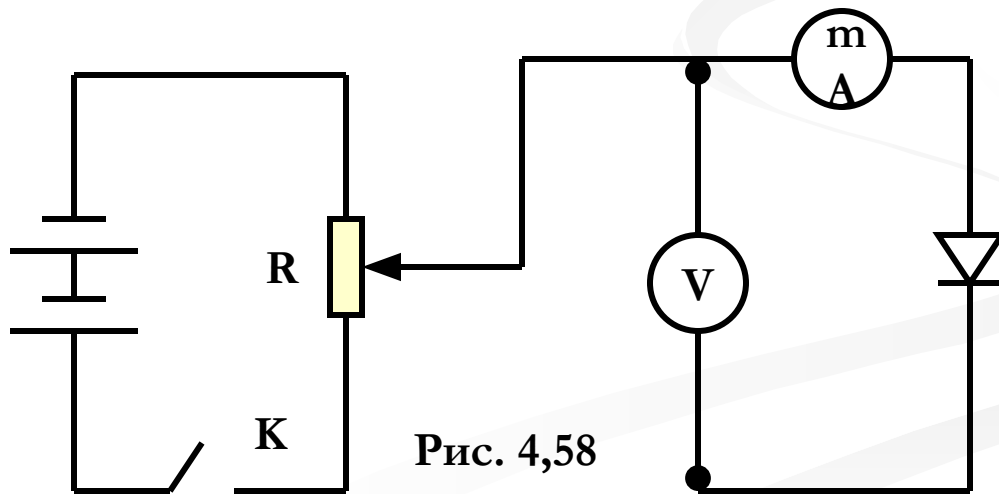


Рис. 4,58

ЛАБОРАТОРНАЯ РОБОТА

№3

Изучение работы транзистора

The background of the slide features several light gray, wavy, horizontal lines that sweep across the lower half of the page, creating a sense of motion and depth.

Цель работы:

ознакомиться с принципом работы транзистора, научиться получать входные и исходные характеристики и за ними определять основные параметры транзистора.

Приборы и оборудования:

- транзистор;
- миллиамперметр;
- микроамперметр;
- два вольтметра;
- два потенциометр;
- соединительные проводники.

Контрольные вопросы для подготовки к лабораторной работе

- Полупроводники. Температурная зависимость удельного сопротивления.
- Электронно-дырочный переход. Контактная разность потенциалов. Зависимость величины контактной разности потенциалов от направления внешнего поля.
- Усилители. Коэффициент усиления.

Дополнительная литература

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1992.
- Ливенцев Н.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1974. – С. 277-279.
- Ливенцев Н.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1978. – Ч. 1, с. 110-113; 172-178.

Краткие теоритические ведомости

- **Транзистор** – полупроводниковый прибор, который состоит из двух, около размещенных *p-n*-переходов. Т.е. - это полупроводниковый монокристал, в котором созданные три области с разными типами проводимости.
- В зависимости от выполняемых функций их называют: **эмитер** (от лат. *emittio* - выпускаю) – область, которая является источником свободных носителей электрического заряда; **коллектор** (от лат. *colligo* – собираю, соединяю) – область транзистора, в которую попадают свободные носители электрического заряда, выпущенные эмитером. Между эмитером и коллектором, котримають один и тот самый тип проводимости, находится база - довольно тонкая область, концентрация свободных носителей в какой намного меньшая, чем в эмитері и коллекторе.

Если транзистор изготовлен так, что база имеет электронную проводимость, то его называют транзистором р-п-р типа (рис. 4.59а), если же база имеет дырковую проводимость, то - п-р-п типа (рис. 4.59б).

