

8. Углеводы (сахара)

- Классификация, определения, стереохимические взаимосвязи
- Реакции ациклических форм – образование простых и сложных эфиров, альдегидные реакции
- Полуацетальные формы
- Аномерный эффект
- Селективные реакции гидроксильных групп
- Гликозидная связь. Реакция Кёнигса-Кнорра
- Дисахариды – принципы построения, типы связей между моносахаридами, строение мальтозы, целлобиозы, лактозы и сахарозы
- Представление о строении полисахаридов и роли углеводов в природе



Emil Fischer (1852–1919) was born

Углеводы – полигидроксикарбонильные соединения

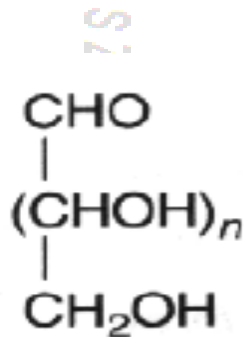
(Хим-я Энц-я, т.5)

Биологические функции (примеры)

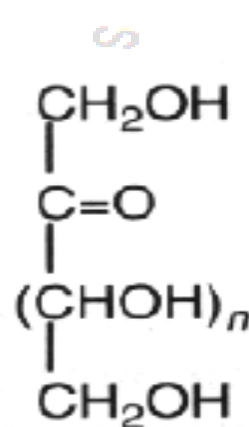
1. Компоненты питания (глюкоза)
2. Резервные полисахариды (крахмал у растений, гликоген у животных)
3. Опорные вещества (целлюлоза, хитин)
4. Компоненты различных тканей (хрящи, сухожилия, слизи, суставные жидкости)
5. Распознавание клеток (сигнальные функции, группы крови)

Моносахариды (монозы) – дисахариды (биозы) – олигосахариды – полисахариды

S Z Vaisadze's lectures



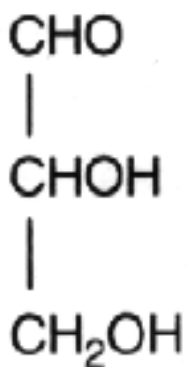
Альдоза



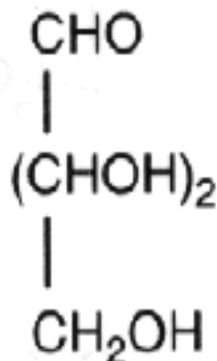
Кетоза

по типу карбонила

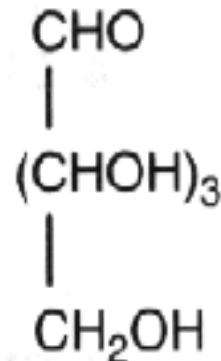
S Z Vaisadze's lectures



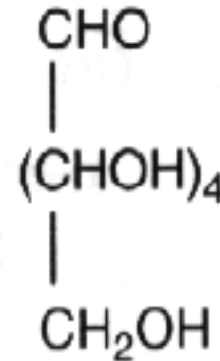
Триоза



Тетроза



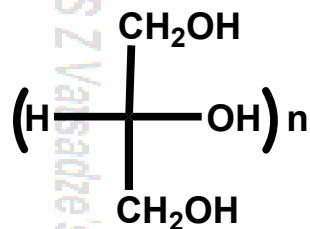
Пентоза



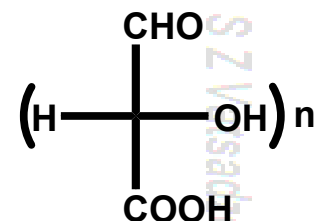
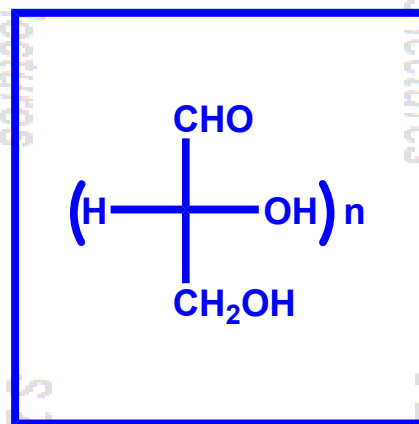
Гексоза

по количеству атомов углерода

• Определения, классификация

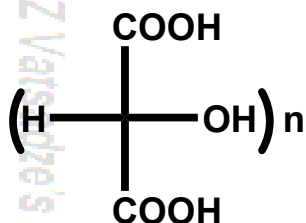
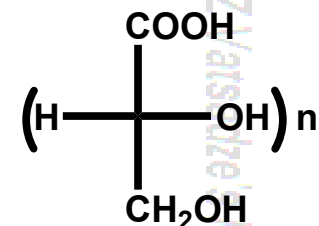


АЛЬДИТ

АЛЬДУРОНОВАЯ
КИСЛОТА

АЛЬДОЗА

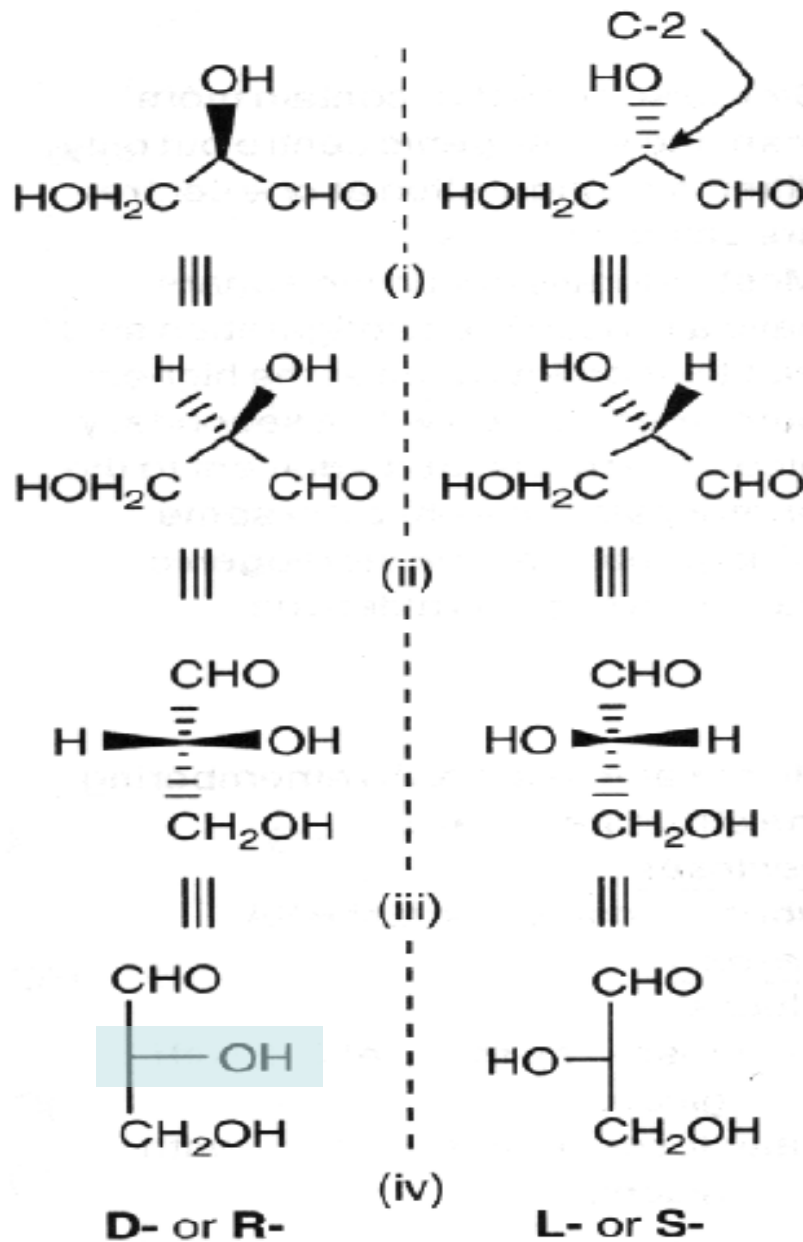
«АЛЬД» включает в себя
информацию о количестве
и стереохимии
гидроксильных групп

АЛЬДАРОВАЯ
КИСЛОТААЛЬДОНОВАЯ
КИСЛОТА

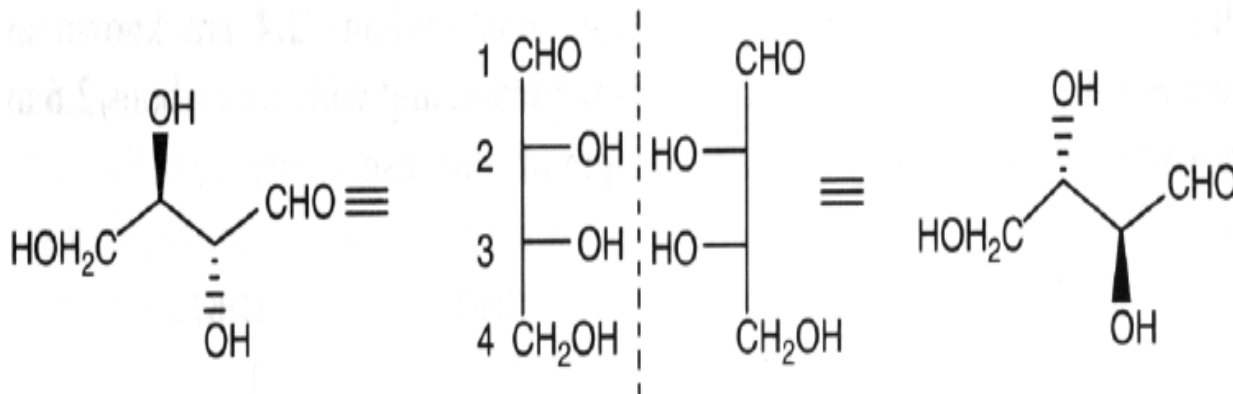
Пример для МАННОЗЫ:

МАННит, МАННаровая кислота, МАННуроновая кислота, МАННоновая кислота

•Триозы и тетрозы

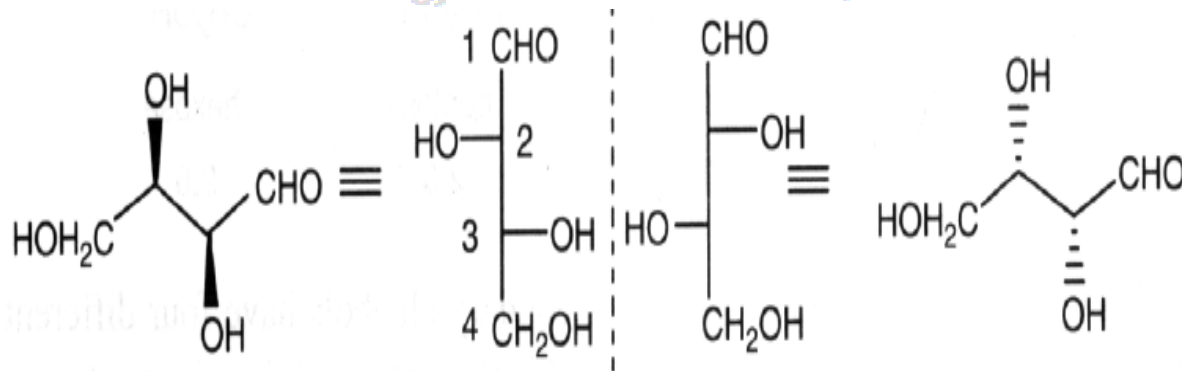
Глицериновый
альдегид

•Триозы и тетрозы

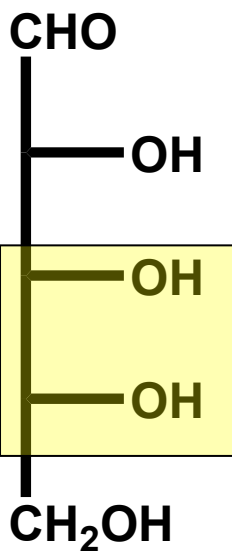


D-эритроза | L-эритроза

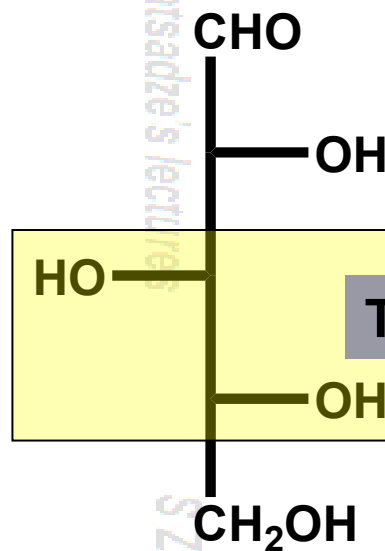
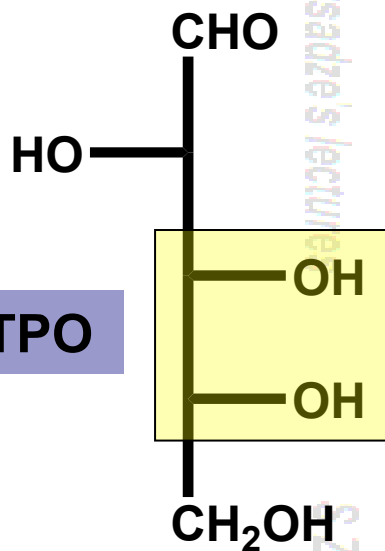
D-треоза | L-треоза



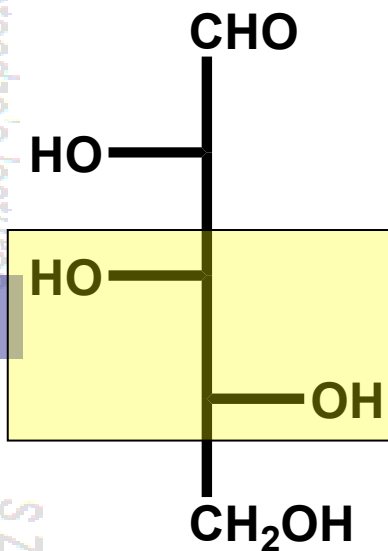
•D-альдопентозы



ЭРИТРО



ТРЕО



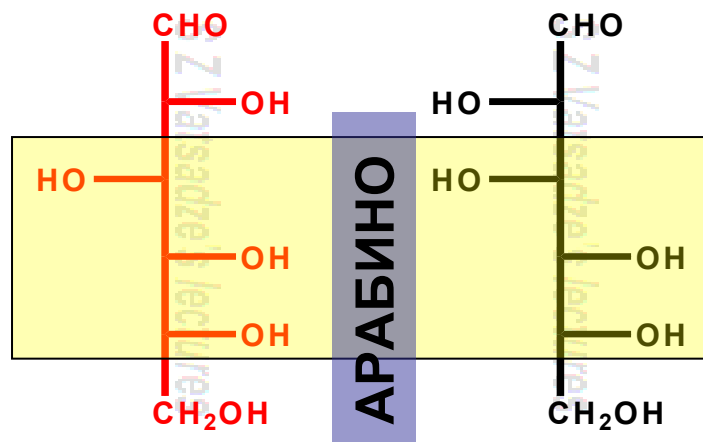
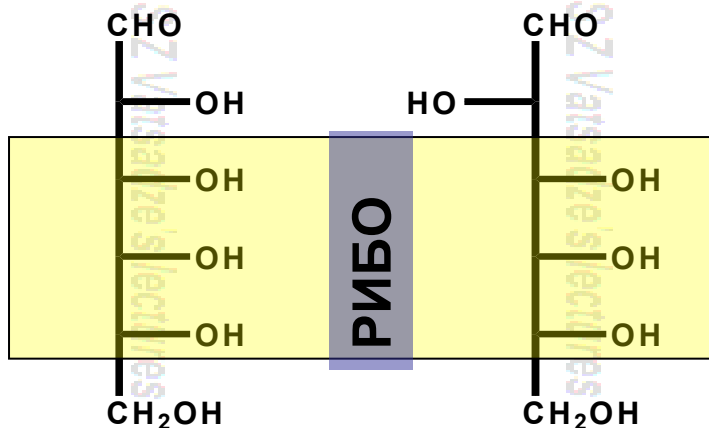
Рибоза

Арабиноза

Ксилоза

Ликсоза

•D-альдогексозы

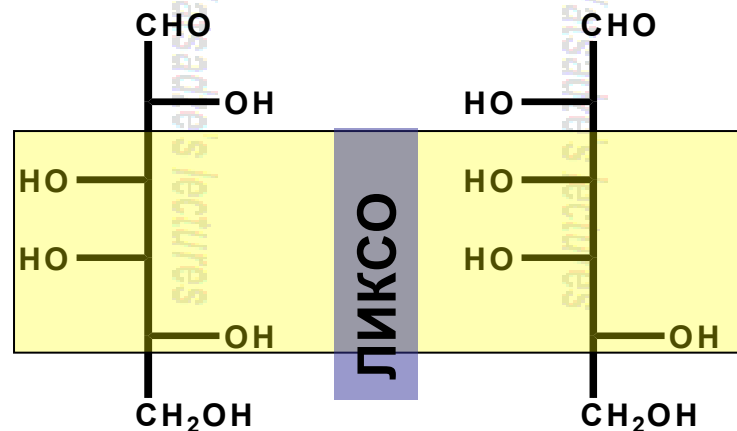
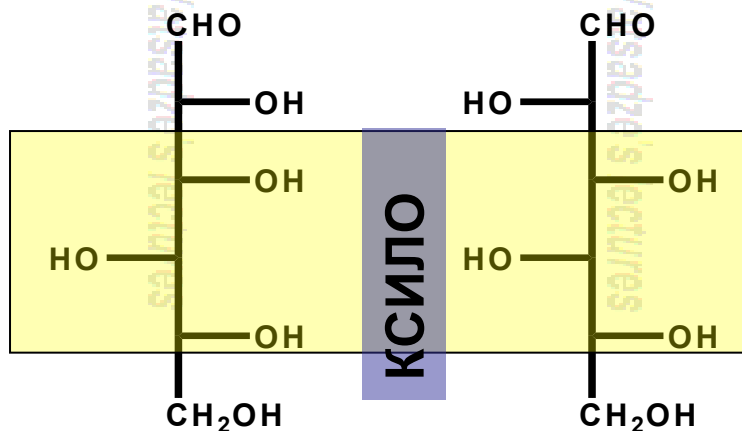


Аллоза

Альтроза

Глюкоза

Манноза



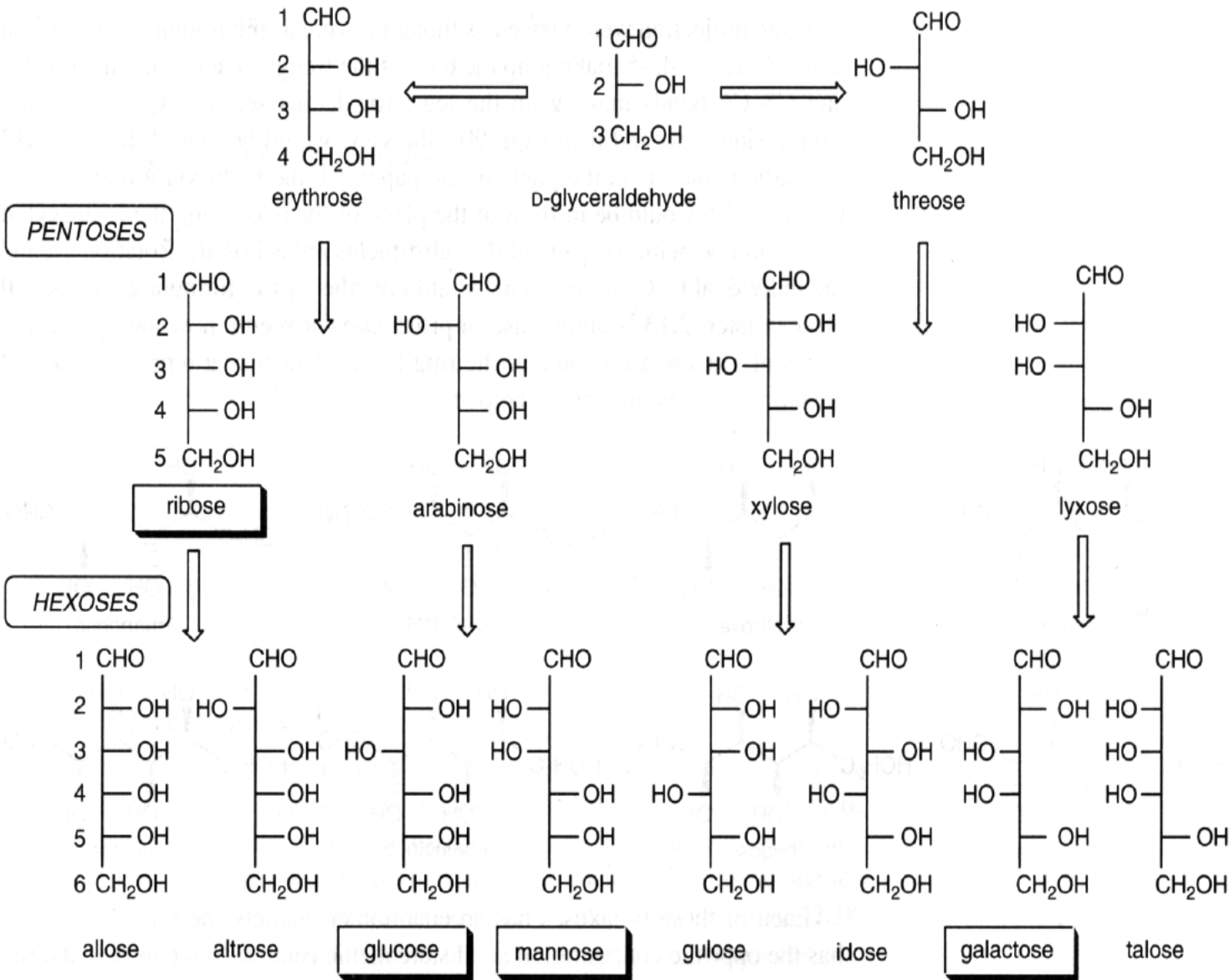
Гулоза

Идоза

Галактоза

Талоза

•Стереохимическое «родство» альдоз D-ряда

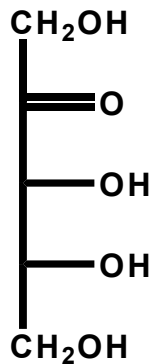


© 7 / Vatsadze's Lectures
S Z Vatsadze's lectures

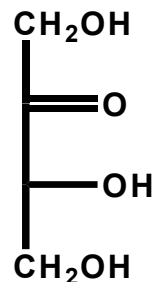
All Altruists Gladly Make Gums In Gallon Tanks

•Стереохимическое «родство»
кетоз D-ряда

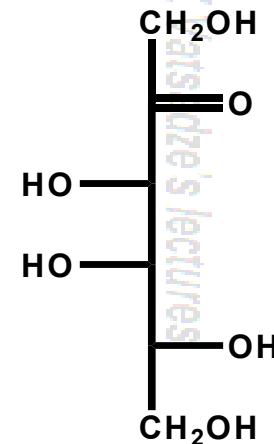
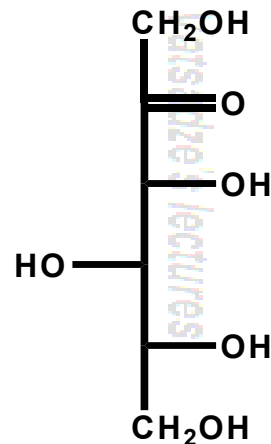
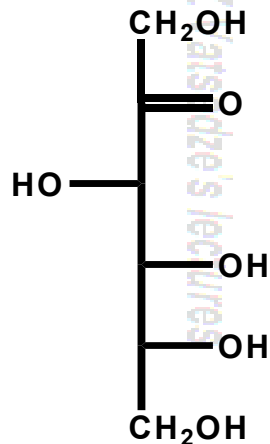
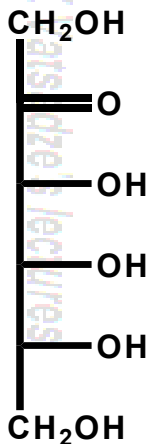
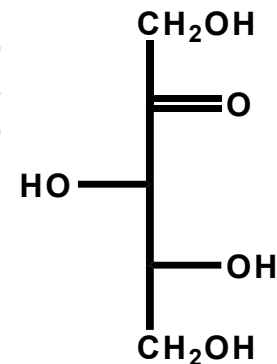
Рибулоза

(эритропен
тулоза)

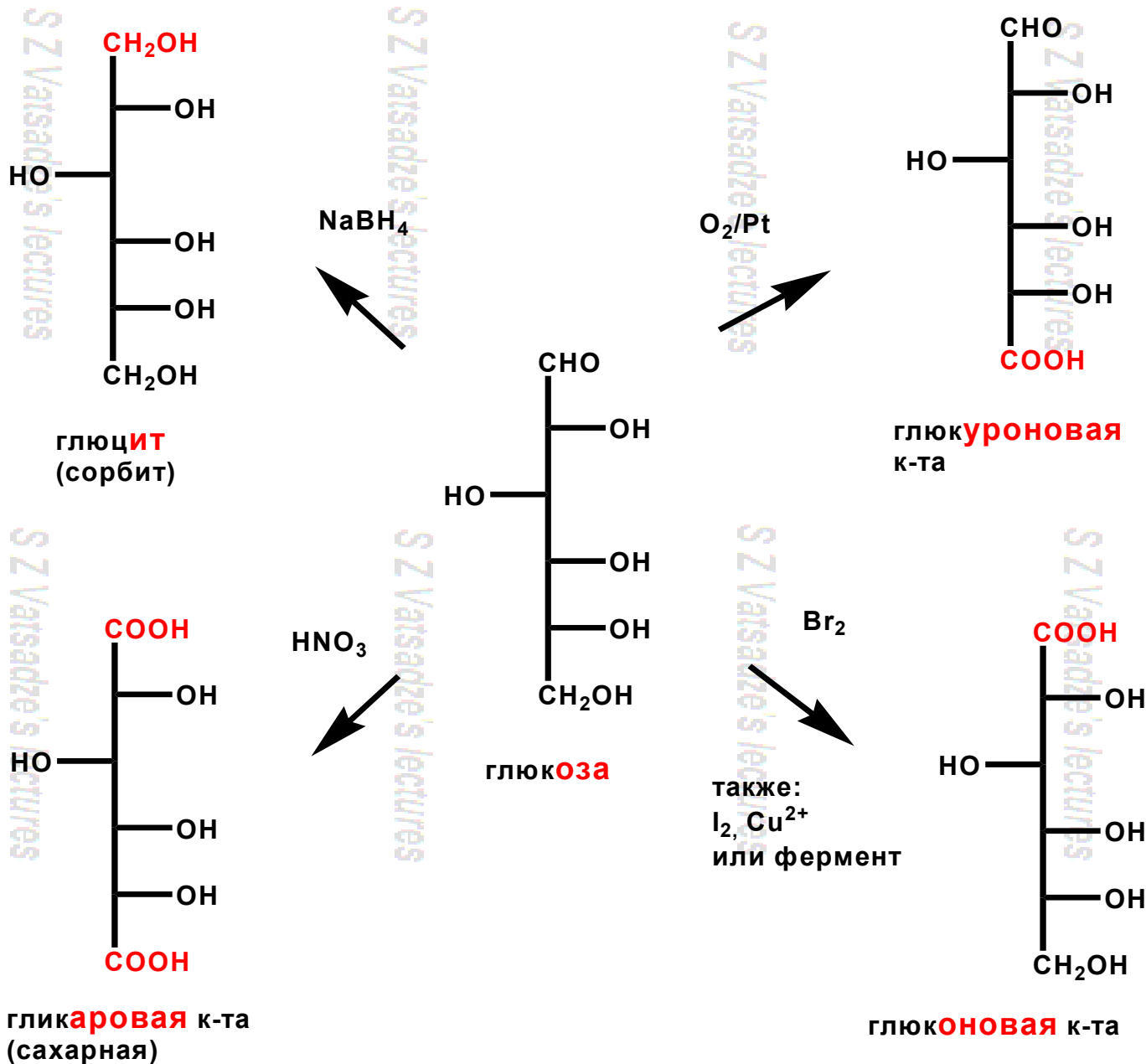
Эритрулоза



Ксилулоза

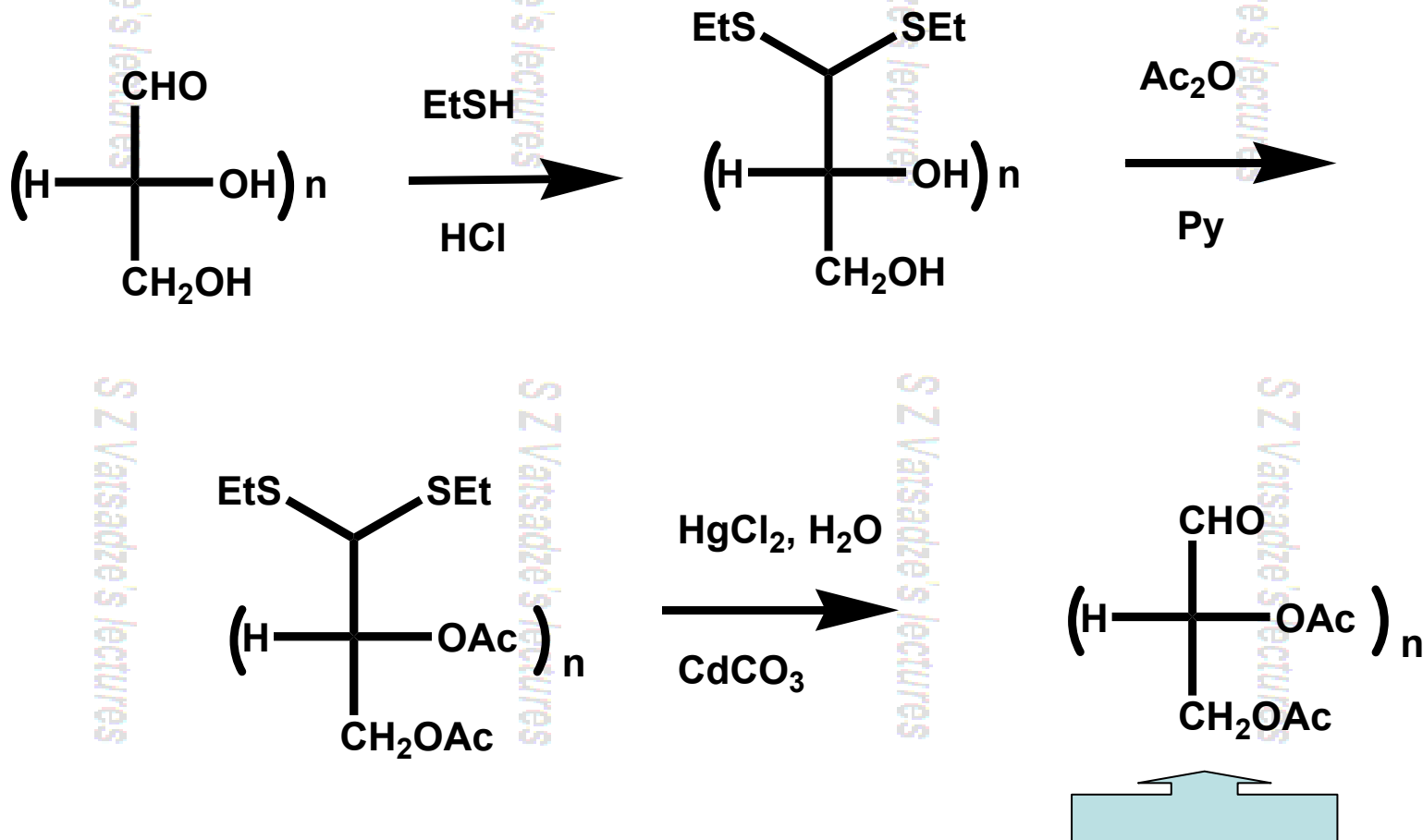
(треопенту
лоза)

