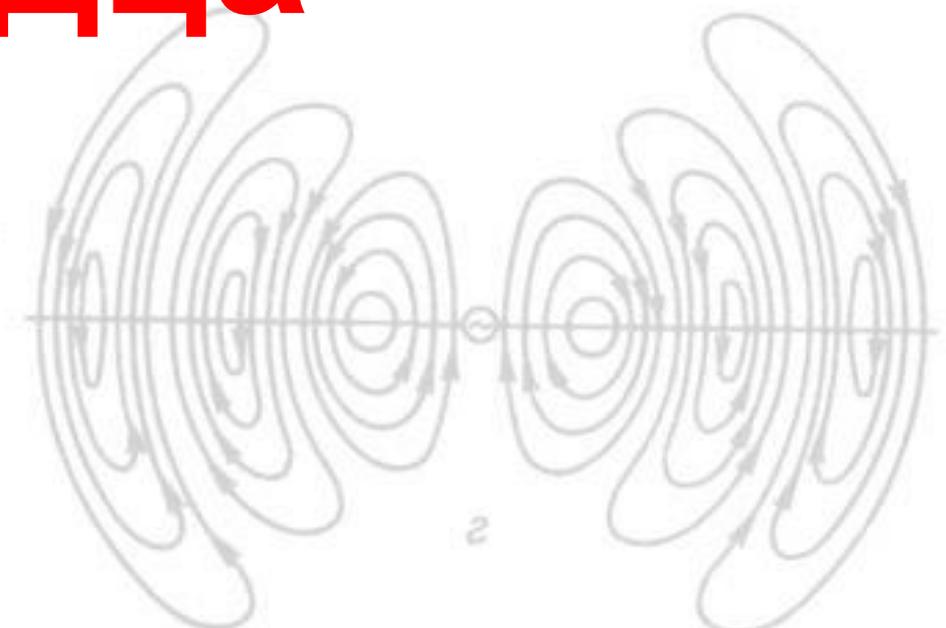
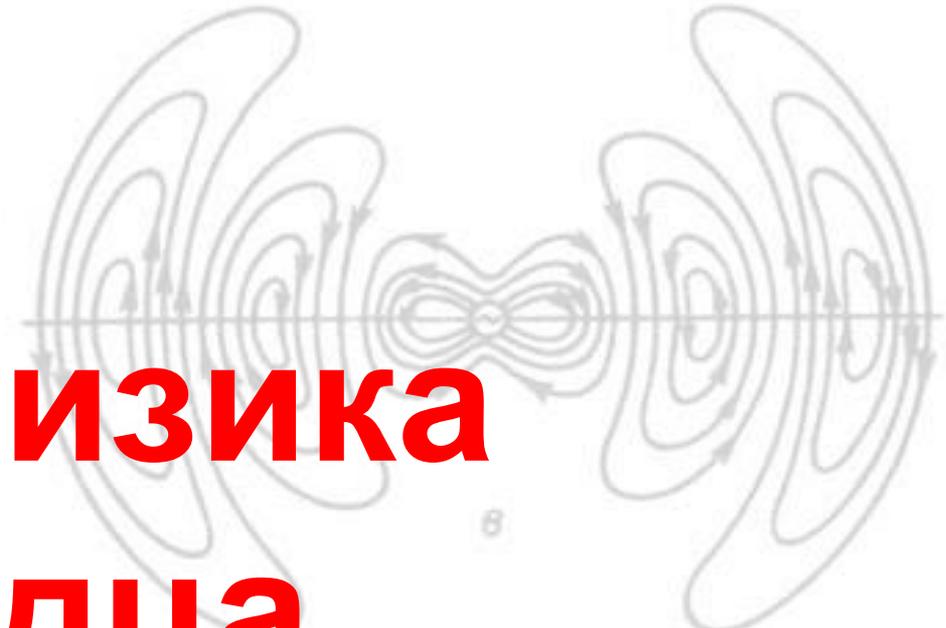
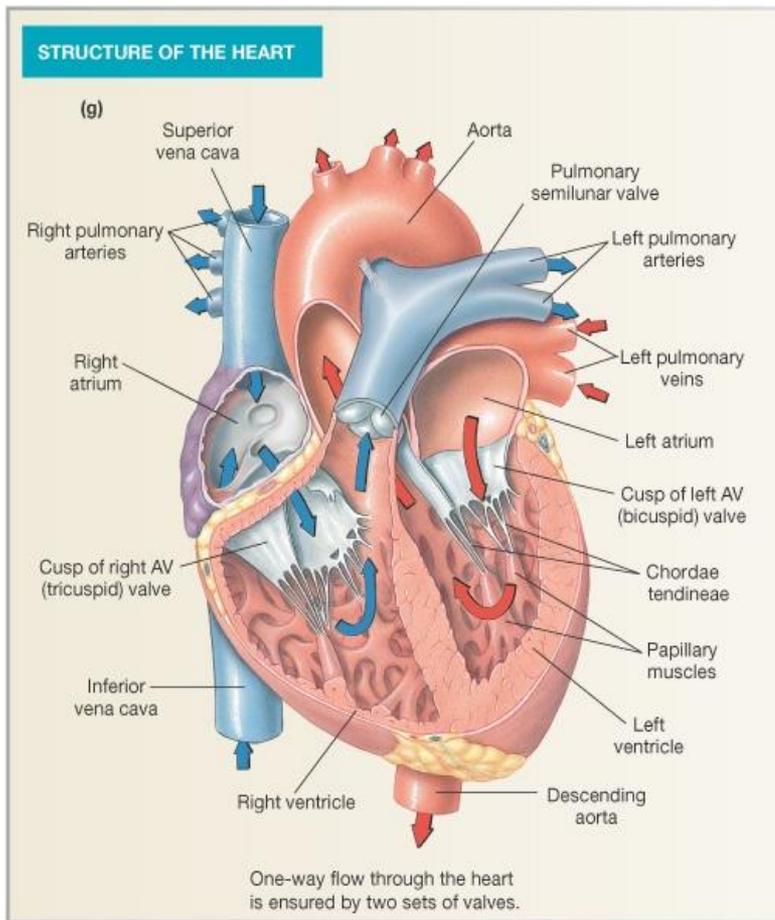


Биофизика сердца



Работа и мощность сердца

Миокард- источник энергии. Обеспечивает **непрерывное** движение крови по сосудистой системе.

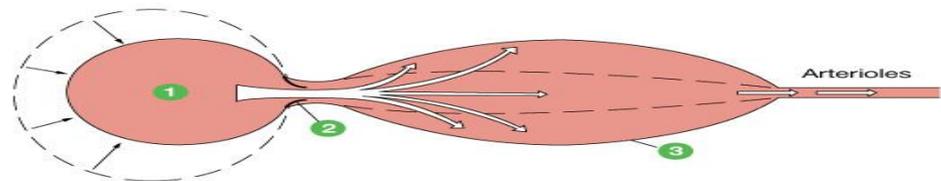


Работа, совершаемая сердцем, затрачивается на

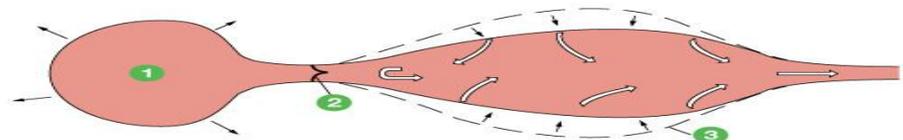
преодоление сил давления

и сообщение крови кинетической энергии

(a) Ventricular contraction



(b) Ventricular relaxation



Ударный объем крови

Это объем крови, который выталкивается из сердца за одно сокращение

ВОПРОС:

Он равен

6 мл



6 л



60 мл

*Столовая
ложка 15 г*



600 мл

Ответ: **60
мл**



Работа **левого** желудочка Работа **правого** желудочка

$$\dot{A} = P \cdot V + \frac{mv^2}{2}$$

$$\dot{A} = P \cdot V + \frac{\rho \cdot V \cdot v^2}{2}$$

$$A_{\text{пр}} = \mathbf{0,2} \text{ А лев.}$$

P – среднее динамическое давление. 13 кПа

V – ударный объем крови. 70 мл

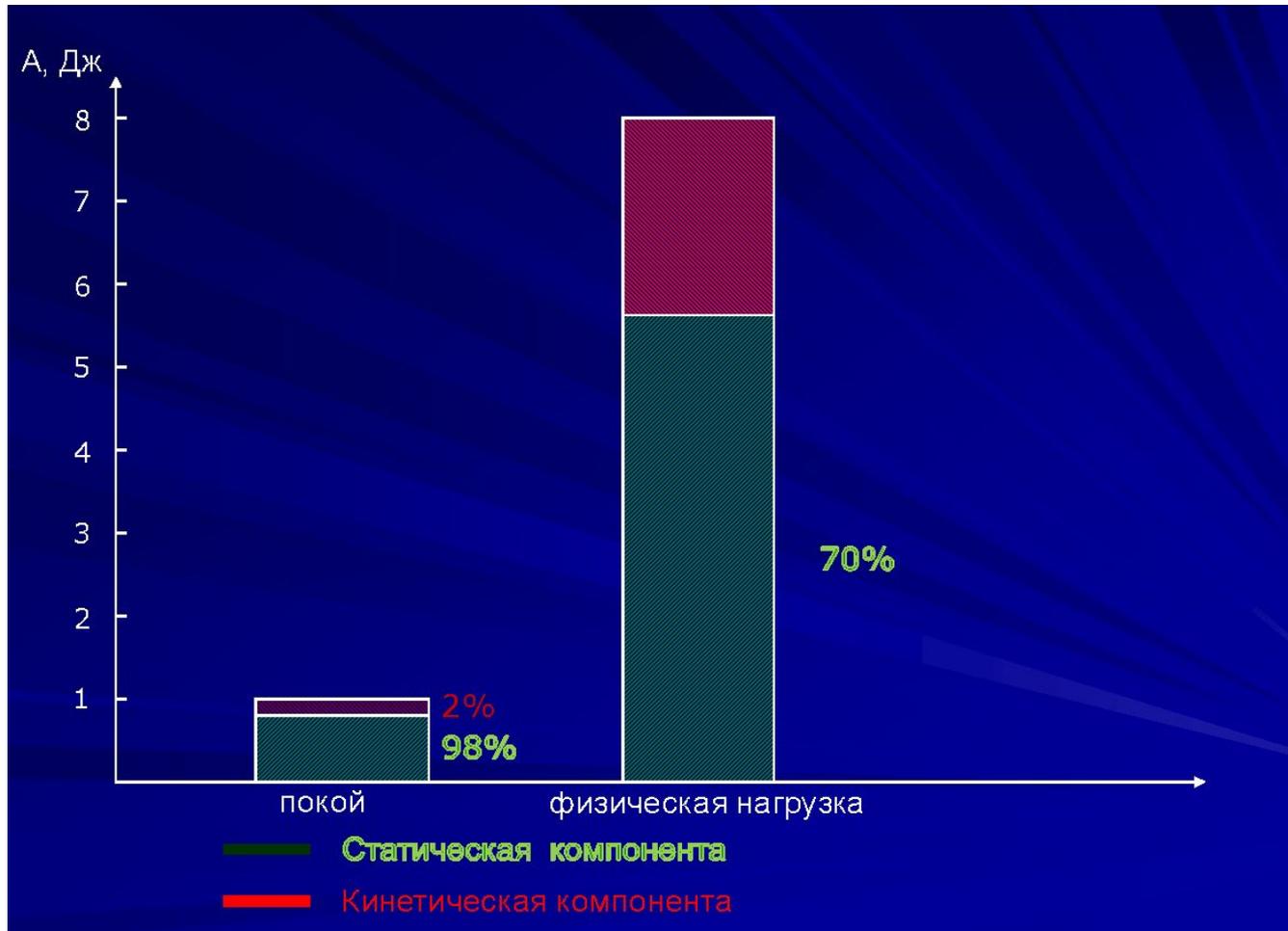
ρ – Плотность крови 1050

v – скорость кровотока 0,5 м/с

Всего: Работа сердца

$$\dot{A} = 1,2 \left(PV + \frac{\rho V v^2}{2} \right) \approx 1,1 \text{ Аэ}$$

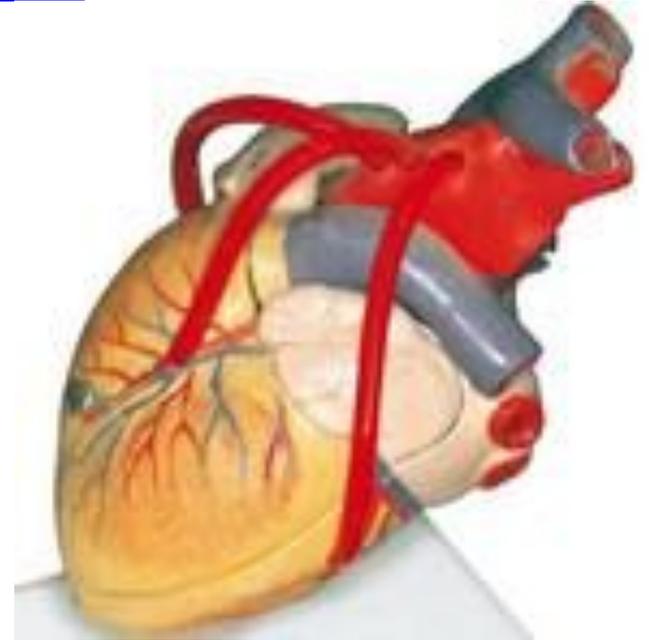
Доли **статической** и **кинетической** компоненты работы сердца:



Мощность сердца

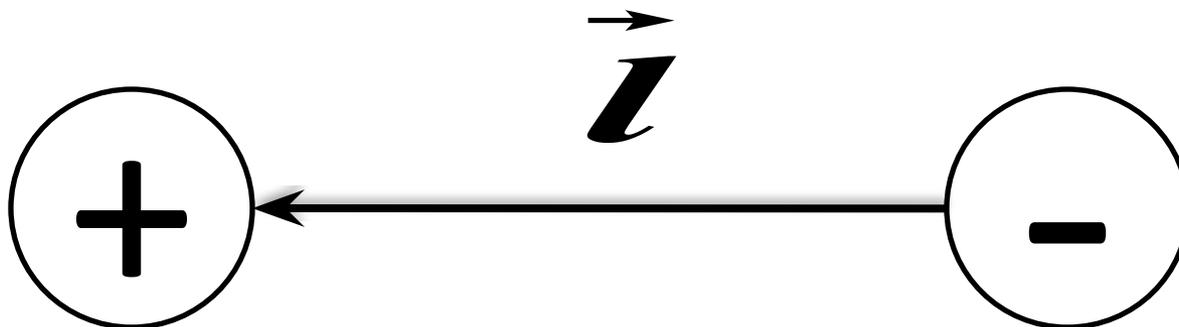
$$N = \frac{A}{\tau_s}$$

$$N = \frac{1 \text{ \AA} \text{ \ae}}{0,3 \text{ \tilde{n}}} = 3,3 \text{ \hat{A} \hat{o}}$$



Электрический диполь -

это система двух равных по модулю и противоположных по знаку точечных зарядов.



Плечо диполя – расстояние между точечными зарядами

Основная характеристика диполя

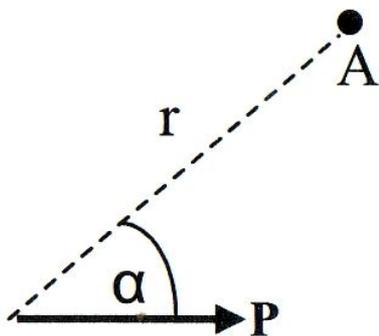
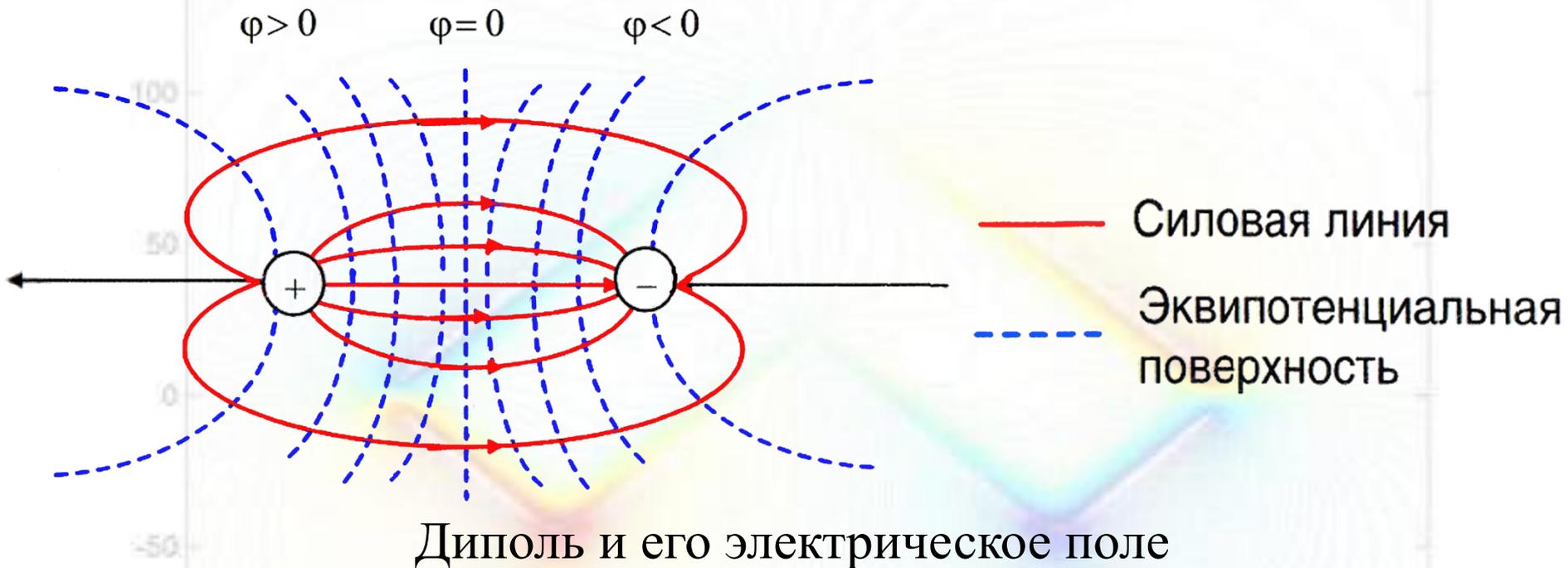
– дипольный момент:

$$\vec{P} = q \cdot \vec{l}$$

q - величина заряда
 l - плечо диполя

$$[P] = [Кл \cdot м]$$

Электрическое поле диполя

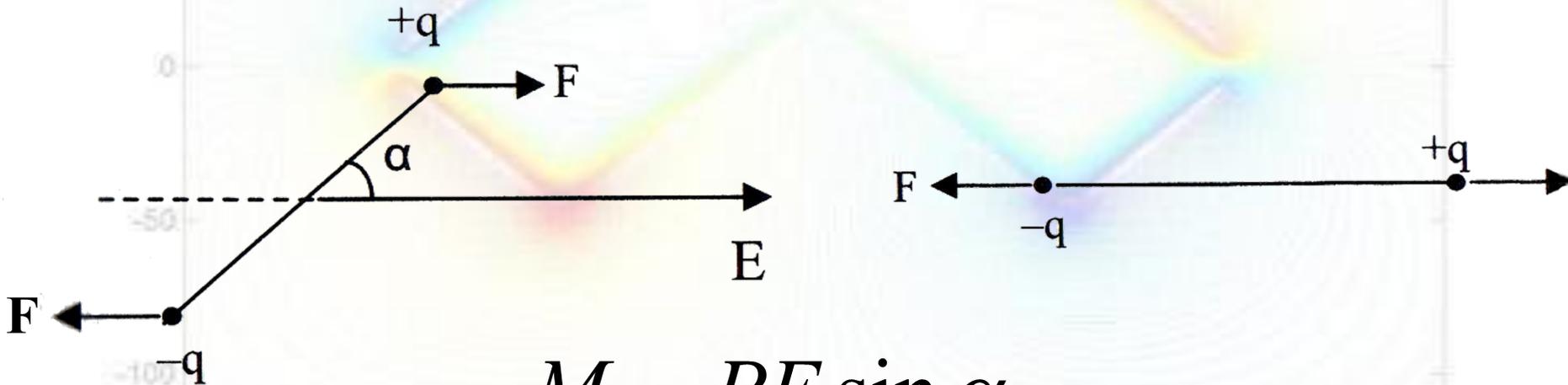


$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{P \cos \alpha}{r^2}$$

Потенциал электрического поля, созданного диполем

Диполь во внешнем электрическом поле

- Диполь в однородном электрическом поле



$$M = PE \sin \alpha$$

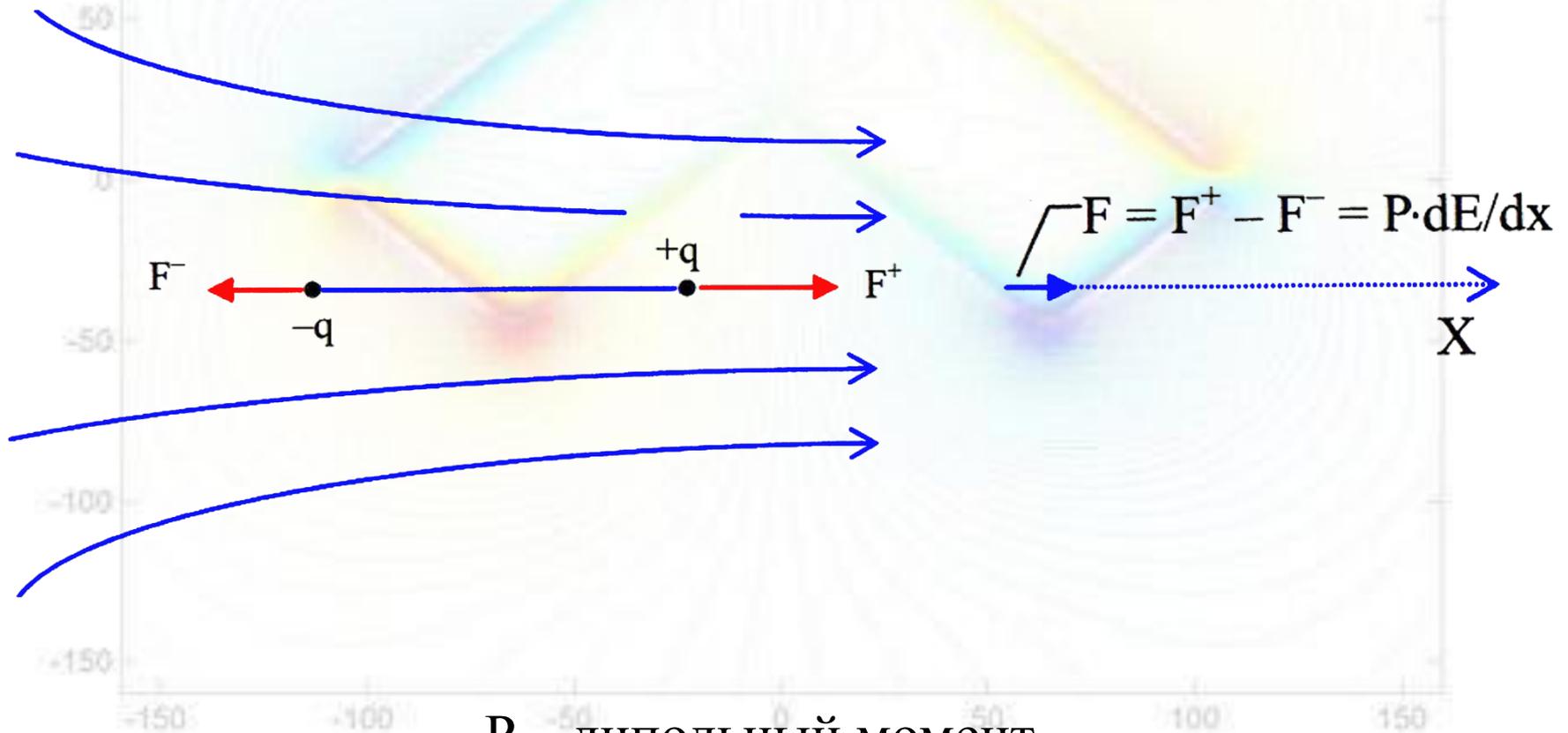
M – вращающий момент силы

P – дипольный момент

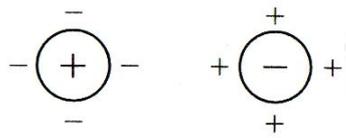
E – напряженность электрического поля

- Диполь в неоднородном электрическом поле

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

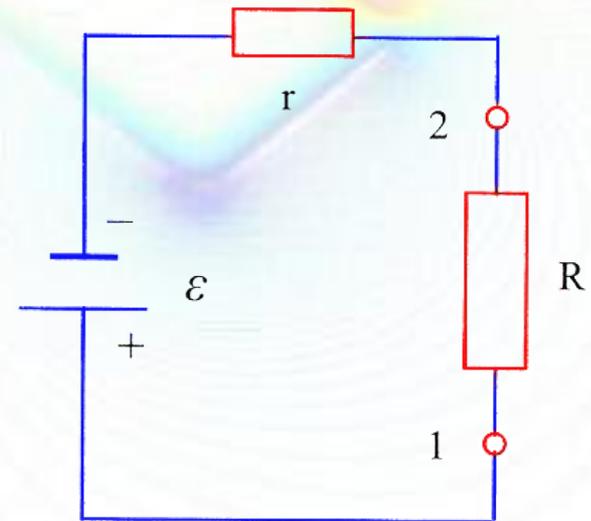
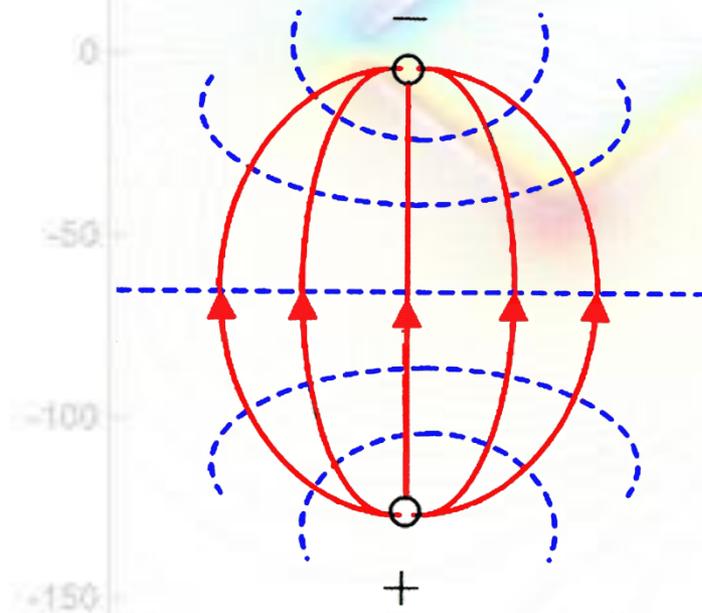


P – дипольный момент



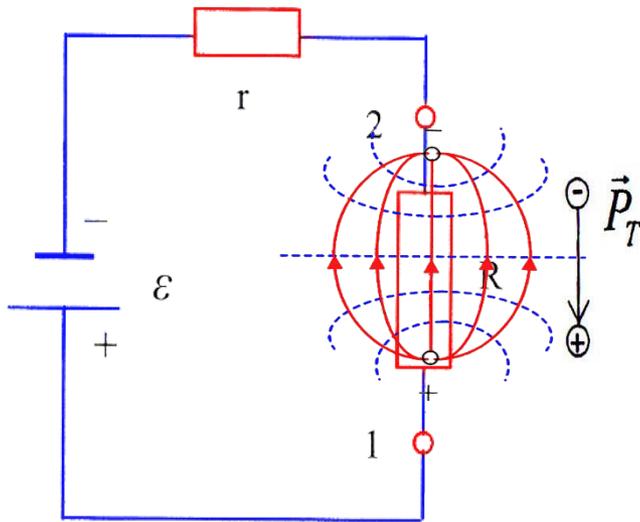
Токовый диполь

- Двухполюсная система в проводящей среде, состоящая из истока и стока тока, называется **дипольным электрическим генератором** или **токовым диполем**.
- Расстояние между истоком и стоком тока называется **плечом токового диполя**.



Токовый диполь и его эквивалентная электрическая схема

Токовый диполь – это двухполюсная система, состоящая из истока \oplus и стока \ominus тока в проводящей среде



**Ток
ТОКОВОГО ДИПОЛЯ:**

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

$$I = \frac{\varepsilon}{r}$$

r – внутреннее сопротивление источника тока;
 R – сопротивление проводящей среды;
 l – расстояние между истоком и стоком
 ε – ЭДС источника тока.

**$r \gg R$ – ТОКОВЫЙ
ДИПОЛЬ**

P_T меняется беспрестанно.

Потенциал электрического поля **токового** диполя:
(дипольного электрического генератора).

$$\varphi = \frac{P_T \cdot \cos \alpha}{4\pi\gamma r^2} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{\rho}{4\pi} \cdot \frac{P_T \cos \alpha}{r^2}$$

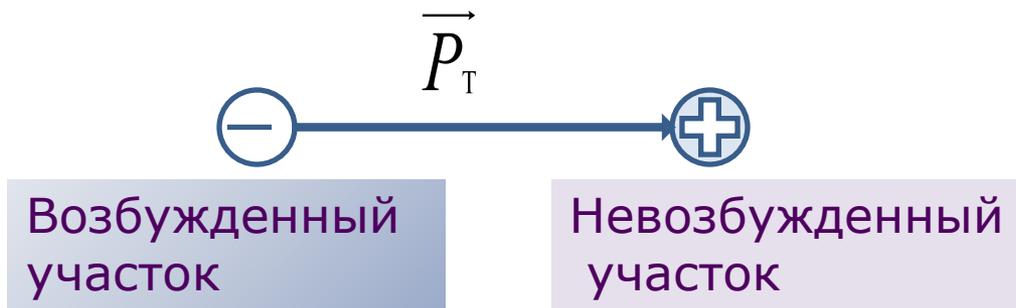
ρ -удельное сопротивление

Где γ удельная электропроводимость, характеризует проводящие свойства среды.

Электрический момент ТОКОВОГО ДИПОЛЯ:

$$\vec{P}_T = I \cdot \vec{\boxtimes} \quad [\text{А} \cdot \text{М}]$$

Направлен от **минуса к плюсу** –
от возбужденного участка к
невозбужденному.



Функционирование живых клеток сопровождается возникновением мембранных потенциалов. Состояние клеток, тканей и органов связано с их электрической активностью.

Электрография (ЭГ) – регистрация БП тканей и органов с диагностической целью.

Электрограмма – это график зависимости изменения разности потенциалов от времени.

