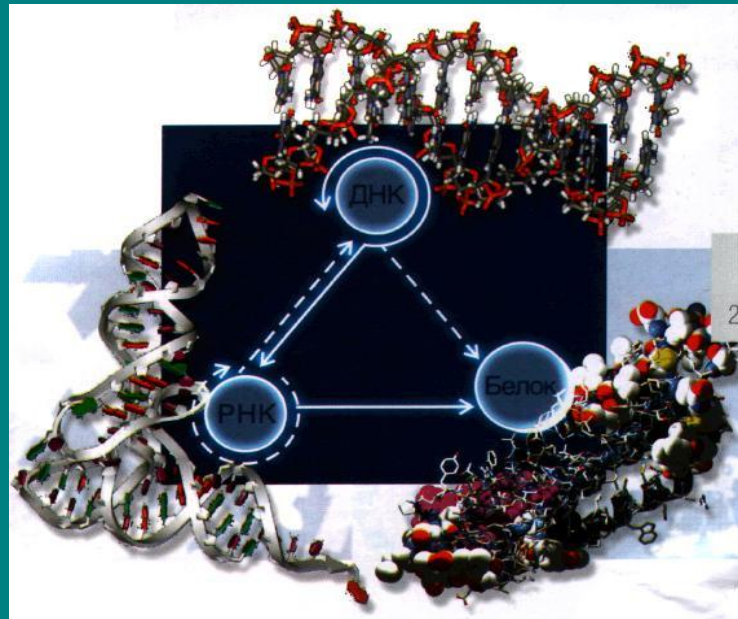


# Молекулярно- генетический уровень жизни



# Регуляция экспрессии гена и степени проявления признака

В любой клетке **различие** между ее фенотипом и генотипом **определяется механизмами регуляции** работы генов, кодирующих **структуру** мРНК и полипептидов, рРНК и тРНК.

Известно несколько типов механизмов, с помощью которых один и тот же набор генов в неодинаковых условиях жизнедеятельности организма и на разных стадиях развития детерминирует синтез белков.

# Регуляция экспрессии гена и степени проявления признака

Регуляция экспрессии (выражения) генов может осуществляться на нескольких уровнях:

- **генном** – изменение количества или локализации генов, контролирующих данный признак;
- **транскрипционном** – определяет, какие и сколько иРНК должны синтезироваться в данный момент;
- **трансляционном** – обеспечивает отбор иРНК, транслирующихся на рибосомах;
- **функциональном** – связан с аллостерической регуляцией активности ферментов.

Контроль действия генов может осуществляться путем **посттрансляционной модификации полипептидов**, **посттранскрипционной модификации иРНК** и другими путями.

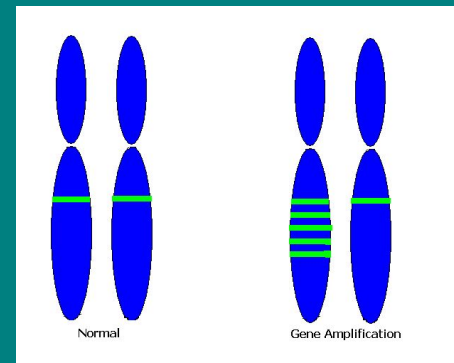
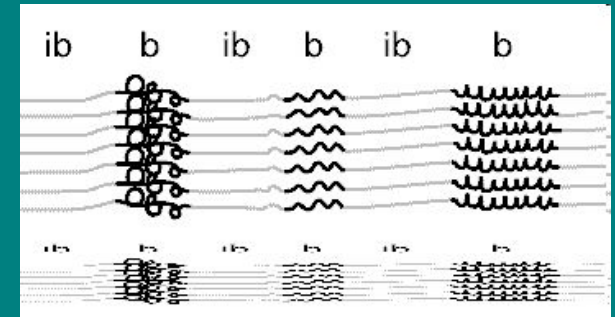
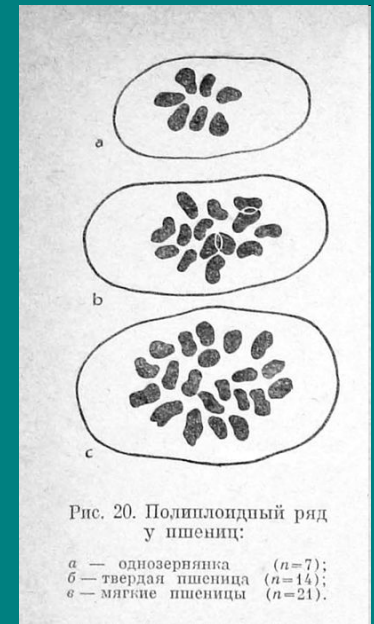
# РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА И СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКА. РЕПЛИКАЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ

регуляция осуществляется за счёт  
**увеличения** или **уменьшения** количества  
**копий генов** (реже ДНК или хромосом),  
необходимых или ненужных в данный  
МОМЕНТ

# Регуляция экспрессии гена. Репликационный уровень.

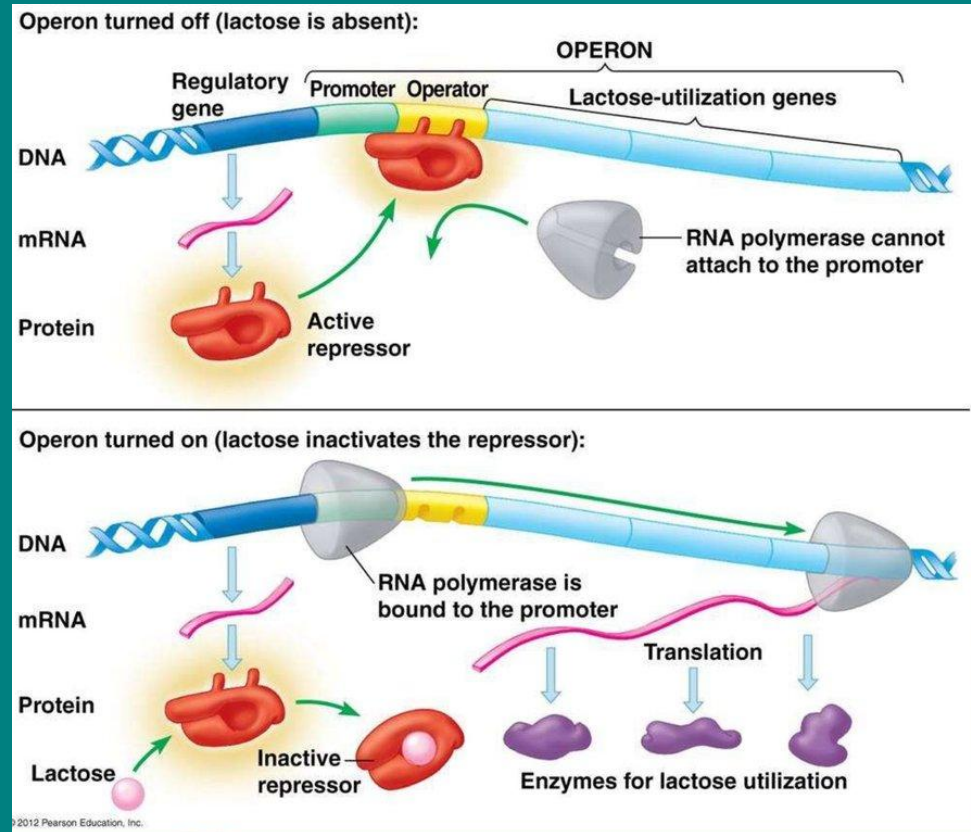
Путем:

- полиплоидизации – кратного увеличения числа хромосом,
- политенизации хромосом – возникновения многократно реплицированных хромосом,
- амплификации – умножения количества копий генов.



# РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА И СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКА. ТРАНСКРИПЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ

Прокариоты



# Регуляция экспрессии гена. Транскрипционный уровень. Прокариоты

Действующие в клетках прокариот регуляторные механизмы обеспечивают:

1. Возможность **включения (дерепрессии)** или **выключения (репрессии)** экспрессии гена в ответ на изменение внешних условий;
2. Программированное **каскадное включение экспрессии многих генов.**

# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Прокариоты

1. При первом типе регуляции:

- **одни гены** в норме **репрессированы**, и их **дерепрессия** происходит под **влиянием индукторов**,
- **другие** находятся в **дерепрессированном состоянии** и **репрессируются собственными продуктами**.

Несмотря на это различие, принципиальные механизмы регуляции обеих групп генов сходны.



# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Прокариоты

\* У *E.coli* ферменты, обеспечивающие утилизацию сахаров в качестве единственных источников углерода и азота, синтезируются лишь в ответ на появление в среде индуктора–субстрата, которым служит соответствующий сахар.

До появления субстрата в среде ген, ответственный за синтез фермента, осуществляющего его гидролиз, неактивен, или репрессирован. Под действием индуктора происходит дерепрессия гена: он включается (индуцируется).

\* Большинство генов, кодирующих ферменты синтеза аминокислот у *E.coli* или *S. typhimurium*, функционируют, когда в среде культивирования отсутствуют соответствующие аминокислоты. При выращивании в питательной среде, содержащей достаточное для роста количество этих же аминокислот, экспрессия кодирующих генов подавляется.

# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Прокариоты

### 2. Регуляция второго типа:

- Обнаружена у фагов, инфицировавших клетки бактерий – **обеспечивает запуск «цепной реакции»** включения многих генов.
- При сравнении наборов фаговых иРНК были открыты **«ранние»** и **«поздние»** фаговые гены, причем каждая группа генов функционирует лишь на определенной стадии репродукции фага.

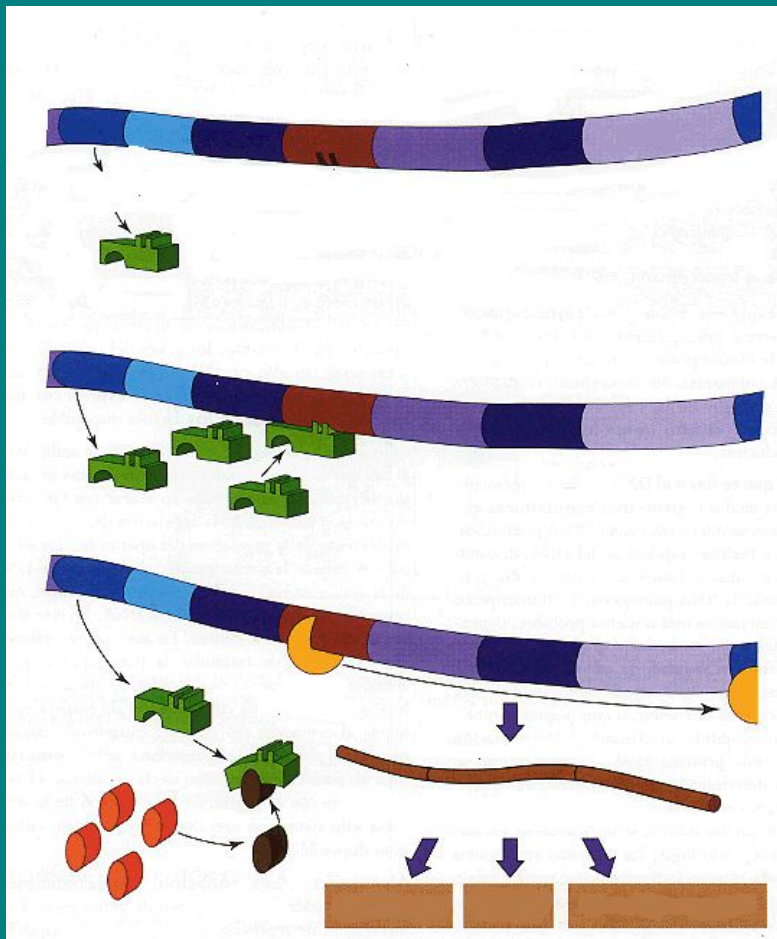
# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Прокариоты

Оба типа регуляции осуществляются в отношении лишь тех генов, постоянное функционирование которых нежелательно для клетки, поскольку при этом расходуется энергия, необходимая для ее роста и размножения в условиях, когда продукты, кодируемые этими генами, не требуются – это **адаптивные гены**.

Многие же гены детерминируют синтез таких продуктов, которые нужны клетке постоянно, подобные гены обычно экспрессируются постоянно, поэтому их называют **конститутивными**.

# Регуляция экспрессии гена. Транскрипционный уровень. Прокариоты



Оперонная  
регуляция

Ф. Жакоб и Ж. Моно  
1961 г.

# Оперонная регуляция.

## Общие положения.

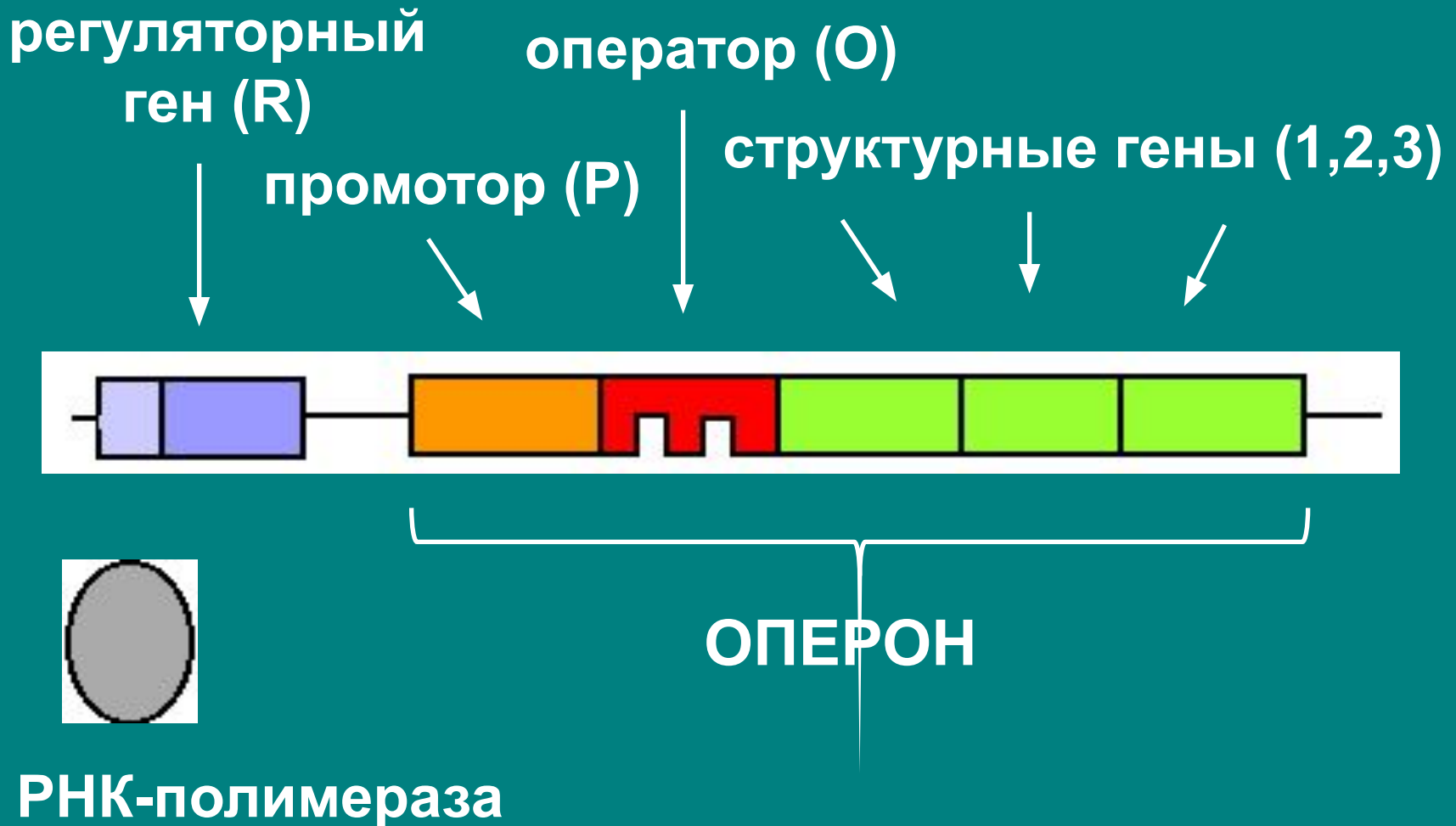
**Оперонная регуляция** – транскрипция группы структурных генов, кодирующих полипептиды, тесно связанные между собой функционально, регулируется двумя контролирующими элементами – **геном-регулятором** и **оператором**.

