

ФГБОУ ВО КрасГМУ им. проф. В.Ф.Войно-Ясенецкого Минздрава России  
Кафедра биологической химии с курсом медицинской, фармацевтической и  
токсикологической химии

# Тема: **УГЛЕВОДЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА, БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ**

Авторы: д.м.н. Малиновская Н.А., к.м.н. Комлева Ю.К., к.б.н.  
Тепляшина Е.А., к.б.н. Герцог Г.Е.

Красноярск, 2020

# ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. **Актуальность темы.**
2. Определение и классификация углеводов.
3. Строение моносахаридов. Физико-химические свойства. Медико-биологическое значение.
4. Строение олиго- и полисахаридов. Физико-химические свойства. Медико-биологическое значение.
5. **Заключение**

# АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

## Медико-биологическое значение

Углеводы для вашего организма:

hudaya-eda.ru

В 100  
граммах ↘

Суточная норма: не менее 100 гр и не более 125 гр для ведущих активную жизнь



Сахар-рафинад

99,9 г



Мед пчелиный

80,3 г



Мармелад

79,4 г



Финики

69,2 г



Перловка

66,9 г



Изюм (кишмиш)

65,8 г



Повидло яблок

65 г



Рис

62,3 г



Гречка

60,4 г



- являются отличным пищевым источником энергии для организма

- входят в строение клеточных оболочек

- очищают организм от шлаков (целлюлоза)

- участвуют в защите организма от вирусов и бактерий

- применяются в пищевой промышленности и как пищевая добавка. Спирты, получившиеся путем сбраживания углеводов, применяются в медицине и фармакологии



- Нехватка углеводов:

- депрессия и апатия
- упадок сил
- разрушение жизненно важных белков организма.

- Избыток углеводов:

- гиперактивность
- лишний вес
- дрожь в теле
- неспособность сконцентрироваться
- страдает нервная система и поджелудочная железа
- повышается инсулин в крови (чревато диабетом II типа, гипертонией и сердечно-сосудистыми заболеваниями)



«Геркулес»

61,8 г



Пшеничн. мука

61,5 г



Кукуруза

61,4 г

# Углеводы – оксопроизводные многоатомных спиртов и/или продукты их конденсации

УГЛЕВОДЫ – ЭТО **ОКСО** производные **МНОГОАТОМНЫХ СПИРТОВ** или продукты их конденсации

+

ОКСО группа (карбонильная)	МНОГОАТОМНЫЙ СПИРТ
<p style="text-align: center;"><math>\text{&gt;C=O}</math></p> <p>В зависимости от положения группы в углеродной цепи может быть две разновидности:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <u>Оксогруппа у первичного углерода</u> <math display="block">\begin{array}{l} \text{H} \\ \diagdown \\ \text{R}-\text{C}=\text{O} \end{array}</math> – <u>альдегидная</u></li><li>• <u>Оксогруппа у вторичного углерода</u> <math display="block">\begin{array}{l} \text{C} \\ \diagdown \\ \text{R}-\text{C}=\text{O} \end{array}</math> – <u>кетонная</u></li></ul>	<p>Спирты – молекулы, содержащие <u>ОН</u> (окси или <u>гидрокси</u>) группу. Многоатомный спирт – молекула, содержащая 2 или больше <u>окси-групп</u></p>

Следовательно, углеводы – это бифункциональные молекулы, а именно:

- **альдегидоспирты или кетоноспирты.**

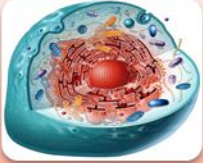


# ФУНКЦИИ УГЛЕВОДОВ В ОРГАНИЗМЕ



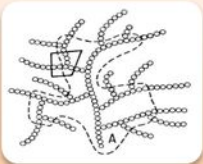
## ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ

- При окислении 1 г углеводов выделяется 17 кДж энергии (4,1 ккал)



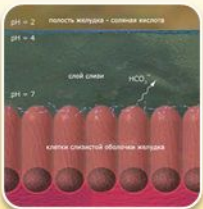
## ПЛАСТИЧЕСКАЯ

- Участие в построении различных клеточных структур



## ЗАПАС ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

- Углеводы накапливаются (запасаются) в скелетных мышцах, печени и других тканях в виде гликогена



## ЗАЩИТНАЯ

- Сложные углеводы входят в состав компонентов иммунной системы
- Мукополисахариды находятся в слизистых веществах и защищают от проникновения бактерий, вирусов, а также от механических повреждений



## РЕГУЛЯТОРНАЯ

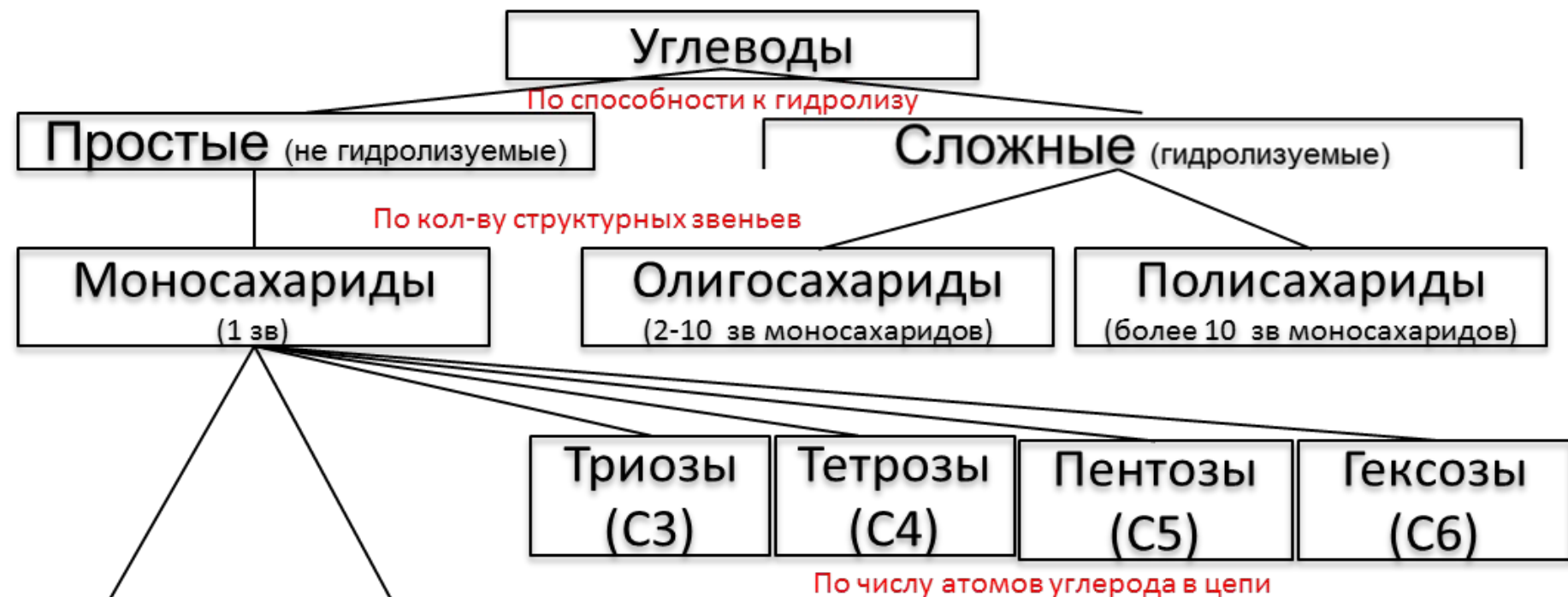
- Клетчатка пищи не расщепляется в кишечнике, но активизирует перистальтику кишечника, ферменты ЖКТ, улучшает пищеварение, усвоение питат. веществ



## СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ

- Обеспечивают специфичность групп крови, выполняют роль антикоагулянтов
- Являются рецепторами ряда гормонов или фармакологических веществ, оказывают противоопухолевое действие

# Классификация углеводов

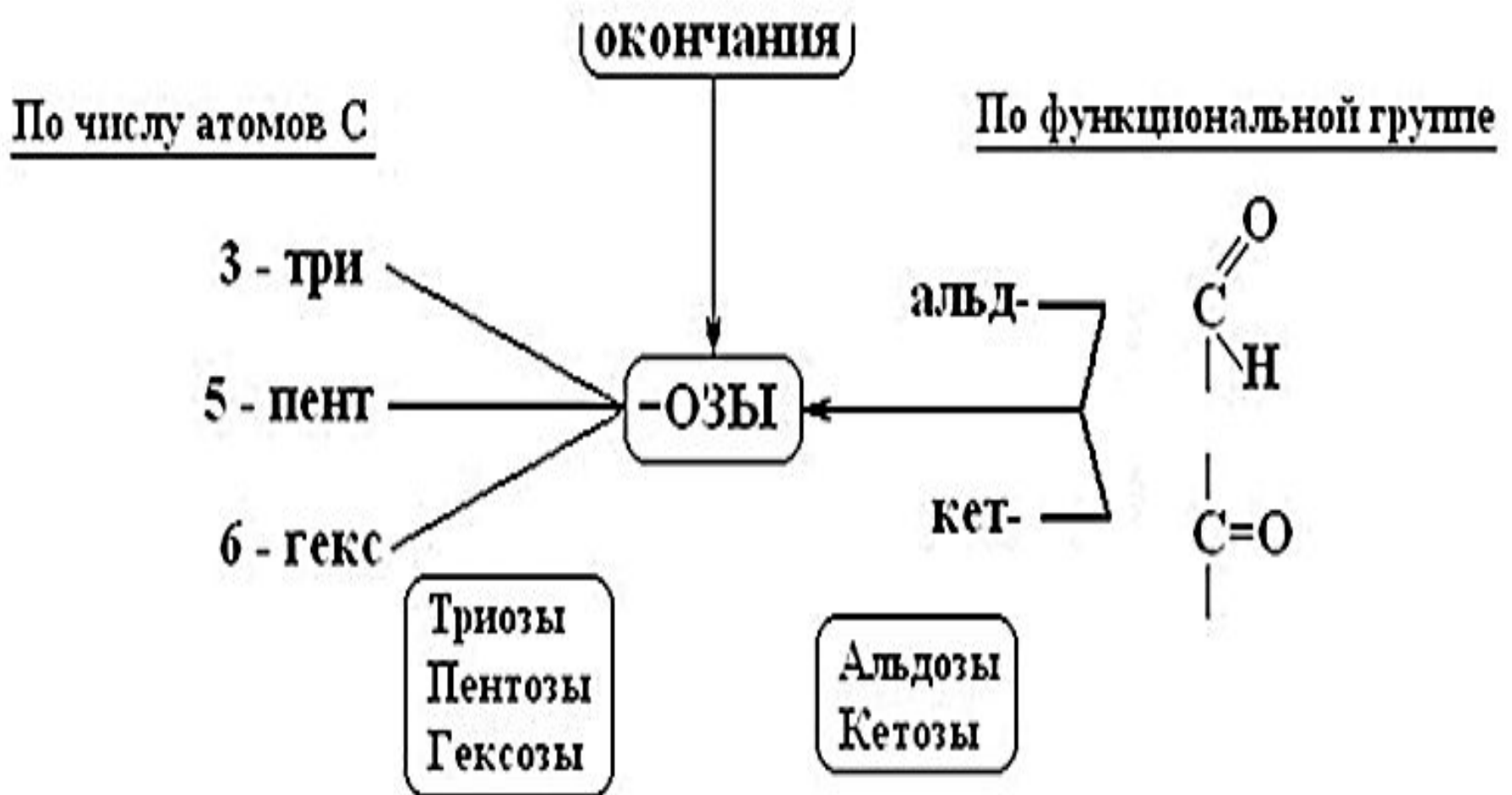


АЛЬДОЗЫ	КЕТОЗЫ
Многоатомный спирт, содержащий альдегидную группу (у C <sub>1</sub> )	Многоатомный спирт, содержащий кетонную группу (у C <sub>2</sub> )
Общая формула:	Общая формула:
$  \begin{array}{c}  \text{H}-\text{C}=\text{O} \\    \\  (\text{H}-\text{C}-\text{OH})_n \\    \\  \text{CH}_2\text{OH}  \end{array}  $	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_2\text{OH} \\    \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  (\text{H}-\text{C}-\text{OH})_{n-1} \\    \\  \text{CH}_2\text{OH}  \end{array}  $
$n = 1, 2, 3, \dots$	

По функциональной (оксо-группе)

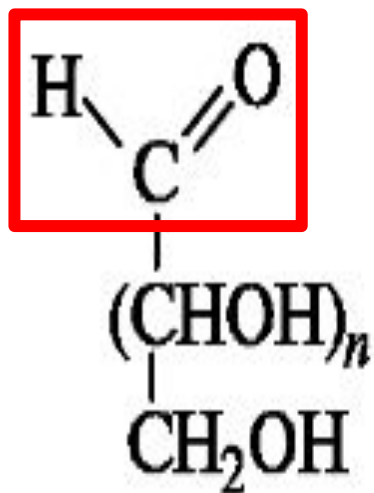
# МОНОСАХАРИДЫ (МОНОЗЫ)

III. Номенклатура с учётом классификации:

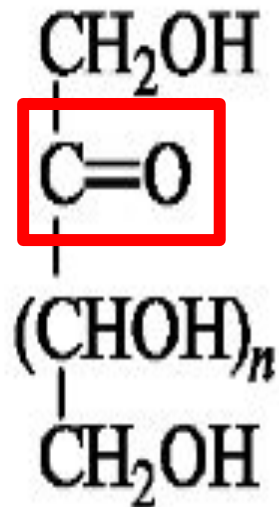


# ОТКРЫТЫЕ ФОРМЫ МОНОСАХАРИДОВ

- Моносахариды (монозы) являются гетерофункциональными соединениями. В молекулах моносахаридов одновременно содержатся **карбонильная** (альдегидная или **кетонная**) и несколько **гидроксильных групп**.



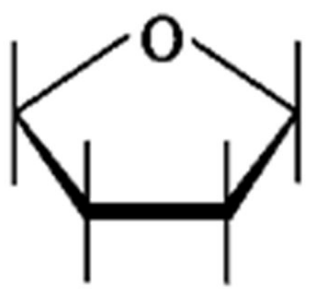

альдозы ( $n = 1-8$ )



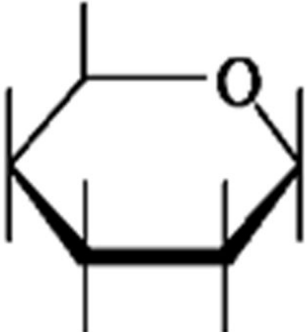
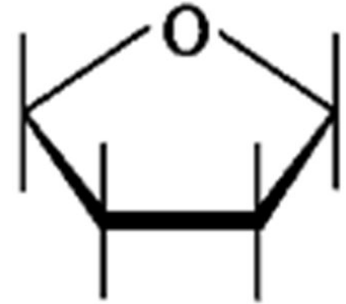
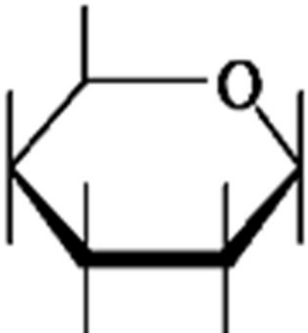
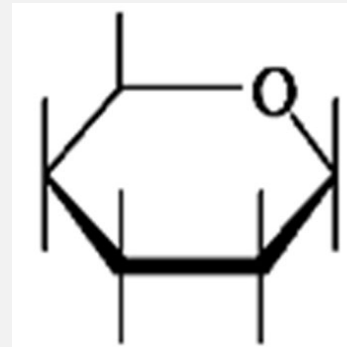
кетозы ( $n = 1-7$ )



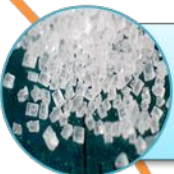
# Важнейшие представители моносахаридов

	Альдозы	Кетозы
Т р и о з ы	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \end{array}$ <p>Глицериновый альдегид (ГА)</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$ <p>Диоксиацетон (ДОА)</p>
П е н т о з ы	$\begin{array}{c} \overset{1}{\text{H}-\text{C}=\text{O}} \\   \\ \overset{2}{\text{H}-\text{C}-\text{OH}} \\   \\ \overset{3}{\text{H}-\text{C}-\text{OH}} \\   \\ \overset{4}{\text{H}-\text{C}-\text{OH}} \\   \\ \overset{5}{\text{H}_2\text{C}-\text{OH}} \end{array}$  <p>Рибоза</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$  <p>Рибулоза</p>

# Важнейшие представители моносахаридов

	Альдозы	Кетозы
Г е к с о з ы	$  \begin{array}{c}  1 \\  \text{H}-\text{C}=\text{O} \\    \\  2 \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  3 \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  4 \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  5 \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  6 \\  \text{H}_2\text{C}-\text{OH}  \end{array}  $  <p>Глюкоза</p>	$  \begin{array}{c}  1 \\  \text{CH}_2-\text{OH} \\    \\  2 \\  \text{C}=\text{O} \\    \\  3 \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  4 \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  5 \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  6 \\  \text{H}_2\text{C}-\text{OH}  \end{array}  $  <p>Фруктоза</p>
	$  \begin{array}{c}  \text{H}-\text{C}=\text{O} \\    \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2\text{OH}  \end{array}  $  <p>Галактоза</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <math display="block">  \begin{array}{c}  \text{H}-\text{C}=\text{O} \\    \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  \text{HO}-\text{C}-\text{H} \\    \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\    \\  \text{CH}_2\text{OH}  \end{array}  </math>  <p>Манноза</p> </div>

# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОСАХАРИДОВ



Представляют собой **кристаллы** (твердые, бесцветные вещества), хорошо растворимые в воде



**Гигроскопичны**, легко образуют сиропы



Не растворимы в эфире, плохо растворимы в спирте



Все **сладкие на вкус** (фруктоза в 3 раза слаще глюкозы)



**Мутаротация и оптическая активность**



**Изомерия** (оптическая и геометрическая)

# Изомерия

$\sigma$ -диастереомерия возникает в молекулах с 2 и более центрами хиральности.

$\sigma$ -Диастереомеры – оптические изомеры, не являющиеся зеркальным изображением друг друга.

## Оптическая

Оптические (зеркальные изомеры):

D- и L-изомеры

## Энантиомеры

поворачивают плоскость поляризации луча света на одинаковый, но противоположный угол

## Геометрическая

Геометрические изомеры

## Диастереомеры

изомеры различаются по оптической активности

глюкоза и манноза

## Эпимеры

отличаются друг от друга по конфигурации не всех асимметрических углеродов (только одного хирального центра)

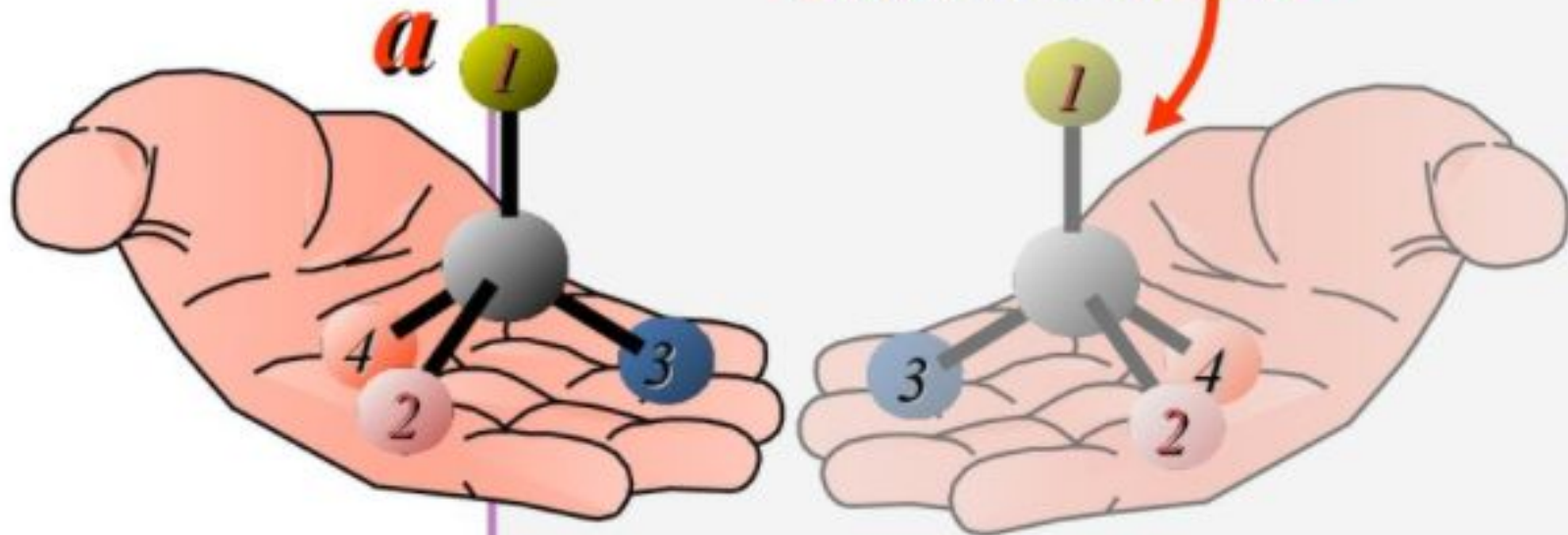
$\alpha$ -,  $\beta$ -  
изомеры

## Аномеры

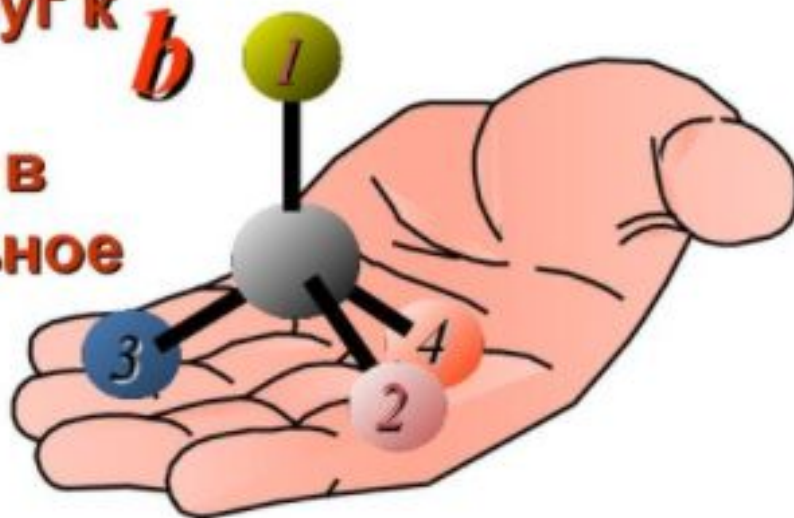
Данный вид изомерии характерен только для циклических углеводов



## Энанτιомеры

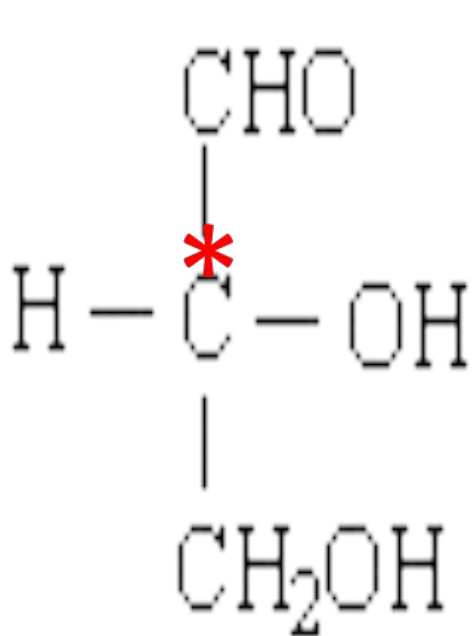


Энанτιомеры – это изомеры, которые относятся друг к другу как предмет и несовместимое с ним в пространстве зеркальное отражение.

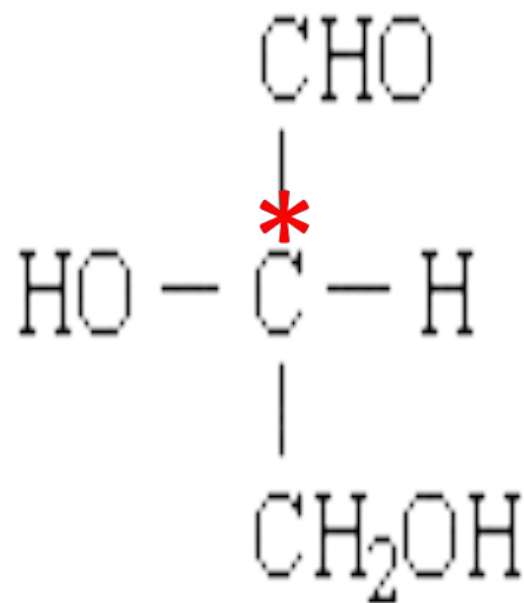


Для обозначения стереохимии используется **D,L-система**. Отнесение моносахарида к D- или L-ряду проводят по конфигурации асимметричного атома углерода, наиболее удаленного от оксогруппы, *независимо от конфигурации остальных центров!*

**Конфигурационным стандартом** выступает – **глицериновый альдегид**



D-глицеральдегид

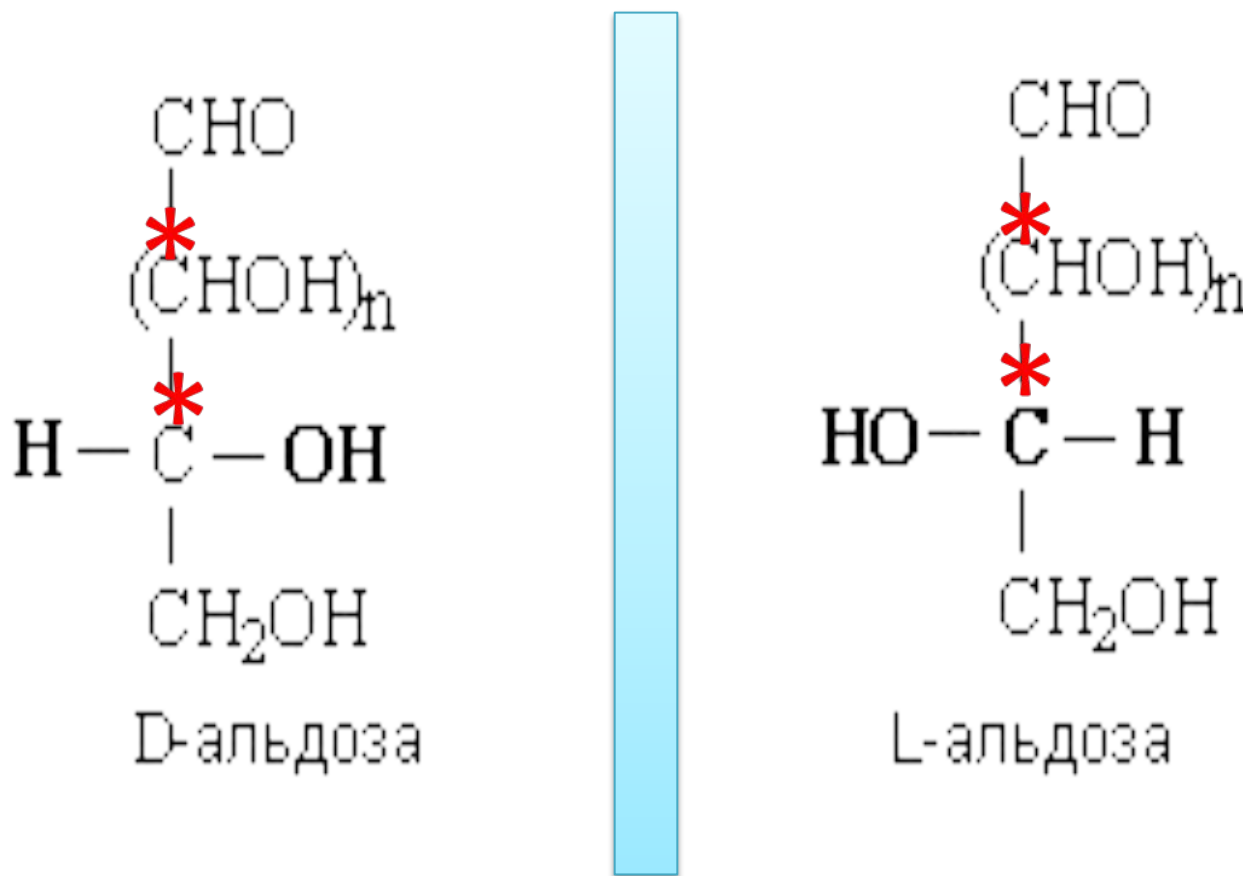


L-глицеральдегид

**Энанτιοмеры**

# Стереоизомерия альдоз

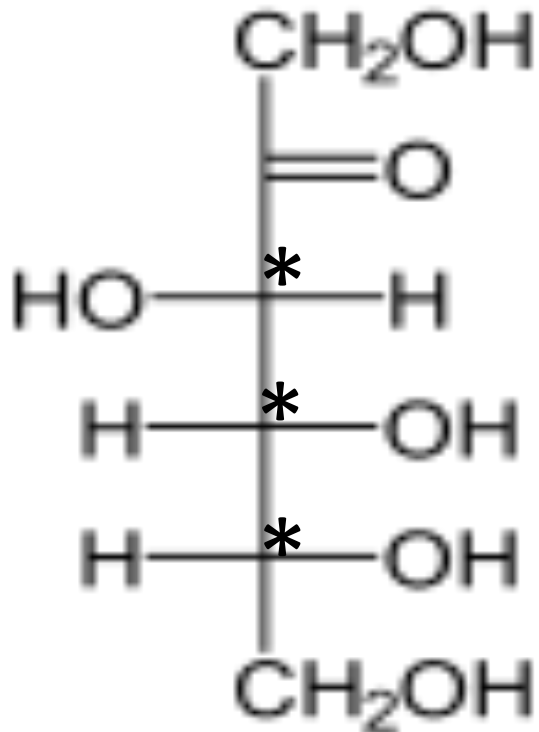
(моносахариды, содержащие в качестве функциональной группы альдегидную группу)



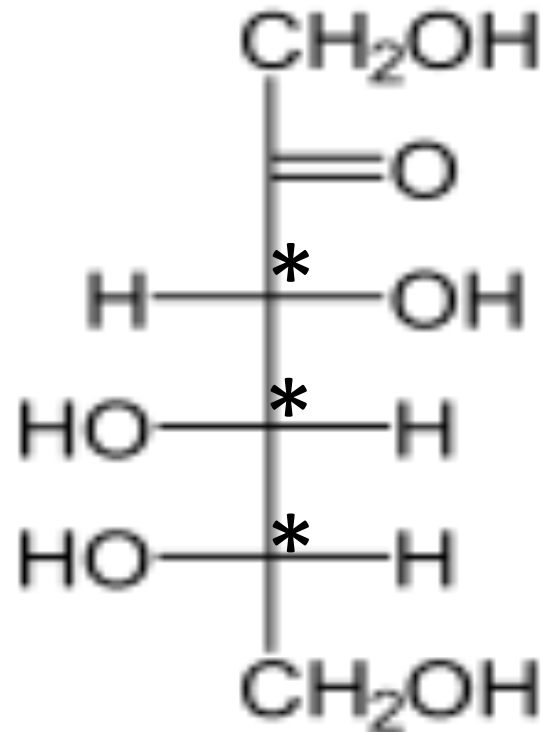
Энанτιомеры

# Стереοизомерия кетоз

(моносахариды, содержащие в качестве функциональной группы **кетонную группу**)



D-Fructose



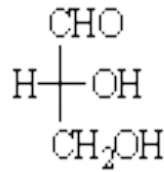
L-Fructose

Энанτιοмеры

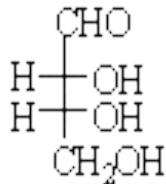


# Природные углеводы являются стереоизомерами D-ряда

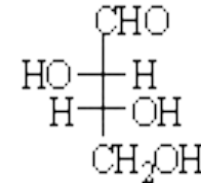
Семейство D-альдоз



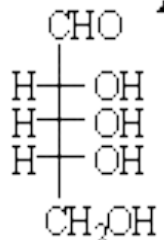
D-глицеральдегид



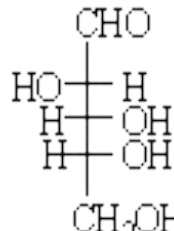
D-эритроза



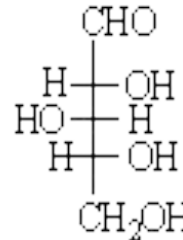
D-треоза



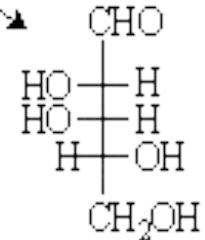
D-рибоза



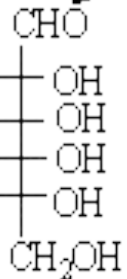
D-арабиноза



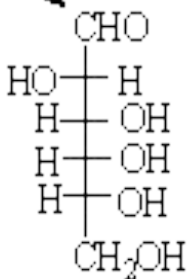
D-ксилоза



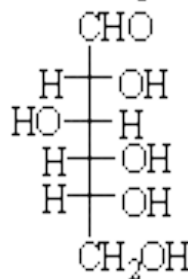
D-ликсоза



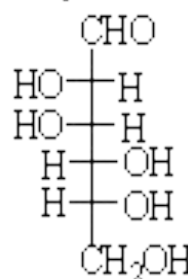
D-аллоза



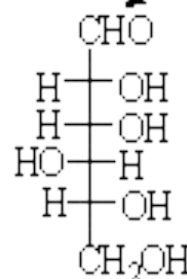
D-альтроза



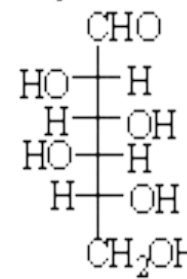
D-глюкоза



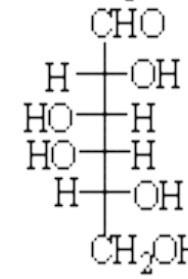
D-манноза



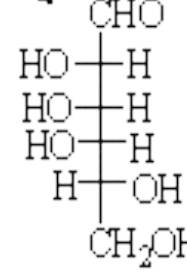
D-гулоза



D-идоза



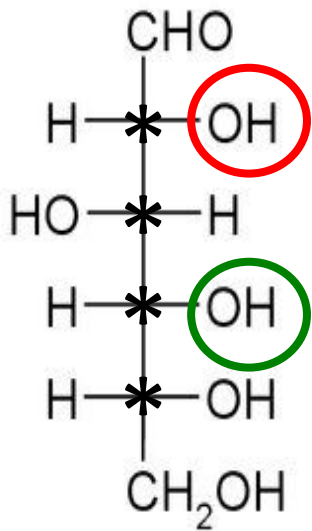
D-галактоза



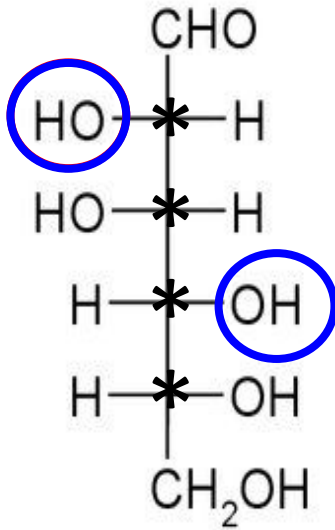
D-талоза

эпимеры

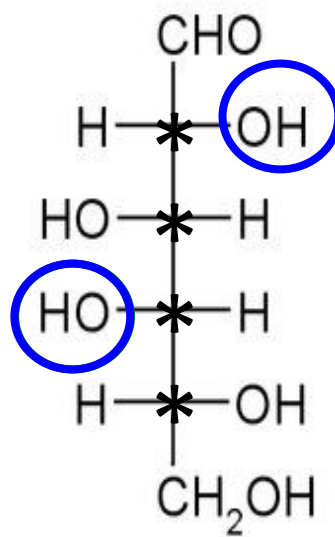
диастереомеры,  
но не эпимеры



D-глюкоза



D-манноза



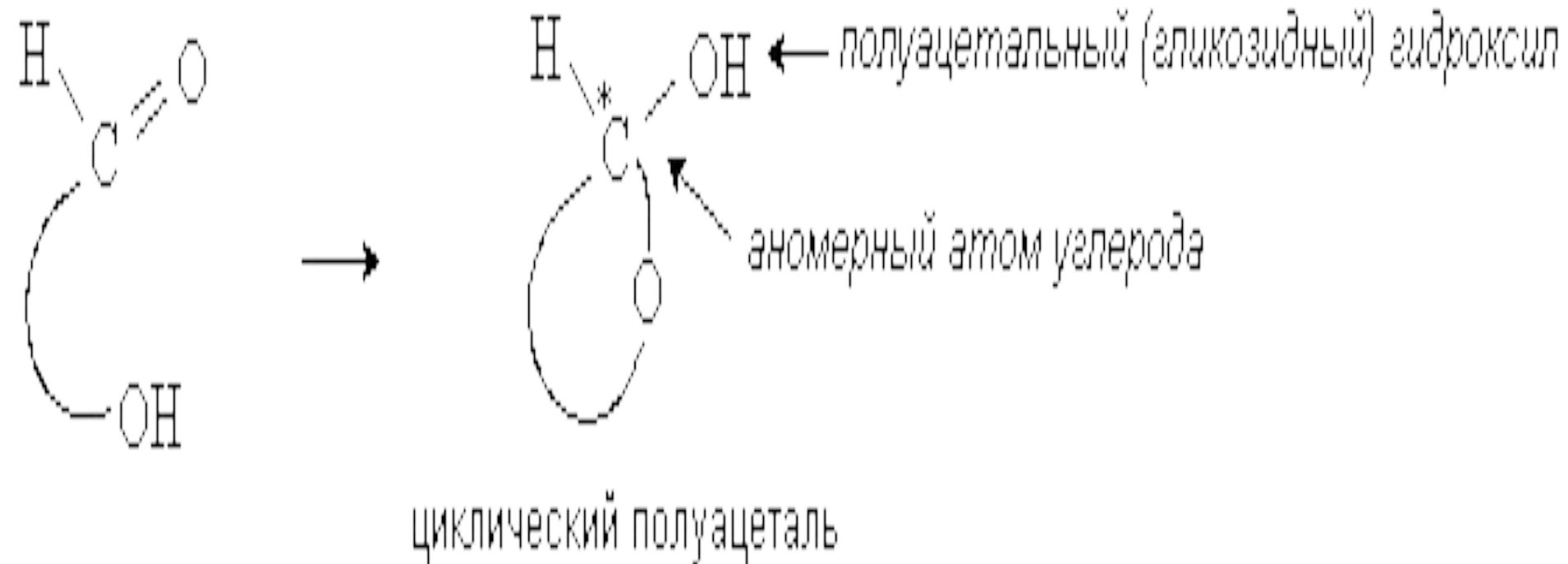
D-галактоза

4-эпимеры

***σ-Диастереомеры***  
***углеводов,***  
***различающиеся***  
***конфигурацией***  
***только одного***  
***центра***  
***хиральности,***  
***называются***  
***эпимерами.***

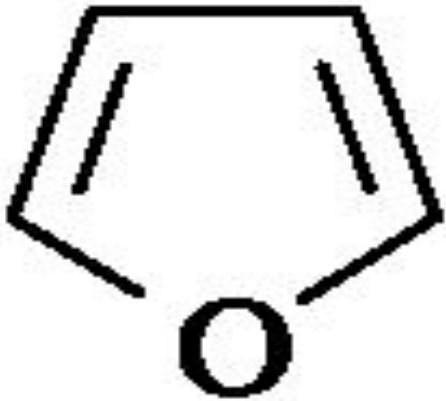
# ЦИКЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

- В действительности моносахариды по строению являются *циклическими полуацетальми*. Образование циклических форм моносахаридов можно представить как результат внутримолекулярного взаимодействия карбонильной и гидроксильной групп, содержащихся в молекуле моносахарида.