Задачи электрографии

ПРЯМАЯ

Выяснение механизма
возникновения
электрограммы

ОБРАТНАЯ

(диагностическая)

Определение
характеристик
электрической
активности органа по
измеренным
потенциалам на
поверхности тела

Электрографические диагностические методы

- **ЭКГ** – электрокардиография – регистрация на поверхности тела 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

Характеристики биопотенциалов

Биопотенциал	Интервал частот, Гц	Амплитуда сигналов, отводимых с поверхности кожных покровов, мВ
ЭКГ	0,2 – 120	0,3 – 3,0
ЭЭГ	1 – 300	0,005 – 0,3
ЭМГ	3 – 600	0,03 – 1,5
ЭГГ	0,05 – 0,2	0,2 – 1,0

Представление об эквивалентном электрическом генераторе тканей и органов

Биопотенциал органа отличен от биопотенциала клетки, так как

$$\text{БП}_{\text{органа}} = \sum \text{пд}_{\text{отдельных клеточных элементов}}$$

Очень трудно описать изменения во времени. Надо учитывать не только I и I каждого из диполей, но и фазовые сдвиги между биопотенциалами под электродами. Поэтому **для оценки функционального состояния органа по его электрической активности используют принцип эквивалентного генератора.**

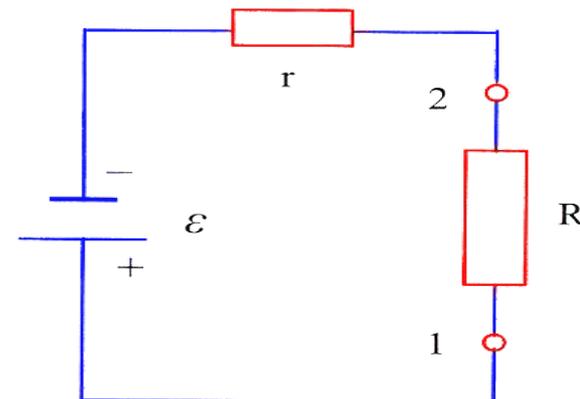
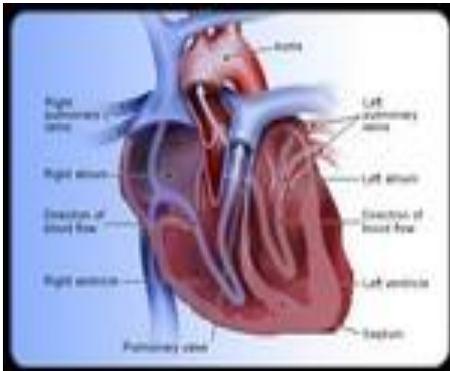
Принцип эквивалентного генератора.

Он состоит в том, что **изучаемый орган**, состоящий из множества клеток, возбуждающихся в различные моменты времени, **представляется моделью единого эквивалентного генератора, который** находится **внутри !** организма. Этот генератор создает на **поверхности !** тела электрическое поле, которое изменяется в соответствии с изменением электрической активности изучаемого органа.

Что означает термин «**ЭКВИВАЛЕНТНЫЙ**»?

Термин «эквивалентный» означает, что это воображаемый генератор создает на поверхности тела такое распределение биопотенциалов, как и реальный орган.

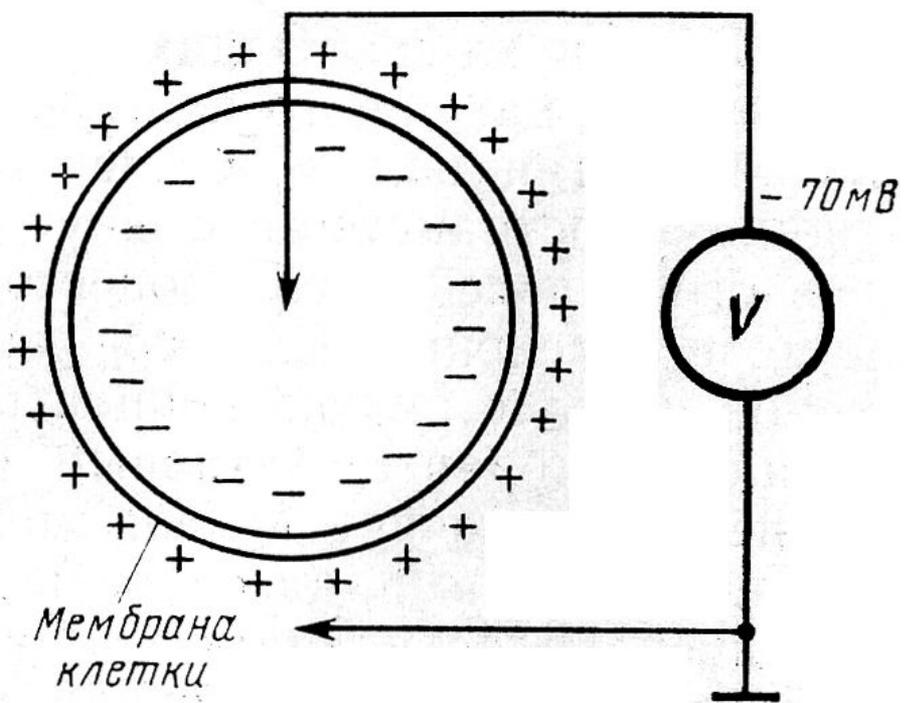
ПРИМЕР: В теории Эйнтховена **сердце**, клетки которого возбуждаются в сложной последовательности, представляется **ТОКОВЫМ диполем**. Он и является **ЭКВИВАЛЕНТНЫМ генератором**.



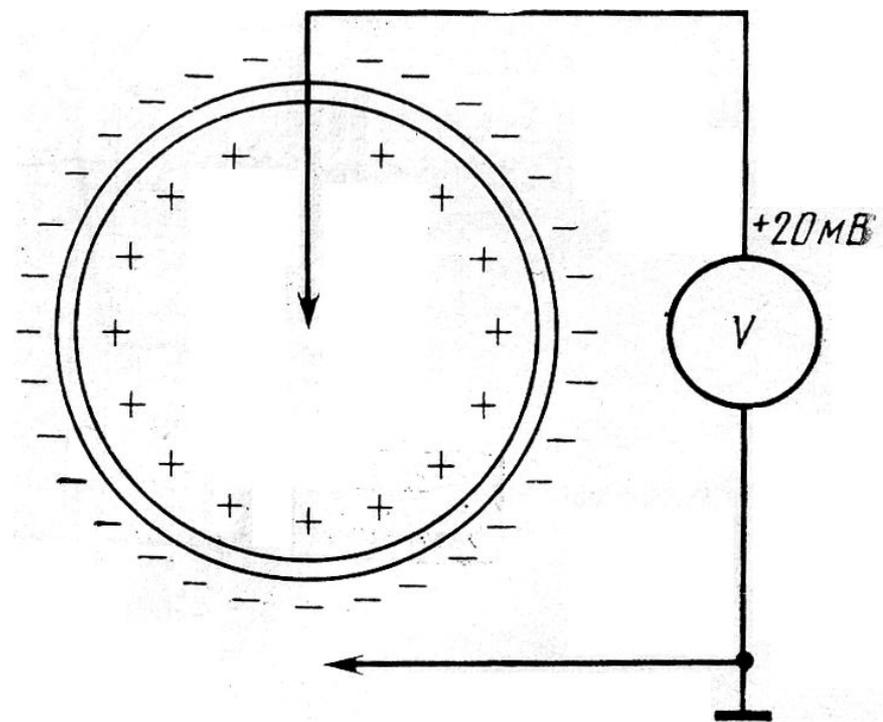
Поле токового диполя сердца



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

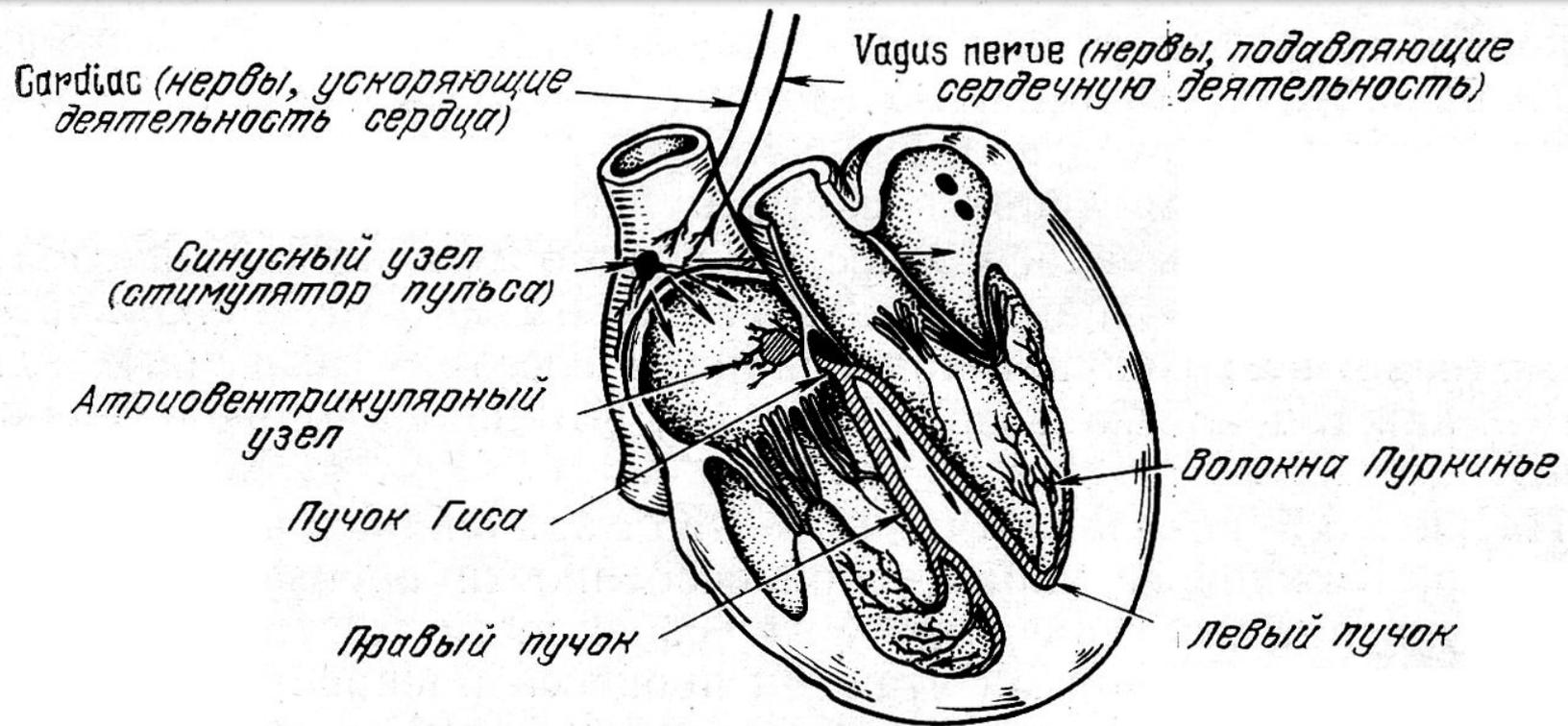


Поляризованная клетка



Деполаризованная клетка

Распространение возбуждения по миокарду



Процесс распространения возбуждения по миокарду имеет сложную пространственную и временную зависимость.

