

# Поверхностные структуры бактериальной клетки. Цитоплазматическая мембрана

Цитология микроорганизмов



# Таксономические категории бактерий

**Gracilicutes** (от лат. «gracilis» - тонкий, «cutes» - кожа)

- 1.Scotobacteria (нефотосинтезирующие формы, например миксобактерии)
- 2.Anoxiphotobacteria (не выделяющие кислорода фотосинтезирующие формы, например пурпурные серные бактерии)
- 3.Oxiphotobacteria (выделяющие кислород фотосинтезирующие формы, например цианобактерии)

**Firmicutes** (от лат. «firmus» - крепкий, прочный, «cutes» - кожа)

- 1.Firmibacteria (формы с жесткой клеткой, например клостридии)
- 2.Thallobacteria (разветвленные формы, например актиномицеты)

**Tenericutes** (от лат. «tener» - мягкий, нежный, «cutes» - кожа)

- 1.Mollicutes (формы с мягкой клеткой, например микоплазмы)

**Mendosicutes** (от лат. «mendosus» - ошибочный, «cutes» - кожа)

- 1.Archaeobacteria (древние формы, например метанобразующие)

Группы основной категории I  
**Gracilicutes** (от лат. «gracilis» - тонкий, «cutes» - кожа)  
(грамотрицательные бактерии, имеющие клеточную стенку)

Группа	Название	Признаки
1	Спирохеты	Грамотрицательные, спиралевидные, гибкие, подвижные за счет периплазматического жгутика
2	Аэробные (микроаэрофильные), подвижные, спиралевидные (вибриоидные) бактерии	Грамотрицательные, спиралевидные (один и более витков) или вибриоидные (менее одного витка), подвижны за счет полярного жгутика
3	Неподвижные (реже подвижные) изогнутые бактерии	Грамотрицательные -изогнутые или С-образные, способные образовывать кольца, возможно наличие газовых вакуолей, аэробы -вибриоидные или прямые палочки с газовыми вакуолями, анаэробы -дугообразные с газовыми вакуолями, образующие ценобии из двух или четырех колец, бывают кренделевидные клетки -тонкие S-образные клетки, образуют агрегаты сигмоидной формы (число клеток кратно 4), иногда подвижны
4	Аэробные (микроаэрофильные) палочки и кокки	Грамотрицательные, не образуют простеки, стебельки, чехлы или газовые вакуоли, не способны к скользящему движению, не размножаются почкованием
5	Факультативно анаэробные палочки	Грамотрицательные, не образуют простеки, стебельки, чехлы или газовые вакуоли, не способны к скользящему движению, не размножаются почкованием
6	Анаэробные прямые, изогнутые и спиралевидные палочки	Грамотрицательные
7	Бактерии, восстанавливающие сульфат или серу	Грамотрицательные

# Группы основной категорий I (грамотрицательные бактерии, имеющие клеточную стенку)

Группа	Название	Признаки
8	Анаэробные кокки	Грамотрицательные
9	Риккетсии и хламидии	Грамотрицательные, палочковидные, кокковидные или плеоморфные
10	Аноксигенные фототрофные бактерии	Грамотрицательные, содержат бактериохлорофилл, не выделяют кислород
11	Оксигенные фототрофные бактерии	Грамотрицательные, содержат хлорофилл <i>a</i> , выделяют кислород -содержат хлорофилл <i>a</i> и фикобилипротеины (цианобактерии) -содержат хлорофилл <i>a</i> и хлорофилл <i>b</i>
12	Аэробные хемолитотрофные бактерии	Грамотрицательные, нитрификаторы, окисляют серу, водород, накапливают оксиды железа, марганца или образуют магнетосомы
13	Почкующиеся (образующие выросты) бактерии	Грамотрицательные -имеют простеки (делятся почкованием или бинарным делением) -не образуют простеки (почкующиеся или не почкующиеся со стебельками или другие, несущие на концах нити с диоксидом марганца, несущие лентовидные структуры, снабженные стебельками)
14	Бактерии, имеющие чехлы	Грамотрицательные, не способны к скользящему движению, растут в виде нитей, клетки которых окружены чехлом. При фазово-контрастной микроскопии трубка выглядит прозрачной. Иногда чехол очень тонкий и плотно прилегает к клеткам. Его цвет от желтого до темно-коричневого за счет отложения в них оксидов железа и марганца

## Группы основной категорий I (грамотрицательные бактерии, имеющие клеточную стенку)

Группа	Название	Признаки
15	Нефотосинтезирующие скользящие бактерии, не образующие плодовых тел	Грамотрицательные палочки или нити, лишенные жгутиков, но способные скользить по твердой поверхности. Иногда могут быть чехлы.
16	Скользящие бактерии, образующие плодовые тела	Грамотрицательные, лишенные жгутика, но способные скользить по твердой поверхности. Агрегируют с образованием плодовых тел, состоящей из видоизмененной слизи и клеток (по форме от комочков до характерных структур, несущих спорангии)

## Группы основной категории II

**Firmicutes** (от лат. «firmus» - крепкий, прочный, «cutes» - кожа)  
(грамположительные бактерии, имеющие клеточную стенку)

Группа	Название	Признаки
17	Грамположительные кокки	Грамположительные, не образующие спор кокки -аэробные в парах, скоплениях или тетрадах -факультативные анаэробы или микроаэрофильные кокки в парах, цепочках, кластерах или тетрадах -строгие анаэробы в парах, цепочках, тетрадах или пакетах кубической формы
18	Образующие эндоспоры палочки и кокки	Грамположительные, образуют устойчивые к нагреванию эндоспоры. Подвижные палочки или нити (один род – кокки в тетрадах или пакетах)
19	Не образующие спор палочки правильной формы	Грамположительные палочковидные клетки
20	Не образующие спор палочки неправильной формы	Грамположительные палочки в т.ч. булабовидной или разветвленной нитевидной формы
21	Микобактерии	Грамположительные неподвижные не образующие спор палочковидные, иногда образуют ветвящиеся нити
22-29	Актиномицеты	Грамположительные, образуют разветвленные нити или гифы в виде мицелия, стабильного или распадающегося на палочковидные или кокковидные элементы, подвижные, если есть жгутики

Группы основной категории III  
**Tenericutes** (от лат. «tener» - мягкий, нежный, «cutes» - кожа)  
 (бактерии, лишенные клеточной стенки)

Группа	Название	Признаки
30	Микоплазмы	Плеоморфные клетки, лишенные клеточной стенки, бывает скользящее движение