**Оперон** – последовательность ДНК, состоящая из тесно сцепленных структурных генов, оператора и промотора, и образующая единицу генетической регуляции.

**Ген-регулятор** – активатор или ингибитор транскрипции – может локализоваться рядом с опероном или на расстоянии от него.

# Оперонная регуляция.

## Общие положения.



# Оперонная регуляция.

## Общие положения.

1. **Ген-ингибитор** опосредует синтез **белка-репрессора**, который присоединяется к оператору и блокирует транскрипцию структурных генов, создавая стерические препятствия для присоединения РНК-полимеразы к специфичному участку-промотору, необходимому для инициации транскрипции.
2. **Ген-активатор** опосредует синтез **белка-апоиндуктора**, его присоединение к оператору создает условия для инициации транскрипции.
3. В регуляции работы оперонов участвуют также низкомолекулярные веществам – **эффекторы**, выступающие как **индукторы** или **корепрессоры** структурных генов, входящих в состав оперонов.

# Оперонная регуляция.

## Общие положения.

**Типы оперонов** – в зависимости от влияния:

- **индуцируемые, индуцибельные (катаболизирующие)** – включающиеся в работу, регулируют синтез ферментов, расщепляющих субстрат, поступающий в клетку – лактозный оперон,
- **репресслируемые, репрессибельные (синтезирующие)** – выключающиеся из работы, регулируют синтез фермент, участвующих в процессе синтеза какого-либо вещества в клетке – триптофановый оперон.



# Оперонная регуляция.

## Общие положения.

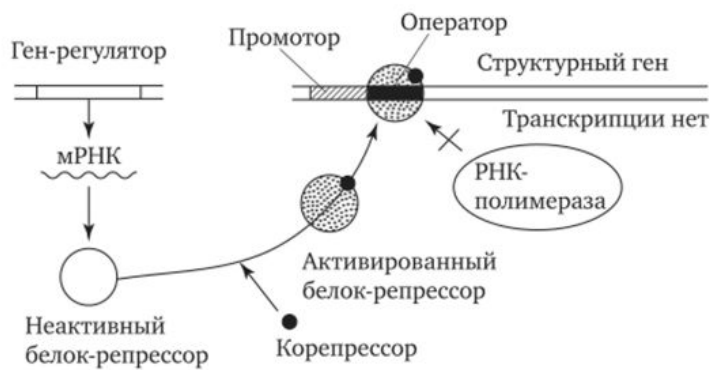
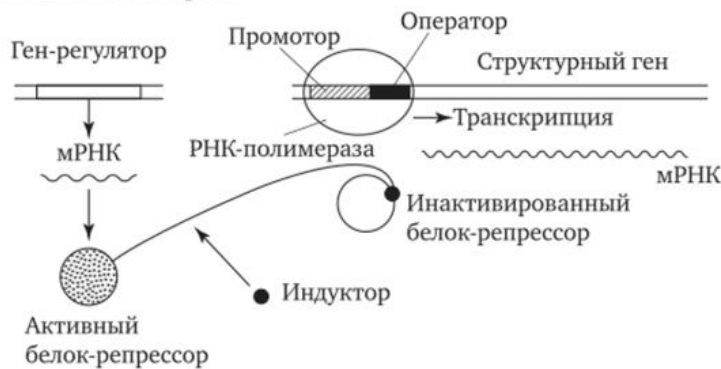
Типы регуляции оперонов:

- **негативная (регулирующий ген – ингибитор)** – эффектор связывается с белком-репрессором, что приводит к его инактивации или активации и соответственно индуцирует либо репрессирует транскрипцию оперона ,
- **позитивная (регулирующий ген – активатор)** – эффектор присоединяется к апоиндуктору, что разрешает, или наоборот, блокирует транскрипцию в зависимости от того, какую форму (активную или неактивную) приобретает апоиндуктор в результате связывания с эффектором.

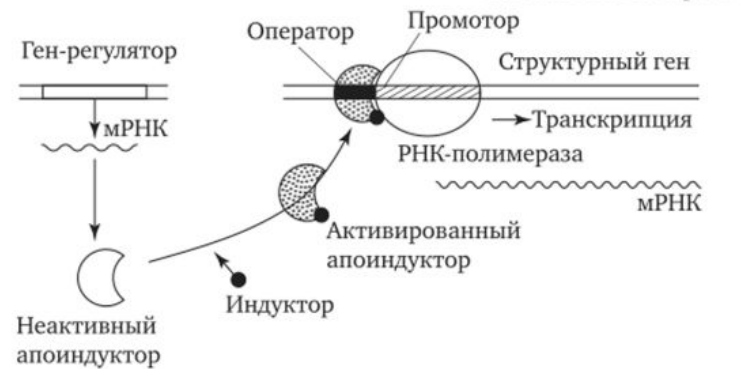
# Оперонная регуляция.

## Общие положения.

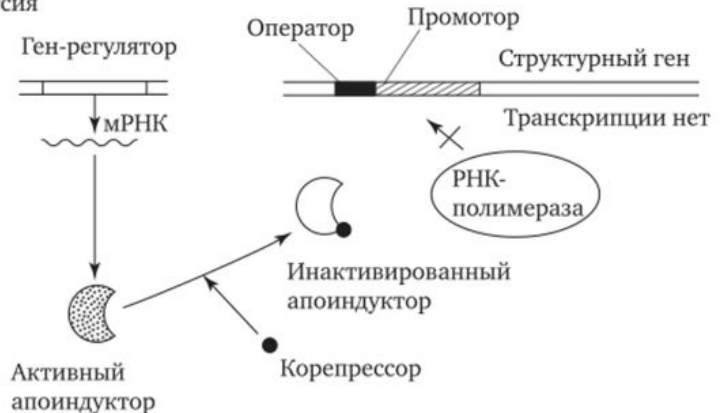
Негативный контроль



Индукция



Репрессия



# Оперонная регуляция. **Lac-оперон**

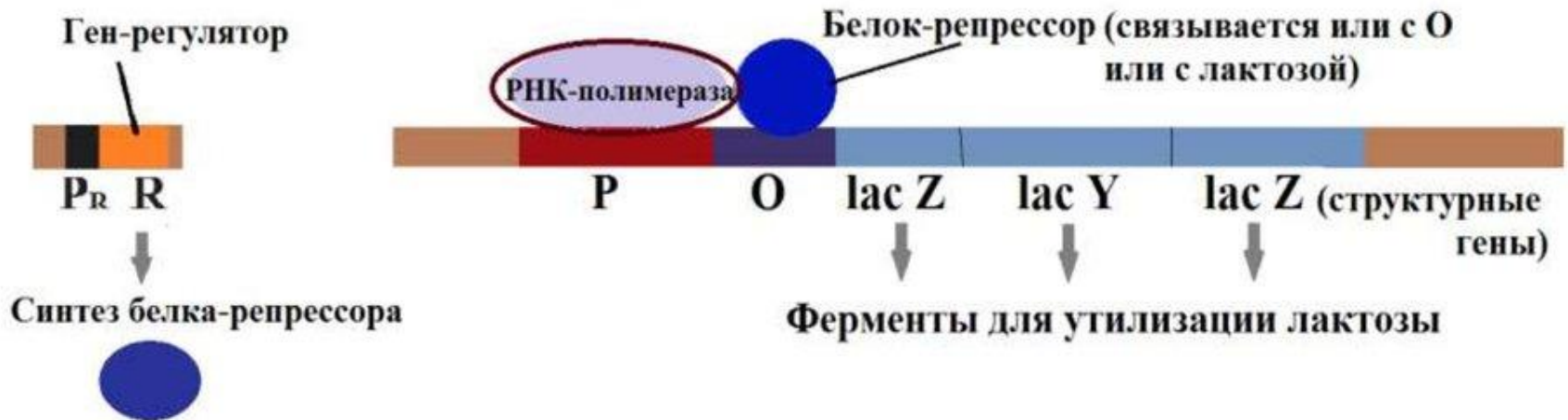
**Lac-оперон** – полицистронный оперон кишечной палочки (*Escherichia coli*), кодирующий гены метаболизма **лактозы**.

