

# ВВЕДЕНИЕ В БИОФИЗИКУ

## БИОФИЗИКА

ИЗУЧАЕТ ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ.

### РАЗДЕЛЫ И МЕТОДЫ

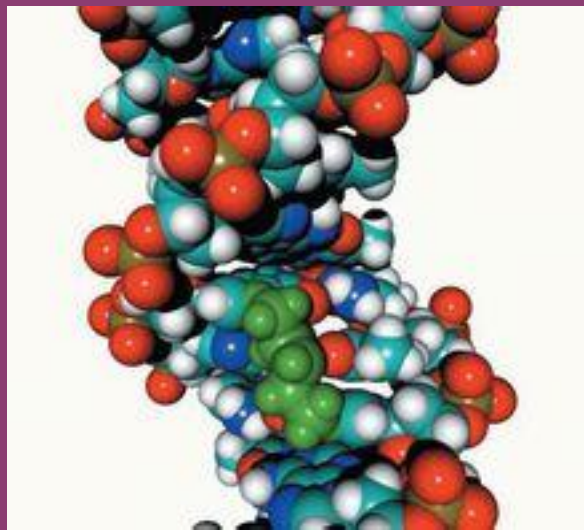
#### УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ:

- |                   |             |
|-------------------|-------------|
| • МОЛЕКУЛЫ        | МОЛЕКУЛ. БФ |
| • КЛЕТ. ОРГАНОИДЫ |             |
| • КЛЕТКИ          |             |
| • ТКАНИ           | БФ КЛЕТКИ   |
| • ОРГАНЫ          |             |
| • ОРГАНИЗМЫ       |             |
| • ПОПУЛЯЦИИ       | БФ          |
| • БИОЦЕНОЗЫ       | СЛОЖНЫХ     |
| • БИОСФЕРА        | СИСТЕМ      |

# МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА

ПРЕДМЕТ:

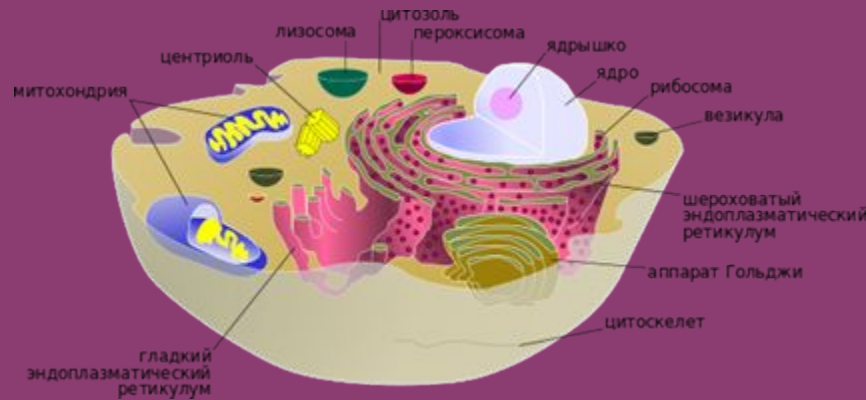
**СТРОЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
БИОЛОГИЧЕСКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ  
МАКРОМОЛЕКУЛ – БЕЛКОВ, НК.**



# БИОФИЗИКА КЛЕТКИ

ПРЕДМЕТ:

СТРОЕНИЕ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ КЛЕТОК И ИХ  
СОВОКУПНОСТЕЙ.



# БИОФИЗИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

## ПРЕДМЕТ:

**ПРОЦЕССЫ НА ВЫСШИХ УРОВНЯХ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ ПРИРОДЫ (в популяциях, биоценозах, биосфере в целом)**

**И НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ УРОВНЕЙ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ:**

- биологические колебательные процессы;
- биоэнергетические явления;
- процессы биологической эволюции.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ

Часть 1.

## СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ БИОМЕМБРАН

1. **ФУНКЦИИ БИОМЕМБРАН (БМ).**
2. **РАЗМЕРЫ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ.**
3. **СИЛЫ, СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ МЕМБРАННУЮ СТРУКТУРУ.**
4. **ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БИОМЕМБРАН.**

# 1. ФУНКЦИИ БИОМЕМБРАН

## ДВОЯКАЯ ФУНКЦИЯ БМ:

- ПОДДЕРЖАНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ КЛЕТКИ, ЕЕ ОБОСОБЛЕННОСТИ ОТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, АВТОНОМНОСТИ ЕЕ ВНУТРЕННЕГО УСТРОЙСТВА
- ПОСТОЯННЫЙ ОБМЕН С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ ВЕЩЕСТВАМИ, ЭНЕРГИЕЙ, ИНФОРМАЦИЕЙ

