

# Пищевые потребности прокариот

- **Основные соединения, усваиваемые бактериями –** углеводы, аминокислоты, жирные кислоты, спирты и др.
- **Некоторые бактерии утилизируют:** карболовую кислоту, парафин, углеводороды нефти, бензол, нафталин, каучук, резину, пестициды, красители, асфальт, полиэтиленовые пленки.

- ***Микроорганизмы-гидролитики***  
– разлагают полимеры:  
целлюлозу, хитин, агар, белки,  
нуклеиновые кислоты и т.д.
- ***Газотрофы*** – используют газы.  
Например, метанотрофные  
бактерии – окисляют  $\text{CH}_4$ .

# **Химический состав бактериальной клетки**

- **$\text{H}_2\text{O}$  - 70-90 %**
- **Сухое вещество клетки - 10-30 % и  
представлено:**

- ✓ **Белки – 50 %**
- ✓ **Компоненты клеточной стенки –  
10-20 %**
- ✓ **РНК – 10-20 %**
- ✓ **ДНК – 3-4 %**
- ✓ **Липиды – 10 %**

# Десять важнейших химических элементов в клетке:

- ✓ углерод – 50 %,
- ✓ кислород – 20 %,
- ✓ азот – 14 %,
- ✓ водород – 8 %,
- ✓ фосфор – 3 %,
- ✓ сера и калий – 1 %,
- ✓ кальций – 0,5 %,
- ✓ магний – 0,5 %,
- ✓ железо – 0,02 %.

# Источники углерода



Органические соединения: углеводы, органические кислоты, спирты, углеводороды, ароматические соединения и др.

# Источники азота



Органические  
соединения:  
аминокислоты  
пептиды  
белки



Неорганические  
соединения:

мочевина,



(ТОКСИЧЕН)



**Источник  
фосфора**



**соли фосфорной  
кислоты**

**Источник серы**



**сульфаты**

**Источник  
магния**



**MgSO<sub>4</sub>**

**Источник  
натрия и хлора**



**NaCl**

**Источник  
кальция**



**CaCO<sub>3</sub>; CaCl<sub>2</sub>**

**Источник  
железа**



**хлорид, сульфат  
или цитрат железа**



# Потребность в факторах роста

Факторы роста -  
пурины,  
пиримидины,  
аминокислоты,  
ВИТАМИНЫ

**Прототрофы**  
не нуждаются  
в факторах  
роста

**Ауксотрофы**  
нуждаются в  
факторах роста

# **Разнообразие способов существования прокариот**

**Тип питания прокариот можно  
установить с учетом:**

- 1. Способа получения энергии.**
- 2. Донора электронов и протонов.**
- 3. Источника углерода.**

# СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ

**ФОТОТРОФЫ**  
(источник энергии –  
солнечный свет)

получают энергию  
в процессе  
фотосинтеза –  
оксигенного и  
аноксигенного

**ХЕМОТРОФЫ**  
(источник энергии –  
окислительно-  
восстановительные  
реакции)

процессах:  
брожений,  
аэробного и  
анаэробного

# ДОНОР ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ

ЛИТОТРОФЫ  
(от гр. litos –  
камень)

Окисляют  
неорганические  
вещества:  $H_2$ ,  $H_2S$ ,  $S$ ,  
 $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $Fe^{2+}$  и  
др.

ОРГАНОТРОФЫ

Окисляют  
различные  
органические  
вещества

# ИСТОЧНИК УГЛЕРОДА

```
graph TD; A[ИСТОЧНИК УГЛЕРОДА] --> B[АВТОТРОФЫ – используют CO2]; A --> C[ГЕТЕРОТРОФЫ – используют различные органические соединения];
```

АВТОТРОФЫ –  
используют  $\text{CO}_2$

ГЕТЕРОТРОФЫ –  
используют  
различные  
органические  
соединения

# ГЕТЕРОТРОФЫ

```
graph TD; A[ГЕТЕРОТРОФЫ] --> B[ПАРАЗИТЫ – патогенные микроорганизмы]; A --> C[САПРОФИТЫ («sapro» - гнилой, «phyton» - растение)]; B --> D[клетках (хламидии, туберкулезная палочка) или на тканях (микоплазмы)]; C --> E[разлагающимися растительными и животными остатками, и продуктами их прижизненных];
```

**ПАРАЗИТЫ –  
патогенные  
микроорганизмы**

**клетках (хламидии,  
туберкулезная  
палочка) или на  
тканях  
(микоплазмы)**

**САПРОФИТЫ («sapro» -  
гнилой, «phyton» -  
растение)**

**разлагающимися  
растительными и  
животными остатками, и  
продуктами их  
прижизненных**

# САПРОФИТЫ

```
graph TD; A[САПРОФИТЫ] --> B[Олиготрофы]; A --> C[Копиотрофы];
```

**Олиготрофы** (гр. oligos малый, trophe - пища) – развиваются при малых концентрациях органического вещества. Например, простекобактерия

**Копиотрофы** (гр. copiosus - изобилие) предпочитают изобилие пищевого субстрата. Например, кишечная палочка.

- **В зависимости от способа получения энергии, донора электронов и протонов, источника углерода у прокариот выделяют 8 типов обмена (способов существования).**



- Хемолитоавтотрофия. Водородные, тионовые, нитрифицирующие, железобактерии и другие.
- Хемолитогетеротрофия. Некоторые метанообразующие бактерии.
- Хемоорганоавтотрофия. Метилотрофные бактерии, окисляют муравьиную к-ту, а источник углерода – углекислый газ.
- Хемоорганогетеротрофия. Большинство прокариот и др. м-о, а также грибы, животные, человек.

