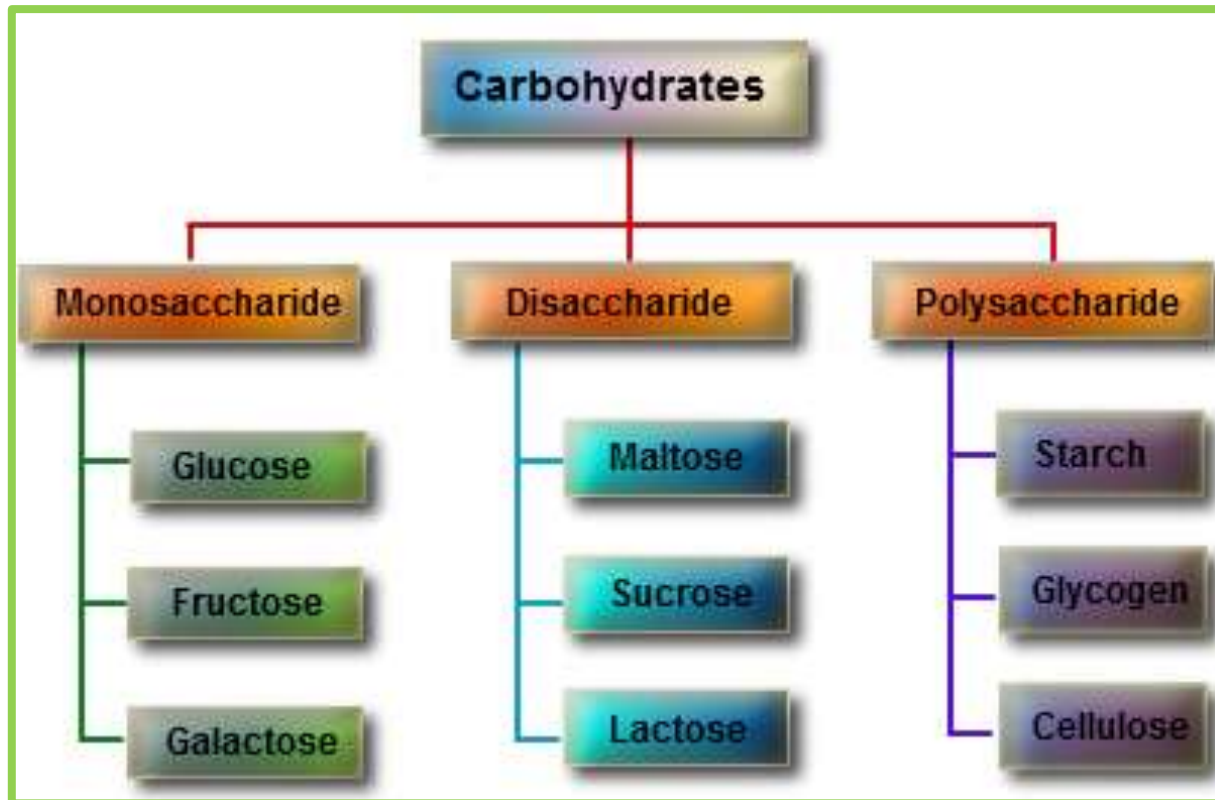


Υδατάνθρακες-1^ο μέρος



Αργυρώ Μπεκατώρου

Καθηγήτρια Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων

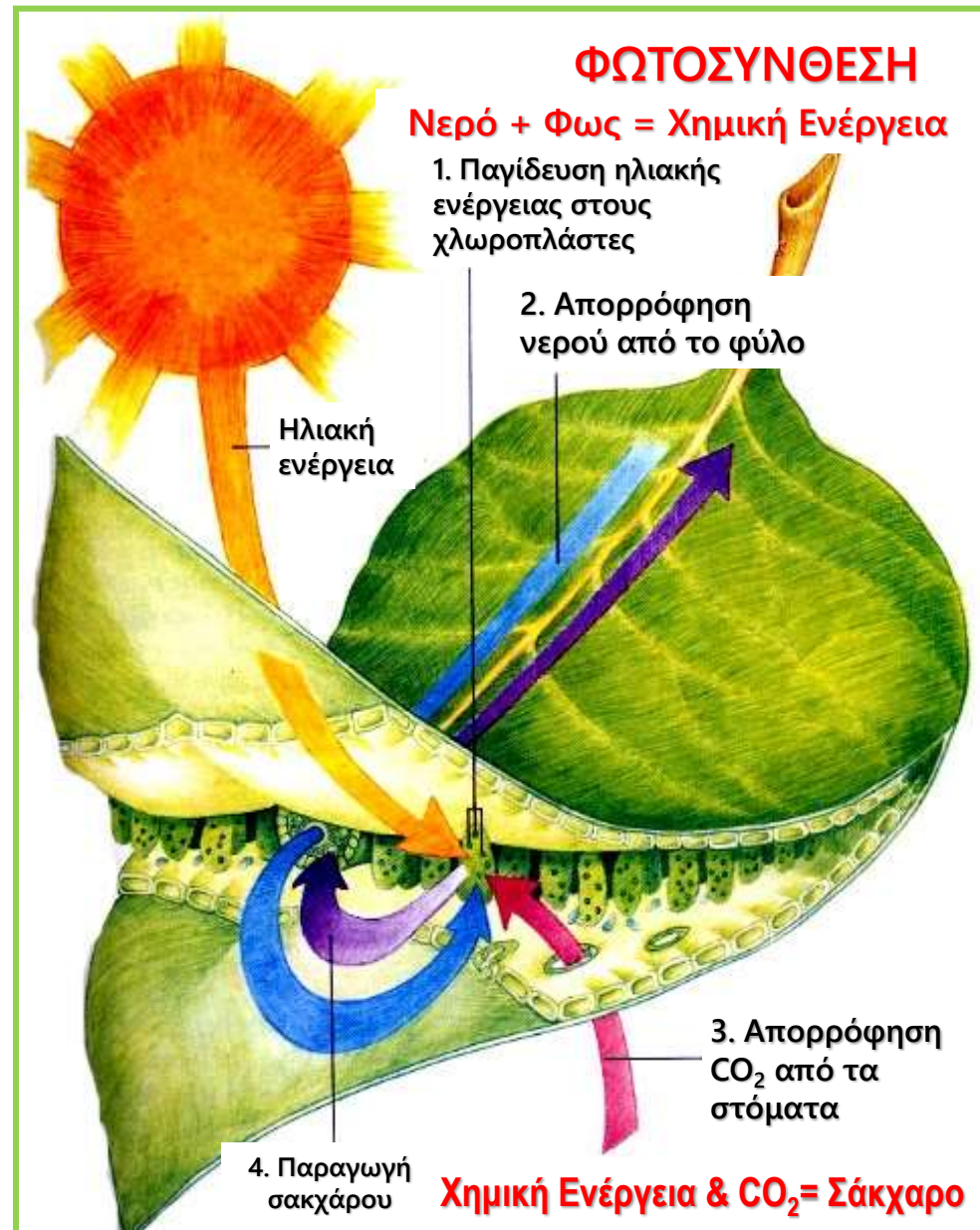
Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Πατρών

Πάτρα 2025



Υδατάνθρακες -Εισαγωγή

- Οι **πιο διαδεδομένες** οργανικές ενώσεις στη Γή
- **Κεντρικός ρόλος** στο μεταβολισμό των ζωντανών οργανισμών
- Συντίθενται στα φυτά με τη **φωτοσύνθεση** από $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, διαδικασία που αποτελεί βάση για την ύπαρξη όλων των οργανισμών που εξαρτώνται από την πρόσληψη οργανικών ενώσεων με την τροφή
- Στα φυτά αποθηκεύονται με τη μορφή **αμύλου**





