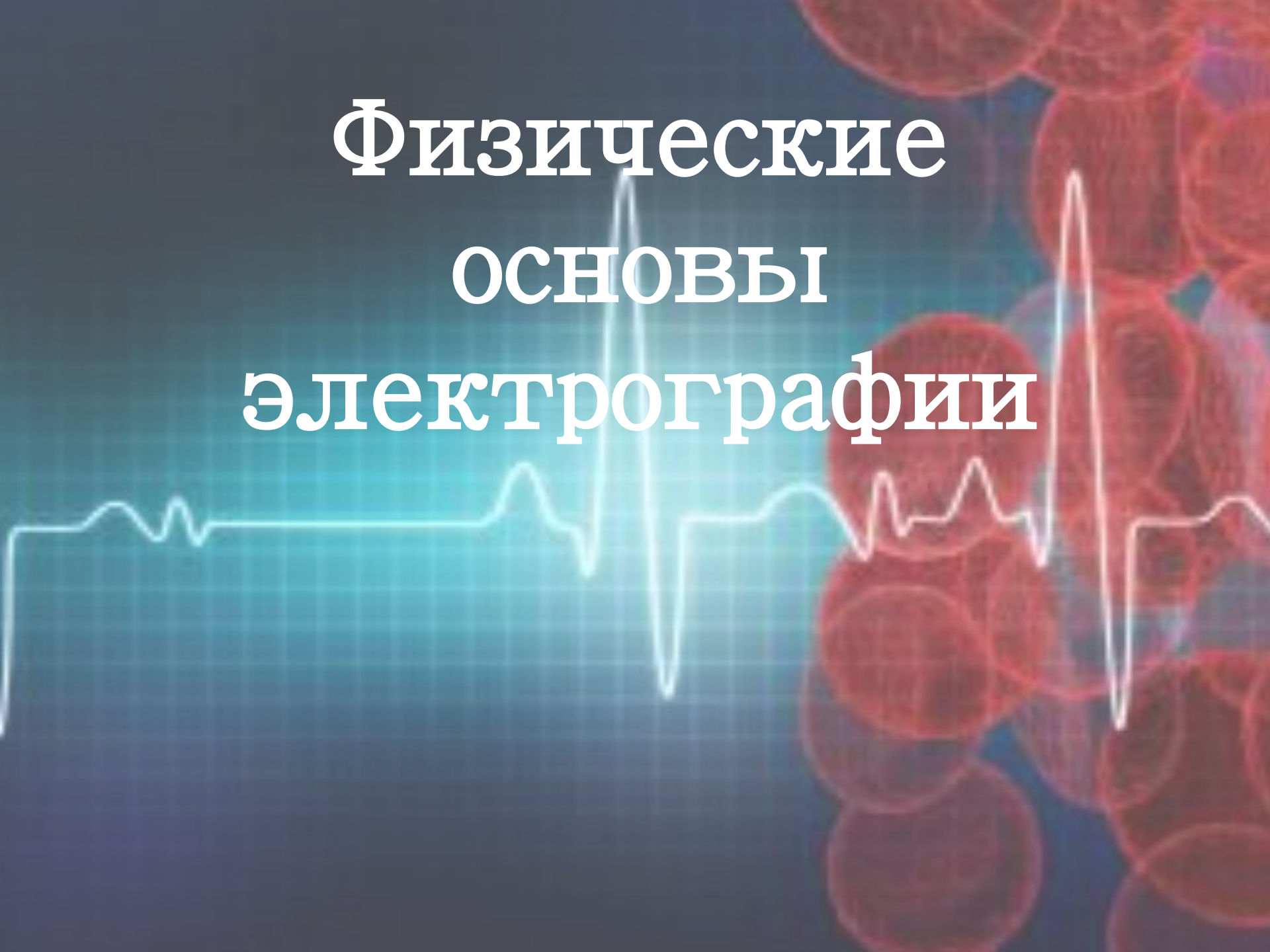
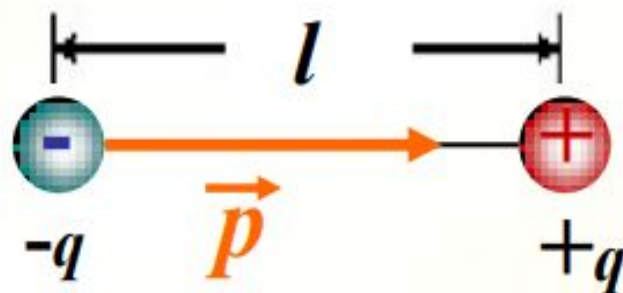


# Физические ОСНОВЫ электрографии



# Электрический диполь

**Электрический диполь** — это система, состоящая из 2-х равных, но противоположных по знаку точечных электрических зарядов, расположенных на некотором расстоянии ( $l$ ) друг от друга