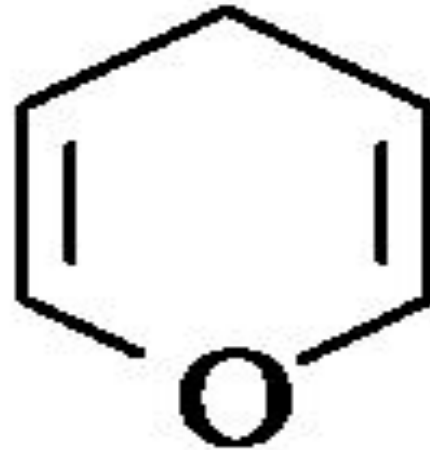


Полуацетальную гидроксильную группу в химии углеводов называют *гликозидной*

В результате циклизации образуются термодинамически устойчивые **фуранозные** (пятичленные) и **пиранозные** (шестичленные) циклы.



**фуран**



**пиран**

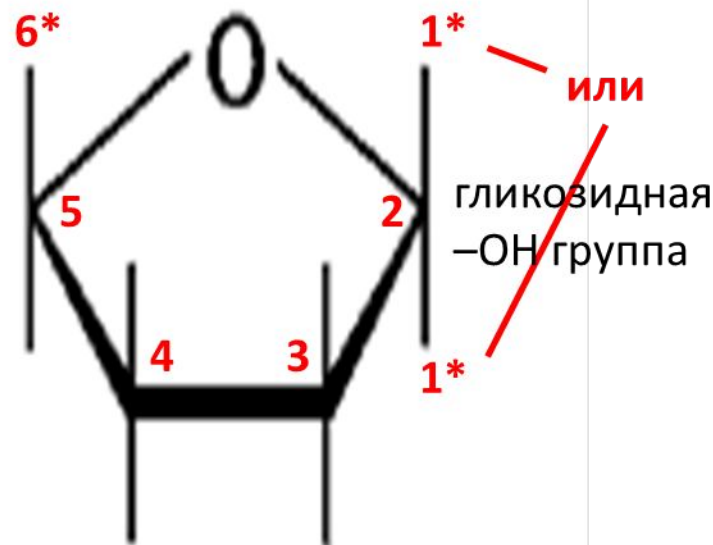


## ФОРМУЛЫ ХЕУОРСА (ХЕВОРСА)

Циклические формы моносахаридов изображают в виде **формул Хеуорса**, в которых циклы показывают в виде плоских многоугольников, лежащих перпендикулярно плоскости рисунка. Атом кислорода располагают в пиранозном цикле в дальнем правом углу, в фуранозном - за плоскостью цикла. Символы атомов углерода в циклах не указывают.



пиранозный цикл



фуранозный цикл

# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ (кольчато-цепная таутомерия)

Существование в растворе 5 таутомерных форм:

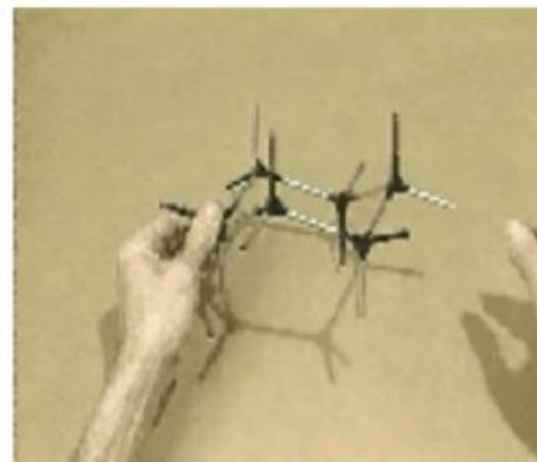
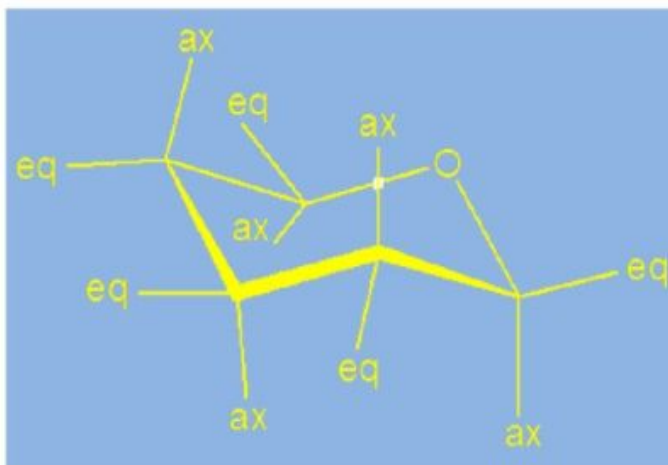
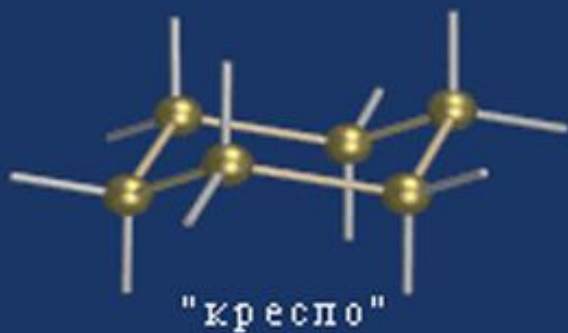
-одна ациклическая (Фишера)

-четыре циклических (Хеуорса) – две

пиранозных и дв

## Конформации молекул моносахаридов

В реальности пиранозные формы принимают конформацию кресло – наиболее энергетически выгодную в случае шестичленных циклов.



# Правила формирования циклической формы

## Альдозы:

- пиранозная форма – C5 атакует C1;
- фуранозная форма – C4 атакует C1

## Кетозы:

- пиранозная форма – C6 атакует C2;
- фуранозная форма – C5 атакует C2

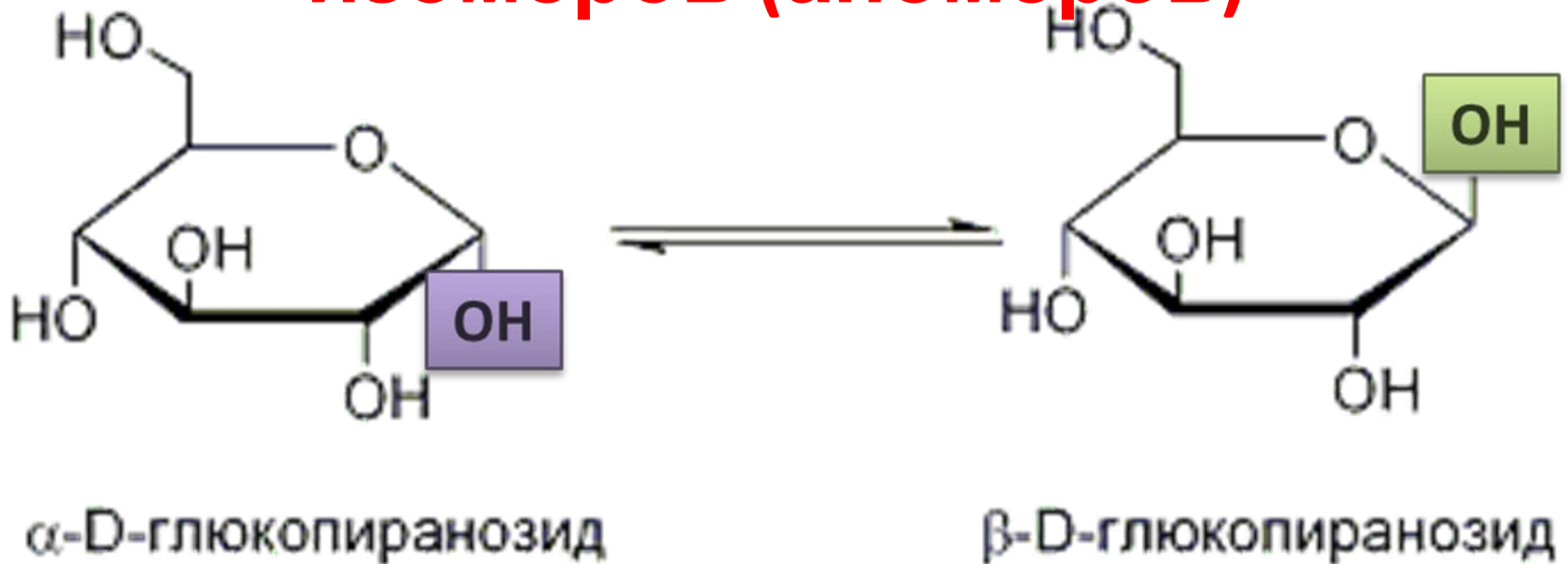
**Почти во всех случаях** (за исключением групп рядом с атомами углерода, которые участвуют в циклизации - там происходят перестановки групп)

группы, находившиеся **СПРАВА**, оказываются **ПОД КОЛЬЦОМ**;  
находившиеся **СЛЕВА**, оказываются **НАД КОЛЬЦОМ**

Гликозидный гидроксил подвергается мутаротации:

- **$\alpha$ -аномер** - гликозидный гидроксил **ПОД КОЛЬЦОМ**;
- **$\beta$ -аномер** - гликозидный гидроксил **НАД КОЛЬЦОМ**

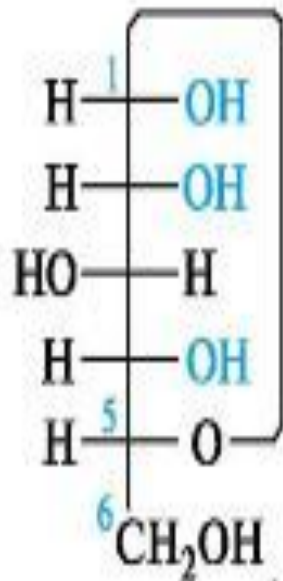
# Мутаротация - взаимопревращения $\alpha$ - и $\beta$ - изомеров (аномеров)



(от лат. *muto*-изменяю и *rotatio* - вращение), самопроизвольное изменение величины оптического вращения свежеприготовленных растворов оптически активных соединений. Характерна для моносахаридов, восстанавливающих

# ПРИМЕР ПЕРЕХОДА ОТКРЫТОЙ ФОРМЫ В ЦИКЛИЧЕСКУЮ ФОРМУЛУ ХЕУОРСА У АЛЬДОЗ (на примере d-глюкозы)

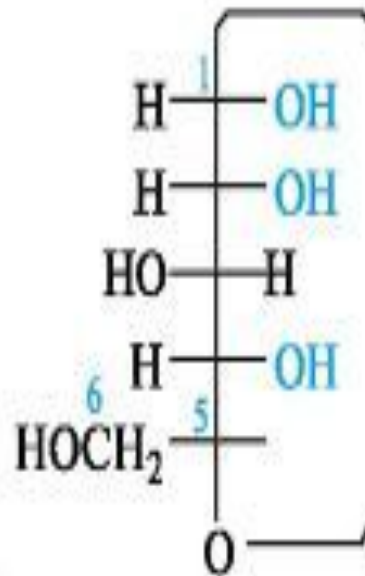
## $\alpha$ -D-ГЛЮКОПИРАНОЗА



формулы Фишера

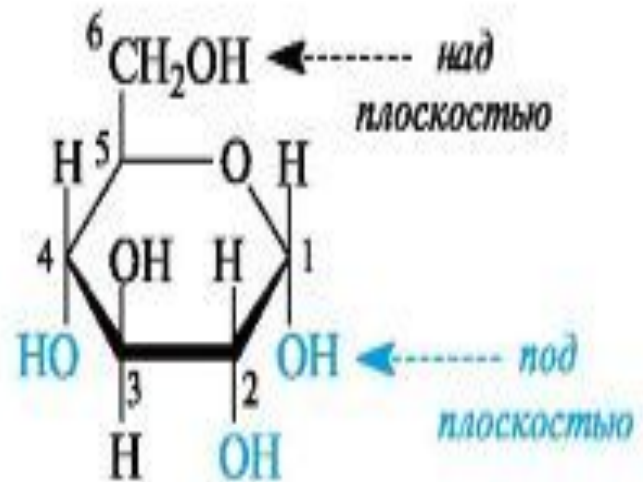
(обычная форма)

≡

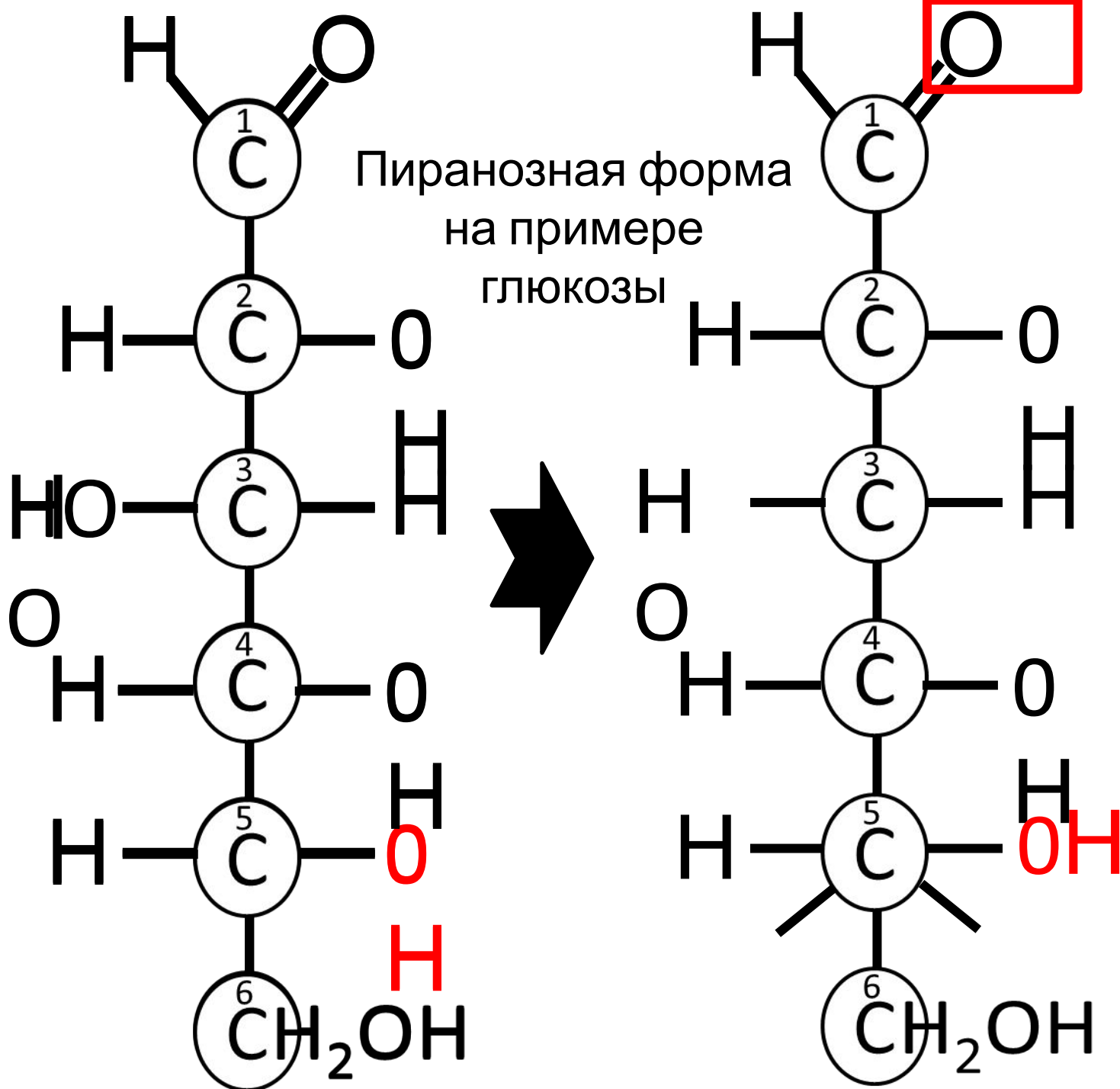


(после двух перестановок при C-5)

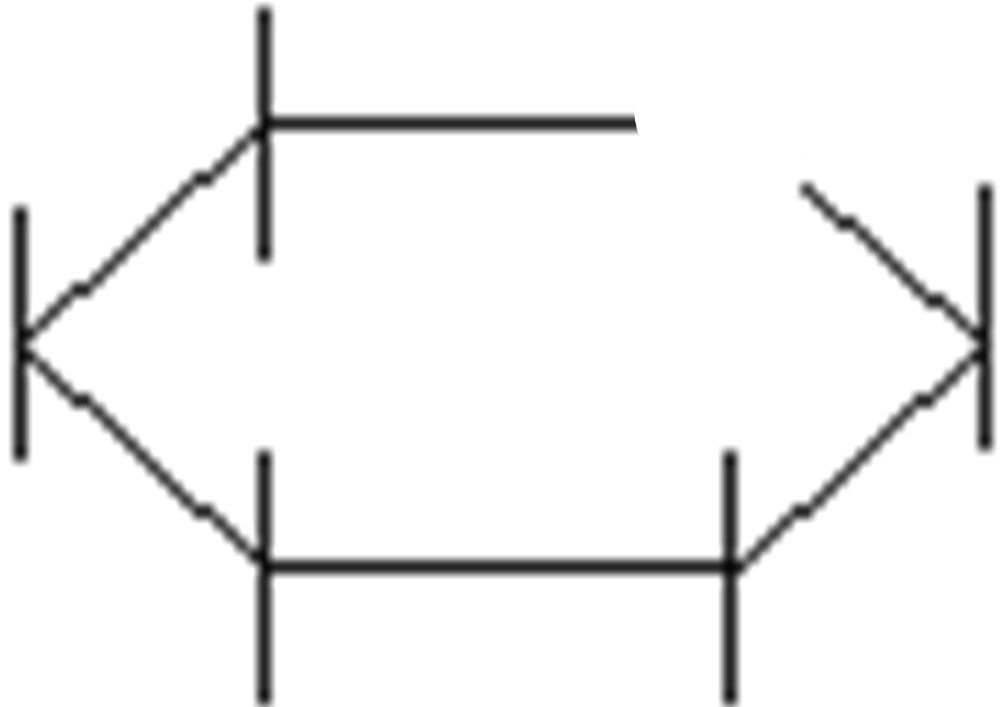
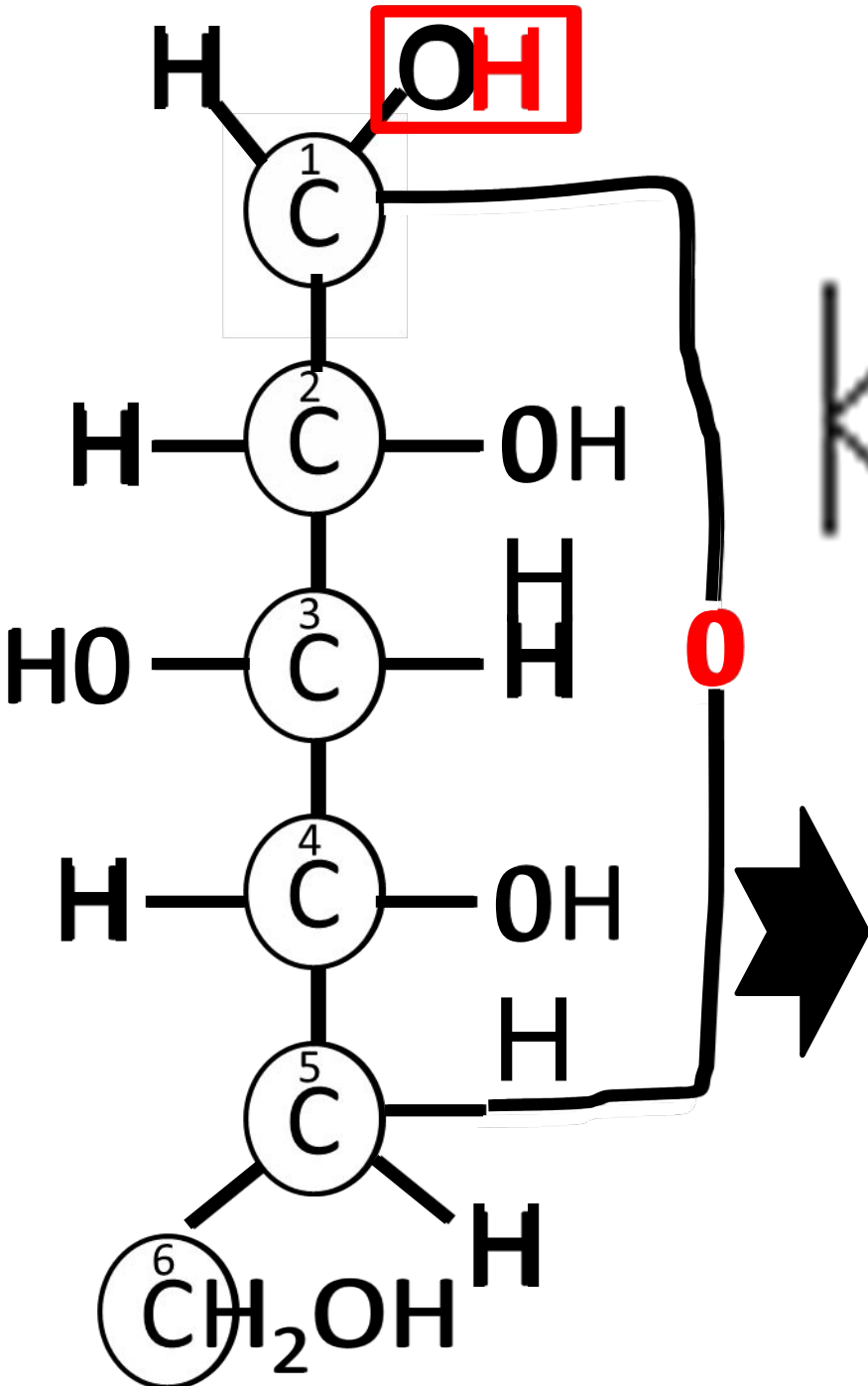
≡

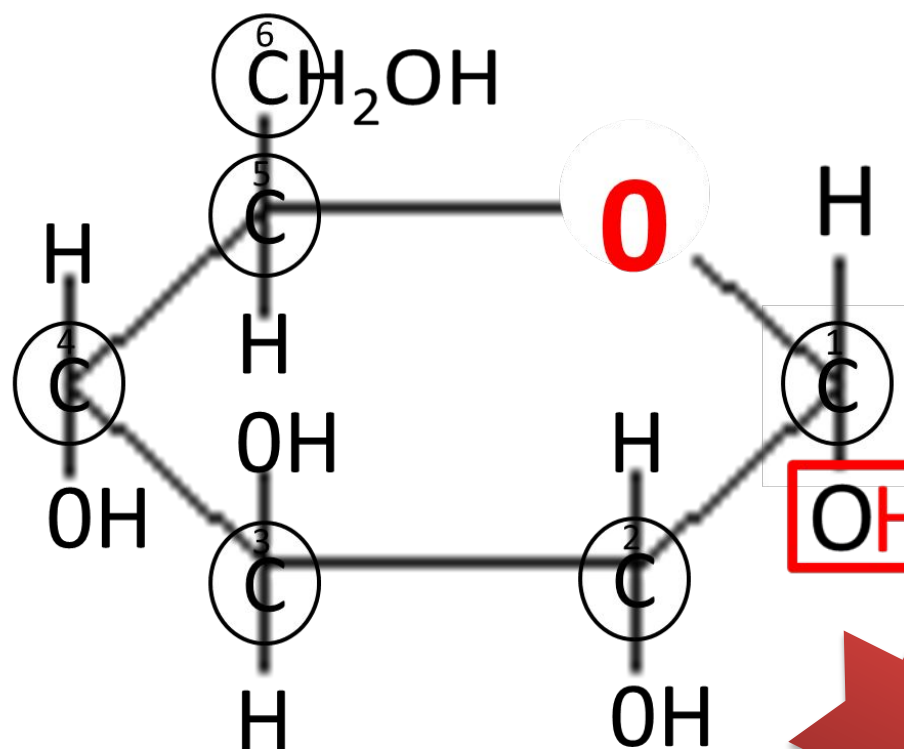


формула Хеуорса



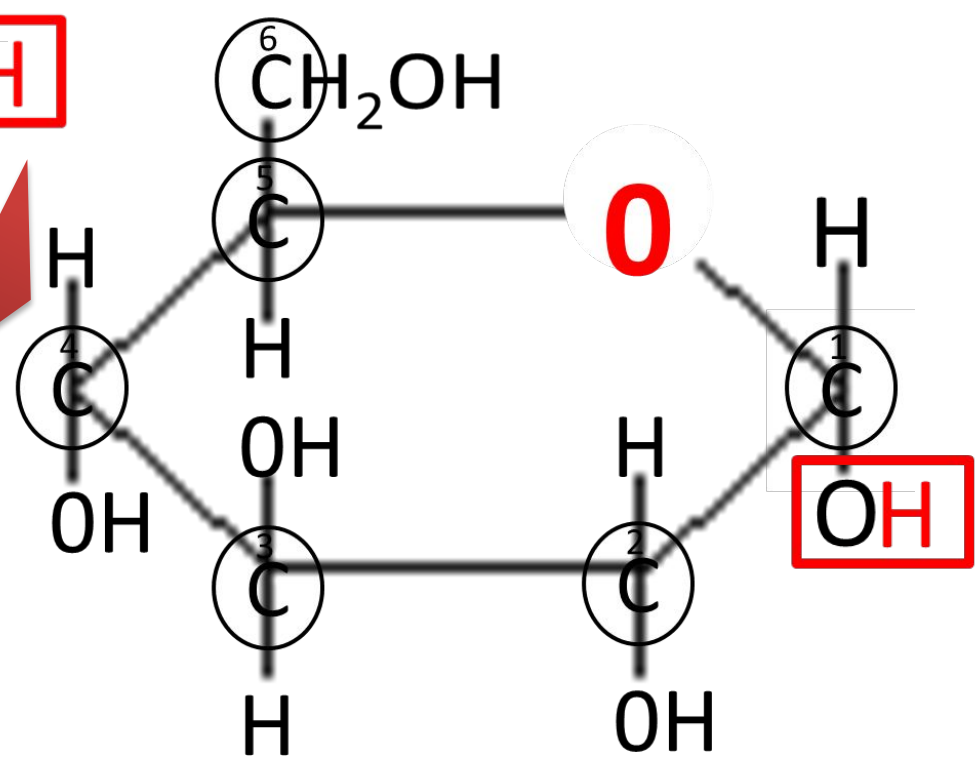




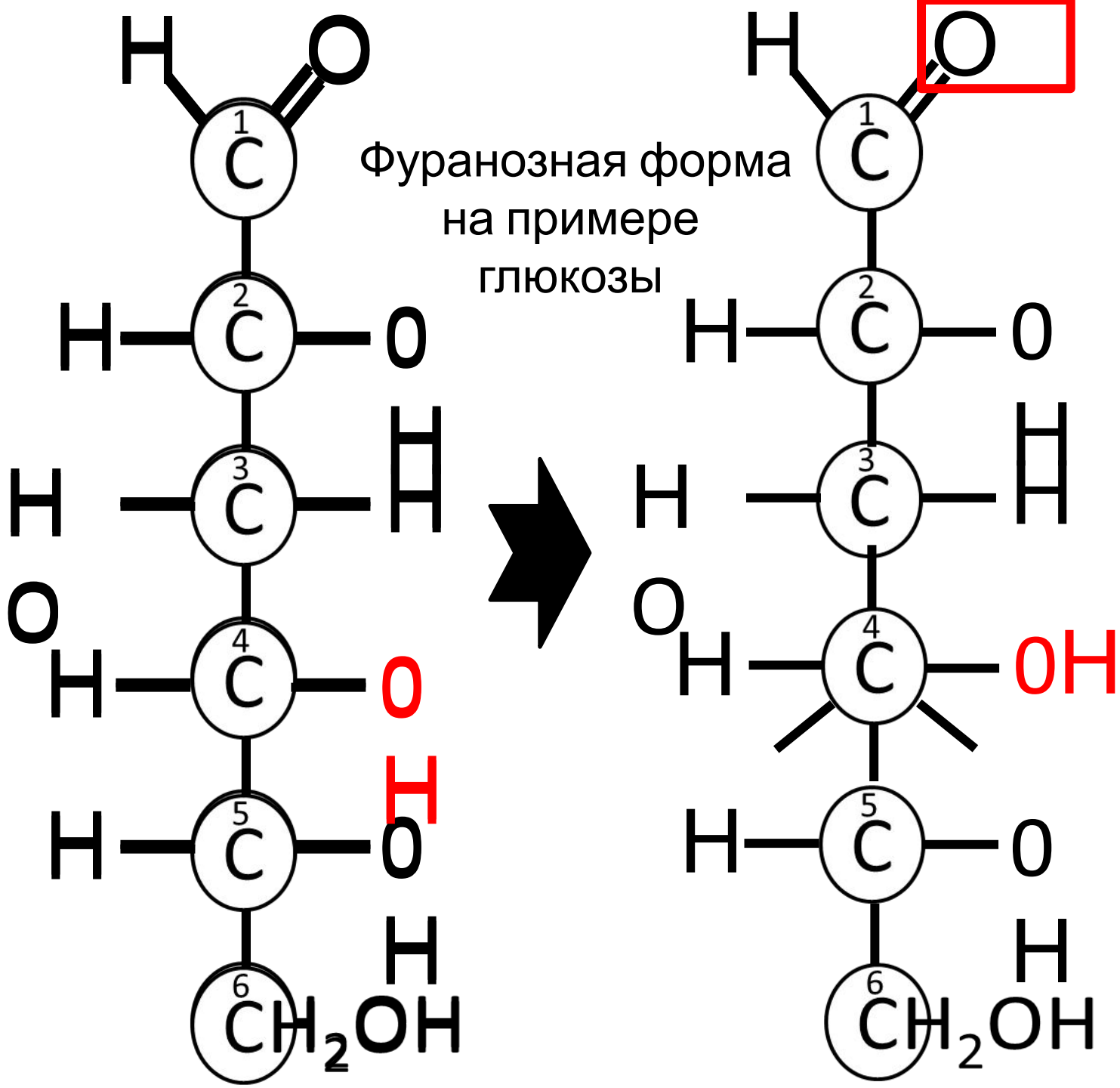


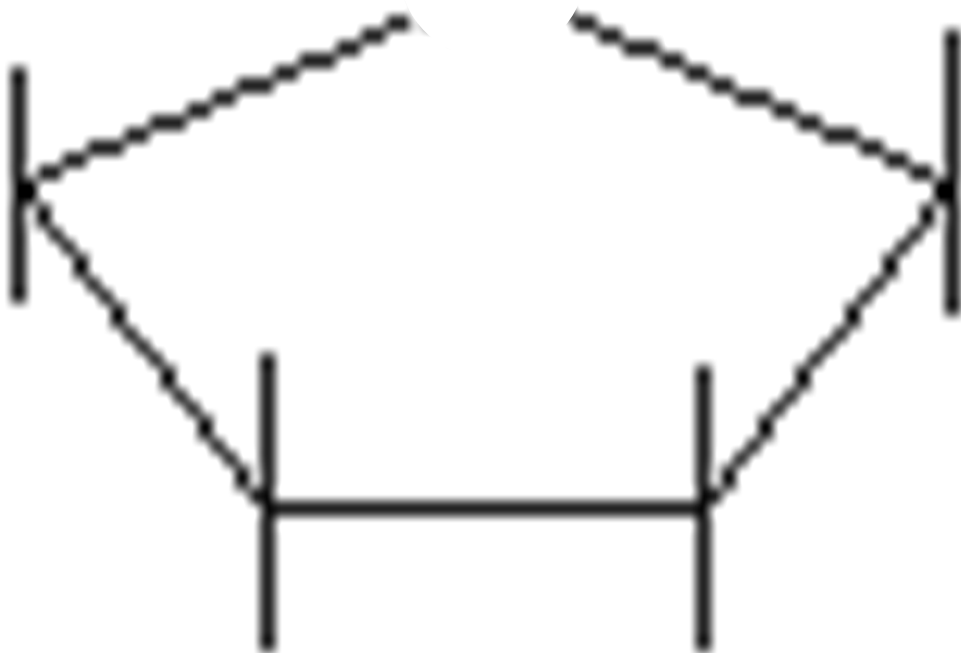
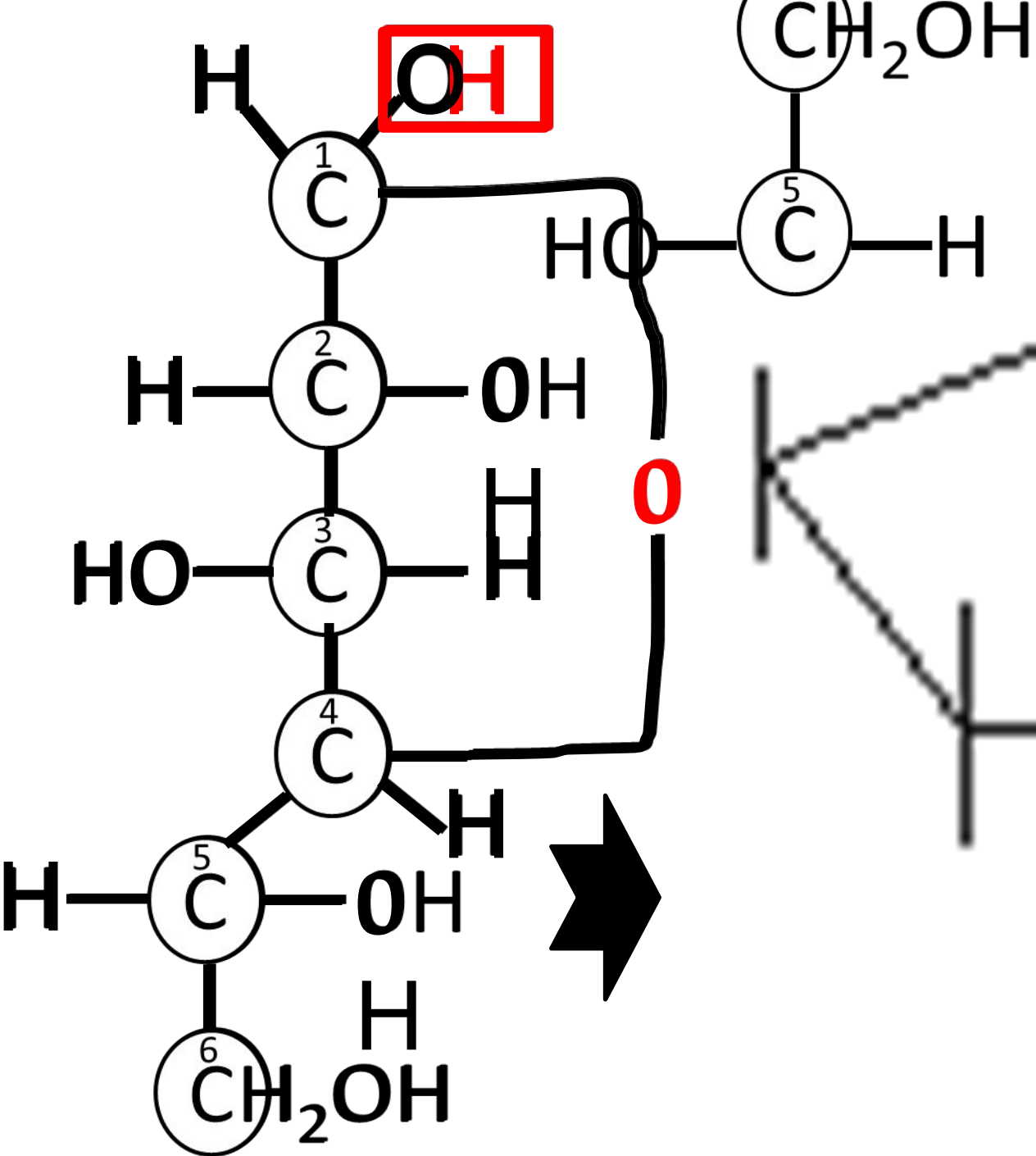
$\alpha$ -D-глюкопираноза  
( $\alpha$ -D-глюкоза)