• Типичные реакции ациклических форм – редокс-превращения



• Типичные реакции ациклических форм

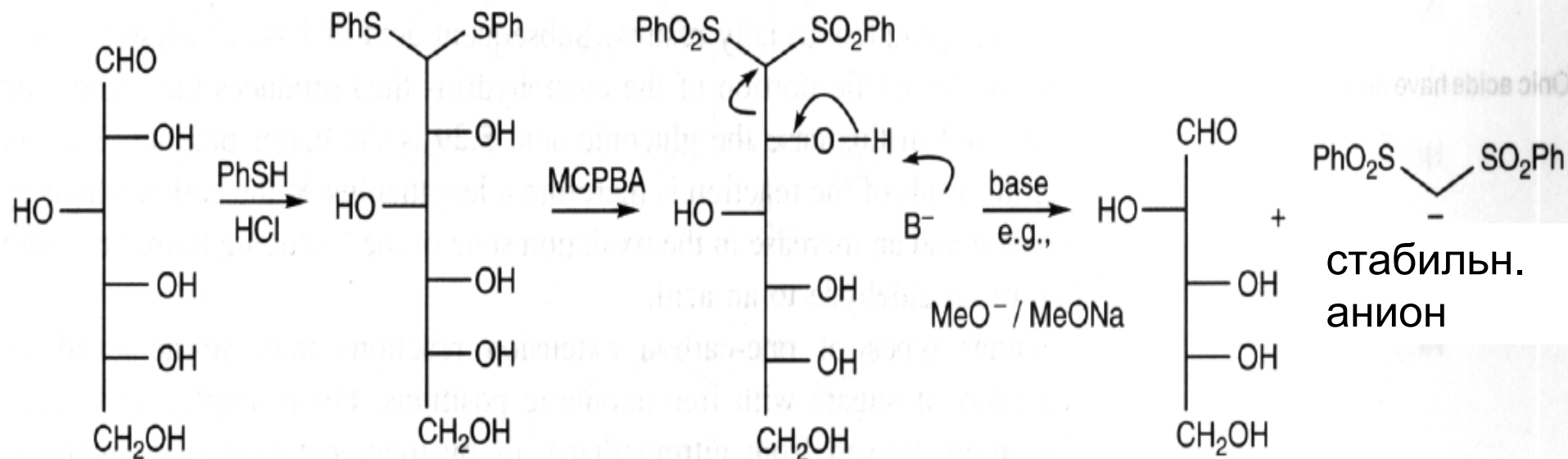
Образование дитиоацетала с последующим ацетилированием свободных гидроксильных групп и удалением защиты.



Таким образом получено производное со свободной альдегидной группой при защищенных гидроксильных

• Типичные реакции ациклических форм

«Ретроальдольная» реакция

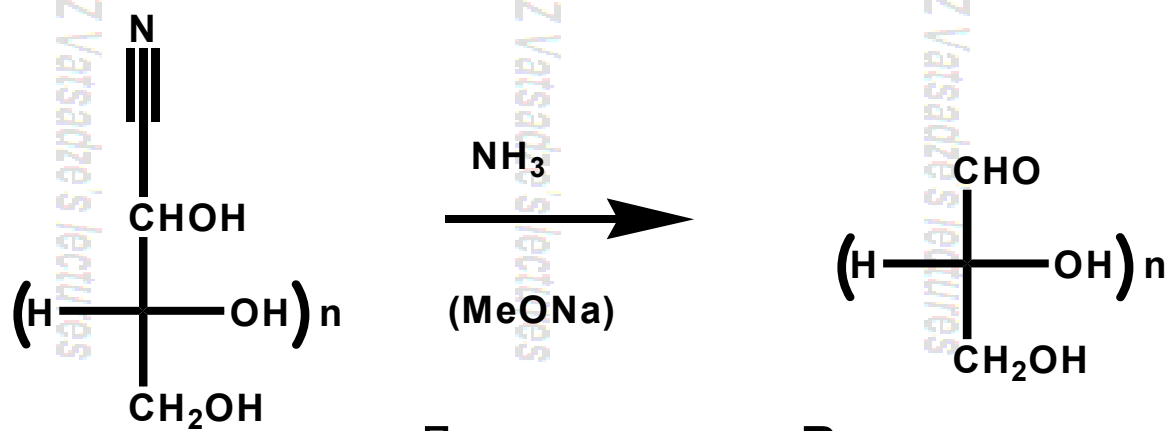
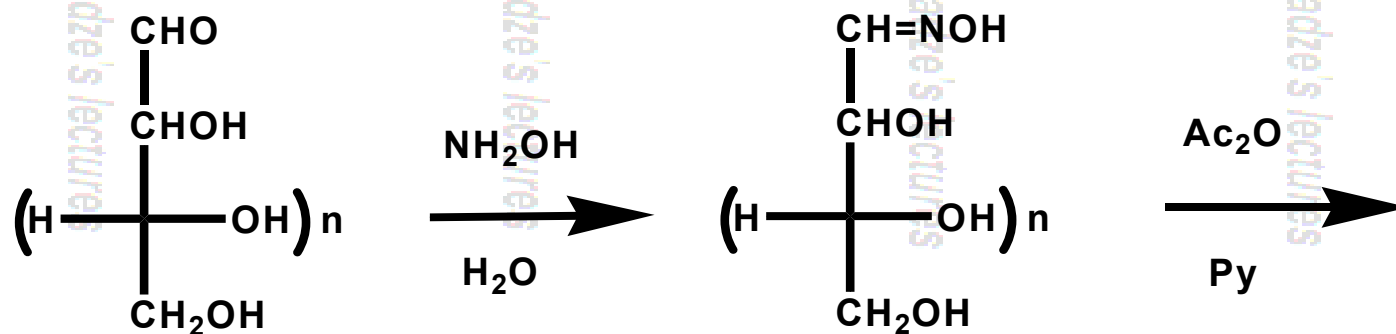


D-глюкоза

D-арабиноза

• Типичные реакции ациклических форм

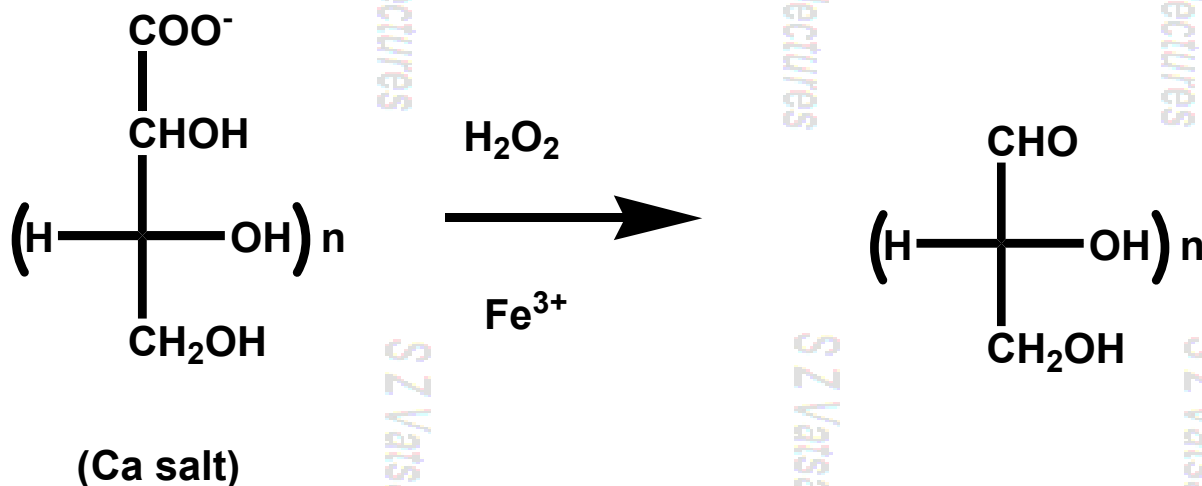
Образование альдоксима с последующей дегидратацией в нитрил и ретро-циангидринной реакцией



Дегградация по **Волю**

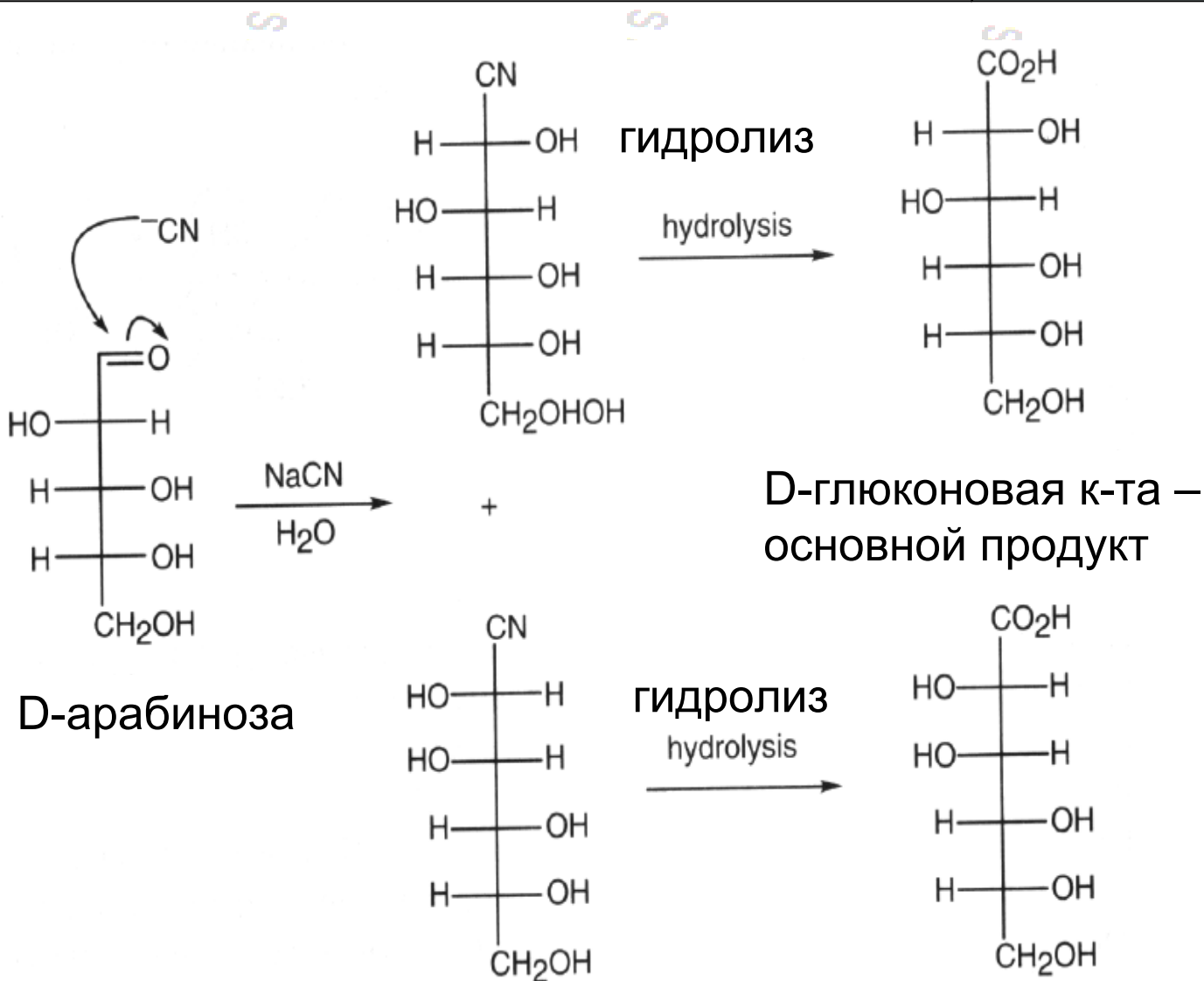
- Типичные реакции ациклических форм

Окислительное декарбоксилирование



Дегградация по Рифу

• Типичные реакции ациклических форм



S Z Vaisadze's lectures

S Z Vaisadze's lectures

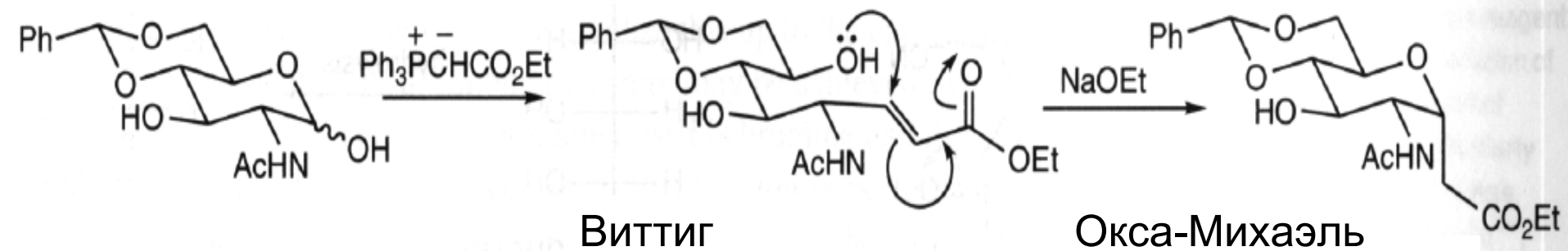
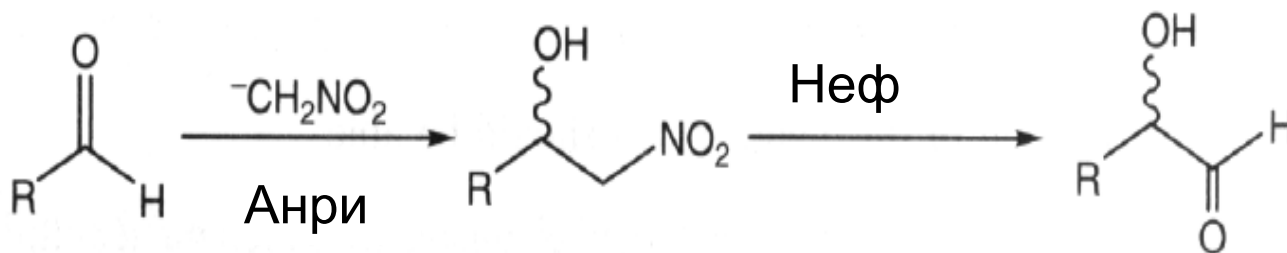
Нарращивание цепи по **Килиани (Килиани-Фишеру):** циангидринный синтез, гидролиз/восстановление

Удлинение цепи на один C со стороны альдегида

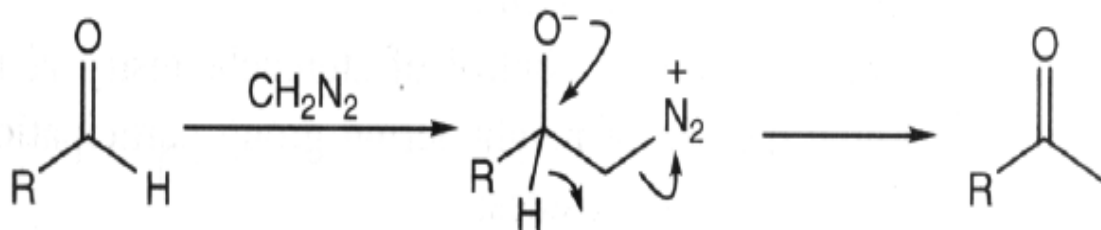
D-манноновая к-та – побочный продукт

• Типичные реакции ациклических форм

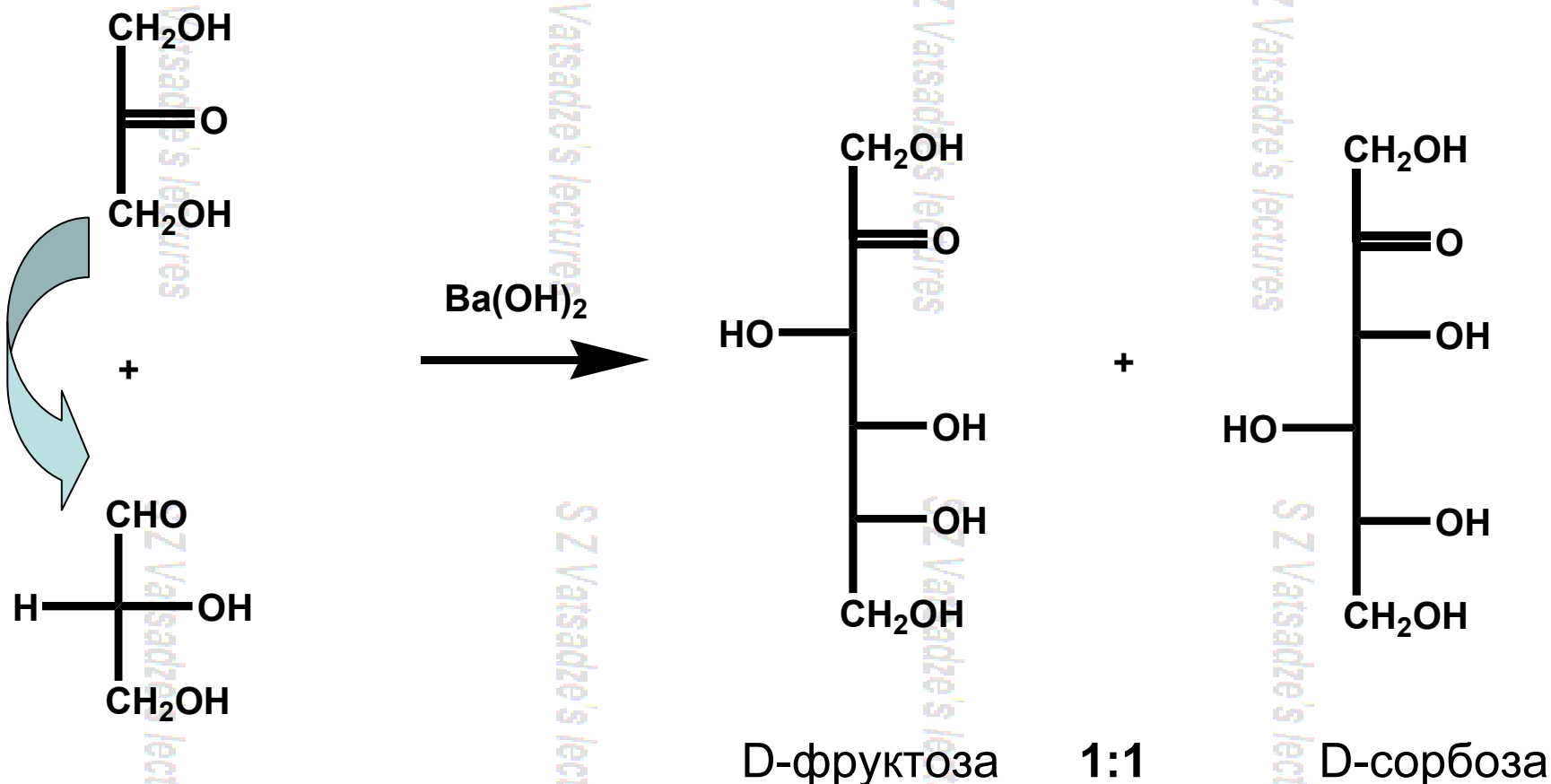
Удлинение цепи на со стороны альдегида



Гомологизация альдегидов

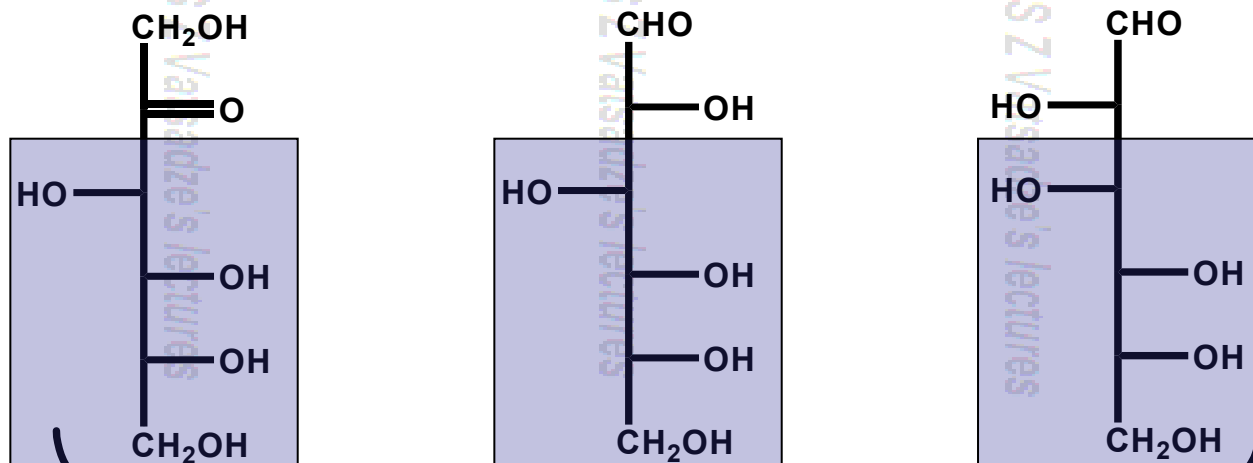


• Типичные реакции ациклических форм

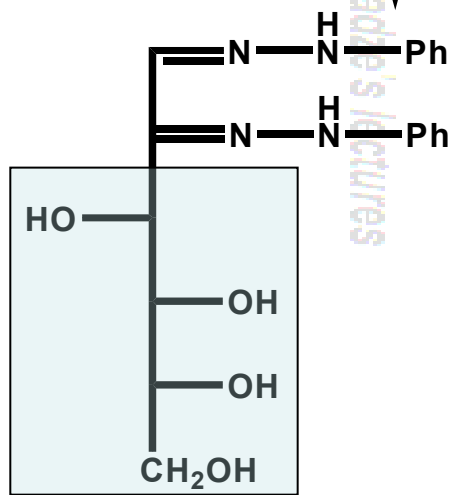


Альдольная реакция (обратный процесс возможен в сильноосновных условиях!!!)

• Типичные реакции ациклических форм



excess
 PhNHNH_2



Озазоны (Фишер, 1884)

Характерно для альфа-гидроксиальдегидов.

Обратите внимание на одинаковую стереохимию озазонов, полученных из трех разных моносахаридов!