Υδατάνθρακες -Εισαγωγή

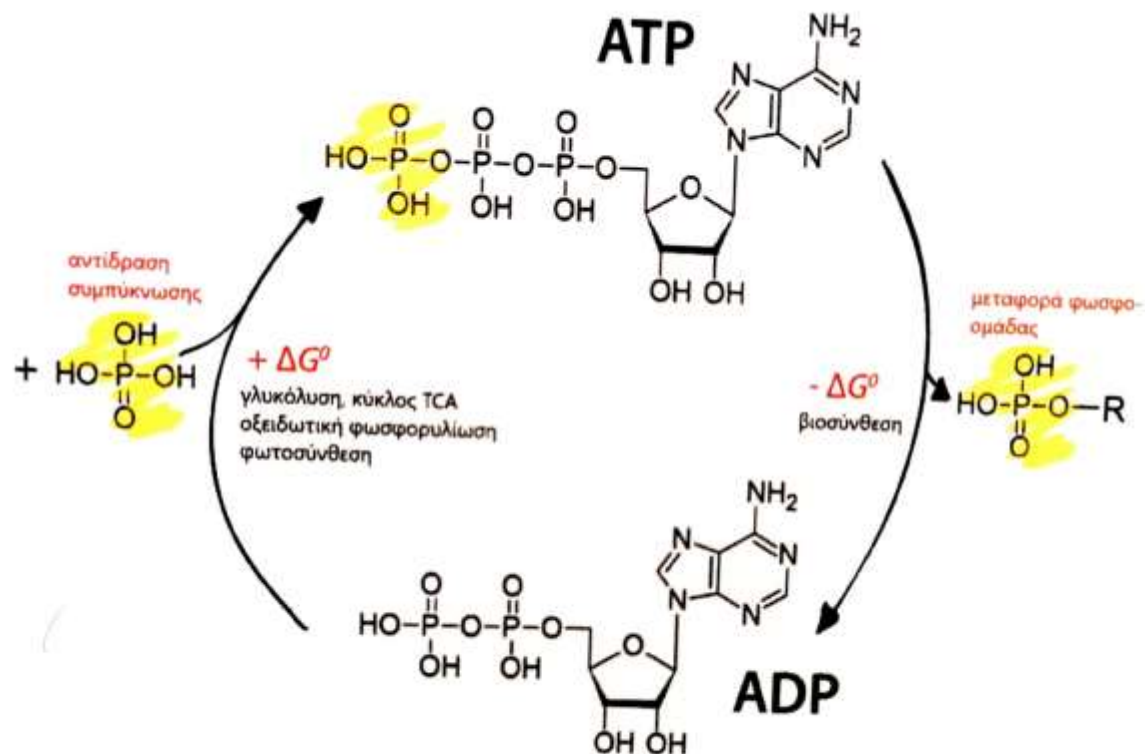
- Ο όρος «**υδατάνθρακας**» χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να δείξει ότι στοιχειακά ήταν «**υδρίτες του άνθρακα**», με γενικό τύπο $C_x (H_2O)_y$
- Στην κατηγορία ανήκουν και άλλες ενώσεις που αποκλίνουν από το γενικό τύπο αλλά έχουν παρόμοια συμπεριφορά & αντιδράσεις
- Από τις **ιδιότητες** τους (διαλυτότητα, υγροσκοπικότητα, διάχυση, γεύση, κλπ.) εξαρτάται η **ποιότητα** πολλών υδατανθρακούχων τροφίμων (ζαχαροπλαστικής, αρτοποιίας, πηκτών, υλικών επικάλυψης, κ.α.)



!

Υδατάνθρακες -Εισαγωγή

- Στα **τρόφιμα**, αποτελούν βασικό **θρεπτικό** συστατικό και κυριότερη **πηγή ενέργειας (80%)**



Σχήμα 1.1. Μετατροπή του ADP σε ATP.

Πίνακας 1.1. Ποσά της ενέργειας που απελευθερώνονται στις αντίστοιχες μετατροπές που περιλαμβάνουν φωσφορικούς δεσμούς

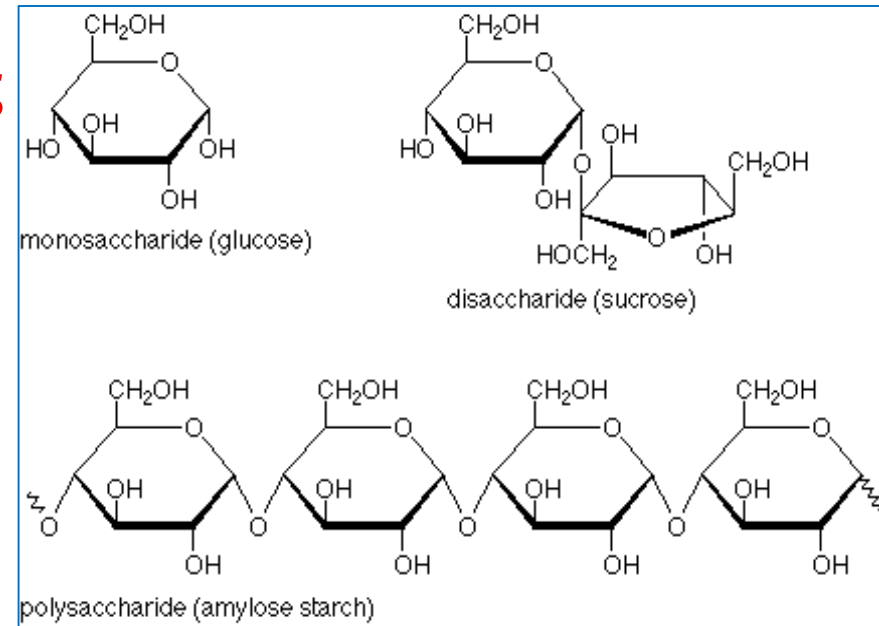
Αντίδραση	ΔG [kJ/mol]
$ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i$	-30,5
$ADP + H_2O \rightarrow AMP + P_i$	-30,5
$ATP + H_2O \rightarrow AMP + PP_i$	-40,6
$PP_i + H_2O \rightarrow 2P_i$	-31,8



