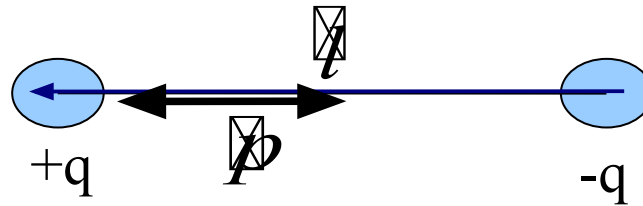


**Физические основы
исследования
электрических полей в
организме.
Электрокардиография**

Биофизические принципы исследования
электрических полей в организме

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДИПОЛЬ

- система двух точечных зарядов, равных по величине и противоположных по знаку и находящихся на некотором расстоянии друг от друга:



Основные характеристики диполя:

1. Плечо диполя - вектор по величине равный расстоянию между зарядами и направленный от отрицательного заряда к положительному.

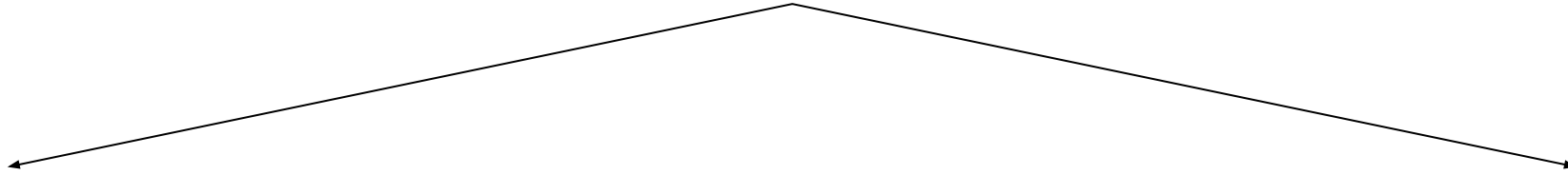
$$p = q \cdot l$$

2. Электрический дипольный момент диполя центру диполя и направлен от «-q» к «+q» .

приложен к

$$[p] = 1 \text{ Кл} \cdot \text{м}$$

Характеристики электрического поля диполя



Напряженность (силовая характеристика)

Потенциал и разность потенциалов (энергетические характеристики)

Напряженность электрического поля диполя

Напряженность электрического поля определяется как сила, действующая со стороны поля на единичный пробный заряд

:

$$E = \frac{F}{q_{np}} \quad [E] = 1 \frac{Н}{Кл} = 1 \frac{В}{м}$$

Пробным зарядом называется точечный положительный заряд, электрическое поле которого не искажает исследуемое электрическое поле.

По закону Кулона:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r^2}$$

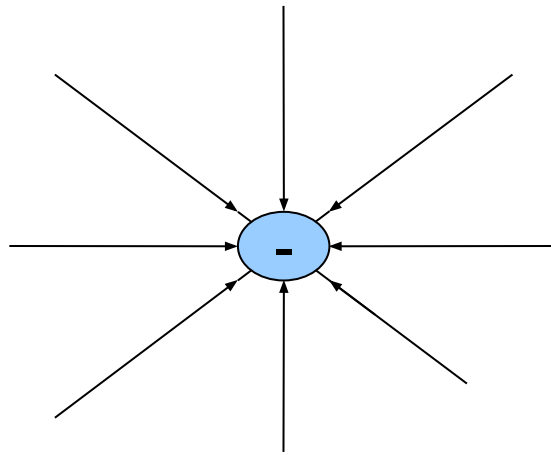
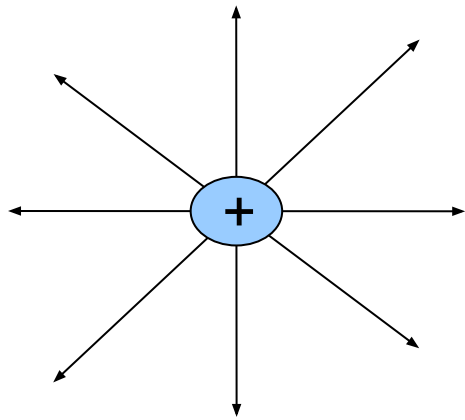
$q_1 = q$ - одиночный заряд, создающий поле, а

$q_2 = q_{np}$ - заряд, которым исследуем поле заряда q , то:

$$F = \frac{q \cdot q_{np}}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2} \quad E = \frac{q}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2}$$

Графически электрическое поле изображается с помощью **СИЛОВЫХ ЛИНИЙ** – линий, касательные к которым совпадают с вектором напряженности.