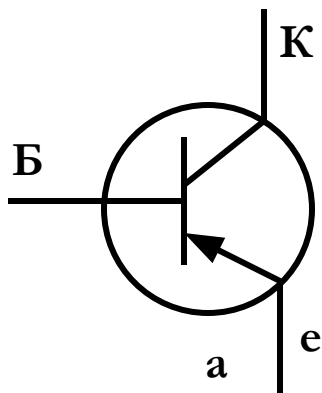
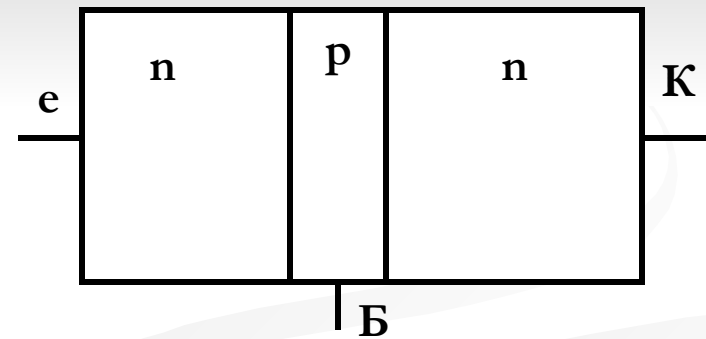
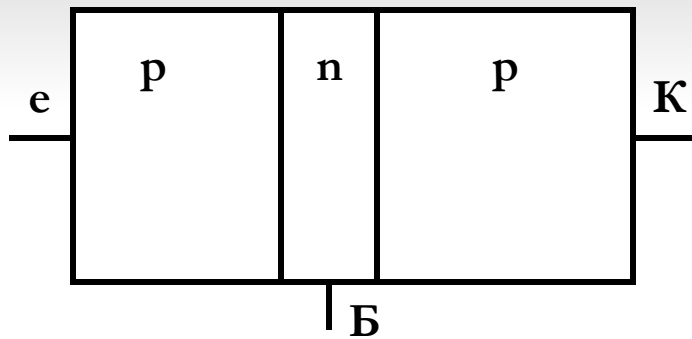
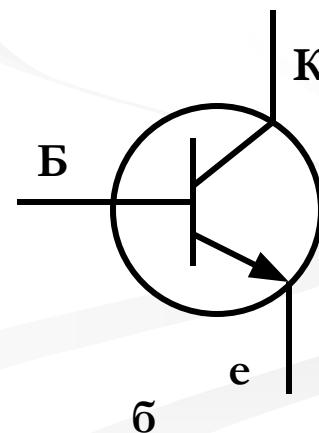
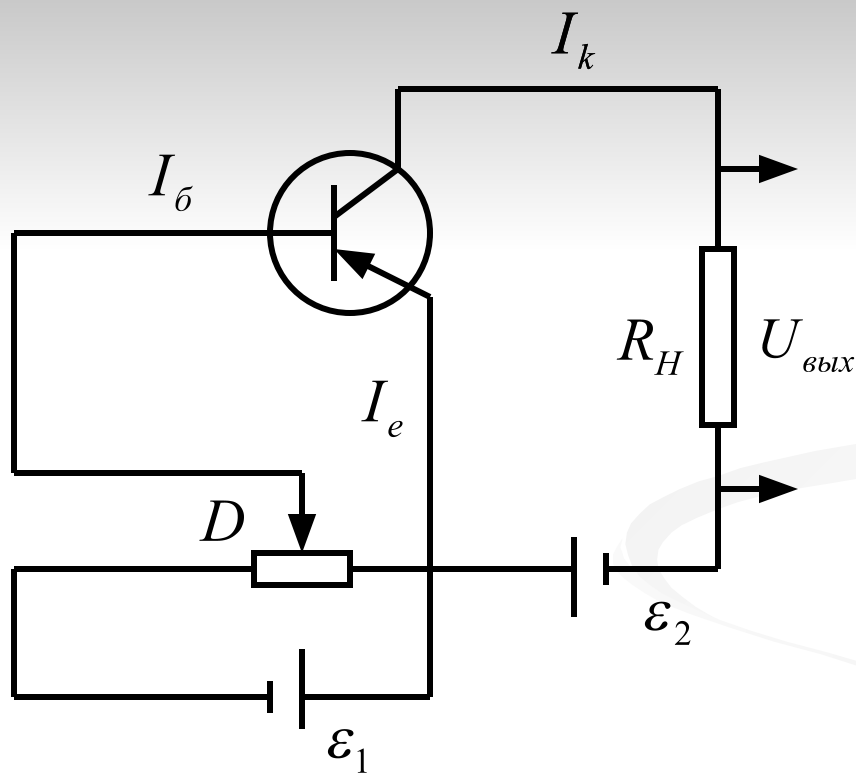


Рис. 4,59



Рассмотрим физические процессы, происходящие в р-п-р-транзисторе, включенном по схеме с общим эмитером (мал. 4.61).



Приложим к эмитерному переходу небольшое напряжение в прямом направлении, а к коллекторному переходу намного большее напряжение в обратном направлении. Такой способ включения уменьшает контактную разность потенциалов перехода эмитер – база и возникает ток, обусловленный движением дырок I_e . Свободные носители, которые при этом попадают в базу, частично рекомбинируют, но, благодаря малой толщине базы и низкой концентрации электронов в ней, большинство дырок достигает коллекторного перехода вследствие диффузии. Обратное напряжение, которое приложено к коллектору, создает сильное электрическое поле $E = U_x / d$, d – толщина p - n -переходу, она имеет довольно малые значения (типично 50-60 $\mu\text{м}$).