Υδατάνθρακες -Εισαγωγή

- Κατηγοριοποιούνται σε **μονοσακχαρίτες, ολιγοσακχαρίτες** και **πολυσακχαρίτες**

- Πολλοί από τους πολυσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες είναι **άπεπτοι** (πηκτίνες, κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, ραφφινόζη, κ.α.) και η έλλειψη τους από τη διατροφή έχει σχετισθεί με διάφορες παθήσεις (**φυτικές ίνες**)

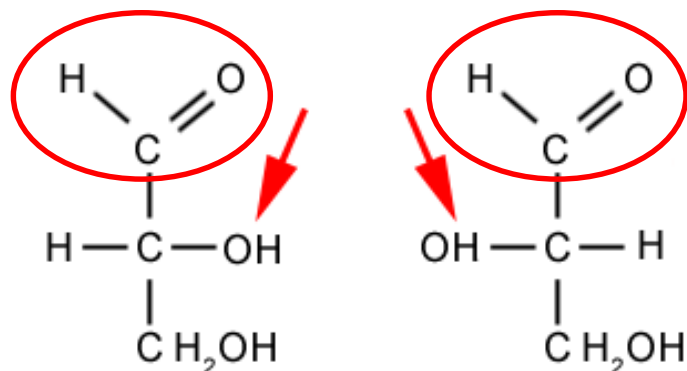


- Για τους **πεπτόμενους** υδατάνθρακες δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις στη δίαιτα (συντίθενται στον οργανισμό, π.χ. γλυκονεογένεση)
- Απαιτείται όμως μια ποσότητα καθημερινής πρόσληψης στη διατροφή πεπτόμενων υδατανθράκων για να **αποφεύγεται η** **κάυση πρωτεϊνών** για ενεργειακούς σκοπούς



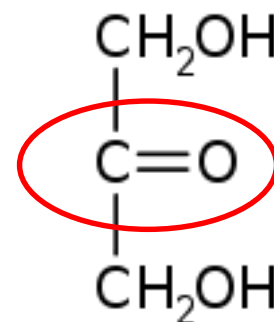
Μονοσακχαρίτες

- Οι **μονοσακχαρίτες** είναι οι απλούστεροι υδατάνθρακες και αποτελούν **δομικές μονάδες** των ολιγο- και πολυσακχαριτών
- Είναι **αλειφατικές πολυ-υδροξυαλδεΐδες (αλδόζες)**, παράγωγα της **γλυκεραλδεΐδης**, ή **αλειφατικές πολυ-υδροξυκετόνες (κετόζες)**, παράγωγα της **διυδροξυακετόνης**, με εισαγωγή υδροξυμεθυλ-ομάδων (-CH₂OH-):



