

*ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н. КАРАЗІНА
КАФЕДРА ХІМІЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА*

Органічна та аналітична хімія:

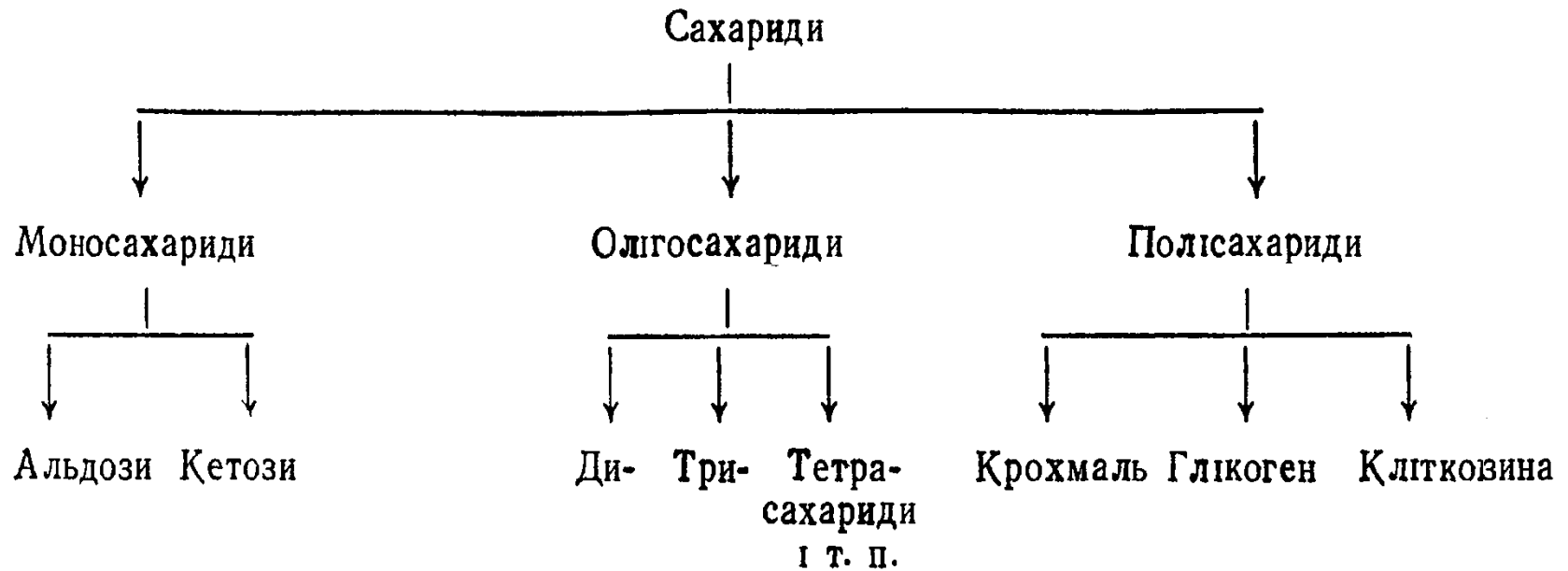
(Частина 1. Органічна хімія)

Тема: Вуглеводи

Доцент КХімМат ХФ Шкумат А.П.

Харків - 2020

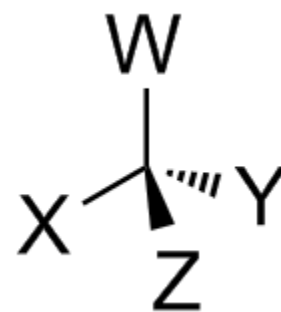
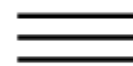
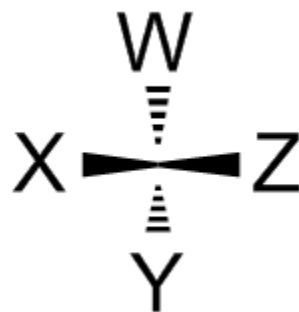
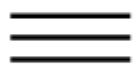
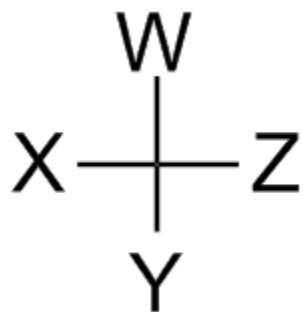
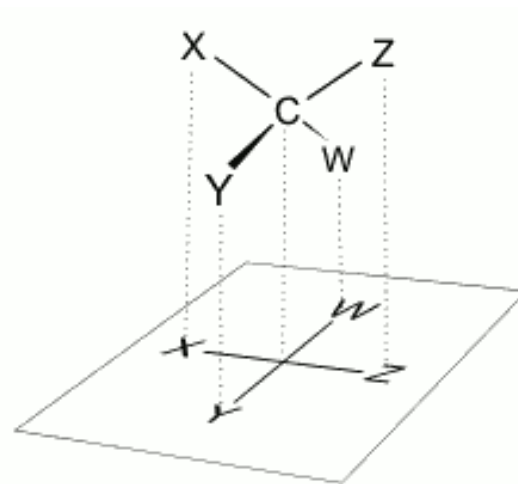
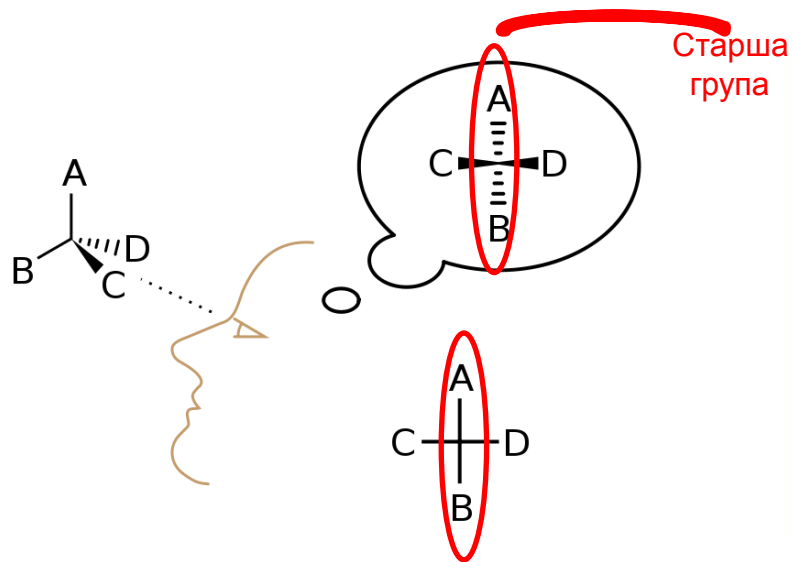
Класифікація вуглеводів



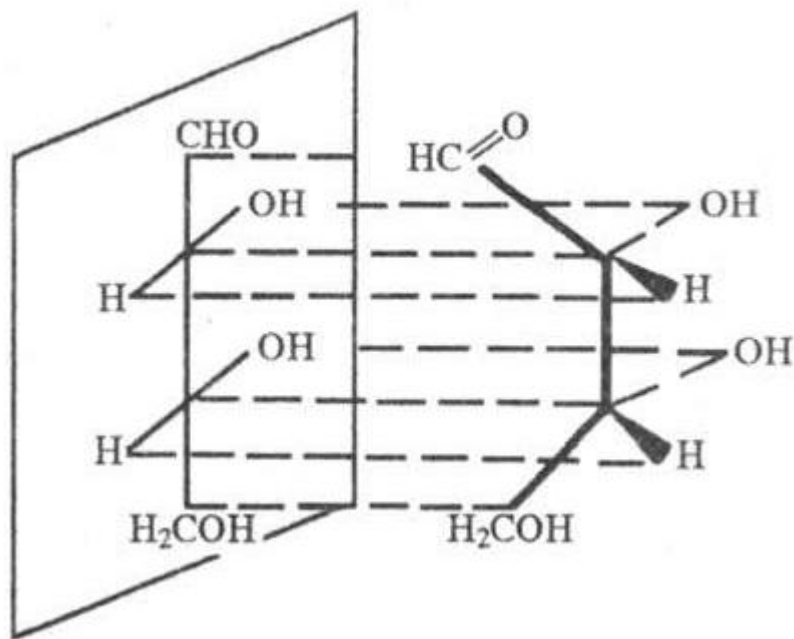
Класифікація вуглеводів

Класифікація вуглеводів	
1. За типом карбонільної групи	Альдози (містять альдегідну групу)
	Кетози (містять кетонну групу)
2. За кількістю С-атомів	Триози (3 С)
	Тетрози (4 С)
	Пентози (5 С)
	Гексози (6 С)
	Вищі цукри (> 6 С)
3. За типом карбонільної групи та за кількістю С-атомів	Альдопентози (-CHO + 5С)
	Альдогексози (-CHO + 6С)
	Кетопентози (або пентулози) (-CRO + 5С)
	Кетогексози (-CRO + 6С)
4. За функціональними групами	Нейтральні (>C=O + -OH)
	Кислі (>C=O + -OH + COOH)
	Аміноцукри (>C=O + -OH + NH ₂)
	Дезоксицукри (>C=O + -H (замість-OH))

Алгоритм побудови формули Фішера

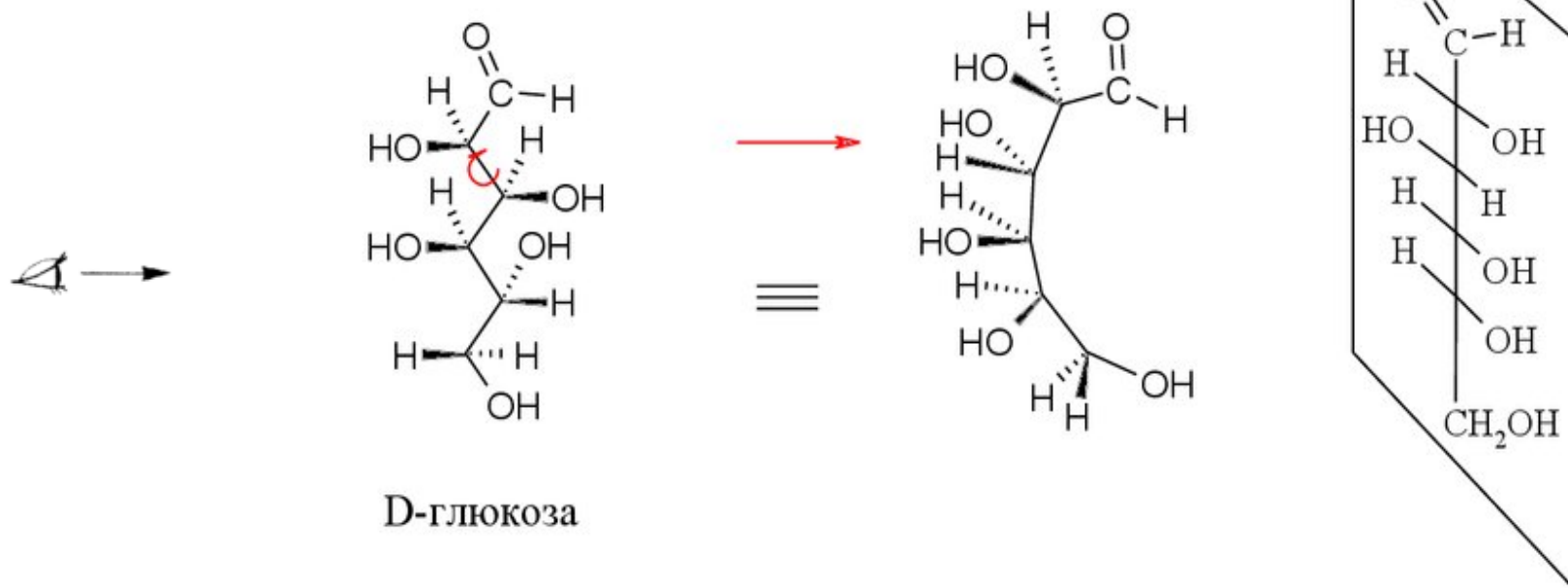


Алгоритм отримання проєкційної формули вуглеводів



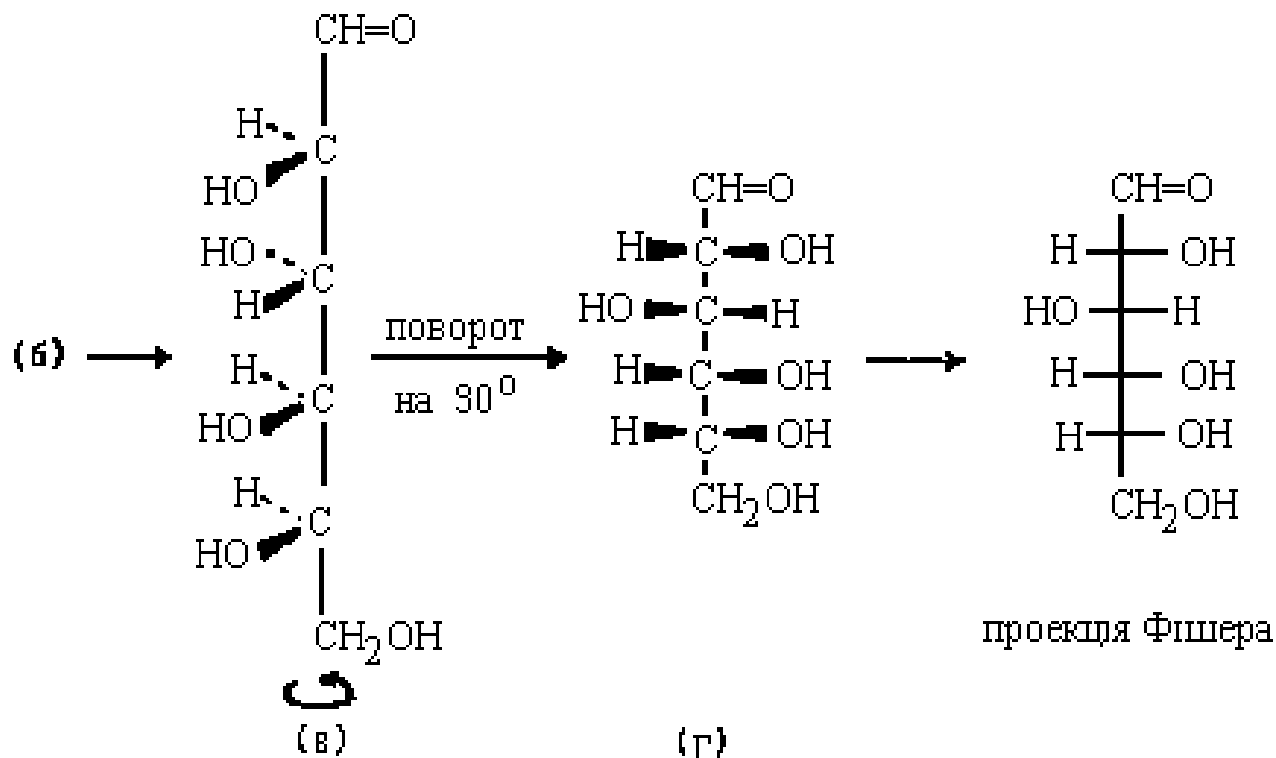
Алгоритм отримання проекційної формули вуглеводів. Варіант а.

- Головні карбоновий ланцюг розташовуємо вертикально, умовно повертаючи частини молекули по С-С зв'язкам так, щоб карбоновий скелет дугою був повернутий у бік спостерігача.
- Асиметричні атоми Карбона розташовуються в площині аркуша.
- **Замісники біля атомів Карбону**, розташовані справа від скелету, знаходяться над площиною аркуша, а , зліва, - за аркушем.
- Проекція створюється на іншій аркуші паперу – перпендикулярному першому.

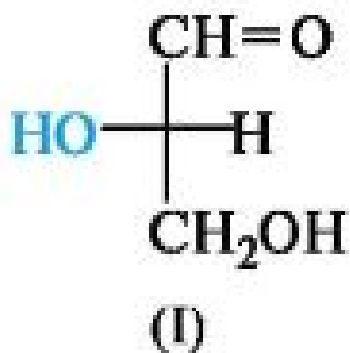


Алгоритм

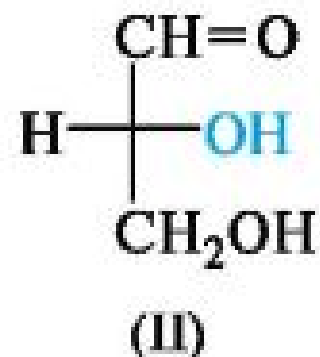
отримання проекційної формули вуглеводів. Варіант б.



Конфігураційний стандарт



L-(-)-гліцеринний альдегід



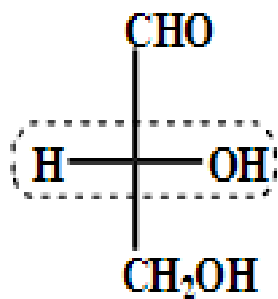
D-(+)-гліцеринний альдегід

(-) – обертання вліво ; (+) – обертання вправо.

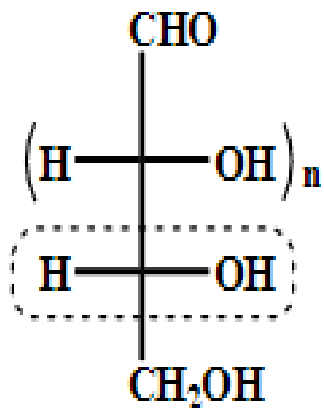
l – лівостороннє обертання; *d* – правостороннє обертання.

L- стандарт конфігурації; D – стандарт конфігурації

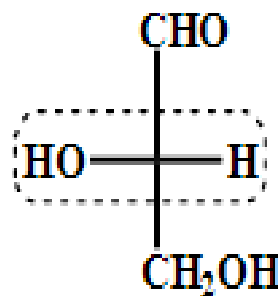
Конфігурації вуглеводів (D- і L-цукрові ряди)



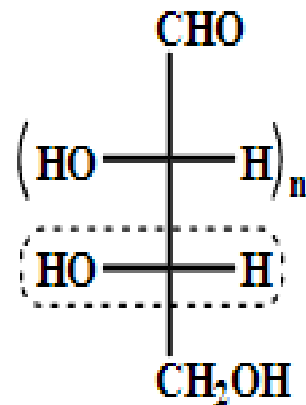
D-гліцериновий альдегід



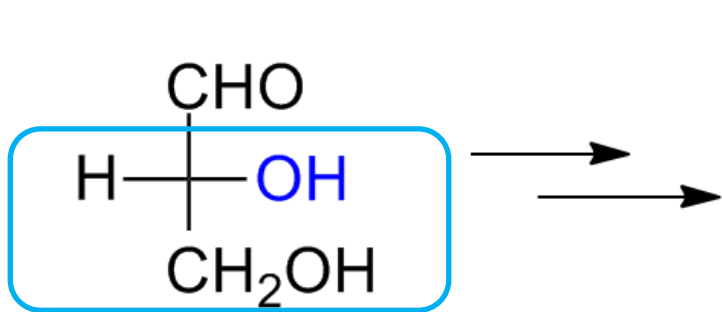
D-альдоза



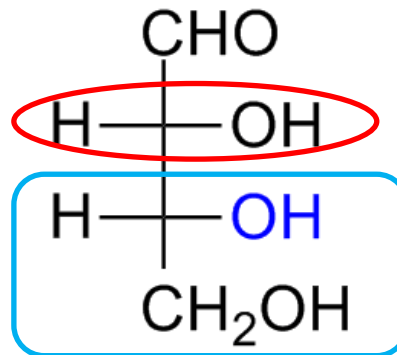
L-гліцериновий альдегід



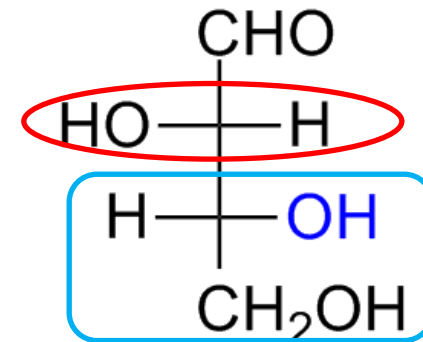
L-альдоза



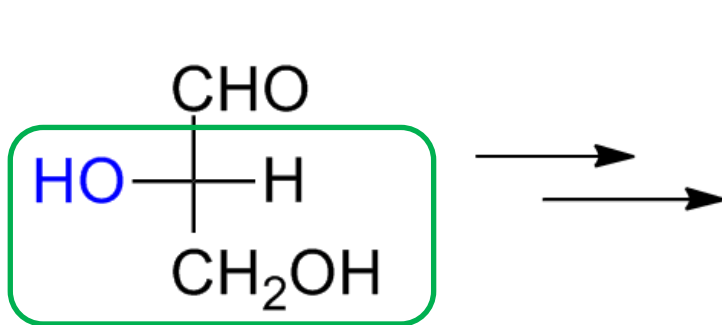
D-глицериновий альдегід



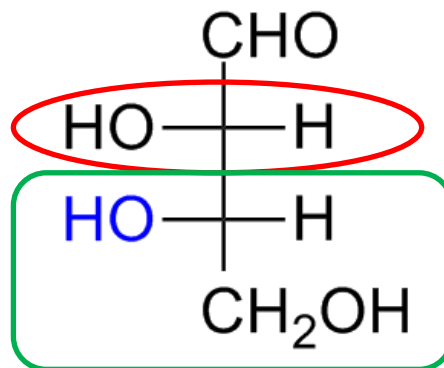
D-еритроза



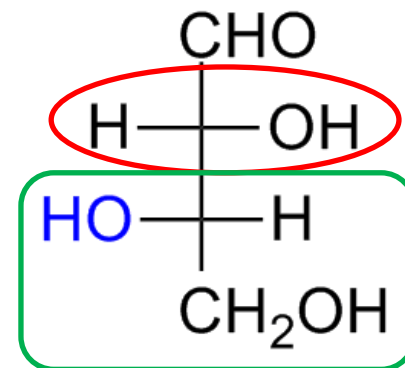
D-треоза



L-глицериновий альдегід

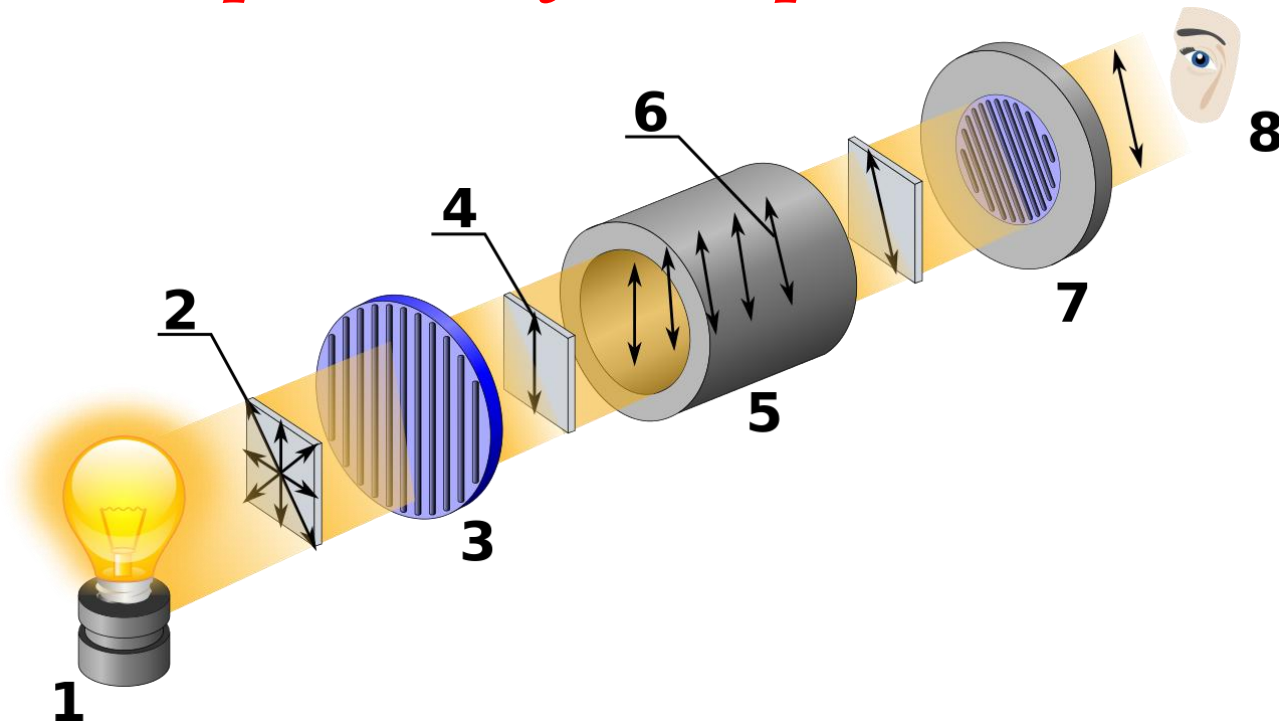


L-еритроза



L-треоза

Схема поляриметра та вимірювання кута обертання

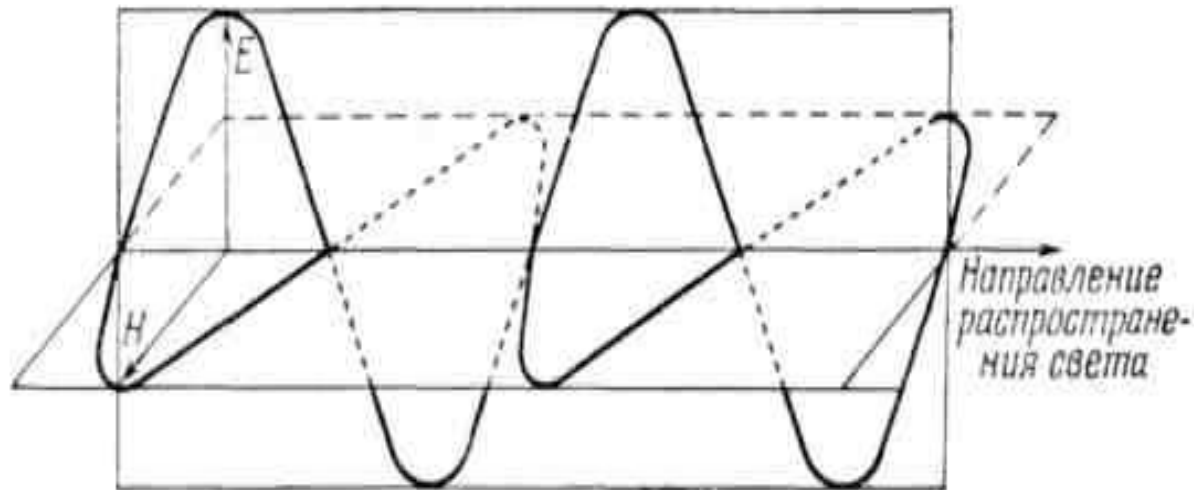


Вимірювання оптичної активності за допомогою поляриметра:
1 - джерело світла, 2 - неполяризоване світло, 3 - поляризатор,
4 - поляризоване світло, 5 - кювета з розчином речовини,
6 - оптичне обертання 30° , 7 - аналізатор, 8 - спостерігач

Вимірювання проводяться з використанням жовтої D - лінії Натрію з довжиною хвилі **589 нм**.

