

Sacharidy

© Biochemický ústav LF MU (E.T.) 2013

Sacharidy (glycidy)

polyhydroxykarbonylové sloučeniny

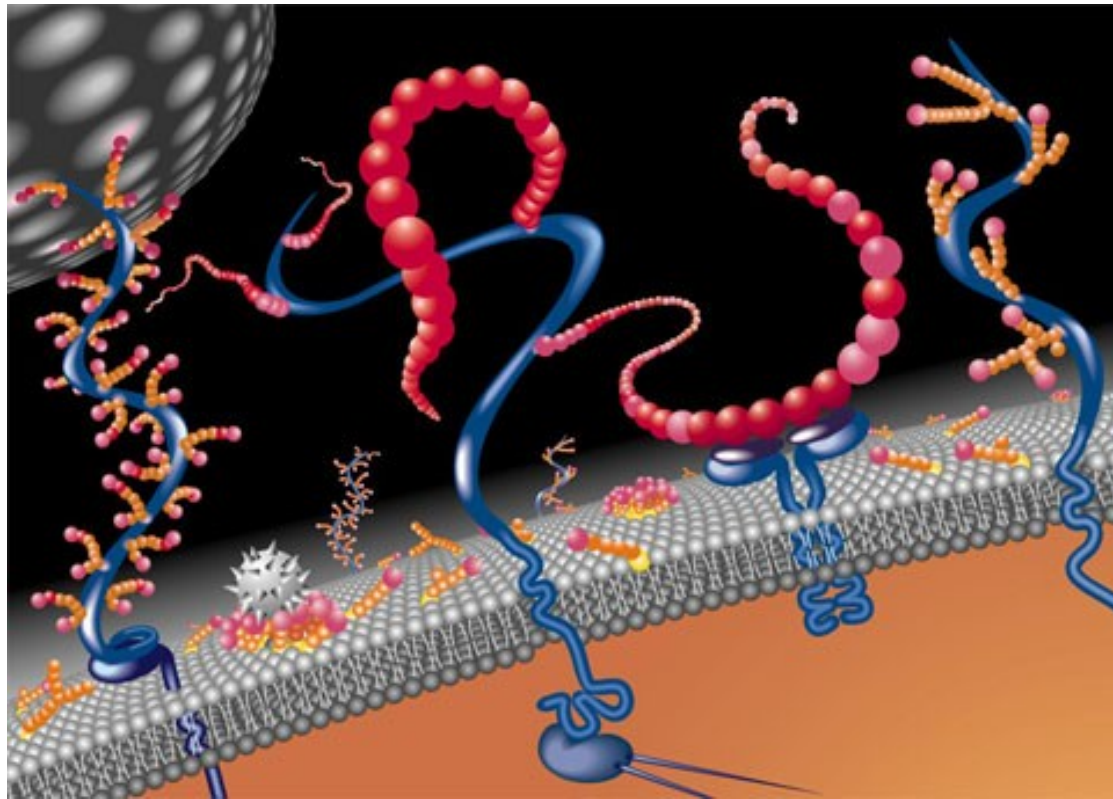
(řecky ζάχαρη -sachari) = cukr

uhlovodany, uhlohydráty, karbohydráty -
nepoužívá se!!

Význam:

- všeobecně rozšířené látky, obsaženy ve všech buňkách
- hlavní živina heterotrofů (60 % potravy člověka) - zdroj energie
- zdroj uhlíku pro syntézu buněčných složek
- zásoba energie v organismu (glykogen)
- strukturní složka (proteoglykany pojiva, glykoproteiny membrán)
- součásti signálních molekul (glykoproteiny jako receptory, antigeny)
- součásti nízkomolekulárních složek buňky (nukleosidy, nukleotidy, kofaktory)
- ribosa a deoxyribosa součásti nukleových kyselin

Glykomika, glykobiologie



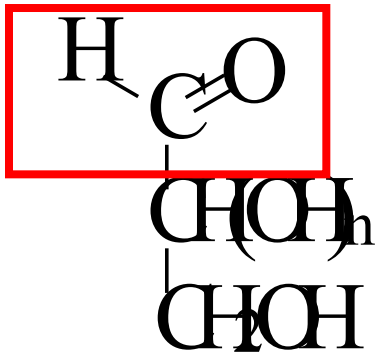
Dělení sacharidů

Monosacharidy	Oligosacharidy	Polysacharidy
	<i>(2-10 mono-)</i>	<i>> 10 mono-</i>

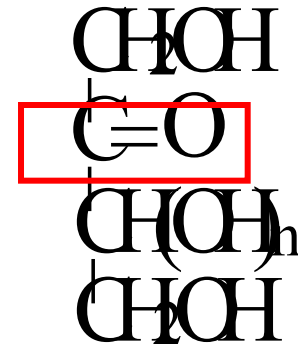
cukr - souborné označení pro monosacharidy a oligosacharidy

Monosacharidy

Aldosy



Ketosy



Triosy

tetrosy

pentosy

hexosy

heptosy

Stereoisomerie a optická aktivita sacharidů

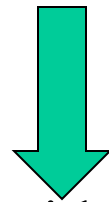
V sacharidech se nachází centra chiralidy - chirální uhlíky ☹️



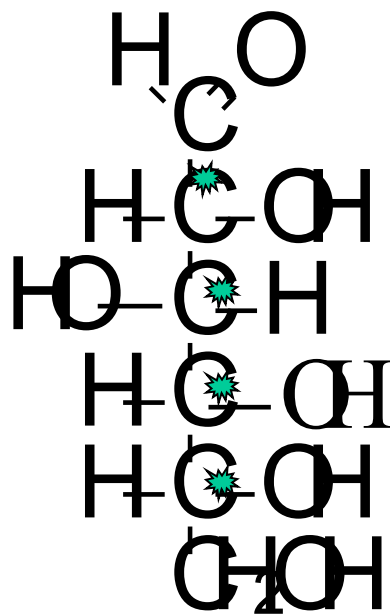
Asymetricky substituované uhlíky



Uhlíky, na něž se váží různé substituenty



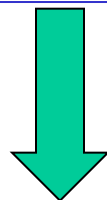
Sacharidy existují ve formě stereoisomerů



D-glukosa

Stereoisomery

Sloučeniny, které mají stejný strukturní vzorec (konstituci), ale liší se prostorovým uspořádáním



konfigurací

Konstituce

X

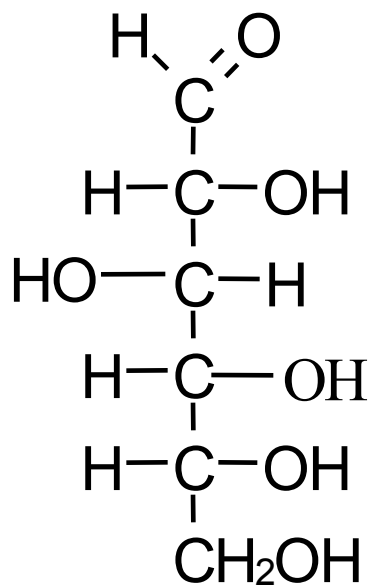
konfigurace

nezaměňujte

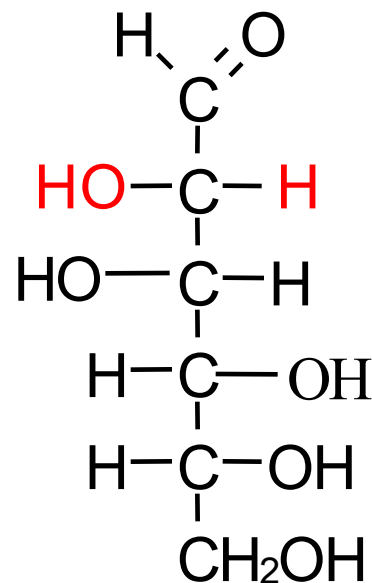
Konstituce popisuje druh a pořadí atomů i vazeb v molekule bez ohledu na jejich prostorové uspořádání.

Konfigurace vyjadřuje prostorové uspořádání atomů bez ohledu na rotaci kolem jednoduchých vazeb.

Stereoisomery



D-glukosa



stereoisomer D-glukosy
(jeden z možných)

Konstituce
je shodná

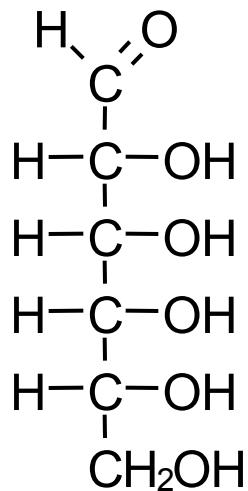
Počet stereoisomerů určité sloučeniny - 2^n

n-počet chirálních center

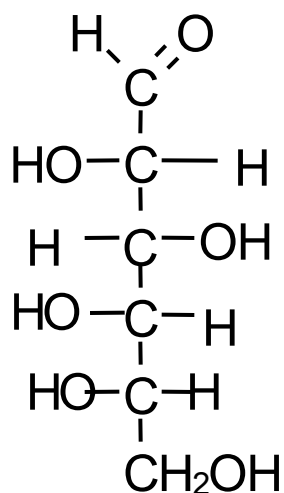
Kolik možných stereoisomerů lze odvodit od D-glukosy ?



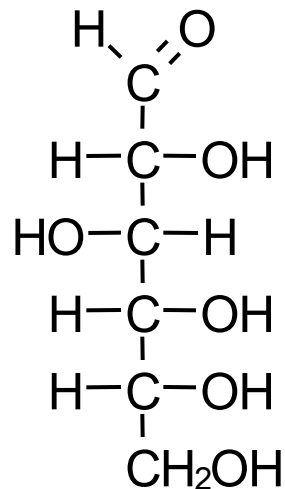
Příklady některých isomerních aldohexos (celkem 16 možných stereoisomerů)



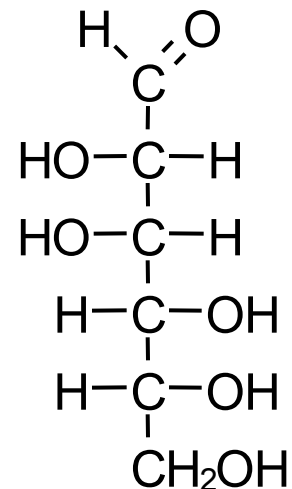
D-allosa



L-glukosa



D-glukosa



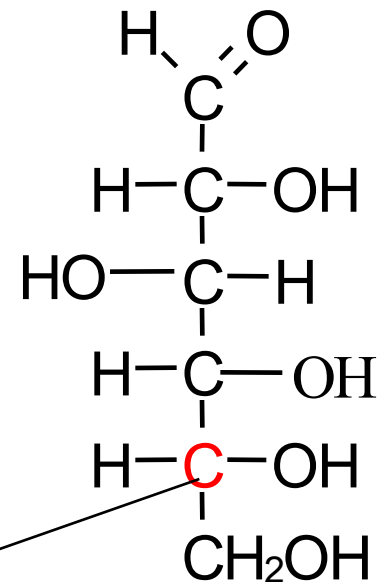
D-mannosa

Každý monosacharid má specifické uspořádání
(konfiguraci) na chirálních centrech.

Všechny uvedené monosacharidy mají stejnou
konstituci, avšak liší se **konfigurací**

Označování konfigurace monosacharidů pomocí symbolů D-a L-

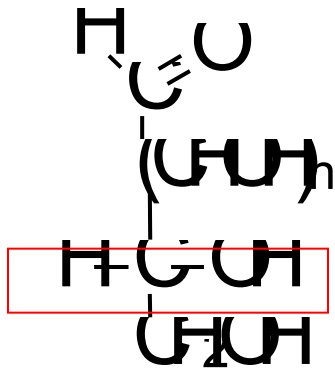
Podle pozice OH a H na chirálním uhlíku s nejvyšším pořadovým číslem (= konfigurační atom)



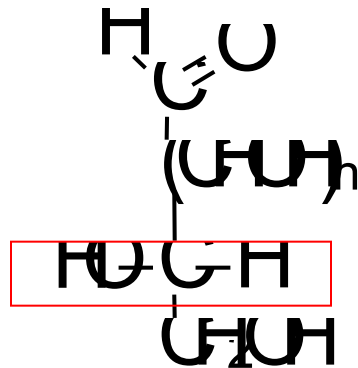
D - cukry: na konfiguračním atomu leží –OH vpravo

L- cukry: na konfiguračním atomu leží –OH vlevo

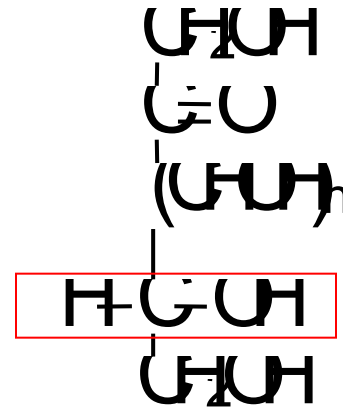
Obecné vzorce aldosa a ketosa



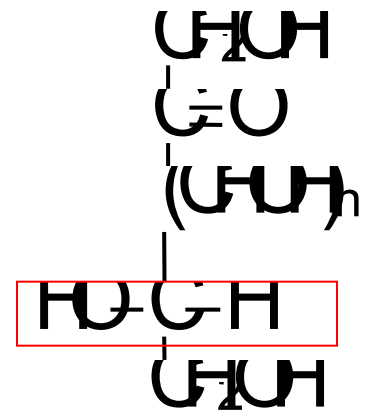
Daldosa



Laldosa



Dketosa



Lketosa

z označení D-, L- **nelze vyvodit** konfiguraci na ostatních chirálních centrech

(tu si musíme pro významnější monosacharidy pamatovat)

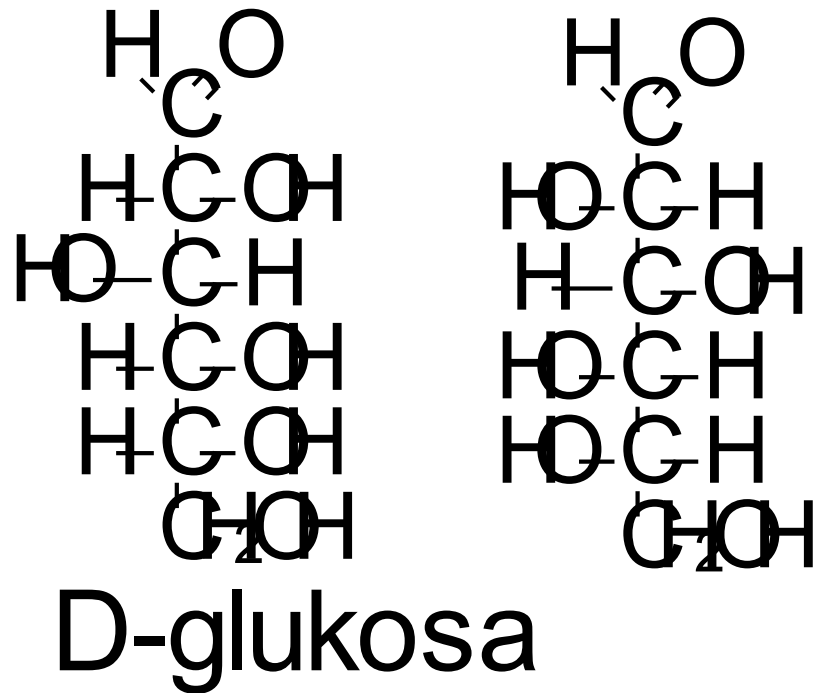


Přítomnost chirálních uhlíků způsobuje optickou aktivitu sacharidů

- roztoky mono- a oligosacharidů stáčí rovinu polarizovaného světla
- směr optické otáčivosti nesouvisí se symboly D- a L- , sloučenina může být D(-), D(+), L(-) nebo L(+)



Každý monosacharid* existuje ve dvou optických isomerech (antipodech, enantiomerech)



!!!!!! na všech chirálních uhlících je opačná konfigurace

*stejně jako i ostatní chirální sloučeniny)

Optické antipody (enantiomery)

specifická dvojice stereoisomerů s opačnou konfigurací na všech chirálních centrech

vztah jako předmět a jeho obraz v zrcadle



Enantiomery

- mají shodné chemické vlastnosti
- liší se znaménkem optické otáčivosti
- liší se biologickou a farmakologickou aktivitou

Většina monosacharidů vyskytujících se u vyšších organismů má konfiguraci D.