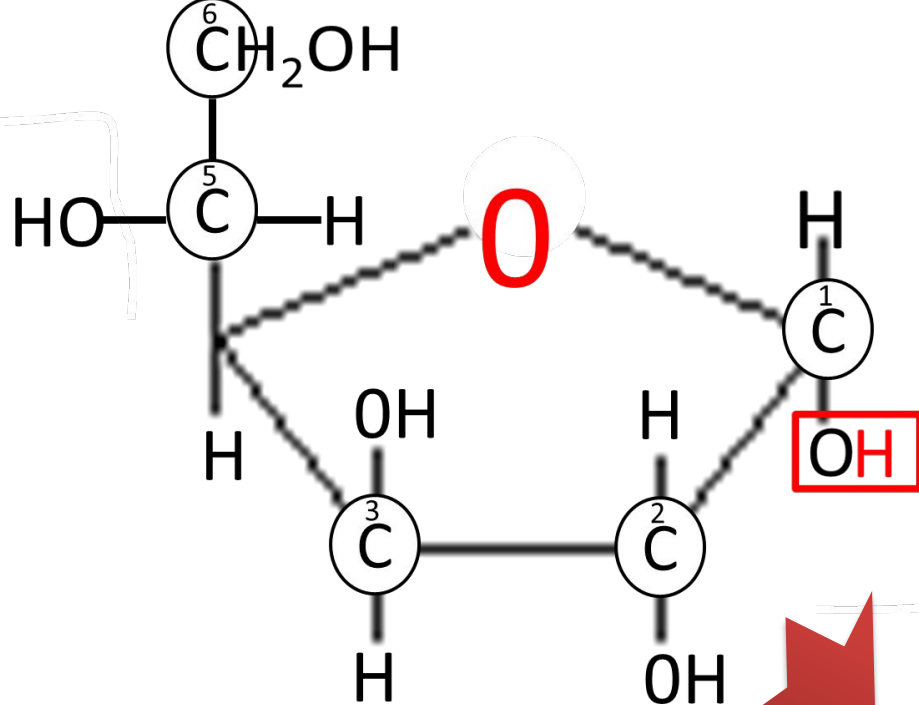
*мутаротация*



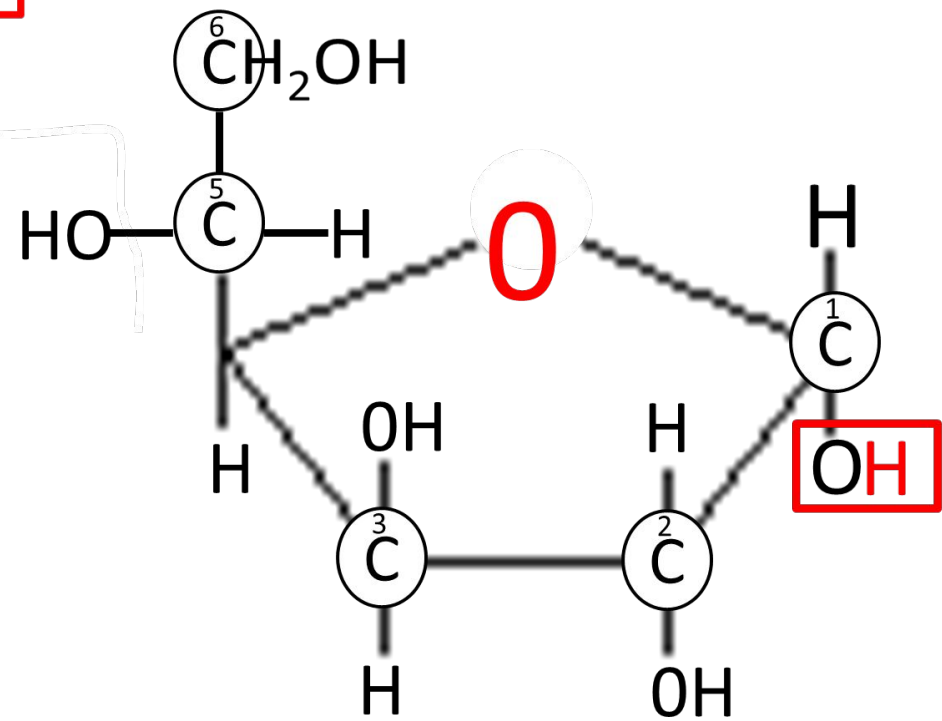
$\beta$ -D-глюкопираноза  
( $\beta$ -D-глюкоза)





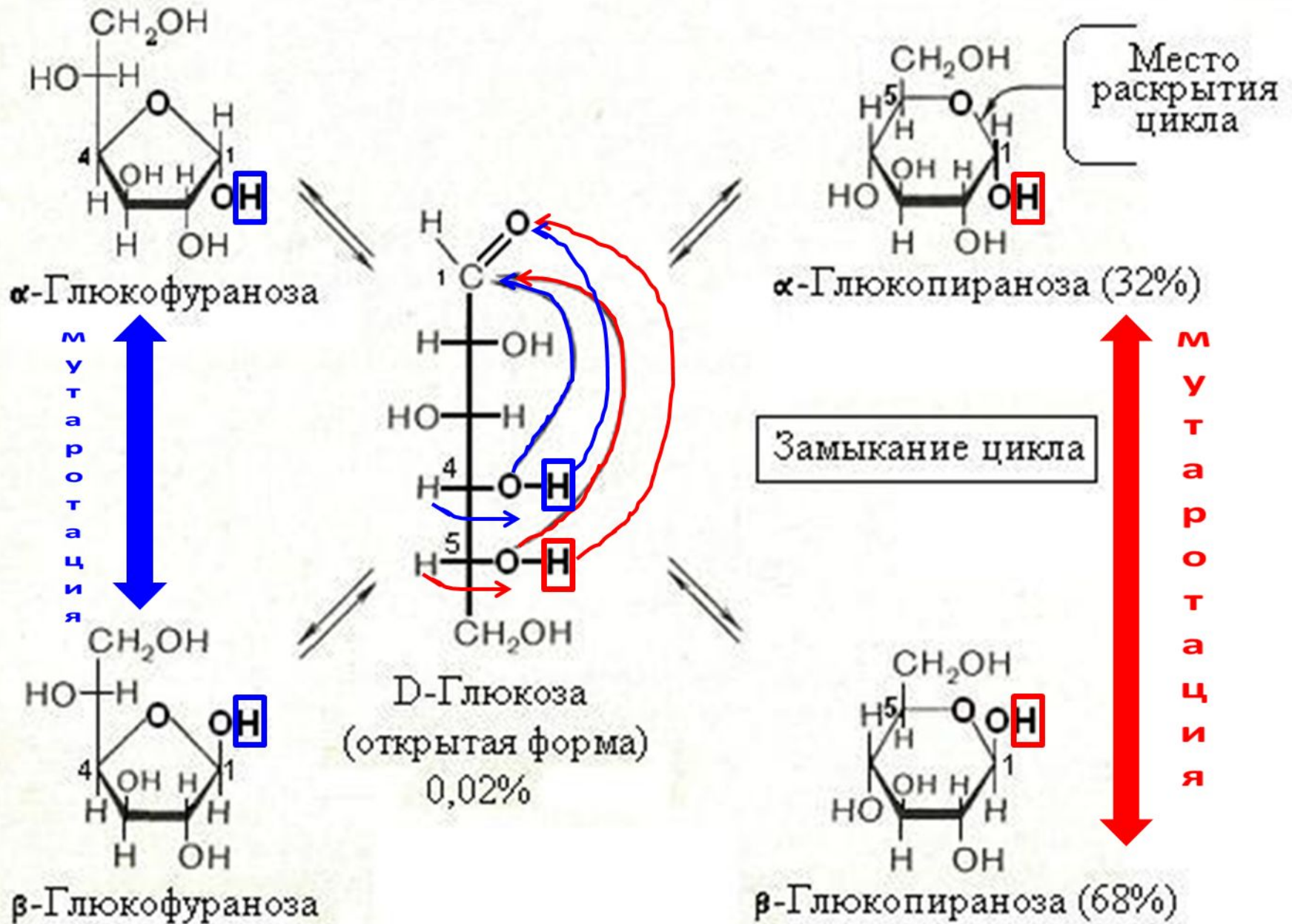


мутаротация

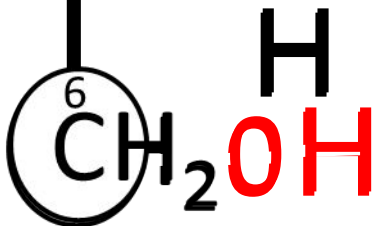
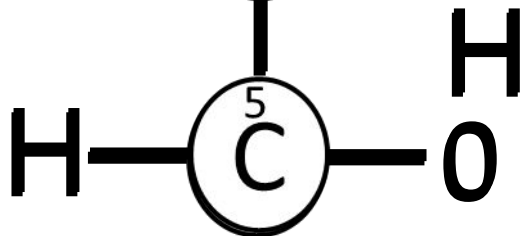
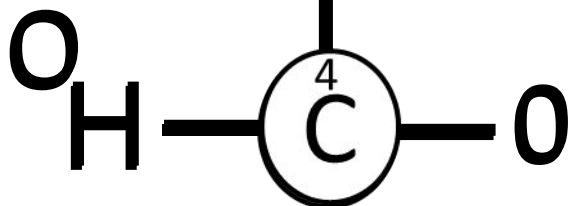
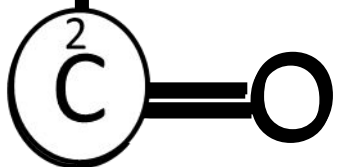


$\beta$ -D-  
глюкофураноза

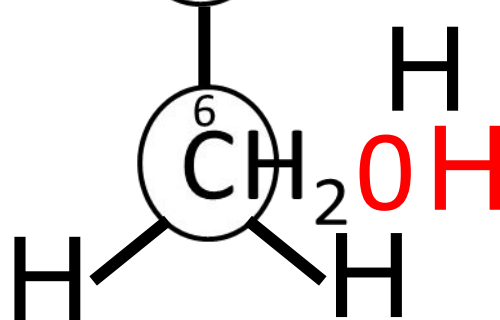
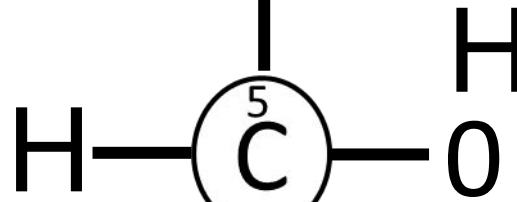
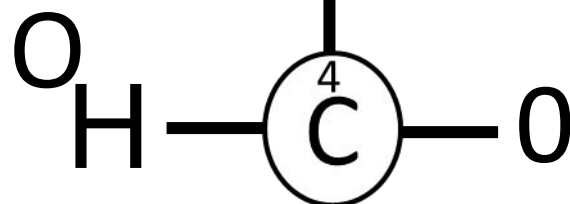
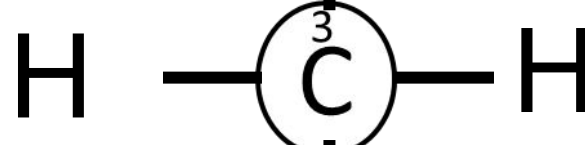
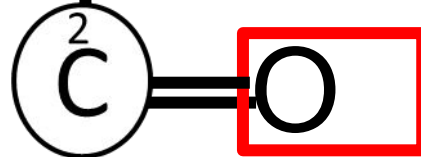
# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ глюкозы

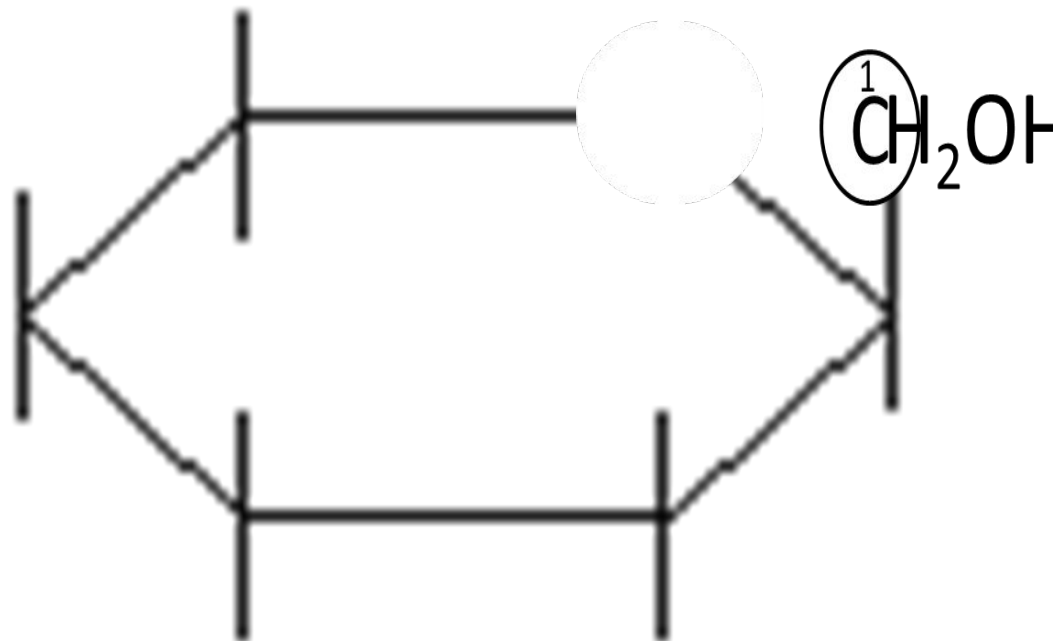
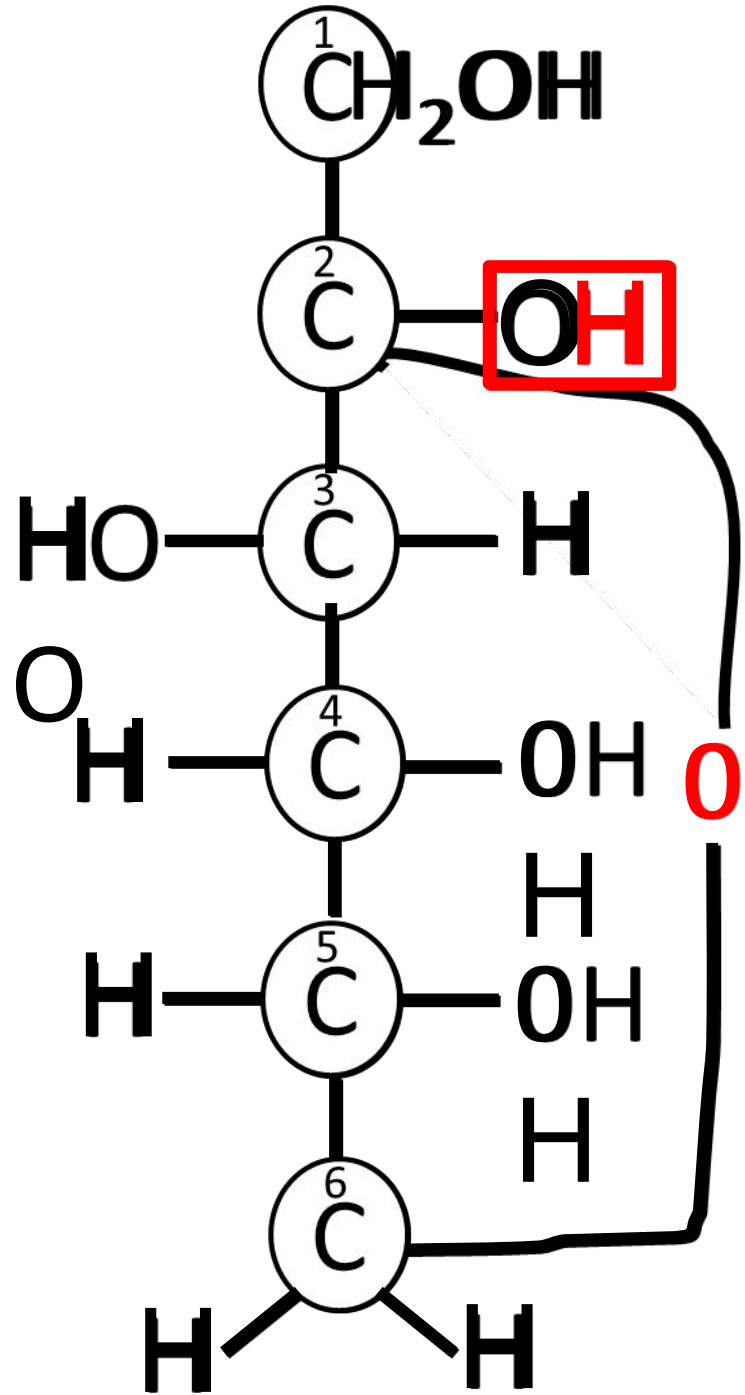


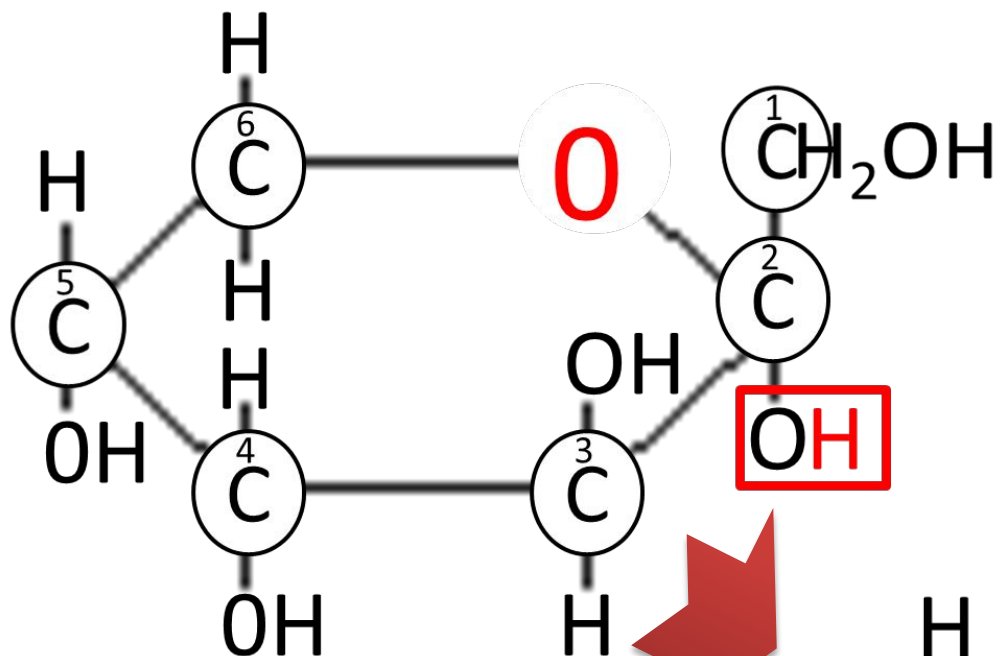




Пиранозная форма  
на примере  
фруктозы

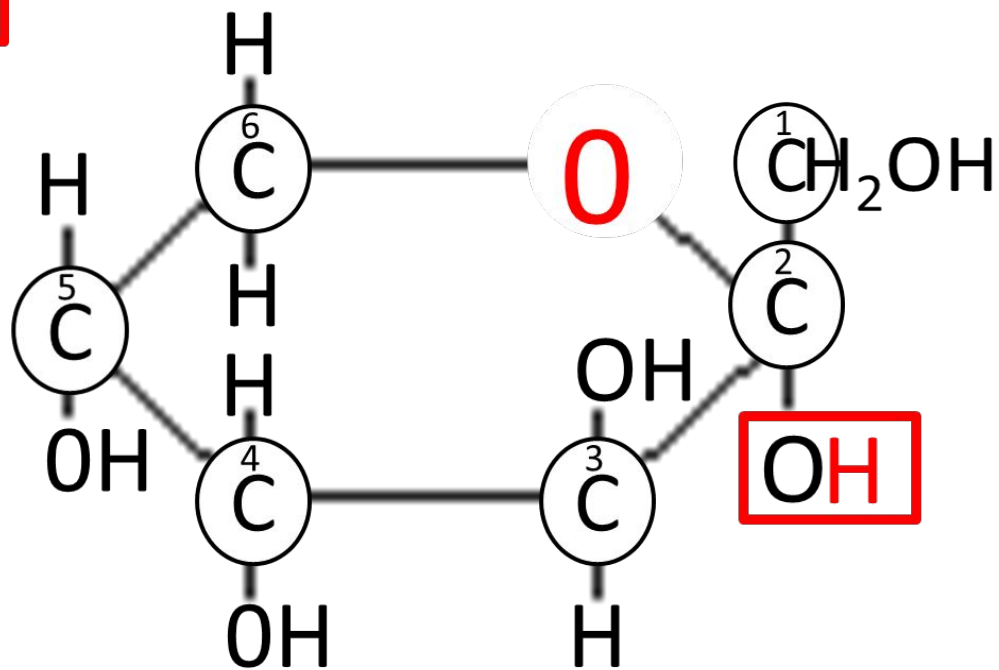




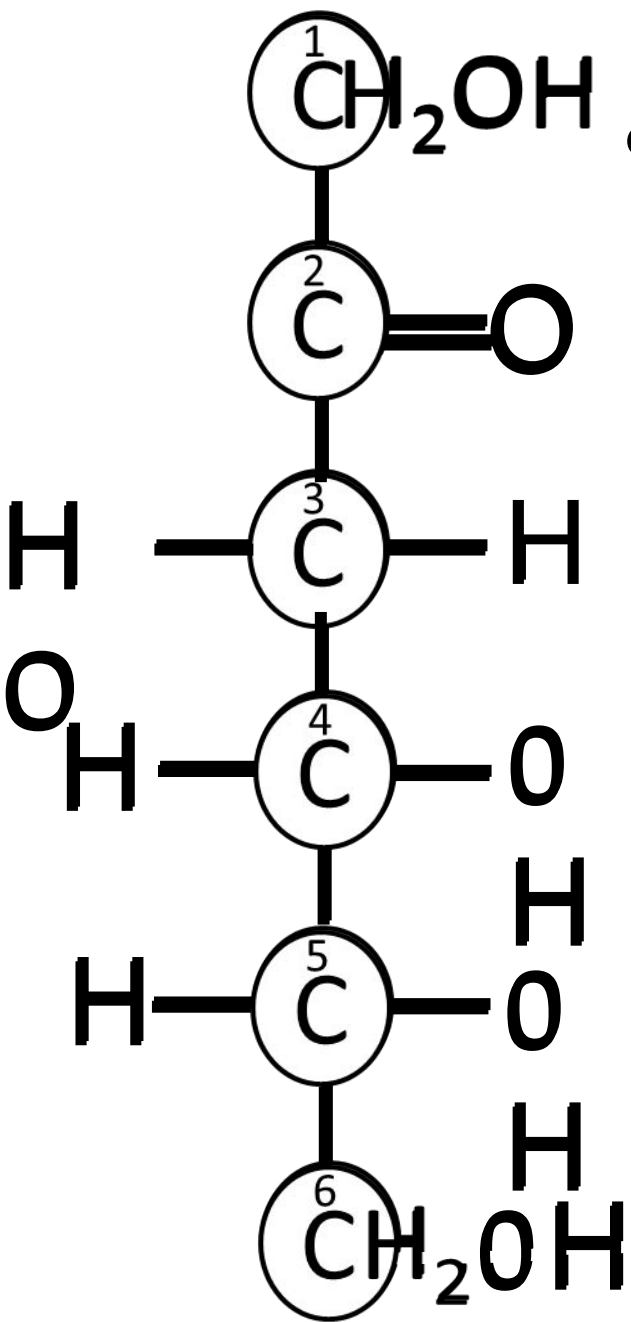


$\alpha$ -D-  
фруктопираноза

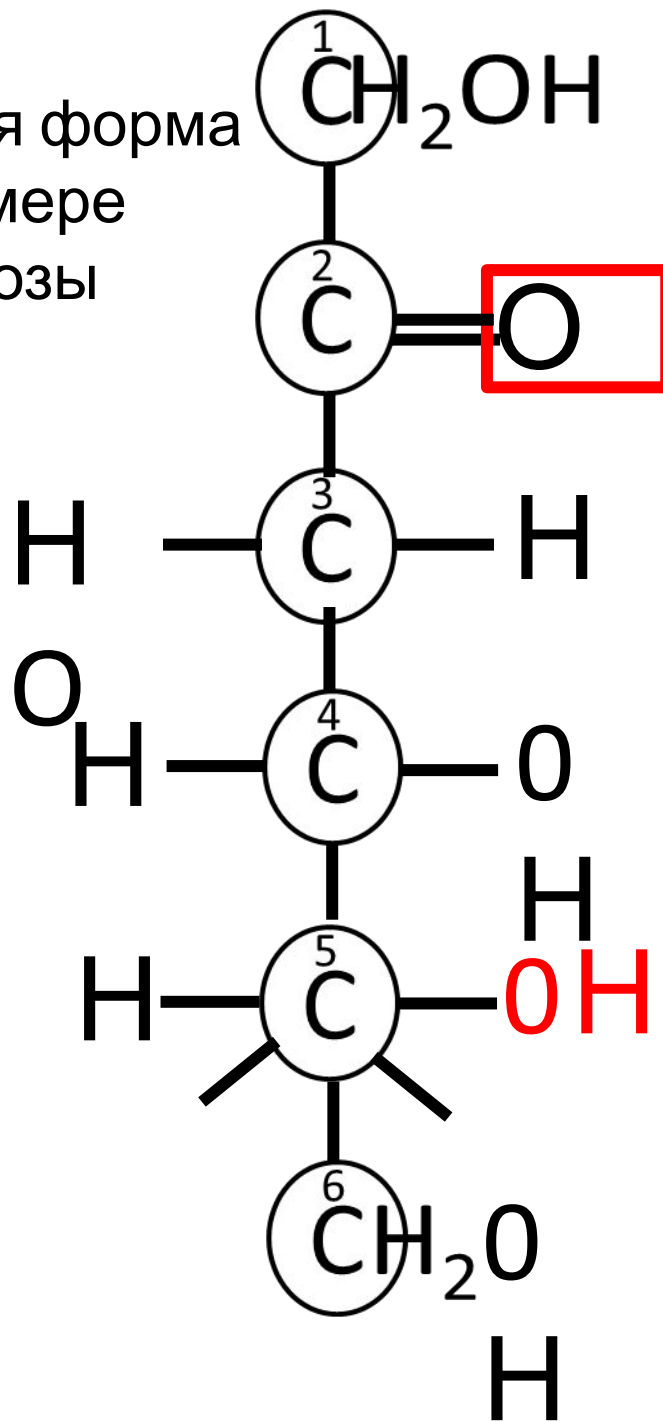
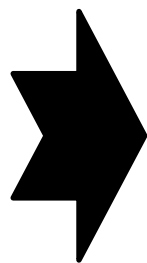
мутаротация

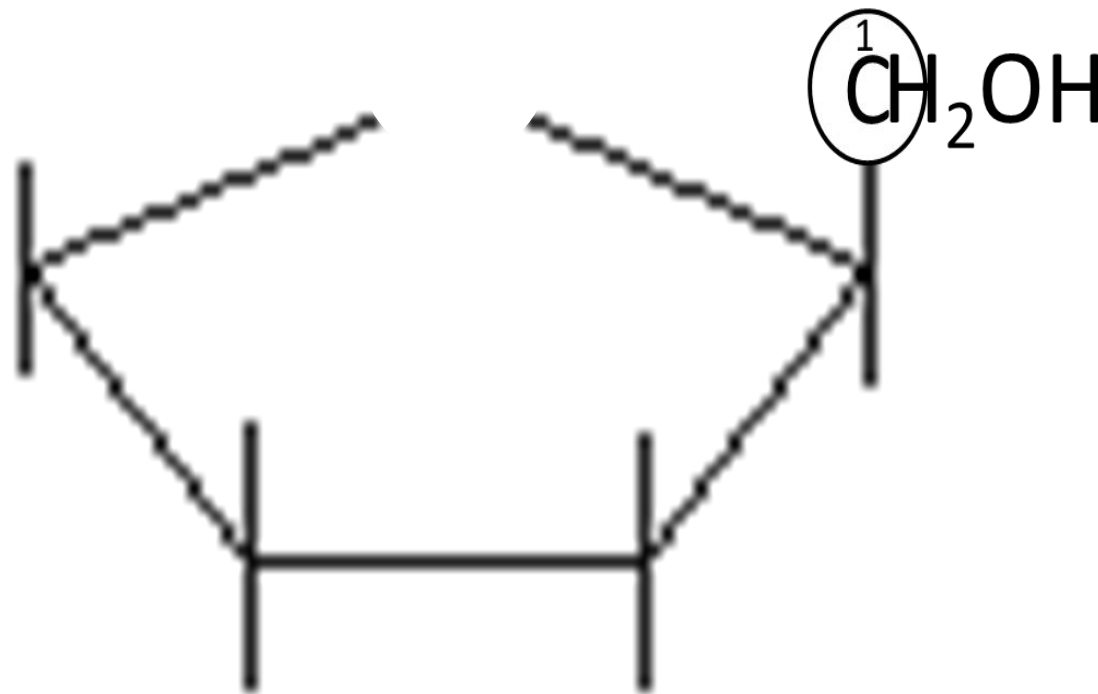
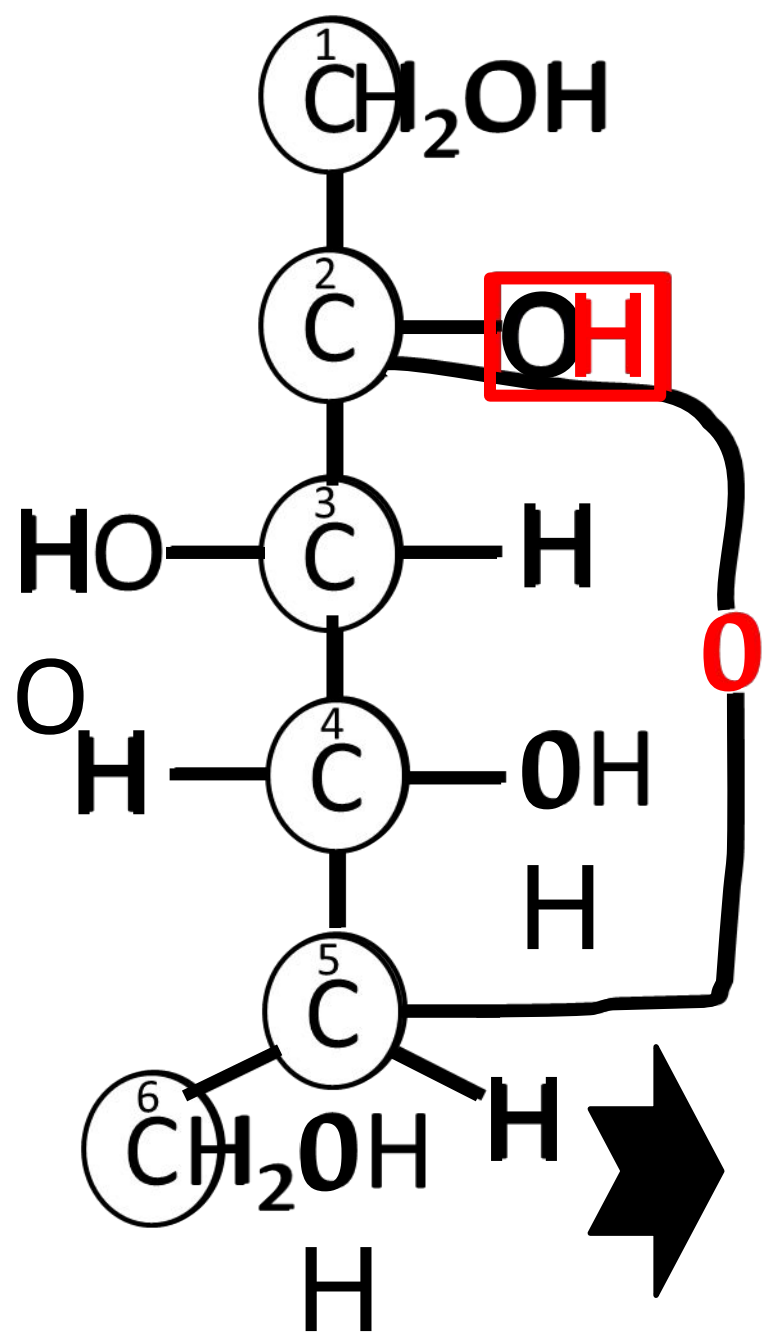