$\vec{l}$  - плечо диполя

$\vec{p}$  - электрический (дипольный) момент: основная характеристика диполя. Это вектор, направленный от “-” к “+”

$$\vec{p} = |p| = ql \quad (\text{Кл}\cdot\text{м})$$

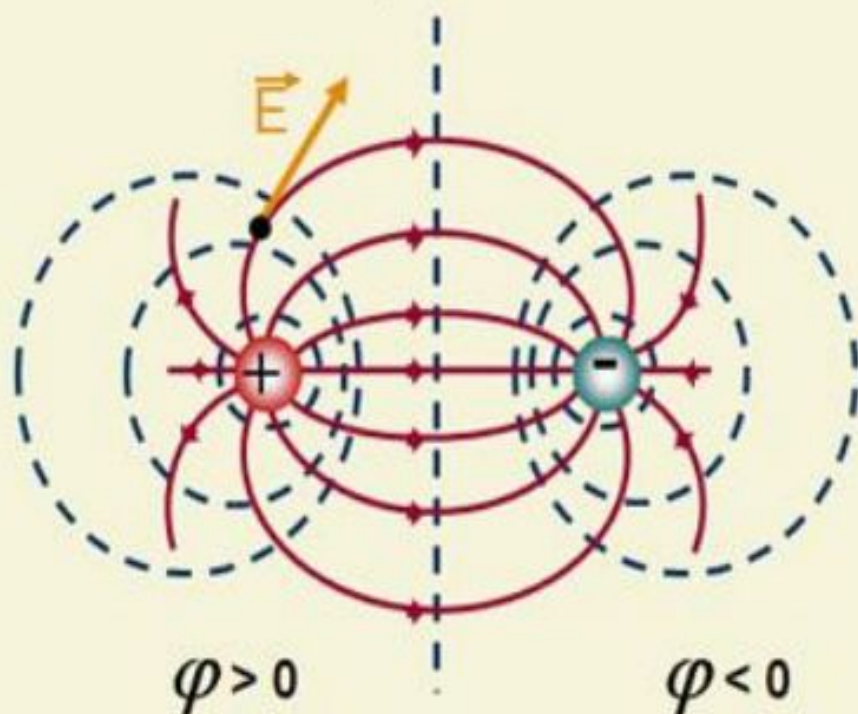
# Электрическое поле диполя

➔ Электрический диполь – источник электрического поля

## Электрическое поле диполя

Непроводящая среда (диэлектрик)

$$\varphi = 0$$



Полюса диполя



Силовые линии



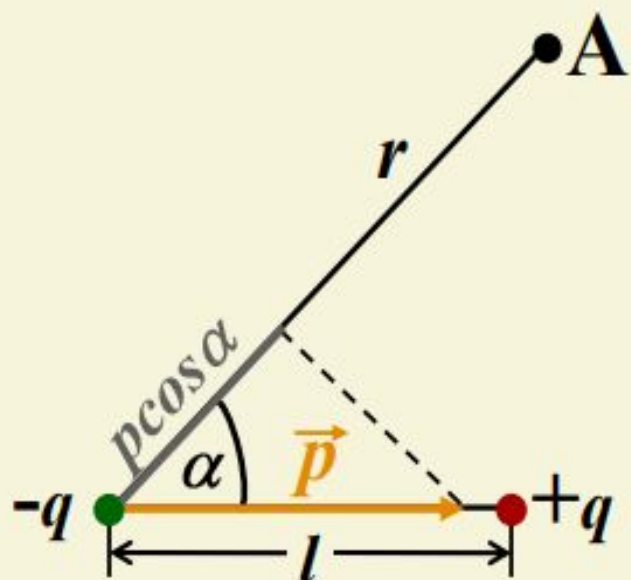
Эквипотенциальные поверхности (поверхности с одинаковым  $\varphi$ )



Взаимно перпендикулярны друг другу



**A) Потенциал электрического поля диполя в точке А:**



$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r} \right) = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{r - r_1}{rr_1}$$

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

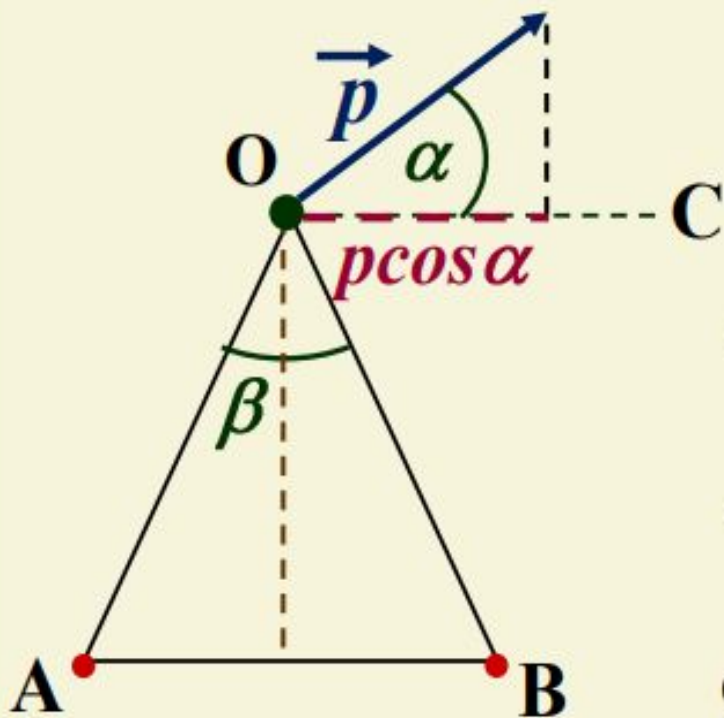
Если  $l \ll r, l \ll r_1$ ;

