

ТЕРМОДИНАМІКА РІВНОВАЖНИХ
СТАНІВ. ТЕРМОДИНАМІКА
НЕЗВОРОТНИХ ПРОЦЕСІВ.
БІОФІЗИКА МЕМБРАН
ТА МЕМБРАННИЙ ТРАНСПОРТ



ПРЕДМЕТ ТА ПОНЯТТЯ ТЕРМОДИНАМІКИ

Термодинаміка – це наука про загальні закони перетворення одних видів енергії в інші. Енергія – універсальна кількісна міра для всіх форм руху матерії, здатних перетворюватися одна в іншу.

види енергії

механічна

характеризує рух макроскопічних тіл і здатність здійснювати роботу по переміщенню цих тіл. Підрозділяється на кінетичну, яка визначається швидкістю руху тіл, і потенційну, яка визначається взаємним розташуванням тіл.

теплова

сума кінетичної енергії хаотичного теплового руху всіх молекул речовини, що характеризується температурою. Теплова енергія є самим деградованим видом енергії, в яку, в кінці кінців, перетворюються всі інші види енергії.

електрична

енергія взаємодії електрично заряджених частинок, яка характеризується силами, що діють на ці частинки, які визначаються законом Кулона.

хімічна

енергія взаємодії атомів в молекулі. По суті хімічна енергія – це енергія електронів, що знаходяться на зовнішніх електронних оболонках атомів і молекул.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ

Перетворення одних видів енергії на інші види енергії підкоряється основному закону природи, який полягає в тому, що енергія замкнутої системи зберігається в часі, тобто **енергія не може виникнути ні з чого і не може в нікуди зникнути, вона може тільки переходити з однієї форми в іншу.**



кінетична енергія →

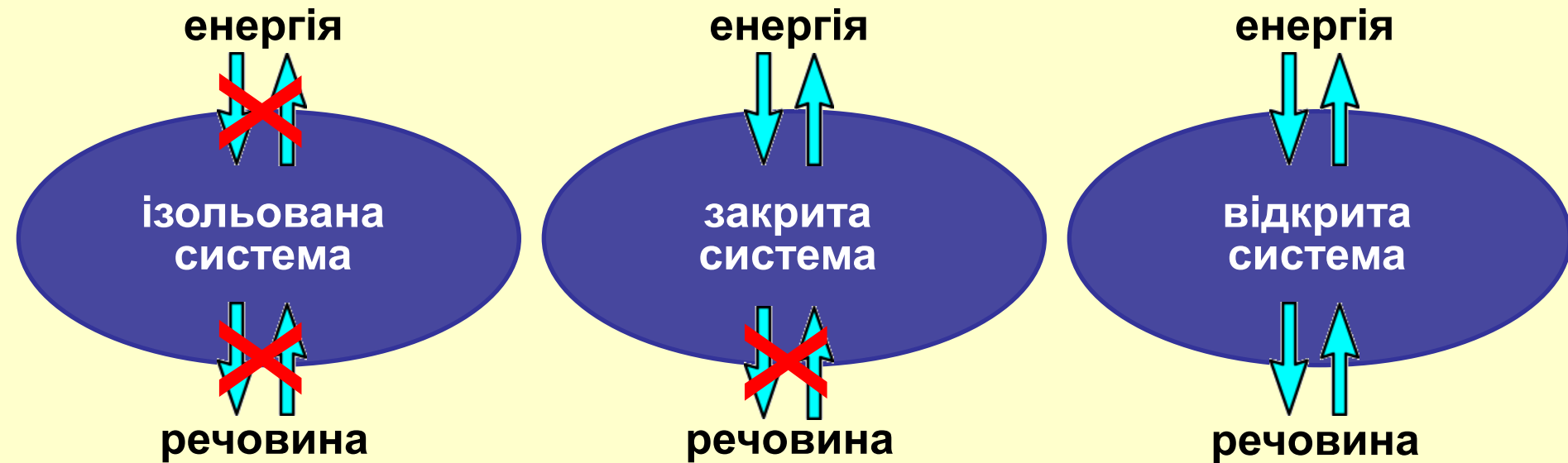


↓
потенційна
кінетична
↓
електрична



ТЕРМОДИНАМІЧНА СИСТЕМА

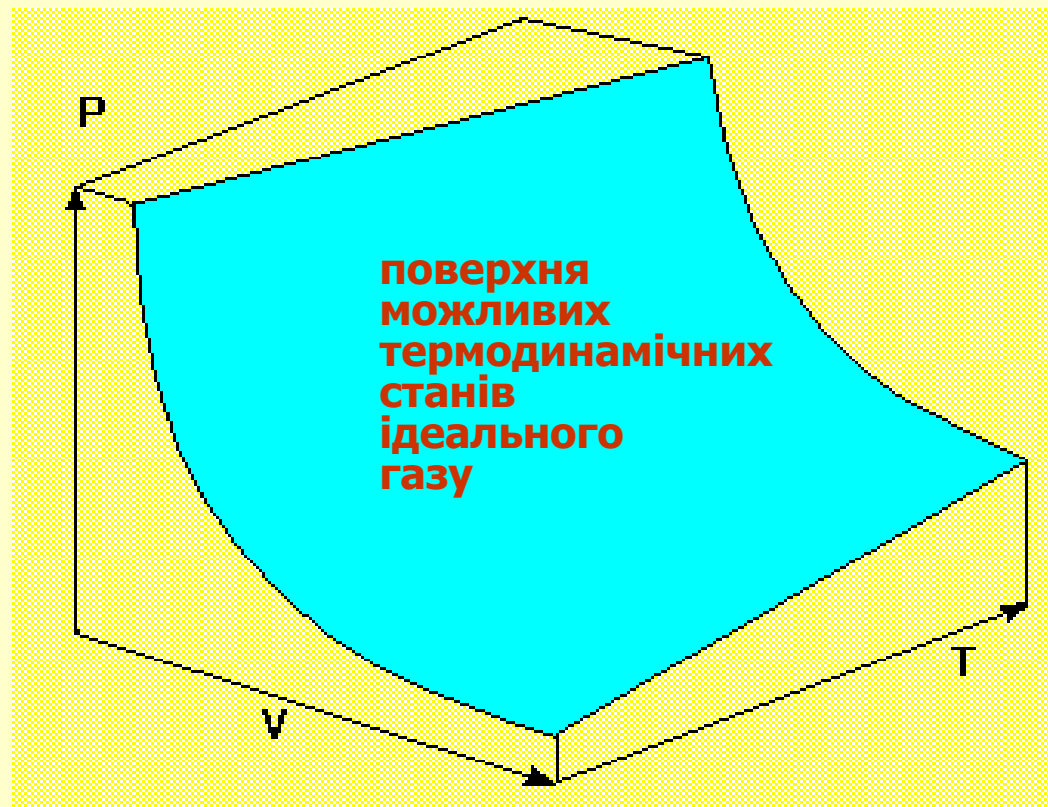
Термодинамічною системою називають сукупність матеріальних об'єктів, відокремлених реальними або умовними межами від навколишнього середовища, яка аналізується з погляду протікання в ній процесів перетворення енергії. Залежно від характеру взаємодії з навколишнім середовищем термодинамічні системи діляться на три типи. **Ізольовані системи** не обмінюються з навколишнім середовищем ні енергією ні речовиною. **Закриті системи** обмінюються з навколишнім середовищем тільки енергією, але не обмінюються речовиною. **Відкриті системи** обмінюються з навколишнім середовищем не тільки енергією, але і речовиною.



В зв'язку з тим, що реальну термодинамічну систему неможливо абсолютно теплоізулювати від зовнішнього середовища, ізольовану систему можна розглядати тільки як зручну термодинамічну модель.

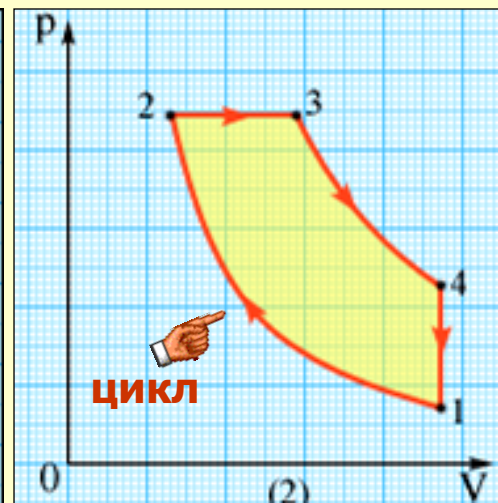
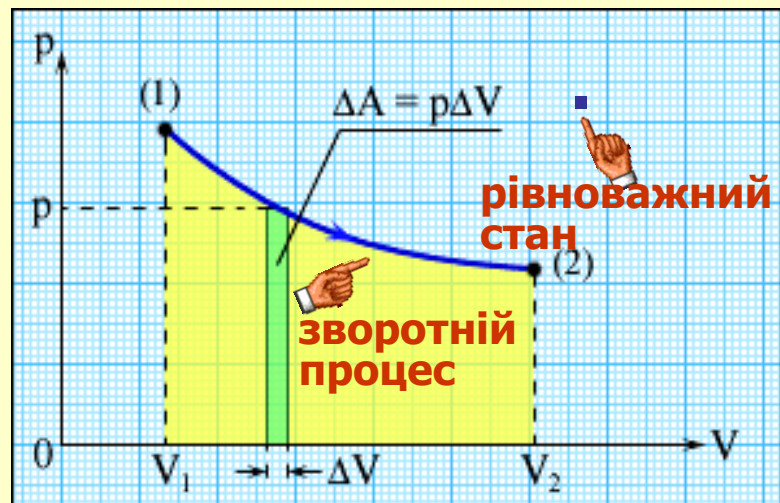
ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ І ПРОЦЕСИ

Величини, які характеризують термодинамічну систему, називаються **термодинамічними параметрами**. Сукупність цих параметрів (наприклад, **температура**, **тиск** і **об'єм**), необхідних для повного опису термодинамічної системи, визначає **термодинамічний стан**. Станом **термодинамічної рівноваги** називається стан, до якого неминуче з часом приходить будь яка ізольована система. У цьому стані припиняються всі **необоротні процеси**, термодинамічні параметри не змінюються з часом і відсутні їх градієнти. **Термодинамічним процесом** називається процес зміни стану системи, тобто перехід з одного термодинамічного стану в інший. Якщо система знаходиться в стані термодинамічної рівноваги, то термодинамічний процес можливий тільки за умови зміни зовнішніх параметрів. На малюнку представлена поверхня можливих термодинамічних станів ідеального газу, яка є сукупністю точок, що характеризують окремі термодинамічні стани.



ЗВОРОТНІ І НЕЗВОРОТНІ ПРОЦЕСИ

Процес, що складається з послідовності рівноважних станів, називається **рівноважним** або **квазістатичним**. При зміні спрямування рівноважного процесу (наприклад заміни стиснення газу розширенням) система проходила б через ті ж рівноважні стани, що і при прямому ході, але в зворотній послідовності. Тому рівноважні процеси є **зворотніми**. Якщо по координатних осях відкласти значення яких-небудь двох параметрів (наприклад, p і V або p і T), то рівноважний стан системи можна зобразити крапкою на відповідній координатній площині, а зворотній процес – суцільною лінією. Процес, при якому система після ряду змін повертається в початковий стан, називається **круговим процесом** або **циклом**. Параметри стану не завжди мають певні значення для будь-якої області системи. Наприклад, у тіла, що підігрівається з одного боку і охолоджується з іншого, температура в різних

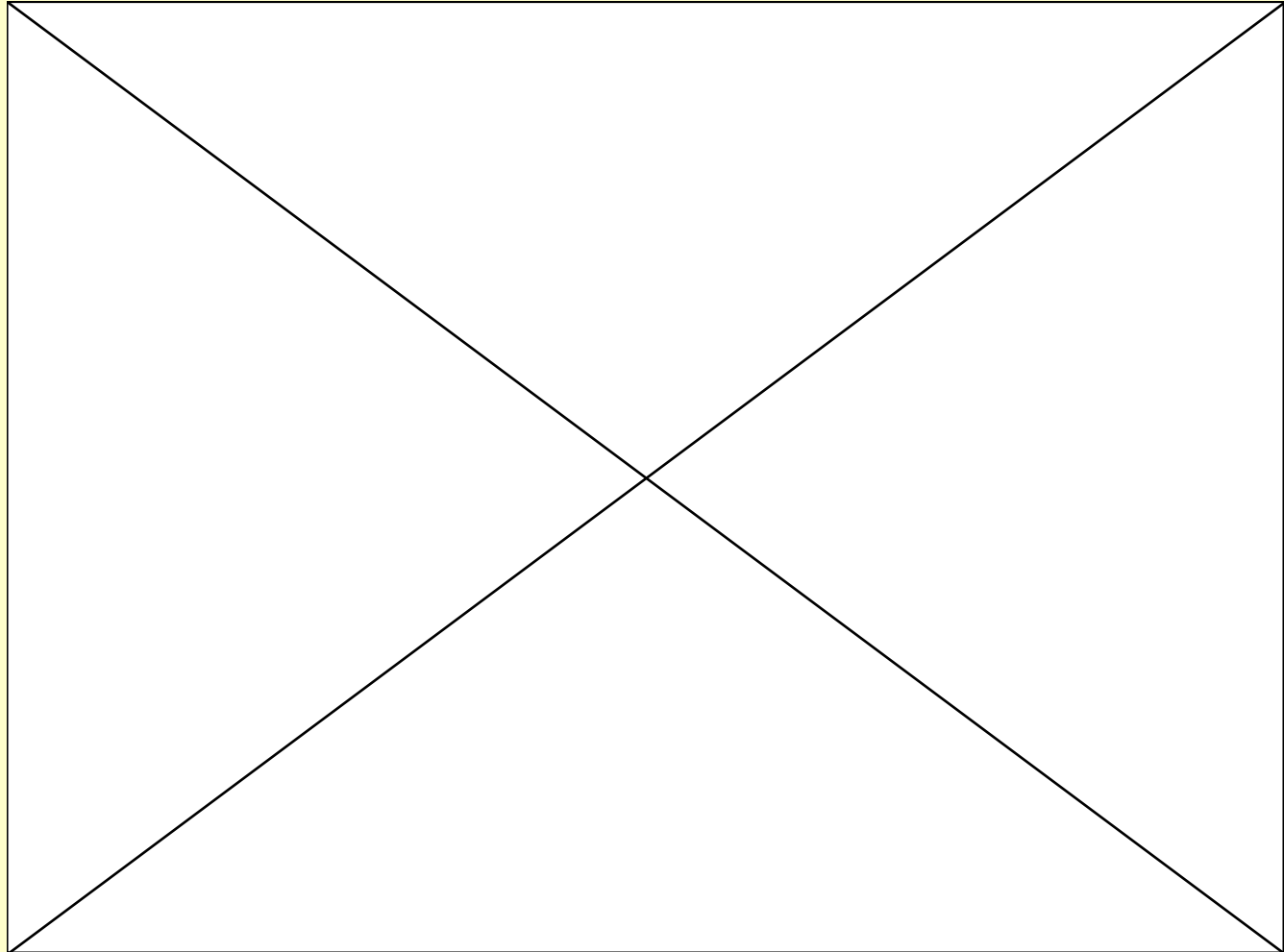


точках буде різною і тілу, як цілому, не можна приписати певної температури. Стан, в якому хоч би один з параметрів не має певного значення при незмінних зовнішніх впливах називається **нерівноважним**.

ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

Одним з найважливіших понять термодинаміки є **внутрішня енергія** системи. Всі макроскопічні тіла володіють енергією, яка знаходиться усередині самих тіл. Під внутрішньою енергією системи розуміють загальну суму всіх видів енергії у системі (механічної, теплової, хімічної, електричної і т. д.)

Внутрішня енергія U системи однозначно визначається термодинамічними параметрами, що характеризують стан системи. Вона не залежить від того, яким чином було реалізовано даний стан. Прийнято говорити, що **внутрішня енергія є функцією стану.**



ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

Взагалі кажучи, внутрішня енергія системи включає і внутрішню енергію частинок, що входять до складу тіла. Проте в явищах, що вивчаються термодинамікою, частинки, з яких побудовано тіло, залишаються незмінними, а, отже, їх внутрішня енергія постійна. Тому в термодинамічних процесах, що відбуваються в системі, інтерес представляє тільки зміна її внутрішньої енергії ΔU . Зміна внутрішньої енергії може відбуватися за допомогою двох принципово різних способів: **здійснення роботи** і **теплообмін**. Передача енергії в результаті макроскопічного впорядкованого руху називається ро-

ботою **A**, а передача енергії в результаті обміну хаотичним рухом мікрочасток називається теплообміном. Кількість переданої при цьому енергії називається теплотою **Q**. Підкреслимо, що робота і теплообмін - це не форми енергії, а тільки різні способи її зміни і передачі від одного тіла до іншого.



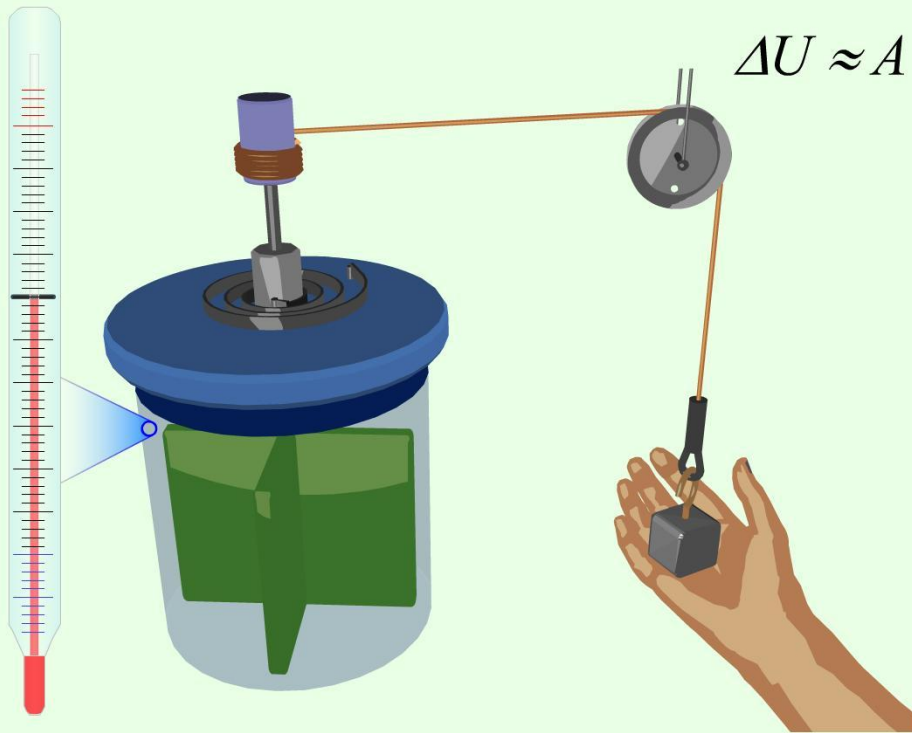
**енергетичні потоки між
термодинамічною системою
та навколишнім середовищем**

РОБОТА І ТЕПЛООБМІН

З вищевикладеного виходить, що теплота і робота можуть взаємно перетворюватися. Тут наведені декілька прикладів зміни внутрішньої енергії за допомогою здійснення роботи і теплообміну, зокрема класичний дослід Джоуля, який спостерігав підвищення температури води при обертанні зануреної в неї вертушки і визначив так званий механічний еквівалент теплоти.

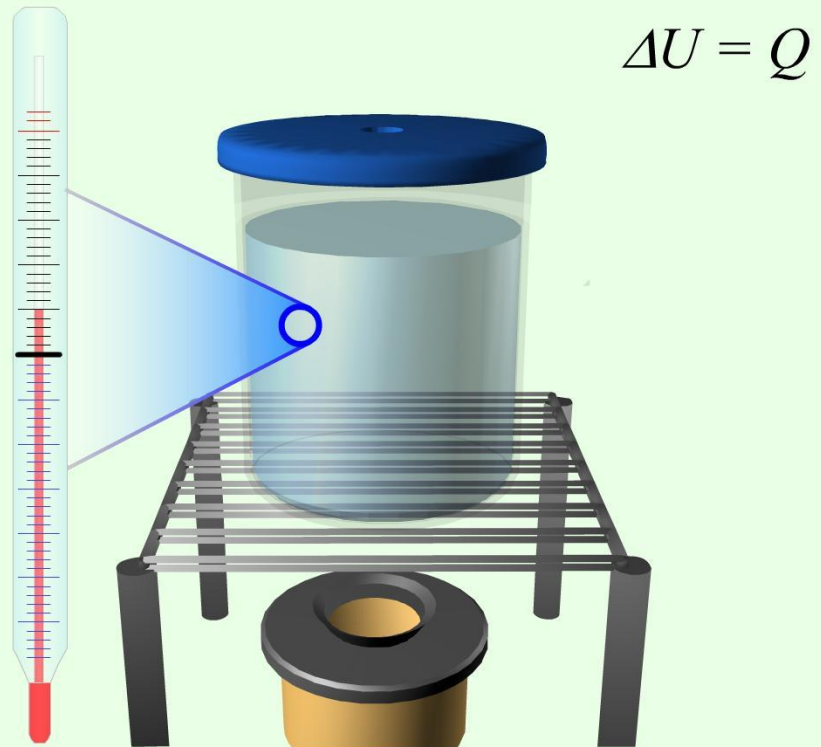
Изменение внутренней энергии путем совершения работы

Перемешивание жидкости



Изменение внутренней энергии путем теплообмена

Нагревание жидкости

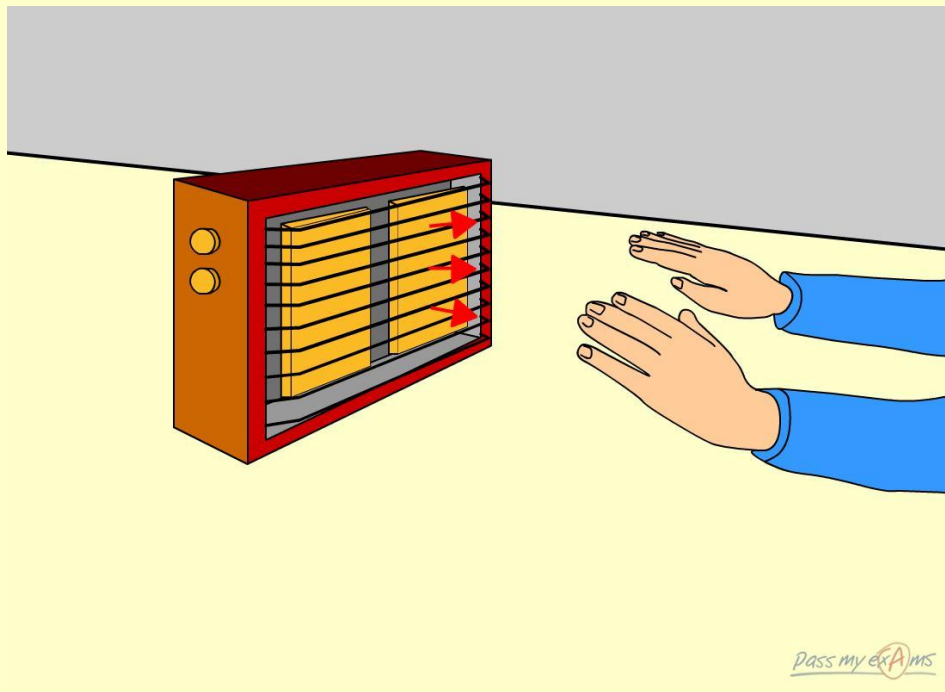
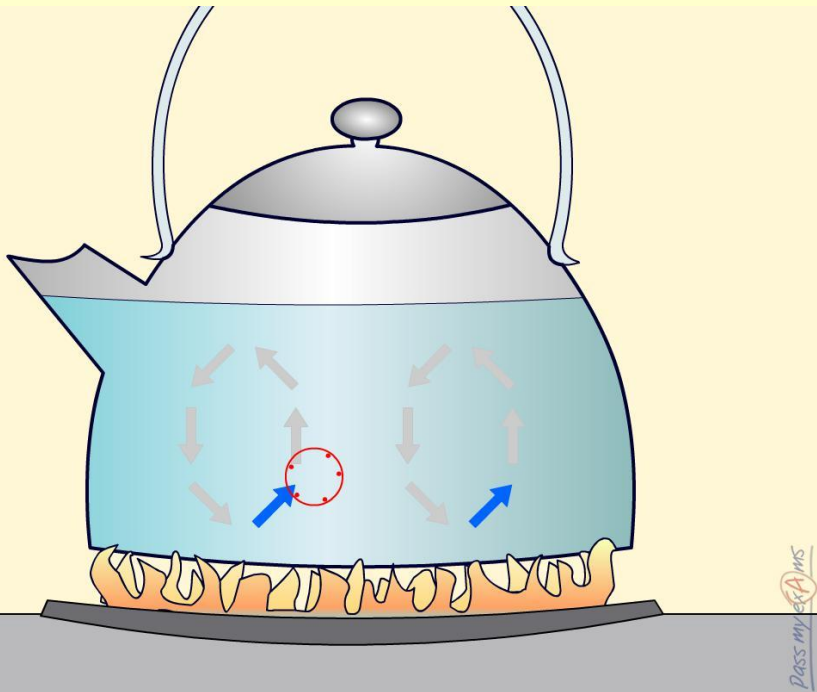
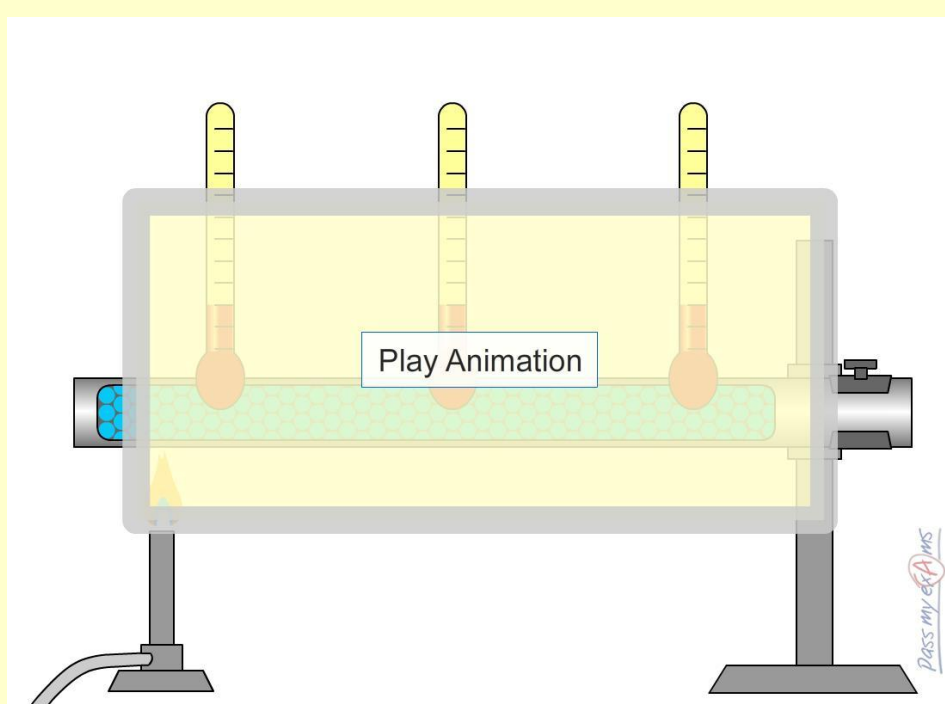


ТРИ СПОСОБИ ТЕПЛООБМІНУ

Теплопровідність - явище переносу теплової енергії безпосередньо від однієї частини тіла до другої.

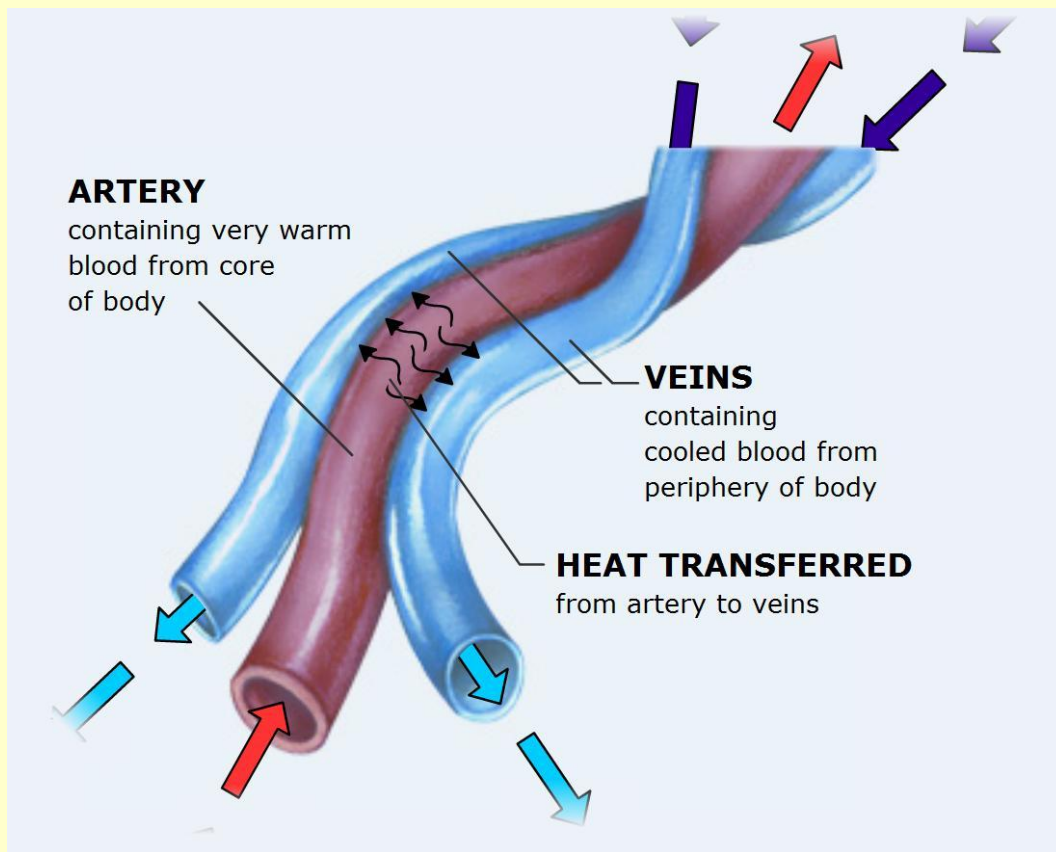
Конвекція - явище переносу теплової енергії шляхом переміщення частинок рідини або газу.

