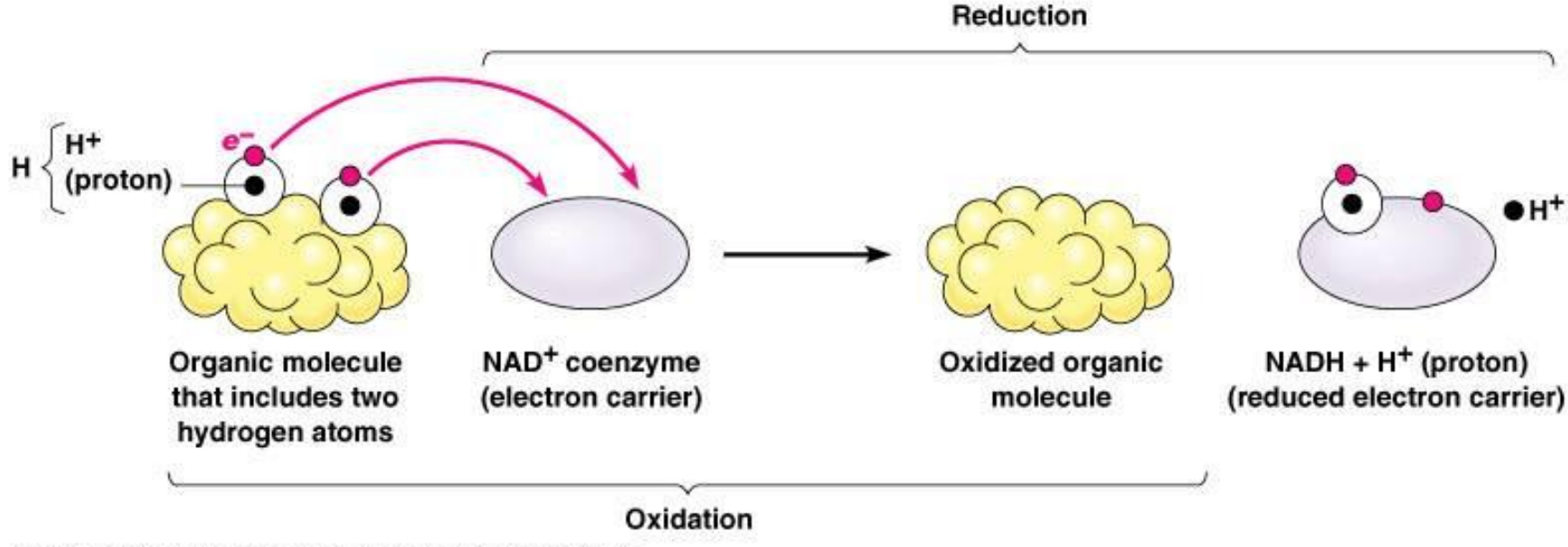
***Тема***: *Энергетический метаболизм микроорганизмов. Методы выделения чистых культур облигатных анаэробов.*

- Источниками энергии для организмов могут служить свет и восстановленные химические соединения.
- Способность использовать химическую энергию присуща всем без исключения организмам. Особенно многообразны возможности прокариот.
- Основные катаболические системы клетки: гликолиз, окислительный пентозофосфатный путь, путь Энтнера-Дудорова и цикл трикарбоновых кислот
- Общее для всех катаболических путей – многоступенчатость процесса окисления исходного субстрата
- На некоторых этапах окисление субстрата сопряжено с образованием энергии в той форме, в которой она может быть использована клеткой

- В общем виде процессы, способные служить источником энергии для прокариот, можно представить следующим образом