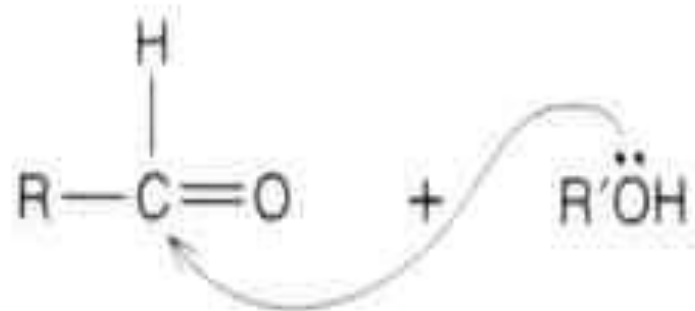
Світло – як електромагнітна хвиля

- E – вектор напруженості електричного поля
- H – вектор напруженості магнітного поля



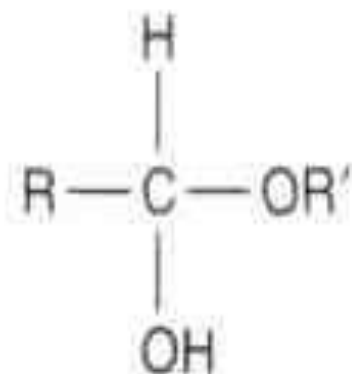
$$[\alpha]_D^t = a \cdot c^{-1} \cdot l^{-1}$$

- $[\alpha]_D^t$ -питоме обертання для даної оптично-активної речовини за даної температури t , визначене з використанням жовтої D -лінії Натрію з довжиною хвилі **589 нм**.
- a – кут обертання плоскополяризованого променя, який спостерігається в експерименті (з відповідним знаком : + або -),
- c – концентрація розчину оптичноактивної речовини, г/мл,
- l – довжина поляриметричної трубки.



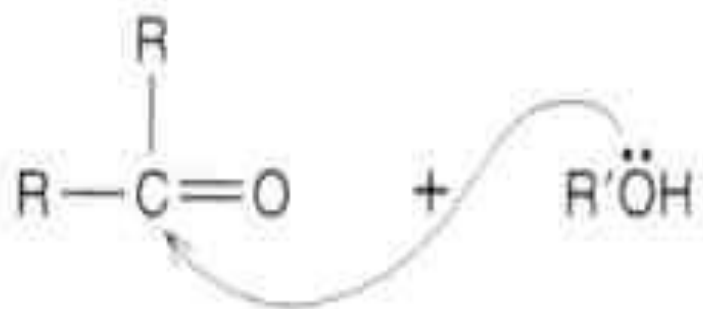
Aldehyde

Alcohol



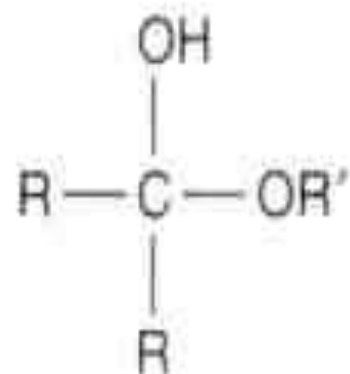
Hemiacetal

(a)



Ketone

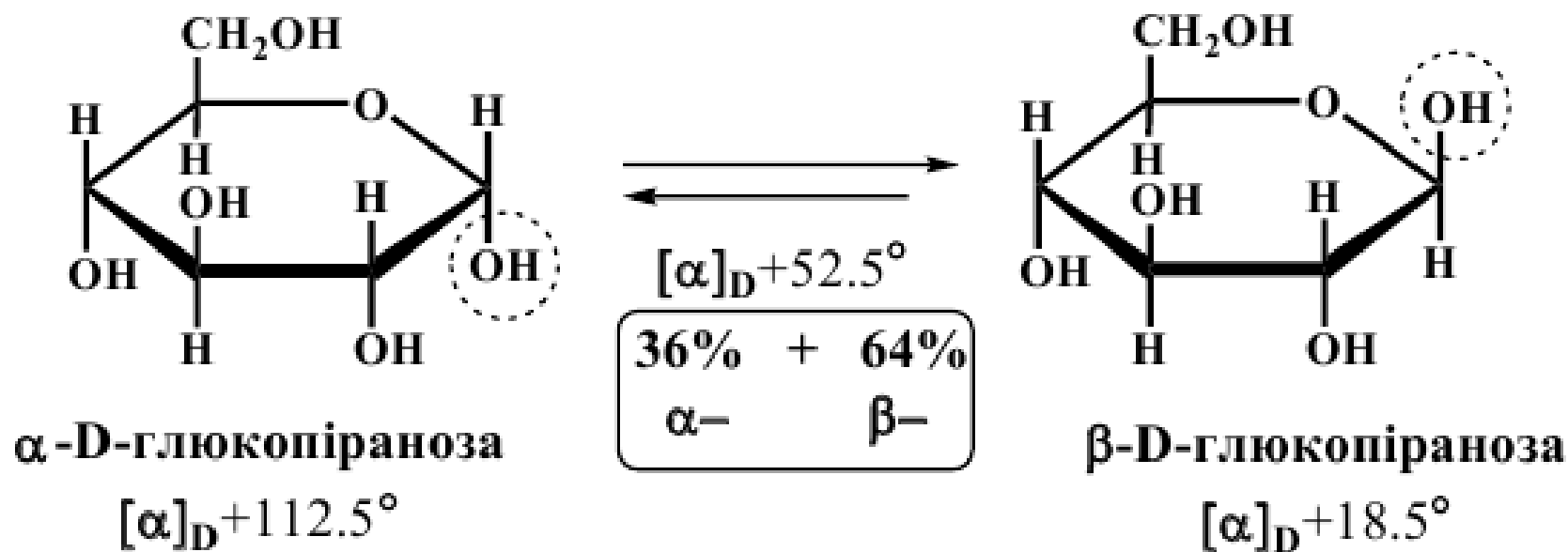
Alcohol



Hemiacetal

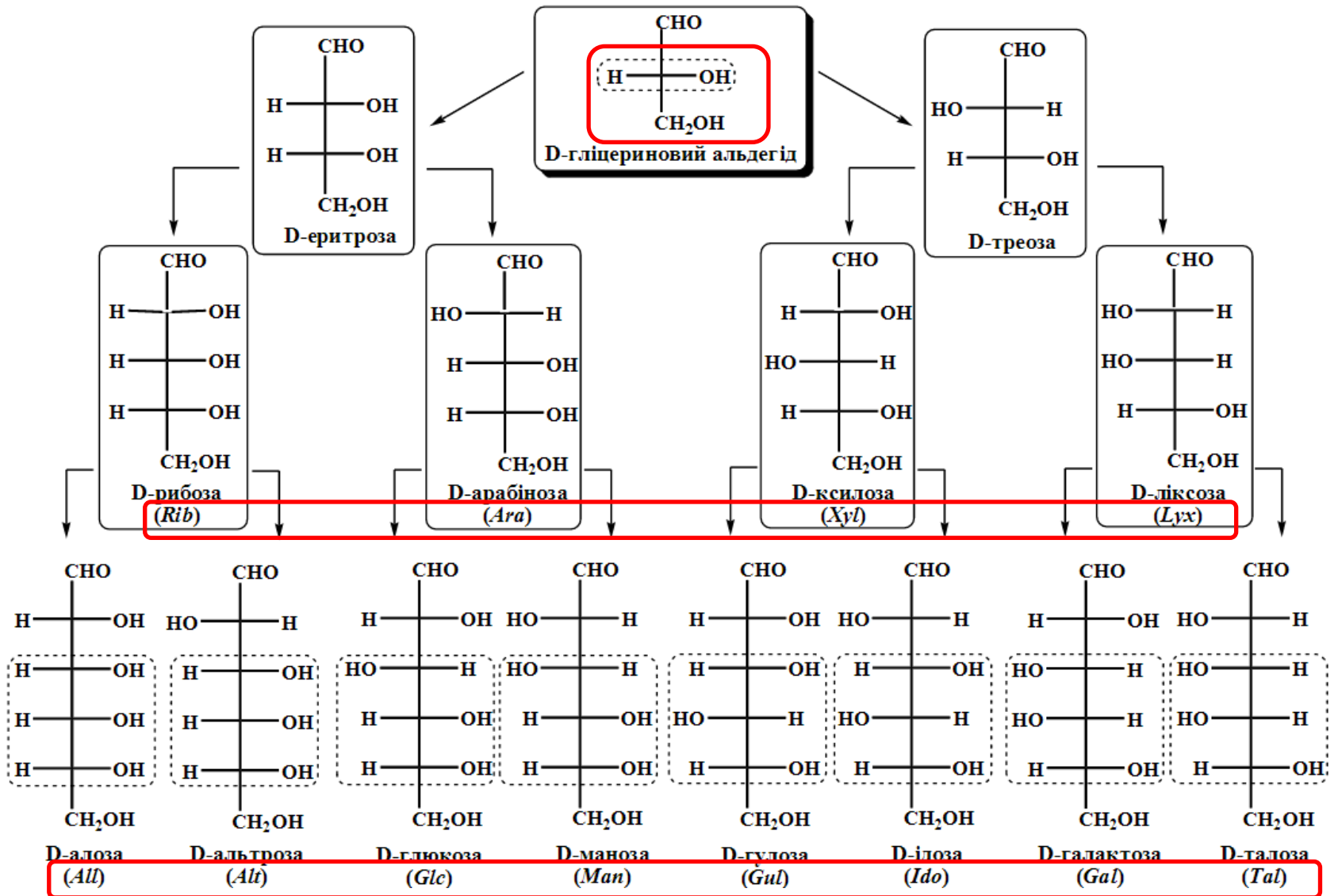
(b)

*Експериментальні значення величин питомого
обертання водних розчинів глюкози - $[\alpha]_D$*

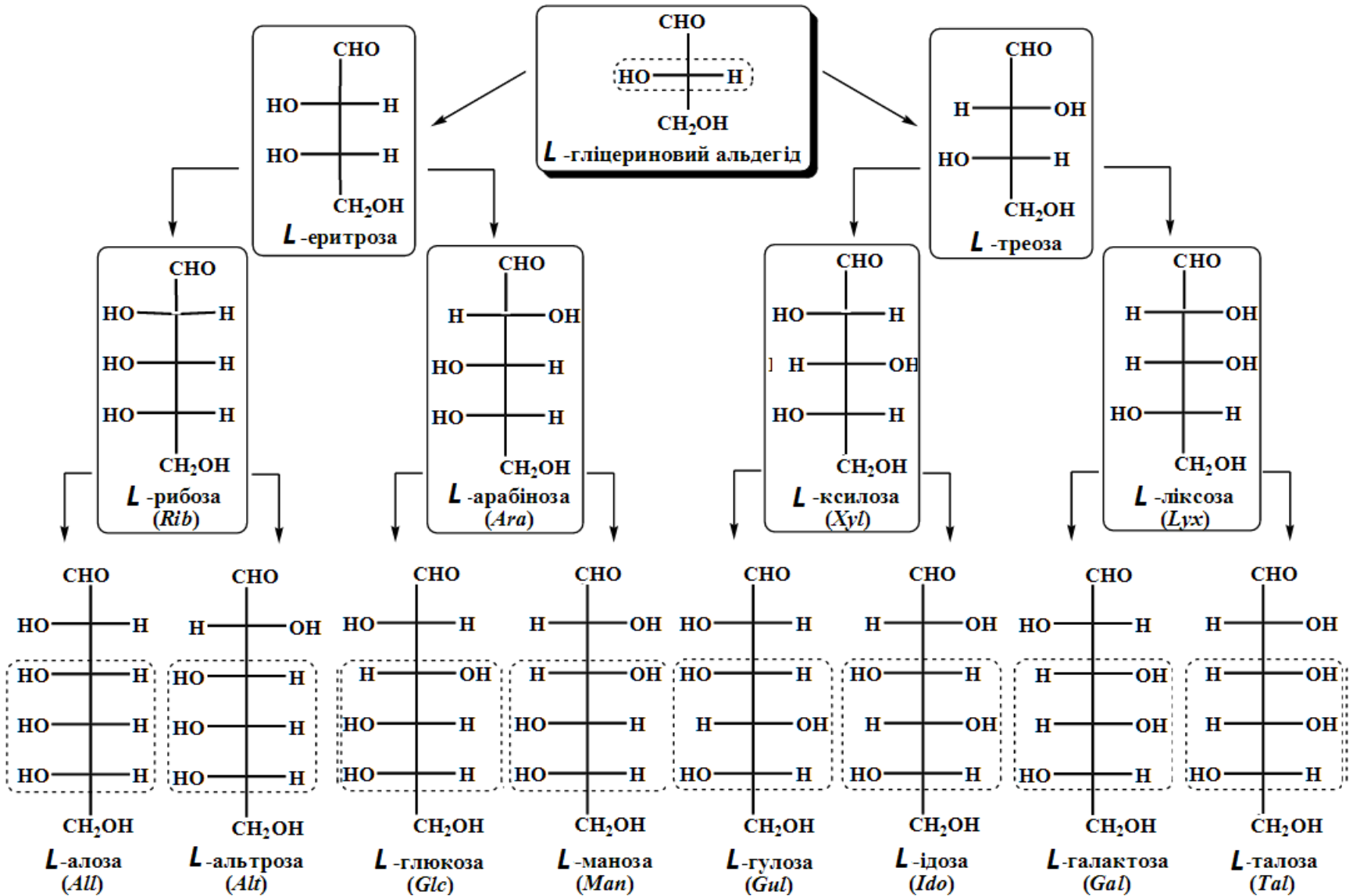


Цукрова піраміда

Цукрова піраміда

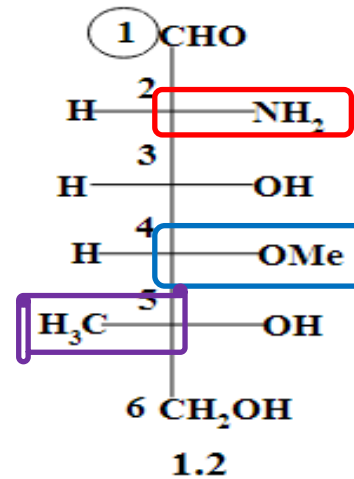
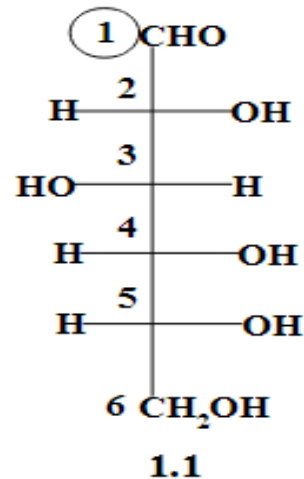


L-ряд альдоз



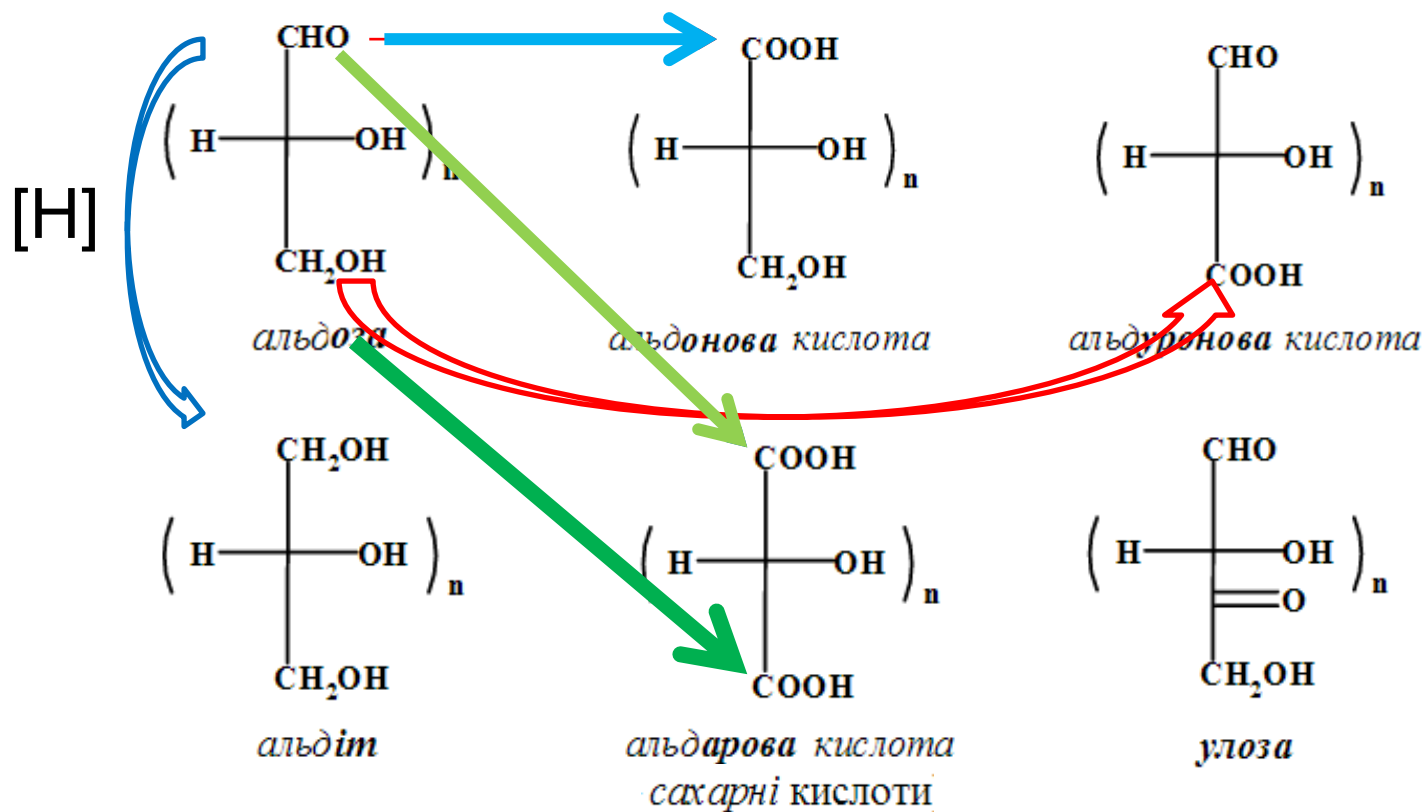
Номенклатура вуглеводів

У основу номенклатури моносахаридів покладено сполуки складу $C_n(H_2O)_n$ з прямим ланцюгом вуглецевих атомів типу **1.1**. Атоми С-ланцюга нумерують таким чином, щоб карбон карбонільної групи мав найменший номер. Атоми кисню, гідрогену та ін., що сполучені з певним атомом карбону, набувають той же номер. В назвах похідних вуглеводів крім положення замісника вказується також атом, з яким зв'язаний замісник (О, N, С). Наприклад, сполука 1.2 буде мати назву **2-аміно-2-дезоксипропан-4-О-метил-5-С-метилгексоза**.

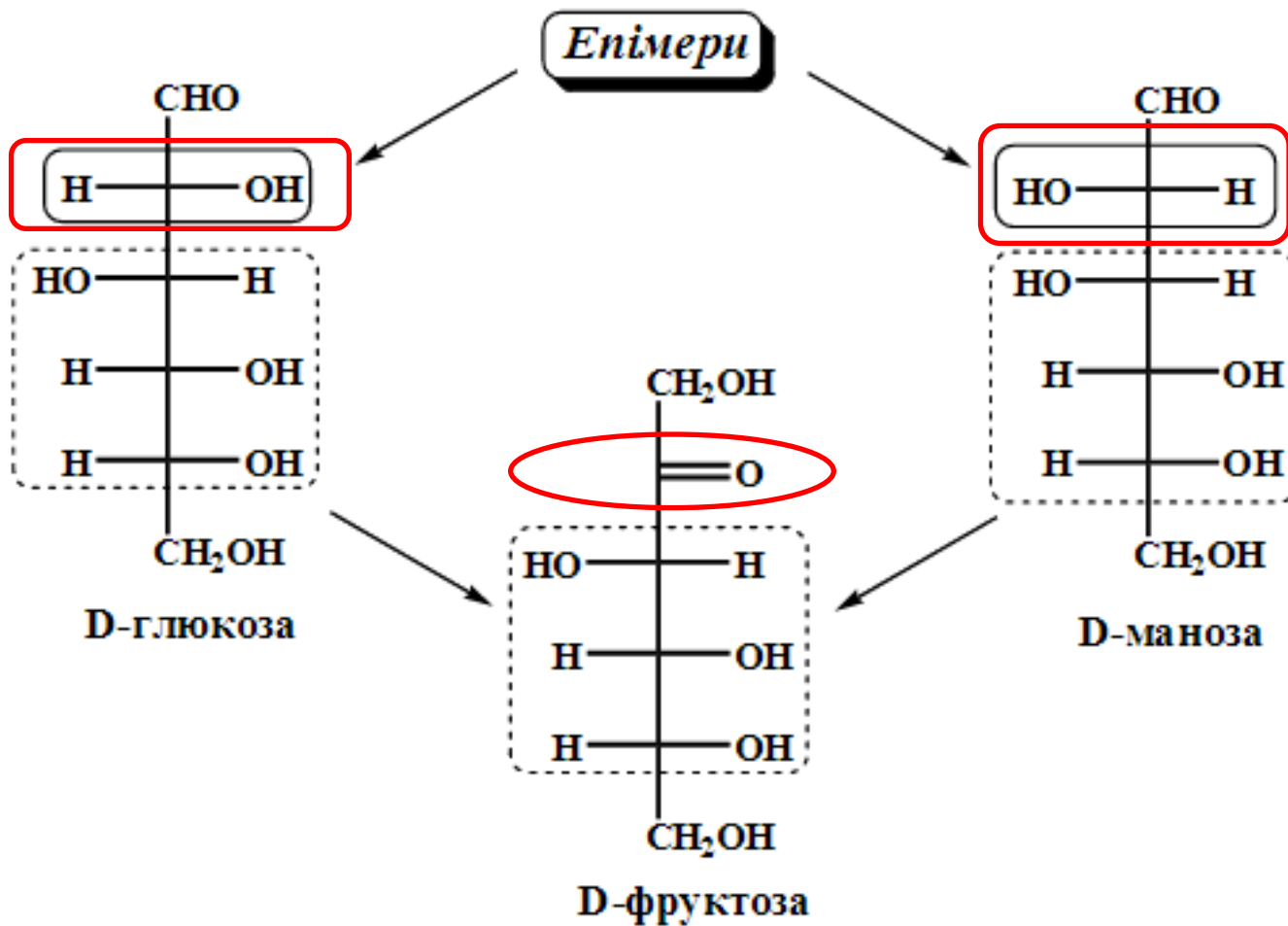


Номенклатура похідних вуглеводів (продуктів окиснення та відновлення)

Одноосновні карбонові кислоти, що утворюються при окисненні альдегідної групи альдоз, називають **альдоновими кислотами**, а продукти окиснення первинної спиртової групи альдоз – **альдуоновими кислотами**. В результаті окиснення альдегідної та первинної спиртової групи альдоз утворюються дикарбонові кислоти – **альдарові кислоти** (застаріла назва – *сахарні кислоти*).



Кожній парі *епімерних* моносахаридів відповідає *одна* кетоза.



Сtereоізомери (просторові ізомери) - хімічні сполуки, що мають однакову будову, але відрізняються просторовим розташуванням атомів. Stereоізомери мають однакову конституцію, але різні конфігурацію і/або конформацію.

У класичній стереохімії стереоізомери підрозділялися на оптичні ізомери, діастереомери і геометричні ізомери. Сучасна класифікація, запропонована Мислоу в 1965 році, заснована на симетрії і енергетичних параметрах.

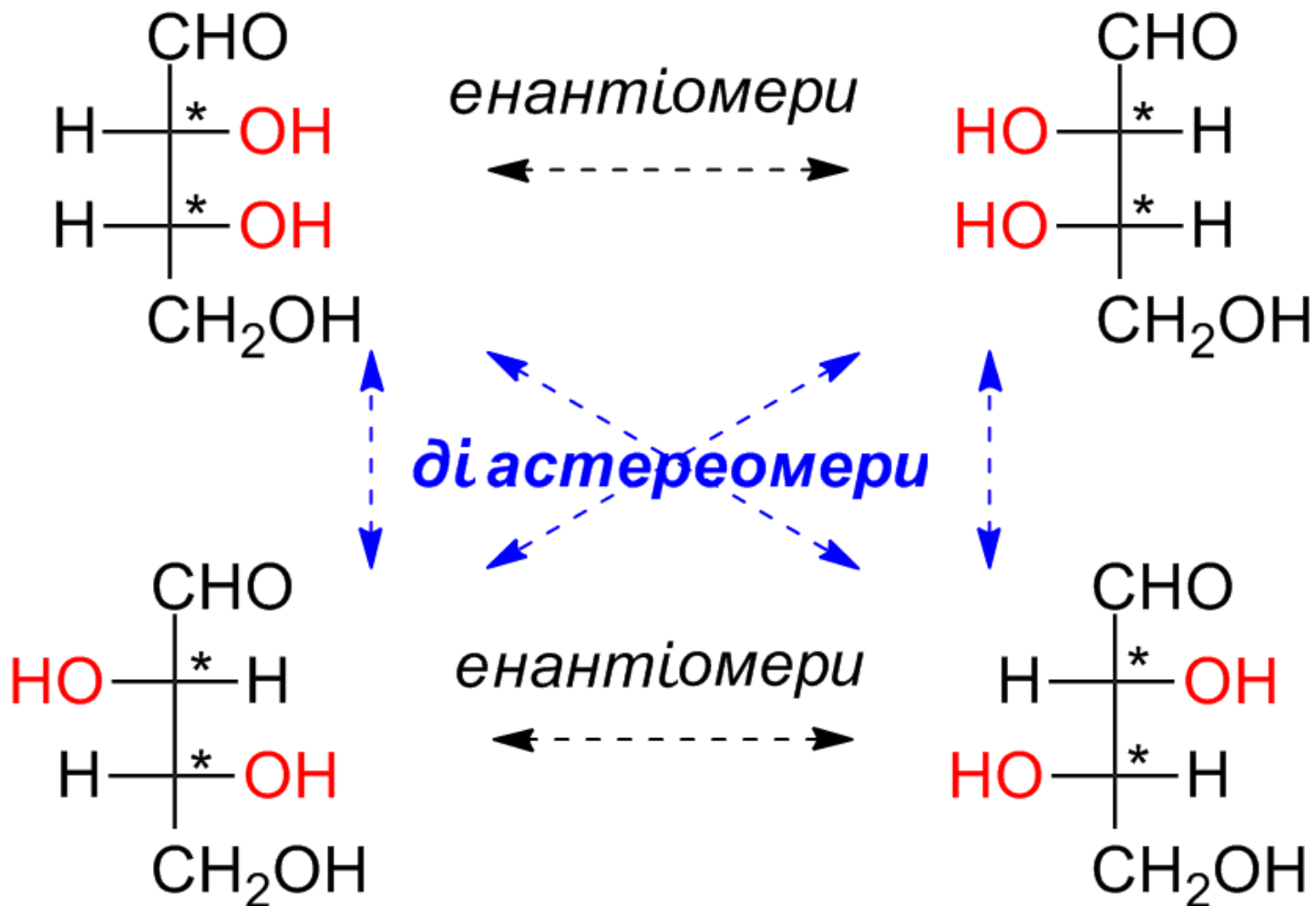
За критерієм симетрії стереоізомери поділяють на:

- **Енантіомери** (стереоізомери, що є віддзеркаленням один одного);
- **Діастереомери** (стереоізомери, що не є віддзеркаленням один одного).