Enzymy zodpovědné za jejich metabolismus jsou specificky zaměřeny na tuto konfiguraci

D- a L-glukosa

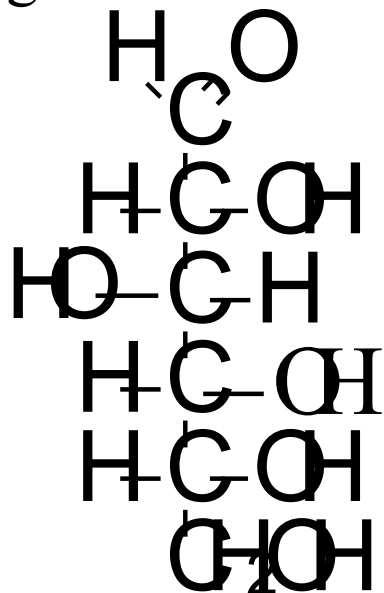
D-glukosa

- nejběžnější monosacharid u vyšších organismů
- sladká chuť
- je metabolizován

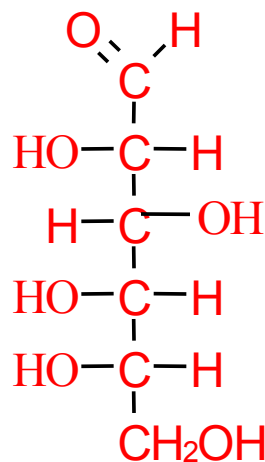
L-glukosa

- u vyšších organismů nevzniká
- vyrábí se synteticky
- u vyšších organismů se neresorbuje ani nemetabolizuje
- sladká chuť
- byla navržena jako efektivní nízkokalorické sladidlo, avšak výrobní cena příliš vysoká

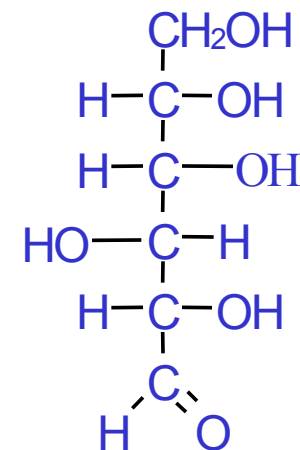
D-glukosa



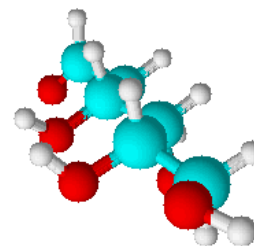
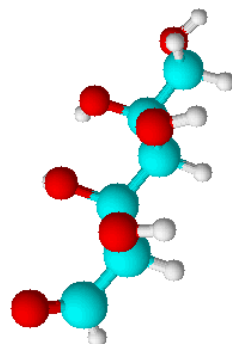
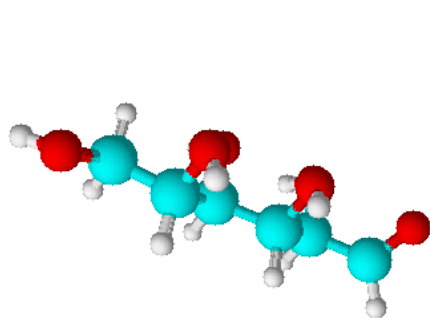
D-glukosa ??



D-glukosa ?



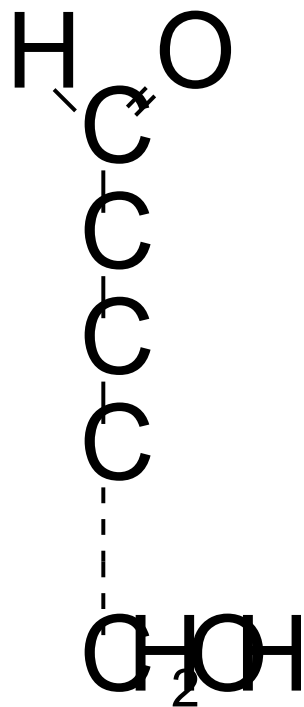
Jak poznáme, zda se jedná o D-glukosu ?



**Strukturu monosacharidu musíme
pozorovat a zakreslovat podle
určitých dohodnutých pravidel**

Fischerovy projekční vzorce – pravidla pro určení konfigurace

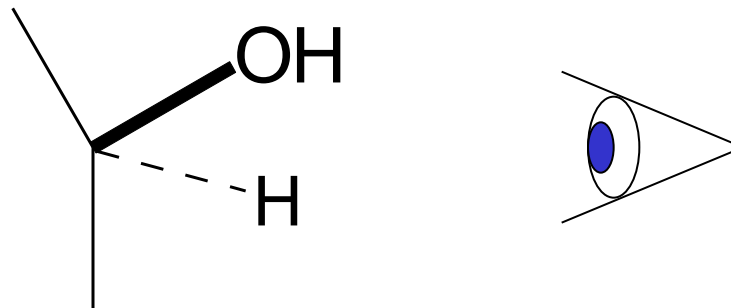
1. uhlíkatý řetězec HOC-C.....-CH₂OH směřuje vertikálně
2. aldehydová skupina nahoře, hydroxymethyl dole



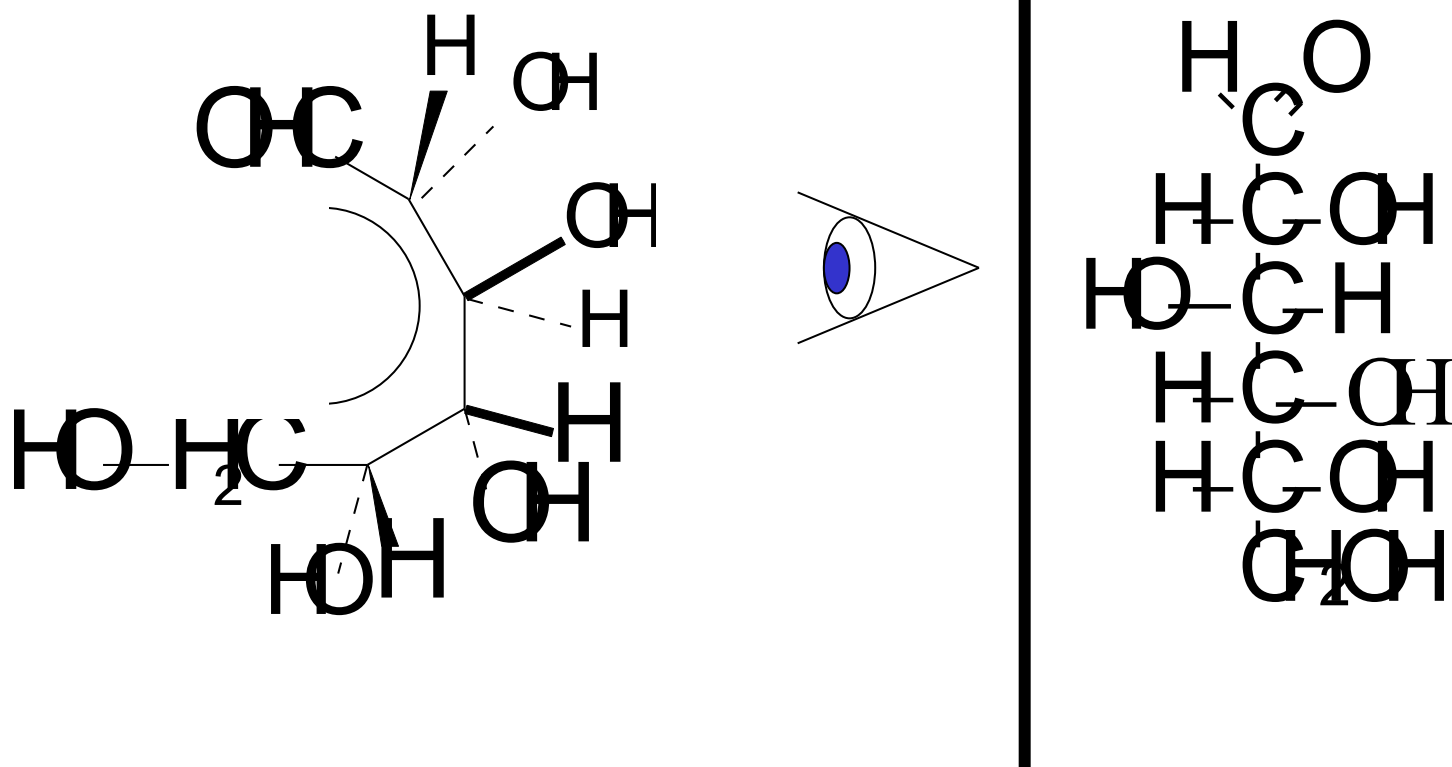
3. posuzujeme konfiguraci na každém chirálním uhlíku zvlášť

4. obě vazby tohoto řetězce směřují od pozorovatele

5. C-H a C-OH vazby směřují horizontálně a směrem k pozorovateli

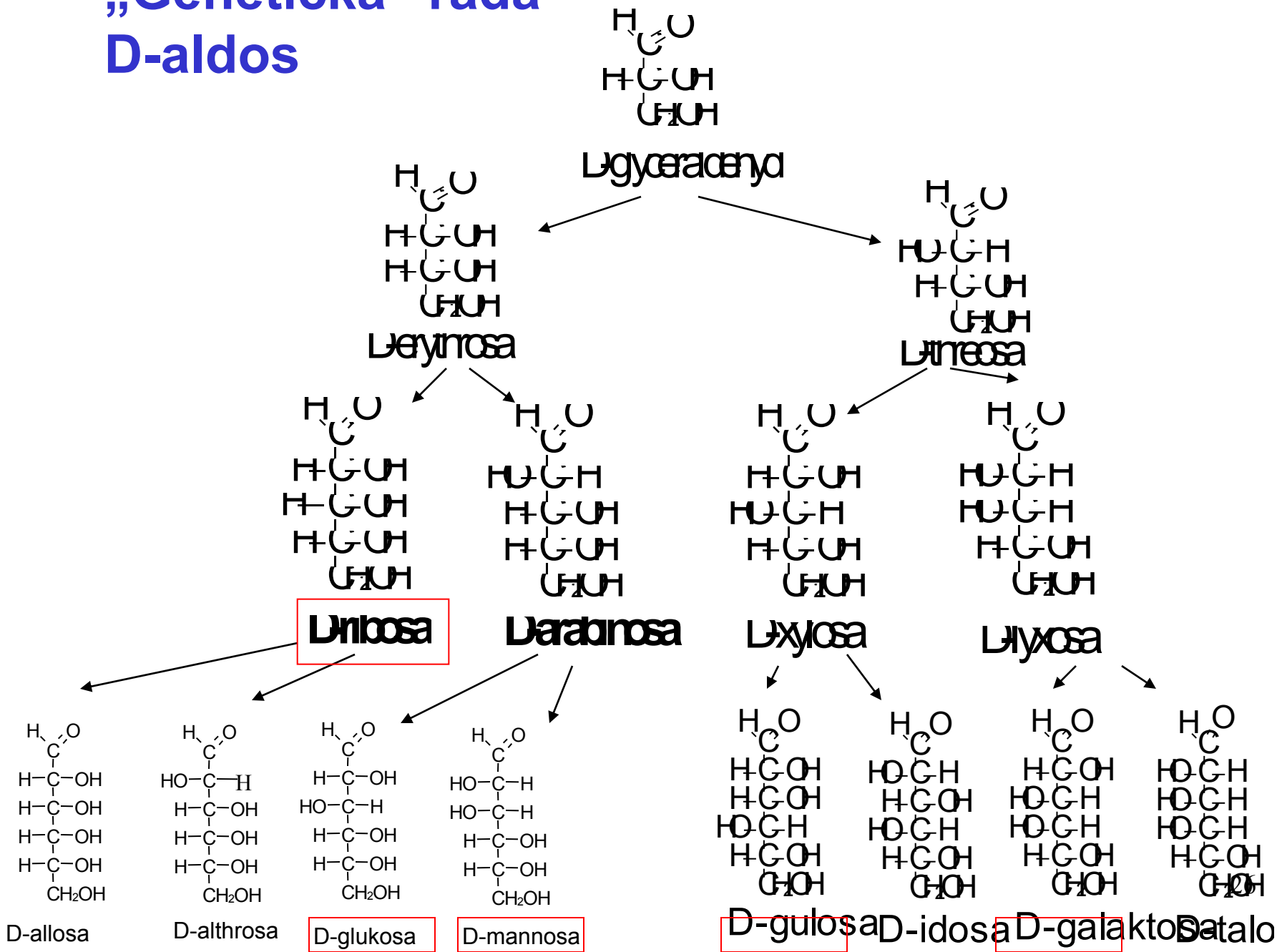


pak OH skupiny, které pozorujeme vlevo, zakreslíme ve vzorci vlevo a naopak



Bude procvičeno v praktickém cvičení na modelech

„Genetická“ řada D-aldos



Názvosloví

Triviální

D-glukosa

D-fruktosa

Odvozeny z řečtiny nebo z latiny, odkazují na původ nebo vlastnost

Arabinosa – vyskytuje se v arabské gumě

Glukosa – řecky glykos, glykeros = sladký

Gulosa – obměna názvu glukosa

Mannosa – manna (biblický pokrm židů na poušti)

Systematické

(složité, nepoužívá se)

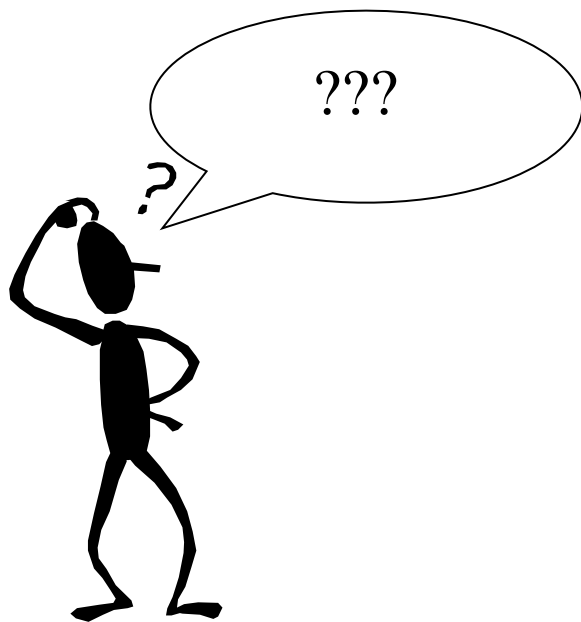
Glukosa



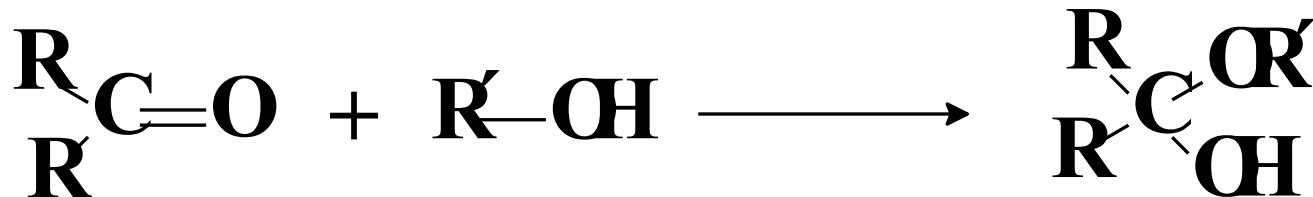
6-(hydroxymethyl)oxan-
2,3,4,5-tetrol

Cyklické formy monosacharidů

Tvorba cyklických vnitřních poloacetalů v roztocích:



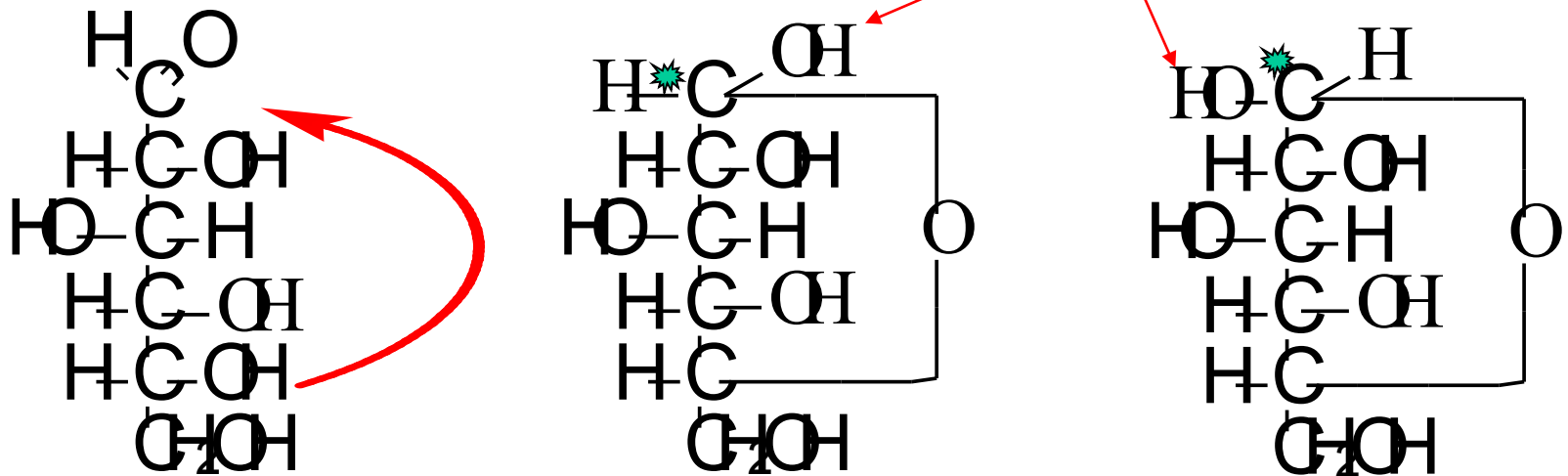
Poloacetaly vznikají reakcí
karbonylové skupiny aldehydů
nebo ketonů s alkoholovou
skupinou



Vnitřní poloacetal:

-OH i -C=O pochází z téže molekuly

$=O \rightarrow \boxed{OH} \dots \dots \text{poloacetalový hydroxyl}$



Cyklizace:

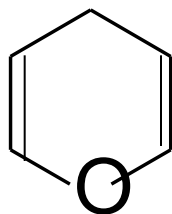
C1 se stává chirálním atomem

\Rightarrow dva nové stereoisomery – **anomery** (α a β)

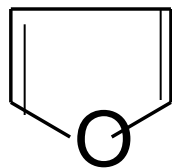
Názvy cyklických forem zahrnují vyjádření typu cyklické struktury a formu anomeru

Kruhy: šestičlenné
pětičlenné

pyranosy
furanosy



pyran

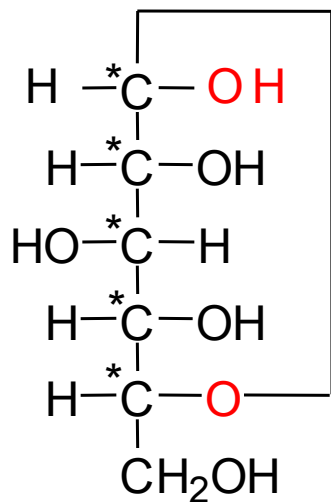


Anomery

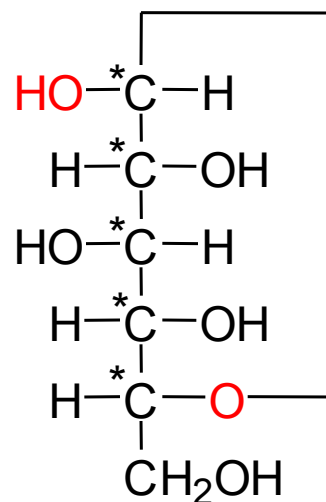
α - anomer – konfigurace na anomerním uhlíku stejná jako na konfiguračním uhlíku

(u D-forem OH na C1 vpravo)

β - anomer – konfigurace na anomerním uhlíku opačná než na konfiguračním uhlíku



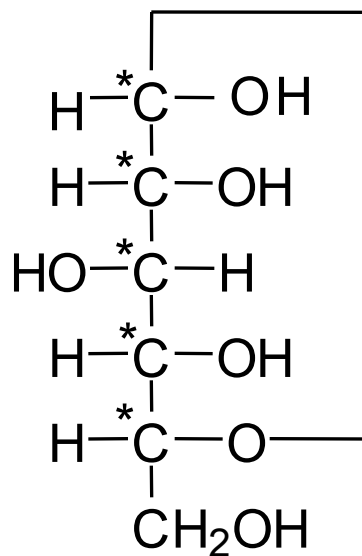
α



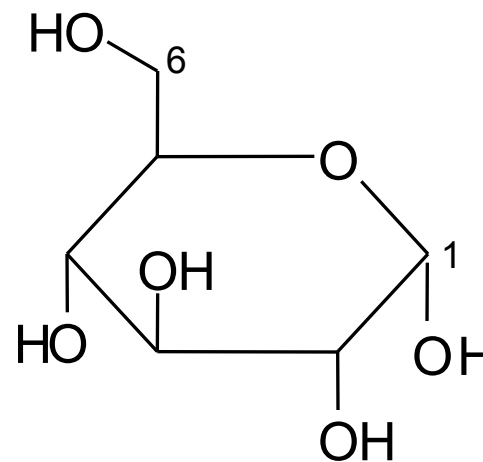
β

Haworthovy projekční vzorce:

α -D-glukopyranosa



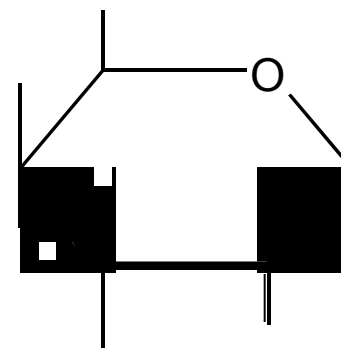
Fischerova projekce



Haworthova projekce

Pravidla pro kreslení Haworthových vzorců

(zjednodušeně)



- Heterocyklus znázorněn pěti- nebo šestiúhelníkem ležícím kolmo na rovinu papíru

- Anomerní uhlík je umístěn vpravo



- Heteroatom kyslíku vzadu



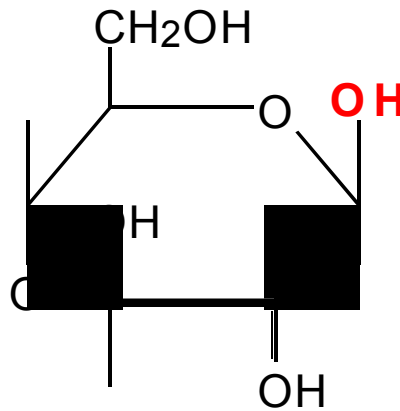
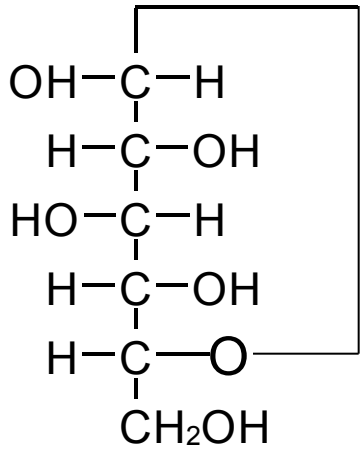
- Směr číslování shodný s rotací hodinových ručiček

1 2 3

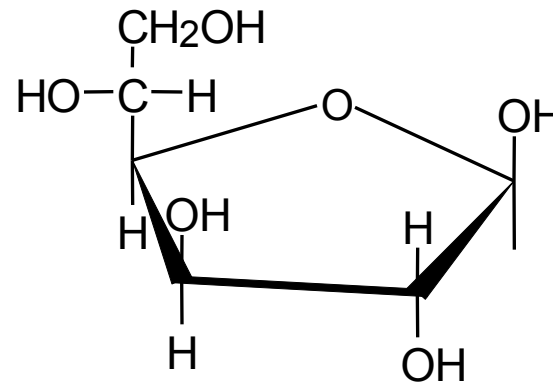
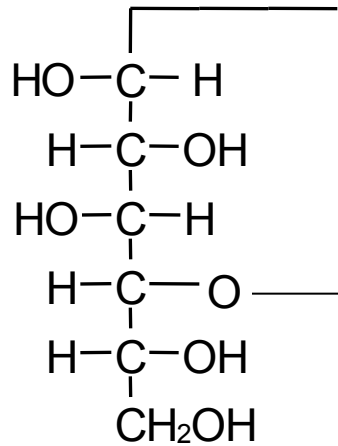
- Vazby, které jsou ve Fischerově projekci vlevo, směřují nad rovinu kruhu, vazby, které jsou vpravo směřují pod rovinu

- skupina CH_2OH je u D-cukrů vždy nahoře

Další možné cyklické formy glukosy



β - D-glukopyranosa



β -D-glukofuranosa

Vodný roztok D-glukosy za rovnováhy

≈ 36 % α - D-glukopyranosy

62 % β - D-glukopyranosy

< 0,5 % α - D-glukofuranosy

< 0,5 % β - D-glukofuranosy

< 0,02 % aldehydové formy

převažují cyklické
formy

Krystalizace z methanolu :

z octové kyseliny

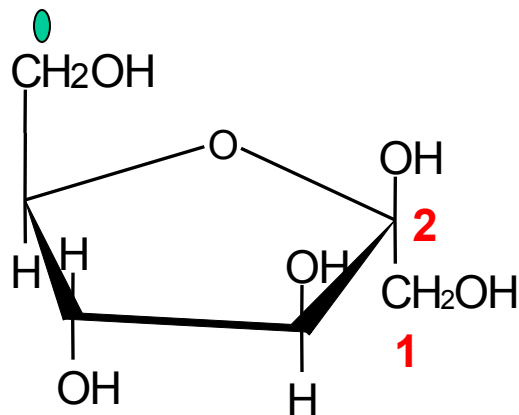
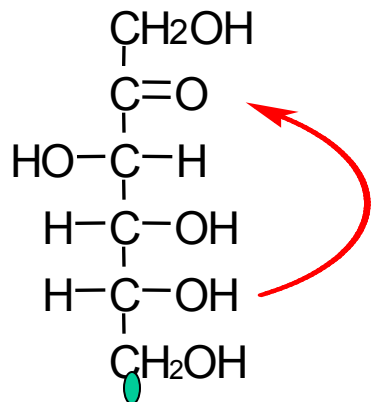
z vody

α - D-glukopyranosa

β - D-glukopyranosa

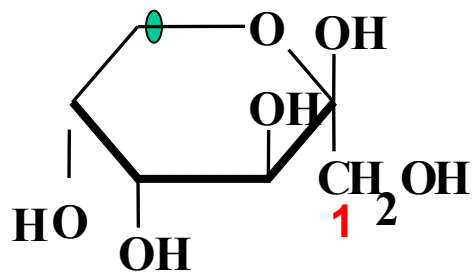
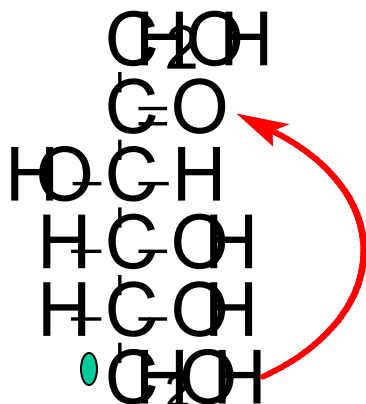
monohydrát D-glukosy

Cyklické formy fruktosy



β -D-fruktofuranosa

D-fruktosa

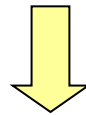


β -D-fruktopyranosa



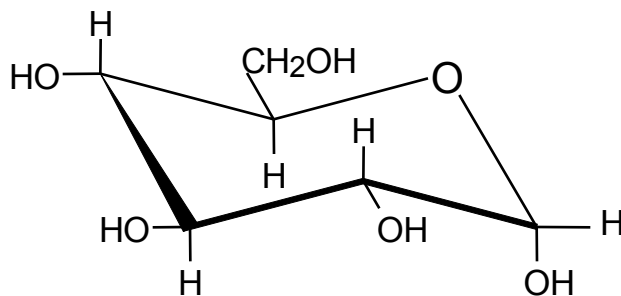
α - a β - formy (anomery) = diastereomery

(ne enantiomery !)

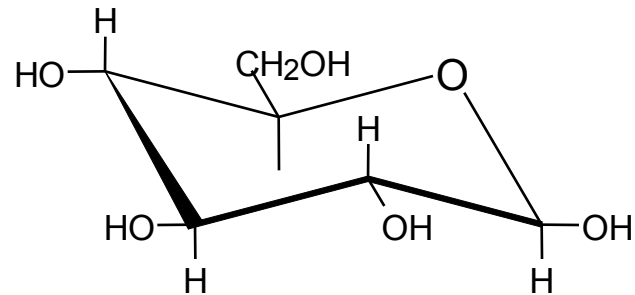


(odlišné fyzikální vlastnosti)

Konformace pyranos



α -D-glukopyranosa



β -D-glukopyranosa

převažuje stabilnější židličková konformace cyklohexanu s OH skupinami ve výhodnějších ekvatoriálních polohách

Rozlišujte!!!!

Optické antipody (enantiomery): D- a L-forma téhož monosacharidu, liší se konfigurací na všech centrech

Diastereomery – stereoisomery, které nejsou ve vztahu optických antipodů

Epimery – diastereomery lišící se konfigurací na jediném chirálním C

Anomery - cyklické formy určitého monosacharidu lišící se pouze konfigurací na anomerním uhlíku, jsou diastereomery

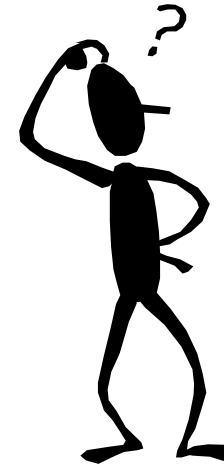
Stereochemické vztahy mezi sacharidy (příklady)

sacharidy	vztah
D-glukosa x L-glukosa	
D-glukosa x 14 aldohexos (kromě L-glukosy)	
D-glukosa x D-galaktosa	
α -D-glukopyranosa x β -D-glukopyranosa	

Vybírejte z možností: epimer, diastereomer, anomer, enantiomer

Typické vlastnosti monosacharidů

- polární
- dobře rozpustné ve vodě
- neelektrolyty
- sladké



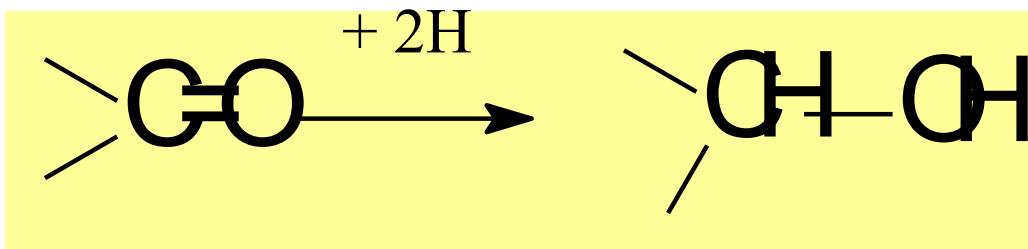
Proč jsou monosacharidy rozpustné ve vodě?

Proč jsou neelektrolyty?

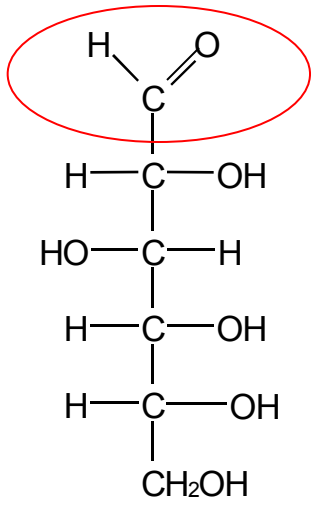
Reakce monosacharidů

• Redukce

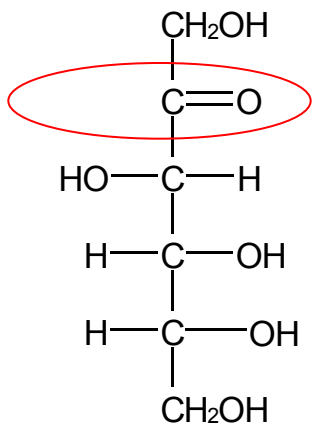
Nejčastěji redukce karbonylové skupiny



• Redukce →

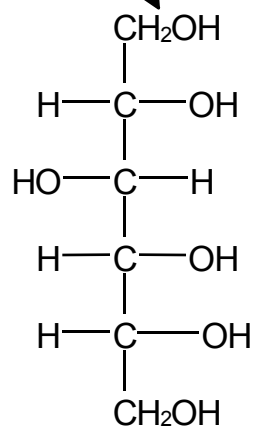


D-glukosa

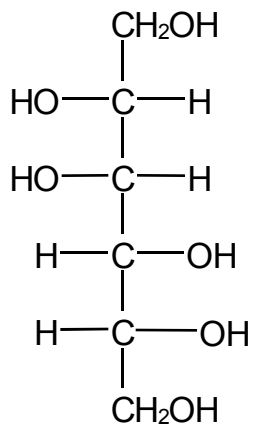


D-fruktosa

+2H



D-glucitol



D-mannitol

Redukcí fruktosy vznikají dva alkoholy

cukerné alkoholy (alditoly)

Glucitol (sorbitol), xylitol, mannitol, galaktitol

- umělá sladidla
- mají nižší energetickou hodnotu než sacharosa, ale stejný objem (tzv. „objemná sladidla“)

Sladká chuť – specifická reakce s chuťovými receptory (3 receptory pro sladké sloučeniny)

Jiná sladidla

- acesulfam K., aspartam, cyklamáty, sacharin, thaumatin, neohesperidin DC

Jsou to tzv. „intenzivní sladidla“ (vysoká sladivost, nulová energetická hodnota, používají se v nepatrných množstvích)

Relativní sladivost vztažená k sacharose

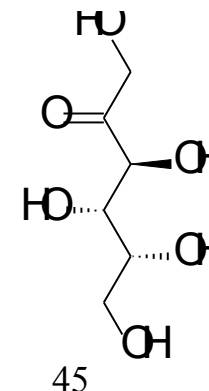
Sacharidy		Syntetická sladidla	
Sacharosa	1,0	D-Tagatosa ^a	0,95
Glukosa	0,5	Glucitol	0,5
Fruktosa	1,5	Aspartam ^b	180
Laktosa	0,3	Sacharin ^c	550
		Neotam ^d	8000

^a výskyt v přírodě, vyráběna polosynteticky z galaktosy

^b Aspartylfenylalanin-methylester (dipeptid)

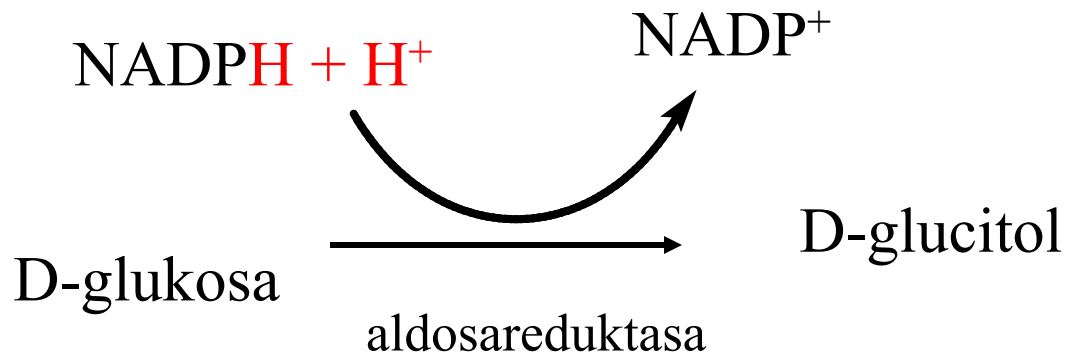
^c Imid 2-sulfobenzoové kyseliny

^d N-(3,3-dimethylbutyl)aspartylfenylalanin-methylester (dipeptid)