Структурные гены оперона:

- **lacZ** кодирует фермент  **$\beta$ -галактозидазу**, которая расщепляет дисахарид лактозу на глюкозу и галактозу,
- **lacY** кодирует  **$\beta$ -галактозидпермеазу**, мембранный транспортный белок, который переносит лактозу внутрь клетки,
- **lacA** кодирует  **$\beta$ -галактозидтрансацетилазу**, фермент, переносящий ацетильную группу от ацетил-КоА на бета-галактозиды.

# Оперонная регуляция. Лас-оперон

**Ген-регулятор** *lac*-оперона (*lacI*), кодирует **белок-репрессор** – тетрамер, образованный четырьмя копиями продукта гена *lacI* – полипептидами, состоящими из 360 аминокислот.



# Оперонная регуляция. **Лас-оперон**

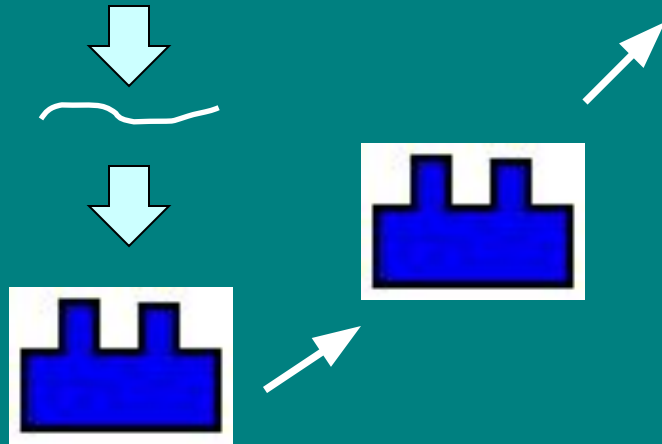
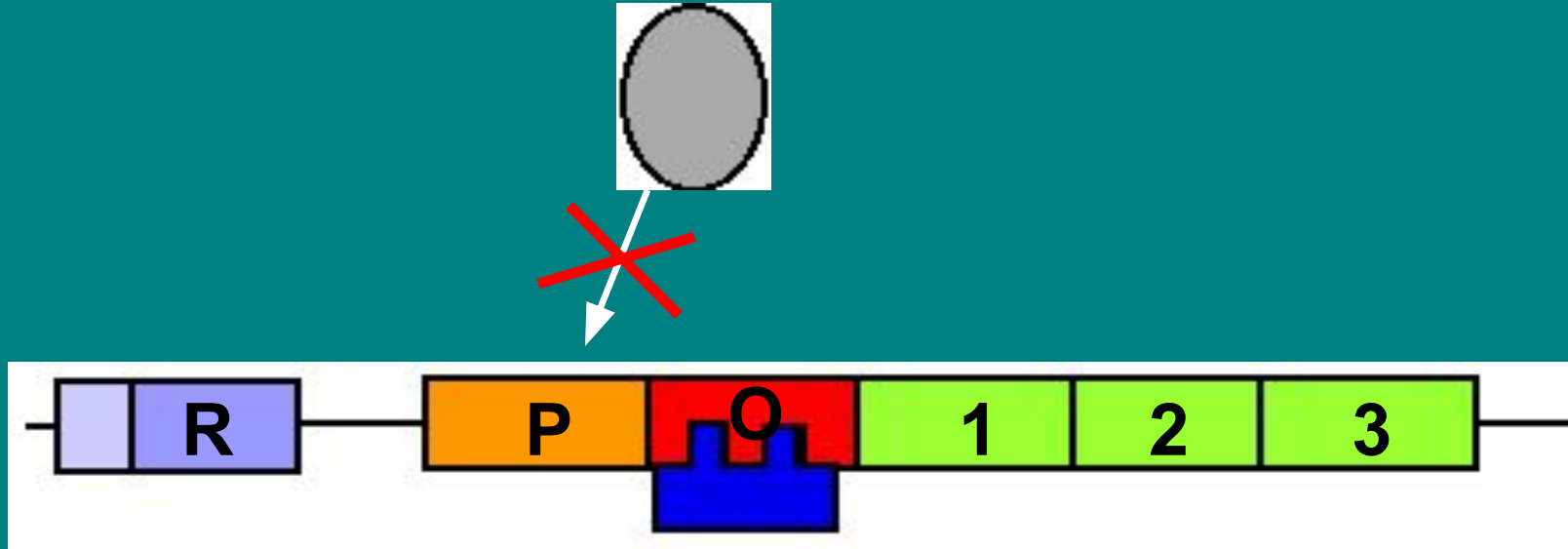
Основной способ регулирования – это **негативная индукция**.

В безлактозной среде активный белок-репрессор связывается с оператором и препятствует посадке РНК-полимеразы на промотор – транскрипция не идет.

На работу гена будет влиять лактоза – она одновременно и **субстрат** и **индуктор**, в ее присутствии белок-репрессор покидает оператор и структурные гены транскрибируются.

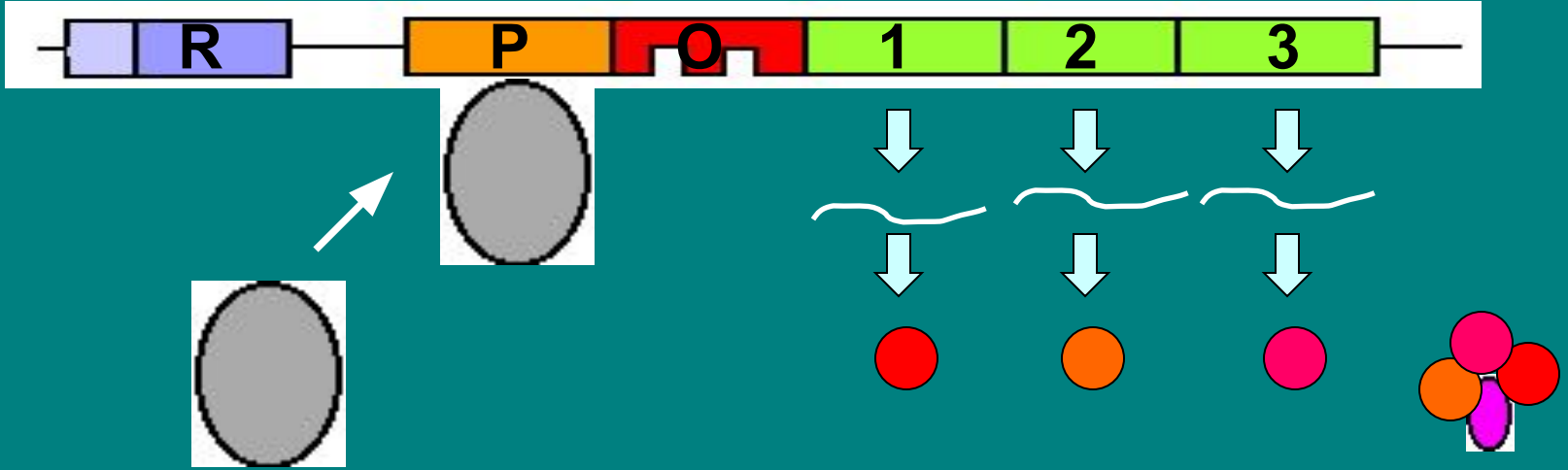
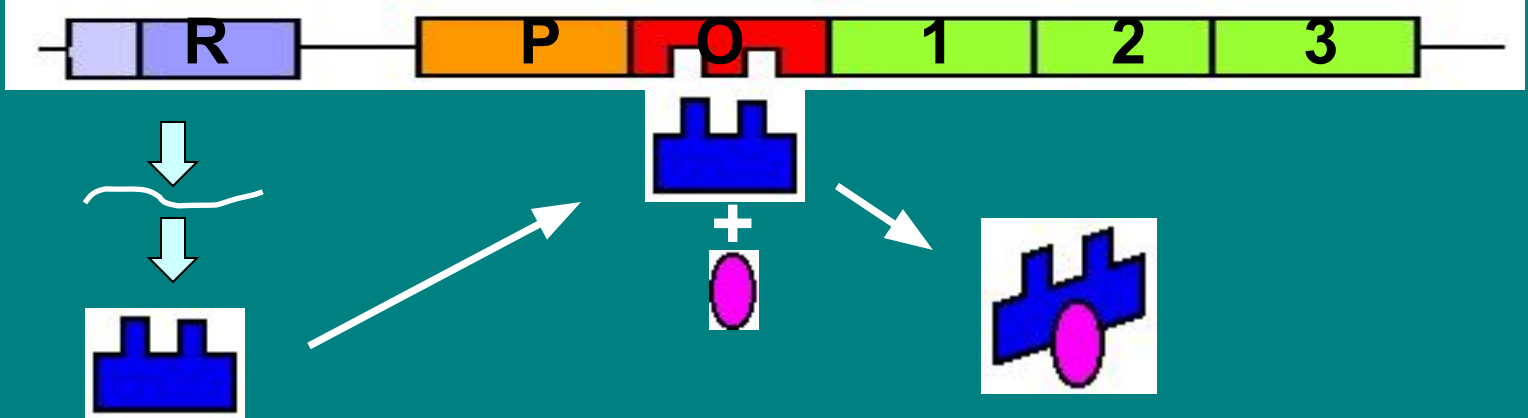
**A**