## ИЗУЧЕНИЕ ВАЖНО

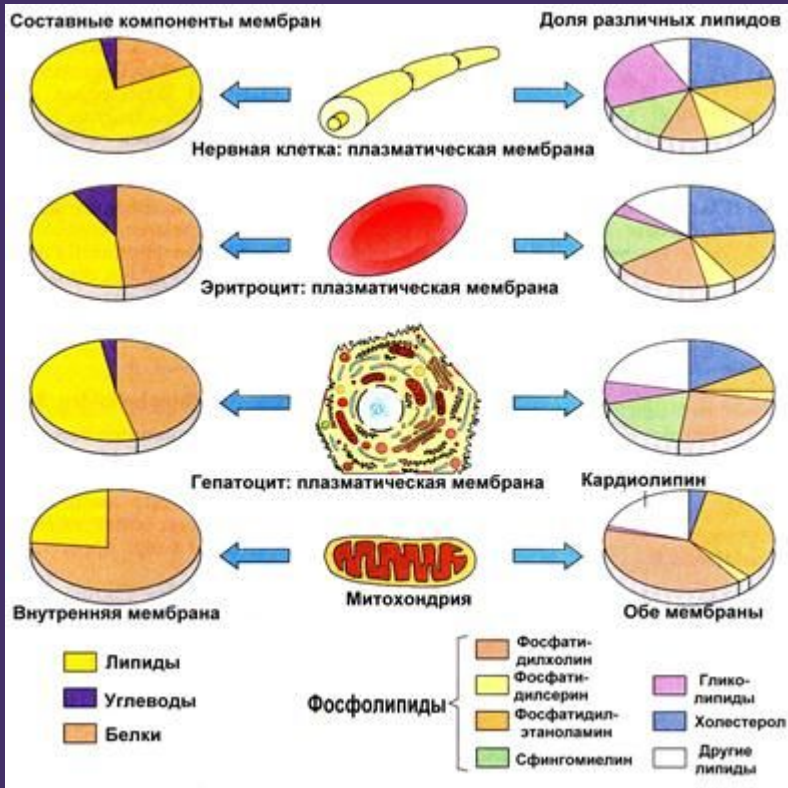
- ДЛЯ ПОНИМАНИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗМА В НОРМЕ
- ДЛЯ ВЫЯСНЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПАТОЛОГИИ И ПРИНЯТИЯ КОМПЛЕКСА ЛЕЧЕБНЫХ МЕР

# МЕМБРАНЫ

ПЛАЗМАТИЧЕСКИЕ

ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ

ОБЩИЙ ПЛАН  
СТРОЕНИЯ ОДИНАКОВ.



## 2. РАЗМЕРЫ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СТРОЕНИЕ

- **БИОМЕМБРАНЫ - НАДМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ.**
- **ОНИ ПРИБЛИЖЕННО ДВУМЕРНЫЕ:  
ИХ ТОЛЩИНА ОЧЕНЬ МАЛА,  
ПОРЯДКА 10 НМ.**

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

**В ОСНОВНОМ -  
ЛИПИДЫ И БЕЛКИ.**

**СООТНОШЕНИЕ ВАРЬИРУЕТ,  
НО ЧАЩЕ ВСЕГО  
(ПО ВЕСОВОМУ  
СОДЕРЖАНИЮ):**

**ЛИПИДЫ – 40%,  
БЕЛКИ – 60%.**



# КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ЛИПИДНОЙ И БЕЛКОВОЙ ФРАКЦИЙ

БИОМЕМБРАНЫ ОБЫЧНО  
ВЕСЬМА *ГЕТЕРОГЕННЫ* –  
содержат различные белки и  
липиды.

НО, НАПРИМЕР,  
БЕЛКОВАЯ ЧАСТЬ  
ВНУТРЕННИХ МЕМБРАН  
ПАЛОЧЕК СЕТЧАТКИ  
СОДЕРЖИТ ТОЛЬКО ОДИН  
БЕЛОК – *РОДОПСИН*.

СТРУКТУРНОЙ  
ОСНОВОЙ  
БИОМЕМБРАН  
являются ЛИПИДЫ.