Это поле втягивает дырки, которые есть в базе, в коллектор, увеличивая их скорость. Таким образом, все дырки, которые достигли коллекторного перехода, будут брать участие в образовании тока коллектора I_k , их концентрацию можно выразить как :

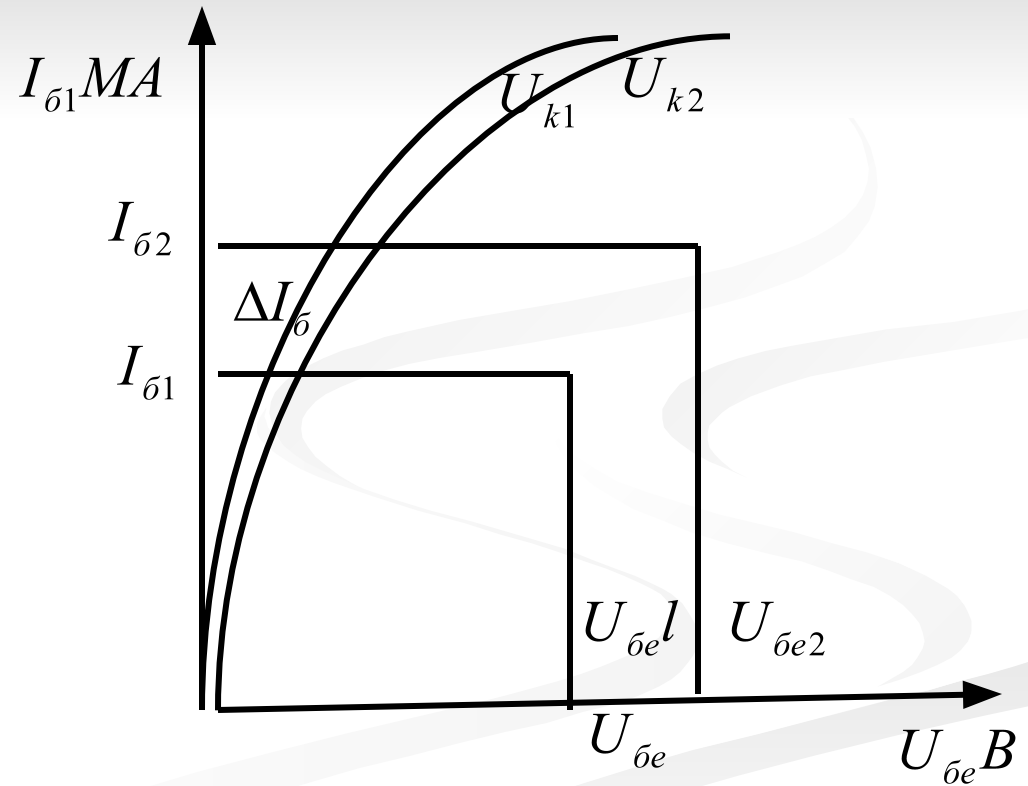
$$n = n_e - n_b + n_k$$

*где n_e - концентрация дырок, выпущенных эмитером,
 n_b - концентрация тех дырок, которые рекомбинировали в базе,
 n_k - концентрация свободных носителей собственное в коллекторе.*

Различие потенциалов между эмитером и коллектором у десятки раз большая за разность потенциалов между эмитером и базой. А это означает, что изменениями тока базы можно руководить исходным током I_k , изменения которого будут соответствующими по форме I_e , но значительно большими за величиной.

Транзисторы характеризуются совокупностью
входных и исходных статистических
характеристик:

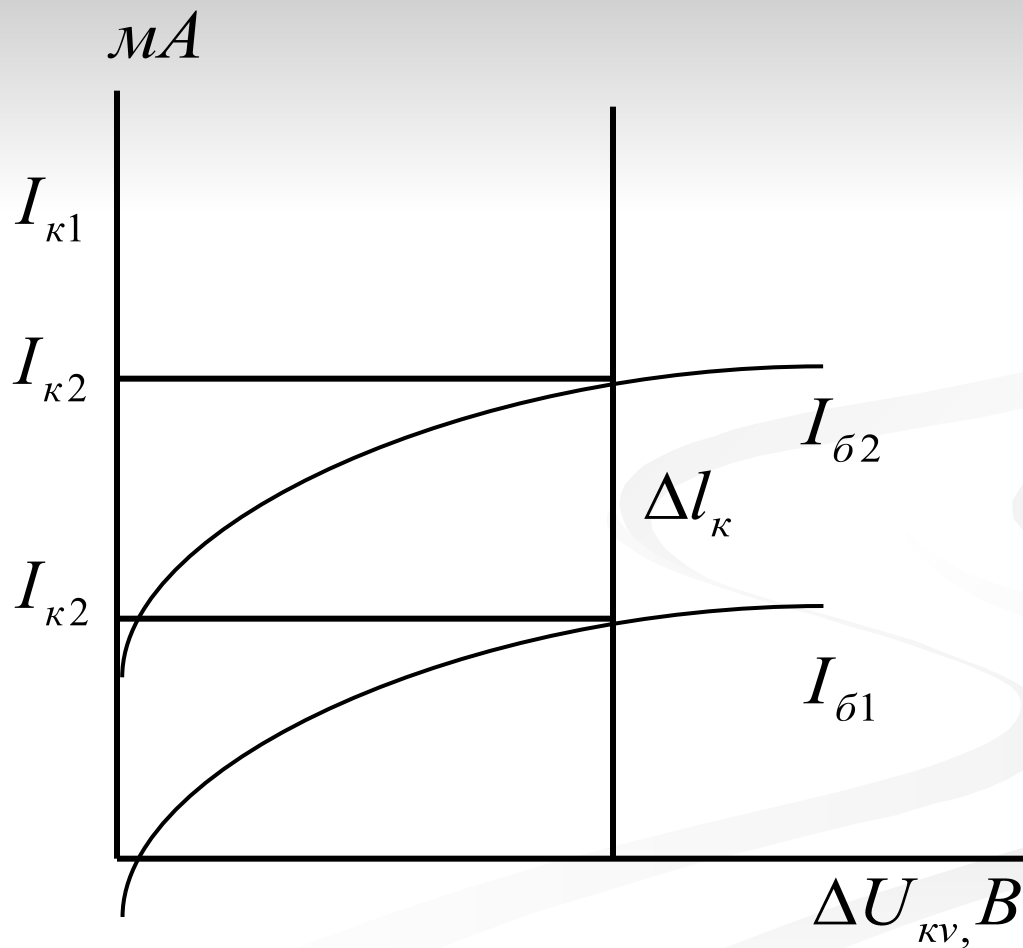
Входные
характеристики
отображают
зависимость входного
тока от входного
напряжения: $I_{\bar{b}} = f$
 $(U_{\bar{b}e})$ при $U_{k\bar{e}} = \text{const}$
(рис. 4.62).