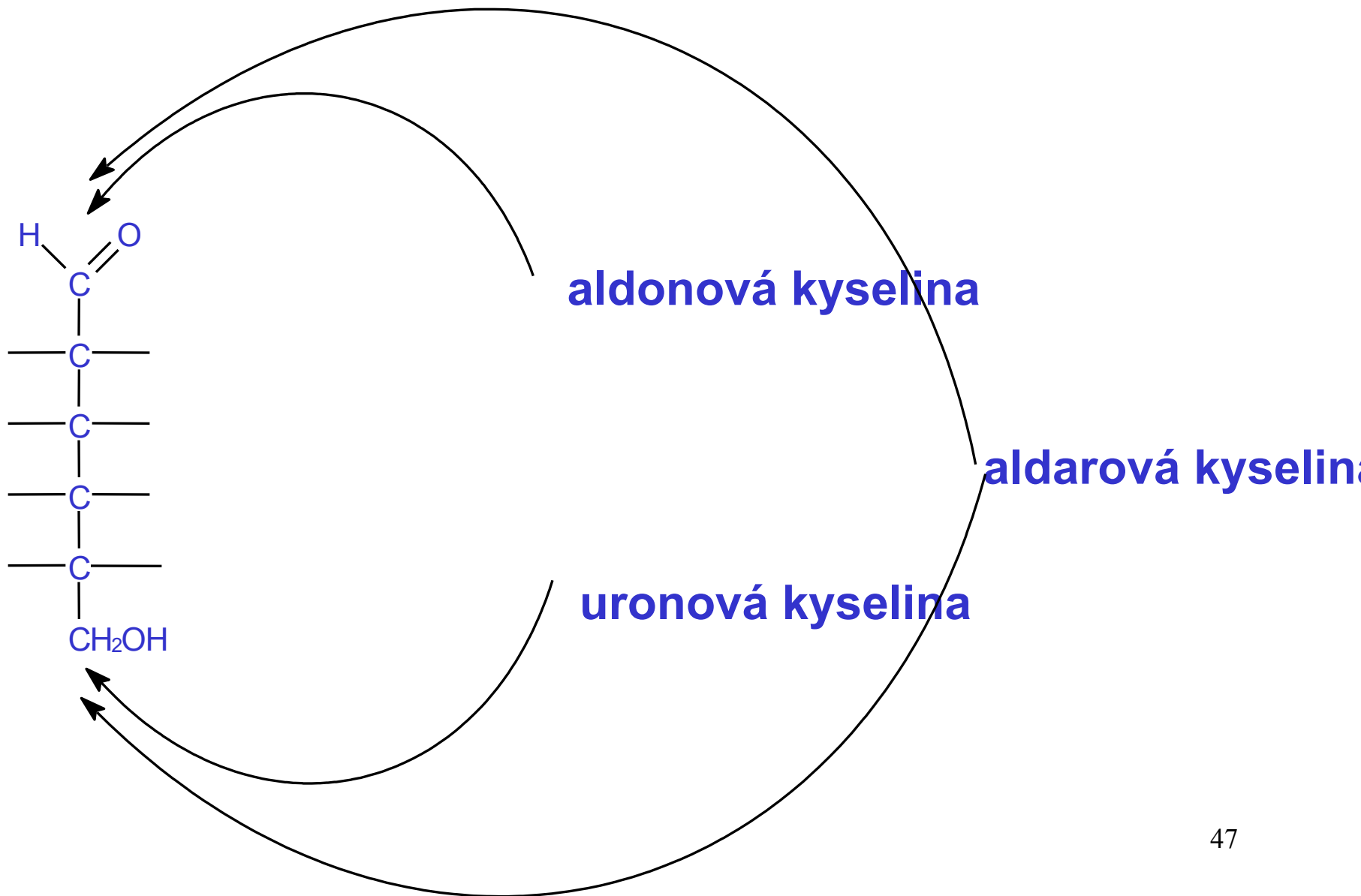
Polyolová metabolická dráha

- přeměna glukosy na glucitol v některých buňkách

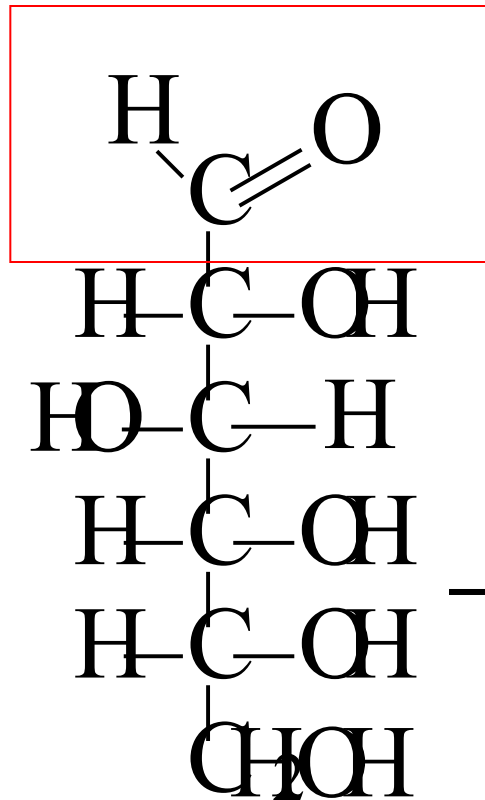


Při vysoké hladině glukosy v krvi proniká do některých buněk více glukosy a vzniká i větší množství D-glucitolu. Ten nemůže přecházet zpět a hromadí se (retina, čočka, nervová b.) Zvýšený osmotický tlak vyvolává poruchy buněk (diabetická katarakta, retinopatie, neuropatie)

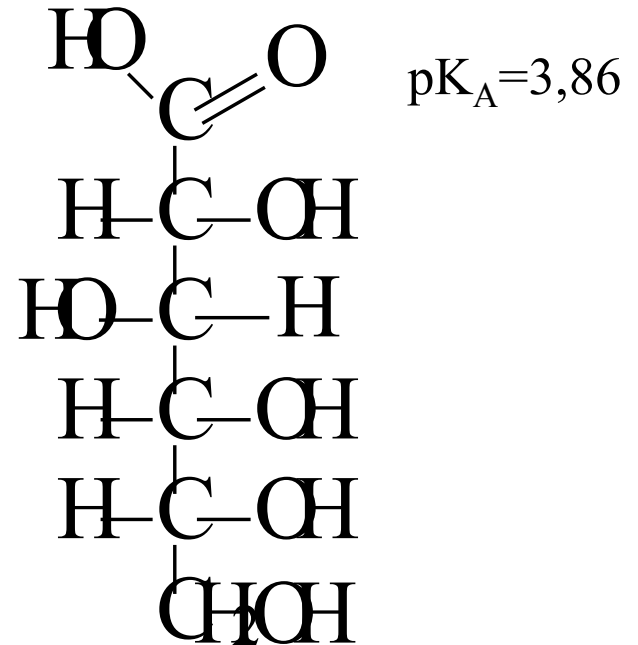
Oxidace monosacharidů



Tvorba glukonové kyseliny



$1/2 \text{O}_2$



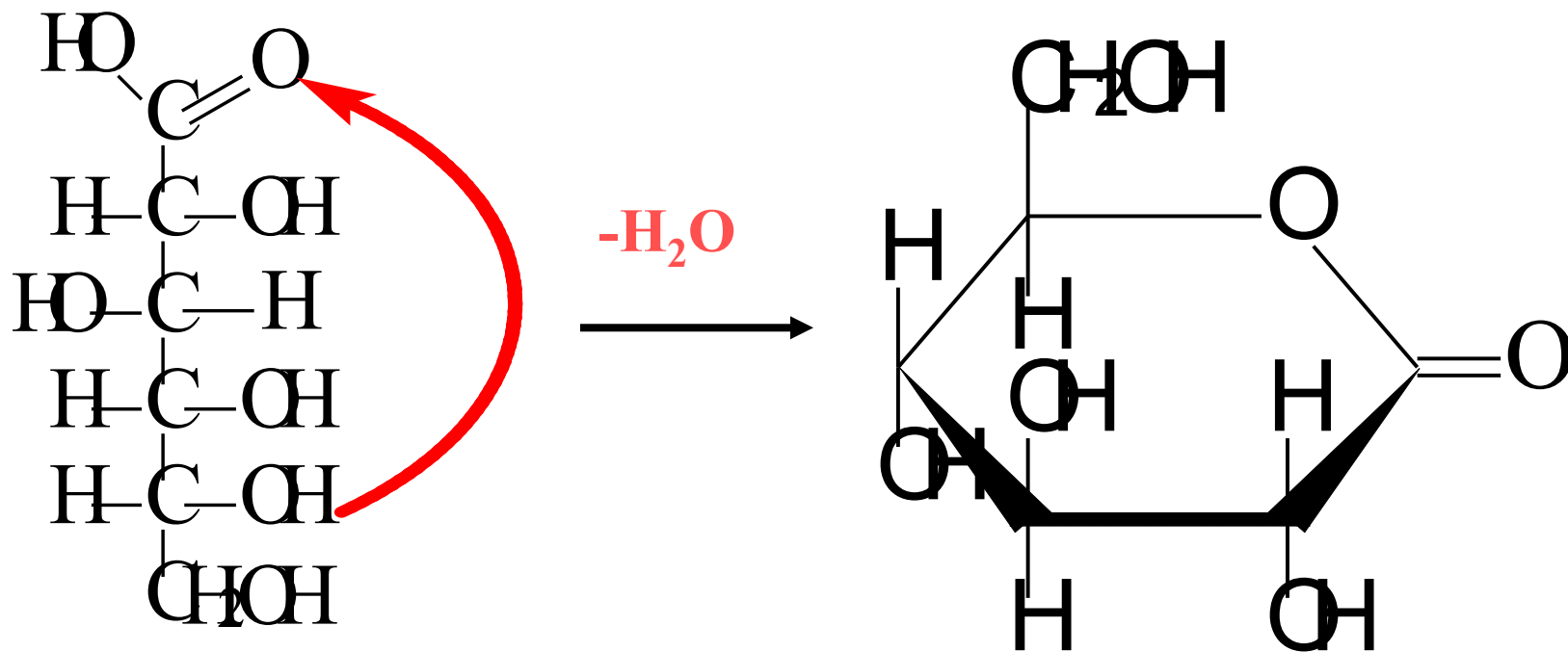
D-glukonová kyselina

U acyklické formy glukosy probíhá jako **oxygenace** (váže se O)

Barvivo E 579- (Glukonát železnatý)

Ferrlecit – ferri-natrii glukonas - antianemikum

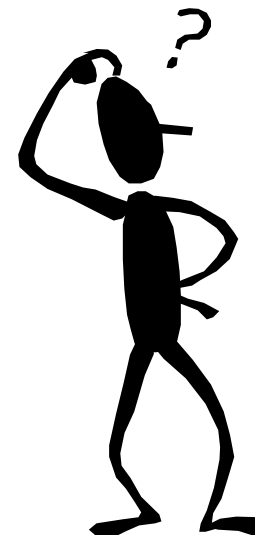
Tvorba laktonu z acyklické formy glukonové kyseliny – probíhá ve vodném roztoku glukonové kyseliny



Laktony jsou „intramolekulární estery“

vznikají reakcí mezi karboxylovou a alkoholovou skupinou v rámci jedné molekuly, odštěpuje se molekula vody

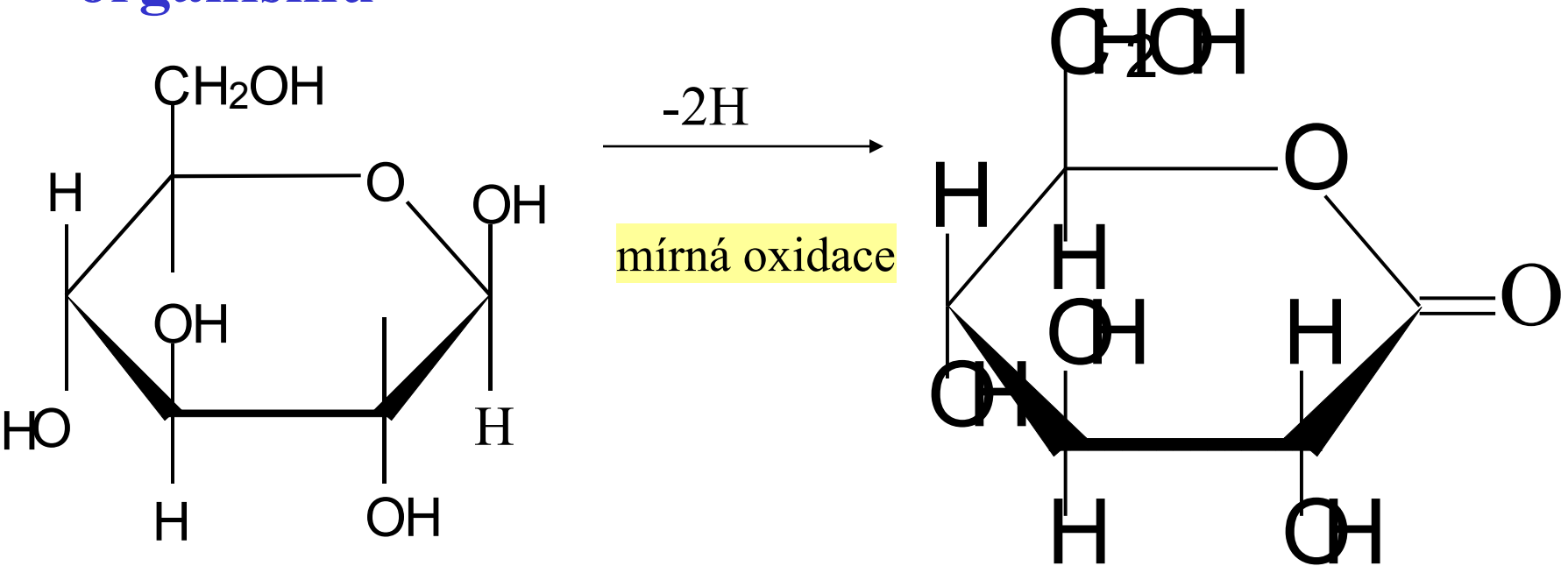
Lakton x poloacetal



Srovnejte :

- tvorba poloacetalu: adice, voda se neodštěpuje
- tvorba laktonu: kondenzace, odštěpuje se voda

Glukonolakton vzniká též oxidací cyklické formy glukosy (probíhá jako **dehydrogenace**) – probíhá v organismu



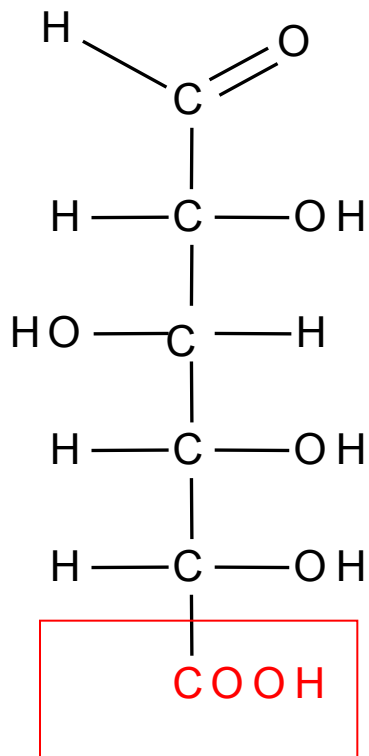
D-glukopyranosa

D-glukono-1,5-lakton

V organismu probíhá působením enzymu glukosa-6P-dehydrogenasy na glukosa-6-fosfát. Reakce se uplatňuje v pentosovém cyklu a je jedním z hlavních zdrojů redukované formy NADP^+ .