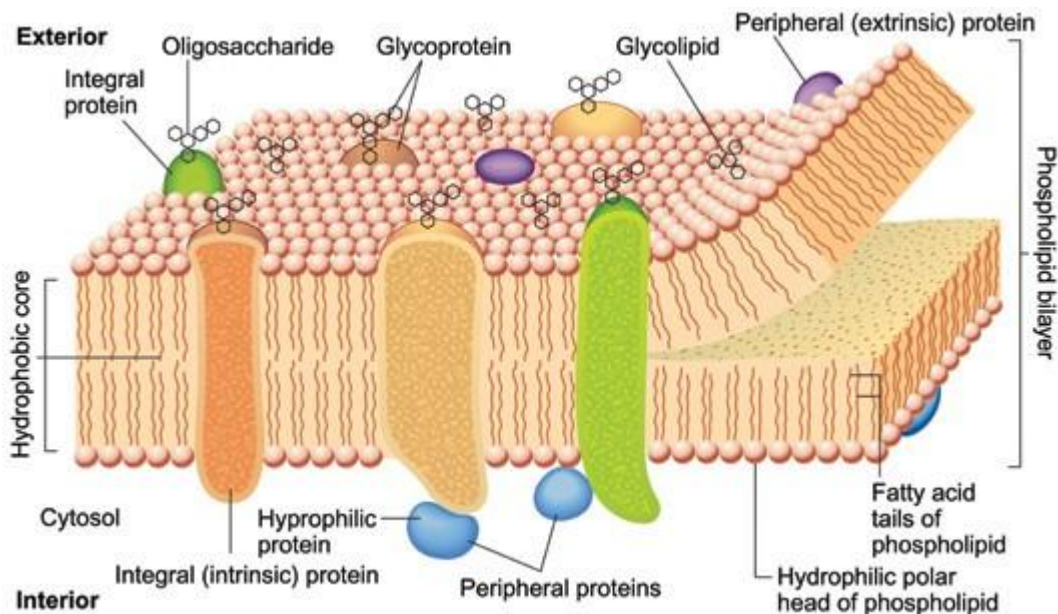
Группы основной категории IV  
**Mendosicutes** (от лат. «mendosus» - ошибочный, «cutes» - кожа)  
 (археи)

Группа	Название	Признаки
31	Метаногены	Анаэробы, образуют метан
32	Сульфатредуцирующие археи	Анаэробы, образуют сероводород, экстремальные термофилы
33	Экстремальные галофильные археи	Грамотрицательные или грамположительные, палочковидные от правильной до выраженной неправильной
34	Археи, лишенные клеточной стенки	Термоацидофилы, кокоовидные
35	Экстремальные термофилы и гипертермофилы	Грамотрицательные палочки, нити или кокки, метаболизируют серу

# Цитоплазматическая мембрана



Трехслойная структура  
Толщина 4-7 нм  
Два осмиофильных слоя  
Один  
электроннопрозрачный



50% липидов  
50% белков  
Двойной липидный  
слой  
Белки погружены в  
один из слоев или  
пронизывают оба слоя



# Модели мембран

- Термин «мембрана» введен Карлом фон Негели/Гуго фон Моль (одновременно, 1855);
- Изучение проницаемости мембраны для различных соединений и зависимость от растворимости в липидах – Чарльз Эрнест Овертон (1895);
- **1 модель** – монослой фосфолипидов (Ч.Э. Овертон, 1902);
- **2 модель** – бислой фосфолипидов, так как экстрагируется количество фосфолипидов, площадь которых в два раза выше площади клетки (Эверт Гортер и Франсуа Грендель, 1925);
- **3 модель** – бислой фосфолипидов, расположенный между двумя слоями глобулярных белков, так как сила поверхностного натяжения мембран больше похожа на границу белок-вода, чем липид-вода (Хью Девсон и Джеймс Даниелли, 1935);

# Жидкостно-мозаичная модель мембран

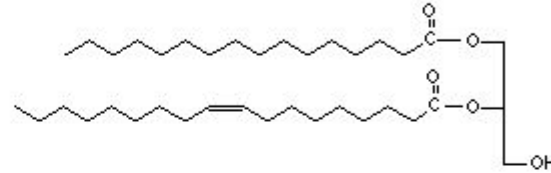
- Рентгеноструктурный анализ (дифракция рентгеновский лучей (0,001-10 нм) на атомах) – молекулы фосфолипидов расположены упорядочено, определено расстояние между полярной головкой и метильной группой хвоста;
- Электронная микроскопия (поглощение и рассеивание электронов (0,005-0,1 нм) клеточными структурами) – выявлено расположение белковых молекул относительно липидов;
- Электронный парамагнитный резонанс и ядерный магнитный резонанс (смещение спектра при СВЧ воздействии, выявление резонанса при действии магнитного поля) – липиды находятся в жидком состоянии, белки не на всей поверхности мембраны;
- **4 модель** – бислоем фосфолипидов, в котором располагаются белки (Сеймур Сингер и Гарт Николсон, 1972).

# Липиды

- Нейтральные (жиры, воска, каротиноиды, стероиды) – продукты метаболизма, мало влияют на структуру мембран;

Diacylglycerol:

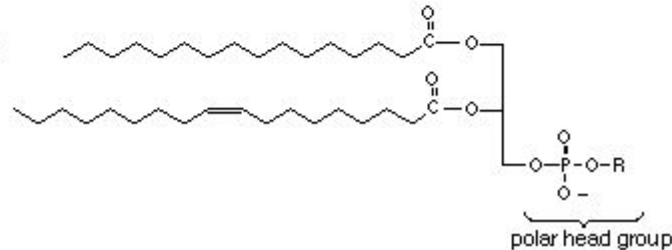
*sn*1,2 DAG



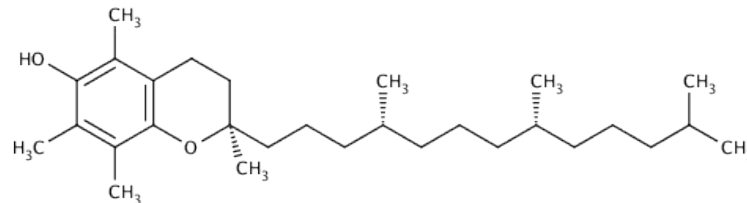
- Амфифильные (фосфолипиды, гликолипиды, жирные кислоты) – основной структурный компонент мембран;

Phospholipids:

(PL)

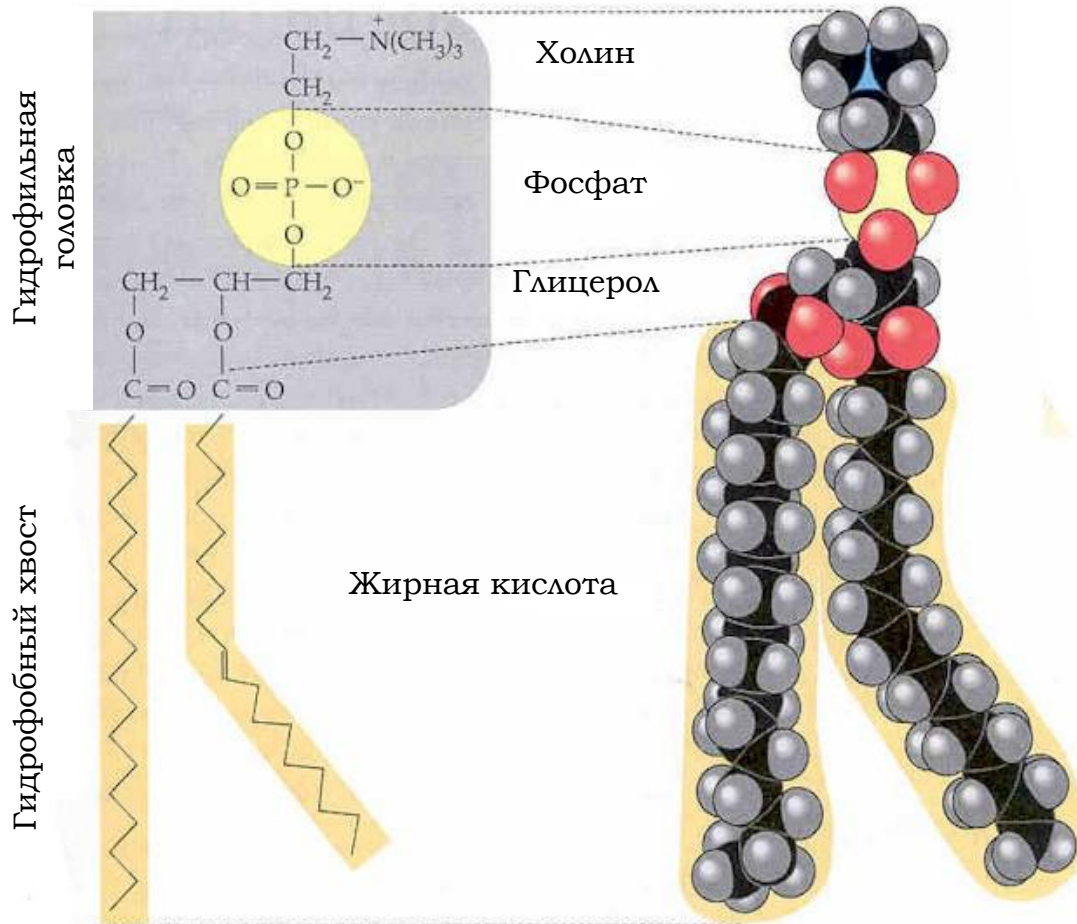


- Жирорастворимые витамины (витамины А, Д, Е, К) – некоторые выполняют роль антиоксидантов.