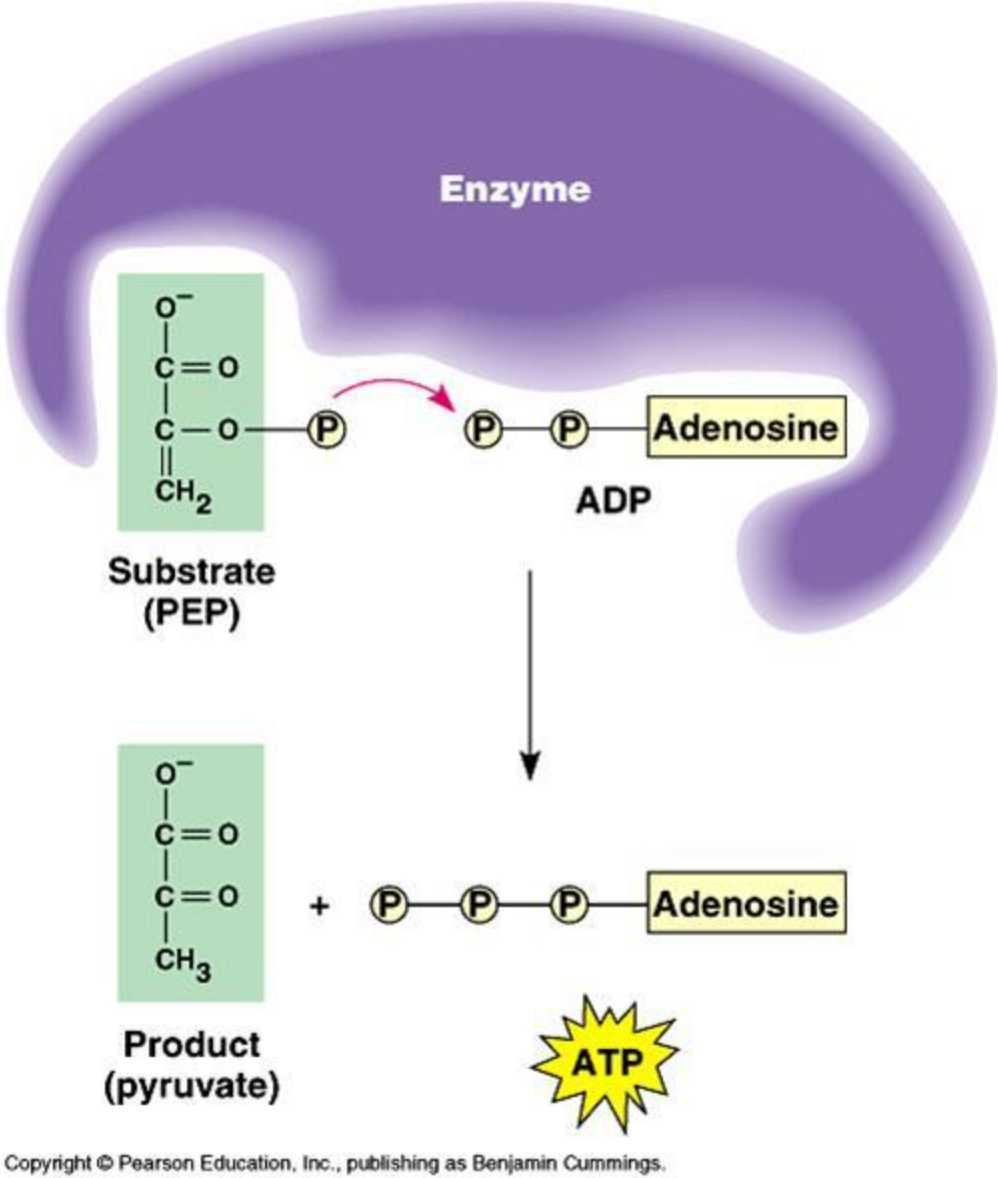



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

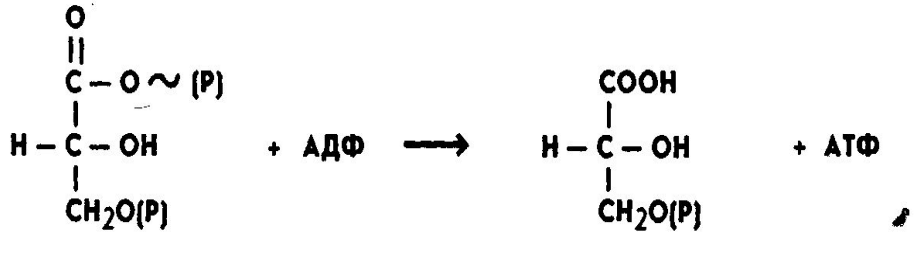
- Должен существовать энергетический ресурс - исходный субстрат
- С помощью ферментных систем организм извлекает энергию из этого субстрата в реакциях его ступенчатого окисления
- У прокариот известны три способа получения энергии: брожение, дыхание, фотосинтез

# Брожение

- Брожением называется анаэробный процесс превращения безазотистых органических веществ (главным образом углеводов) микроорганизмами, при котором происходит накопление продуктов неполного окисления (спиртов, органических кислот, углеводов и др.) и который сопровождается выделением энергии.
- В процессах брожения в определенных окислительно-восстановительных реакциях образуются нестабильные молекулы, фосфатная группа которых содержит много свободной энергии.
- Эта группа с помощью соответствующего фермента переносится на молекулу АДФ, что приводит к образованию АТФ.
- Реакции, в которых энергия, освобождающаяся на определенных окислительных этапах брожения запасается в молекулах АТФ, получили название субстратного фосфорилирования.
- Их особенностью является катализирование растворимыми ферментами.
- Образующийся в восстановительной части окислительно-восстановительных преобразований сбраживаемого субстрата восстановитель (НАД·Н2, восстановленный ферредоксин) переносит электроны на подходящий эндогенный акцептор электрона (пируват, ацетальдегид, ацетон и др.) или освобождается в виде газообразного водорода (Н2).




Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

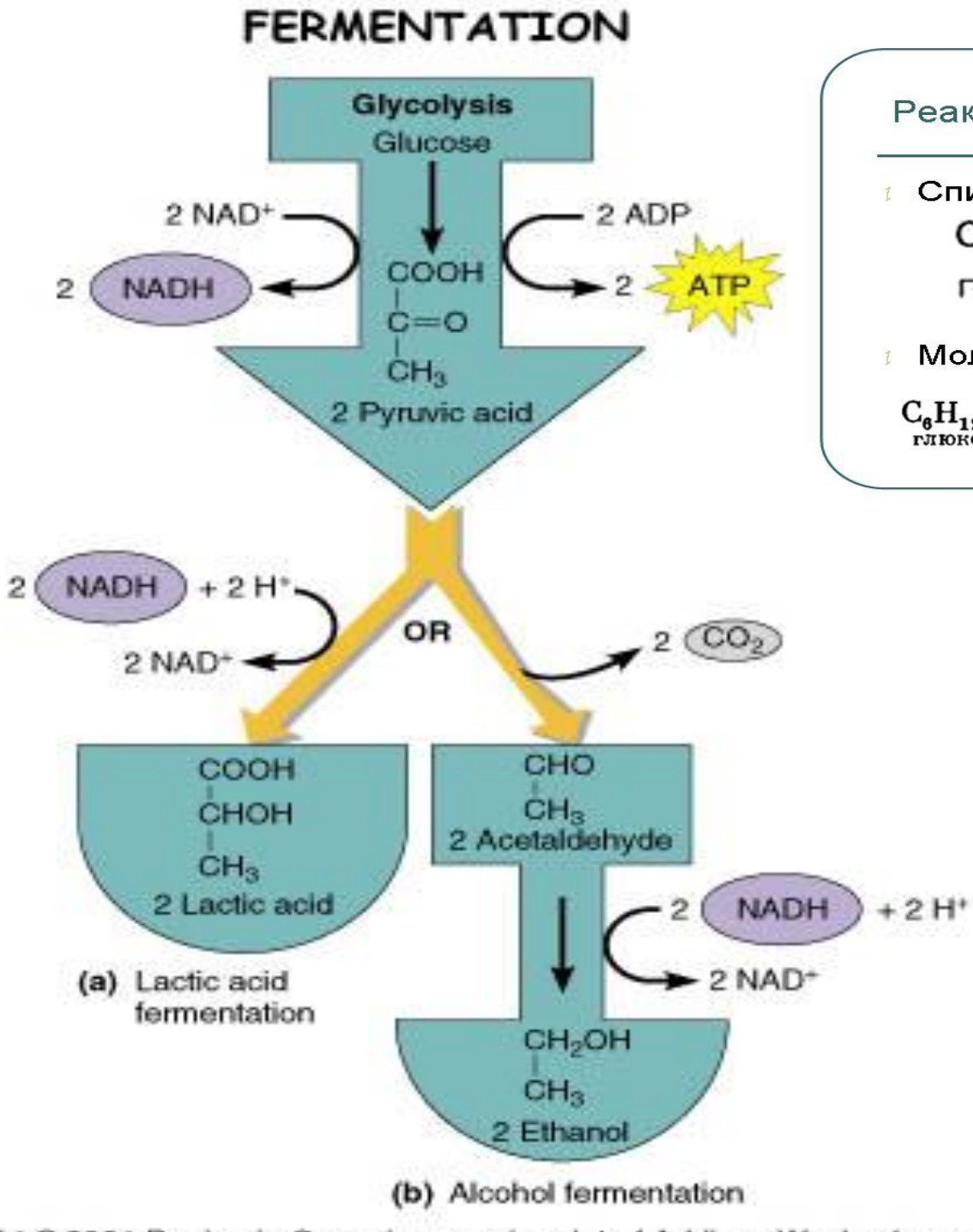



1,3 – дифосфоглицериновая кислота

3 – фосфоглицериновая кислота(ФГК)

## Субстратное фосфорилирование

- При субстратном фосфорилировании источником образования АТФ служат реакции двух типов:
- I. Субстрат ~ Ф + АДФ → субстрат + АТФ;
- II. Субстрат ~ Х + АДФ + ФцН → субстрат + Х + АТФ.
- Символ "~", введенный американским биохимиком Ф. Липманом (F. Lipmann), служит для обозначения макроэргической связи.




Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

## Реакции брожения глюкозы

- Спиртовое брожение

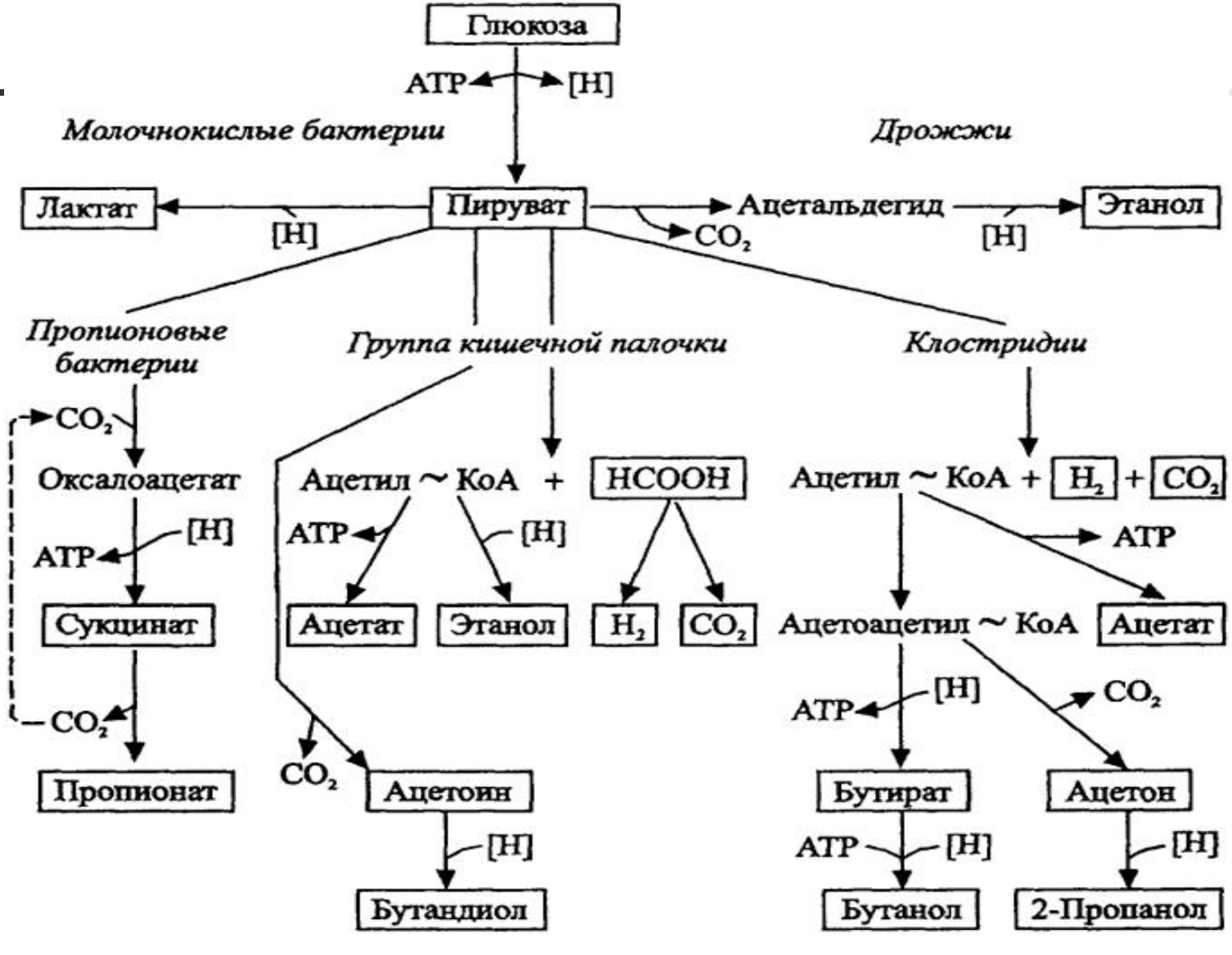
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