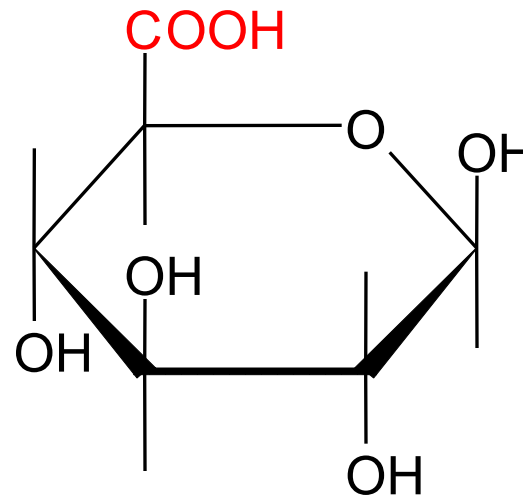
Uronové kyseliny

Dvojnásobná oxidace na uhlíku č.6 $-\text{CH}_2\text{OH} \rightarrow \dots \rightarrow -\text{COOH}$



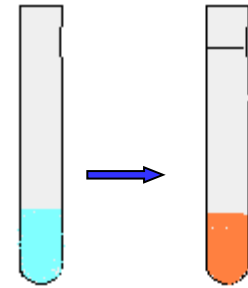
V organismu vzniká oxidací
cyklické formy glukosy

(poloacetalová skupina je
zachována)



D-glukuronová kyselina

„Redukující cukry“



snadná oxidace aldehydové nebo poloacetalové skupiny

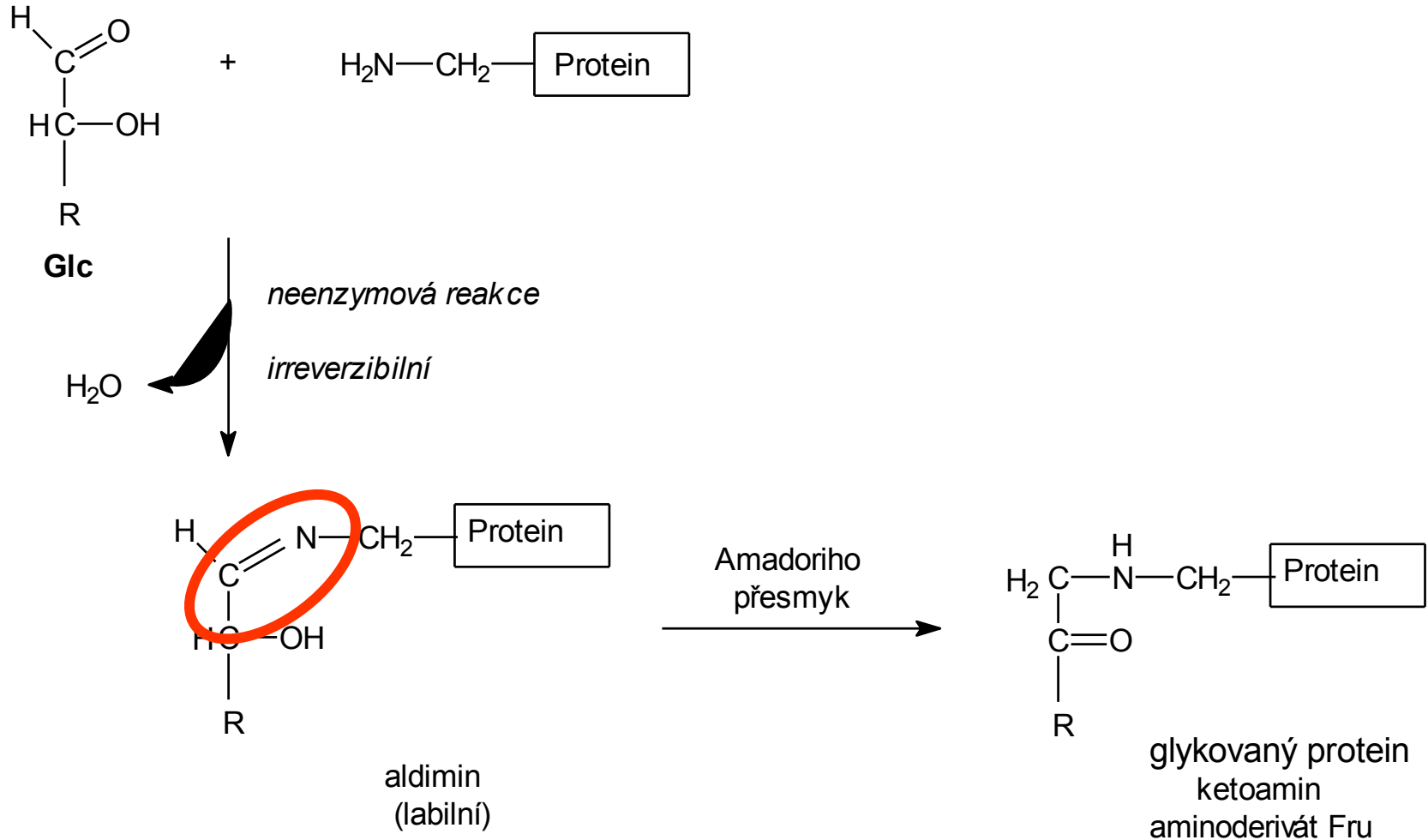
⇒ pozitivní reakce s Fehlingovým nebo Benediktovým činidlem /redukce Cu^{2+} (modrá) na Cu_2O (oranžová)/

využívá se k důkazům cukrů

+ všechny monosacharidy a disacharidy s volnou poloacetalovou skupinou

Benediktovo činidlo se připravuje smícháním roztoků síranu měďnatého (skalice modrá), citronanu sodného a uhličitanu sodného. Citronan sodný má za úkol zabránit po smíchání vzniku sraženiny uhličitanu měďnatého. Měďnaté kationty se v alkalickém prostředí redukují na měďné.

Maillardova reakce – neenzymová reakce monosacharidů s aminokyselinami a bílkovinami

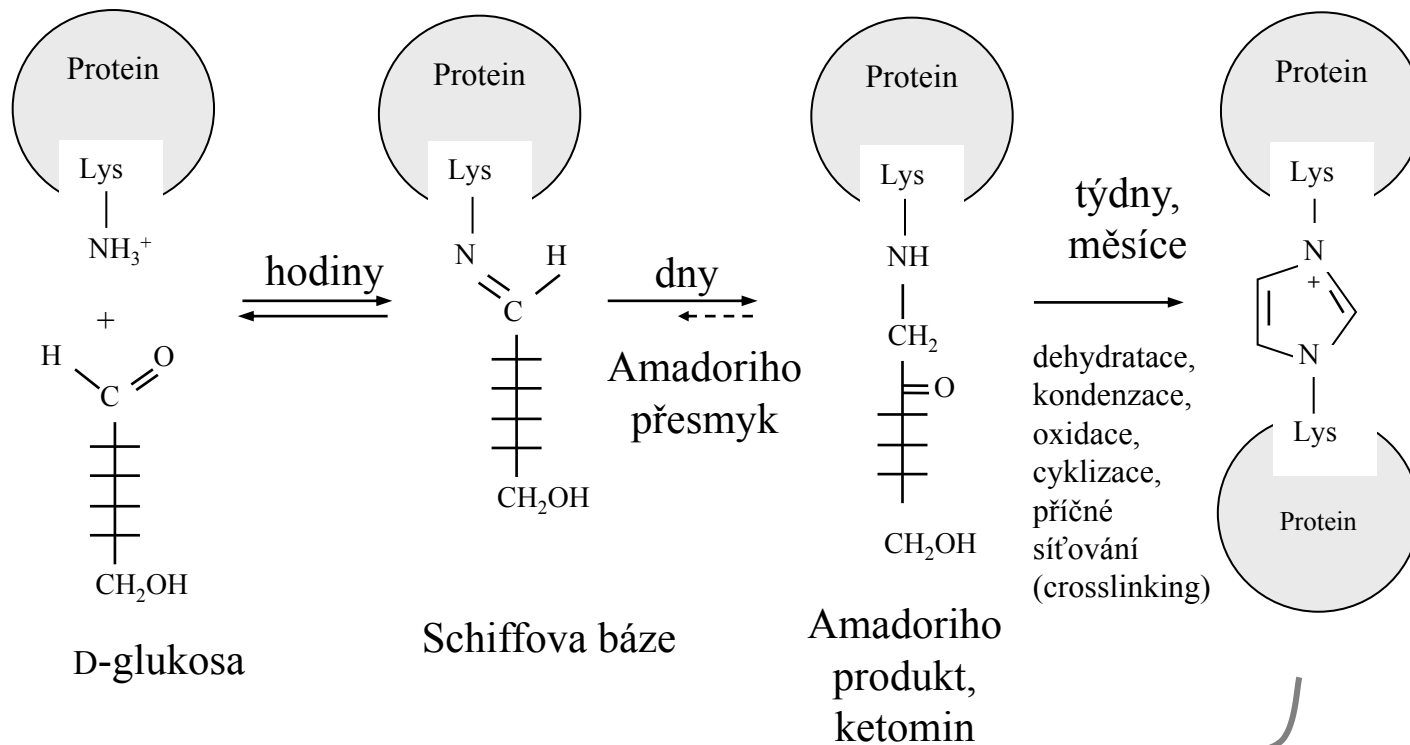


Amadoriho produkty podléhají dalším přeměnám (přesmyky, enolizace, oxidace, propagace, síťování proteinů, tvorba heterocyklických produktů ad.) 54

Význam Maillardovy reakce

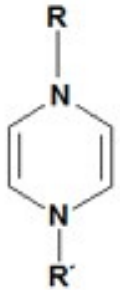
- Poprvé popsána Maillardem (1912) – hnědnutí bílkovin při zahřívání s cukry
- Probíhá v živých organismech – reakce glukosy s bílkoviny. Zvýšená tvorba produktů glykace nastává při diabetu. Vede k poškození bílkovin (advanced glycation endproducts AGE)
- V potravinách – vyvolává zhnědnutí při pečení a smažení (reakce neenzymového zhnědnutí). Vyvolá žádoucí změny v chuti, barvě a vůni, ale i nežádoucí snížení nutriční hodnoty a tvorbu toxických a mutagenních látek
- Stanovení glykovaného hemoglobinu u diabetiků - slouží k zjištění glykemického profilu během cca 2 měsíců

Neenzymová glykace při diabetu

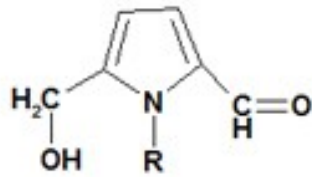


AGE (advanced glycation endproducts)- vyvolává neuropatie, poruchy ledvin, zraku ad.

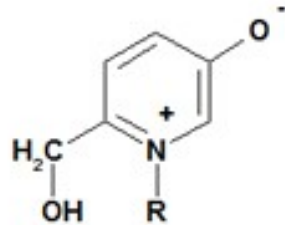
Příklady sloučenin vznikajících Maillardovou reakcí v potravinách



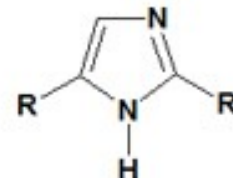
substituted



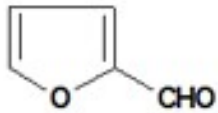
pyrrol-carbaldehyde



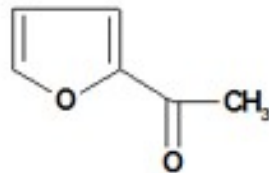
pyridiniumbetain



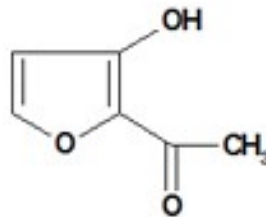
imidazole



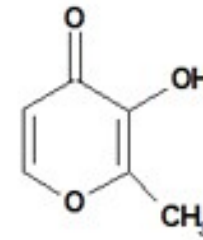
furfural



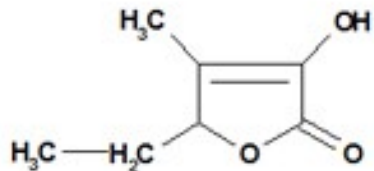
2-acetylfuran



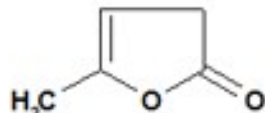
isomaltol



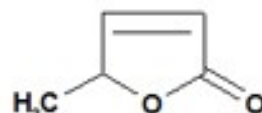
maltol



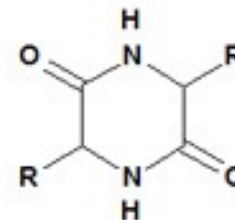
"Maggi lactone"



α -angelicalactone

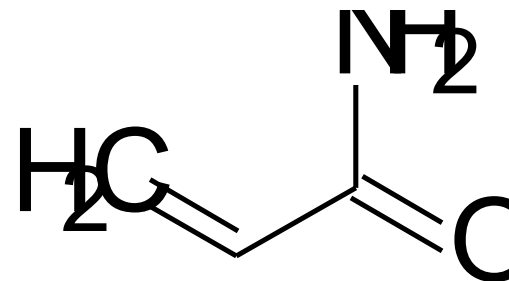
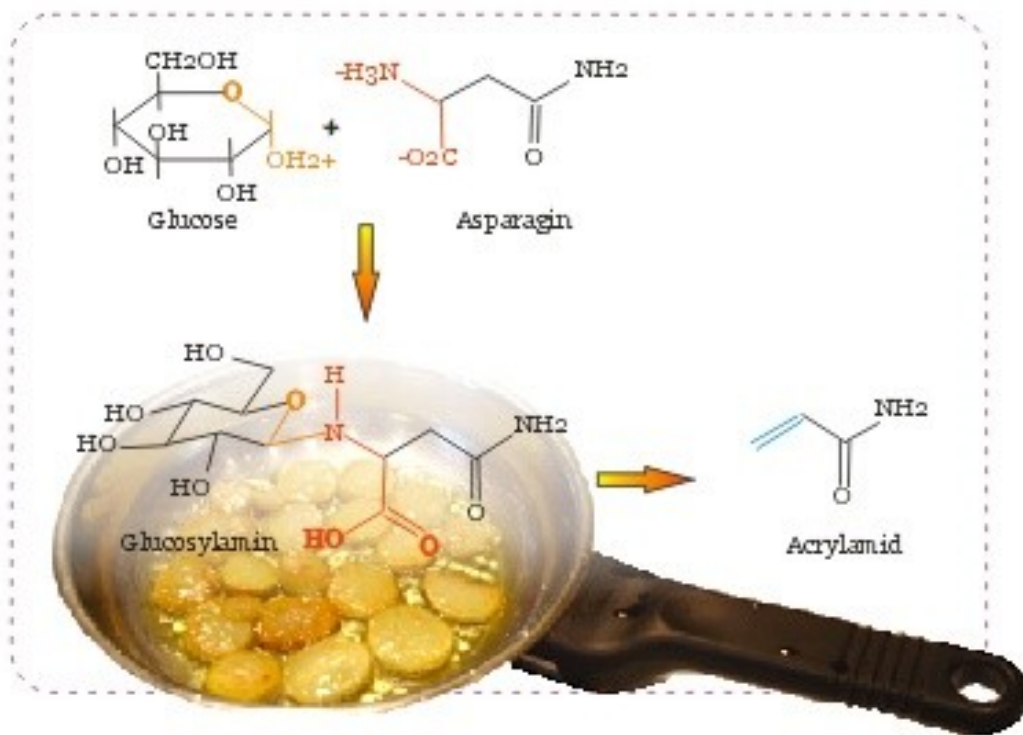


β -angelicalactone



2,5-dioxopiperazines

Jeden z produktů Maillardovy reakce je také akrylamid



Chcete vědět více?

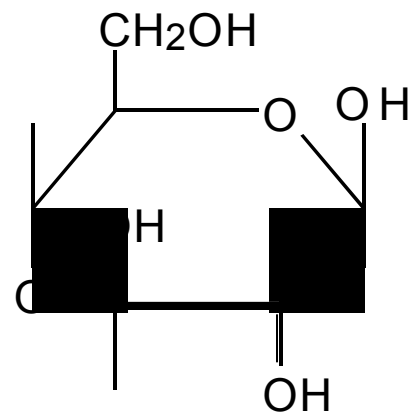
<http://akrylamid.cz/>

<http://www.gate2biotech.cz/hranolky-a-chipsy-zdravejsi-diky-biotechnologii/>

Významné monosacharidy

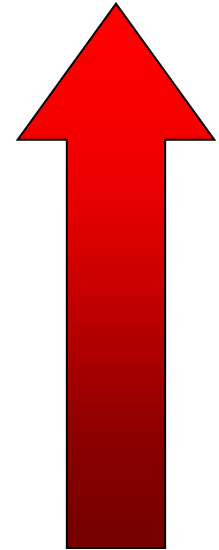
D – Glukosa

- nejrozšířenější v přírodě
„hroznový cukr“
stavební jednotka škrobu, glykogenu, celulosy
- koncentrace v krvi 3,3-5,5 mmol/l je velmi striktně regulována



Glukosa v potravinách

Potravina	Glukosa (%) ^a
Glukopur	100
Rozinky ^b	50
Med	30
Hrozny ^b	6-10
Ovoce	1-5



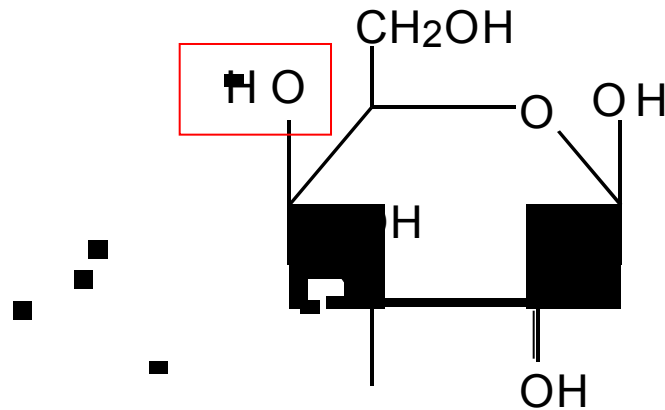
^a Průměrný obsah glukosy v hmotnostních procentech.

^b U diabetiků nutná velká opatrnost!