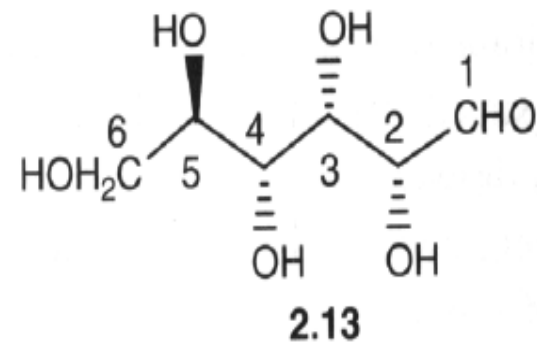
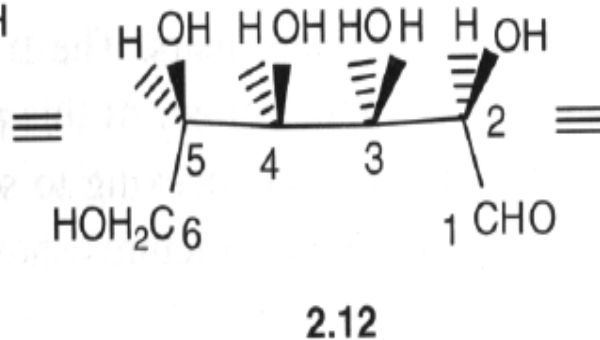
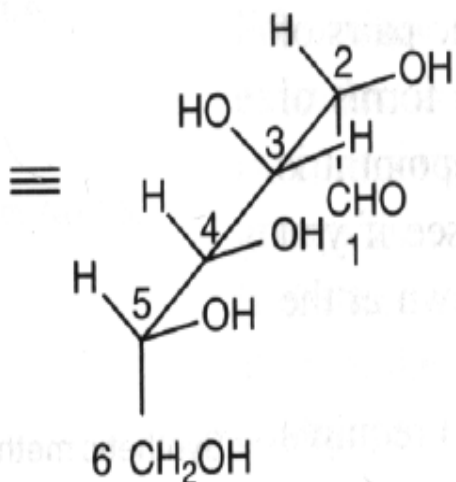
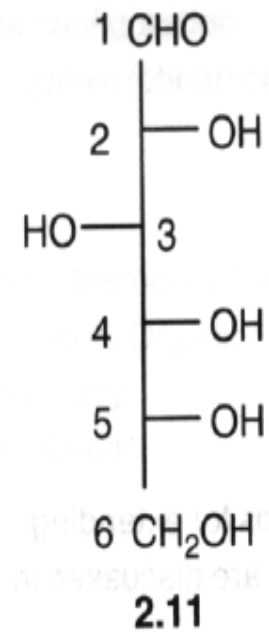
• Различные проекции для представления ациклических форм

S Z Vaisac

S Z Vaisac

S Z Vaisa

S Z Vaisa



“pig-trough”

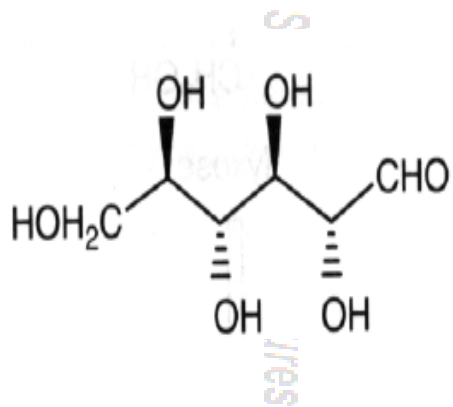
s/lectures

s/lectures

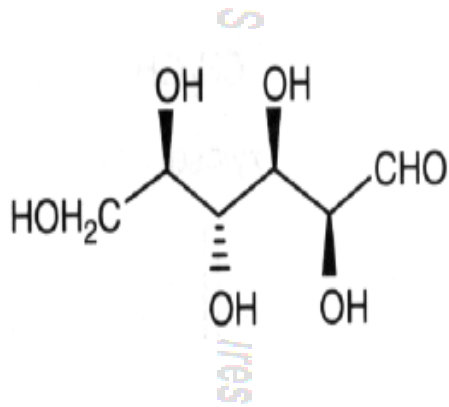
s/lectures

s/lectures

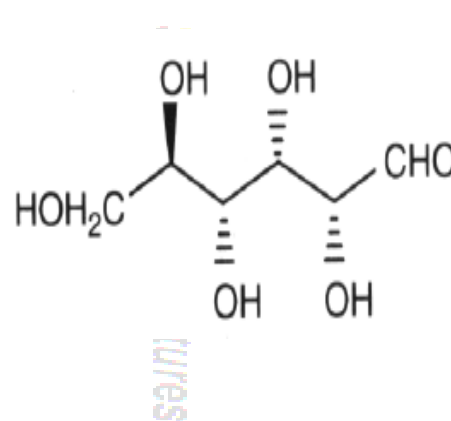
• Различные проекции для представления ациклических форм



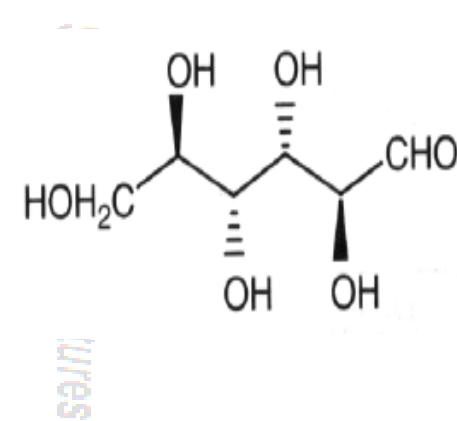
Аллоза



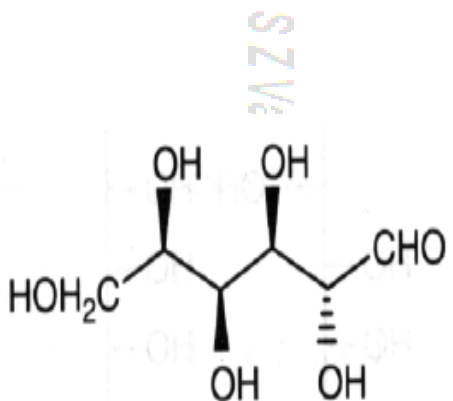
Альтроза



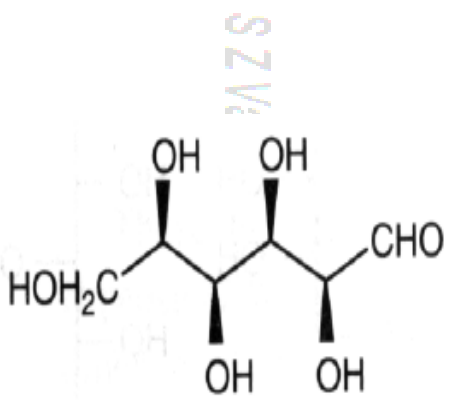
Глюкоза



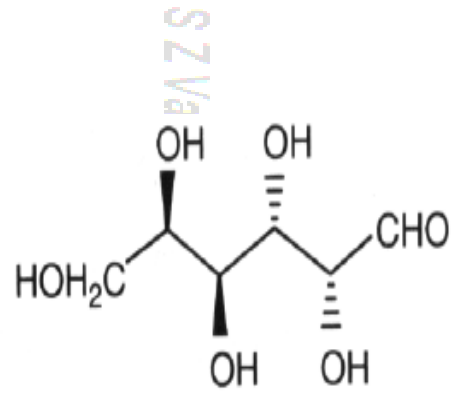
Манноза



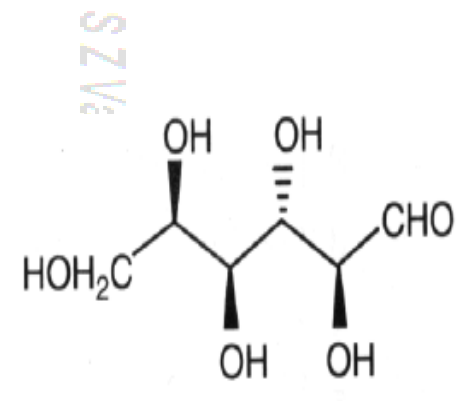
Гулоза



Идоза

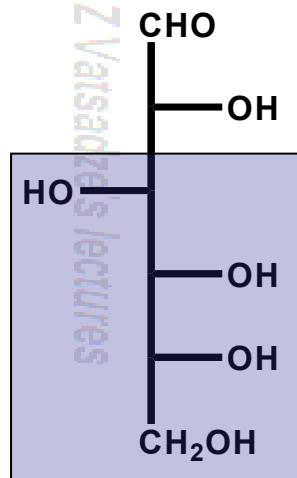


Галактоза

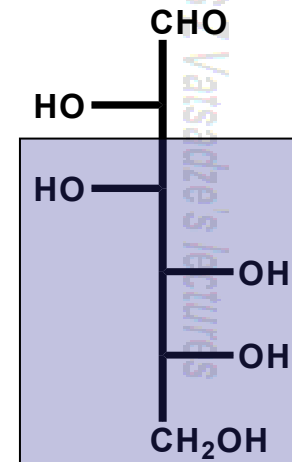
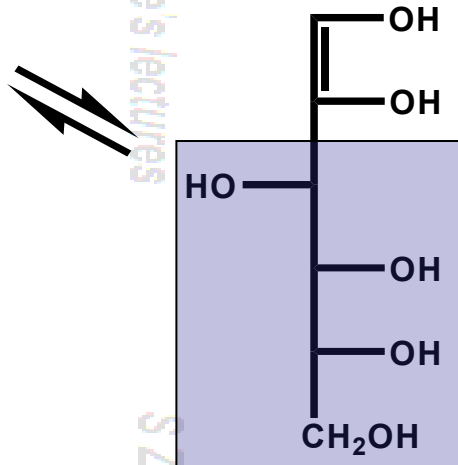


Талоза

•Равновесия в щелочных растворах



57%

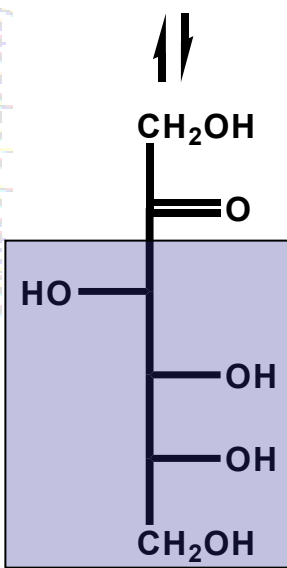


3%

0.035 % NaOH

35 град

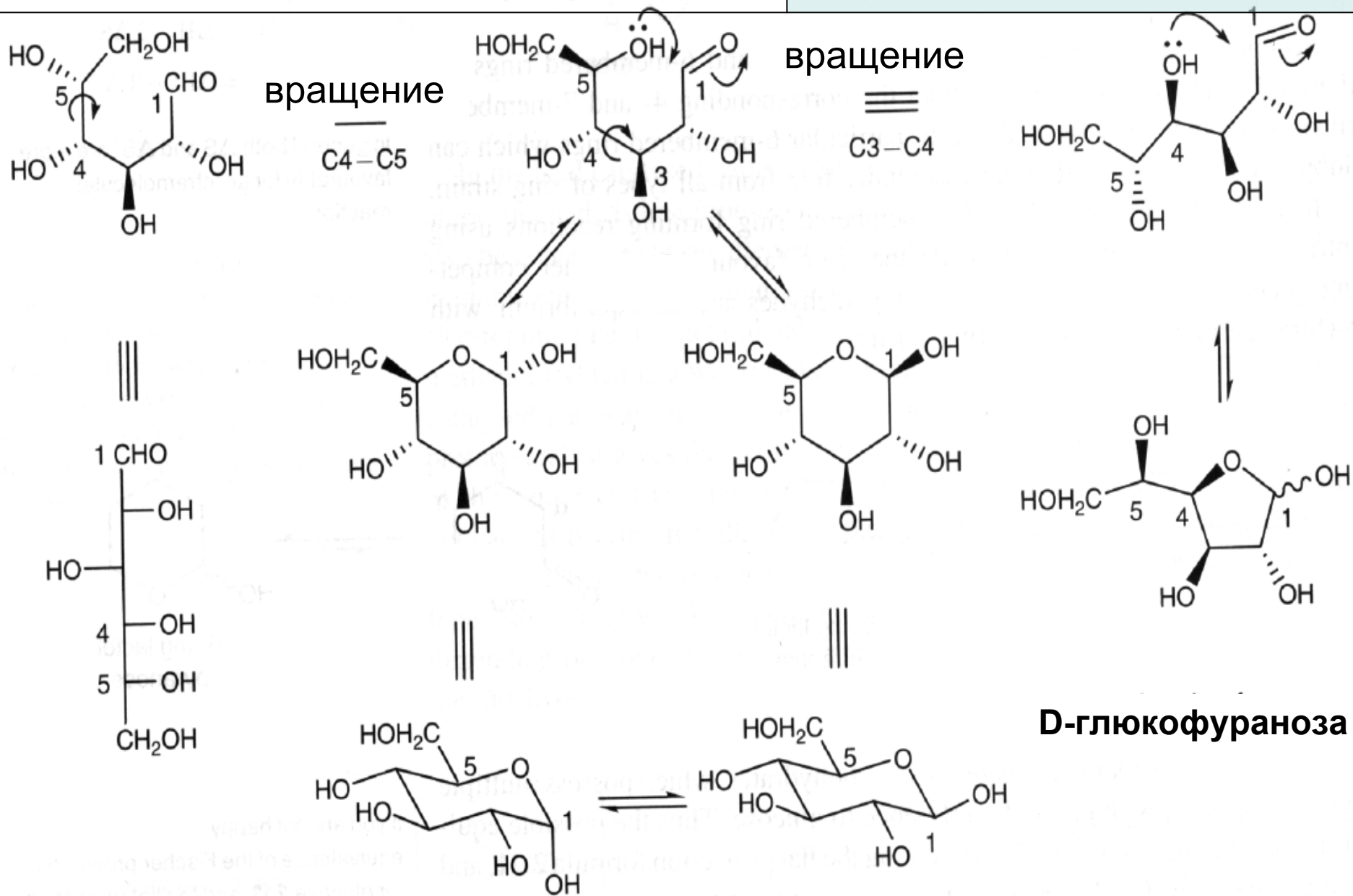
100 час



28%

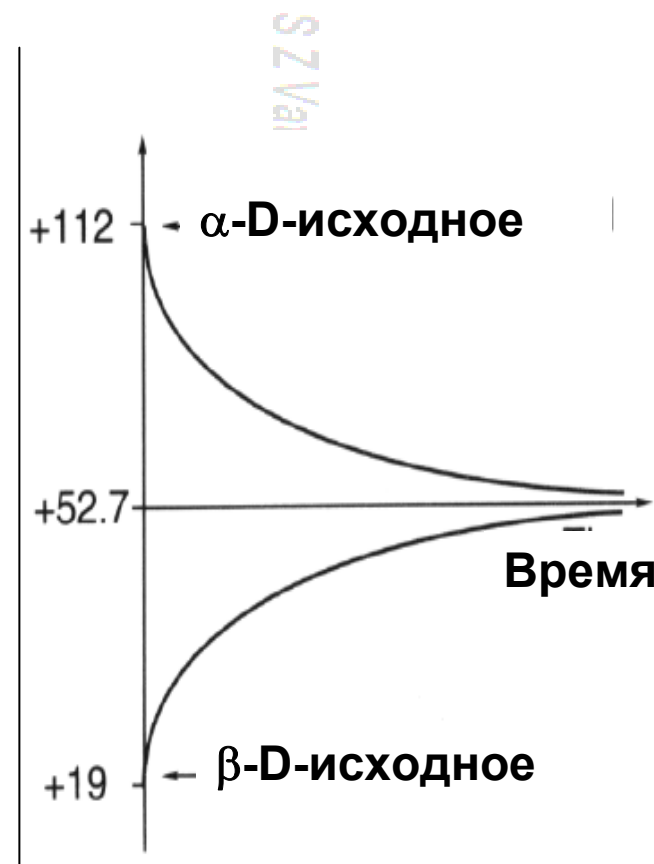
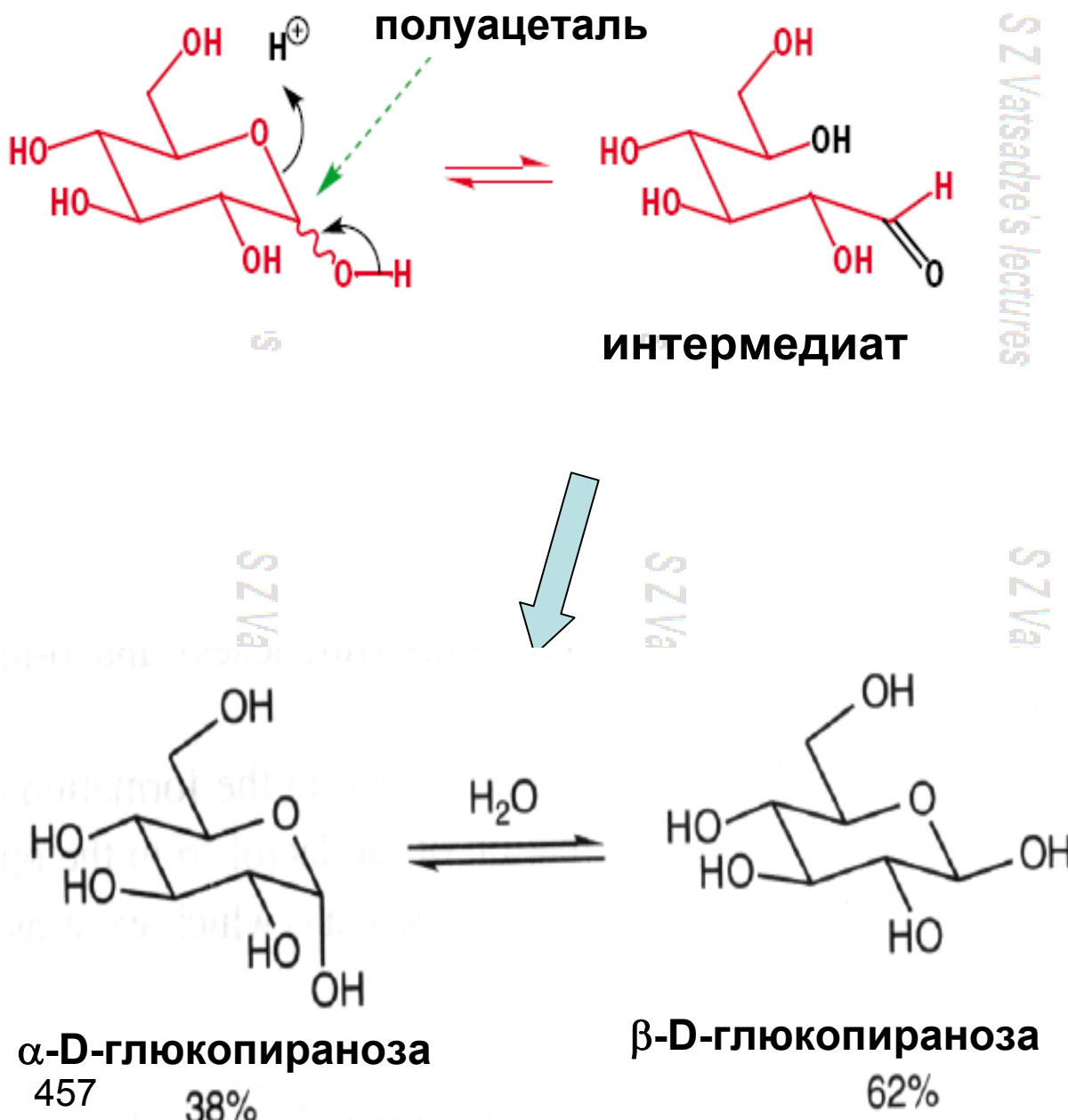
Реакция Лобри де Брюина – Альберда ван Экенштайна (1895)

• Равновесия в водном растворе ГЛЮКОЗЫ



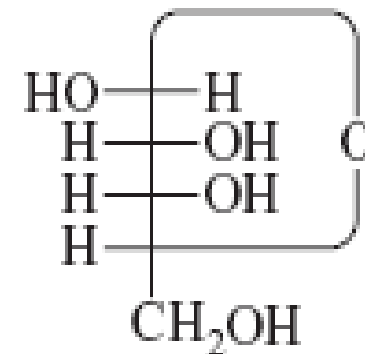
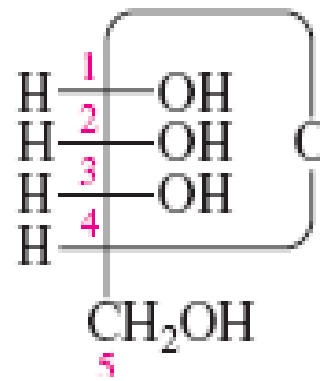
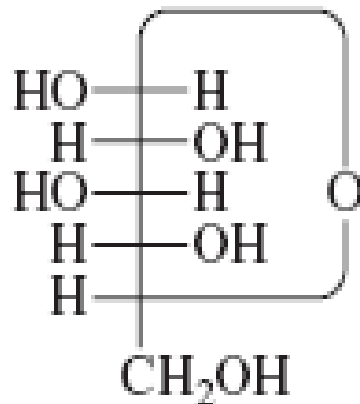
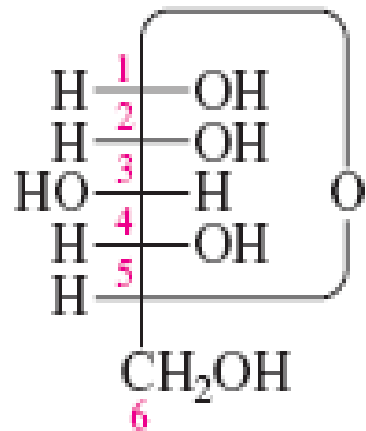
D-глюкофураноза

• Равновесия в водном растворе глюкозы: мутаротация

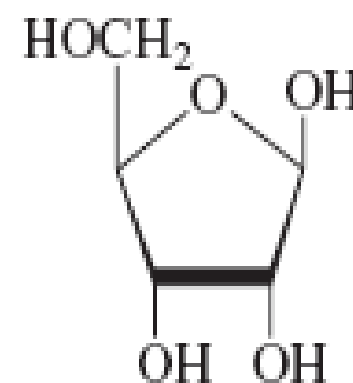
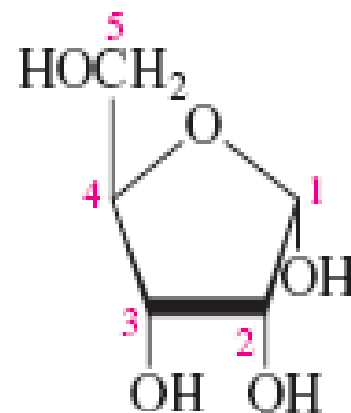
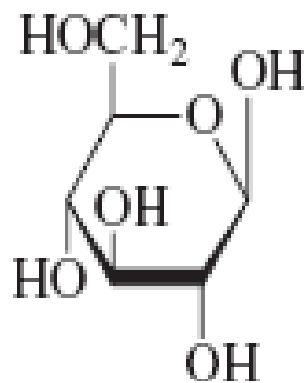
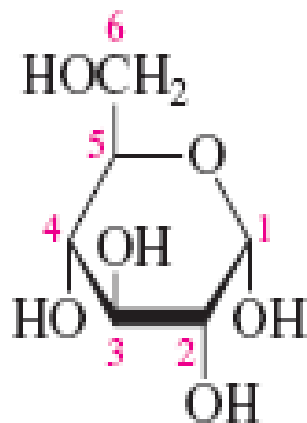


Аномеры = изомеры (диастереомеры, эпимеры)

• Различные проекции для представления циклических форм



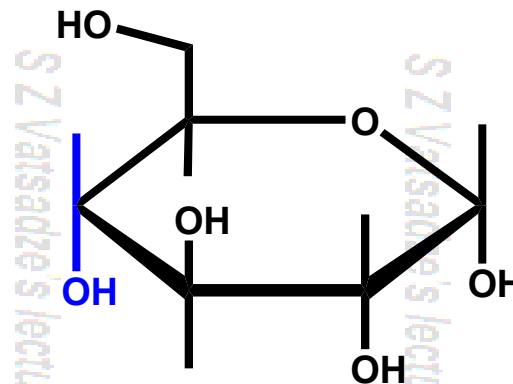
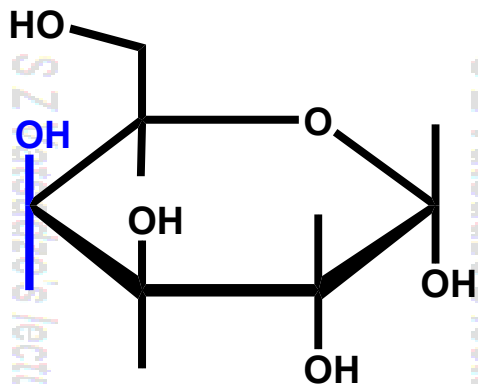
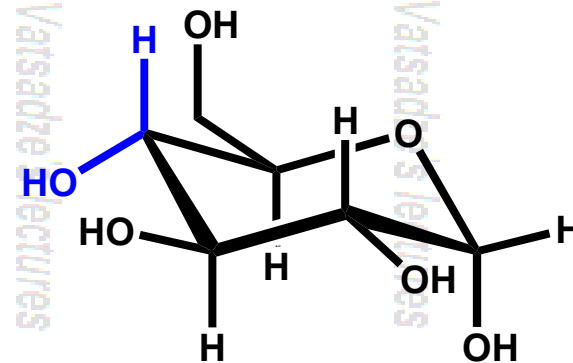
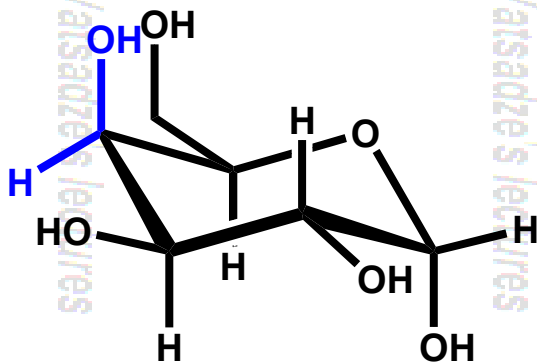
Проекция Фишера



Проекция Хейворта

 α -D-Глюкопираноза α -D-Рибофураноза β -D-Глюкопираноза β -D-Рибофураноза

• Различные проекции для представления циклических форм

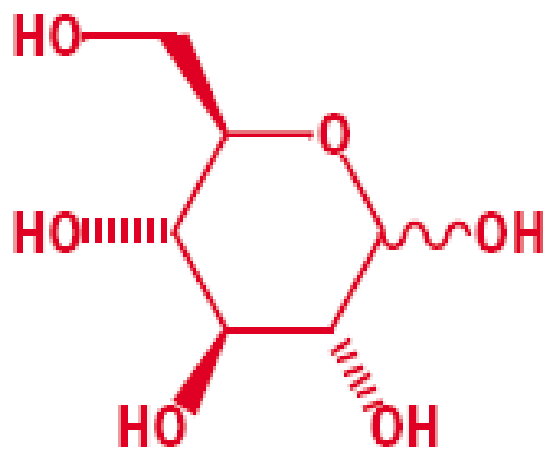
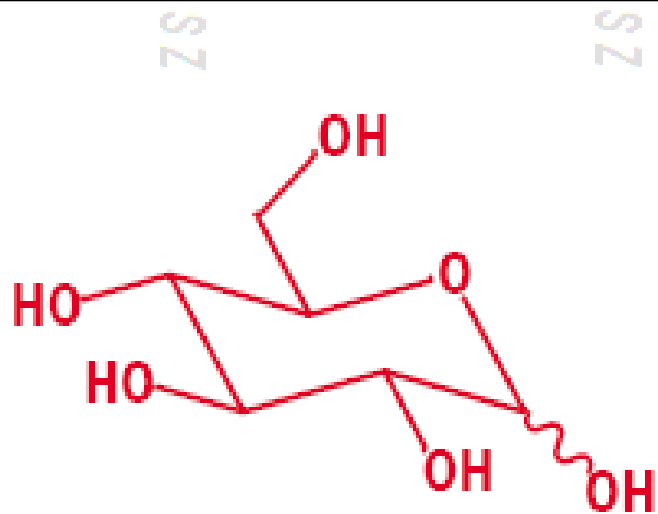


α -D-Галактопираноза

α -D-Глюкопираноза

эпимеры по C4

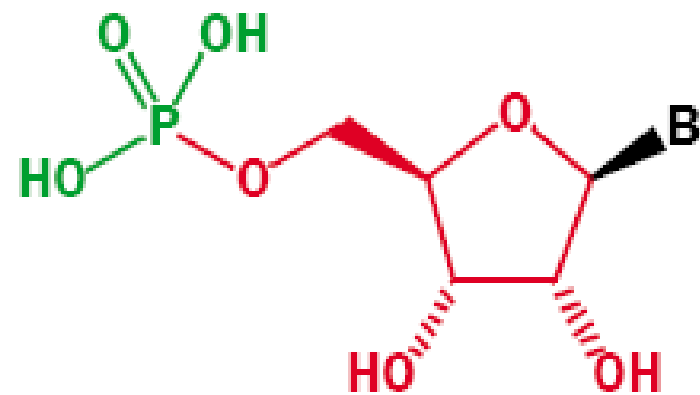
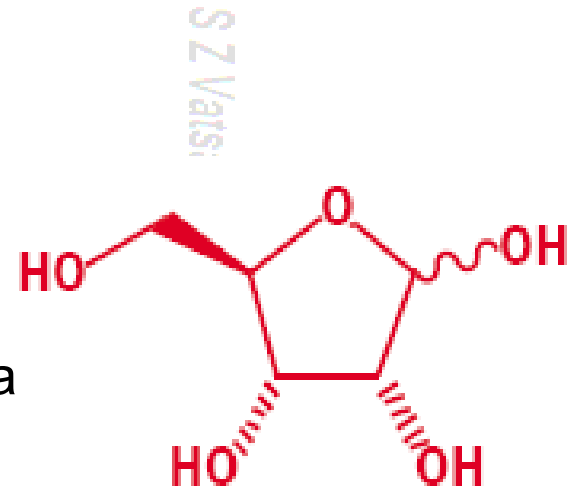
• Различные проекции для представления циклических форм



глюкоза

S Z Vais

рибоза



рибонуклеотид

•Равновесия в водных растворах альдоз (по Бартон-Оллис)

Таблица 26.1.1. Равновесный состав водных растворов альдоз при 40 °С, определенный методом ГЖХ [16]

Альдоза	Содержание в смеси, %			
	α-пиранозная форма	β-пиранозная форма	α-фуранозная форма	β-фуранозная форма
Рибоза	20	56	6	18
Арабиноза	63	34		3 ^a
Ксилоза	33	67		< 1 ^a
Ликсоза	71	29		< 1 ^a
Аллоза	18	70	5	7
Альтроза	27	40	20	13
Глюкоза	36	64		< 1 ^a
Манноза	67	33		< 1 ^a
Гулоза	< 22	> 78		< 1 ^a
Идоза ^б	31	37	16	16
Галактоза	27	73		< 1 ^a
Талоза	40	29	20	11

461^a Суммарное содержание α- и β-фуранозных форм. ^б При 60 °С.

• Аномерный эффект – стабилизация аксиальных конформеров

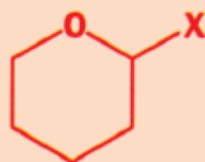


неблагоприятное расположение для перекрывания с любой из неподеленных пар

• Аномерный эффект

В общем случае, в любом тетрагидропиране электроотрицательный заместитель в положении 2 предпочитает располагаться аксиально. Это явление известно как **аномерный эффект**.