Теплове випромінювання - явище переносу теплової енергії електромагнітними хвилями.



ТЕПЛООБМІН В ОРГАНІЗМІ

Теплообмін між людиною і навколишнім середовищем здійснюється трьома вказаними способами, а також випаром вологи, що виводиться на поверхню шкіри потовими залозами і при диханні. Величина і напрям теплообміну людини з навколишнім середовищем визначається температурою навколишнього середовища, атмосферним тиском, рухливістю і вологістю повітря. Основну роль в процесі теплообміну усередині організму грає конвективна передача з потоком крові.



НУЛЬОВИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

Нульовий закон термодинаміки описує властивості систем, що знаходяться в стані теплової рівноваги: **якщо система А знаходиться в тепловій рівновазі з системою В і, крім того, знаходиться в рівновазі з системою С, то системи В і С також знаходяться в тепловій рівновазі.** Ця властивість говорить про існування особливого інтенсивного параметра, що характеризує стан теплової рівноваги. Цей параметр називають температурою. Системи, що знаходяться в тепловій рівновазі, мають однакову температуру. Таким чином, нульовий закон - це постулат про існування температури.

А



В

С

А



С

В

А



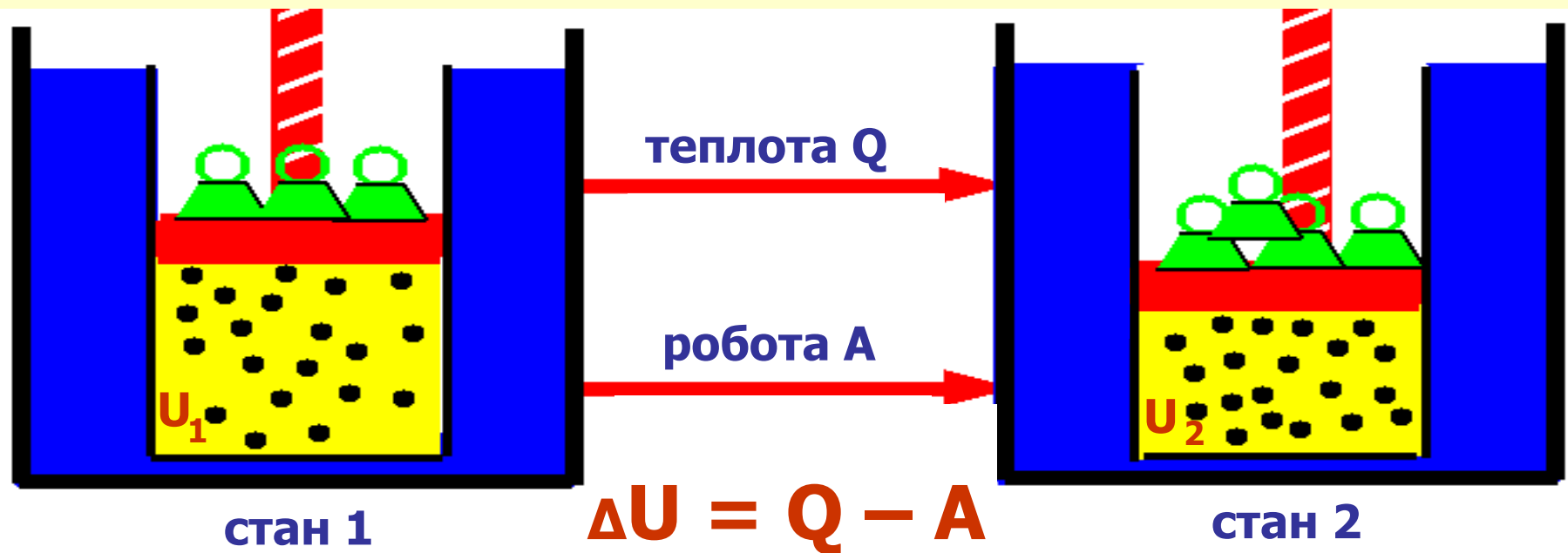
В



С

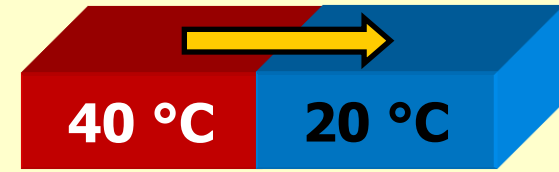
ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

Якщо система обмінюється теплом з навколишніми тілами і здійснює роботу, то змінюється стан системи, тобто змінюються її макроскопічні параметри (температура, тиск, об'єм). Оскільки внутрішня енергія U однозначно визначається макроскопічними параметрами, що характеризують стан системи, то звідси витікає, що процеси теплообміну і здійснення роботи супроводжуються зміною ΔU внутрішньої енергії системи. Перший закон термодинаміки є узагальненням закону збереження і перетворення енергії для термодинамічної системи. Він формулюється таким чином: **зміна ΔU внутрішньої енергії неізолюваної термодинамічної системи рівна різниці між кількістю теплоти Q , переданій системі, і роботою A , яка виконана системою над зовнішніми тілами, тобто $\Delta U = Q - A$.**

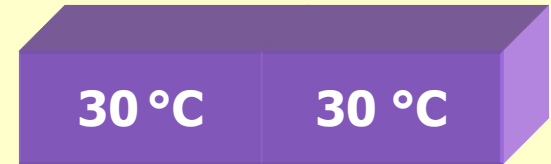


ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

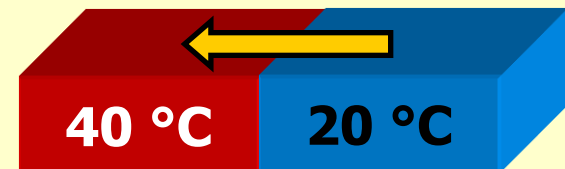
Перший закон термодинаміки вимагає від термодинамічного процесу певного енергетичного балансу і нічого не говорить про те, можливий такий процес чи ні. Наприклад, при тепловому контакті двох тіл з різними температурами тепловий потік завжди направлений від теплішого тіла до холоднішого. Ніколи не спостерігається самовільно протікаючий процес передачі тепла від тіла з низькою температурою до тіла з вищою температурою. Отже, процес теплообміну при кінцевій різниці температур є необоротним. Спрямування самовільно протікаючих процесів встановлює **другий закон термодинаміки**. Він може бути сформульований у вигляді заборони на певні види термодинамічних процесів. Такий варіант другого закону термодинаміки запропонував німецький фізик Р. Клаузіус: **неможливий процес, єдиним результатом якого була б передача енергії шляхом теплообміну від тіла з низькою температурою до тіла з вищою температурою.**



**напря
теплового потоку**



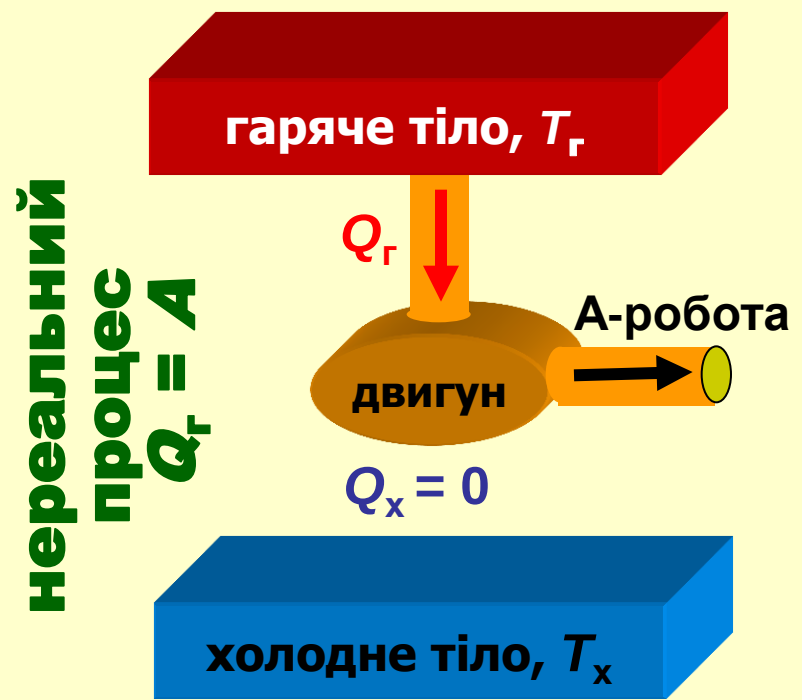
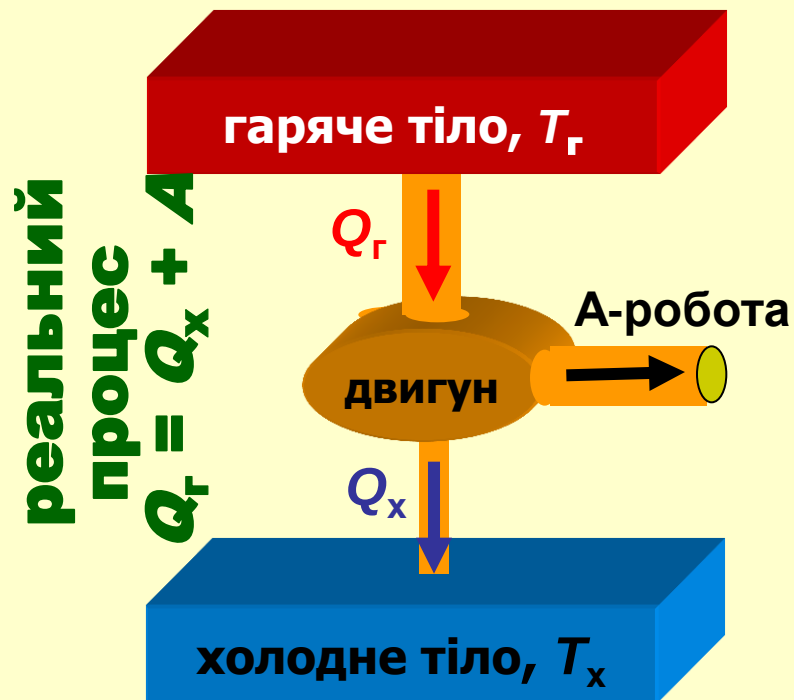
**теплова
рівновага**



**неможливий
напря
теплового потоку**

НЕЗВОРОТНІСТЬ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

Незворотність реальних теплових процесів пов'язана з тим, що енергія теплового руху молекул якісно відрізняється від всіх інших видів енергії – механічної, електричної, хімічної і т. д. Енергія будь-якого виду, окрім енергії теплового руху молекул, може повністю перетворитися на будь-який інший вид енергії, у тому числі і в енергію теплового руху. Остання може перетворитися в будь-який інший вид енергії лише частково. Тому будь-який фізичний процес, в якому відбувається перетворення якого-небудь виду енергії на енергію теплового руху молекул, є незворотнім процесом, тобто він не може бути здійснений повністю у зворотньому напрямі.



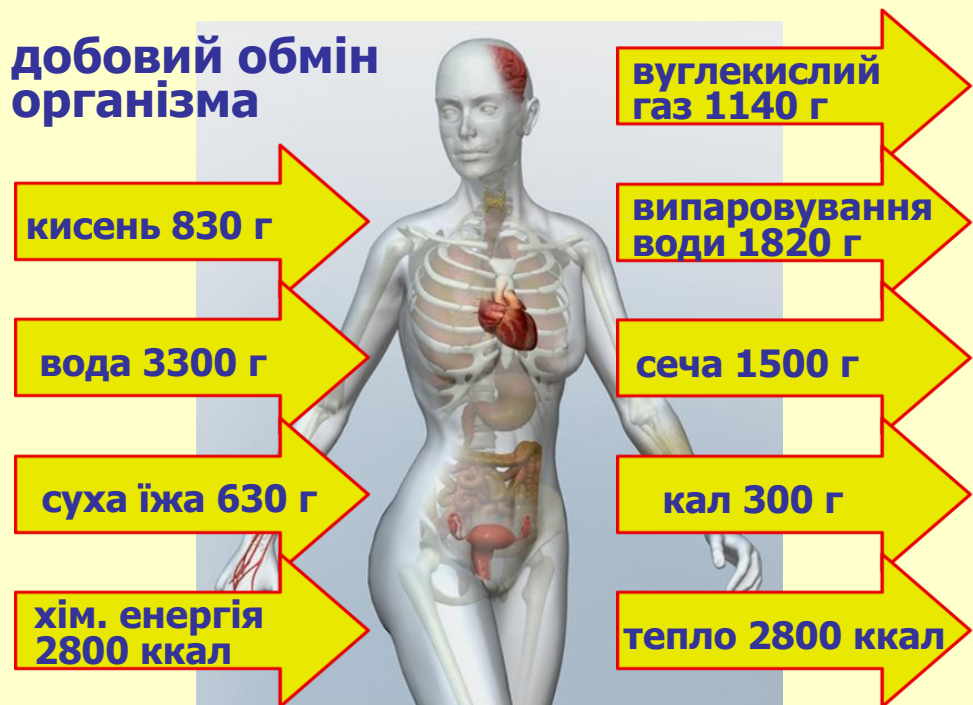
ПОНЯТТЯ ЕНТРОПІЇ

Поняття ентропії, як міри необоротного розсіювання енергії було вперше введено **Клаузіусом**. Він визначив зміну ентропії термодинамічної системи як відношення зміни загальної кількості тепла ΔQ до абсолютної температури $\Delta S = \Delta Q/T$. Зростання ентропії є загальною властивістю всіх незворотніх процесів в ізольованих термодинамічних системах. При зворотніх процесах в ізольованих системах ентропія не змінюється, тому $\Delta S \geq 0$. Це співвідношення прийнято називати **законом зростання ентропії** - **при будь-яких процесах, що протікають в термодинамічних ізольованих системах, ентропія або залишається незмінною, або збільшується**. Закон зростання ентропії можна прийняти як ще одне формулювання другого закону термодинаміки.



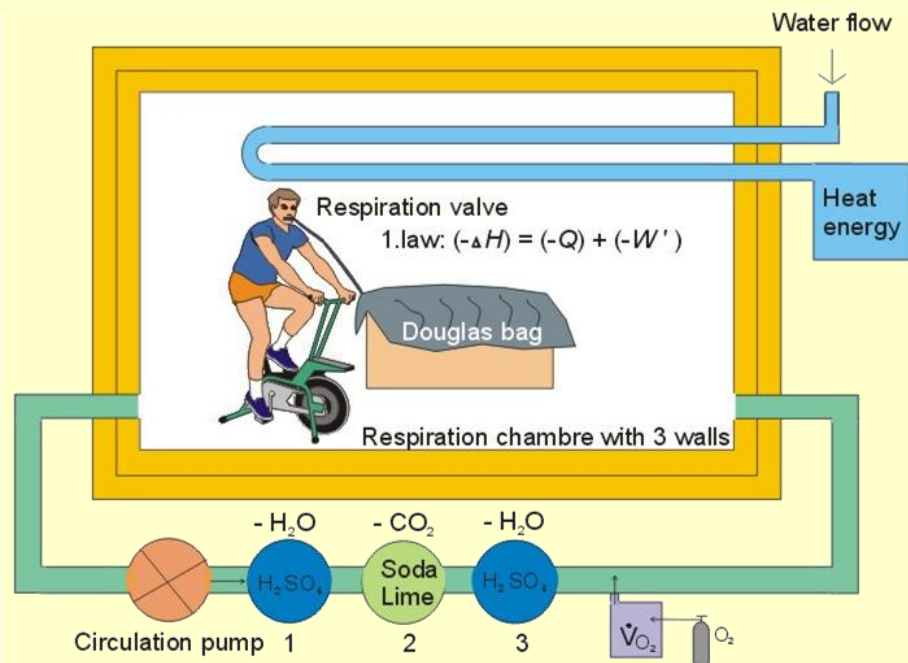
ТЕРМОДИНАМІКА БІОСИСТЕМ

Для підтримки життя в біологічних системах на всіх рівнях структурної організації від цілого організму до клітини, як структурно-функціональної одиниці живого, необхідний постійний обмін енергією і речовиною з навколишнім середовищем. Отже живі організми є **відкритими термодинамічними системами**. Термодинаміка таких систем істотно відрізняється від класичної. Базове для класичної термодинаміки поняття про рівноважні стани замінюється уявленням про **стаціонарні стани**; другий початок термодинаміки (принцип зростання ентропії) отримує інше формулювання у вигляді **теореми Пригожина**.



ТЕРМОДИНАМІКА БІОСИСТЕМ

Перевірка застосовності першого закону термодинаміки для біосистем ґрунтована на безпосередньому обліку у біокалориметрах кількості теплоти, виділеної організмом (пряма калориметрія). Біокалориметр є герметизованою і добре теплоізованою від зовнішнього середовища камерою. Теплота, що виділяється людиною, що знаходиться в камері, або твариною, нагріває циркулюючу воду. По кількості протікаючої води і зміні її температури розраховують кількість виділеної теплоти. Виявилось, що ця теплота повністю відповідає енергії, поглиненій з поживними речовинами, тобто живі організми не є незалежними джерелами якої-небудь нової енергії, а значить перший закон термодинаміки до них повністю застосований.

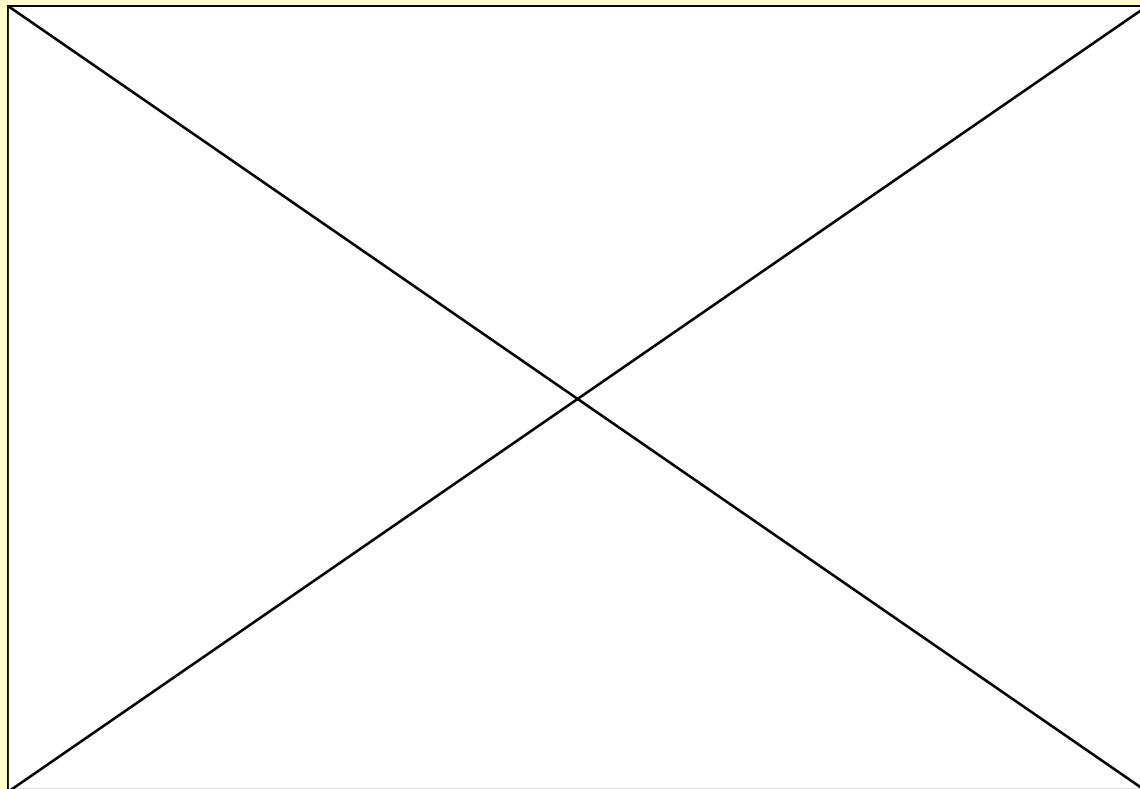


ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ ДЛЯ БІОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

**УСІ ВИДИ РОБІТ В ОРГАНІЗМІ
ЗДІЙСНЮЮТЬСЯ ЗА РАХУНОК
ЕКВІВАЛЕНТНОЇ КІЛЬКОСТІ
ЕНЕРГІЇ, ЩО ВИДІЛЯЄТЬСЯ
ПРИ ОКИСЛЕННІ ПОЖИВНИХ
РЕЧОВИН**

СТАЦІОНАРНИЙ СТАН

- такий стан термодинамічної системи, при якому її параметри (тиск, об'єм, температура та ін.) не змінюються в часі, але є потоки речовини або енергії. Стаціонарний стан відкритої системи є подібним до термодинамічної рівноваги, оскільки обидва стани характеризуються стійкістю в часі параметрів стану. Але стаціонарний стан істотно відрізняється від стану рівноваги, оскільки система обмінюється речовиною і енергією з навколишнім середовищем, а також є присутніми градієнти. Класичною моделлю стаціонарного стану є система баків (модель Бертона).

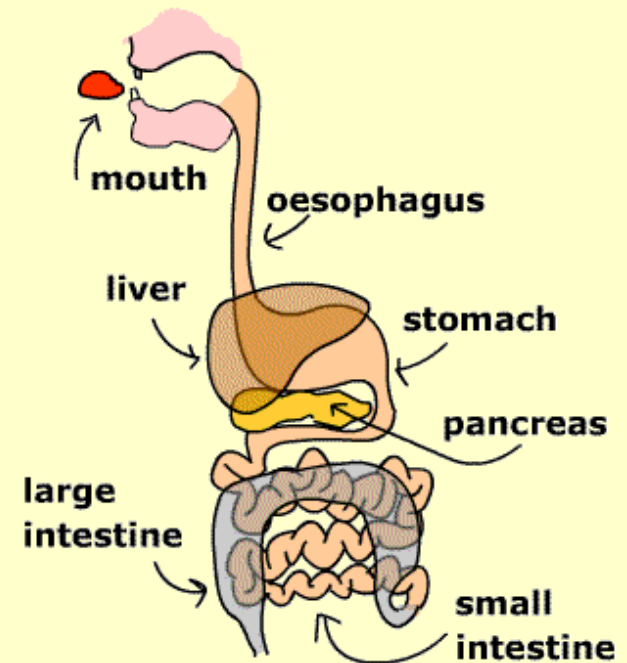
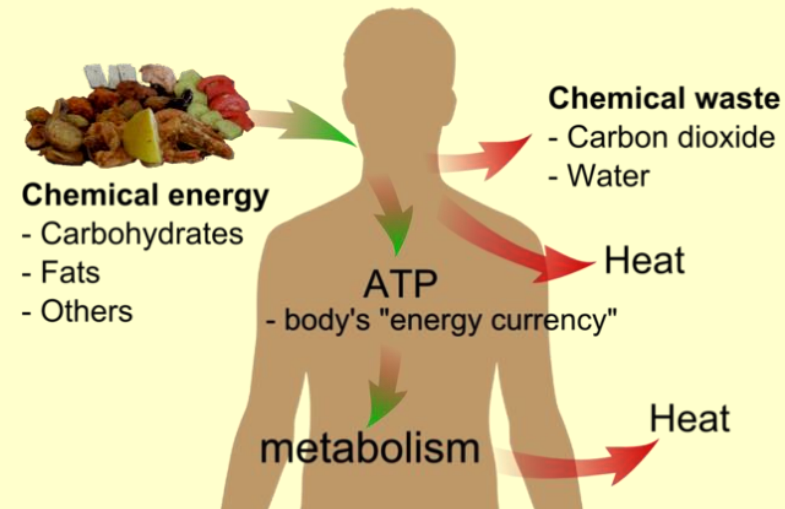


При певному ступені відкритості кранів в баках зліва встановлюються постійні рівні води. Проте ця постійність суттєво відрізняється від постійності рівня у правій судині з водою, тому що вона забезпечується безперервним притоком і відтоком води з певною швидкістю.

ТЕРМОДИНАМІКА БІОСИСТЕМ

Організм, як відкрита система, отримує енергію в доступній для нього формі з зовнішнього середовища (їжа, сонячна електромагнітна енергія) і запасує її у вигляді багатих енергією з'єднань (АТФ). При цьому ентропія системи знижується. Запасена енергія використовується для здійснення корисної роботи. Це приводить, як здається на перший погляд, до парадоксального висновку, що процеси життєдіяльності йдуть з порушенням принципів термодинаміки. Проте організм повертає в зовнішнє середовище еквівалентну кількість енергії у формі менш придатних для подальшого використання кінцевих продуктів метаболізму (піт, кал, сеча, температурні випромінювання і так далі), і в ході цих процесів ентропія збільшується. Ці міркування лежать в основі ідей Пригожина про модифікацію другого закону термодинаміки для біосистем.

Energy and human life



ПОСТУЛАТ ПРИГОЖИНА

Постулат Прігожіна полягає в тому, що загальна зміна ентропії ΔS відкритої системи відбувається незалежно або за рахунок процесів обміну із зовнішнім середовищем (ΔeS), або за рахунок внутрішніх необоротних процесів (ΔiS): $\Delta S = \Delta eS + \Delta iS$. Член ΔiS завжди позитивний, а член ΔeS негативний, тому сума ΔS може мати будь-який знак. Якщо $\Delta S = 0$, то система знаходиться в **стаціонарному стані**, тобто надходження ентропії урівноважене її видаленням. Випадок $\Delta S < 0$ відповідає, як здається, порушенню принципів термодинаміки. Проте якщо врахувати, що в навколишньому середовищі відбувається зростання ентропії за рахунок продуктів виділення ΔvS , то загальна ентропія в системі «організм – середовище» поза сумнівом підвищується. Це повністю відповідає законам термодинаміки.

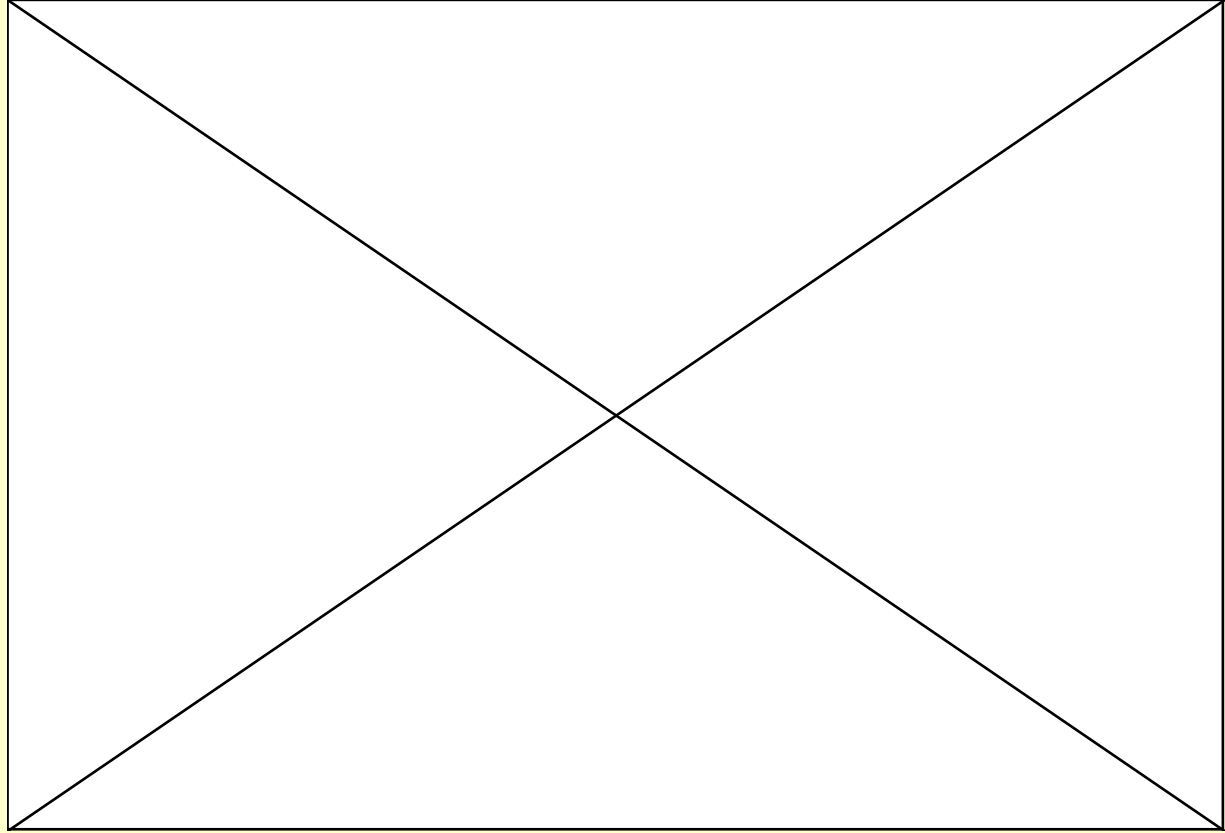


ТЕОРЕМА ПРИГОЖИНА

Стаціонарний стан відрізняється від рівноважного тим, що параметри системи не змінюються з часом, не дивлячись на наявність певних процесів. Якщо ж параметри системи мало міняються з часом, то такий стан називається **квазістаціонарним**. Неважко замітити, що саме в такому стані перебувають дорослі живі організми, що знаходяться в нормальних умовах. Під нормальними умовами слід розуміти відсутність різких змін зовнішніх (наприклад, атмосферних) або внутрішніх (наприклад, хвороба) параметрів. Якщо вважати, що організм, як термодинамічна система, знаходиться поблизу від стану рівноваги, то для нього справедлива **теорема Пригожина**, згідно якої **за незмінних зовнішніх умов відкрита термодинамічна система, яка не дуже далека від стану рівноваги, прагне до такого стаціонарного стану, який характеризується мінімальним виробництвом ентропії**. Навіщо потрібний стаціонарний стан біосистемам? Завдяки ньому за рахунок безперервного обміну енергією і речовиною із зовнішнім середовищем біосистеми не тільки знаходяться на видаленні від термодинамічної рівноваги і зберігають свою працездатність, але і підтримують в часі постійність своїх параметрів. Такий стан у фізіології називається **гомеостазом**.