D-γλυκεραλδεΐδη L-γλυκεραλδεΐδη

ΑΛΔΟΤΡΙΟΖΗ



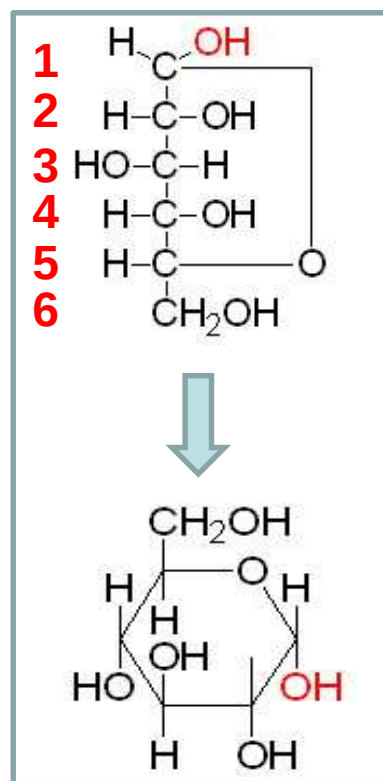
Διυδροξυακετόνη

ΚΕΤΟΤΡΙΟΖΗ



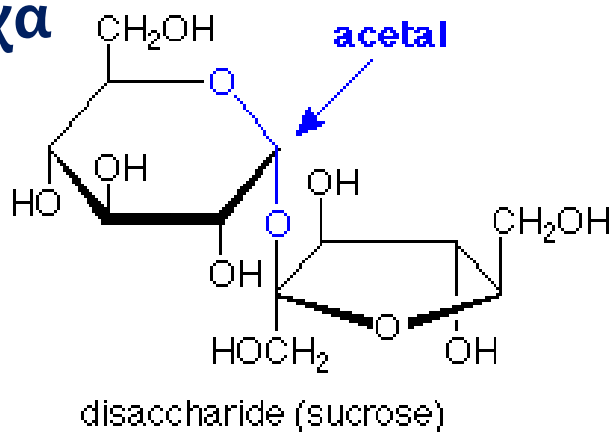
Μονοσακχαρίτες

- Ταξινομούνται σύμφωνα με τον αριθμό των ατόμων C στο μόριό τους σε: **τριόζες, τετρόζες, πεντόζες, εξόζες** κλπ.
- Η αρίθμηση των ατόμων C αρχίζει από το πλησιέστερο προς την καρβονυλική ομάδα ακραίο άτομο άνθρακα
- Το καρβονύλιο των αλδοζών (C1) & των κετοζών (C2) αντιδρά ενδομοριακά με το -OH του Cn-1 (π.χ. C5 στις εξόζες) για την παραγωγή **ημιακετάλης ή ακετάλης**, αντίστοιχα

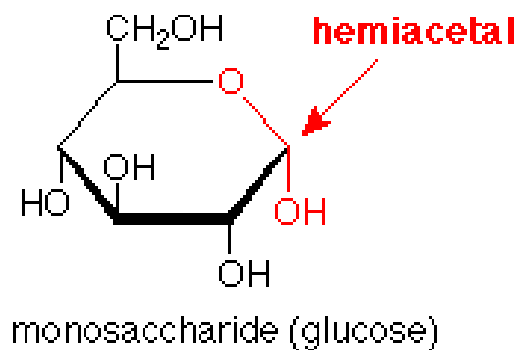


✓ **Ημιακετάλη**
R-CH(OH)-OR

✓ **Κετάλη**
R-CH(OR)2



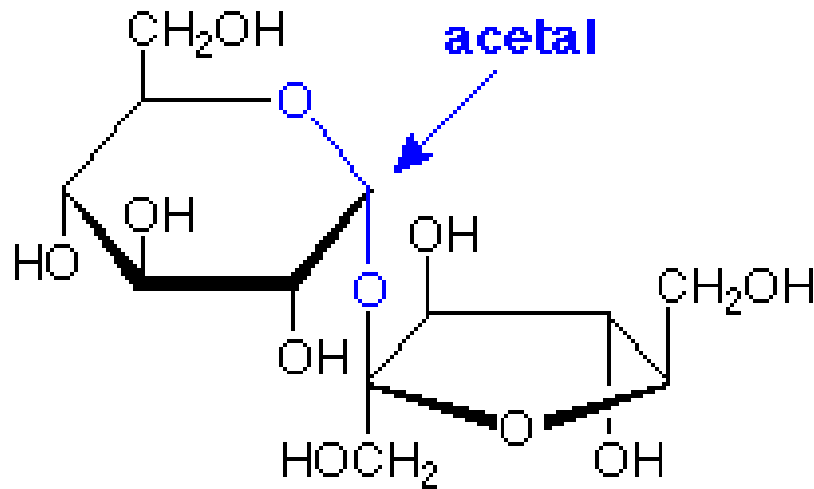
disaccharide (sucrose)



monosaccharide (glucose)