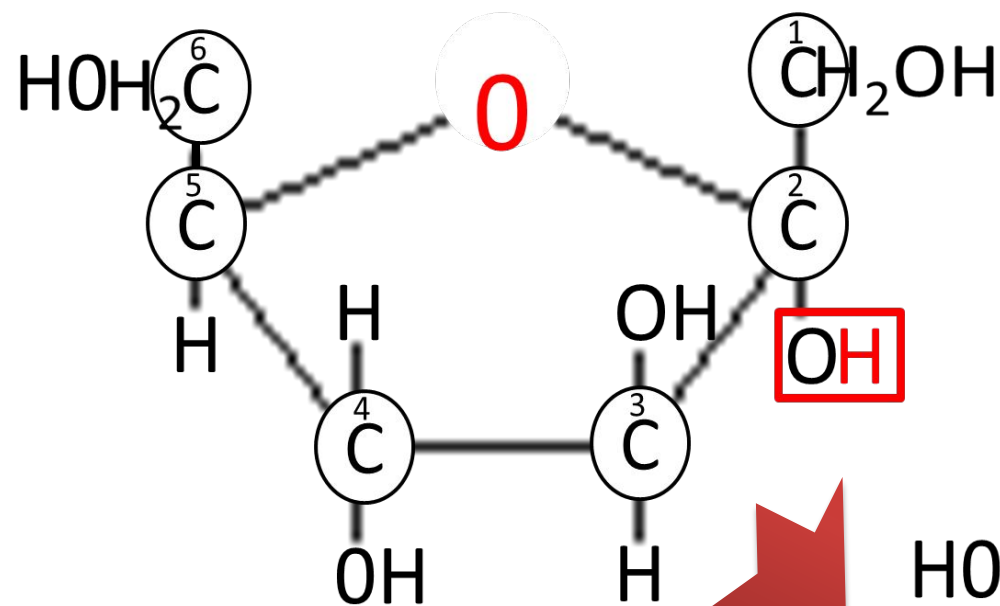
$\beta$ -D-  
фруктопираноза



Фуранозная форма  
на примере  
фруктозы

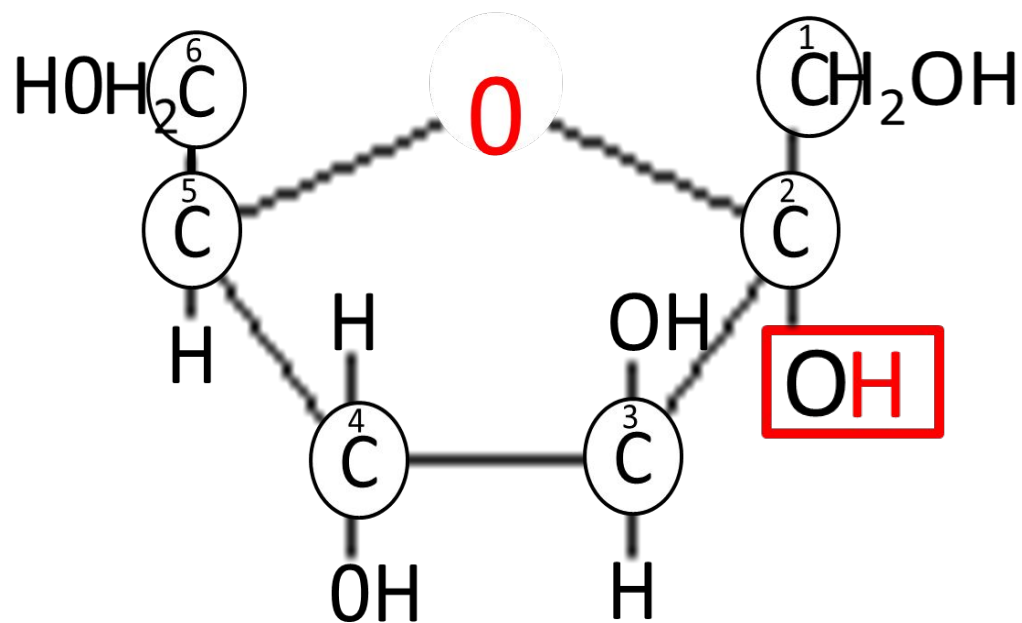






$\alpha$ -D-  
фруктофураноза  
( $\alpha$ -D-фруктоза)

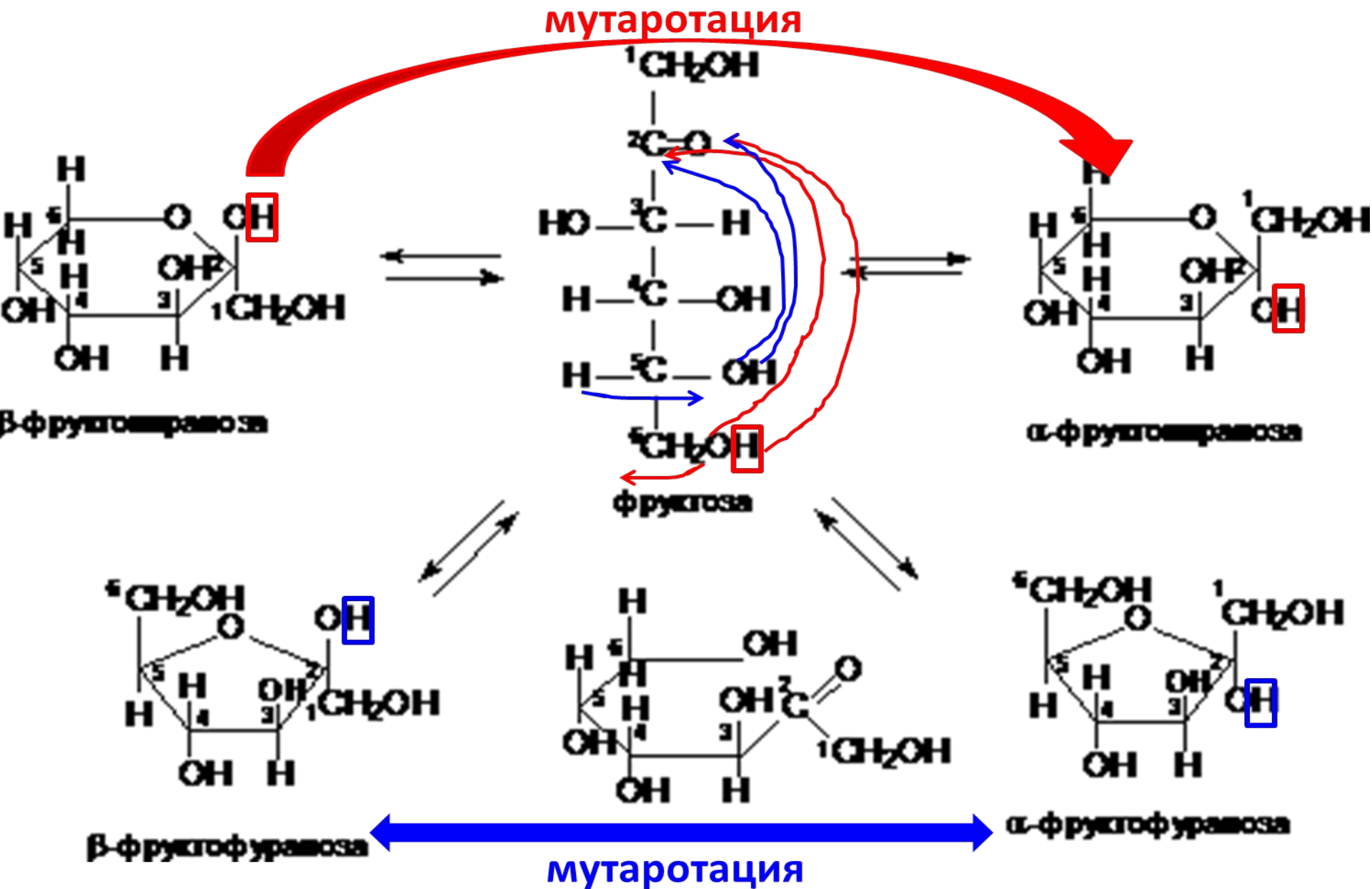
мутаротация



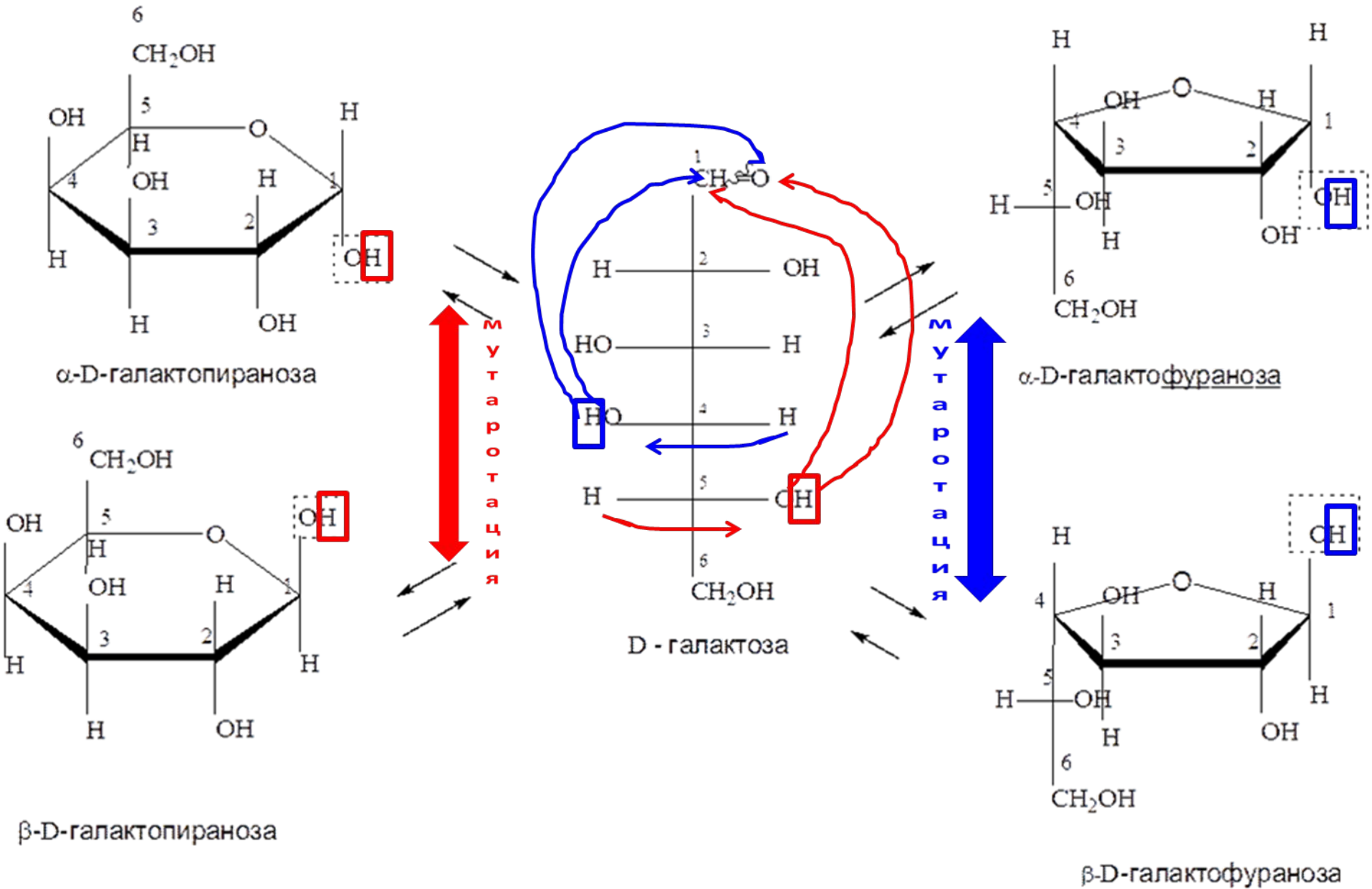
$\beta$ -D-  
фруктофураноза



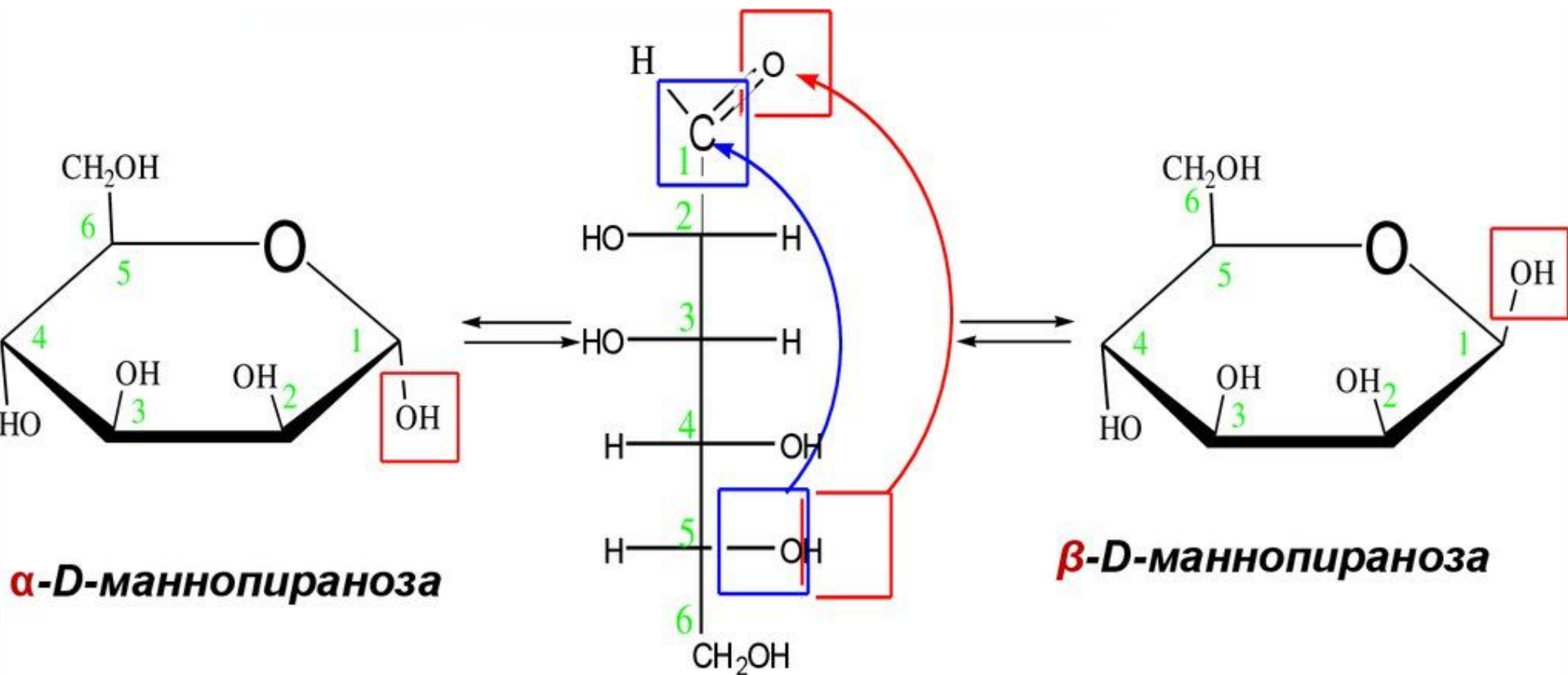
# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ фруктозы



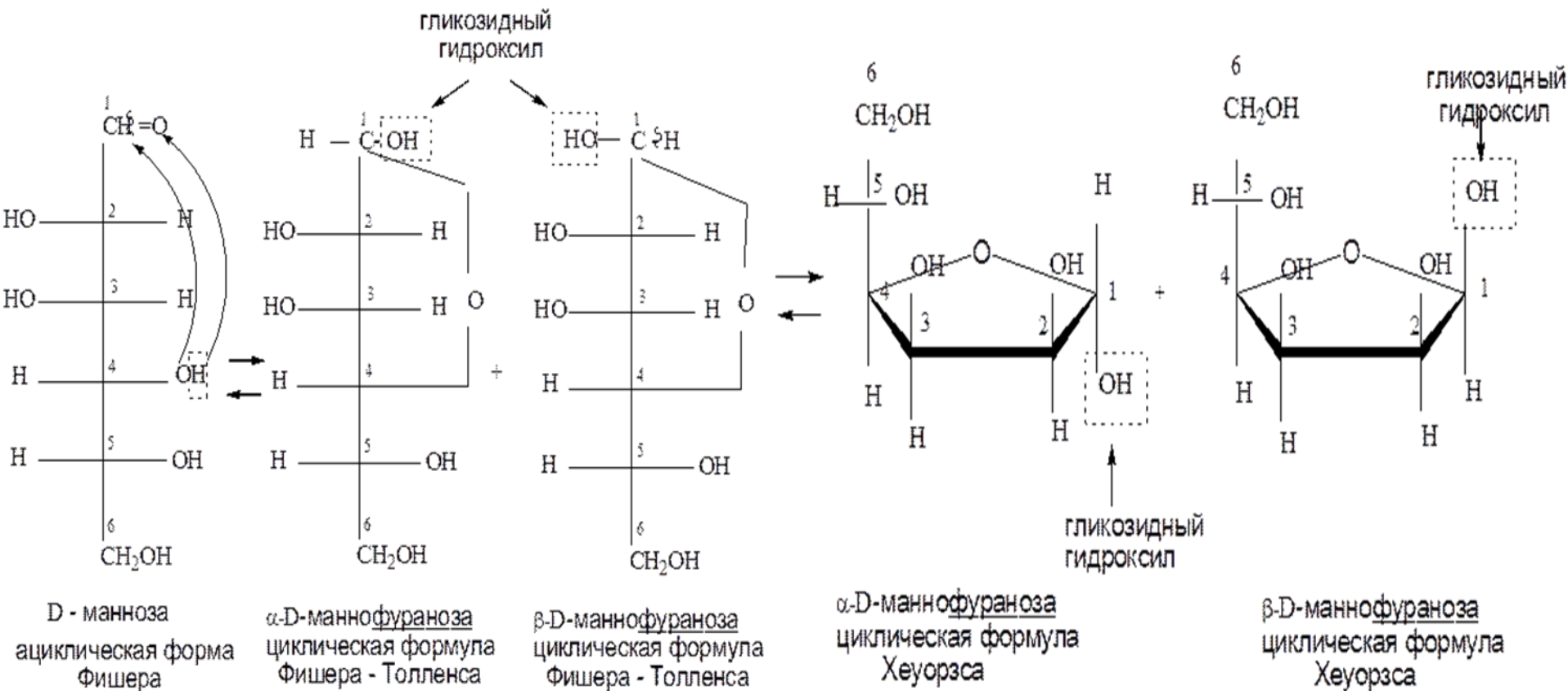
# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ галактозы



# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ маннозы

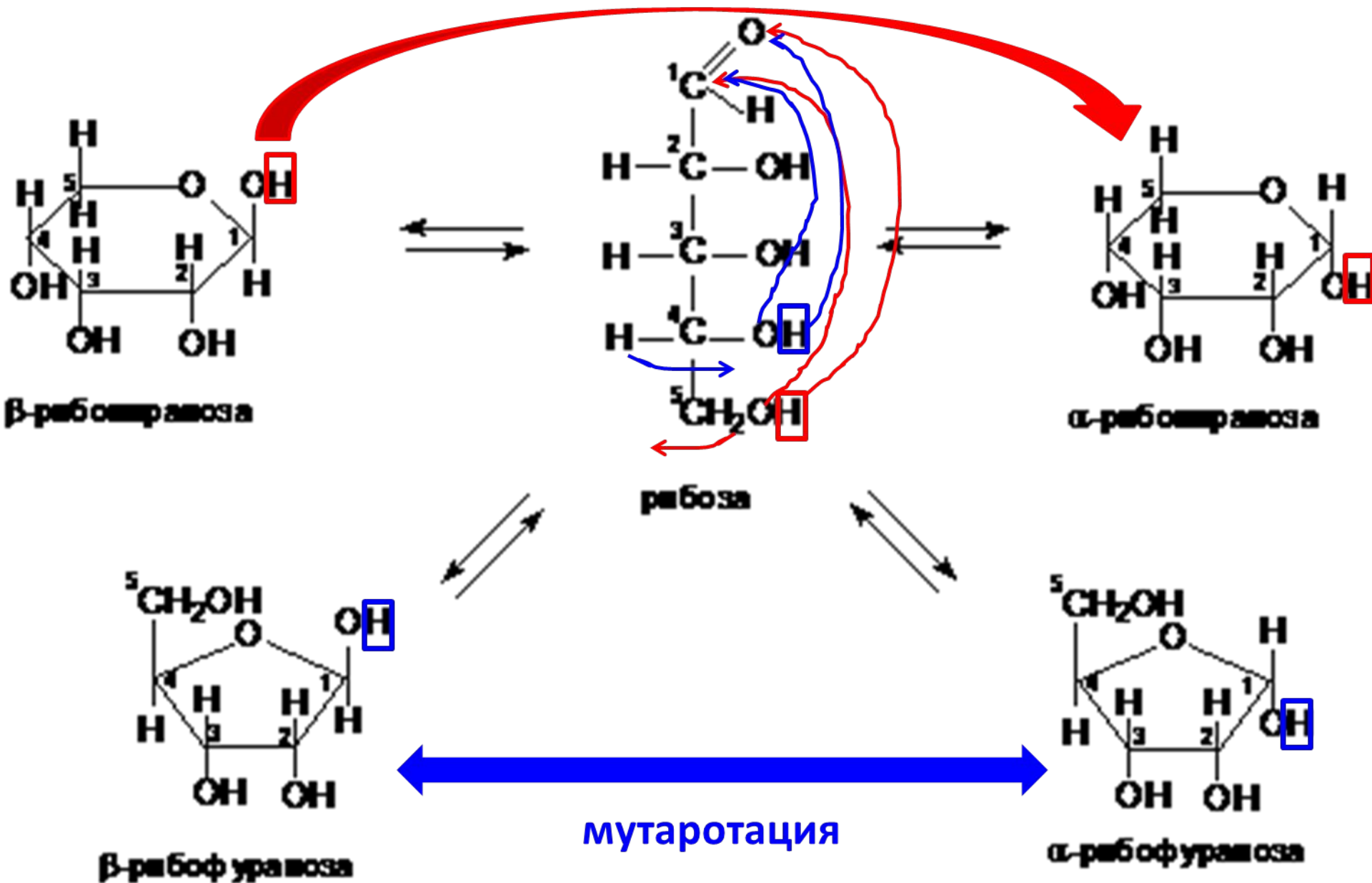


# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ маннозы

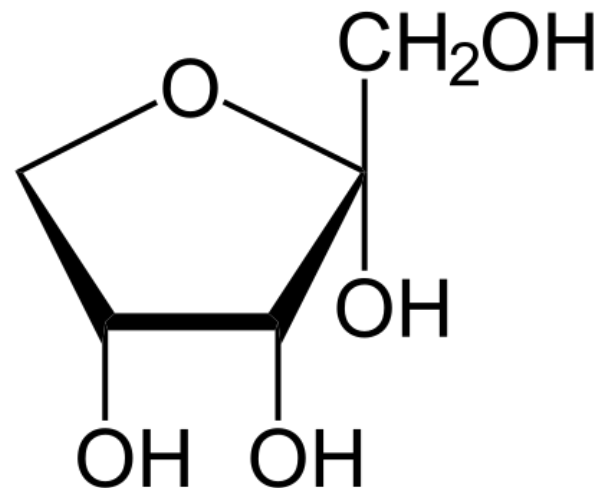
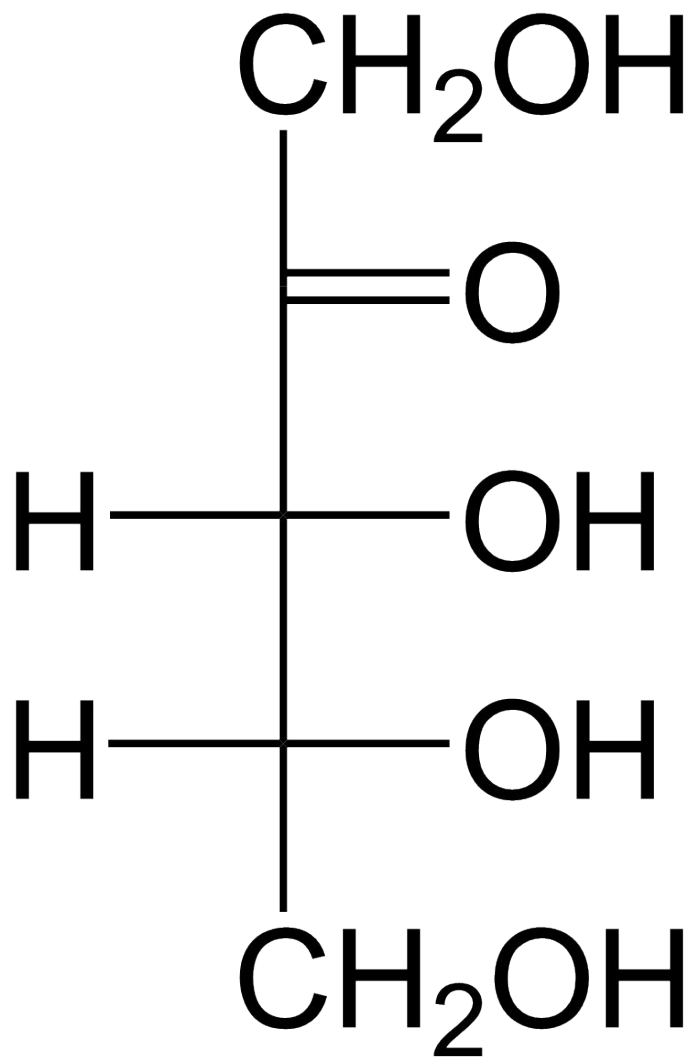


# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ рибозы

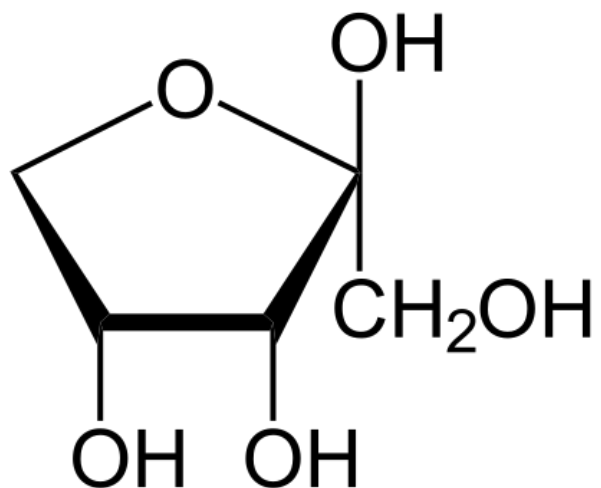
мутаротация



# ЦИКЛО-ОКСО-ТАУТОМЕРИЯ рибулозы?



$\alpha$ -D-Ribulofuranose

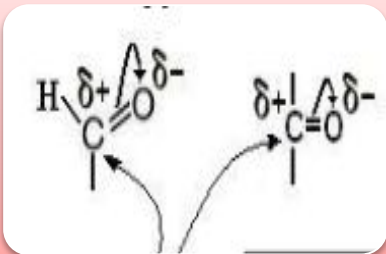


$\beta$ -D-Ribulofuranose



# ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОСАХАРИДОВ

## Реакции по оксо-группе

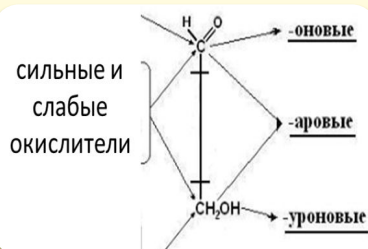


- Образование полуацеталей (со спиртами), оксинитрилов (с синильной кислотой)
- **Восстановление** (образование многоатомных спиртов)
- Образование оснований Шиффа (с первичными аминами), **аминосахаров** (с аммиаком)

-ОН

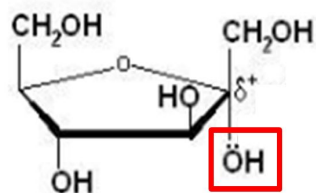
## Реакции по спиртовым гидроксилам

- Образование простых эфиров (с алкилгалогенидами, спиртами)
- **Образование сложных эфиров - этерификация** (с минеральными или органическими кислотами)
- Получение циклических МС (внутримолек. взаимодействие с карбонильн. гр.)



## Реакции окисления (альдегидной оксо-группы и/или концевого спиртового гидроксила)

- **Слабыми окислителями** (бромная вода, реактив Толленса, гидроксид меди, перманганат калия)
- **Сильными окислителями** (азотная кислота, азотистая кислота и т.д.)



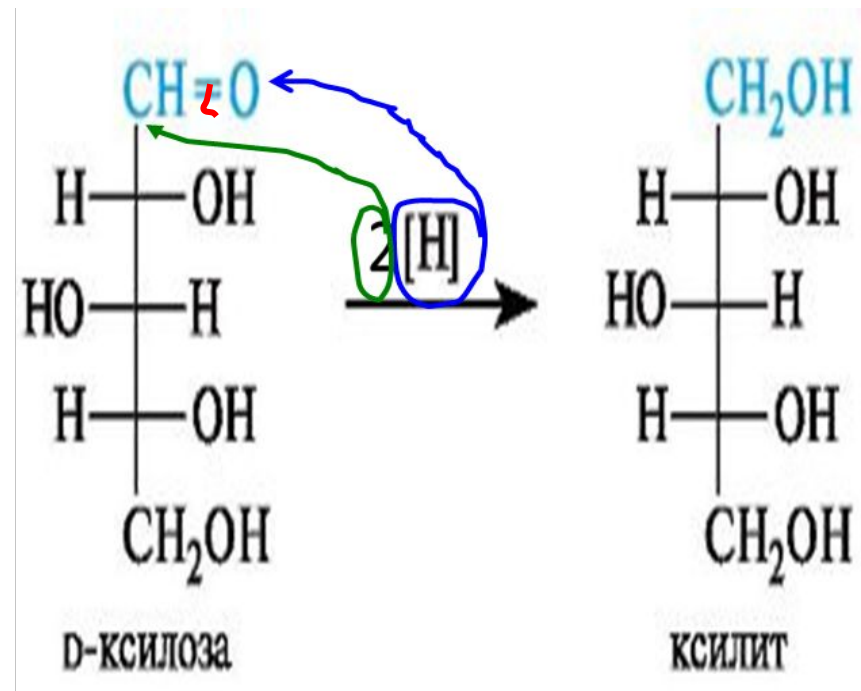
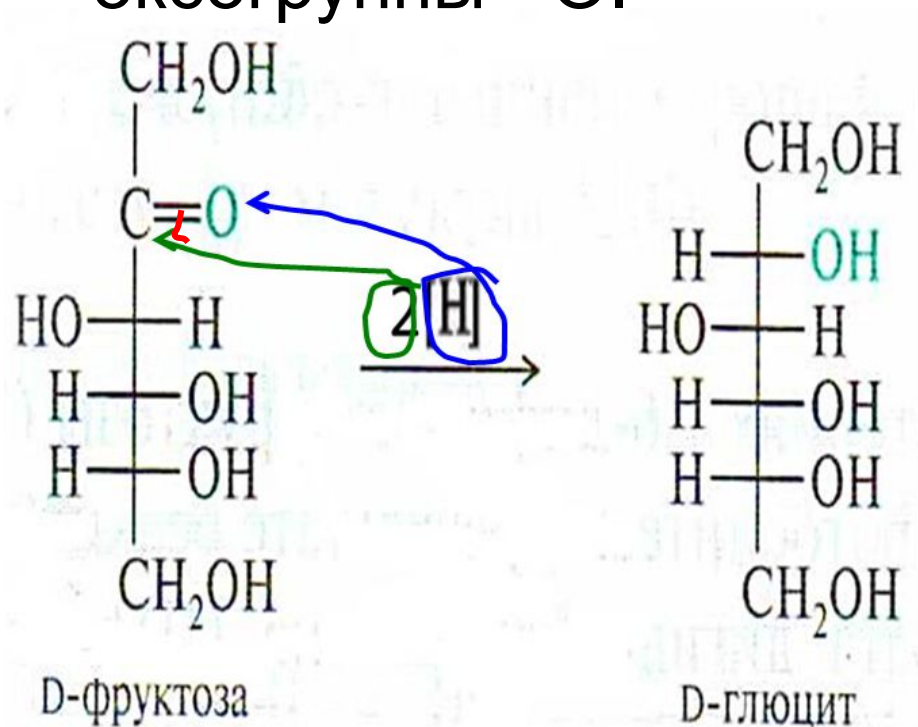
## Реакции, характерные только для циклических форм (по свободному гликозидному гидроксилу)

- **Образование O-, N-, S-гликозидов** с другими МС (образование олиго- и полисахаридов), азотистыми основаниями, аминокислотами, спиртами, фенолами
- Эпимеризация (под действием щелочи)

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ

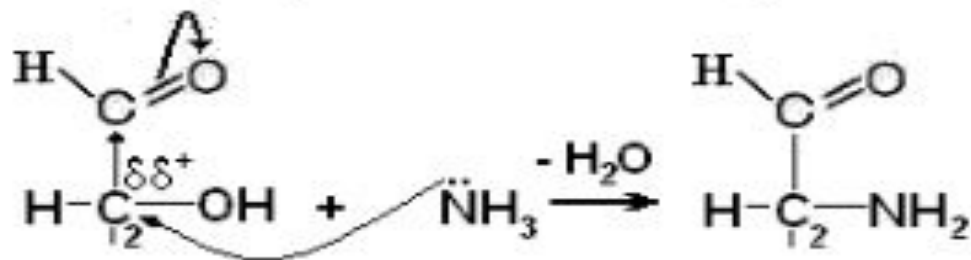
Примеры реакций нуклеофильного присоединения:

- При восстановлении моносахаридов (их альдегидной или кетонной группы) образуются многоатомные спирты *альдиты (глициты)*, содержащие гидроксильную группу вместо оксогруппы =O.