Исходные характеристики отображают зависимость
исходного тока от исходного напряжения при постоянном

входном току (рис. 4.63):

$$I_k = f(U_{ке}) \text{ при } I_b = \text{const}$$



**За этими характеристиками
определяют основные параметры
транзистора:**

■ **Входное сопротивление**

$$R_{вх} = \Delta U_{бэ} | \Delta I_{б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const}$$

■ **Исходное сопротивление**

$$R_{вих} = \Delta U_{кэ} | \Delta I_{к} \text{ при } I_{б} = \text{const}$$

■ **Коэффициент усиления тока**

$$\beta = \Delta I_{к} | \Delta I_{б} \text{ при } U_{кэ} = \text{const}$$

Ход работы

Схема прибора приведена на передней панели прибора

Напряжение питания $6 В$. На входной участок напряжение подается на делитель из сопротивлений $R1$ и $R2$. С помощью потенциометра $R2$ можно плавно укреплять напряжение, которое подается на эмитерный переход ($U_{бе}$). Это напряжение измеряется милливольтметром, а ток $I_{б}$ – микроамперметром.

С помощью $R3$ можно плавно изменять напряжение исходного круга, которая измеряется милливольтметром, если переключатель на панели находится в положении “ $U_{ке}$ ”. Для измерения тока $I_{к}$ необходимо переключатель микрометра переместить у положение “ $I_{к}$ ”.

Задание 1. Получение входных и исходных статических характеристик транзистора и определение его параметров.

- Возвратить ручки регуляторов напряжения на базе и коллекторе в крайнее левое положение. Включить вилку питания в сеть так, чтобы “+” вилы совпадал с “+” розетки.
- Регулятором напряжения на коллекторе установить 2 В.
- Поддерживая напругу на коллекторе постоянной, изменять напругу на эмитерном переходе потенциометром $R2$ и измерить ток через переход. Значение напряжения изменять соответственно таблице 1.

| | | | | | | | |
|-------------------|---|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $U_{be},$ $мВ$ | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| $I_b,$ $мкА$ | | | | | | | |

Задание 1. Обработка результатов.

- По полученным данным построить одну входную и две исходные характеристики.
- Вычислить входное сопротивление транзистора $R = \Delta U_{be} | \Delta I_b$ при $U_k = 2 \text{ В}$.
- Вычислить исходное сопротивление транзистора $R_{вих} = \Delta U_{ke} | \Delta I_k$ при $I_b = 40 \text{ мкА}$.
- Вычислить коэффициент усиления тока $\beta = \Delta I_k | \Delta I_b$ при $\Delta U_{np} = \Delta U_{зв}$.

ЛАБОРАТОРНА Я РАБОТА №4

Электрофоретический метод
определения подвижности ионов

Цель работы:

овладеть методом электрофореза для определения подвижности ионов.

Оборудование:

- Электрофоретическая установка;
- буферный раствор-электролит для ванн ;
- электролит для определения подвижности ионов;
- Секундомер;
- Линейка.

Контрольные вопросы для подготовки к лабораторной работе

- Электрический ток и его основные характеристики.
- Удельная электропроводность. Закон Ома в дифференциальной форме.
- Электропроводность веществ. Подвижность и концентрация свободных носителей.
- Электрофорез и его использование

Дополнительная литература

Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1996.

Ливенцев Н.М. Курс физики. – М.: Высшая школа.
– С. 227-232.

Ремизов А.Н. Курс физики. – М.: Высшая школа,
1976. – Ч. 2, с. 64-67.

Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 268-290;
342-343.

Краткие теоретические сведения

В грубом (но достаточном для наших целей) приближении можно считать, что на ион в электролите действуют две силы: сила электрического поля $F = qE$, где q – заряд иона, E – напряженность электрического поля, и сила сопротивления F_m электролита. Сила F_m обусловлена действием молекул, которые окружают ион; это действие приводит к тому, что ион, подобно шарик в вязкой среде, при своем движении преодолевает сопротивление, величина которого пропорциональна скорости v :

$$F_m = -kv$$

Только в начальный момент времени ион движется ускоренно, потом $F = Fm$, а движение иона между электродами можно рассматривать как равномерный и прямолинейный, поэтому

$$qE = kv, v = qE / k$$

Припоминая определение подвижности $b = v/E$, видим, что подвижность в нашем случае равняется:

$$b = q / k$$

Установка для определения подвижности ионов (рис. 4.65) представляет собой электролитическую ванну (на схеме это сосуда 5 и 6), заполненную электролитом. В ванне находятся электроды 1 и 4. на стеклянную пластину 3 накладывается специальная бумага 2 размерами 2.5×40 см, смоченный тем самым электролитом. От источника постоянного тока к электродам прикладывается напряжение, которое измеряется вольтметром.

Незначительное количество ($0.005-0.01$ мл) электролита, подвижность ионов которого определяется, наносят на середину бумажной полоски (если электролит бесцветный, то крашения проводят после перемещения ионов в электрическом поле).

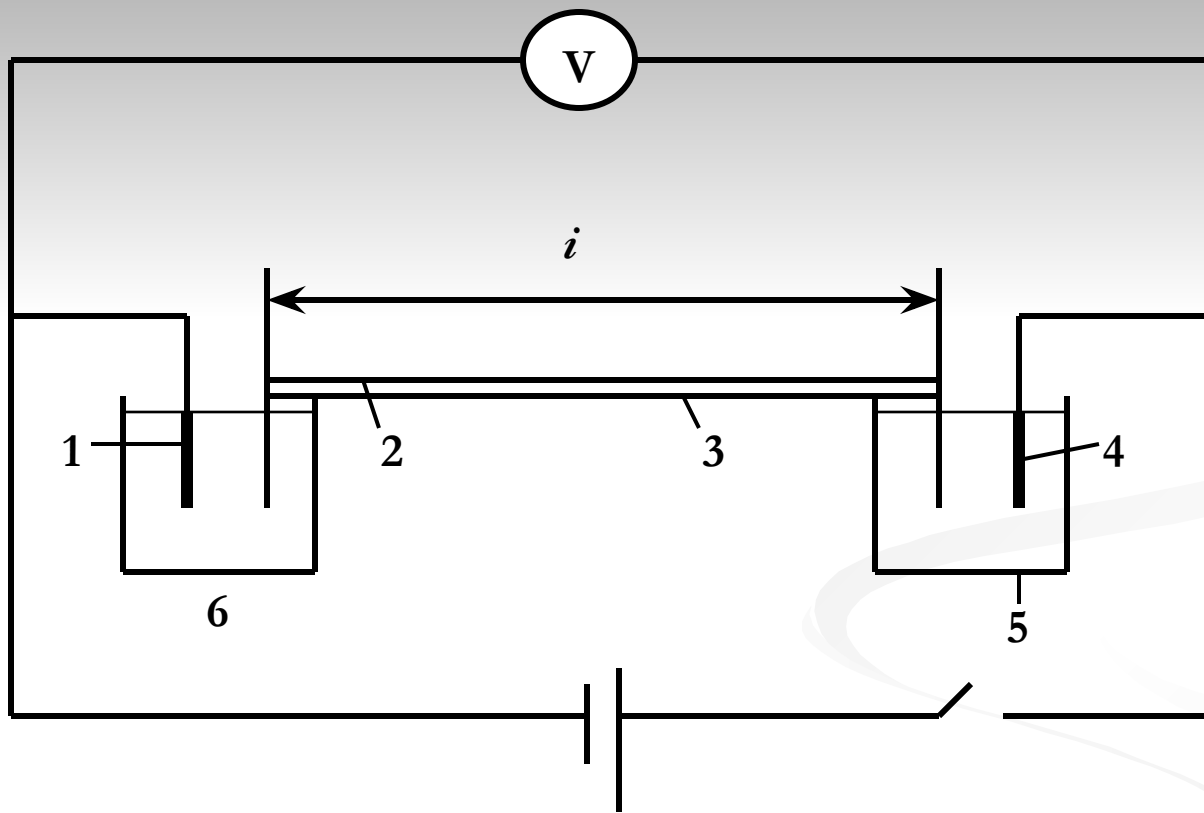


Рис. 4,65

Для того чтобы определить подвижность ионов исследуемого электролита, необходимо знать скорость этих ионов v и напряженность поля E , в котором они перемещались. При замыкании электрического круга ионы начинают перемещаться по полоске фильтровальной бумаги и за время t , который фиксируется секундомером, перемещаются на некоторое расстояние x .