- **Фотолитоавтотрофия.**

Цианобактерии, пурпурные, зеленые бактерии, растения.

- **Фотолитогетеротрофия.**

Некоторые цианобактерии, пурпурные, зеленые бактерии.

- **Фотоорганавтотрофия.**

Некоторые пурпурные бактерии.

- **Фотоорганогетеротрофия.**

Галобактерии.

- Некоторые прокариоты могут существовать на базе одного способа питания – их называют **облигатными**.
- **Миксотрофы** (мезотрофы) - могут переключаться с одного типа питания на другой в зависимости от условий среды. Например, цианобактерии, кишечная палочка и др.

**БРОЖЕНИЕ**

# Вопросы:

- 1. Общая характеристика брожений.**
- 2. Молочнокислое брожение.**
- 3. Спиртовое брожение.**
- 4. Маслянокислое брожение.**

# 1. Общая характеристика брожений

- Брожение – это окислительно-восстановительный процесс, протекающий в анаэробных условиях, приводящий к образованию АТФ.
- Это наиболее древний и примитивный способ получения энергии.
- Брожение осуществляют:
  - определенные группы анаэробных и факультативно-анаэробных прокариот
  - некоторые эукариотические

- **АТФ в процессе брожения синтезируется путем субстратного фосфорилирования.**
- **Субстратное фосфорилирование – это синтез АТФ за счет переноса высокоэнергетической фосфатной группы от богатого энергией соединения на АДФ.**
- **Реакции субстратного фосфорилирования катализируются растворимыми ферментами, протекает в цитозоле.**

# Органические соединения, которые могут сбраживаться:

- **Углеводы (моно-, дисахара, полисахариды)**
- **Спирты**
- **Органические кислоты**
- **Аминокислоты, белки**
- **Пурины, пиримидины, нуклеиновые кислоты**



# Не способны сбразживаться:

- **Высокоокисленные соединения.**
- **Высоковосстановленные соединения:  
алифатические и  
ароматические  
углеводороды, высшие  
жирные кислоты.**

## Продукты брожений:

- Органические кислоты (молочная, масляная, пропионовая, уксусная, муравьиная и др.)
- Спирты (этиловый, бутиловый, пропиловый)
- Ацетон
- Газы:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$
- При сбраживании белков, аминокислот образуются дополнительные продукты –  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , метилмеркоптан, разветвленные жирные кислоты, ароматические кислоты.

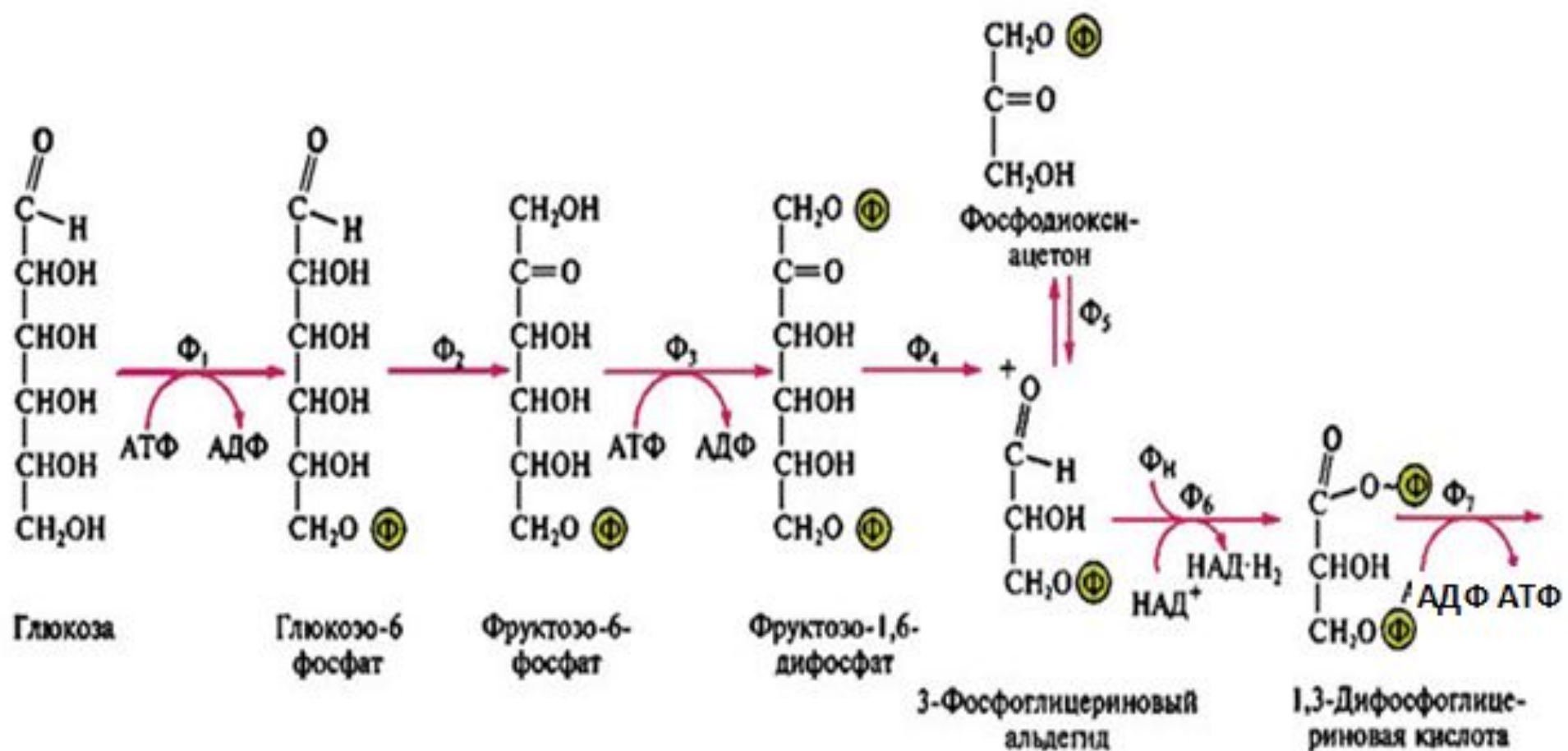
- Вид брожения определяется по основному продукту брожения, накапливающемуся в среде, реже по сброживаемому субстрату.