ГОМЕОСТАЗ

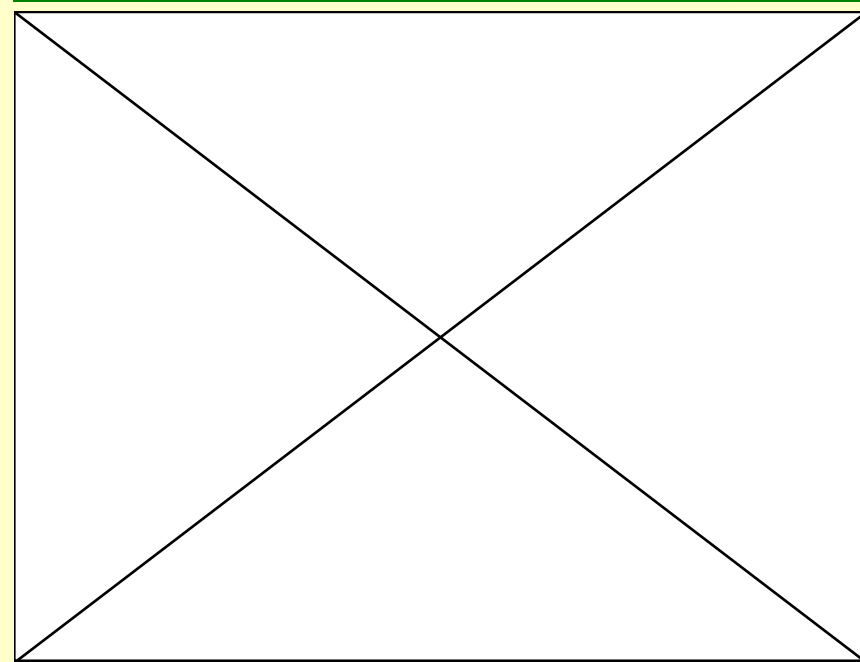
Гомеостаз, у фізіології - відносна динамічна постійність властивостей і складу внутрішнього середовища, яке забезпечує стійкість основних фізіологічних функцій організму людини, тварин і рослин. Він відображає, так званий **принцип Ле-Ша-тельє: при зовнішніх діях, що викликають порушення рівноваги, система переходить в стан, в якому ефект зовнішньої дії ослабляється.**



У людини, ссавців, птахів гомеостаз включає підтримку постійності концентрації глюкози, водневих іонів (pH) і складу крові, осмотичного тиску (ізоосмія), температури тіла (ізотермія), кров'яного тиску, і інших функцій. Гомеостаз забезпечується нейрогуморальними, гормональними, бар'єрними механізмами і механізмами виділення.

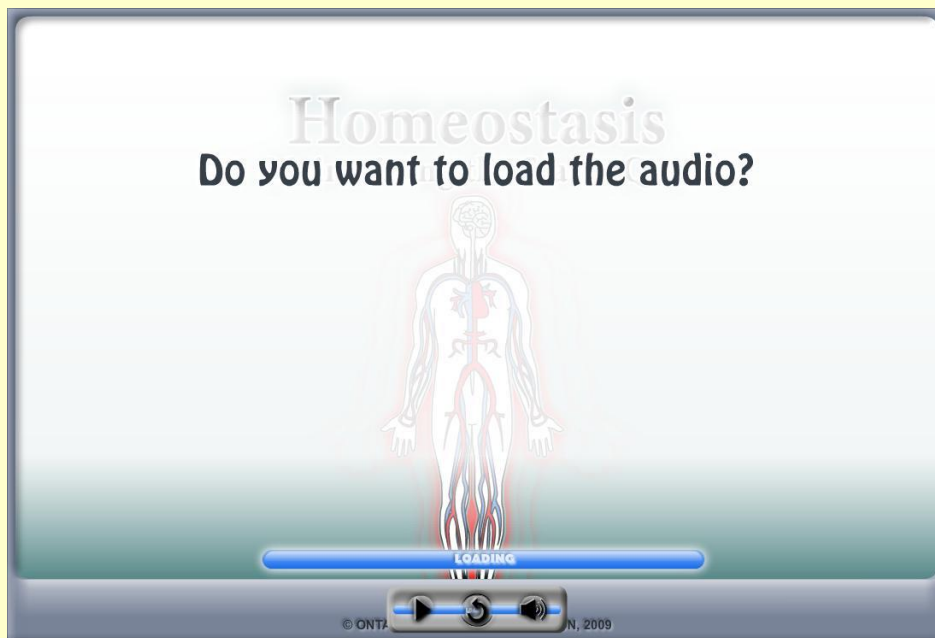
ІЗОТЕРМІЯ

У тілі людини за одну годину утворюється стільки тепла, скільки потрібно, щоб закип'ятити 1 л крижаної води. І якби тіло замість шкіри було покрите непроникним для тепла футляром, то вже за годину температура тіла піднялася б приблизно на $1,5^{\circ}$, а годин через сорок досягла б точки кипіння води. Під час важкої фізичної роботи утворення тепла збільшується ще в кілька разів. Та все ж температура тіла не міняється. У здорової людини вона дорівнює $36,5\text{—}37^{\circ}$. Така постійність температури тіла підтримується майже виключно шляхом регуляції віддачі тепла через шкіру. Полегшує цю регуляцію одяг. Тепловіддача відбувається шляхом випромінювання (55%), випаровування (5% з дихальних шляхів і 20% з поверхні шкіри), теплопровідності (15%) і конвекції (5%).



ТЕРМОРЕГУЛЯЦІЯ

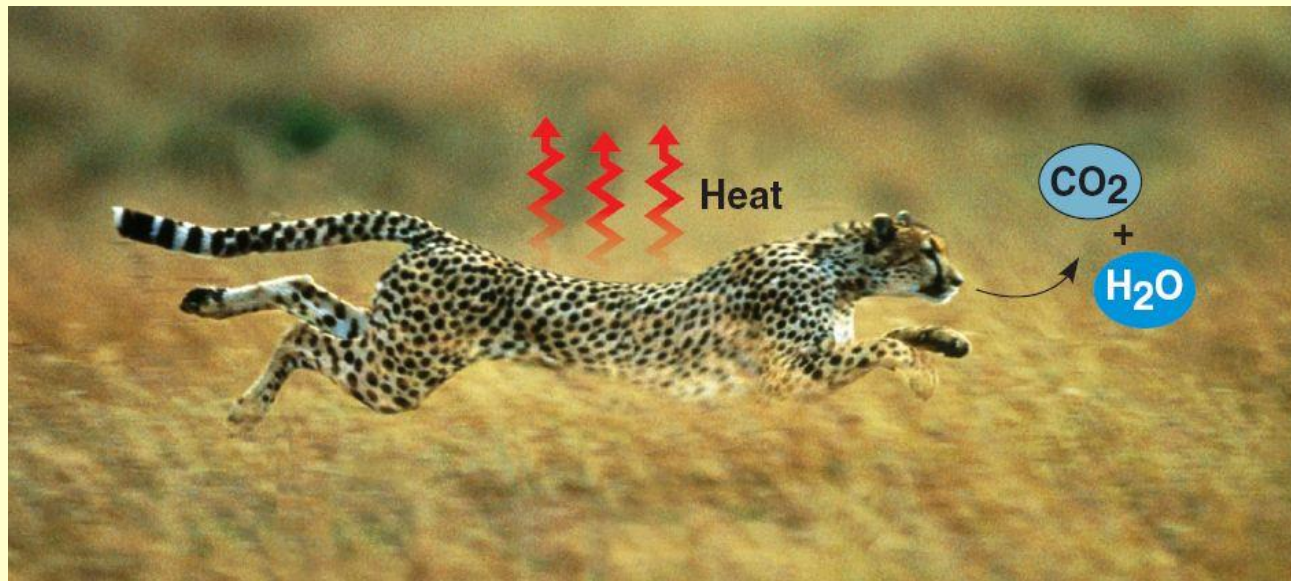
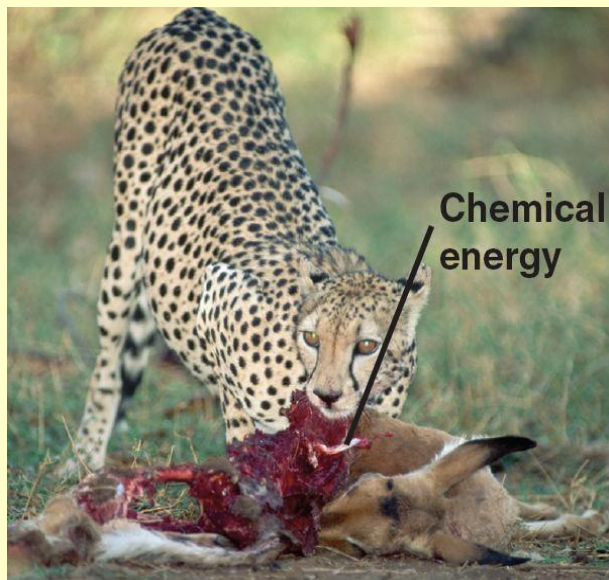
Терморегуляція здійснюється рефлекторно унаслідок подразнення температурних рецепторів шкіри і теплорегулюючих центрів мозку. Терморегуляція визначається взаємним поєднанням процесів теплопродукції і тепловіддачі, які регулюються нервовоендокринним шляхом. Ступінь тепловіддачі залежить від об'єму циркулюючої крові. Так, при пониженні температури повітря, артеріоли і капіляри звужуються і відповідно зменшується кількість крові, що протікає по ним. Одночасно скорочується тепловіддача в зовнішнє середовище, що забезпечує збереження тепла в організмі. Постійність температури тіла людини при високій температурі і фізичних перевантаженнях підтримується випаровуванням поту з поверхні шкіри. В середньому людина втрачає за добу близько 0,8 л поту, а з ним близько 500 ккал тепла.



00% loaded

ЕНЕРГЕТИКА БІОСИСТЕМ

Людина і тварини отримують енергію з навколишнього середовища у вигляді потенційної енергії, яка знаходиться в хімічних зв'язках молекул жирів, білків і вуглеводів. В процесі обміну речовин постійно відбувається перетворення енергії : енергія складних органічних сполук, що поступили з їжею, перетворюється на теплову, механічну і електричну. Усі перетворення речовини і енергії , що відбуваються у біосистемах, об'єднані загальною назвою - **метаболізм** (обмін речовин). На клітинному рівні ці перетворення здійснюються через складні послідовності реакцій, що називаються шляхами метаболізму. Ці реакції протікають не хаотично, а в строго певній послідовності і регулюються безліччю генетичних і хімічних механізмів.



ЕНЕРГЕТИКА КЛІТИНИ

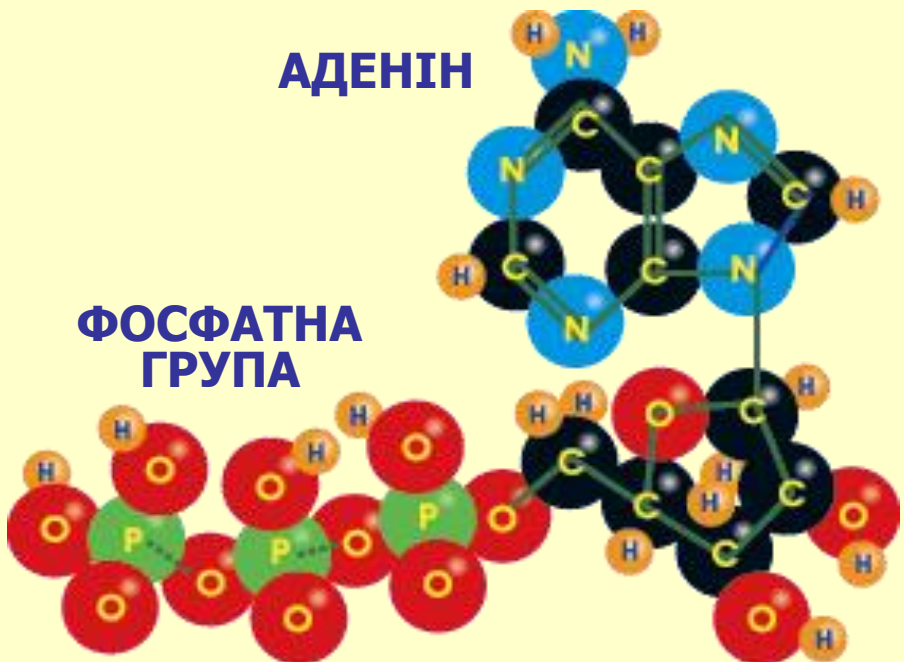
Енергію клітина отримує в основному при розщеплюванні вуглеводів і жирів. Процес цей відбувається в особливих включеннях цитоплазми – **мітохондріях**. Це силові, або енергетичні, станції клітини. Кожна клітина містить до 5000 мітохондрій. Саме у них і відбувається в результаті розщеплювання вуглеводів (глюкози) утворення **аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ)**. Процес розщеплення глюкози в живих організмах носить назву **гліколізу**. Він здійснюється у декілька етапів. Якби окислення глюкози відбувалося одноступенево, то при цьому миттєво вивільнялася така кількість енергії, що клітина не встигала б його використовувати і «згорала».



Енерговитрати людини за добу покриваються їжею, в якій міститься більше півкілограма глюкози. З кожної молекули глюкози утворюється 38 молекул АТФ, тому за добу в тілі людини утворюється і знов розщеплюється більше 50 кг АТФ. Ще ефективнішим є використання жирів. Спочатку вони за участю ферментів гідролізуються до гліцерину і жирних кислот. Окислення однієї молекули гліцерину дає в загальному підсумку всього 19 молекул АТФ, а окислення стеаринової кислоти – цілих 147 молекул.

МОЛЕКУЛА АТФ

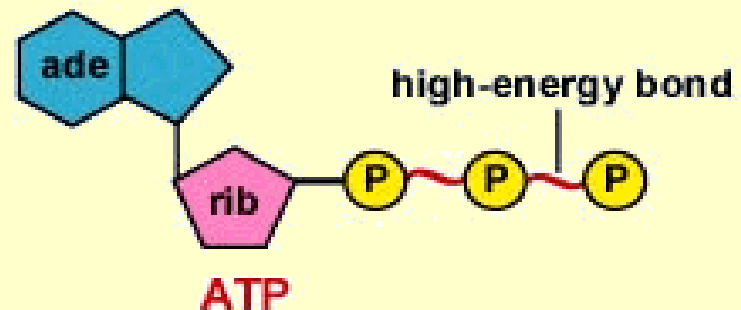
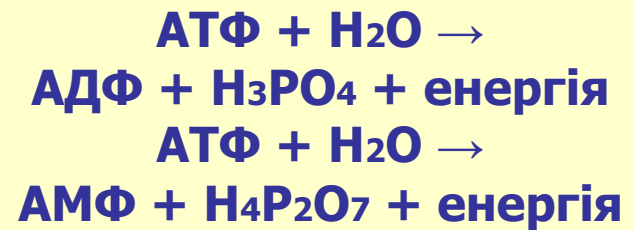
АТФ відноситься до так званих макроергічних з'єднань, тобто до хімічних сполук, що містять зв'язки, при гідролізі яких відбувається звільнення значної кількості енергії. Гідроліз молекули АТФ, що супроводжується відщепленням 1 або 2 залишків фосфорної кислоти, приводить до виділення 40 - 60 кДж/моль.



←-МОНОФОСФАТ--→

←--АДЕНОЗИДФОСФАТ--→

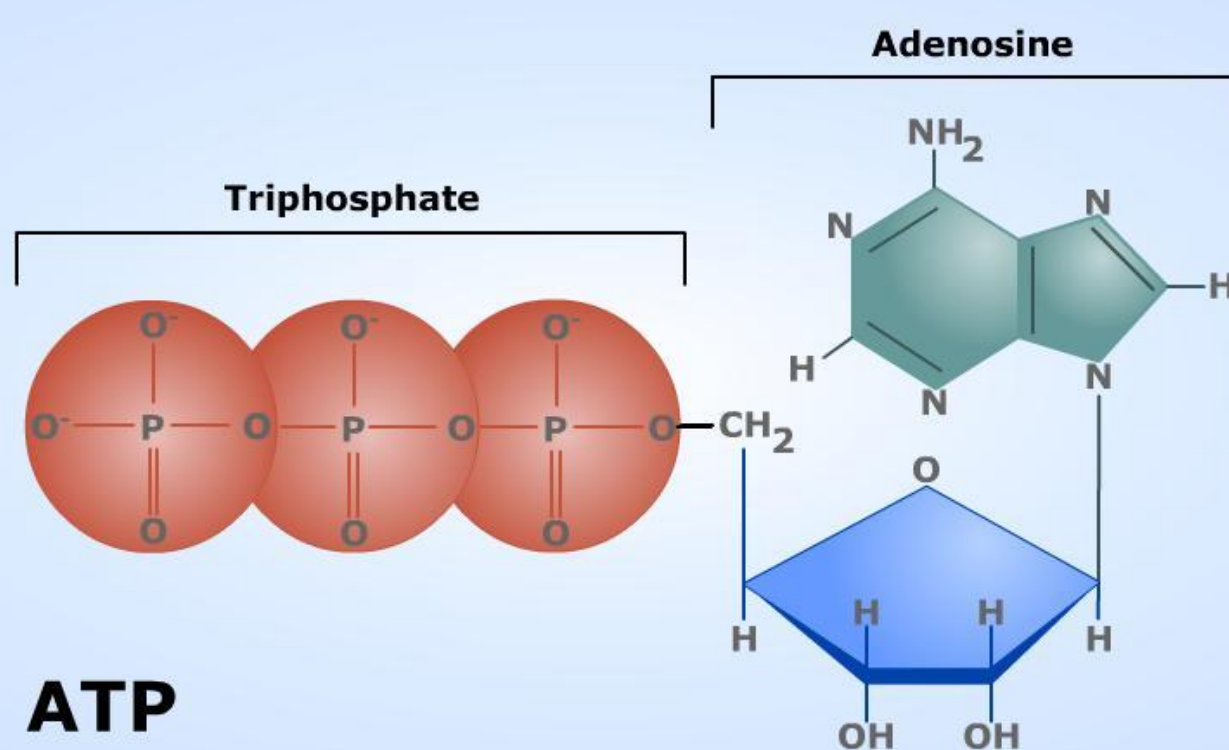
←-----АДЕНОЗИТРИФОСФАТ -----→



гідроліз АТФ

МОЛЕКУЛА АТФ

АТФ відноситься до макроергічних з'єднань, тобто до хімічних сполук, що містять зв'язки, при гідролізі яких відбувається звільнення значної кількості енергії. Гідроліз молекули АТФ, що супроводжується відщепленням 1 або 2 залишків фосфорної кислоти, приводить до виділення 40 - 60 кДж/моль.



АТФ

(adenosine triphosphate)

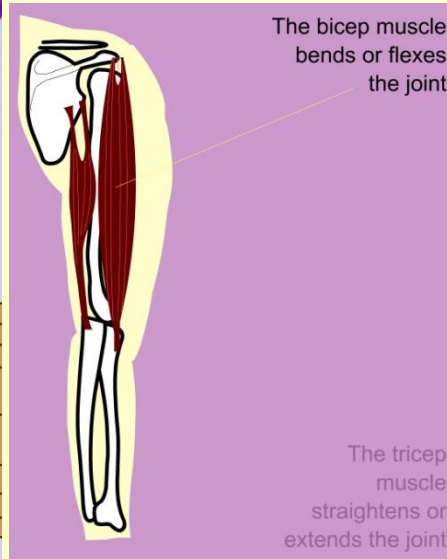
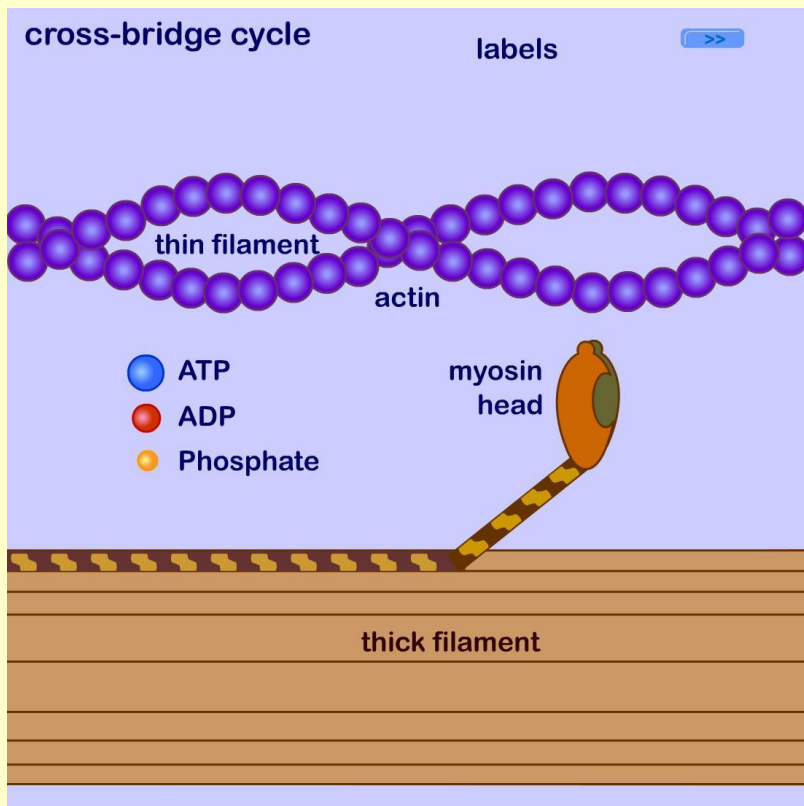
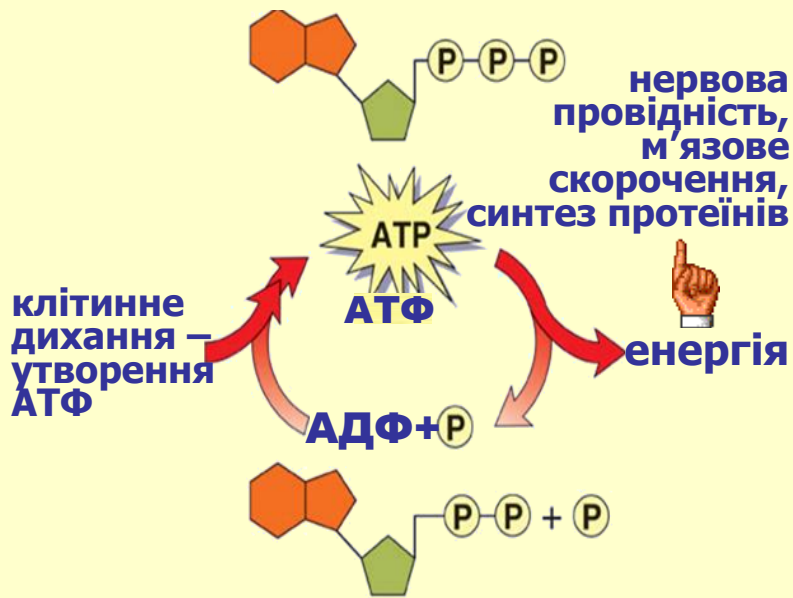


ATP is an important compound that stores energy needed by cells. This illustration shows how ATP works like a rechargeable battery. It releases stored energy that the cell can use and becomes ADP in the process. ADP can then be recharged to ATP and saved for future energy needs.

Click PLAY to continue.

МОЛЕКУЛА АТФ

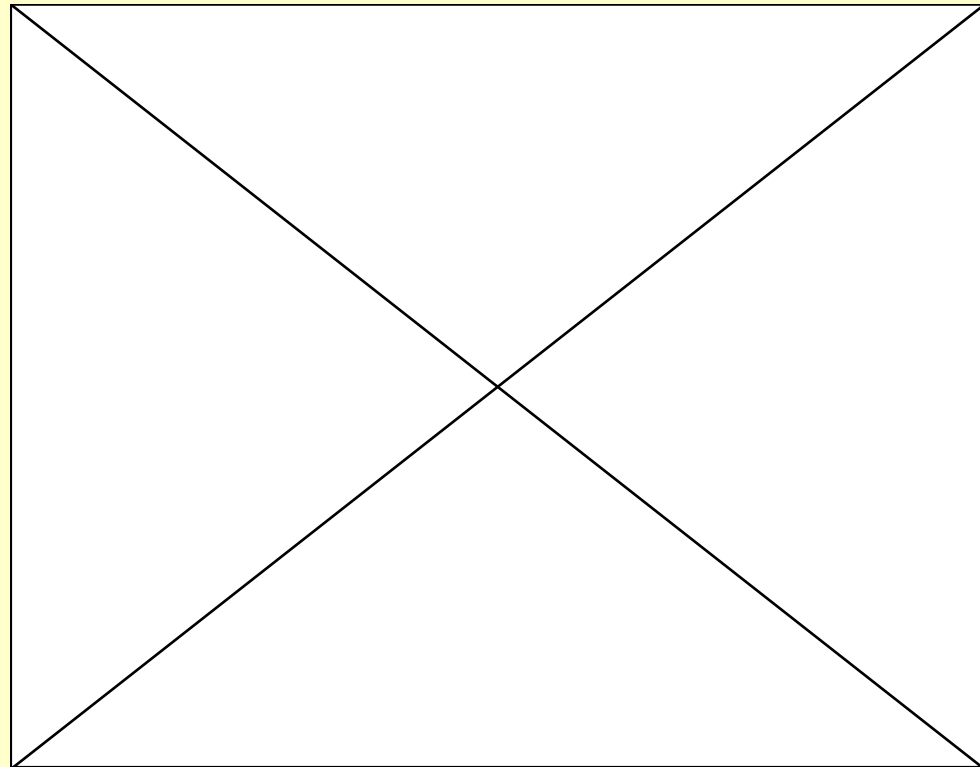
Головна роль АТФ в організмі пов'язана із забезпеченням енергією численних біохімічних реакцій. Будучи носієм двох високоенергетичних зв'язків, АТФ служить безпосереднім джерелом енергії для багатьох енерговитратних біохімічних і фізіологічних процесів. Це синтез протеїнів і інших речовин в організмі, здійснення активного транспорту молекул через біологічні мембрани, створення трансмембранного електричного потенціалу, нервова провідність, здійснення м'язового скорочення.



АНАЕРОБНИЙ ГЛІКОЛІЗ

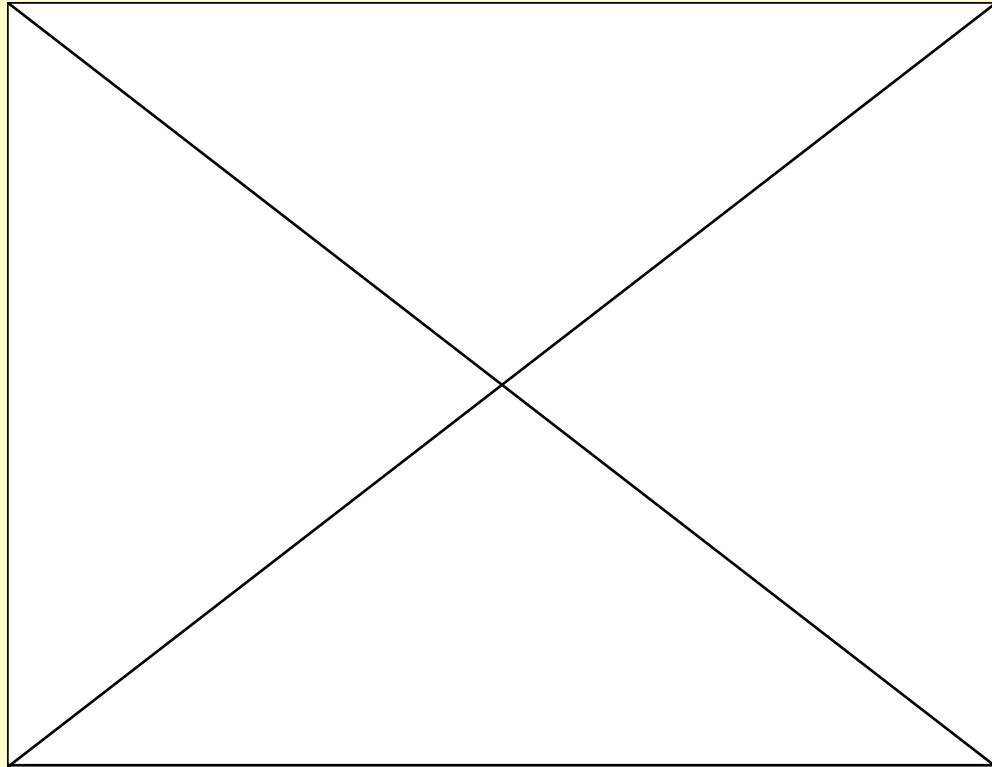
На підготовчому етапі крупні молекули органічних речовин під впливом ферментів розщеплюються на простіші: вуглеводи-на моносахариди, жири-на гліцерин і жирні кислоти, білки-на амінокислоти. Енергія, що звільняється, розсівається у вигляді тепла. На **анаеробному етапі** речовини, отримані на першому етапі, піддаються подальшому розщепленню. Розщеплення глюкози до молекули піровиноградної кислоти - це 13 ферментативних реакцій, в яких з двох молекул АДФ утворюються дві молекули АТФ: **$C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2ADP = 2C_3H_4O_3(ПВК) + 2ATP + 2H_2O$** .

Для початку процесу розщеплення необхідна витрата двох молекул АТФ, проте загальним виходом реакції є дві молекули АТФ, оскільки далі утворюються чотири таких молекули. Енергія, що вивільняється при розщепленні глюкози, відносно невелика 200кДж/моль. 40% енергії, що звільнилася в результаті цього розпаду, запасається у вигляді макроергічних зв'язків в молекулах АТФ, останні 60% розсіюються в зовнішнє середовище.