D - Galaktosa

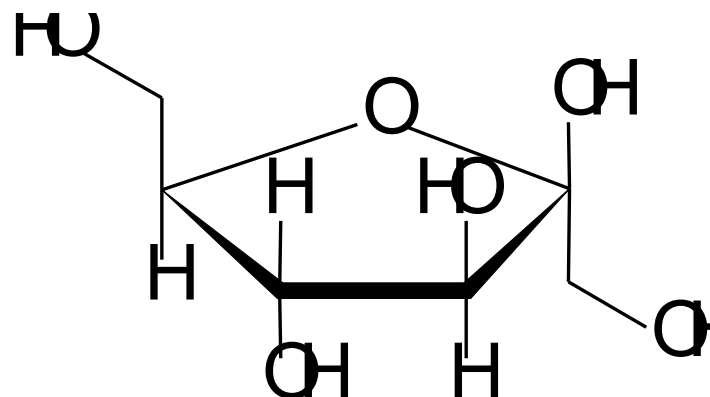
- epimer glukosy - opačná konfigurace na C-4
- vázaná v laktose (disacharid)

součást glykoproteinů,
glykolipidů, proteoglykanů



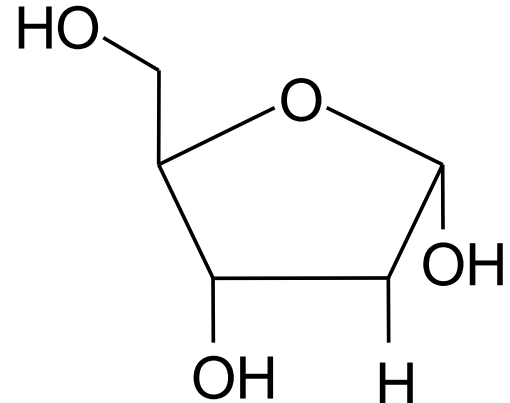
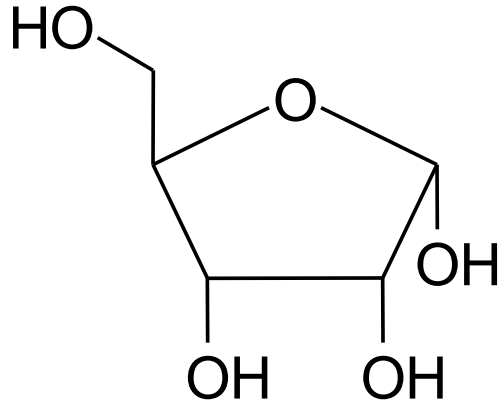
D – fruktosa

- „ovocný cukr“
- nejrozšířenější ketosa
- volná – med, fruktosový sirup
- vázaná - v sacharose



D-ribose a D - 2-deoxyribose

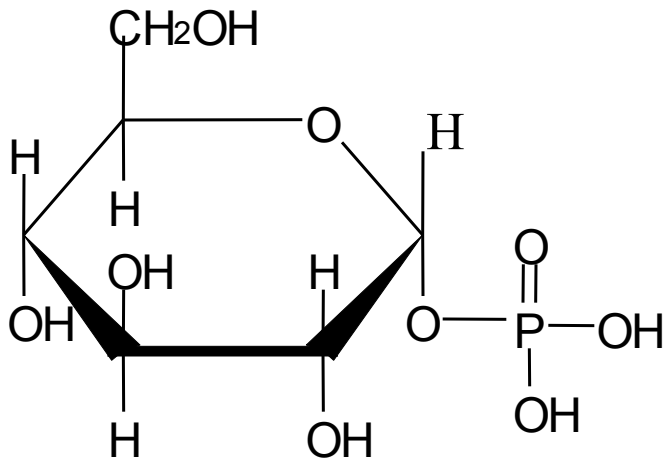
- pentosy
- stavební jednotky nukleových kyselin



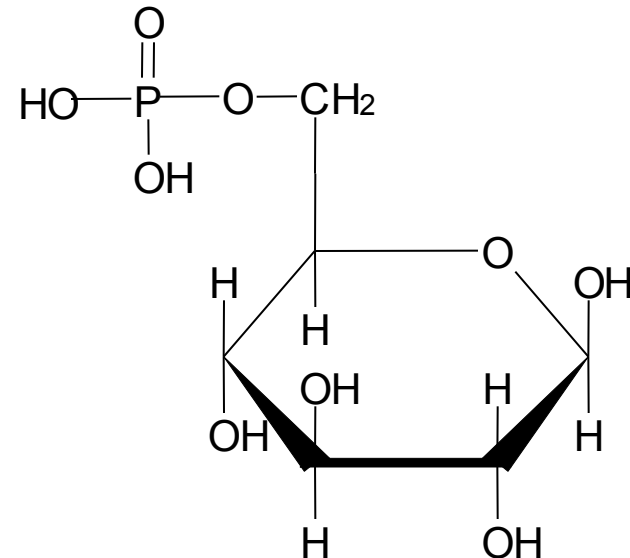
Deriváty monosacharidů

Estery

- s kyselinou fosforečnou

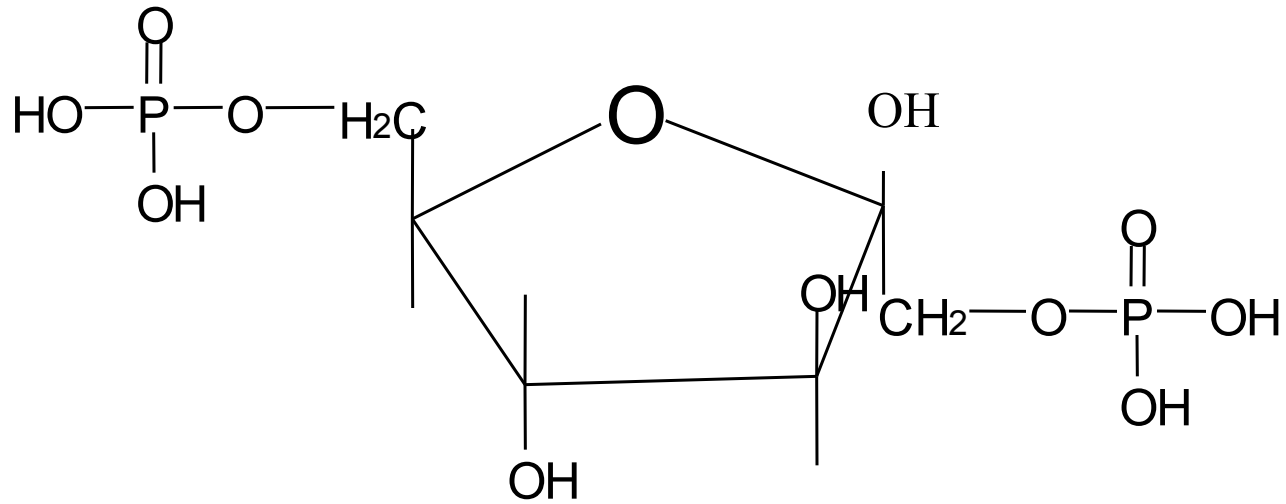


glukosa-1-fosfát



glukosa-6-fosfát

meziprodukty při metabolismu glukosy

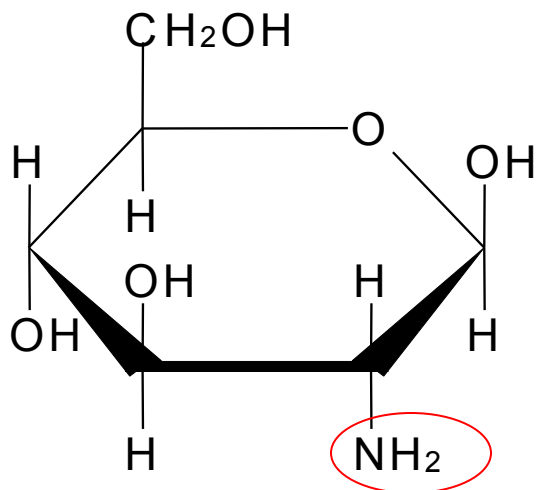


fruktosa-1,6-bisfosfát

metabolismus glukosy

Aminocukry

součást proteoglykanů a glykoproteinů

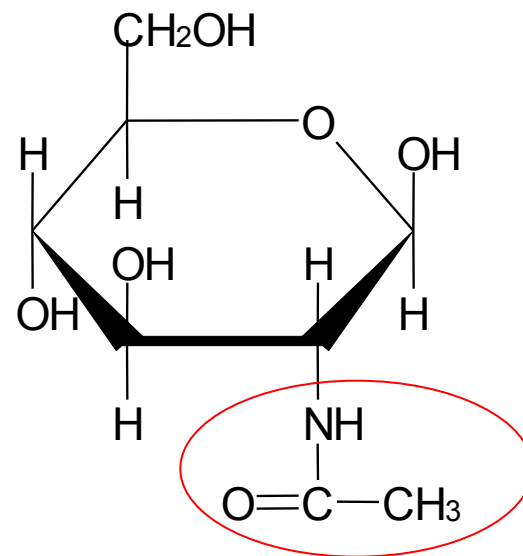


D-glukosamin

(2-amino-2-deoxy-D-glukosa)

bazický

Proč????

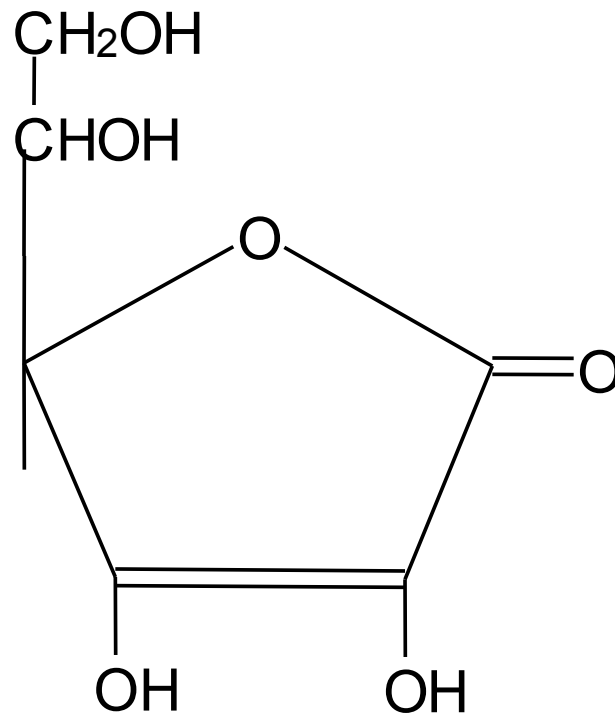


N-acetylglukosamin

nebazický

Kyselina L-askorbová

2,3-didehydrolakton L-gulonové kyseliny



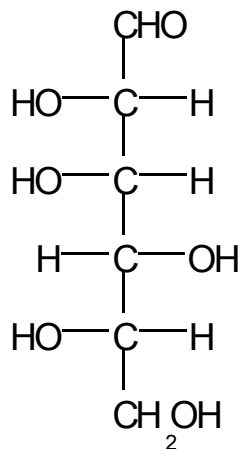
Slabá dvojsytná kyselina

$$pK_{A1} = 4,17$$

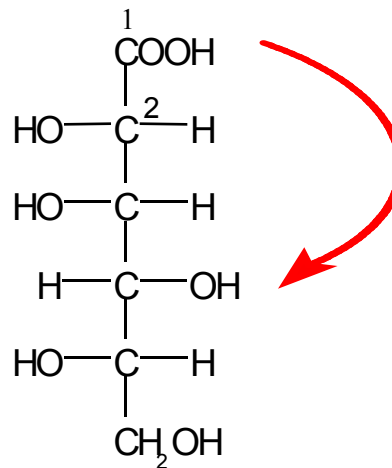
$$pK_{A2} = 11,57$$

Proč je kyselá??

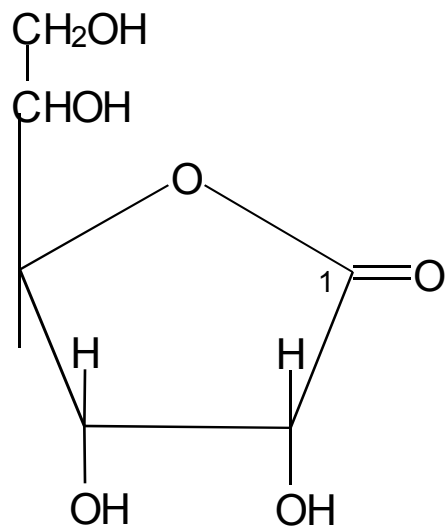
**Odvození
struktury kys.
L-askorbové**



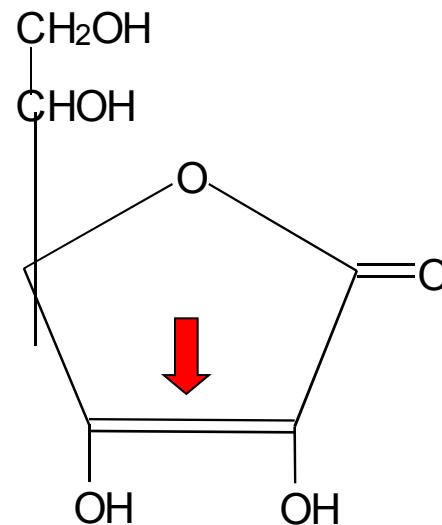
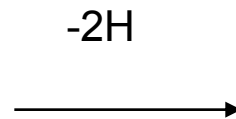
L- gulosa



L-gulonová kyselina

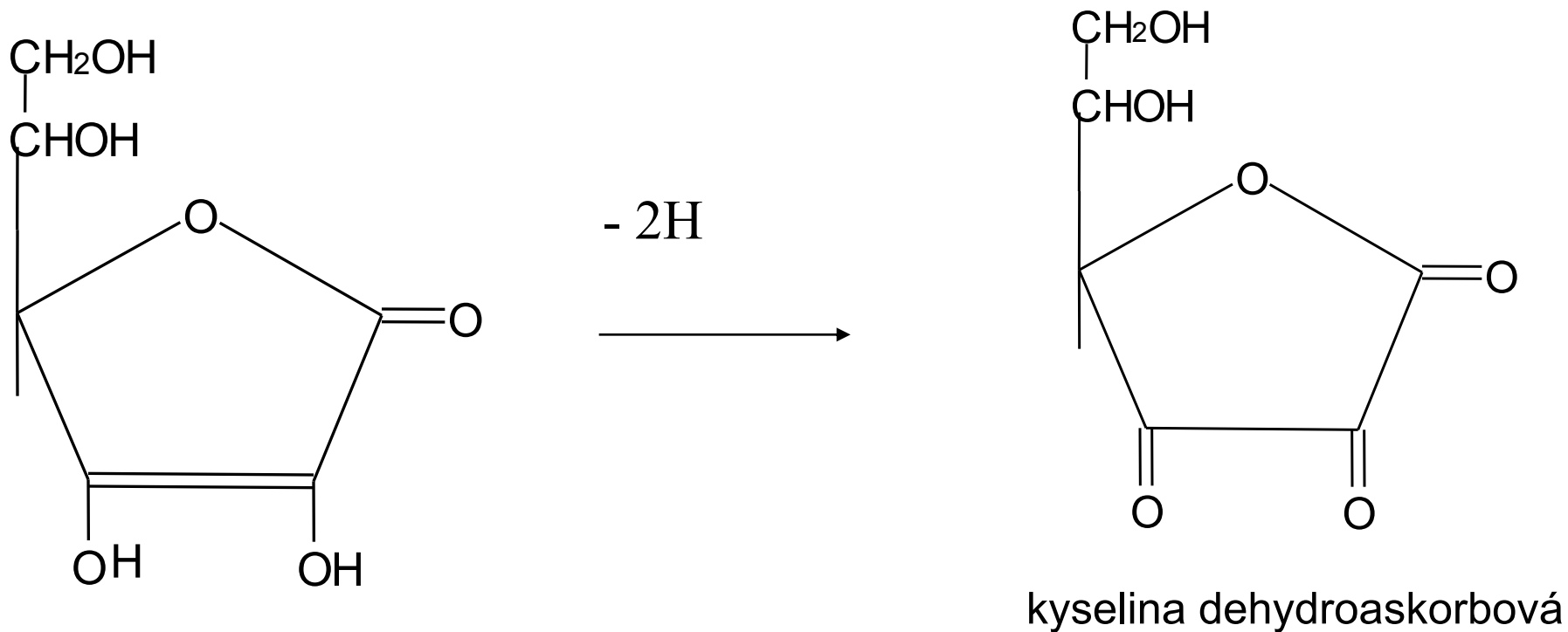


1,4-lakton L-gulonové kyseliny



2,3-didehydrolakton L- gulonové kyseliny

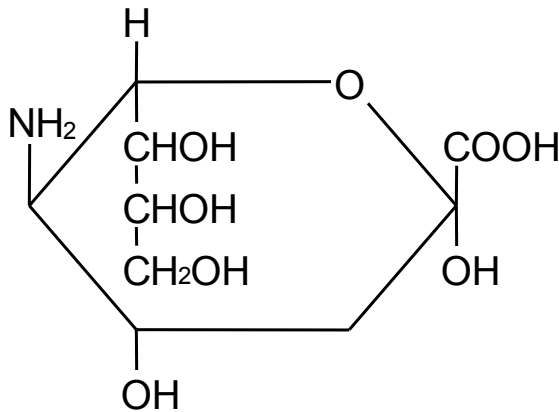
Oxidace kyseliny askorbové



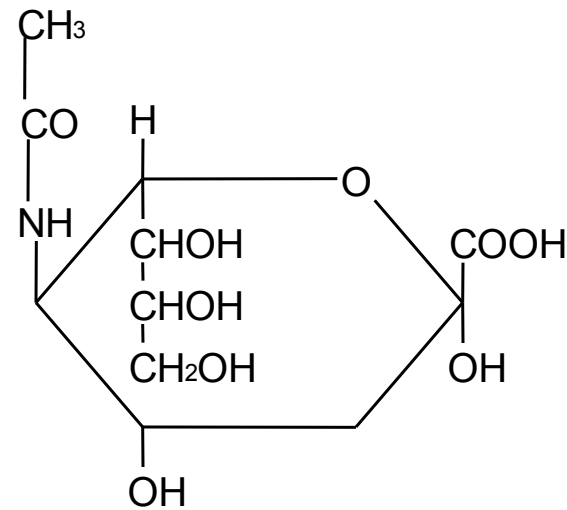
kofaktor oxidoredukčních reakcí v organismu