- Виды брожения:

- молочнокислое
- спиртовое
- маслянокислое
- пропионовокислое и т.д.

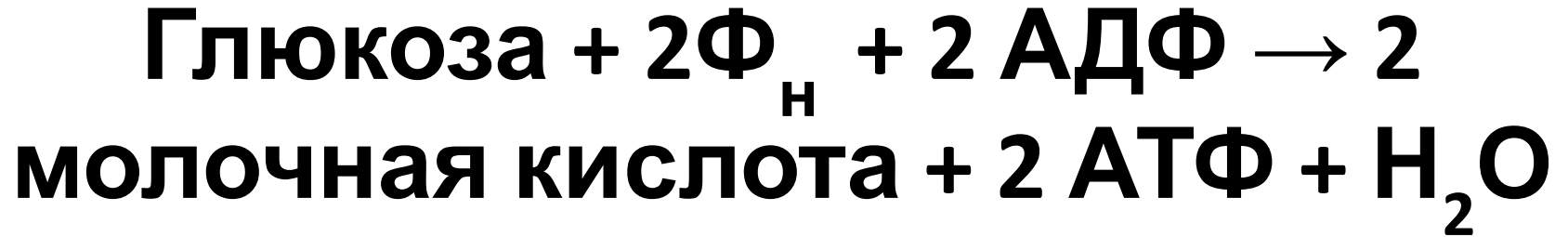
## 2. Гомоферментативное молочнокислое брожение (путь Эмбдена-Мейергофа-Парнаса)

- Эволюционно самый древний и примитивный вид брожения.
- Протекает по гликолитическому пути.
- Основной энергетический субстрат для брожения: моносахара (глюкоза) и дисахара (мальтоза, лактоза).



ФЕРМЕНТЫ: Ф1 - гексокиназа; Ф2 -  
глюкозофосфатизомераза; Ф3 - фосфофруктокиназа; Ф4 -  
фруктозо-1,6-дифосфат-альдолаза;  
Ф5 - триозофосфатизомераза; Ф6 - ЗФГА-дегидрогеназа;  
Ф7 - фосфоглицераткиназа;  
Ф8 - фосфоглицеромутаза; Ф9 - енолаза; Ф10 -  
пируваткиназа; Ф11 - лактатдегидрогеназа

## Суммарное уравнение:



**В молочную кислоту превращается до 85-98 % сахара в среде. В связи с этим этот вид брожения называют**  
**гомоферментативным**  
**молочнокислым брожением.**

К гомоферментативным молочнокислым бактериям относятся представители следующих родов:

1. р. *Streptococcus* – бактерии сферической формы. Встречаются в почве, на поверхности растений, в молоке и молочных продуктах.
2. р. *Pediococcus* – кокки. Встречаются в квашеных овощах, силосе, молоке, сырах, пищеварительном тракте животных.
3. р. *Lactobacillus* подрод *Thermobacterium* (растут при 45°С) – палочки в парах или коротких цепочках.