# Индуктор отсутствует



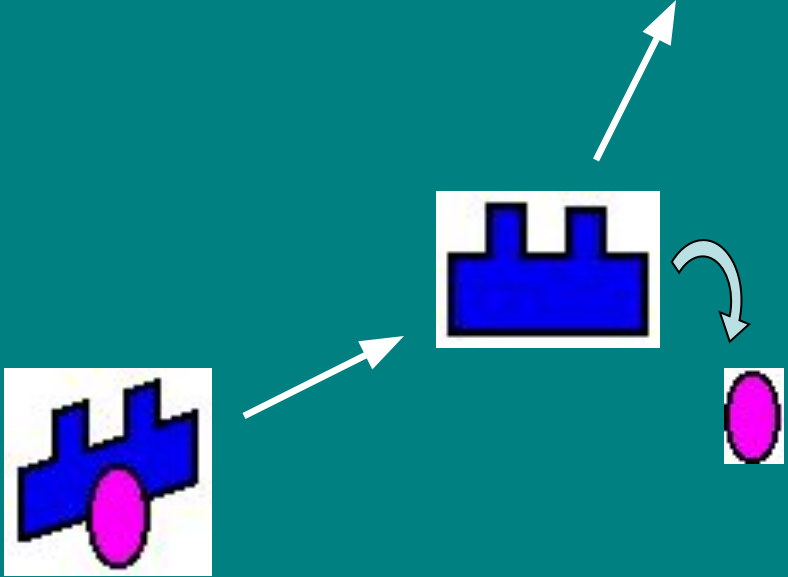
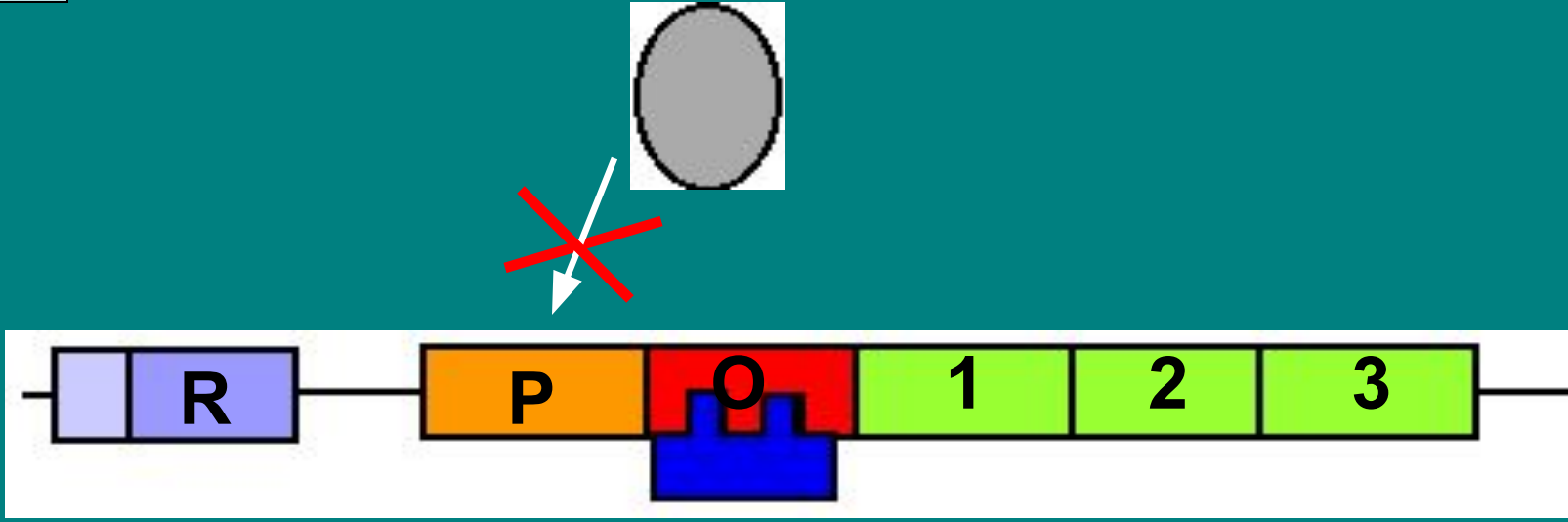
**Б**

# Индуктор в среде



**В**

# Индуктор исчез из среды





# Оперонная регуляция. Лас-оперон

Дополнительный способ регулирования — **ПОЗИТИВНАЯ ИНДУКЦИЯ.**

В среде с **низким содержанием глюкозы** и **наличием лактозы** происходит активация оперона с помощью **апоиндуктора.**