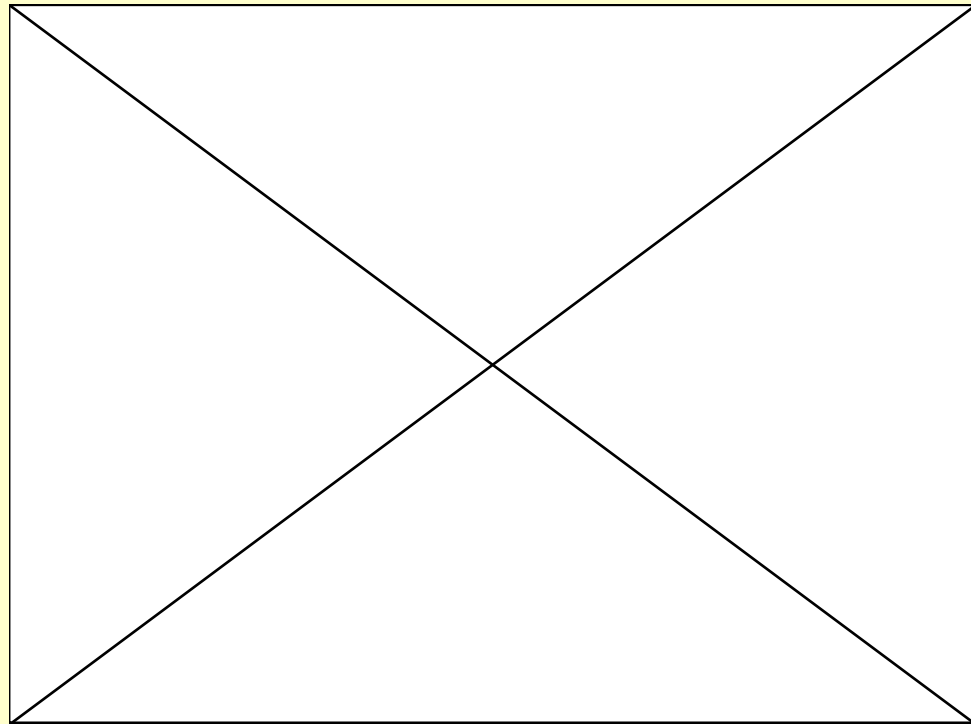
ЦИКЛ КРЕБСА

Цикл Кребса починається, коли певна молекула (ацетильна група, що утворюється при розщеплюванні піровиноградної кислоти) з'єднується з іншою молекулою (молекула щавлевооцетової кислоти), що виконує функцію "помічника". Така комбінація ініціює серію хімічних реакцій, в яких утворюються молекули-продукти і у кінці відтворюється молекула-помічник, яка починає увесь процес знову. Спочатку ці дві молекули з'єднуються з утворенням молекул лимонної кислоти. Далі відбуваються хімічні реакції, в яких утворюються молекули переносники енергії і вуглекислий газ, а потім нова молекула щавлевооцетової кислоти. Для переробки енергії, запасеної в одній молекулі глюкози, цикл Кребса потрібно пройти двічі. Чистий прибуток виявляється рівним двом молекулам АТФ і декільком молекулам переносникам. Вуглекислий газ, кінець кінцем, дифундує з мітохондрії і виділяється при видиху.



АЕРОБНЕ ДИХАННЯ

Далі електрони з переносників енергії, що є продуктом циклу Кребса, переносяться по транспортному ланцюжку і поступають на білки, занурені в мембрану, яка розділяє внутрішній і зовнішній компартменти мітохондрії. Енергія електронів використовується для переміщення іонів водню (протонів) в зовнішній компартмент, який відіграє роль «енергосховища» на зразок водосховища, що утворилося перед дамбою. В результаті протони, що залишилися, і переміщені електрони виявляються на різних сторонах внутрішньої мембрани. На мембрані створюється різниця потенціалів. При відтоку протонів через мембрану енергія використовується для утворення АТФ, як вода перед дамбою використовується для виробництва електрики. Утворення АТФ відбувається на ферменті **(АТФ-синтетаза)**. Кількість молекул АТФ, що з'явилися таким чином 34, що в сумі дає 38 молекул АТФ на одну молекулу глюкози. Енергетичний вихід цього циклу 90% енергії, що зберігалася в початковій молекулі глюкози.



ВИНИКНЕННЯ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

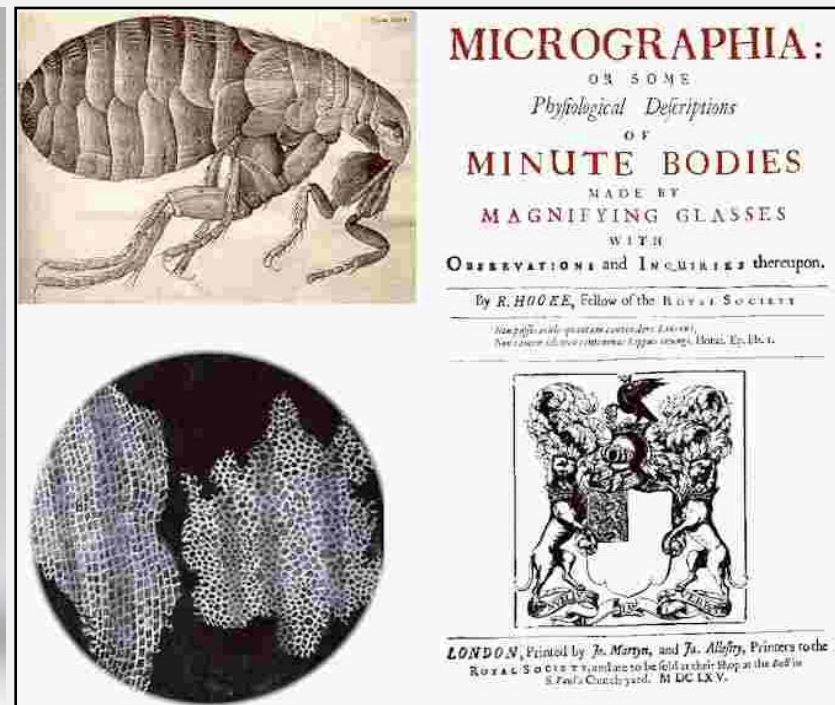
Після винаходу голландським ученим Янсенем в 1590 році мікроскопа, він був вперше в 1665 році застосований для дослідження рослинних і тваринних тканин Робертом Гуком. Роберт Гук вніс важливі удосконалення в конструкцію мікроскопа і з його допомогою здійснив ряд досліджень, зокрема він помітив і відмітив, що до складу їх входить безліч дуже дрібних утворень, схожих формою на осередки бджолиних сотів, що дозволило ввести йому поняття «клітина», яке існує до теперішнього часу. Результати цих спостережень Гук опублікував у вересні 1665 року у своїй книзі "Мікрографія".



Роберт Гук



мікроскоп Р.Гука



ХРОНОЛОГІЯ РОЗВИТКУ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

1665г. - Роберт Гук - відкрив клітини, спостерігаючи зріз пробкового дерева в мікроскоп, ввів поняття "клітина"

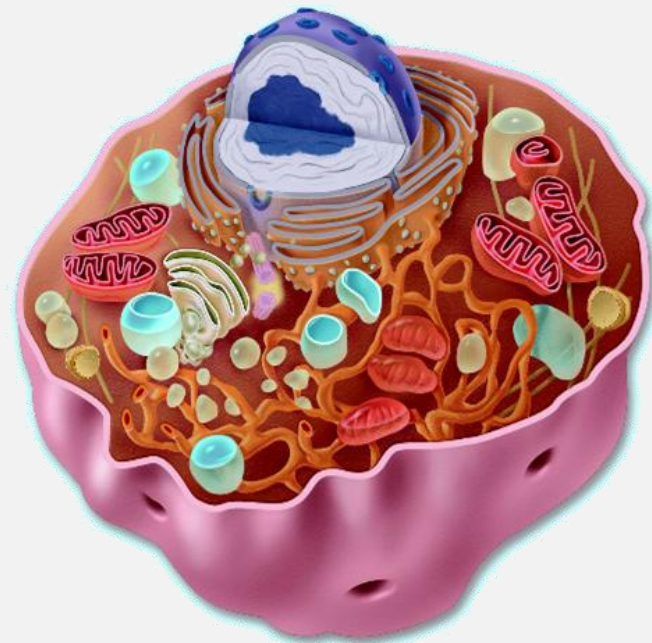
1680г. - Антоні Лівенгук - відкрив одноклітинні організми - сперматозоїди і еритроцити

1831г. - Роберт Броун - відкрив ядро в клітині

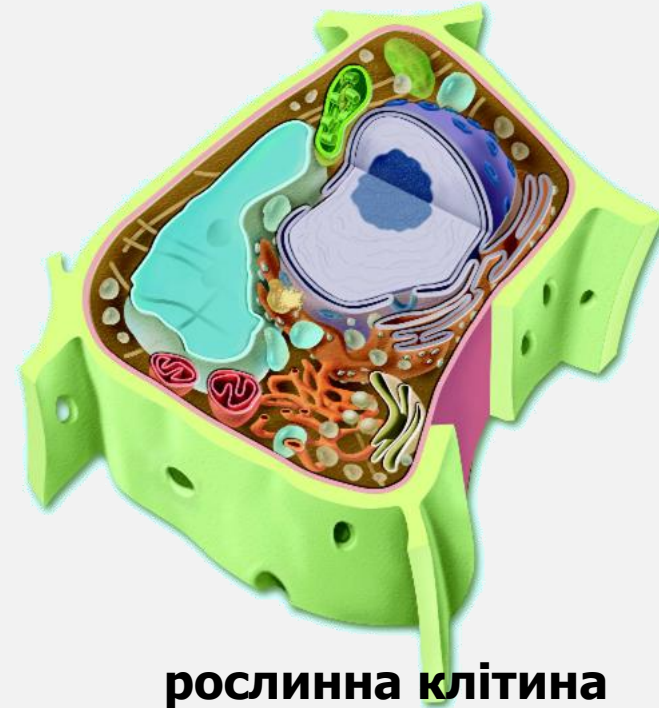
1838г. - Матіас Шлейден - ядро - невід'ємна частина рослинної клітини

1839г. - Томас Шванн - ядро - невід'ємна частина тваринної клітини

1858г. - Рудольф Вірхов - суть походження клітини – ділення ("Omnis cellula ex cellula" - "Кожна клітина з клітини")



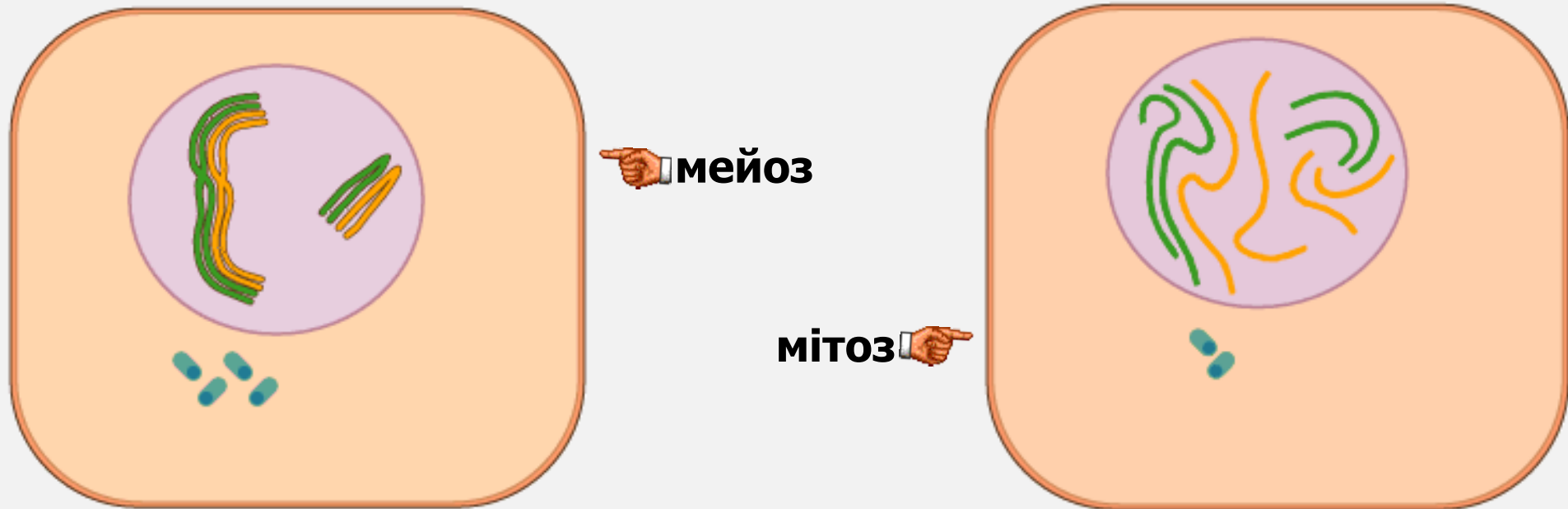
тваринна клітина



рослинна клітина

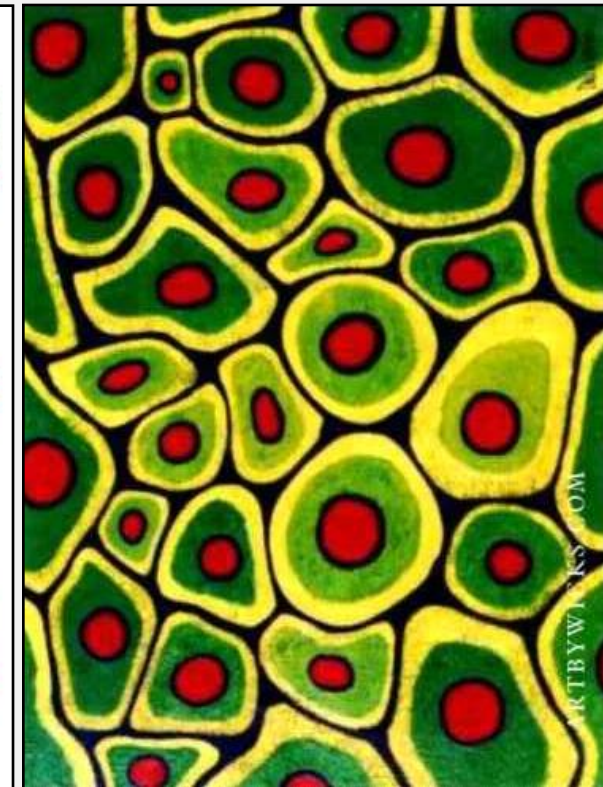
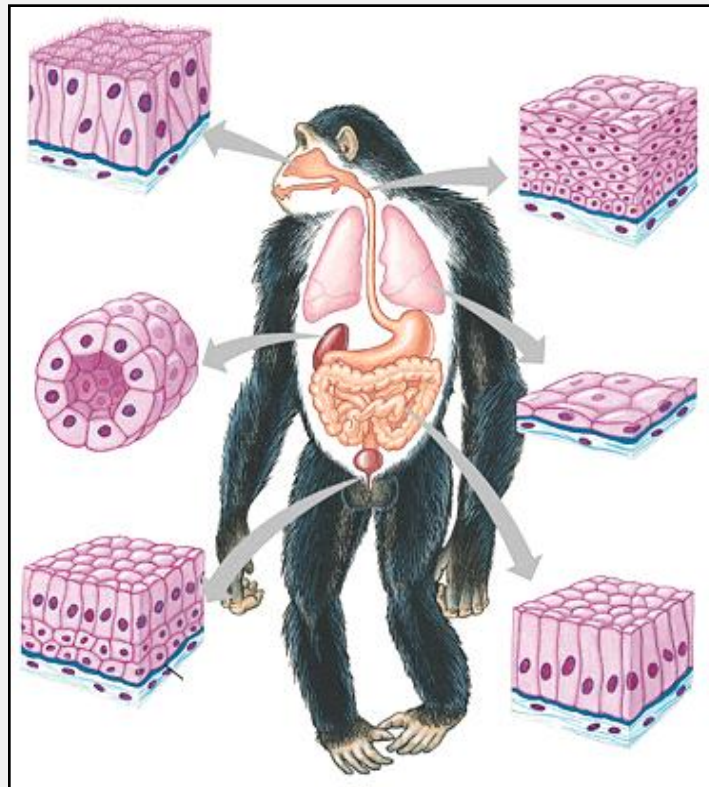
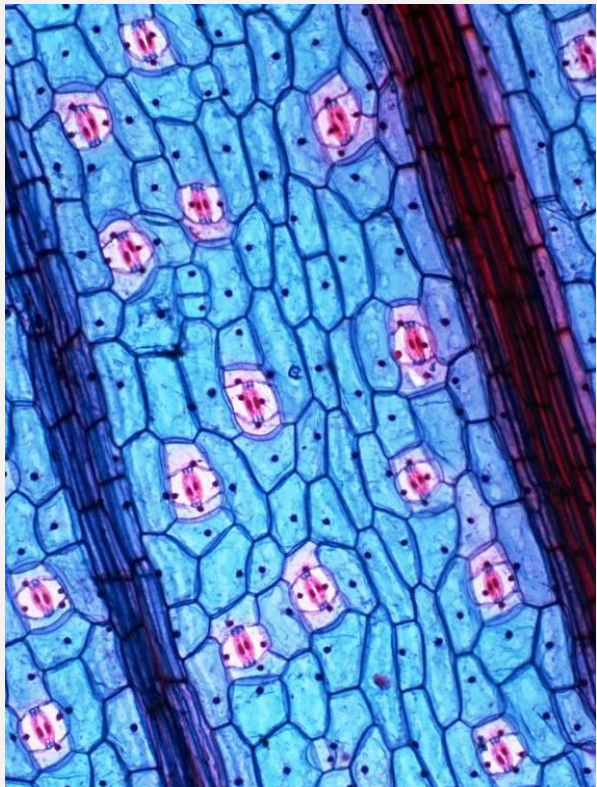
ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СУЧАСНОЇ КЛІТИННОЇ ТЕОРІЇ

- клітина - основна одиниця будови і розвитку всіх живих організмів, найменша одиниця живого;
- клітини всіх одноклітинних і багатоклітинних організмів схожі (гомологічні) по своїй будові, складу, основним проявам життєдіяльності;
- розмноження клітин відбувається шляхом їх ділення;
- у складних багатоклітинних організмах клітини спеціалізовані по виконуваних ними функції і утворюють тканини;
- з тканин складаються органи, які тісно зв'язані між собою і підпорядковані нервовим і гуморальним системам регуляції.

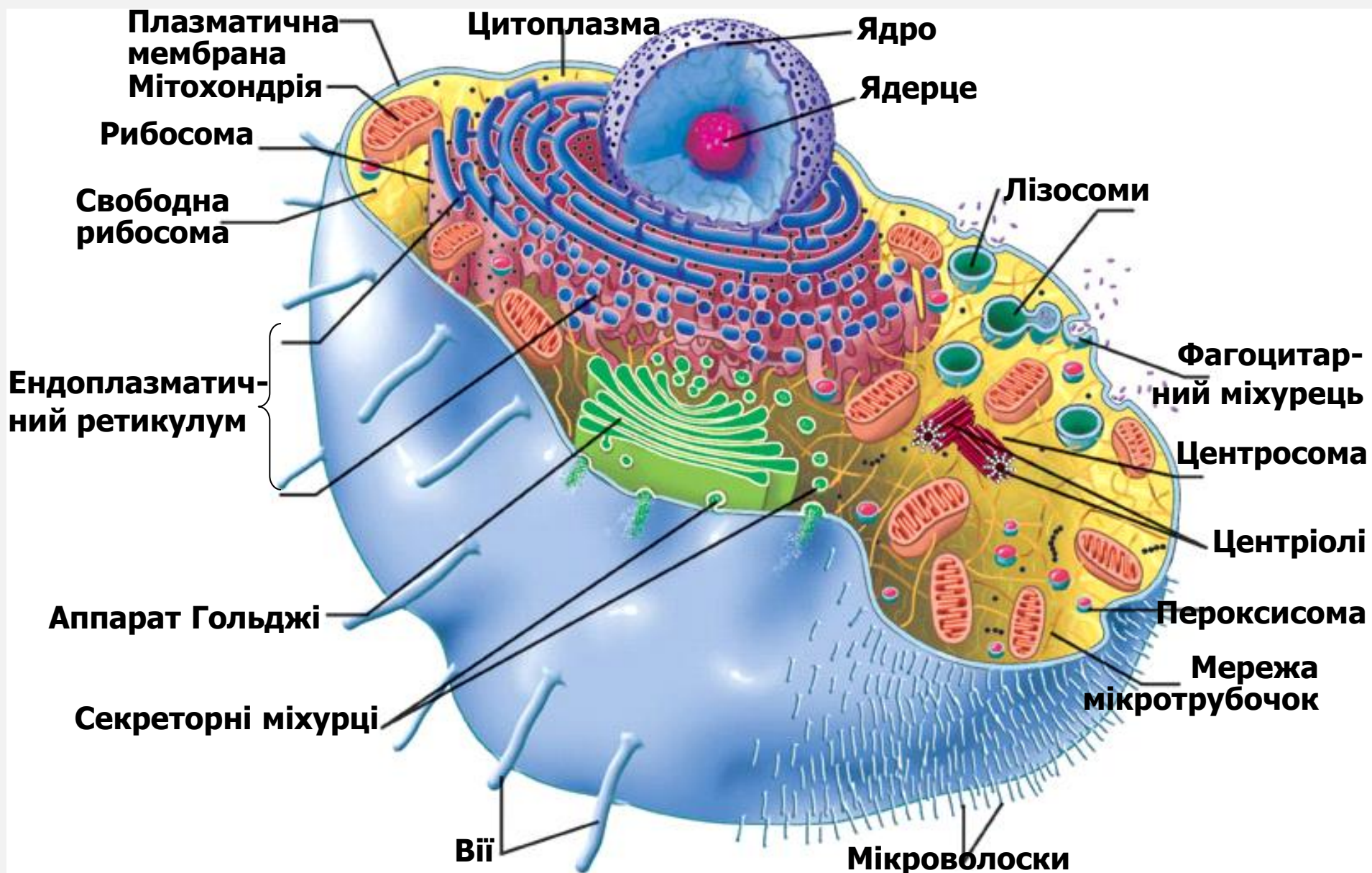


ЦИТОЛОГІЯ

Наука про клітину (грец. «цитос» - клітина, «логос» - наука). Предмет цитології - клітини багатоклітинних тварин і рослин, а також одноклітинних організмів. Цитологія вивчає будову і хімічний склад клітин, функції внутрішньоклітинних структур, функції клітин, розмноження, розвиток і пристосування клітин до умов навколишнього середовища.



БУДОВА КЛІТИНИ



ФУНКЦІЇ КЛІТИНИ

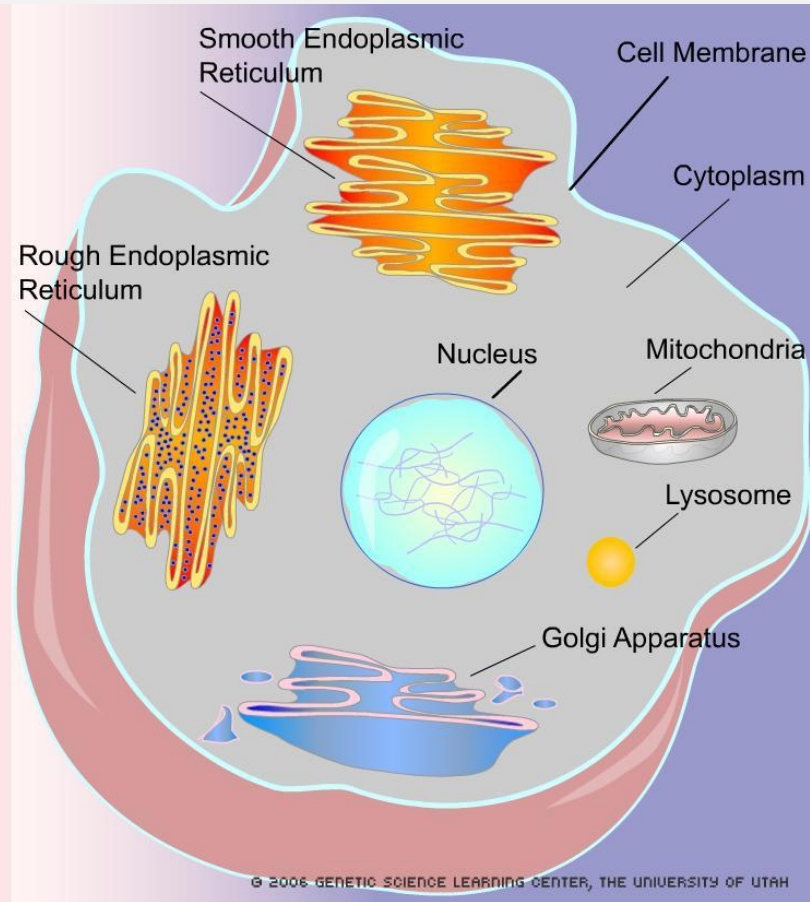
Незважаючи на різноманіття форм, організація клітин всіх організмів підпорядкована єдиним структурним принципам. Живий вміст клітини – протопласт - відокремлений від навколишнього середовища плазматичною мембраною. Усередині клітина заповнена цитоплазмою, в якій розташовані різні органоїди та клітинні включення. Кожен з органоїдів виконує свою особливу функцію, а в сукупності всі вони визначають життєдіяльність клітини в цілому.

Комплекс Гольджі - це органоїд клітини, основою якого є гладка мембрана, що утворює пакети сплюснених цистерн, великі вакуолі або дрібні бульбашки. Цистерни органоїда з'єднані з каналами ендоплазматичної мережі. Синтезовані на мембранах мережі білки, полісахариди, жири транспортуються до комплексу та конденсуються всередині його структур.

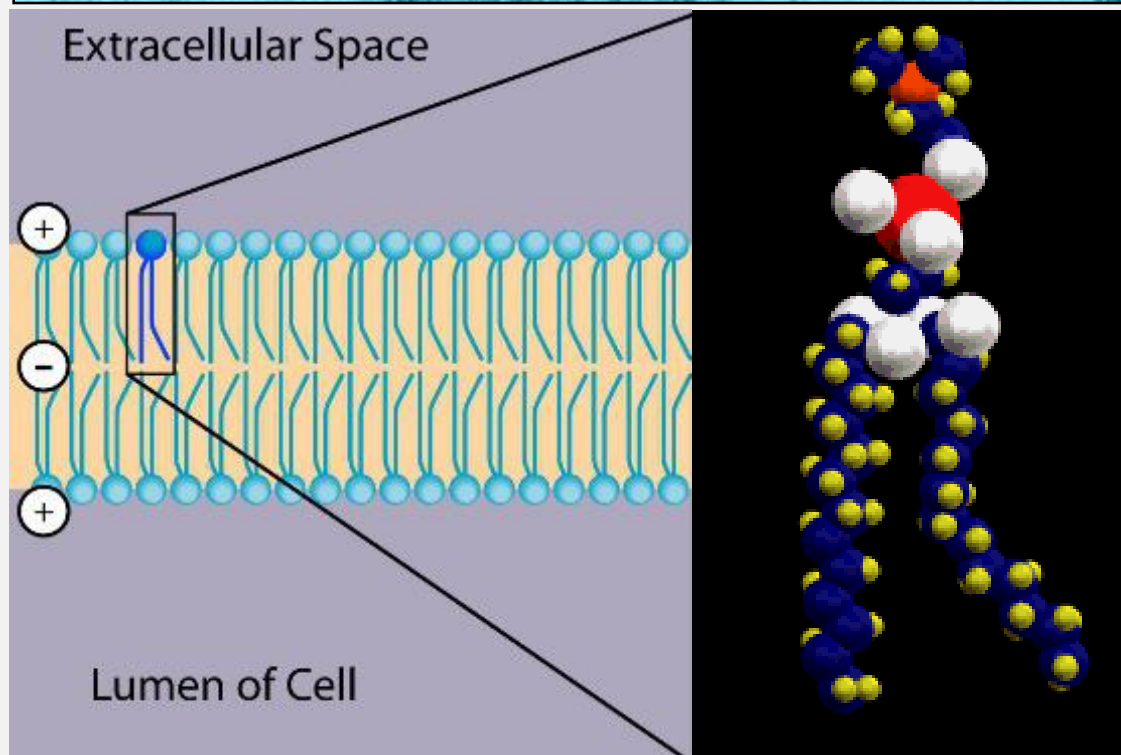
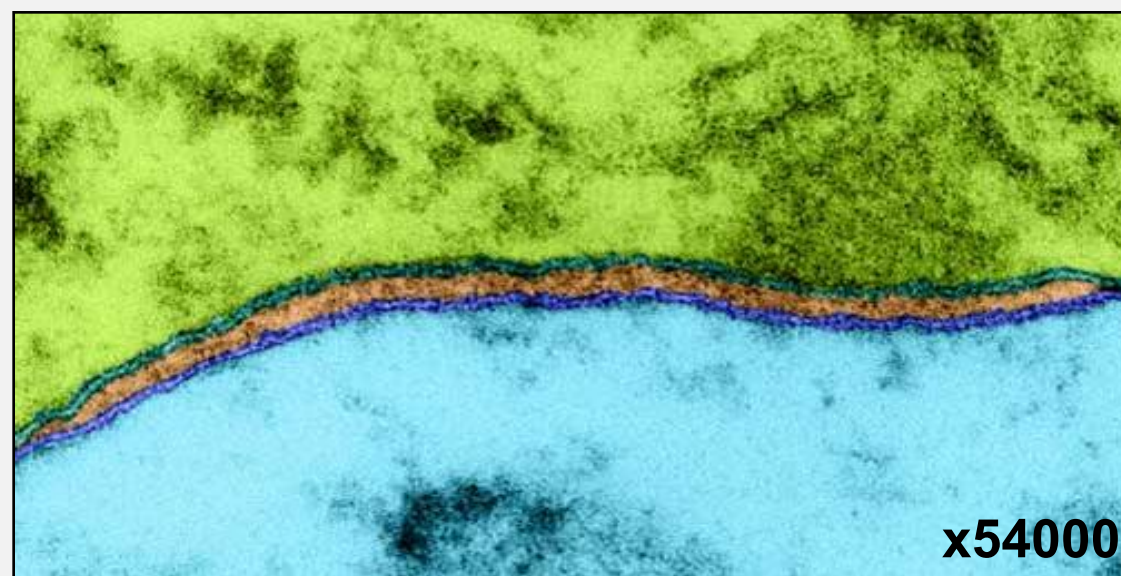
All living things are made up of cells

Some organisms, like bacteria, are only as big as a single cell. Other larger organisms, like humans, are made up of many different kinds of cells. The cells in our brain, bones, heart and lungs all do special jobs to help our bodies work. Although the cells in our bodies do many different jobs, they all contain similar parts called organelles.

Click on the cell to see descriptions of each component.