# Фосфолипиды

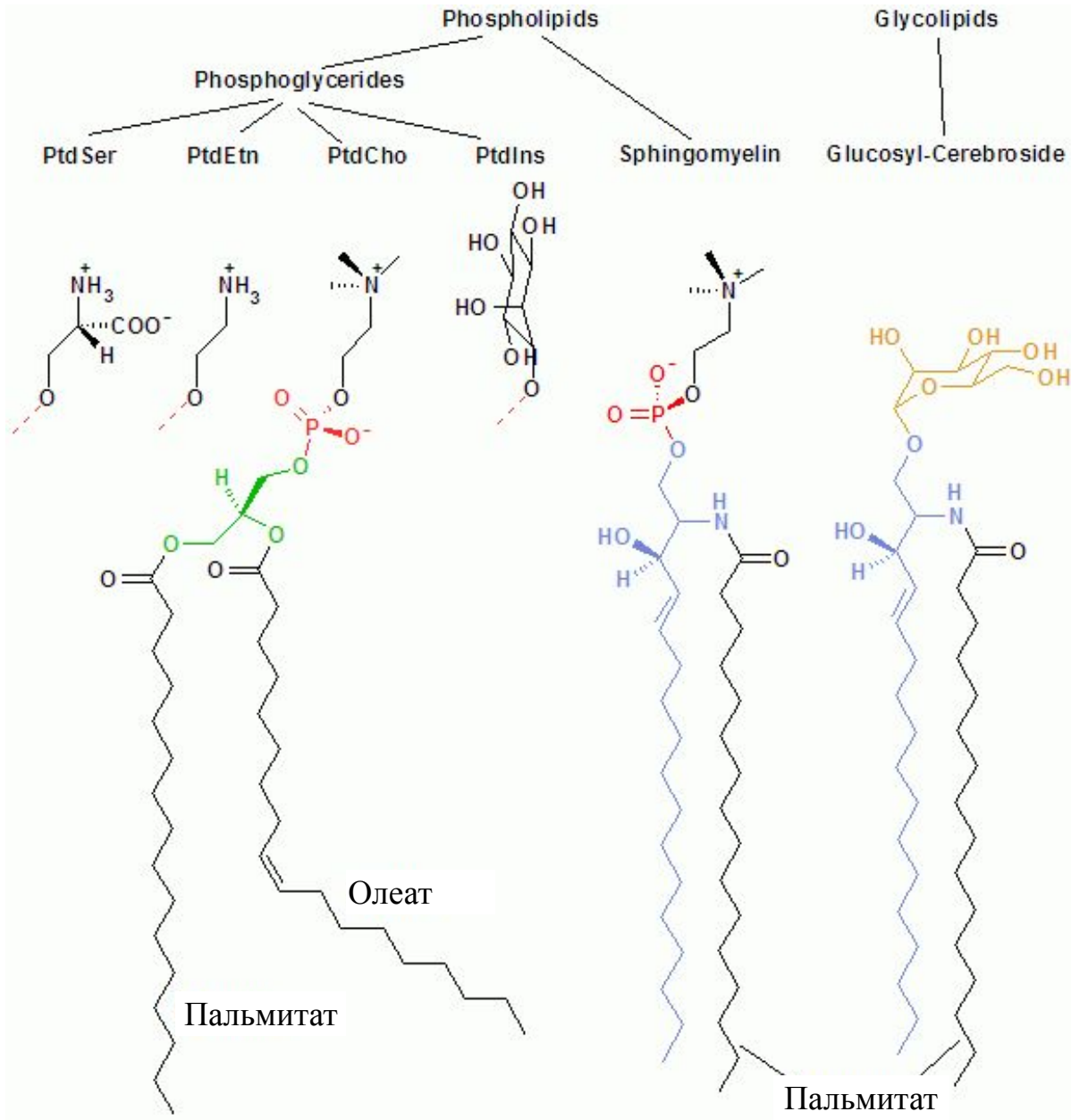
**Типы:** 1) глицерофосфолипиды; 2) сфингофосфолипиды.



Молекула глицерофосфолипида (на примере фосфотидилхолина)

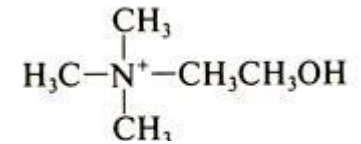
1 и 2 гидроксильная группы этерифицированы ЖК (на втором – ненасыщенная ЖК) 3 гидроксильная группа образует сложную связь с фосфорной кислотой С фосфорной кислотой взаимодействует азотистое (холин, этаноламин, серин) или безазотистое (инозит, глицерин) основание.

# Фософолипиды мембраны

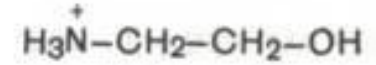


# Глицерофосфолипиды

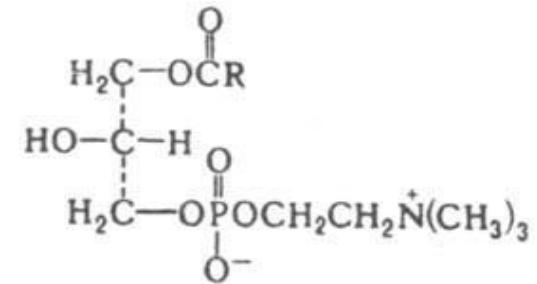
Фосфатидилхолин – основной компонент мембран протист и животных



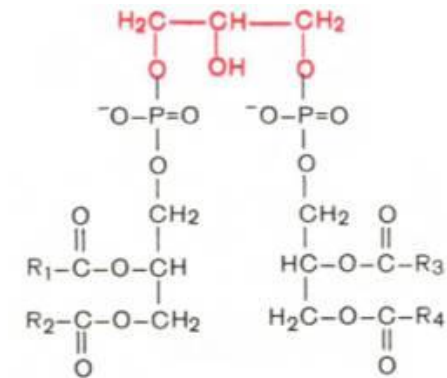
Фосфатидилэтаноламин – основной компонент мембран бактерий



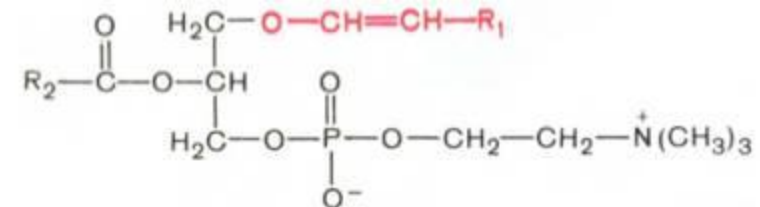
Лизофосфолипиды – производные глицерофосфолипидов, утративших одну из двух ацильных групп (при действии фосфолипаз)