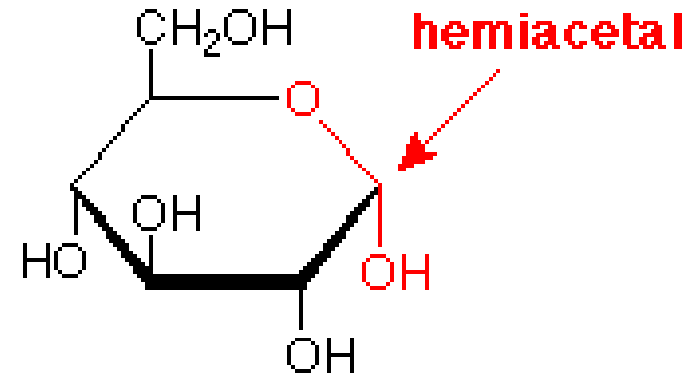
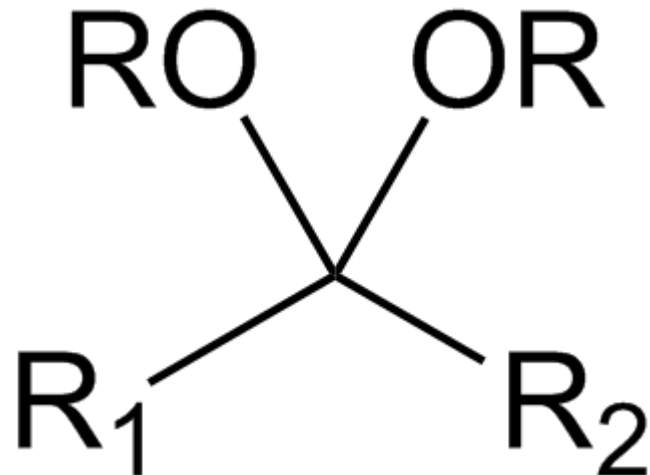


Μονοσακχαρίτες



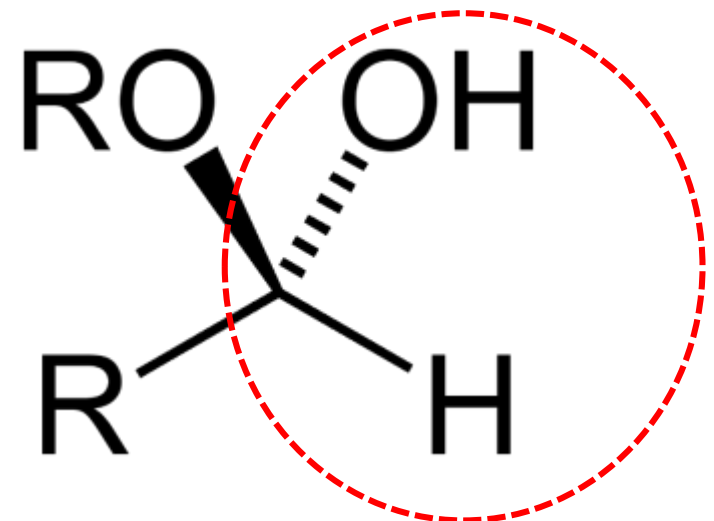
disaccharide (sucrose)

