

БИОФИЗИКА АНАЛИЗАТОРОВ

Пять чувств, от слуха и до зренья,
Даются нам для внешнего общенья,
А мысль и память внутреннюю службу
Несут, определяя все решенья.



МОДАЛЬНОСТЬ – КАЧЕСТВО ОЩУЩЕНИЙ,
ВОЗНИКАЮЩИХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ОПРЕДЕЛЕННЫХ РАЗДРАЖИТЕЛЕЙ.

5 КЛАССИЧЕСКИХ МОДАЛЬНОСТЕЙ:

- ЗРИТЕЛЬНАЯ
- СЛУХОВАЯ
- ТАКТИЛЬНАЯ
- ОБОНЯТЕЛЬНАЯ
- ВКУСОВАЯ





Иоганнес Мюллер

1801-1858

**ЗАКОН СПЕЦИФИЧЕСКИХ
ЭНЕРГИЙ И. МЮЛЛЕРА
(I-я половина XIX века)**

- **ОДНО И ТО ЖЕ РАЗДРАЖЕНИЕ**, ДЕЙСТВУЯ НА РАЗНЫЕ ОРГАНЫ ЧУВСТВ, ВЫЗЫВАЕТ ОЩУЩЕНИЯ **РАЗЛИЧНОГО** КАЧЕСТВА.
- **РАЗНЫЕ РАЗДРАЖИТЕЛИ**, ДЕЙСТВУЯ НА ОДИН И ТОТ ЖЕ ОРГАН ЧУВСТВ, ВЫЗЫВАЮТ **ОДИНАКОВЫЕ ОЩУЩЕНИЯ**.

РЕЗЮМЕ: ХАРАКТЕР ОЩУЩЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ **НЕ СТИМУЛОМ**, А РАЗДРАЖАЕМЫМ СЕНСОРНЫМ ОРГАНОМ

Пороги раздражения

АБСОЛЮТНЫЙ ПОРОГ – минимальная величина раздражителя, вызывающая ответ анализатора

ПОРОГ определяет возбудимость

$$E = \frac{1}{J}$$

E - возбудимость

J - порог

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОРОГ – ОТНОШЕНИЕ
МИНИМАЛЬНО ВОСПРИНИМАЕМОГО ПРИРОСТА
СТИМУЛА К ИСХОДНОЙ ВЕЛИЧИНЕ.

ЭТО ВЕЛИЧИНА ПОСТОЯННАЯ

$$\frac{\Delta I}{I} = \textit{const}$$



Э.Г. Вебер
(1795-1878)

Сформулировал закон
различной
чувствительности



Г.Т. Фехнер
(1801-1887)

Основатель психофизики

Закон Вебера-Фехнера

ОЩУЩЕНИЕ изменяется пропорционально логарифму раздражителя.

Закон справедлив для любых раздражителей.

$$S = k \lg \frac{R}{r}$$

S – ощущение,

R – текущее значение стимула,

r – пороговое значение стимула, **k** - константа





Стэнли СТИВЕНС

1906 - 1973

ЗАКОН С. СТИВЕНСА

Интенсивность ощущения описывается степенной функцией

$$I = k(S - S_0)^n$$

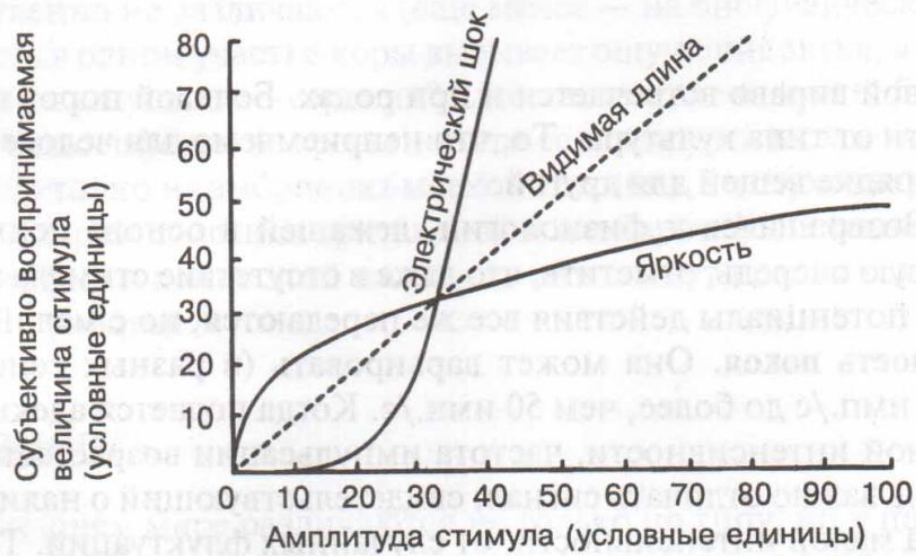
$$\lg I = \lg k + n \lg(S - S_0)$$

I – интенсивность ощущения

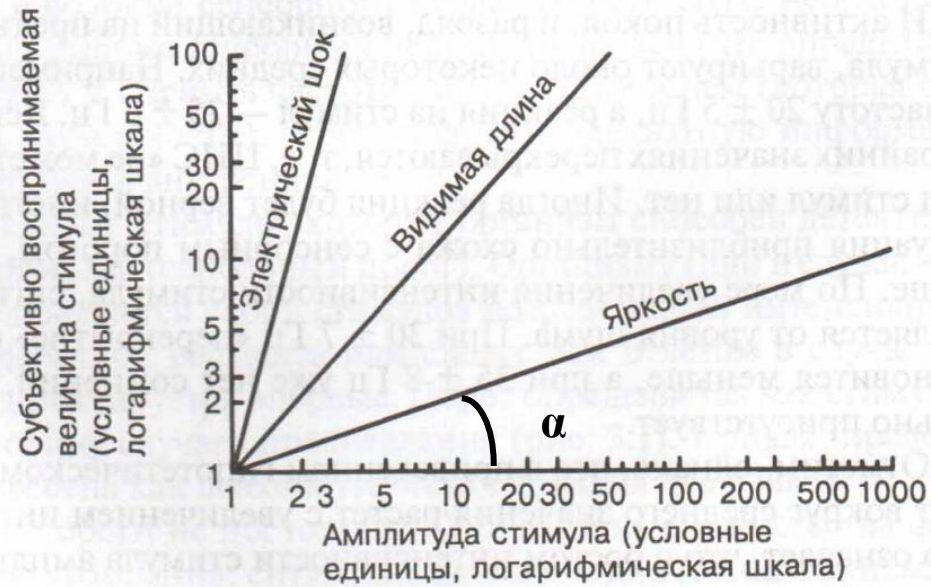
S₀ - порог

n (0,33 – 3,5) варьирует от одной модальности к другой

А



Б



n определяется
углом наклона α

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

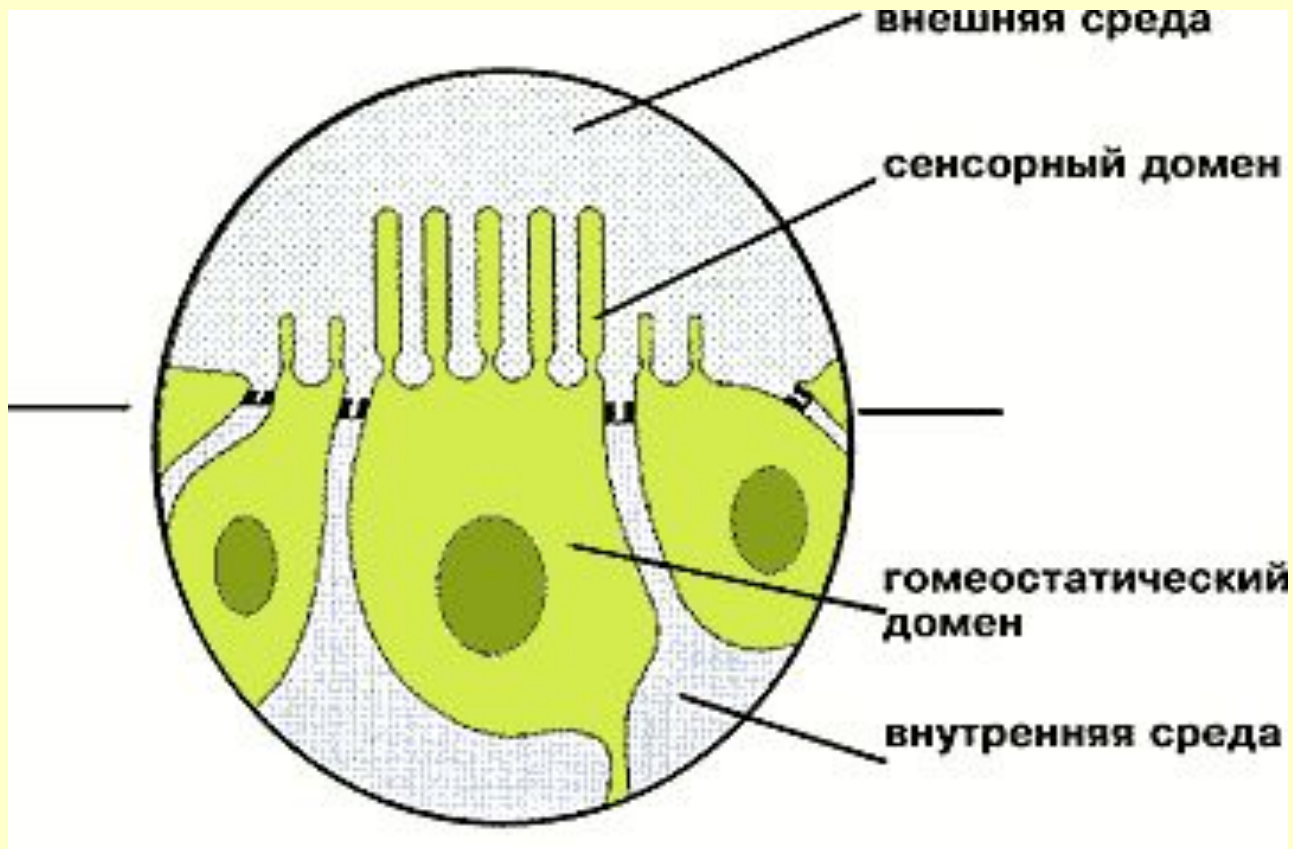
рецептор

```
graph TD; A[рецептор] --> B[Проводниковый отдел]; B --> C[Центральный отдел (кора больших полушарий)];
```

Проводниковый
отдел

Центральный отдел (кора
больших полушарий)

РЕЦЕПТОР: воспринимает и преобразует определенный стимул внешней среды



МЕХАНИЗМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В СЕНСОРНОЙ

КЛЕТКЕ: ЭНЕРГИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО СТИМУЛА

ПРЕОБРАЗУЕТСЯ В ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ФАКТОРА НА РЕЦЕПТОРНУЮ ЧАСТЬ СЕНСОРНОЙ КЛЕТКИ ВЕДЕТ К **ИЗМЕНЕНИЮ**

РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ, которое называют

РЕЦЕПТОРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ или

ГЕНЕРАТОРНЫМ ПОТЕНЦИАЛОМ (если сигнал передается к синапсу импульсами).

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ:

деполяризация или гиперполяризация

ПРИЧИНА этого – изменение ионной проницаемости мембраны.

МЕХАНИЗМ СЕНСОРНОЙ ТРАНСДУКЦИИ

РЕЦЕПТОР + СТИМУЛ

(свет, химический агент
и др.)

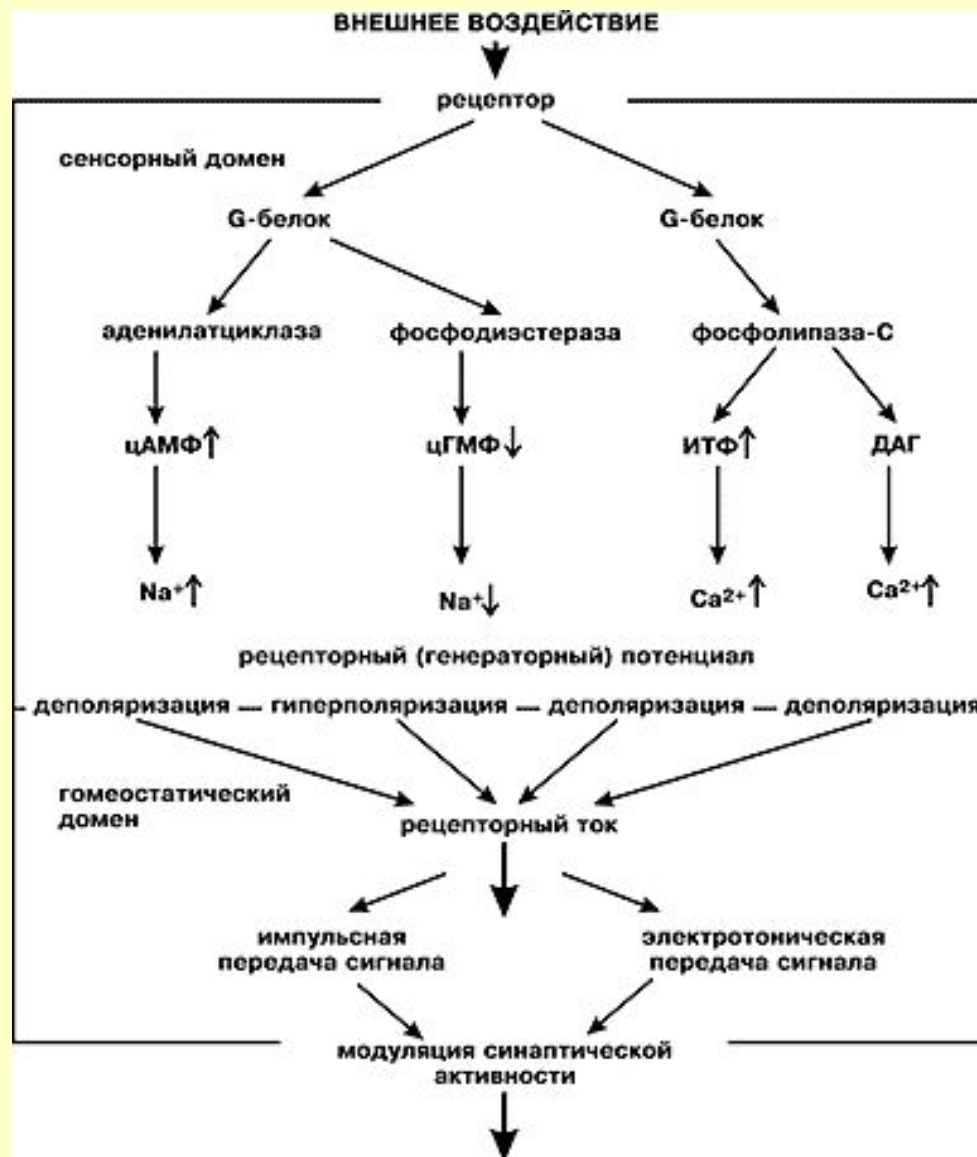
Активация G-белка

**G-белок активирует
специфический фермент,**
который либо продуцирует,
либо разрушает молекулы
вторичных посредников

Изменение состояния ионных каналов

**Деполаризация или гиперполяризация
мембраны сенсорной клетки**

Схема основных путей сенсорной трансдукции с участием внутриклеточных посредников.