Синусовый узел → по миокарду предсердий → атриовентрикулярный узел → по ножкам пучка Гиса → волокна Пуркинье → сократительный миокард желудочков

- 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.)

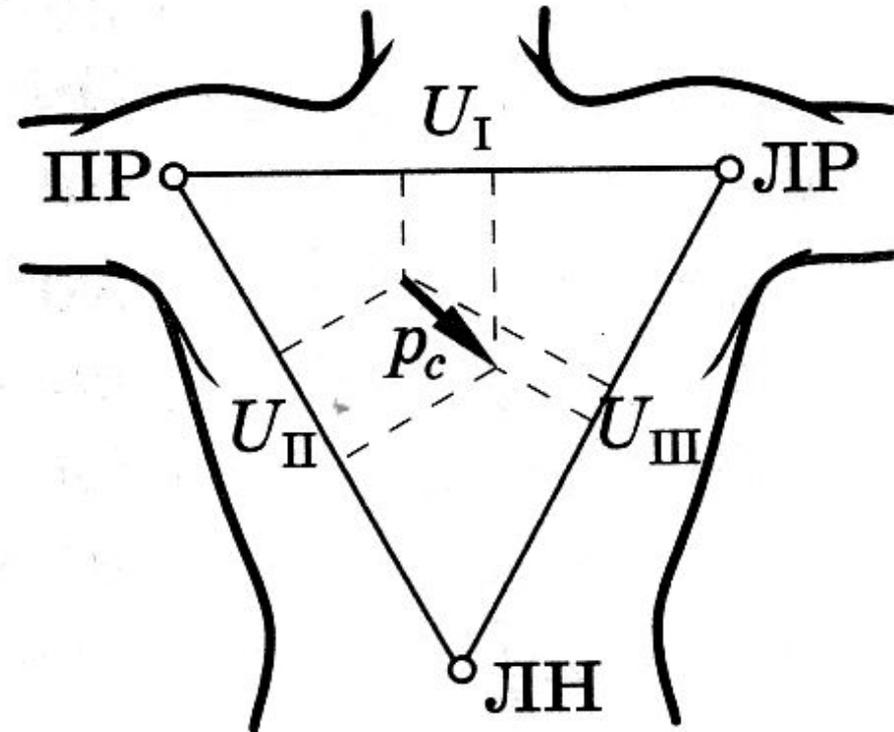
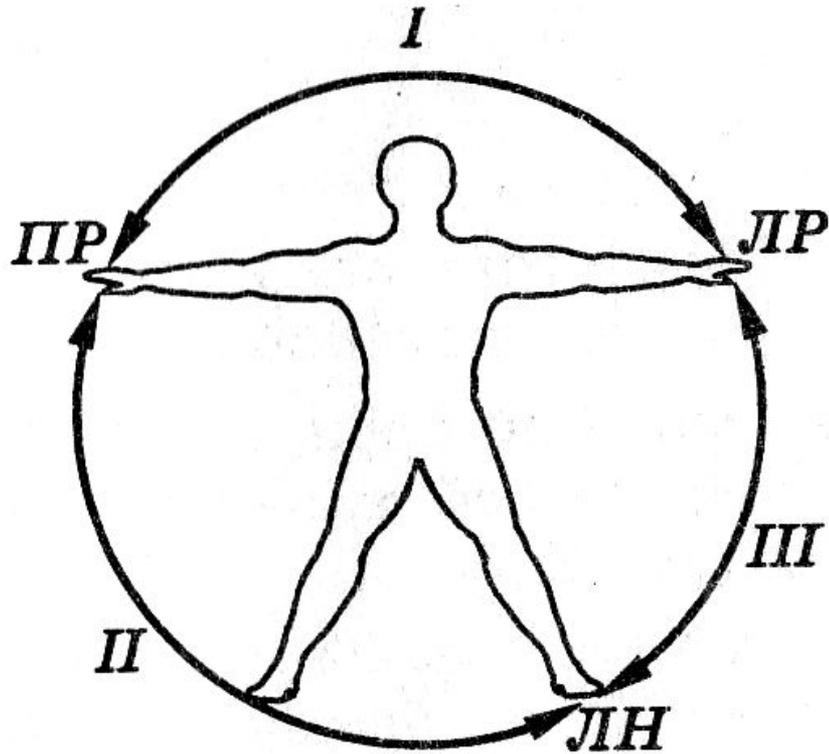


Виллем Эйнтховен
(нидерл. 1860 - 1927)

Основные постулаты модели Эйнтховена

- Сердце есть токовый диполь с дипольным моментом \vec{P}_C (электрический вектор сердца - ЭВС)
- ЭВС находится в однородной проводящей среде, которой являются ткани организма
- ЭВС меняется по величине и направлению в соответствии с фазами возбуждения.
- Существует связь между ЭВС и разностью потенциалов между точками на поверхности тела.

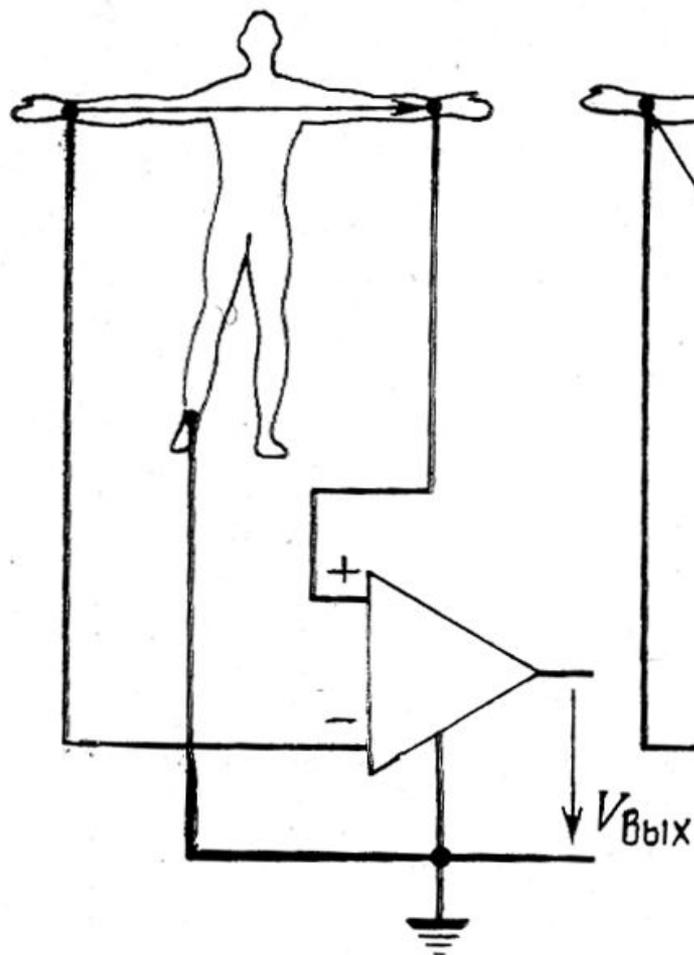
Три стандартных отведения



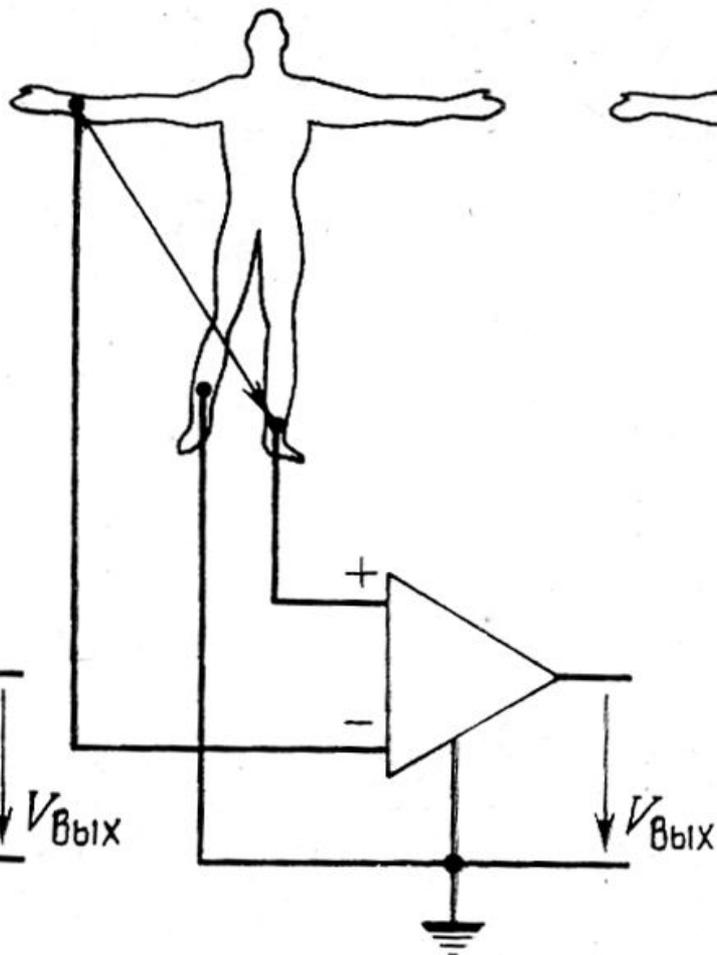
Отведение – разность потенциалов между точками на поверхности тела