для



X – аксиальный

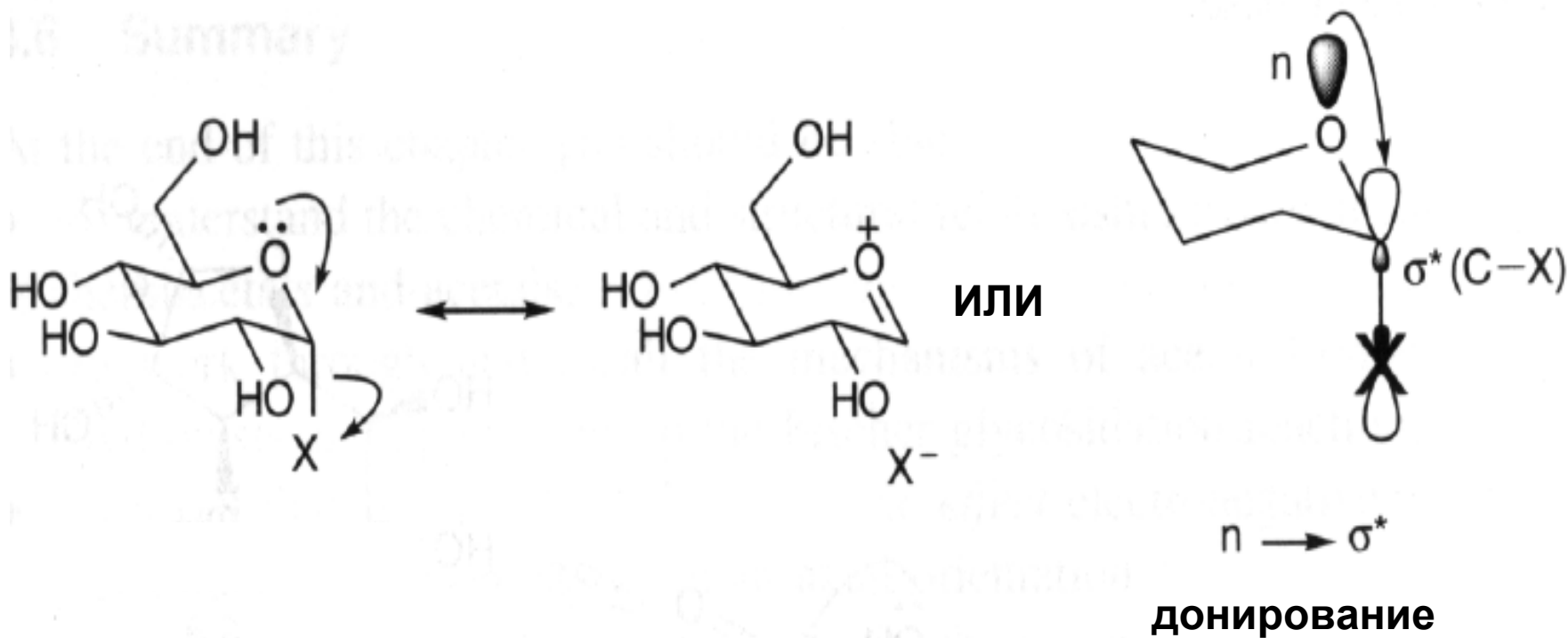


более устойчив, чем X – экваториальный

- Любая конформация, в которой неподеленная пара электронов антиперипланарна низколежащей разрыхляющей орбитали, стабилизирована стереоэлектронным взаимодействием.

•Аномерный эффект – стабилизация аксиальных конформеров

Аномерный эффект в случае сахаров проявляется в стабилизации α -формы

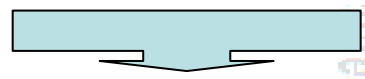
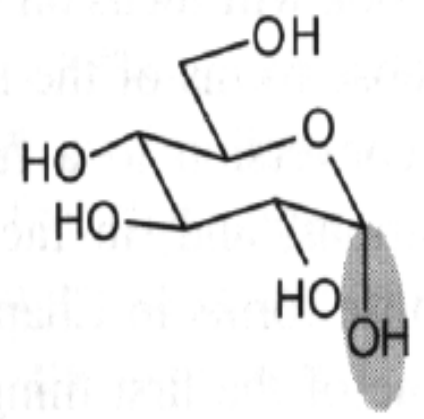
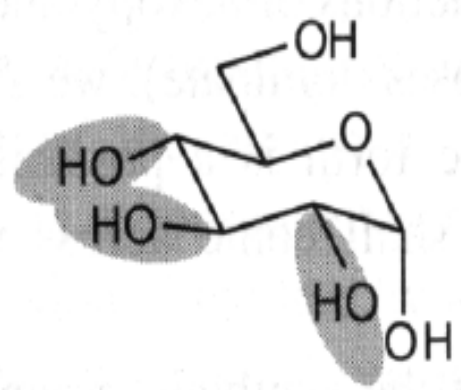
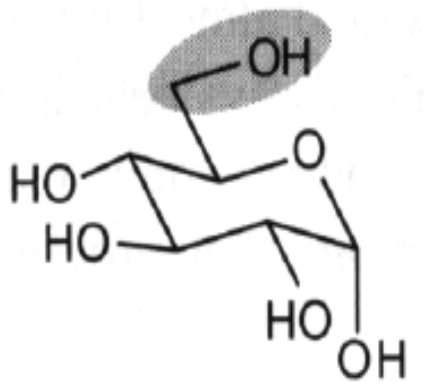


Три вида гидроксильных групп в циклической форме моносахарида:

первичный

вторичные

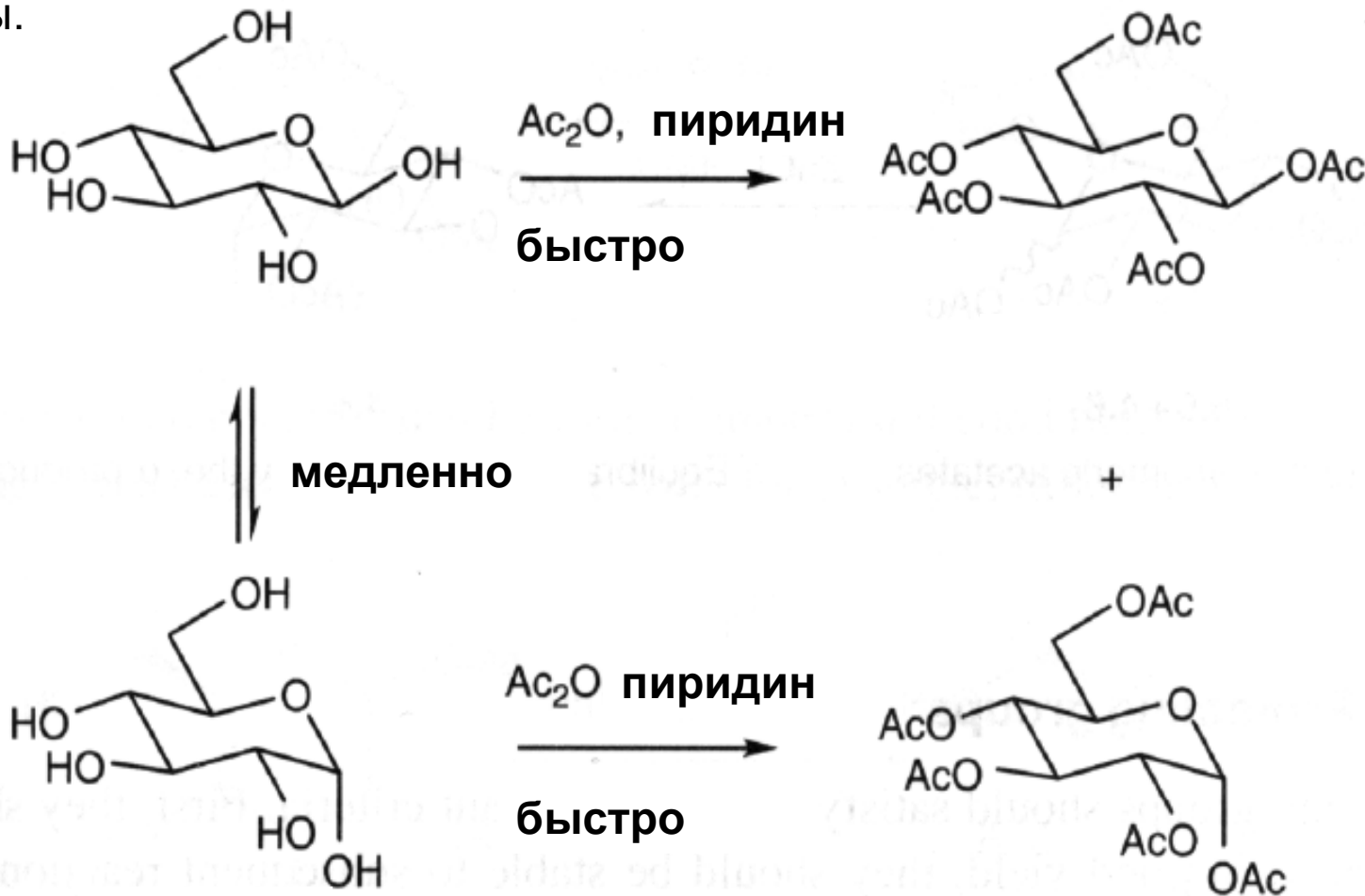
гликозидный
(полуацетальный)



Наиболее сложная задача!

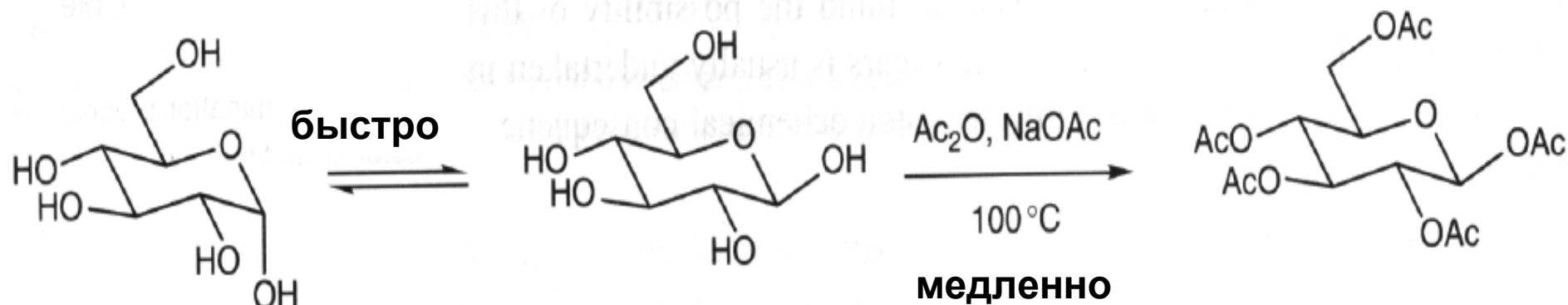
•Селективные реакции гидроксиллов: ацилирование

Стандартный способ получения сложных эфиров. Можно разделить α - и β -аномеры в виде пентаацетилпроизводных. Соотношение между ними определяется составом раствора исходных аномеров. В реакцию вступают **все** гидроксилы.

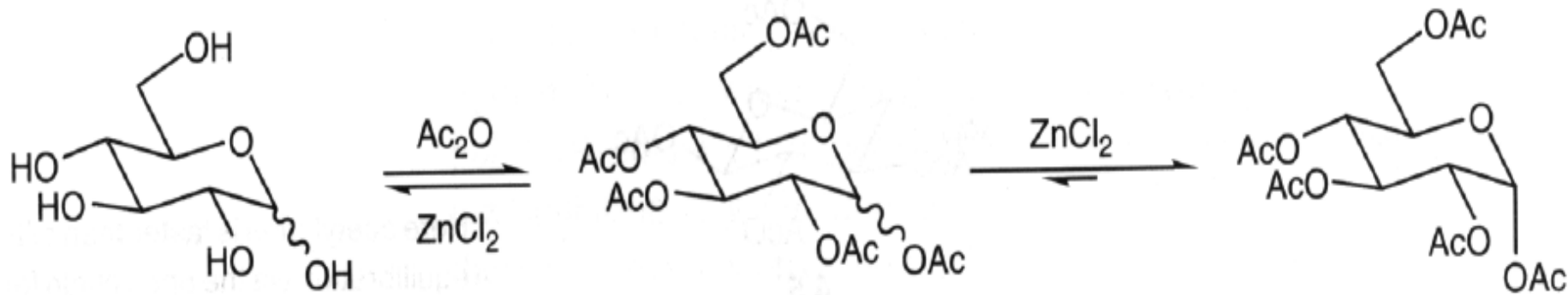


•Селективные реакции гидроксиллов:
ацилирование

В условиях кинетического контроля образуется β -пентаацетат



В условиях термодинамического контроля образуется α -пентаацетат



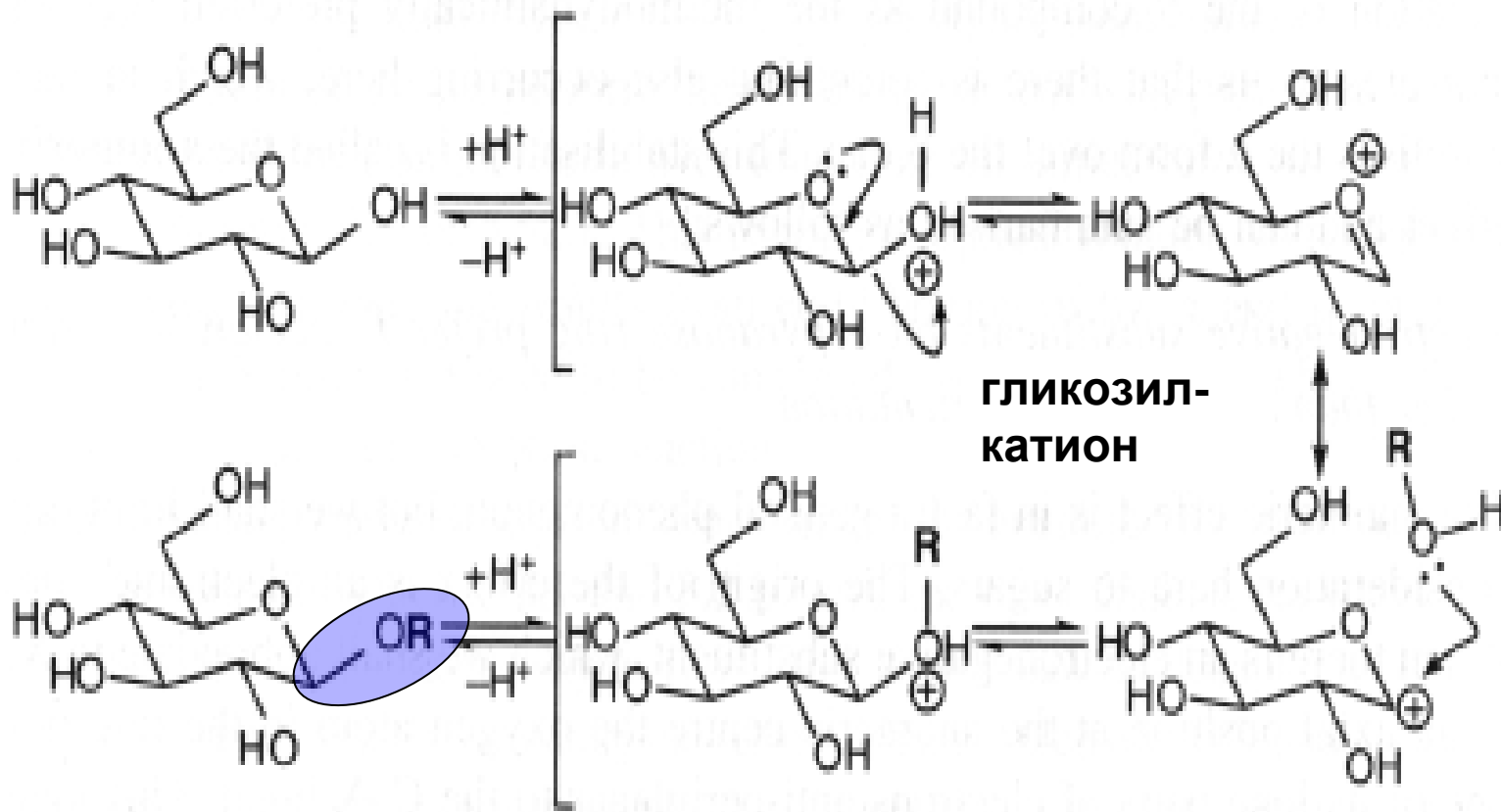
Гликозиды – продукты замещения полуацетального гидроксила в моносахаридах на алкокси-, арилокси-, алкилтио-, арилтио-, ацилокси-, аминогруппы.

Полуацетальный гидроксил, который легко замещается, - **гликозидный гидроксил**.

Атом углерода, при котором произошло замещение – **гликозидный центр** (аномерный).

Входящий заместитель – **агликон**.

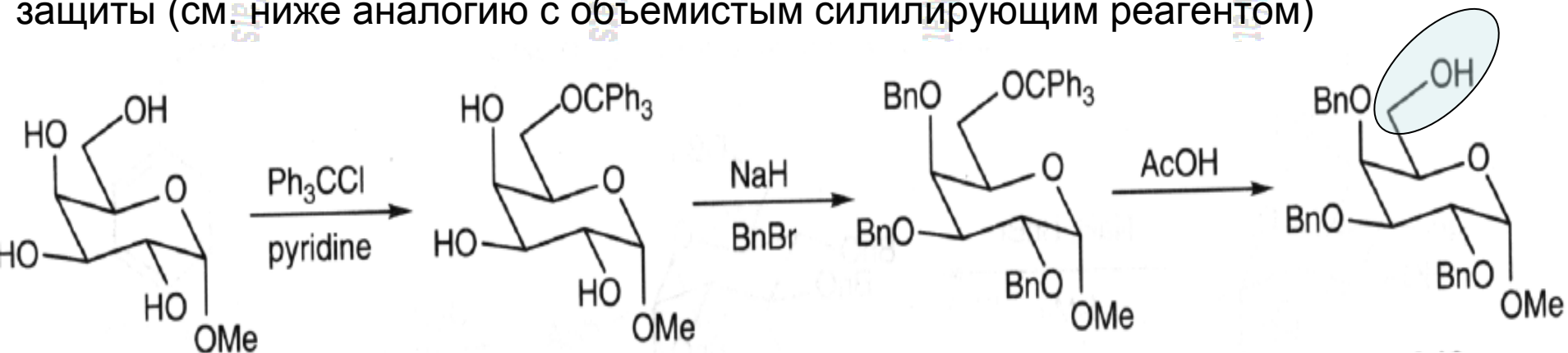
• Образование и гидролиз гликозидов: реакция Фишера



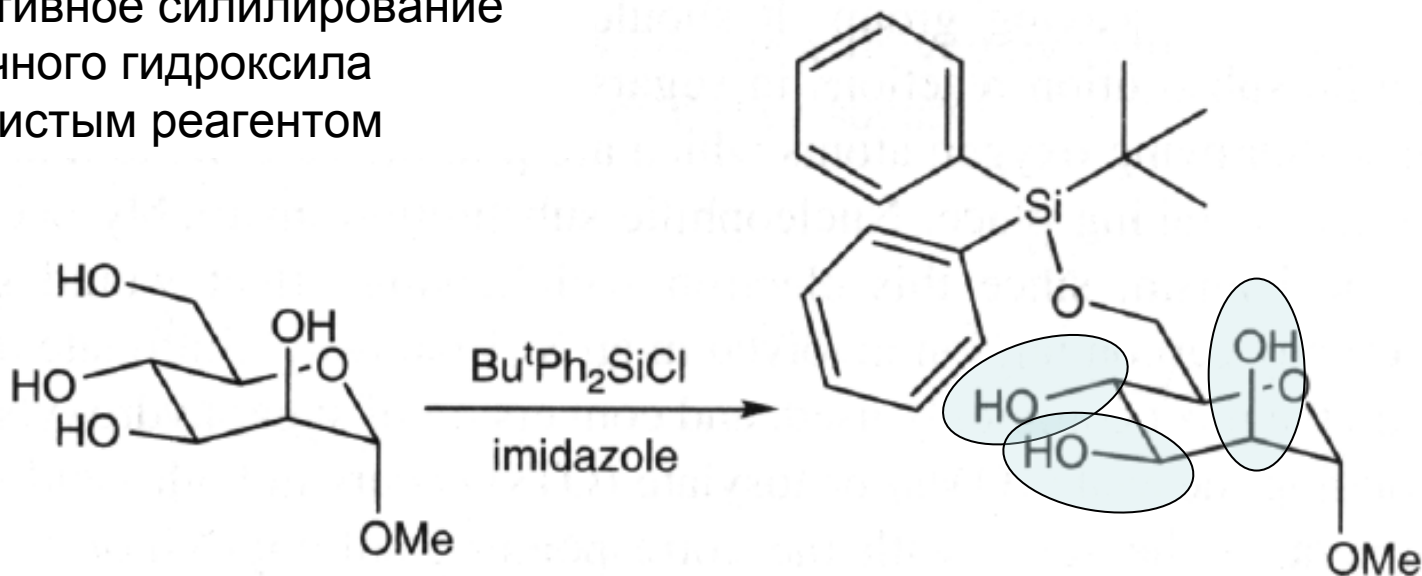
Если $\text{R}=\text{Me}$, то название « α -метил-D-глюкопиранозид»

•Селективные реакции гидроксильных групп: использование гликозидов

«Освобождение» первичного гидроксильной группы с помощью постановки тритильной защиты (см. ниже аналогию с объемистым силилирующим реагентом)

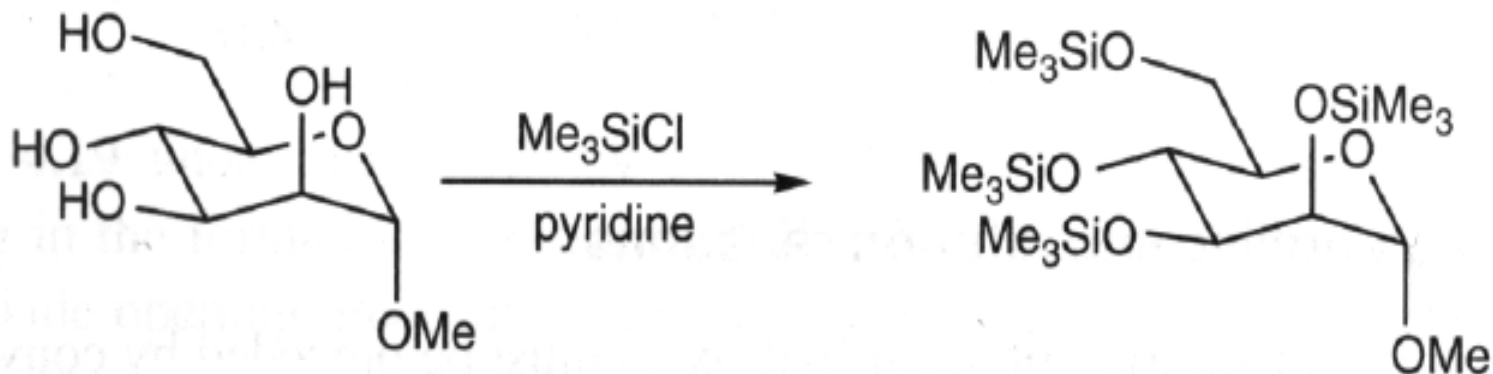


Селективное силилирование
первичного гидроксильной группы
объемистым реагентом

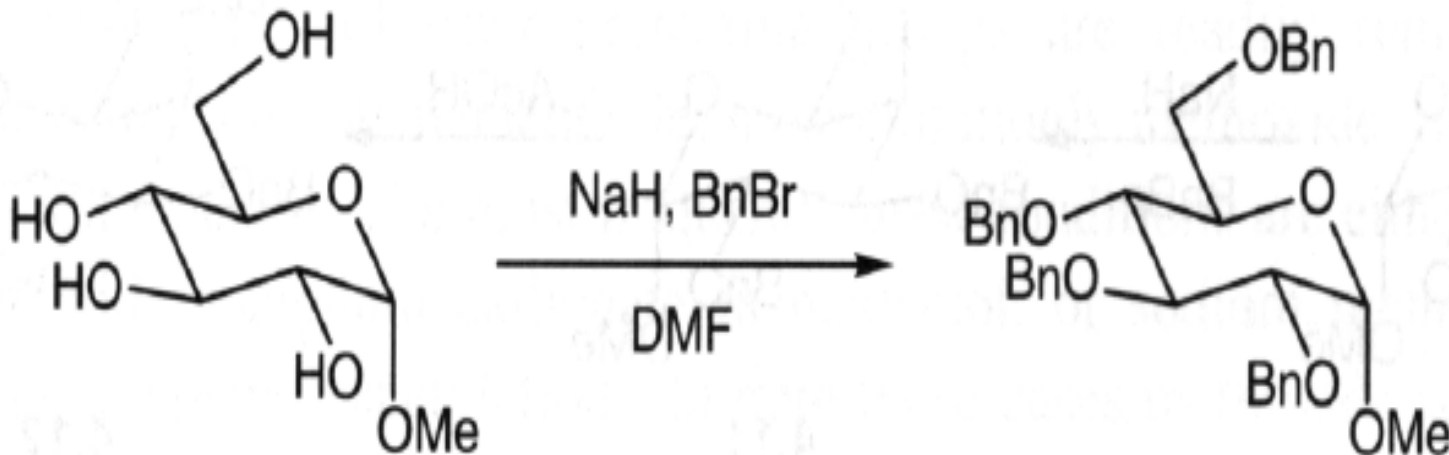


Селективные реакции гидроксильных групп: использование гликозидов

Полное силилирование 4-х оставшихся гидроксильных групп

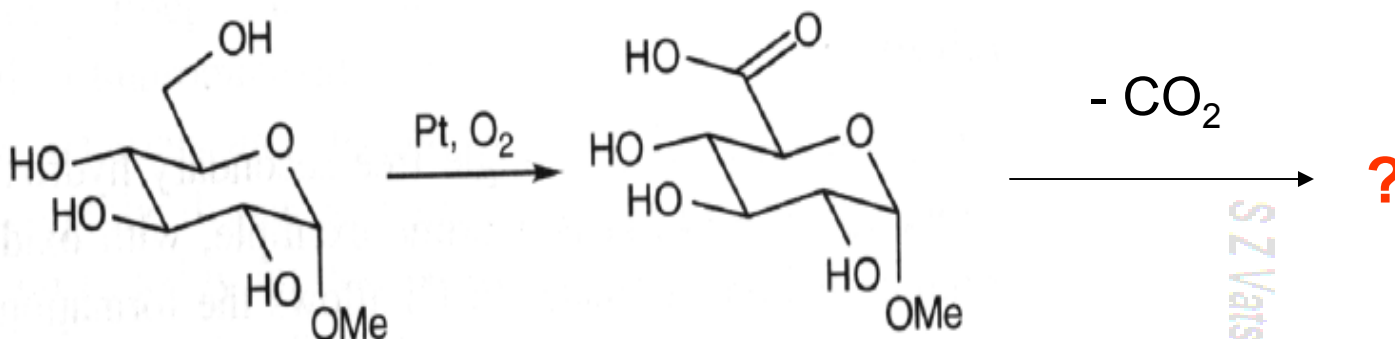


Полное бензилирование 4-х оставшихся гидроксильных групп



•Селективные реакции гидроксильных групп: использование гликозидов

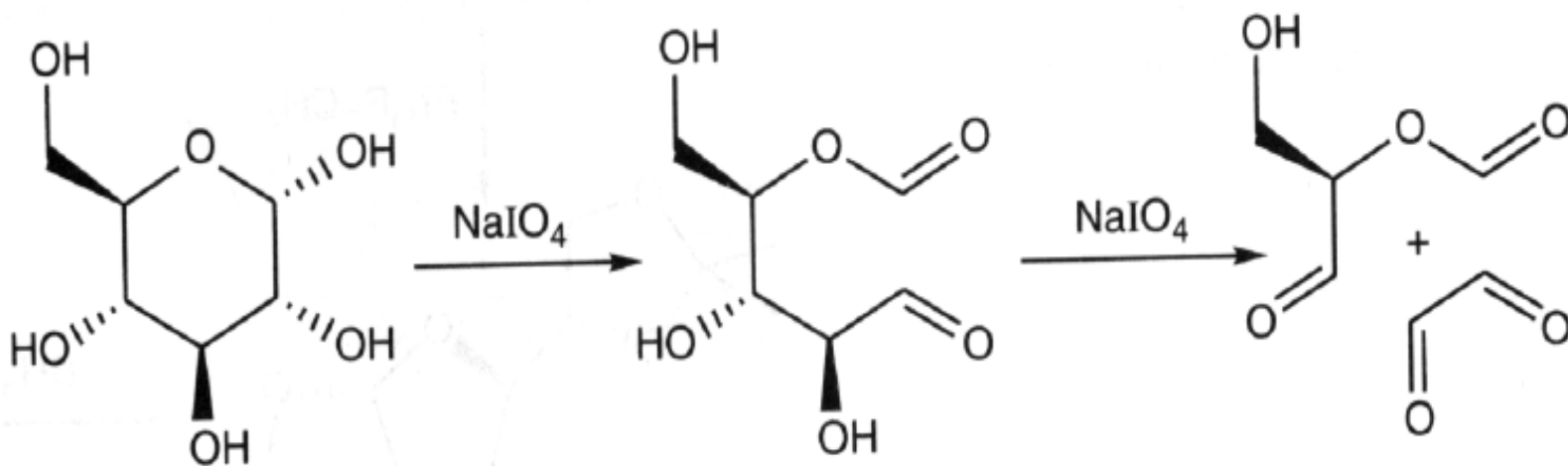
Окисление первично-спиртовой группы с последующим декарбоксилированием в случае глюкозы приводит к ???
(метилгликозид какого углевода получится)
Альдегид не окисляется, так как защищен в воде полного ацетала)



•Селективные реакции гидроксильных групп: расщепление периодатом

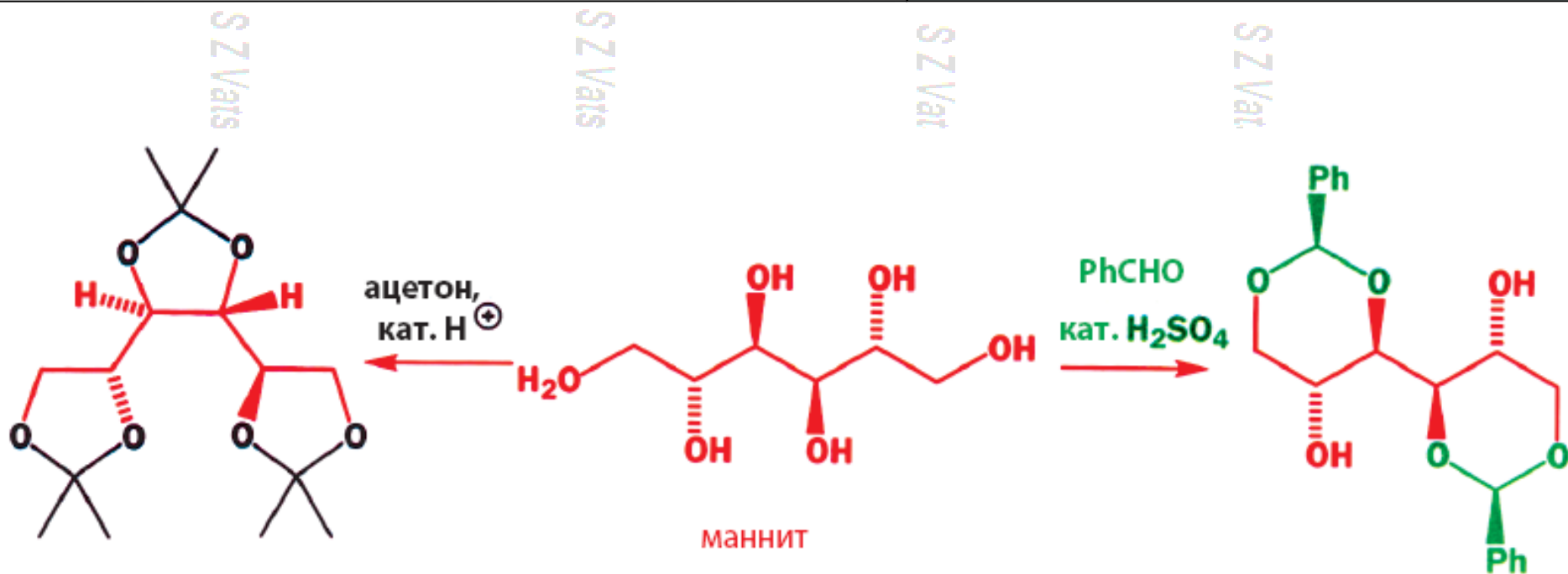
Расщепление периодатом в случае циклических гликолей происходит с высокой скоростью *только* для гидроксильных групп, находящихся в **цис**-расположении по отношению друг к другу.