БИОФИЗИКА СЛУХОВОГО АНАЛИЗАТОРА

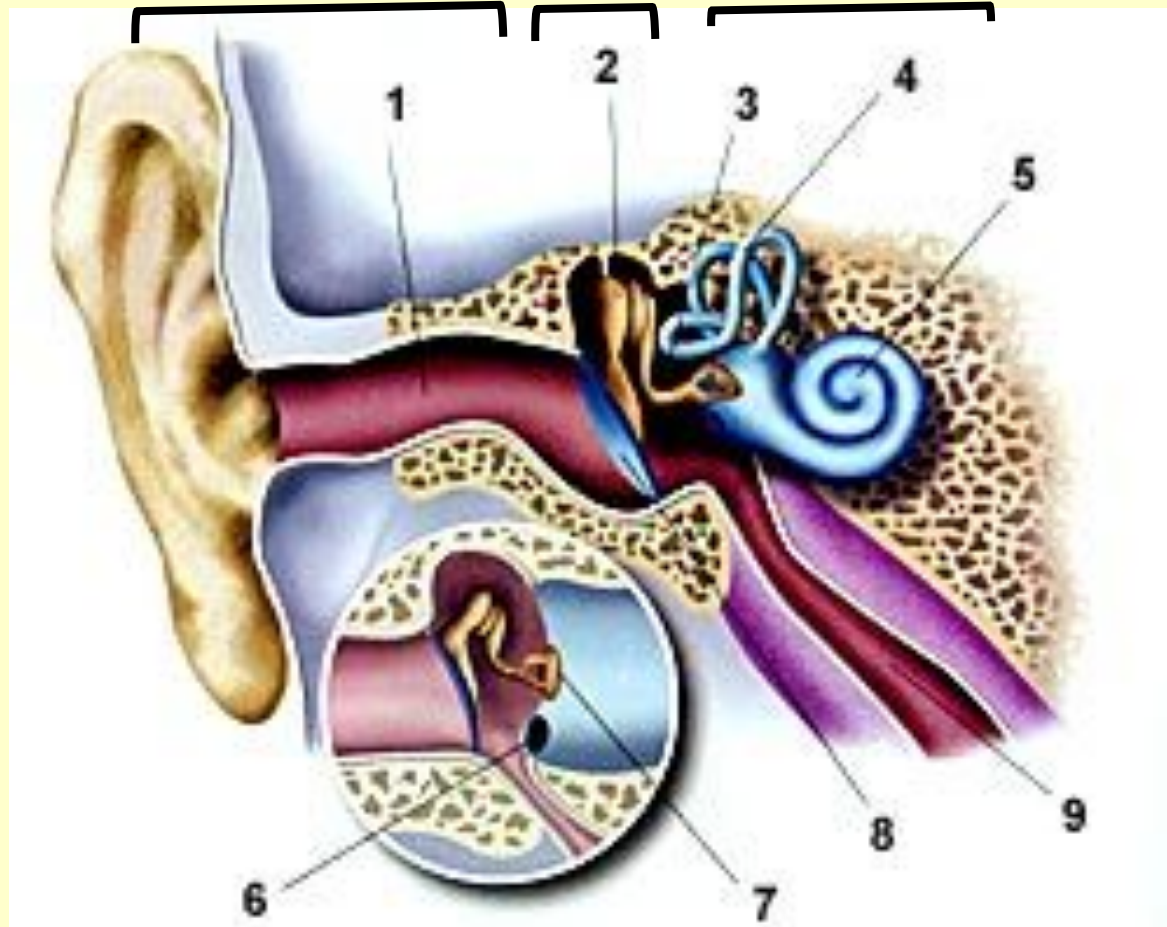
АДЕКВАТНЫЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ – ЗВУК

ДИАПАЗОН ВОСПРИНИМАЕМЫХ ЗВУКОВ

от 15 – 16 Гц до 20 – 22 кГц

РЕЧЬ ЧЕЛОВЕКА от 300 до 4000 Гц

наружное среднее внутреннее



1. Слуховой проход
2. Среднее ухо
3. Внутреннее ухо
4. Полукружные каналы
5. Улитка

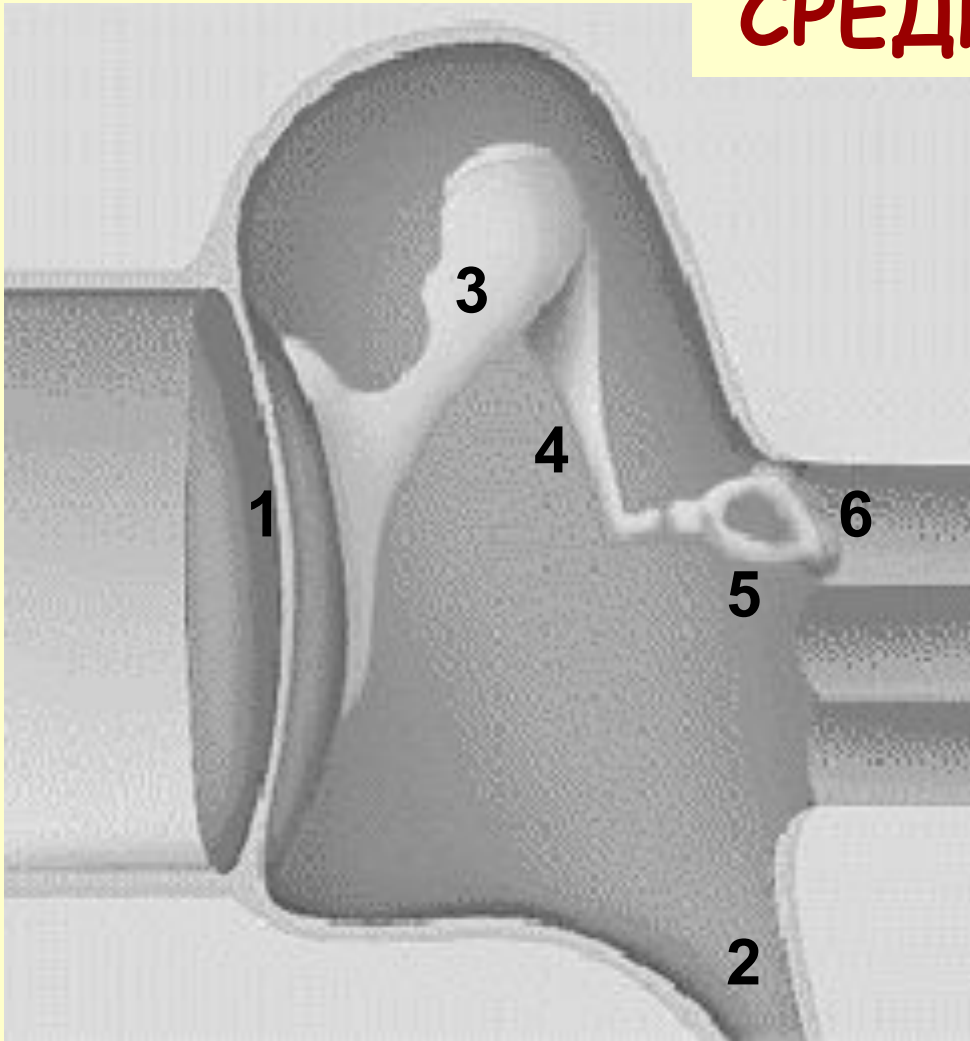
6. Круглое окно
7. Овальное окно
8. Барабанная перепонка
9. Евстахиева труба

ФУНКЦИИ НАРУЖНОГО УХА

- АКУСТИЧЕСКАЯ
- ЗАЩИТНАЯ
- ЭСТЕТИЧЕСКАЯ



СРЕДНЕЕ УХО



**1 – БАРАБАННАЯ
ПЕРЕПОНКА**

**2 – ЕВСТАХИЕВА
ТРУБА**

**3 – 5 СЛУХОВЫЕ
КОСТОЧКИ**

3 – МОЛОТОЧЕК

4 – НАКОВАЛЬНЯ

5 – СТРЕМЕЧКО

**6 – ОВАЛЬНОЕ
ОКНО**

ФУНКЦИИ СРЕДНЕГО УХА

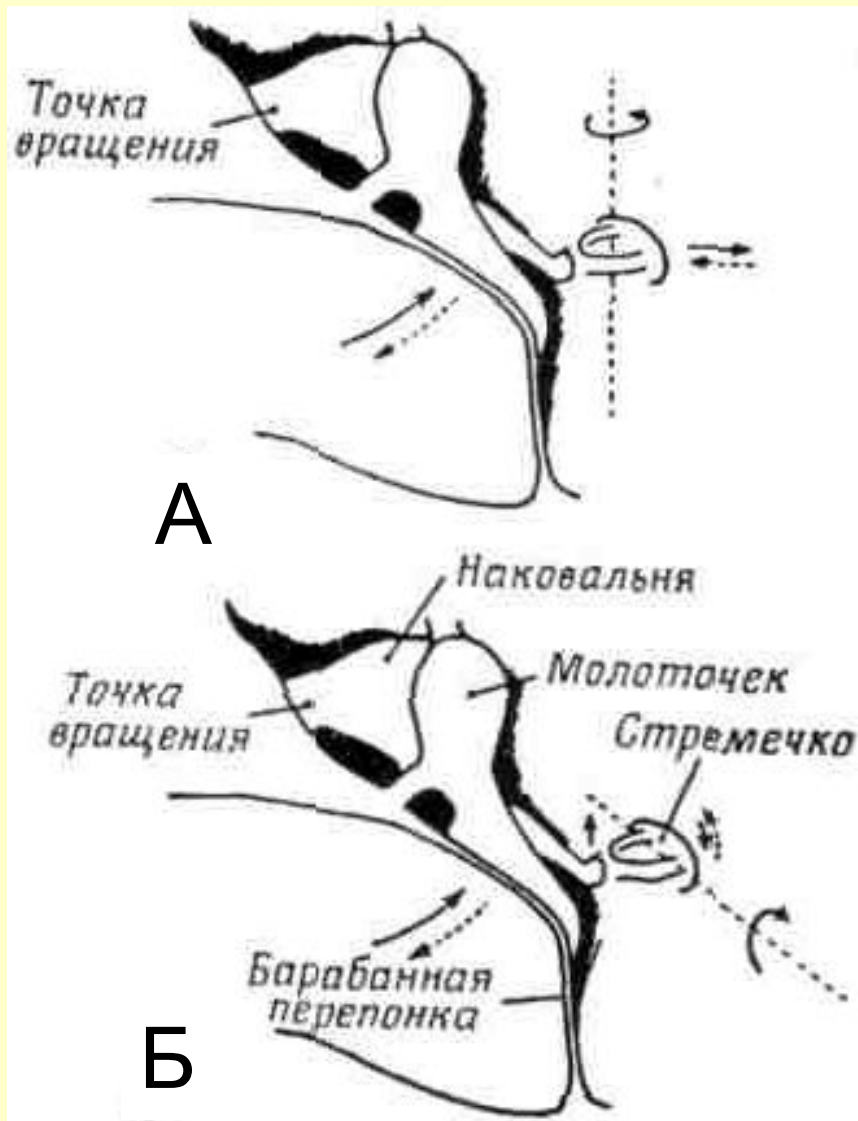
- **ТРАНСФОРМАЦИЯ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ВОЗДУХА В КОЛЕБАНИЯ ЖИДКОСТИ В УЛИТКЕ**
- **УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА**
- **ЗАЩИТНАЯ РОЛЬ**

УСИЛЕНИЕ СИГНАЛА

ДВА МЕХАНИЗМА:

- ПЛОЩАДЬ БАРАБАННОЙ ПЕРЕПОНКИ БОЛЬШЕ ПЛОЩАДИ ОВАЛЬНОГО ОКНА в 14 – 18 раз
- КОСТОЧКИ СОЕДИНЕНЫ КАК РЫЧАГ (1,3:1)

- ОБЩИЙ ВЫИГРЫШ В 17 РАЗ



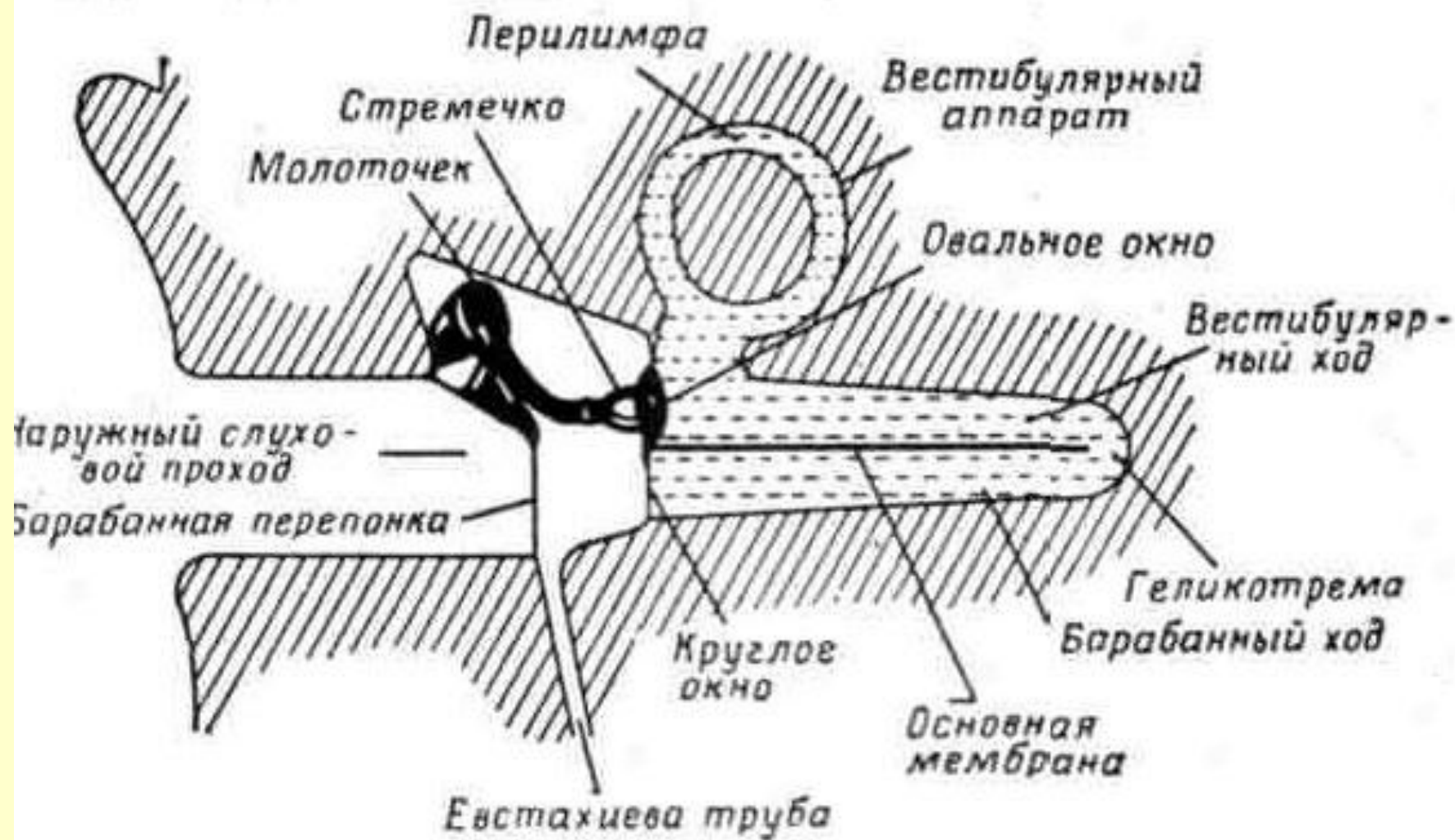
ЗАЩИТНАЯ РОЛЬ

ДВА ТИПА КОЛЕБАНИЯ СТРЕМЕЧКА

А- вращение стремечка **вокруг вертикальной оси** (слабая, средняя сила звука)

Б- вращение стремечка **вокруг горизонтальной оси** (громкий звук)

БИОФИЗИКА ВНУТРЕННЕГО УХА

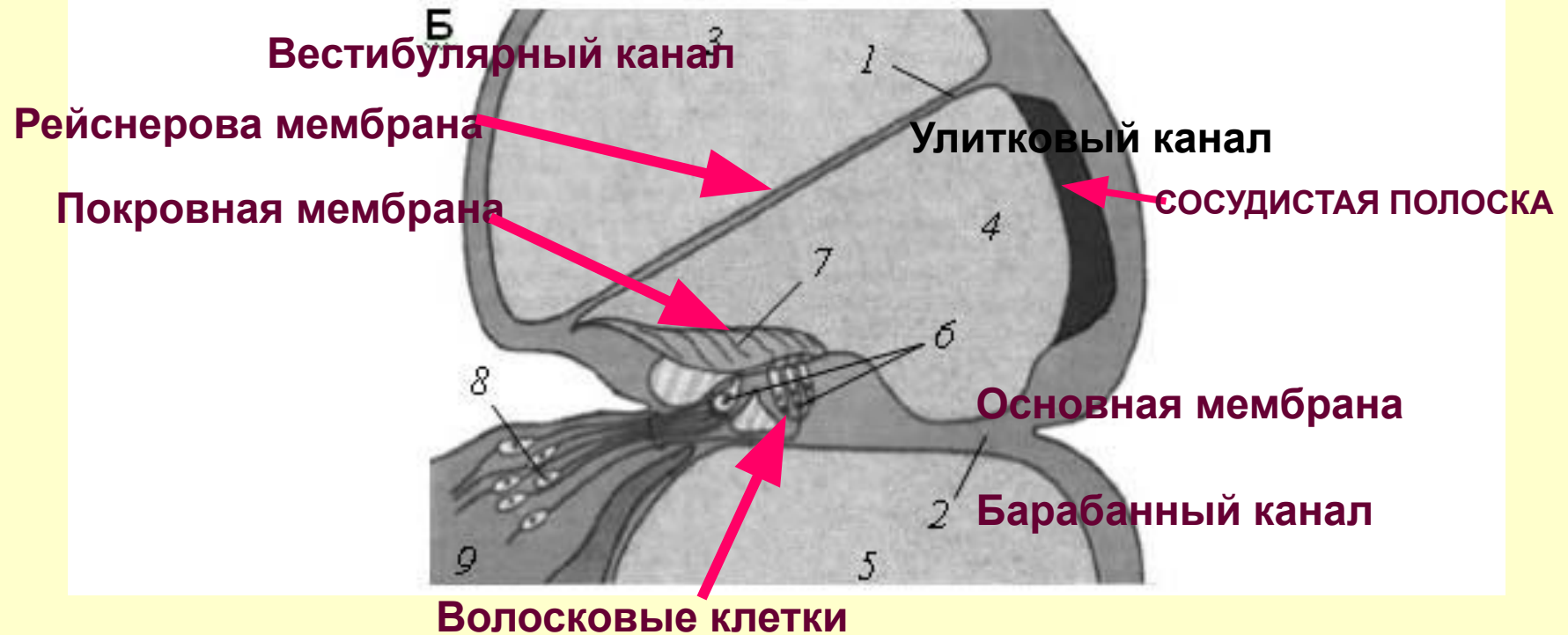
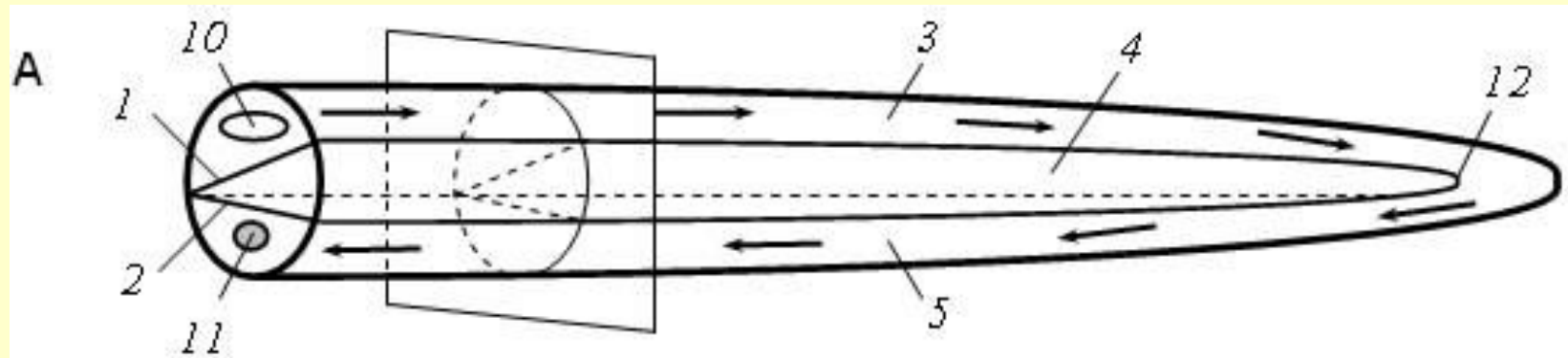


