

Список литературы

1. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика.
2. Федорова В.Н., Фаустов Е.В. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами.
3. Огурцов А.Н. Лекции по физике.
4. Иродов И.Е.: 3. Основные законы электромагнетизма; 4. Волновые процессы. Основные законы оптики.
5. Савельев И.В. Общий курс физики.
6. Сивухин Д.В. Курс общей физики.
7. Матвеев А.Н.: 3. Электричество и магнетизм; 4. Оптика.
8. Самойлов В.О. Медицинская биофизика.
9. Подколзина В.А. Медицинская физика. Конспект лекций.
10. Костылев В.А., Наркевич Б.Я. Медицинская физика.

E-mail: lgaliull@kpfu.ru

Электричество и магнетизм

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

Медико-биологические приложения:

- 1. Понимание электрических процессов, происходящих в организме, а также электрических и магнитных характеристик биологических сред. - физические основы электрокардиографии, магнитобиологии и реографии, электропроводимость биологических тканей и жидкостей и др.**
- 2. Понимание механизма воздействия электромагнитных полей на организм.**
- 3. Приборное, аппаратурное.**

Электрический заряд

Элементарный заряд (заряд электрона): $e = 1,67 \times 10^{-19}$ Кл

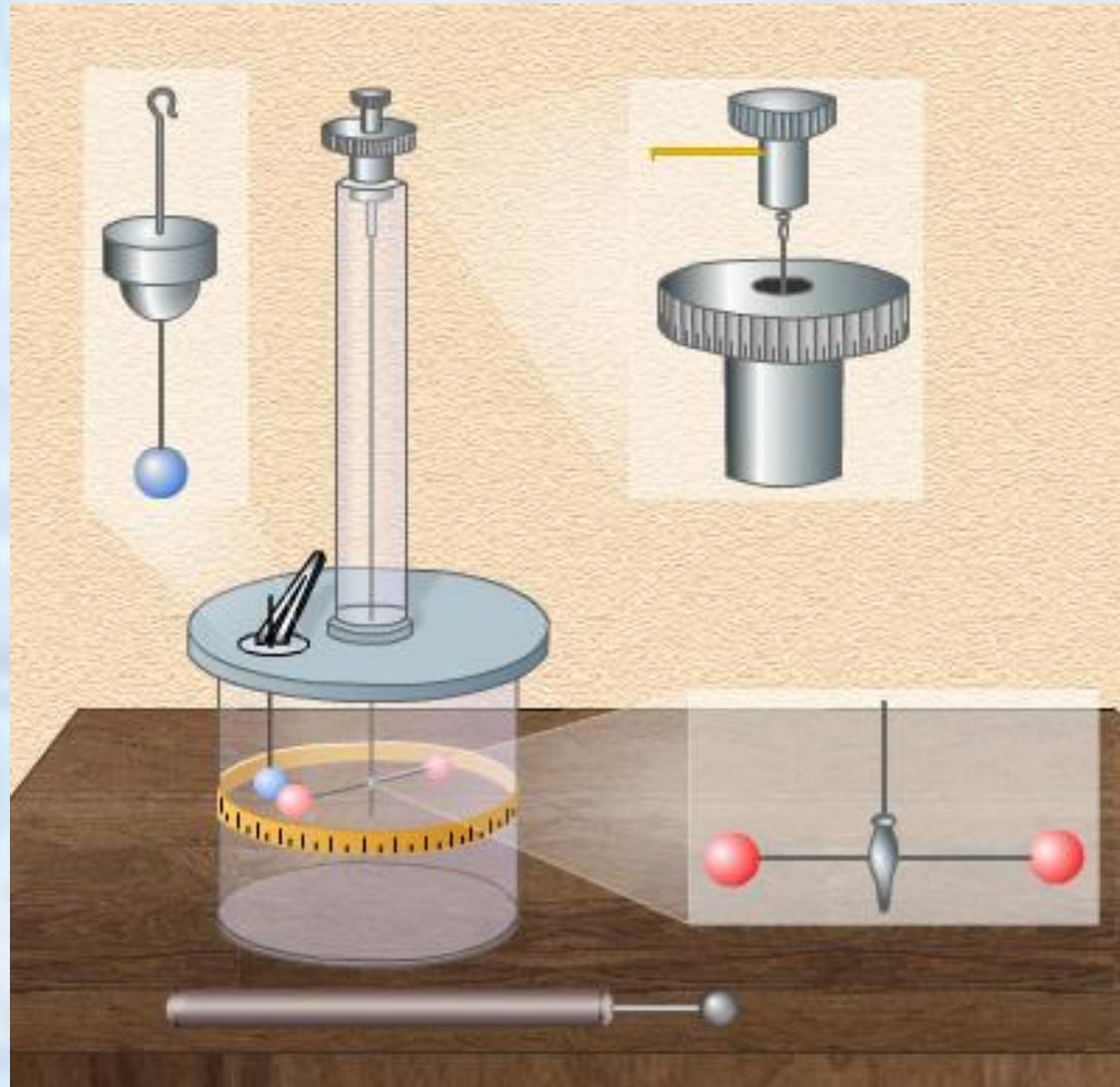
заряд q образуется совокупностью элементарных зарядов, он является целым кратным e :