Кардиолипины – димерные формы фосфолипидов, объединенные по полярной головке (во внутренней мембране митохондрий, мембране бактерий)



Плазмалогены – модифицированные глицерофосфолипиды, у которых одна ЖК заменена на виниловый спирт



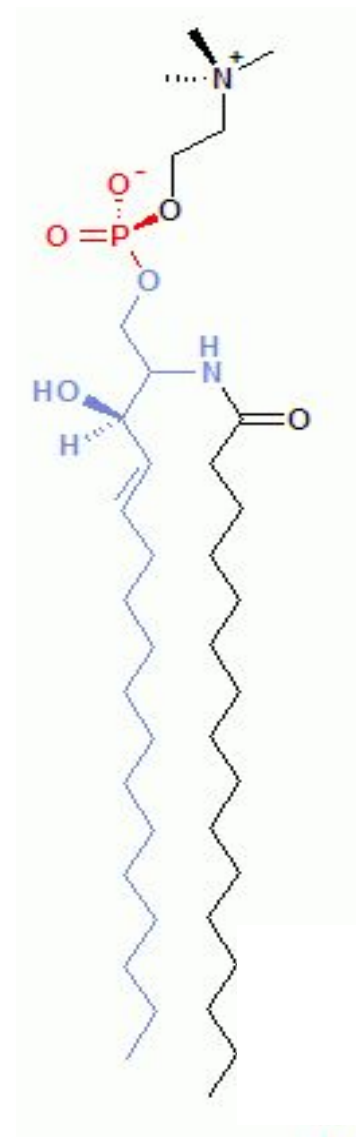
# Сфингофосфолипиды

Построены на основе сфингозина –  
длинноцепочечного ненасыщенного аминоспирта.

Аминогруппа спирта ацилируется насыщенным  
жирной кислотой с образованием церамида.

Гидроксильная группа этерифицируется  
фосфорной кислотой с холином, серином или  
этанололамином.

Типичный представитель – сфингомиелин.

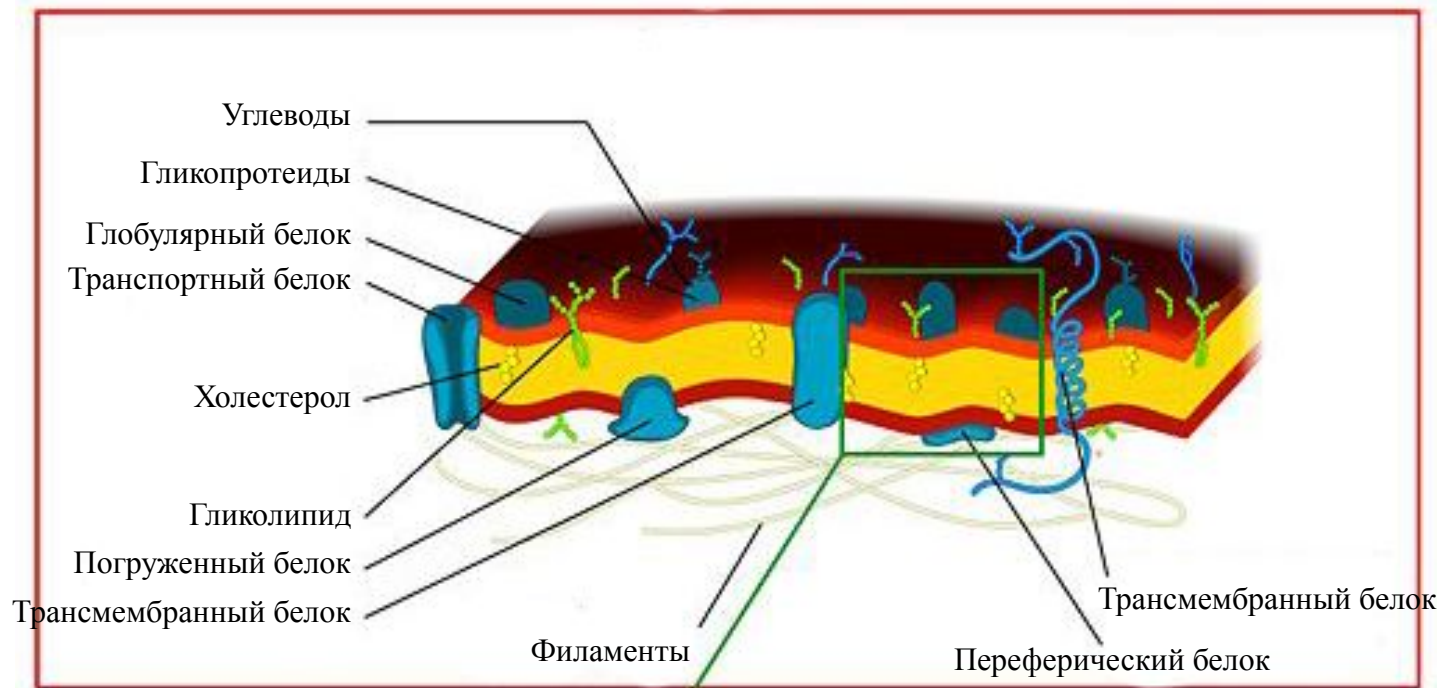


# Жирные кислоты фосфолипидов

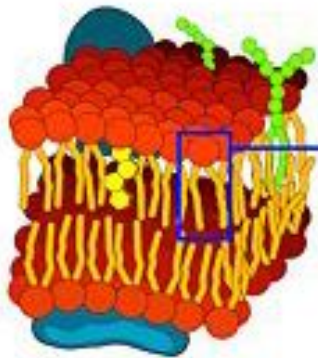
	Кислота	Мол. м.	Т. пл., °С
	Капроновая (гексановая) $C_5H_{11}COOH$ . . . . .	128,20	- 3,4
	Каприловая* (октановая) $C_7H_{15}COOH$ . . . . .	144,21	16-16,7
	Каприновая (декановая) $C_9H_{19}COOH$ . . . . .	172,27	31-31,6
	Ундециловая (ундекановая) $C_{10}H_{21}COOH$ . . . . .	186,30	28-30,5
	Лауриновая* (додекановая) $C_{11}H_{23}COOH$ . . . . .	200,32	43,6-44,5
	Тридециловая (тридекановая) $C_{12}H_{25}COOH$ . . . . .	214,35	41,5
14:0	Миристиновая* (тетрадекановая) $C_{13}H_{27}COOH$ . . . . .	228,38	53,5-54,4
	Пентадециловая (пентадекановая) $C_{14}H_{29}COOH$ . . . . .	242,40	52-54
16:0	Пальмитиновая (гексадекановая) $C_{15}H_{31}COOH$ . . . . .	256,43	62,5-64,0
	Маргаритиновая (гептадекановая) $C_{16}H_{33}COOH$ . . . . .	270,46	60,0
18:0	Стеариновая (октадекановая) $C_{17}H_{35}COOH$ . . . . .	284,48	69,2-69,9
	Нонадекановая (нонадециловая) $C_{18}H_{37}COOH$ . . . . .	298,51	68,6
	Арахидиновая (эйкозановая) $C_{19}H_{39}COOH$ . . . . .	312,54	75,3
	Бегеновая (докозановая) $C_{21}H_{43}COOH$ . . . . .	340,59	79,9-84
18:1	Олеиновая (октадеценевая) $C_{17}H_{33}COOH$ . . . . .	282,47	13,4 и 16,3 (полиморфизм)
	Эруковая (докозеновая) $C_{21}H_{41}COOH$ . . . . .	338,58	33,0-34,7
18:2	Линолевая (октадекадиеновая) $C_{17}H_{29}COOH$ . . . . .	280,45	От - 5 до - 5,2
18:3	Линоленовая (октадекатриеновая) $C_{17}H_{27}COOH$ . . . . .	278,44	От - 11 до - 12,8
20:4	Арахидиновая (эйкозантетраеновая) $C_{19}H_{31}COOH$ . . . . .	304,47	- 49,5
	Клупанодоновая (докозанпентаеновая) $C_{21}H_{33}(OH)COOH$ . . . . .	330,51	От - 11,0 до - 11,3
	Рицинолевая (гидроксиоктадеценевая) $C_{17}H_{32}(OH)COOH$ . . . . .	298,47	4-5; 7,7-16 (полиморфизм)