Измерив соответственные позиции x_i , найдем скорость:

$$v_i = x_i / t$$

Если известно, $E = \text{grad } U$, или в случае однородно поля

$$E = U / l$$

где U – спад напряжения, который измеряется вольтметром, а l – отрезок, на котором происходит спад напряжения, в данном случае – это длина фильтровальной бумаги, которая лежит на стеклянной подкладке 3.

Результаты исследований подставим в формулу:

$$b = v / E = xl / Ut$$

Чтобы предотвратить высыхание фильтровальной бумаги на протяжении опыта, устройство размещают под колпаком, где создается насыщенная пара.

Подвижность ионов - величина, характерная для данного типа ионов. Поэтому за подвижностью можно определить вид иона или, если есть смесь ионов, разделить их в электрическом поле.

В медицине электрофорез используют для анализа белкового состава сыворотки крови. Фракции белков (альбумины, (-, (-, (-глобулины) имеют разные подвижности, поэтому могут быть разделенные электрическим полем. После получения электрофореграмм их подсушивают и красят специальными красителями. Если использовать фотометрические методы для исследования электрофореграммы, то можно найти количественные соотношения между этими фракциями. Электрофорез используют также для анализа белкового состава желудочного сока, разделение нуклеиновых кислот, аминокислот и других биологически важных веществ.

Ход работы

- Выучить строение электрофоретичної установки ПВЕФ-1.
- Регулировочными винтами установить камеру горизонтально.
- Залить буферным раствором.
- Подготовить полоски хромографической бумаги (нарезать вдоль волокон полосы 25*400 мм, смочить буферным раствором и закрепить так, чтобы концы полос были опущены в буфер). ***Ванную плотно закрыть!***

5. Через отверстия в крышке нанести пипеткой исследуемый препарат.

Таблиця.

| № | x , мм | Δx , мм | Δx^2 | l , мм | Δl , мм | Δl^2 |
|---------|----------|-----------------------|--------------|-----------------------|-----------------|--------------|
| 1 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| середні | | $\Sigma \Delta x^2 =$ | | $\Sigma \Delta l^2 =$ | | |

6. Подключить ванную к блоку питания (придерживаться полярности), включить в сеть. Зафиксировать время, за которое состоится заметное смещение окрашенной полоски вдоль бумаги. Измерить их данные и занести в таблицу.

Обработка результатов вычислений

- Рассчитайте подвижность.
- Определите погрешность измерений.

Контрольные вопросы

- Что такое электрическое поле?
- Назовите свойства электрического тока.
- Электрический ток и его основные характеристики.
- Удельная электропроводность. Закон Ома.
- Для чего нужно изучение электронной медицинской аппаратуры?
- Как классифицируется электронная медицинская аппаратура?





Майкл Фарадей

(22 сентября 1791 — 25 августа 1867) — английский физик, химик и физико-химик, основоположник учения об электромагнитном поле, член Лондонского королевского общества



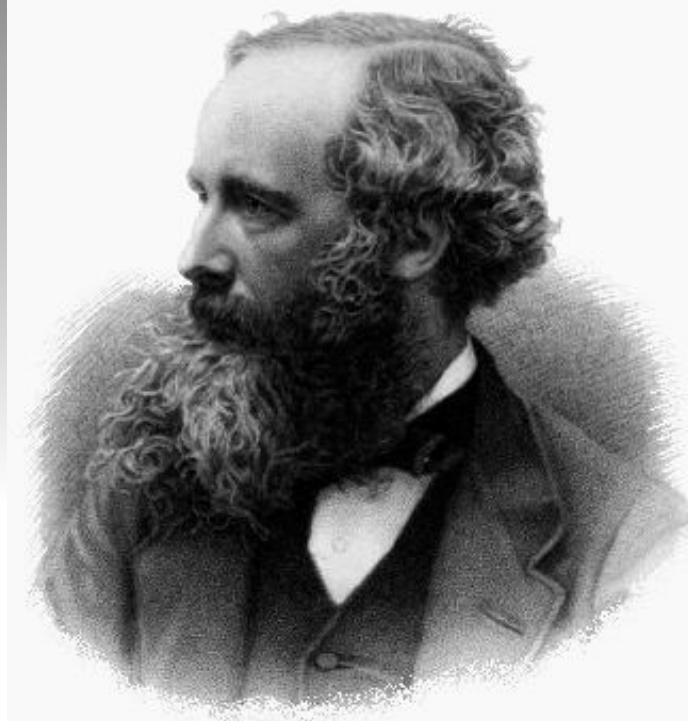


Пьер Кюри́

15 мая 1859 -19 апреля 1906

французский учёный-физик, один из первых исследователей радиоактивности, член Французской АН, лауреат Нобелевской премии по физике за 1903 год.