$$q = \pm Ne$$

Закон сохранения заряда:

Суммарный заряд электрически изолированной системы не может изменяться.

Взаимодействие зарядов. Опыт Кулона



Закон Кулона

Сила взаимодействия двух точечных зарядов пропорциональна величине каждого из зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Направление силы совпадает с проходящей через заряды прямой

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



k — коэффициент пропорциональности,
 q_1 и q_2 — величины взаимодействующих зарядов,
 r — расстояние между ними.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Закон Кулона. Коэффициент k

Коэффициент k зависит от выбора системы единиц измерения.

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

ϵ_0 - электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума). В системе единиц СИ:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\Phi}$$

Электрическое поле

Взаимодействие между зарядами осуществляется через электрическое поле.

Силовая характеристика электрического поля —
Напряженность \vec{E} .

Напряженность электрического поля (\vec{E}) в некоторой точке пространства равна силе, действующей на единичный точечный заряд, помещенный в эту точку:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ В/м}$$



$$\vec{F} = \vec{E} \cdot q$$

Принцип суперпозиции электрических полей

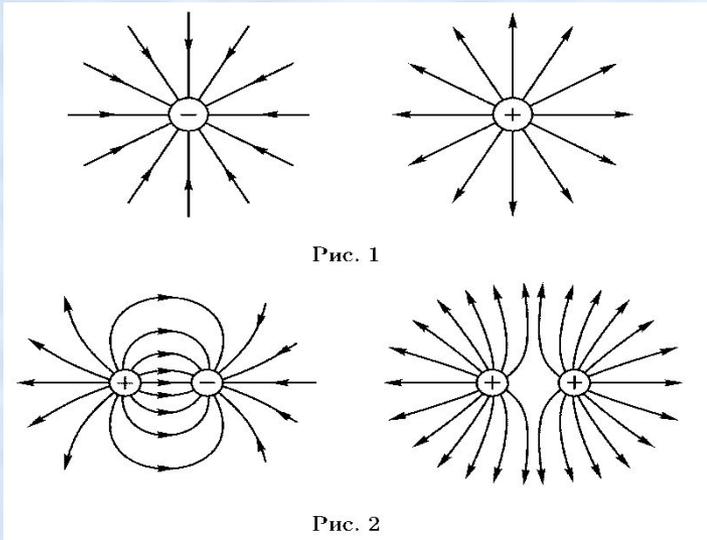
Напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, которые создавал бы каждый из зарядов системы в отдельности.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum \vec{E}_i$$