ВЕСТИБУЛЯРНЫЙ И БАРАБАННЫЙ КАНАЛЫ
ЗАПОЛНЕНЫ **ПЕРИЛИМФОЙ**,
УЛИТКОВЫЙ КАНАЛ – **ЭНДОЛИМФОЙ**

ПЕРИЛИМФА: 140 ммоль/л Na⁺

ЭНДОЛИМФА: 155 ммоль/л K⁺

Схематическое изображение улитки (А) и ее поперечный разрез (Б).



Особенности основной мембраны

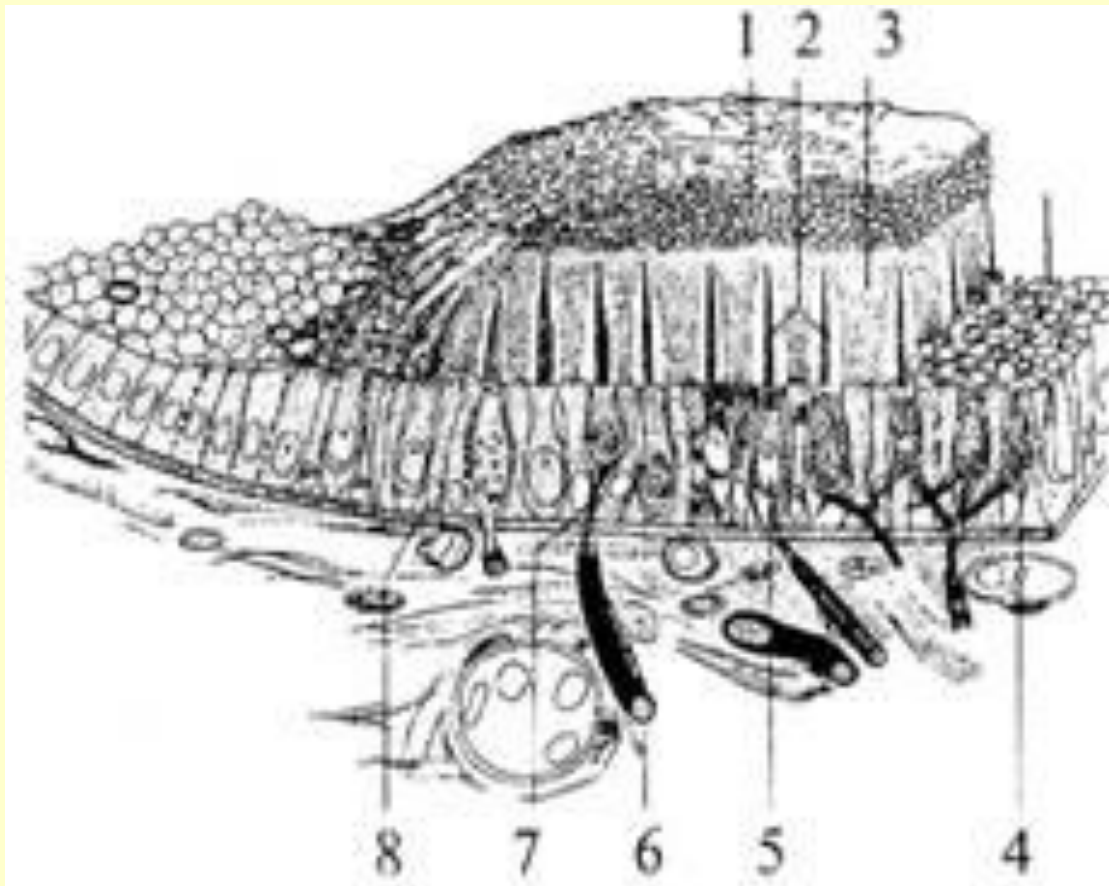


СХЕМАТИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ РАЗВЕРНУТОЙ УЛИТКИ



ОСОБЕННОСТЬ ОСНОВНОЙ (БАЗИЛЯРНОЙ
МЕМБРАНЫ)

**НАРАСТАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ОТ ВЕРШИНЫ УЛИТКИ К
ОСНОВАНИЮ**

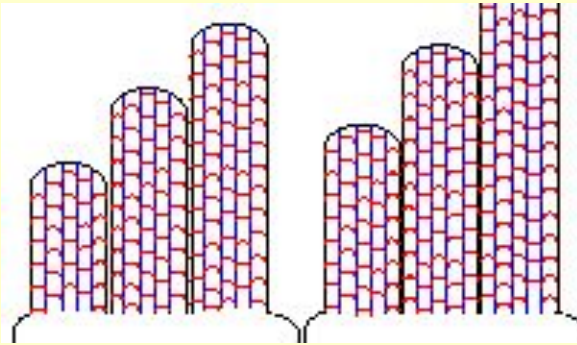
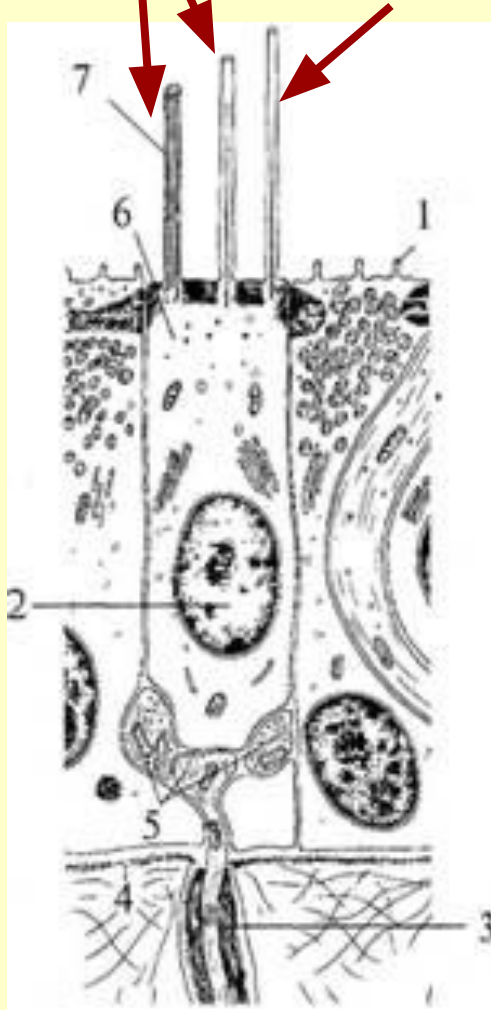


КОРТИЕВ ОРГАН

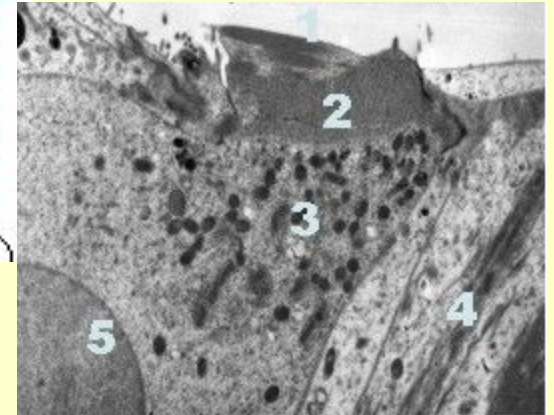
ВОЛОСКОВАЯ КЛЕТКА

СТЕРЕОЦИЛИИ

КИНОЦИЛИЯ

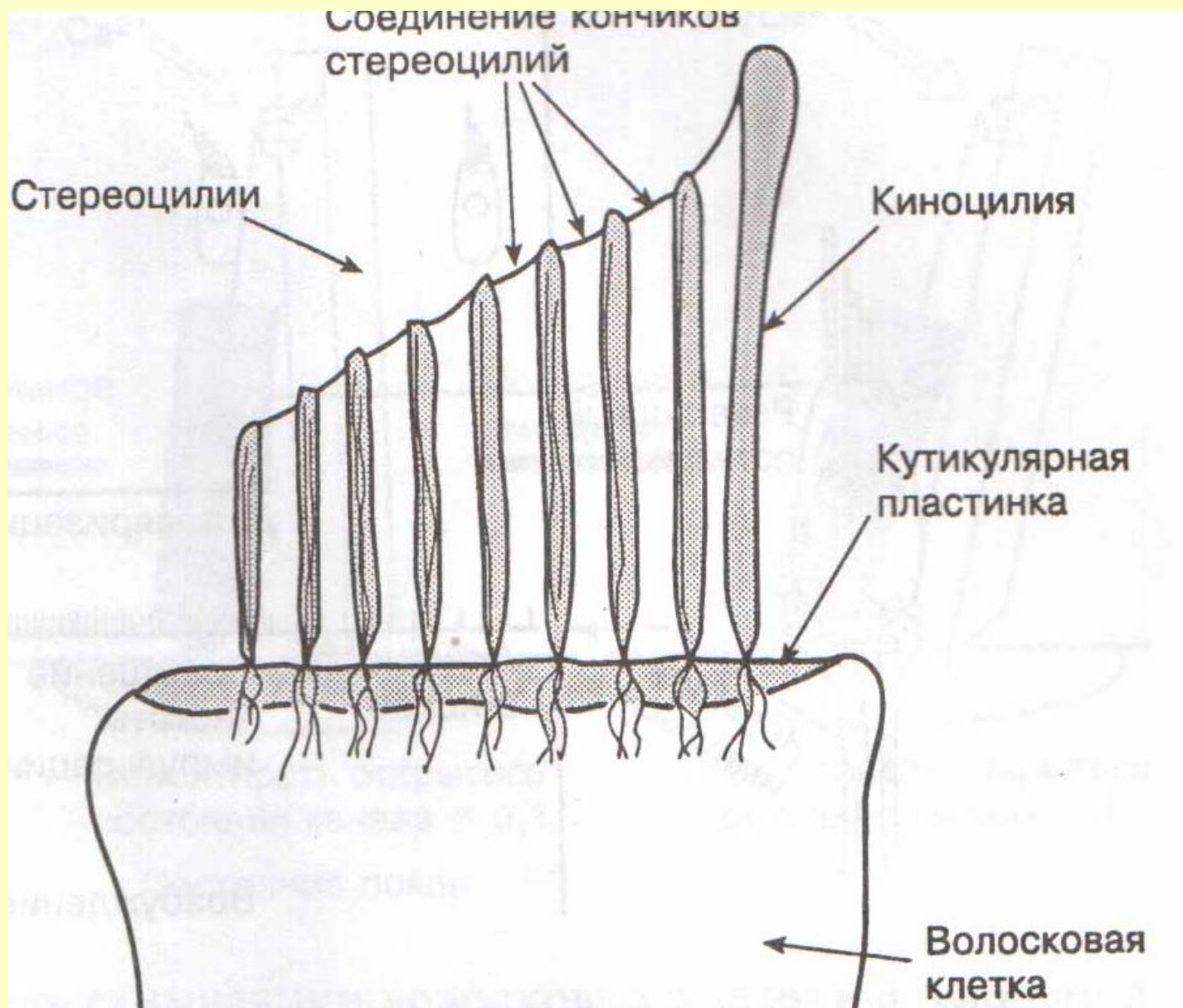


ЦИТОСКЕЛЕТ
ВОЛОСКОВЫХ КЛЕТОК



ЭЛЕКТРОНОГРАММА
ВОЛОСКОВОЙ КЛЕТКИ
МОРСКОЙ СВИНКИ

- 1- стереоцилии
- 2- кутикулярная пластинка
- 3- митохондрии
- 4- опорные клетки
- 5- ядро



ТЕОРИИ КОДИРОВАНИЯ ЗВУКА В УЛИТКЕ

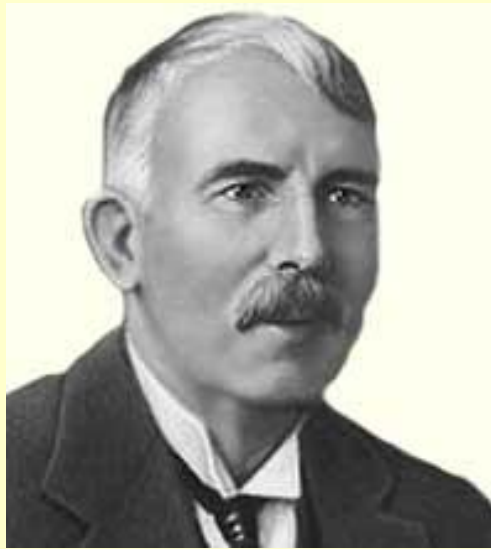
1. РЕЗОНАНСНАЯ ТЕОРИЯ Г.ГЕЛЬМГОЛЬЦА
2. ТЕЛЕФОННАЯ ТЕОРИЯ Э.РЕЗЕРФОРДА
3. ТЕОРИЯ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ Г.БЕКЕШИ



Г. ГЕЛЬМГОЛЬЦ
(1821-1894)

РЕЗОНАНСНАЯ ТЕОРИЯ
ОСНОВНАЯ МЕМБРАНА СОСТОИТ
ИЗ МНОЖЕСТВА НАТЯНУТЫХ
СТРУН, НАСТРОЕННЫХ В
РЕЗОНАНС К ОПРЕДЕЛЕННЫМ
ЧАСТОТАМ





Эрнест Резерфорд
(1871-1937)



ТЕЛЕФОННАЯ ТЕОРИЯ Э. РЕЗЕРФОРДА

ОСНОВНАЯ МЕМБРАНА – ЖЕСТКАЯ ПЛАСТИНКА

**ПОСТОЯННЫЙ ТОН ЗАСТАВЛЯЕТ ВСЮ МЕМБРАНУ
КОЛЕБАТЬСЯ В ФАЗЕ**



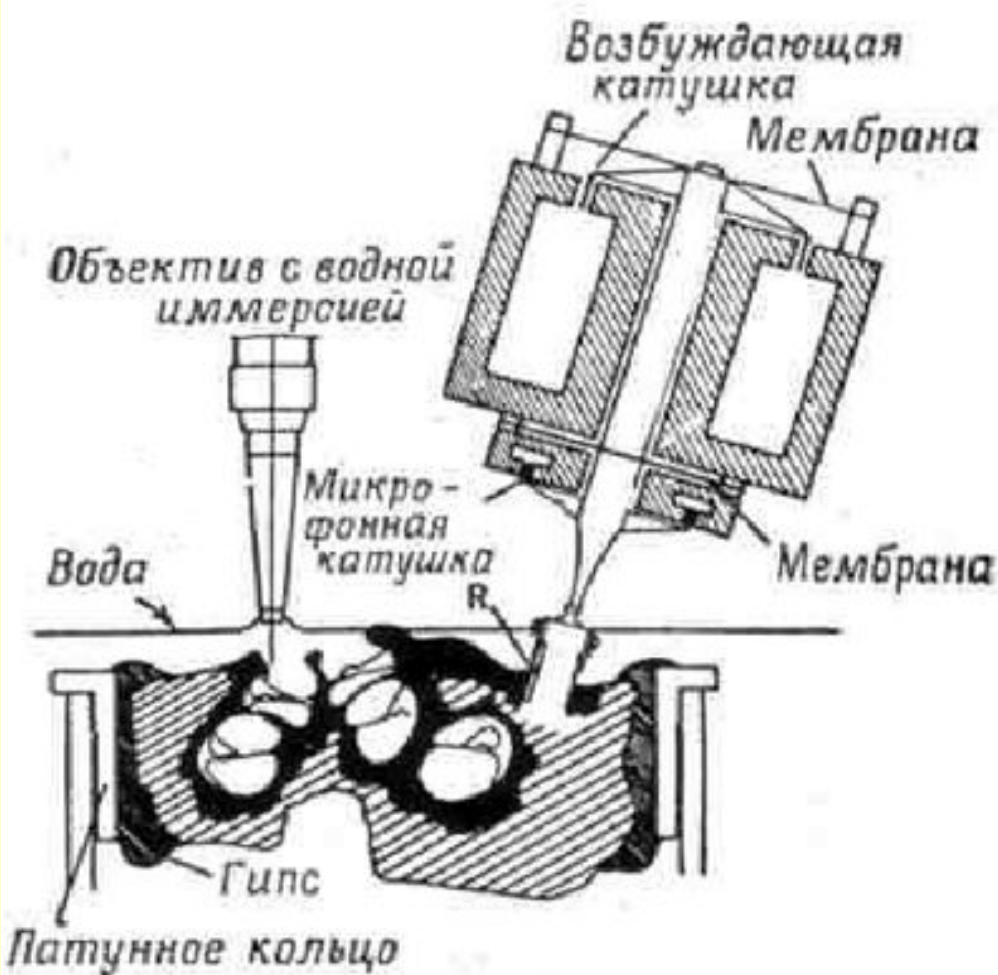
ТЕОРИЯ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

Нобелевская премия
по физиологии и
медицине, 1961 г.