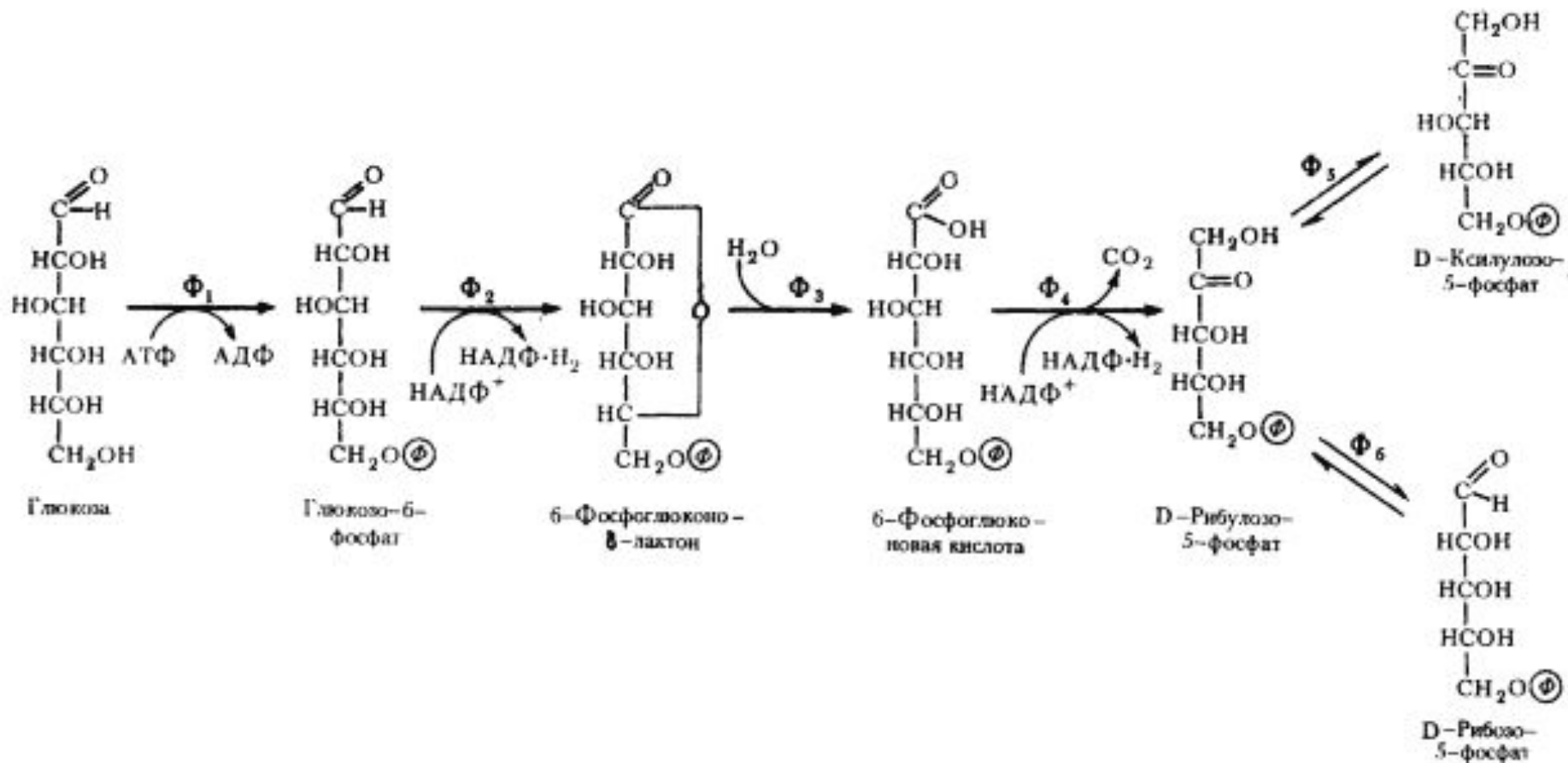
# Гетероферментативное молочнокислородное брожение

При гетероферментативном  
молочнокислородном брожении  
начальные превращения  
глюкозы идут через

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ

пентозофосфатный путь (путь

Варбурга-Диккенса-Хореккера)