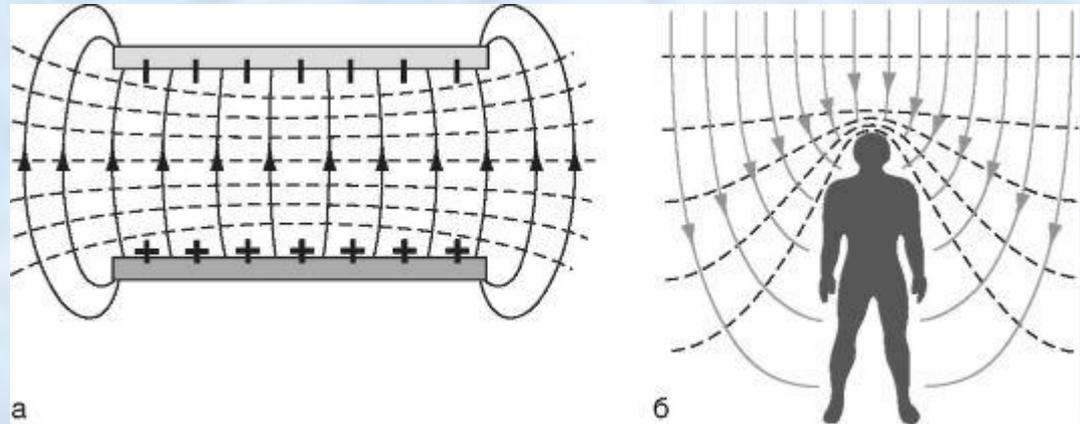
Силовые линии

Силовая линия есть математическая линия, направление касательной к которой в каждой точке, через которую она проходит, совпадает с направлением вектора \vec{E} в той же точке.

Примеры:



Электрические поля точечных зарядов



Электрическое поле двух пластин (а); электрическое поле Земли вблизи стоящего человека (б).

Потенциал

Потенциал φ численно равен работе A , которую совершают силы поля над единичным положительным зарядом при удалении его из данной точки на бесконечность.

$$\varphi = \frac{A}{q} \text{ В}$$

Разность потенциалов

Работа A , совершаемая силами электрического поля при переходе заряда q из одной точки в другую вычисляется по формулам:

$$A = q\Delta\varphi = qU$$

$$\Delta\varphi = U = \varphi_1 - \varphi_2$$

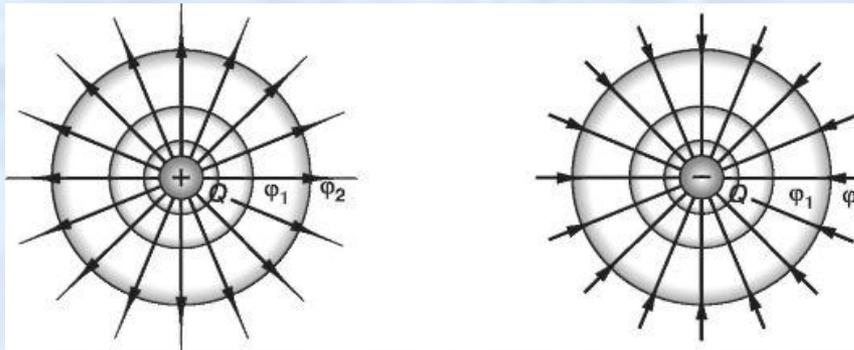
где φ_1 и φ_2 - потенциалы начальной (1) и конечной (2) точек соответственно;
 $\Delta\varphi$ — разность потенциалов, или напряжение (U).

В однородном поле: $\Delta\varphi = E \cdot d$

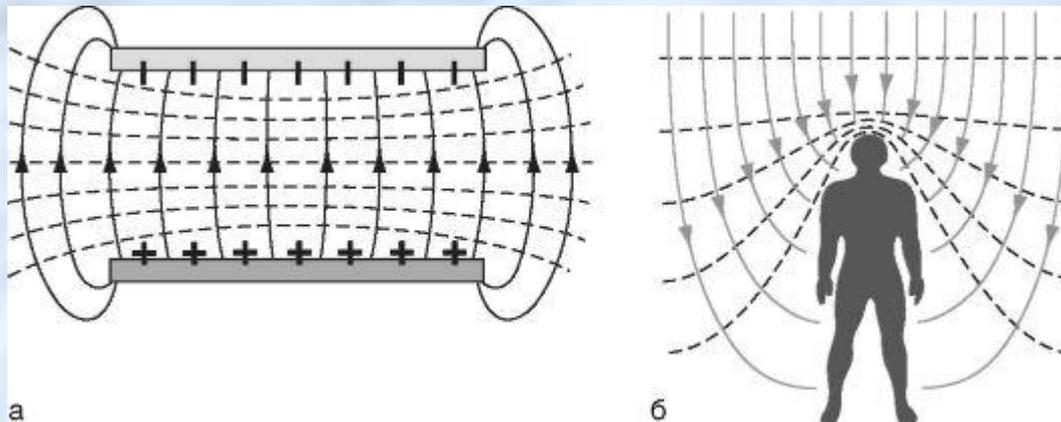
d — расстояние между точками с потенциалами φ_1 и φ_2 .