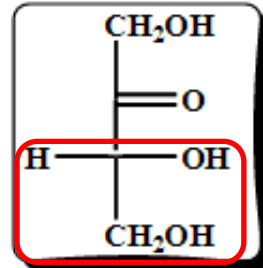
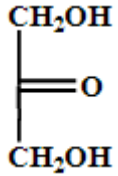
Згідно з енергетичним критерієм, стереоізомери ділять на:

- **конфігураційні стереоізомери** (взаємоперетворення ускладнене, енергетичний бар'єр > 100 кДж/моль);
- **конформаційні стереоізомери** (взаємоперетворення здійснюється відносно легко, енергетичний бар'єр < 60 кДж/моль).

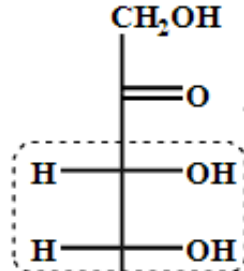
Визначення: енантіомери, діастереомери



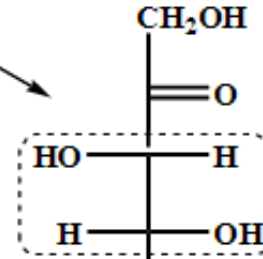
D-ряд кетоз



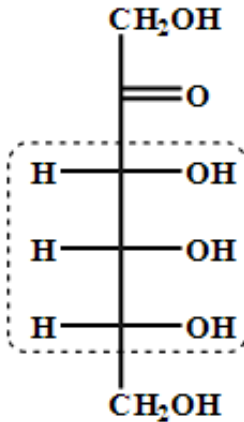
D-еритрулоза
(D-глицеро-тетрулоза)



D-рибулоза
(D-еритро-пентулоза)

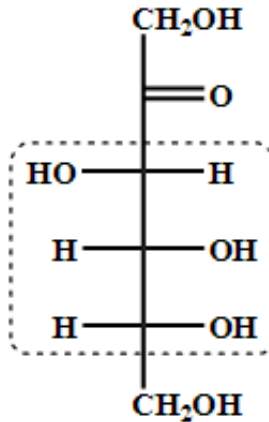


D-ксилулоза
(D-трео-пентулоза)



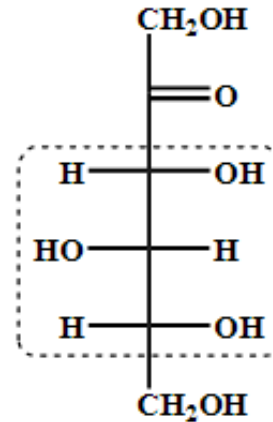
D-психоза
(D-рибо-гексулоза)

Psi



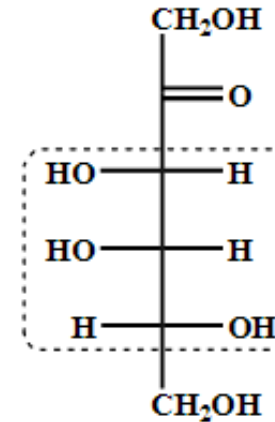
D-фруктоза
(D-арабино-гексулоза)

Fru



D-сорбоза
(D-ксило-гексулоза)

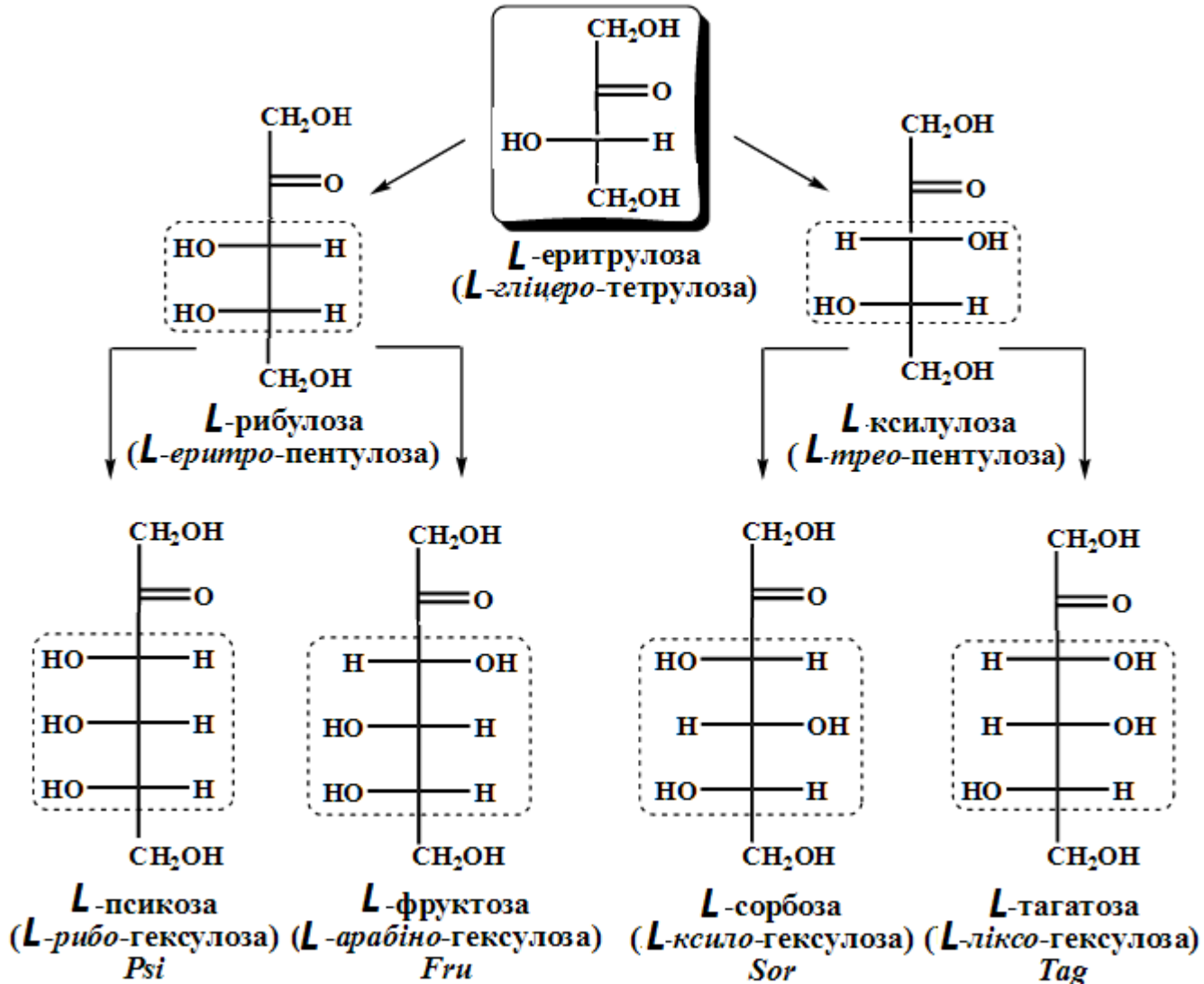
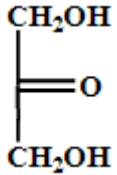
Sor



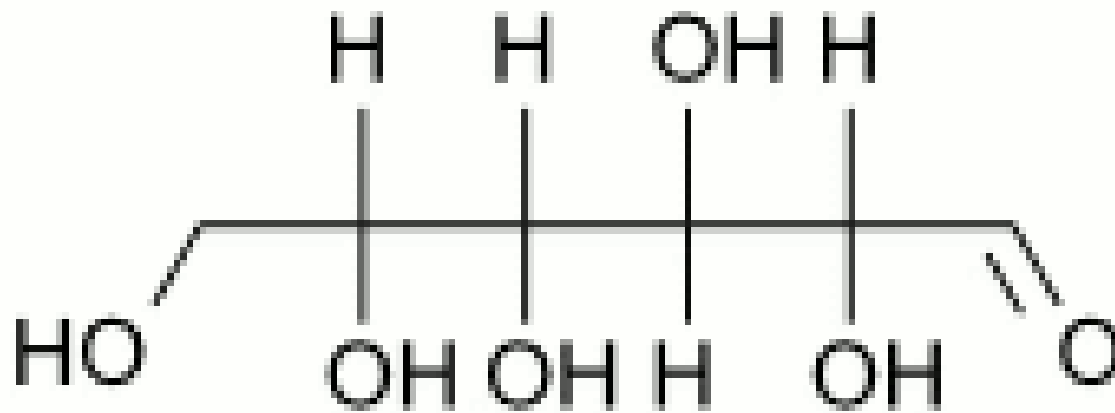
D-тагатоза
(D-ликсо-гексулоза)

Tag

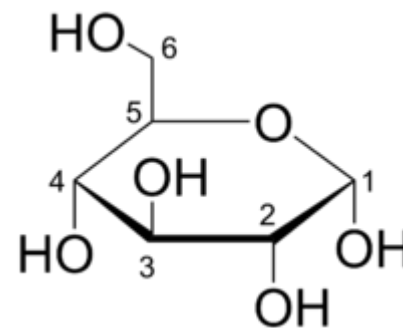
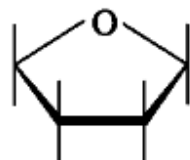
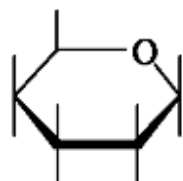
L-ряд кетоз



Конверсія глюкози



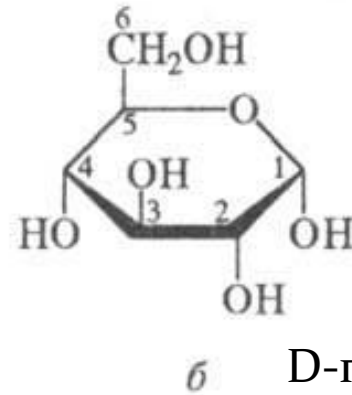
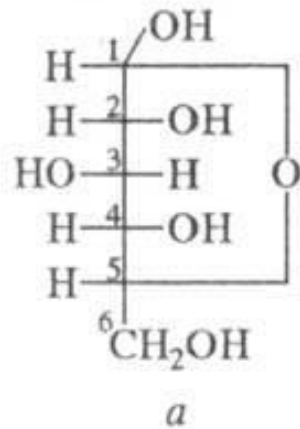
Проекції Хеуорса



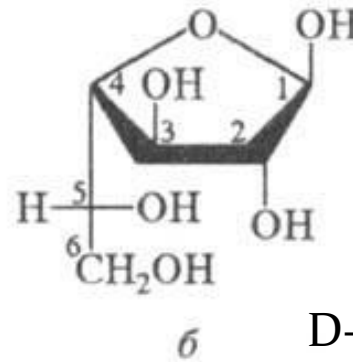
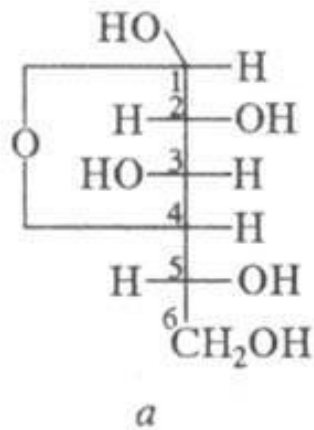
Проекція Хеуорса має деякі особливості:

- **атом Карбону не вказується символом**, але мається на увазі. У прикладі, розташованому справа, пронумеровано усі шість атомів Карбону, перший з яких являється аномерним;
- **атоми Гідрогену при атомі Карбону також не вказуються**, проте маються (що видно на зображенні) на увазі;
- **потовщення лінії показує, що зв'язки знаходяться ближче до спостерігача.** У прикладі показано 2-3 атомів С, які знаходяться ближче, ніж 1-2 і 3-4 атоми.

Приклад формул Хеуорса

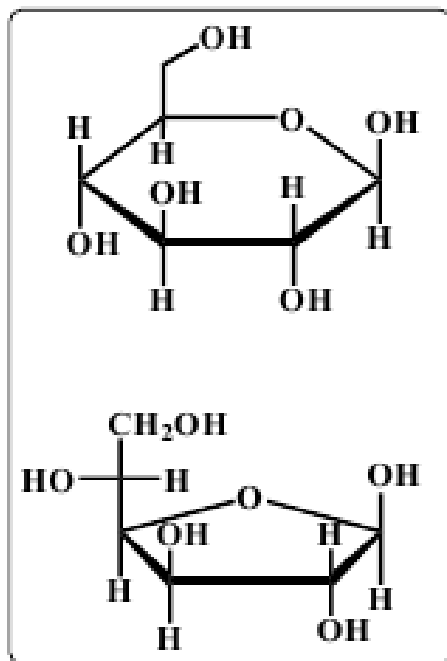


I

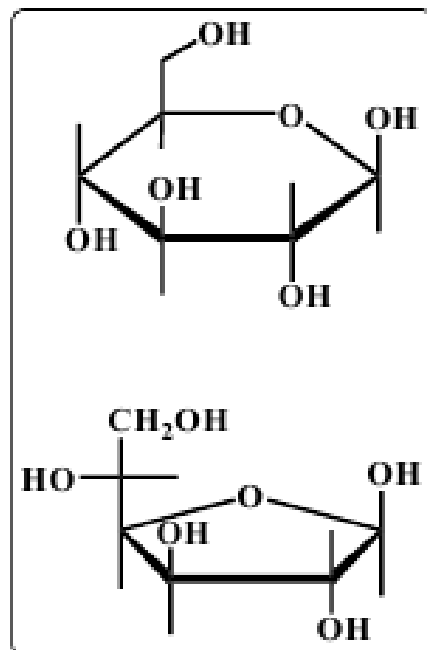


II

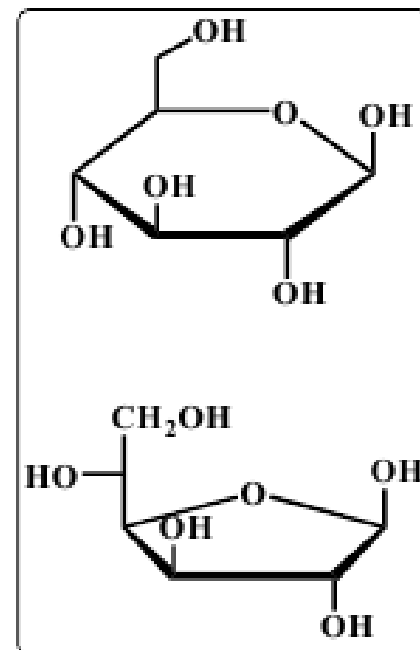
Формули Хеуорса для D-глюкози



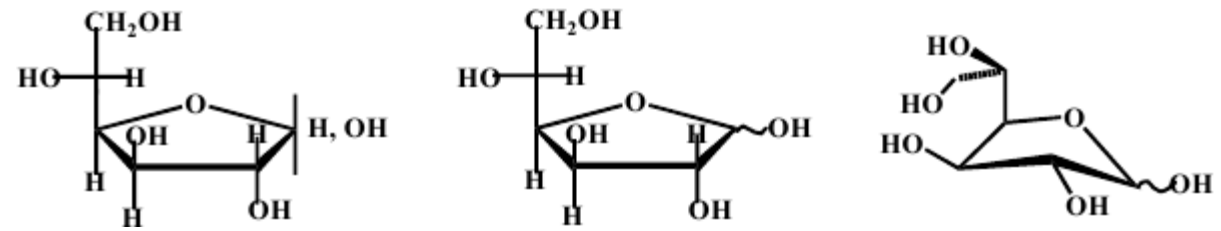
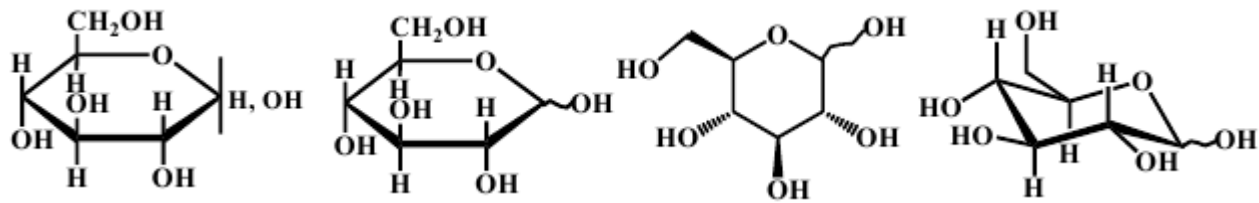
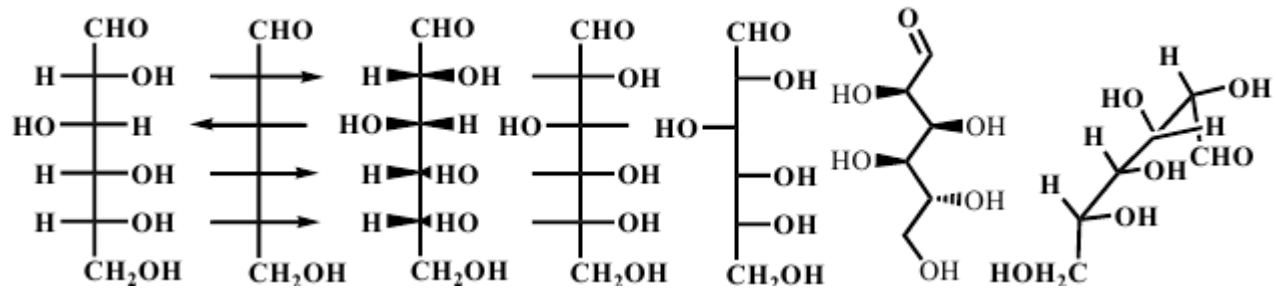
або



або

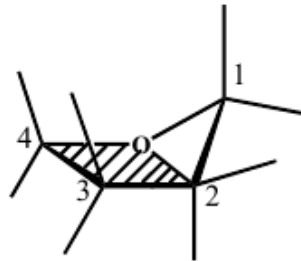
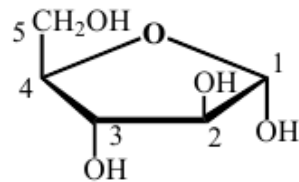


Варіанти зображень відкритих та циклічних форм D-глюкози

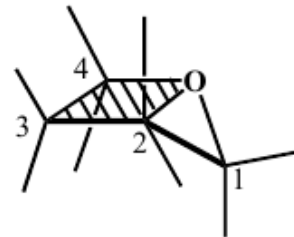


Конформації вуглеводів

Конформація “Конверт” – E (англ. envelope - конверт).



конформація 1E

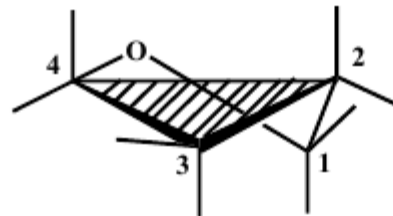
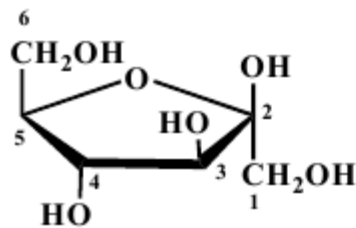


конформація E_1

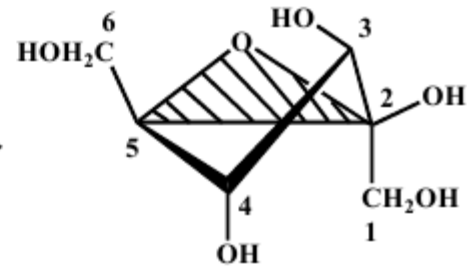


α -D-арабінофураноза (3E)

Конформація “Твіст” – T (англ. twist - скручений).

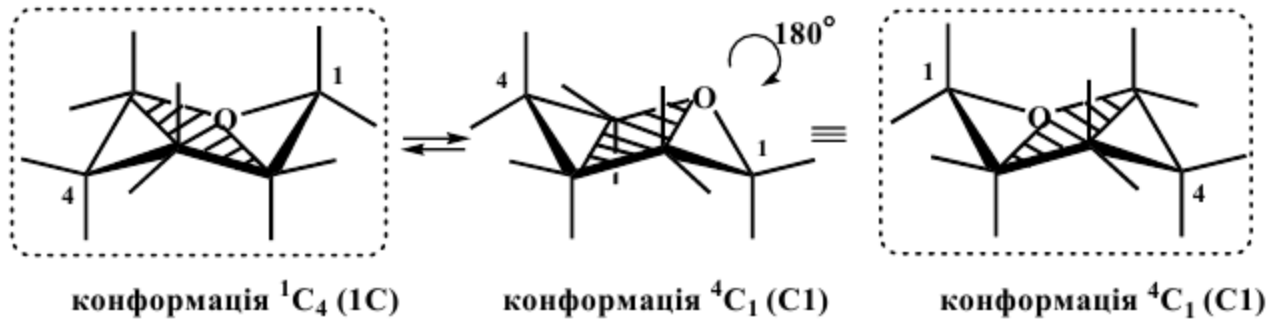


конформація 0T_1

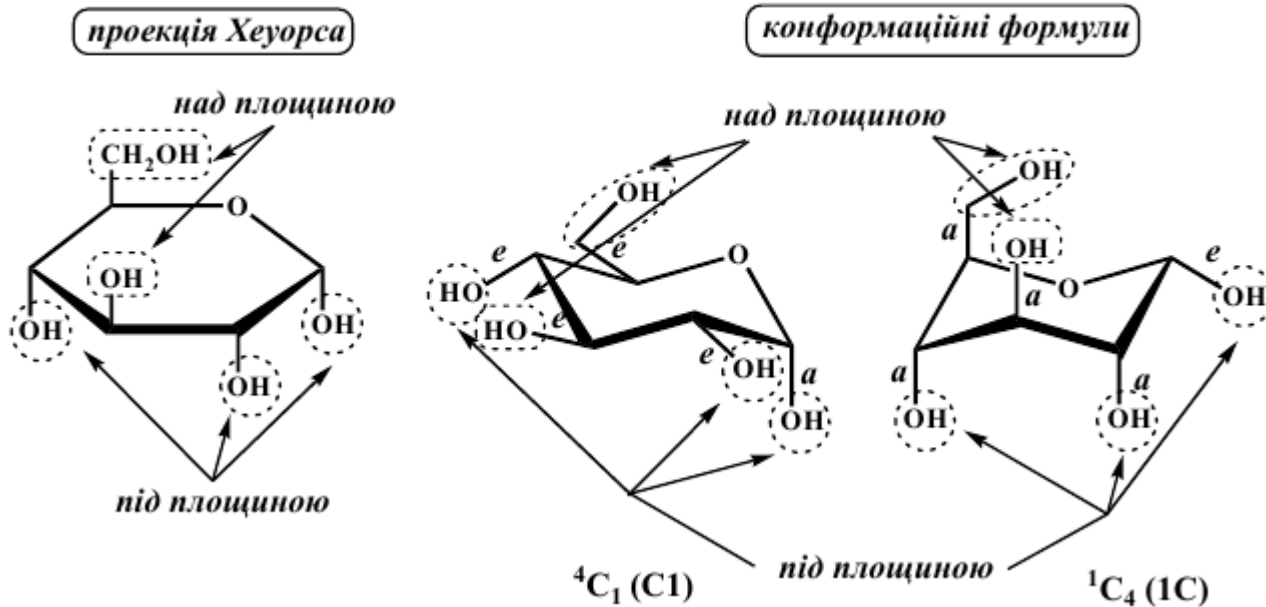


β -D-фруктофураноза (3T_4)

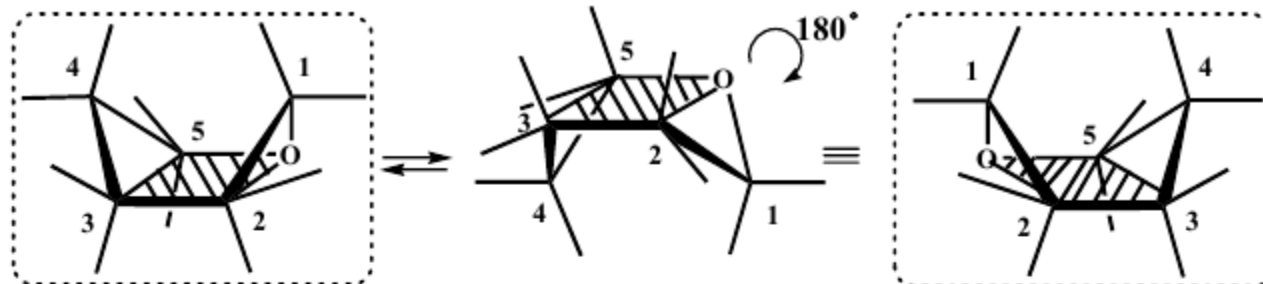
Конформація "Крісло" – С (англ. chair – крісло).



α -D-глюкопіраноза



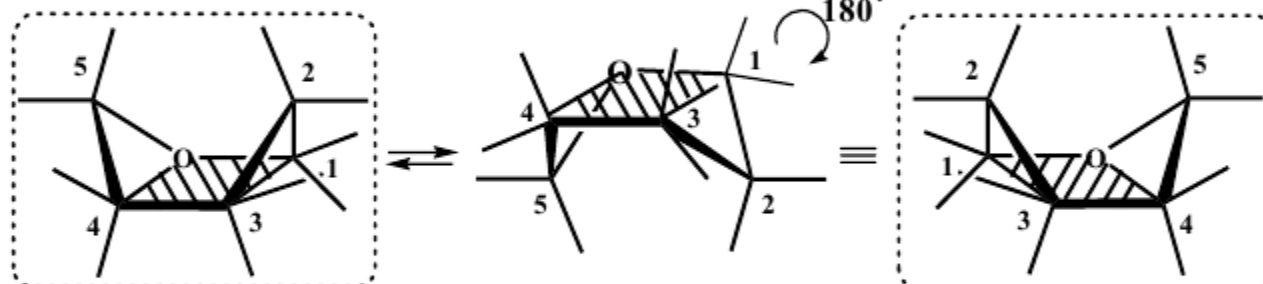
Конформація “Ванна” (“човен”) – В (англ. boat - човен).