Это объясняется механизмом реакции – образованием циклического интермедиата (вспомните гидроксильное окисление алкенов перманганатом и тетроксидом осмия, а также расщепление гликолей тетраацетатом свинца).



В приведенном примере вначале расщепляется связь между C1 и C2.

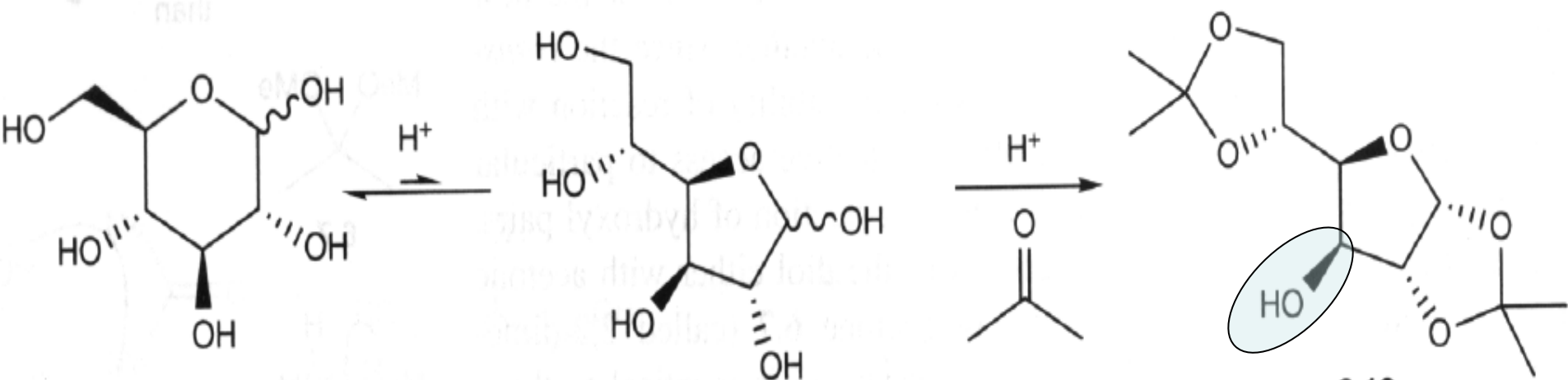
• Селективные реакции гидроксильных групп:
образование ацеталей



Для циклических гликолей проявляется дискриминация *цис*- и *транс*-изомеров

•Селективные реакции гидроксиллов: образование ацеталей

Образуется фуранозная форма, так как именно в ней есть возможность получить два устойчивых диоксолановых цикла



глюкопираноза

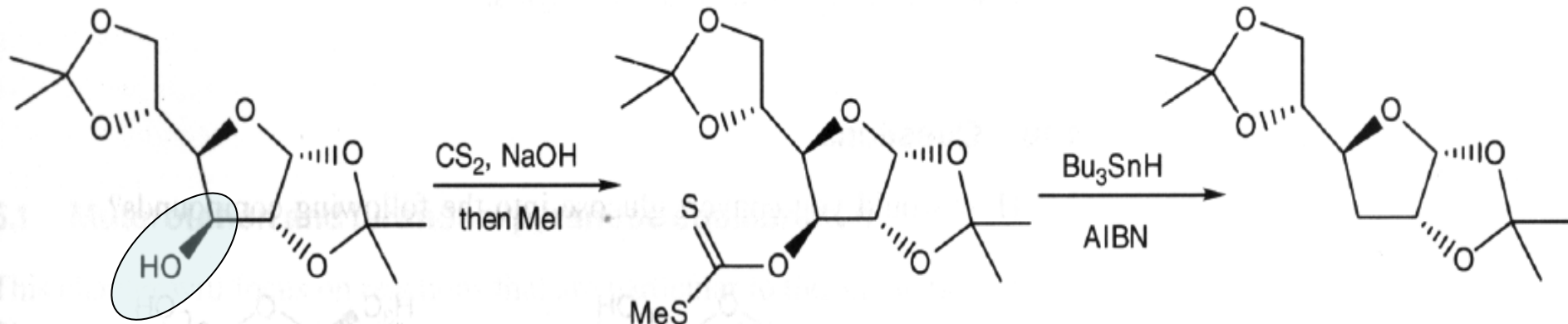
глюкофураноза

диацетон глюкоза

Изопропилиденная или ацетонидная защита

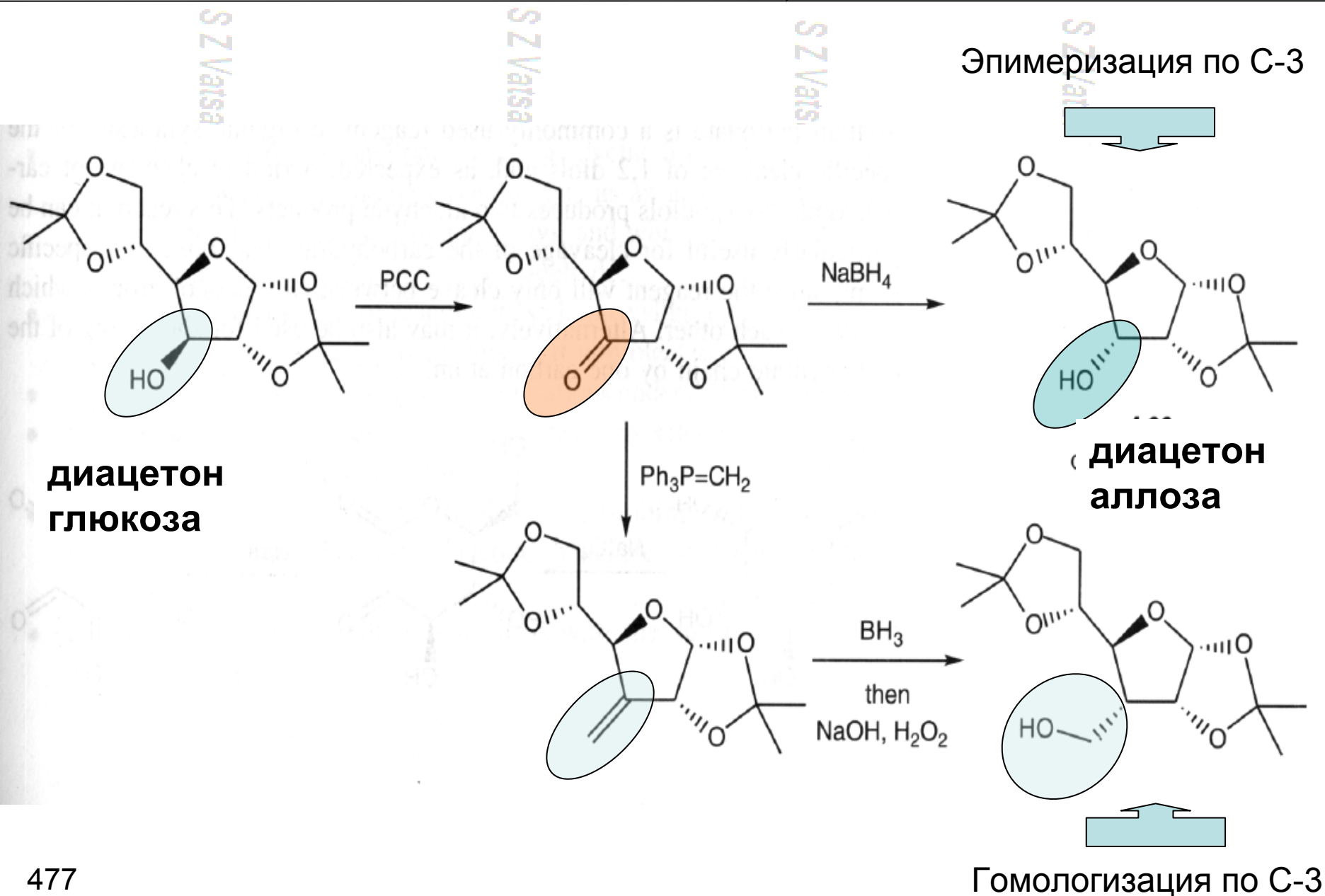
•Селективные реакции гидроксиллов: образование и реакции ацеталей

Дегидроксилирование 3-ОН по Бартону-МакКомби. После удаления защитных групп (условия -?!) получается 3-дезоксид-Д-глюкоза.

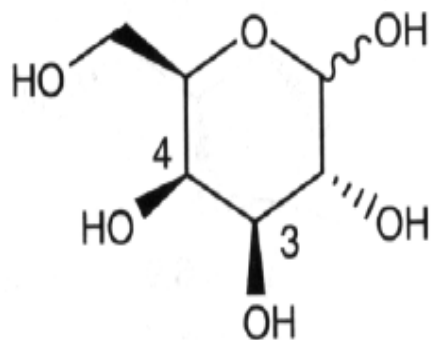


диацетон
глюкоза

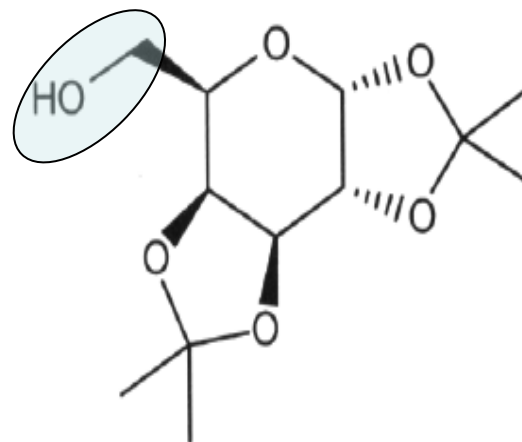
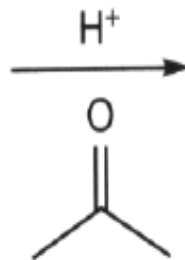
• Селективные реакции гидроксильных групп:
образование и реакции ацеталей



• Селективные реакции гидроксиллов:
образование и реакции ацеталей

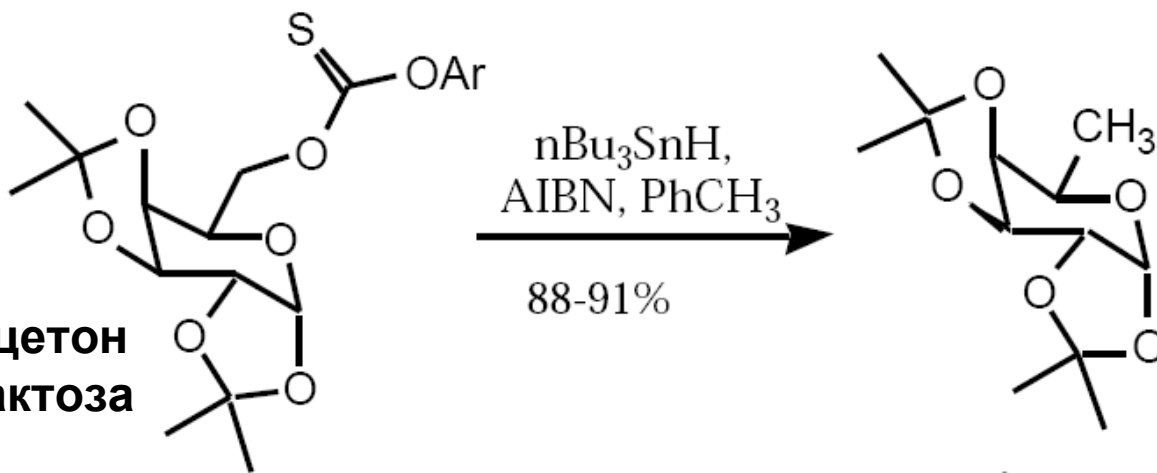


галактопираноза



диацетон галактоза

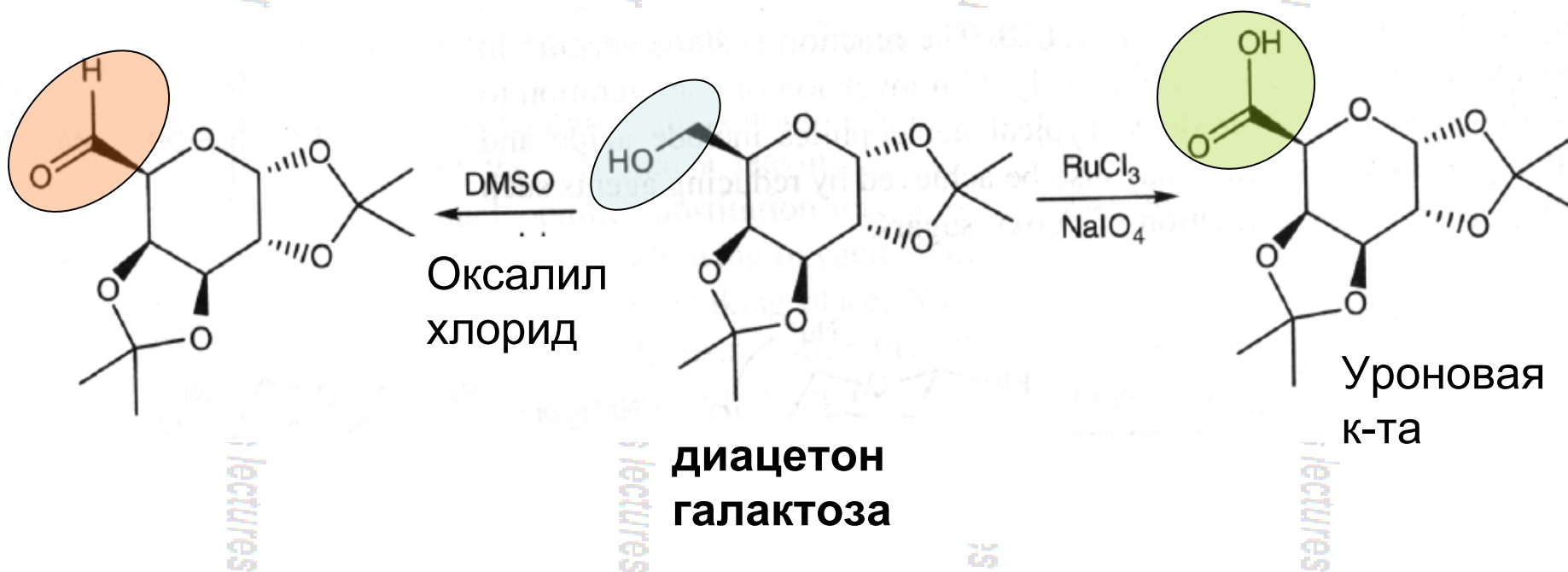
Получение 6-дезоксигалактозы:



Tetrahedron **1991**, 47, 8969

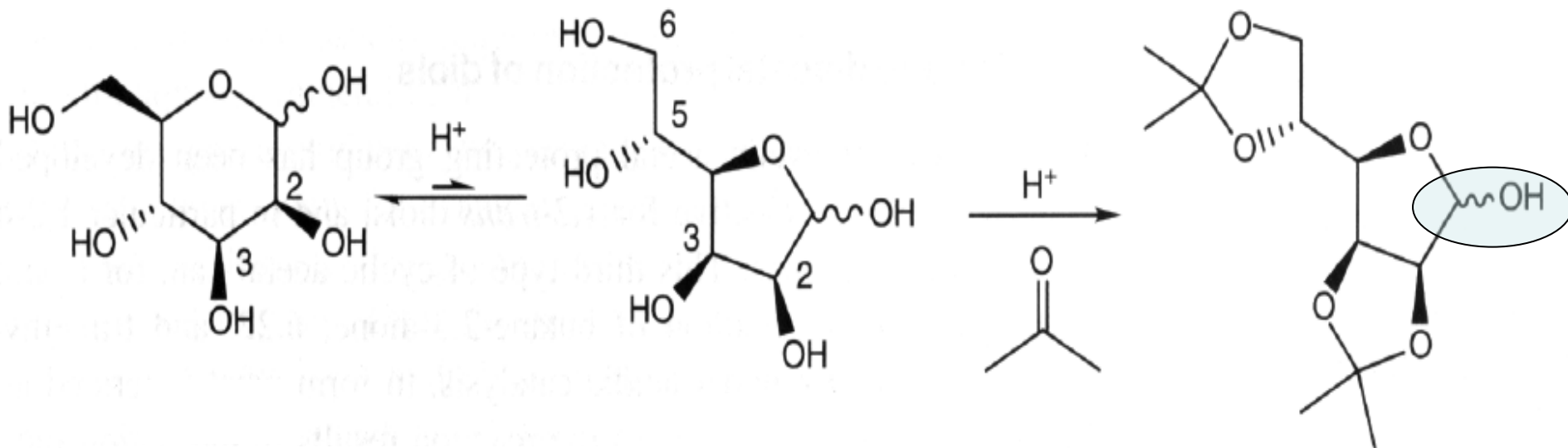
• Селективные реакции гидроксиллов:
образование и реакции ацеталей

Окисление первичного гидроксила в диацетон галактозе



•Селективные реакции гидроксиллов: образование ацеталей

Образуется фуранозная форма, так как именно в ней есть возможность получить два устойчивых диоксолановых цикла

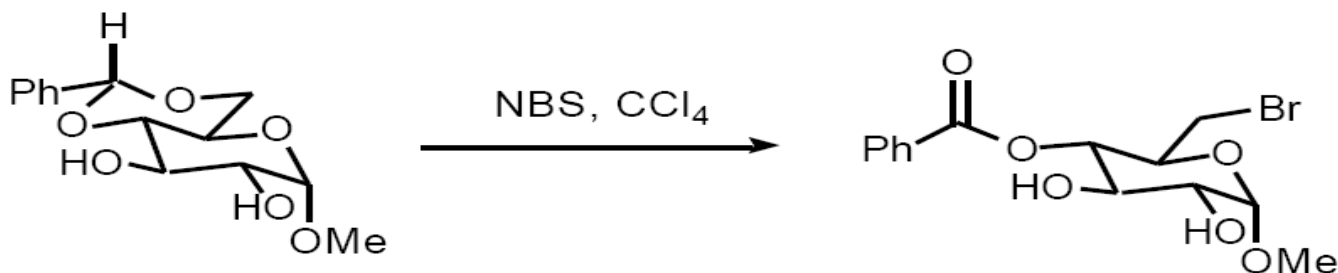
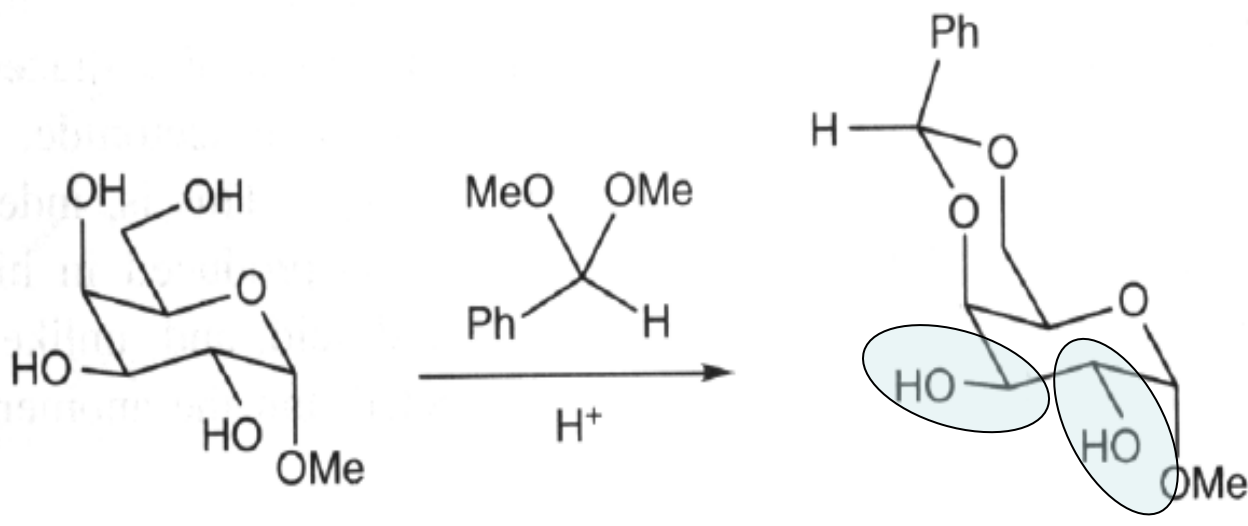
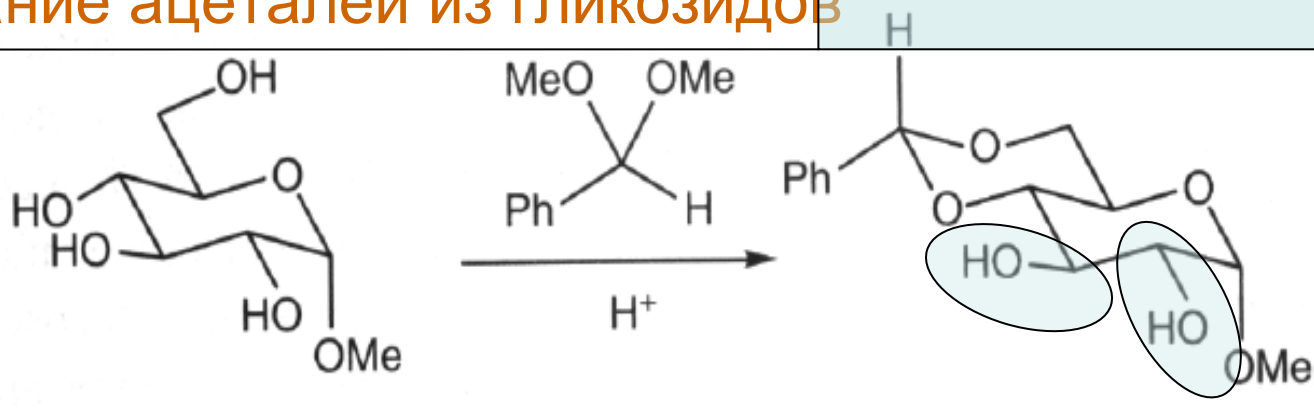


маннопираноза

маннофураноза

диацетон манноза

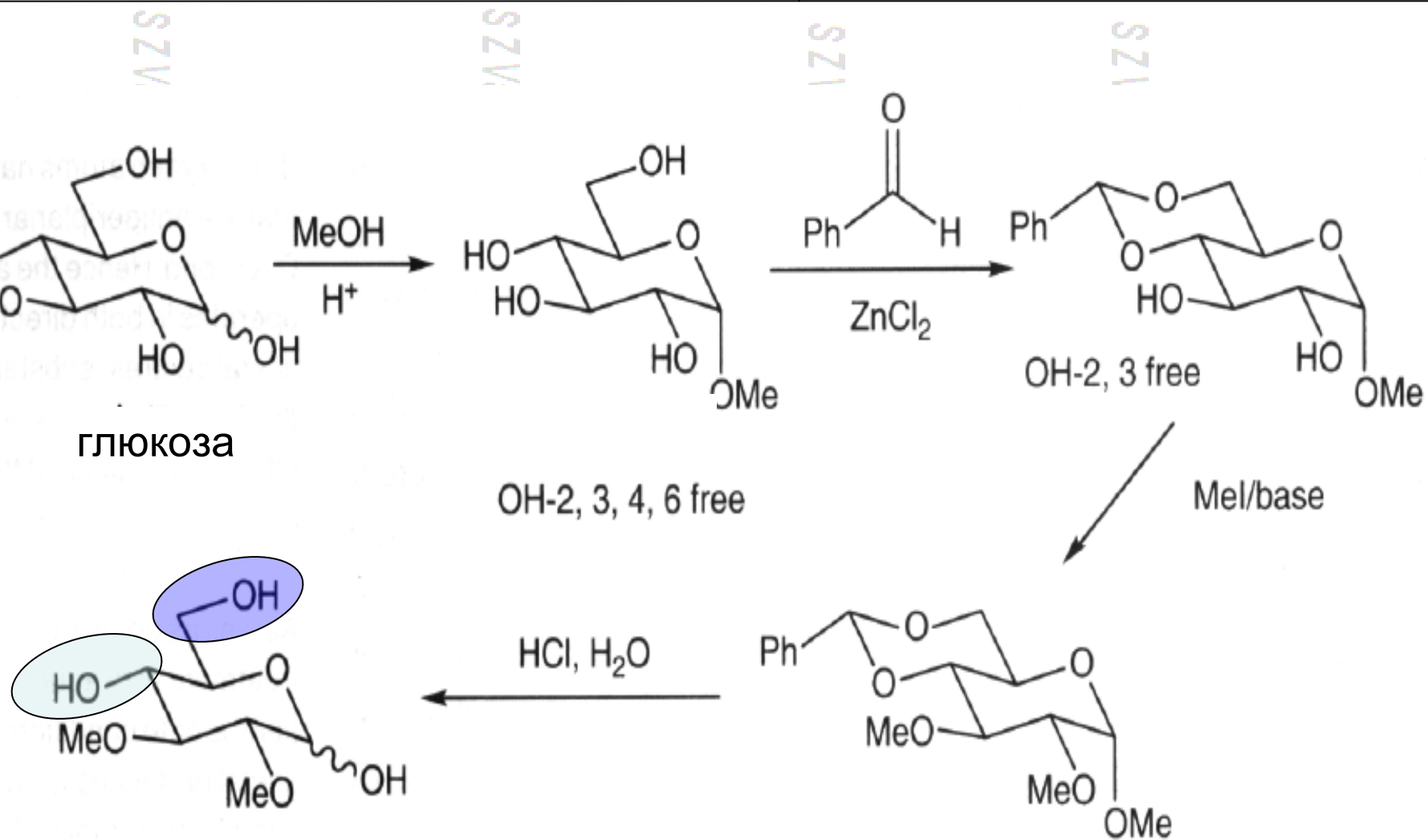
• Селективные реакции гидроксиллов:
образование ацеталей из гликозидов