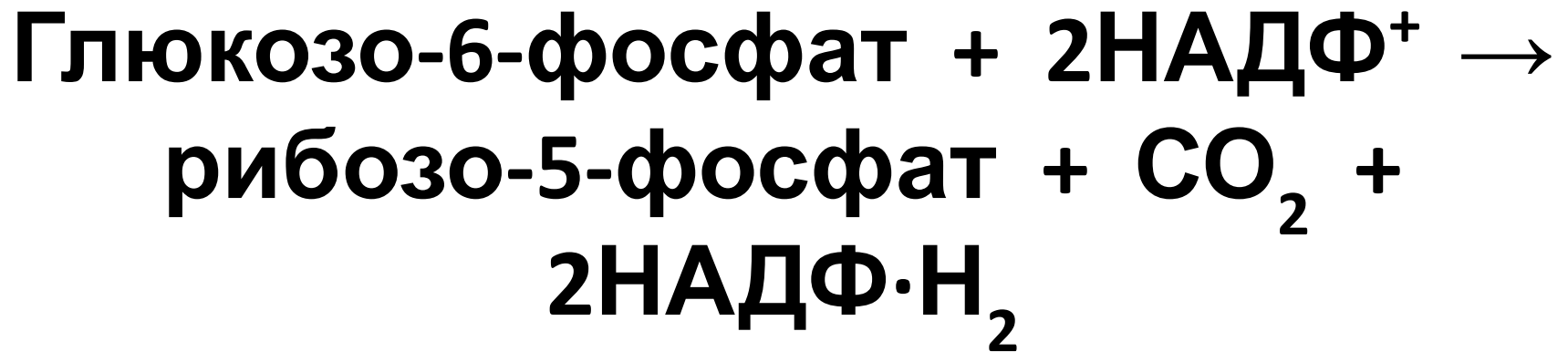


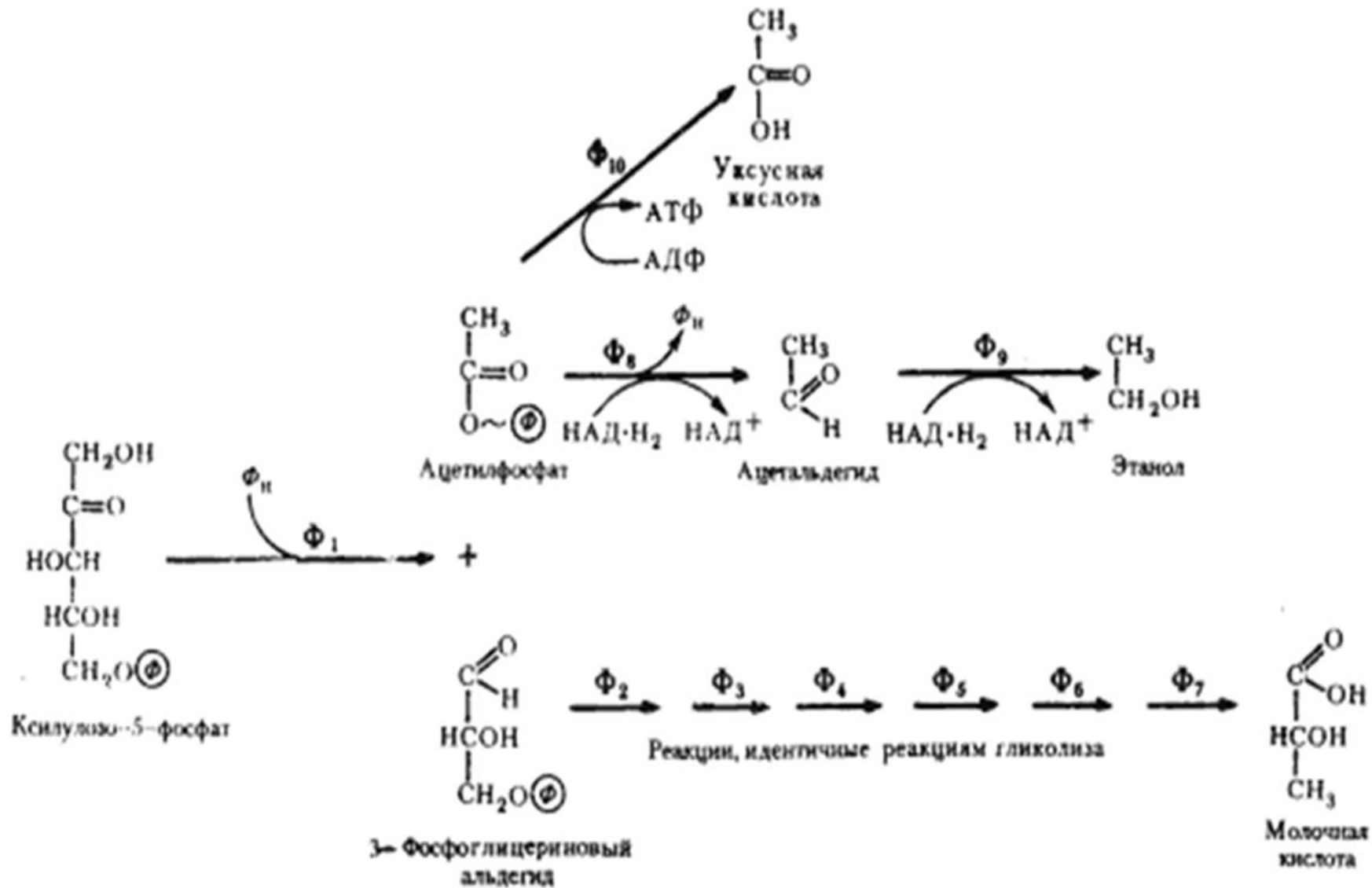
## Окислительный пентозофосфатный путь (начальные этапы)

$\Phi_1$  — гексокиназа;  $\Phi_2$  — глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа;  $\Phi_3$  — лактоназа;  $\Phi_4$  — фосфоглюконатдегидрогеназа (декарбоксилирующая);  $\Phi_5$  — фосфопентозэпимераза;  $\Phi_6$  — фосфопентозоизомераза

На этом этапе образуется пентоза  
D-рибулозо-5-фосфат и  $\text{CO}_2$ .

Суммарно этот процесс можно  
выразить:





$\Phi_1$  — пентозофосфокетолаза;  $\Phi_2$  — 3-ФГА-дегидрогеназа;  $\Phi_3$  — фосфоглицераткиназа;  $\Phi_4$  — фосфоглицеромутаза;  $\Phi_5$  — енолаза;  $\Phi_6$  — пируваткиназа;  $\Phi_7$  — лактатдегидрогеназа;  $\Phi_8$  — ацетальдегиддегидрогеназа;  $\Phi_9$  — алкогольдегидрогеназа;  $\Phi_{10}$  — ацетаткиназа.

# Конечные продукты гетероферментативного молочнокислого брожения:

- обязательные продукты - **молочная кислота,  $\text{CO}_2$** ;
- некоторые виды гетероферментативных молочнокислых бактерий образуют и **этанол**, и **уксусную кислоту**, другие виды – только **уксусную кислоту**, или только **этанол**.
- В связи с тем, что образуется несколько разных продуктов, это вид брожения называется гетероферментативным молочнокислым брожением.

## Энергетический выход:



# Гетероферментативные молочнокислые

## бактерии:

- *p. Leuconostoc* - бактерии сферической, овальной или палочковидной формы. Встречаются на растениях, в молочных и других пищевых продуктах. *L. mesenteroides* принимает участие в сбраживании углеводов при квашении капусты и силосовании растительных кормов для животных.
- *P. Lactobacillus* подрод *Betabacterium* – виды *L. brevis*, *L. fermentum*, *L. buchneri* и др. связаны с организмом человека, входят в состав нормальной микрофлоры человека, обитают на слизистой ротовой полости, кишечника. Защищают человека от патогенов, колонизируя слизистые, а также за счет выделения молочной кислоты и лизоцима.

# Практическое использование молочнокислых бактерий

- **Квашение овощей** (капуста, огурцы и т.д.) - происходит спонтанное молочнокислое брожение, благодаря деятельности *Lactobacillus plantarum* и др. молочнокислых бактерий.
- **Силосование растительных кормов для животных** - спонтанное молочнокислое



# **Применение молочнокислых бактерий в молочной промышленности**

- **Пастеризованное молоко или сливки сбраживают, добавляя закваски.**
- **В состав заквасок входят чистые культуры определенных видов молочнокислых бактерий.**

- **Сладкосливочное масло** готовят из сливок, которые сквашивают при помощи *Streptococcus lactis* и *S. cremoris*. Помимо молочной кислоты, эти бактерии образуют ароматические вещества (ацетоин и диацетил), придающие маслу характерный запах и вкус.
- **Творог** – для его приготовления используют закваски, содержащие *Streptococcus lactis*, *L. bulgaricus*, *S. thermophilus*. Они вызывают свертывание казеина (белок молока). Готовят при 22 °С – 18 часов или при 35 °С – 5 часов.
- **Кефир** – для приготовления в качестве закваски используют «кефирные грибки» (многокомпонентная закваска) - это **консорциум микроорганизмов, состоящий из молочнокислых, уксуснокислых бактерий и дрожжей**. Кефир содержит кислоты и этанол. Процесс идет при 15-22°С в течение 24-36 часов.