конформація $1,4В$ або $1В$

$B_{1,4}$ або $B1$

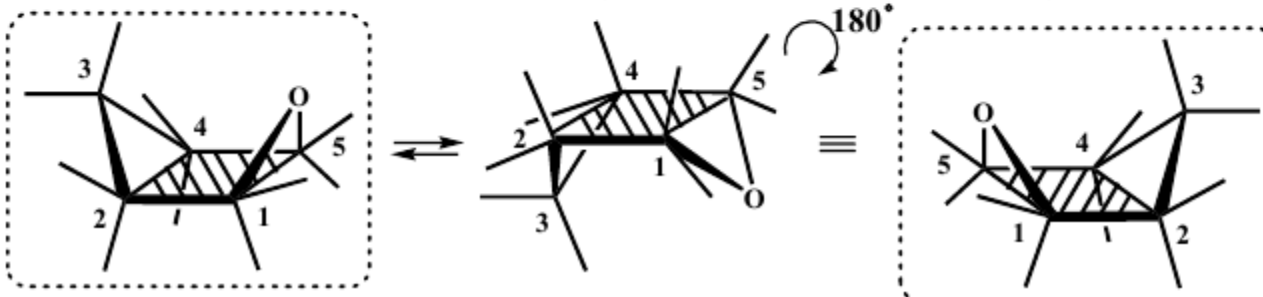
$B_{1,4}$ або $B1$



конформація $2,5В$ або $2В$

$B_{2,5}$ або $B2$

$B_{2,5}$ або $B2$

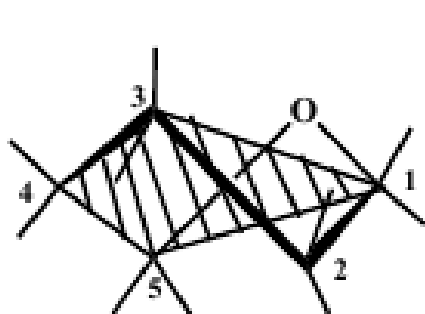


конформація $0,3В$ або $3В$

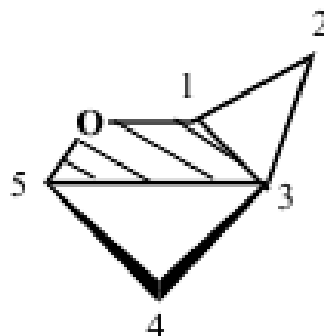
$B_{0,3}$ або $B3$

$B_{0,3}$ або $B3$

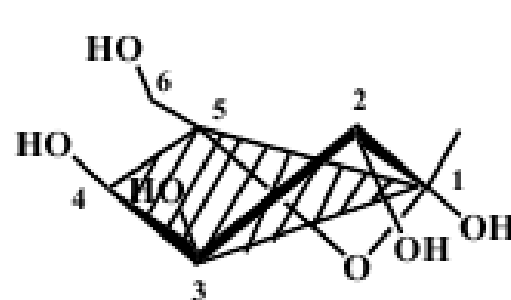
**Конформація “Твіст” (“викривлена ванна”) –
S (англ. skew - скошений).**



конформація 0S_2

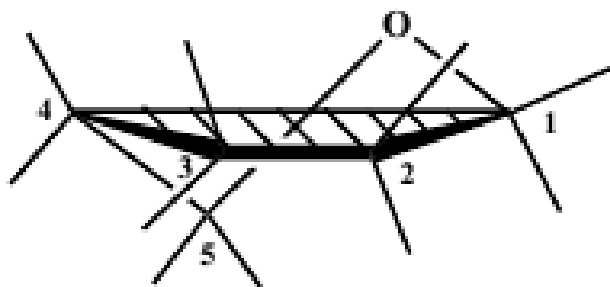


2S_4

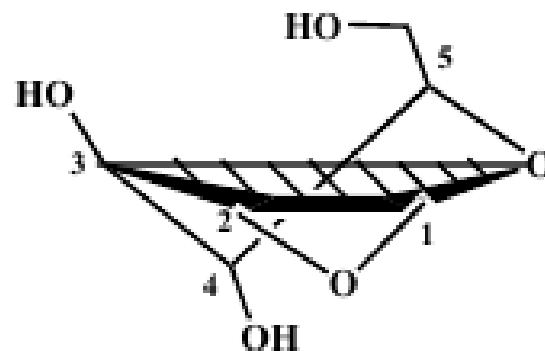


β -L-альтруппіраноза (2S_0)

“Полутвіст” (“полукрісло”) – H (англ. half-chair - полукрісло).



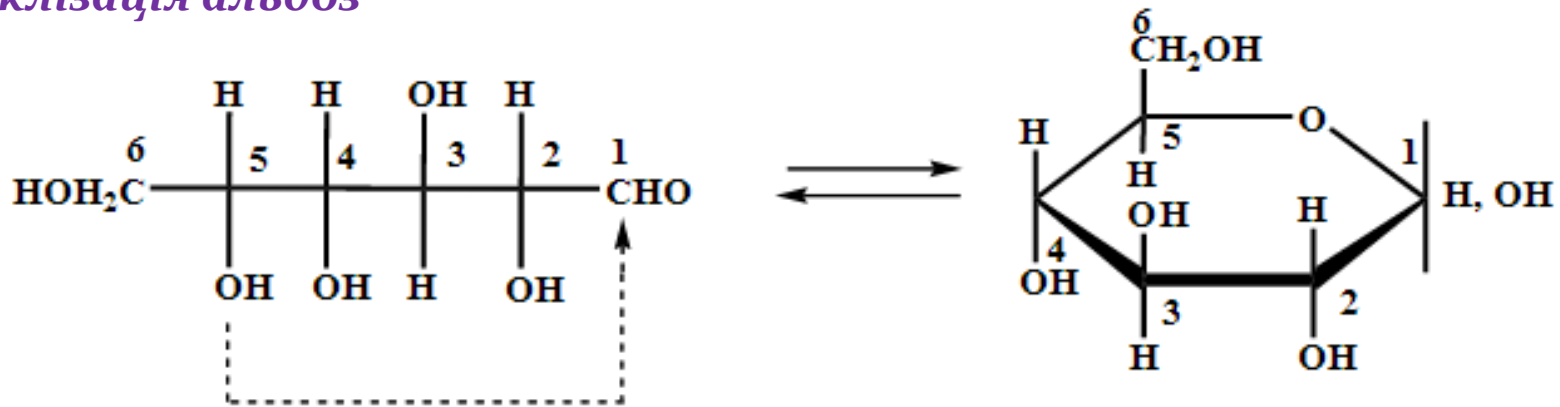
конформація 0H_5



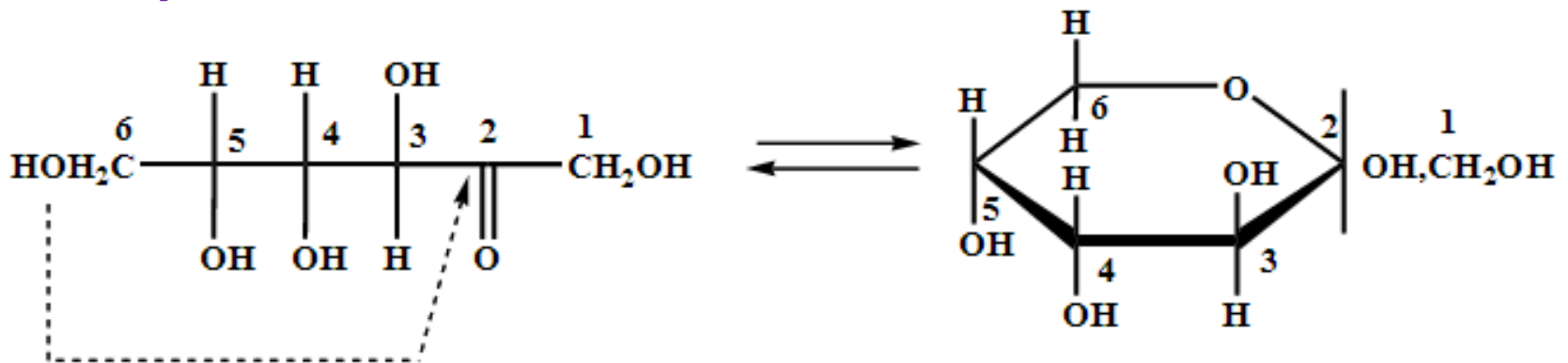
1,2-ангідро- α -D-глюкопіраноза (5H_4)

Оксо-цикло-таутомерія або цикло-ланцюгова таутомерія . 1

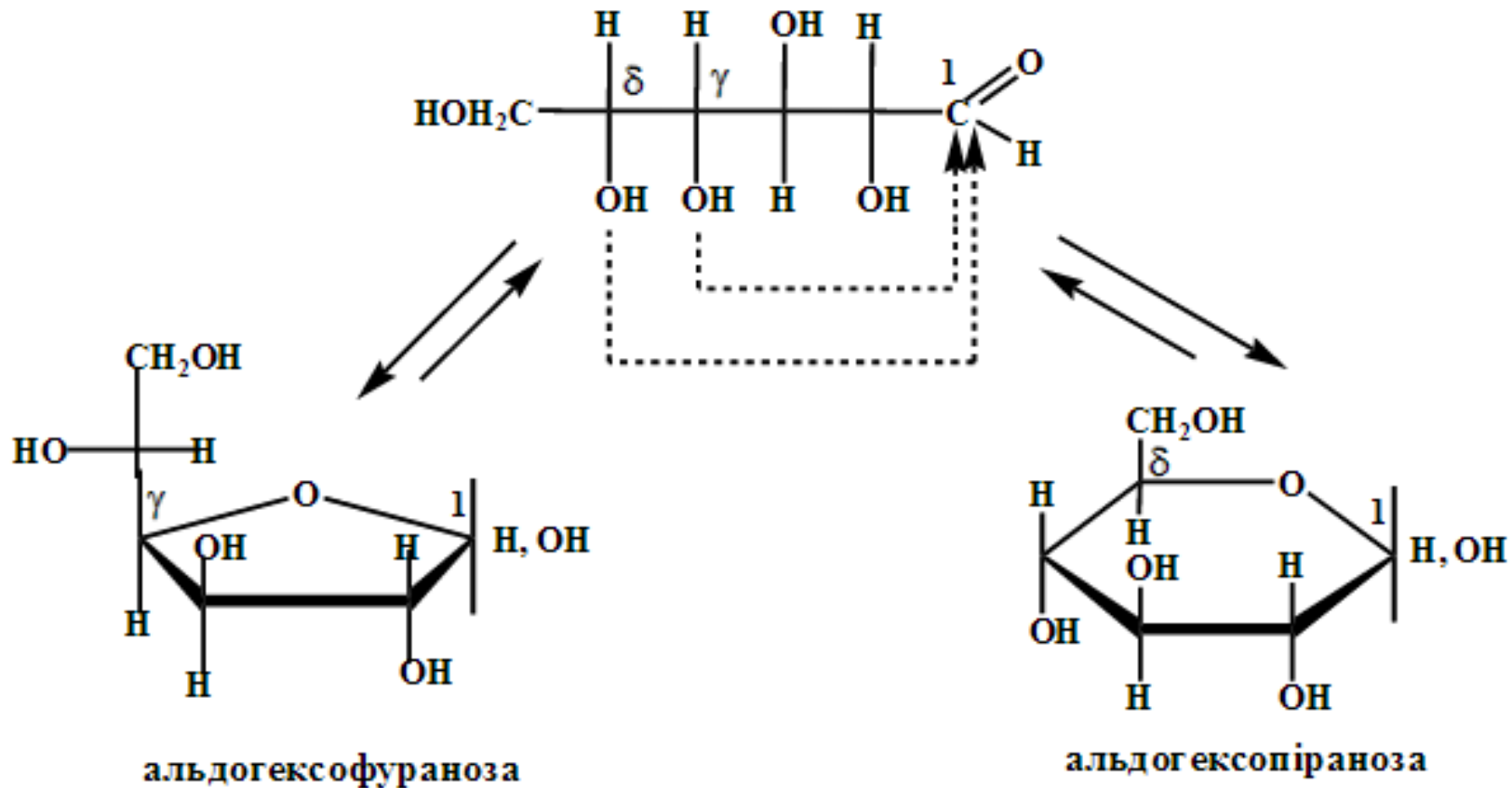
Циклізація альдоз



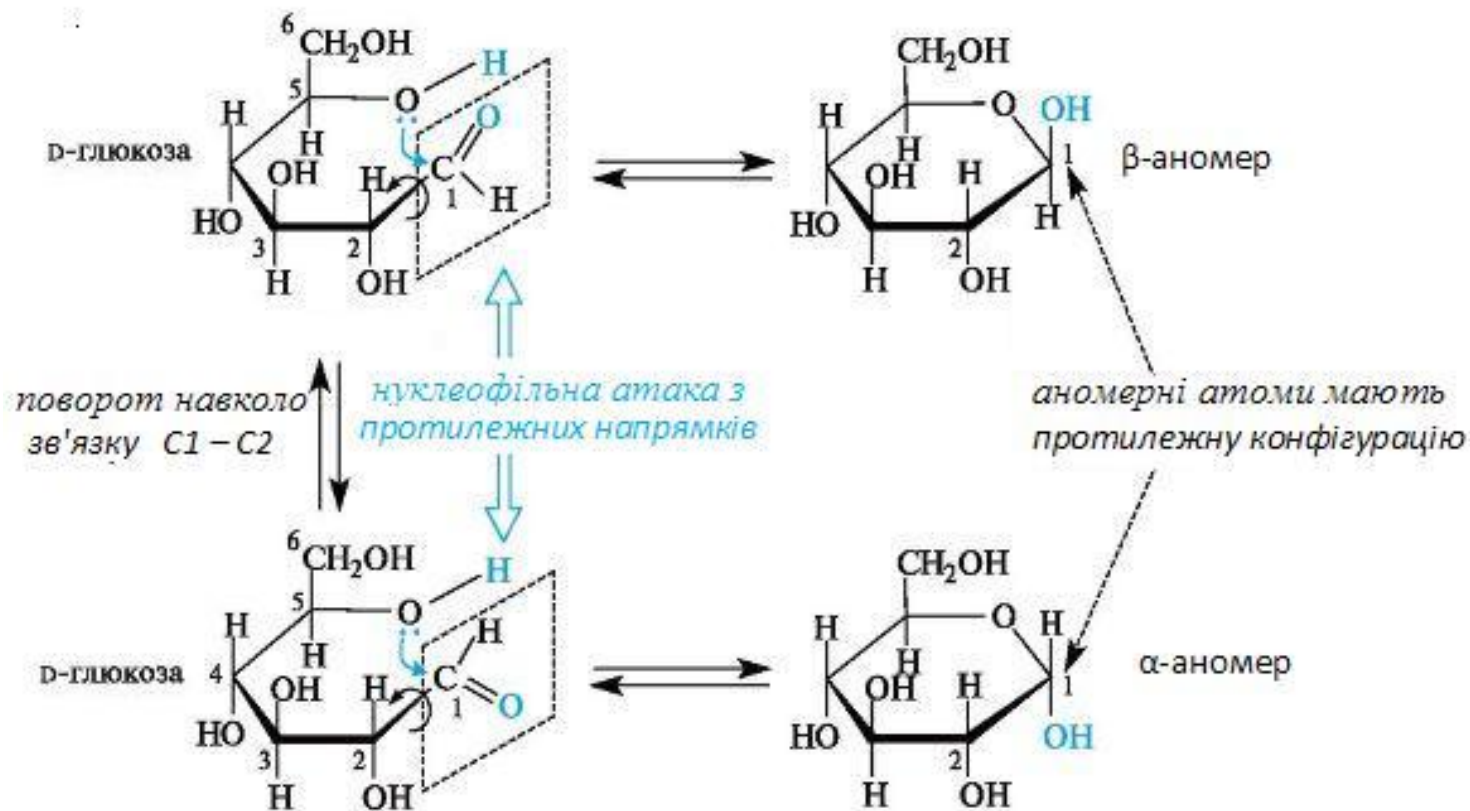
Циклізація кетоз



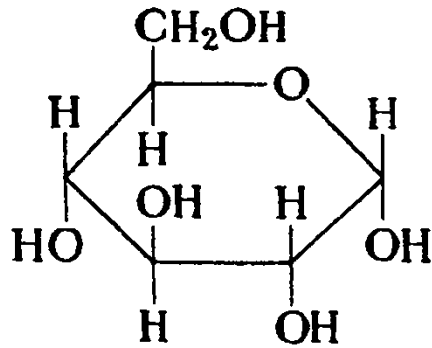
Оқсо-цикло-таутомерія або цикло-ланцюгова таутомерія . 2



Оксо-цикло-таутомерія або цикло-ланцюгова таутомерія . 3

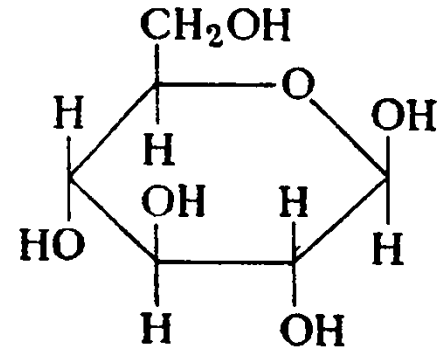
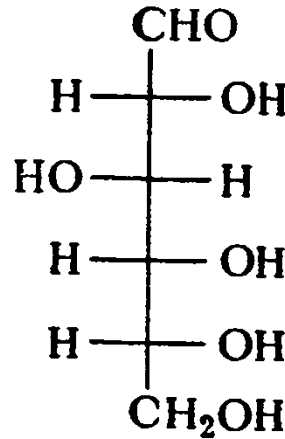


Мутаротація глюкози



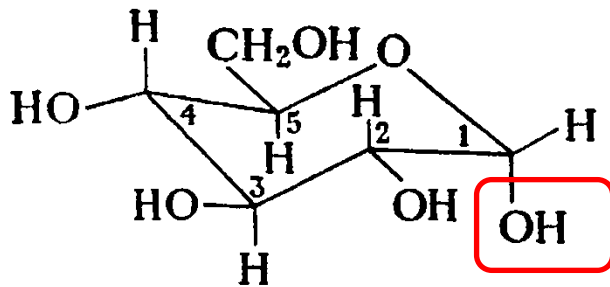
α -D-(+)-глюкопіраноза, 36%
 $t_{пл} = 146\text{ }^{\circ}\text{C}$

$[\alpha]_D = +112^{\circ}$

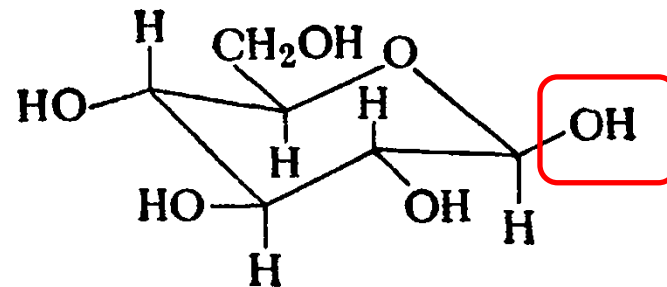


β -D-(+)-глюкопіраноза, 64%
 $t_{пл} = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$

$[\alpha]_D = +18,7^{\circ}$

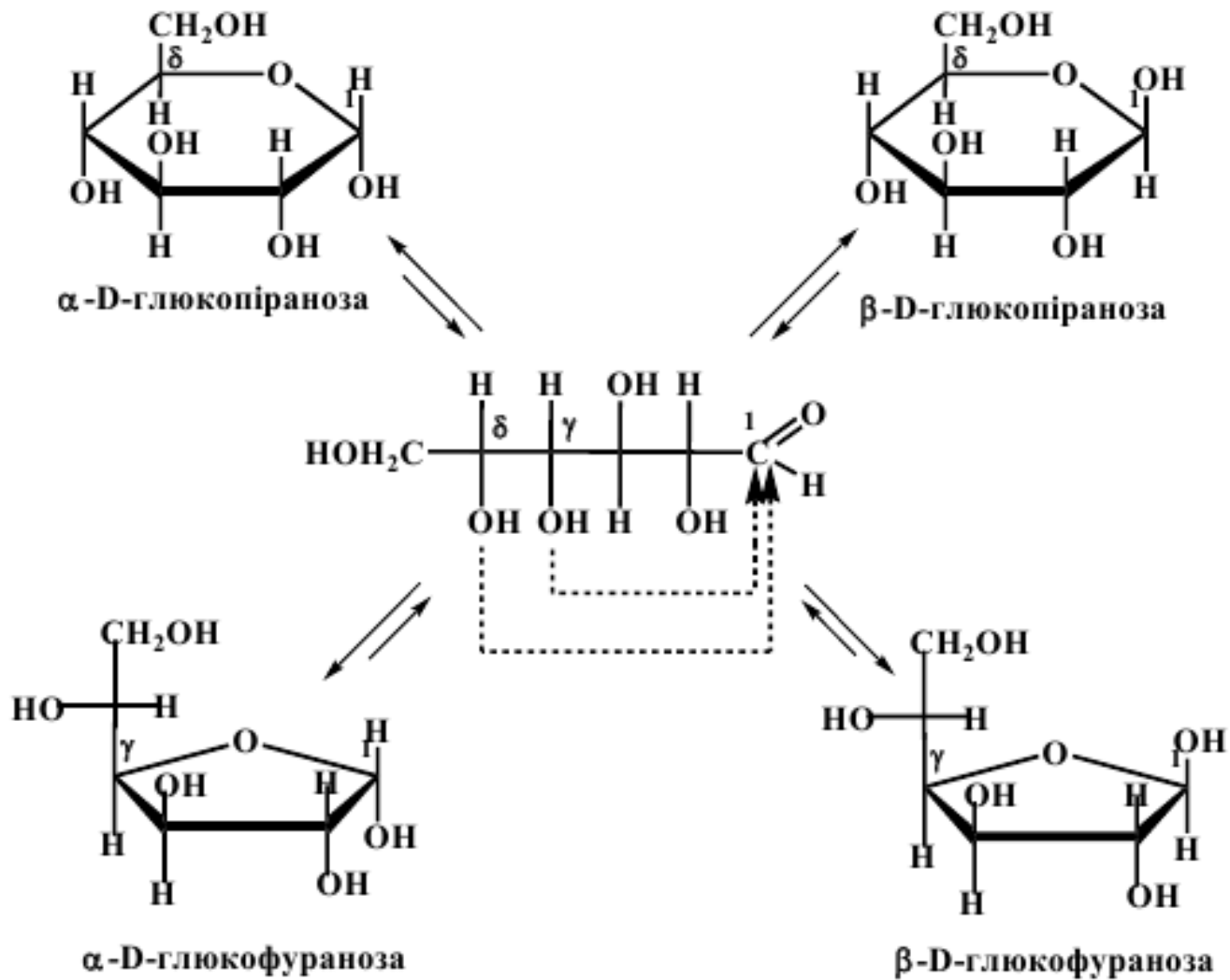


α -D-(+)-глюкопіраноза
 (група OH в положенні I
 аксіальна!)

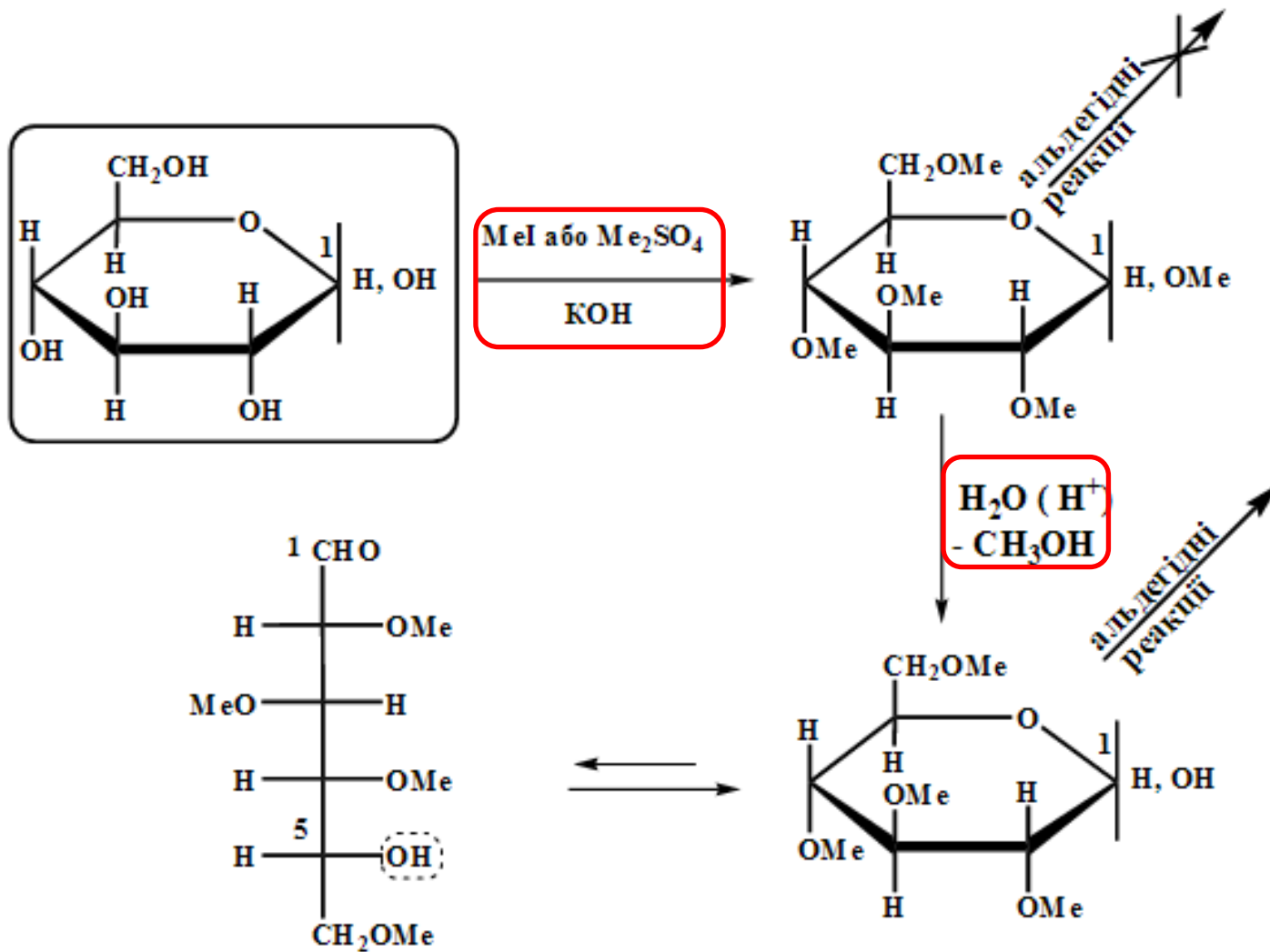


β -D-(+)-глюкопіраноза
 (група OH в положенні I
 екваторіальна!)