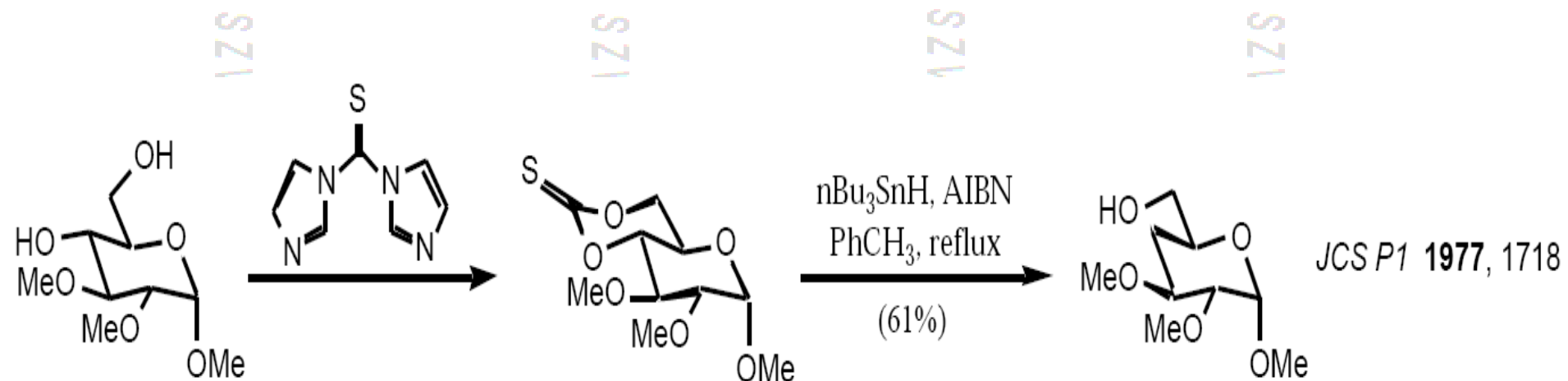
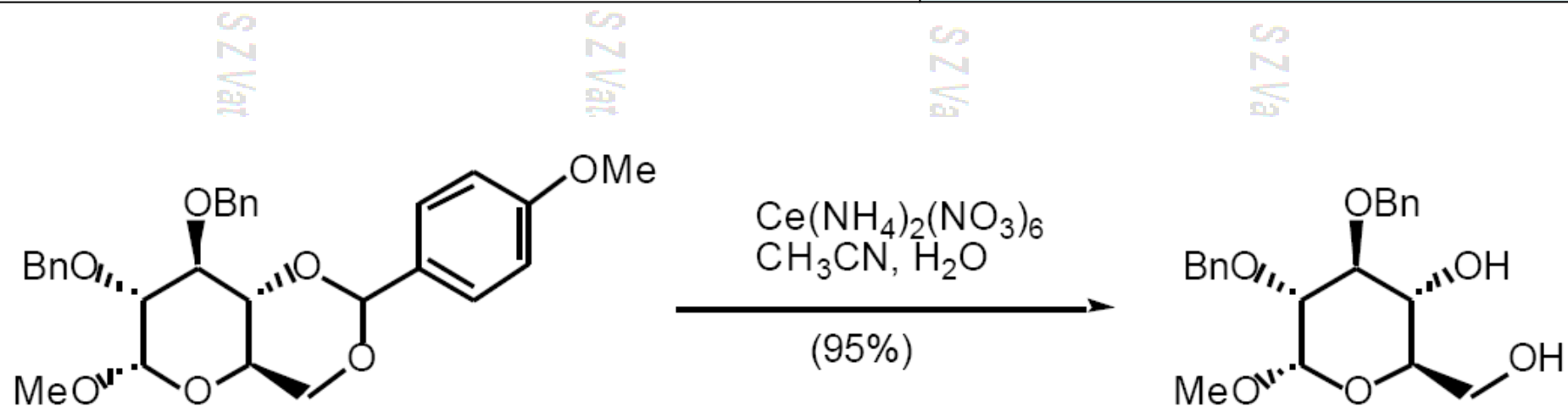
Org. Syn. **1987**, 65, 243

- if benzylidene of a 1° alcohol, then 1° bromide

• Селективные реакции гидроксильных групп:
образование ацеталей из гликозидов

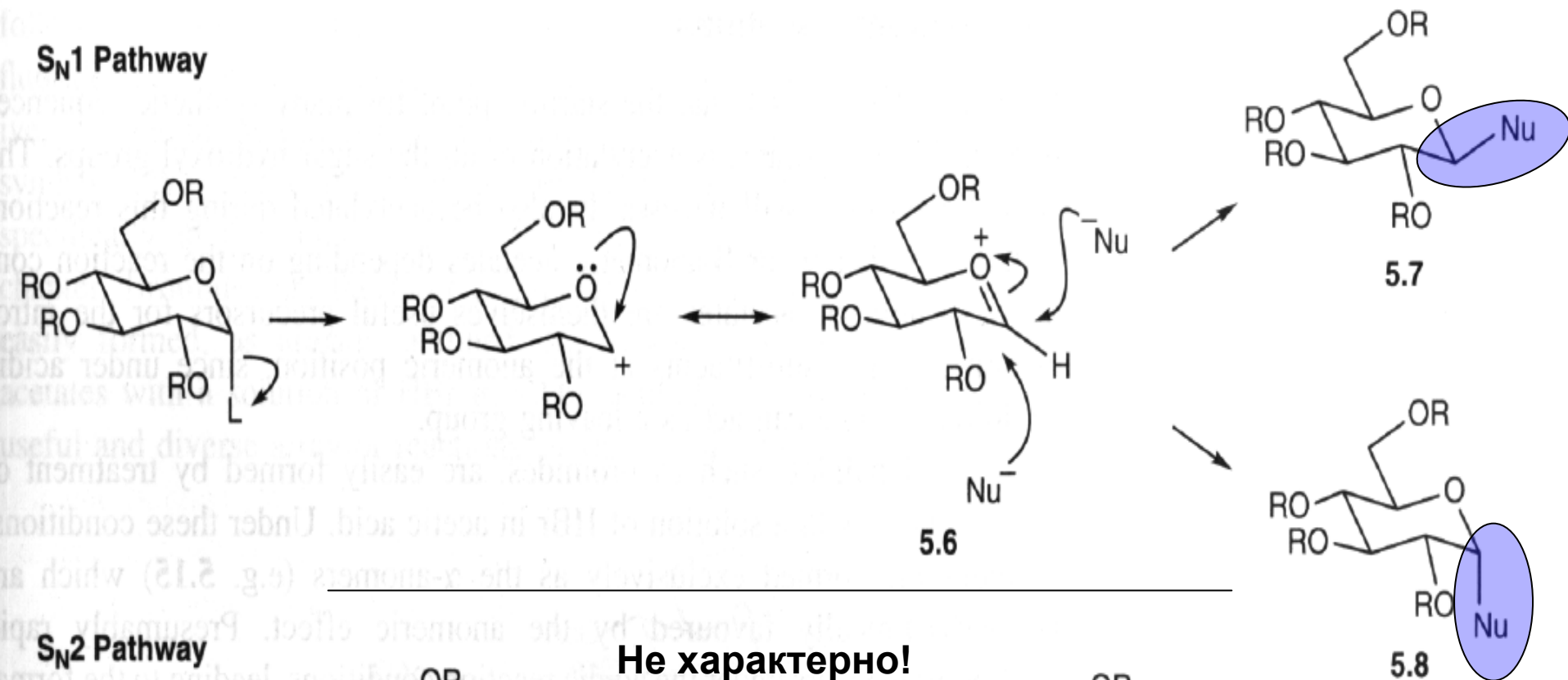


• Селективные реакции гидроксиллов:
образование ацеталей из гликозидов



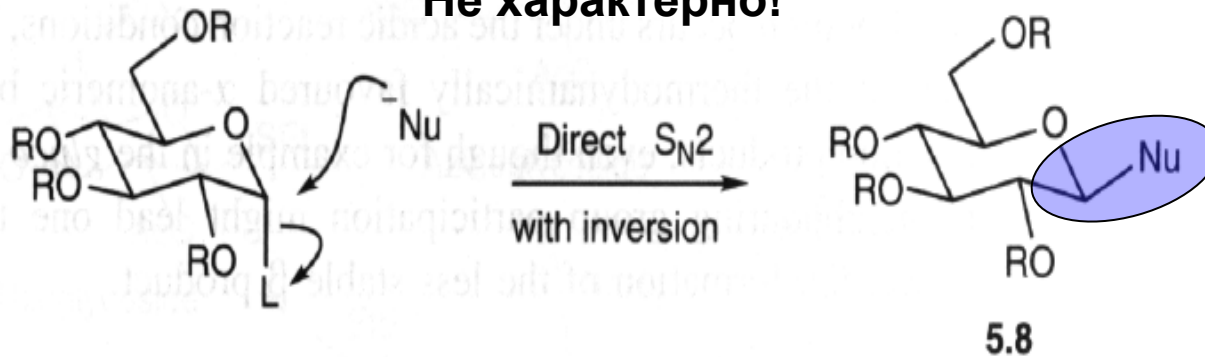
•Образование и реакции ГЛИКОЗИДОВ

S_N1 Pathway



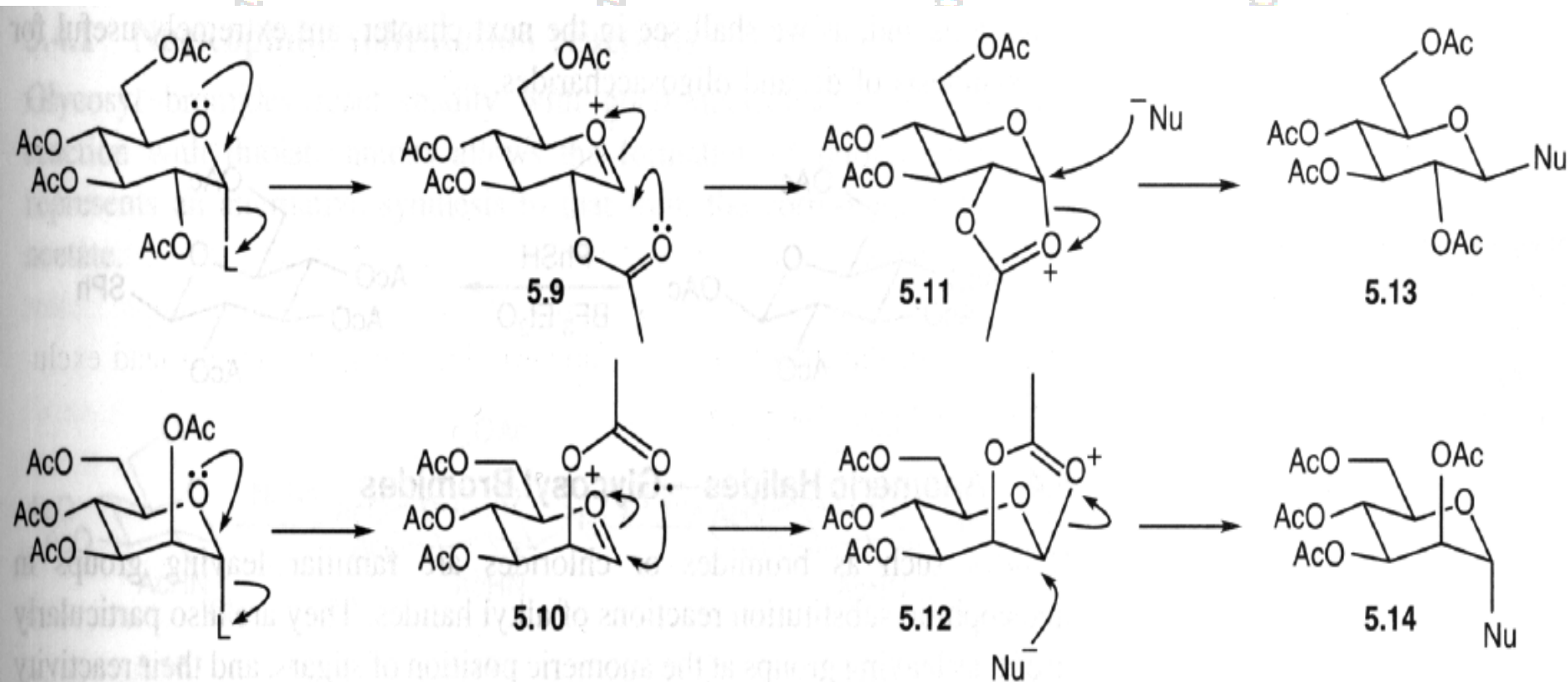
S_N2 Pathway

Не характерно!



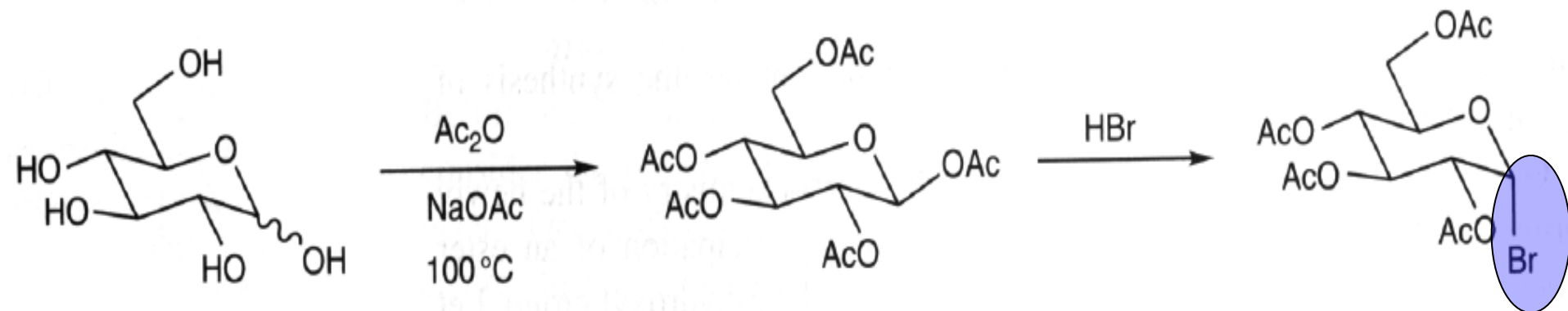
• Образование и реакции гликозидов

Конфигурация определяется анхимерным содействием

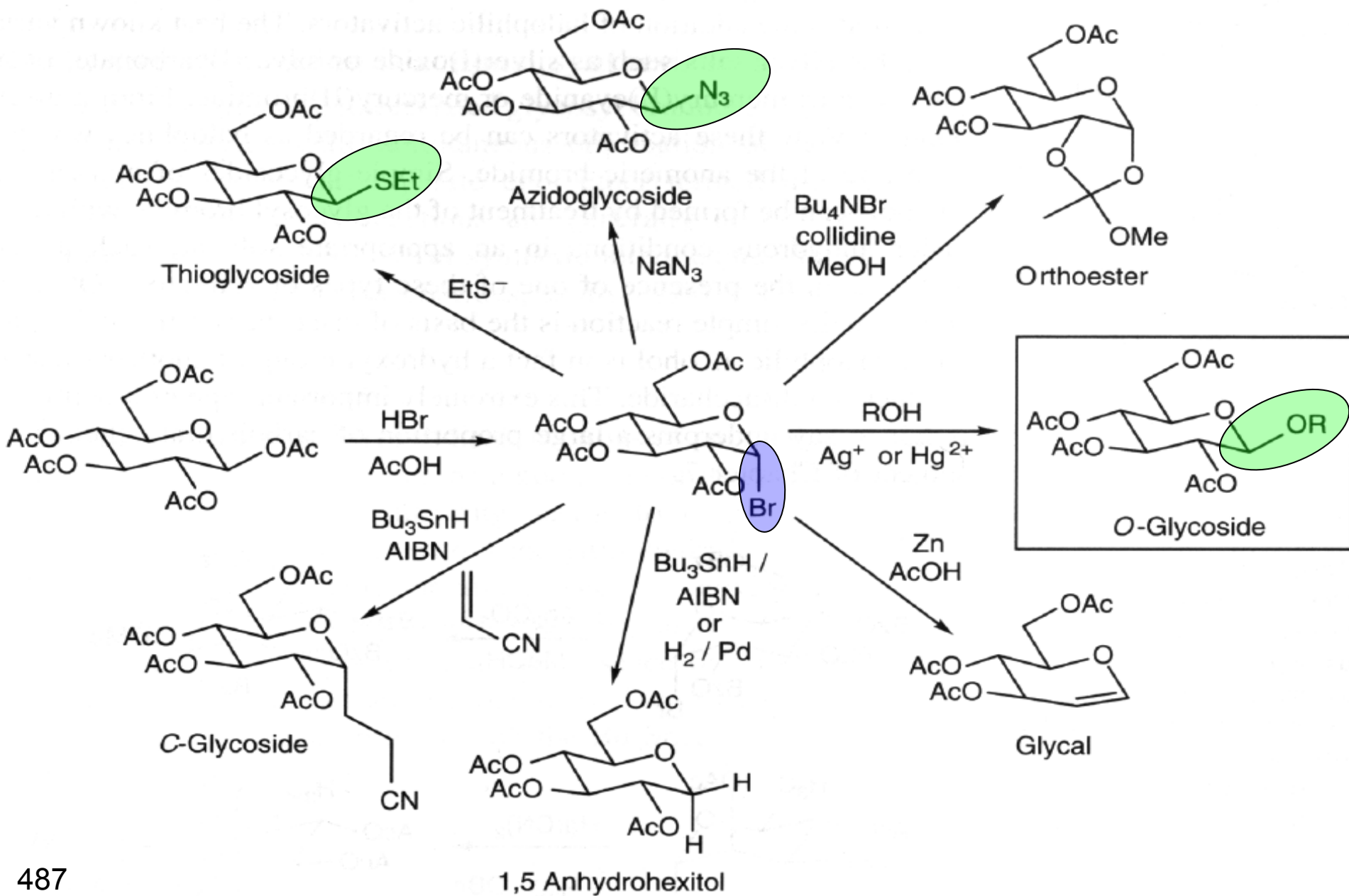


•Образование и реакции гликозилбромидов

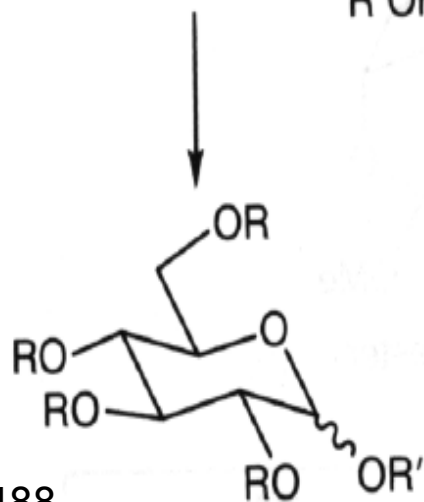
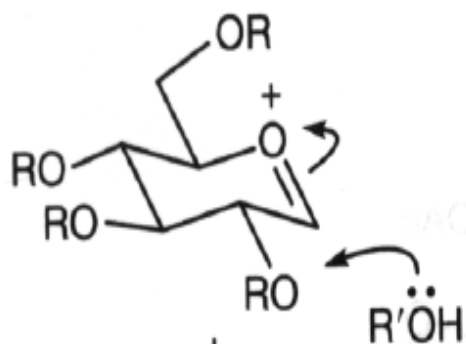
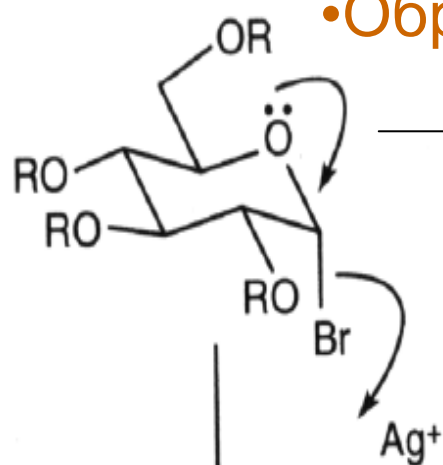
Конфигурация определяется аномерным эффектом



•Образование и реакции гликозилбромидов

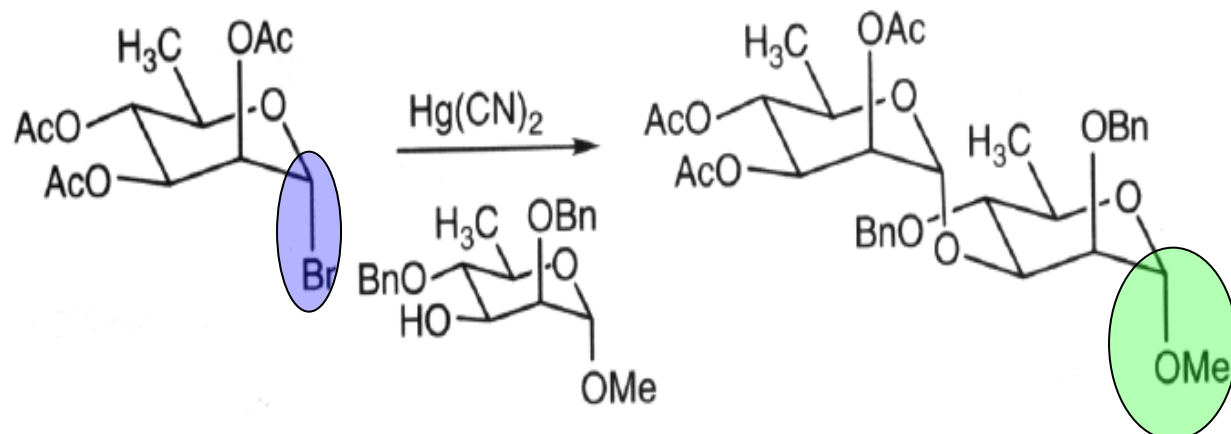
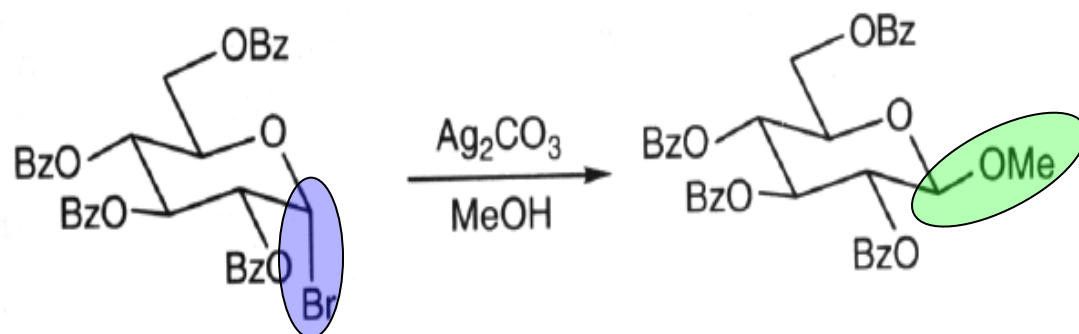


• Образование и реакции гликозилбромидов



Реакция Кёнигса-Кнорра (1901),
один из основных методов
синтеза гликозидов.

Например:



S Z Vatsadze's lectures

S Z Vatsadze's lectures

S Z Vatsadze's lectures

S Z Vatsadze's lectures

Дисахариды (биозы)

S Z Vatsadze's lectures

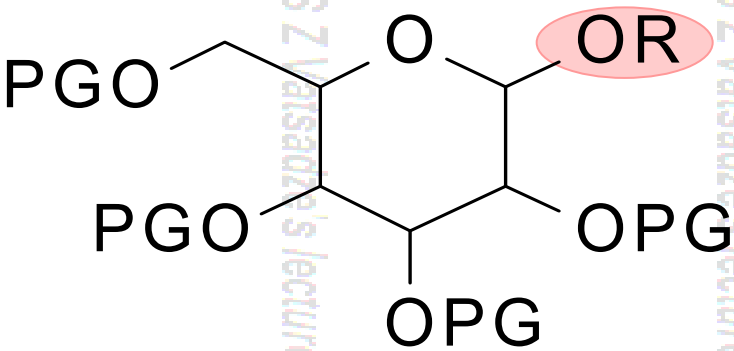
S Z Vatsadze's lectures

S Z Vatsadze's lectures

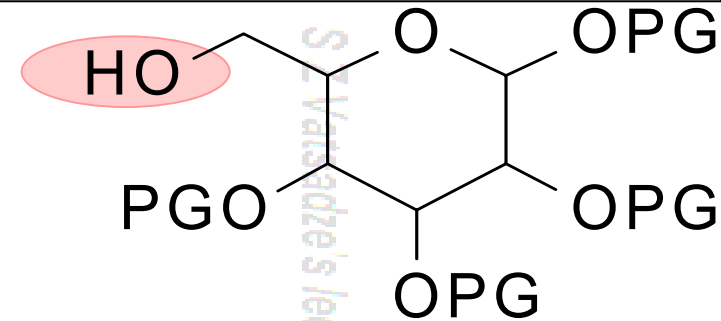
S Z Vatsadze's lectures

•Общий подход к синтезу дисахаридов

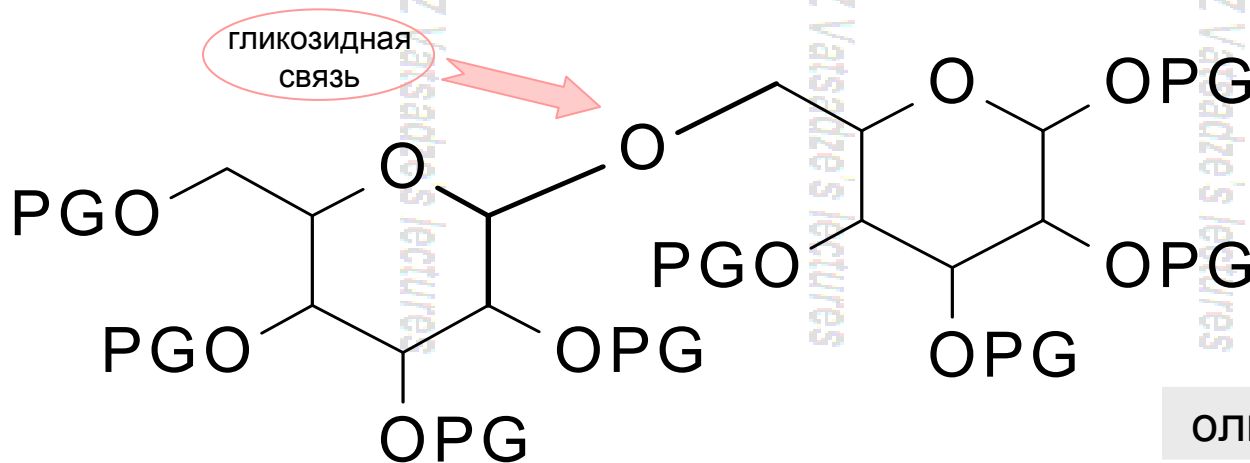
Углеводы



гликозил-донор
(электрофил)



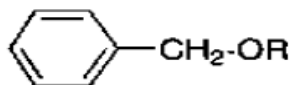
гликозил-акцептор
(нуклеофил)



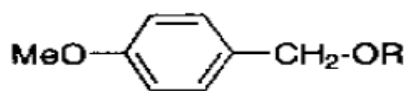
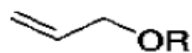
олигосахарид

•Общий подход к синтезу дисахаридов – защитные группы

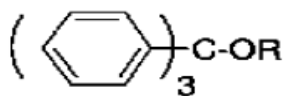
Эфиры



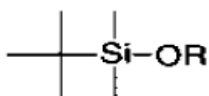
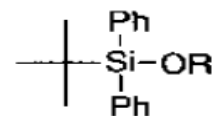
Benzyl (Bn)

*p*-Methoxybenzyl (pMB)

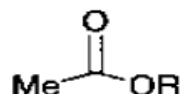
Allyl (All)



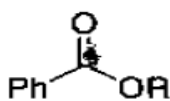
Trityl (Tr)

*t*-Butyldimethyl silyl (TBDMS)*t*-Butyldiphenyl silyl (TBDPS)

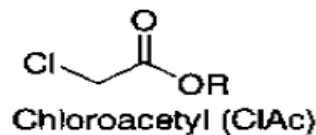
Сложные эфиры



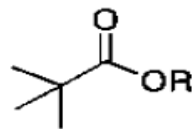
Acetyl (Ac)



Benzoyl (Bz)

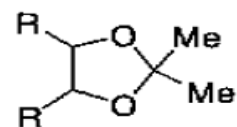
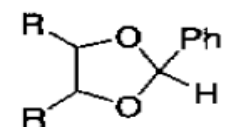


Chloroacetyl (ClAc)

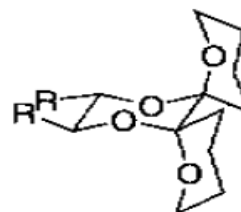
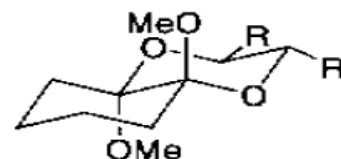


Pivaloyl (Piv)

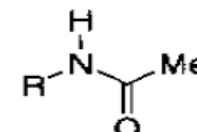
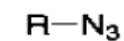
Ацетали

*i*-Propylidene

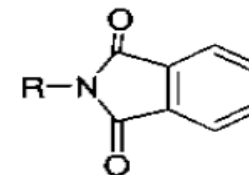
Benzylidene

Dispiroketal
(Dispoke)Cyclo-hexane-1,2-diacetal
(CDA)

Защита азота

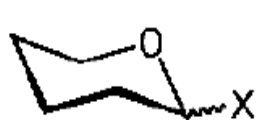
*N*-Acetyl

Azide

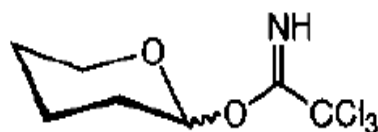


Phthalimido (Phth)

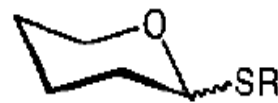
•Общий подход к синтезу дисахаридов – гликозилдоноры



glycosyl halides
(X=F, Cl, Br)



trichloroacetimidate



thio-glycosides
(R = alkyl, aryl, cyanide, pyridyl)