# Цитоплазматическая мембрана. Фософолипиды мембраны



## Билипидный слой



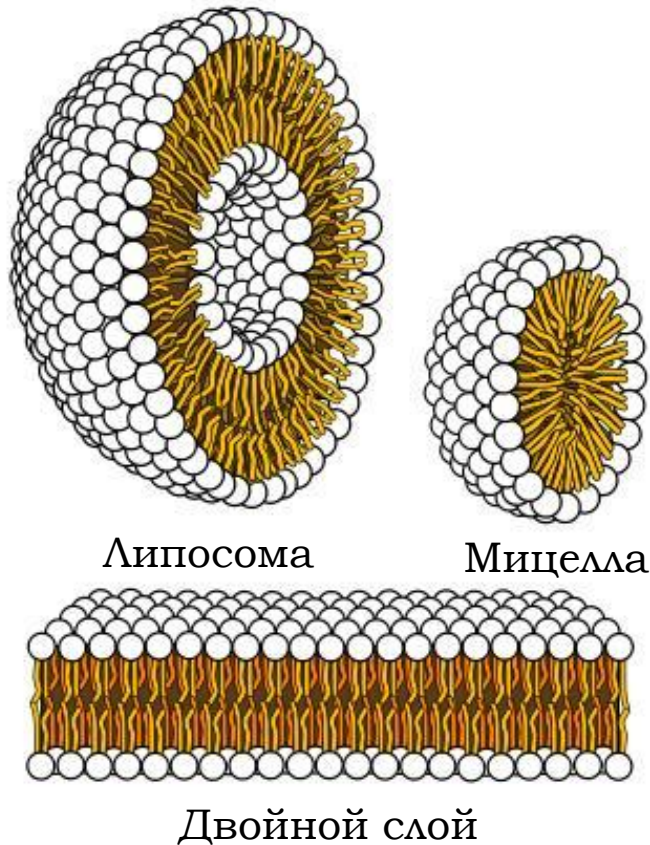
## Фософолипид



Гидрофильный участок

Гидрофобный участок

# Самоорганизация биологических мембран



Формирование мезоморфных структур определяется:

- 1) Липотропный мезоморфизм (липид/вода)
- 2) Термотропный мезоморфизм

Энергетически выгодно формирование монослоя на разделе фаз вода-масло или вода-газ.

Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ)  $< 1\%$

Жидкокристаллическая фаза (цис-форма, толщина минимальна),  $L\alpha$

Гелевая фаза (транс-форма, толщина максимальна),  $L\beta$

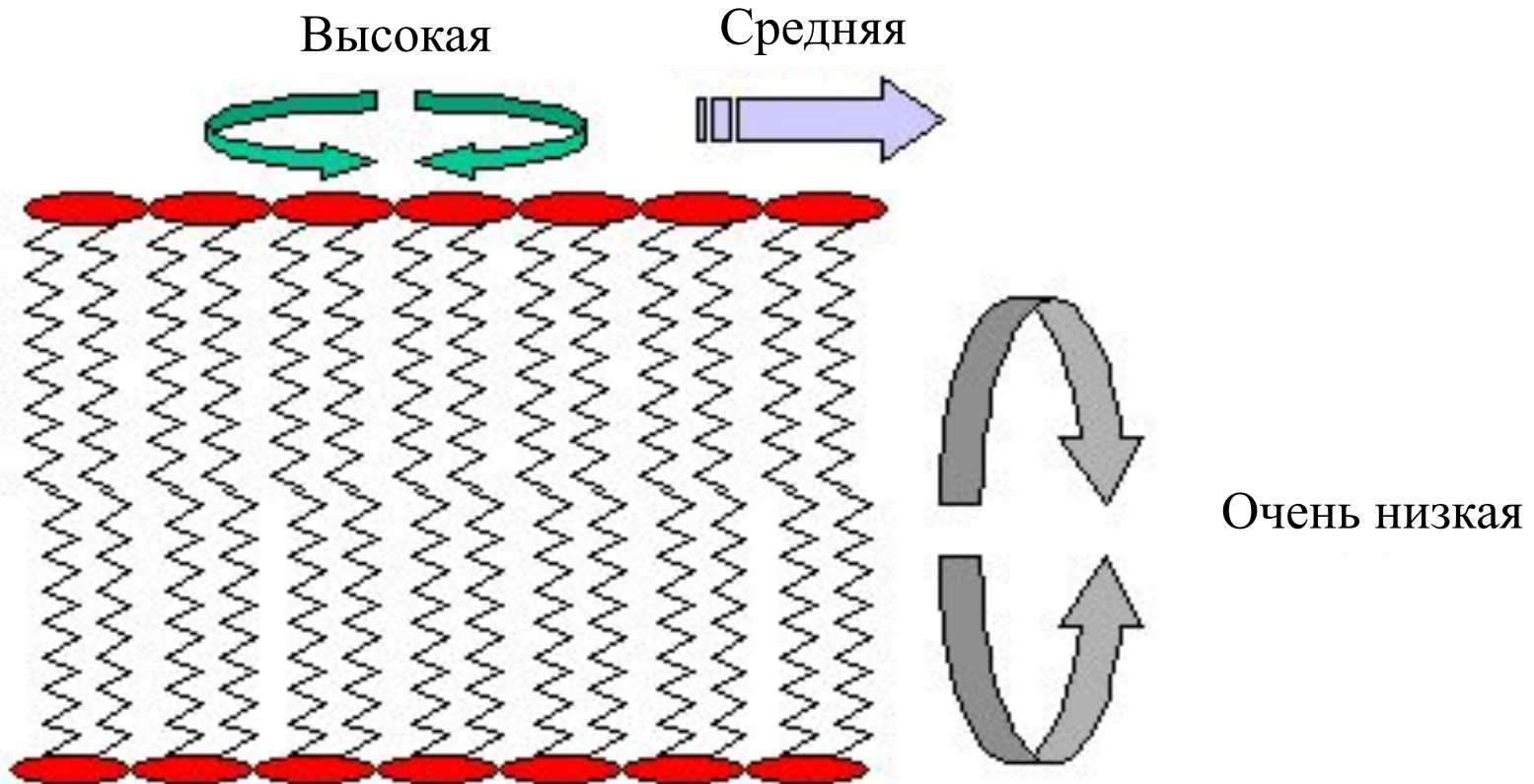
Гексагональная фаза I (цилиндры, где хвосты обращены внутрь)

Гексагональная фаза II (цилиндры, где головки обращены внутрь)