Биполярные отведения от конечностей

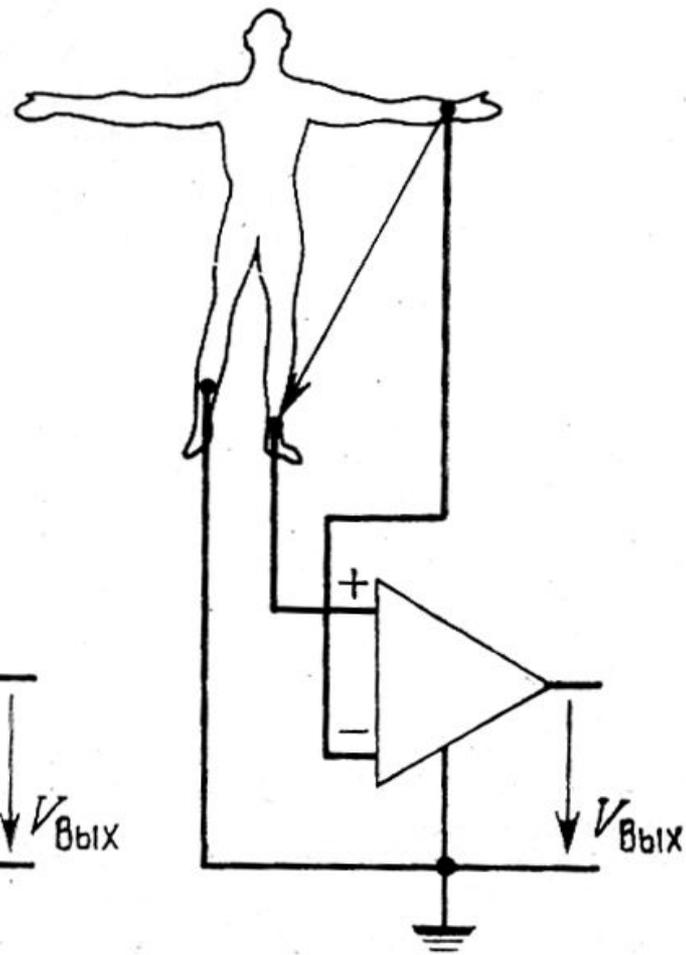
Отведение I



Отведение II

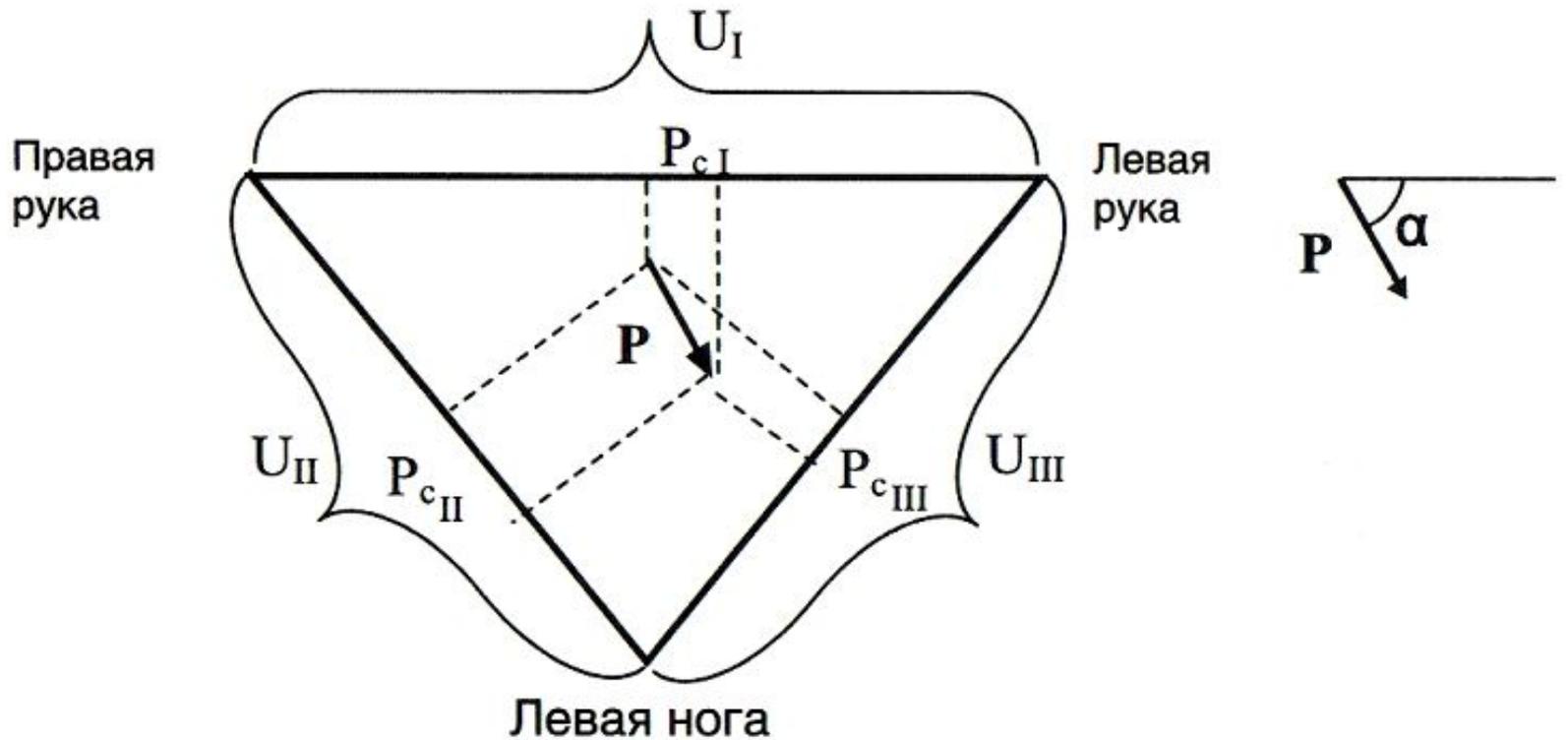


Отведение III

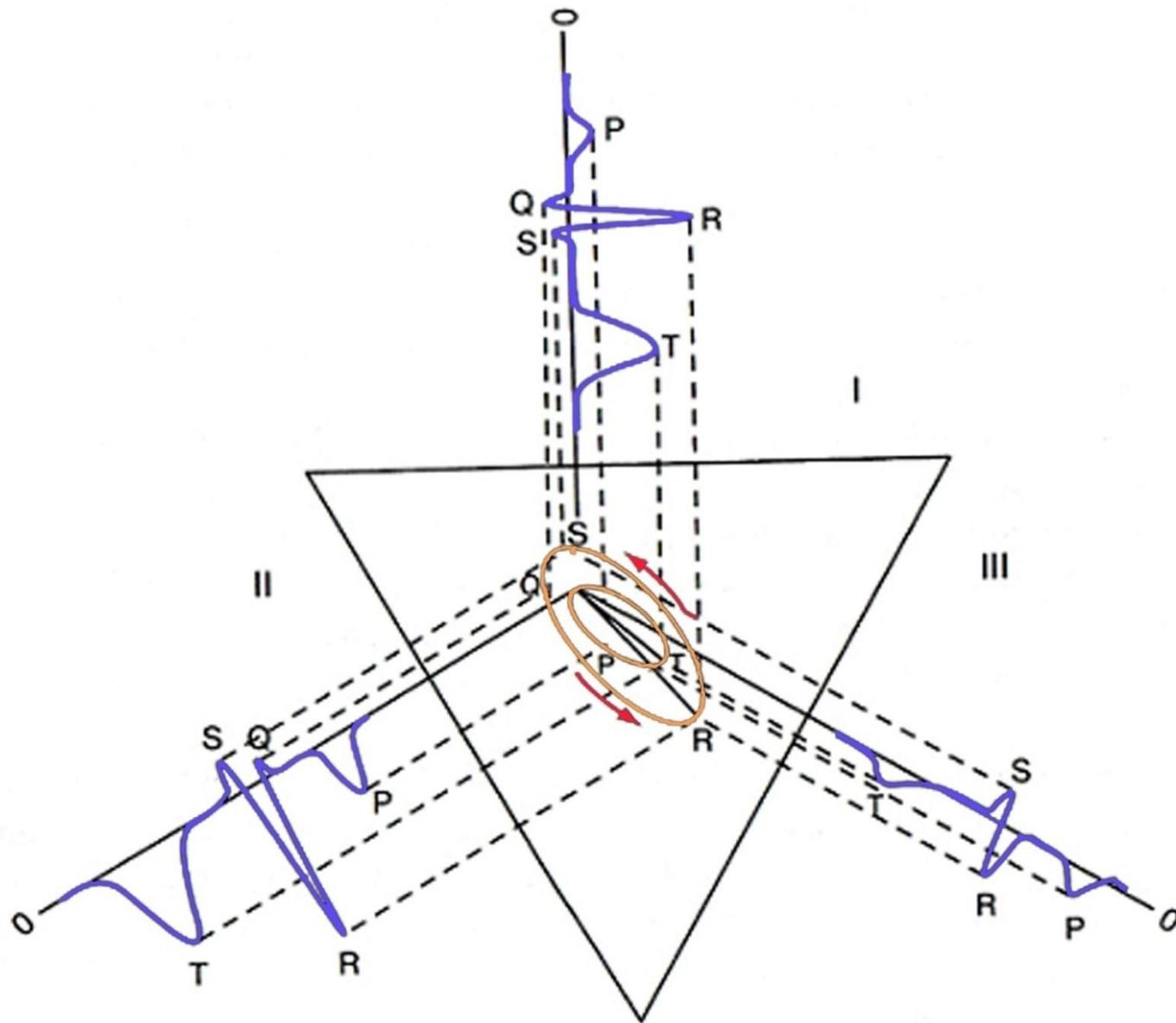


Три стандартных отведения

$$U_I : U_{II} : U_{III} = P_{cI} : P_{cII} : P_{cIII}$$

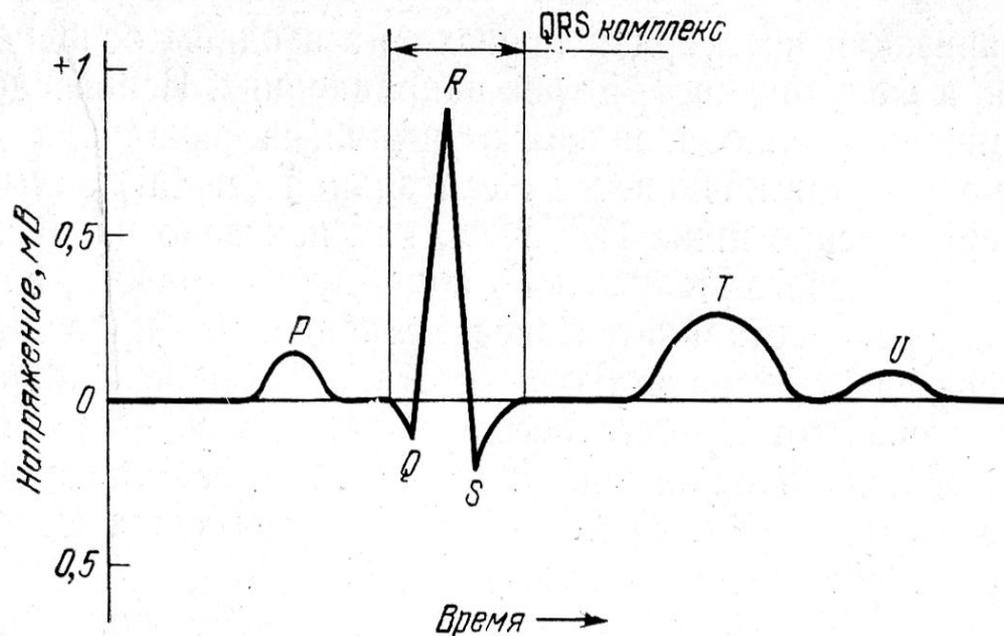


Схематическое изображение трех стандартных отведений ЭКГ



Нормальная **ЭКГ** в трех стандартных отведениях

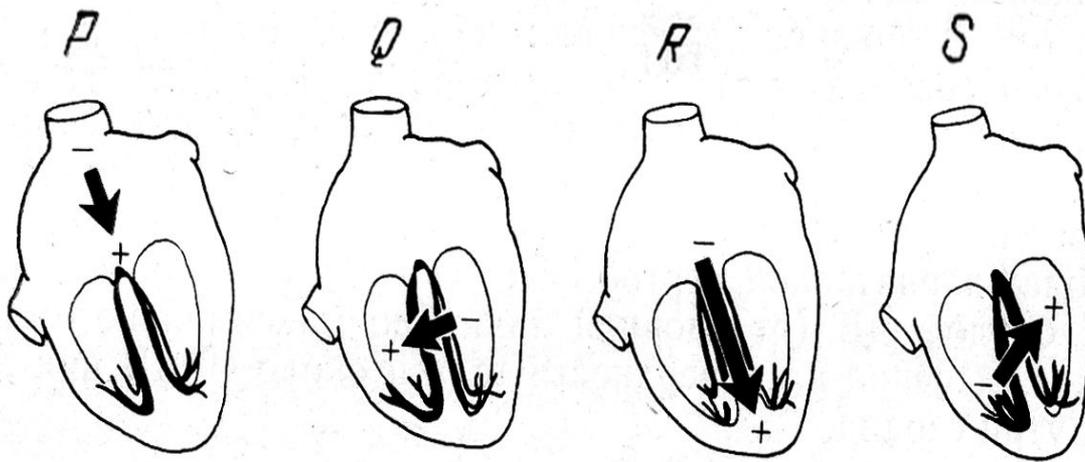
Генез зубцов ЭКГ



P –
деполяризация
предсердия;

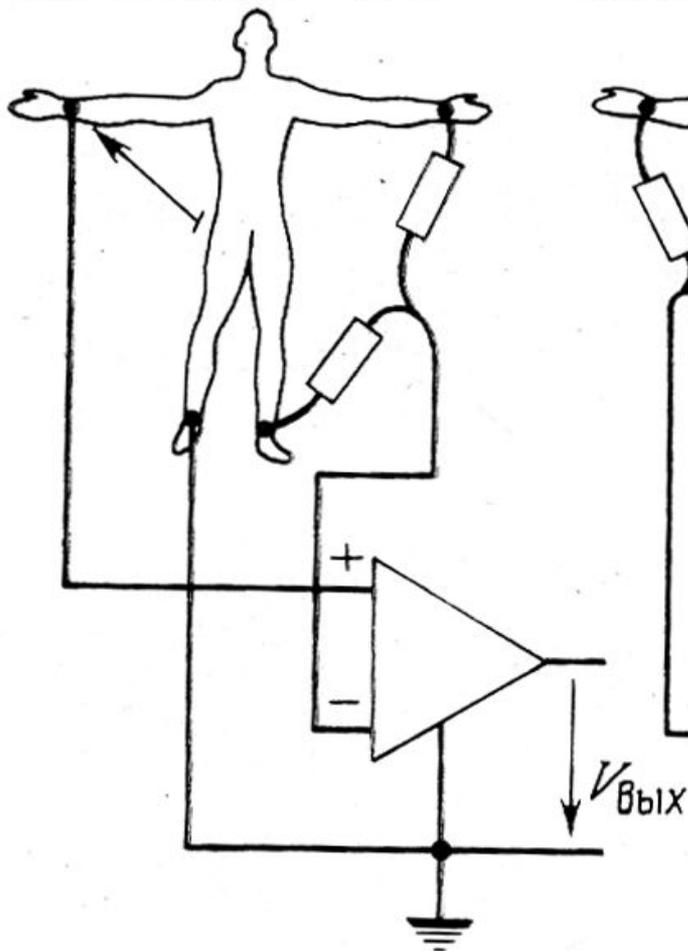
QRS –
деполяризация
желудочков;

T –
реполяризация
желудочков;