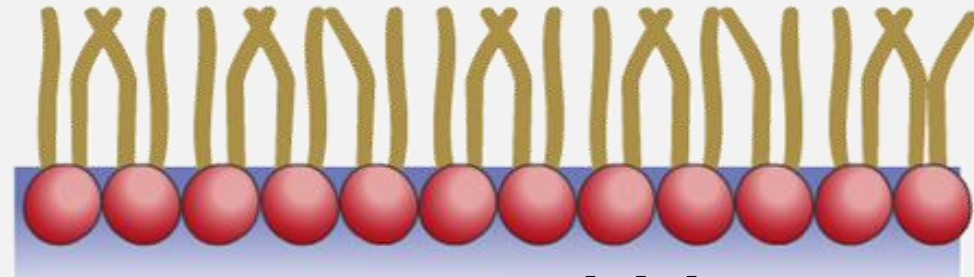
ХРОНОЛОГІЯ ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕМБРАН



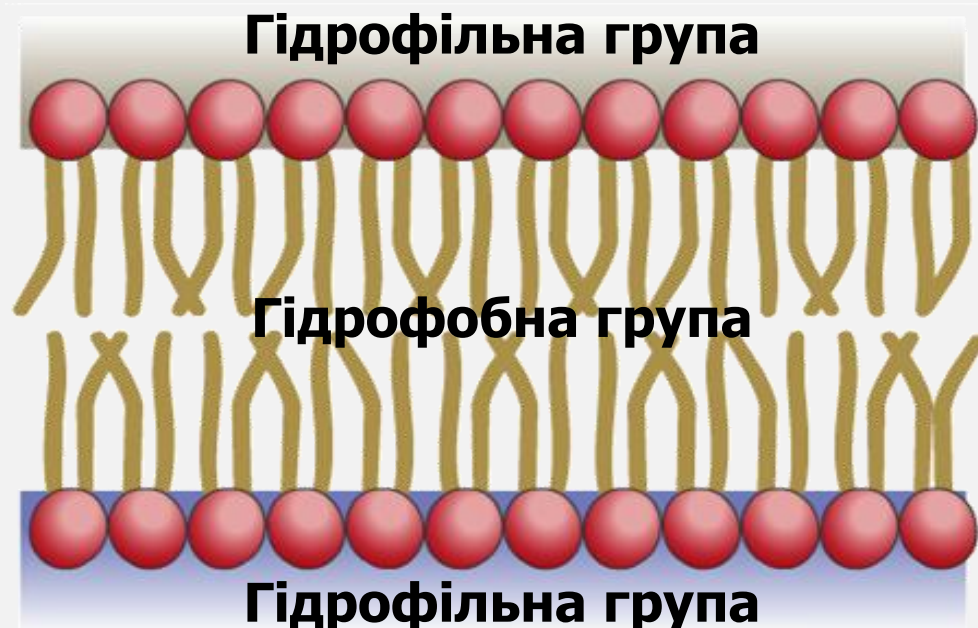
Термін **мембрани** як невидимої плівки, що оточує клітину, був вперше використаний фон Моєм і фон Негелі в 1855 році. Між 1895 і 1902 роками Овертон виміряв проникність клітинної мембрани для великого числа з'єднань і показав пряму залежність між здатністю цих сполук проникати через мембрани і їх розчинністю в ліпідах. Це було вказівкою на те, що саме ліпіди формують плівку, через яку проходять в клітину речовини з навколишнього розчину.

ХРОНОЛОГІЯ ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МЕМБРАНИ

У 1902 році Бернштейн запропонував для пояснення електричних властивостей живих клітин мембранну гіпотезу. У 1925 році Гортер і Грендел екстрагували ліпіди з еритроцитів і виміряли площу мономолекулярної плівки ліпідів, що утворилася. На основі цих досліджень було зроблено припущення, що ліпіди в мембрані розташовуються у вигляді бімолекулярного шару. Це припущення підтвердили дослідження електричних параметрів біомембран (Коул і Кертис, 1935 рік): високий електричний опір, біля 10^7 Ом/м² і велика електроємність $0,5 \cdot 10^{-2}$ Ф/м².



Моношар ліпідів

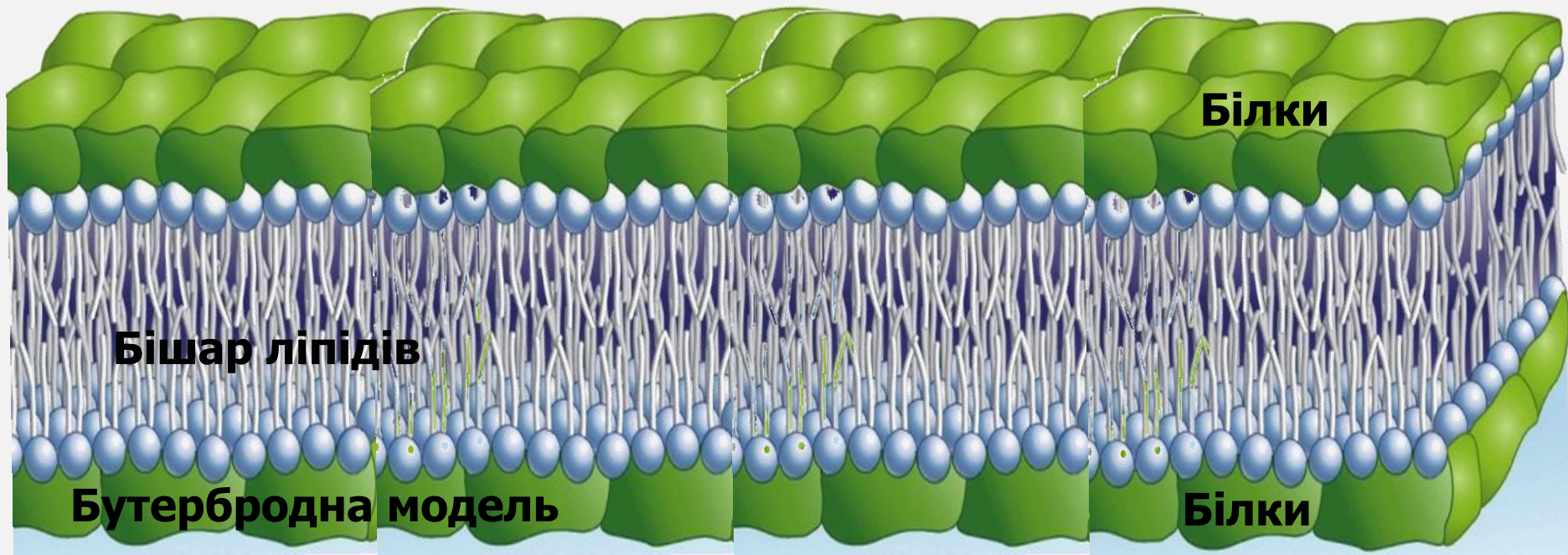


Гідрофільна група

Бішар ліпідів

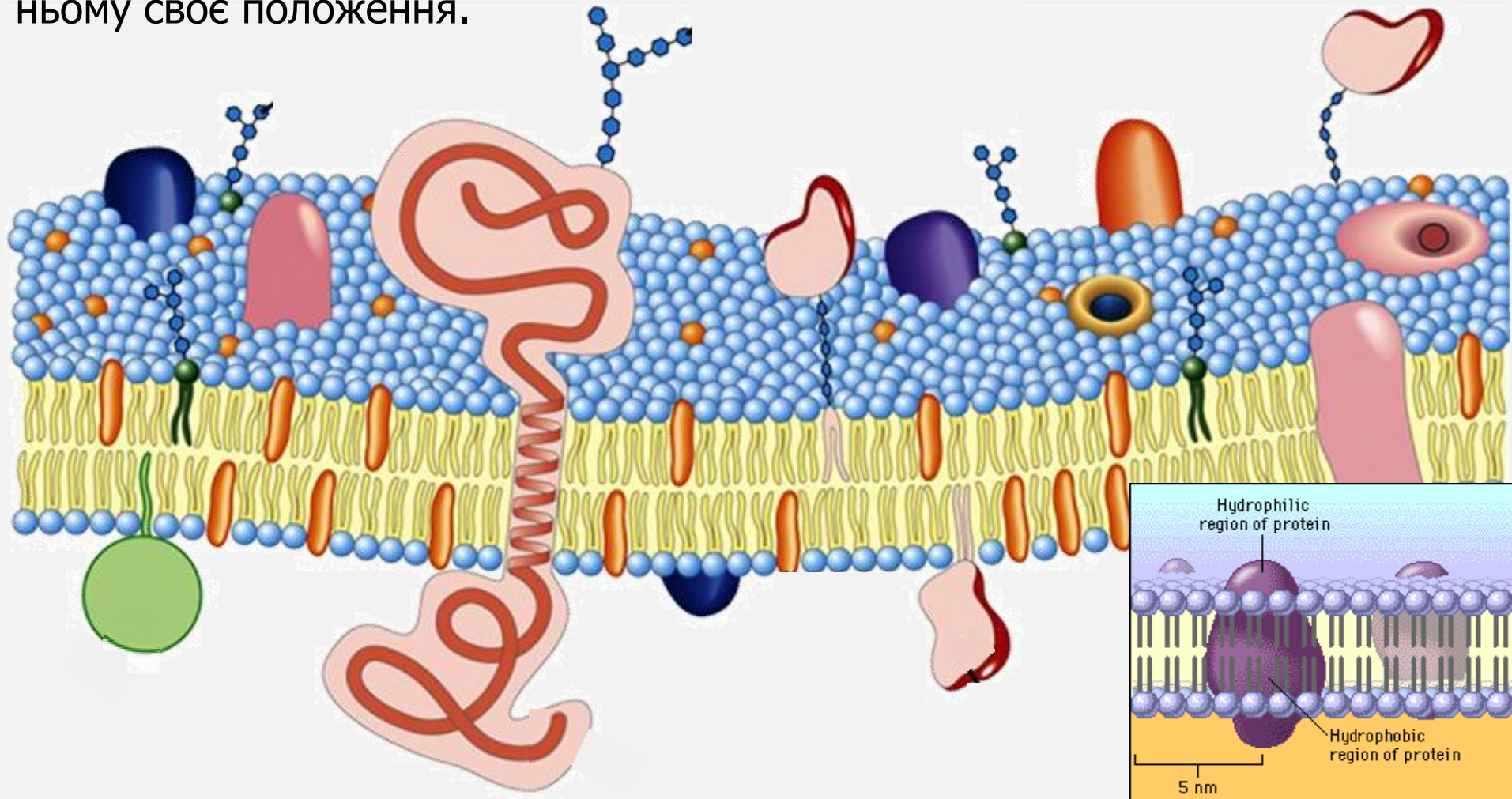
ХРОНОЛОГІЯ ВИВЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ МЕМБРАНИ

Разом с тим були експериментальні дані, які свідчили про те, що біологічна мембрана містить в своєму складі і білкові молекули. Ці суперечності експериментальних результатів були усунені Данієллі і Давсоном, що запропонували в 1935 році так звану "бутербродну" модель будови біологічних мембран, яка з деякими неістотними змінами протрималася в мембранології на протязі майже 40 років. Згідно цієї моделі, обидві поверхні фосфоліпідного бішару в мембранах покриті суцільним шаром білків.



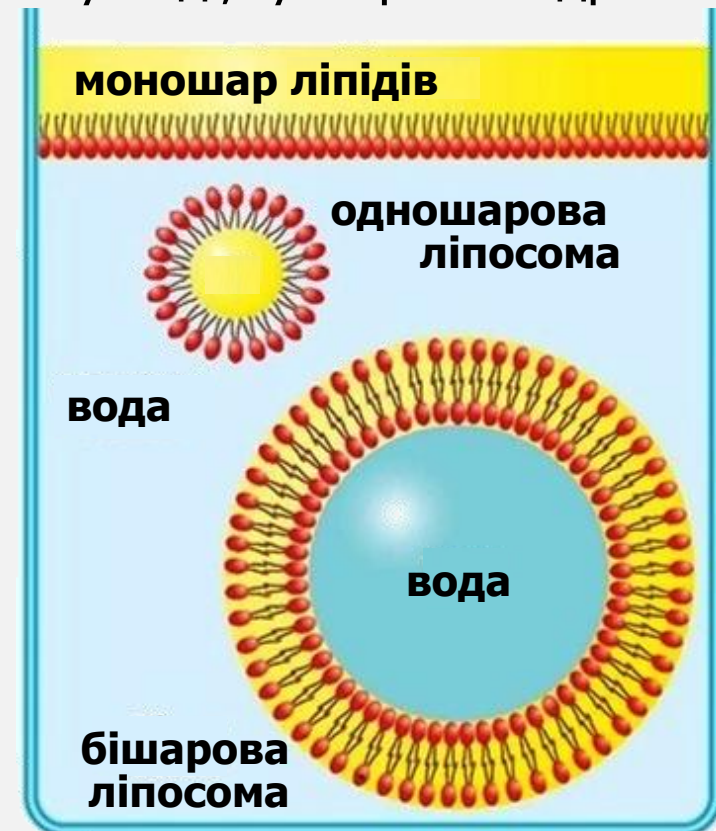
РІДИННО-МОЗАІЧНА МОДЕЛЬ

У 1972 р. Сінгер і Ніколсон запропонували рідинно-мозаїчну модель мембрани, згідно якої білки плавають в рідкому фосфоліпідному бішарі. Вони утворюють в ньому як би своєрідну мозаїку, але оскільки цей бішар рідкий, то і сам мозаїчний візерунок не жорстко фіксований; білки можуть міняти в ньому своє положення.



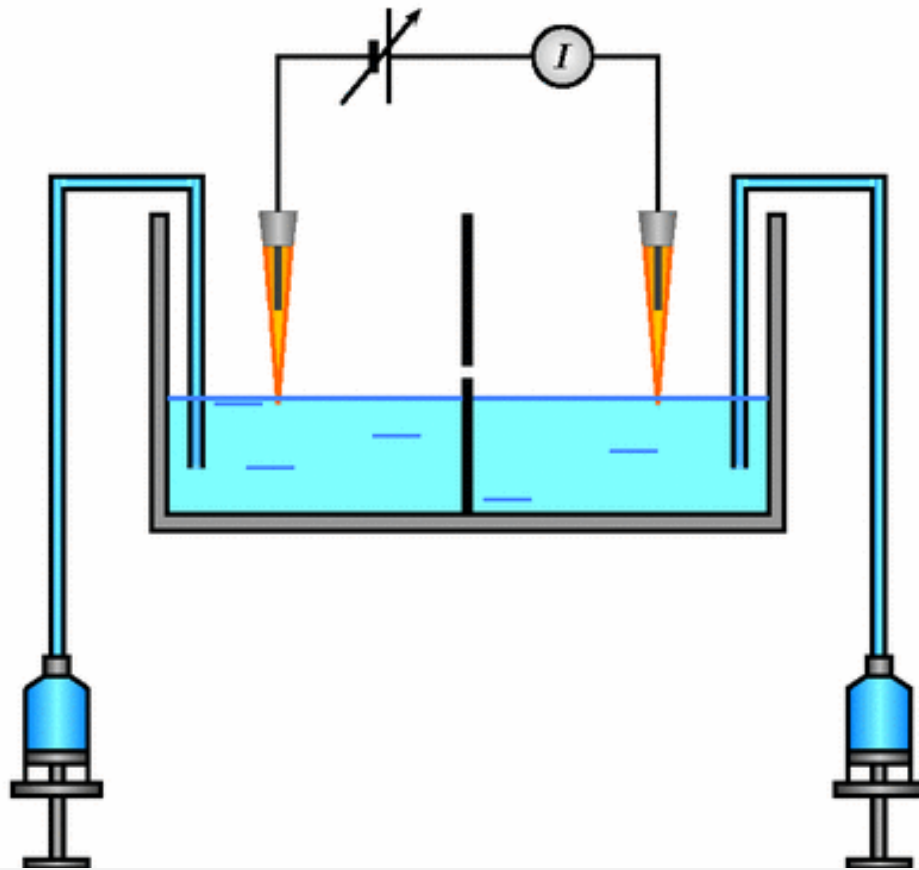
МОДЕЛЬНІ МЕМБРАНИ

Вивчення фізичних властивостей ліпідного шару мембран здійснюється переважно на двох видах штучних мембранних структур, утворених синтетичними фосфоліпідами або ліпідами, виділеними з біологічних джерел: ліпосомах і бішарових ліпідних мембранах (БЛМ). Ліпосоми - це ліпідні везикули (бульбашки), що утворюються з фосфоліпідів у водних розчинах. Щоб отримати ліпосоми, спиртовий розчин фосфоліпідів уприскують у великий об'єм водного розчину. Фосфоліпіди, нерозчинні у воді, утворюють дрібні бульбашки, стінки яких складаються з одного ліпідного бішару (одношарові ліпосоми). Можна спочатку висушити розчин фосфоліпідів в органічному розчиннику (наприклад, хлороформі) в пробірці, додати в пробірку водний розчин і сильно потрясти пробірку. Ліпіди переходять у водний розчин, тепер уже у вигляді багатошарових ліпосом. Суспензію ліпосом зазвичай використовують для вивчення фізичних властивостей ліпідного бішара, таких як в'язкість, поверхневий заряд або діелектрична проникність, а також для вивчення проникності для незаряджених молекул.



ВИГОТОВЛЕННЯ БЛМ

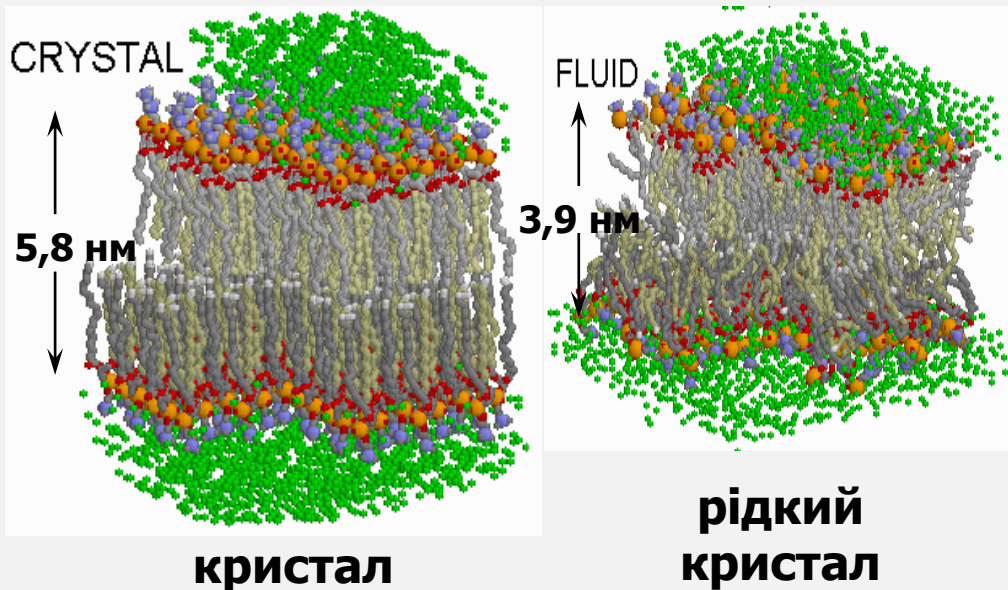
Для виготовлення БЛМ в скляній посудині з розчином електроліту, розділеній тefлоновою перегородкою з отвором, в обох частинах посудини на поверхні рідини формують моношар ліпідів. Потім поступово піднімають рівень рідини вище отвору, в якому і утворюється БЛМ.



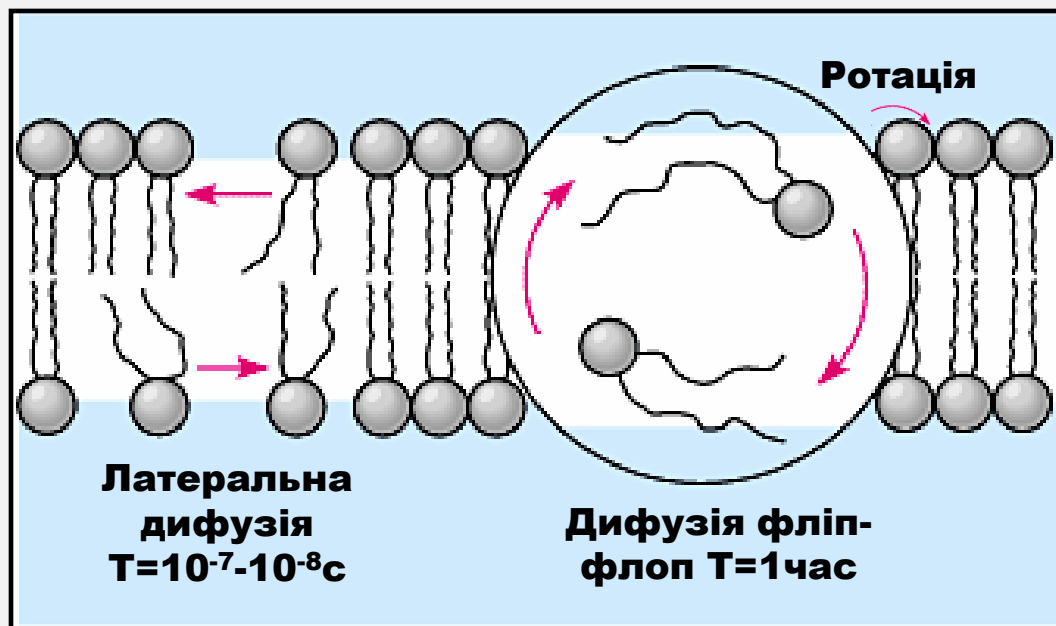
БЛМ використовують для вивчення іонної проникності шляхом вимірювання електропровідності мембрани і потенціалів, які утворюються на ній.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ

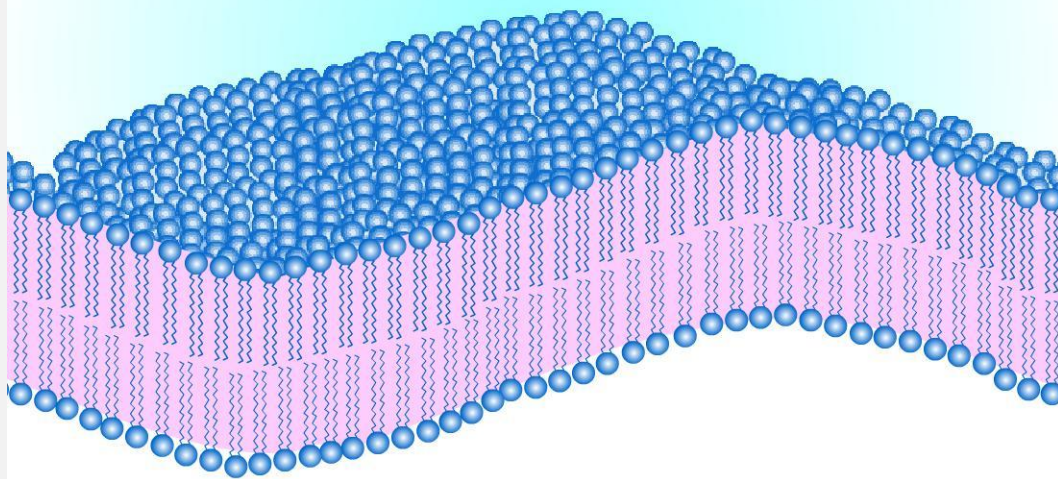
Залежно від температури біологічні мембрани можуть існувати в різних станах. За нормальних фізіологічних умов мембрани знаходяться в рідкому стані, проте вони мають впорядковану структуру, тому цей стан мембран є рідкокристалічним. З пониженням температури мембрани переходять з рідкокристалічного стану в гелевидне і кристалічне. При такому переході зберігається загальна структура мембрани, але порядок в системі ще більше зростає: "хвости" ліпідів витягуються строго паралельно один одному, їх коливання обмежені. Товщина мембрани при цьому збільшується, але за рахунок зменшення площі об'єм мембрани в цілому зменшується.



РУХОМІСТЬ ФОСФОЛІПІДНИХ МОЛЕКУЛ



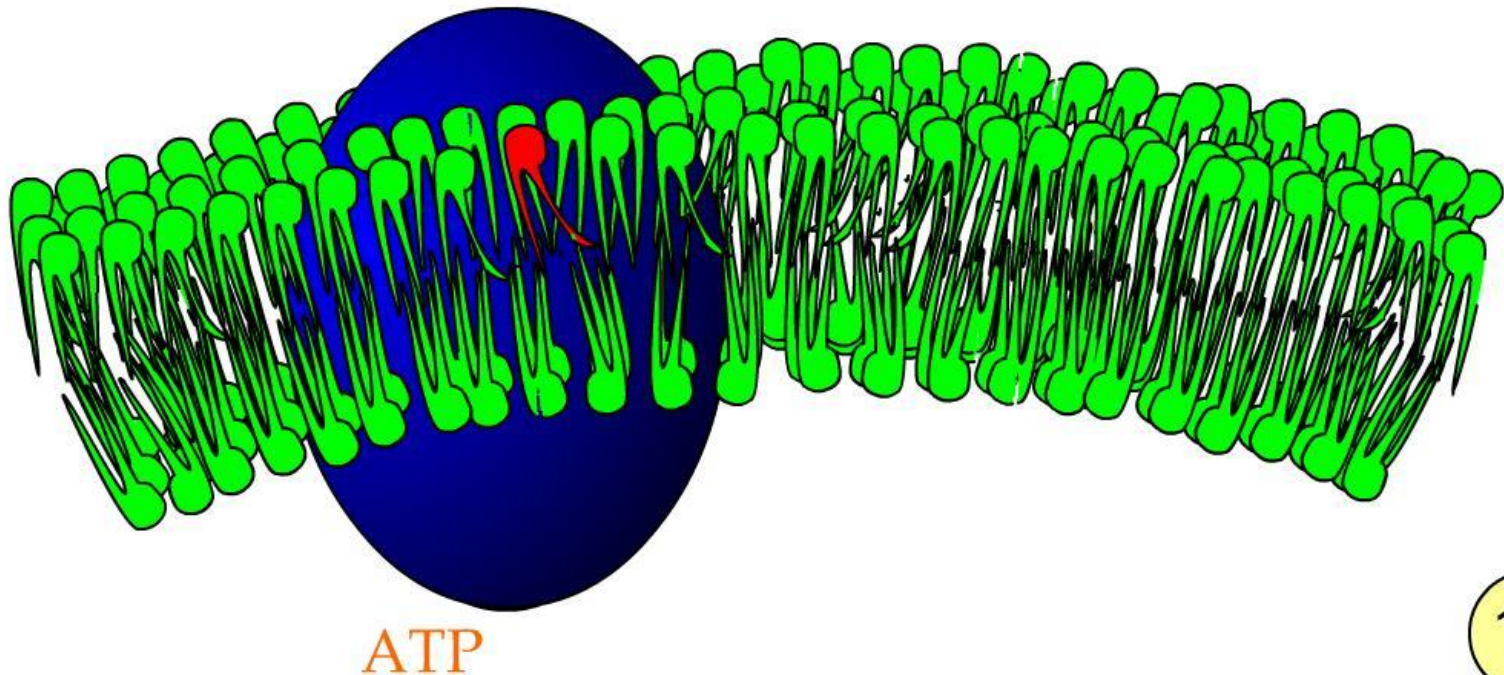
Membranes are not static sheets of molecules locked rigidly in place.



Так як мембрана перебуває в рідкокристалічному стані фосфоліпідні молекули мають деяку самостійну рухливість. Можливі три типи переміщень фосфоліпідів: ротація - обертання молекули навколо своєї осі, латеральна (бічна) дифузія – хаотичне теплове переміщення фосфоліпідів в площині мембрани і дифузія фліп-флоп – перескоки молекул з однієї поверхні бішару на іншу. Ротація відбувається безперервно, латеральна дифузія з періодичністю $10^{-7}-10^{-8}$ сек., а дифузія фліп-флоп з періодичністю біля однієї години.

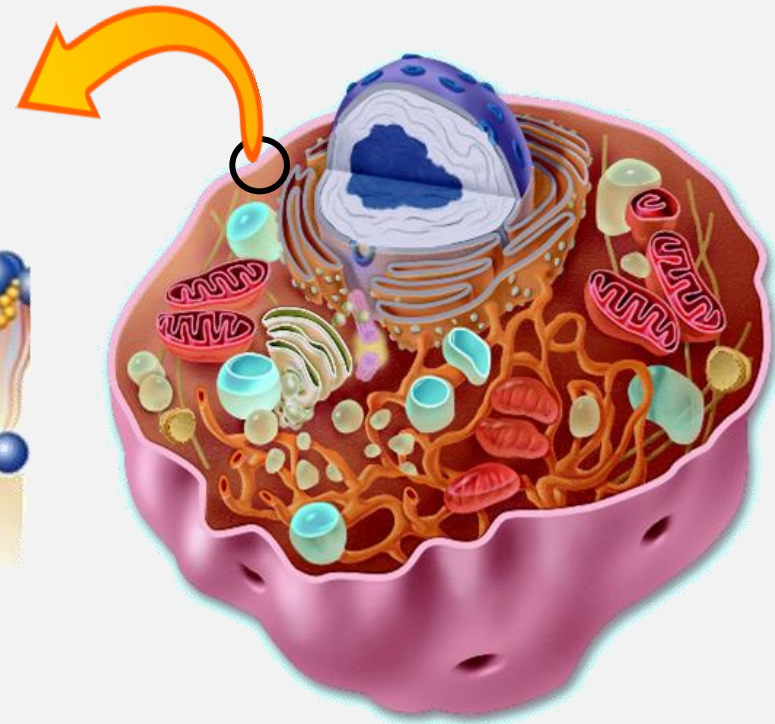
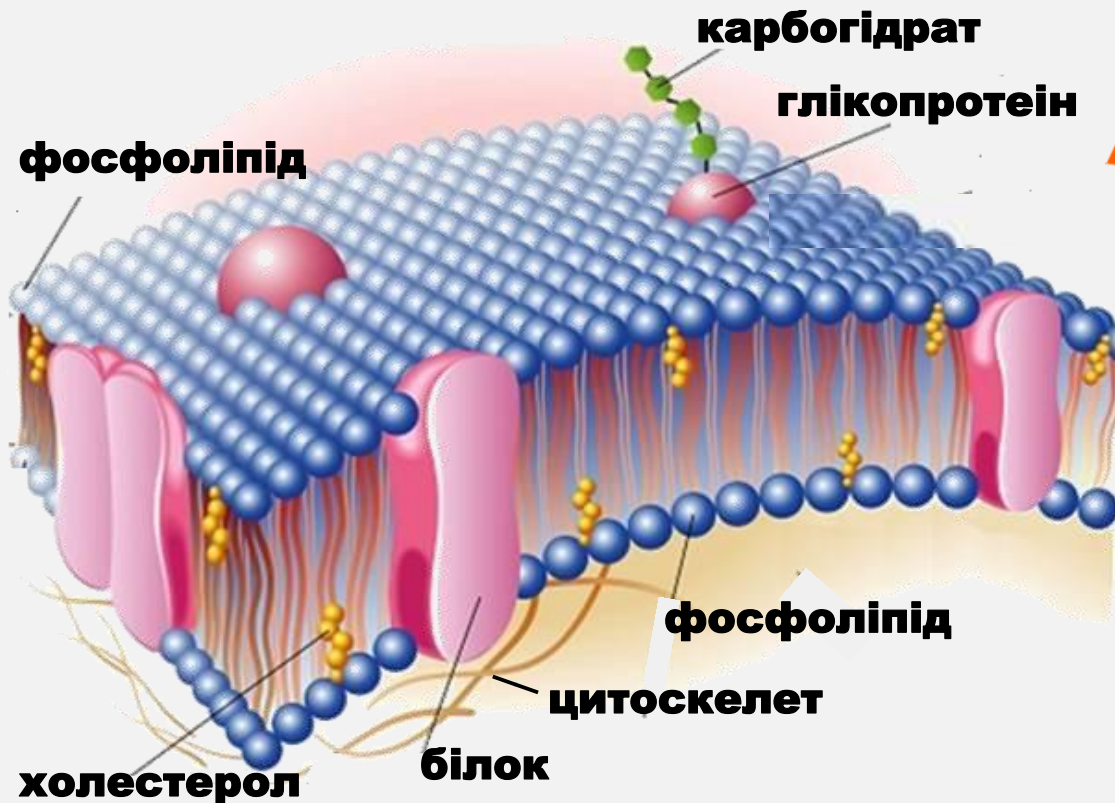
ДИФУЗІЯ ФЛІП-ФЛОП

Flippases use ATP to overcome unfavorable barriers to flip lipid monomers from one leaflet to another.