# Подвижность биологических мембран

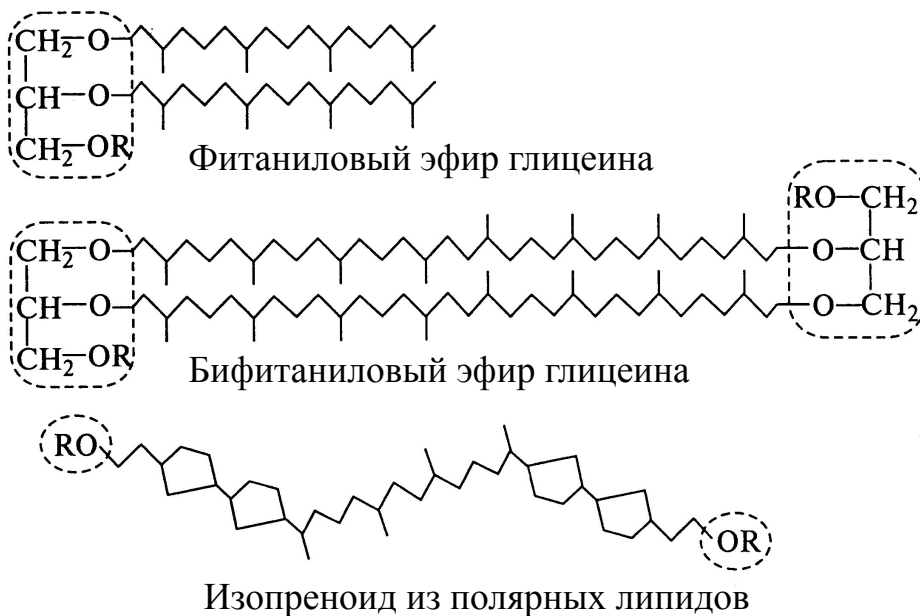
Латеральная – перемещение фосфолипидов в пределах одного слоя

Трансбислойный переход – переход фосфолипидов между слоями (на 12 порядков медленнее)



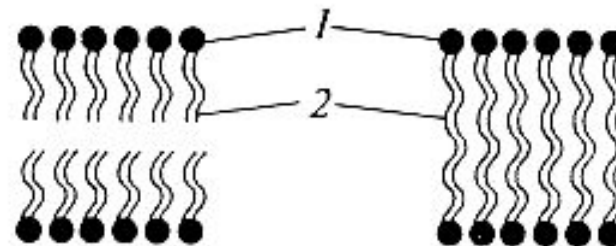
# Различия в строении мембраны у разных экологических групп микроорганизмов

## Липиды архебактерий



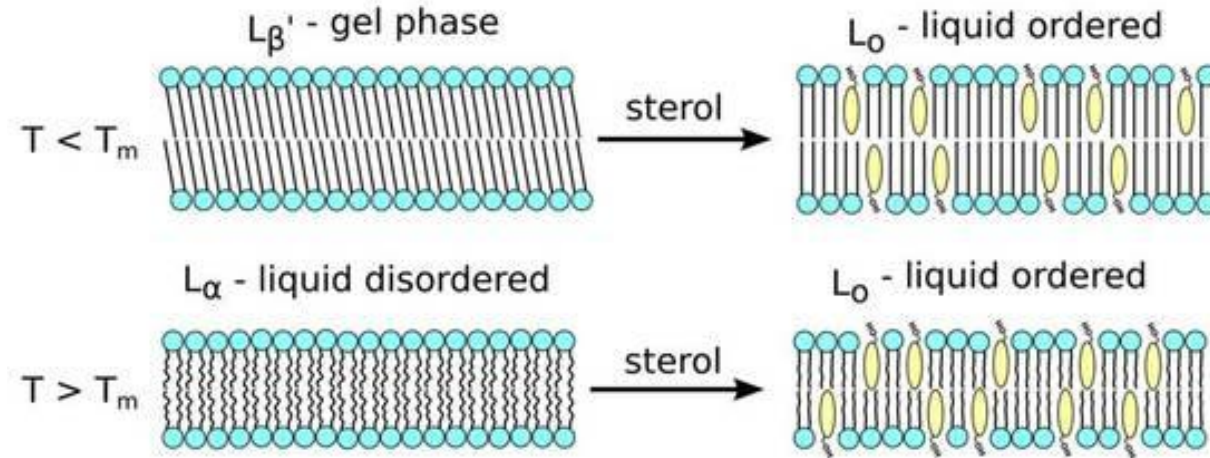
R – остатки фосфорной кислоты или сахара; обведены полярные области

## Бислойная мембрана эубактерий и некоторых архебактерий (слева) и монослойная мембрана термофильных архебактерий (справа)



1 – гидрофильный участок  
2 – гидрофобный участок

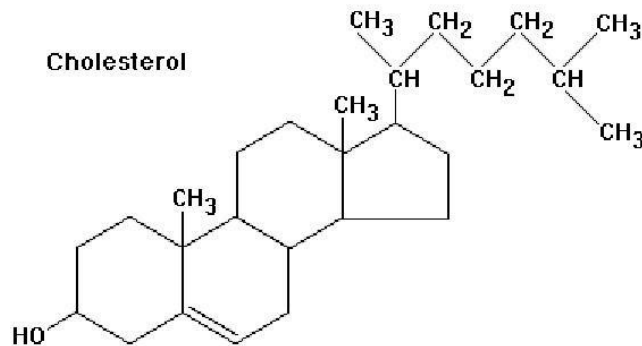
# Стероиды



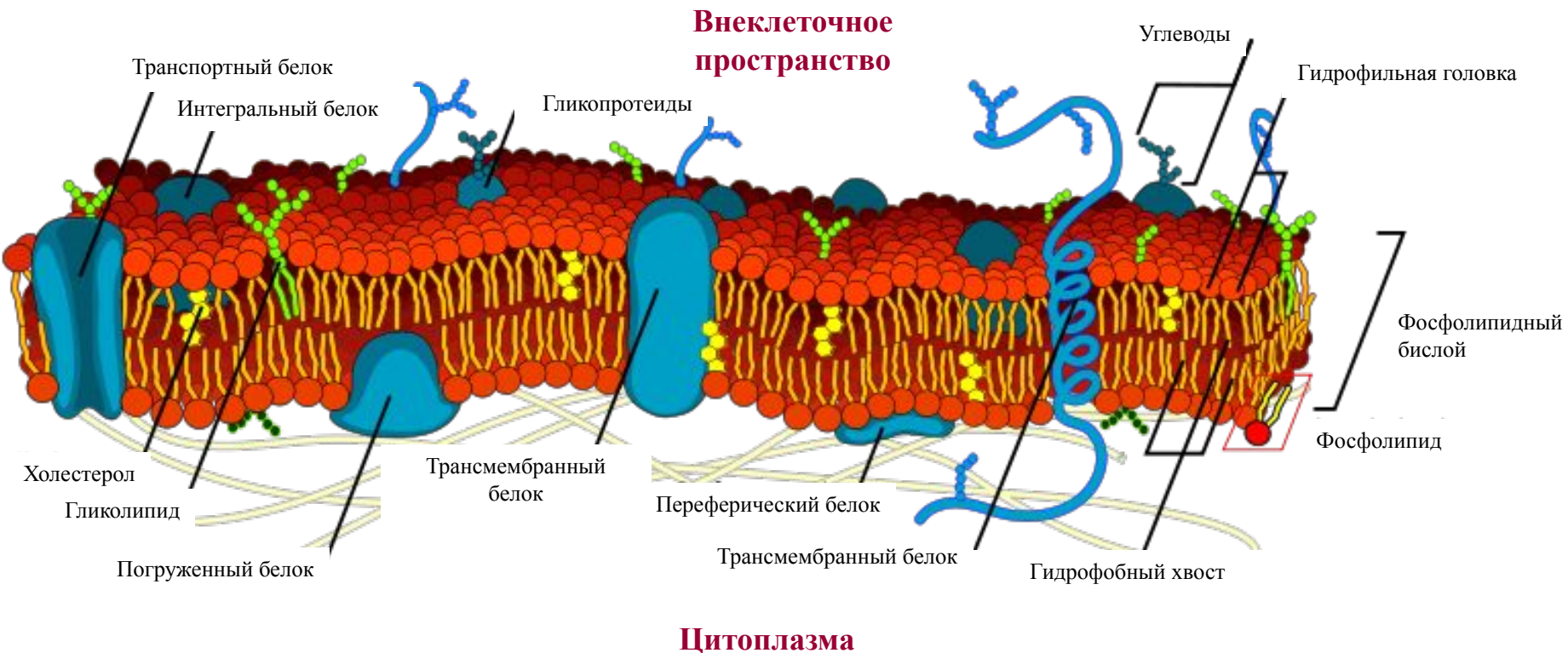
Обладают большей  
трансламеллярной  
подвижностью