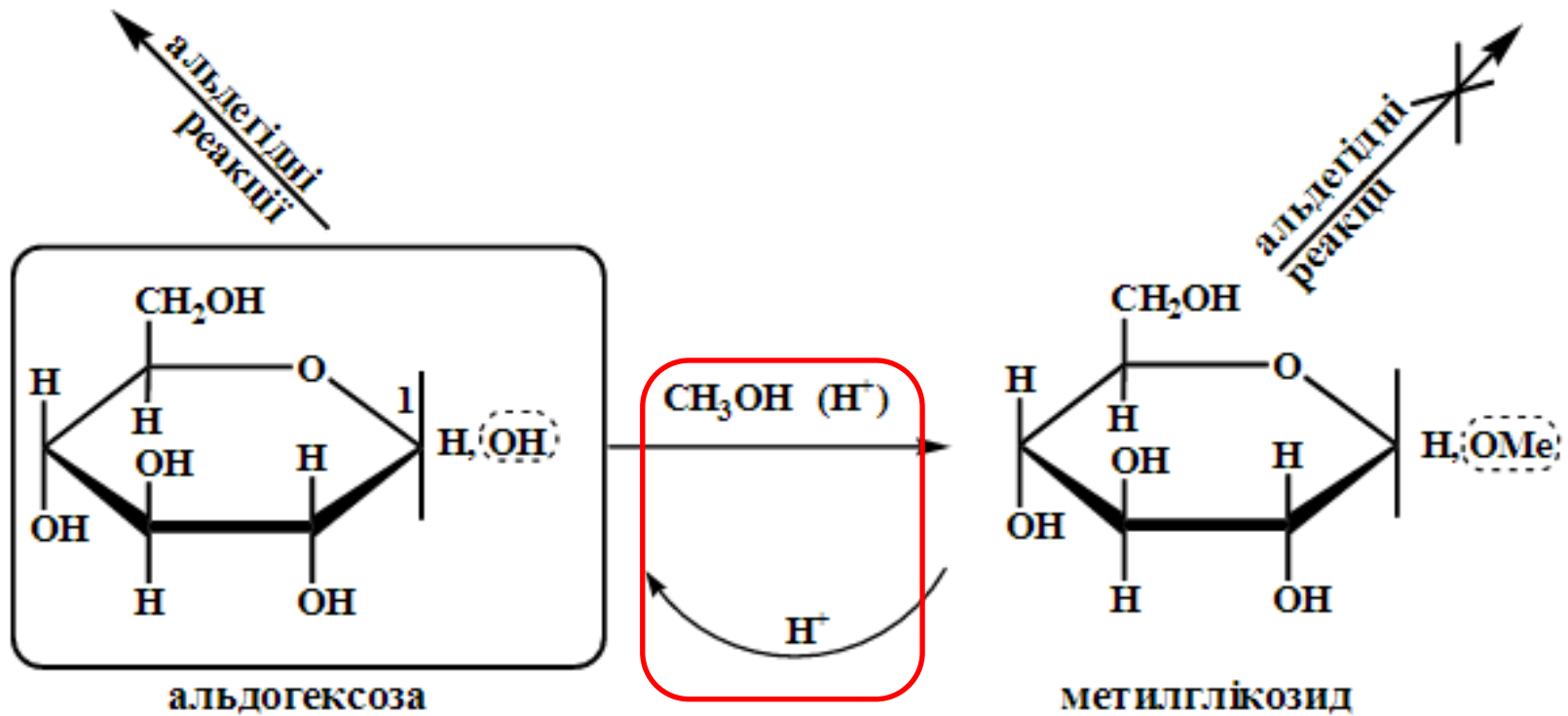
Таутомерні форми глюкози



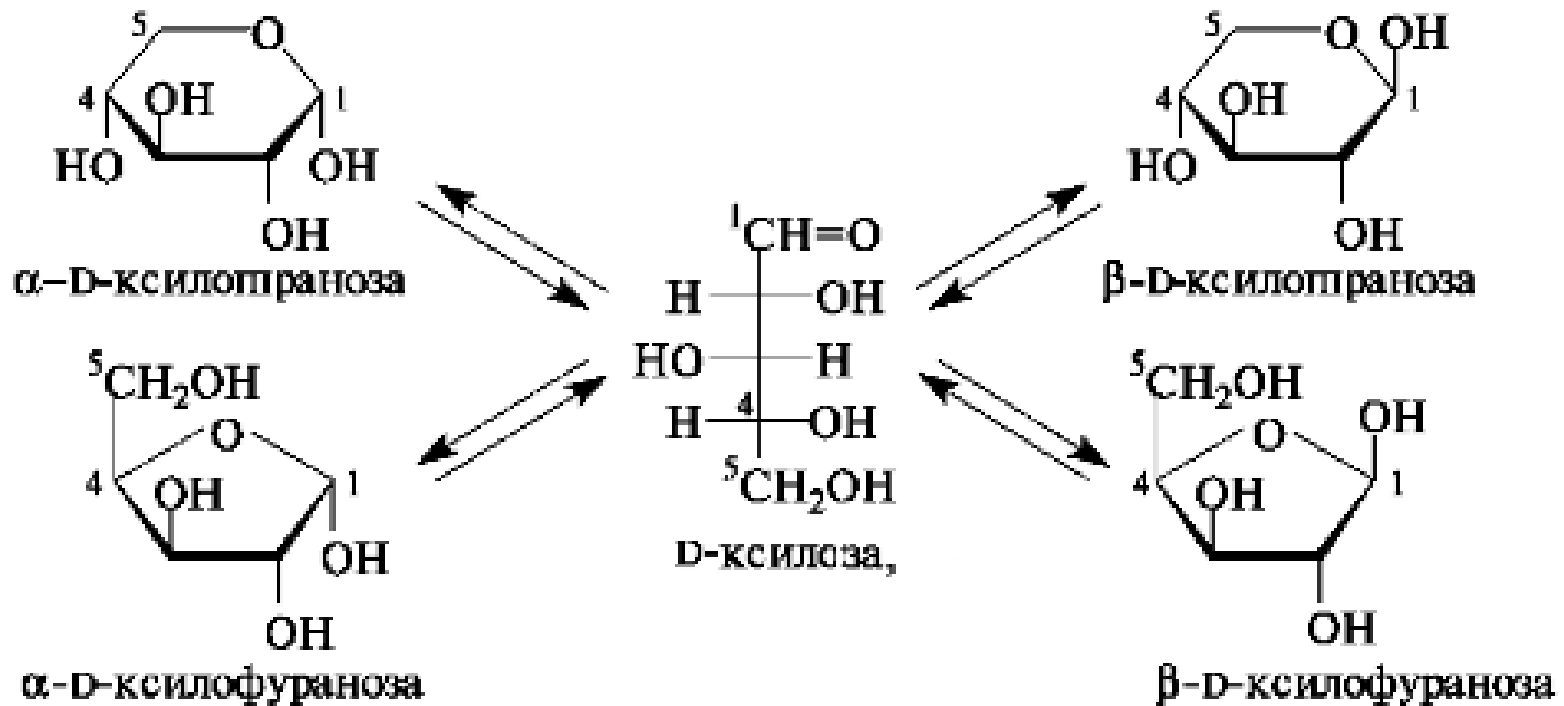
Метилування і деметилування НО-груп вуглеводів (відмінність глікозидної групи). 1.



Метилування і деметилування НО-груп вуглеводів (відмінність глікозидної групи). 2.



Тавтомерна рівновага для D-ксилози



Число стереоізомерів (Z)

розраховується за формулою Фішера:

$$Z = 2^n,$$

де n – число центрів хіральності.

Число стереоізомерів:

- Альдотриози: $Z = 2^1$;
- Альдотетрози: $Z = 2^2$;
- Альдопентози: $Z = 2^3$;
- Альдогексози: $Z = 2^4$.

Кількість форм альдогексоз:

- Альдегідна форма альдогексоз: 6 сполук D-ряду + 6 сполук L-ряду;
- циклічних D-ряду: 6 α -аномерів + 6 β -аномерів піранозного типу;
6 α -аномерів + 6 β -аномерів фуранозного типу;
 - циклічних L-ряду: 6 α -аномерів + 6 β -аномерів піранозного типу;
6 α -аномерів + 6 β -аномерів фуранозного типу.

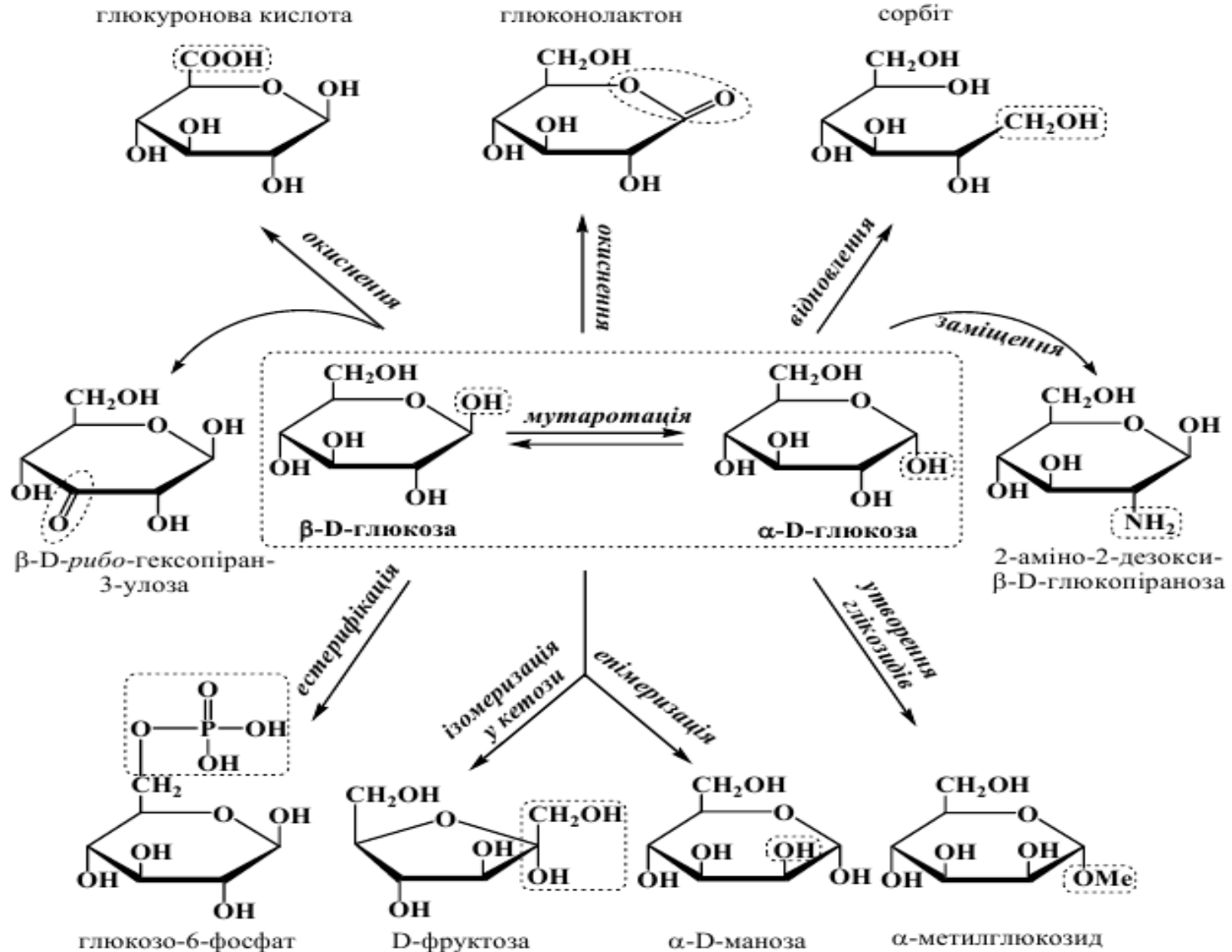
**Вміст циклічних форм моносахаридів у водних розчинах при 40 °С,
визначений методом ГРХ**

моносахарид	Вміст у суміші, %			
	<i>α</i> -піраноза	<i>β</i> -піраноза	<i>α</i> -фураноза	<i>β</i> -фураноза
D-рибоза	20	56	6	18
D-ксилоза	33	67	< 1*	
D-ликтоза	71	29	< 1*	
D-глюкоза	36	64	< 1*	
D-маноза	67	33	< 1*	
D-альтроза	27	40	20	13
D-галактоза	27	73	< 1*	

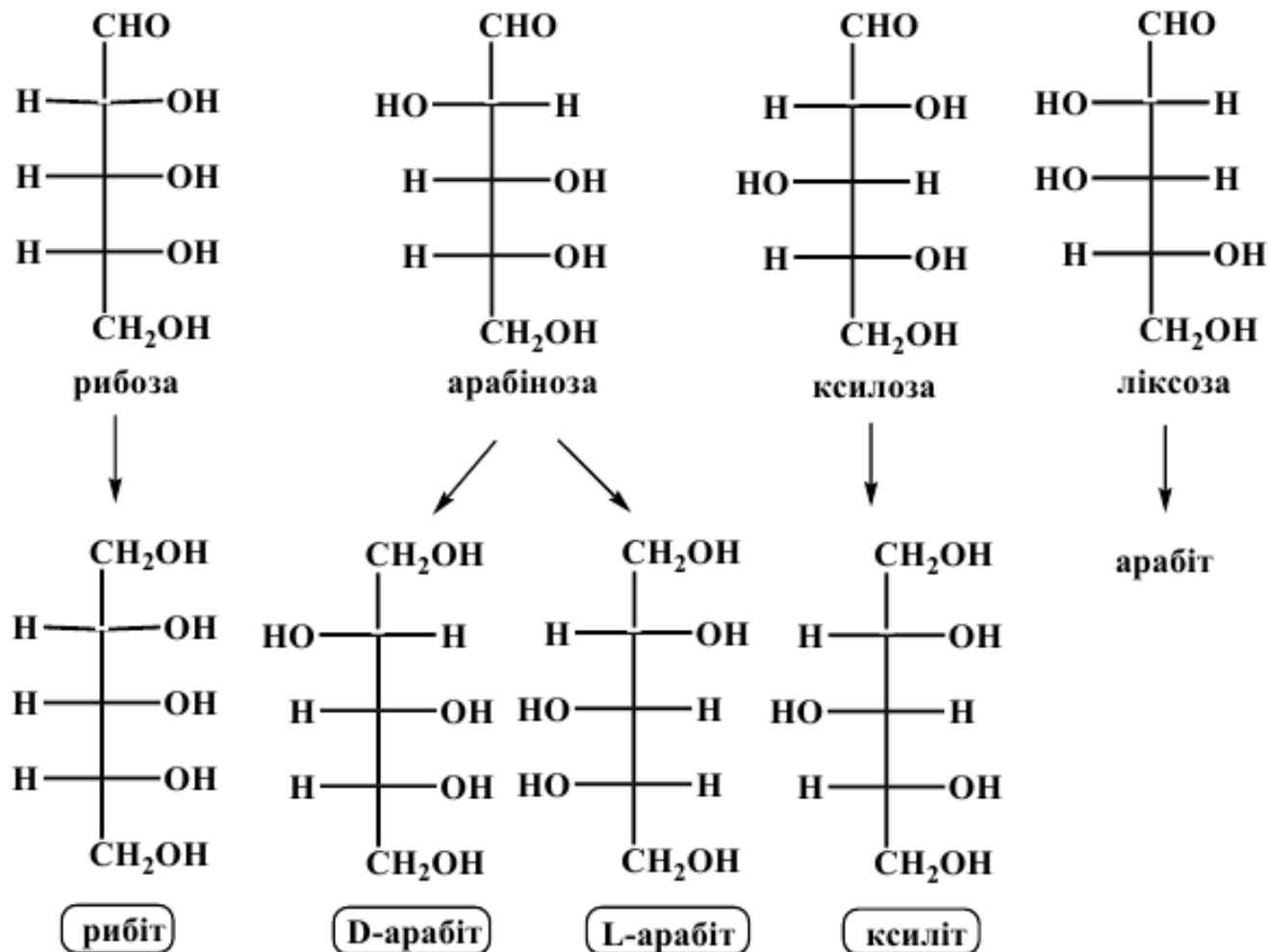
* сумарний вміст *α*- та *β*-фуранозних форм.

Незважаючи на те, що вміст відкритої форми моносахаридів незначний (долі відсотка), в багатьох реакціях (в яких задіяна альдегідна група) вуглевод реагує саме у *ациклічній* формі.

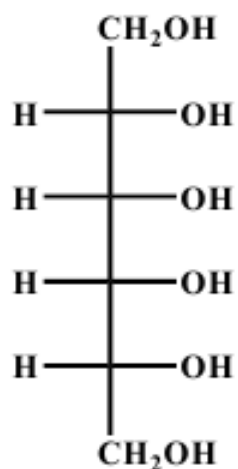
Напрямки хімічних перетворень вуглеводів



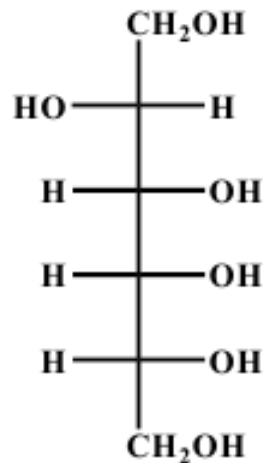
Продукти відновлення вуглеводів



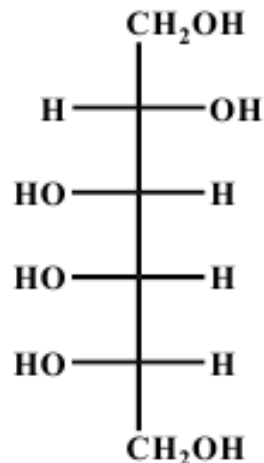
Продукти відновлення вуглеводів



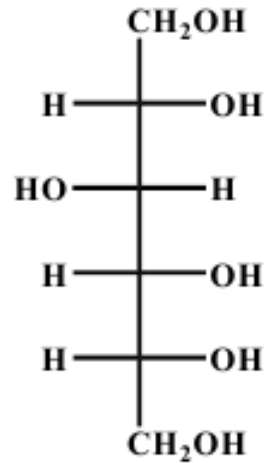
аліт



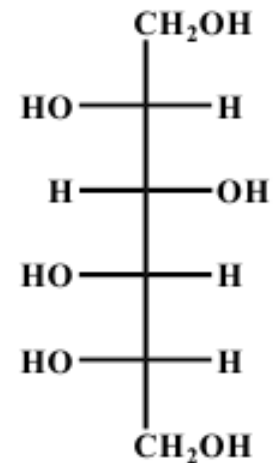
D-альтрит



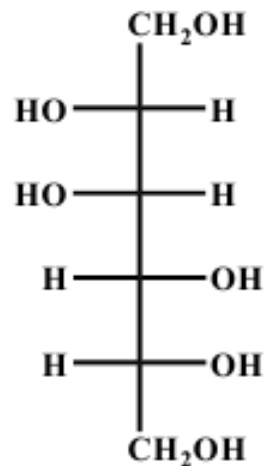
L-альтрит



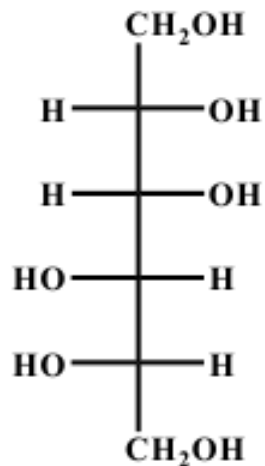
D-сорбіт



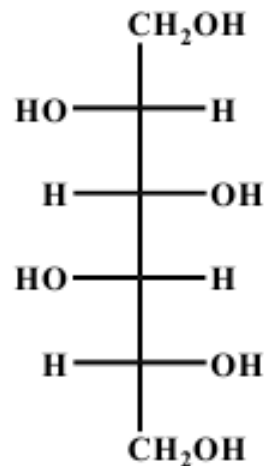
L-сорбіт



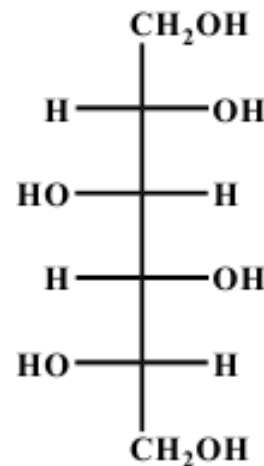
D-маніт



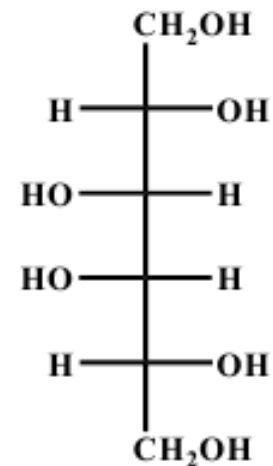
L-маніт



D-ідит

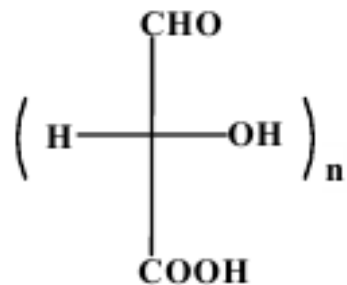


L-ідит

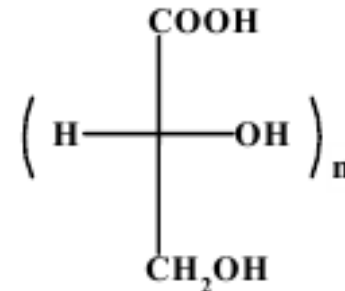


дульцит

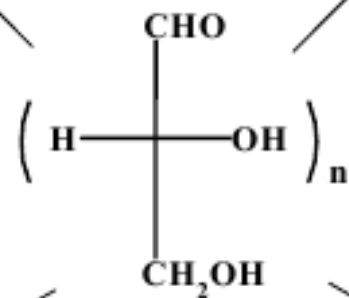
Окиснення вуглеводів



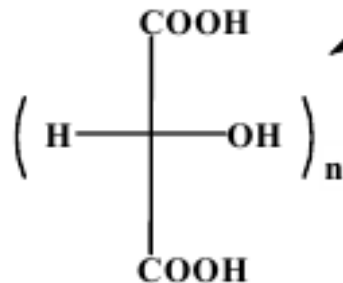
альдурино́ва кислота



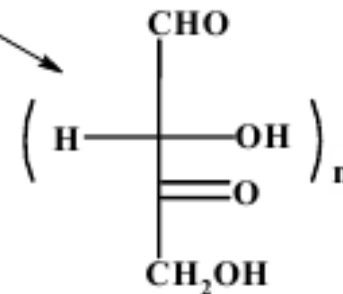
альдоно́ва кислот



альдоза

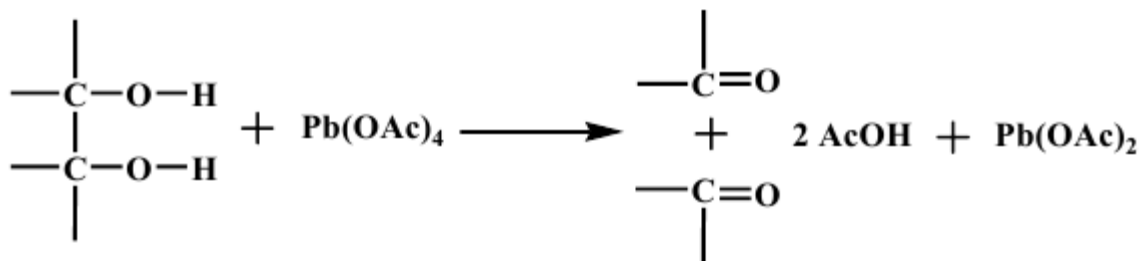
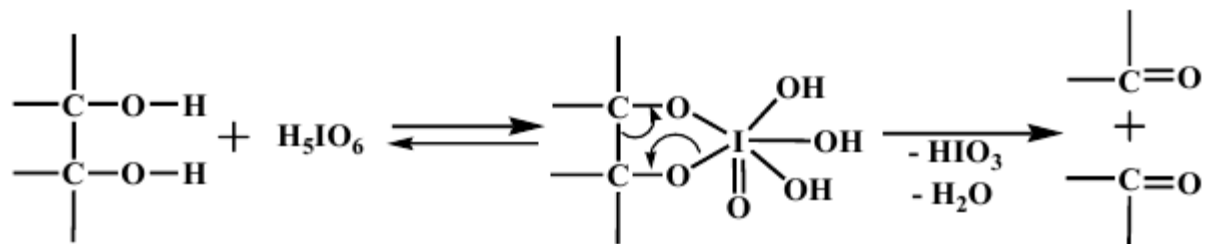
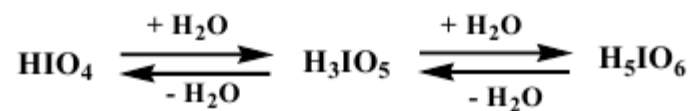