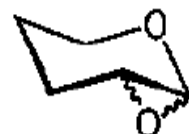
seleno-glycosides



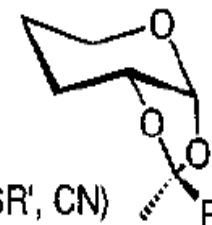
glycosyl xanthate



glycosyl sulphoxide



1,2-epoxide



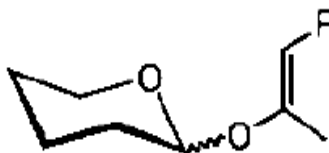
orthoester
(R = OR', SR', CN)



glycosyl phosphorous
(R = alkyl, O-alkyl,
X = O, S, lone pair)



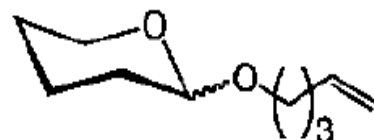
anomeric acetate



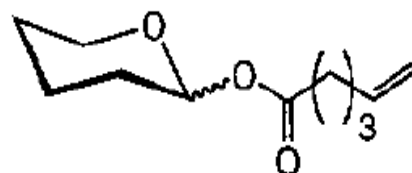
vinyl glycosides
(R = H, R = Me)



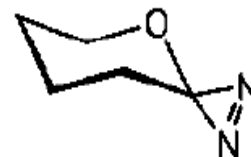
reducing sugar



n-pentenyl glycoside



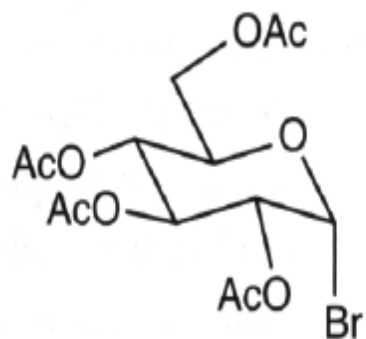
n-pentenoyl glycoside



anomeric diazirines

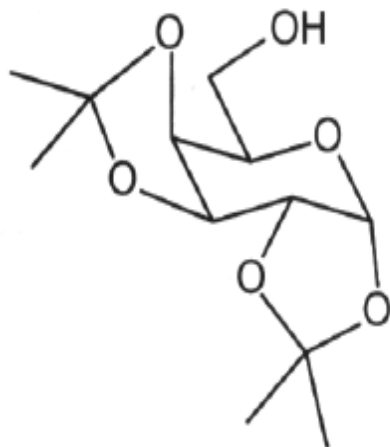
Примеры синтеза дисахаридов

S Z Vaisadi



tures

S Z Vaisadi



tures

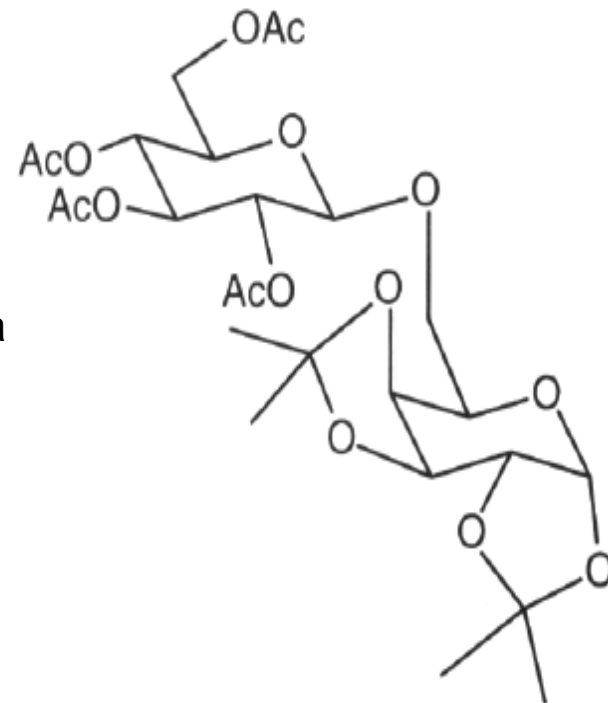
диацетон галактоза

S Z Vaisadi



tures

S Z Vaisadi

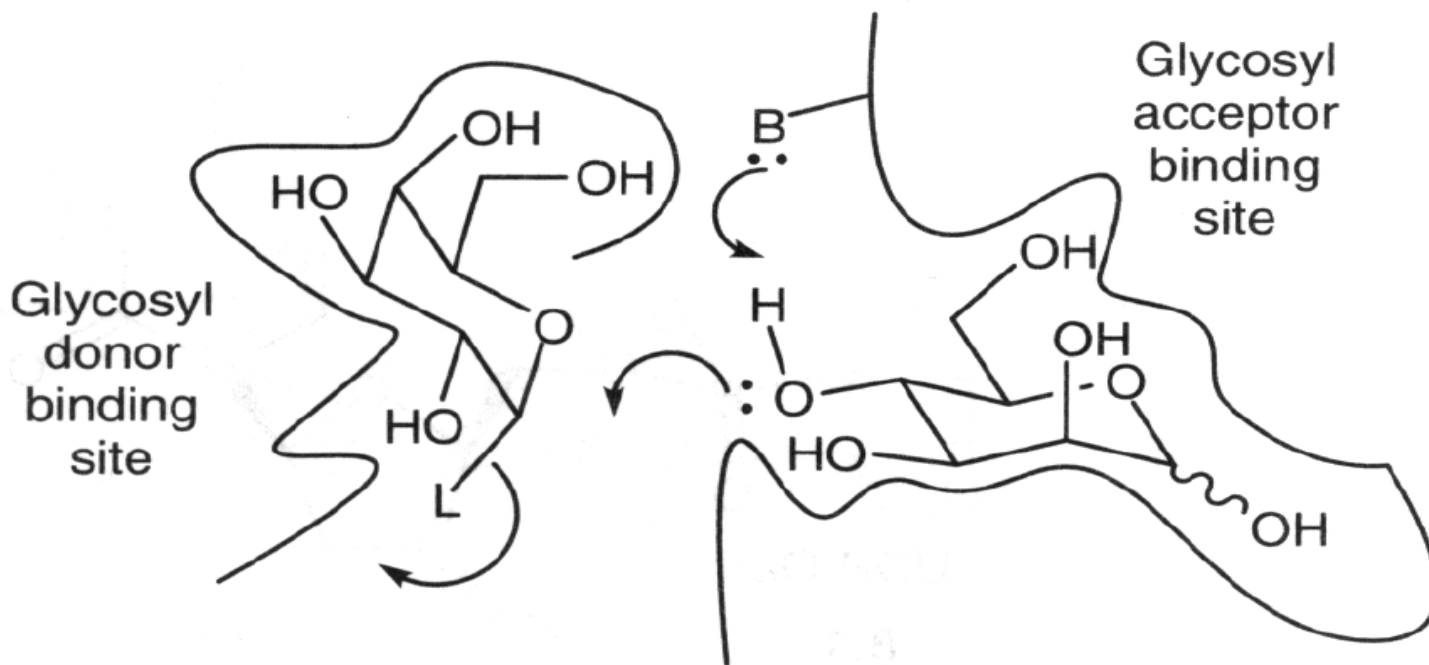


tures

•Энзиматический подход к синтезу дисахаридов

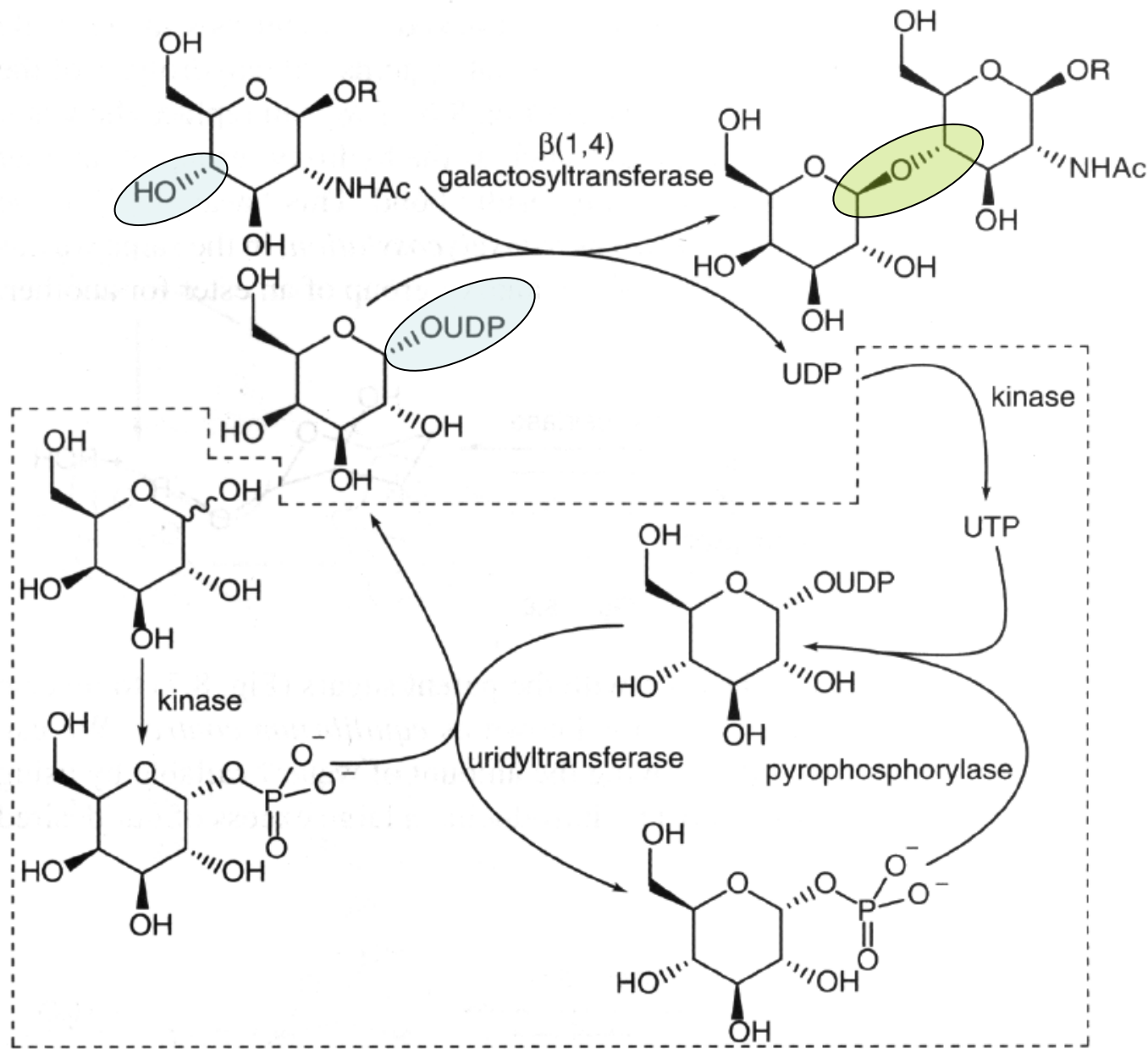
Гликозилтрансферазы – образуют гликозидную связь

Гликозидазы (сокр. от гликозилгидралазы) – разрывают гликозидную связь.



•Энзиматический подход к синтезу дисахаридов

Роль нуклеофуга играет уридиндифосфат - UDP

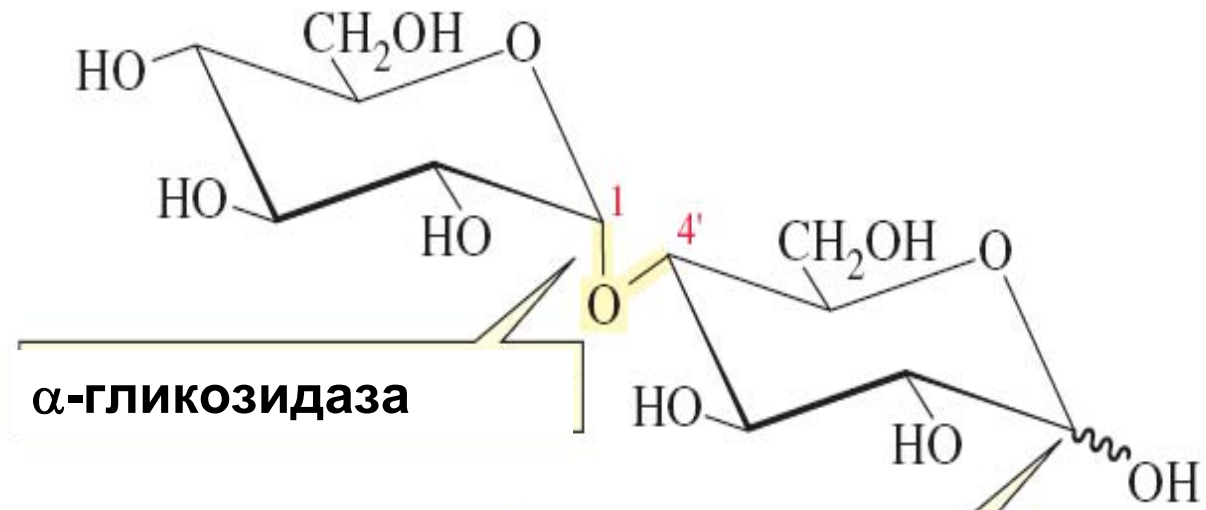
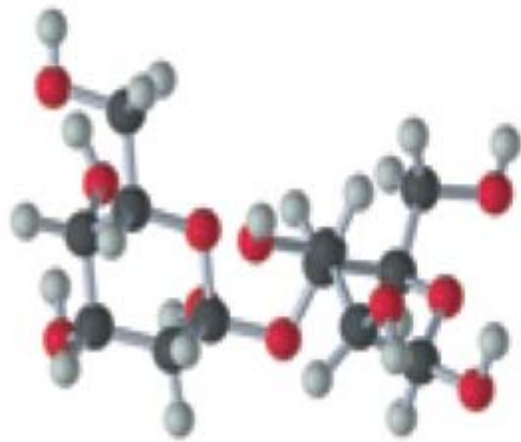


S Z Vaisadze

S Z Vaisadze

Мальтоза – гидролиз крахмала
амилазой (α -гликозидаза)

(восстанавливающий = редуцирующий)



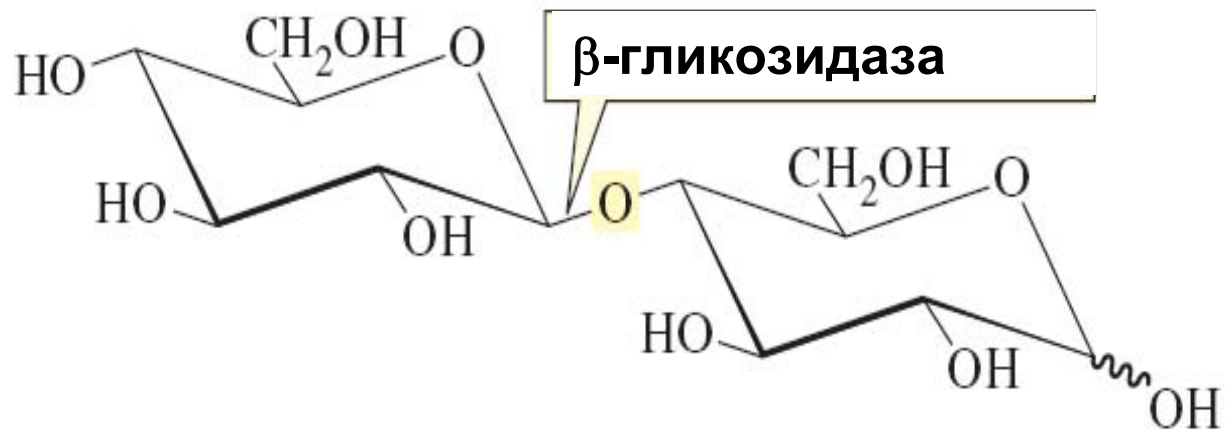
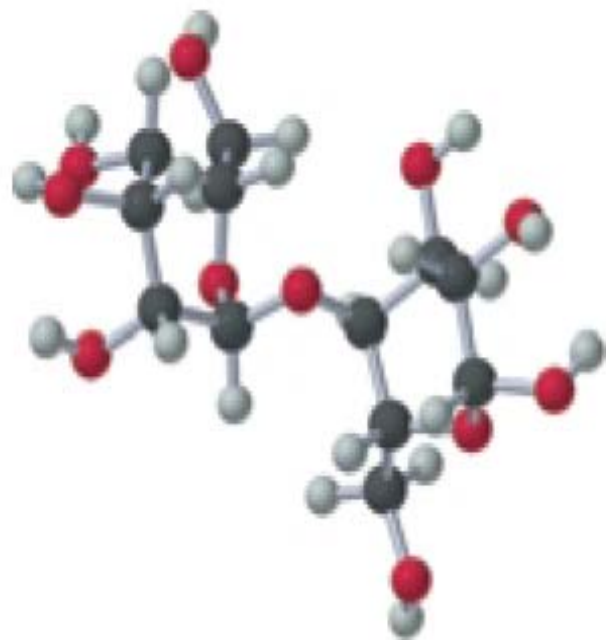
мальтоза

α -D-Глюкопиранозил-?-D-глюкопираноза

• Примеры дисахаридов -
целлобиоза

Целлобиоза – гидролиз
целлюлозы (β -гликозидаза)

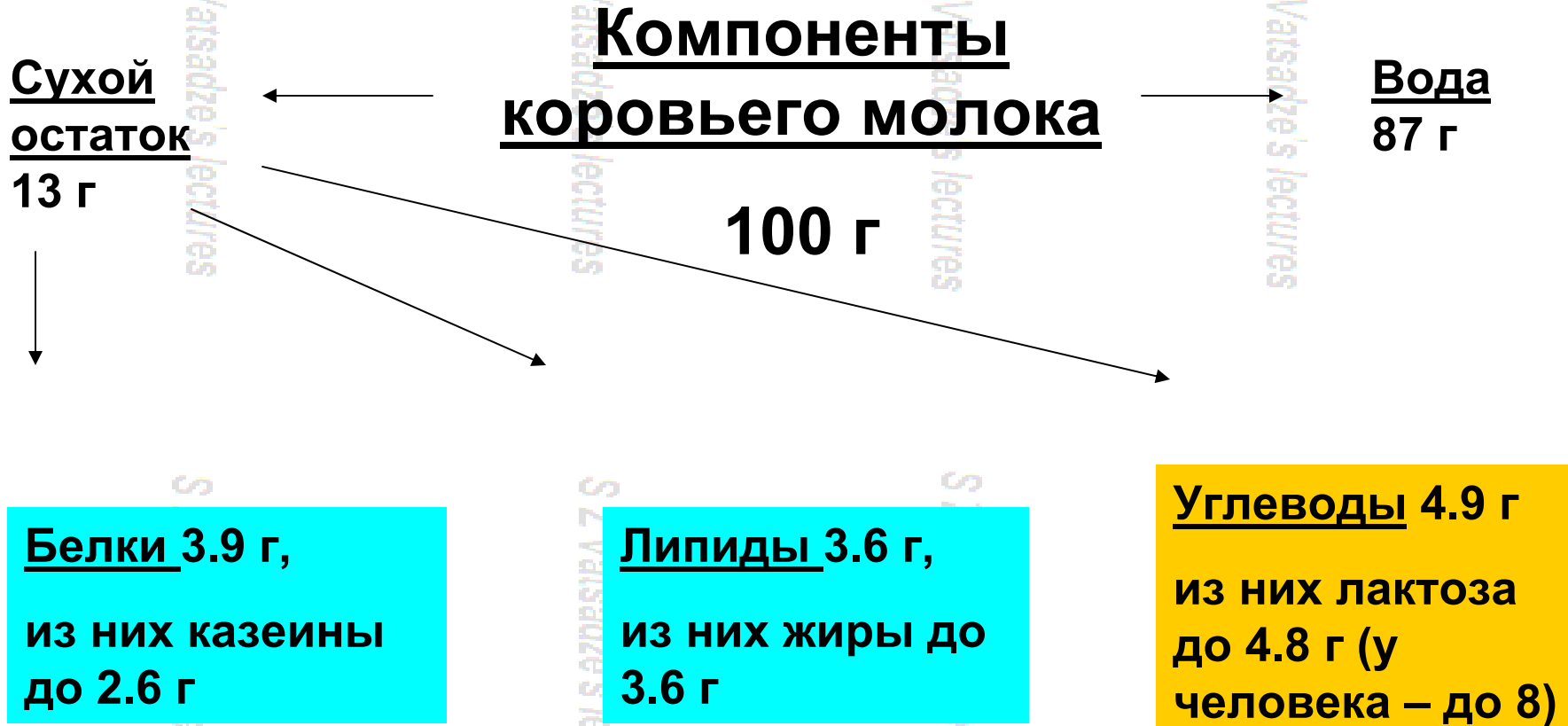
(восстанавливающий = редуцирующий)



целлобиоза

β -D-Глюкопиранозил- β -D-глюкопираноза

• Примеры дисахаридов - лактоза



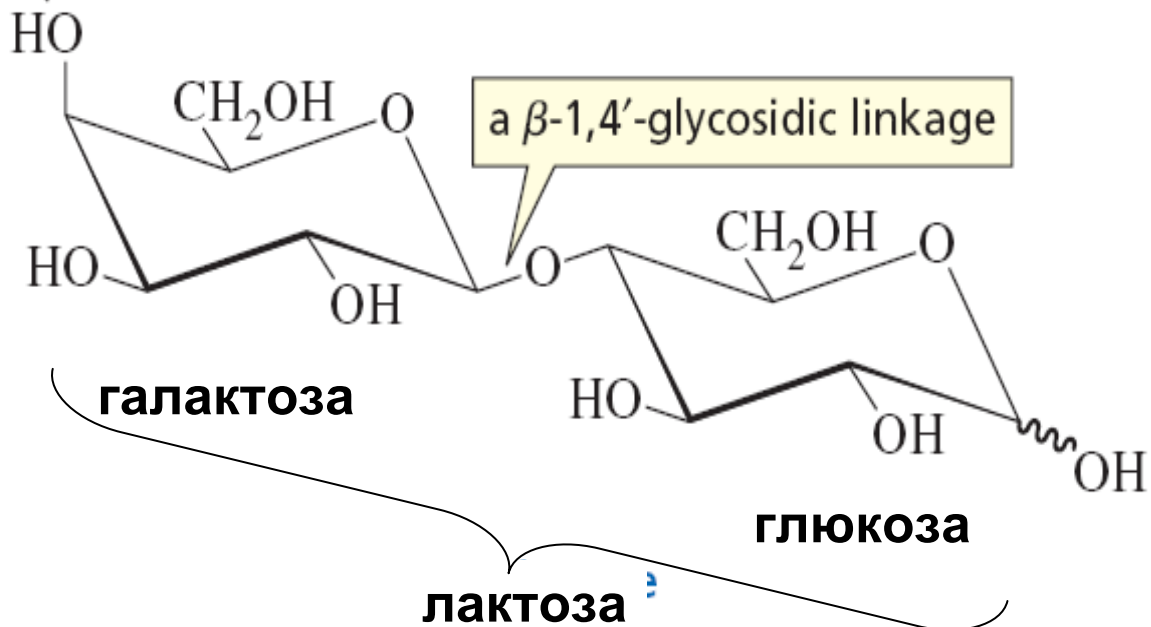
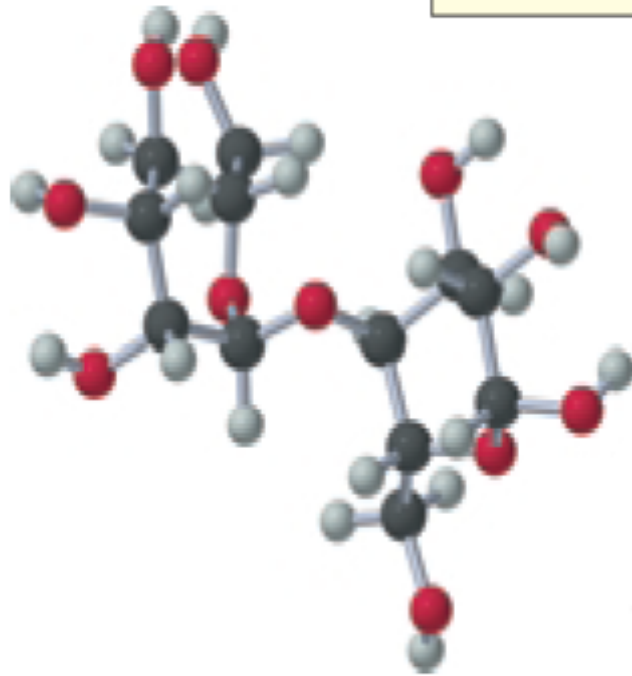
Сухой остаток содержит также: минеральные вещества, ферменты, витамины, пигменты, гормоны, посторонние химические вещества (до 0.6 г)

Примеры дисахаридов - лактоза

(восстанавливающий = редуцирующий)

D-galactose is a C-4 epimer of D-glucose

β -D-Галактопиранозил- α -D-глюкопираноза

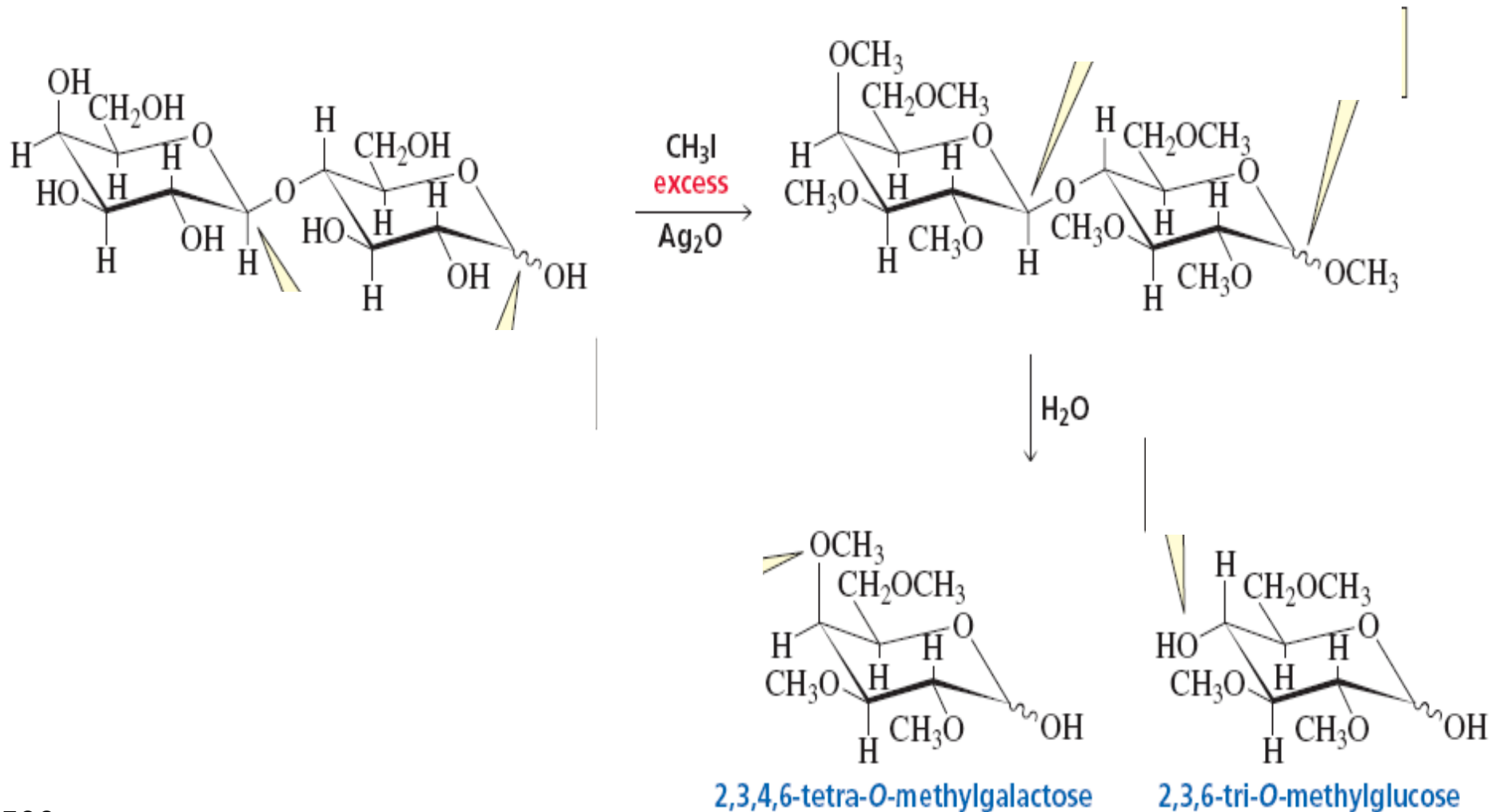


Заболевания – отсутствие лактазы - фермента, гидролизующего лактозу на глюкозу и галактозу (интолерантность);

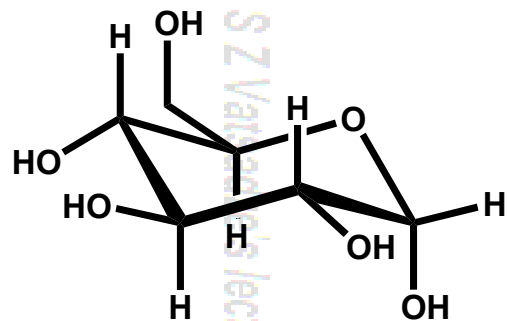
Галактоземия – отсутствие ферментов, эпимеризующих галактозу в глюкозу