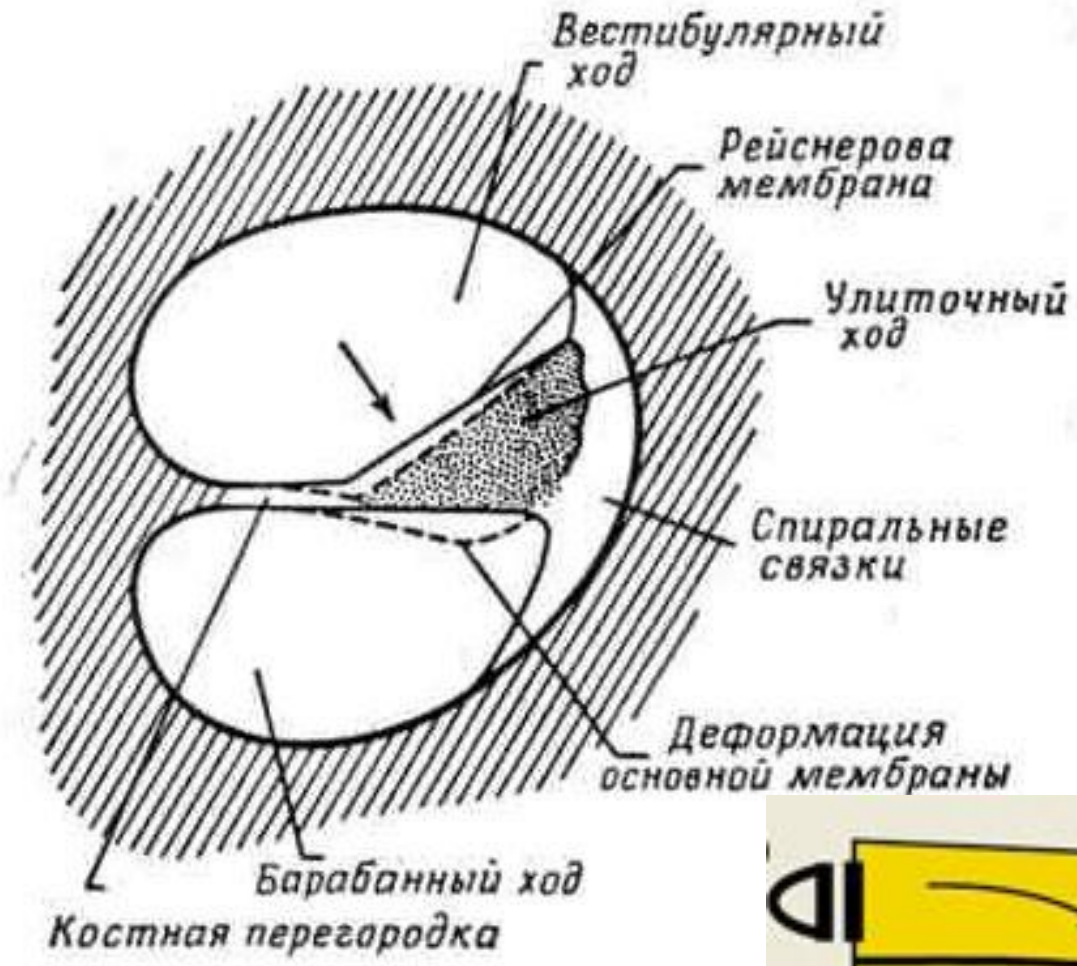
Г. БЕКЕШИ

1899 –1972

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ КОЛЕБАНИЙ ОСНОВНОЙ МЕМБРАНЫ

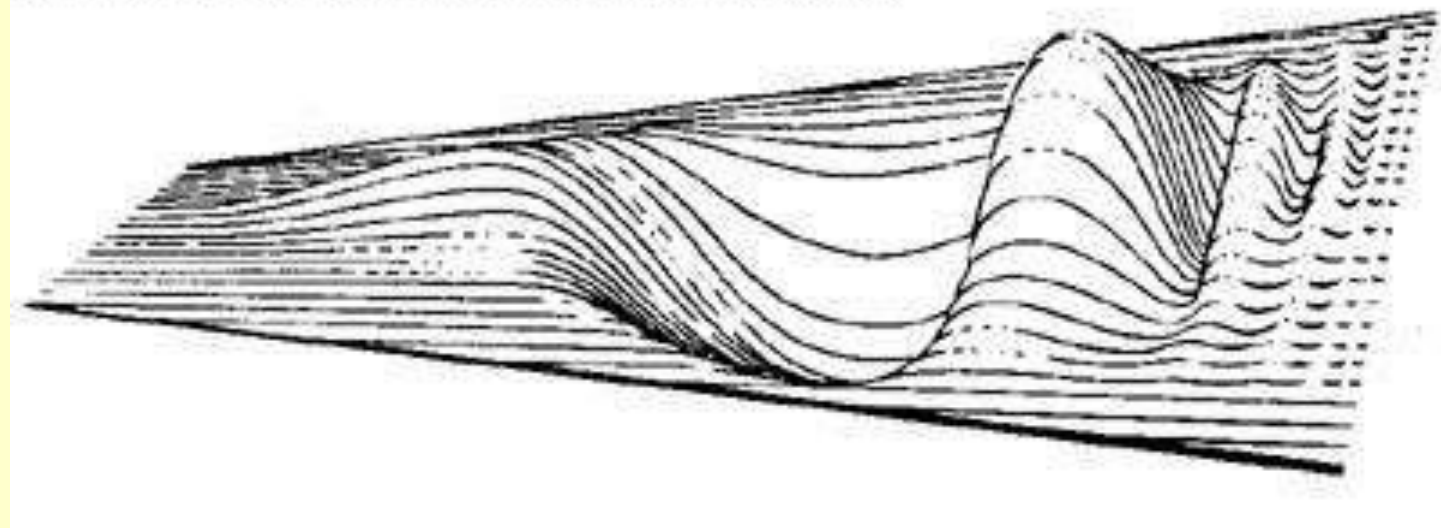


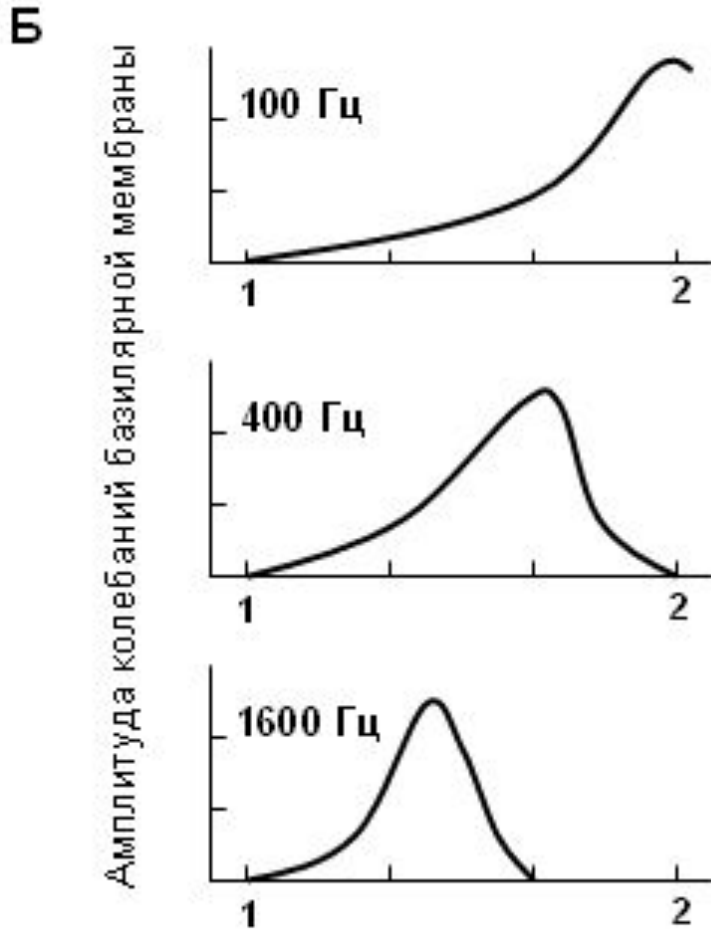
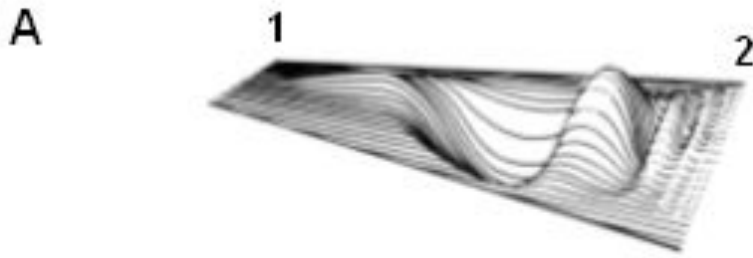
Улитка помещена под водой и открыта на своей вершине. Маленькая металлическая трубочка R укрепляется вместо стремечка и покрывается резиновой мембраной, которая смещается на известную амплитуду. Благодаря подводному микроскопу и стробоскопическому освещению можно наблюдать колебания серебряных кристалликов, сброшенных на перегородку улитки (Бекеша, 1943).



Когда прикладывается давление (см. направление стрелки), то улиточный ход вдавливаются в барабанный ход, что показано пунктиром (Бекешу, 1941).

Рис 4 Бегущая волна на базилярной мембране



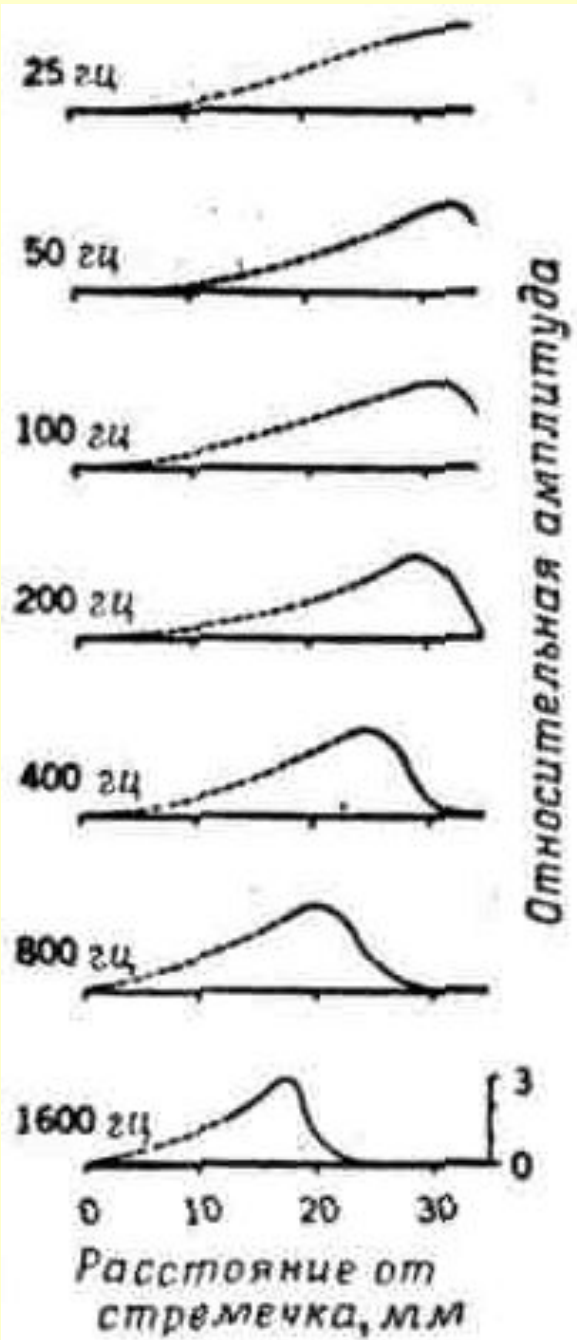


А – бегущая волна в базилярной мембране,

Б – амплитуда колебаний базилярной мембраны (бегущей волны) при действии звуков разных частот.

1 - проксимальный конец базилярной мембраны (обращен к овальному окну) чувствителен к колебаниям высоких частот,

2 - дистальный конец базилярной мембраны (обращен к геликотреме) чувствителен к колебаниям низких частот



АМПЛИТУДЫ СМЕЩЕНИЯ ВДОЛЬ ОСНОВНОЙ МЕМБРАНЫ ДЛЯ РАЗНЫХ ЧАСТОТ

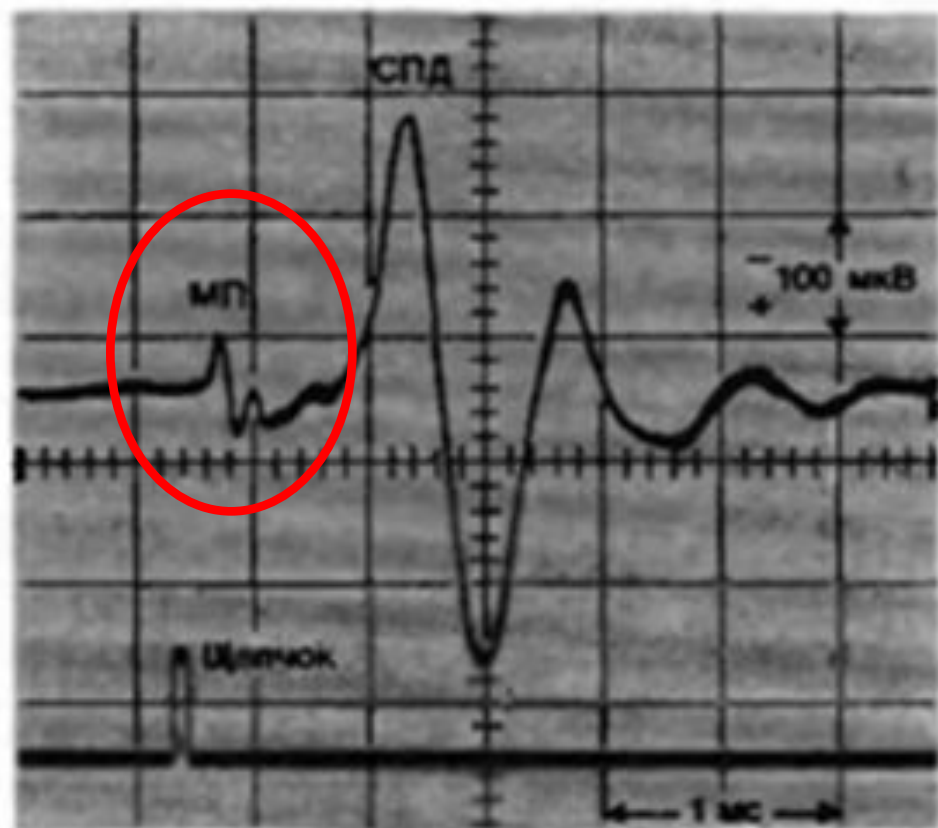
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ УЛИТКИ

МИКРОФОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ (МФ)

ОБНАРУЖЕН **УИВЕРОМ** и **БРЕЕМ** В 1930 ГОДУ.