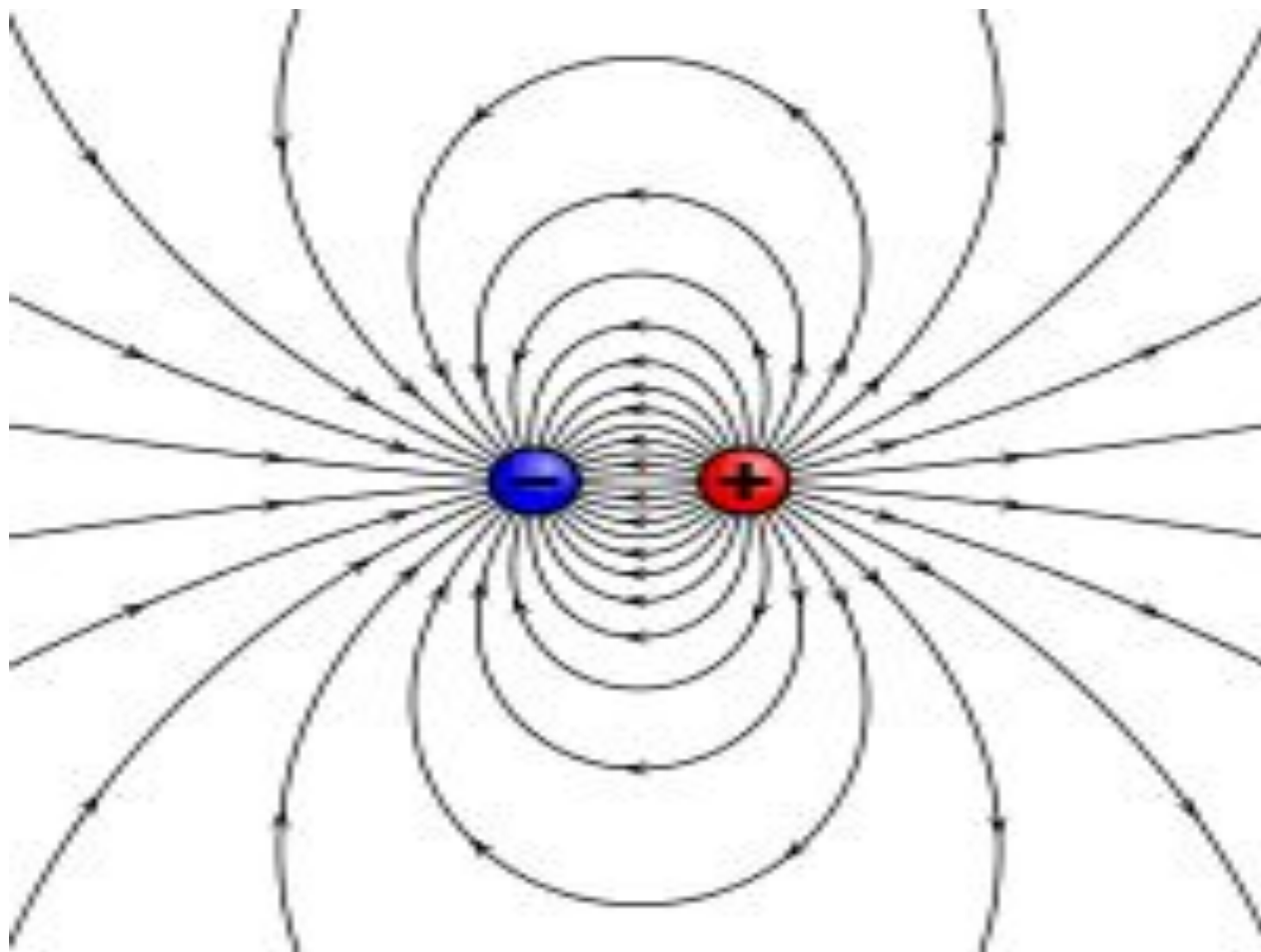
Электрическое поле одиночного заряда изображается так:



Напряженность в каждой точке поля, образованного двумя зарядами диполя, определяется по принципу суперпозиции, который записывается как

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

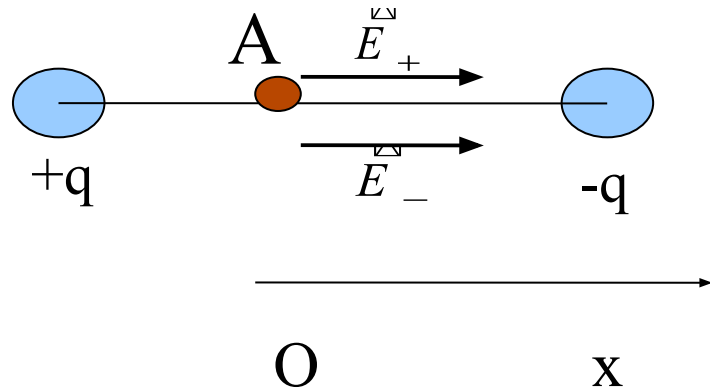
Поле диполя изображается:



В скалярном виде напряженность находится так:

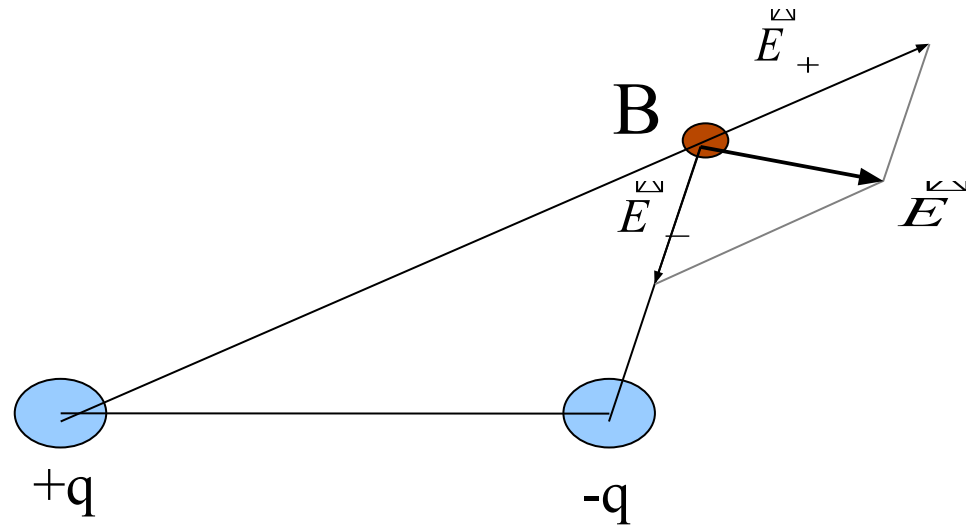
В точку, в которой рассчитывается напряженность поля вносится пробный заряд и определяется направления векторов E_+ и E_- , затем определяют проекцию этих векторов на ось:

а) на оси диполя в точке А:



$$\text{Ох: } E = E_1 + E_2$$

б) в произвольной точке В, на лежащей на оси диполя:



$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha}$$

Потенциал. Разность потенциалов

Потенциал электрического поля в любой его точке определяется как

$$\varphi = \frac{W_{\text{пот}}}{q} \quad [\varphi] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = 1 \text{ В}$$

и равен потенциальной энергии единичного заряда, внесенного в данную точку поля.

Если заряд q переместить в поле из точки 1 в точку 2, то между этими точками возникает разность потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = -\frac{\Delta W_{\text{пот}}}{q} = \frac{A_{1,2}}{q}$$

Разность потенциалов - это работа электрического поля по перемещению заряда из одной точки в другую.

$$\varphi_{\infty} = 0$$

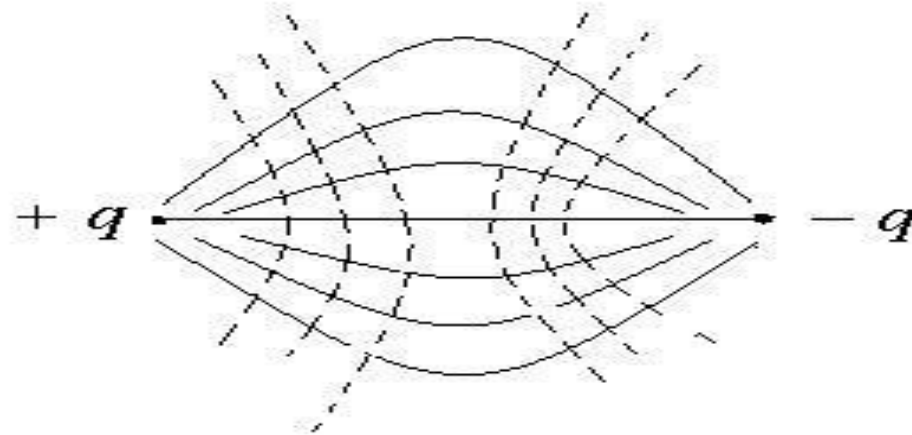
и потенциал - это работа поля по перемещению заряда из данной точки в бесконечность:

$$\varphi = -\frac{\Delta W}{q} = \frac{A_{1,\infty}}{q}$$

Потенциал поля, созданного одиночным зарядом рассчитывается как

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

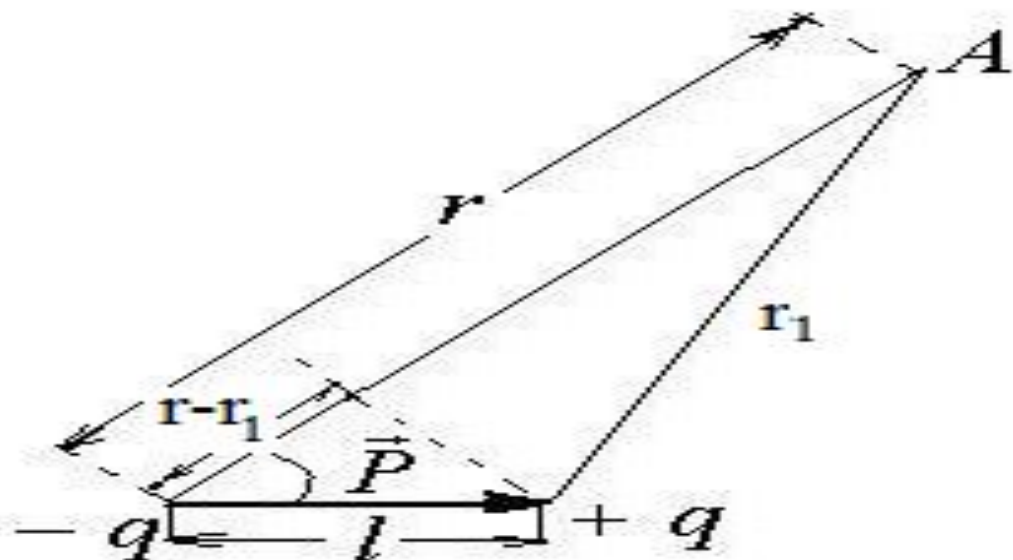
Поверхности, в каждой точке которой потенциалы поля одинаковы, называются эквипотенциальными поверхностями. В поле диполя потенциальные поверхности распределены следующим образом:



Потенциал поля, образованного несколькими зарядами, рассчитывается по принципу суперпозиции:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

а) Расчет потенциала в т. А, расположенной не на оси диполя:



$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_+ + \varphi_- = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r_1} = \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{r - r_1}{r_1 r} \end{aligned}$$

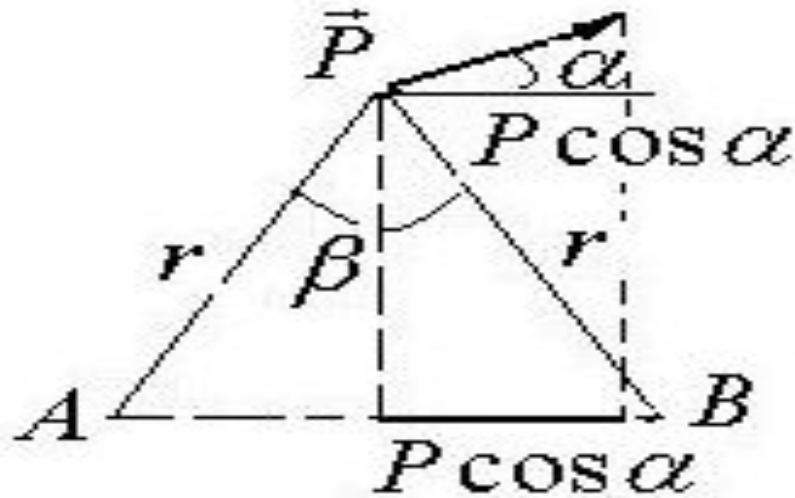
$$r - r_1 = l \cos \alpha$$

$$l \ll r_1, \text{ то}$$

$$r \approx r_1, \Rightarrow r_1 \cdot r = r^2$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{l \cos \alpha}{r^2} = \frac{P \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

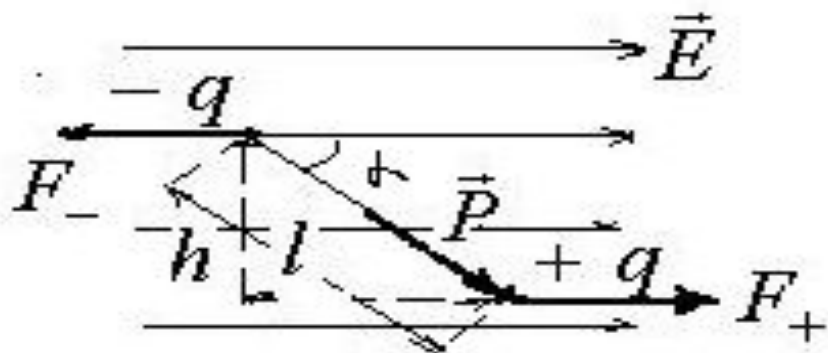
б) Разность потенциалов между точками А и В, равноотстоящими от диполя на расстоянии r ($l \ll r$)



$$\varphi_A - \varphi_B = \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{4 \pi \epsilon \epsilon_0 r^2} P \cos \alpha$$

Диполь в электрическом поле

а) В однородном поле, напряженность в любой точке const



На каждый заряд диполя действует сила, соответственно:

$$\vec{F}_+ = q \vec{E} \quad \vec{F}_- = q \vec{E}$$

Модули этих сил равны, но направлены эти силы в противоположные стороны, и, следовательно, создают вращающий момент пары сил

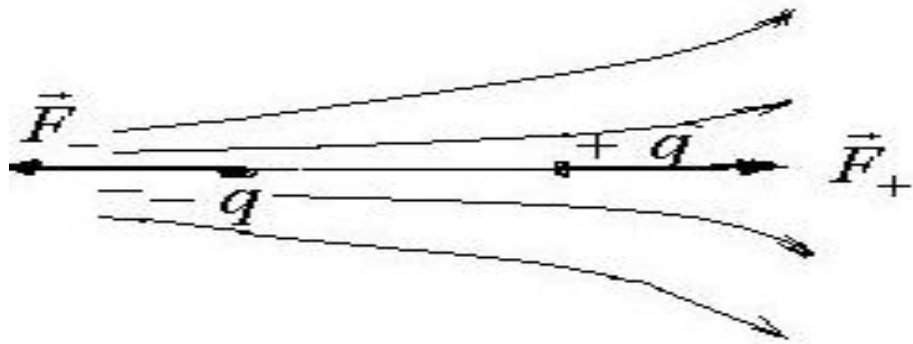
$$M = F h = q E l \sin \alpha = P E \sin \alpha$$

Или в векторной форме:

$$\vec{M} = \vec{P} \times \vec{E}$$

Т.о. в однородном электрическом поле на диполь действует момент сил, который стремится установить диполь вдоль силовых линий поля.

б) В неоднородном поле, напряженность в каждой точке не является const.



На заряды действуют не равные силы:

$$F_+ = q E_+; \quad F_- = q E_-$$

E_+ - напряженность поля в окрестности положительного заряда,
 E_- - напряженность поля в окрестности отрицательного заряда. По густоте силовых линий видим, что

$$F = F_- - F_+ = q E_- - q E_+ = q (E_- - E_+)$$

$\frac{E_- - E_+}{l} = \frac{dE}{dx}$ - мера неоднородности поля вдоль соответствующего направления поля, градиент напряженности.

$$E_- - E_+ = \frac{dE}{dx} l \quad \text{следовательно,}$$

$$F = q l \frac{dE}{dx} = P \frac{dE}{dx}$$

- под действием силы диполь втягивается в область большей напряженности поля.