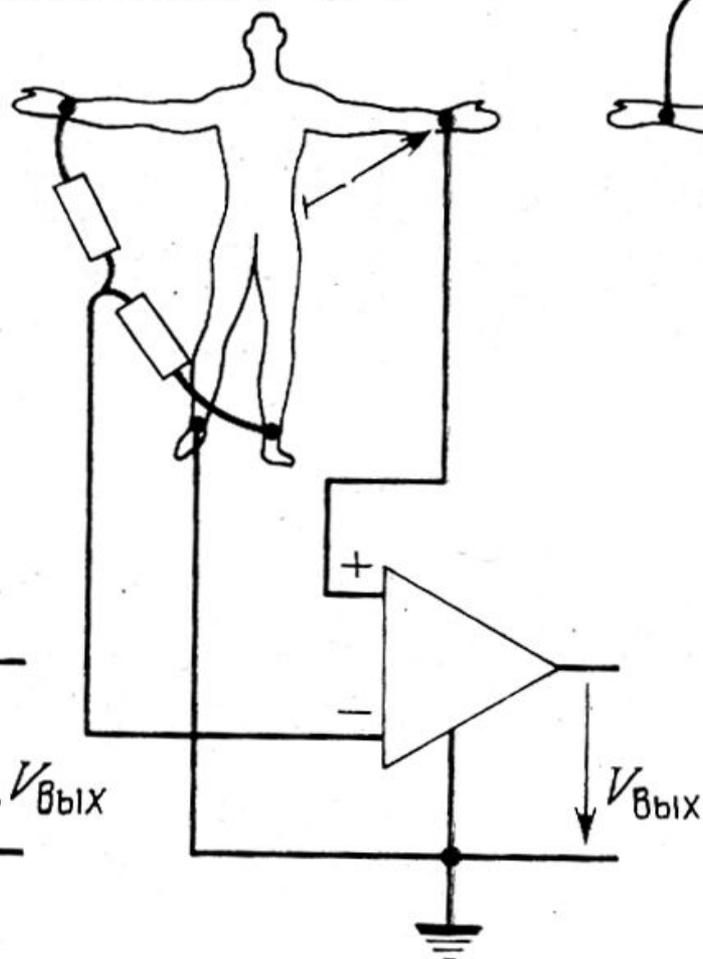


Униполярные отведения от конечностей

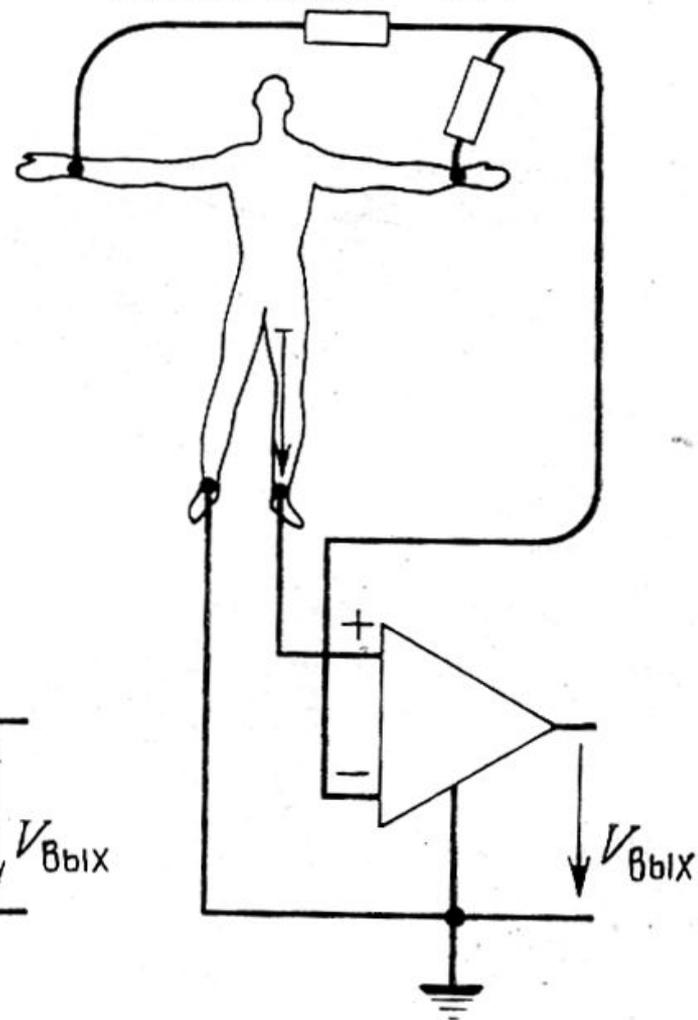
Отведение aVR



Отведение aVL



Отведение aVF



Униполярные отведения от груди

$V_1 - V_6$

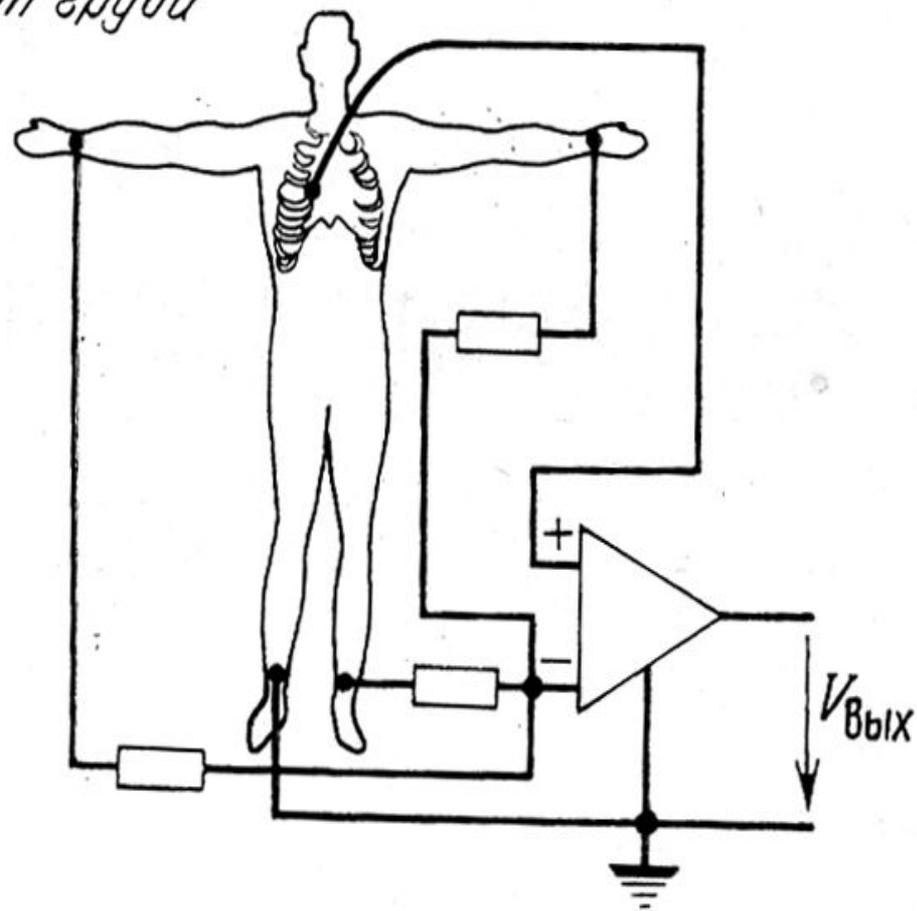
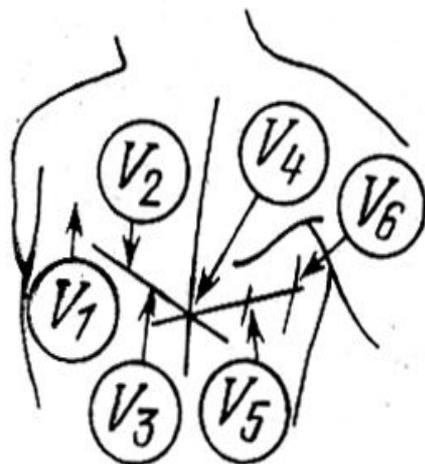
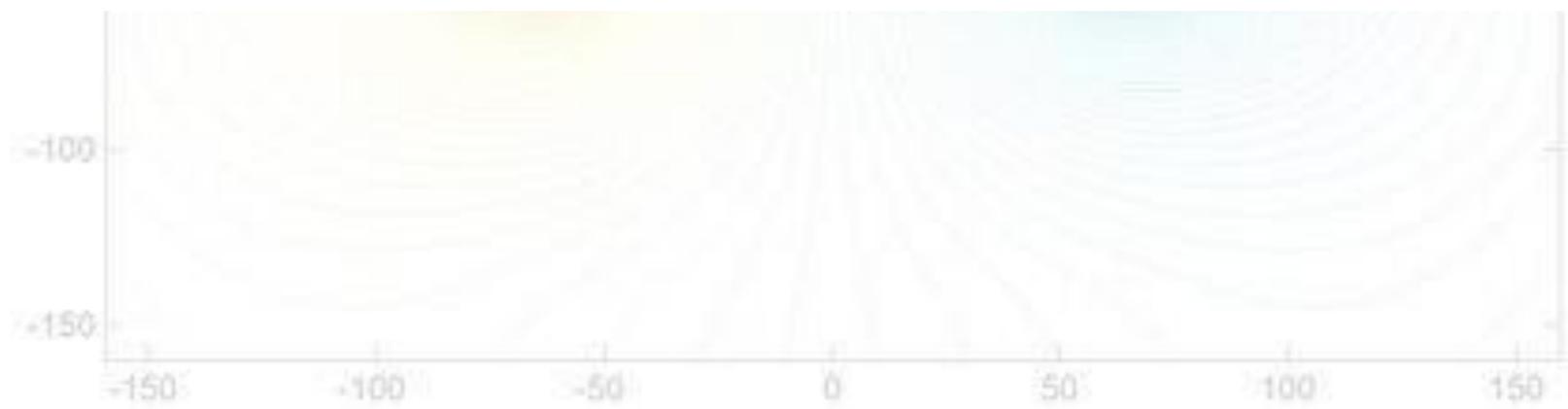
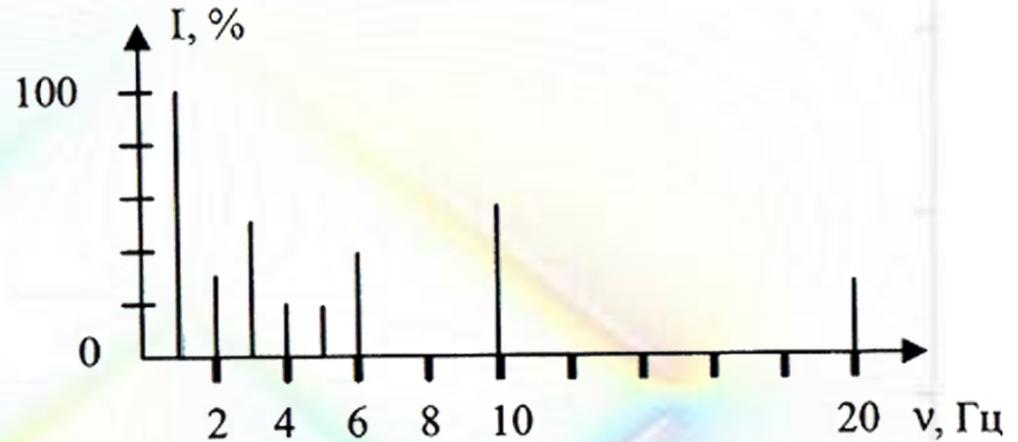
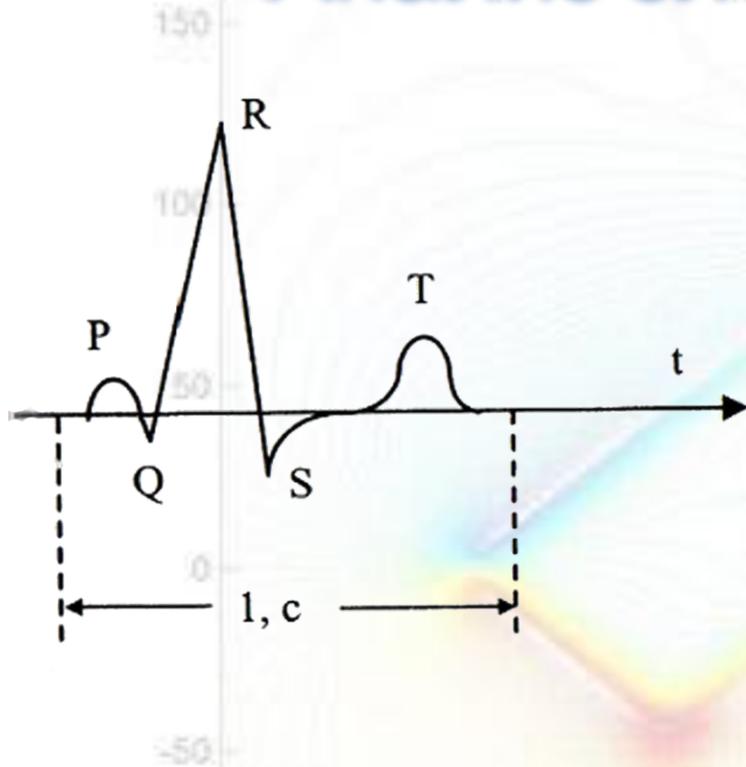


Таблица Значения дипольного момента P_c

Объект	Масса сердца, г	Масса тела, кг	P_c, мА×см
Лягушка	0,16	0,036	0,005
Крыса	1,10	0,28	0,107
Собака	100	14	1,63
Человек	300	70	2,32
Лошадь	3 000	400	13,0



Анализ электрокардиограмм