Глюкоза Этанол

- Молочнокислое брожение

$$\underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{молочная кислота}}{2CH_3 \cdot CHOH \cdot COOH} + \underset{\text{энергия}}{21{,}8 \cdot 10^4\ дж}$$

# Продукты брожения глюкозы



# Муравьинокислое брожение и семейство Enterobacteriaceae

- Некоторые микроорганизмы, образующие при брожении кислоты, объединяют в одну физиологическую группу на том основании, что характерным, хотя и не главным продуктом брожения является у них муравьиная кислота. Наряду с муравьиной кислотой такие бактерии выделяют и некоторые другие кислоты; такой тип метаболизма называют поэтому *муравъинокислъш брожением* или *брожением смешанного типа.* Так как некоторые типичные представители этой группы обитают в кишечнике, все семейство носит название Enterobacteriaceae.
- Будучи факультативными аэробами, они обладают гемопротеинами (цитохромами и каталазой) и способны получать энергию как в процессе дыхания (в аэробных условиях), так и в процессе брожения (в анаэробных условиях).

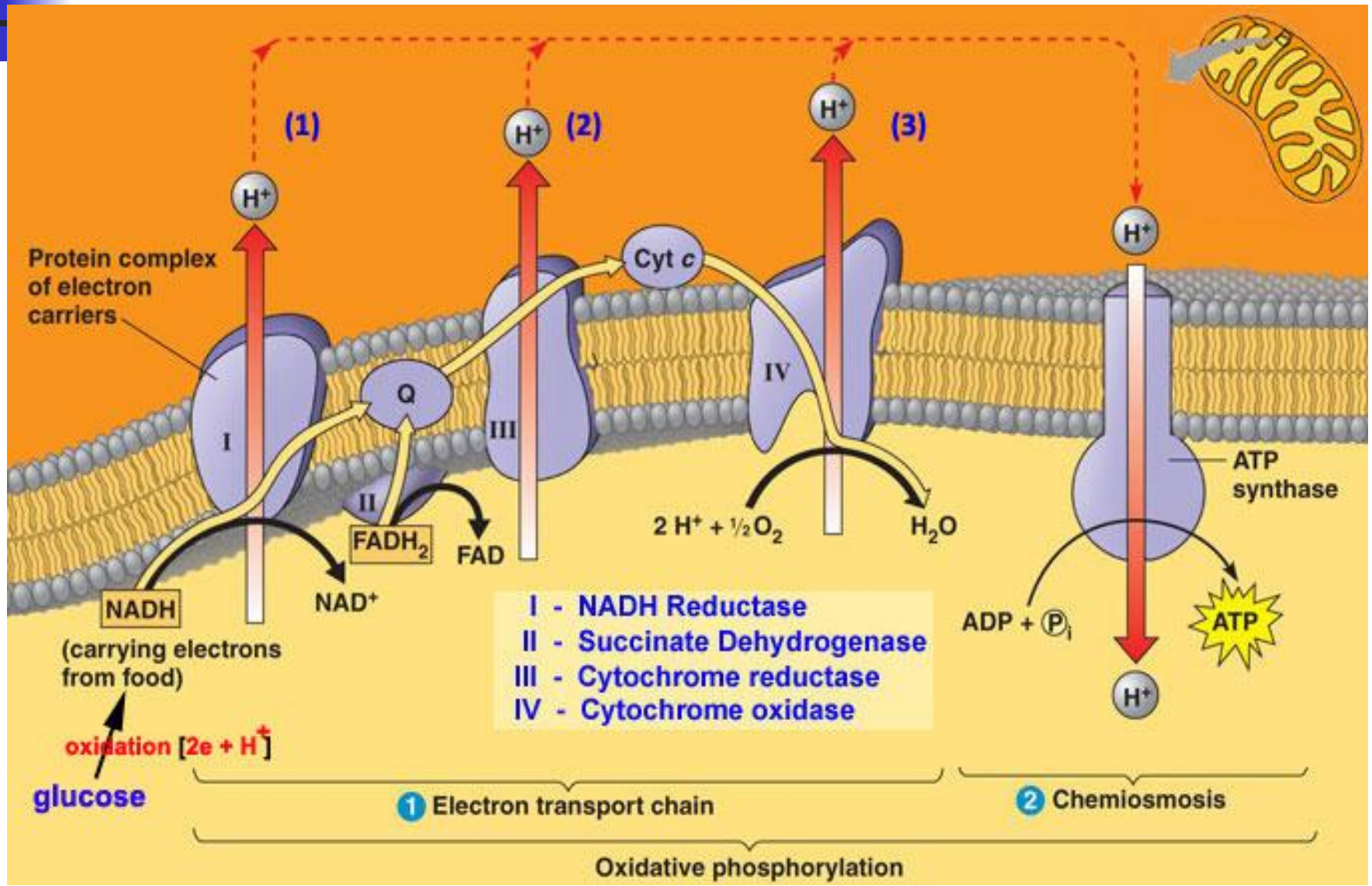
# Брожение, примитивные черты

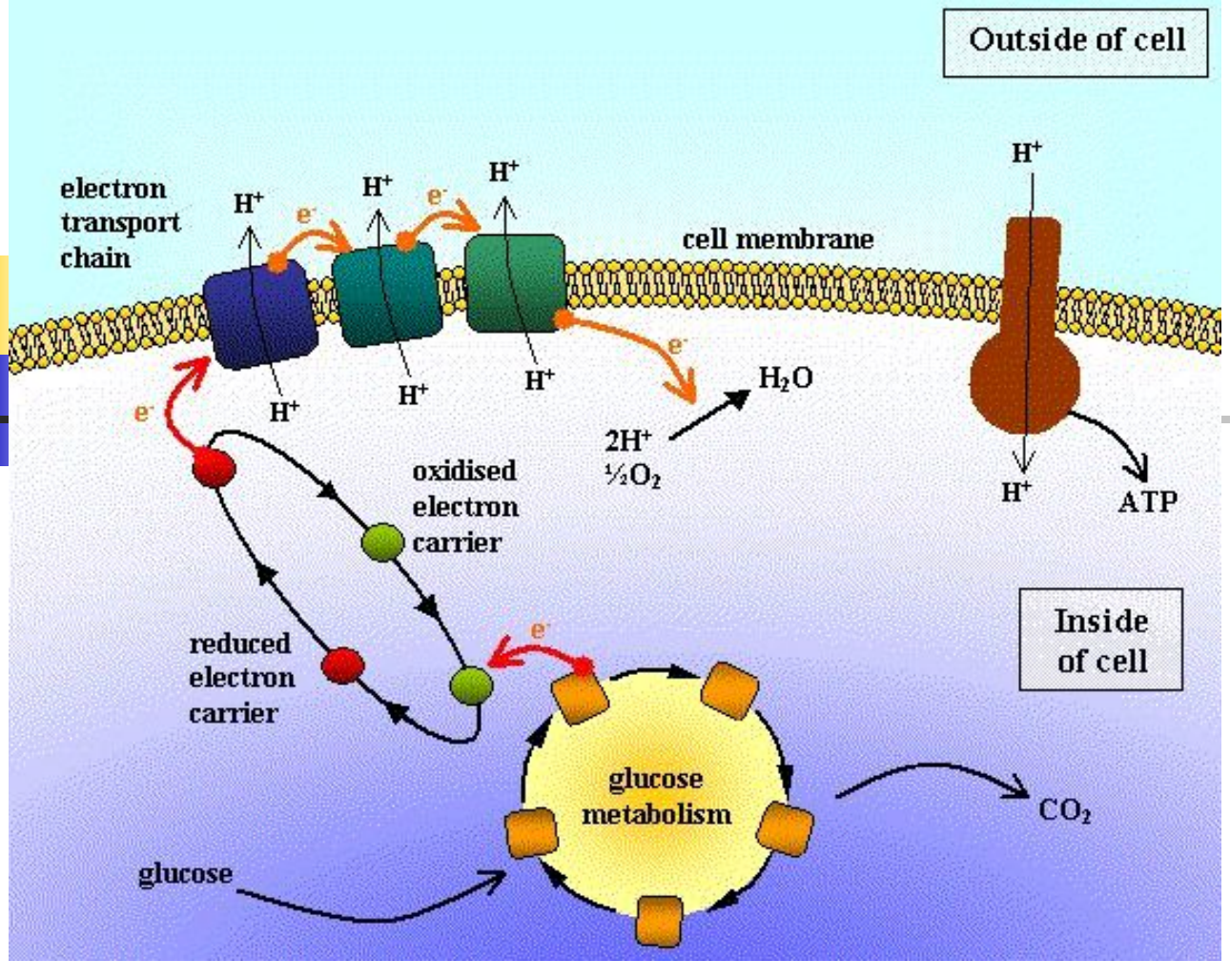
- Донор и акцептор электронов – органические вещества, т.е. не происходит полного высвобождения энергии хим.соединения
- Энергия запасается в молекулах АТФ в реакциях *субстратного* фосфорилирования.
- Их особенностью является катализирование *растворимыми* ферментами.
- Энергетический выход: при окислении 1 молекулы глюкозы в среднем образуется 2 молекулы АТФ

# Дыхание

- В процессе дыхания происходит окисление восстановленных веществ с относительно низким окислительно-восстановительным потенциалом, образующихся в реакциях метаболизма или являющихся исходными субстратами (NADH2, сукцинат, лактат и др.)
- Окисление происходит в результате переноса электронов от донора к акцептору по градиенту редокс-потенциала через ряд последовательно функционирующих переносчиков, встроенных в мембрану – дыхательнуюэлектронтранспортную цепь