тогда:  $r \approx r_1$        $rr_1 \approx r^2$

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

$$\varphi = \frac{ql \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{p \cos \alpha}{r^2}$$

**Б) Разность потенциалов, создаваемых диполем, между точками А и В**



$$\varphi_B - \varphi_A = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{p}{r^2} (\cos \alpha_B - \cos \alpha_A)$$

$$\alpha_A = \alpha + \frac{\beta}{2} + \frac{\pi}{2}$$

$$\alpha_B = \alpha - \frac{\beta}{2} + \frac{\pi}{2}$$

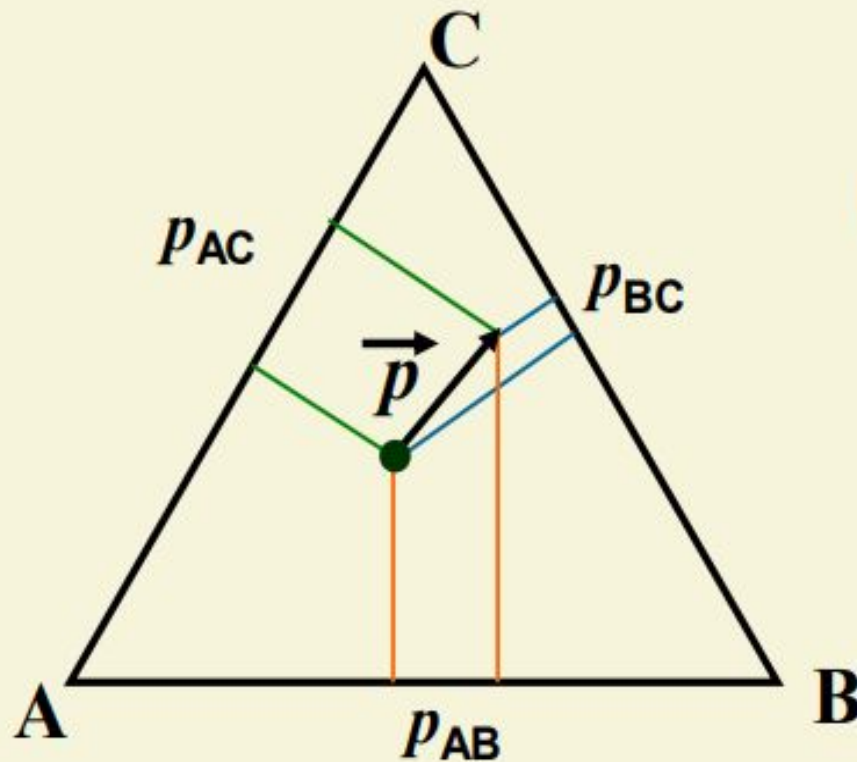
$$\cos \alpha_B - \cos \alpha_A = 2 \sin \frac{\beta}{2} \cos \alpha$$

$$\varphi_B - \varphi_A = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{p}{r^2} 2 \sin(\beta/2) \cos \alpha = \frac{\sin(\beta/2)}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \underbrace{p \cos \alpha}_{\text{проекция } p \text{ на } AB}$$

$$\varphi_B - \varphi_A = U$$

проекция  $p$  на  $AB$

В) Диполь в центре равностороннего треугольника:



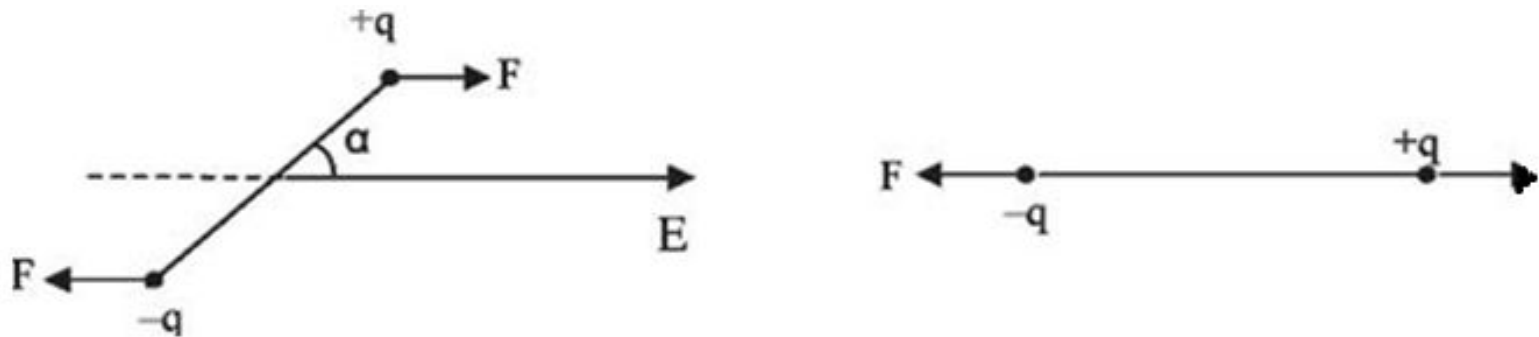
$$U_{AB} : U_{BC} : U_{CA} =$$

$$p_{AB} : p_{BC} : p_{CA}$$

$$U = \Delta\varphi = \frac{\sin(\beta/2)}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} p \cos\alpha$$