Обеспечивают  
быструю адаптацию  
формы мембраны

Встречаются у  
Mollicutes и эукариот

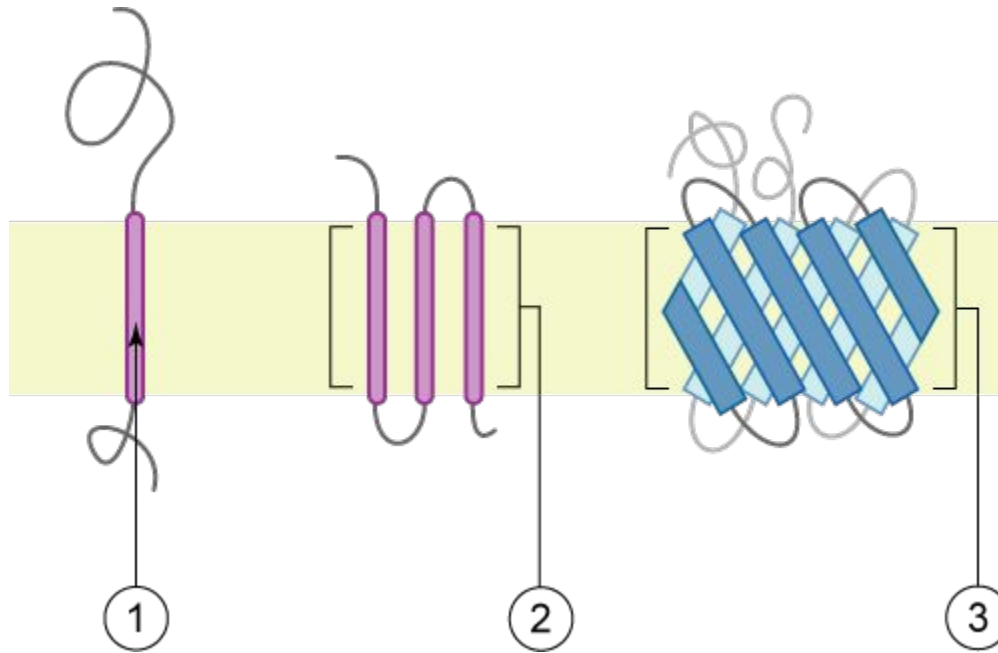


# Компоненты цитоплазматической мембраны



# Белки мембраны (топологическая классификация)

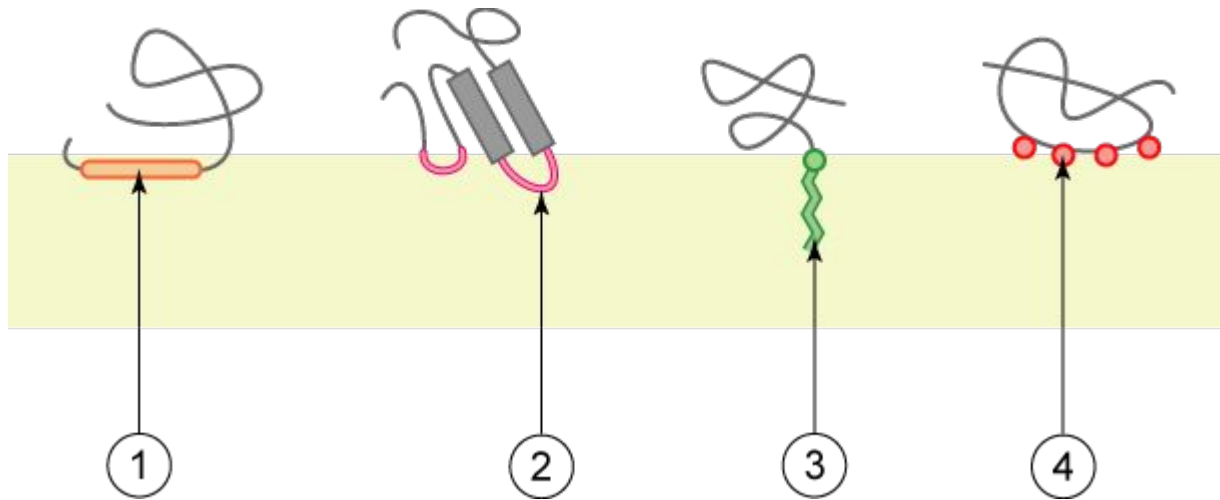
## Трансмембранные белки



Связывание с мембраной за счёт (1) единичной трансмембранной альфа-спирали, (2) множественных трансмембранных альфа-спиралей, (3) бета-складчатой структуры.