## МЕМБРАННЫЕ ЛИПИДЫ

- ОСНОВНУЮ ЧАСТЬ  
МЕМБРАННЫХ ЛИПИДОВ  
СОСТАВЛЯЮТ  
*ФОСФОЛИПИДЫ*.
- ПОЧТИ ВСЕ  
ФОСФОЛИПИДЫ (ФЛ)  
КЛЕТКИ СОСРЕДОТОЧЕНЫ  
В ЕЕ МЕМБРАНАХ.
- ИМЕННО  
ОСОБЕННОСТЯМИ ИХ  
СТРОЕНИЯ  
ОБУСЛОВЛИВАЕТСЯ  
СТРОЕНИЕ БМ В ЦЕЛОМ.

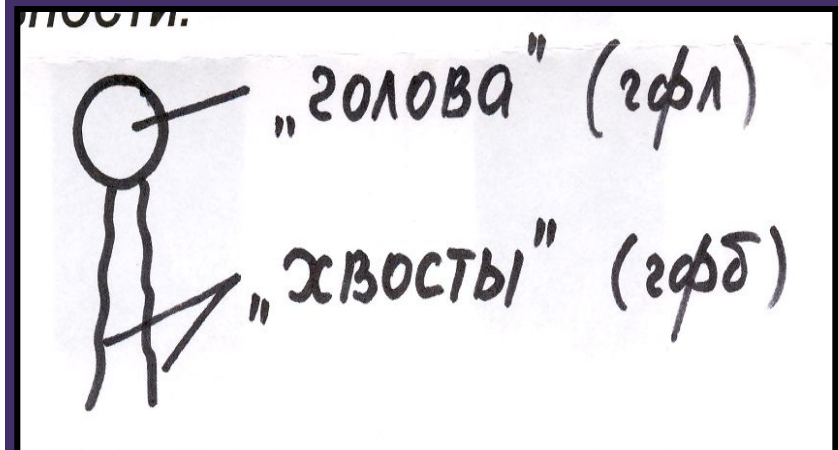
# ФОСФОЛИПИДЫ

## СОСТАВ МОЛЕКУЛ ФЛ:

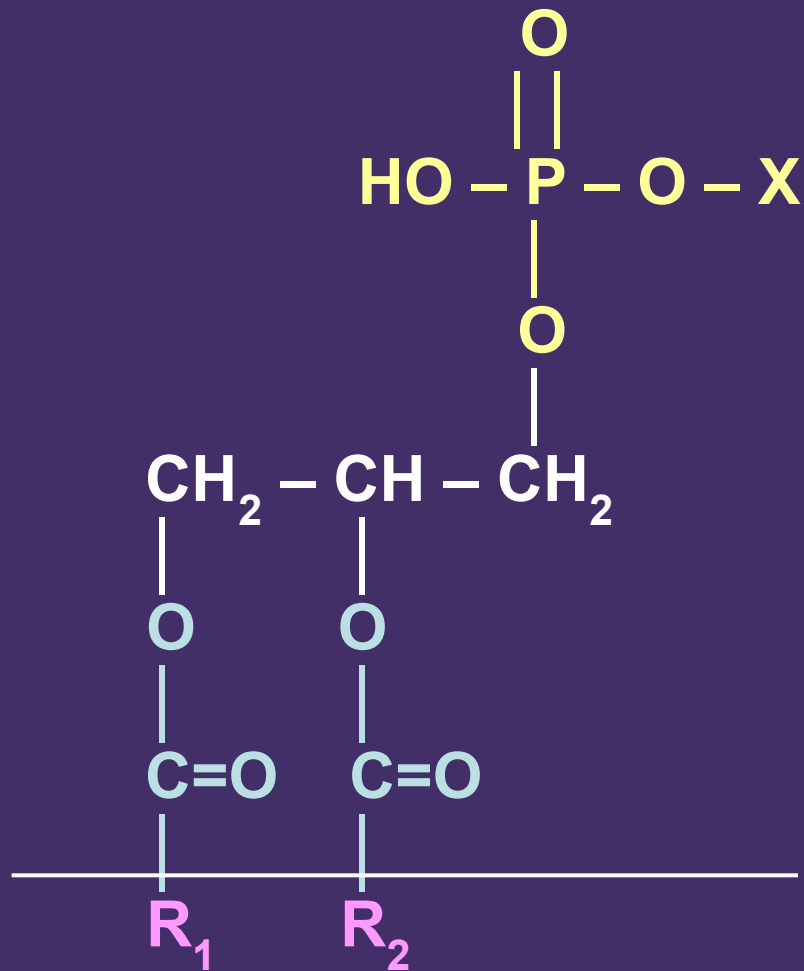
- ТРЕХАТОМНЫЙ СПИРТ  
ГЛИЦЕРИН  
 $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_2\text{OH}$
- ОСТАТКИ 2-х ВЫСШИХ  
ЖИРНЫХ КИСЛОТ  
 $\text{R}-\text{COOH}$
- ОСТАТОК ФОСФОРНОЙ  
КИСЛОТЫ  $\text{H}_3\text{PO}_4$
- ОСТАТОК СПИРТА «X»