Эквипотенциальная поверхность

Эквипотенциальная поверхность - поверхность, все точки которой имеют одинаковый потенциал. Силовые линии перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.



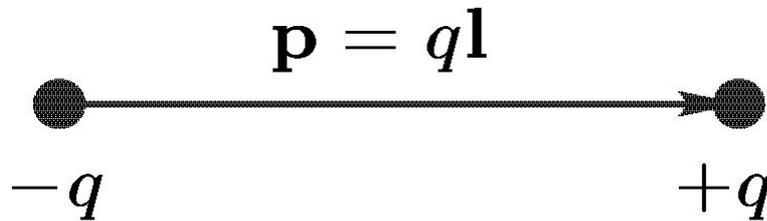
Эквипотенциальные поверхности и силовые линии точечных зарядов



Эквипотенциальные поверхности и силовые линии электрического поля двух пластин (а); электрического поля Земли вблизи стоящего человека (б).

Электрический диполь

Электрическим диполем (диполем) называют систему, состоящую из двух равных, но противоположных по знаку точечных электрических зарядов ($+q$ и $-q$), расположенных на некотором расстоянии l друг от друга (плечо диполя).

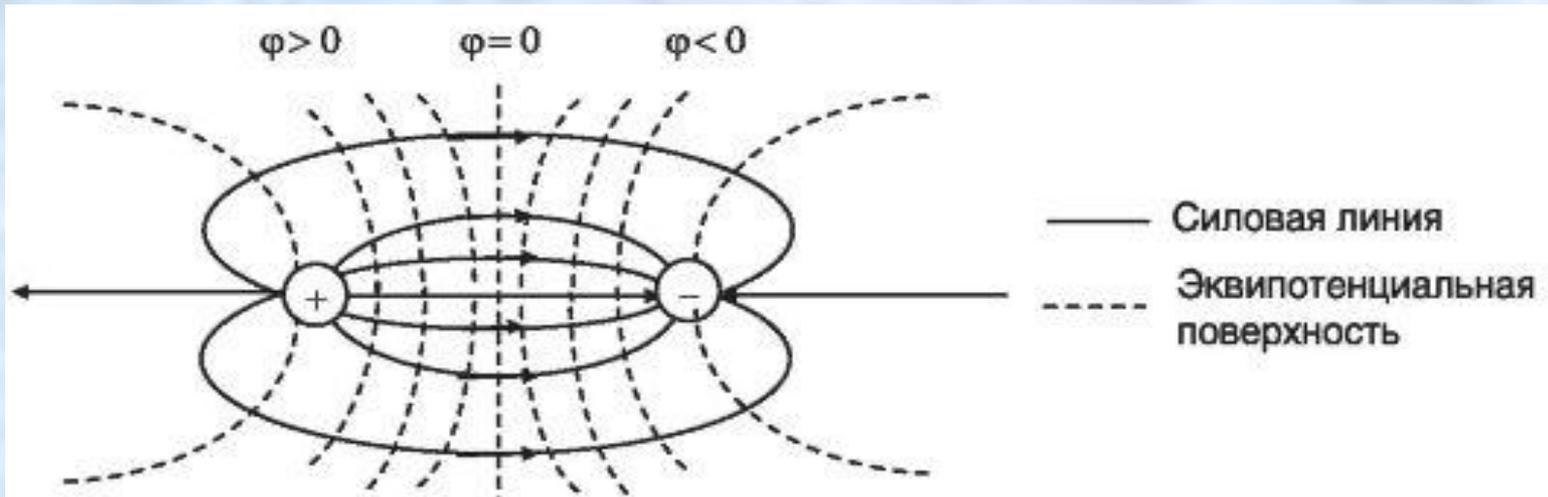


Электрический дипольный момент:

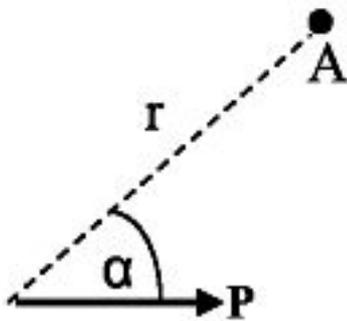
$$\mathbf{p} = ql$$

Единицей электрического момента диполя является кулон-метр [Кл•м].

Электрическое поле диполя



Потенциал диполя φ :



$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{P \cos \alpha}{r^2} \quad (13.2)$$

Электрография

Живые ткани являются источником электрических потенциалов (биопотенциалов). Регистрация биопотенциалов тканей и органов с диагностической (исследовательской) целью получила название **электрографии**.

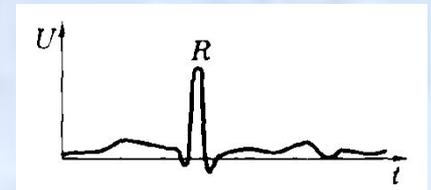
Виды электрографии:

- **ЭКГ - электрокардиография** - регистрация биопотенциалов, возникающих в сердечной мышце при ее возбуждении;
- **ЭРГ - электроретинография** - регистрация биопотенциалов сетчатки глаза, возникающих в результате воздействия на глаз;
- **ЭЭГ - электроэнцефалография** - регистрация биоэлектрической активности головного мозга;
- **ЭМГ - электромиография** - регистрация биоэлектрической активности мышц.

Характеристика биопотенциалов

Биопотенциалы	Интервал частот, Гц	Амплитуда, мкВ	
		максимальная	минимальная
ЭКГ	0,2–120	1500–2000	100–300
ЭМГ	3–600	1000–1500	30–40
ЭЭГ	1–300	200–300	5–10

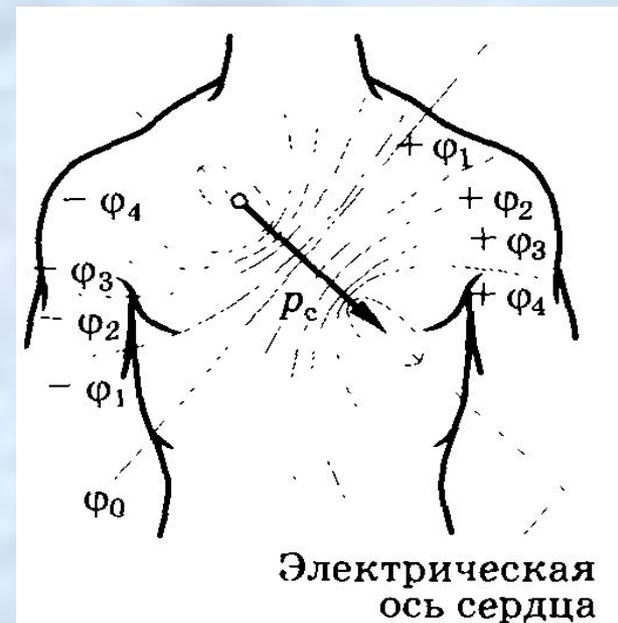
Электрокардиография



При синхронном возбуждении множества волокон сердечной мышцы в среде, окружающей сердце, течет ток, который даже на поверхности тела создает разности потенциалов порядка нескольких мВ. Эта разность потенциалов регистрируется при записи электрокардиограммы.