# Диполь во внешнем электрическом поле

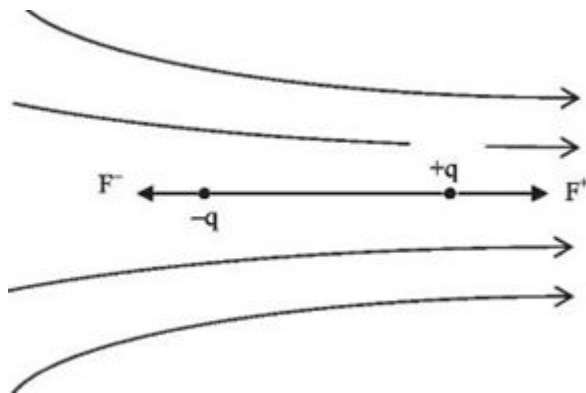
## 1) Диполь в однородном электрическом поле



В однородном электрическом поле напряженностью  $E$  на полюса диполя действуют равные по величине и противоположные по направлению силы. Они создают вращательный момент:

$$M = PE \sin \alpha$$

## 2) Диполь в неоднородном электрическом поле



В неоднородном электрическом поле величины сил, действующих на полюсы диполя, неодинаковы, и их сумма **не равна нулю**. Поэтому возникает равнодействующая сила, втягивающая диполь в область более сильного поля:

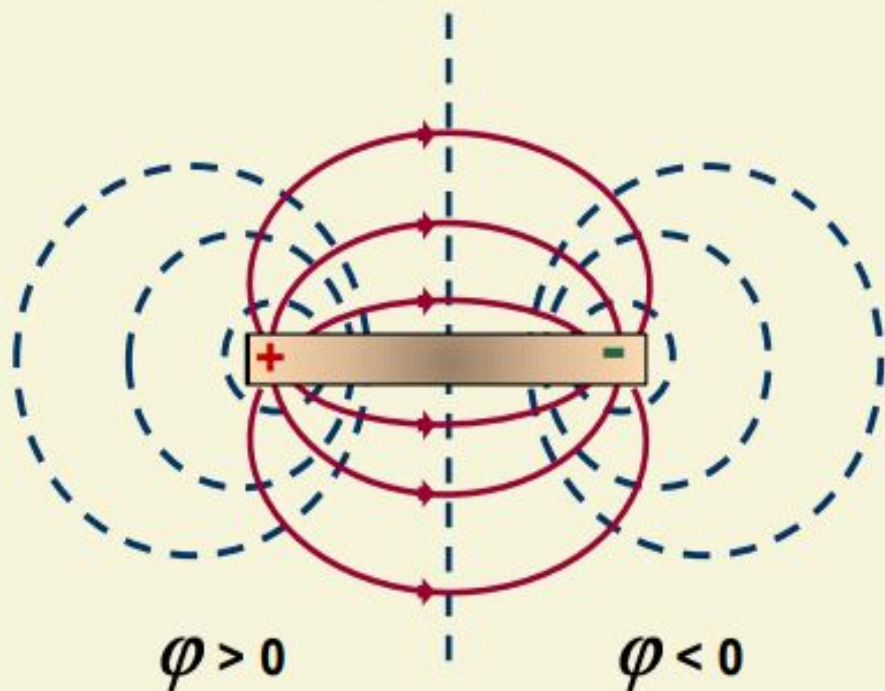
$$F = P \cdot dE/dx$$



# Токовый диполь

бесконечная проводящая среда

$$\varphi = 0$$



“+” Исток

“-” Сток



Линии электрического тока



Эквипотенциальные поверхности



Взаимно перпендикулярны друг другу

$$I = \mathcal{E} / (R + r).$$

**Токовый диполь** – это двухполюсная система в бесконечной проводящей среде, состоящая из истока и стока

Дипольный момент:

$$p_T = Il \quad (\text{А} \cdot \text{м})$$



Потенциал поля токового диполя:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\gamma r^2} p_T \cos\alpha$$