## ВСЕ ФЛ СОДЕРЖАТ

- ПОЛЯРНУЮ,  
ГИДРОФИЛЬНУЮ ГОЛОВУ
- И ДВА НЕПОЛЯРНЫХ,  
ГИДРОФОБНЫХ ХВОСТА.



# ОБЩАЯ СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА ФЛ



# СТРОЕНИЕ

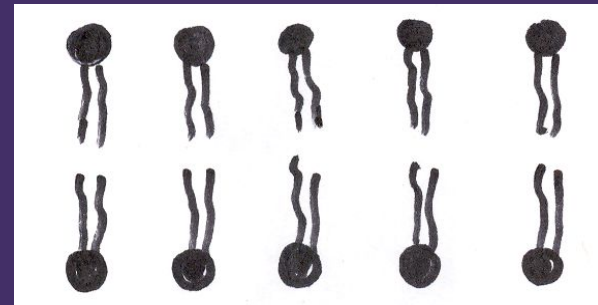
МОДЕЛИ БИОМЕМБРАН:  
выдвигались разные.

СОВРЕМЕННАЯ –  
**МОЗАИЧНАЯ МОДЕЛЬ**  
1972 г.,  
**ЗИНГЕР И НИКОЛЬСОН.**



## МОЗАИЧНАЯ МОДЕЛЬ БМ

- СТРУКТУРНАЯ ОСНОВА  
БМ –  
ДВОЙНОЙ  
(БИМОЛЕКУЛЯРНЫЙ)  
ЛИПИДНЫЙ СЛОЙ.



# МОЗАИЧНАЯ МОДЕЛЬ БМ

В НЕМ ГИДРОФОБНЫЕ  
«ХВОСТЫ» ЛИПИДОВ  
ОБРАЩЕНЫ  
ВНУТРЬ МЕМБРАНЫ,  
ОБРАЗУЯ НЕПРЕРЫВНУЮ  
ФАЗУ,

А ПОЛЯРНЫЕ «ГОЛОВЫ»  
ВЫХОДЯТ  
НА ПОВЕРХНОСТЬ  
С ДВУХ СТОРОН  
ЛИПИДНОГО БИСЛОЯ.

ЭТОТ БИСЛОЙ  
«ИНКРУСТИРОВАН»  
МОЛЕКУЛАМИ БЕЛКА.  
БЕЛКИ МЕМБРАН ДЕЛЯТСЯ  
НА ДВА КЛАССА:

- *ПЕРИФЕРИЧЕСКИЕ ( I )* И
- *ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ( II )*.

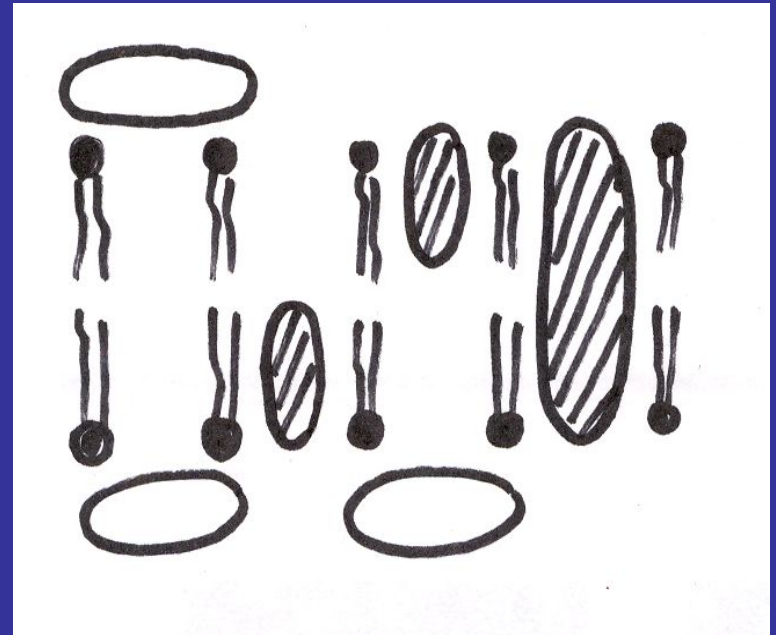
( I ) ИМЕЮТ ЦЕЛИКОМ  
ГИДРОФИЛЬНУЮ  
ПОВЕРХНОСТЬ И  
СВЯЗЫВАЮТСЯ ТОЛЬКО  
ПОВЕРХНОСТЯМИ  
МЕМБРАНЫ.