Электрокардиограмма здорового человека и ее спектр:

P – деполяризация предсердия;

QRS – деполяризация желудочков;

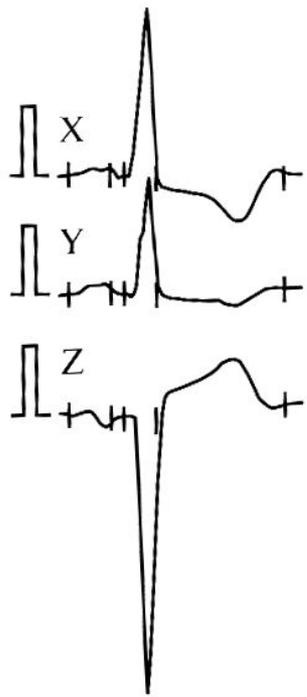
T - реполяризация желудочков;

ЧСС = 60 ударов в минуту (период сокращения - 1 с)

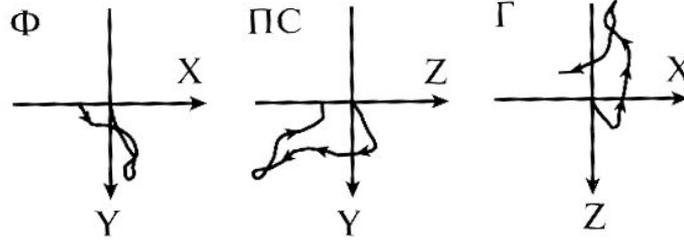
Схема преобразования ВЭКГ из двух электрокардиограмм



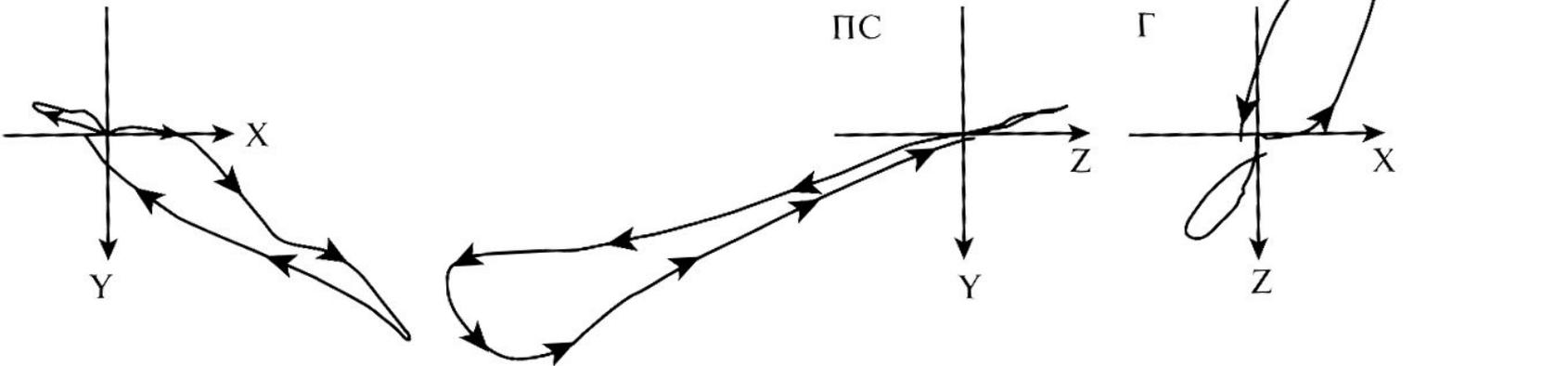
Векторэлектрокардиограмма
– геометрическое место точек,
соответствующих концу
вектора ЭВС, положение
которого изменяется за время
сердечного цикла.



Петля P



Петли QRS и T



ЭКГ и ВЭКГ больного с гипертрофией левого желудочка и увеличением левого предсердия