Максвелл, Джеймс Клерк
13 июня 1831 — 5 ноября 1879
британский физик.





Никола́й Петро́вич Ва́гнер

18 июля 1829,— 21 марта 1907
русский зоолог и писатель.





Дебай Петер Йозеф Вильгельм

24 марта 1884 — 2 ноября 1966

физик, лауреат Нобелевской премии по химии за
1936 год.





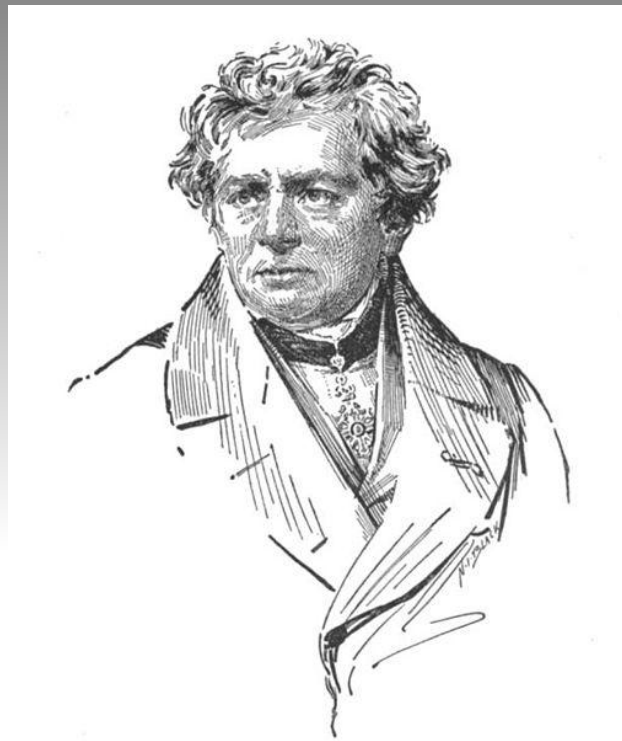
Поль Ланжевен

23 января 1872— 19 декабря 1946

французский физик и общественный деятель.

Создатель теории диамагнетизма и
парамагнетизма.





Георг Симон Ом

16 марта 1787— 7 июля 1854

знаменитый немецкий физик





Эмилий Христианович Ленц
12 февраля 1804— 10 февраля 1865
знаменитый русский физик.





Джеймс Прескотт Джоуль

24 декабря 1818 — 11 октября 1889

английский физик, пивовар.





Жан-Батист Био́

21 апреля 1774, Париж — 3 февраля 1862,

знаменитый французский учёный, физик,
геодезист и астроном, член Парижской
Академии наук.





Феликс Савар

1791—1841

Был сперва врачом в Страсбурге, затем преподавателем физики в одном частном учебном заведении в Париже и, наконец, консерватором физического кабинета в Коллеж де Франс.





Пьер-Симон Лаплас

23 марта 1749 — 5 марта 1827

французский математик и астроном; известен работами в области небесной механики, дифференциальных уравнений, один из создателей теории вероятностей. Заслуги Лапласа в области чистой и прикладной математики и особенно в астрономии громадны: он усовершенствовал почти все отделы этих наук.





Андре-Мари Ампер

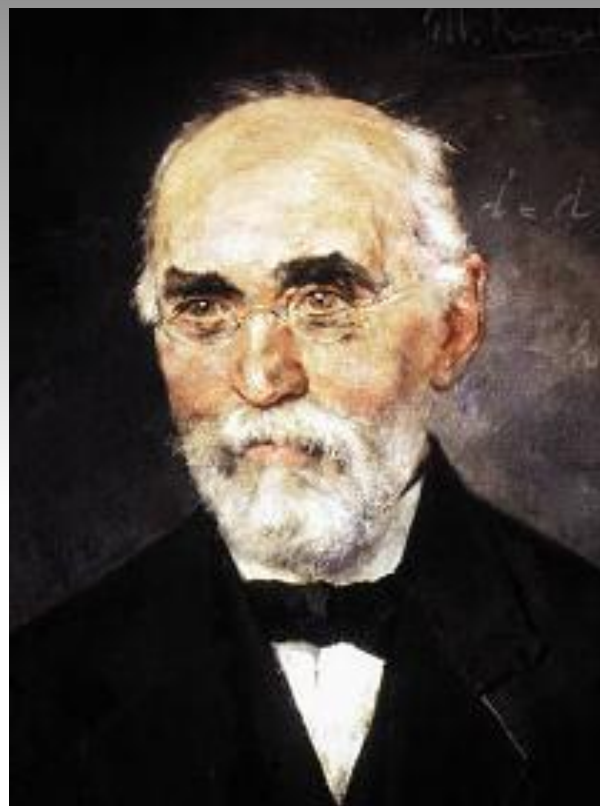
22 января 1775 — 10 июня 1836

Знаменитый французский физик, математик и естествоиспытатель, член Парижской Академии наук.