альдаро́ва кислота

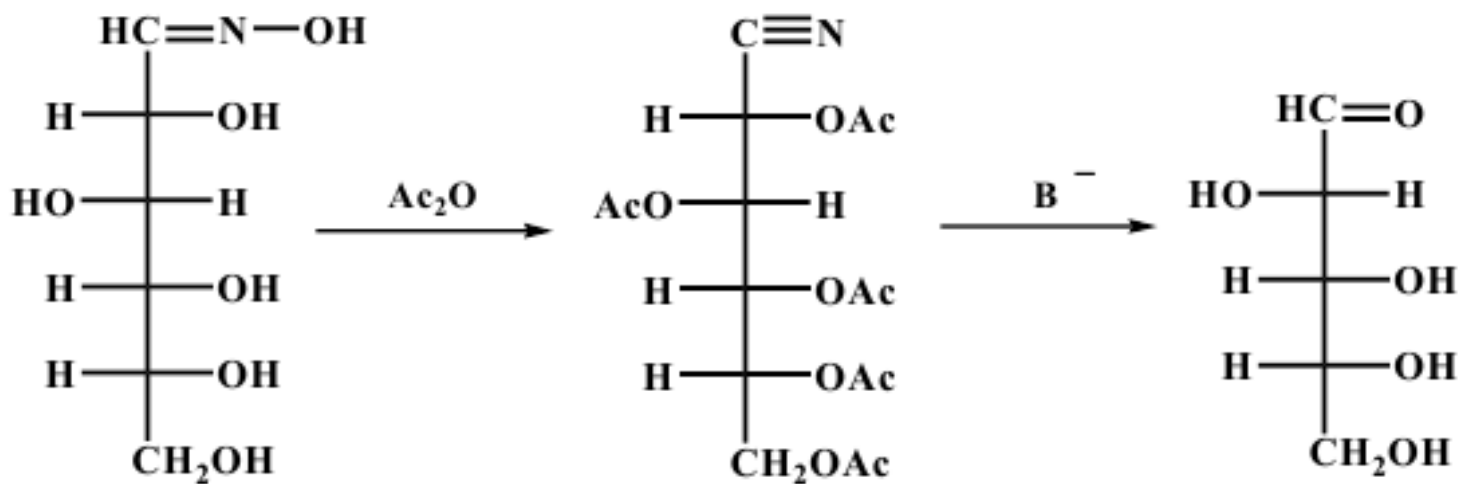


уло́за

Окиснення вуглеводів



Укорочення карбонового ланцюга по Волю

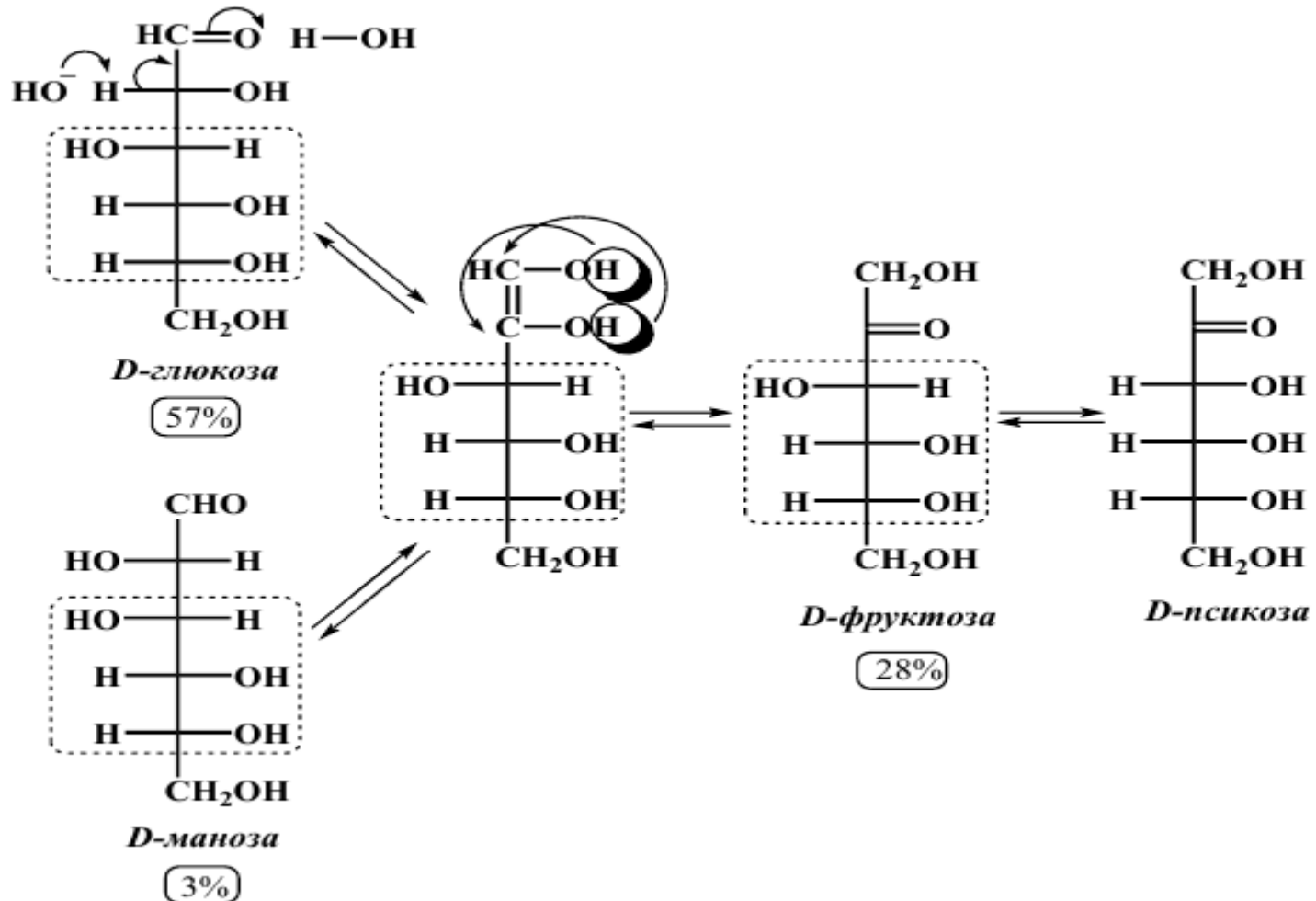


Вплив лугів та кислот

Класичні умови проведення реакції

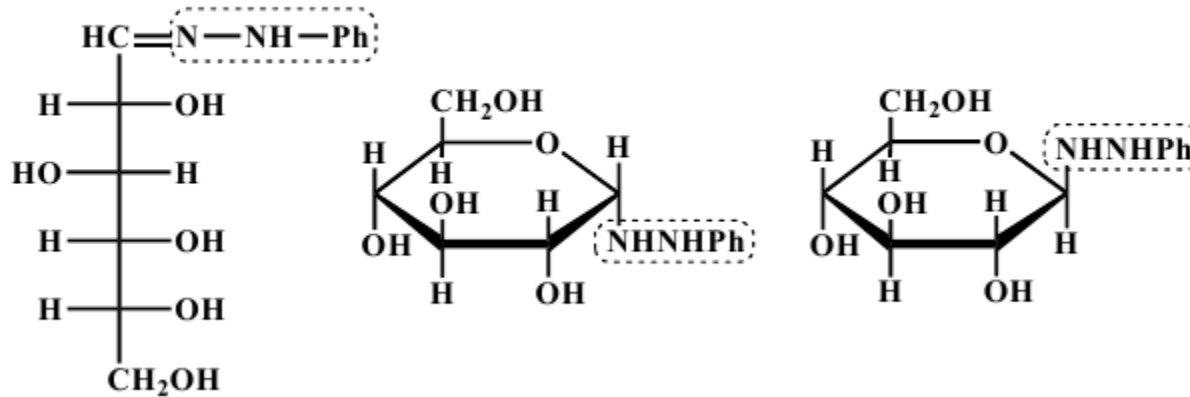
Лобрі де Брюїна – Альберда ван Екенштейна (1895 р.):

0.035 % NaOH, 35 °C, 100 год.

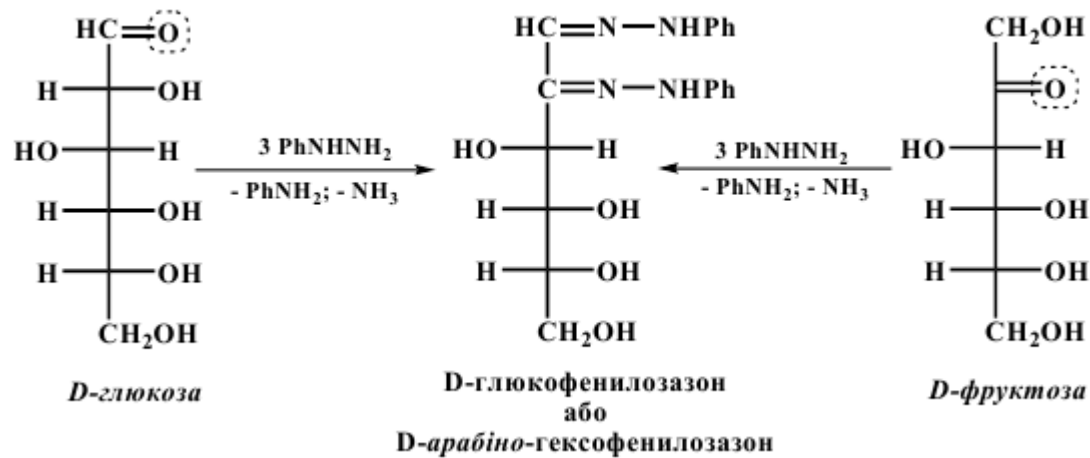


Взаємодія з фенілгідразином

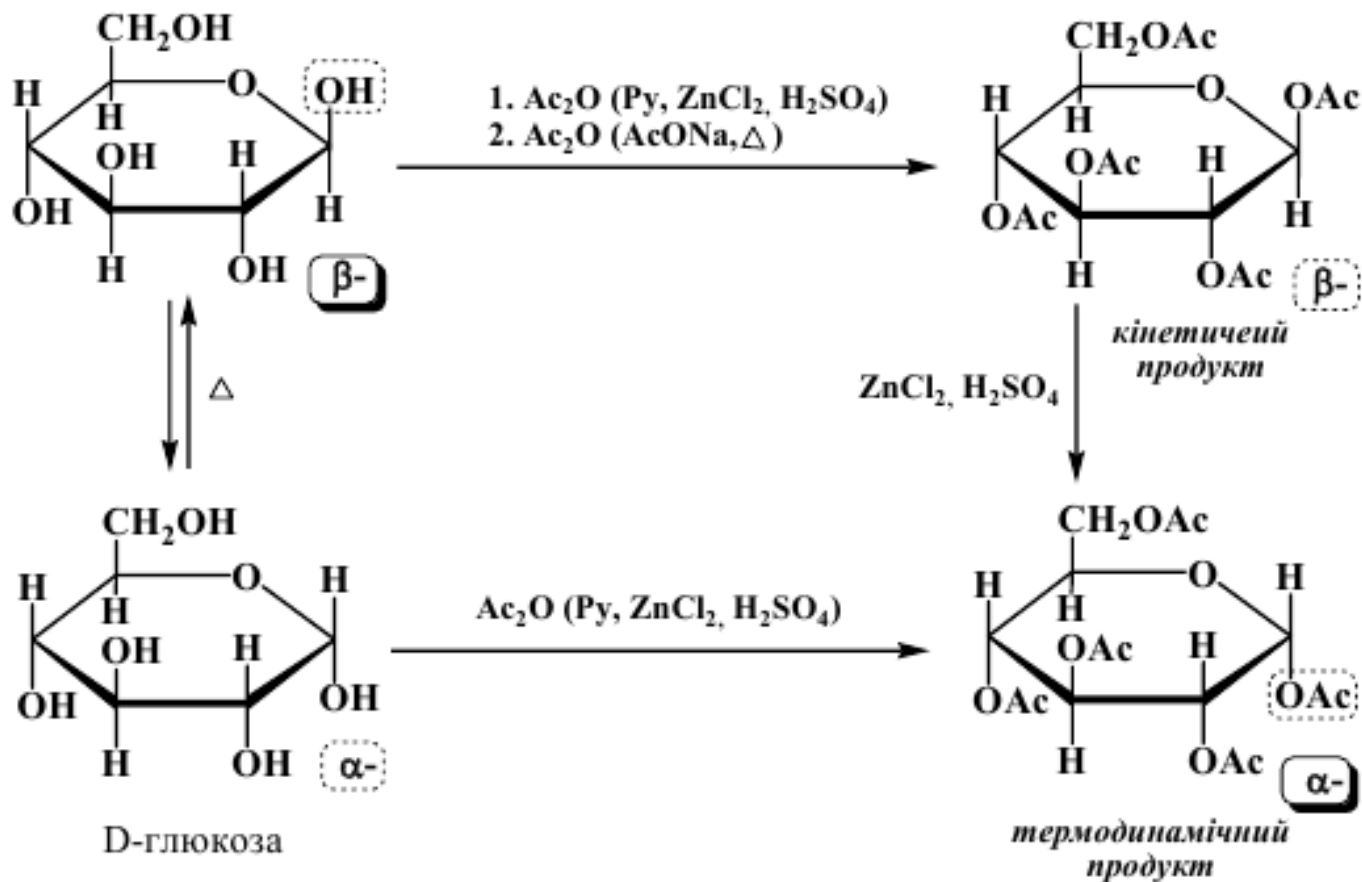
Фенілгідразон *D*-глюкози



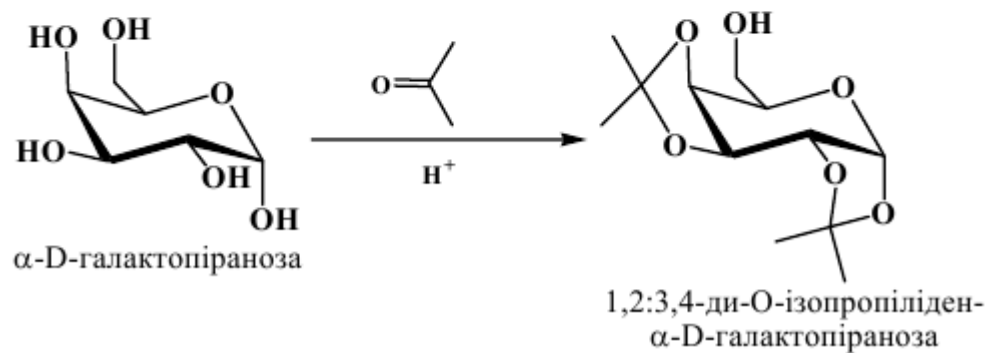
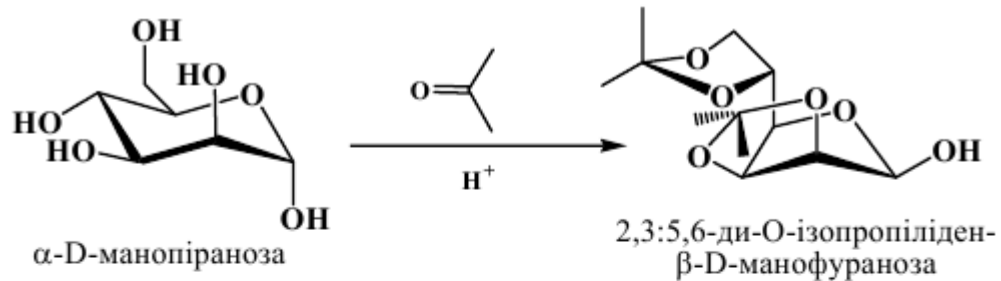
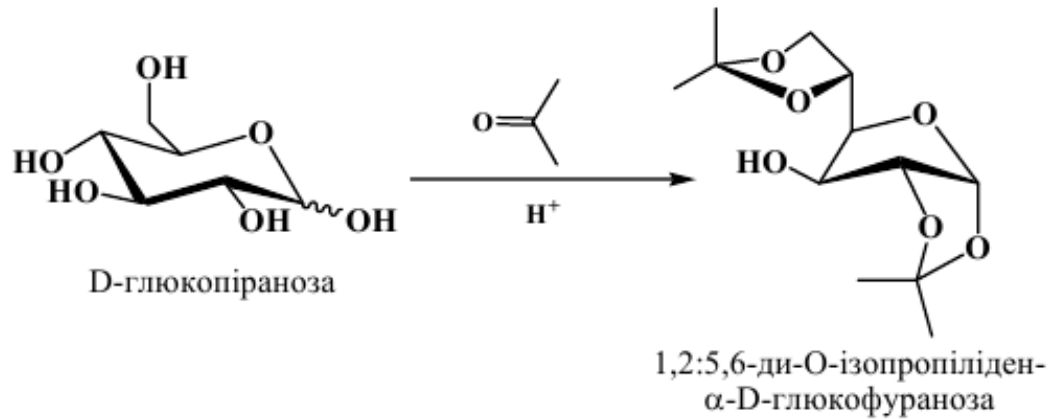
Озони



Ацетилювання

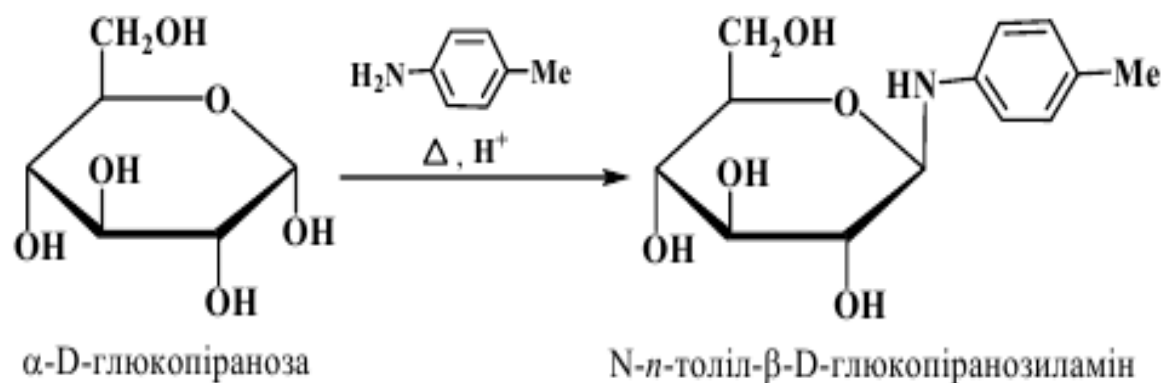


Ацетонування ВВ

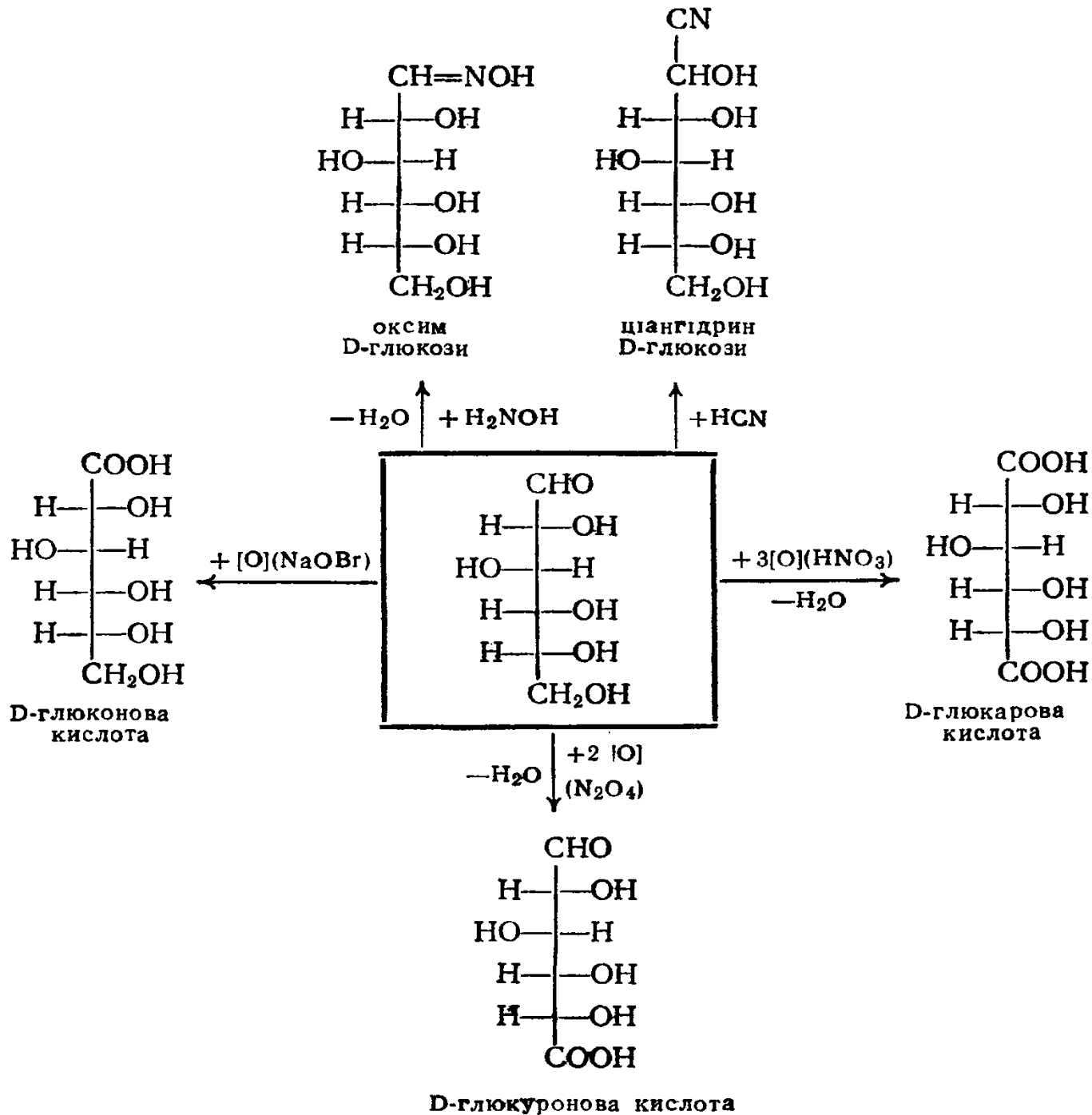


Конденсація амінів з вільними цукрами. Основним методом синтезу

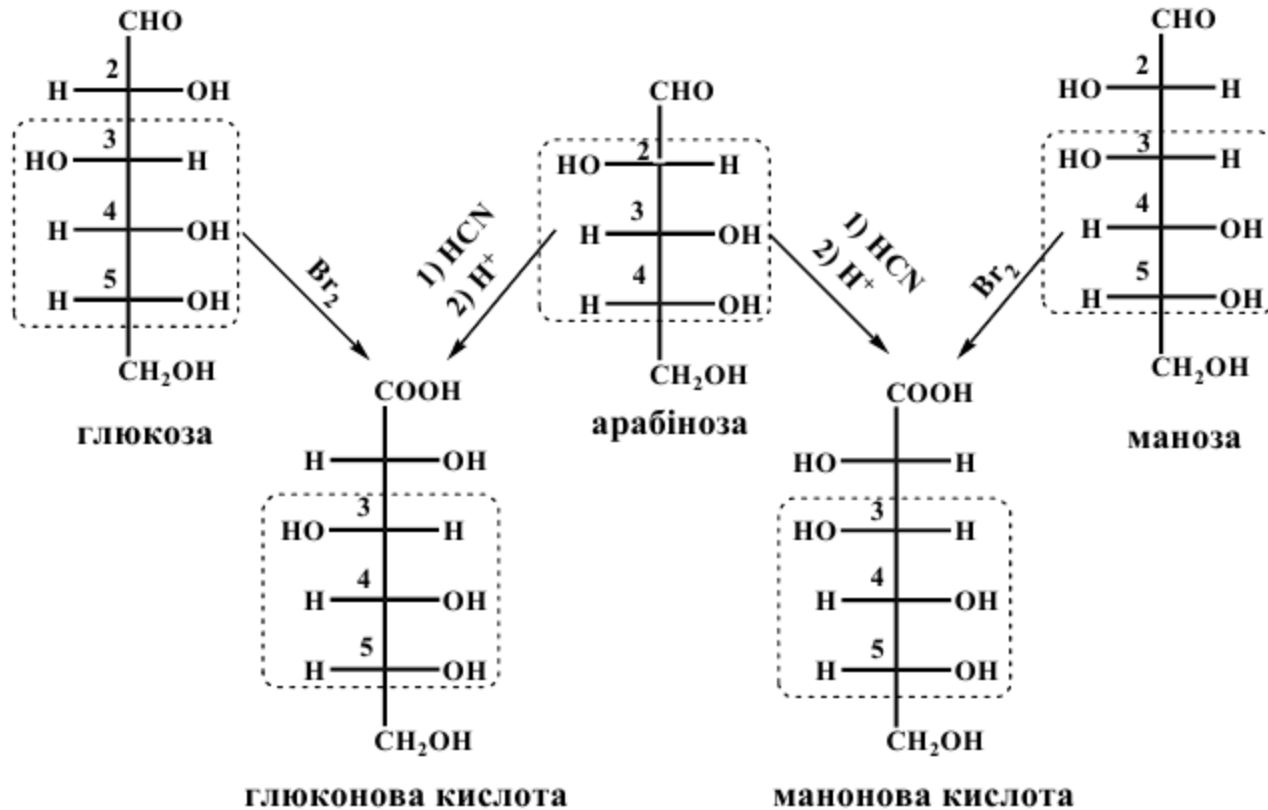
глікозиламінів є нагрівання вуглеводів з первинними амінами у присутності кислотних каталізаторів.



*Реакції
глюкози:*



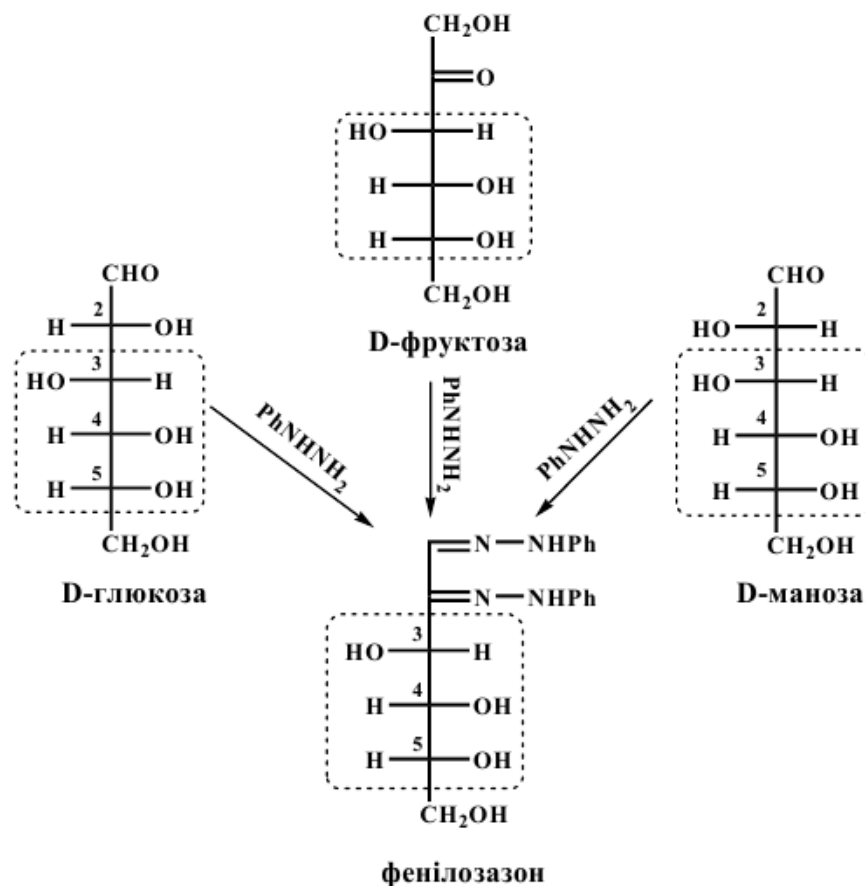
Хімічні перетворення вуглеводів



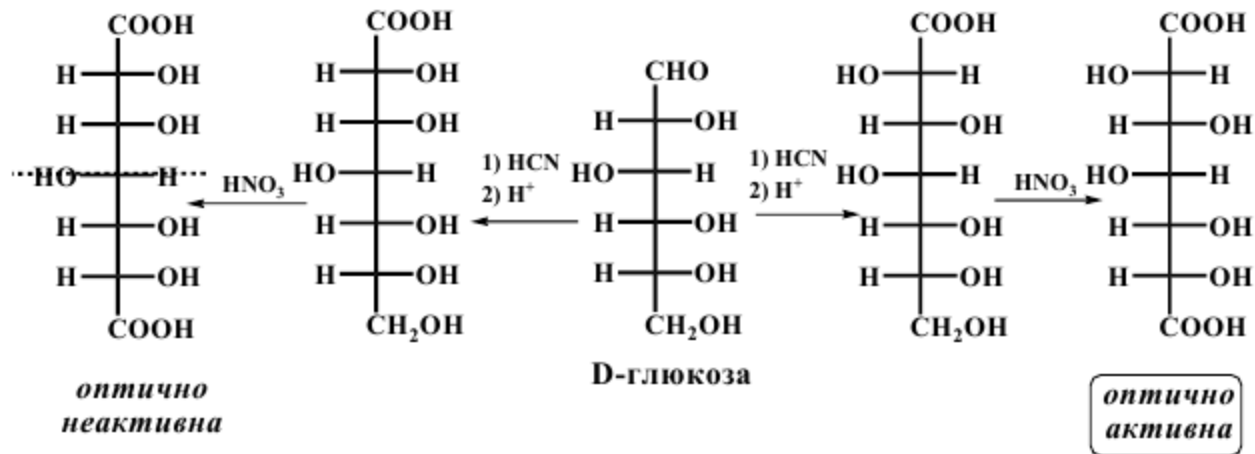
Хімічні перетворення вуглеводів. Окиснення.