✓ **Ακετάλη**



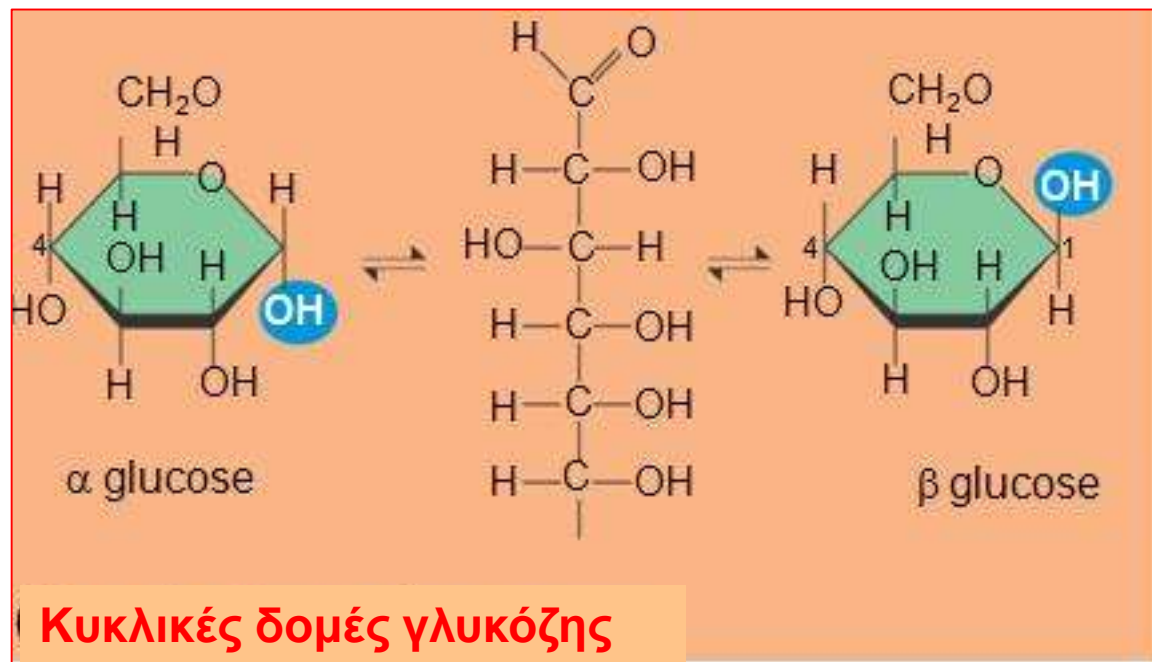
monosaccharide (glucose)

✓ **Ημιακετάλη**



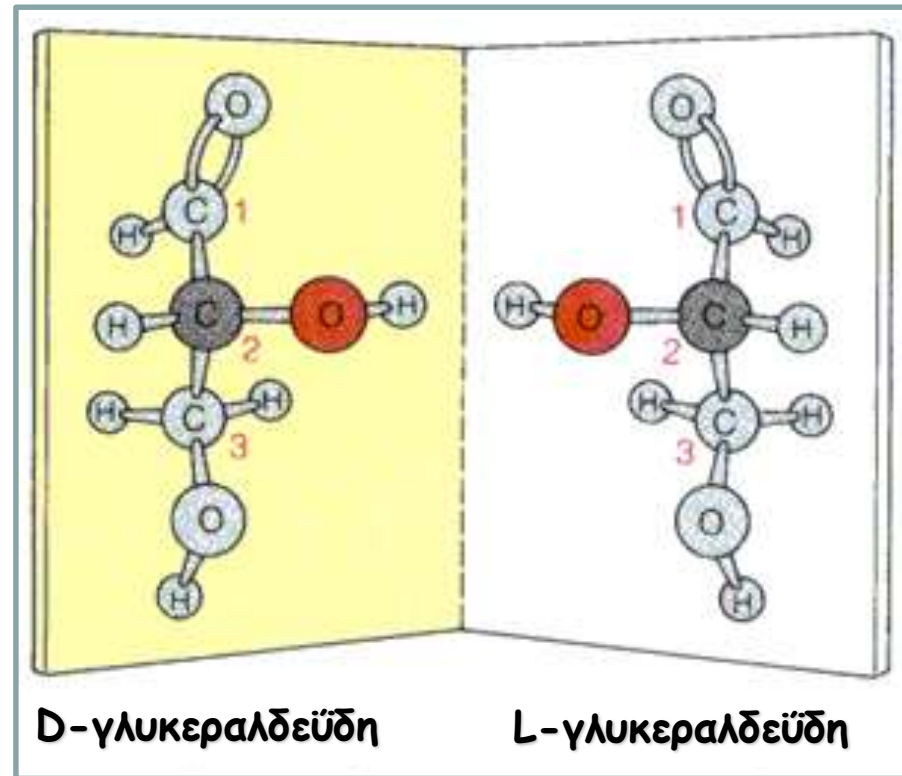
Μονοσακχαρίτες

Οι μονοσακχαρίτες κρυσταλλώνουν
στις **κυκλικές δομές** οι οποίες ακόμη και σε
διάλυμα υπάρχουν σε ισορροπία με τις
δομές ανοικτής αλυσίδας