- **Сыры** – при изготовлении твердых сыров используют сычужный фермент для свертывания казеина. Молочнокислые бактерии – *L. casei*, *S. lactis* совместно с пропионовокислыми бактериями участвуют в процессе созревания сыров.
- **Йогурт** – это балканский национальный напиток - получают из пастеризованного молока, в которое вносят *S. thermophilus* и *L. bulgaricus* (болгарская палочка). Сквашивают 2,5-3 часа при  $t$  43-45°C.
- **Кумыс** – готовят обычно из кобыльего молока (реже верблюжьего), в состав закваски входит *L. bulgaricus* и дрожжи *Torula*.

- **Курунга** – национальный бурятский молочнокислый напиток, готовят из сырого парного коровьего молока на естественной многокомпонентной симбиотической закваске, в составе которой имеются молочнокислые палочки и молочнокислые стрептококки, бифидобактерии, уксуснокислые бактерии, дрожжи и «посторонняя микрофлора»: *Bacillus*, *Micrococcus* и др.
- **Сырокопченые колбасы** – добавляют **лактобациллы** и **микрококки**, они образуют молочную кислоту, которая обладает бактерицидными свойствами и предохраняет колбасы от порчи.

### 3. Спиртовое брожение

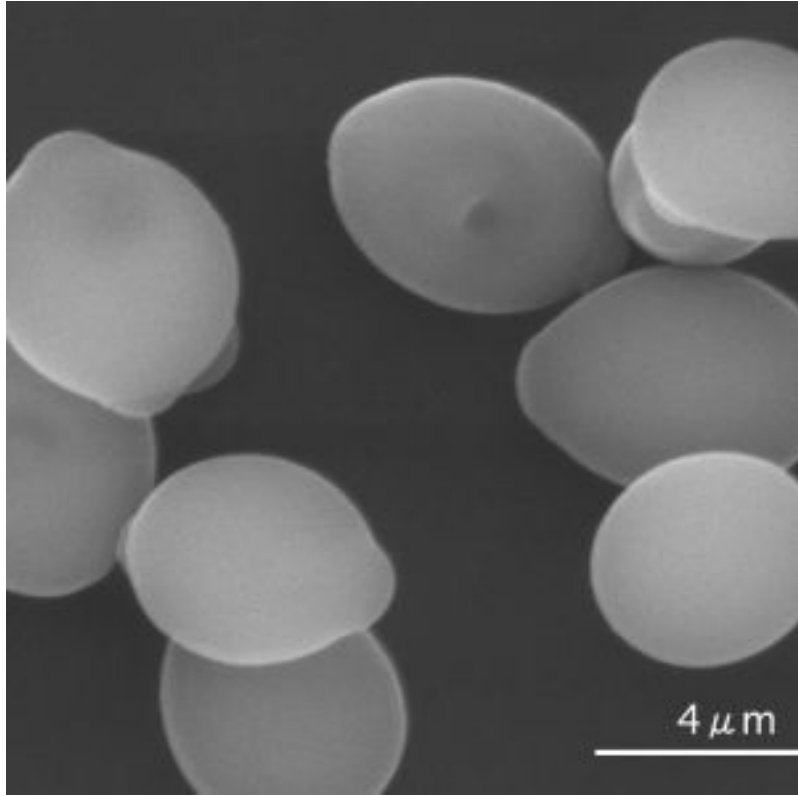
#### Возбудители спиртового брожения:

- *Saccharomyces cerevisiae* (пекарские дрожжи)

а также бактерии:

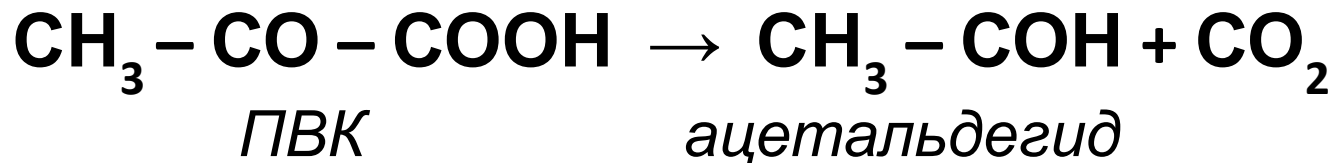
- *Sarcina ventriculi* - анаэробные кокки, часто образуют пакеты, состоящие из 8 и более клеток, связанные между собой целлюлозой.
- *Erwinia amylovora* - палочки, патогенные для растений.