# Белки мембраны (топологическая классификация)

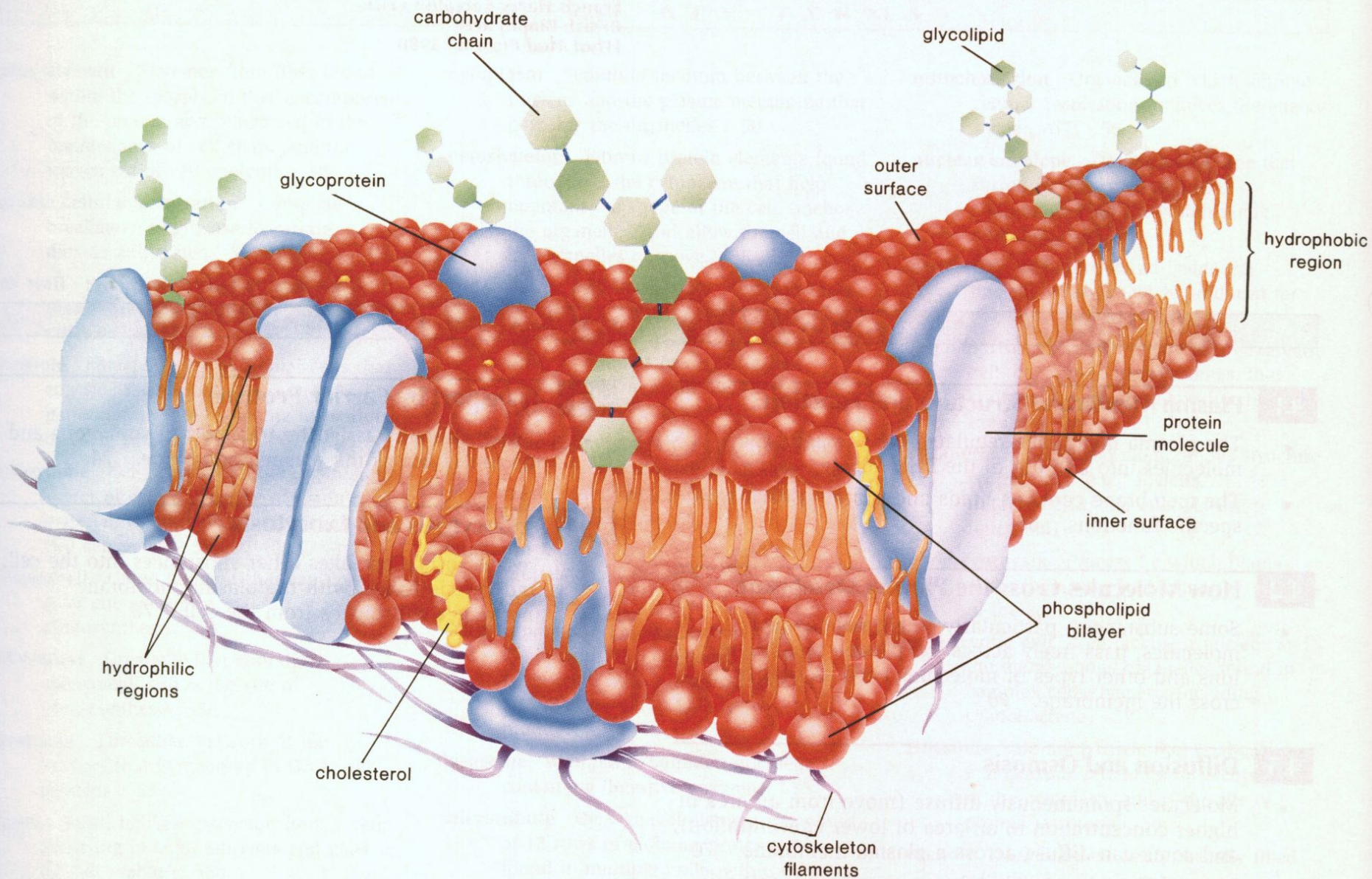
## Интегральные белки



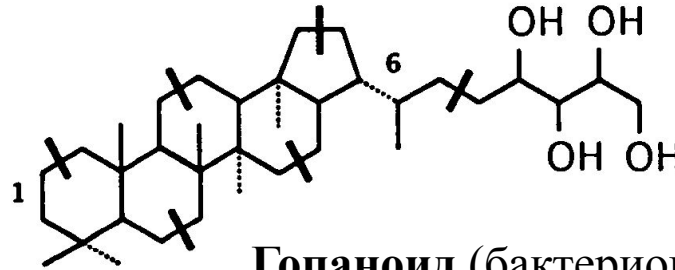
Связывание с мембраной за счёт (1) амфипатической альфа-спирали, параллельной плоскости мембраны, (2) гидрофобной петли, (3) ковалентно соединённого жирнокислотного остатка, (4) электростатического взаимодействия (прямого или кальций-опосредованного).



# Функциональная асимметрия мембраны



# Структура некоторых нейтральных липидов



Гопаноид (бактериогопантетрол)

## хиноны

(транспорт электронов)

ундекапренол и долихол

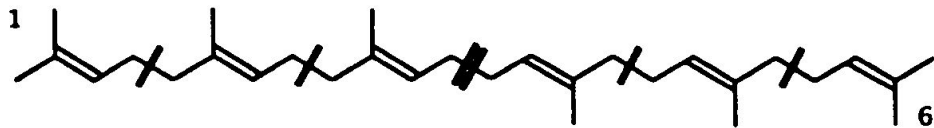
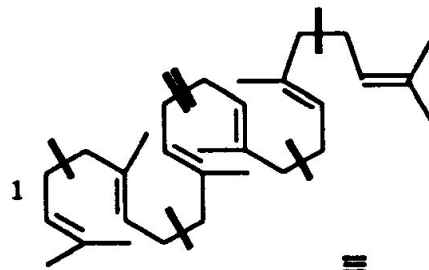
(перенос сахаров)

каротиноиды и ретиналь

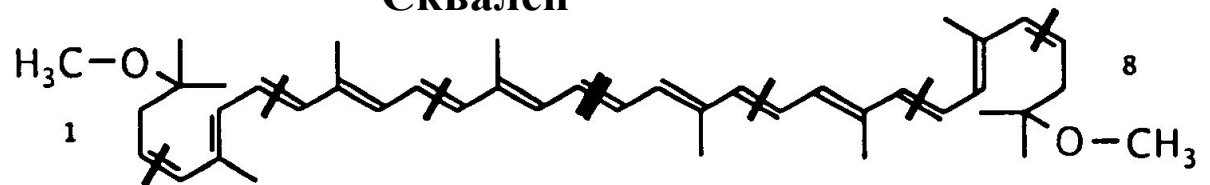
(поглощение света)

сквален и гопаноиды

(стабильность мембраны)

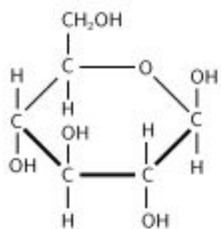


Сквален

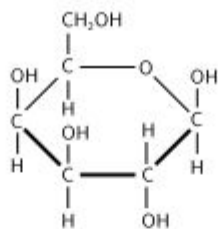


Каротиноид (спириллоксантин)

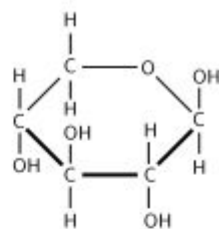
# Гликопротеиды и гликолипиды мембраны



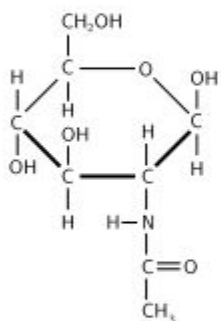
Beta-D-Glucose



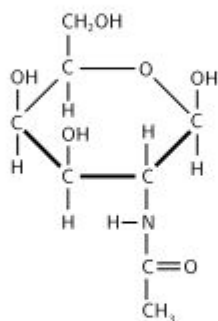
Beta-D-Galactose



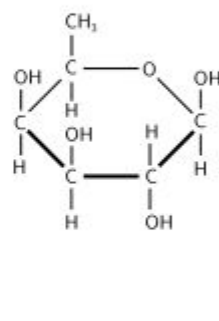
Beta-D-Xylose



N-Acetyl-Glucosamin

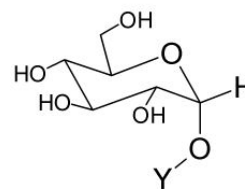


N-Acetyl-Galactosamin

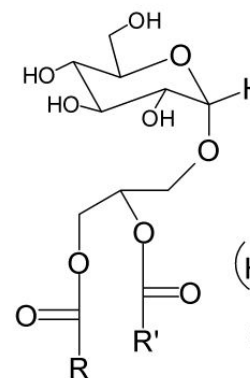


Beta-D-Fucose

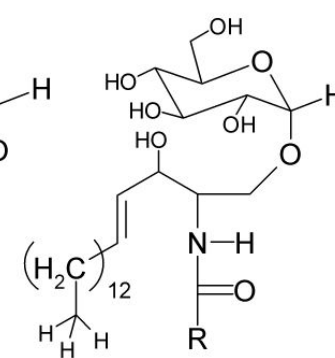
Glycolipids



Glycero-Glycolipids



Sphingo-Glycolipids



Y = Lipid

Гликопротеины (устар. гликопротеиды) — это сложные белки, в которых белковая (пептидная) часть молекулы ковалентно соединена с одной или несколькими группами гетероолигосахаридов.

Гликолипиды — комплексы, образованные молекулой липида и олигосахаридом