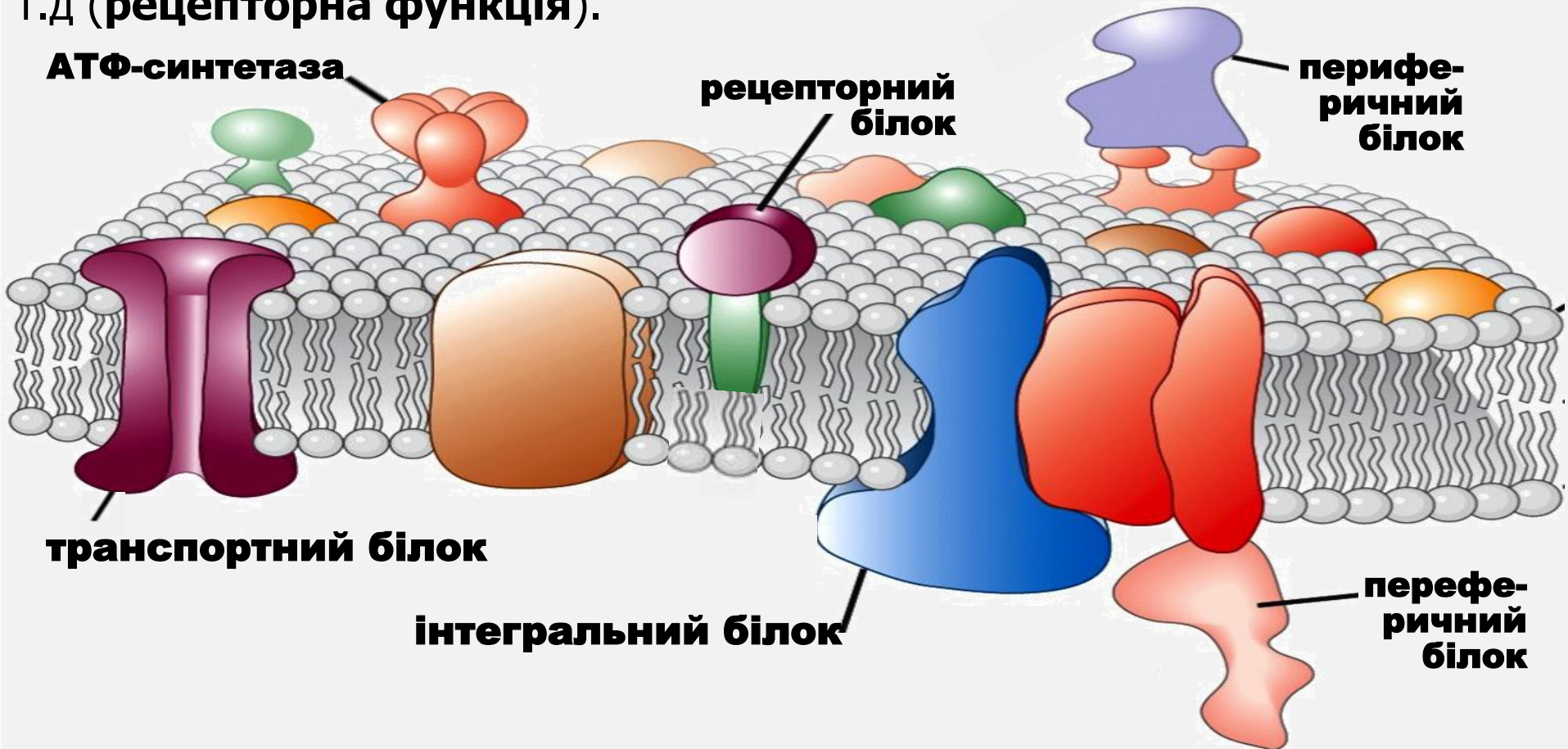
ФУНКЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ МЕМБРАН

Біологічні мембрани, разом з цитоскелетом, формують структуру живої клітини (**структурна функція**). У всіх живих клітинах біологічні мембрани виконують функцію бар'єру, що відокремлює клітину від навколишнього середовища, і що розділяє внутрішній об'єм клітини на порівняно ізольовані "відсіки". Гнучка і еластична плівка, якою по суті є всі мембрани, виконує і певну **механічну функцію**, зберігаючи клітину неушкодженою при помірних механічних навантаженнях і порушеннях осмотичної рівноваги між клітиною і навколишнім середовищем.



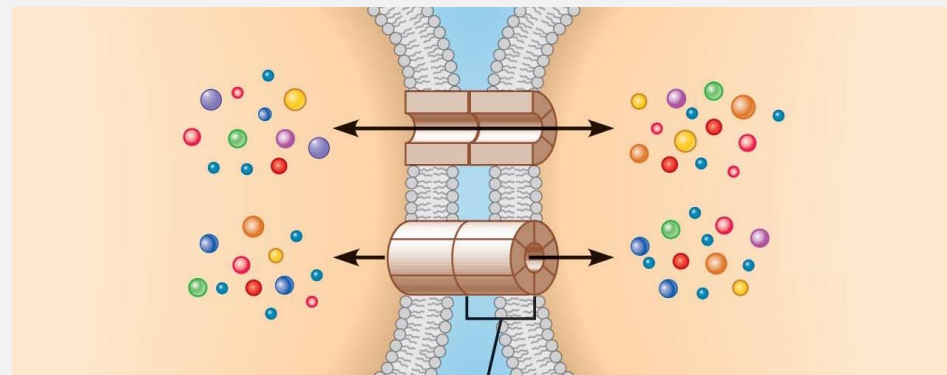
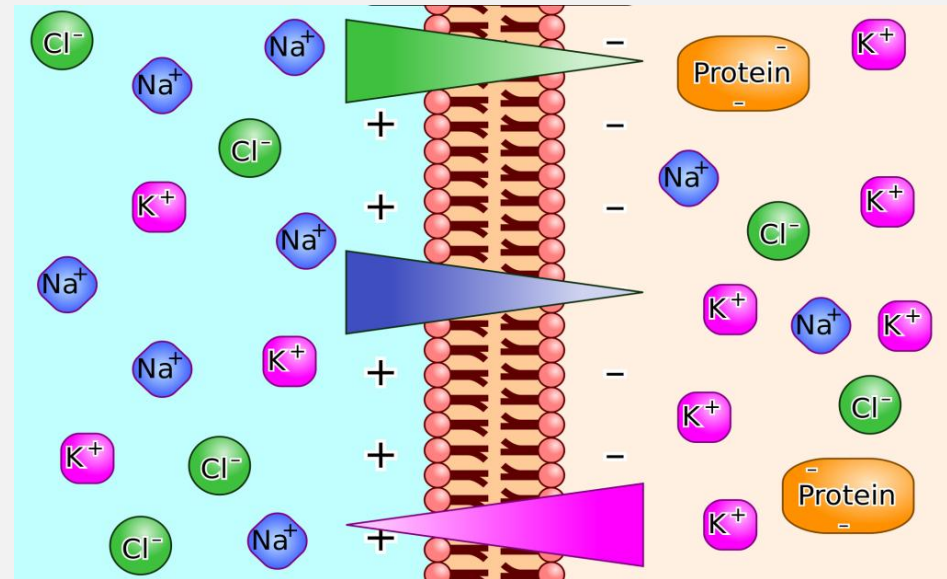
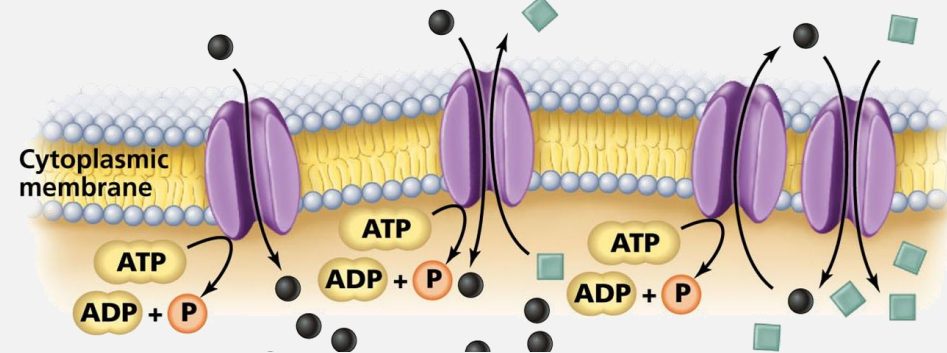
ФУНКЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ МЕМБРАН

Загальна для всіх мембран функція - це функція "**монтажної плати**" або матриці, на якій розташовуються в певному порядку білки і білкові ансамблі, які створюють системи перенесення електронів, запасання енергії у формі АТФ, регуляції внутріклітинних процесів гормонами, що поступають ззовні і внутріклітинними медіаторами, розпізнавання інших клітин і чужорідних білків (**антигенна функція**), рецепції світла, механічних впливів і т.д (**рецепторна функція**).



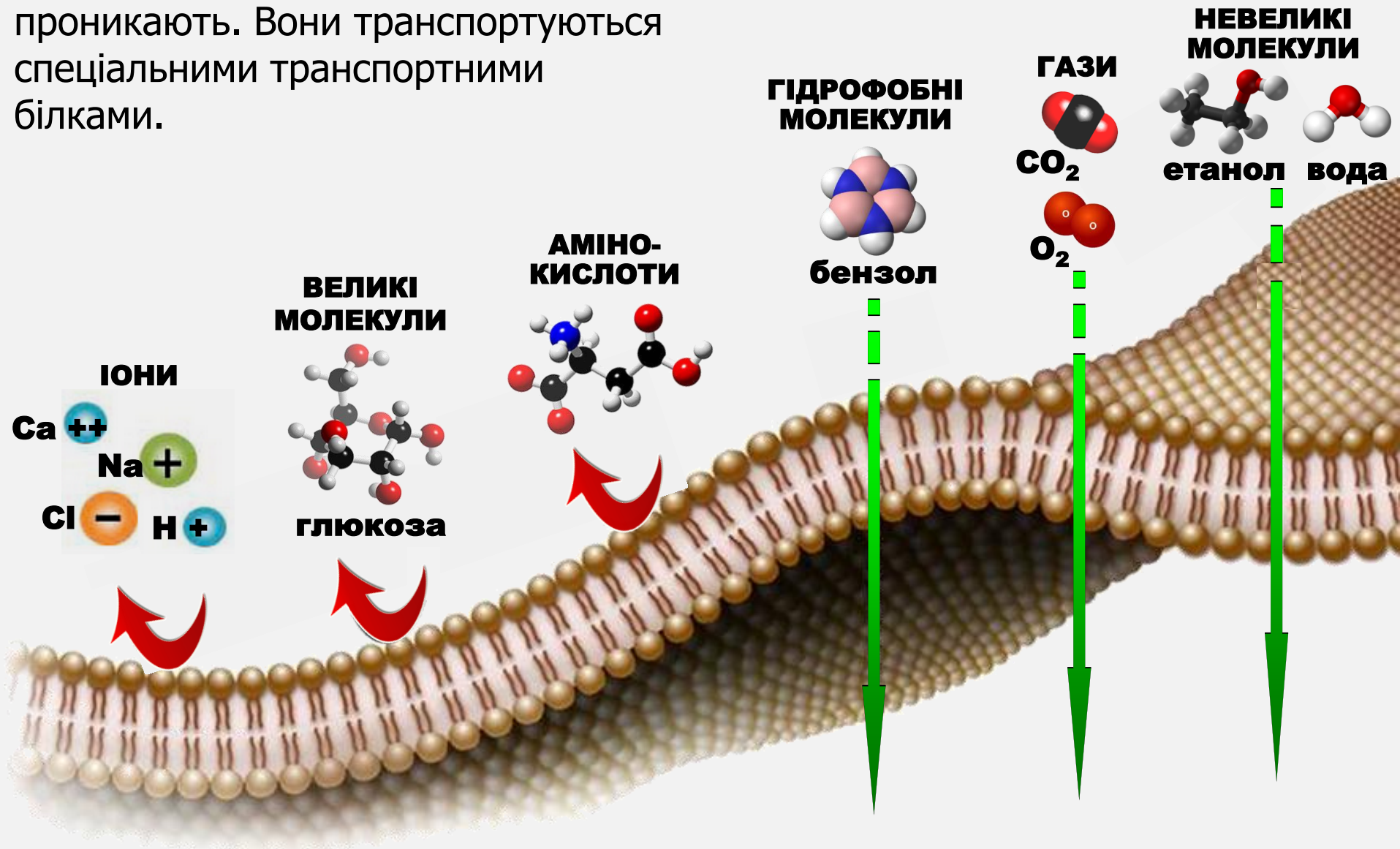
ФУНКЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ МЕМБРАН

В ліпідний бішар мембран вбудовані численні білкові молекули і молекулярні комплекси, одні з яких мають властивості селективних (тобто вибіркових) каналів для іонів і молекул, а інші - насосів, здатних активно перекачувати іони через мембрану (**транспортна функція**). Бар'єрні властивості мембран і робота мембранних насосів створюють нерівномірний розподіл іонів між клітиною і позаклітинним середовищем, що лежить в основі процесів внутріклітинної регуляції і передачі сигналів у формі електричного імпульсу між клітинами (**електрогенна функція**). **Функція адгезії** дає можливість утворення багатоклітинних структур (тканини, органи і так далі), за рахунок зчеплення клітин.



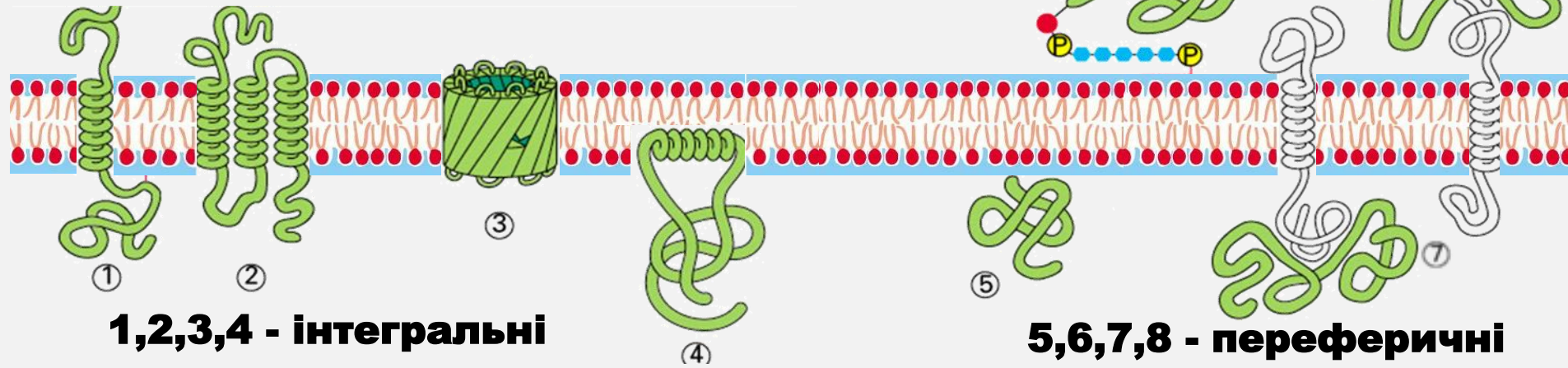
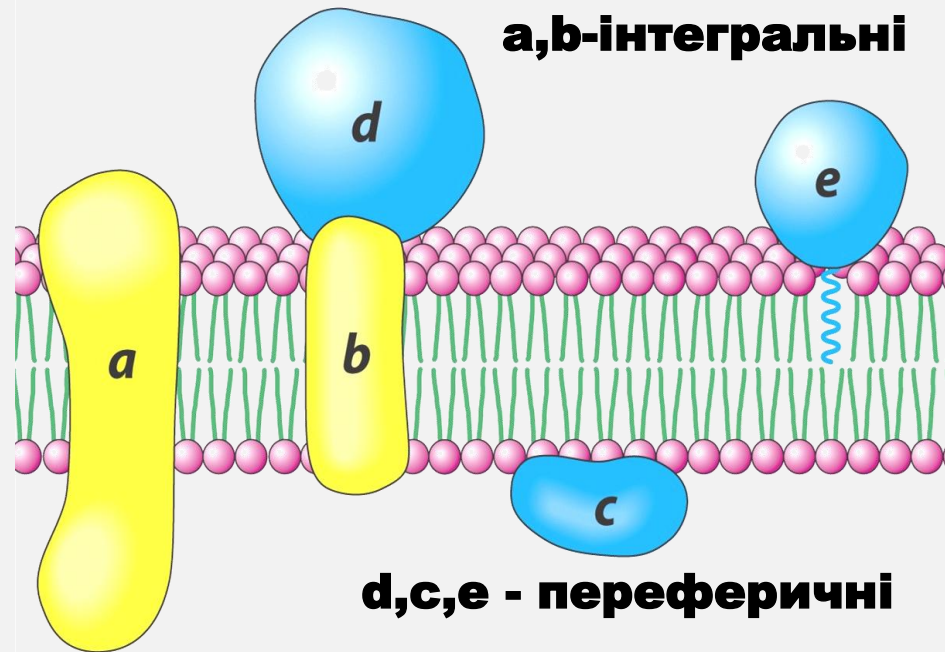
ПРОНИКНІСТЬ БІЛІПІДНОГО ШАРУ

Через біліпідний шар вільно проникають невеликі електронейтральні молекули і гідрофобні молекули. Великі молекули і іони через біліпідний шар не проникають. Вони транспортуються спеціальними транспортними білками.



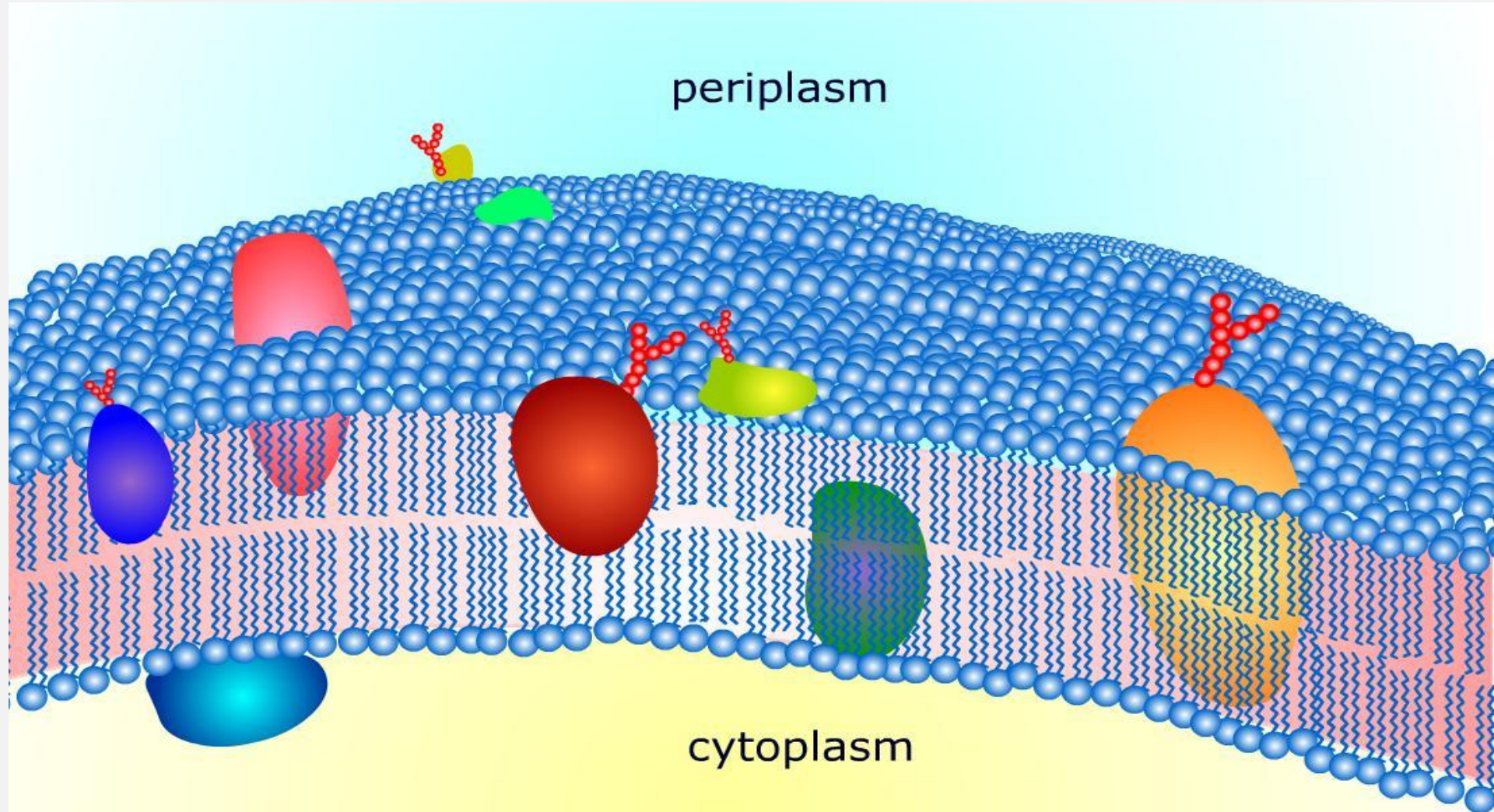
МЕМБРАННІ БІЛКИ

Розрізняють два типи мембранних білків: інтегральні, які пронизують мембрану наскрізь, трохи виступаючи над обома її поверхнями і периферичні, які розташовані з обох сторін плазматичної мембрани і не вбудовані в ліпідний бішар. Більша частина мембранних білків є інтегральними компонентами мембран. Функції мембранних білків надзвичайно різноманітні і будуть детально розглянуті в подальшому.

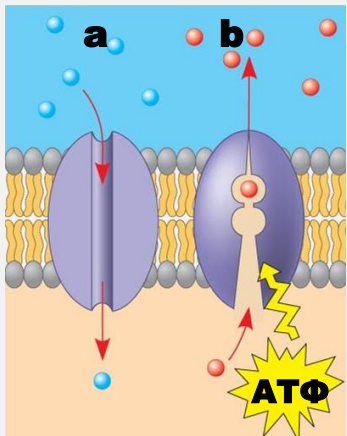


МЕМБРАННІ БІЛКИ

Мембранні білки, як і фосфоліпіди, також володіють латеральною рухливістю, але швидкість їх переміщення в десятки і сотні разів нижче.



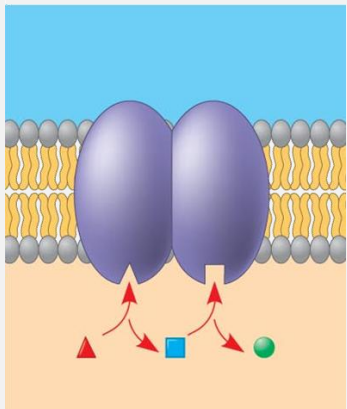
ФУНКЦІЇ МЕМБРАННИХ БІЛКІВ



ТРАНСПОРТНА ФУНКЦІЯ



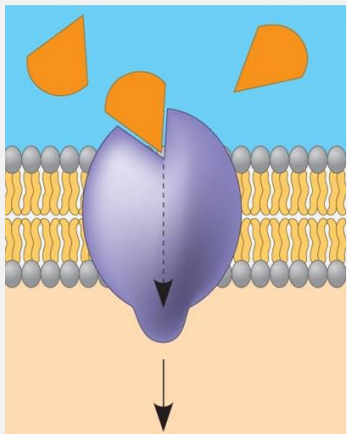
- а) пасивний транспорт;
- б) активний транспорт