Хімічні перетворення вуглеводів. Взаємодія з фенілгідразином.



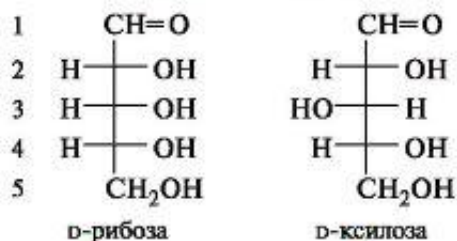
Хімічні перетворення вуглеводів. Подовження карбонового ланцюга.



Найважливіші альдози та кетози

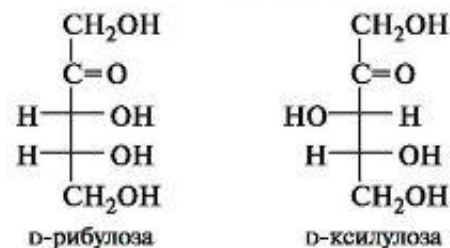
НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ПЕНТОЗЫ

АЛЬДОПЕНТОЗЫ



Этимеры

КЕТОПЕНТОЗЫ

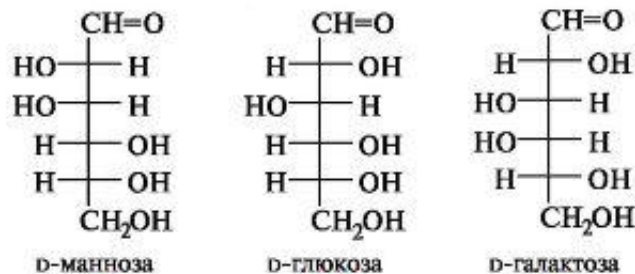


Этимеры

Наиболее распространены в природе альдогексозы — D-глюкоза, D-галактоза и D-манноза, а из кетогексоз — D-фруктоза.

НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ ГЕКСОЗЫ

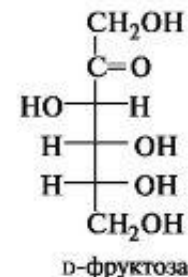
АЛЬДОГЕКСОЗЫ



Этимеры

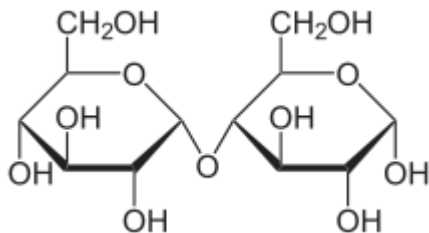
Диастереомеры

КЕТОГЕКСОЗЫ



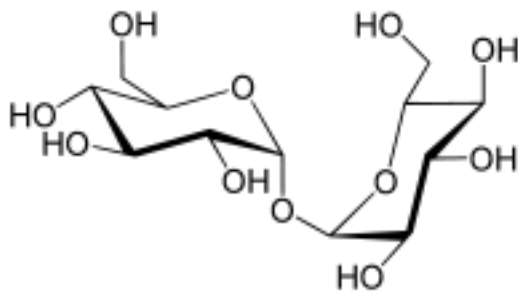
Мальтоза

(Солодовий цукор)



4-O-[α -D-глюкопіранозіл]-D-глюкоза

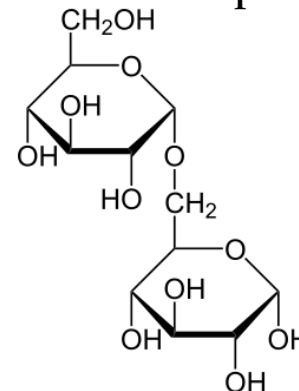
Трєгалоза, або
мікоза (грибний цукор)



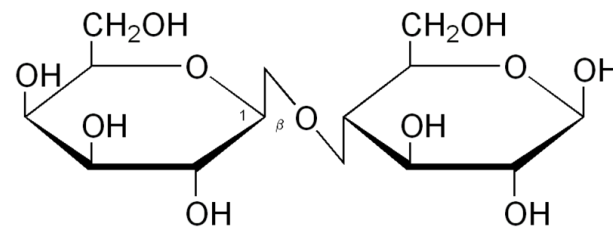
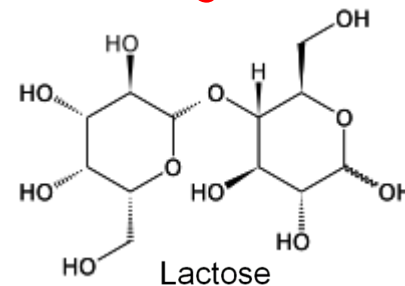
1-[α -D-глюкопіранозо]- α -D-
глюкопіранозід

Ізомальтоза

6-O-[α -D-глюкопіранозіл]-D-глюкоза



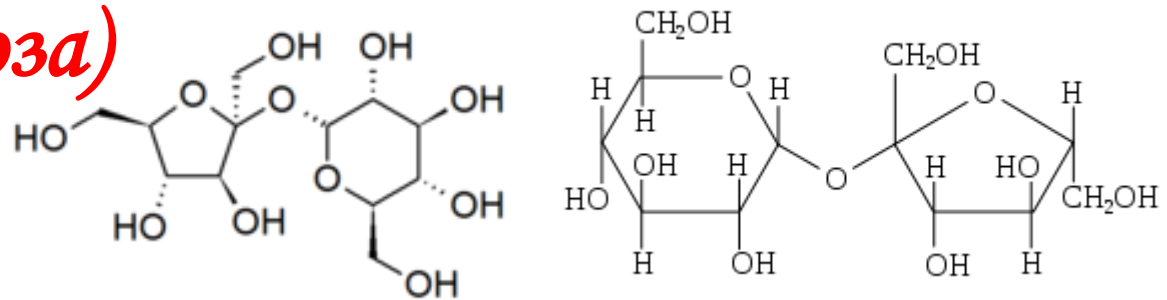
Лактоза



4-O-[β -D-галактопіранозіл]-D-глюкоза

β -D-галактопіранозіл(1 \rightarrow 4)-D-глюкоза β -D-Galp(1 \rightarrow 4)-D-Gl

Сахароза (цукроза)



2-[α -D-глюкопіранозіл]- β -D-фруктофуранозід

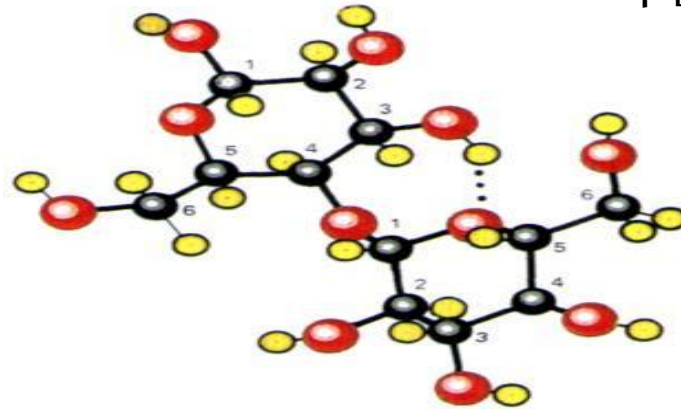
Карамелізація сахарози:

Карамелізація є складним, малозрозумілим процесом, що виробляє сотні хімічних продуктів, та складається з таких видів реакцій:

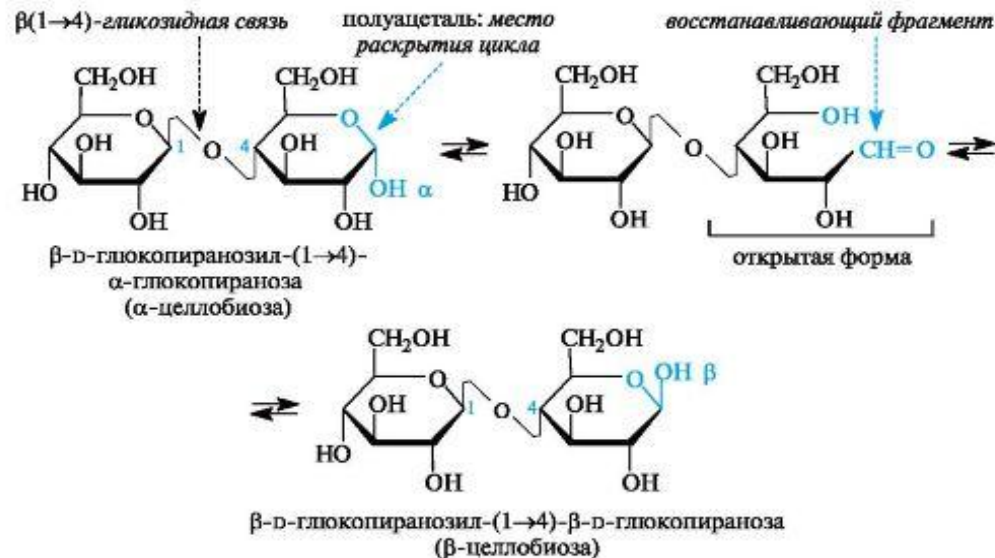
- рівновага аномernih та кільцевих форм;
- інверсія фруктози та глюкози;
- реакція конденсації;
- інтрамолекулярні сполуки;
- ізомеризація альдоз та кетоз;
- дегідратація;
- реакція фрагментації;
- формування ненасичених полімерів.

Целобіоза

4-[β -D-глюкопіранозіл]глюкоза



Таутомерні перетворення целобіози



Поширені в природі олігосахариди

Рафіноза: $\alpha\text{-D-Gal-(1}\rightarrow\text{6)-}\alpha\text{-D-Gl-(1}\rightarrow\text{2)-}\alpha\text{-D-Fruf}$

Стахіоза: $\alpha\text{-D-Gal-(1}\rightarrow\text{6)-}\alpha\text{-D-Gal-(1}\rightarrow\text{6)-}\alpha\text{-D-Gl-(1}\rightarrow\text{2)-}\alpha\text{-D-Fruf}$

Мелецитоза: $\alpha\text{-D-Gl-(1}\rightarrow\text{3)-}\beta\text{-D-Fruf(2}\rightarrow\text{1)-}\alpha\text{-D-Gl}$

Генциноза: $\beta\text{-D-Gl-(1}\rightarrow\text{6)-}\alpha\text{-D-Gl(1}\rightarrow\text{2)-}\beta\text{-D-Fruf}$

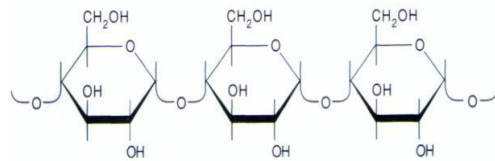
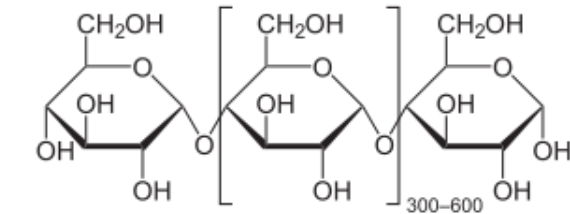
Мальтотріоза:

- 4-O-[4-O-($\alpha\text{-D-глюкопіранозіл}$)- $\alpha\text{-D-глюкопіранозіл}$]-D-глюкоза
- $\alpha\text{-D-глюкопіранозіл-(1}\rightarrow\text{4)-}\alpha\text{-D-глюкопіранозіл-(1}\rightarrow\text{4)-D-глюкоза}$
- $\alpha\text{-D-Glp-(1}\rightarrow\text{4)-}\alpha\text{-D-Glp-(1}\rightarrow\text{4)-D-Gl}$

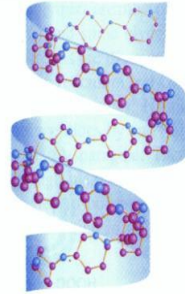
Інулін

$\beta\text{-D-Glp-}[(1\rightarrow1)\text{-}\beta\text{-D-Fruf(1}\rightarrow\text{2)}]_{35-42}\text{-}\beta\text{-D-Fruf}$

Амілоза

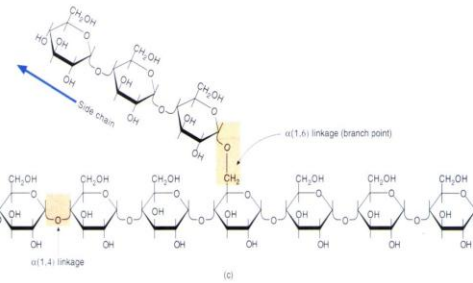
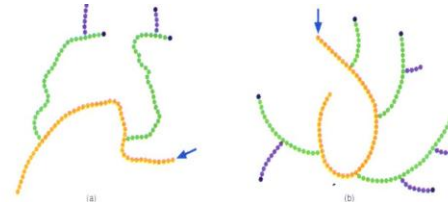


(a)

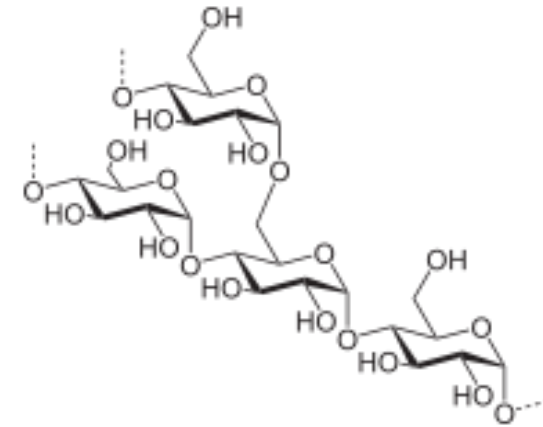


(b)

Амілопектин



(c)



Амілоза (від др.-грец. ἄμυλον - "крохмаль") - один з основних полісахаридів, складових крохмалю. Утворена лінійними або слабкорозгалуженими ланцюжками залишків альфа-глюкози, сполучених глікозидними зв'язками між 1-м і 4-м карбоновими атомами, : α -(1 \rightarrow 4). Молекулярна маса — від 50 000 до 160000.

Амілопектин (від др.-грец. ἄμυλος - "пиріг з тонкого борошна", πηκτός - "збитий", "згуртований") - один з основних полісахаридів, складових крохмалю. Утворений розгалуженими ланцюжками залишків глюкози, сполучених глікозидними зв'язками α , -(1 \rightarrow 4) і α -(1 \rightarrow 6). Молекулярна маса досягає 1 000 000.

Глікоген

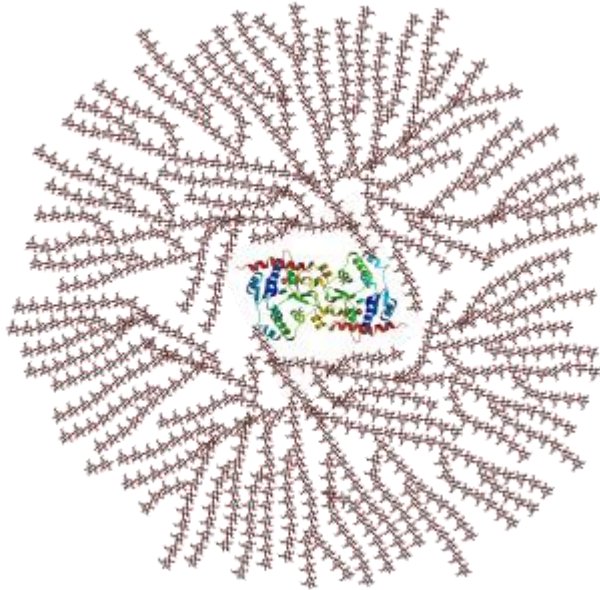
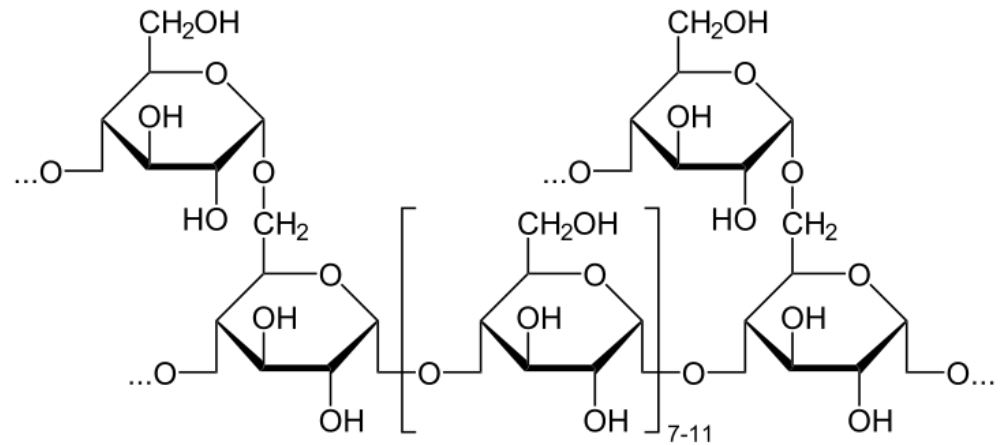


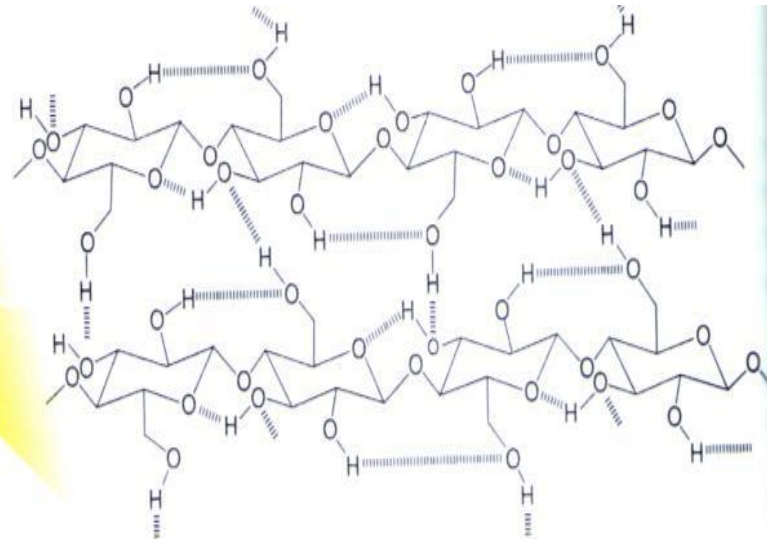
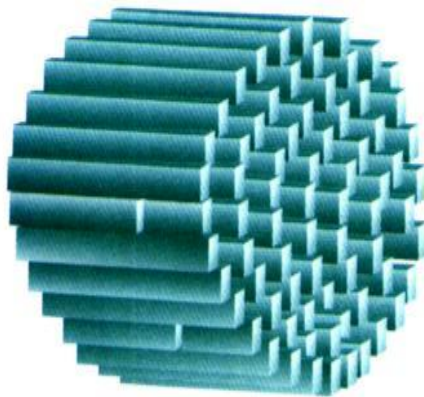
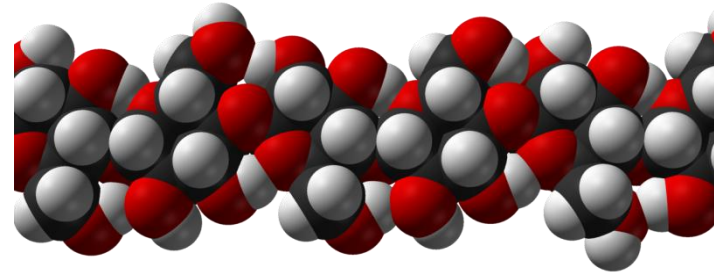
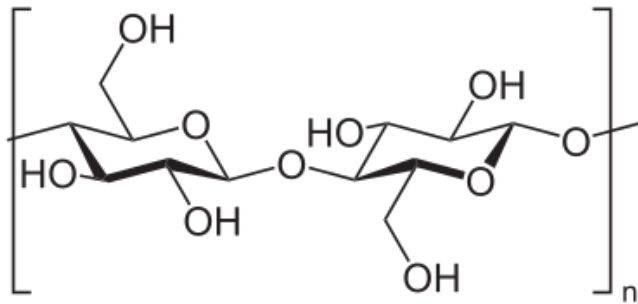
Схема двомірного перерізу через молекулу глікогену, в центрі розташований білок глікогенін



Структура глікогену

Глікоген є гомополімером α -глюкози, залишки якої з'єднані між собою ($\alpha 1 \rightarrow 4$)-глікозидними зв'язками. Кожні 8—10 мономерних залишків відбувається галуження, бічні гілки приєднані ($\alpha 1 \rightarrow 6$)-зв'язками. Таким чином молекула глікогену значно більш компактна і розгалужена ніж крохмалю. Ступінь полімеризації близький до такого в амілопектину

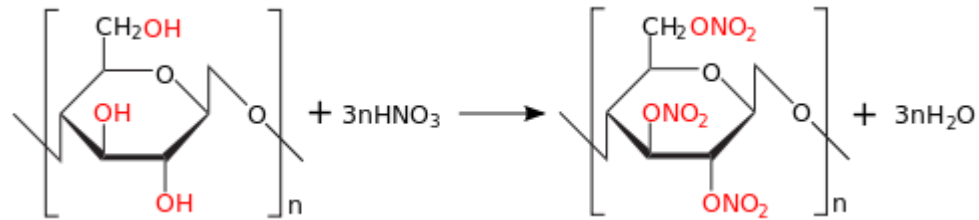
Целюлоза



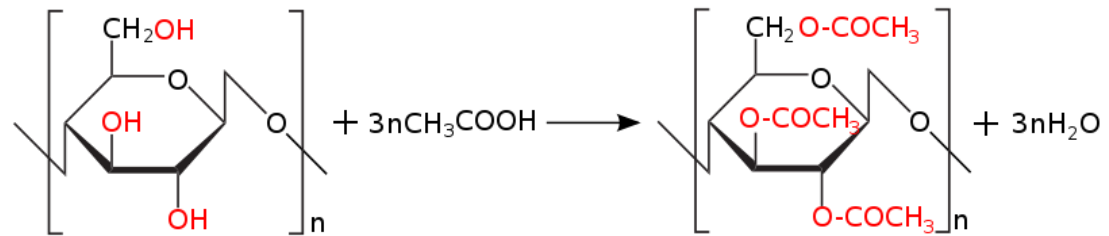
Целюлоза є лінійним гомополімером з сотень або десятків тисяч залишків D-глюкози. Сполучення фрагментів глюкози забезпечується $\beta(1\rightarrow4)$ –глікозидним зв'язком. Такий зв'язок мономірних ланок відрізняє целюлозу від $\alpha(1\rightarrow4)$ -глікозидних зв'язків характерних для інших гомополімерів глюкози: крохмалю і глікогену. На відміну від амілози крохмалю, молекули якої згортаються в спіраль, макромолекула целюлози схильна приймати витягнуту стержневу конформацію.

Реакції целюлози (квітчатки)

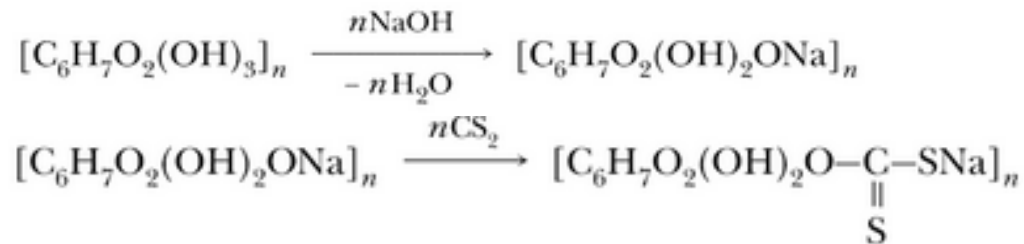
Нітрування



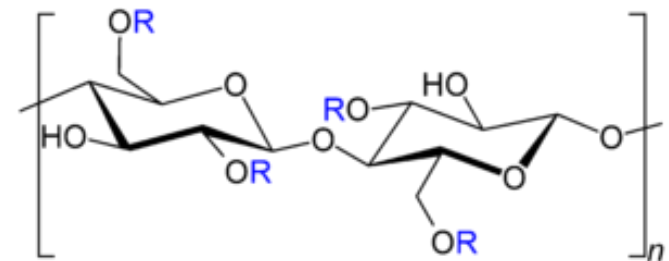
Ацетилювання



Ксантогенат целюлози



Карбоксиметилцелюлоза (Carboxymethyl cellulose, КМЦ, целюлозогліколева кислота) — полімер, продукт подальшої переробки целюлози загального складу $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_{3-x}(\text{OCH}_2\text{COOH})_x]_n$ (де $x = 0,08-1,5$). У молекулі карбоксилметильна група ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) поєднується гідроксильними групами глюкозних мономерів. За своїми властивостями є слабкою кислотою.