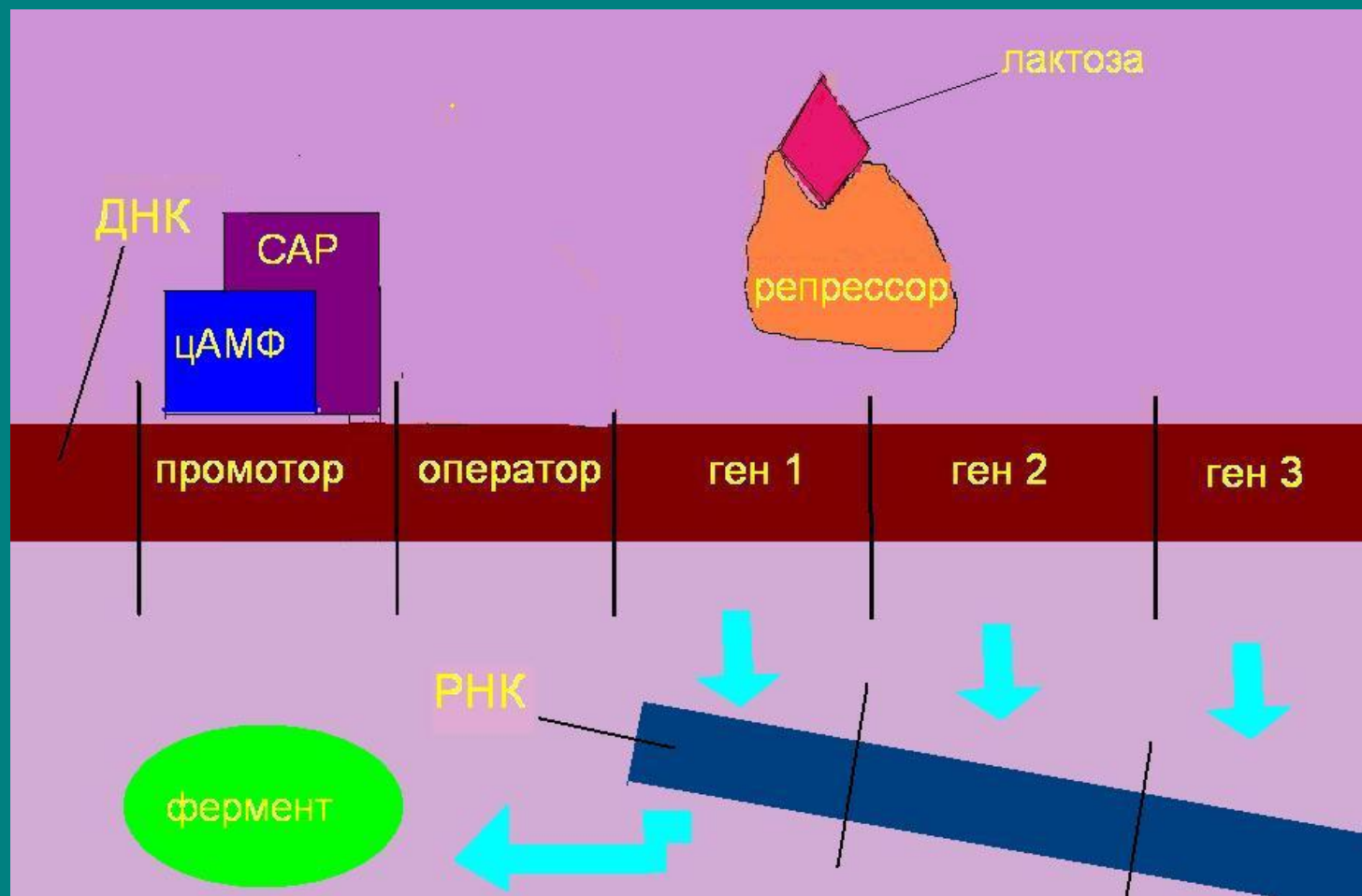
**Промоторная последовательность** лактозного оперона **«слабая»**, поэтому даже при отсутствии белка-репрессора на операторном участке транскрипция практически не инициируется.

# Оперонная регуляция. **Lac-оперон**

Когда **концентрация глюкозы** в клетке **снижается**, происходит **активация** фермента **аденилатциклазы**, которая катализирует превращение АТФ в циклическую форму – **цАМФ (индуцирующий эффектор)**. Глюкоза является ингибитором фермента аденилатциклазы.

**цАМФ + неактивный апоиндуктор** (белок, активирующим катаболизм (САР), = взаимодействие с промотором, изменение его конформации и повышение сродства РНК-полимеразы к данному участку.

# Оперонная регуляция. Лас-оперон



# Оперонная регуляция. Trp-оперон

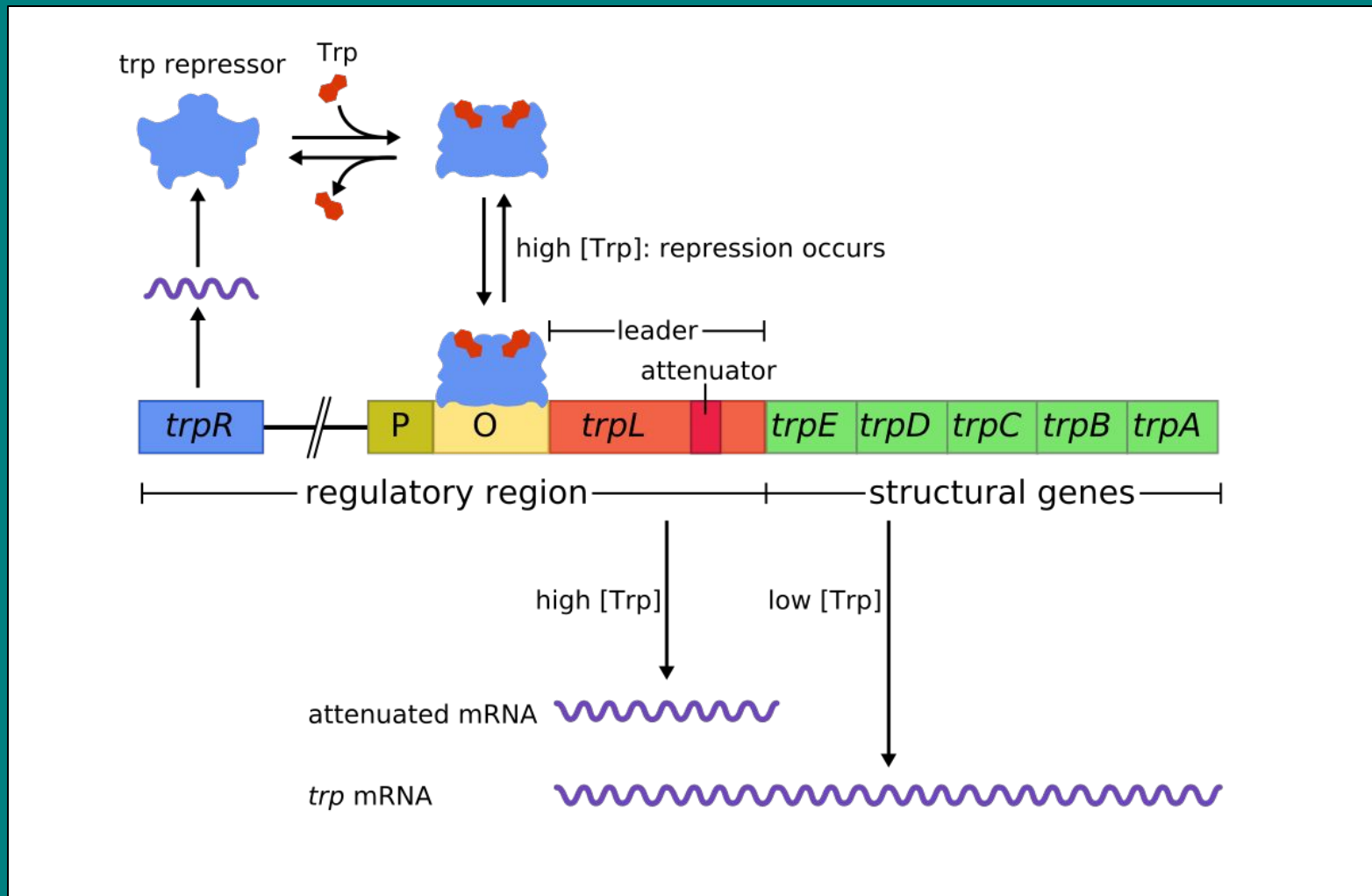
**Триптофановый оперон** – оперон, содержащий гены ферментов, задействованных в биосинтезе аминокислоты **триптофан**.

Был описан **в 1953 году Жаком Моно** и сотрудниками; подавляется триптофаном, за биосинтез которого ответственен данный оперон.

Содержит 5 структурных генов (цистронов), кодирующих субъединицы **триптофансинтазы**:

- trpE,
- trpD,
- trpC,
- trpB,
- trpA.