Примеры дисахаридов - лактоза

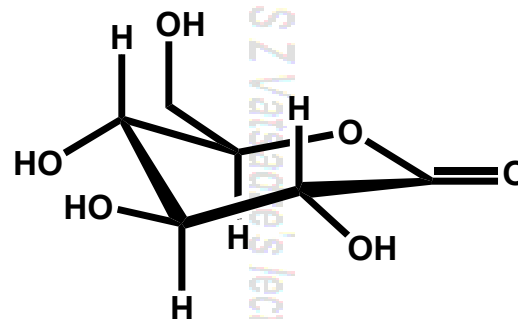
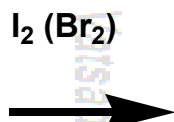
Доказательство связи между моносахаридами в лактозе



• Реакции дисахаридов

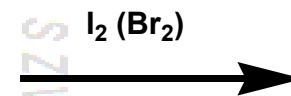
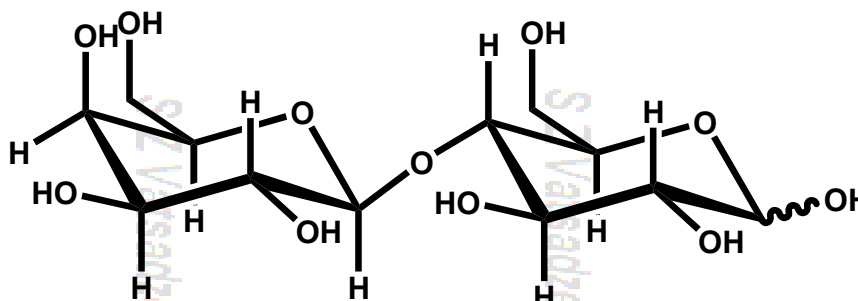
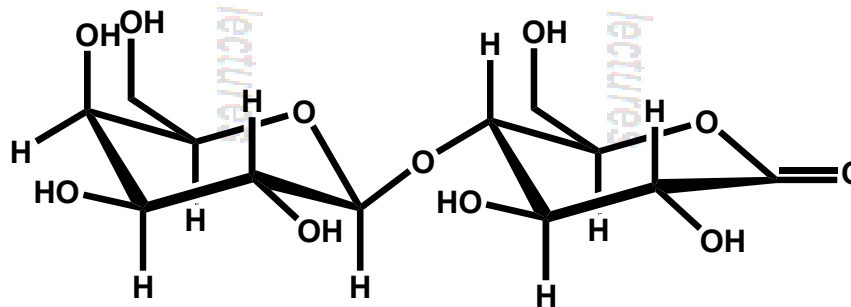


Глюкоза



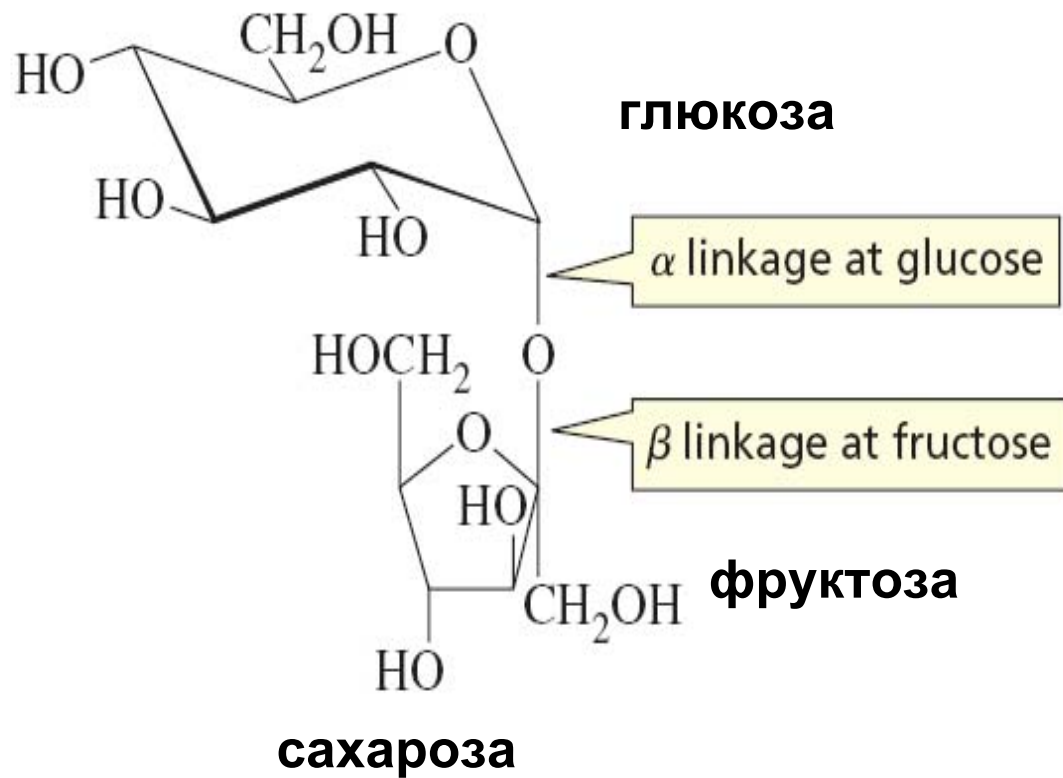
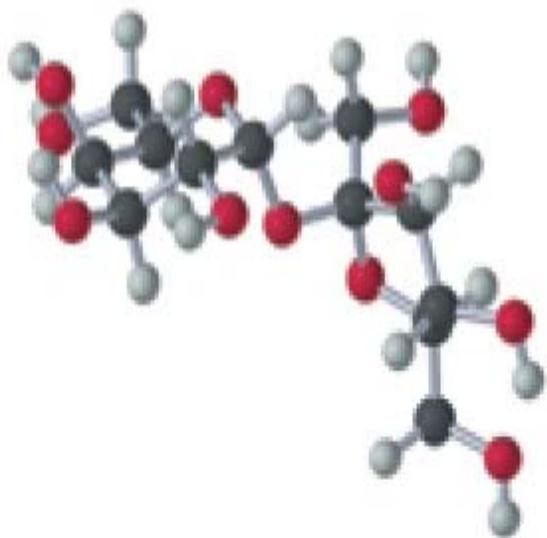
Глюконовая к-та (лактон)

Лактоза

Лактобионовая
к-та (лактон)

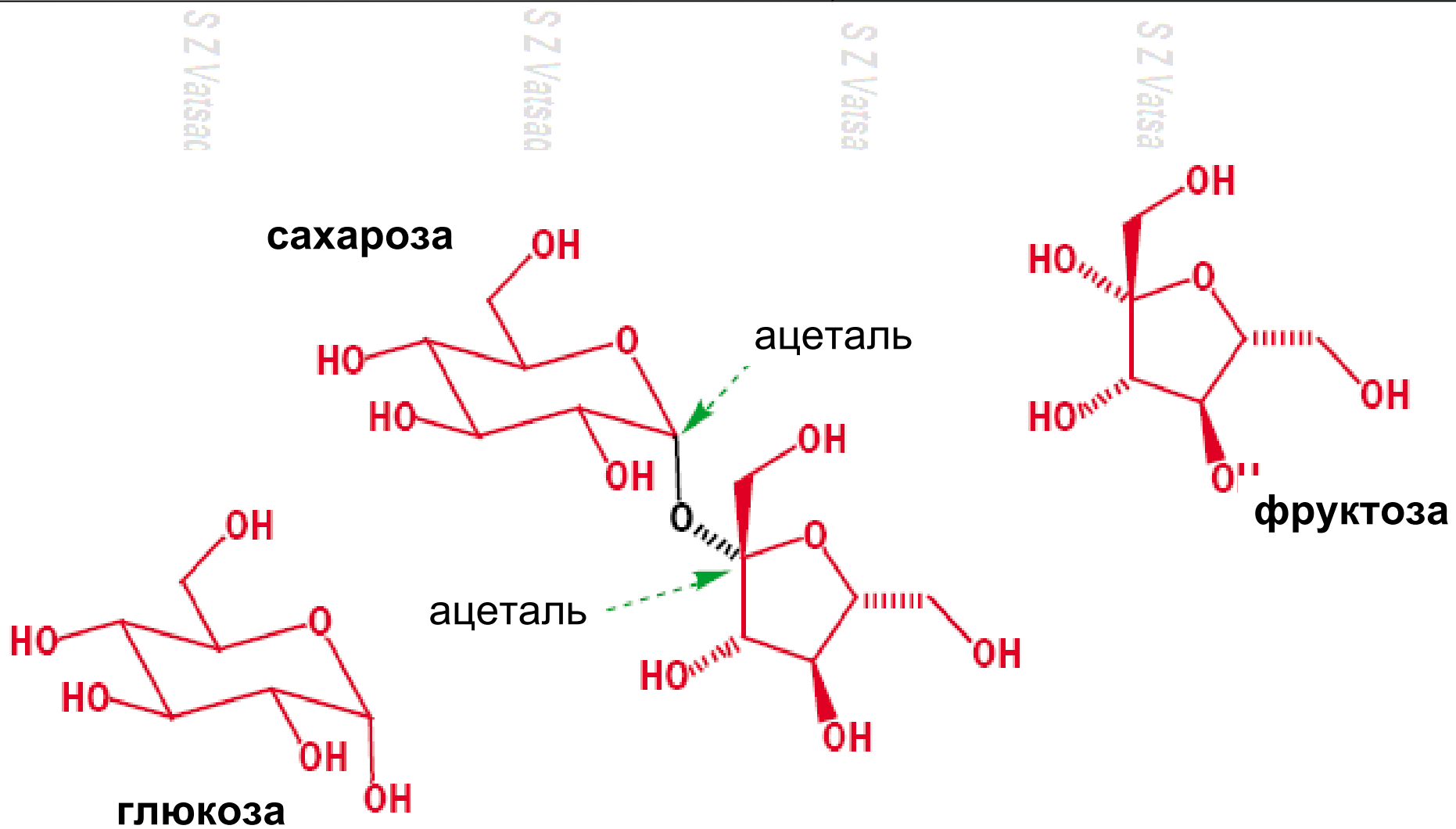
•Примеры дисахаридов - сахароза

(невосстанавливающий)



α -D-Глюкопиранозил- β -D-фруктофуранозид

•Примеры дисахаридов - сахароза



• Названия, состав и номенклатура распространенных дисахаридов

Целлобиоза	β -D-Глюкопиранозил-(1→4)-D-глюкоза	β -D-Glcp-(1→4)-D-Glc
Мальтоза	α -D-Глюкопиранозил-(1→4)-D-глюкоза	α -D-Glcp-(1→4)-D-Glc
Генциобиоза	β -D-Глюкопиранозил-(1→6)-D-глюкоза	β -D-Glcp-(1→6)-D-Glc
Изомальтоза	α -D-Глюкопиранозил-(1→6)-D-глюкоза	α -D-Glcp-(1→6)-D-Glc
Лактоза	β -D-Галактопиранозил-(1→4)-D-глюкоза	β -D-Galp-(1→4)-D-Glc
Мелибиоза	α -D-Галактопиранозил-(1→6)-D-глюкоза	α -D-Galp-(1→6)-D-Glc
Трегалоза	α -D-Глюкопиранозил-(1↔1)- α -D-глюкопираноза	α -D-Glcp-(1↔1)- α -D-Glcp
Сахароза	β -D-Фруктофуранозил-(2↔1)- α -D-глюкопираноза	β -D-Fruf-(2↔1)- α -D-Glcp

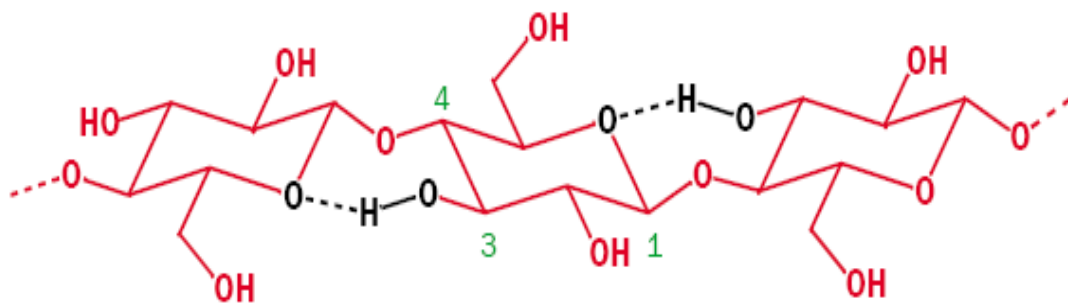
Сколько разных дисахаридов на основе D-глюкозы можно построить? Какие из них будут восстанавливающими?

•Примеры дисахаридов – сахароза – методы определения

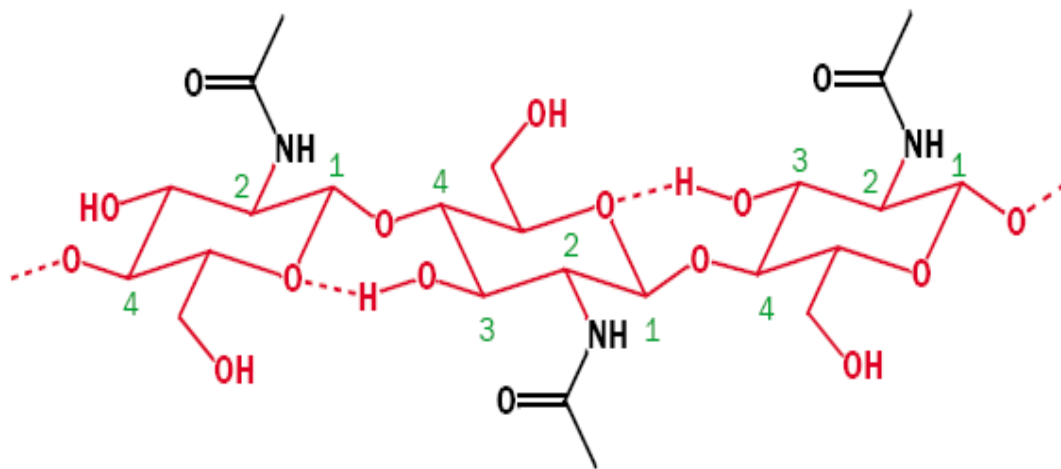
*В основном с помощью реакций окисления в
глюконовые кислоты:*

- Иодометрия – щелочной раствор иода
(лактоза, глюкоза) ГОСТ 3628-78
- Метод Бертрана – двухвалентная медь в
щелочной среде (лактоза, глюкоза, фруктоза)
 - Ферментативные методы (глюкоза,
сахароза) ГОСТ Р 51259-99 (ДИН 10326-86)
 - Ферментативные методы (лактоза,
галактоза) ГОСТ Р 51259-99 (ДИН 10344-82)
- Окисление гексацианоферратом(III) калия
(общий сахар)
- Поляриметрия

Целлюлоза

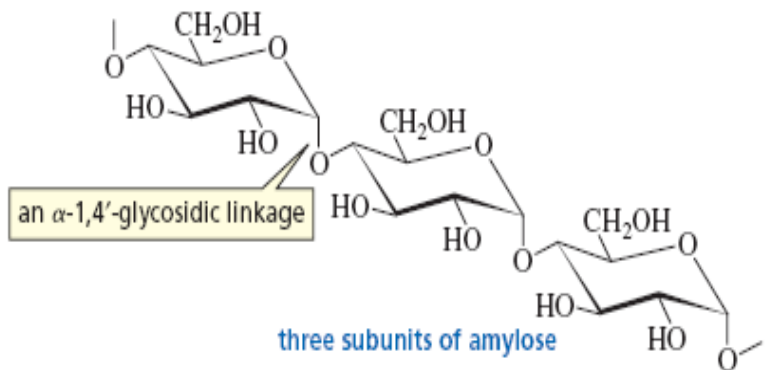


Хитин

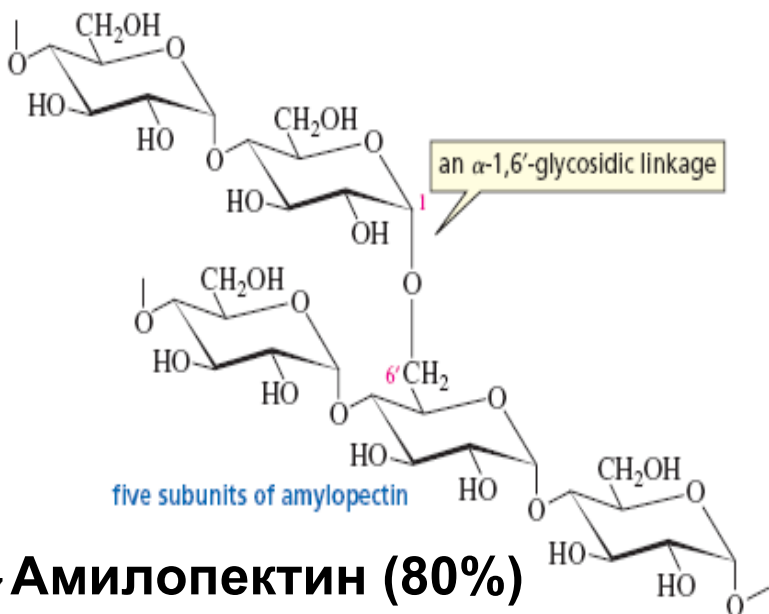


• Природные полисахариды

Крахмал – смесь амилозы и амилопектина

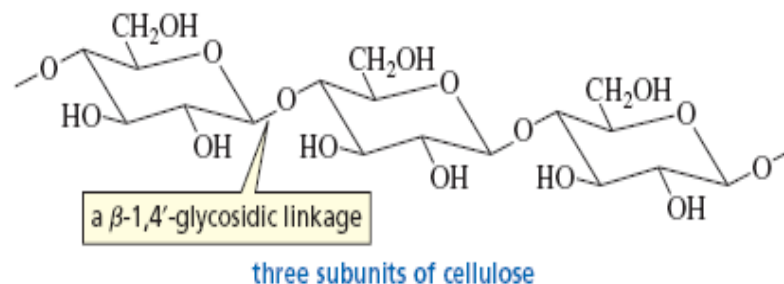


Амилоза (20 %)

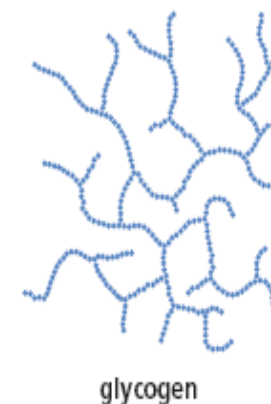


Амилопектин (80%)

Целлюлоза – линейный полимер



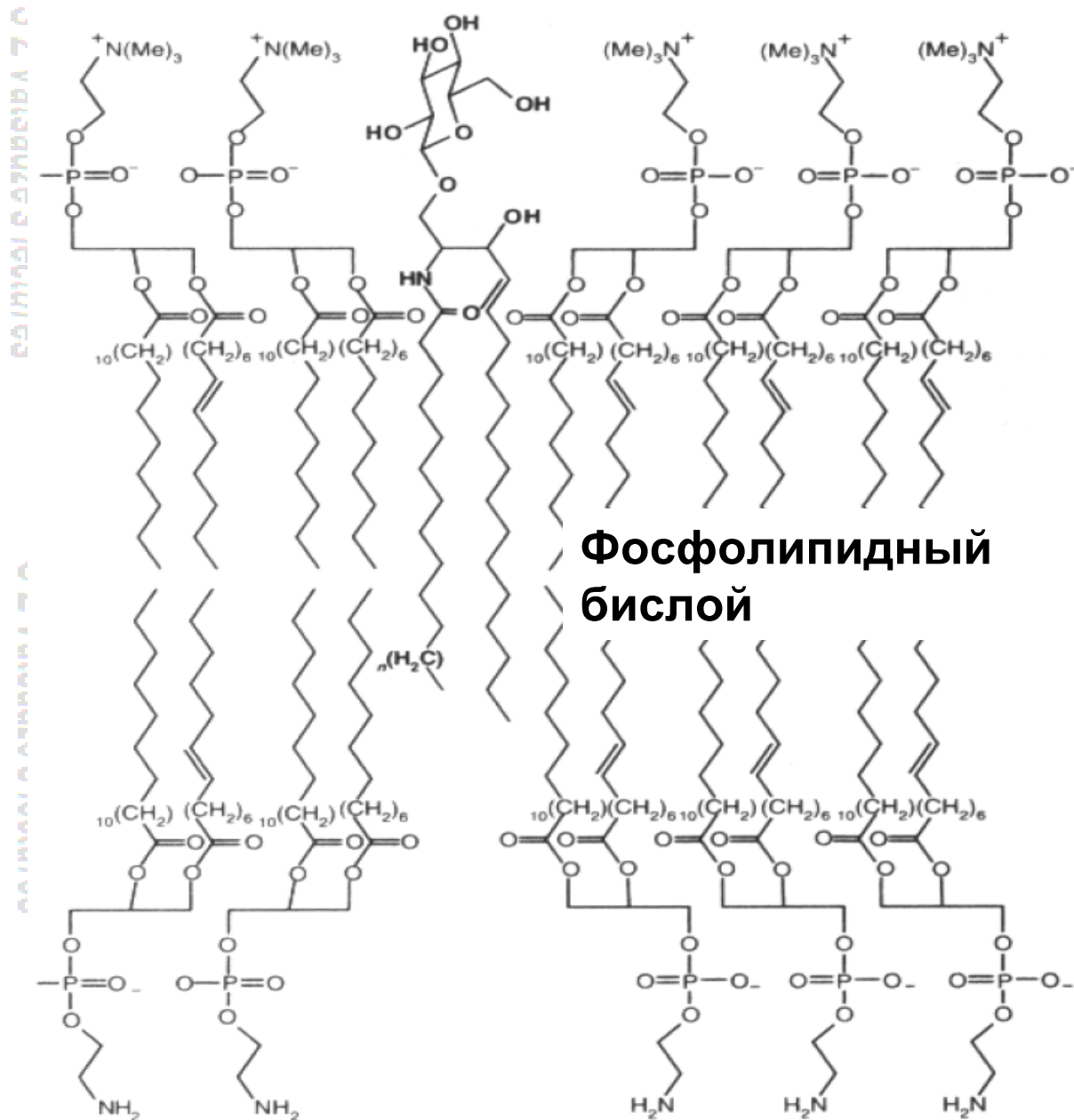
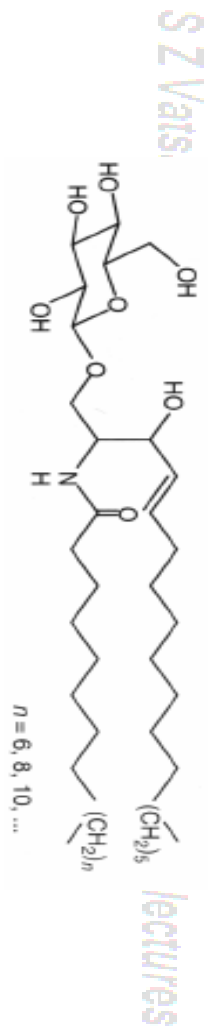
SZ Vatsadze's lectures



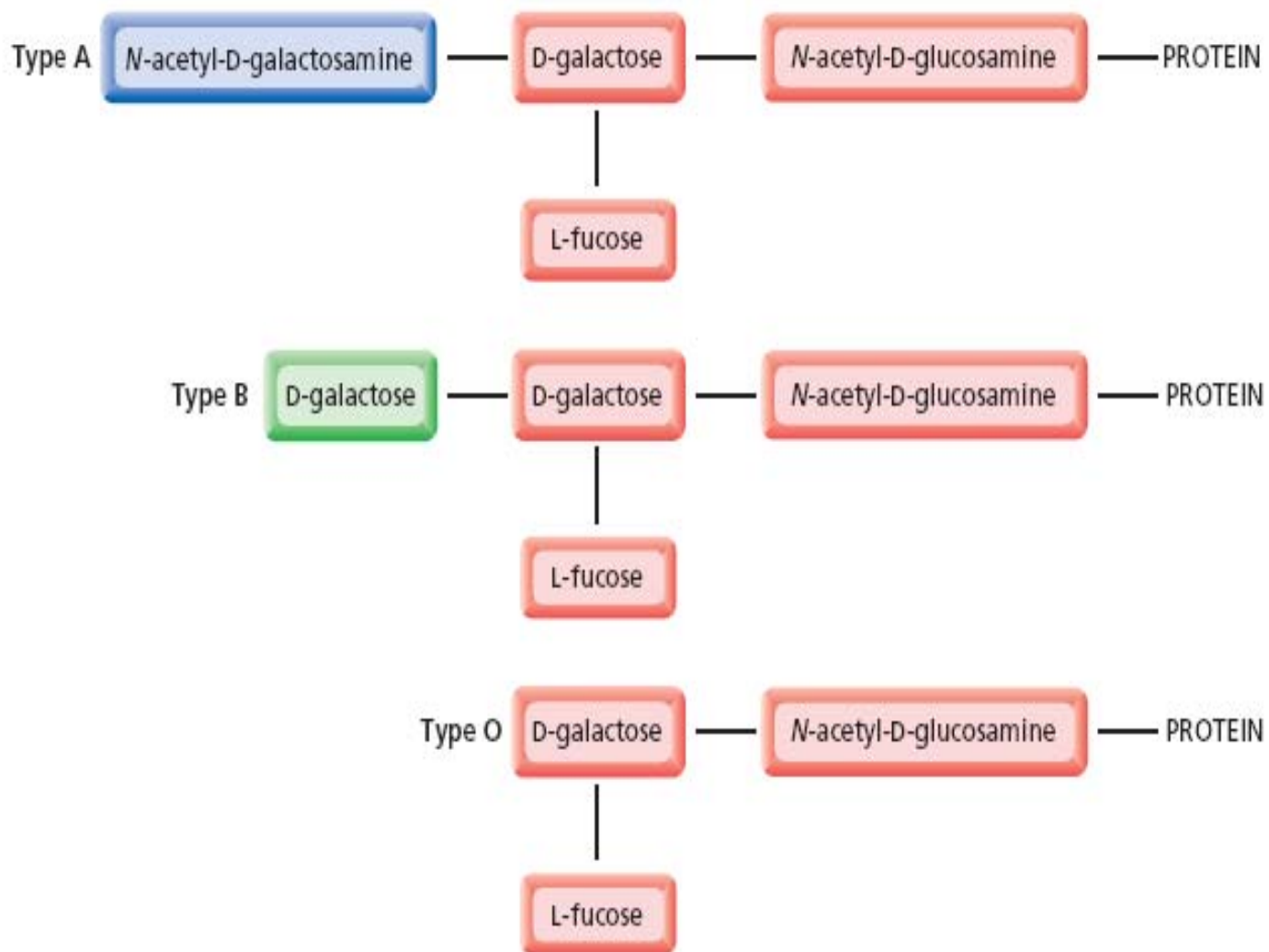
Амилопектин
(растения)

Гликоген
(животные)

• Гликолилипиды – компоненты клеточных мембран



• Гликопротеины и группы крови



•Сахара как ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ хиральные реагенты оргсинтеза

Углеводы

Сахар

Стоимость

Сахар

Стоимость

Глюкоза

1

Сорбит

2

Ксилоза

8

Ксилит

15

Галактоза

20

Дульцит

70

Манноза

75

Маннит

4

Рибоза

100

Сахароза

1

Для гексамеров:

4 нуклеотида могут образовать 4096 «слов»

20 аминокислот могут образовать $6.4 \cdot 10^7$ «слов»

8 моносахаридов могут образовать $1.05 \cdot 10^{12}$ «слов»

Использованная литература

1. Д. Бартон, Д. Оллис, Общая органическая химия, М. Мир, 1986, т.11, часть 26.
2. B. G. Davis, A. J. Fairbanks, Carbohydrate Chemistry, Oxford University Press, 2003
3. Б. Н. Степаненко, Химия и биохимия углеводов (моносахариды), М. Высшая школа, 1977
4. Ю. С. Шабаров, Моно- и дисахариды (методическая разработка для студентов III курса), Москва, Химфак, 1988
5. А. Ф. Бочков, В. А. Афанасьев, Г. Е. Заиков, Образование и расщепление гликозидных связей, М. Наука, 1978
6. Я. Кольман, К.-Г. Рем, Наглядная биохимия, М. Мир, 2000
7. P. Y. Bruice, Organic Chemistry, Fourth Edition
8. J. Clayden, N. Greeves, S. Warren, P. Wothers, Organic Chemistry, Oxford University Press, 2001
9. G.-J. Boons, K. J. Hale, Organic Synthesis with Carbohydrates, Sheffield Academic Press, 2000

Рекомендуемая литература

1. Ю. С. Шабаров, Т. С. Орецкая, П. В. Сергиев, Моно- и дисахариды (учебное пособие для студентов III курса) Издание 5-е, исправленное и дополненное, 2011

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/mono-i-disaharidy>

2. B. G. Davis, A. J. Fairbanks, Carbohydrate Chemistry, Oxford University Press, 2003