# Организация дыхательной цепи

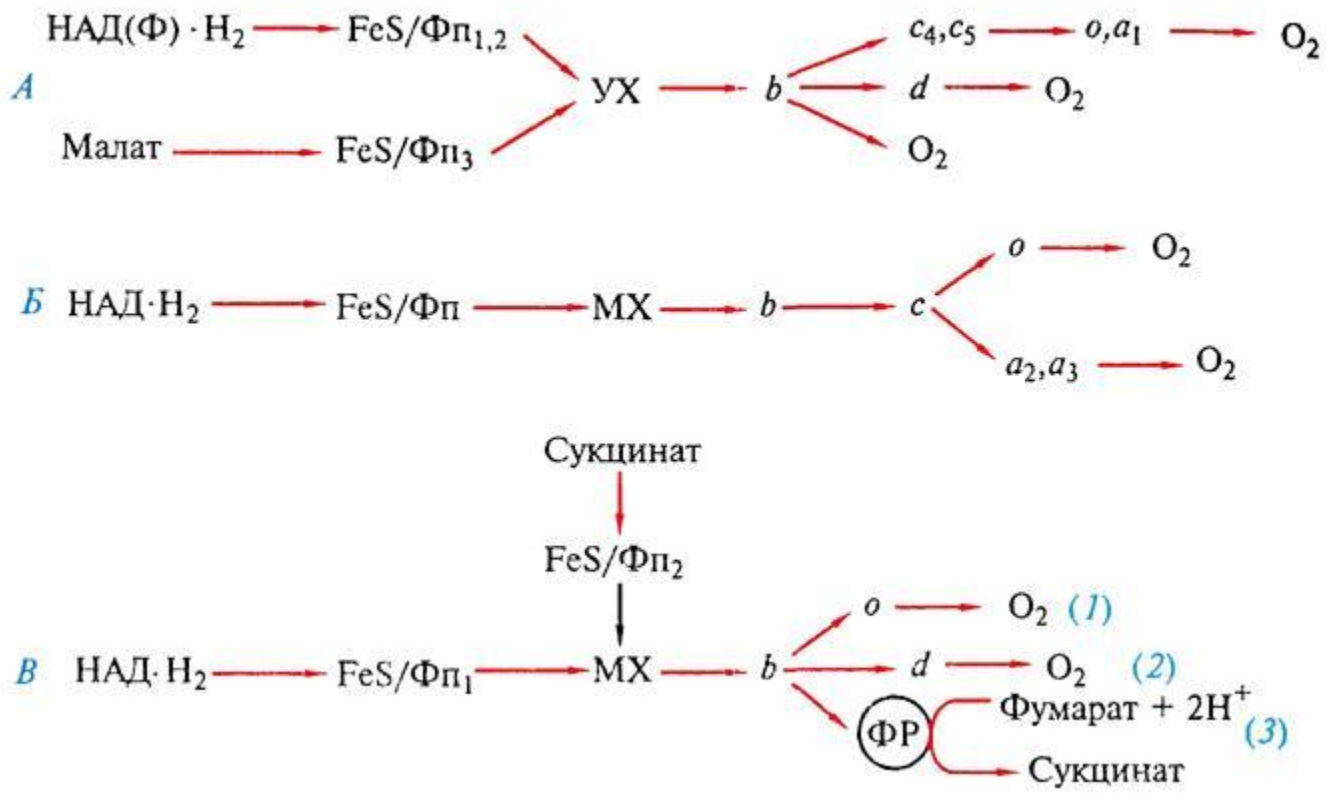




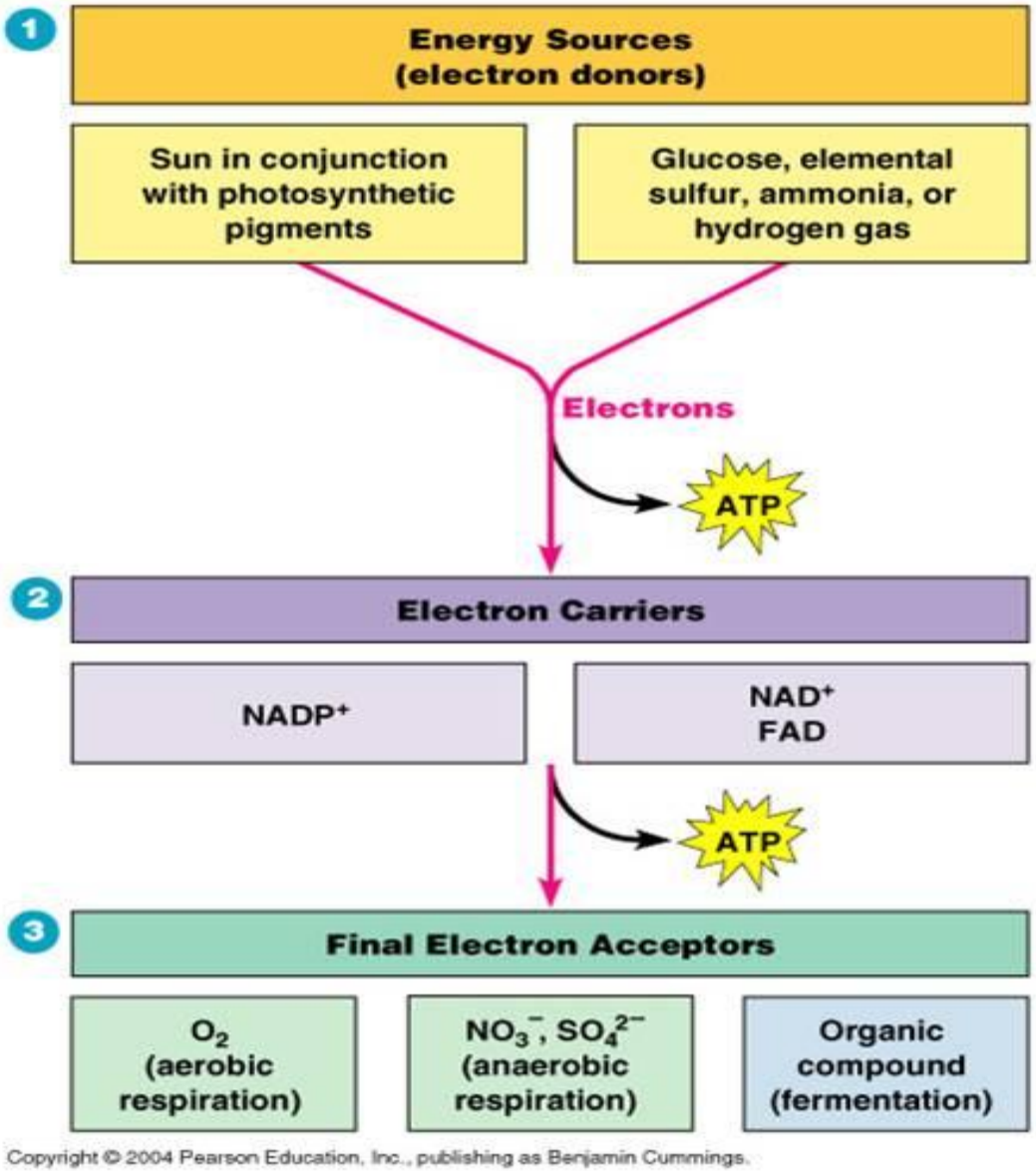

Расположение переносчиков электронов в ЦПМ прокариот таково, что при работе любой электронтранспортной цепи (фотосинтетической или дыхательной) во внешней среде происходит накопление ионов водорода (протонов), приводящее к подкислению среды, а в клеточной цитоплазме — их уменьшение, сопровождающееся ее подщелочением, таким образом при переносе электронов на ЦПМ возникает трансмембранный электрохимический градиент ионов водорода, обозначаемый символом ΔμH+