ФЕРМЕНТАТИВНА ФУНКЦІЯ



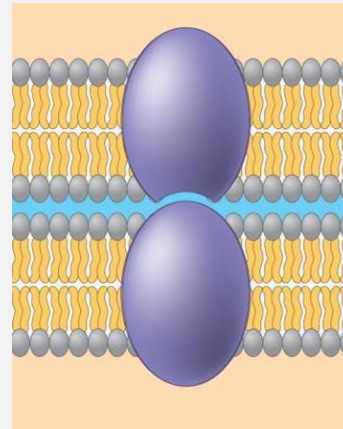
забезпечення
біохімічних реакцій



СИГНАЛЬНА ФУНКЦІЯ



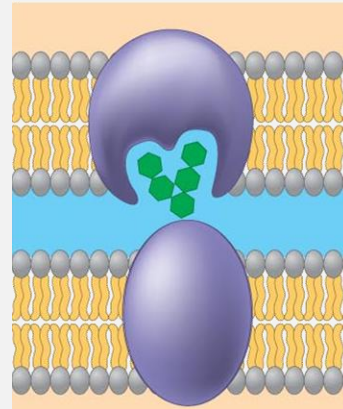
обмін інформацією
між клітинами



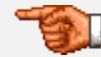
ФУНКЦІЯ АДГЕЗІЇ



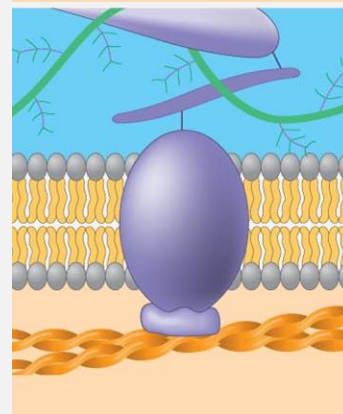
утворення
багатоклітинних
організмів



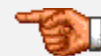
АНТИГЕННА ФУНКЦІЯ



ідентифікація клітин
для забезпечення
імунітета



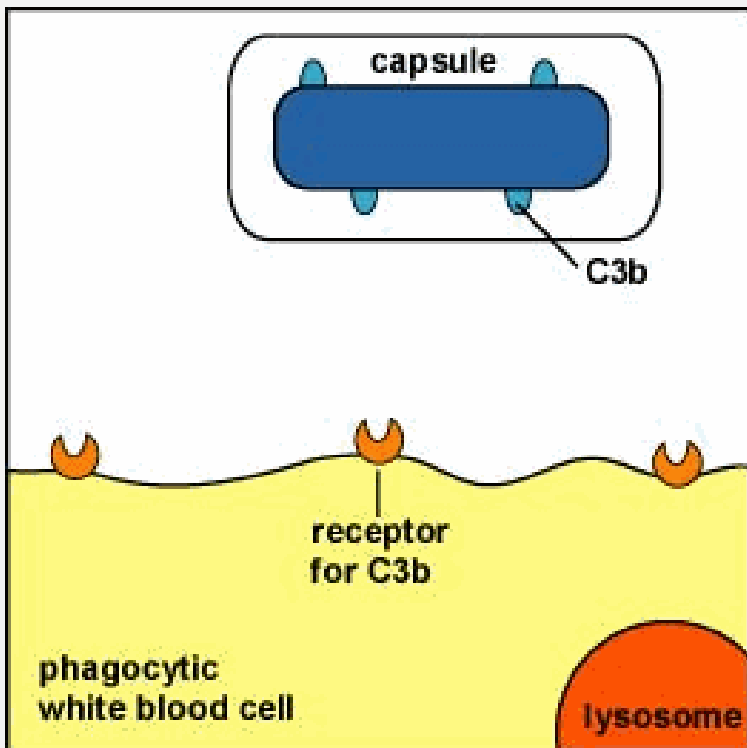
СТРУКТУРНО- МЕХАНІЧНА ФУНКЦІЯ



з'єднання
цитоскелета з
позаклітинним
матриксом

АНТИГЕННА І СИГНАЛЬНА ФУНКЦІЇ

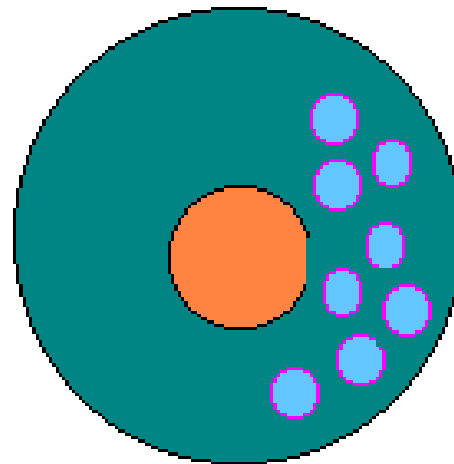
АНТИГЕННА ФУНКЦІЯ



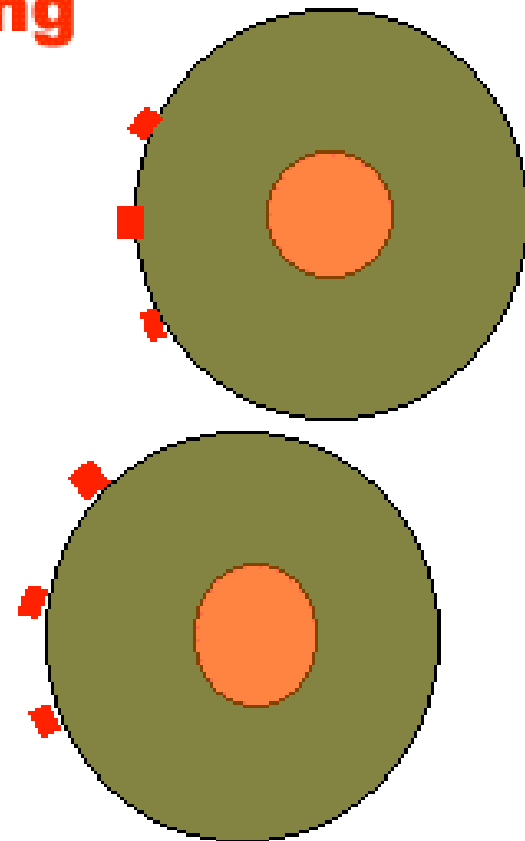
СИГНАЛЬНА ФУНКЦІЯ



Cell Signaling



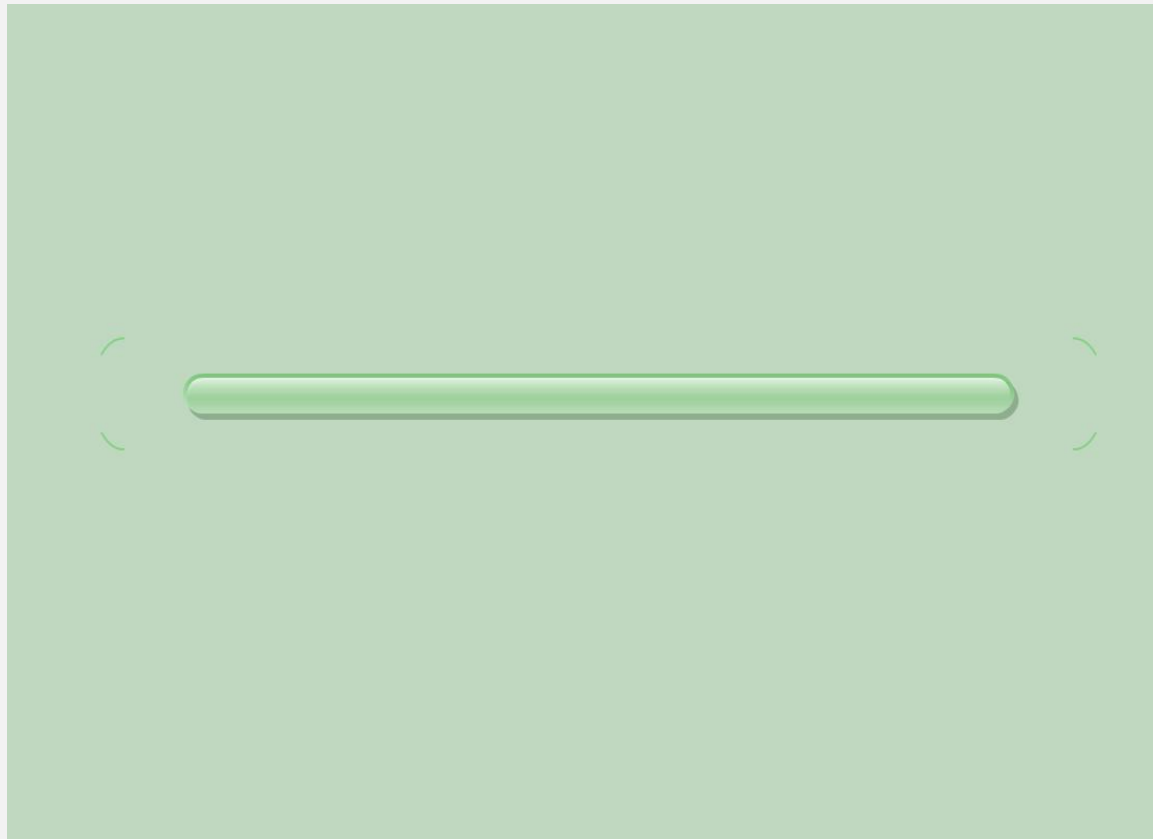
camelet@lmc



ТРАНСПОРТНА ФУНКЦІЯ МЕМБРАН

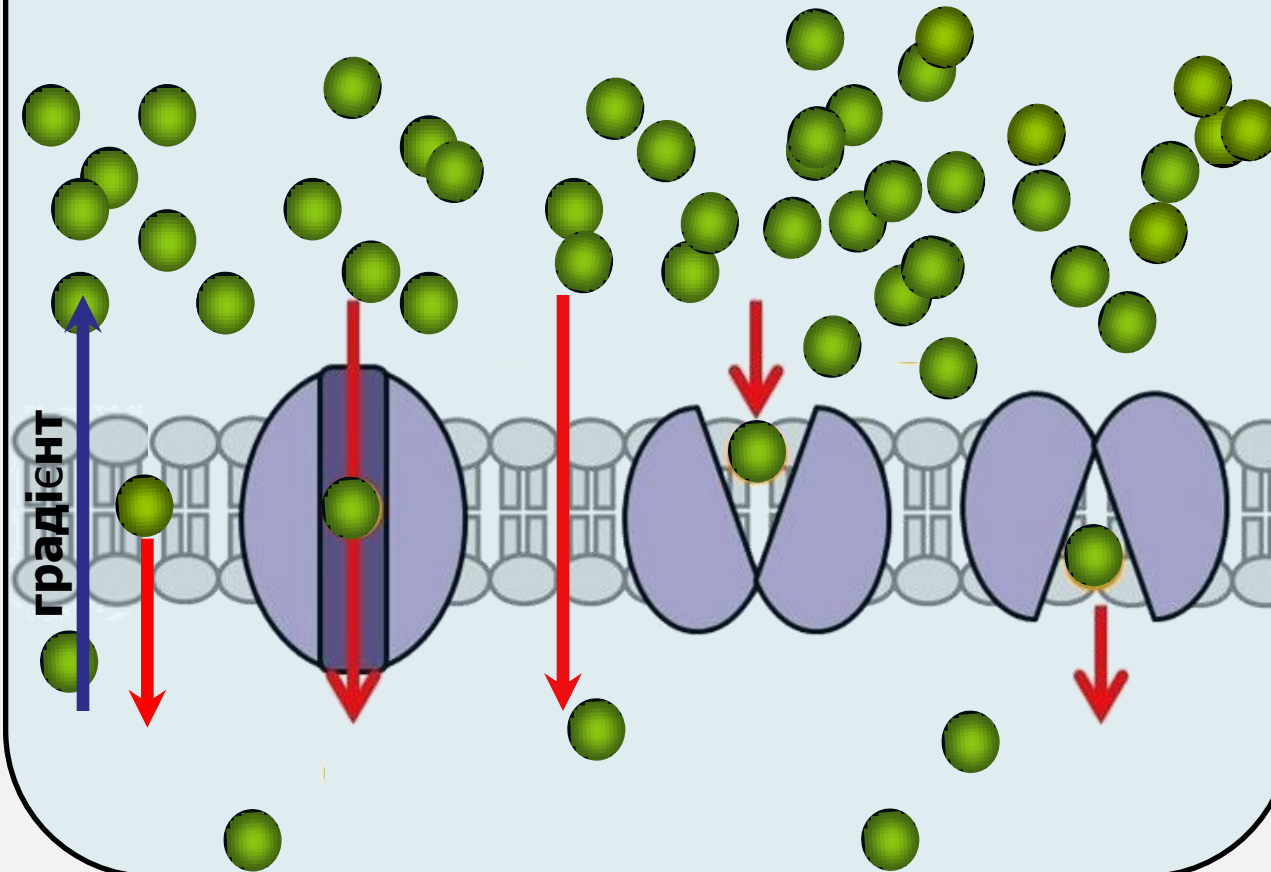
Транспортна функція мембран забезпечує вибіркове проникнення в клітину і з клітини в навколишнє середовище різних хімічних речовин. Транспорт поставляє поживні речовини, які служать джерелом енергії, а також матеріалом для утворення різних клітинних компонентів. Від нього залежить виведення з клітини токсичних відходів та створення іонних градієнтів, необхідних для нервової та м'язової активності. Існує багато конкретних механізмів надходження речовин у клітину і виведення з клітини в зовнішнє середовище, однак всі їх можна розділити на дві групи, що принципово відрізняються :

- **пасивний транспорт,**
- **активний транспорт.**

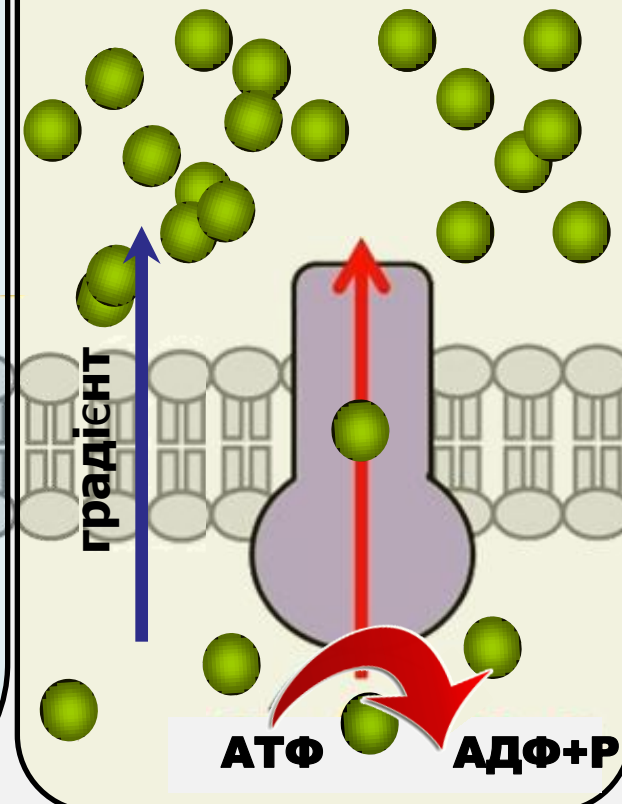


ПАСИВНИЙ ТА АКТИВНИЙ ТРАНСПОРТ

Пасивний транспорт відбувається без витрати енергії за наявності різних градієнтів (концентрації, електричного потенціалу, тиску).
Призводить до зникнення градієнтів.

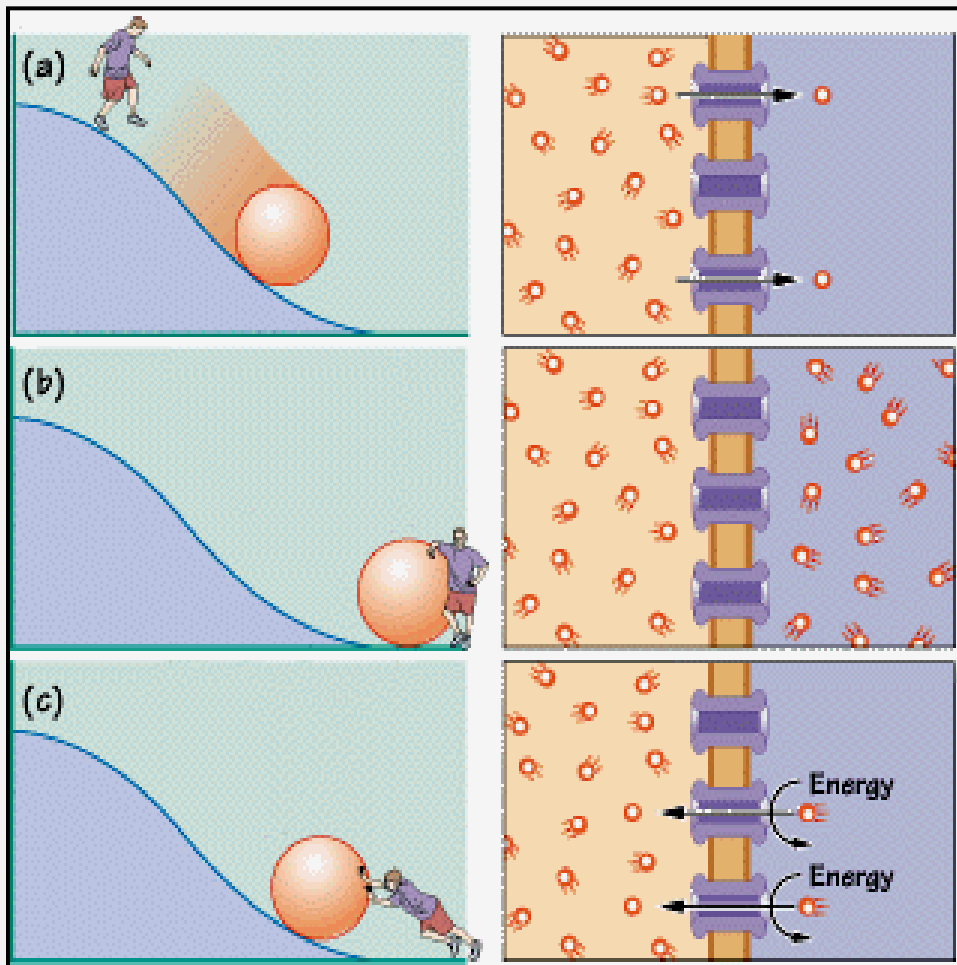


Активний транспорт відбувається за рахунок витрати енергії, що заощаджена в макроергічних зв'язках АТФ. Призводить до збільшення градієнтів.



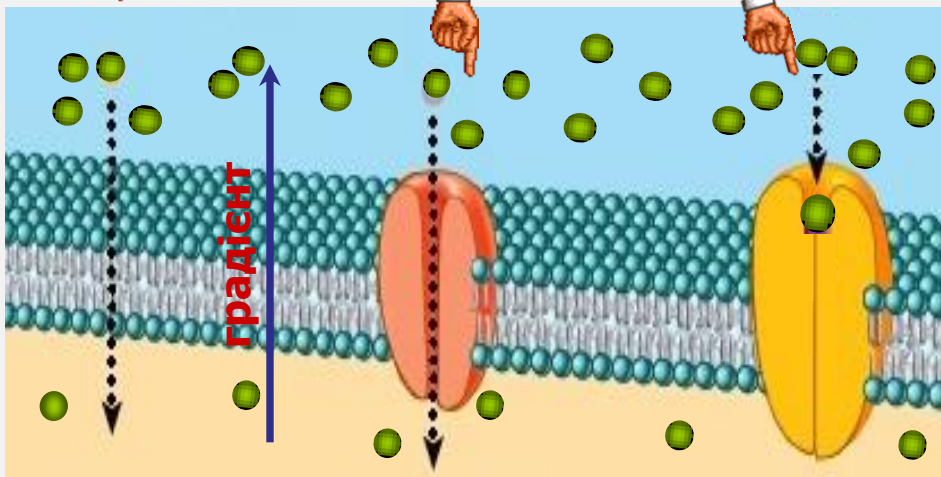
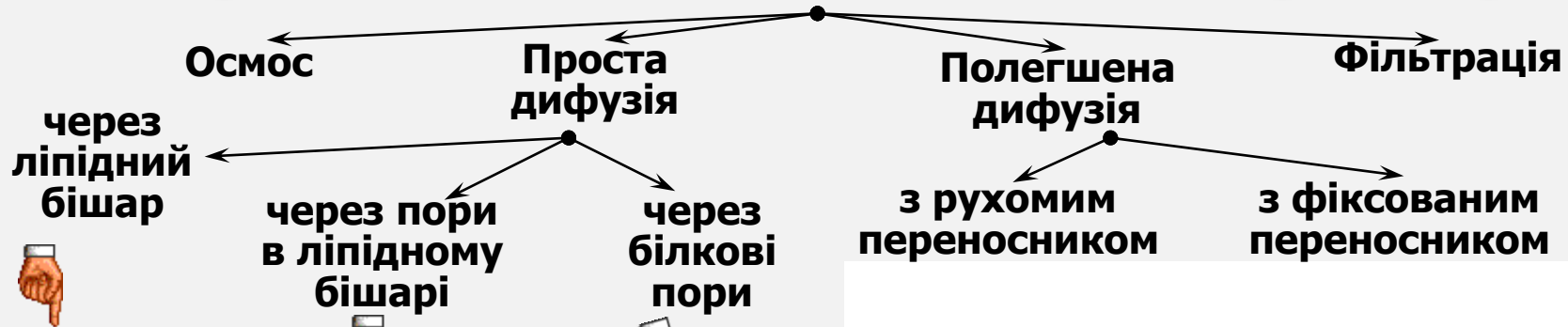
ПАСИВНИЙ ТА АКТИВНИЙ ТРАНСПОРТ

Механічна аналогія пасивного транспорту (без витрати енергії) і активного транспорту (з витратою енергії).



TUTORIAL IS LOADING ..

ПАСИВНИЙ ТРАНСПОРТ



TUTORIAL IS LOADING ..

Дифузія – перенесення речовини з області де більша концентрація в область з меншою концентрацією.

Рівняння
Фіка

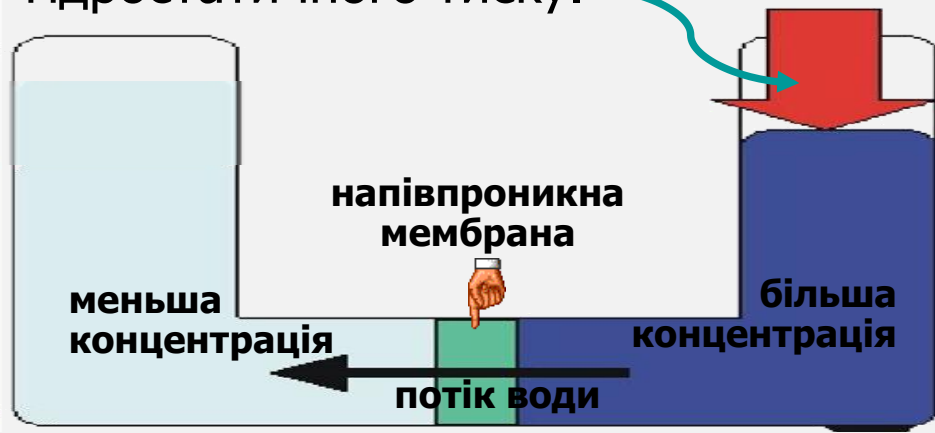
$$\frac{dm}{dt} = -D \frac{dc}{dx} S$$

ОСМОС І ФІЛЬТРАЦІЯ

Осмос – перенесення розчинника з області з меншою концентрацією розчиненої речовини в область з більшою концентрацією за рахунок осмотичного тиску.

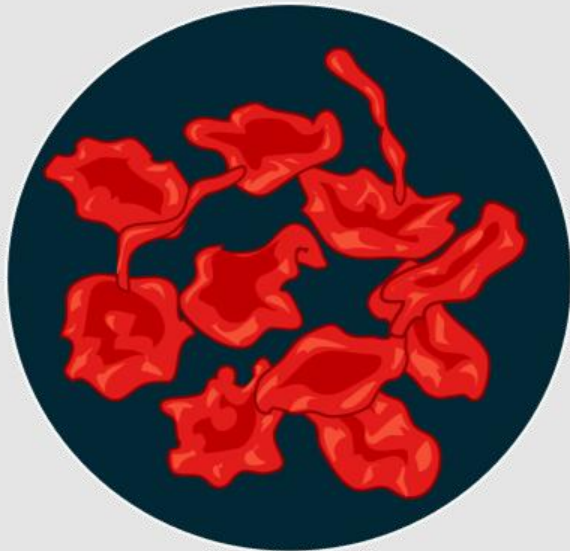


Фільтрація (зворотний осмос) – перенесення розчинника за рахунок гідростатичного тиску.



ПРОЯВ ОСМОСУ В ЕРИТРОЦИТАХ

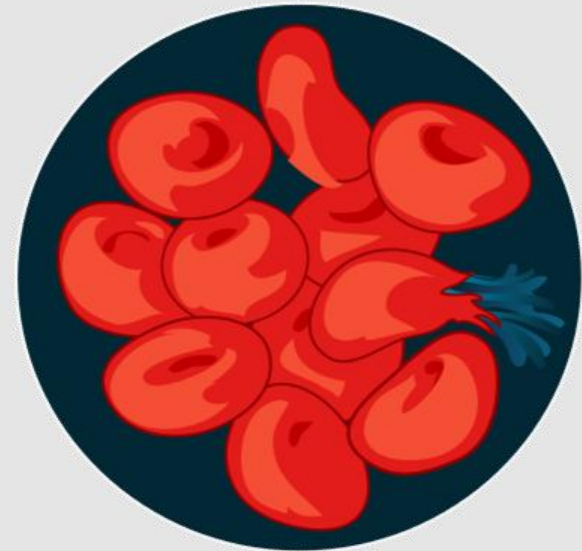
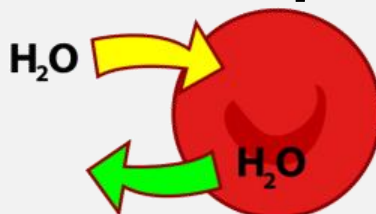
У гіпертонічному розчині потік молекул води спрямований з еритроцитів в навколишнє середовище (у бік розчину з більшою концентрацією). Настає зневоднення еритроцитів і, як наслідок, їх зморщування (плазмоліз). У фізіологічному розчині еритроцити не змінюють свою форму, тому що потоки молекул води в еритроцит і з нього врівноважені. У гіпотонічному розчині потік молекул води направлений в еритроцит з навколишнього середовища (у бік розчину з більшою концентрацією). Настає набухання еритроцита і, як наслідок, його розрив (гемоліз).



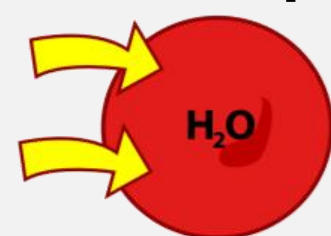
гіпертонічний розчин



ізотонічний розчин



гіпотонічний розчин



ПРОЯВ ОСМОСУ В ЕРИТРОЦИТАХ

ПРОЯВ ОСМОСУ В РОСЛИННИХ КЛІТИНАХ

Осмотичні явища є одним з визначальних факторів, який регулює процеси надходження і переміщення води і мінеральних солей в рослинній клітині.

Select Solution:

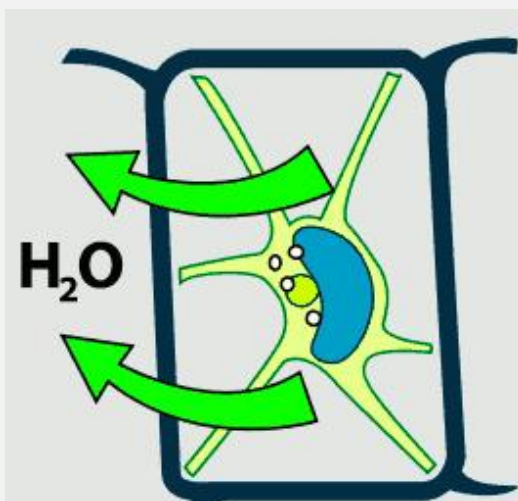
- **Isotonic**
- Hypertonic
- Hypotonic



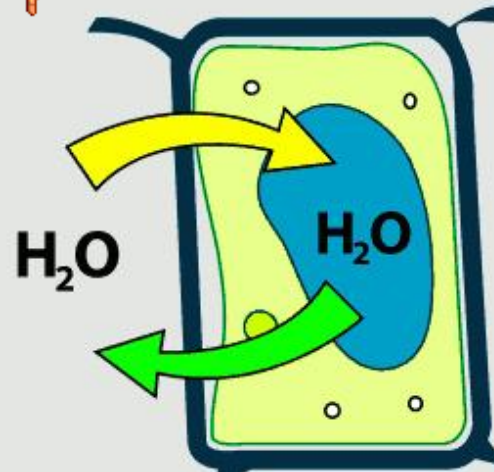
Isotonic Solution

Cell is placed in a slightly salty solution.

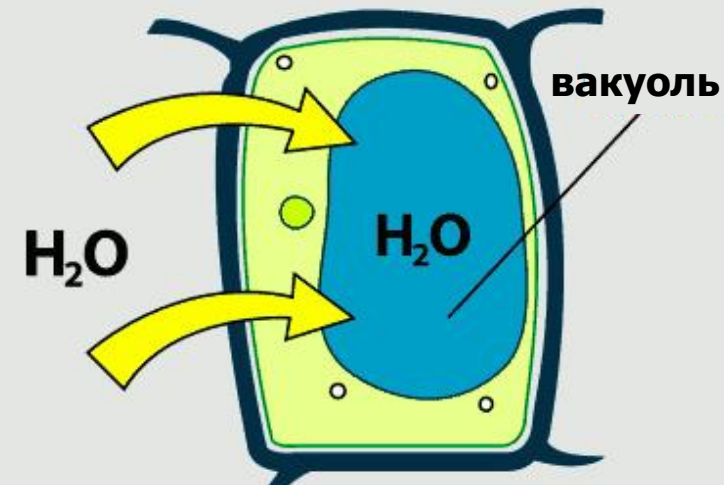
Press PLAY to continue.



гіпертонічний розчин



ізотонічний розчин



гіпотонічний розчин

АКТИВНИЙ ТРАНСПОРТ РЕЧОВИН

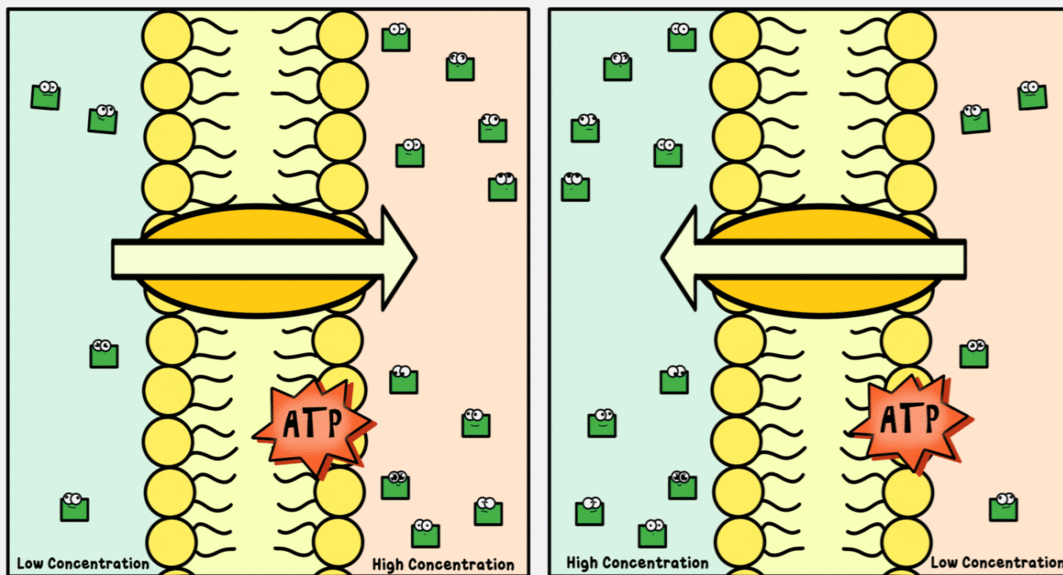
Електрогенні
іонні насоси

Вторинний
транспорт іонів

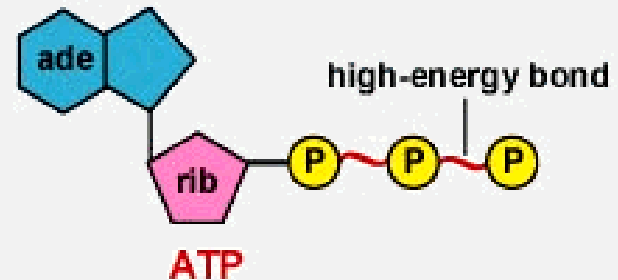
Ендоцитоз

Екзоцитоз

Активний транспорт – не може йти мимоволі, а тільки в сполученні з процесом гідролізу аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ), тобто за рахунок витрати енергії макроергічних зв'язків АТФ. За рахунок активного транспорту в клітині створюються градієнти концентрації, електричних потенціалів, тиску і так далі, які підтримують життєві процеси, тобто з погляду термодинаміки активне перенесення речовин підтримує клітину в нерівноважному стані, тобто забезпечує її функціонування, а значить і функціонування всього організму.