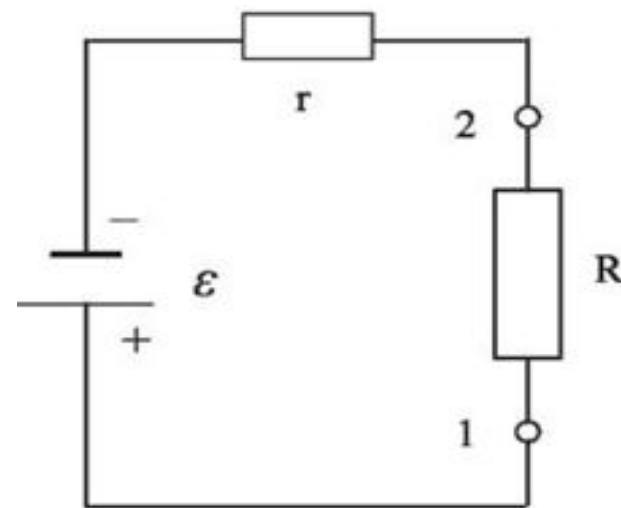
$\gamma$  – электропроводность среды

$p_T$  – дипольный момент токового диполя

$r$  – расстояние от диполя до точки

регистрации потенциала

$\alpha$  – угол между дипольным моментом и направлением регистрации потенциала



$$I = \varepsilon / (R + r).$$

**Возбуждённый участок миокарда можно представить как совокупность большого числа точечных токовых диполей :**

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

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\gamma r_1^2} p_{T1} \cos\alpha_1 + \frac{1}{4\pi\gamma r_2^2} p_{T1} \cos\alpha_2 + \dots + \frac{1}{4\pi\gamma r_n^2} p_{T1} \cos\alpha_n$$

Так как в каждый момент кардицикла возбуждается небольшой участок миокарда, то:  $r_1 \approx r_2 \approx \dots \approx r_n$ .

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\gamma r^2} \sum_i^n p_{Ti} \cos\alpha_i = \frac{1}{4\pi\gamma r^2} P_0 \cos\alpha$$

# Физические основы электрокардиографии

Т.о. электрическую активность миокарда заменяют действием одного токового диполя - эквивалентного токового диполя сердца

$$\vec{P}_0 = \sum_{i=1}^n p_i$$

Потенциал внешнего электрического поля сердца

$$\varphi_c = \frac{1}{4\pi r^2 \gamma} P_0 \cos \alpha$$

$\alpha$  - угол между вектором сердца и направлением регистрации потенциала.

Интегральный электрический вектор сердца (ИЭВС) – вектор дипольного момента эквивалентного диполя сердца

**Электрография** – метод исследования работы органов и тканей, основанный на регистрации во времени **разности потенциалов**, возникающей на поверхности тела при функционировании органов и тканей

---

- **Электрограмма** – временная зависимость **разности потенциалов**, возникающей при функционировании органов или тканей

**Виды электрограмм:**

1. Электрокардиограмма (электрограмма сердца) – ЭКГ,
2. Электромнограмма (электрограмма мышц) – ЭМГ,
3. Электроэнцефалограмма (электрограмма головного мозга) - ЭЭГ,
4. Электроретинограмма (электрограмма сетчатки глаза) – ЭРГ.
5. Кожногальваническая реакция



# Основные положения теории электрокардиографии

1. Электрические свойства сердца описывают с помощью токового генератора, который представляют в виде эквивалентного токового диполя. Формально его изображают в виде вектора – электрического вектора сердца

2. Электрический токовый диполь (сердце) расположен в однородной электропроводной среде организма с удельным сопротивлением  $\rho$ .

3. Дипольные представления о происхождении потенциалов электрического поля на поверхности справедливы при условии, что размеры (плечо) диполя  $L$  существенно меньше расстояний  $r$  от сердца (диполя) до точек измерения потенциала (точек отведения), то есть  $r \gg L$ .

4. Предполагается, что начало электрического вектора сердца расположено в электрическом центре сердца и не изменяет своего положения в течение кардиоцикла.

5. Предполагается, что конец электрического вектора сердца в процессе одного кардиоцикла в проекции на фронтальную, сагиттальную и горизонтальную плоскости организма описывает три петли P, QRS, T.

6. Точки отведений, расположенные на поверхности организма, должны быть равно удалены от электрического центра сердца.

7. Две точки на поверхности организма между которыми измеряется разность потенциалов называется отведением.

8. Графическая запись изменения разности потенциалов между точками отведения называется электрокардиограммой в данном отведении.

9. Гипотетическая линия, соединяющая две точки отведения, называется осью отведения.