Если диполь находится не на силовой линии, то он и вращается, и втягивается в область больших значений напряженности поля.

Электрокардиография

Метод регистрации разности потенциалов называют электрографией.

Электрографию классифицируют на

ЭКГ – регистрация на поверхности тела биопотенциалов, возникающих в результате возбуждения сердечной мышцы;

ЭЭГ – электроэнцефалография- регистрируется активность мозга;

ЭМГ- регистрация активности мышц.

- физиолог, основоположник теории ЭКГ

- сконструировал первый прибор для регистрации электрической активности сердца (1903 г.)

- впервые использовал метод ЭКГ для диагностики (1906 г.)

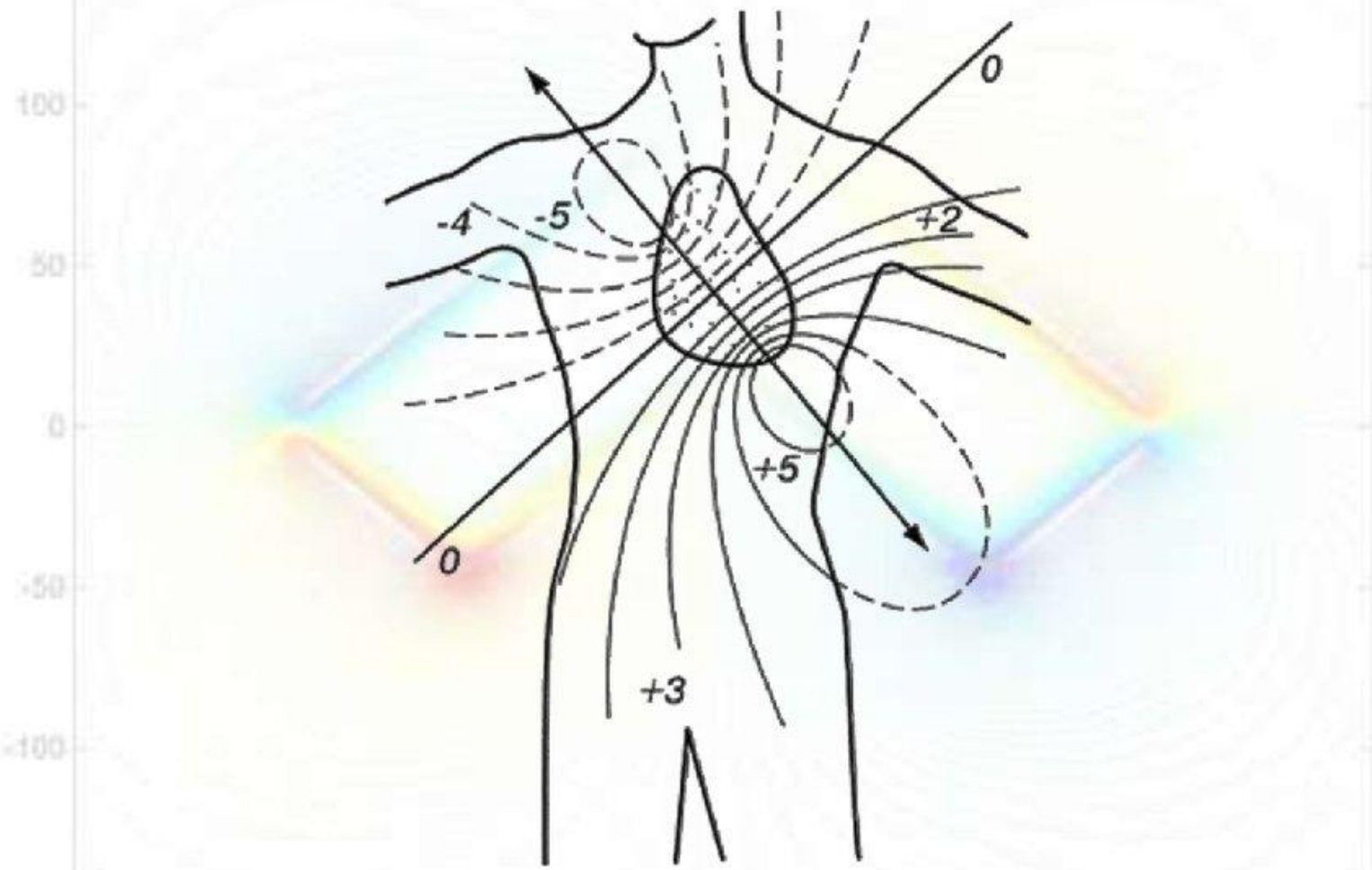
- Нобелевская премия по физиологии и медицине (1924 г.)



Виллем Эйнтховен
(нидерл. 1860 - 1927)

За цикл работы сердца возбуждение распространяется по различным отделам его нервно-мышечного аппарата с определенной последовательностью, мгновенные значения результирующей разности потенциалов изменяется как по величине, и по направлению. Наибольшим значением является разность потенциалов между основанием и верхушкой сердца в направлении электрической оси MN .