významný hydrofilní antioxidant

Sialové kyseliny



kyselina neuraminová

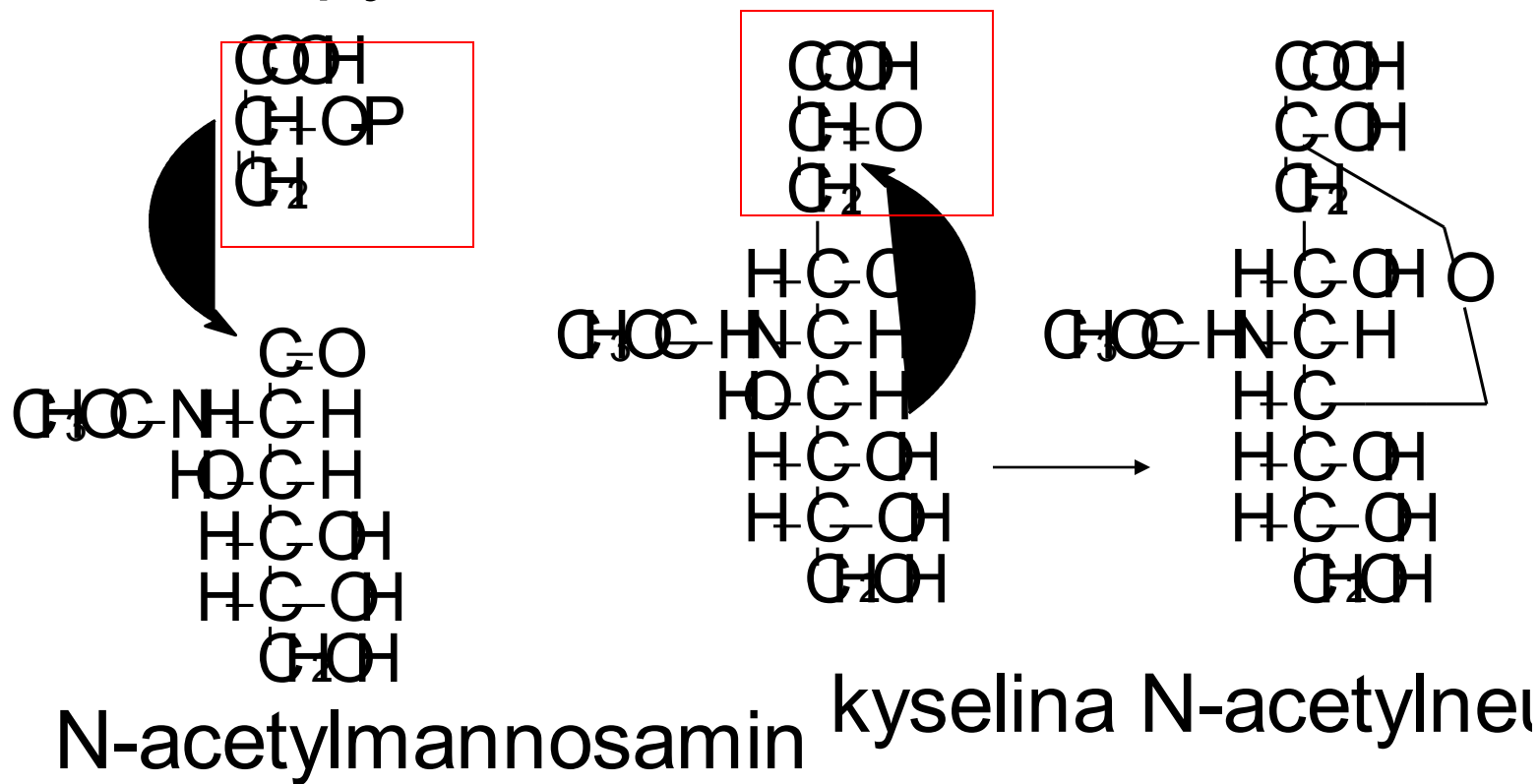


kyselina N-acetylneuraminová

Součást gangliosidů, glykoproteinů,
proteoglykanů

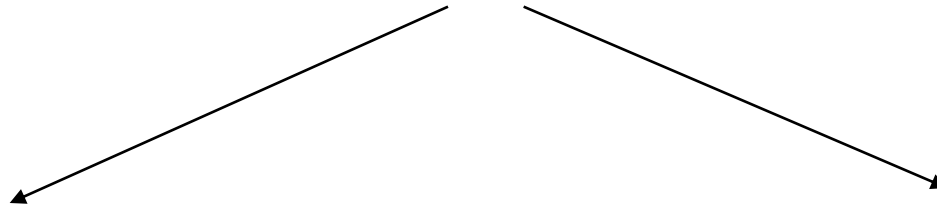
Odvození struktury kys. sialové

fosfoenolpyruvát



Glykosidy

Deriváty cyklických forem cukrů vznikající reakcí **poloacetalového hydroxyly** sacharidu :



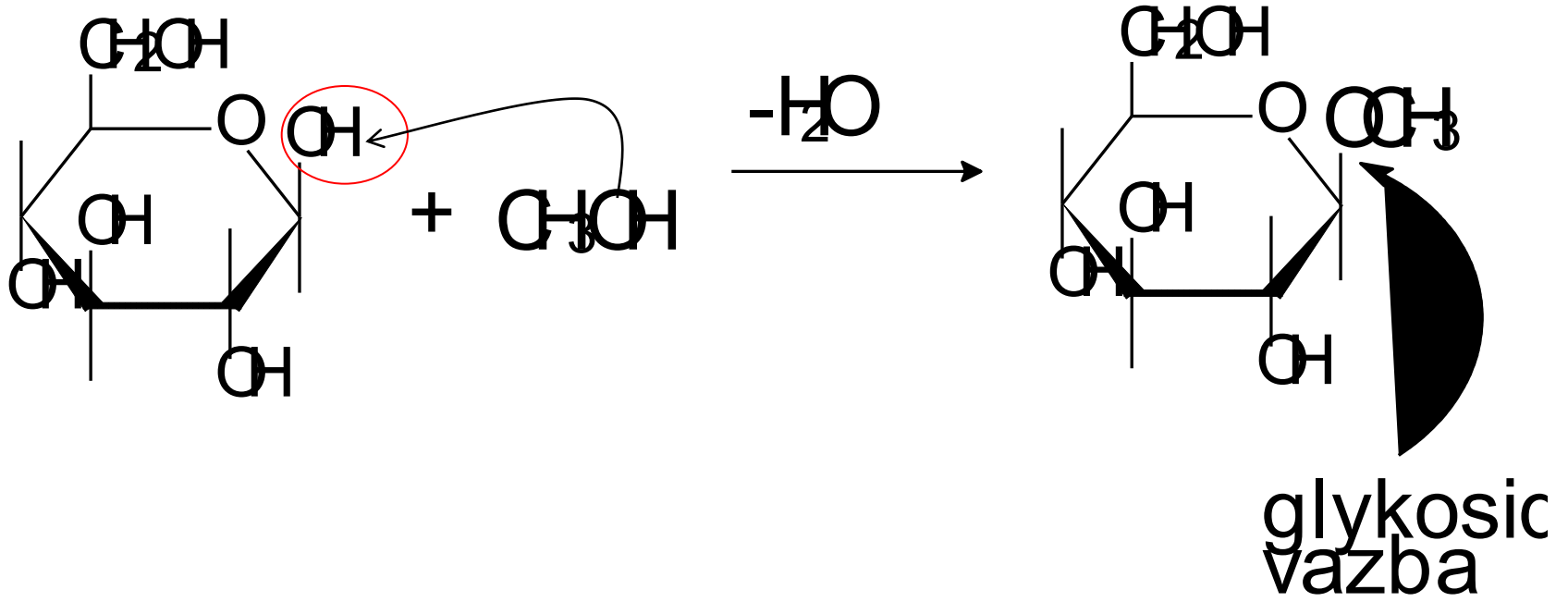
S alkoholovým nebo fenolovým hydroxylym jiné látky

O-glykosidy

S NH- skupinou jiné látky

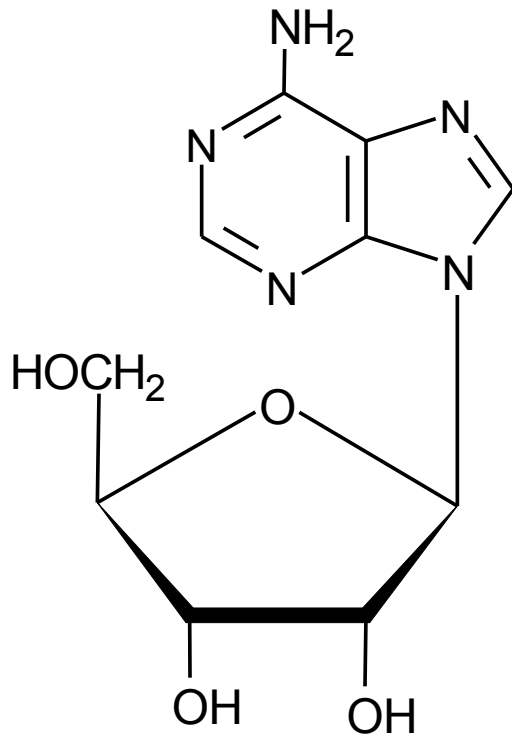
N-glykosidy

Vznik glykosidové vazby

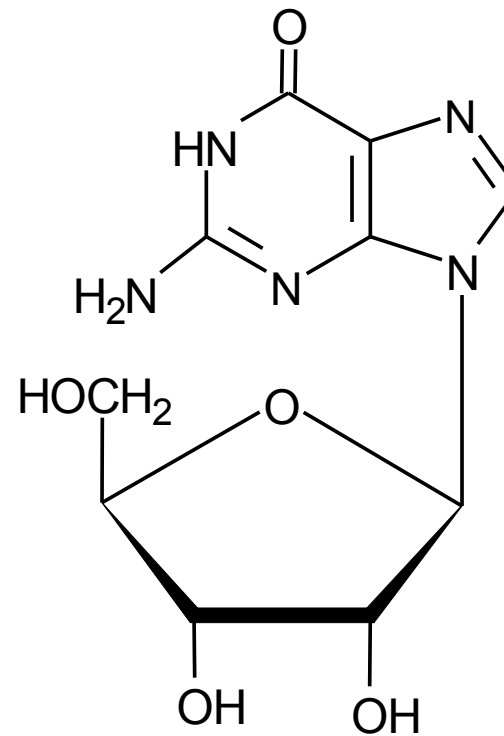


Methyl- β -D-glukopyranosid

N-glykosidová vazba



adenosin



guanosin

N-glykosidová
vazba

Názvosloví glykosidů

odvozeno od názvu monosacharidu

-glukosid, galaktosid,

zahrnuje typ anomeru:

α - D-glukosid

β - D-galaktosid

Typy glykosidů

Hologlykosidy

vzájemná vazba
monosacharidů
glykosidovou vazbou

oligosacharidy,
polysacharidy

Heteroglykosidy

Cukerná složka (glykon) +
necukerná složka (aglykon)

Velmi rozšířené v
přírodě

Příklad známého heteroglykosidu

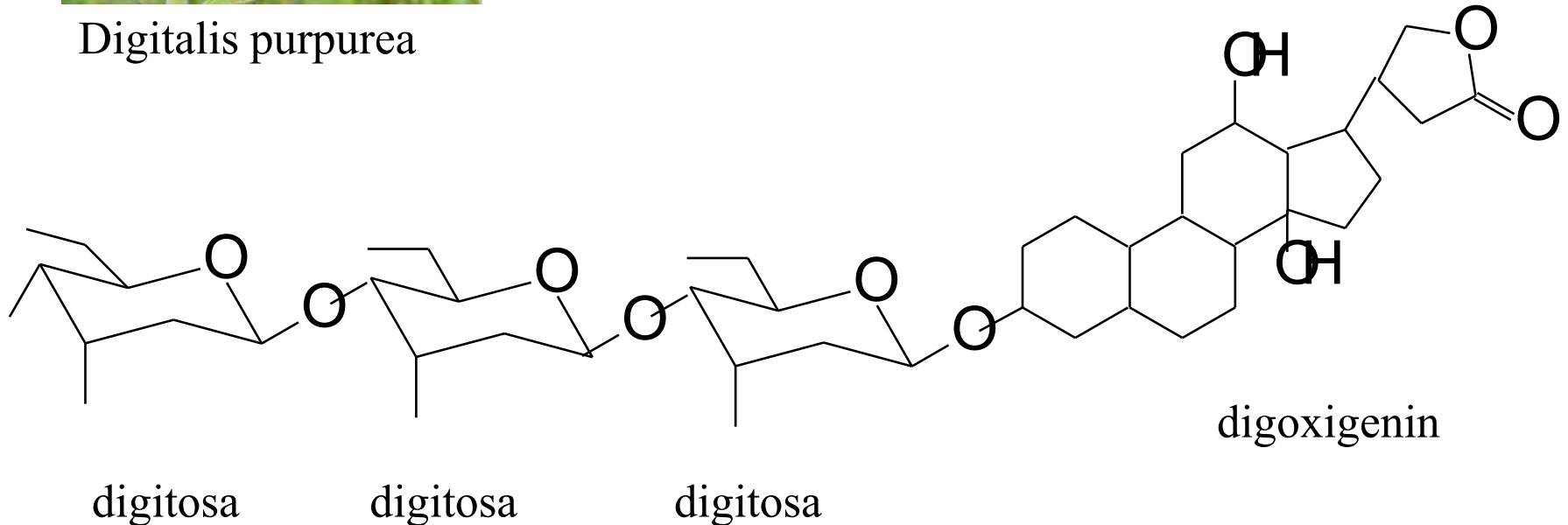


Digitalis purpurea

Digoxin

Srdeční glykosid

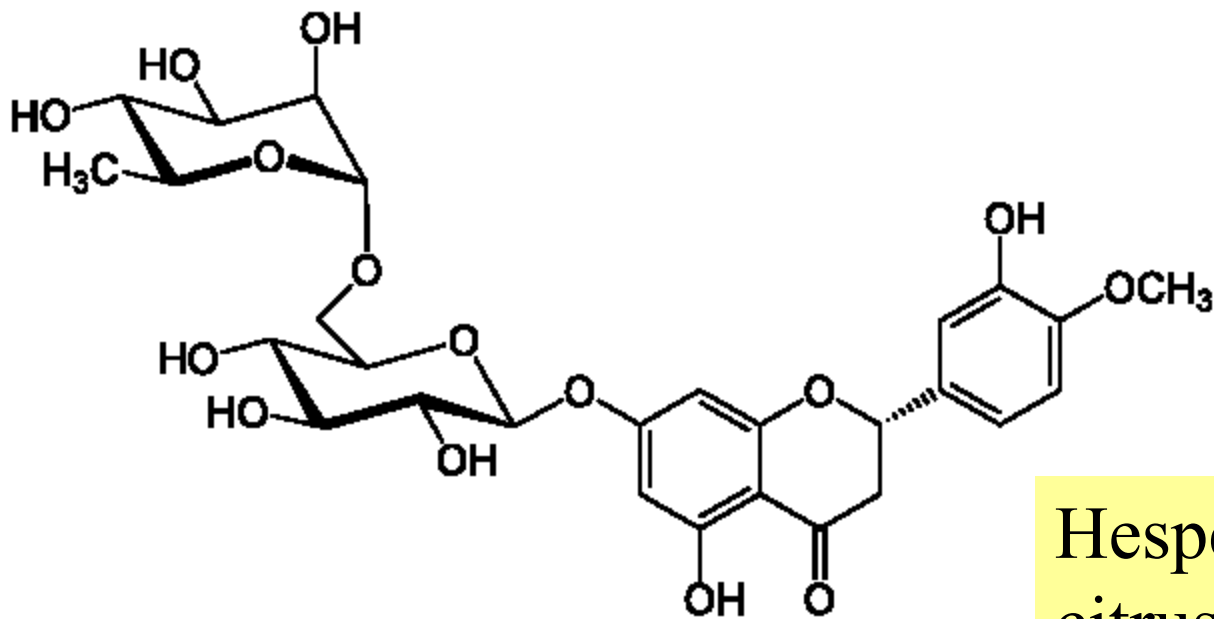
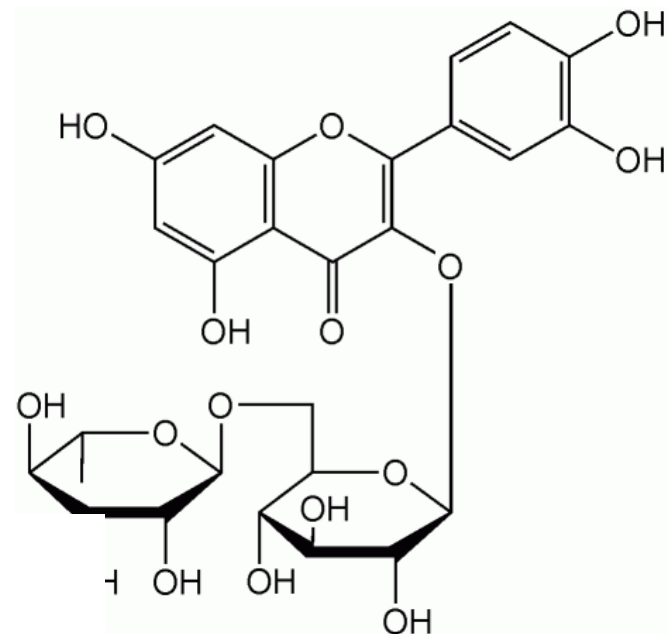
Působí jako kardiotonikum (váže se na Na^+/K^+ -ATPasu myocytu)