гідроліз АТФ

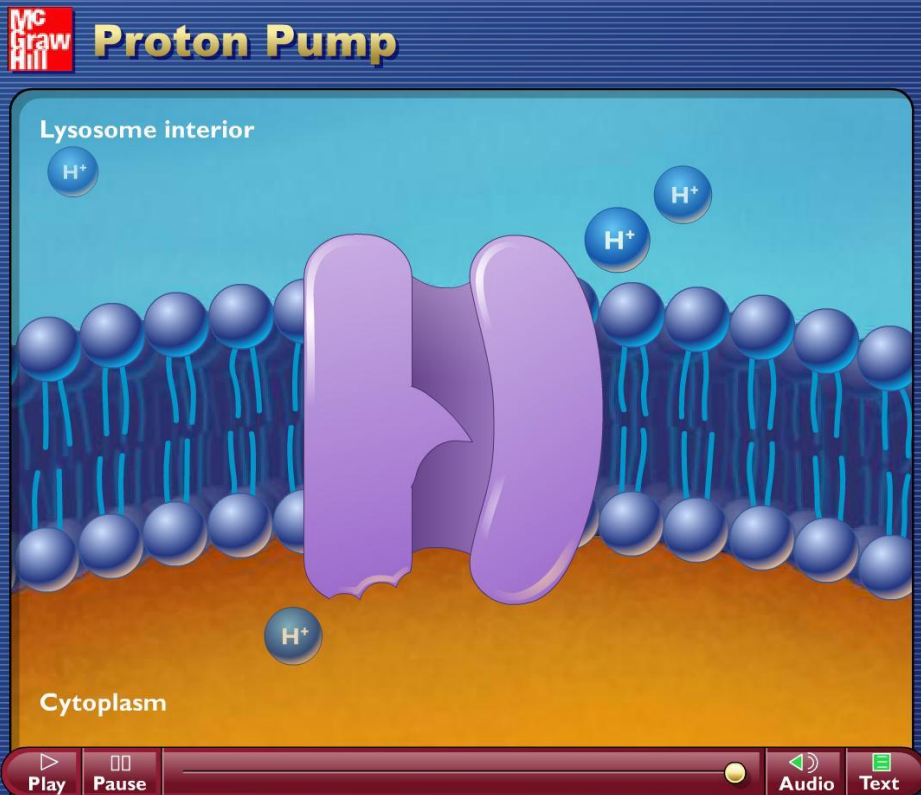


ЕЛЕКТРОГЕННІ ІОННІ НАСОСИ

працюють за рахунок вільної енергії гідроліза АТФ

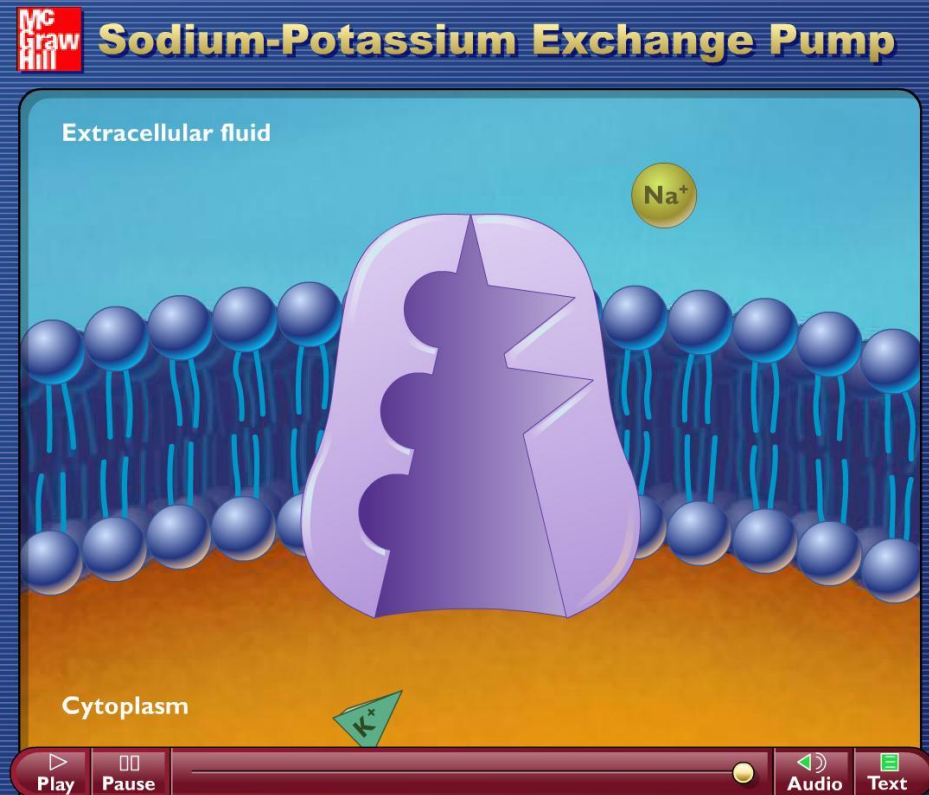
H⁺ або протонний насос

K⁺-Na⁺ насос



Although we generally think of the movement of protons across the membrane as a mechanism for driving the synthesis of ATP in chemiosmosis, protons can also be actively transported across a membrane at the expense of ATP.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc.



The sodium-potassium pump is an active transport mechanism that is driven by the breakdown of ATP and works through a series of conformational changes in a trans-membrane protein.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc.

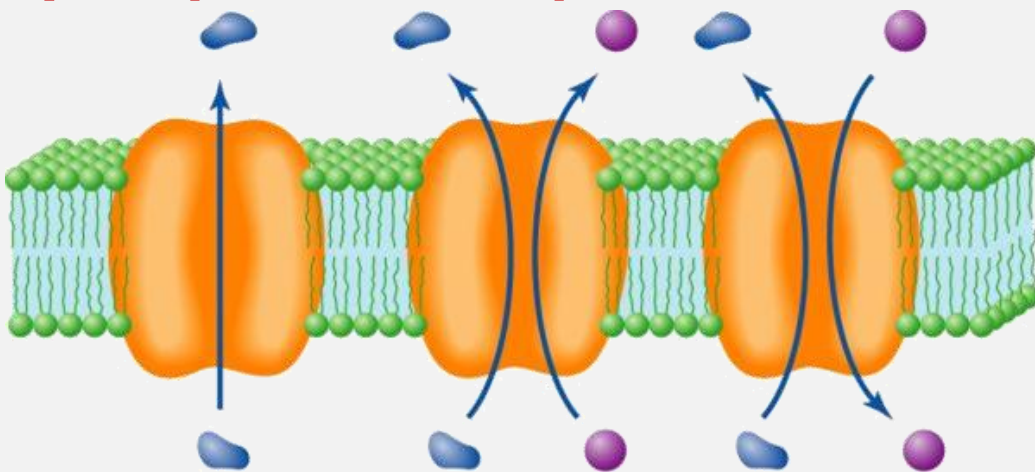
ВТОРИННО АКТИВНИЙ (ЗВ'ЯЗАНИЙ) ТРАНСПОРТ

Джерелом енергії слугує не безпосередньо АТФ або енергія окислювально-відновних реакцій, а градієнт концентрації інших речовин.

уніпорт

сімпорт

антіпорт



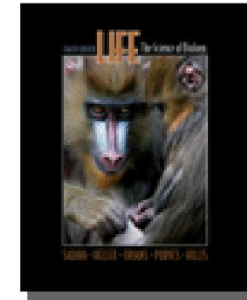
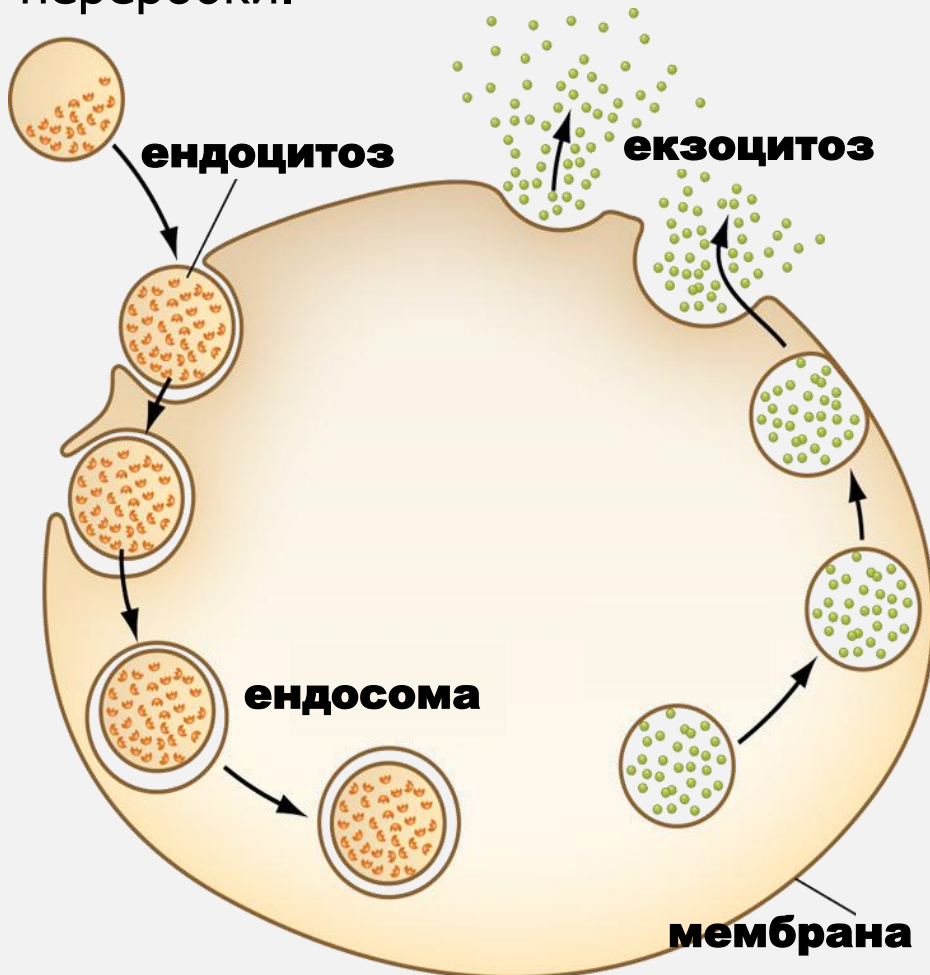
Уніпорт – однонаправлений транспорт заряджених частинок у бік меншого значення потенціалу. **Сімпорт** – транспорт одного виду іонів по градієнту концентрації, а іншого протилежно зарядженого по градієнту електричного потенціалу, створеного транспортом першого. **Антіпорт** - транспорт одного виду іонів по градієнту концентрації, а іншого однойменно зарядженого по градієнту електричного потенціалу, створеного транспортом першого.

УНІПОРТ, СІМПОРТ, АНТІПОРТ



ЕНДОЦИТОЗ І ЕКЗОЦИТОЗ

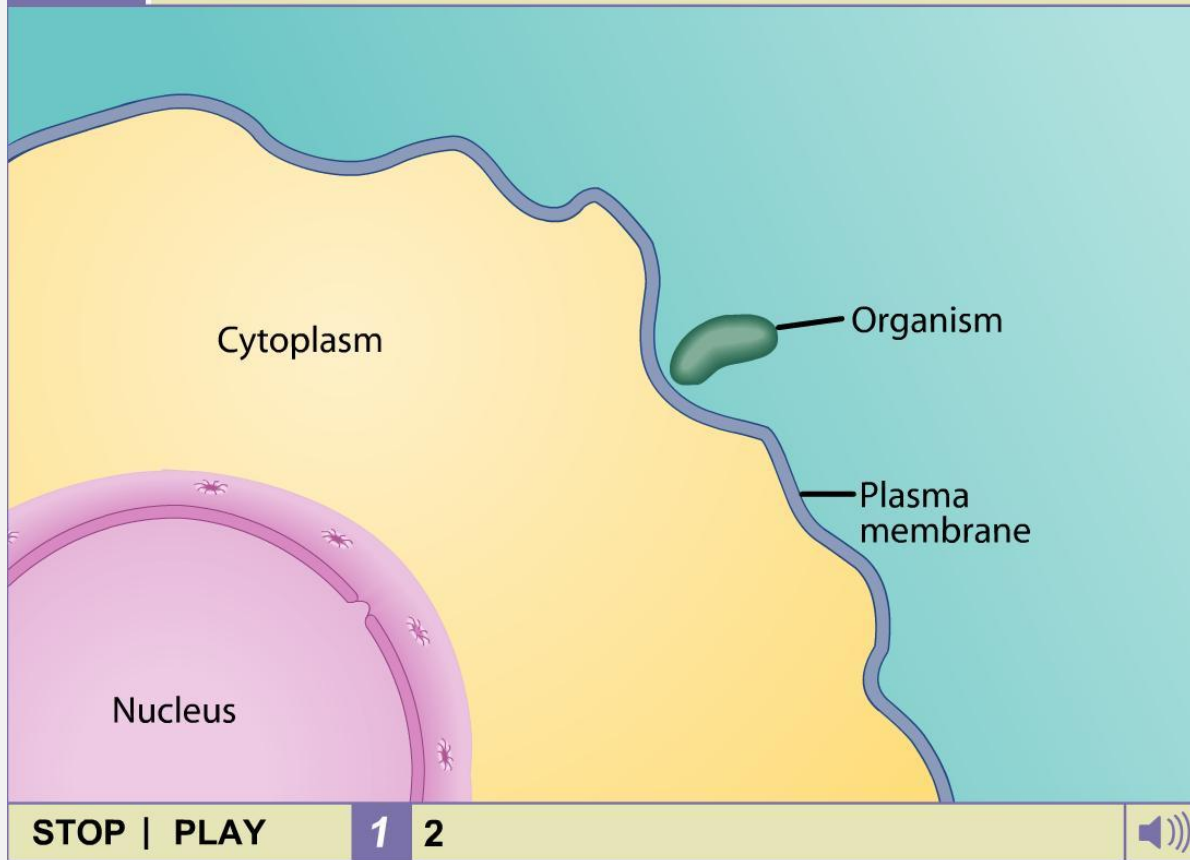
При ендоцитозі ділянка мембрани охоплює матеріал, що міститься в позаклітинному просторі, з утворенням ендосоми. Далі вміст ендосоми піддається внутрішньоклітинній обробці. Екзоцитоз - процес зворотний ендоцитозу. Таким способом з клітин виводяться продукти, що залишилися після переробки.



Loading

ВИДИ ЕНДОЦИТОЗА

5.27 Phagocytosis and Pinocytosis



**ФАГОЦИТОЗ-
тверда фаза**

lysosome



solute

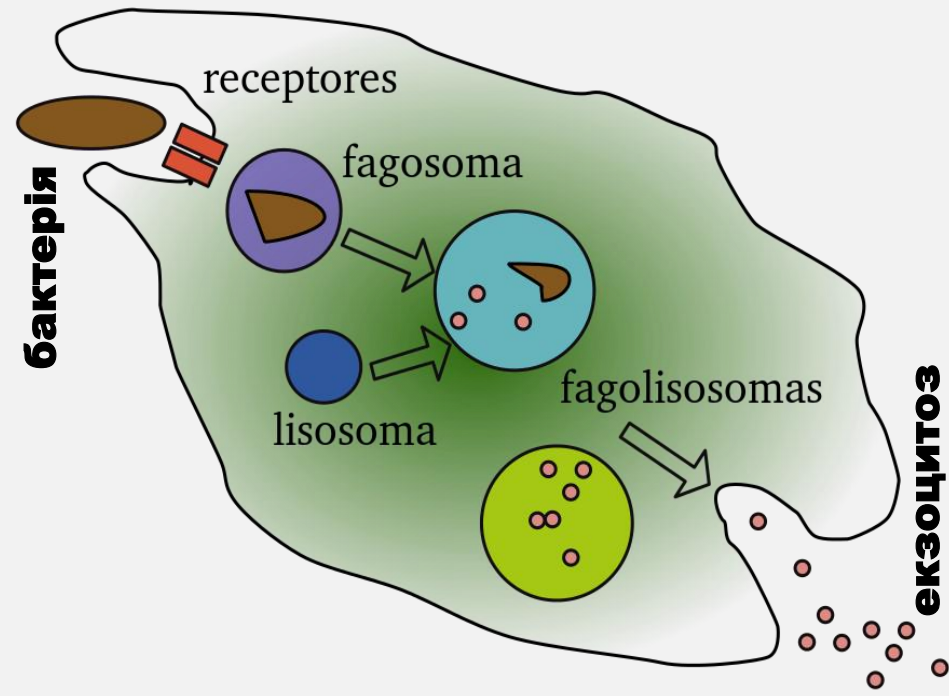


**ПІНОЦИТОЗ-
рідка фаза**

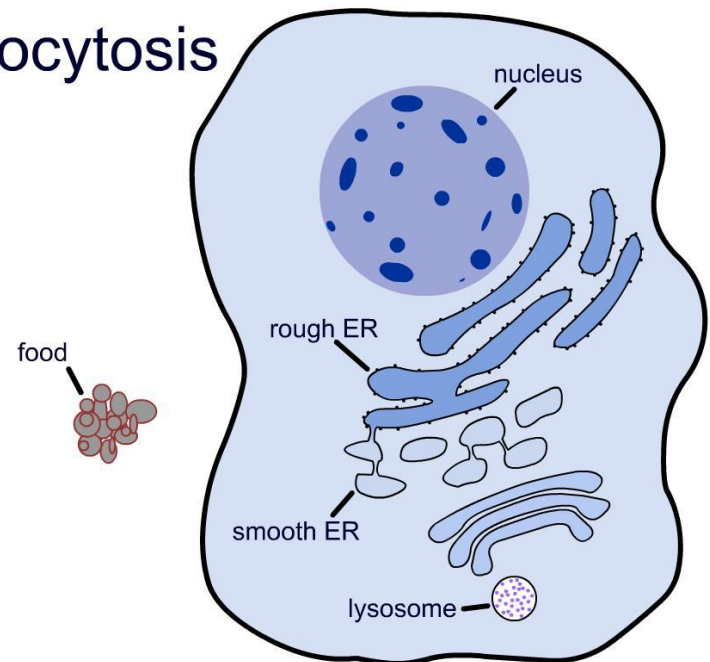
Cells move large molecules and particles into the cell by endocytosis. During endocytosis, a cell surrounds the particle or large molecule with fingerlike extensions of the membrane-covered cytoplasm. The edges of the membrane eventually meet on the other side of the now enveloped substance. Because of the fluid nature of the lipid bilayer, the membranes fuse together, forming a vesicle around the particle.

ФАГОЦИТОЗ

Фагоцитоз - різновид ендоцитозу - поглинання клітиною корпускул, мікробів або бактерій. Спочатку об'єкт фагоцитозу ідентифікується рецептором, після чого він оточується мембраною, утворюючи фagosому. Далі з фagosомою, що містить об'єкт фагоцитозу, об'єднуються лізосоми і відбувається травлення захопленого і убитого матеріалу. Заключний етап фагоцитозу полягає в тому, що фаголізосома викидається на поверхню клітини і перероблений матеріал видаляється за допомогою екзоцитозу.

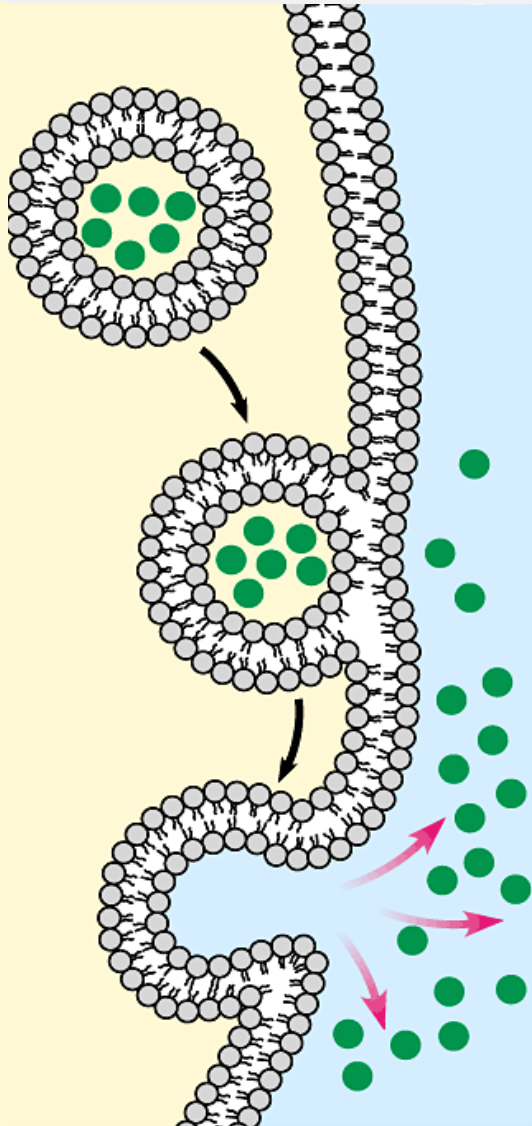


Phagocytosis



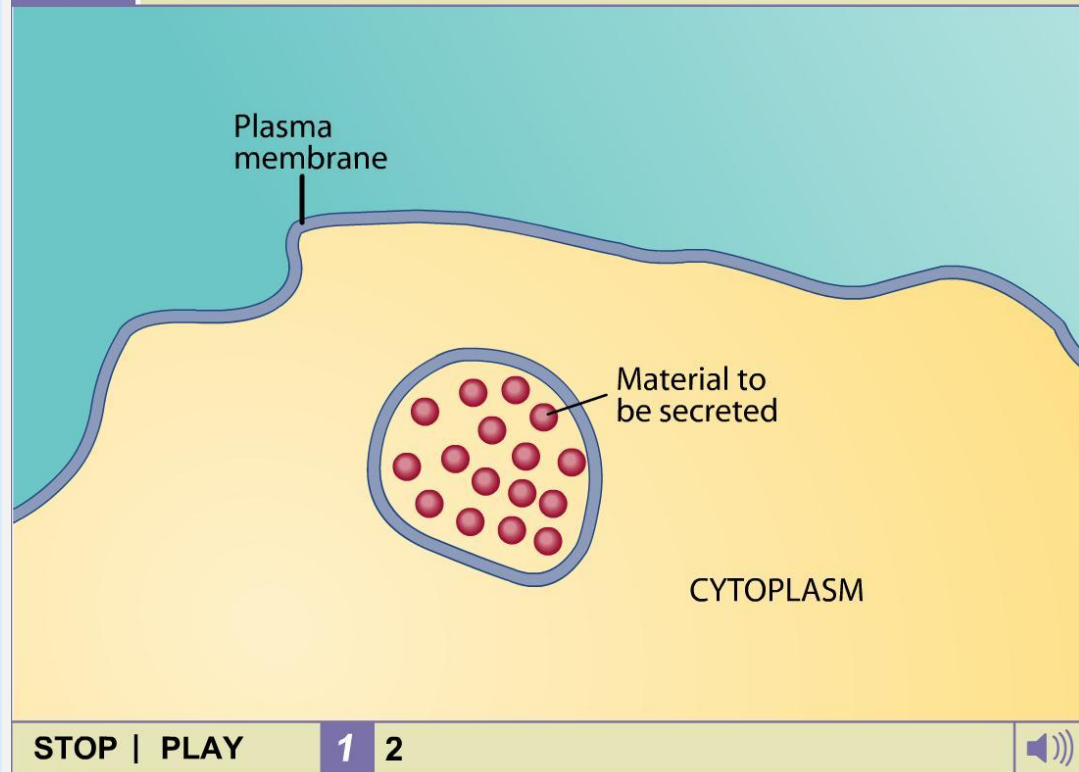
ЕКЗОЦИТОЗ

цитоплазма



позаклітинний простір

5.28 Exocytosis

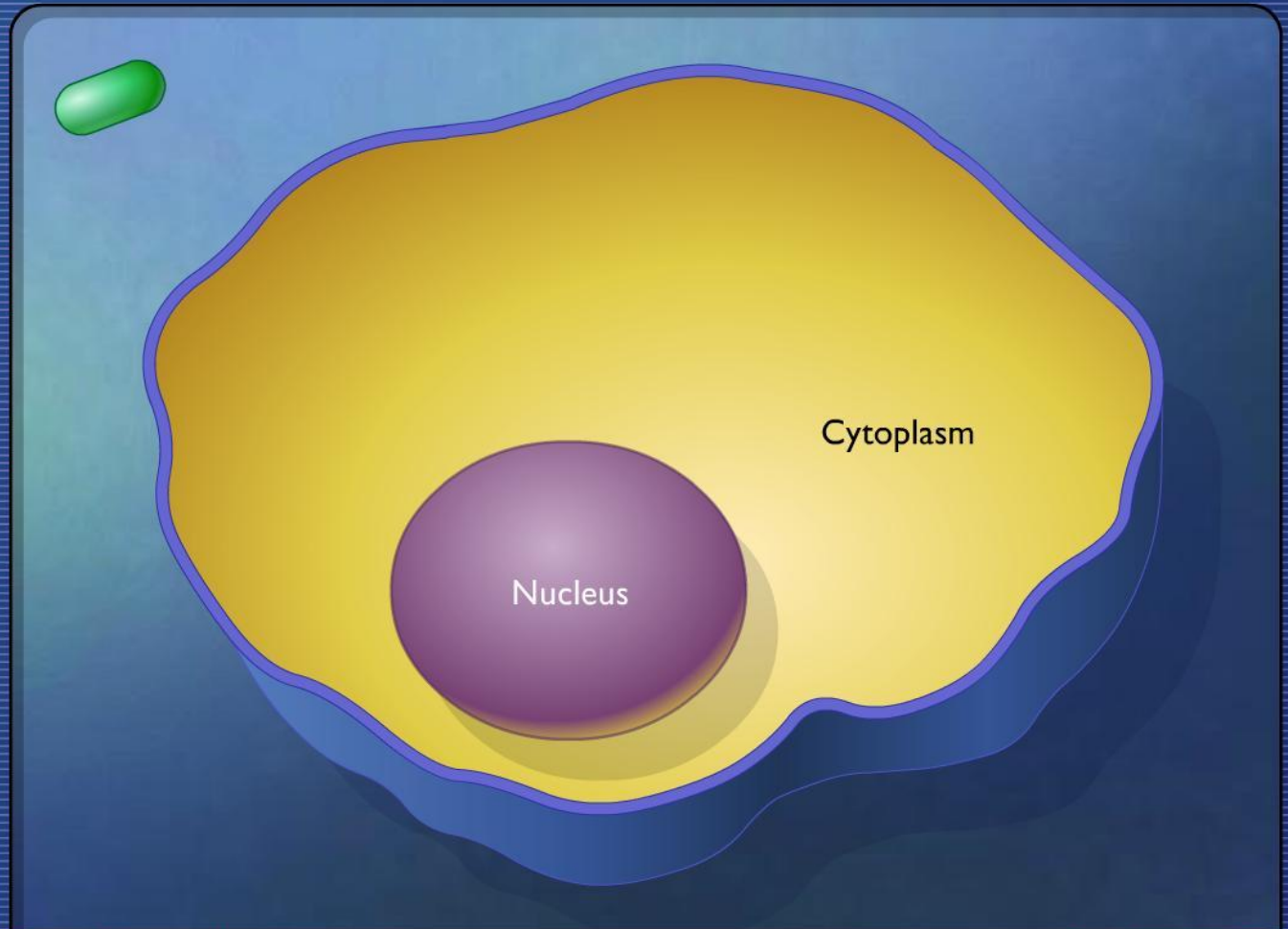


Cells move large molecules and particles out of the cell by exocytosis. Exocytosis is the reverse of endocytosis. During exocytosis, a cell first packages material in a vesicle and moves the vesicle to the cell surface.

ЕНДО-! ЕКЗОЦИТОЗ



Endocytosis and Exocytosis



▶ Play

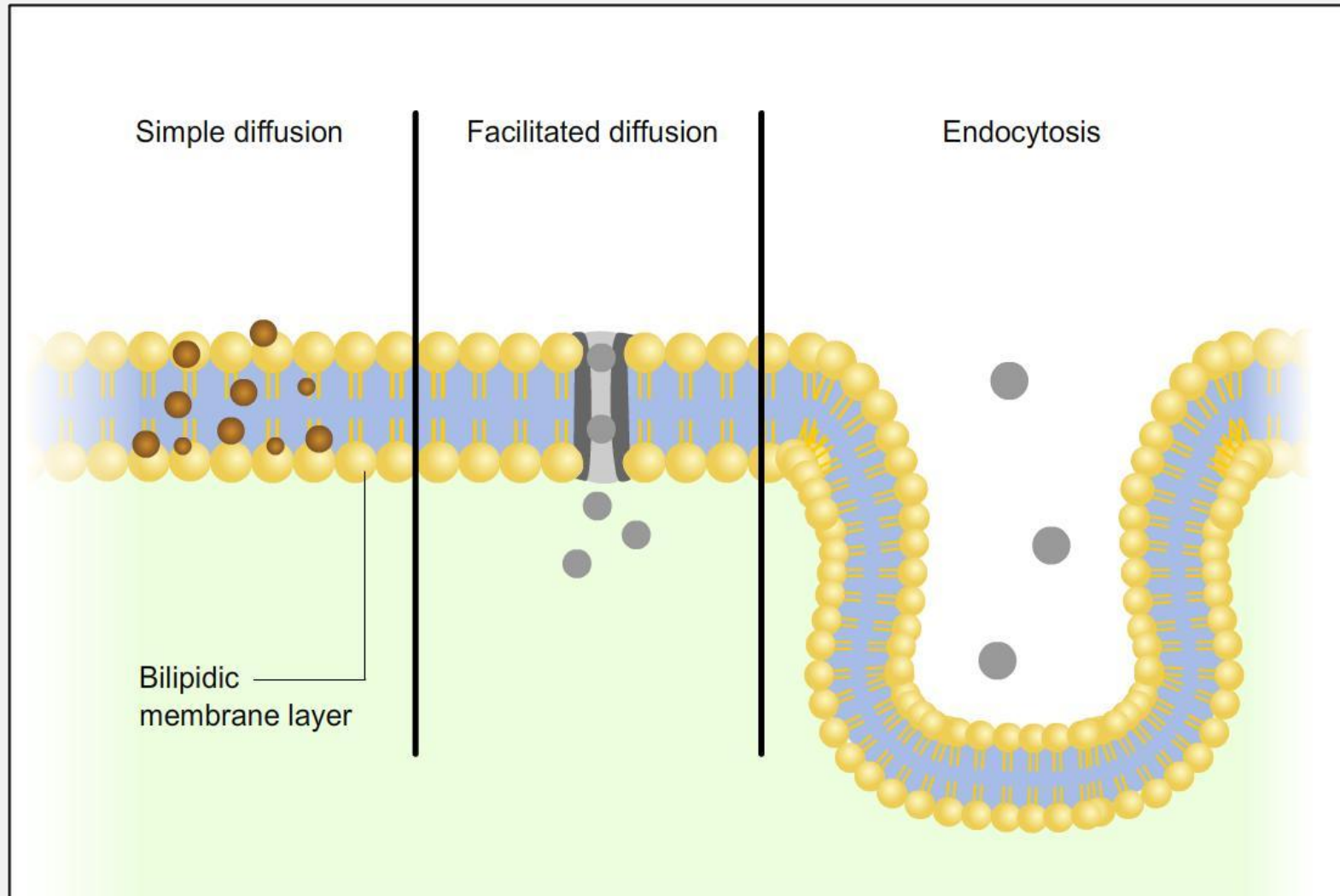
⏸ Pause

🔊 Audio

📄 Text

The substances used as fuel by single-celled organisms include other smaller cells, particles of organic material, and large molecules that cannot pass through the plasma membrane.

ТРАНСПОРТНА ФУНКЦІЯ



АДГЕЗІЯ КЛІТИН