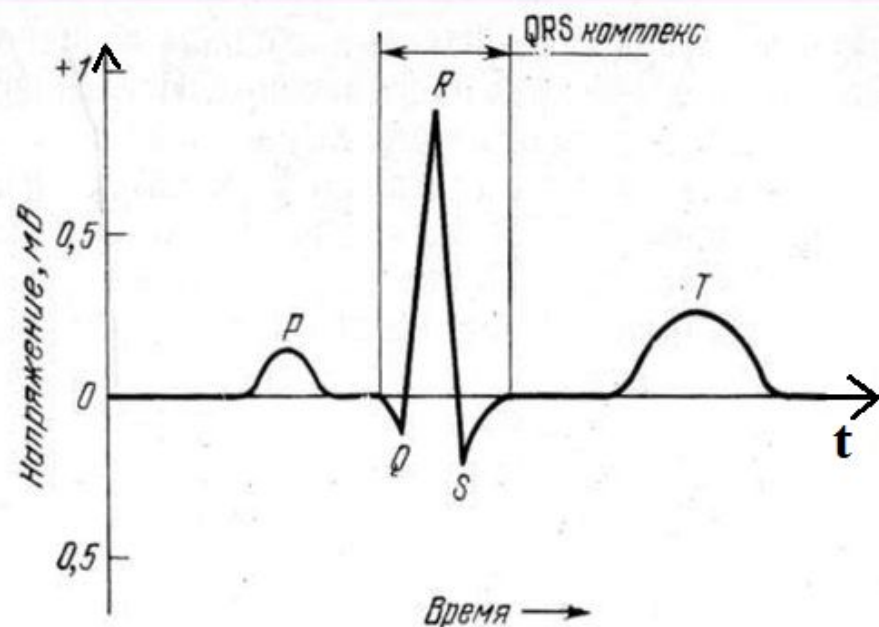
Поле токового диполя сердца



Распределение **силовых (сплошные)** и **эквипотенциальных (прерывистые)** линий на поверхности тела

Кривая зависимости разности потенциалов от времени за время одного кардиоцикла называется *электрокардиограммой*.

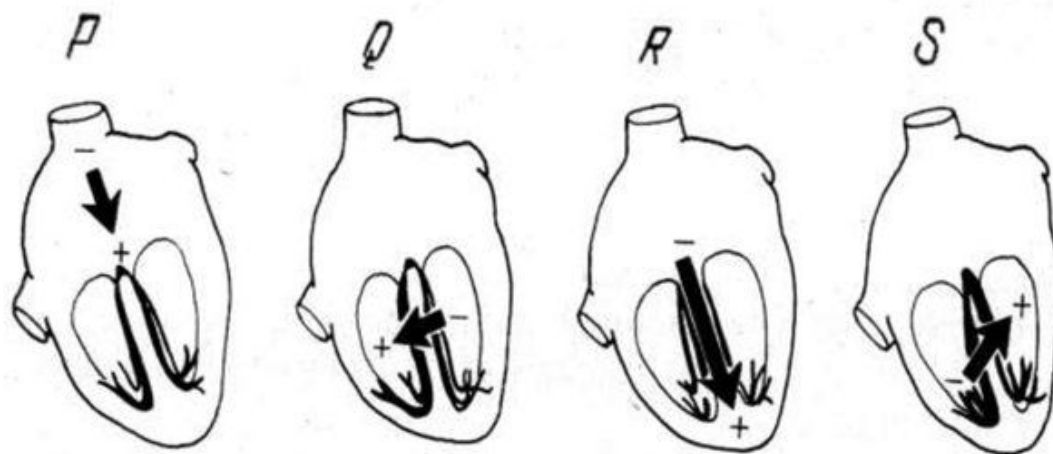
Генез зубцов ЭКГ



P –
деполяризация
предсердия;

QRS –
деполяризация
желудочков;

T –
реполяризация
желудочков;



Теория Эйнтховена:

1. сердце моделируется как источник разности потенциалов в виде токового диполя (эквивалентный электрический генератор);
2. диполь находится в однородной электропроводящей среде;
3. дипольный момент сердца образуется суперпозицией дипольных моментов элементарных токовых диполей, которые во множестве имеются в возбужденном миокарде сердца

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_{T_i} = \sum_{i=1}^n I_i \vec{l}_i$$

и называется интегральным электрическим вектором сердца (ИЭВС) (интегральным дипольным моментом сердца)

4. дипольный момент сердца располагается во фронтальной плоскости тела;

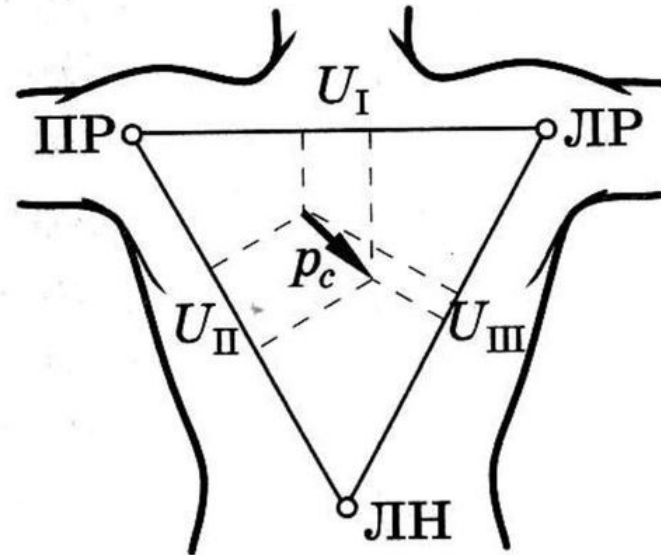
5. точку приложения ИЭВС можно считать постоянной – это нервный узел межпредсердной перегородки.