# Мембранные белки

( II ) ИМЕЮТ УЧАСТКИ  
ГИДРОФОБНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ  
И ПОГРУЖЕНЫ НА РАЗНУЮ  
ГЛУБИНУ ВНУТРЬ  
БИЛИПИДНОГО СЛОЯ.

НЕКОТОРЫЕ  
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ БЕЛКИ  
ПРОНИЗЫВАЮТ  
МЕМБРАНУ НАСКВОЗЬ;  
ОНИ НАЗЫВАЮТСЯ  
*ПРОШИВАЮЩИМИ.*

Строение БМ  
согласно  
МОЗАИЧНОЙ МОДЕЛИ



# АСИММЕТРИЯ БИОМЕМБРАН

КАК БЕЛКОВЫЙ,  
ТАК И ЛИПИДНЫЙ СОСТАВ  
ДВУХ ПОЛОВИНОК  
МЕМБРАНЫ НЕОДИНАКОВ.

В БОЛЬШЕЙ СТЕПЕНИ  
АСИММЕТРИЯ  
СВОЙСТВЕННА  
БЕЛКОВЫМ ФРАКЦИЯМ,  
ИХ СОСТАВ КАЧЕСТВЕННО  
РАЗЛИЧЕН.

ТАК, В ПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ  
МЕМБРАНЕ

- К ВНУТРЕННЕЙ СТОРОНЕ ПРИМЫКАЕТ БОЛЬШИНСТВО ФЕРМЕНТОВ,
- К НАРУЖНОЙ – БЕЛКИ, УЧАСТВУЮЩИЕ В РЕАКЦИЯХ УЗНАВАНИЯ И ОБОРОНИТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЯХ КЛЕТКИ.



БИОМЕМБРАНЫ  
ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ  
СТРУКТУРНОЙ  
АСИММЕТРИЕЙ.

### 3. СИЛЫ, СТАБИЛИЗИРУЮЩИЕ МЕМБРАННУЮ СТРУКТУРУ

ВИДЫ СВЯЗЕЙ:

**СИЛЬНЫЕ**

**СЛАБЫЕ**

**ЭНЕРГИЯ ОДНОЙ  
СИЛЬНОЙ (КОВАЛЕНТНОЙ)  
СВЯЗИ**

приблизительно  
**НА ПОРЯДОК БОЛЬШЕ,**  
чем у **СЛАБОЙ.**

Однако суммарный,  
**КООПЕРАТИВНЫЙ** вклад  
различных видов слабых  
связей

**МОЖЕТ БЫТЬ ВЕЛИК.**



# СЛАБЫЕ СВЯЗИ В БИОМЕМБРАНАХ

ЦЕЛОСТНОСТЬ БМ  
ПОДДЕРЖИВАЕТСЯ  
СЛАБЫМИ СВЯЗЯМИ.  
В БИОМЕМБРАНАХ ЭТО  
СВЯЗИ:

**ГИДРОФОБНЫЕ**

**ЭЛЕКТРО-  
СТАТИЧЕСКИЕ**

ОПРЕДЕЛЯЮЩУЮ РОЛЬ  
ИГРАЮТ  
ГИДРОФОБНЫЕ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.

ВОЗНИКАЮТ МЕЖДУ  
НЕПОЛЯРНЫМИ  
ГРУППИРОВКАМИ В  
РЕЗУЛЬТАТЕ ОТТАЛ-  
КИВАНИЯ МОЛЕКУЛ  
ВОДЫ.

# СЛАБЫЕ СВЯЗИ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ БИОМЕМБРАН

## ГИДРОФОБНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МЕМБРАНЕ:

- МЕЖДУ ХВОСТАМИ  
ЛИПИДОВ;
- МЕЖДУ ХВОСТАМИ  
И ИНТЕГРАЛЬНЫМИ  
БЕЛКАМИ.

## ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЕ СИЛЫ СВЯЗЫВАЮТ

- ПОЛЯРНЫЕ ГОЛОВКИ  
ЛИПИДОВ С  
ПЕРИФЕРИЧЕСКИМИ  
БЕЛКАМИ.