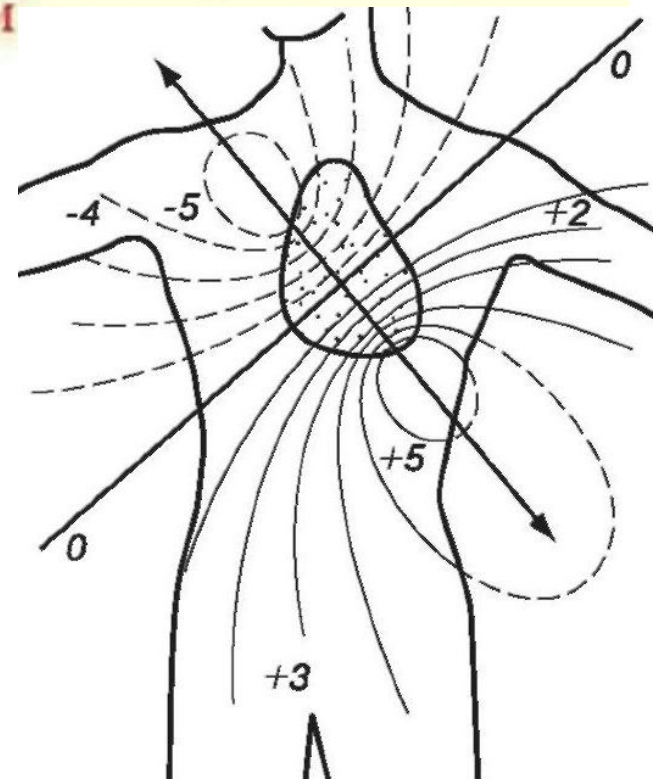
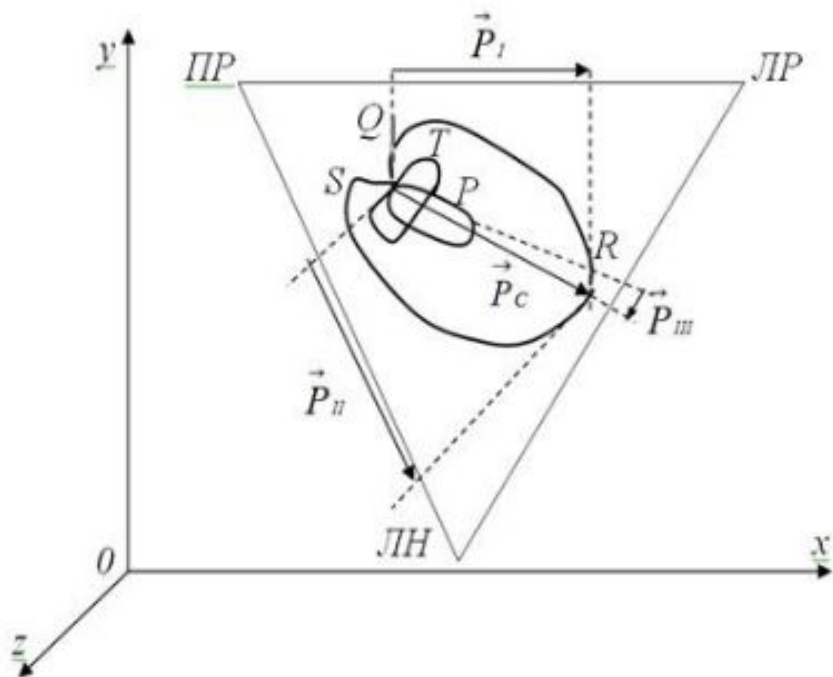
10. С осью отведения связывают вектор отведения. Вектор отведения начинается на точке отведения, имеющей отрицательный потенциал и направлен по оси отведения в сторону точки отведения с положительным потенциалом.

12. Величина проекции электрического вектора сердца на вектор выбранного отведения, пропорциональна реально измеряемой разности потенциалов на поверхности организма.

# Система отведений по Эйнтховену

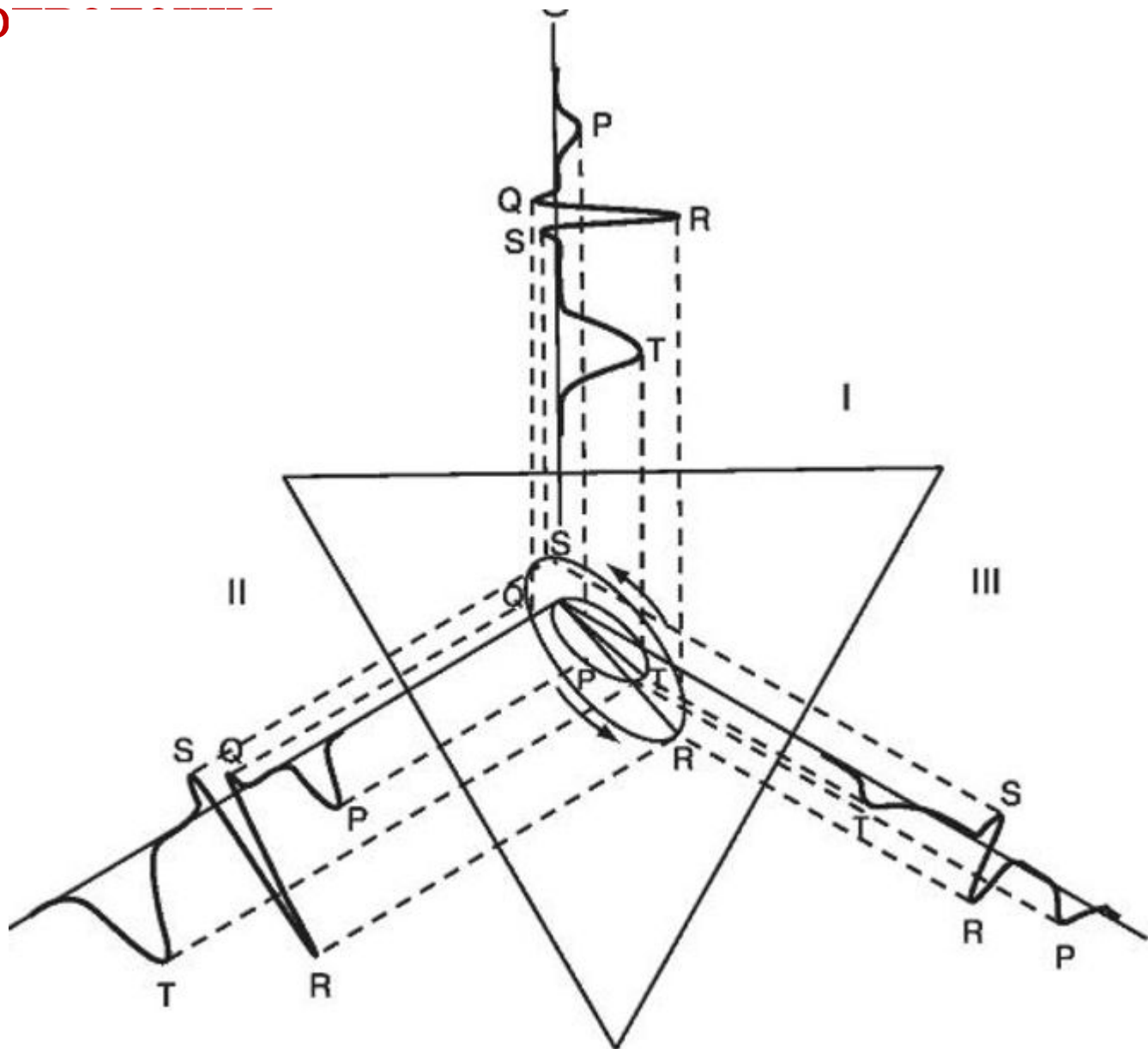
- I отведение: левая рука – правая рука
- II отведение: правая рука – левая нога
- III отведение: левая рука – левая нога