ПРИЗНАКИ:

- НЕ ИМЕЕТ ПОРОГА
- ПАРАМЕТРЫ **МФ** СООТВЕТСТВУЮТ ПАРАМЕТРАМ СТИМУЛА
- ОТСУТСТВУЕТ ЛАТЕНТНЫЙ ПЕРИОД, СИНХРОНЕН ЗВУКОВОМУ СИГНАЛУ
- НЕТ РЕФРАКТЕРНОГО ПЕРИОДА
- НЕ ПОДВЕРЖЕН УТОМЛЕНИЮ
- МАКСИМАЛЬНАЯ АМПЛИТУДА **МФ** НАХОДИТСЯ В РАЗНЫХ УЧАСТКАХ УЛИТКИ И ЗАВИСИТ ОТ ЧАСТОТЫ СТИМУЛА, КАК И МАКСИМУМЫ БЕГУЩЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ



Микрофонный потенциал улитки (МП) и составной потенциал действия (СПД) слухового нерва, зарегистрированные у круглого окна при звуке щелчка

ЭНДОКОХЛЕАРНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

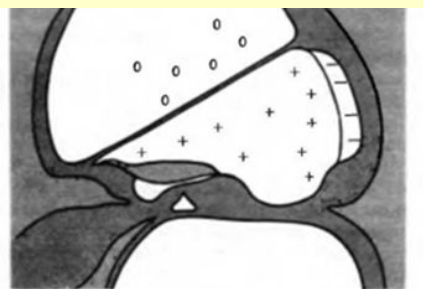
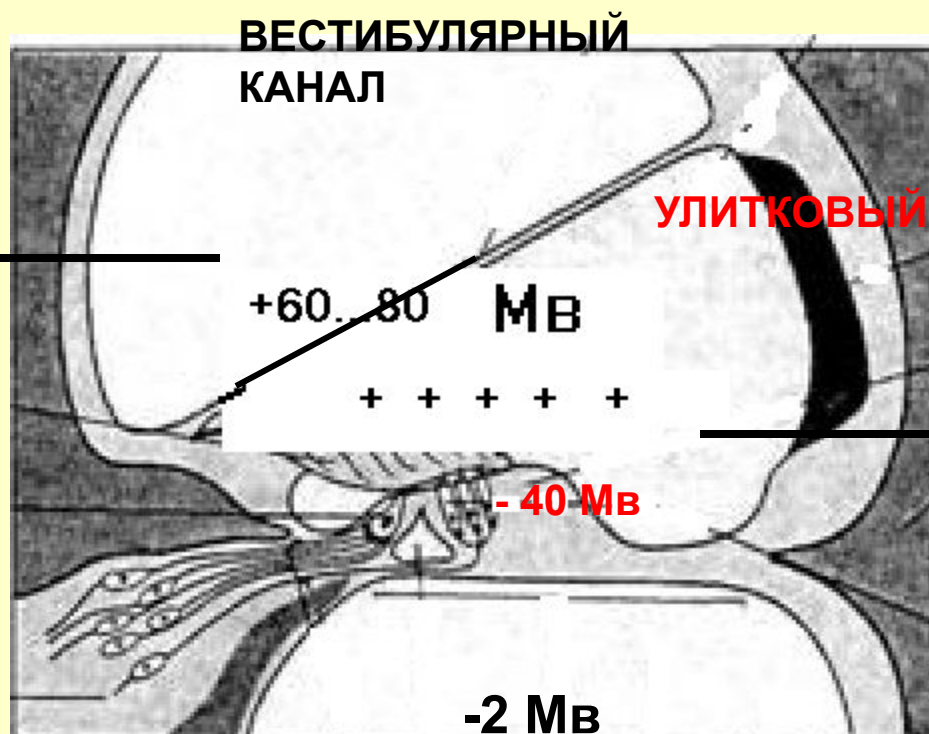


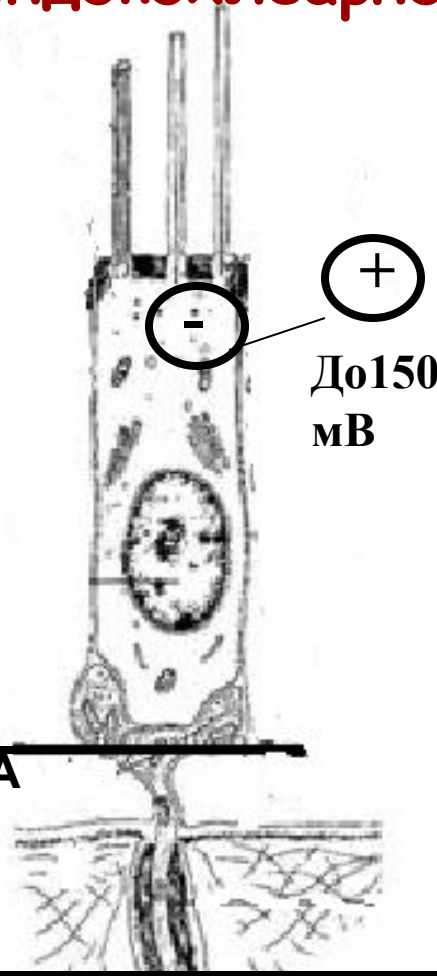
Рис. 12.10. Постоянные потенциалы улитки

Формирование эндокохлеарного потенциала

СТЕРЕОЦИЛИИ

ЭНДОЛИМФА

ОСНОВНАЯ МЕМБРАНА



эндолимфа

+60...+80

перилимфа

0

Цитоплазма

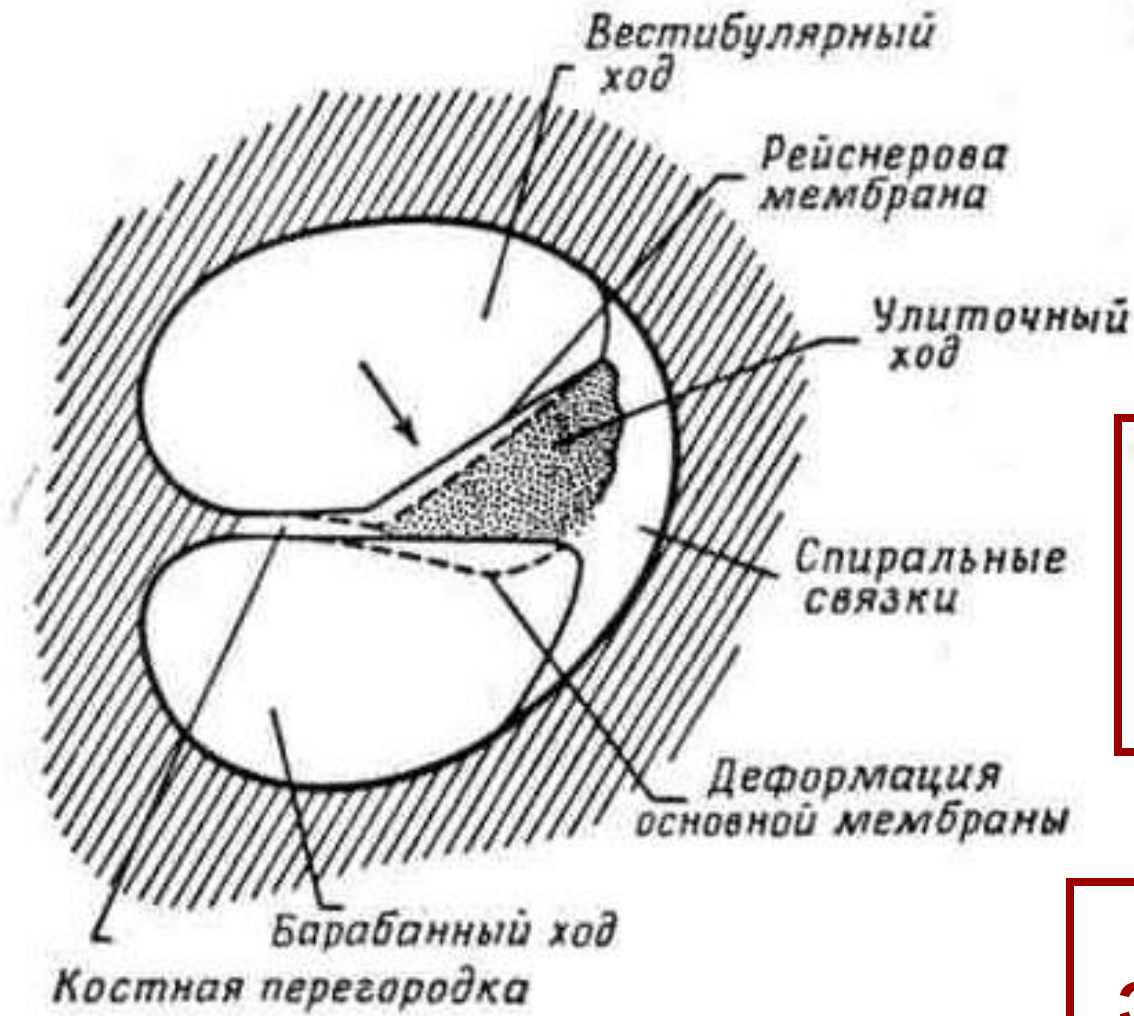
волосковой клетки

- 35... -70 мВ

перилимфа

МЕЖДУ ЭНДОЛИМФОЙ И ВОЛОСКОВОЙ
КЛЕТКОЙ РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ

$$80 - (-40) = 120 \text{ мВ}$$



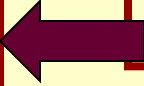
**СМЕЩЕНИЕ
ОСНОВНОЙ
МЕМБРАНЫ**



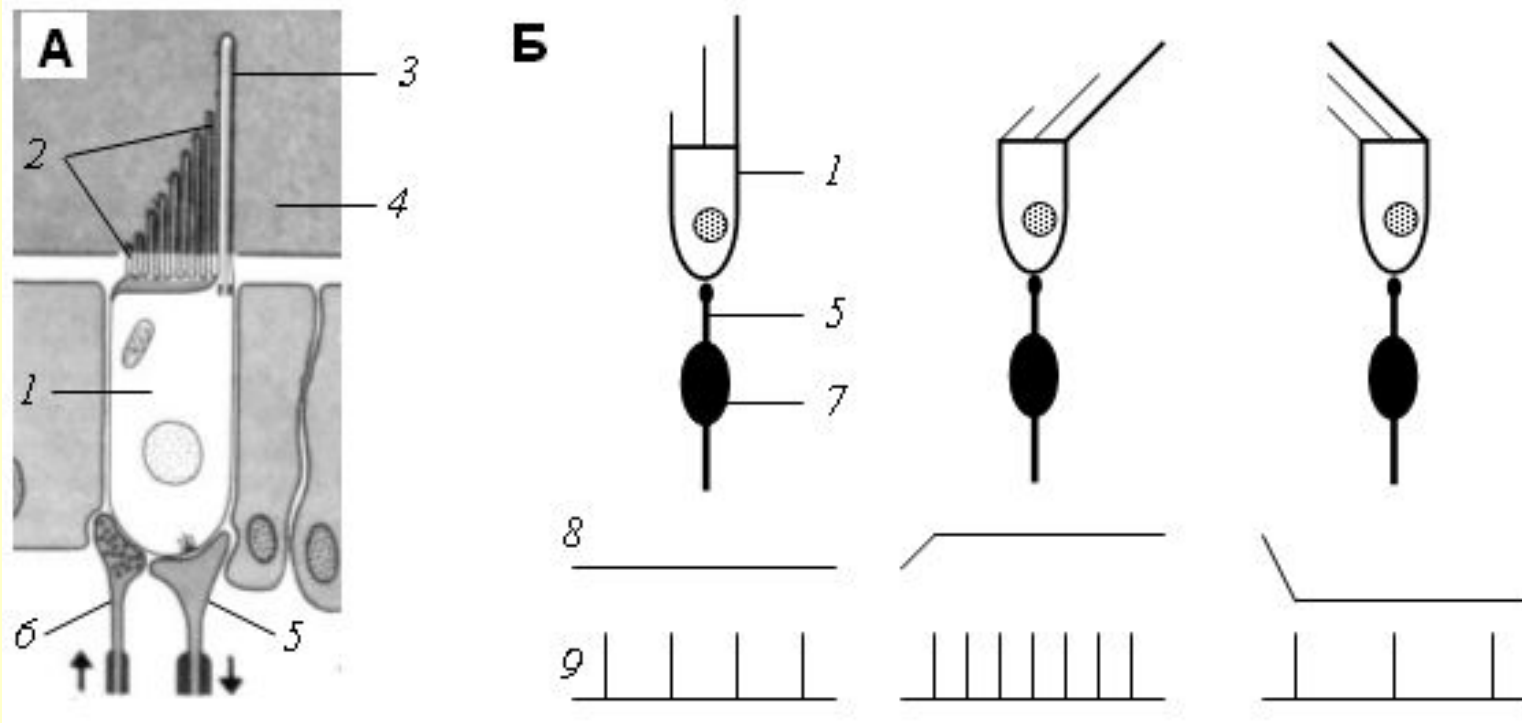
**ИЗМЕНЕНИЕ
СОПРОТИВЛЕНИЯ
ВОЛОСКОВЫХ
КЛЕТОК**



**МОДУЛЯЦИЯ
ЭНДОКОХЛЕАРНОГО
ПОТЕНЦИАЛА**



**МИКРОФОННЫЙ
ПОТЕНЦИАЛ**



деполяризация

гиперполяризация

Электрические реакции слухового рецептора на раздражение.

2 – стереоцилии, 3 – киноцилия, 5 – афферентное волокно.



БИОФИЗИКА ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

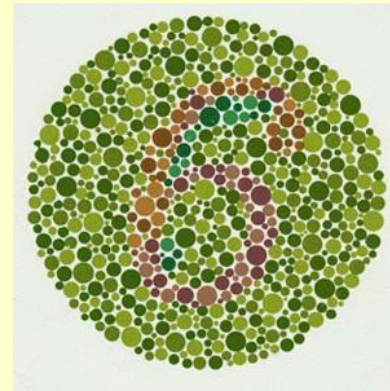


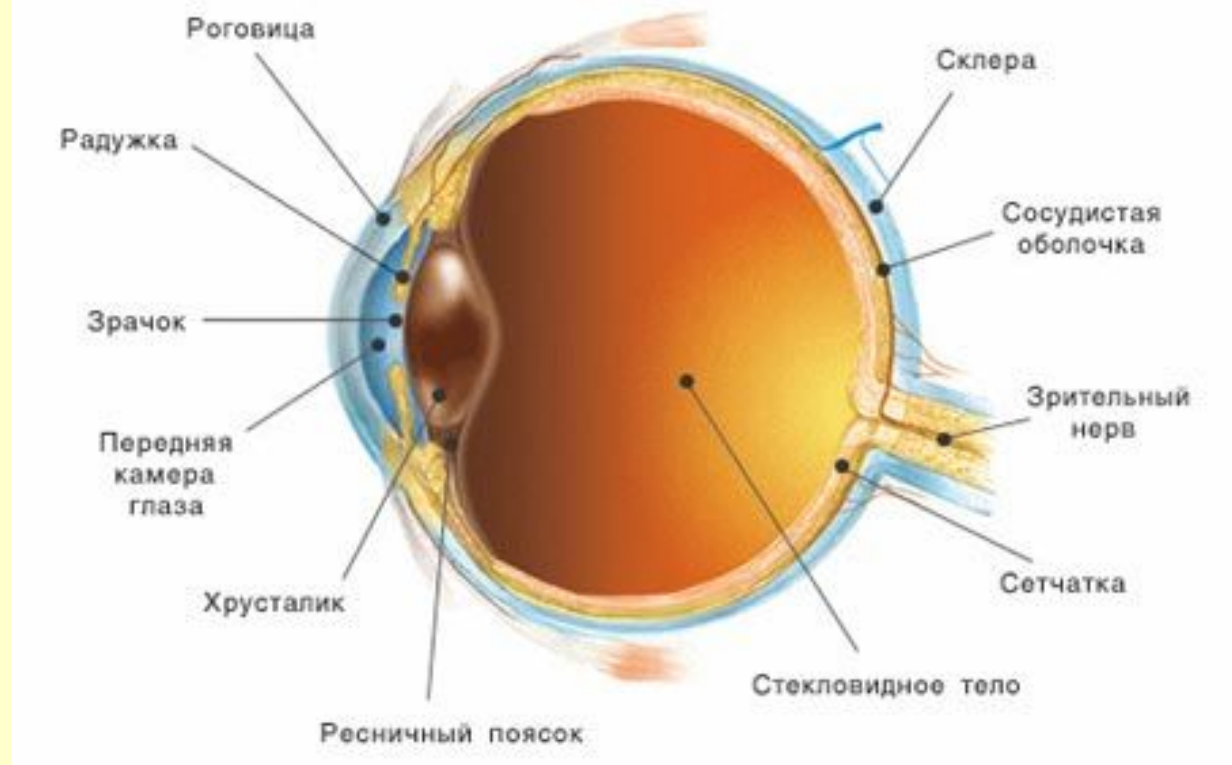
ВИДИМЫЙ СВЕТ ОТ 400 ДО 750 НМ

ЗРЕНИЕ БАЗИРУЕТСЯ НА
ВОСПРИЯТИИ

***КОНТРАСТОВ СВЕТЛОГО И
ТЕМНОГО,***

ЦВЕТОВЫХ КОНТРАСТОВ (для
поверхностей с неоднородной
спектральной отражательной
поверхностью)