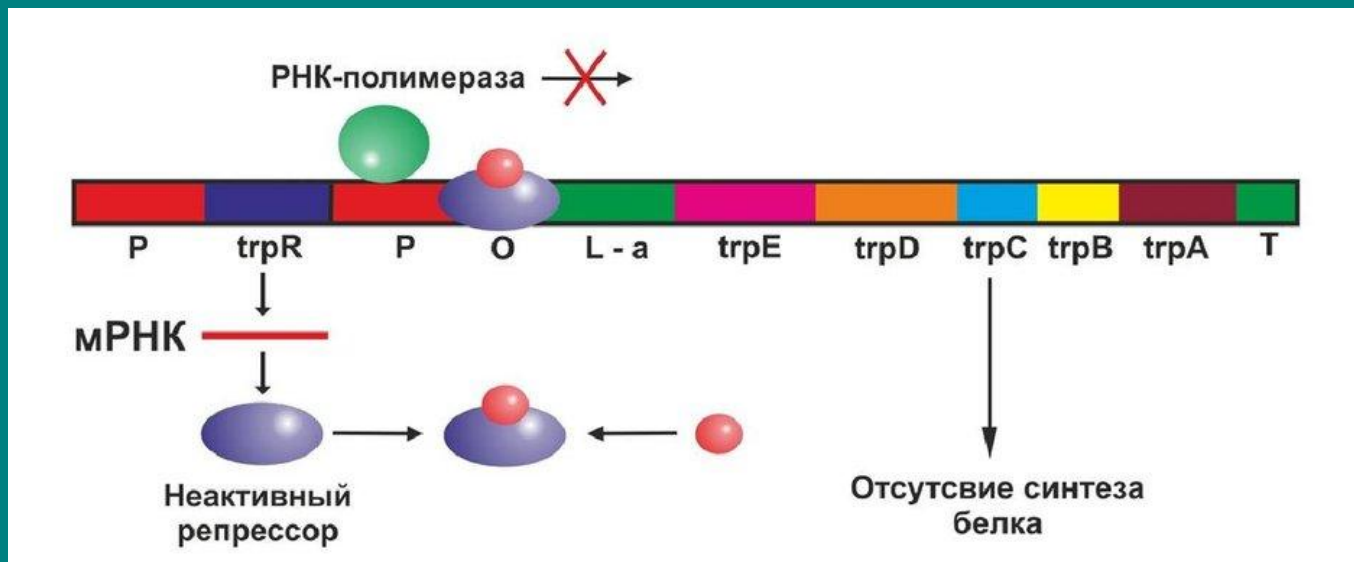
# Оперонная регуляция. Trp-оперон



# Оперонная регуляция. Trp-оперон

Основной способ регулирования – это **негативная репрессия**. На значительном расстоянии от оперона находится ген *trpR*, кодирующий белок, подавляющий экспрессию триптофанового оперона. Белок-репрессор синтезируется в **неактивном виде**.

Белок-репрессор в присутствии триптофана связывается с оператором и блокирует транскрипцию оперона.



# Оперонная регуляция. Trp-оперон

Второй способ регулирования – это **аттенюация**.

Сразу после оператора в триптофановом опероне располагается последовательность – **лидерная**. Она кодирует **лидерный пептид**.

В состав лидерной последовательности входит особая **аттенюаторная последовательность (аттенюатор)**, которая влияет на вторичную структуру синтезируемой мРНК.

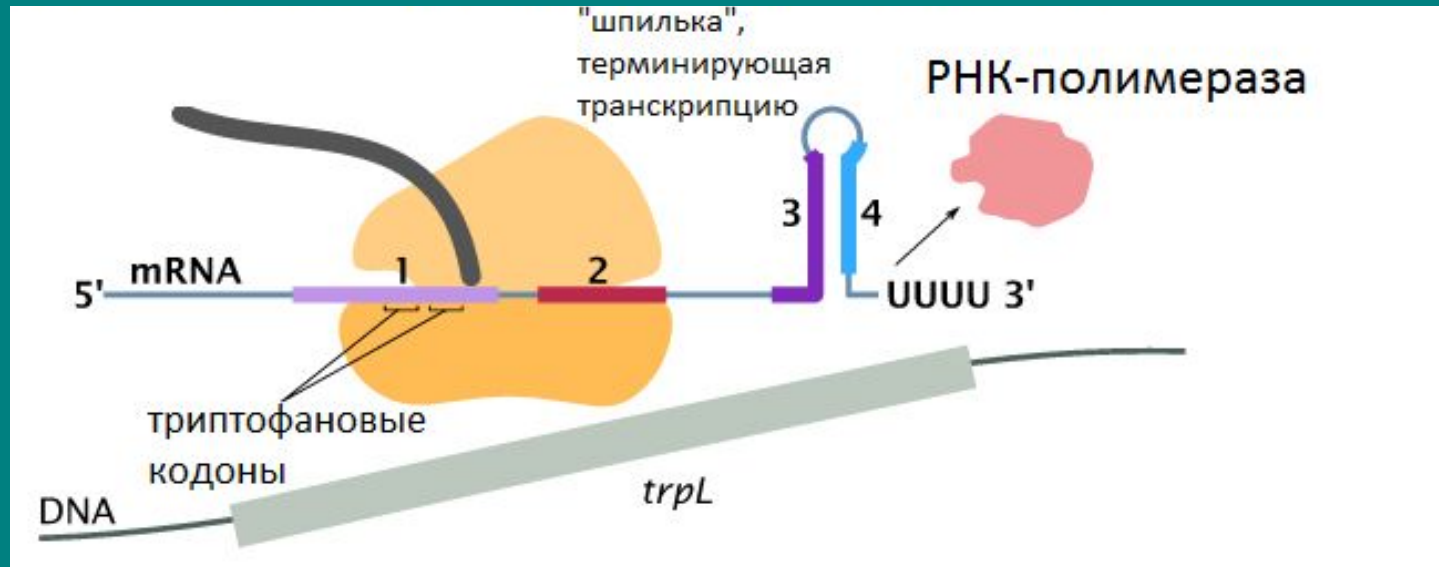
Для правильной работы аттенюатора чрезвычайно важна одновременность процессов транскрипции и трансляции лидерного пептида. Чтобы обеспечить её, в лидерной области имеется особый «сайт паузы». Достигнув его, РНК-полимераза приостанавливает транскрипцию, пока не начнётся трансляция.

Таким образом, процессы транскрипции и трансляции протекают синхронизированно. А трансляция может влиять на транскрипцию.

# Оперонная регуляция. Trp-оперон

## 1. Высокая концентрация триптофана в среде.

В начале первого гена оперона закодировано несколько остатков триптофана; в присутствии триптофана трансляция этого участка идет с нормальной скоростью, и перед рибосомой образуется терминирующая шпилька, которая влияет на РНК-полимеразу, в результате чего транскрипция останавливается.