Теория Эйнтховена:

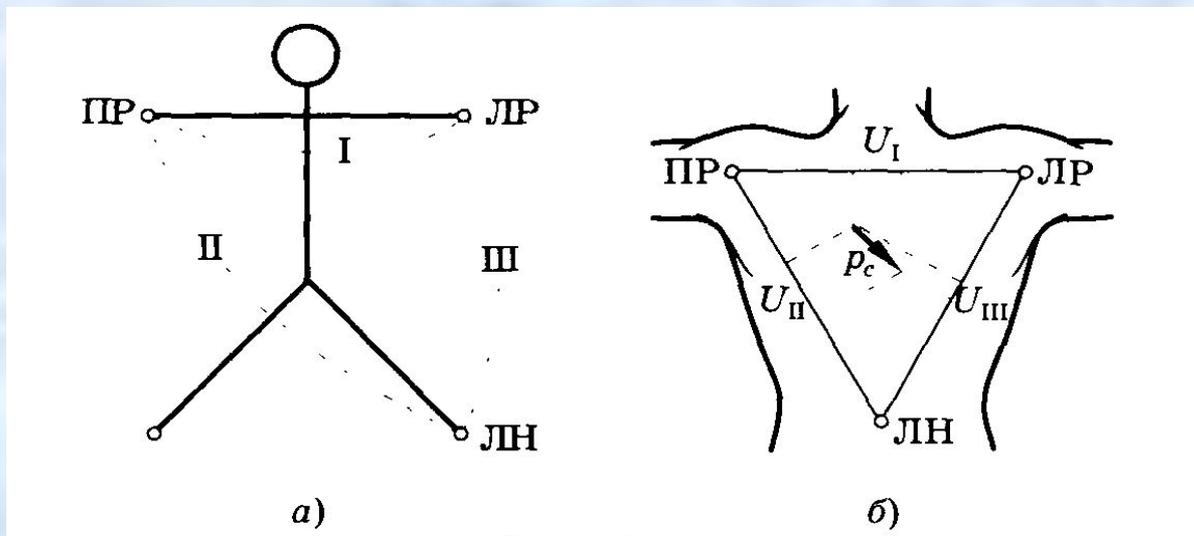
Сердце есть диполь с дипольным моментом p_c который поворачивается, изменяет свое положение и точку приложения (изменением точки приложения этого вектора часто пренебрегают) за время сердечного цикла



Электрокардиография

Объект	Масса сердца, г	Масса тела, кг	Максимальный дипольный момент сердца, $\text{mA} \cdot \text{cm}$
Лягушка	0,16	0,036	0,005
Крыса	1,10	0,277	0,107
Собака	108	14,2	1,63
Человек	300	71,5	2,32
Лошадь	3060	419	13,0

В. Эйнтховен предложил снимать разности биопотенциалов сердца между вершинами равностороннего треугольника, которые приблизительно расположены в правой руке (ПР), левой руке (ЛР) и левой ноге (ЛН).

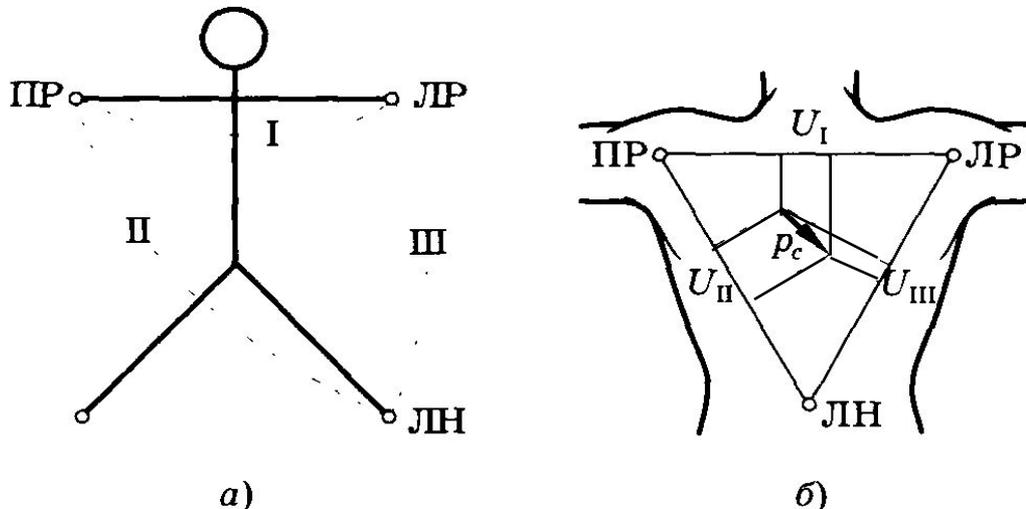


Электрокардиография

Разность биопотенциалов, регистрируемая между двумя точками тела, называют **отведением**.