**ЯДРО ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА: ХРУСТАЛИК,
ВОДЯНИСТАЯ ВЛАГА, СТЕКЛОВИДНОЕ ТЕЛО**

**КАПСУЛА ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА: ОБОЛОЧКИ
ГЛАЗА**

ЯДРО ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

ХРУСТАЛИК:

- ДВОЙКОВЫПУКАЛАЯ ЛИНЗА
- ПРОЗРАЧНЫЙ И БЕСЦВЕТНЫЙ
- НАХОДИТСЯ В ПРОЗРАЧНОЙ КАПСУЛЕ
- ВОЛОКНА ХРУСТАЛИКА ОБРАЗОВАНЫ БЕЛКОМ *КРИСТАЛЛИНОМ*

ВОДЯНИСТАЯ ВЛАГА ПО СОСТАВУ БЛИЗКА К ПЛАЗМЕ КРОВИ

СТЕКЛОВИДНОЕ ТЕЛО ПРОЗРАЧНОЕ АМОРФНОЕ ВЕЩЕСТВО, ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ БЕЛОК *ВИТРИН* И *ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА*

КАПСУЛА ГЛАЗНОГО ЯБЛОКА

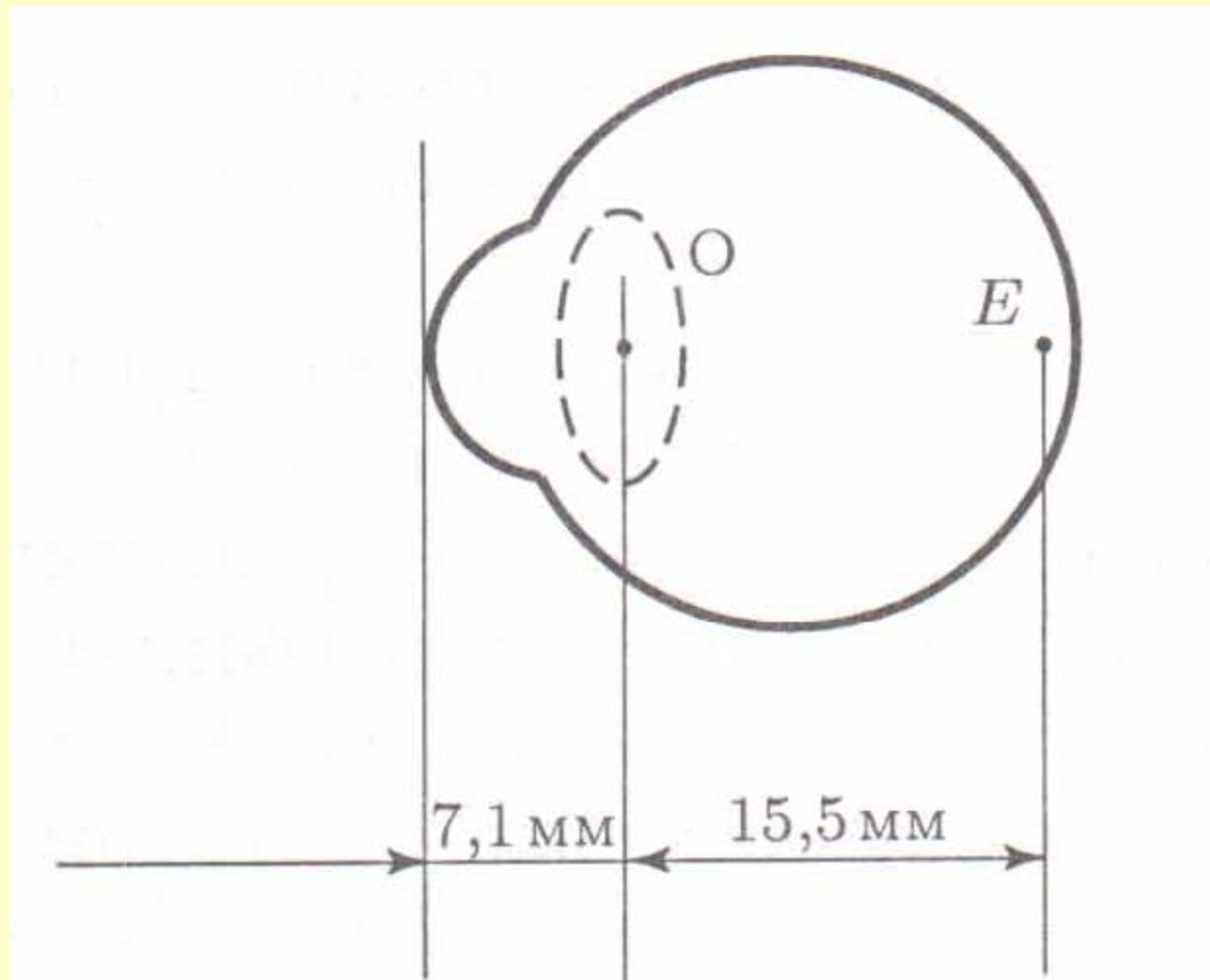
БЕЛОЧНАЯ ОБОЛОЧКА: СКЛЕРА +
РОГОВИЦА

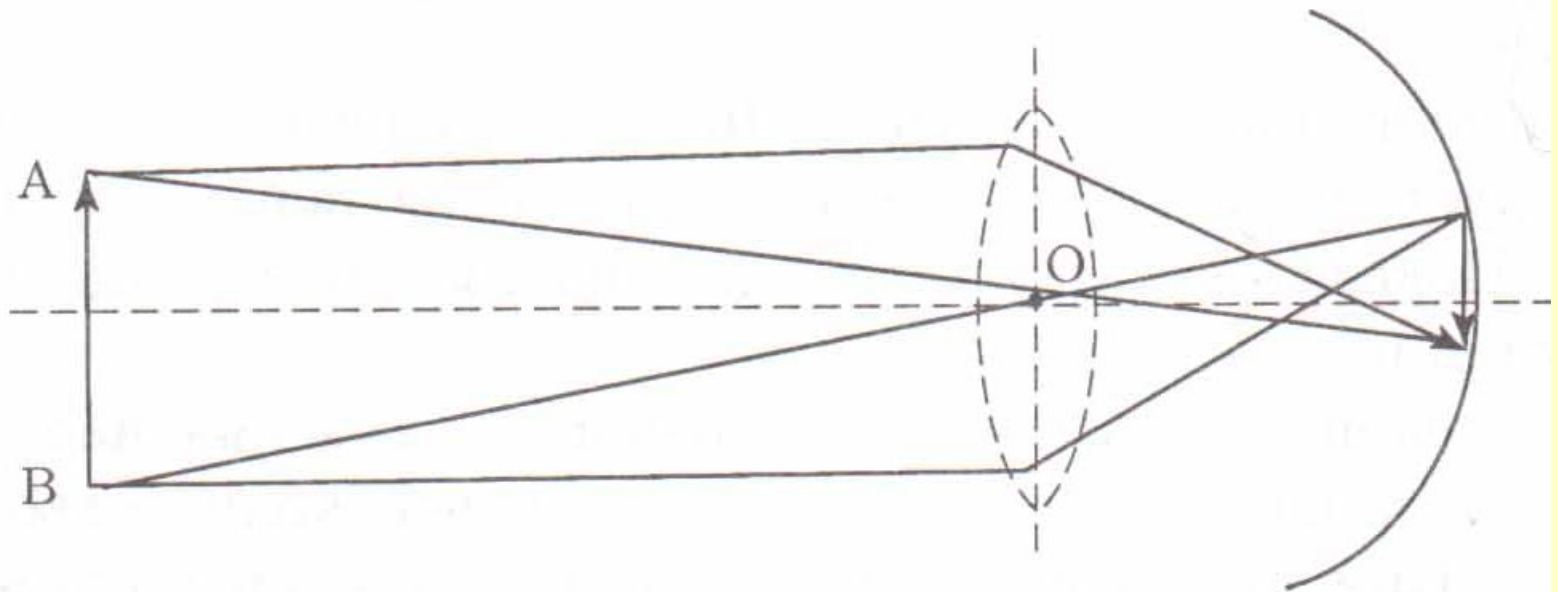
СОСУДИСТАЯ ОБОЛОЧКА:
СОБСТВЕННО СОСУДИСТАЯ
ОБОЛОЧКА + РЕСНИЧНОЕ ТЕЛО +
РАДУЖНАЯ ОБОЛОЧКА

СЕТЧАТКА: ПИГМЕНТНЫЙ СЛОЙ +
НЕРВНЫЙ СЛОЙ

ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА СЕТЧАТКЕ

РЕДУЦИРОВАННЫЙ ГЛАЗ



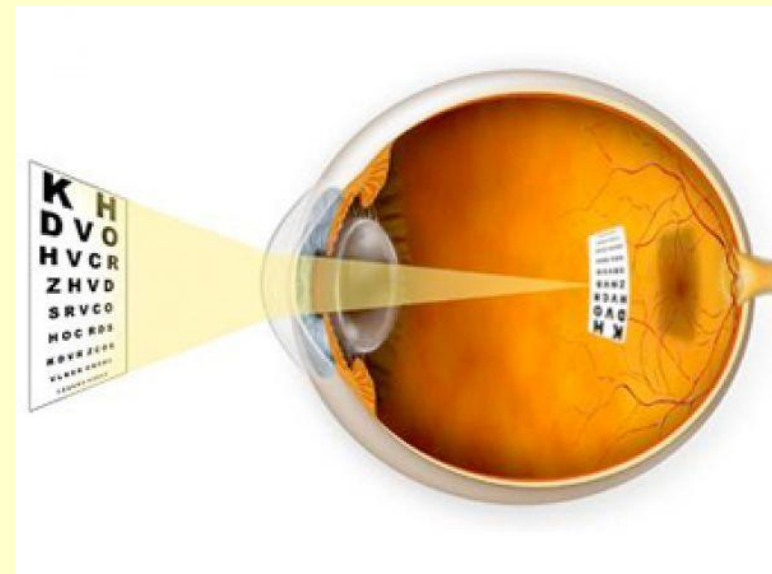


**ИЗОБРАЖЕНИЕ НА СЕТЧАТКЕ
РЕДУЦИРОВАННОГО ГЛАЗА:**

ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ

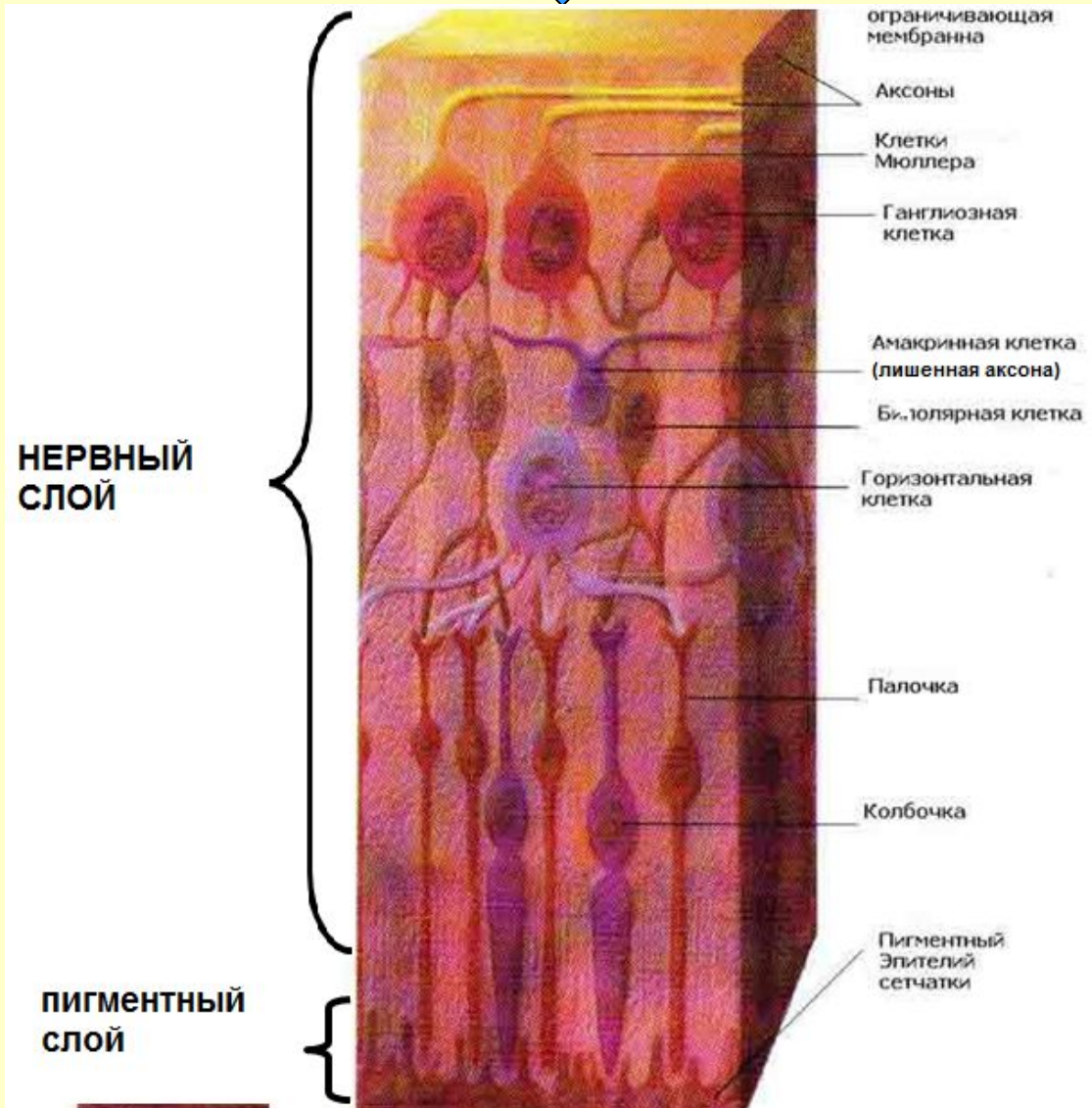
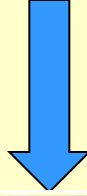
УМЕНЬШЕННОЕ

ПЕРЕВЕРНУТОЕ



СТРОЕНИЕ СЕТЧАТКИ

СВЕТ



ФУНКЦИИ ПИГМЕНТНОГО СЛОЯ:

- ПИТАНИЕ ДЛЯ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ
- ОБНОВЛЕНИЕ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ
- ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА, НЕ ПОГЛОТИВШЕГОСЯ ФОТОРЕЦЕПТОРАМИ

ФУНКЦИЯ СЕТЧАТКИ:

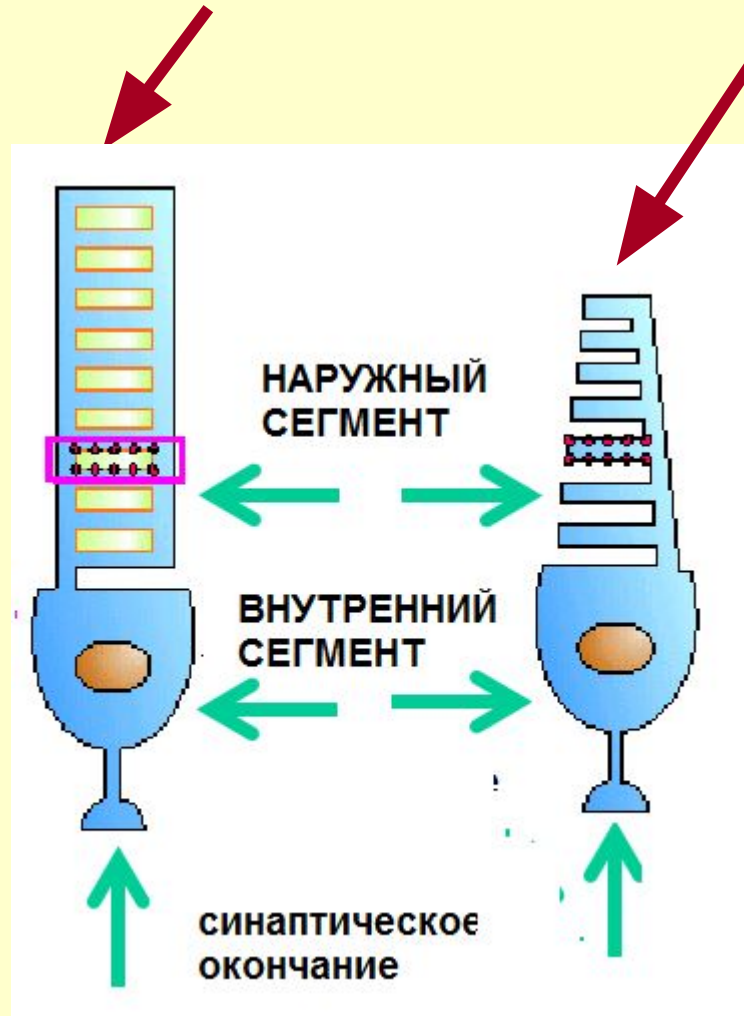
ВОСПРИЯТИЕ И ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СВЕТОВОГО СИГНАЛА

СТРОЕНИЕ ПАЛОЧЕК И КОЛБОЧЕК

120 млн.