# Дыхание (продолжение)

- Освобождающаяся припреносе электронов энергия первоначально запасается в форме ΔμH+
- Разрядка ΔμH+ происходит с участием протонного АТФсинтазного комплекса
- Локализованная в мембранемембране АТФсинтаза катализирует реакции синтеза и гидролиза АТФ в соответствии с уравнением
- $$ADP + P_i + nH_+^+ \leftrightarrow ATP + H_2O + nH^+$$
- Реакция, протекающая слева направо, сопряжена с транспортом H+ по градиенту ΔμH+, при этом выделяется энергия, что приводит к разрядке градиента и синтезу АТФ.
- Протекающая в противоположном направлении реакция гидролиза АТФ сопровождается выделением энергии и приводит к переносу H+ против градиента, что приводит к образованию (или возрастанию) ΔμH+ на мембране.
- Таким образом, АТФ-синтазный ферментный комплексТаким образом, АТФ-синтазный ферментный комплекс служит механизмом, обеспечивающим взаимное превращение двух форм клеточной энергии (ΔμH+ и АТФ), устройством, сопрягающим процессы окислительной природы с фосфорилированием.




- Дыхательные цепи Azotobacter vinelandiiДыхательные цепи Azotobacter vinelandii (А), Micrococcus lysodeikticusДыхательные цепи Azotobacter vinelandii (А), Micrococcus lysodeikticus (Б) и Escherichia coli (В) в аэробных (7), микроаэробных (2) и анаэробных (3) условиях:
- Фп - флавопротеин; FeS - железосероцентр; УХ - убихинон; МХ - менахинон; ФР - фумаратредуктаза; b, c, d, o, a - цитохромы.




Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Различия дыхательных цепей аэробных и анаэробных бактерий – в конечном акцепторе электрона

# Типы анаэробного дыхания у эубактерий

| Энергетический процесс | Конечный акцептор электронов | Продукты восстановления |
|---|---|---|
| Нитратное дыхание и денитрификация | $NO_3^-$, $NO_2^-$ | $NO_2^-$, NO, $N_2O$, $N_2$ |
| Сульфатное и серное дыхание | $SO_4^{2-}$, $S^0$ | $H_2S$ |
| Карбонатное дыхание | $CO_2$ | ацетат |
| Фумаратное дыхание | фумарат | сукцинат |