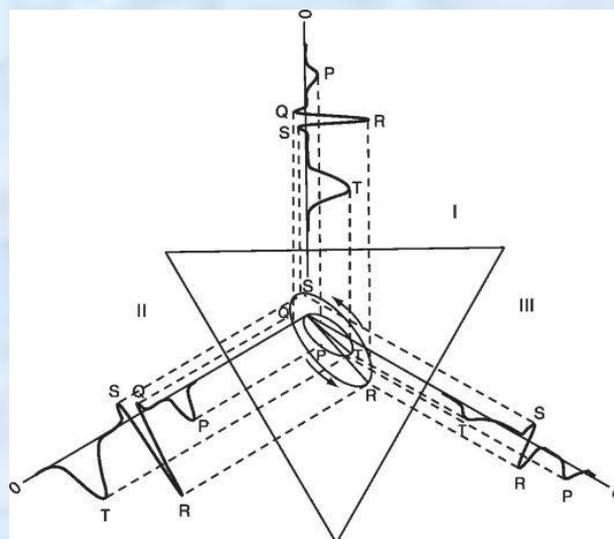
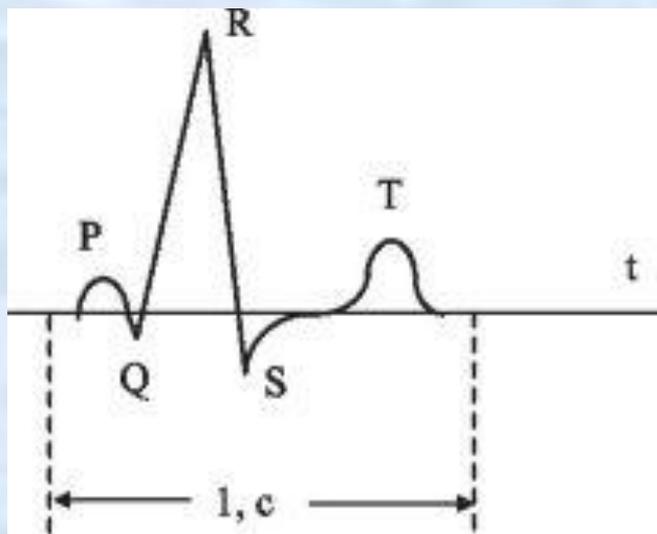
Различают **I отведение** (правая рука — левая рука), **II отведение** (правая рука — левая нога) и **III отведение** (левая рука — левая нога), соответствующие разностям потенциалов U_I , U_{II} и U_{III} . По Эйнтховену, сердце расположено в центре треугольника. Отведения позволяют определить соотношение между проекциями электрического момента сердца на стороны треугольника по формуле:

$$U_I : U_{II} : U_{III} = p_{CI} : p_{CII} : p_{CIII}$$



Электрокардиограмма

Электрокардиограмма представляет собой график изменения во времени разности потенциалов, снимаемой двумя электродами соответствующего отведения за цикл работы сердца.



Электрокардиограмма здорового человека:

P - деполяризация предсердия;

QRS -деполяризация желудочков;

T - реполяризация;

частота пульса 60 ударов в минуту (период сокращения - 1 с)

Физические факторы, определяющие особенности ЭКГ

Факторы, определяющие особенности ЭКГ у отдельного человека:

- 1) положение сердца в грудной клетке,
- 2) положение тела,
- 3) дыхание,
- 4) действие физических раздражителей, в первую очередь физических нагрузок.