Сосредоточены
на периферии
сетчатки

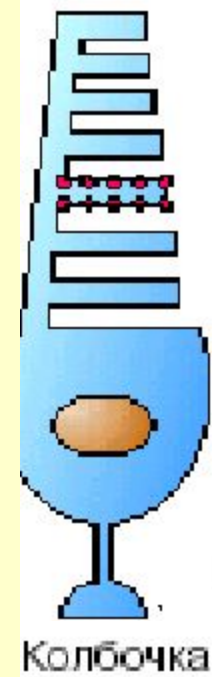
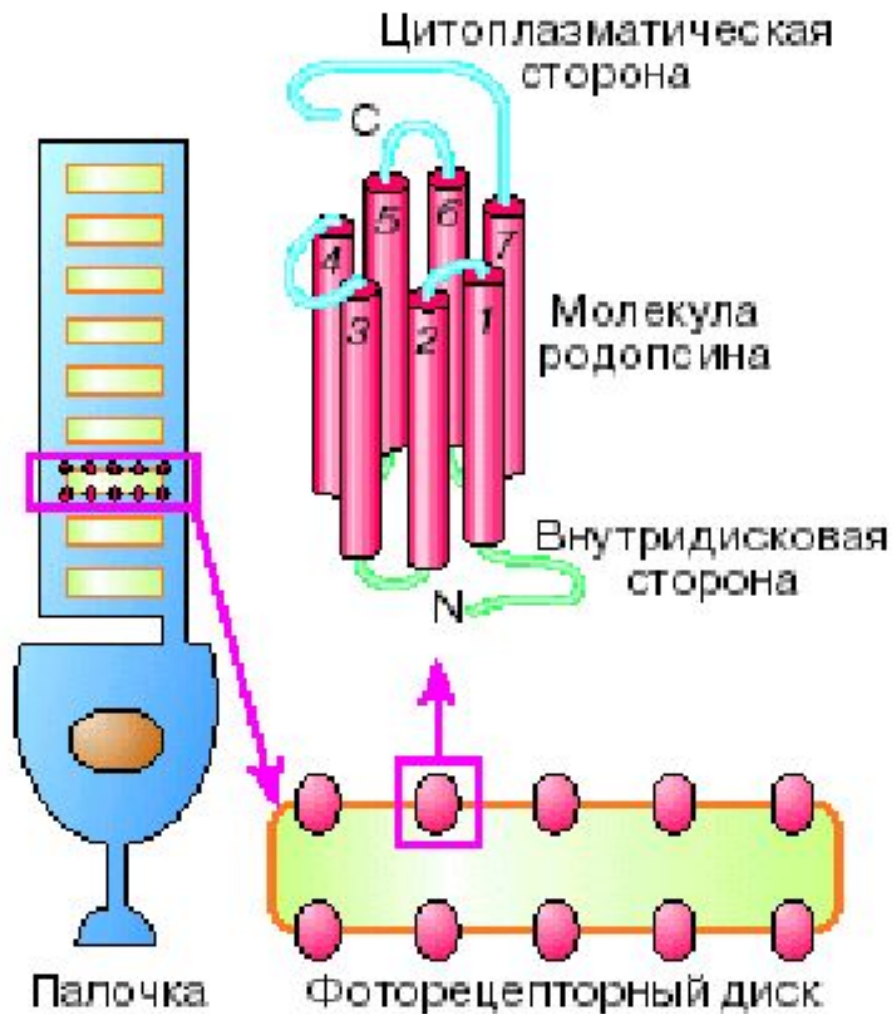
Сумеречное
зрение



7 млн.

сосредоточены
в центре
сетчатки

Цветное
зрение



У ЧЕЛОВЕКА 1000
 ФОТОРЕЦЕПТОРНЫХ
 ДИСКОВ НА ОДИН
 НАРУЖНЫЙ СЕГМЕНТ

СОСТАВ ФОТОРЕЦЕПТОРНЫХ ДИСКОВ

БЕЛКИ – около 60%, ЛИПИДЫ – около 40%,
УГЛЕВОДЫ – МЕНЕЕ 4%

ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ:

- МАЛОЕ КОЛИЧЕСТВО ХОЛЕСТЕРИНА,
- МНОГО ЛИПИДОВ С ДВОЙНЫМИ СВЯЗЯМИ.

РЕЗУЛЬТАТ: НИЗКАЯ ВЯЗКОСТЬ И
ВЫСОКАЯ ЛАБИЛЬНОСТЬ МЕМБРАН

БЕЛКОВЫЙ СОСТАВ

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МЕМБРАННЫЕ:

РОДОПСИН (95%)

ЭКСТРАГИРУЕМЫЕ:

- *G-БЕЛОК ТРАНСДУЦИН*
- *ФОСФОДИЭСТЕРАЗА цГМФ*
- *РОДОПСИНКИНАЗА*
- *ГУАНИЛАТЦИКЛАЗА*

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЯ ФОТОРЕЦЕПТОРОВ

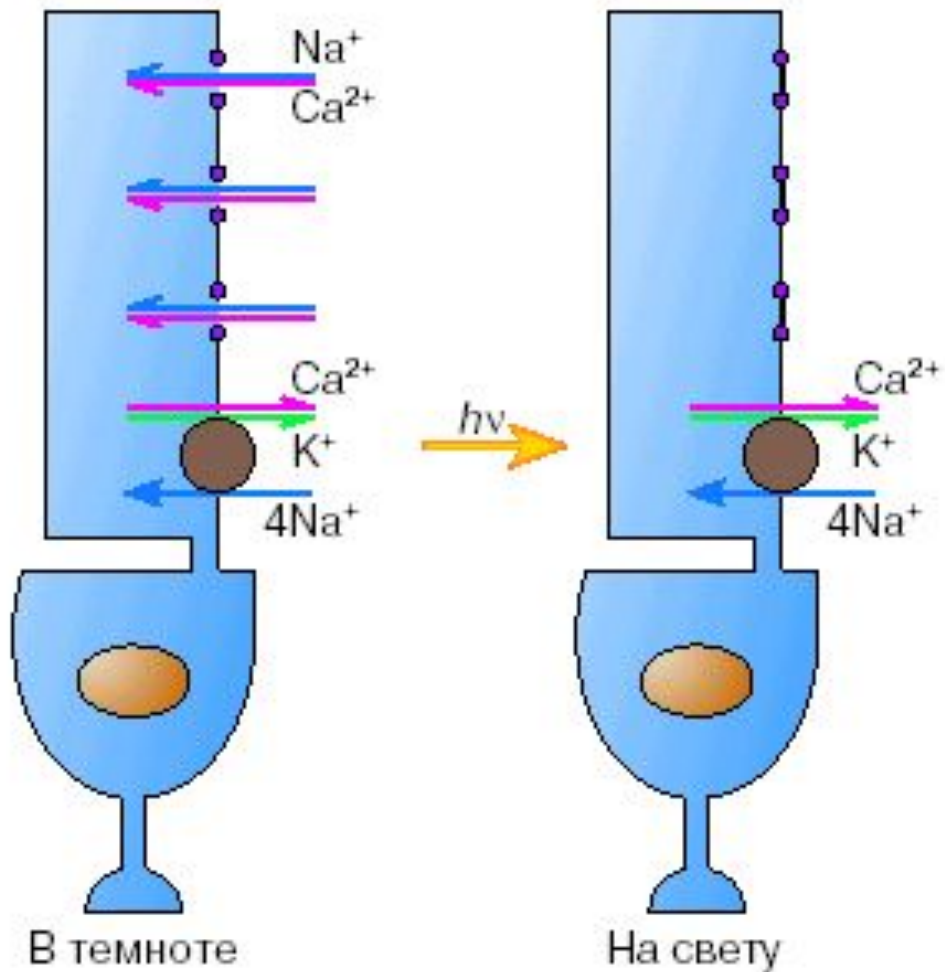


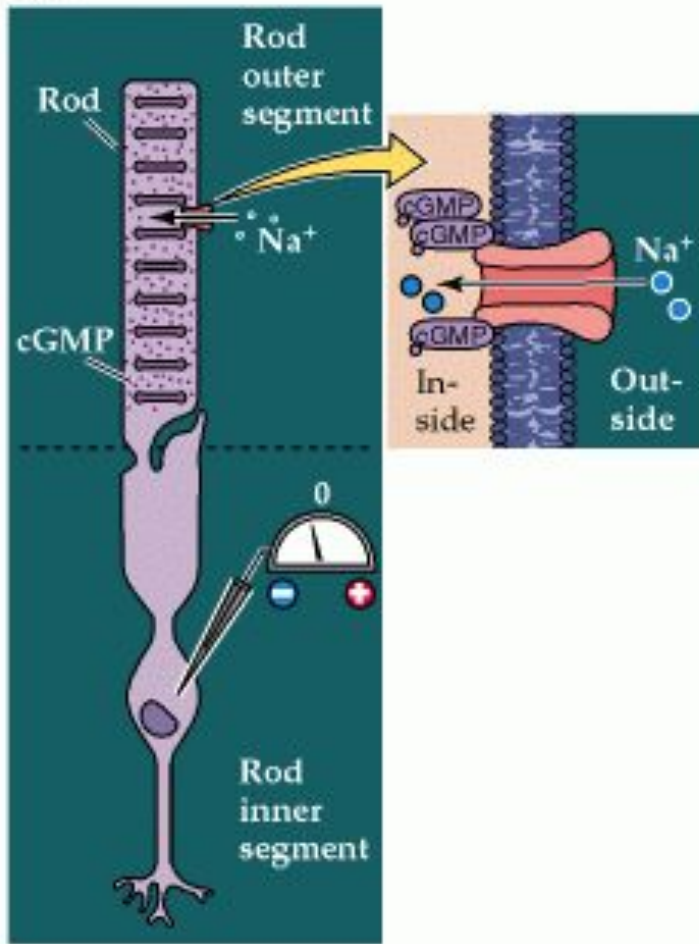
Рис. 3. Схема ионных токов в НСП в темноте и после действия света ($h\nu$)

ИОННЫЕ КАНАЛЫ
 ЦГМФ-ЗАВИСИМЫЕ,
 ОТКРЫТЫ ПРИ
 ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С
 ЦГМФ

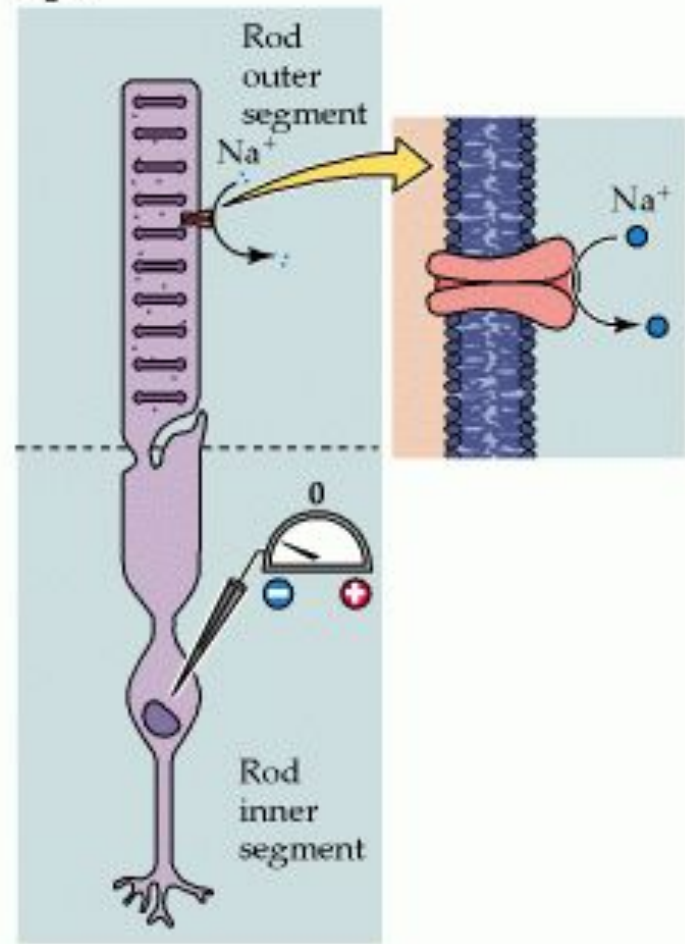
В ТЕМНОТЕ: ВЫСОКИЙ
 УРОВЕНЬ ЦГМФ, КАНАЛЫ
 ОТКРЫТЫ

НА СВЕТУ: СНИЖЕНИЕ
 КОНЦЕНТРАЦИИ ЦГМФ,
 КАНАЛЫ **ЗАКРЫТЫ**.
 ИТОГ ЭТОГО –
ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИЯ
 МЕМБРАНЫ

Dark

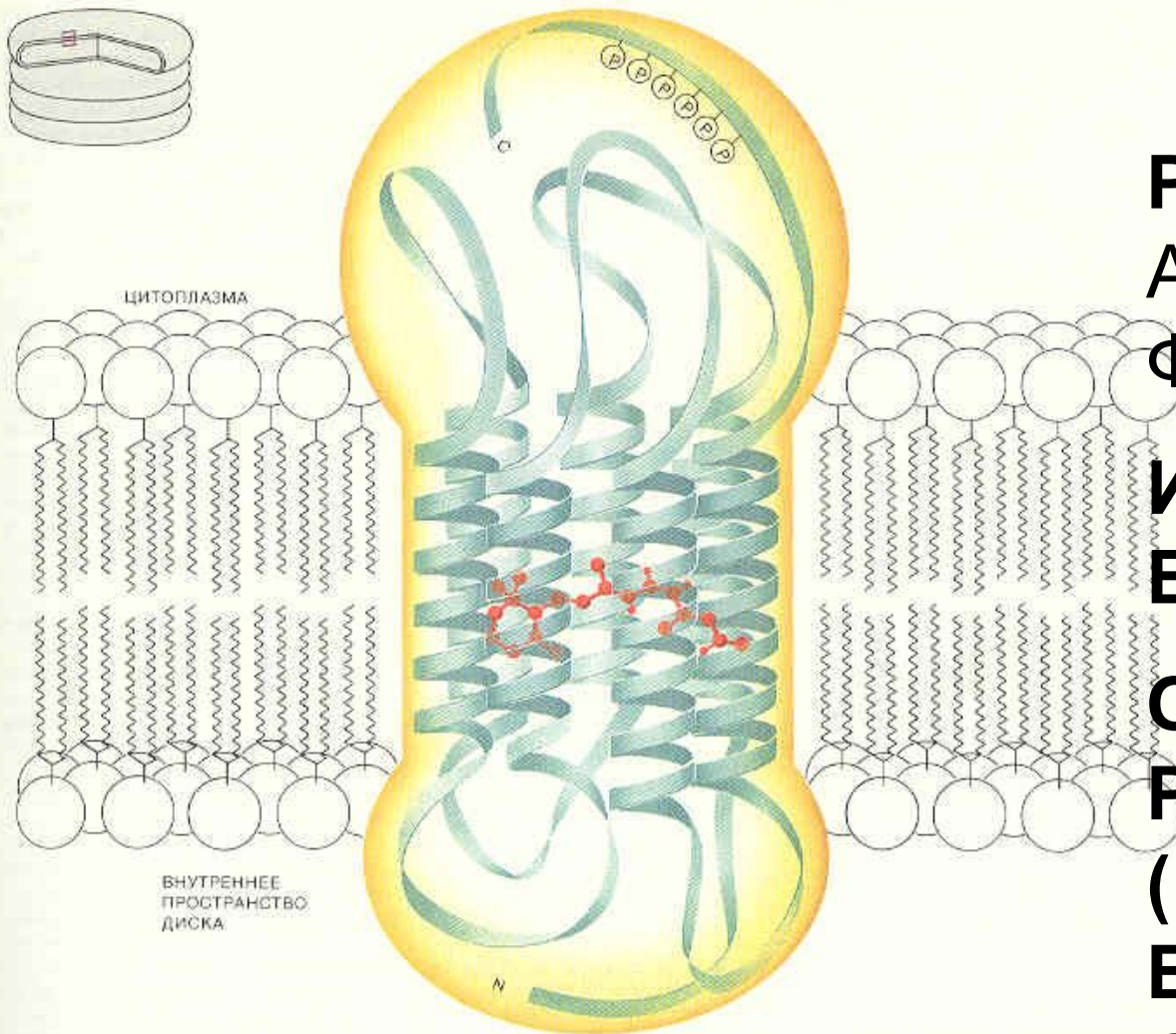
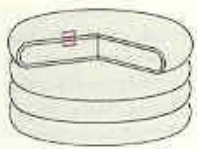