Член многих академий наук, в частности

Петербургской Академии наук





Хендрик Антон Лоренц

8 июля 1853— 4 февраля 1928

Выдающийся голландский физик.

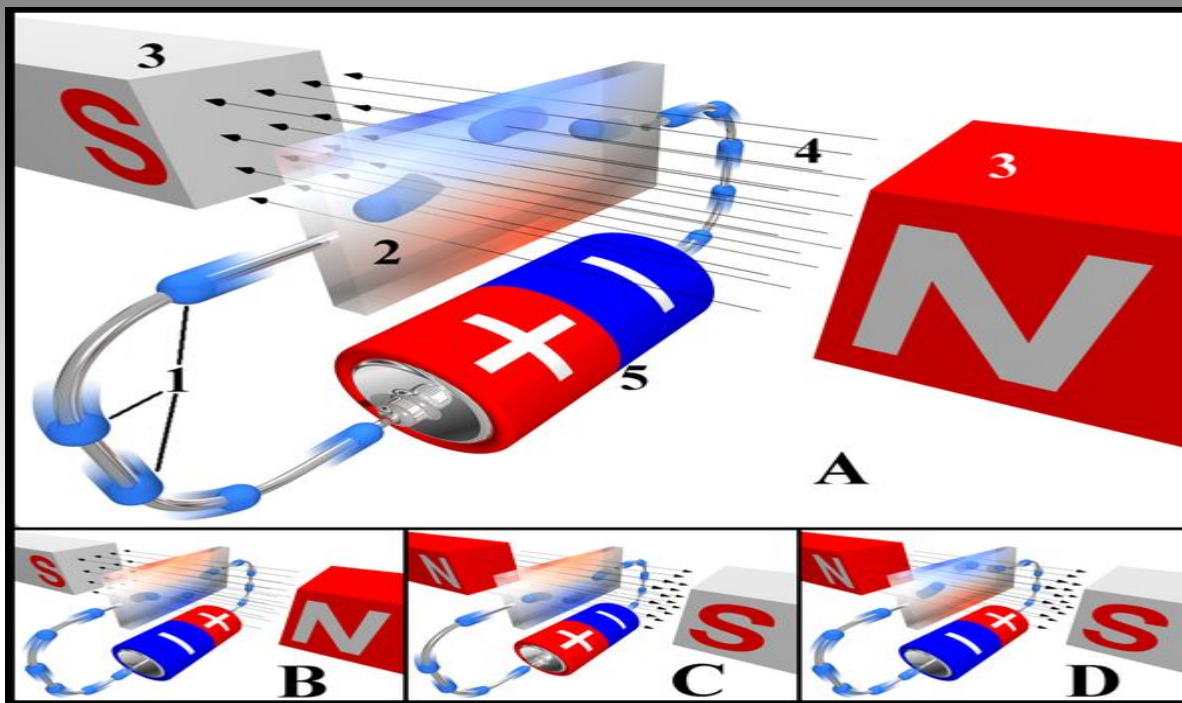




Нильс Хё́нрик Дави́д Бор
7 октября 1885 — 18 ноября 1962

Датский физик-теоретик и общественный деятель,
один из создателей современной физики

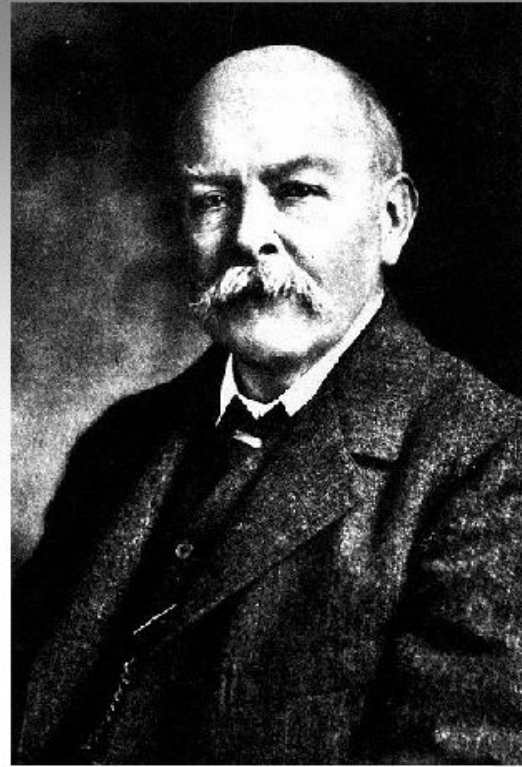




Эффе́кт Хо́лла

— явление возникновения поперечной разности потенциалов (называемой также холловским напряжением) при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле. Открыт Э. Холлом в 1879 году в тонких пластинках золота.





Джон Генри Пойнтинг

9 сентября 1852 - 30 марта 1914

известный британский физик. Был
профессором физики в Бирменгемском
университете