Разность электрических потенциалов снимаемых с двух любых точек тела человека называется **отведением**



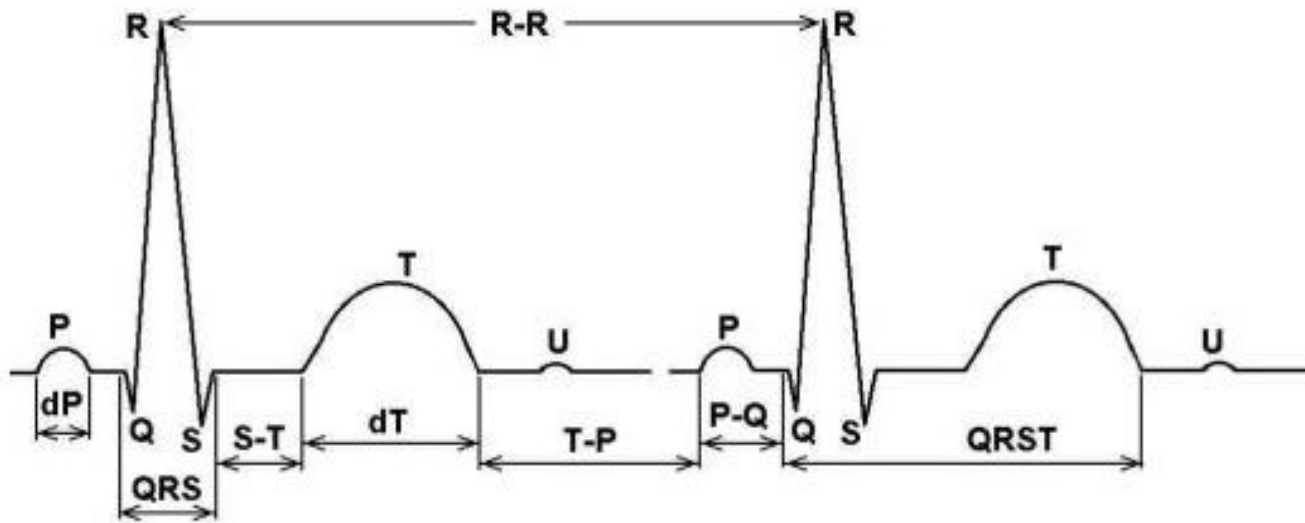
# Проекции ИЭВС на стандартные

0





Проекция электрического вектора сердца на каждую стандартную ось отведения имеет вид (в норме)



### **Зубец P – предсердный комплекс**

Зубец P отражает процесс деполяризации правого и левого предсердий, в норме предшествует комплексу QRS.

1. Наибольшая амплитуда зубца P – 2,5 мм во II стандартном отведении.

2. Наибольшая продолжительность зубца P в норме – 0,10 с.

3. В норме  $P_{II} > P_I > P_{III}$ .

## ***Комплекс QRS***

Отражает деполяризацию желудочков. Продолжительность комплекса QRS зависит от возраста и пола.

### ***Зубец Q***

Отражает начальный момент деполяризации желудочков, характеризующий возбуждение левой половины межжелудочковой перегородки.

### ***Зубец R***

Отражает распространение импульса по миокарду левого и правого желудочков.

### ***Зубец S***

Отражает распространение волны возбуждения на базальные отделы межжелудочковой перегородки, правого и левого желудочков.