Light



БЕЛКИ ЗРИТЕЛЬНОГО КАСКАДА

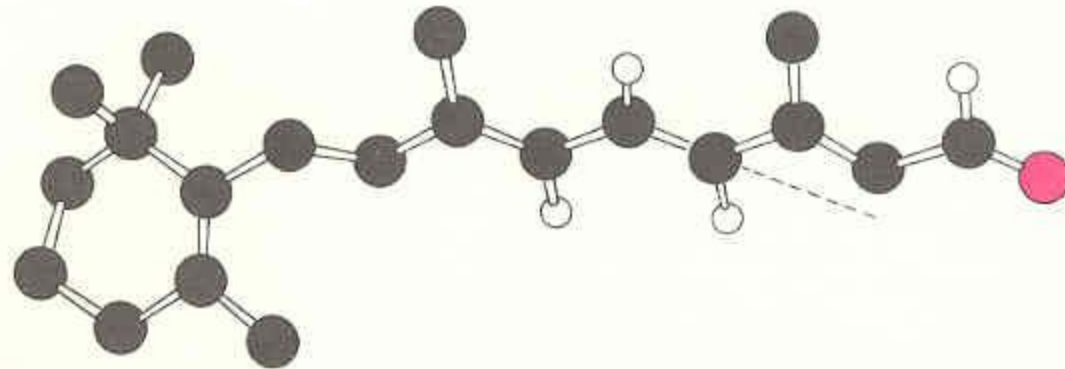
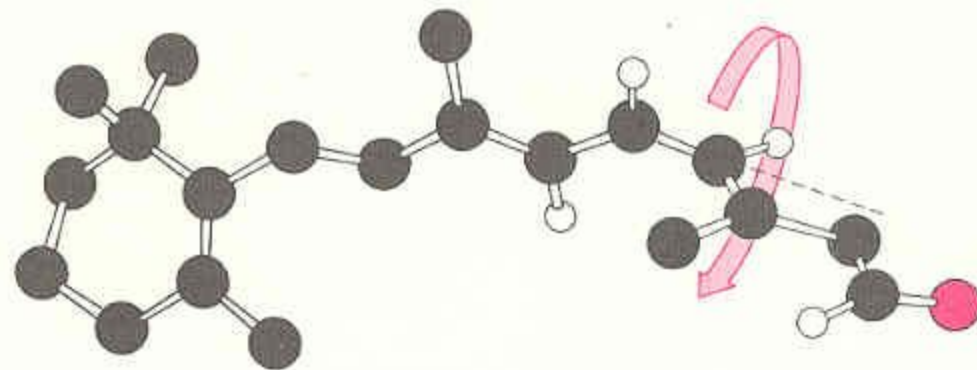
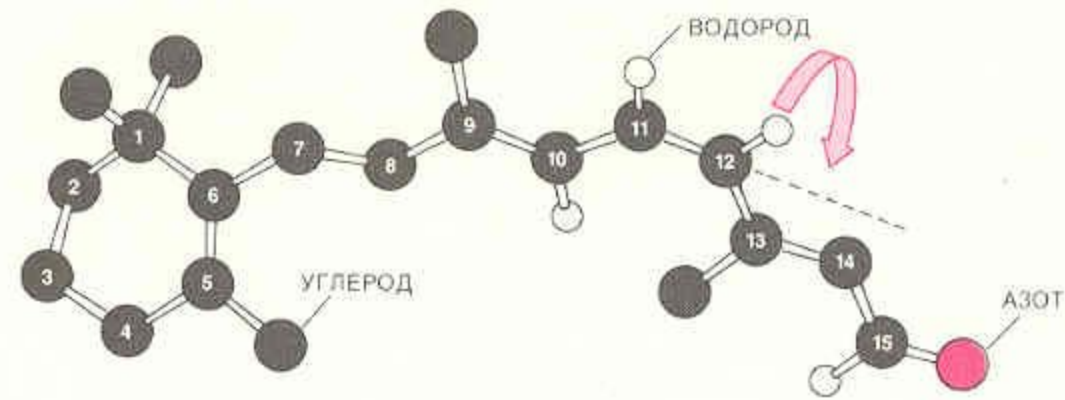
- РОДОПСИН
- G-белок ТРАНСДУЦИН
- цГМФ-ФОСФОДИЭСТЕРАЗА



**РОДОПСИН –
АКЦЕПТОР
ФОТОНА**

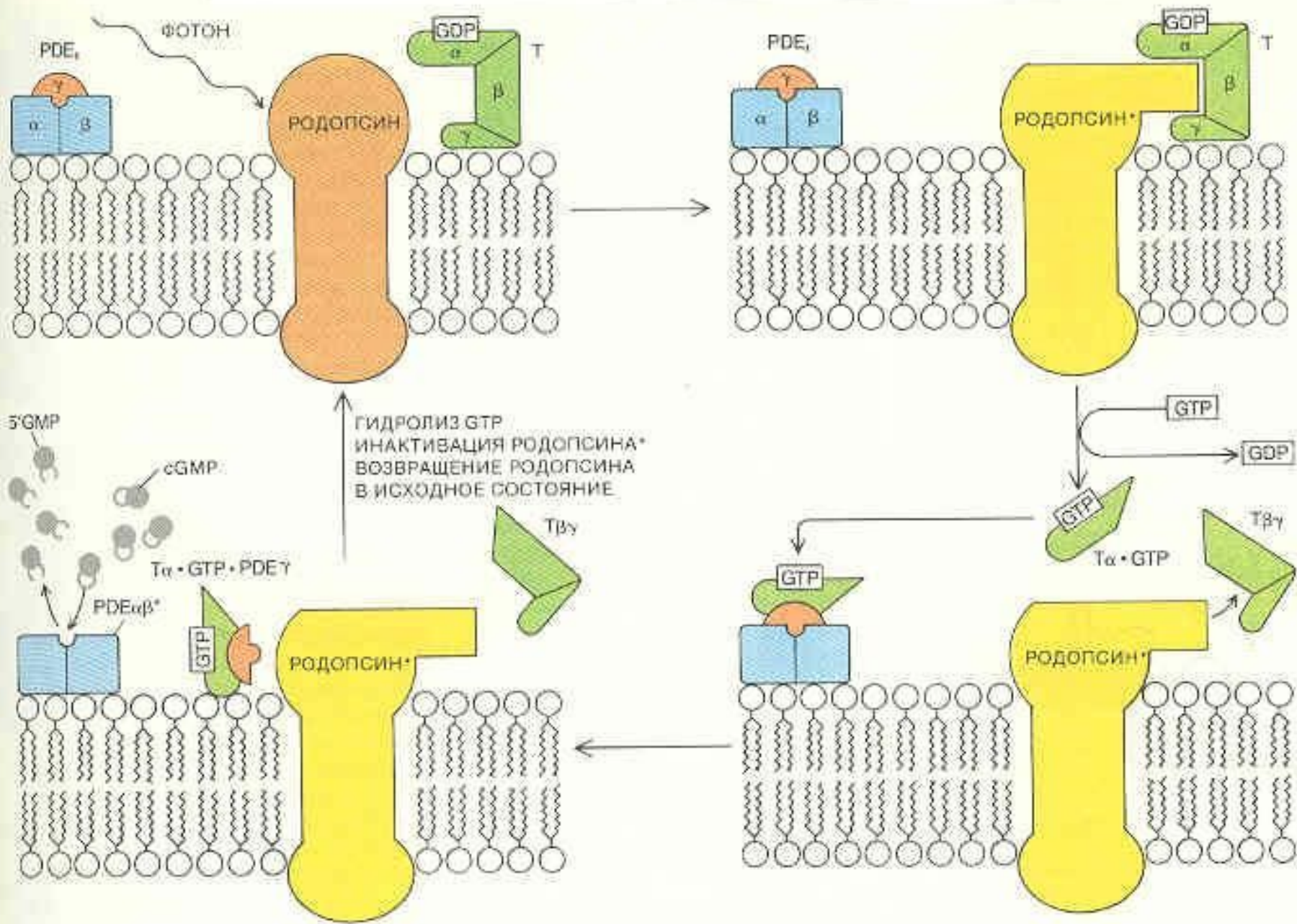
**ИНТЕГРАЛЬНЫЙ
БЕЛОК**

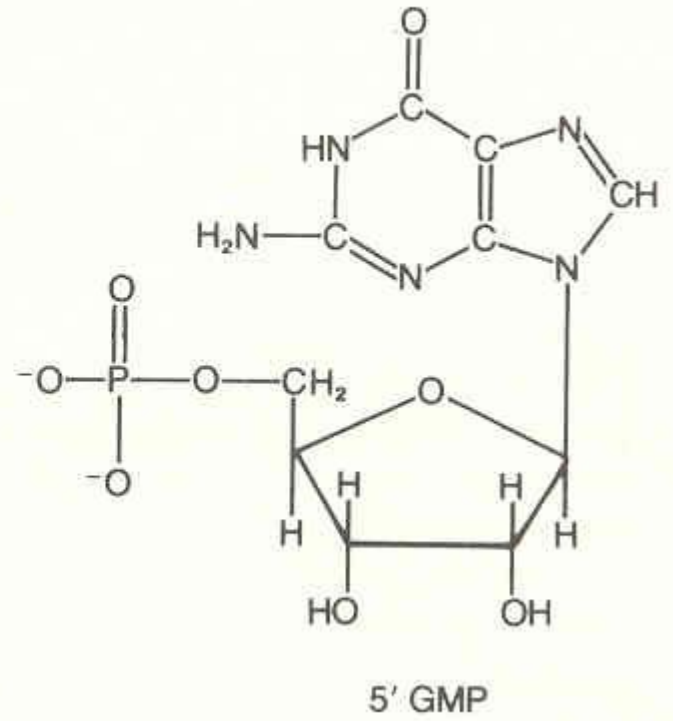
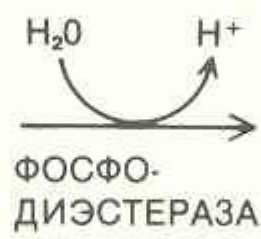
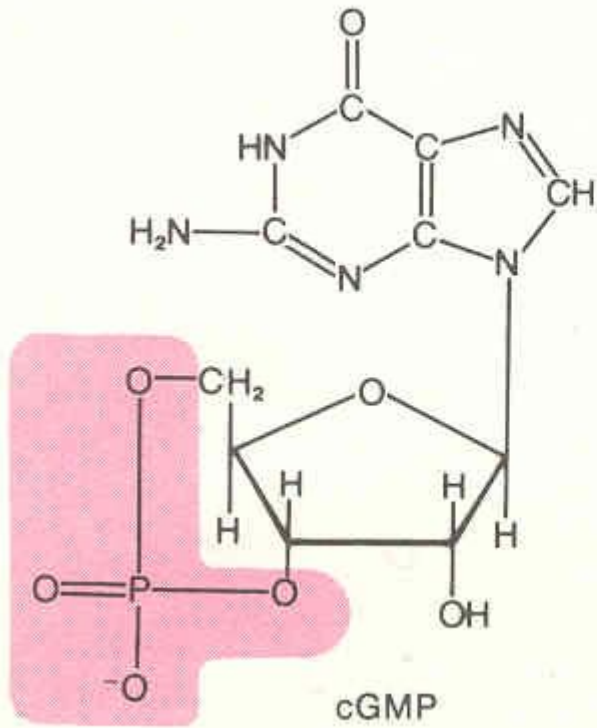
**ОПСИН + 11-цис-
РЕТИНАЛЬ
(ПРОИЗВОДНОЕ
ВИТАМИНА А,
СЛУЖИТ
ЛОВУШКОЙ ДЛЯ
ФОТОНА)**



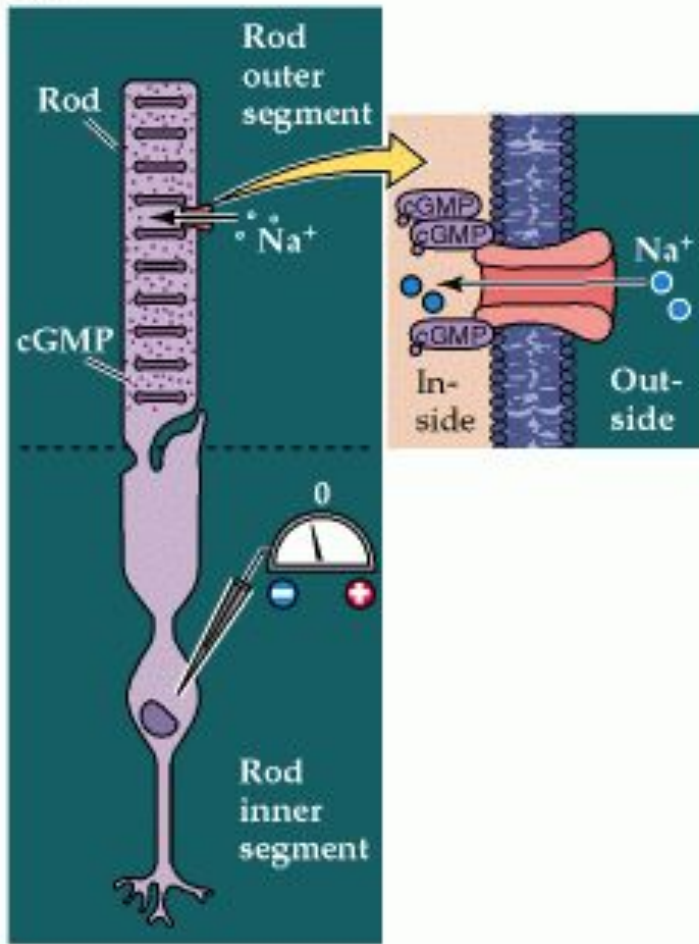
**11-цис-
РЕТИНАЛЬ** ПОД
ДЕЙСТВИЕМ
СВЕТА
ИЗОМЕРИРУЕТС
Я В *ТРАНС-*
РЕТИНАЛЬ

ЭТО ИЗМЕНЯЕТ
ПРОСТРАНСТ-
ВЕННУЮ
СТРУКТУРУ
ОПСИНА

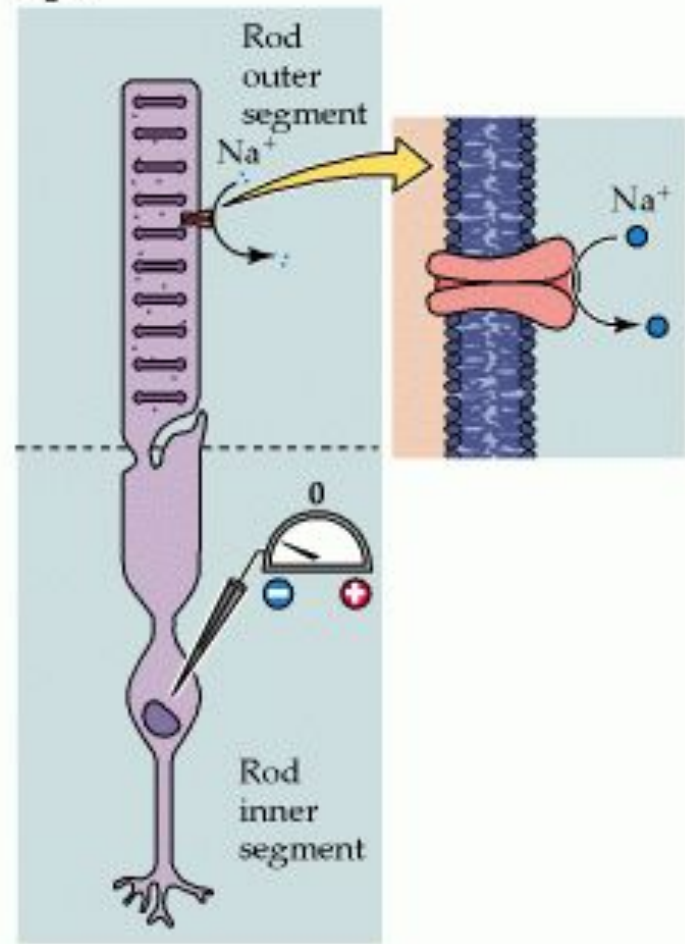




Dark

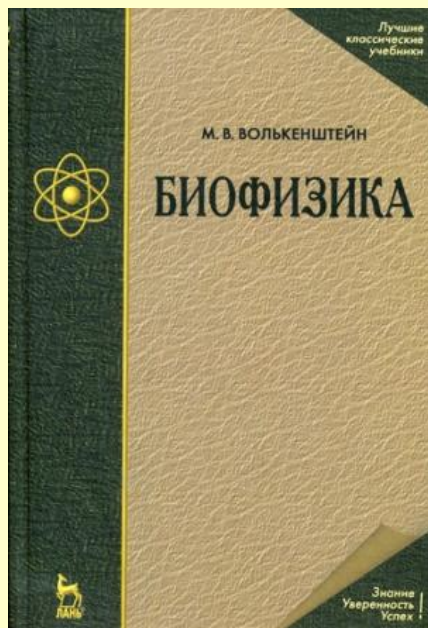


Light





НАДЕЮСЬ, ЧТО КУРС ЛЕКЦИЙ ПО БИОФИЗИКЕ ПОМОЖЕТ В ВАШЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ





Удачи на экзаменах!