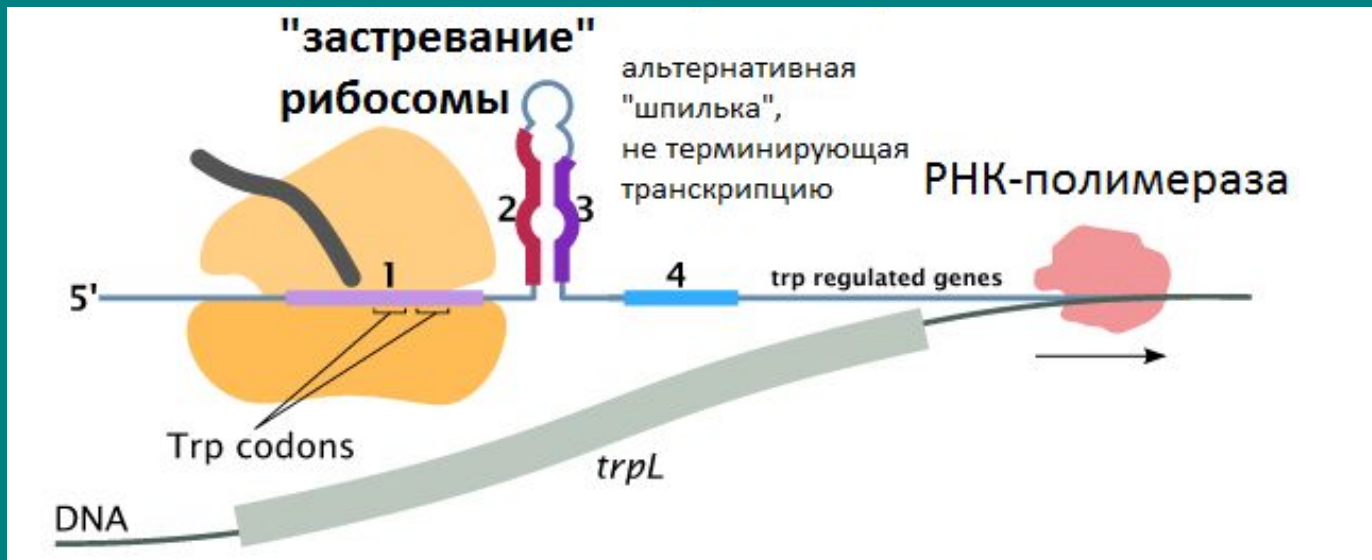




# Оперонная регуляция. Trp-оперон

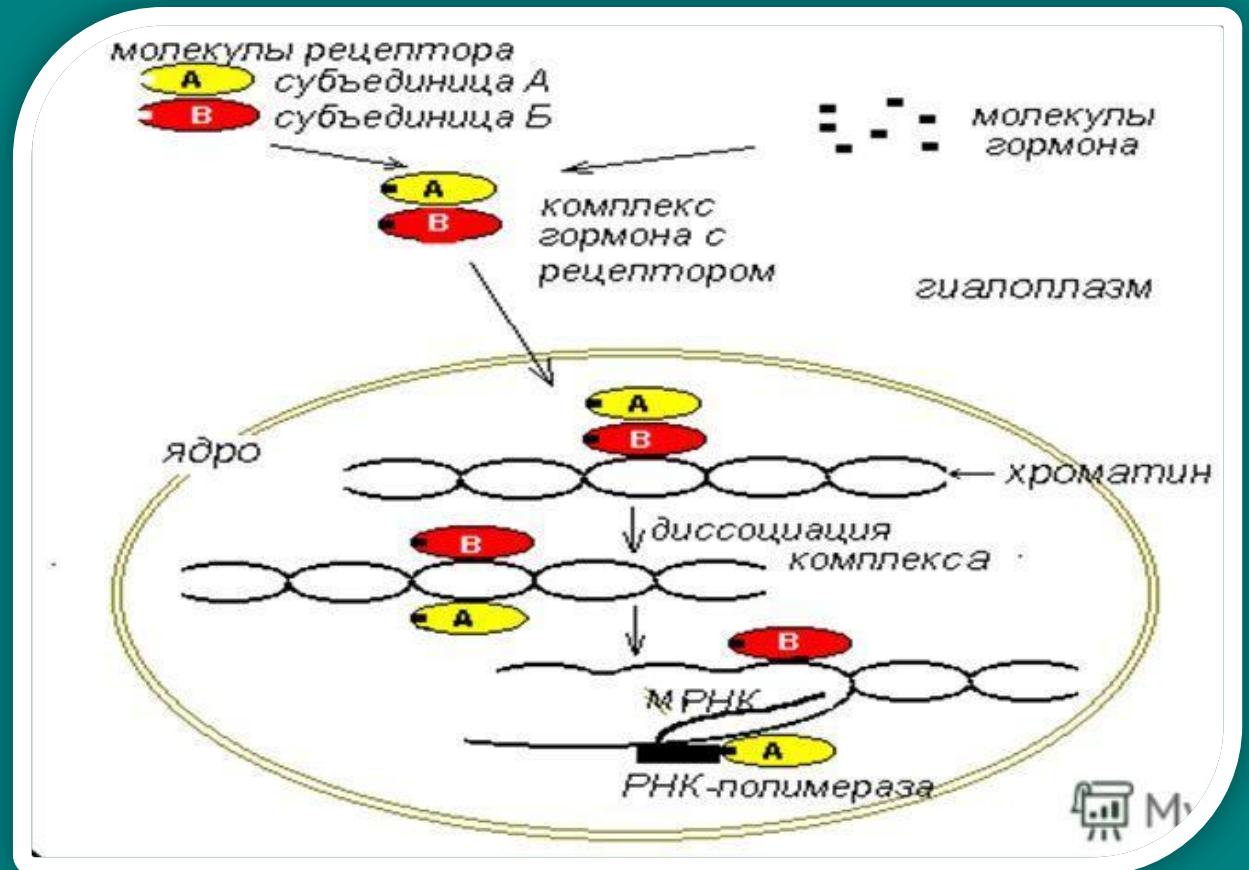
## 2. Низкая концентрация триптофана в среде.

При низкой концентрации триптофана рибосома «застопоривается» на триптофановых кодонах – их трансляция занимает больше времени. В результате РНК формирует альтернативную вторичную структуру, которая не приводит к терминции транскрипции, рибосома расплетает ее, и экспрессия оперона продолжается.



# РЕГУЛЯЦИЯ ЭКСПРЕССИИ ГЕНА И СТЕПЕНИ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИЗНАКА.

Эукариоты



# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Эукариоты

- **Конденсация и деконденсация хроматина.** Это наиболее универсальный метод регуляции транскрипции. Когда нужно экспрессировать определенные гены, хроматин в этом месте деконденсируется.
- **Альтернативные промоторы.** У гена может быть несколько промоторов, каждый из которых начинает транскрипцию с разных его экзонов в зависимости от типа клетки. В конечном итоге будут синтезированы разные белки.

# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Эукариоты

- **Метилирование и деметилирование ДНК.** Метилирование ДНК происходит в регуляторных областях гена. Метилируется цитозин в последовательности ЦГ, после чего ген инактивируется. При деметилировании активность гена восстанавливается. Процесс регулируется ферментом метилтрансферазой.
- **Гормональная регуляция.** При гормональной регуляции гены активируются в ответ на внешний химический сигнал (поступление в клетку определенного гормона). Этот гормон запускает те гены, которые имеют специфические последовательности нуклеотидов в регуляторных областях.

# Регуляция экспрессии гена.

## Транскрипционный уровень. Эукариоты

- **Геномный импринтинг.** Это малоизученный способ регуляции экспрессии генов у эукариот. Он возможен только у диплоидных организмов и выражается в том, что активность генов зависит, от какого из родителей они были получены. Выключение генов осуществляется путем метилирования ДНК.

# Регуляция экспрессии гена.

## Уровень процессинга. Эукариоты

- **Альтернативный сплайсинг.** Это регуляция на уровне процессинга. При альтернативном сплайсинге порядок сшивки экзонов может быть различным. Отсюда следует, что на основе одной и той же нуклеотидной последовательности ДНК могут быть синтезированы разные белки. Хотя их отличие друг от друга будет в основном заключаться лишь в разных сочетаниях одних и тех же аминокислот.
- **Тканеспецифическое редактирование РНК** также протекает на уровне процессинга. Выражается в замене отдельных нуклеотидов в РНК в определенных тканях организма.
- Кроме того, у эукариот **иРНК** часто **не подвергается процессингу** вообще (распадается) или **подвергается с задержкой**. Это также можно рассматривать как способ регуляции экспрессии генов.

# Регуляция экспрессии гена.

## Трансляционный уровень. Эукариоты

- **Регуляция стабильности иРНК.** Готовые иРНК не «допускаются» к рибосомам или разрушаются. Другие же иРНК могут дополнительно стабилизироваться для многократного использования.
- **Посттрансляционная модификация белка.** Чтобы молекула полипептида превратилась в активную молекулу белка, в ней должны произойти различные модификации определенных аминокислот, должны быть сформированы вторичная, третичная и возможно четвертичная структуры. На этом этапе также можно повлиять на реализацию генетической информации, например, не дав молекуле сформироваться.

# Регуляция экспрессии гена.

## Трансляционный уровень. Эукариоты

- **Риборегуляторы.** Были обнаружены РНК, выполняющие регуляторные функции путем ослабления работы отдельных генов.



• Крошка Ши •