6. ИЭВС за время одного кардиоцикла изменяется как по величине, так и по направлению.

7. Связь между ИЭВС и разностью потенциалов определяется:

$$\varphi_A - \varphi_B = \frac{1}{4\pi\gamma} \cdot \frac{P \cos \alpha}{r^2}$$

Метод отведений Эйнтховена



$$\Delta\varphi_I \sim P_1$$

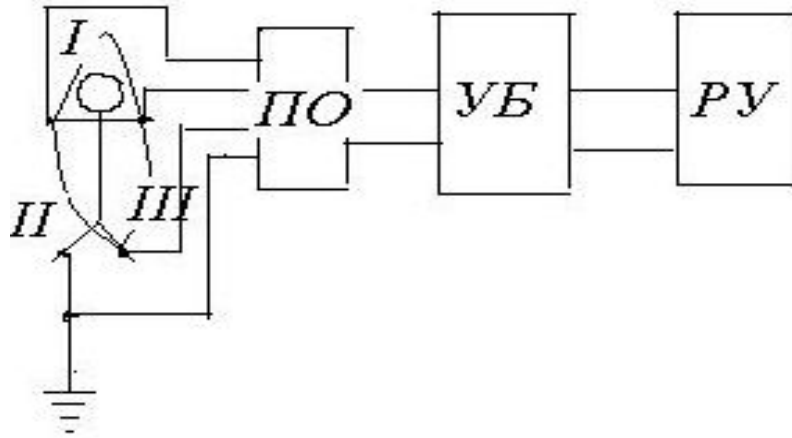
$$\Delta\varphi_{II} \sim P_2$$

$$\Delta\varphi_{III} \sim P_3$$

Две точки наложения электродов называются стандартными отведениями.

Блок-схема электрокардиографа

Электрокардиограмма регистрируется на приборе, называемом электрокардиографом. Он содержит следующие основные блоки:



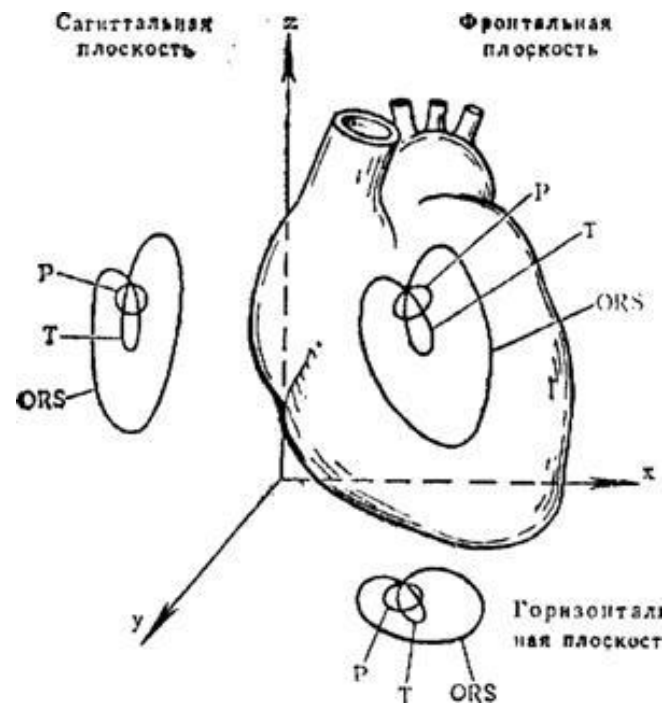
- ПР — красный электрод;
- ЛР — желтый электрод;
- ЛН — зеленый электрод;
- ПН — черный электрод.

ВЕКТОРЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЯ (ВЭКГ)

Электрокардиограмма не дает представления о пространственной ориентации вектора \vec{p}_c . Однако для диагностических целей такая информация важна. В связи с этим применяют метод пространственного исследования электрического поля сердца, называемый векторкардиографией.

предложена в 1913 голландским учёным В. Эйнтховеном.

Концы векторов ИЭВС за цикл работы сердца образуют сложную замкнутую пространственную кривую. Если около сердца расположить прямоугольную систему координат, состоящую из фронтальной XZ, сагиттальной ZY и горизонтальной YX плоскостей, то проекция этой пространственной кривой на каждую из координатных плоскостей будет иметь форму тройной петли, витки которой обозначаются P, QRS и T.