## ***Сегмент ST***

Соответствует периоду, когда оба желудочка полностью охвачены возбуждением, измеряется от конца S до начала T (или от конца R при отсутствии зубца S). Продолжительность ST зависит от частоты пульса.

### ***Зубец T***

Отражает процессы реполяризации желудочков. Это наиболее лабильный зубец. В норме зубец T положительный в тех отведениях, где комплекс QRS представлен преимущественно зубцом R.

## **Сегмент TP**

Отражает фазу диастолы сердца. Измеряется от конца зубца T (U) до начала зубца P.

1. Расположен на изолинии, длительность зависит от частоты ритма.
2. При тахикардии длительность сегмента TP уменьшается, при брадикардии – увеличивается.

## **Интервал RR**

Характеризует продолжительность полного сердечного цикла – систолы и диастолы. Для определения частоты сердечных сокращений необходимо разделить 60 на значение RR, выраженное в секундах.





## Мерцательная аритмия на электрокардиограмме



**Трепетание предсердий**  
крупные предсердные волны



**Мерцание предсердий**  
мелкие предсердные волны



**Фибрилляция желудочков**  
деформированные беспорядочные комплексы



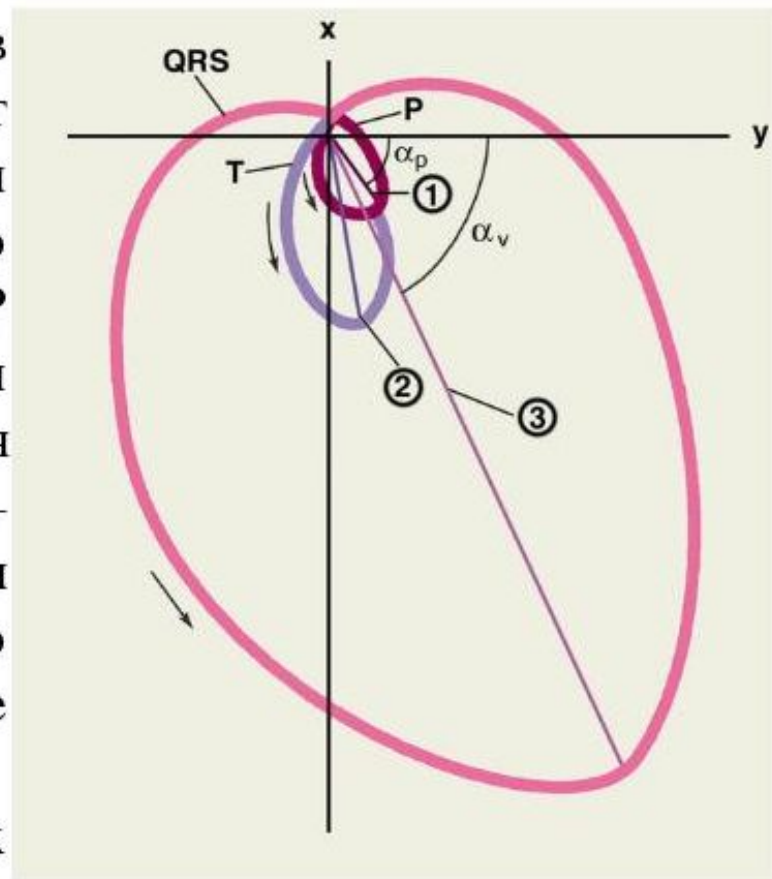
## ЭКГ при инфаркте миокарда



**Острейшая фаза инфаркта миокарда**  
(ST сливается с зубцом T)

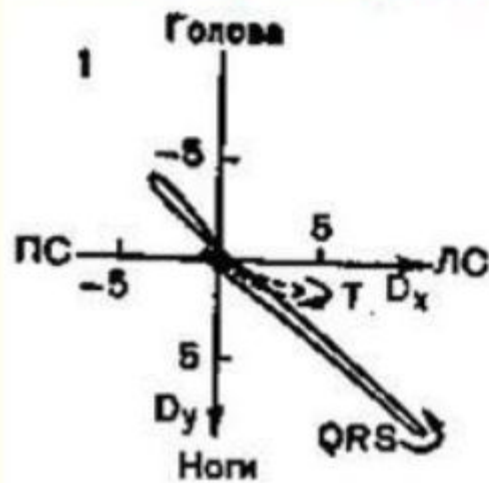
**Векторэлектрокардиография** — регистрация изменения положения электрической оси сердца на плоскости.

Петли векторкардиограммы в системе прямоугольных координат (оси  $x$ ,  $y$ ), образуемые ходом возбуждения (обозначено стрелками) 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;  $\rho$  и  $\alpha$  — углы отклонения максимальных векторов от координатной оси  $y$ .



# Виды векторных электрокардиограмм (ВЭКГ)

- **Пространственная ВЭКГ** – кривая, описываемая концом **вектора сердца в пространстве** за кардиоцикл
- **Плоская ВЭКГ** – кривая, описываемая концом **проекции вектора сердца на какую-либо плоскость** за кардиоцикл



1 – проекция на фронтальную плоскость, 2 – проекция на горизонтальную плоскость, 3 – проекция на сагиттальную плоскость