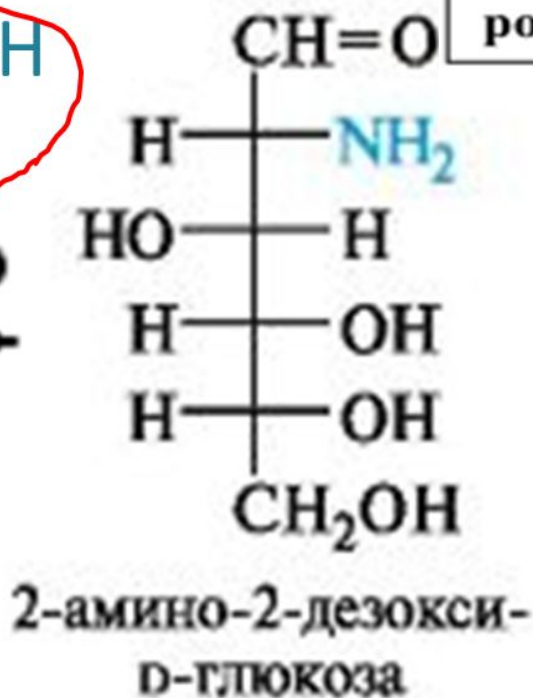
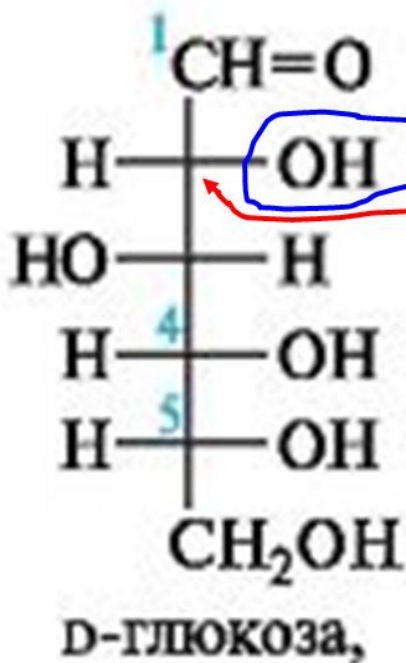


# ОБРАЗОВАНИЕ АМИНОСАХАРОВ

Электрофильный центр у  $C_2$  более слабый, чем центр у карбонильного углерода. С ним может реагировать только такой сильный нуклеофил, как азот в аммиаке



Аминосакхара – производные моносахаридов, имеющие большое значение при образовании гетерополисахаридов

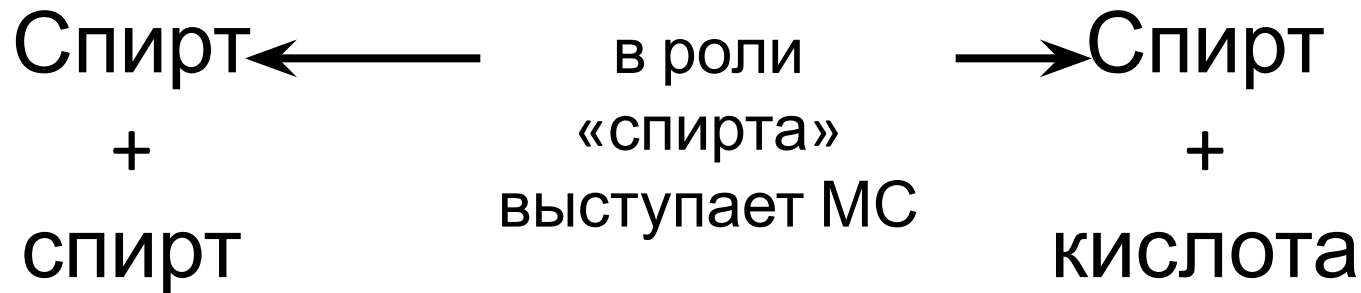


(2-амино-D-глюкоза)

(2-амино-D-глюкоза)

# ЭФИРЫ

органические вещества, образующиеся при отщеплении молекулы воды при взаимодействии:



## простые

летучи, плохо растворимы в воде, хорошо растворяют жиры

Жиловый (серный) эфир применяют в медицине для ингаляционного наркоза



## сложные

входят в состав эфирных масел (их приятный запах)



Применяются в пищевой и парфюмерной промышленности

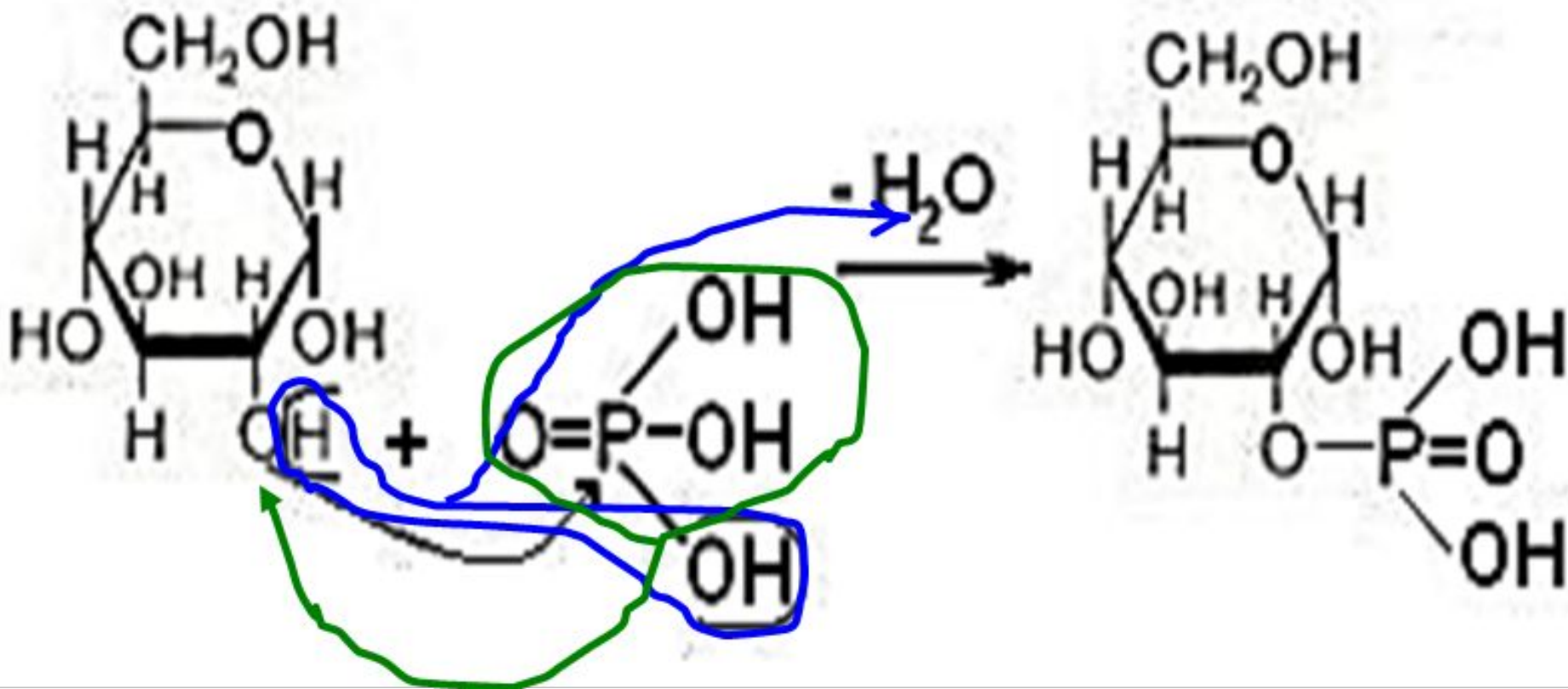
многие БАВ (НК, жиры, фосфатиды, витамины) лекарственные препараты (уретан, эфиры салициловой и парааминобензойной кислот - анестезин, новокаин)

# Образование сложных эфиров (этерификация)

## Примеры реакций по спиртовым гидроксилам

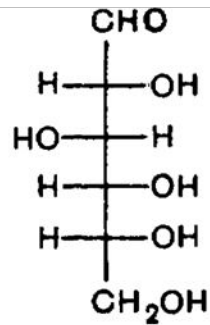
Фосфорно-кислые эфиры моносахаридов – производные, участвующие в метаболизме углеводов в живых клетках

- ❖ Взаимодействие с кислотами (минеральными и органическими) – образование сложных эфиров

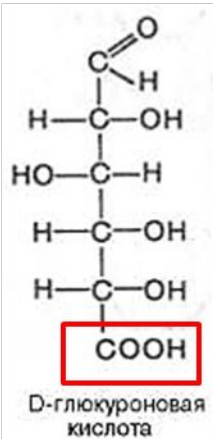
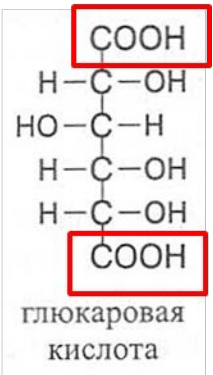
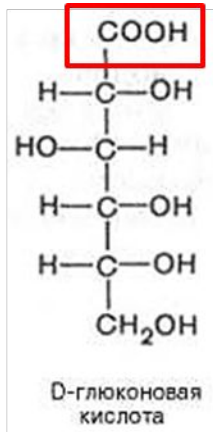
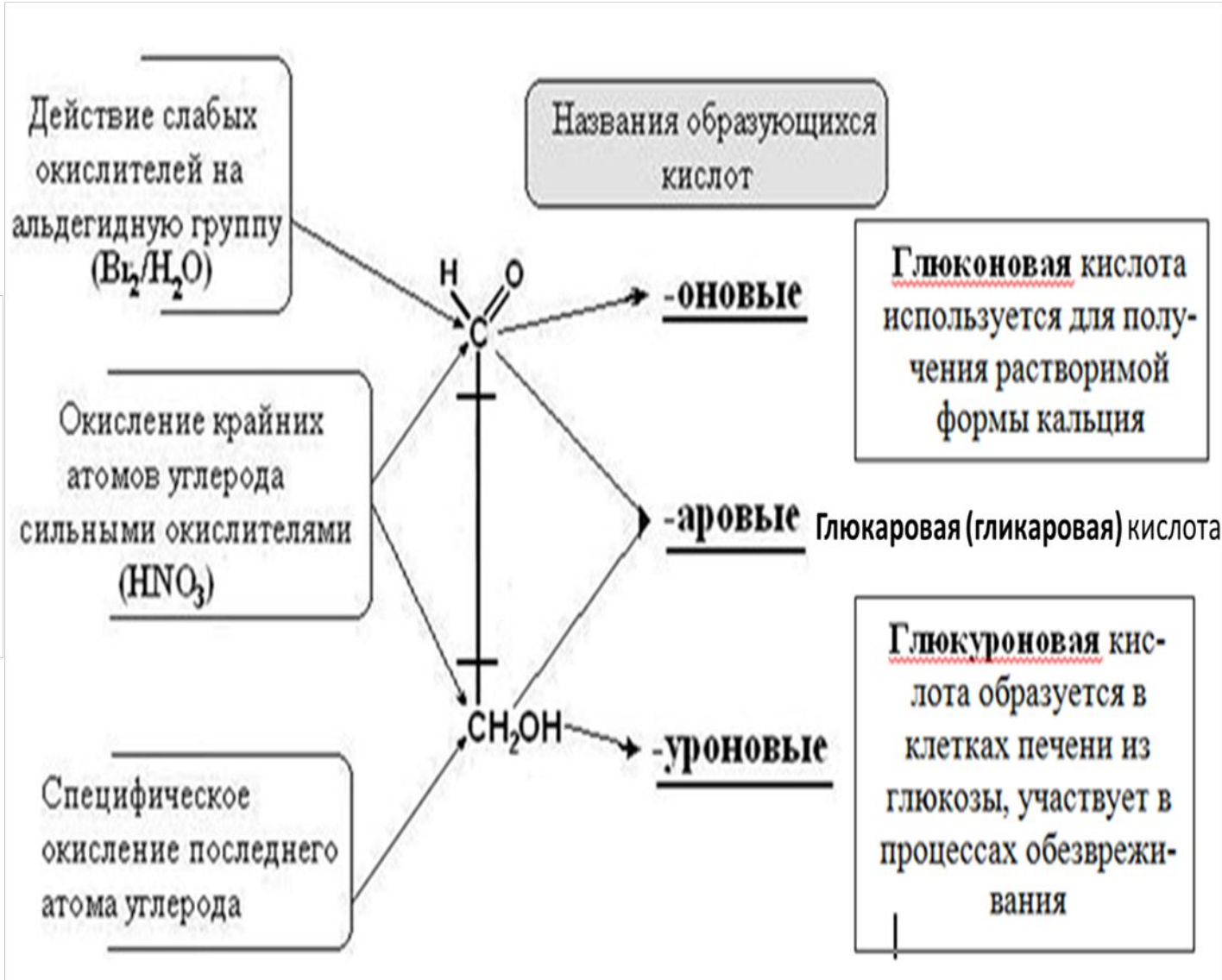




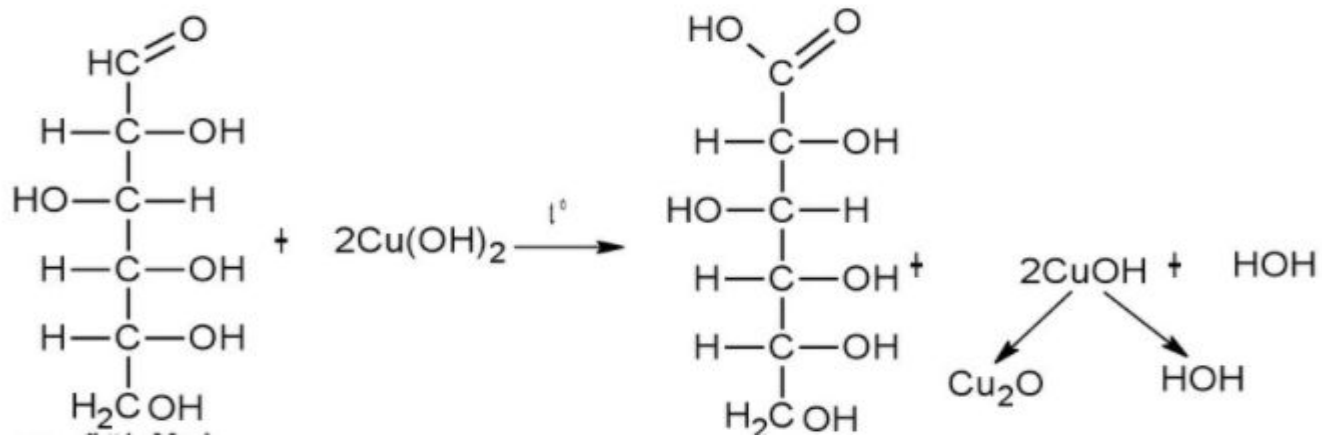
# ОКИСЛЕНИЕ



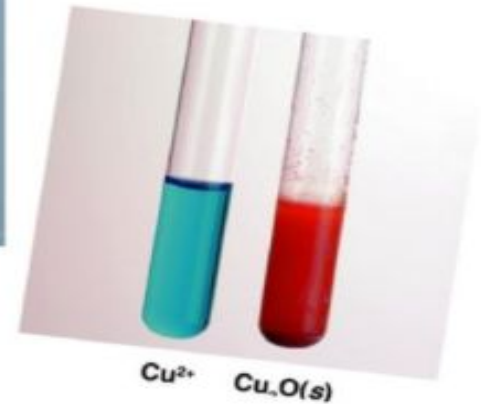
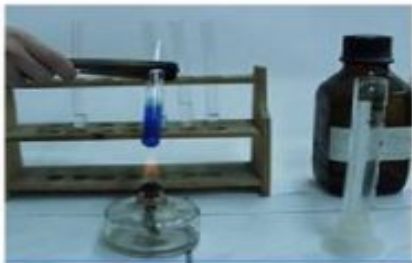
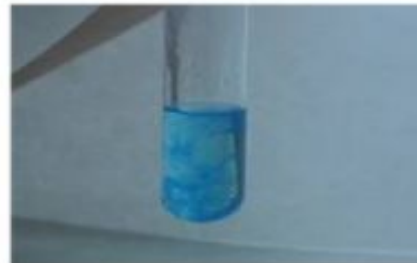
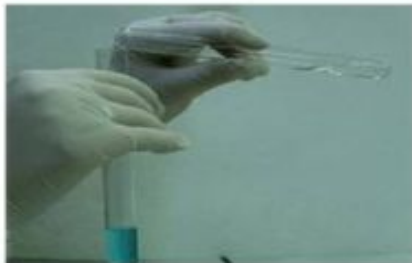
D-глюкоза



Качественная реакция с мягкими окислителями -  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  или  $\text{Ag}_2\text{O}$  - при повышенной температуре:



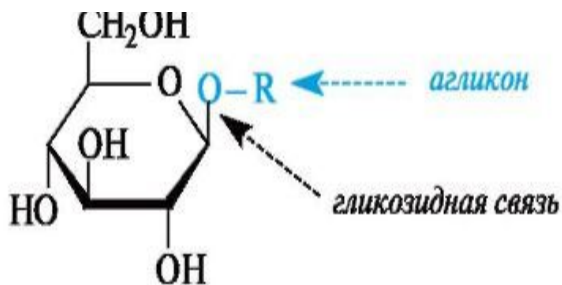
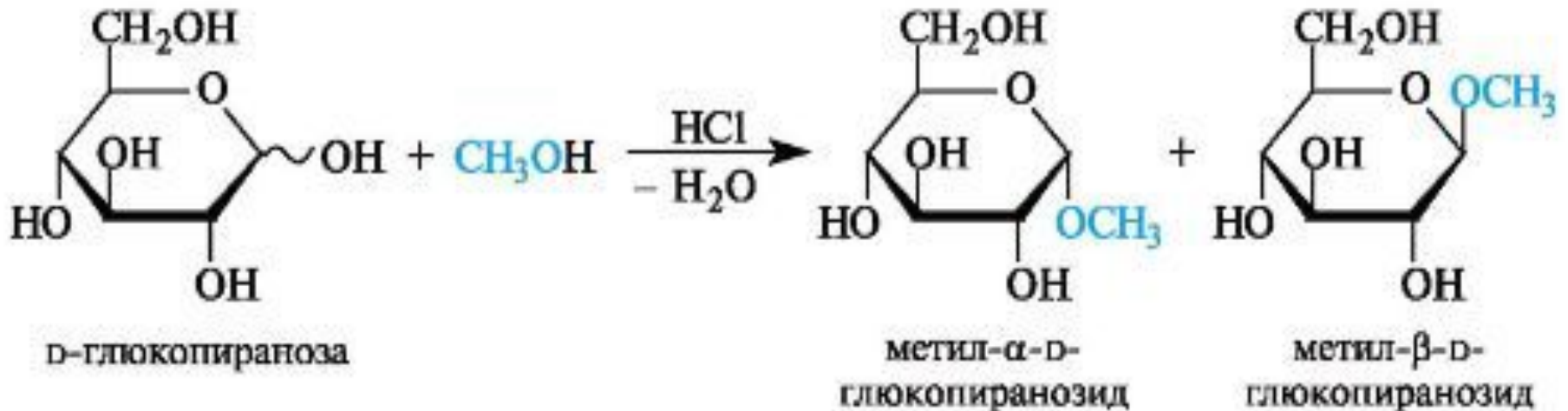
*Реакция с  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  называется пробой Троммера и используется для обнаружения глюкозы в моче.*





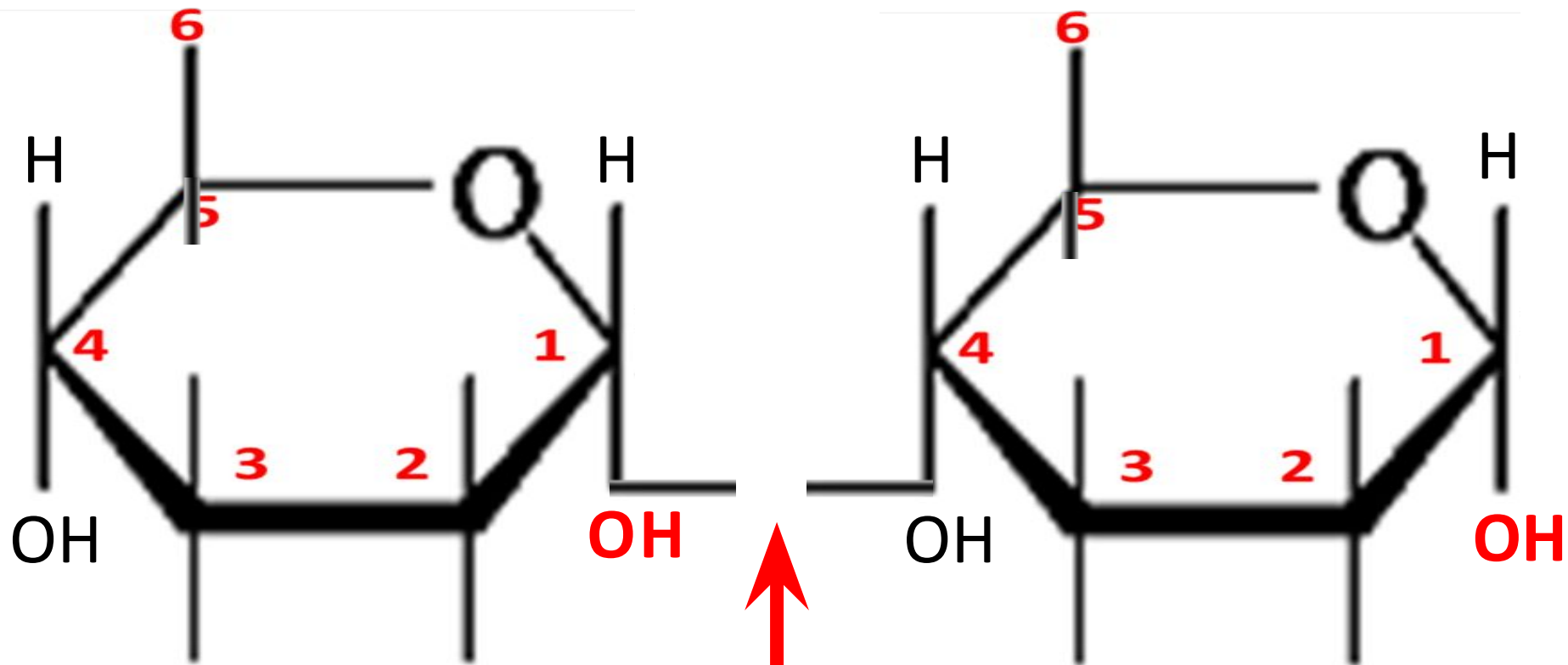
# ГЛИКОЗИДЫ

Гликозиды - продукты замещения гликозидного гидроксила  
Гликозиды образуются при взаимодействии моносахаридов со спиртами в условиях кислотного катализа; в реакцию вступает только полуацетальная группа OH.



Связь между аномерным центром (в альдозах это С-1, в кетозах - С-2) и группой OR называют **гликозидной**.

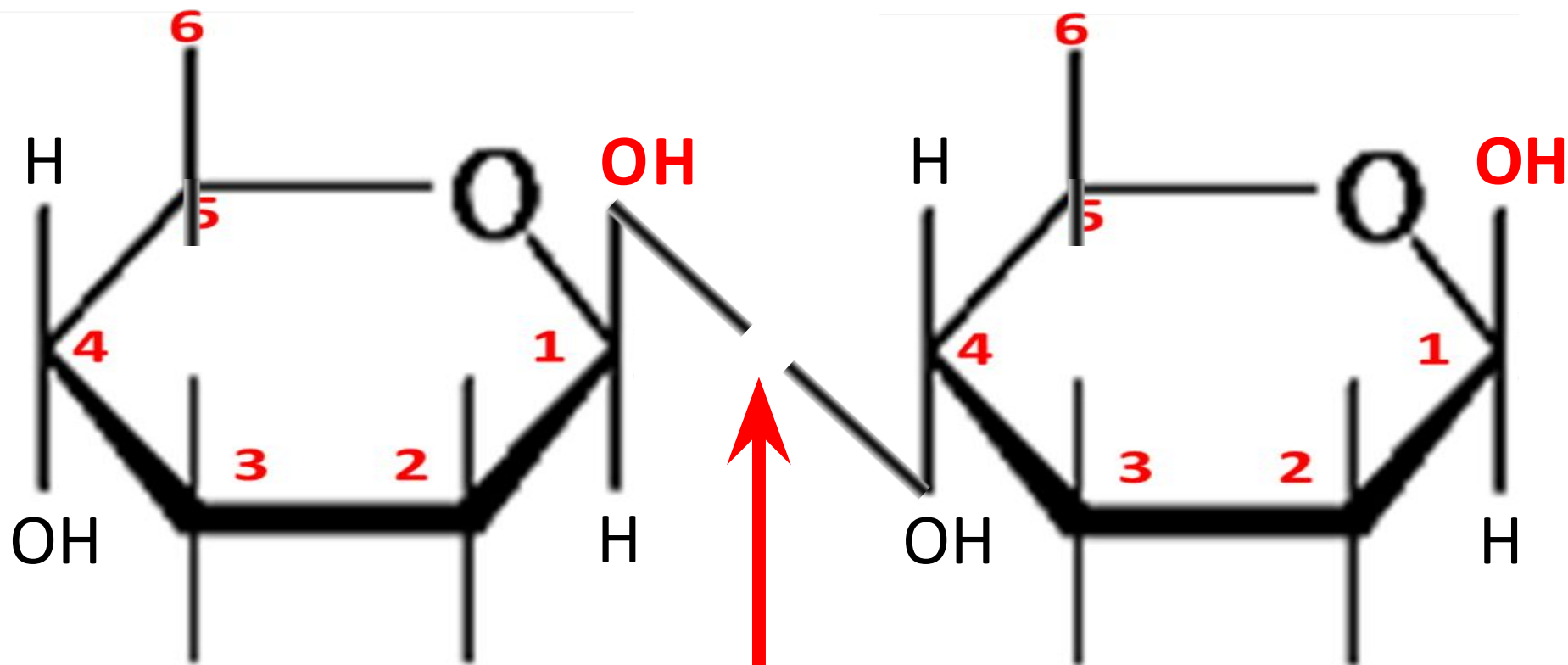
# ВАЖНО!!! Образование гликозидных связей



Как правильно называется эта связь и почему?

**$\alpha$ -1,4-О-гликозидная связь**

# ВАЖНО!!! Образование гликозидных связей



Как правильно называется эта связь и почему?

**$\beta$ -1,4-О-гликозидная связь**

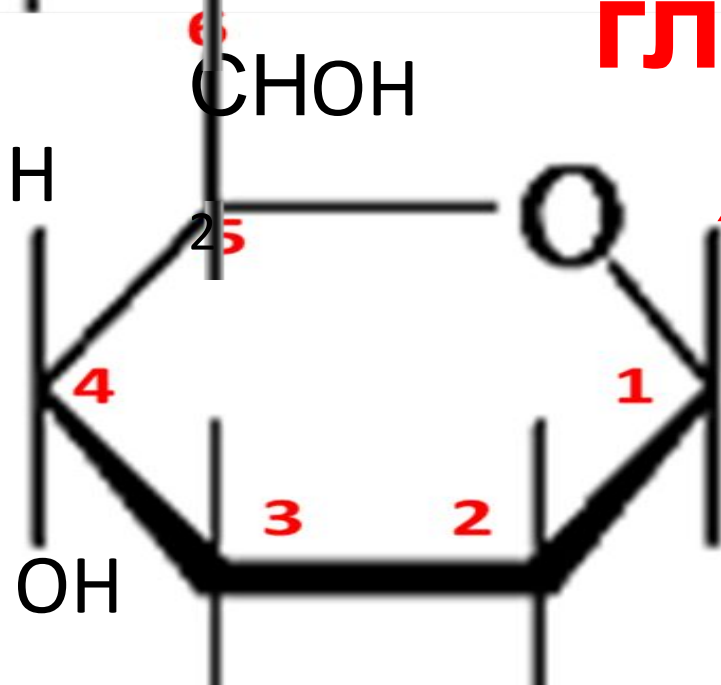
# Образование гликозидных связей

Как правильно называется эта связь и почему?



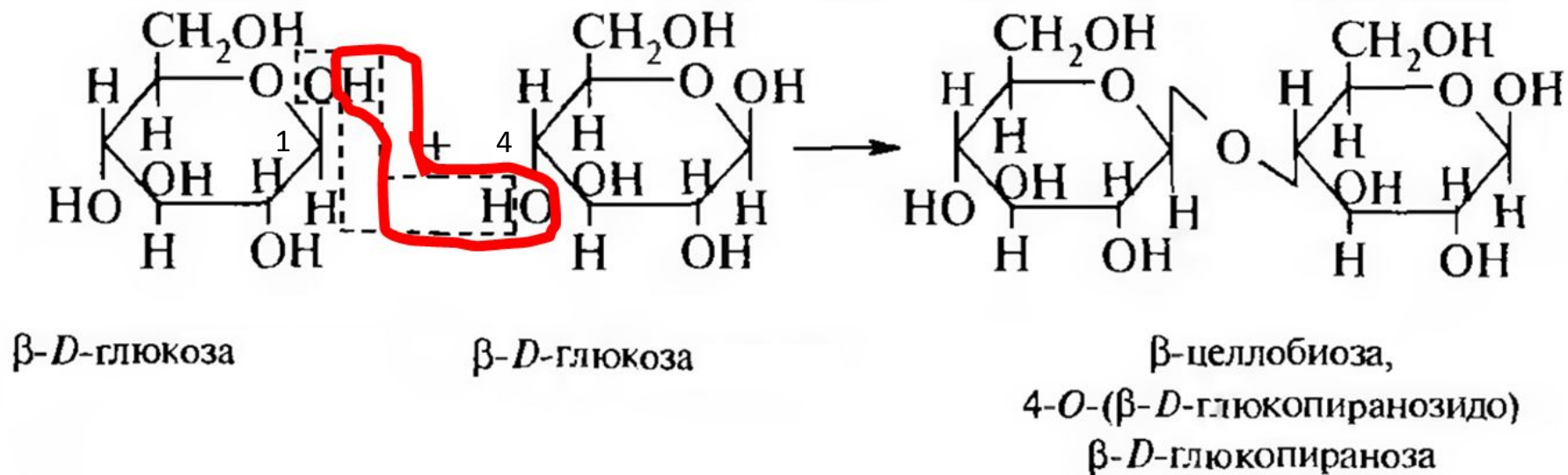
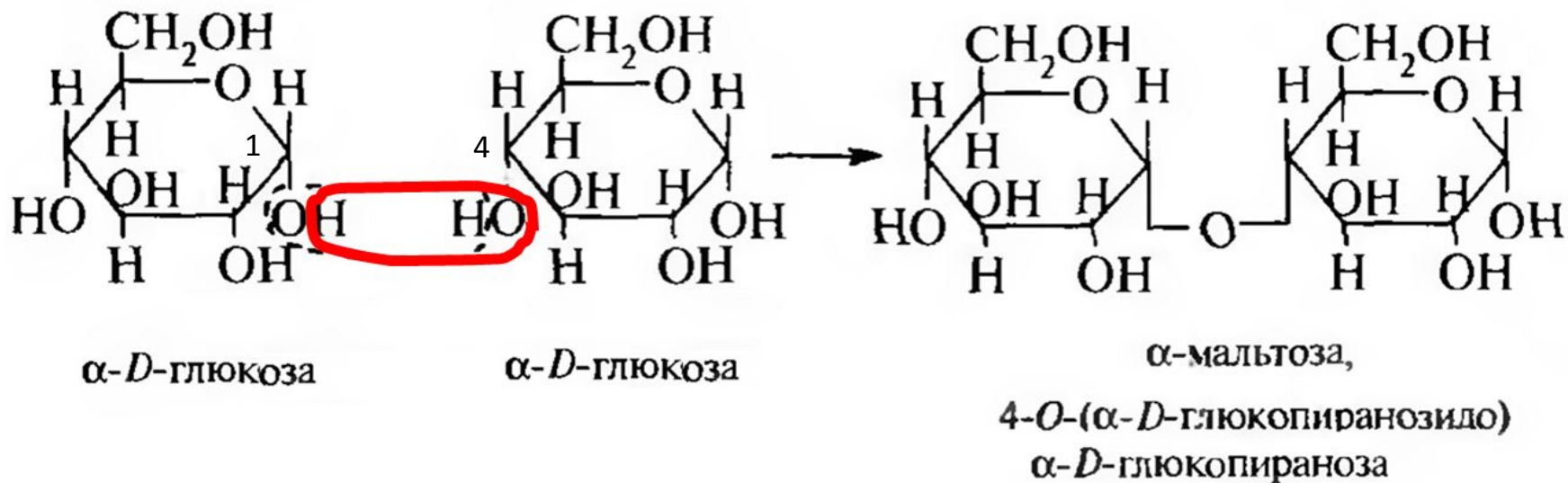
ОН

**α-1,6-О-  
гликозидная  
связь**

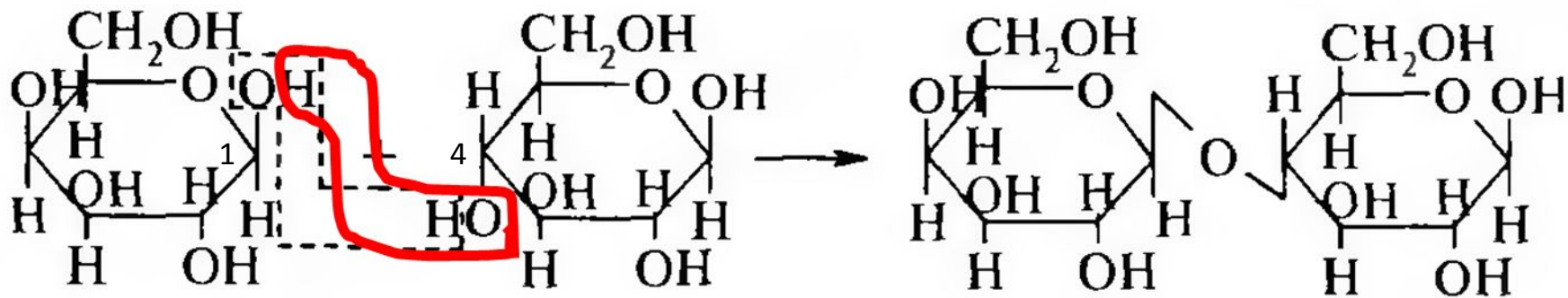


СНОН

# Образование гликозидной связи между МС – формирование олиго- и полисахаридов



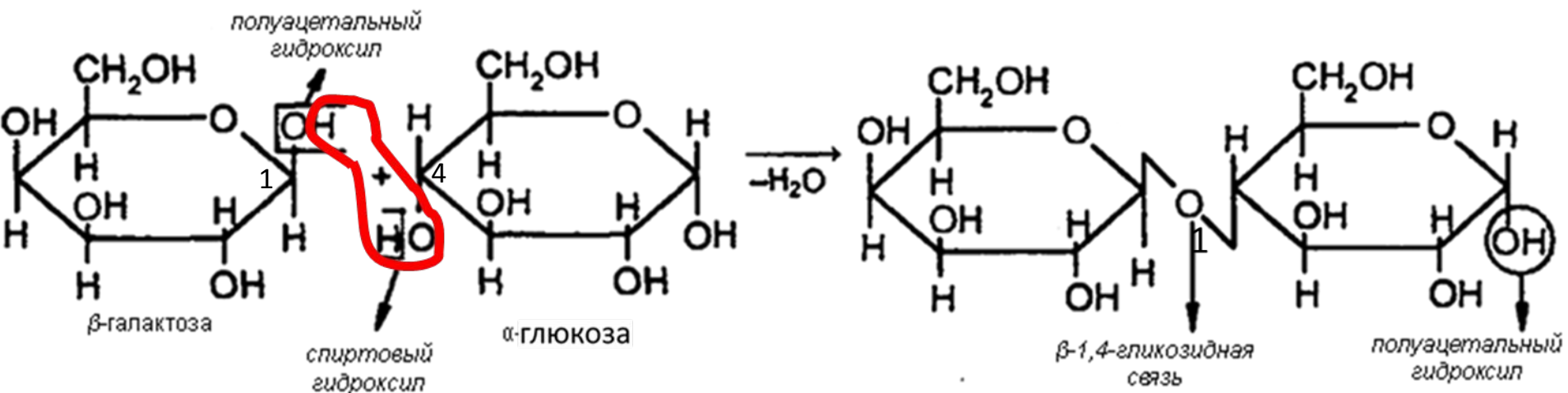
# Образование гликозидной связи между МС – формирование олиго- и полисахаридов



$\beta$ -D-галактопираноза

$\beta$ -D-глюкопираноза

$\beta$ -лактоза,  
4-O-( $\beta$ -D-галактопиранозидо),  
 $\beta$ -D-глюкопираноза



$\beta$ -галактоза

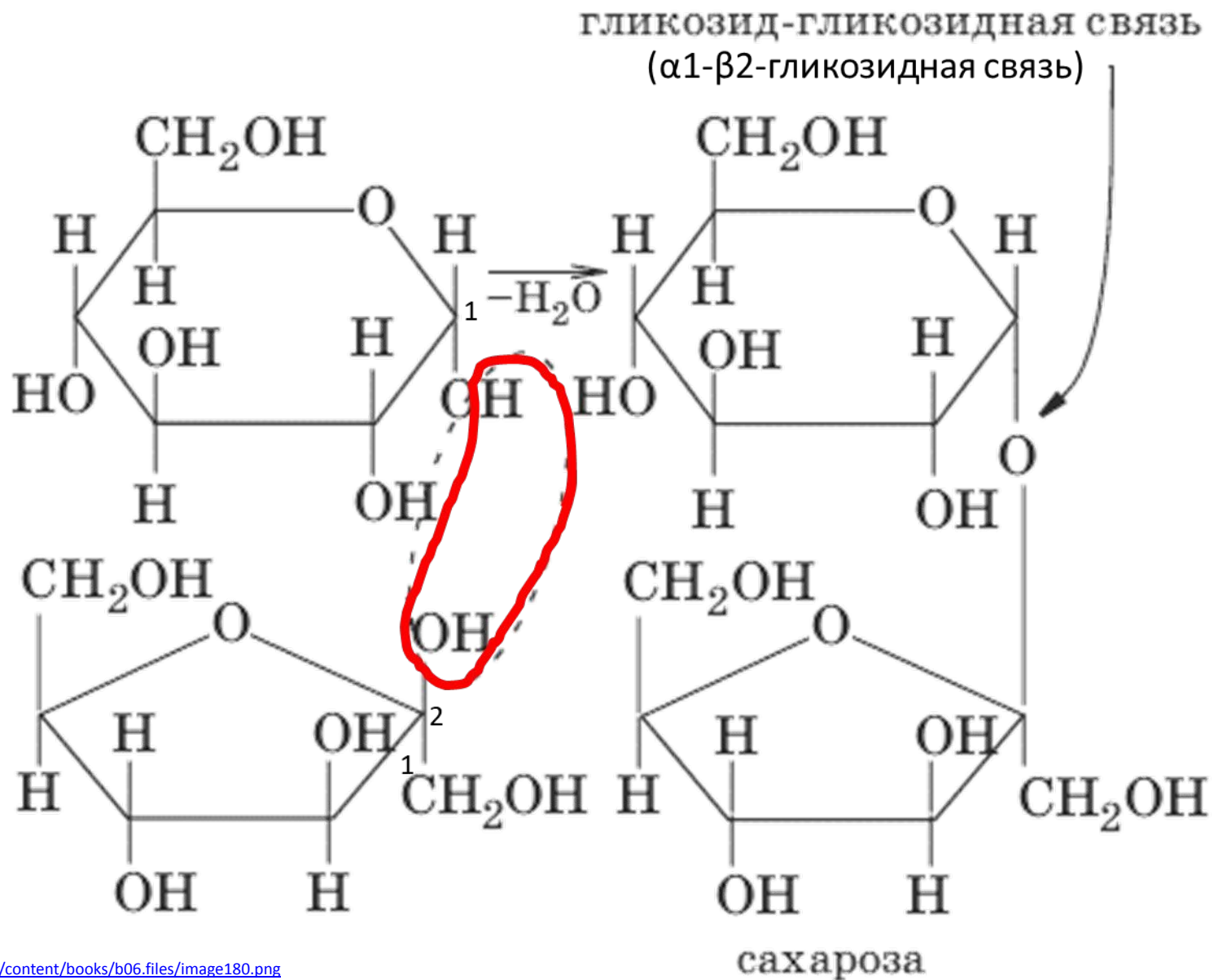
$\alpha$ -глюкоза

$\beta$ -1,4-гликозидная  
связь

полуацетальный  
гидроксил

$\alpha$ -лактоза

# Образование гликозидной связи между МС – формирование олиго- и полисахаридов





# ГЛИКОЗИДЫ



- гликозид арбутин (толокнянка, брусника) – противовоспалит.
- гликозид геспередин (цитрусовые) - укрепление стенок кровеносных сосудов
- гликозиды амигдалин, соланин (косточки плодов, картофель) – ядовитые

Сердечные  
гликозиды

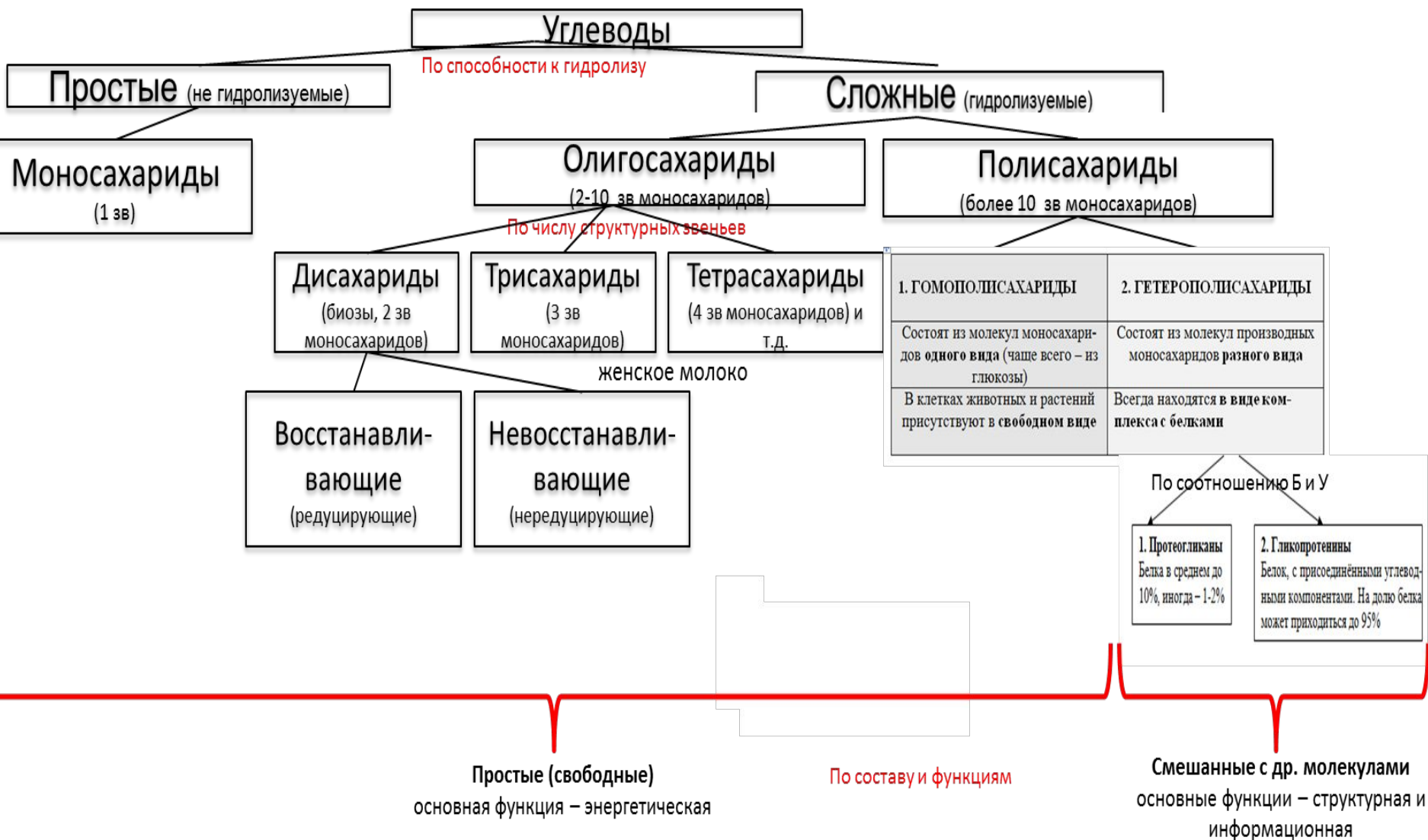
**Адонис весенний** — *Adonis vernalis* L.