# *Saccharomyces cerevisiae*



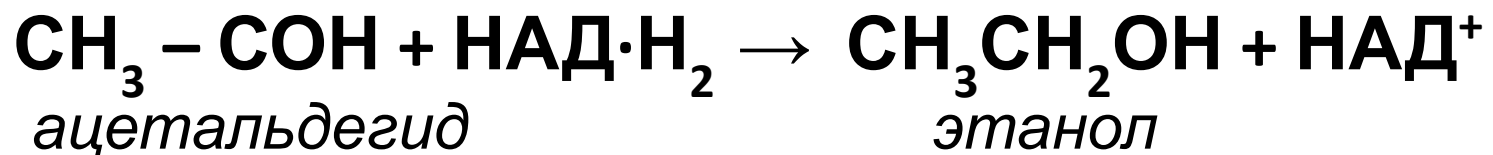
- Процесс спиртового брожения, осуществляемый дрожжами (*Saccharomyces cerevisiae*) идет **по гликолитическому пути до образования ПВК** (пировиноградной кислоты).
- **Превращение пирувата в этанол происходит в два этапа:**

**1 этап** – это декарбоксилирование ПВК до ацетальдегида (уксусного альдегида):



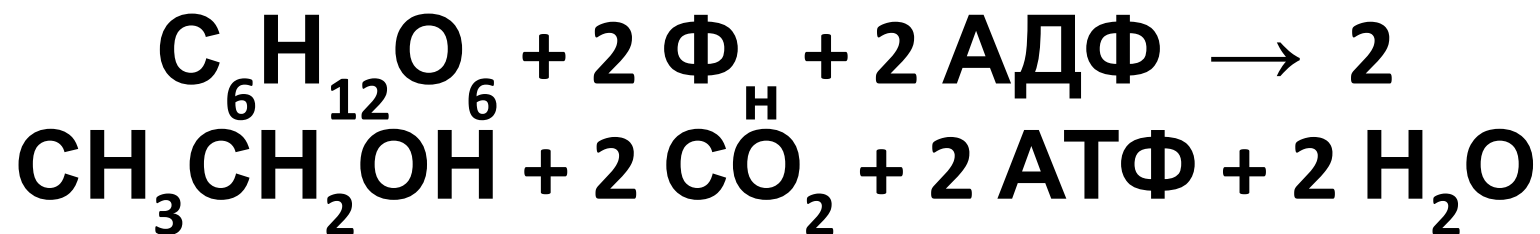
Реакцию катализирует фермент **пируватдекарбоксилаза**.

**2 этап** – это восстановление ацетальдегида до этанола:



Реакцию катализирует фермент **алкогольдегидрогеназа**.

# Суммарное уравнение спиртового брожения:



## Энергетический выход

спиртового брожения: 2 молекулы АТФ на 1 сброживаемую молекулу глюкозы.



- Во всех жидкостях, полученных путем дрожжевого брожения, содержатся

**сивушные масла:**

- ✓ пропанол,
  - ✓ 2-бутанол,
  - ✓ 2-метилпропанол,
  - ✓ амиловый и изоамиловый спирты.
- Сивушные масла представляют собой продукт нормального бродильного метаболизма дрожжей. Основными компонентами сивушного масла являются побочные продукты обмена изолейцина, лейцина и валина.

**Эффект Пастера:** аэрация подавляет брожение, уменьшает потребление глюкозы, а также образование этанола и  $\text{CO}_2$ .

Подавление аэробного дыхания при высокой концентрации глюкозы (1,5 – 2,0 %) - **эффект Кребтри (катаболитная репрессия).**

# **Дрожжи используют для получения спирта, в пивоварении, виноделии.**

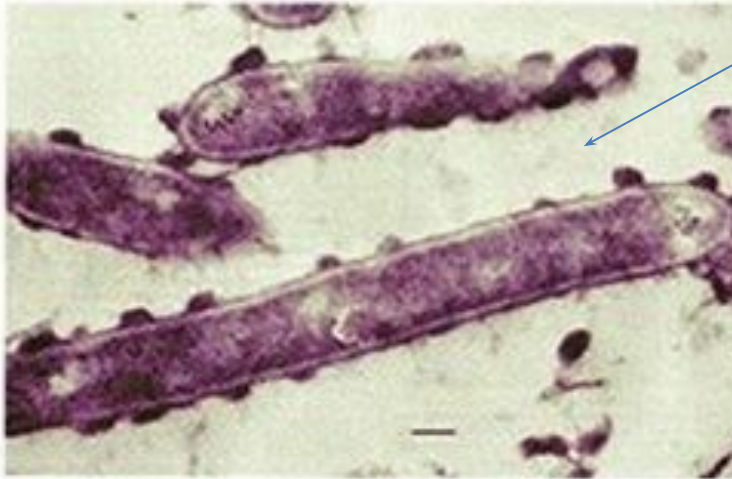
Штаммы *Saccharomyces cerevisiae* подразделяют на расы **низового и верхового брожения**.

**Дрожжи низового брожения** (большинство винных и пивных дрожжей) функционируют в производстве при  $t$  +6 - +10°C и ниже (до 0°C). В конце брожения оседают на дно, формируя плотный осадок.

**Дрожжи верхового брожения** (спиртовые, хлебопекарные и некоторые пивные (светлое пиво и др.– обычно при  $t$  +14 - +25 °C). В конце брожения всплывают на поверхность и образуют «шапку».

# 4. Маслянокислое брожение

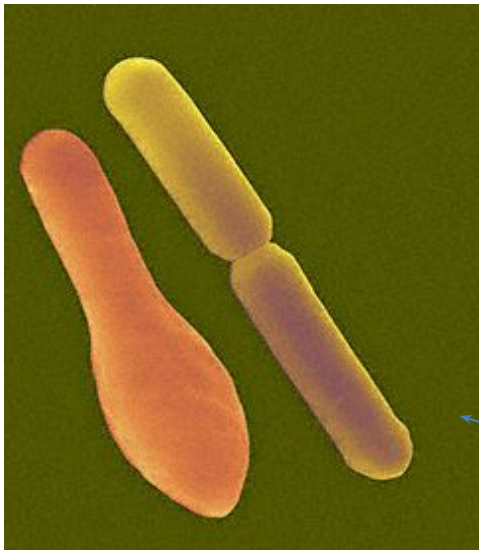
**А**



Возбудители брожения:  
анаэробные  
спорообразующие  
палочки рода *Clostridium*.