# Классификация прокариот по отношению к молекулярному кислороду

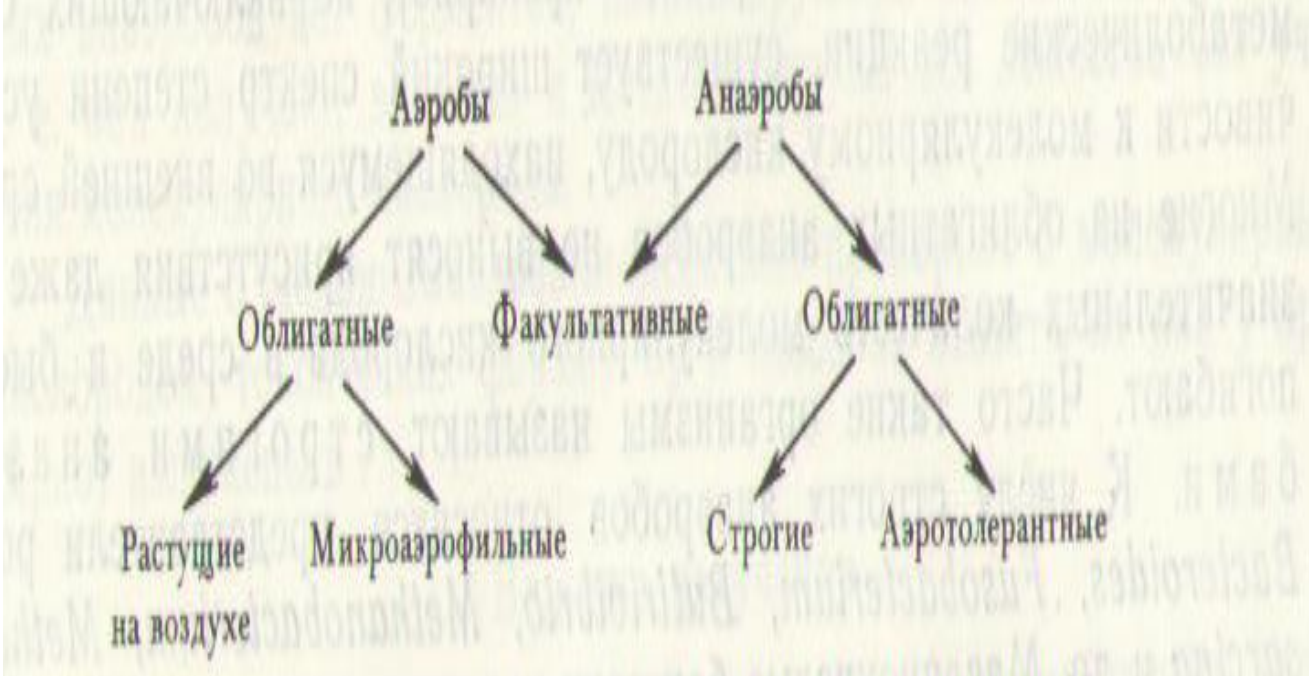
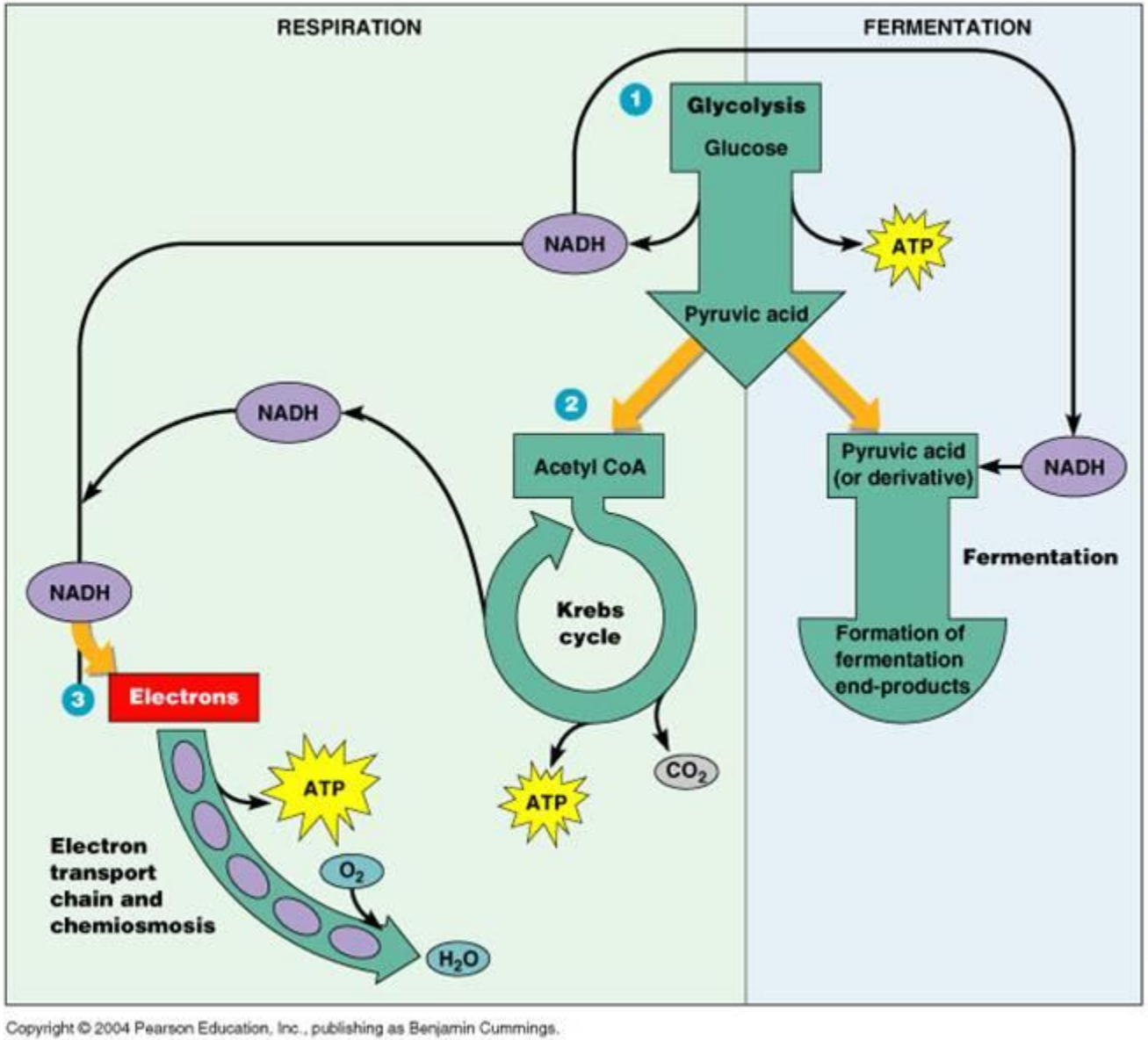
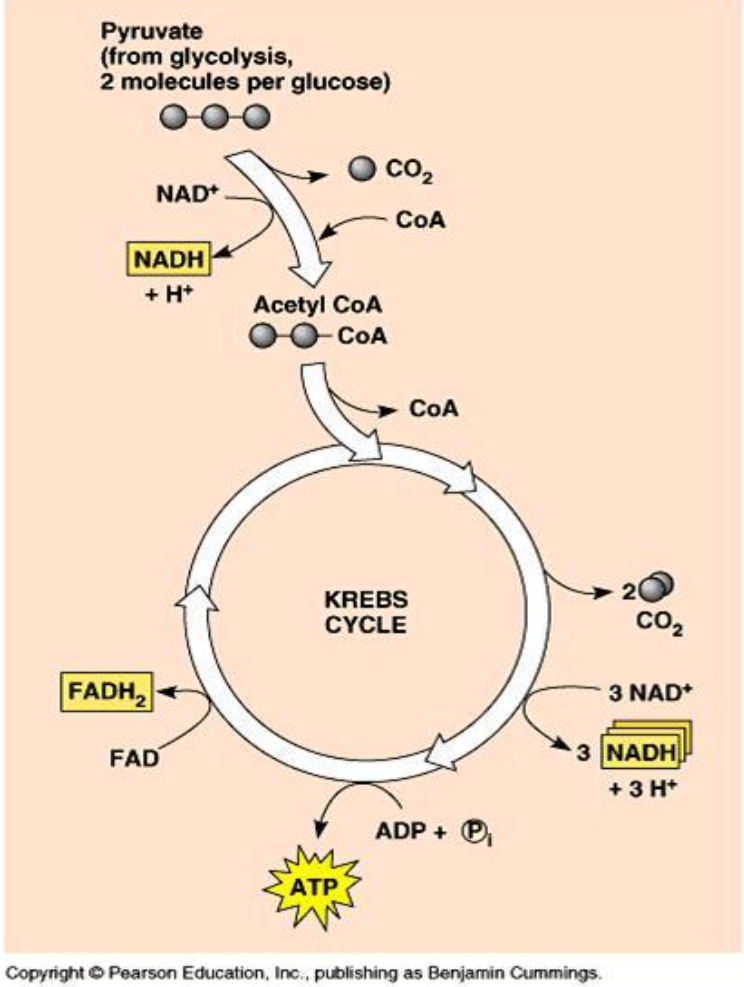



Рис. 28. Схема деления прокариот на группы в зависимости от отношения к молекулярному кислороду

# Взаимосвязь процессов гликолиза и дыхания




Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.




Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.