- **Адонис, или горицвет весенний** - используется в медицине.
- Содержит **сердечные гликозиды** (цимарин и анидотоксин) и сапонины.
- Применяют как средство, регулирующее сердечную деятельность, а также общеседативное и мочегонное средство

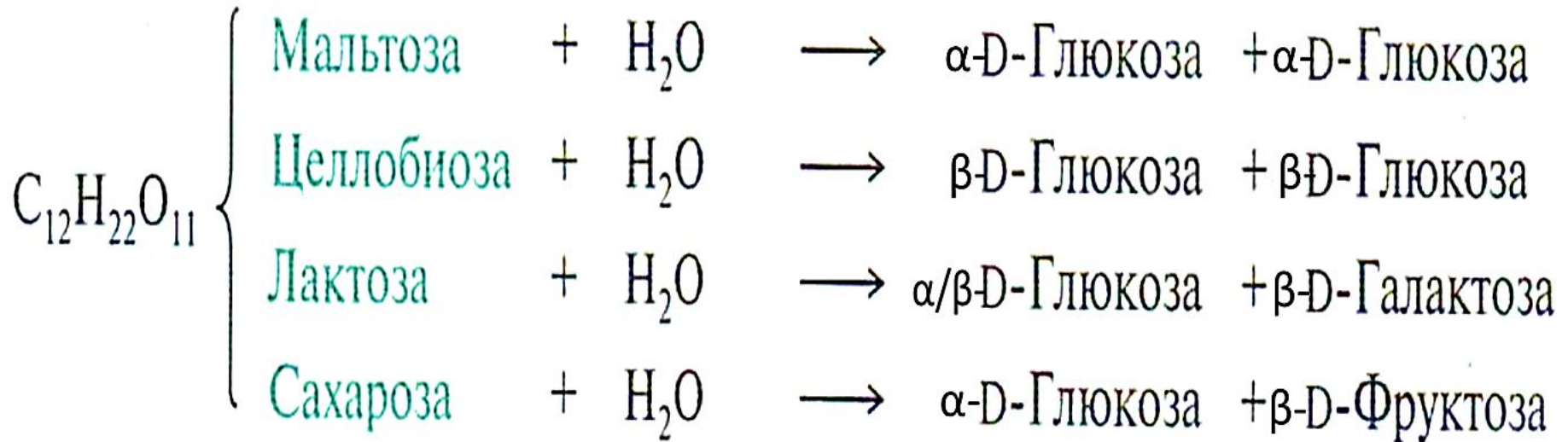
От гликозидов зависит вкус и аромат некоторых растительных продуктов

# Классификация углеводов



# Олигосахариды: дисахариды (биозы)

- Олигосахариды содержат несколько (от двух до десяти) остатков моносахаридов, соединённых гликозидной связью. **Дисахариды** - наиболее распространённые олигомерные углеводы, встречающиеся в свободной форме, т.е. не связанной с другими соединениями. В пище содержатся в основном такие дисахариды, как **сахароза, лактоза и мальтоза**.



# Дисахариды

```
graph TD; A[Дисахариды] --> B[Восстанавливающие (редуцирующие)]; A --> C[НЕвосстанавливающие (НЕРедуцирующие)];
```

**Восстанавливающие**

**(редуцирующие)**

**мальтоза,  
целлобиоза,  
лактоза**

- имеют свободный гликозидный гидроксил
- восстанавливают окислы металлов до закисей
- вступают в реакцию с реактивом Фелинга
- мутаротируют

**НЕвосстанавливающие**

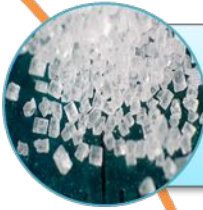
**(НЕРедуцирующие)**

**сахароза,  
трегалоза**

- НЕ** имеют свободный гликозидный гидроксил
- НЕ** восстанавливают окислы металлов до закисей
- НЕ** вступают в реакцию с реактивом Фелинга
- НЕ** мутаротируют



# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСАХАРИДОВ



Представляют собой **кристаллы** (твердые, бесцветные вещества), хорошо растворимые в воде



**Гигроскопичны**, легко образуют сиропы



Не растворимы в эфире, плохо растворимы в спирте



**Сладкие на вкус**

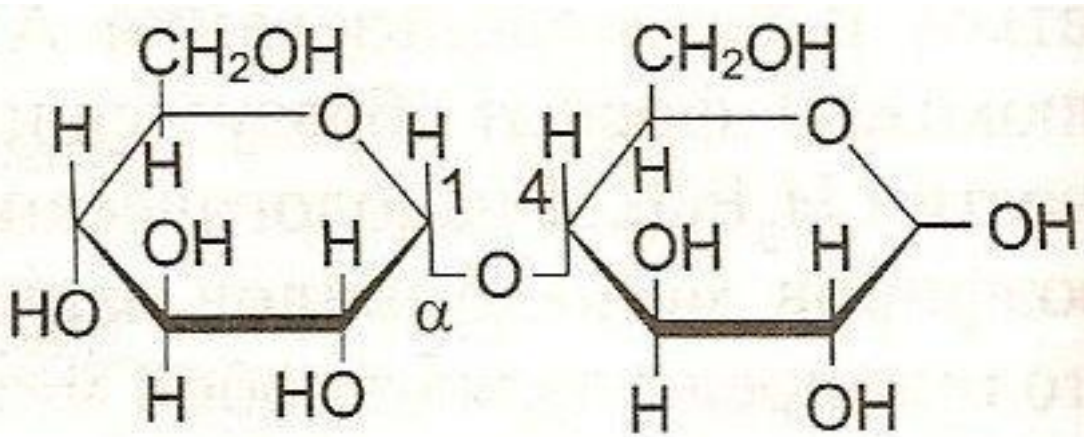


**Мутаротация** (для восстанавливающих ДС)

# МАЛЬТОЗА



- **Мальтоза** (солодовый сахар) поступает с продуктами, содержащими частично гидролизованный крахмал, например, солод, пиво. Мальтоза также образуется при расщеплении крахмала в кишечнике. Мальтоза состоит из двух остатков D-глюкозы, соединённых  $\alpha$ -1,4-гликозидной связью.



# Мальтоза — применение

- Является источником энергии
- Употребляется для приготовления домашнего кваса, пива, винокурения
- Служит вкусовой добавкой при выпечке хлеба
- Используется для изготовления продуктов диетического питания, в том числе детского и спортивного
- Является составной частью патоки



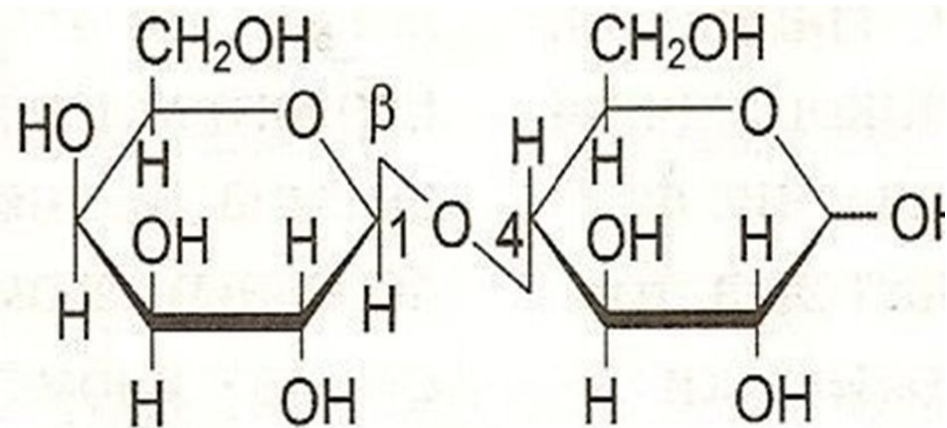


# ЛАКТОЗА



- **Лактоза** - молочный сахар; важнейший дисахарид молока млекопитающих. В коровьем молоке содержится до 5% лактозы, в женском молоке - до 8%. В лактозе аномерная OH-группа первого углеродного атома остатка D-галактозы связана  $\beta$ -гликозидной связью с четвёртым углеродным атомом D-глюкозы ( $\beta$ -1,4-связь). Лактоза относится к

**восстанавливающим сахарам.**

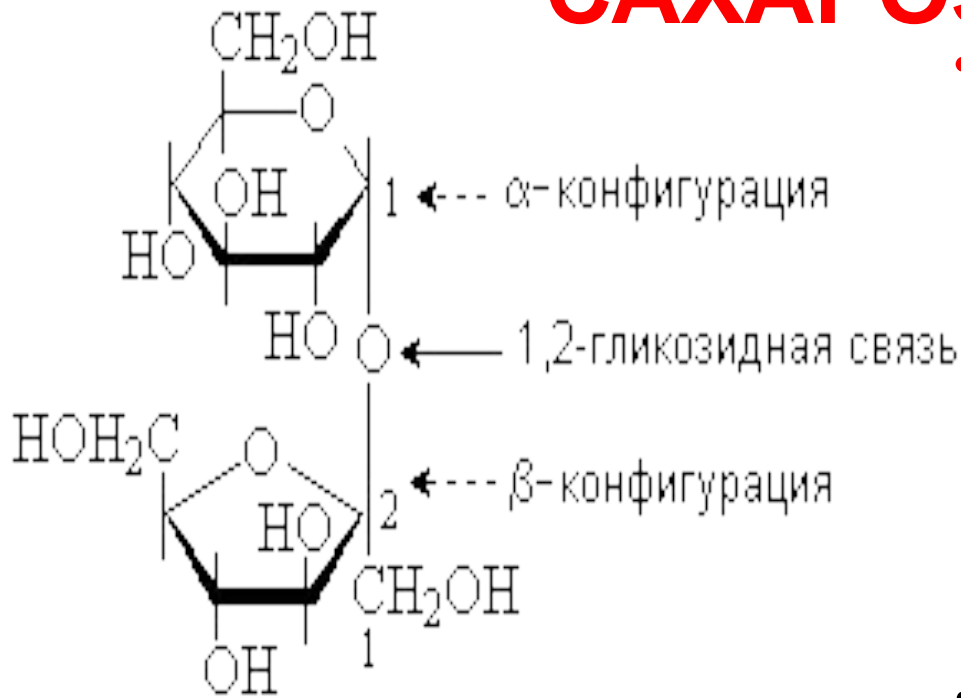


# Лактоза — свойства и применение

- Является важным питательным веществом для детей
- Лактоза — источник энергии для нервной системы
- Поддерживает нормальную микрофлору кишечника (лактобактерии)
- Нормализует кальциевый обмен
- Используется в фармацевтике

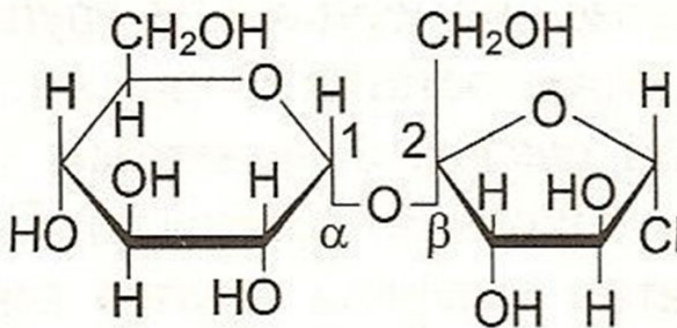


# САХАРОЗА



- **Сахароза** (тростниковый, свекловичный сахар) - дисахарид, состоящий из  $\alpha$ -D-глюкозы и  $\beta$ -D-фруктозы, соединённых  $\alpha, \beta$ -1,2-гликозидной связью. В сахарозе обе аномерные OH-группы остатков глюкозы и фруктозы участвуют в образовании гликозидной связи.
- Сахароза **не относится к восстанавливающим сахарам.**

$\alpha$ -D-глюкопиранозил-1,2-  $\beta$ -D-фруктофуранозид  
сахароза



# Лактулоза

Оказывает гиперосмотическое слабительное действие

стимулирует перистальтику кишечника

улучшает всасывание фосфатов и солей кальция

способствует выведению ионов аммония

пребиотик (усиливает рост полезных бактерий - бифидобактерий и лактобактерий)

подавляет рост патогенных бактерий (*Clostridium* spp. и *Escherichia coli*)





# Другие сахара



## Трегалоза

- дисахарид, «грибной сахар»
- основной углевод гемолимфы насекомых



## Рафиноза

- трисахарид  
(галактоза+глюкоза+фруктоза)
- содержится в сахарной свекле



## Стахиоза

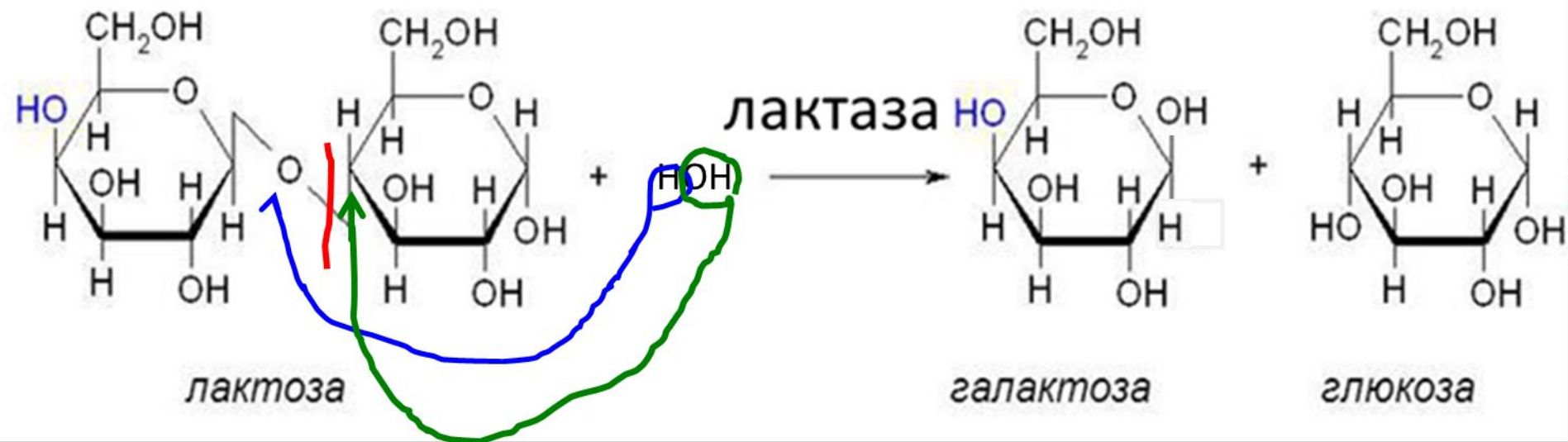
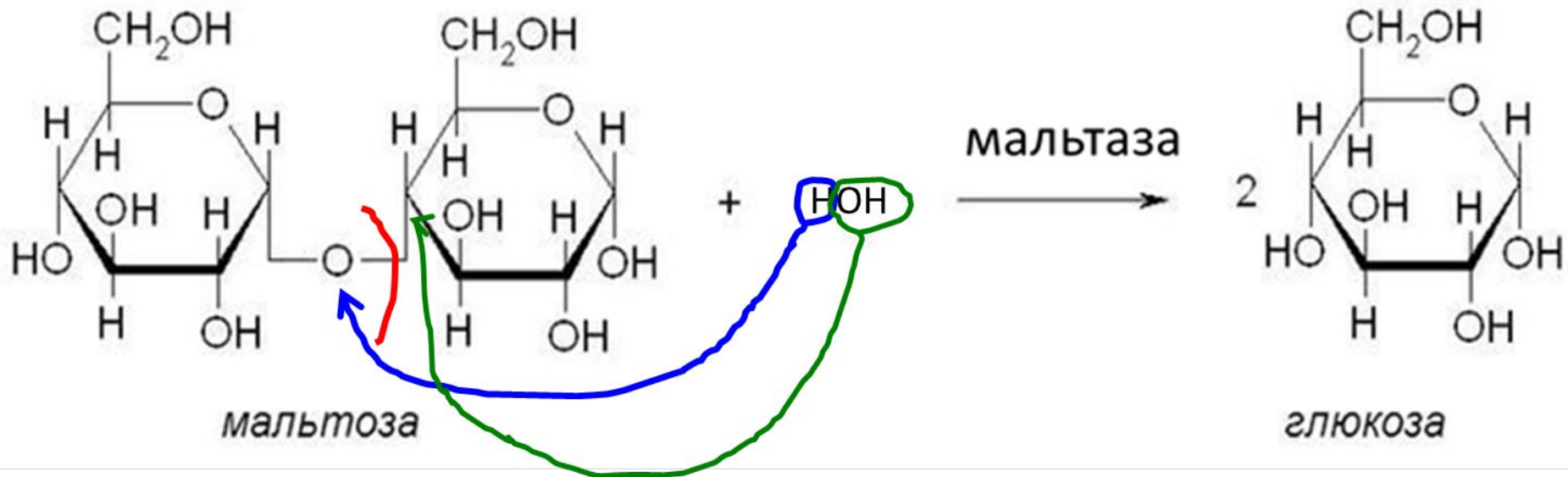
- тетрасахарид  
(2галактозы+1глюкоза+1фруктоза)
- содержится в корнях *Stachys*, в семенах двудольных растений

# ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСАХАРИДОВ (почти как у МС)

- 1. Окисление (восстанавливающие ДС)
- 2. Образование простых эфиров
- 3. Образование сложных эфиров (этерификация)
- 4. Образование гликозидов (восстанавливающие ДС)

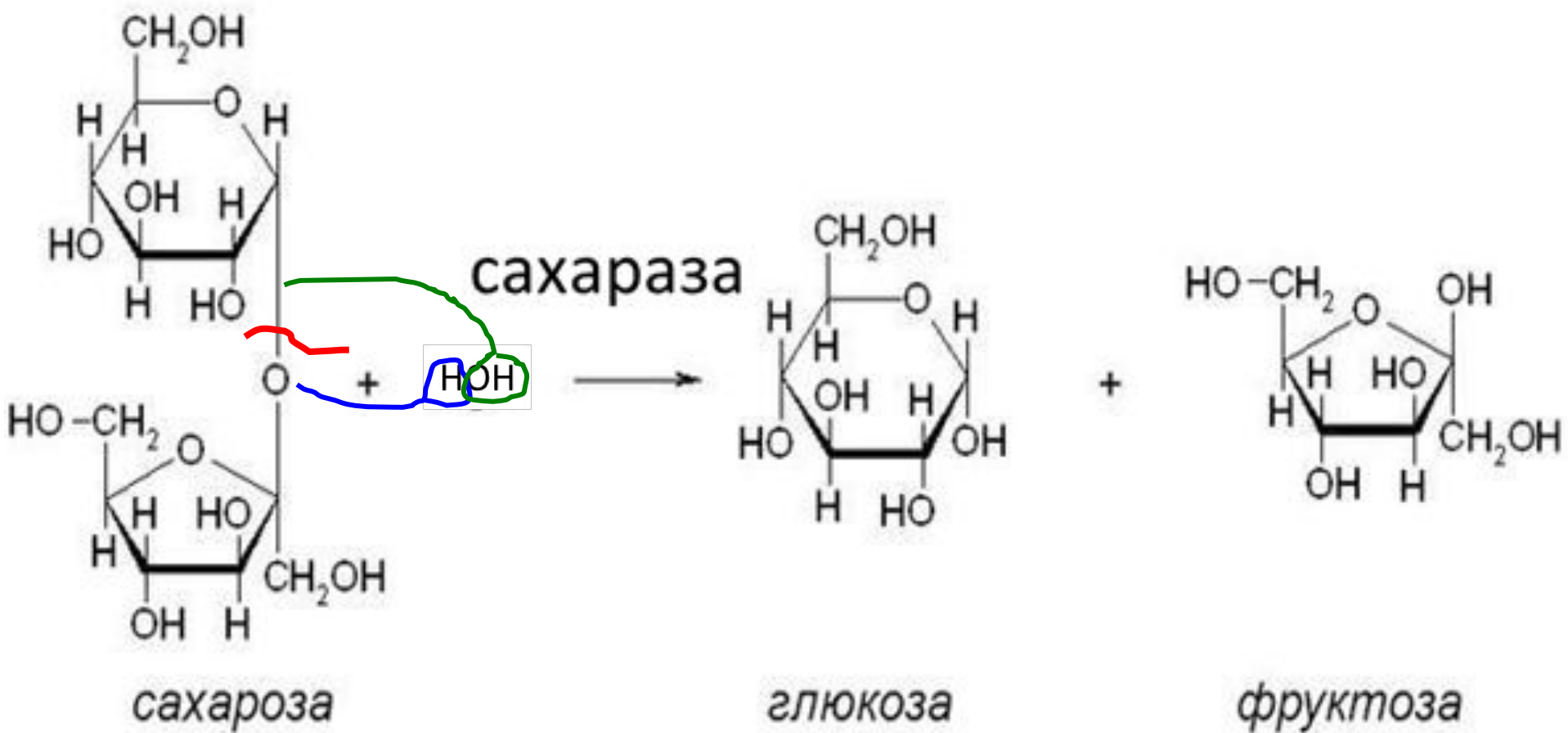
**Способность к  
гидролизу!!!**

# ГИДРОЛИЗ ДИСАХАРИДОВ

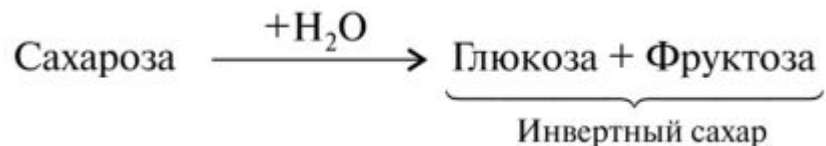




# ГИДРОЛИЗ ДИСАХАРИДОВ

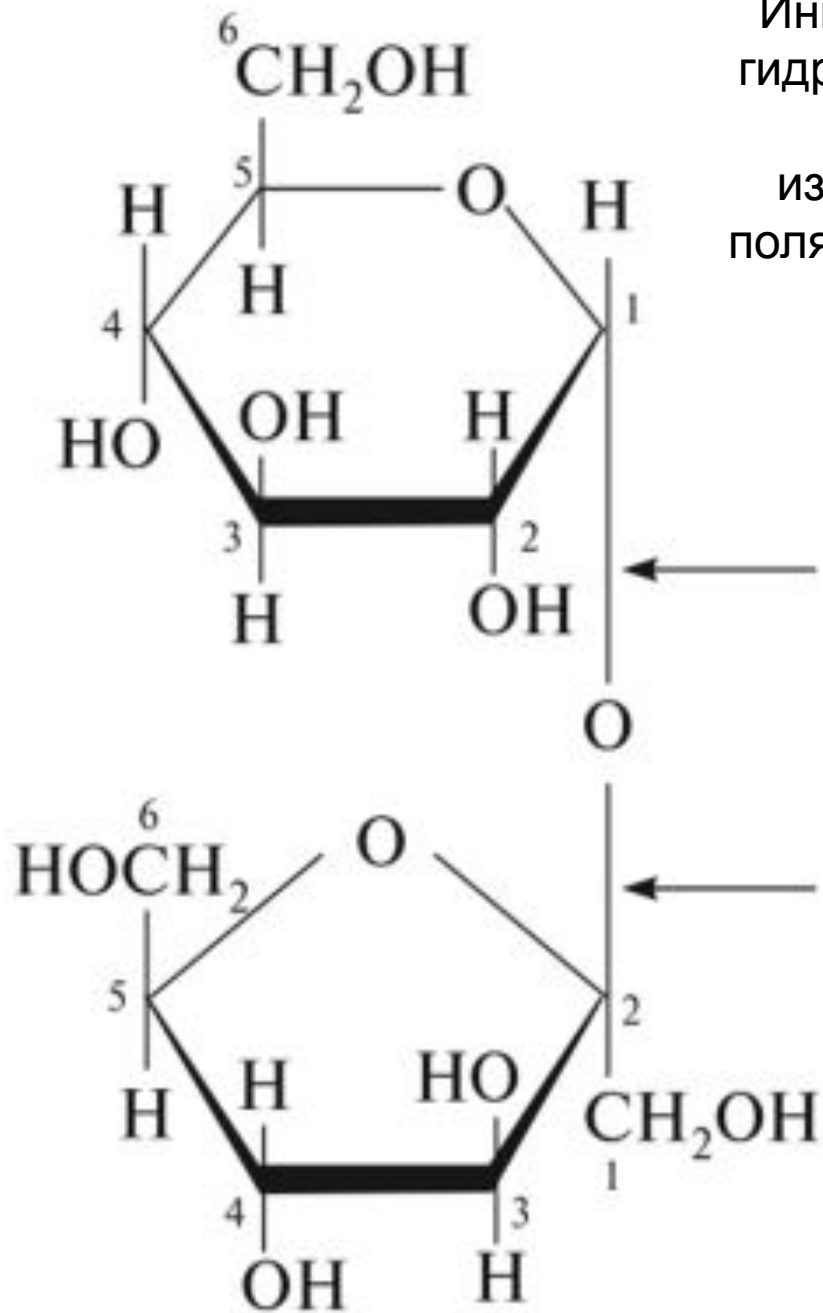


Инвертный сахар (содержится в мёде) - продукт гидролитического разложения сахарозы на смесь глюкозы и фруктозы, которые привели к изменению направления вращения плоскости поляризации света (инверсии), проходящего через



← воздействие  $\alpha$ -глюкозидазы  
(сахаразы)

← воздействие  $\beta$ -фруктофуранозидазы  
(инвертазы)  
получают с помощью дрожжей,  
синтезируется пчёлами



# Полисахариды

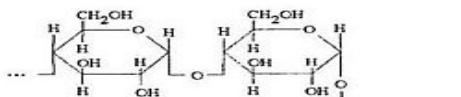
(более 10 зв. моносахаридов)

## 1. ГОМОПОЛИСАХАРИДЫ

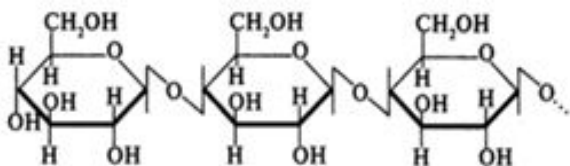
Состоят из молекул моносахаридов **одного вида** (чаще всего – из глюкозы)

В клетках животных и растений присутствуют в **свободном виде**

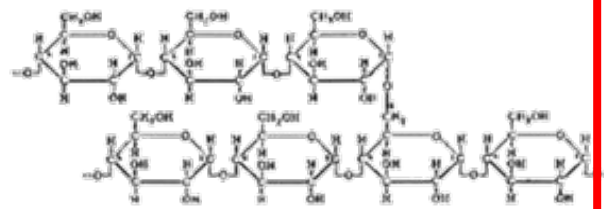
Крахмал



Целлюлоза



Гликоген



## 2. ГЕТЕРОПОЛИСАХАРИДЫ

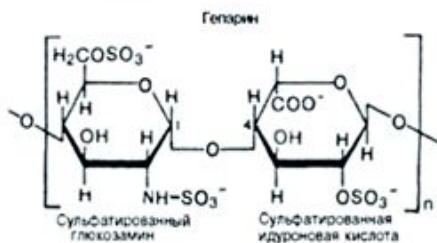
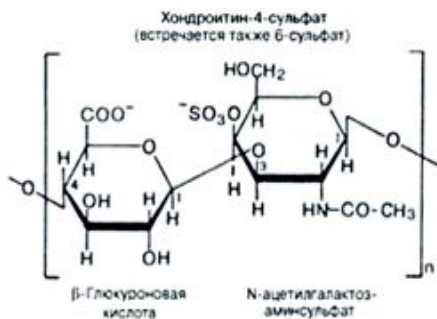
Состоят из молекул производных моносахаридов **разного вида**

Всегда находятся в **виде комплекса с белками**

По соотношению Б и У

1. **Протеогликаны**  
Белка в среднем до 10%, иногда – 1-2%

2. **Гликопротеины**  
Белок, с присоединёнными углеводными компонентами. На долю белка может приходиться до 95%



# ПОЛИСАХАРИДЫ (полиозы)

- В зависимости от строения остатков моносахаридов полисахариды можно разделить на **гомополисахариды** (все мономеры идентичны) и **гетерополисахариды** (мономеры различны).
- В зависимости от выполняемых ими функций, полисахариды можно разделить на **3** основные группы:
  - **резервные полисахариды**, выполняющие энергетическую функцию;
  - **структурные полисахариды**, обеспечивающие клеткам и органам механическую прочность;
  - **полисахариды, входящие в состав межклеточного матрикса**, принимают участие в образовании тканей, а также в пролиферации и дифференцировке клеток.

# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИСАХАРИДОВ




Представляют собой белое **аморфное** вещество



Высокомолекулярные ПС чаще **плохо растворимы в воде**



Если и растворимы, то образуют **суспензии** и мутные **коллоидные растворы** (раствор крахмала в воде - клейстер)



Чаще **несладкие на вкус**

# ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИСАХАРИДОВ

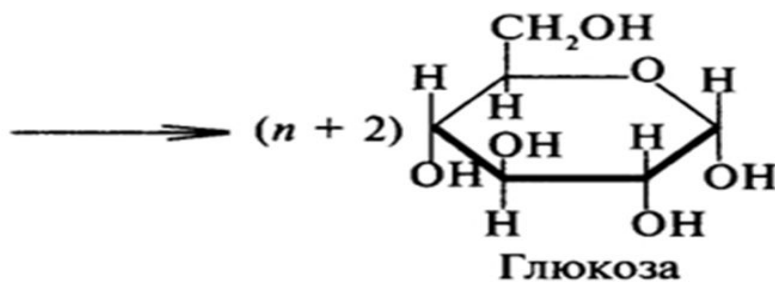
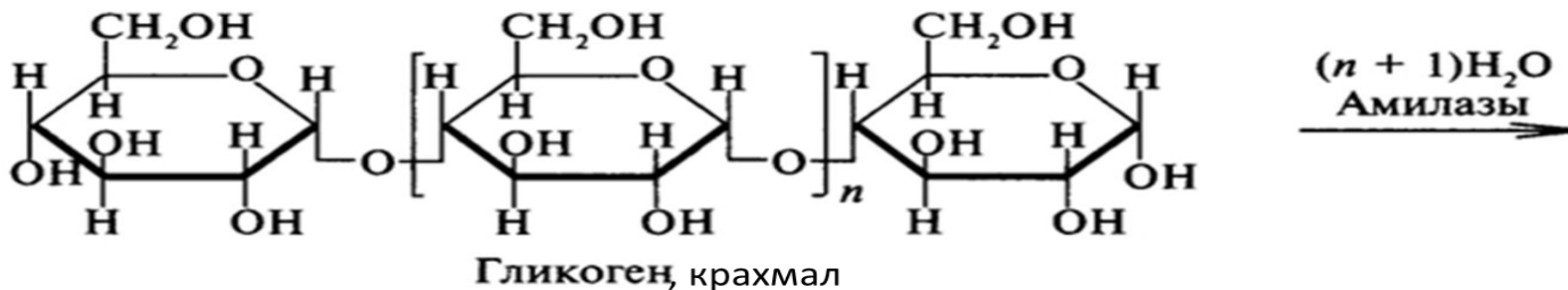
- 1. Окисление
- 2. Образование простых эфиров
- 3. Образование сложных эфиров (этерификация)

**Способность к  
гидролизу!!!**

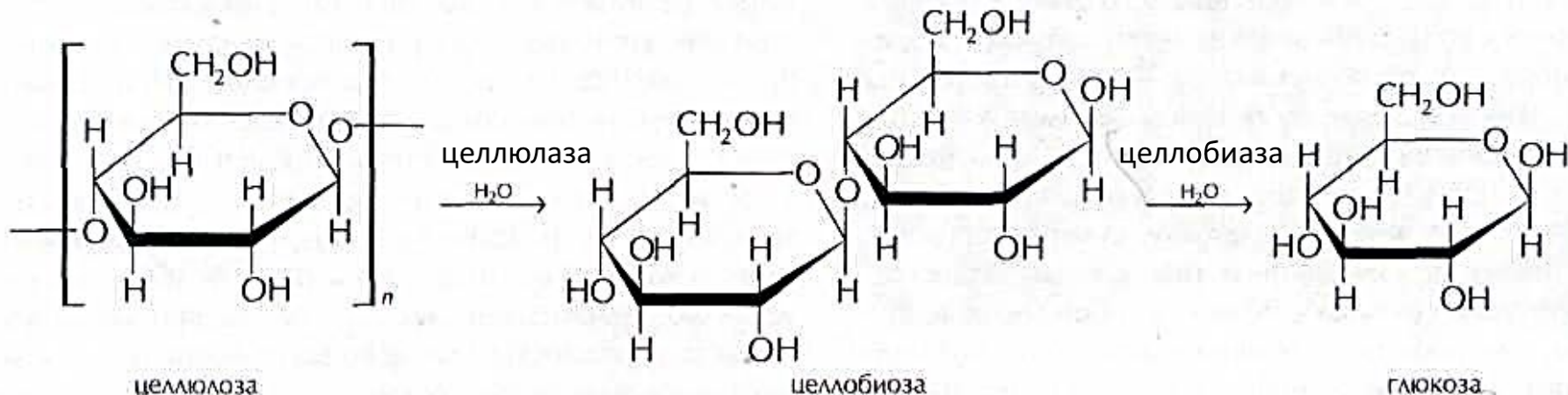


# ГИДРОЛИЗ ПОЛИСАХАРИДОВ

In vivo гидролиз полисахаридов гидролизуется ферментами: крахмал и гликоген гидролизуются амилазами, целлюлоза – целлюлазами, гемицеллюлоза – гемицеллюлазами

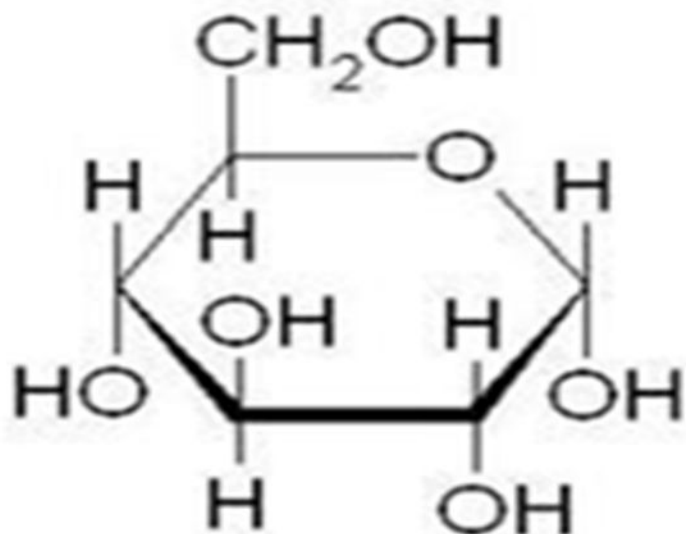


## СХЕМА ГИДРОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ



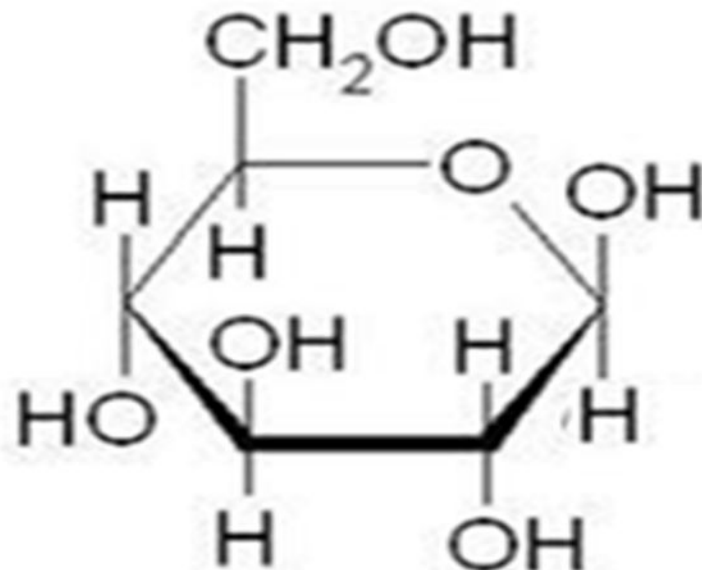
У человека нет, есть у червей, улиток, гусениц и многих микроорганизмов

# Гомополисахариды (гликаны)



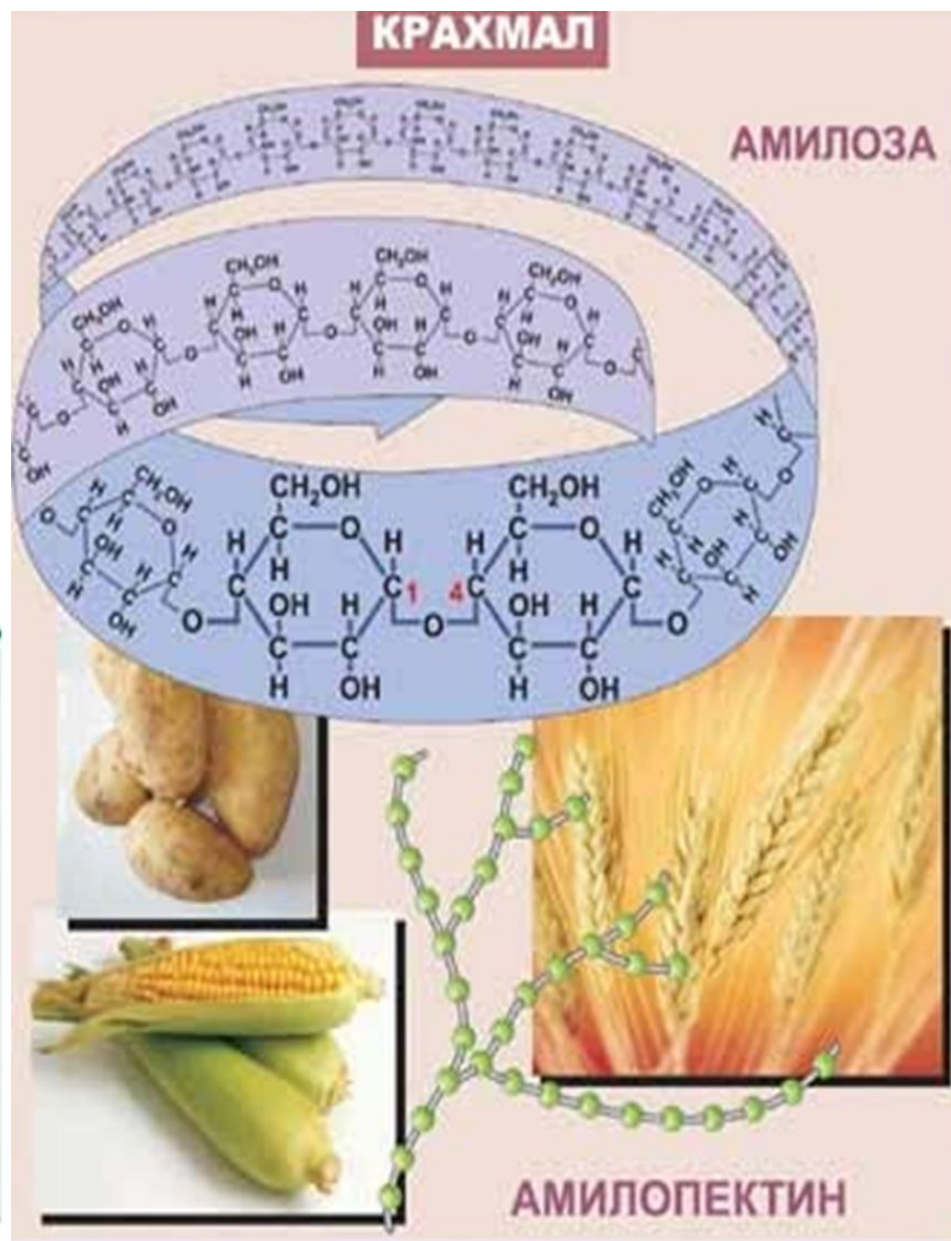
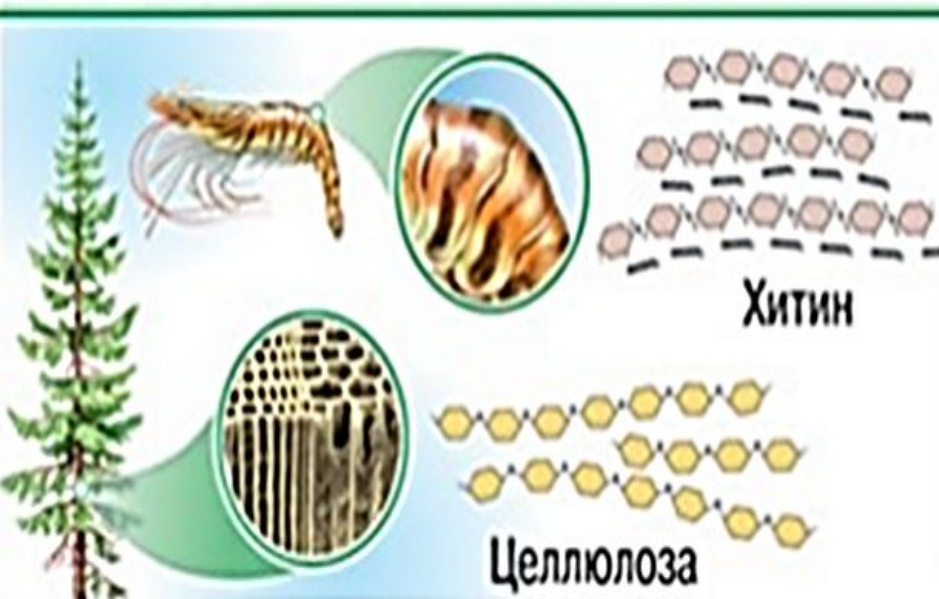
$\alpha$ -глюкоза

ИЛИ

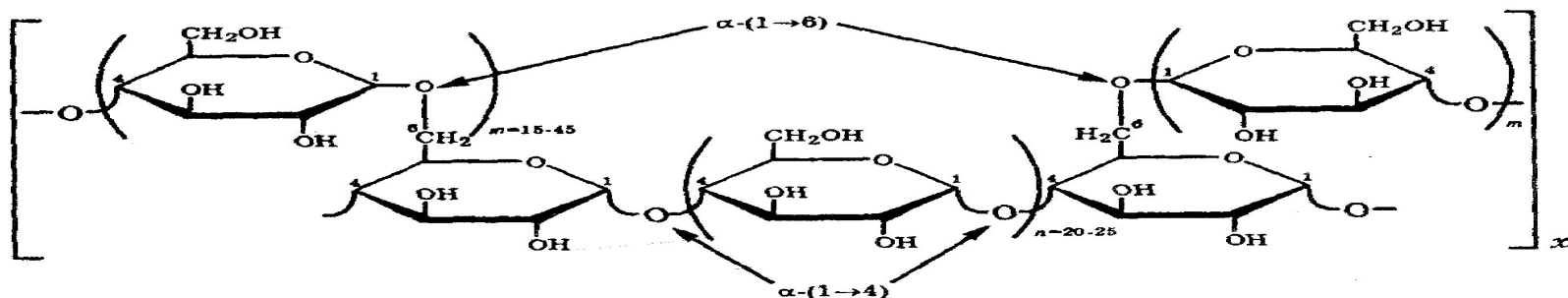


$\beta$ -глюкоза

# ГОМОПОЛИСАХАРИДЫ (гликаны)



# Крахмал



амилопектин,  $M = 10^6 - 10^9$




## СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ КРАХМАЛА

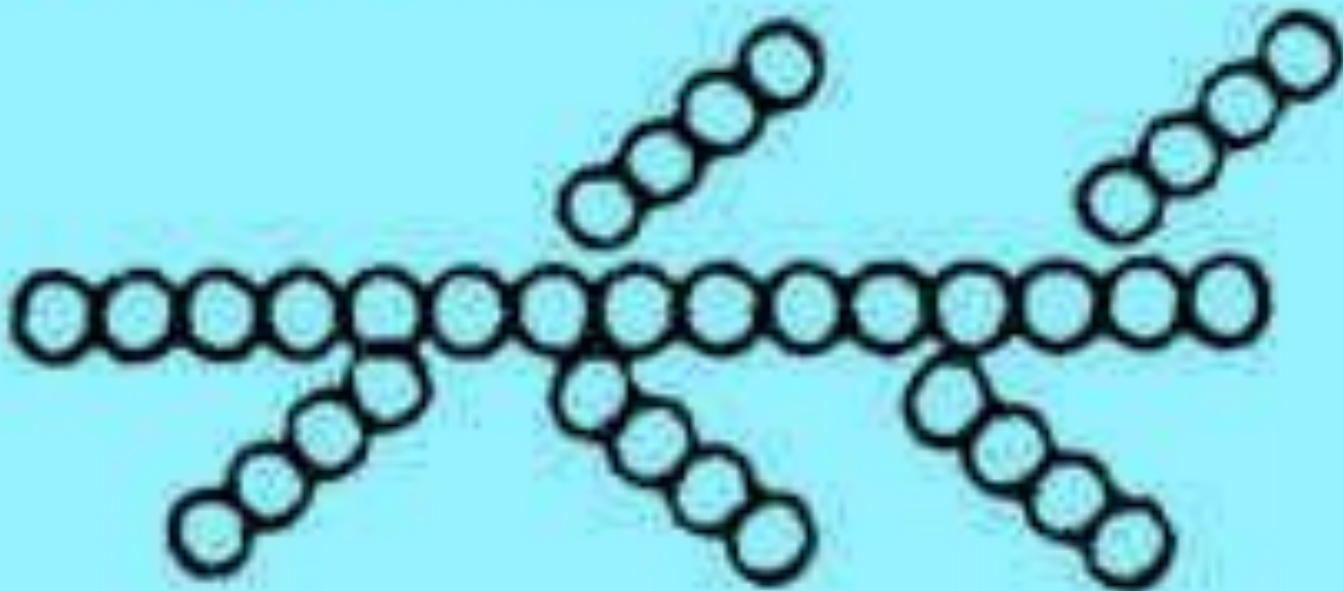
**Крахмал** - разветвлённый полисахарид, состоящий из остатков глюкозы (гомогликан). Молекулярная масса крахмала составляет порядка  $10^5 - 10^8$  Д. Крахмал состоит из **амилозы** и **амилопектина**.



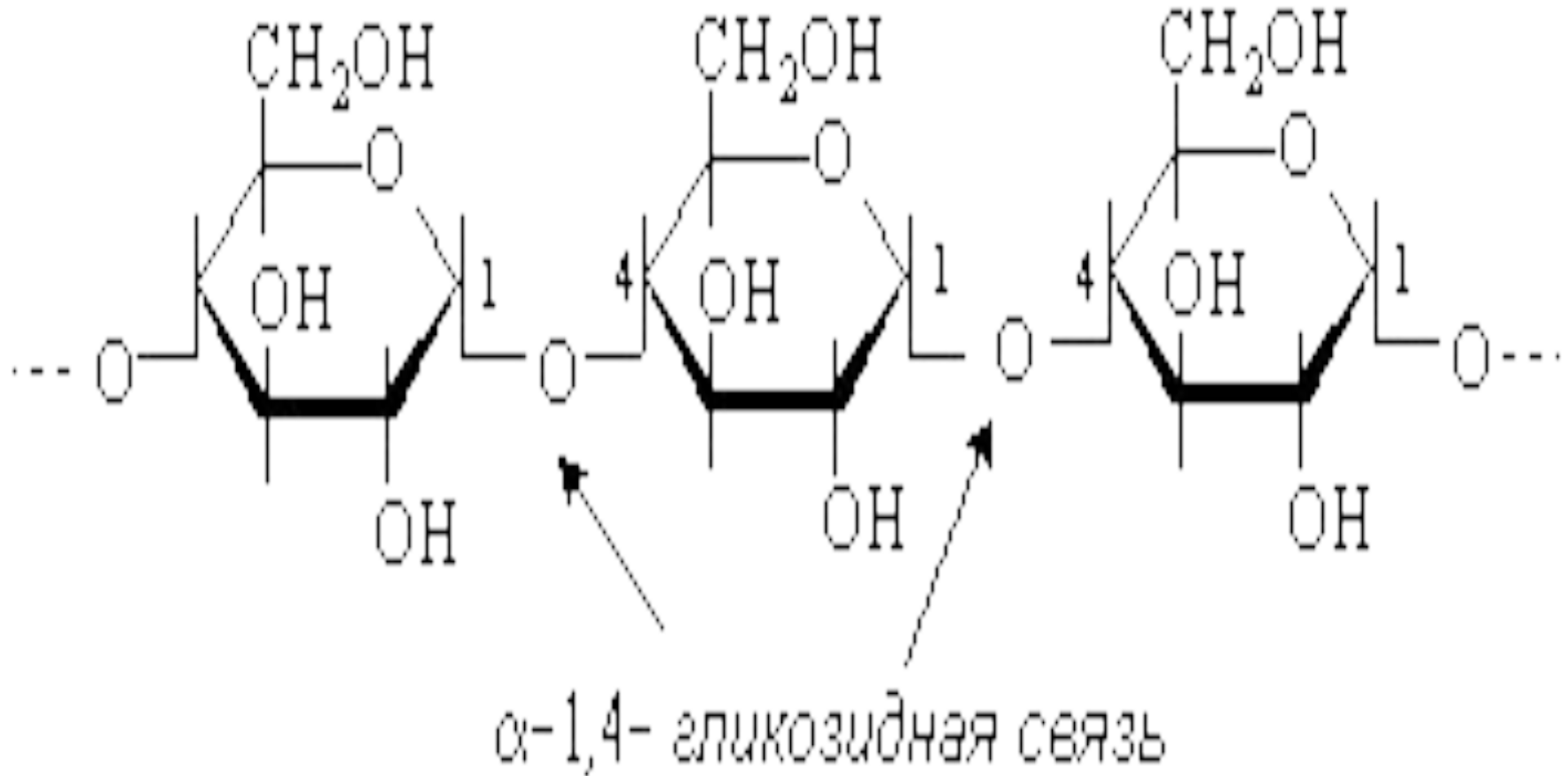
# Строение крахмала

Амилоза 

Амилопектин



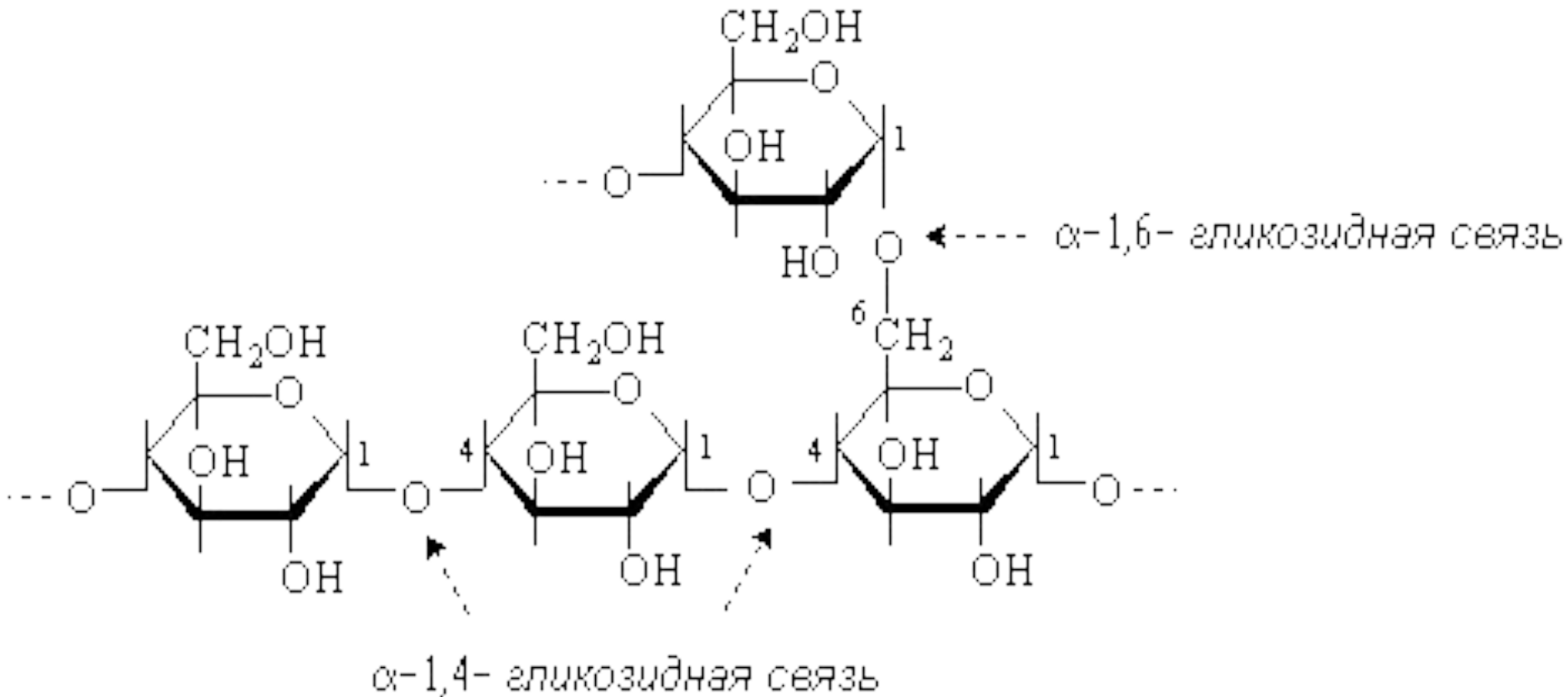
# АМИЛОЗА



**Амилоза** - неразветвлённый полисахарид, включающий 200-300 остатков глюкозы, связанных  $\alpha$ -1,4-гликозидной связью. Благодаря  $\alpha$ -конфигурации глюкозного остатка, полисахаридная цепь имеет конформацию спирали.

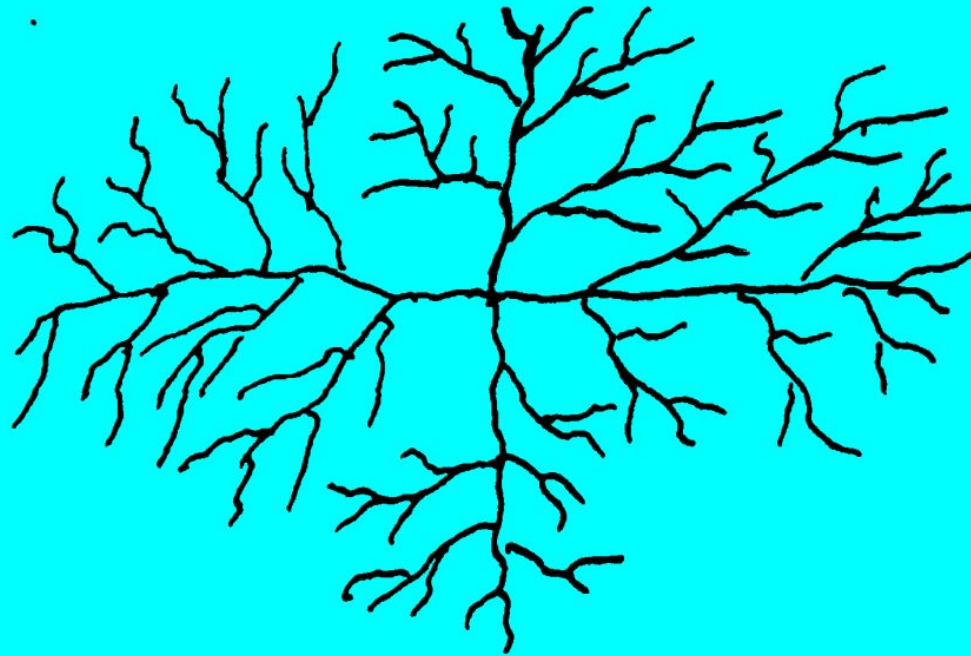


# АМИЛОПЕКТИН



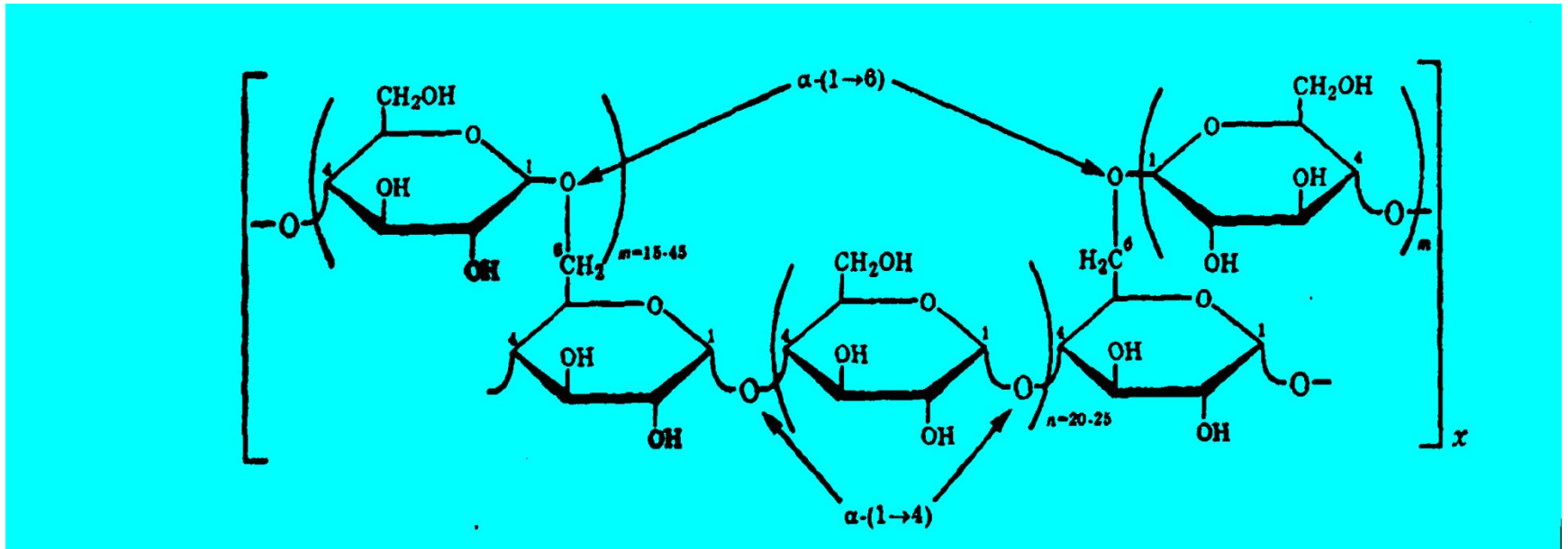
**Амилопектин** имеет разветвлённую структуру. В местах ветвления остатки глюкозы соединены  $\alpha$ -1,6-гликозидными связями. Линейные участки содержат примерно 20-25 остатков глюкозы. При этом формируется древовидная структура, в которой имеется лишь одна аномерная OH-группа.

# Гликоген



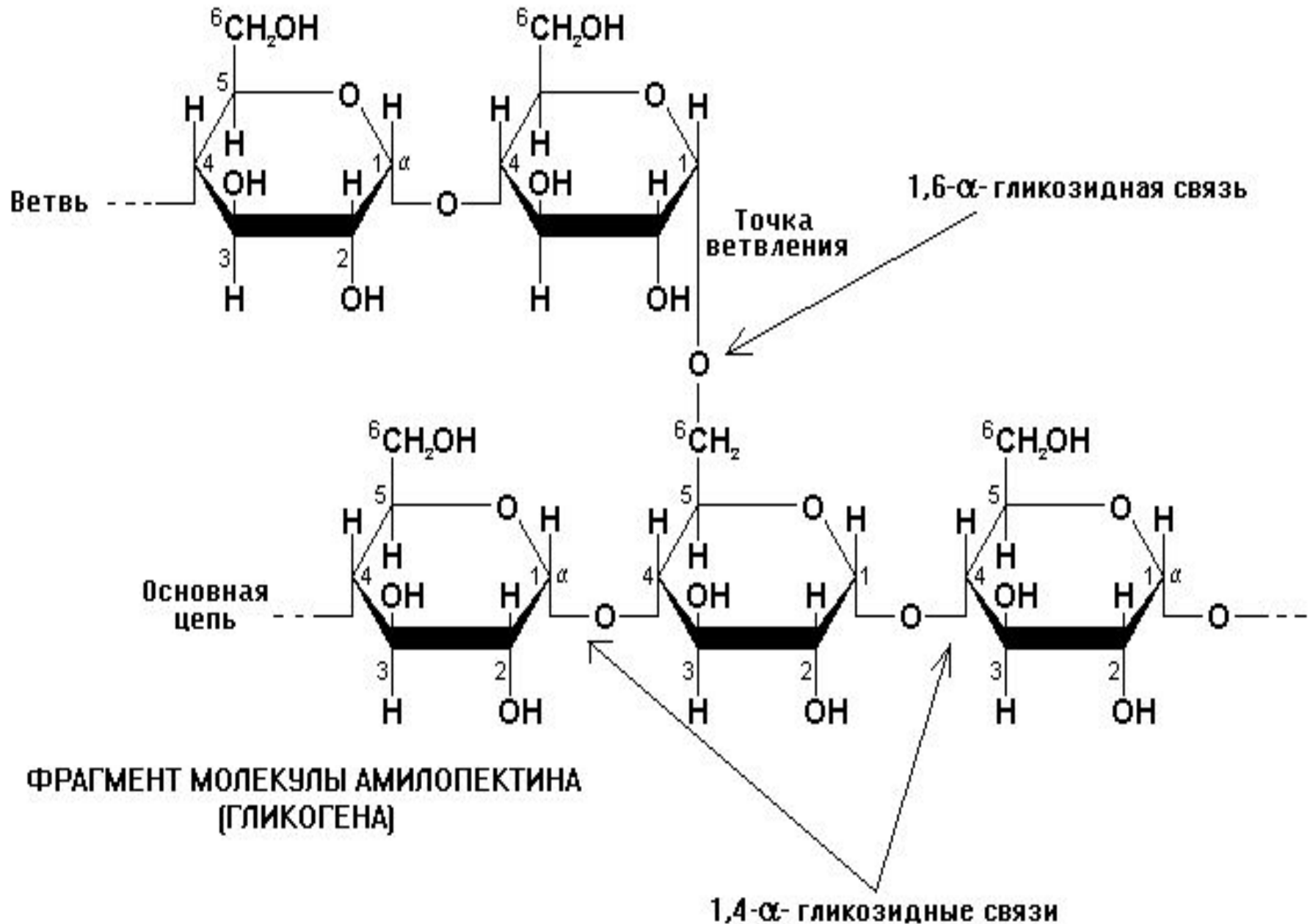
**Гликоген** - полисахарид животных и человека, выполняет резервную функцию. В пище содержится небольшое количество гликогена, в связи с этим гликоген не имеет большого пищевого значения.

# Строение молекулы гликогена



**Гликоген** представляет собой структурный аналог крахмала, но имеет большую степень ветвления: примерно на каждые 10 остатков глюкозы приходится одна  **$\alpha$ -1,6-гликозидная связь**.

# Строение крахмала и гликогена



# Целлюлоза (клетчатка)



**Целлюлоза** - линейный полисахарид гомогликан, построенный из остатков глюкозы, соединённых между собой  $\beta$ -1,4-гликозидными связями. Пищеварительная система человека не имеет ферментов, гидролизующих  $\beta$ -связи в полисахаридах. Поэтому целлюлоза – не используемый углевод, но этот пищевой компонент необходим для нормального протекания переваривания.



# Целлюлоза

- Значение – главный структурный компонент клеточных стенок растений, обеспечивают прочность клеток растений
- В древесине – около 50% целлюлозы, хлопок – практически чистая целлюлоза
- Свойства – не растворяется в воде, инертна в химическом отношении, не расщепляется ферментами пищеварительного тракта животных





# Декстрины



## амилодекстрины

- Самые длинные молекулы (степень полимеризации  $n$  более 47)
- с йодом становятся сине-голубыми

$n = 39-46$  - сине-фиолетовый, при  $n = 30-38$  - красно-фиолетовый



## эритродекстрины

- Молекулы средней длины ( $n = 21-29$ )
- С йодом:  $n = 25-29$  - красное, при  $n = 21-24$  - коричневые

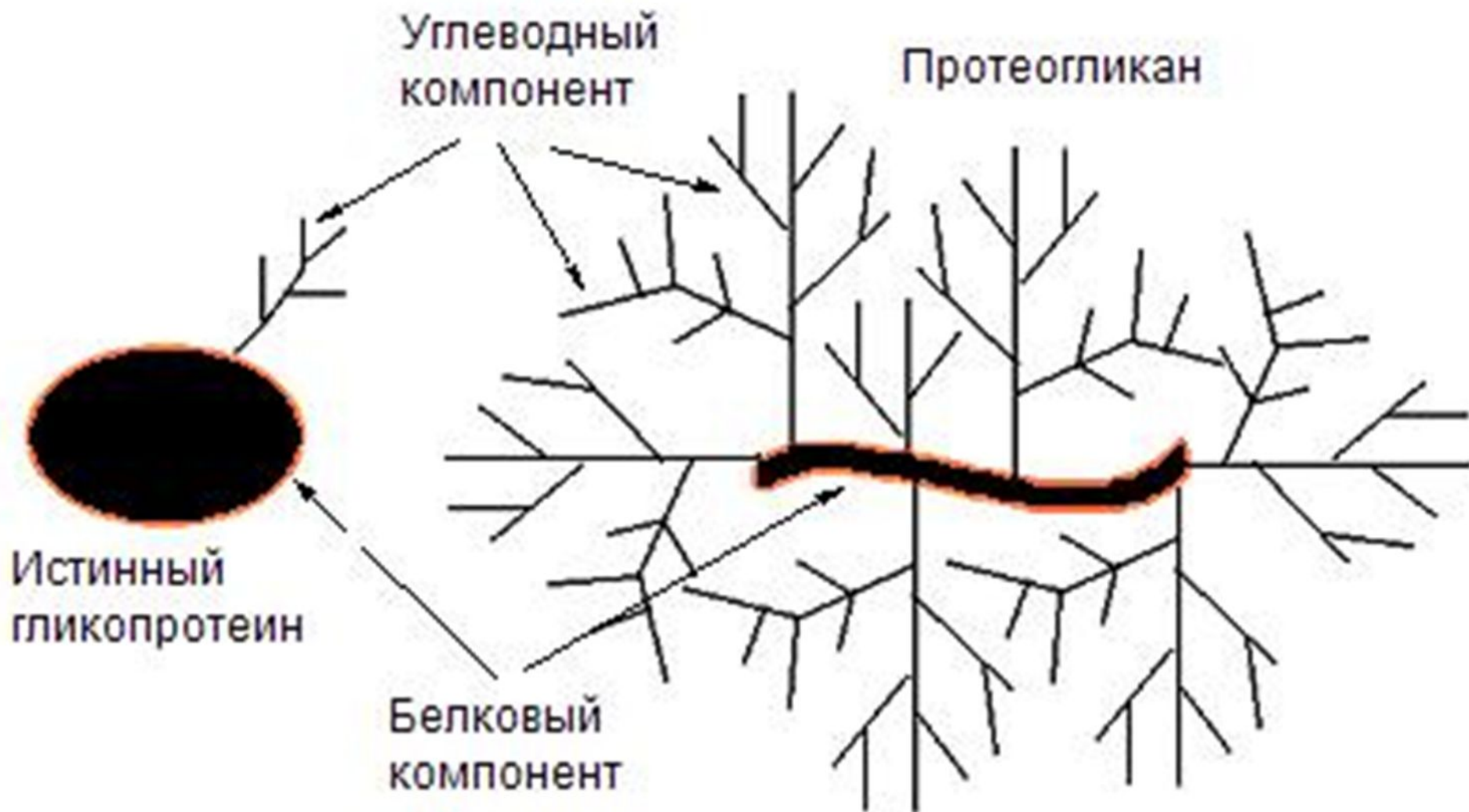


## мальтодекстрины (ахродекстрины)

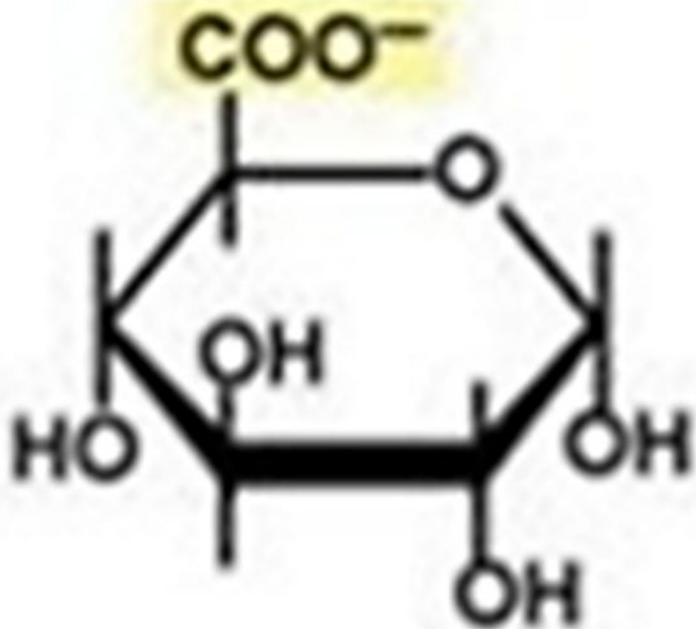
- Самые короткие молекулы
- при  $n$  менее или равным 20 окрашенный комплекс не образуется