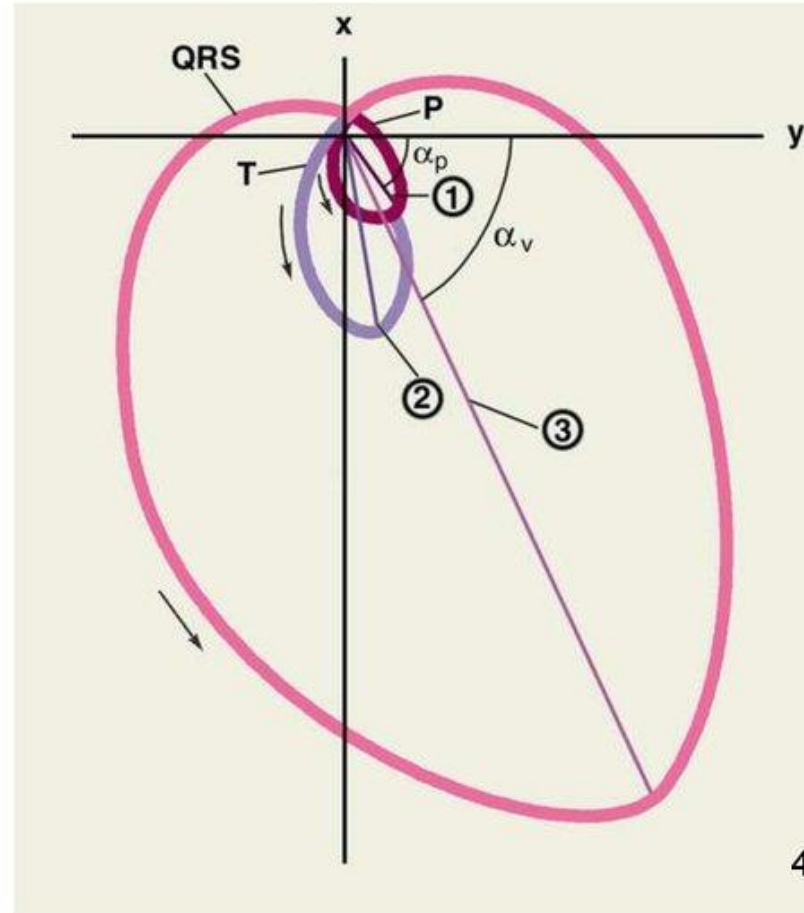
Вектор кардиограмма - геометрическое место точек, соответствующих концу вектора ИЭВС, положение которого изменяется за время сердечного цикла.

Векторкардиограмма

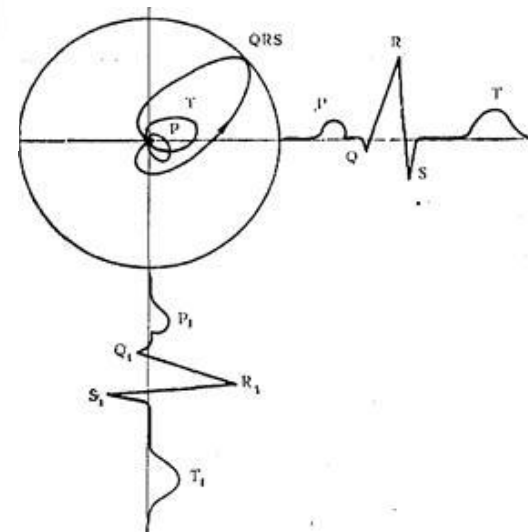
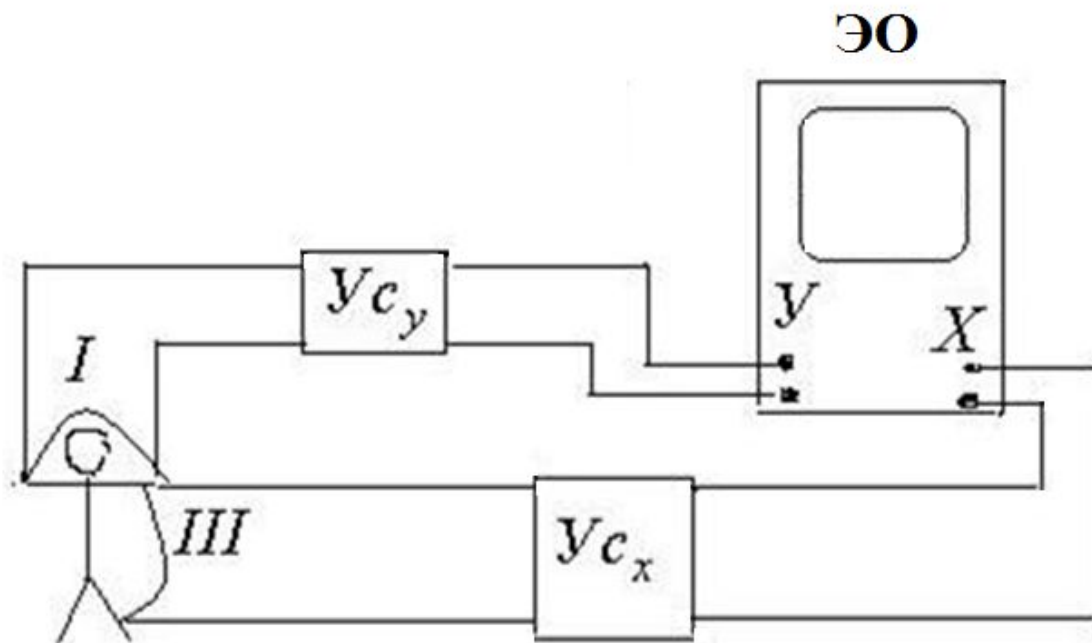
Петли векторкардиограммы в системе прямоугольных координат (оси x , y), образуемые ходом возбуждения по предсердиям (петля **P-коричневого цвета**) и желудочкам сердца (петля деполяризации желудочков **QRS- красного цвета**, петля реполяризации **T-фиолетового цвета**):

1, 2 и 3 — максимальные векторы петель P, T и QRS;

α_p и α_v — углы отклонения максимальных векторов от координатной оси y .



Блок – схема регистрации ВЭКГ



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!