**А** – клетки *C. thermocellum*  
с целлюлосомами  
(центры  
целлюлолитической  
активности)

**В** - *C. sporogenes*



**В**

**В зависимости от сбраживания субстрата клостридии делят на следующие группы:**

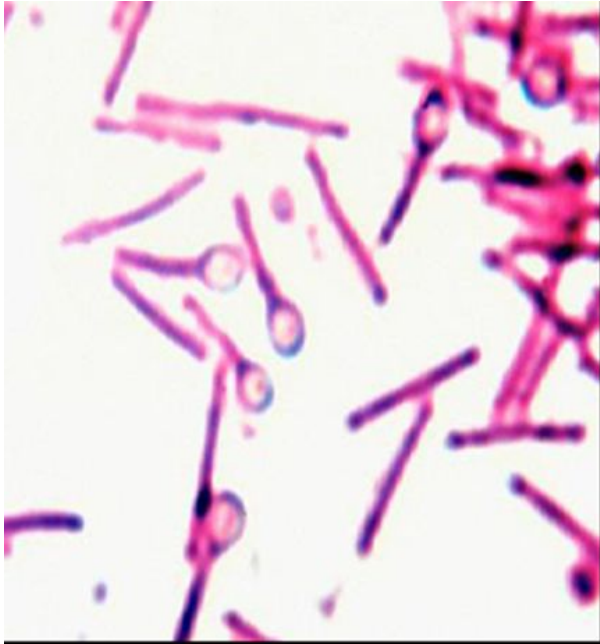
**1. Сахаролитические клостридии**

- **сбраживают углеводы по гликолитическому пути: моносахара (глюкоза, фруктоза и др.) и полисахариды - крахмал, пектин, целлюлозу, хитин. Полимеры предварительно гидролизуют при помощи экзоферментов.**
- **Продукты брожения: масляная, уксусная кислоты,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2$ . Могут образовываться дополнительные нейтральные продукты: бутанол, пропанол, ацетон, этанол.**
- **К этой группе относятся *C. pasteurianum*, *C. butyricum*, целлюлозоразрушающий вид *C. thermocellum*.**

2. **Протеолитические** – сбразивают аминокислоты, пептиды, белки; пептиды и белки предварительно гидролизуют при помощи протеаз.

- ✓ Продукты брожения:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , жирные кислоты и летучие соединения с неприятным запахом.
- ✓ К этой группе относятся сапрофитные клостридии, например, *C. sporogenes*, и патогенные клостридии – *C. tetani* и *C. botulinum*.

# *Clostridium tetani* - возбудитель столбняка



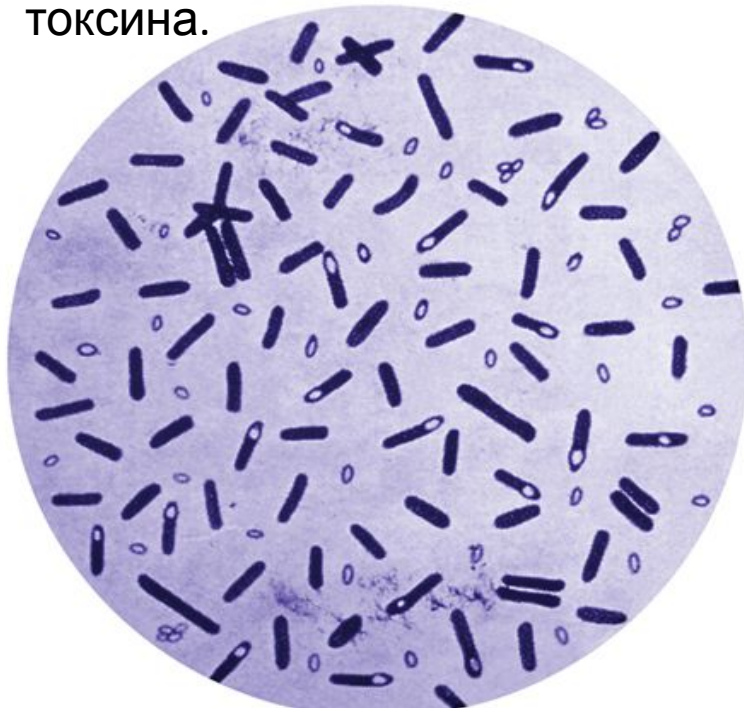
Опистотонус - судорожное сокращение всей скелетной мускулатуры при столбняке

**Тетаноспазмин** – белковый токсин *C. tetani*, проникает в нервные клетки, в ЦНС – вызывает судорожный синдром.

Художник Сэр Чарльз Белл (Sir Charles Bell), (1774-1842).  
Опистотонус.

# *Clostridium botulinum* - возбудитель ботулизма

*C. botulinum* образует белковый токсин, обладающий нейротоксическим действием (вызывает нервно-паралитические явления). Смертельная доза для человека составляет около 1 мкг токсина.



Поражение двигательного аппарата животного, больного ботулизмом



**3. Пуринолитические  
кlostридии** – сбpаживают  
гетероциклические  
азотсодержащие соединения -  
пурины и пиримидины.

## **Роль клостридиев в природе**

- В анаэробных условиях (в илах, почвах) – участвуют в разложении:
  - ✓ труднодоступных полимеров: целлюлозы, хитина;
  - ✓ белков (процессы гниения).

## **Практическое применение**

- Используют для получения масляной кислоты (для парфюмерной промышленности),
- для получения бутанола и ацетона.