**гликопротеины**  
(менее 10% углеводов)

**протеогликаны (мукополисахариды)**  
(свыше 95% углеводов)

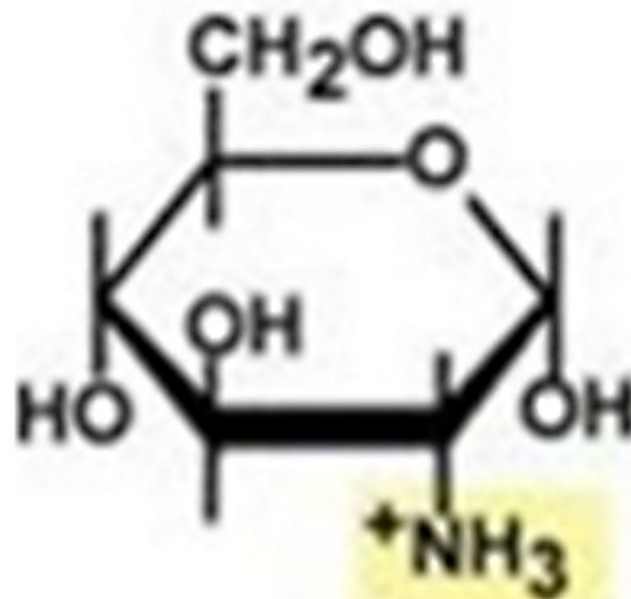


# Гетерополисахариды



**-уроновая кислота** или  
ее сульфированное  
производное

И



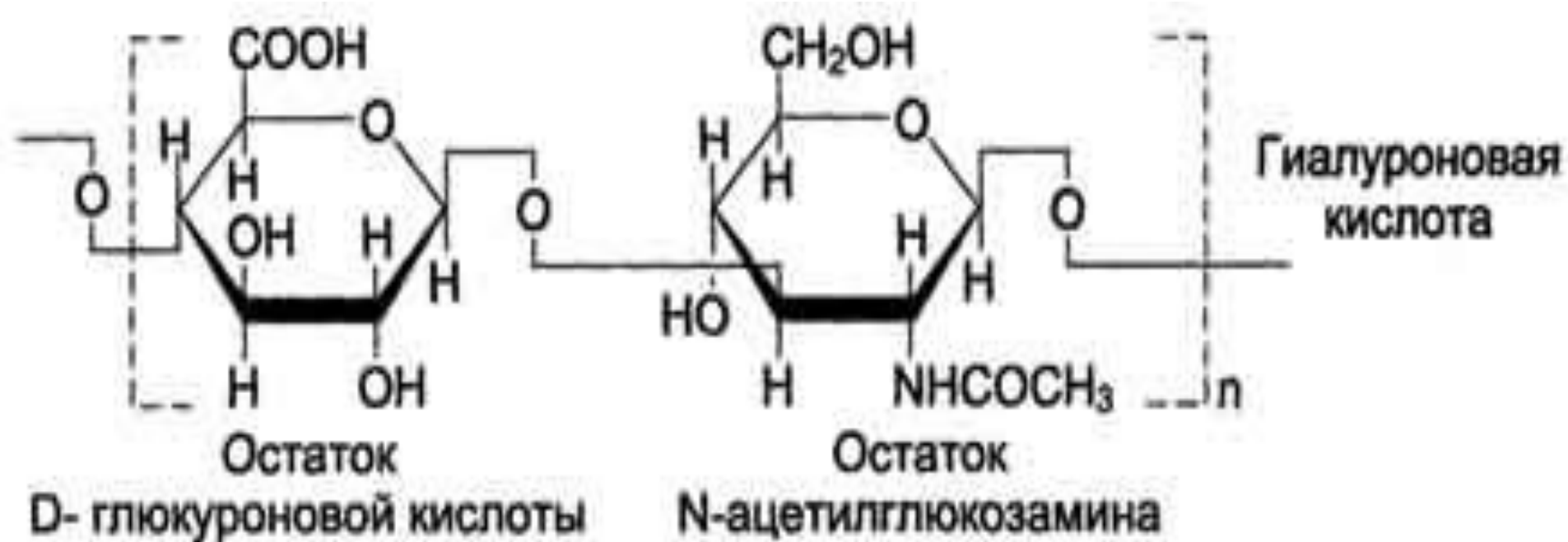
**аминосахар** или его  
ацетильное/  
сульфированное  
производное

# Запомните отличия наиболее важных гетероПС

Признак	Гиалуроновая к-та	ХИСы 4 или 6	Гепарин
Производные какого МС	$\beta$ -D-глюкозы	$\beta$ -D-глюкозы и $\beta$ -D-галактозы	$\alpha$ -D-глюкозы
Особенности строения уроновой кислоты	глюкуроновая к-та	глюкуроновая к-та	сульфо(2 атом С)глюкурон. к-та
Особенности строения аминасахара	N-ацетил-глюкозамин (2 атом С)	Сульфо(по 4 или 6 атому С) N-ацетил- <u>галактозамин</u> (2 атом С)	Сульфо(по 6 атому С) N-ацетил-глюкозамин (2 атом С)
Связи внутри основополагающего ДС звена	$\beta$ -1,3-O-гликозидные	$\beta$ -1,3-O-гликозидные	$\alpha$ -1,4-O-гликозидные
Связи снаружи основополагающего ДС звена	$\beta$ -1,4-O-гликозидные	$\beta$ -1,4-O-гликозидные	$\alpha$ -1,4-O-гликозидные
Самое важное	удержание воды (тургор кожи)	структура хрящевой и	

# Гиалуроновая кислота

- **Гиалуроновая кислота** находится во многих органах и тканях. В хряще она связана с белком и участвует в образовании протеогликановых агрегатов. Гиалуроновая кислота содержит несколько тысяч дисахаридных единиц, молекулярная масса её достигает  $10^5 - 10^7$  Д.
- Повторяющаяся дисахаридная единица в гиалуроновой кислоте имеет следующую структуру:



# ГИАЛУРОНОВАЯ

## КИСЛОТА

- Содержание белка – не больше 1-2%
- Свойства – полианион с большим отрицательным зарядом; очень гидрофильная молекула; образует с водой очень вязкие гелеобразные растворы
- Функции – регуляция проницаемости межклеточного вещества, растворение и диффузия солей



ДО

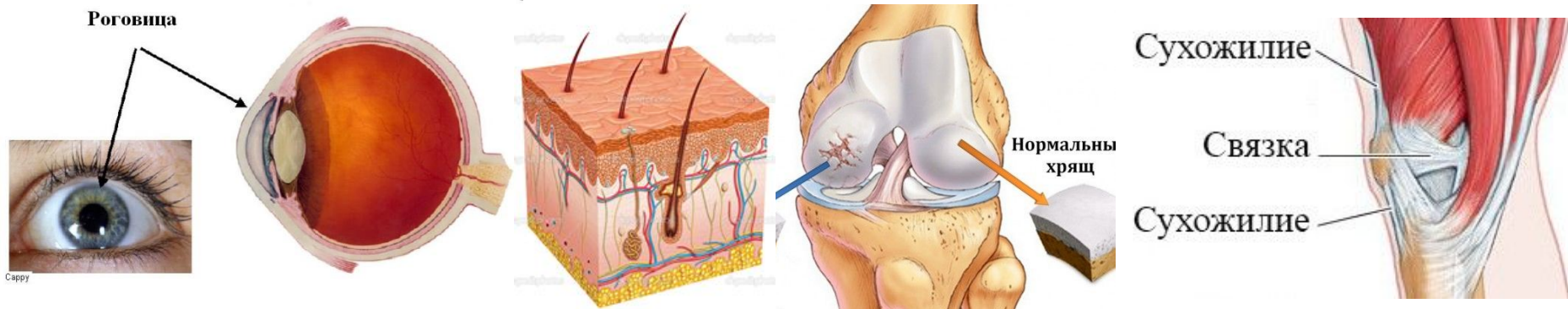


ПОСЛЕ

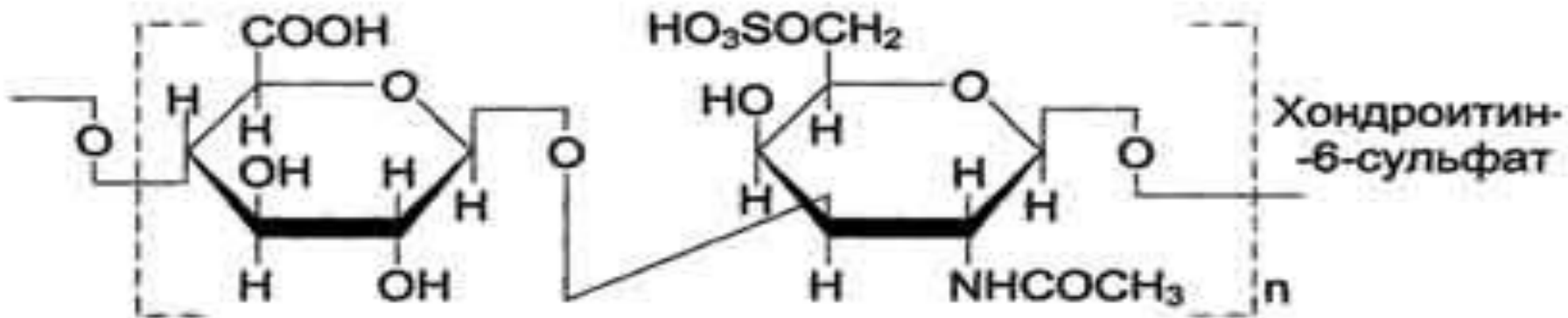
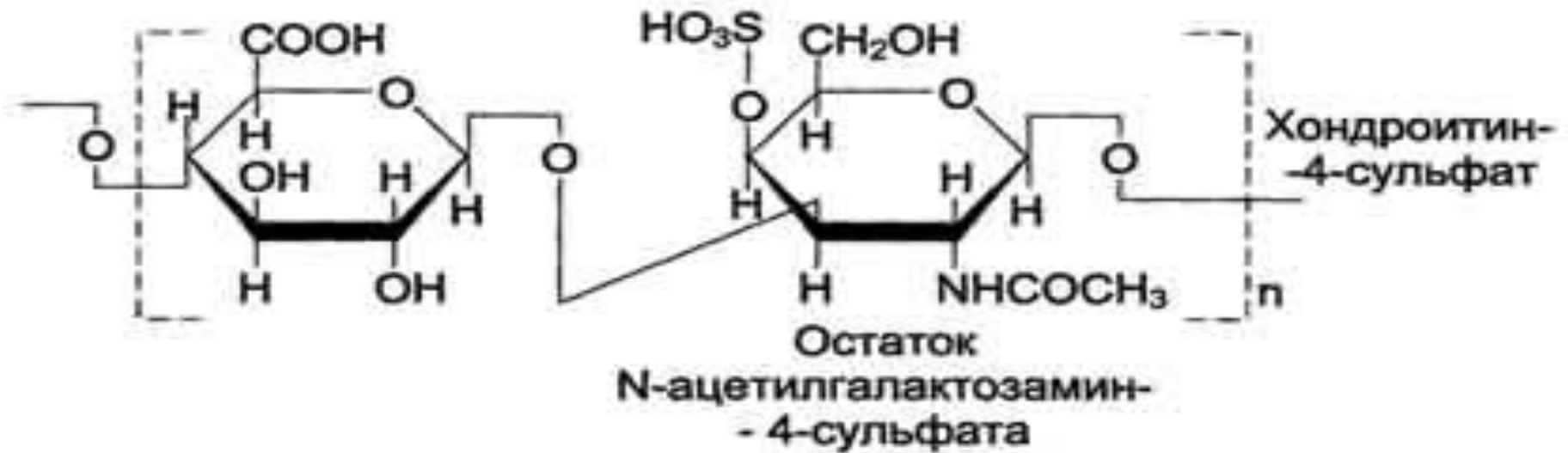


# Хондроитинсульфаты

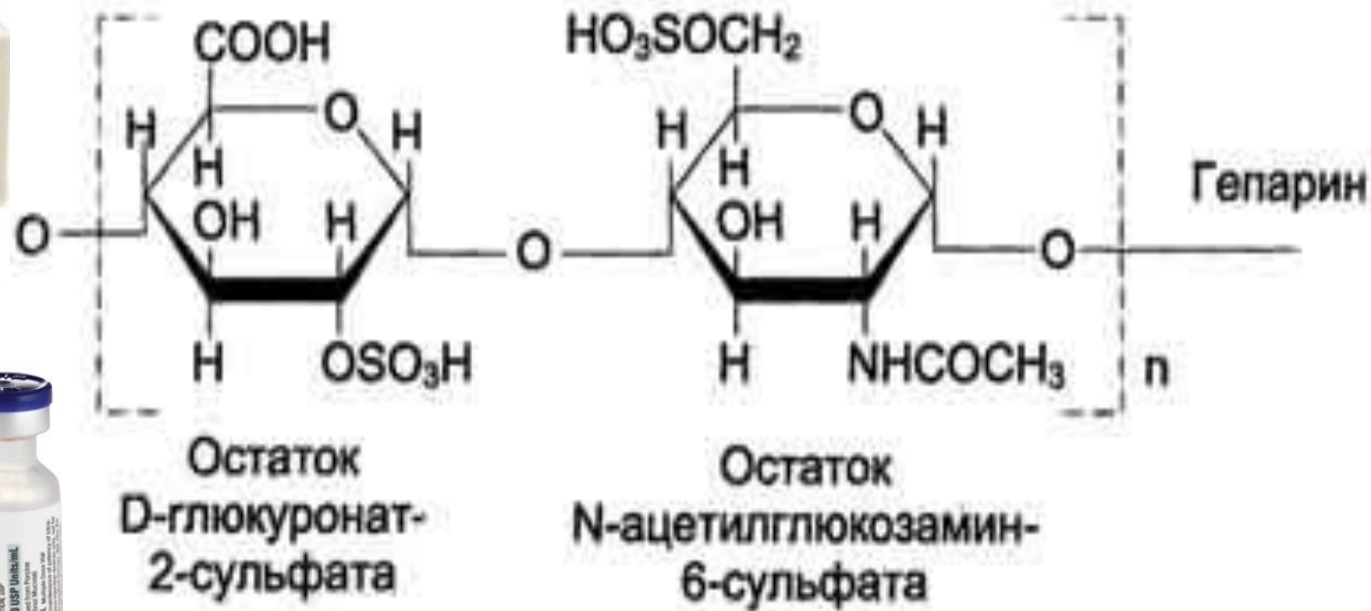
- **Хондроитинсульфаты** - самые распространённые гликозаминогликаны в организме человека; они содержатся в хряще, коже, сухожилиях, связках, артериях, роговице глаза. Хондроитинсульфаты являются важным составным компонентом агрекана - основного протеогликана хрящевого матрикса.
- В организме человека встречаются 2 вида хондроитинсульфатов: **хондроитин-4-сульфат** и **хондроитин-6-сульфат**. Они построены одинаковым образом, отличие касается только положения сульфатной группы в молекуле N-ацетилгалактозамина



# СТРУКТУРНАЯ ФОРМУЛА ХОНДРОИТИН-4-СУЛЬФАТ И ХОНДРОИТИН-6-СУЛЬФАТА

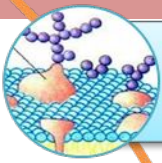


# Гепарин

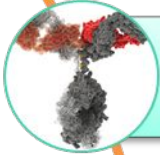


- Гепарин** - важный компонент противосвёртывающей системы крови (его применяют как антикоагулянт при лечении тромбозов). Дисахаридная единица гепарина похожа на дисахаридную единицу гепарансульфата. Отличие этих гликозаминогликанов заключается в том, что в гепарине больше N-сульфатных групп, а в гепарансульфате больше N-ацетильных групп. **Молекулярная масса гепарина колеблется от  $6 \times 10^3$  до  $25 \times 10^3$  Д.**

# Гликопротеины и их функции



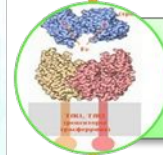
**Рецепторная** (рецепторы клеточных мембран)



**Защитная** (муцины слюны, антитела (иммуноглобулины), факторы свертывания крови (протромбин, фибриноген), интерферон)



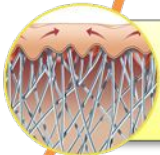
**Групповые свойства крови** (гликопротеины групп крови)



**Транспортная** (трансферрин, транскортин, альбумин, Na<sup>+</sup>,K<sup>+</sup>-АТФаза)



**Регуляторная** (гонадотропный, аденокортикотропный и тиреотропный гормоны; ферменты холинэстераза, нуклеаза)



**Структурная** (клеточная стенка бактерий, костный матрикс, кожа – белки коллаген, эластин соединительной ткани)

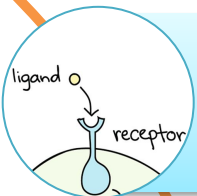


**Другие специфические функции** (межклеточная адгезия, контактное торможение клеточного роста и др.)



# Роль углеводного компонента (гликановая фракция)

Обеспечивают **высокую специфичность** связывания с лигандами и узнавание их (большая специфичность при наличии не только белкового, но и углеводного компонента)



## Входят в состав активного центра гликопротеинов-ферментов



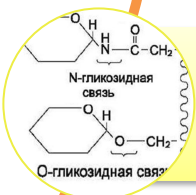
Придают **термостабильность** (роль антифризов у рыб) и **химическую стабильность** гликопротеинам (хуже перевариваются гидролазами, «защита» клетки)



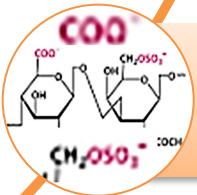
Благодаря углеводной части **лучше растворяются** в водной среде и **быстрее выводятся** из организма



Обеспечивают **формирование прочных гликозидных связей** с аминокислотами в составе белка

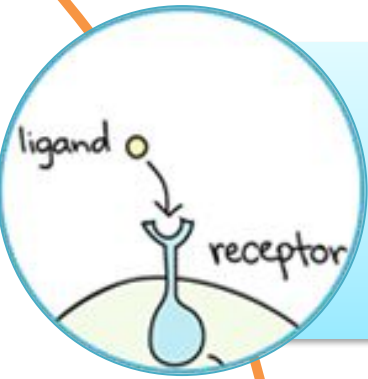


Для протеогликанов: **ионообменная активность** (полианионы) - легко связывают и удерживают воду

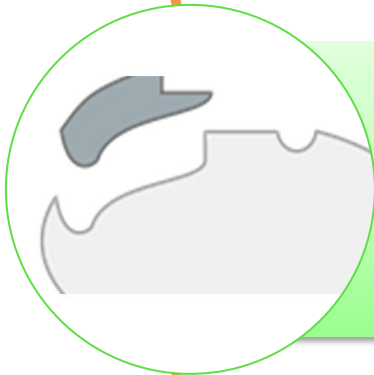


Г  
Л  
И  
К  
О  
Б  
И  
О  
Л  
О  
Г  
И  
Я

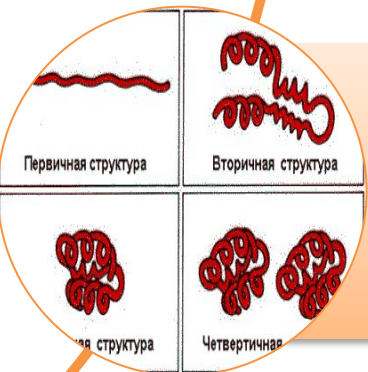
# Роль белкового компонента (агликановая фракция) гликопротеинов



Обеспечивают специфичность  
связывания с лигандами




Обеспечивают  
каталитическую функцию  
гликопротеинов



Формируют структуры белка-  
гликопротеина



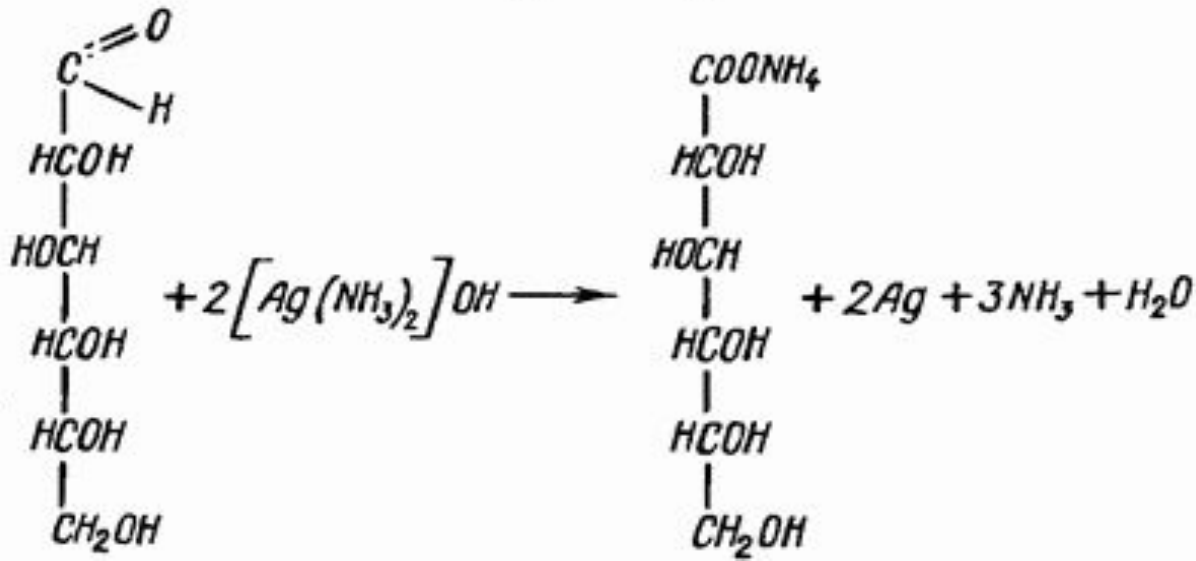
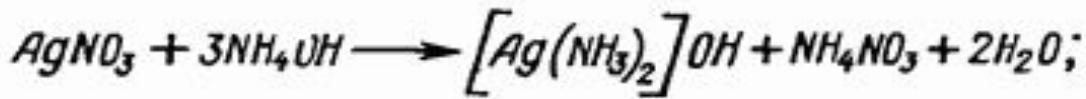
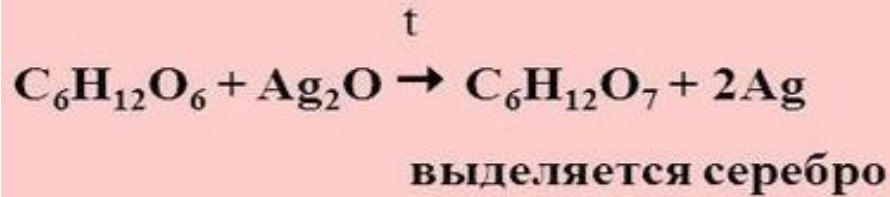


# Качественные реакции на углеводы

# Реакция «Серебряного зеркала» (на альдегиды и МС альдозы, их отличие от кетоз)



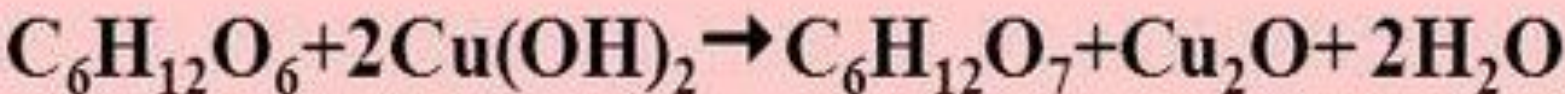
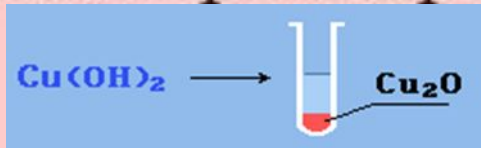
реакция восстановления серебра из аммиачного раствора оксида серебра (реактив Толленса)



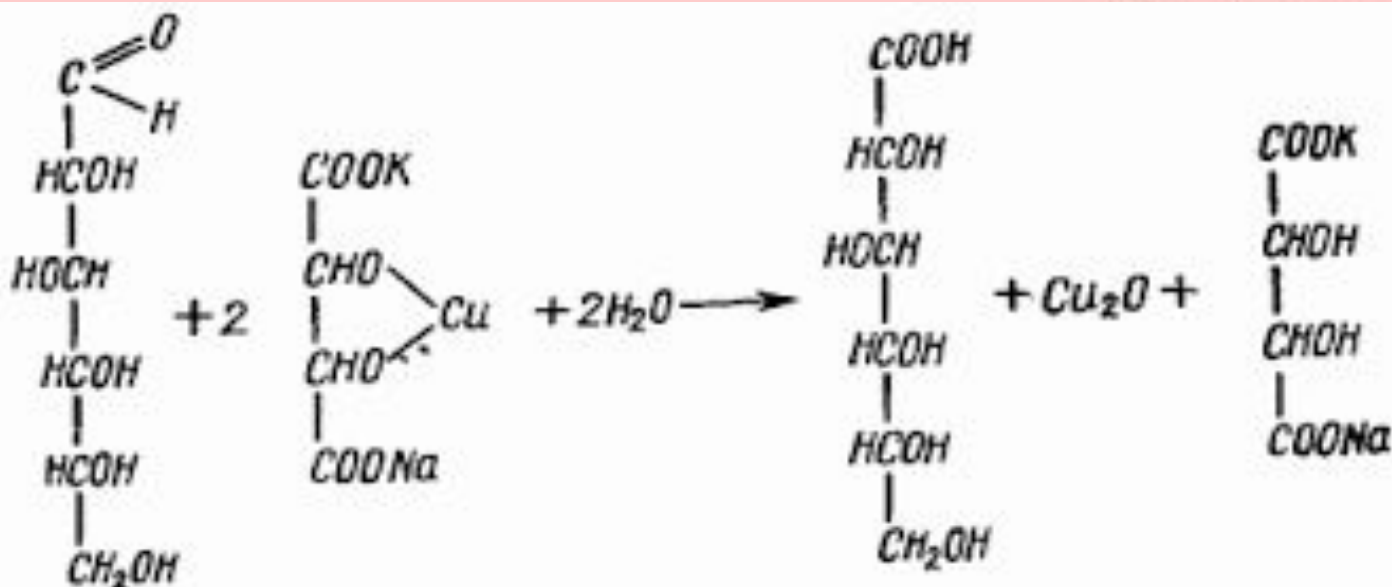
# Реакция с реактивом Фелинга (на МС и редуцирующие ДС)

Взаимодействие с гидроксидом меди при нагревании

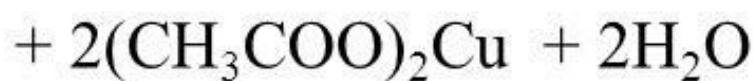
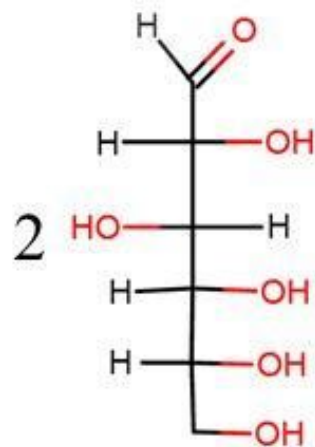
t



красное окрашивание



# Реакция Барфорта (на МС, отличающие их от редуцирующих ДС)

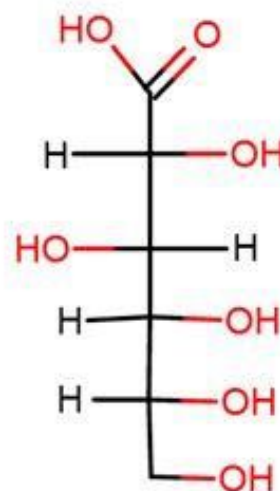
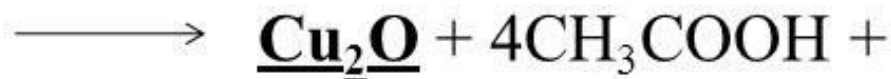


Ледяная  $\text{CH}_3\text{COOH}$

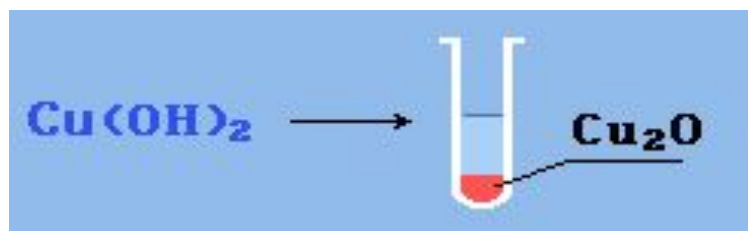


**Осадок**  
**красного**  
**цвета**

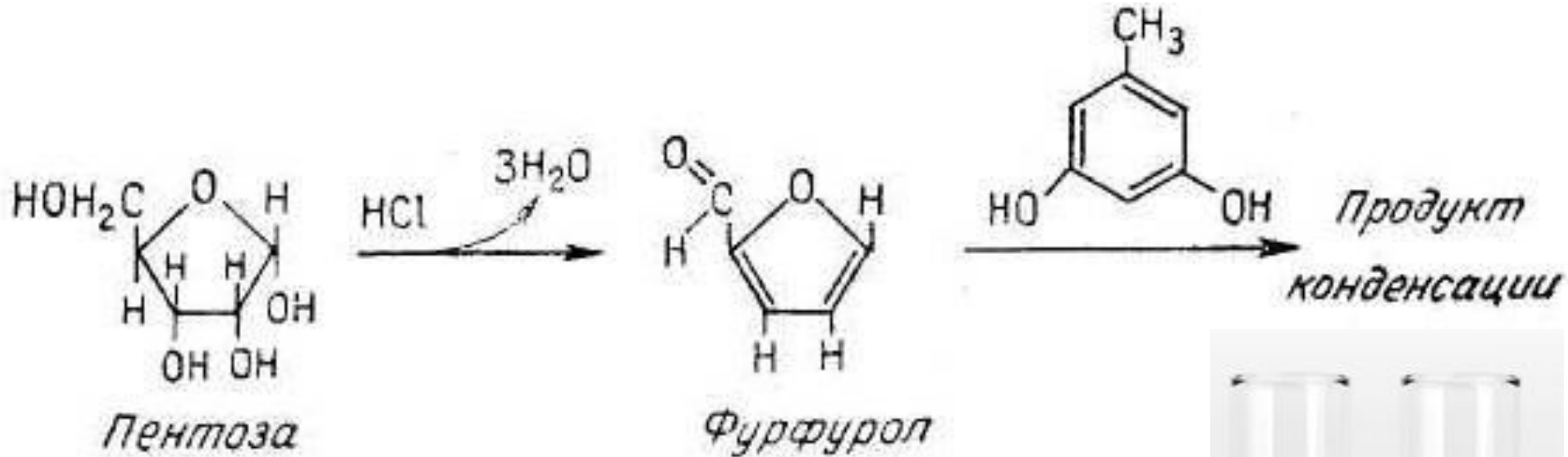
Глюкоза (альдегидная форма)



Глюконовая кислота



# Реакция на пентозы по Биалю (на МС - пентозы)



Пентозы в кислой среде (при нагревании с концентрированными кислотами) отщепляют воду и образуют фурфурол, который конденсируется с орцином в присутствии следов хлорида железа (III) в продукт сине-зеленого цвета

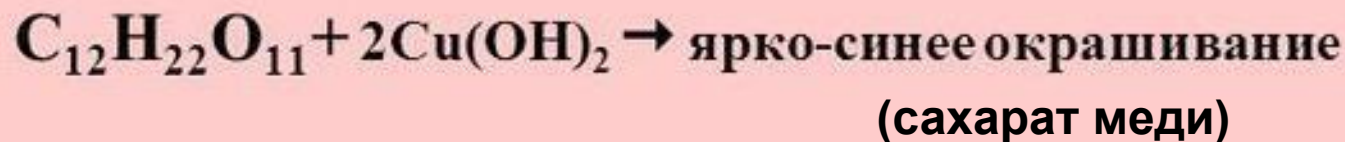




# Другие реакции на отдельные сахара

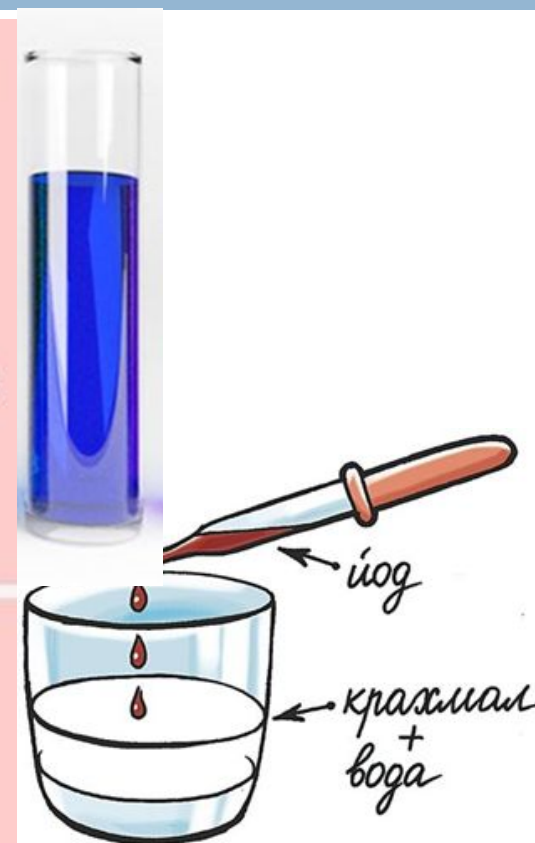
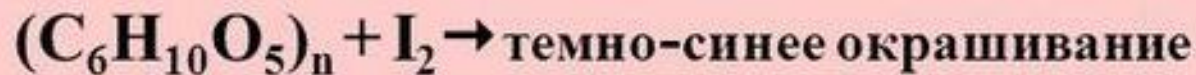
## Качественная реакция на сахарозу

Взаимодействие с гидроксидом меди



## Качественная реакция на крахмал

Взаимодействие с йодом





# Декстрины



## амилодекстрины

- Самые длинные молекулы (степень полимеризации  $n$  более 47)
- с йодом становятся сине-голубыми

$n = 39-46$  - сине-фиолетовый, при  $n = 30-38$  - красно-фиолетовый



## эритродекстрины

- Молекулы средней длины ( $n = 21-29$ )
- С йодом:  $n = 25-29$  - красное, при  $n = 21-24$  - коричневые



## мальтодекстрины (ахродекстрины)

- Самые короткие молекулы
- при  $n$  менее или равным 20 окрашенный комплекс не образуется

# Заключение

Моносахариды – углеводы, не подвергающиеся гидролизу. Их химические свойства обусловлены наличием в молекулах оксо- и нескольких гидроксильных групп.

**Глюкоза** - наиболее важный моносахарид, являющийся основным звеном в составе олиго- и полисахаридов.

3. Животные организмы не способны синтезировать углеводы и получают их из растительных источников, где они образуются в ходе фотосинтеза

4. **Крахмал** - гомополисахарид, состоящий из глюкозы, является основным углеводом пищи.

5. **Гликоген** - резервный гомополисахарид человеческого организма («животный крахмал»).

6. **Гиалуроновая кислота** и **хондроитинсульфаты** являются основными гликозаминогликанами соединительной ткани в организме человека.



**Благодарю за  
внимание!**

# Литература, используемая для подготовки

1. Руководство к практическим занятиям по биохимии : учеб. для студентов, обучающихся по специальностям 040100- Лечебное дело, 040200- Педиатрия / сост. С. К. Антонова, Л. М. Воробьева, А. Д. Климова [и др.] ; Красноярская медицинская академия. - Красноярск : КрасГМА, 2003. - 312 с.
2. Петрова, Л. Л. Биоорганическая химия (основные классы биополимеров) [Электронный ресурс] : учеб. пособие для самостоятельной работы студентов, обучающихся по спец. 060201 - Стоматология / Л. Л. Петрова ; Красноярский медицинский университет. - Красноярск : КрасГМУ, 2011. - 125 с.
3. Лекции преподавателей кафедры биохимии КрасГМУ (Салмина А.Б., Герцог Г.Е., Пожиленкова Е.А., Комлева Ю.К., Тепляшина Е.А.)
4. Интернет-ресурсы:
  - <http://biokhimija.ru/>, <http://biokhimija.ru/lekcii-po-biohimii.html>,  
<http://biokhimija.ru/klinicheskajabiohimija.html>
  - <http://www.xumuk.ru/biologhim/>, <http://www.xumuk.ru/biochem/>
  - [http://vmede.org/sait/?page=1&id=Bioorganicheskaja\\_himija\\_tykavkina\\_2010&menu=Bioorganicheskaja\\_himija\\_tykavkina\\_2010](http://vmede.org/sait/?page=1&id=Bioorganicheskaja_himija_tykavkina_2010&menu=Bioorganicheskaja_himija_tykavkina_2010)
  - [http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija\\_severin\\_2009&menu=Biohimija\\_severin\\_2009](http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija_severin_2009&menu=Biohimija_severin_2009)
  - [http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija\\_severin\\_2011&menu=Biohimija\\_severin\\_2011](http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija_severin_2011&menu=Biohimija_severin_2011)
  - [http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija\\_puk\\_prakt\\_zan\\_4ernova\\_2009&menu=Biohimija\\_puk\\_prakt\\_zan\\_4ernova\\_2009](http://vmede.org/sait/?page=1&id=Biohimija_puk_prakt_zan_4ernova_2009&menu=Biohimija_puk_prakt_zan_4ernova_2009)