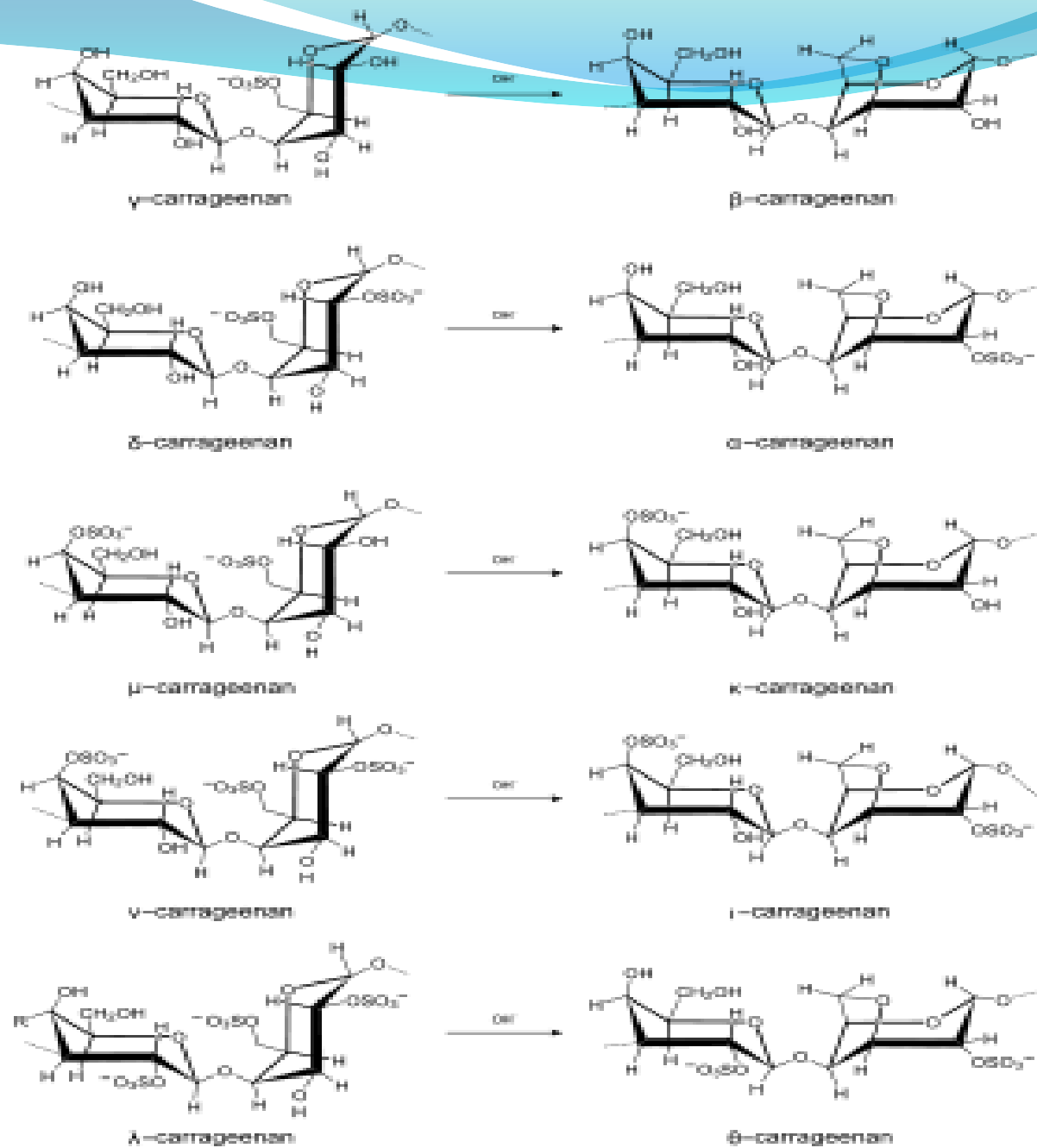
Структурна формула карбоксиметилцелюлози (R — група $-\text{CH}_2-\text{COOH}$)

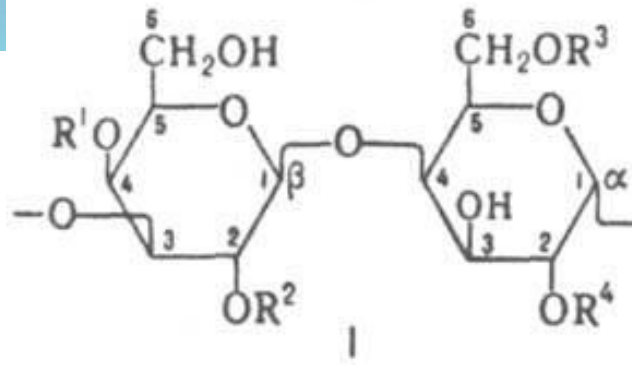
Каррагинан

Каррагинан, карраген - сімейство лінійних сульфатних полісахаридів, що отримуються з **червоних морських водоростей**. Назва дістала від одного з видів таких водоростей, що росте біля берегів Ірландії. Драглисті екстракти з водорості *Chondrus crispus* ("ірландський мох") використовувалися як харчові добавки протягом сотень років.

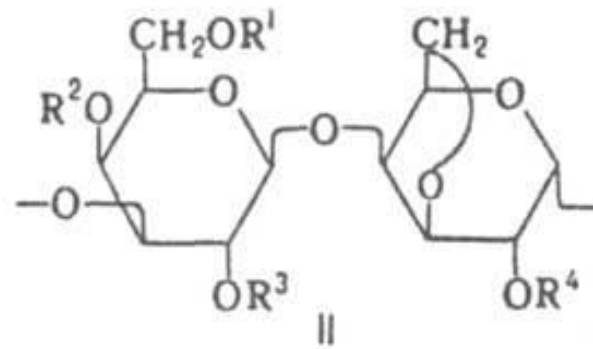
Каррагинан - це природний гелеутворювач, що отримується при переробці червоних морських водоростей методом екстракції з наступним очищенням від органічних і інших домішок, - багатократним осадженням, фільтрацією і промиванням у воді і спирті. Залежно від міри очищення розрізняють рафіновані і напіврафіновані каррагинани. Зареєстрований як **харчова добавка E-407**.

Усе каррагинани - високомолекулярні полісахариди, складені з повторень субодниць **галактози** і **3,6-ангідрогалактози** (3,6 - AG), як сульфованих, так і нессульфованих. Субодиниці сполучені глікозидними зв'язками, що чергуються, альфа- 1-3 і бета- 1-4.

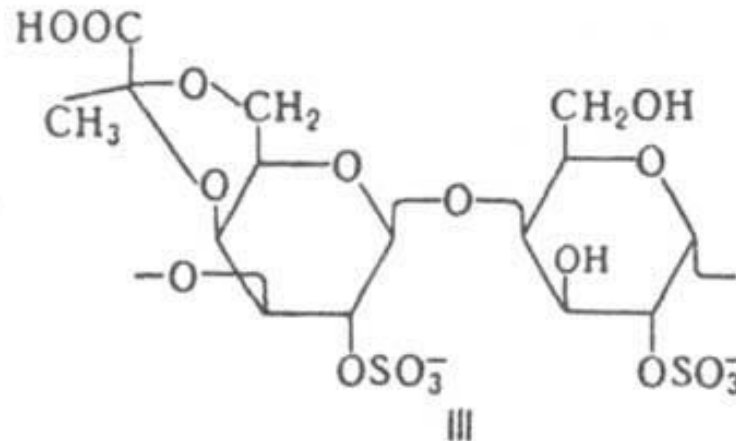




- $R^1=R^2=R^4=H, R^3=SO_3^-$ γ -каррагинан
- $R^1=R^2=H, R^3=R^4=SO_3^-$ δ -каррагинан
- $R^2=R^4=H, R^1=R^3=SO_3^-$ μ -каррагинан
- $R^2=H, R^1=R^3=R^4=SO_3^-$ ν -каррагинан
- $R^1=R^3=H, R^2=R^4=SO_3^-$ ξ -каррагинан
- $R^1=H, R^2=R^3=R^4=SO_3^-$ λ -каррагинан

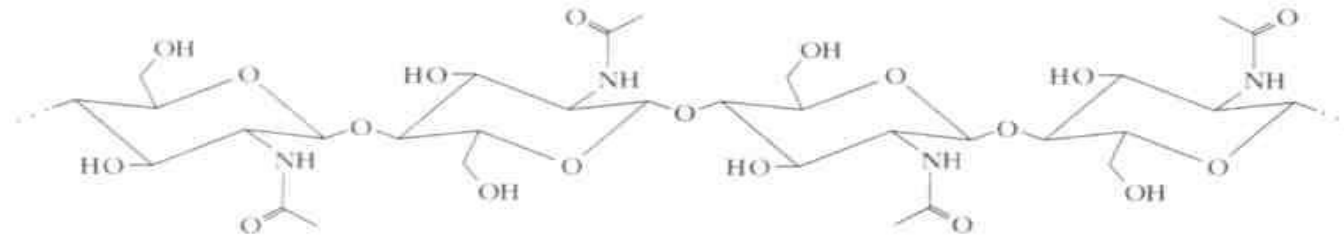


- $R^1=R^2=R^3=R^4=H,$ β -каррагинан
- $R^1=R^2=R^3=H, R^4=SO_3^-$ α -каррагинан
- $R^1=R^3=R^4=H, R^2=SO_3^-$ κ -каррагинан
- $R^2=R^3=R^4=H, R^1=SO_3^-$ ω -каррагинан
- $R^1=R^3=H, R^2=R^4=SO_3^-$ ι -каррагинан
- $R^1=R^2=H, R^3=R^4=SO_3^-$ θ -каррагинан



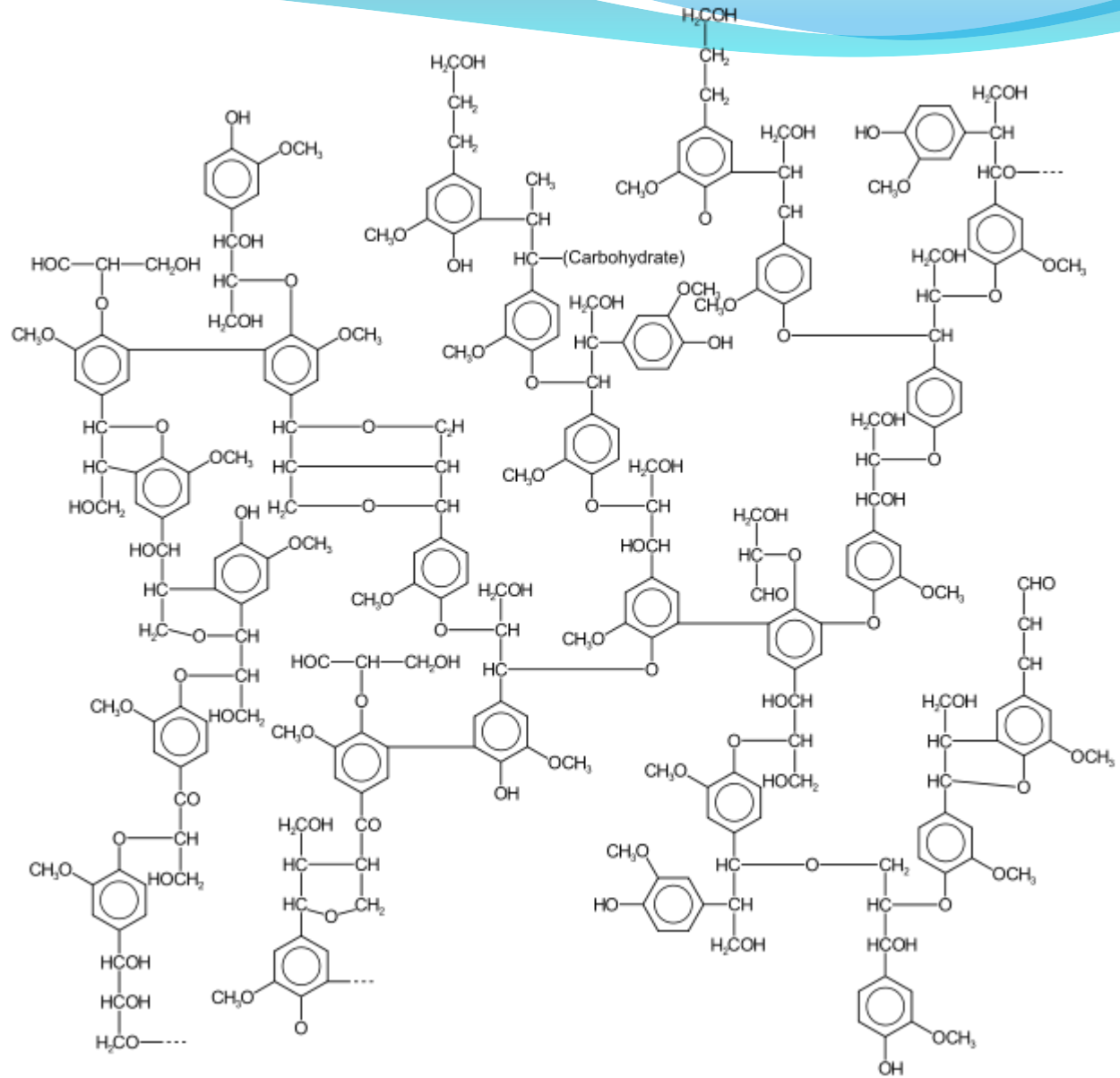
π -каррагинан

Каррагинани

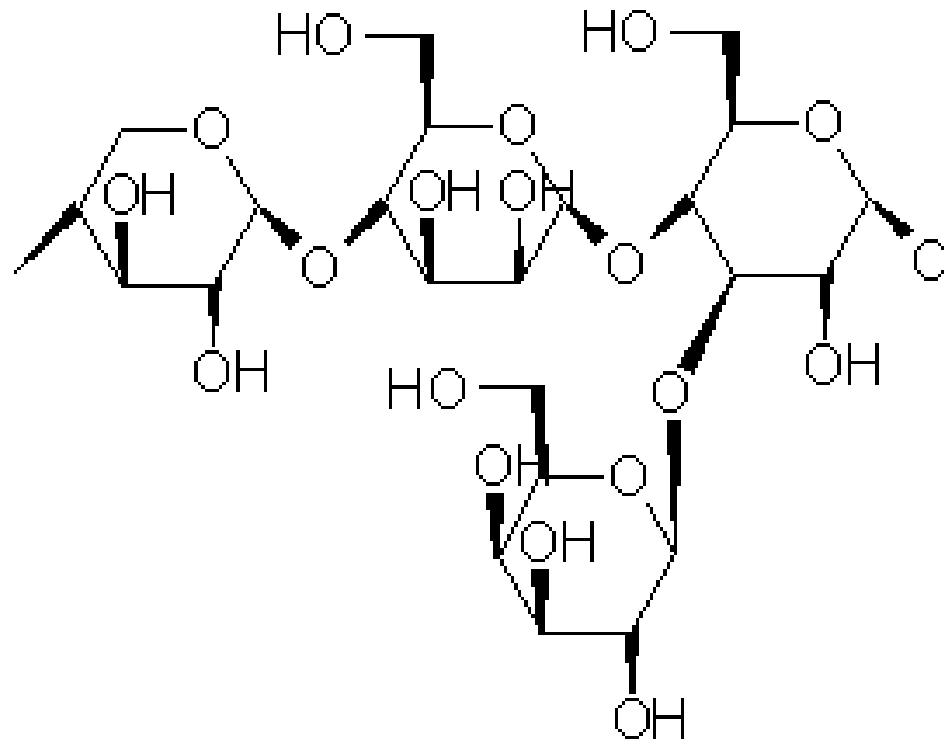


Крила комах і гнучкі внутрішні частини їх скелету побудовані із **хітину**

Лігнін



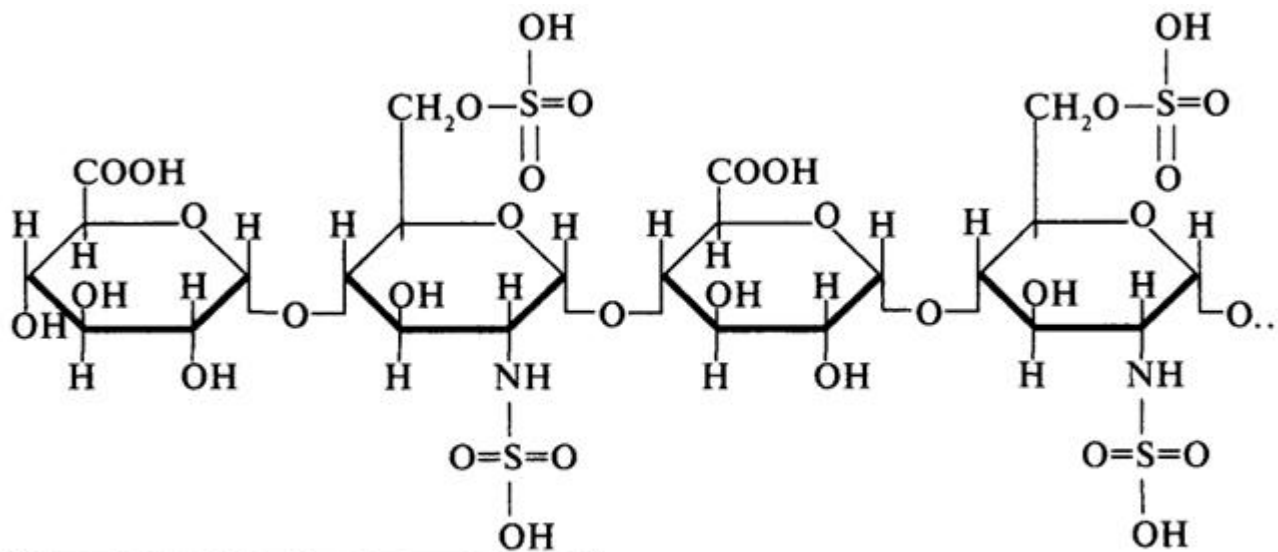
Геміцелюлоза



- Xylose - $\beta(1,4)$ - Mannose - $\beta(1,4)$ - Glucose -
- $\alpha(1,3)$ - Galactose

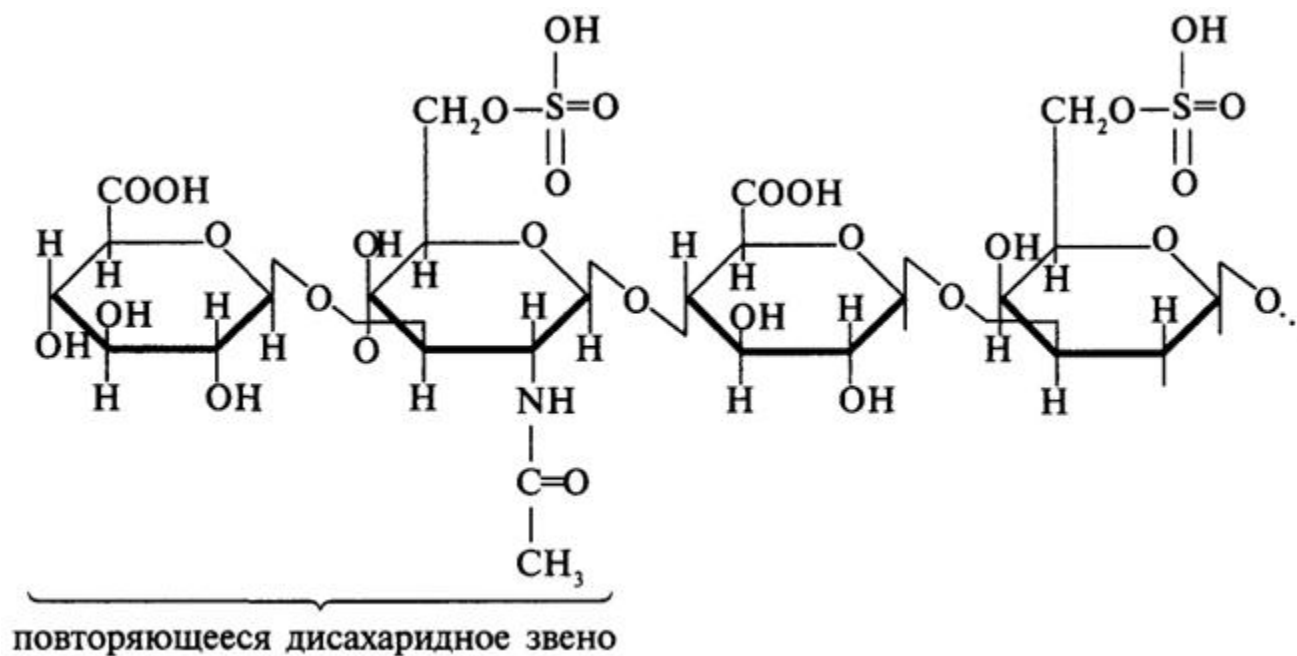
Hemicellulose

Гепарин

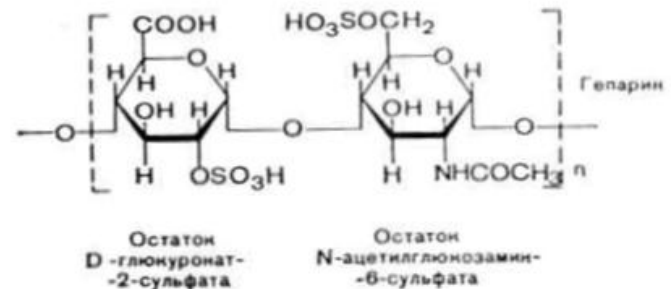
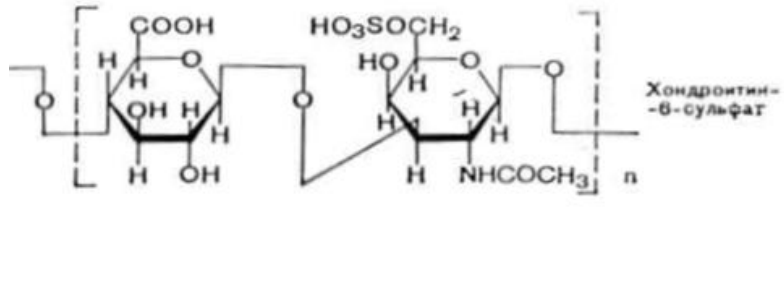
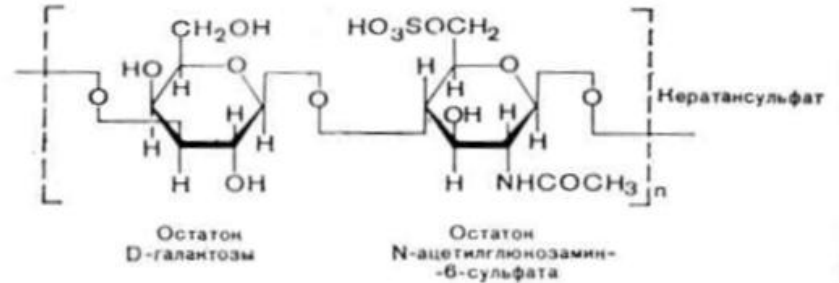
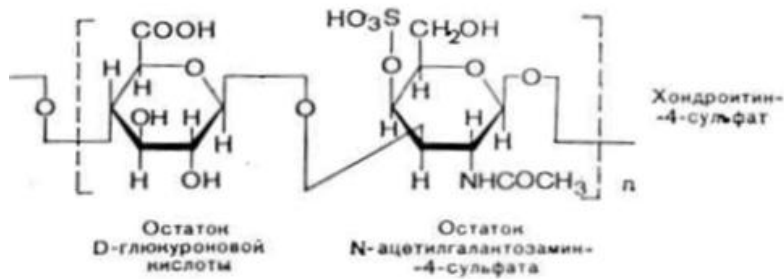
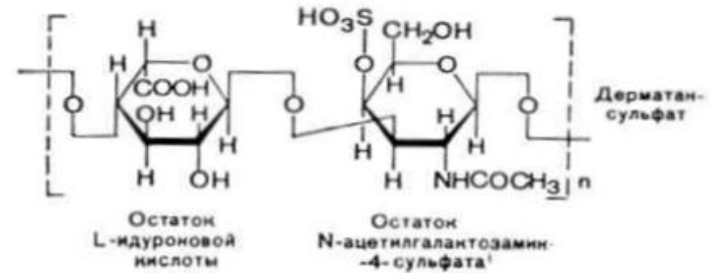
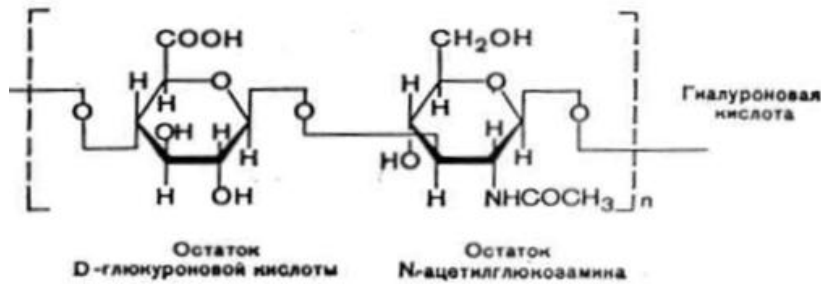


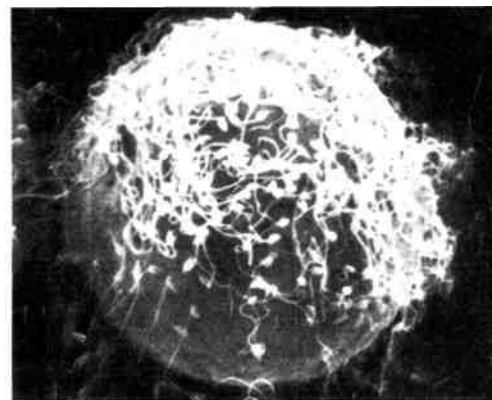
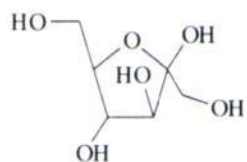
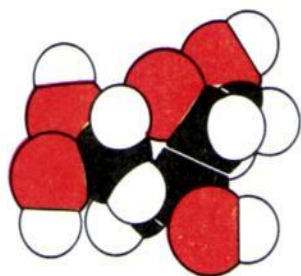
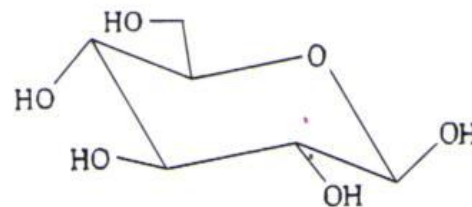
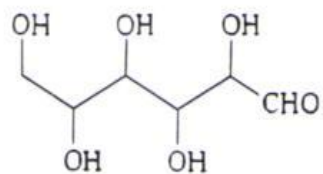
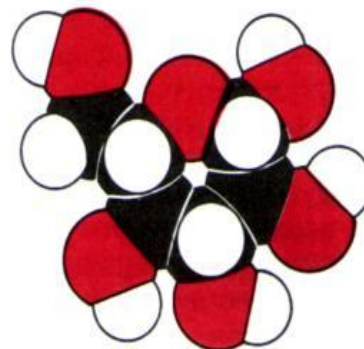
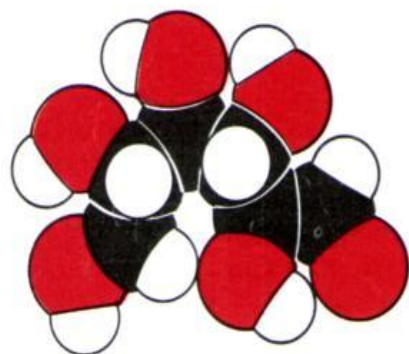
повторяющееся дисахаридное звено

Хондроитин сульфат



Глікозаміноглікани





Сперматозоиды, например изображенные здесь сперматозоиды, окружающие яйцеклетку морского ежа, получают энергию за счет содержащейся в сперме фруктозы.