Flavonoidy

- Často se vyskytují ve formě glykosidů

rutin



Hesperidin (z citrusů)

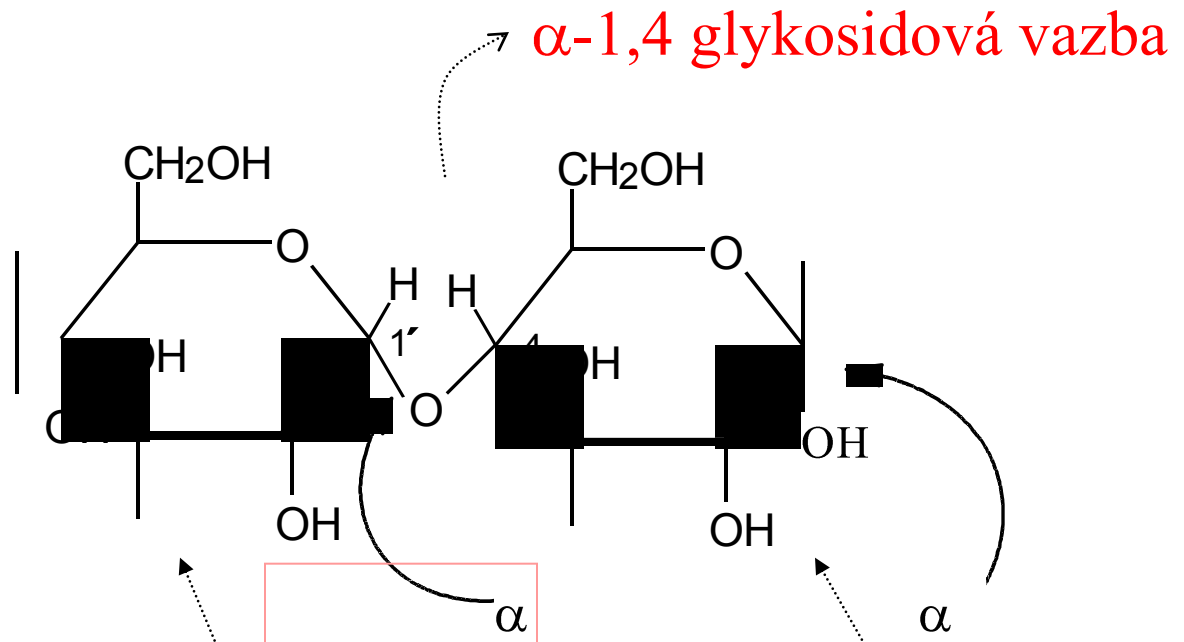
Disacharidy

Disacharidy – spojení dvou monosacharidů glykosidovou vazbou

a) Redukující disacharidy- jeden poloacetalový hydroxyl je zachován

Maltosa

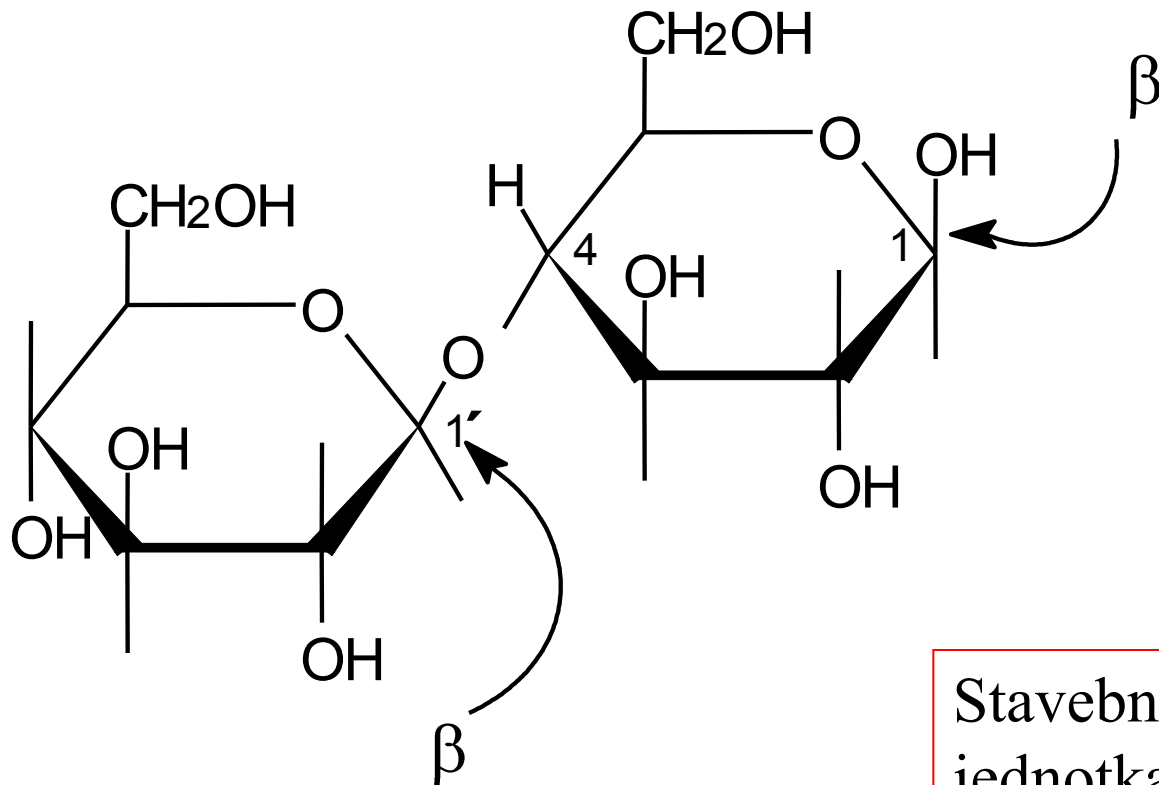
hydrolýza škrobu
působením amylasy,
klíčky obilnin
(slad)



Názvosloví :
“glykosylglykosa”

4-O-α-D-glukopyranosyl- α-D-glukopyranosa

Cellobiosa

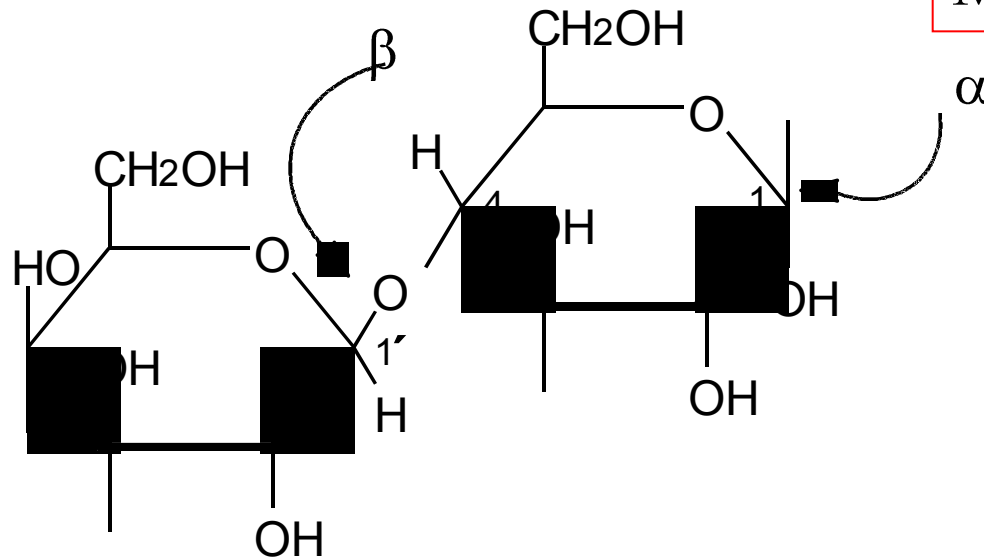


Stavební
jednotka celulosy

4-O-β-D-glukopyranosyl- β-D-glukopyranosa

Laktosa

Mléčný cukr



4-O-β-D-galaktopyranosyl-α-D-glukopyranosa

V tenkém střevě rozkládána **laktasou** na galaktosu a glukosu.

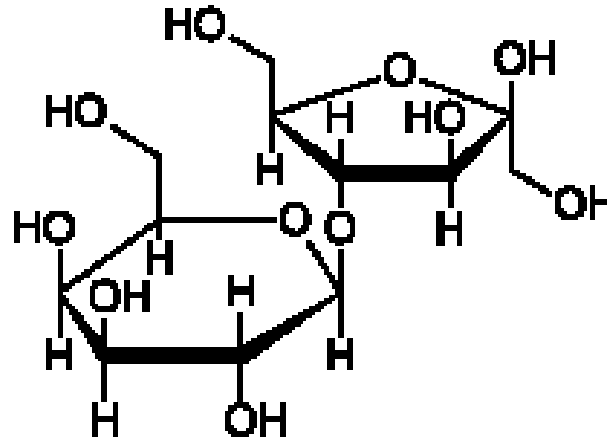
Deficit laktasy: křeče, trávicí potíže, průjmy po příjmu mléka – **laktosová intolerance**

Výskyt laktosové intolerance v různých oblastech světa

Oblast	Výskyt v %
Skandinávie	1-5
Západní Evropa	10-20
Jižní Evropa	50-80
Jihozápadní Asie	25
Indiáni	60-10
Východní Evropa	10-20
Střední Evropa	15-50
Severní Afrika	70-80
Východní Asie	70-100

Laktulosa

Syntetický
disacharid

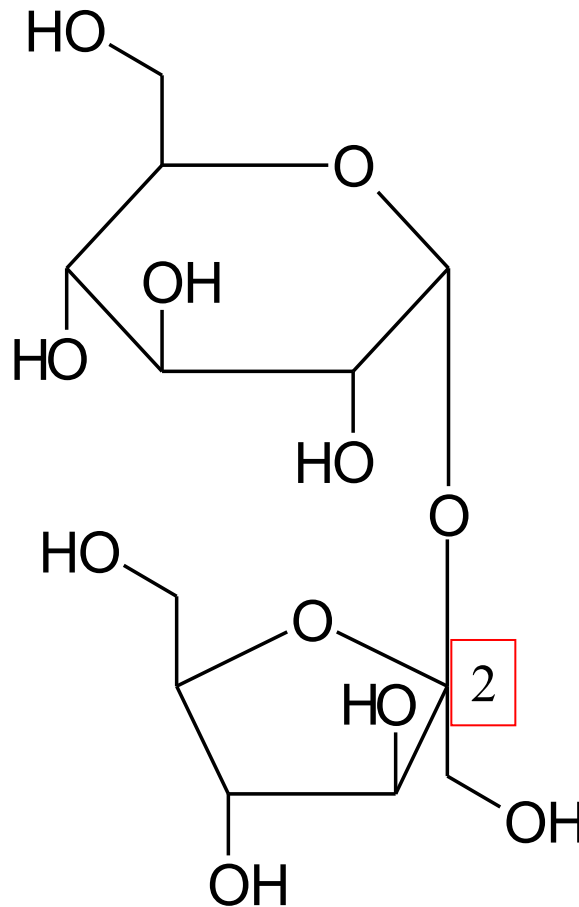


V tenkém střevě není enzymově štěpena, bakteriemi v tlustém střevě je rozkládána na organické kyseliny.

Působí projímavě.

b) Neredukující disacharidy – glykosidovou vazbu vytvoří oba poloacetalové hydroxyly

Sacharosa



Řepný, třtinový
cukr



Názvosloví:
“glykosylglykosid”

β -D-fruktofuranosyl- α -D-glukopyranosid

Obsah sacharosu v potravinách

Kolik váží kostka cukru?

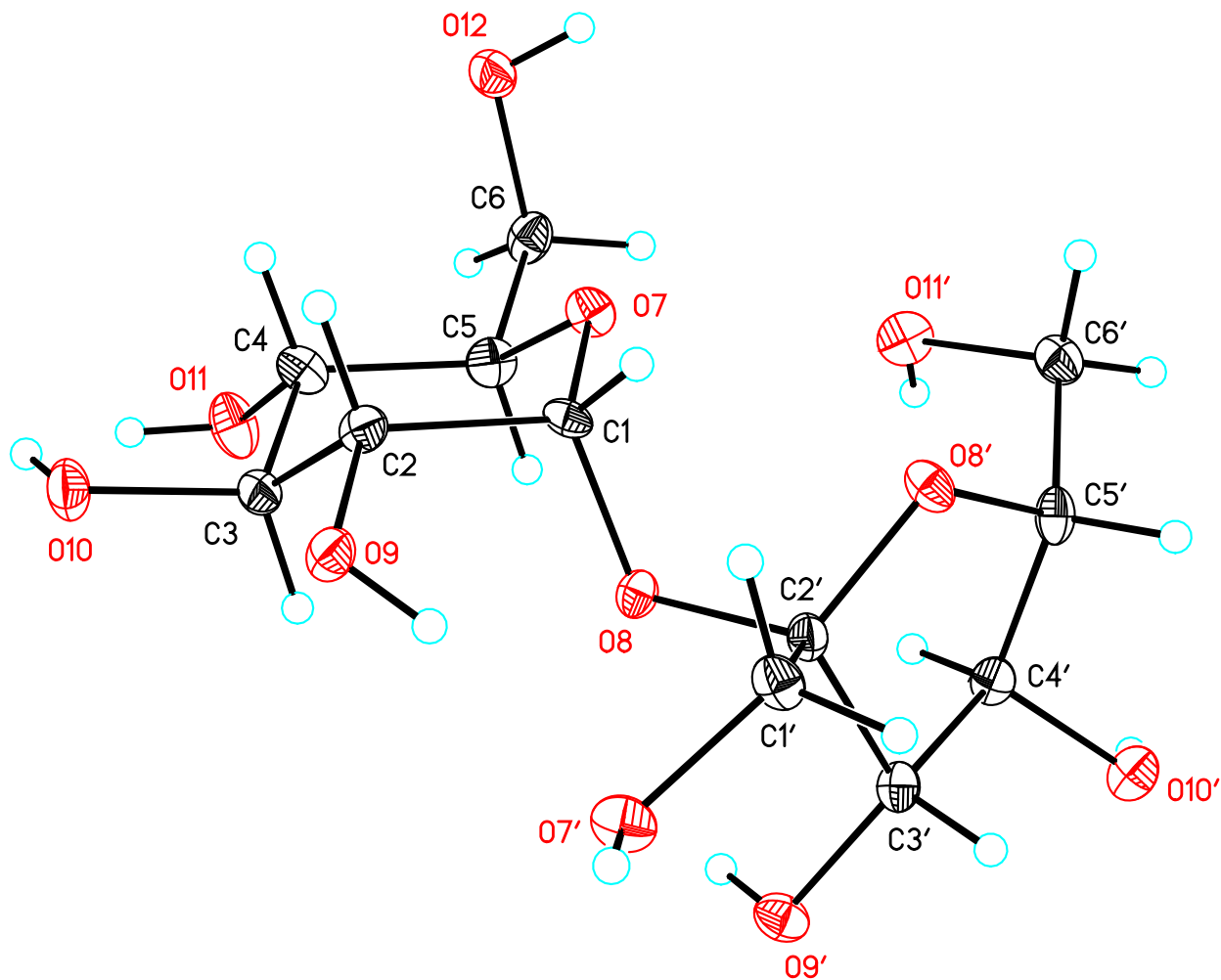
Menší kostka – 4g (~16 kcal, ~68 kJ)

Větší kostka 6-8 g

Potravina/nápoj	Obsah cukrů vztažený na kostku cukru (4g)
Coca-cola 1l	27 kostek (1836 kJ)
100% pomerančový džus 1l	25 kostek
Red Bull 250 ml	7 kostek
10 jahod	2 kostky
Porce kečupu (17 g)	1 kostka
Jogurt Activia jahodová	4 kostky
Tyčinka Snickers	14 kostek



Reálná struktura sacharosu



Rentgeno-strukturní (X-ray) analýza krystalového cukru z běžné obchodní šňtě.