## 4. ФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БИОМЕМБРАН

ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ  
прежде всего  
СОСТОЯНИЕМ  
БИЛИПИДНОГО  
СЛОЯ.

А ЭТОТ СЛОЙ ОБЛАДАЕТ

*ЖИДКОСТНЫМИ*

*СВОЙСТВАМИ.*

Имеются  
многочисленные  
доказательства  
жидкостных свойств  
билипидного слоя.

В частности, это  
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ  
ЕГО СОБСТВЕННЫХ  
МОЛЕКУЛ  
И МОЛЕКУЛ МЕМБРАННЫХ  
БЕЛКОВ В НЕМ.

# Пояснения

МЕМБРАННЫЕ ЛИПИДЫ  
МОГУТ ПЕРЕМЕЩАТЬСЯ  
ДВУМЯ СПОСОБАМИ:

ЛАТЕРАЛЬНОЙ  
ДИФФУЗИЕЙ

И

ФЛИП-ФЛОПОМ.



# Пояснения

ЛАТЕРАЛЬНАЯ ДИФФУЗИЯ –  
ПЕРЕМЕЩЕНИЕ  
ЛИПИДНЫХ МОЛЕКУЛ  
В ПРЕДЕЛАХ СВОЕГО  
МОНОСЛОЯ  
(В ПЛОСКОСТИ МЕМБРАНЫ)

ФЛИП-ФЛОП –  
ПЕРЕМЕНА МЕСТАМИ  
ДВУХ ПРОТИВОСТОЯЩИХ  
ЛИПИДНЫХ МОЛЕКУЛ  
(ПЕРЕСКОК ИЗ ОДНОГО  
МОНОСЛОЯ В ДРУГОЙ)

СКОРОСТЬ  
ЛАТЕРАЛЬНОЙ  
ДИФФУЗИИ  
ВО МНОГО РАЗ БОЛЬШЕ  
СКОРОСТИ  
ФЛИП-ФЛОПА.

## Пояснения

МЕМБРАННЫЕ БЕЛКИ  
ТАКЖЕ МОГУТ  
СОВЕРШАТЬ  
ЛАТЕРАЛЬНУЮ  
ДИФфуЗИЮ  
В БИЛИПИДНОМ СЛОЕ.

ПО СКОРОСТИ  
ЛАТЕРАЛЬНОЙ ДИФфуЗИИ  
ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ  
БЕЛКОВ

МОЖНО СУДИТЬ О  
ВЯЗКОСТИ ЭТОГО СЛОЯ.

Оказывается,  
ЭТА ВЯЗКОСТЬ  
ПРИБЛИЗИТЕЛЬНО  
РАВНА  
ВЯЗКОСТИ  
ОЛИВКОВОГО  
МАСЛА.

А ОНО ЖИДКОЕ  
УЖЕ ПРИ КОМНАТНОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЕ.

# ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ БИОМЕМБРАН

- Итак, благодаря билипидному слою биомембраны имеют жидкостные свойства.
- С ДРУГОЙ СТОРОНЫ, МЕМБРАНЫ НЕ РАСТЕКАЮТСЯ, А, НАОБОРОТ, ПОДДЕРЖИВАЮТ ПОСТОЯННЫЕ ФОРМУ И ОБЪЕМ КЛЕТКИ. ОНИ ИМЕЮТ СЛОЖНУЮ СТРУКТУРУ, СОХРАНЯЮЩУЮСЯ ВО ВРЕМЕНИ.

**ТАКИМ ОБРАЗОМ, В МЕМБРАНАХ РЕАЛИЗУЕТСЯ СОЧЕТАНИЕ УПОРЯДОЧЕННОСТИ И ПОДВИЖНОСТИ, ЛАБИЛЬНОСТИ.**



**БИОМЕМБРАНЫ НАХОДЯТСЯ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ.**

## Уточнение

- ОБРАЗНОЕ ОПИСАНИЕ МОЗАИЧНОЙ МОДЕЛИ (ПРИНЯТО В НАУКЕ):
- *«БЕЛКОВЫЕ АЙСБЕРГИ ПЛАВАЮТ В ЛИПИДНОМ МОРЕ.»*

ЧАСТЬ БЕЛКОВЫХ МОЛЕКУЛ ЗАКРЕПЛЕНА НА ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ КЛЕТКИ – МИКРОФИЛАМЕНТАХ и МИКРОТРУБОЧКАХ.

Это СТАБИЛИЗАТОРЫ КЛЕТОЧНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.