Μονοσακχαρίτες

- Τα **ασύμμετρα άτομα C** των σακχάρων οφείλονται για την ύπαρξη **στερεοϊσομερών μορφών** με **στροφική ικανότητα** του επιπέδου του πολωμένου φωτός **δεξιά** (σύμβολο **+** ή **d**) ή **αριστερά** (**-** ή **l**)
- Τα **εναντιομερή** με βάση το ασύμμετρο άτομο C συμβολίζονται με **D- & L-**
- ✓ Π.χ. η γλυκεριναλδεΰδη έχει ασύμμετρο τον C2, άρα έχει δύο ισομερή D- και L-

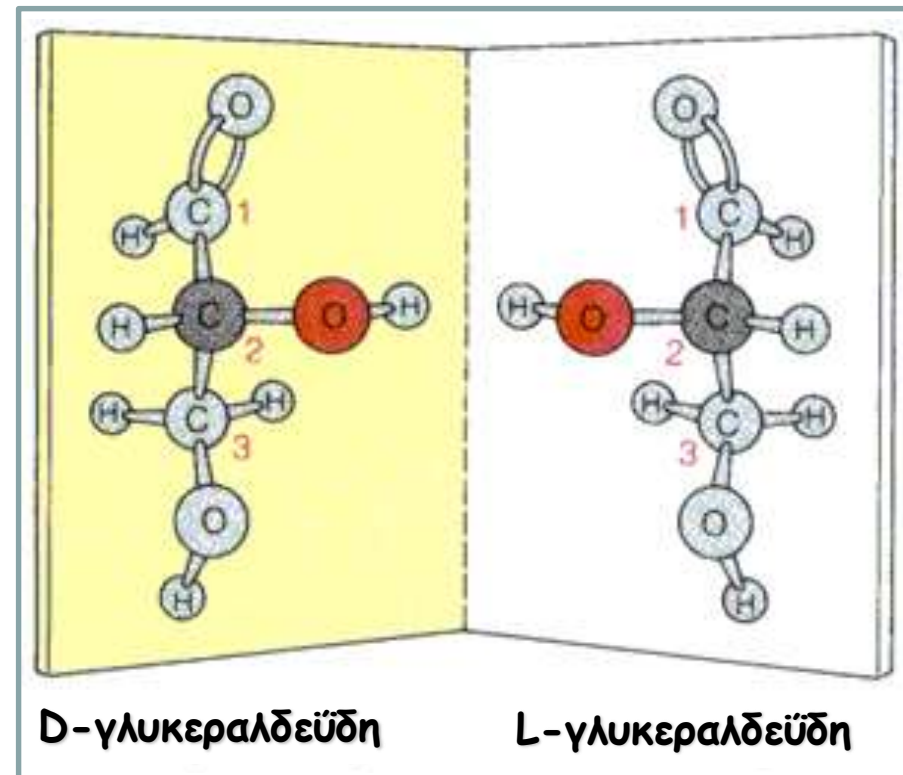


!

Μονοσακχαρίτες

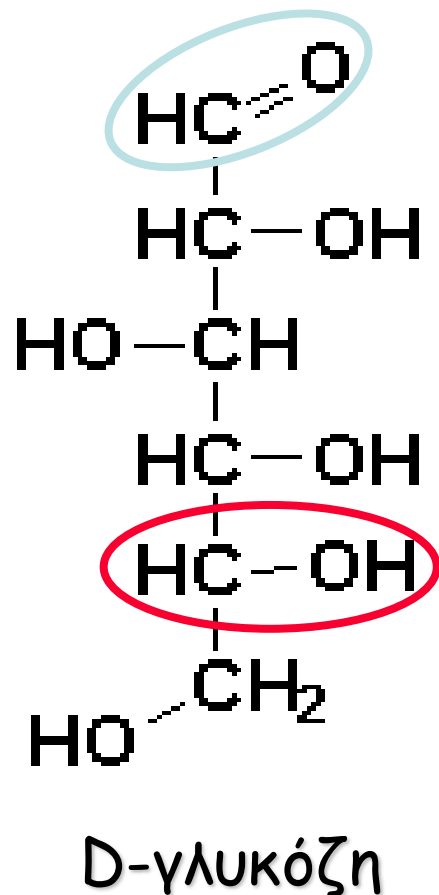
✓ Με βάση τη δομή της γλυκεριναλδεΐδης, τα φυσικά σάκχαρα έχουν τη διαμόρφωση

D-





Μονοσακχαρίτες



Γραμμικές δομές

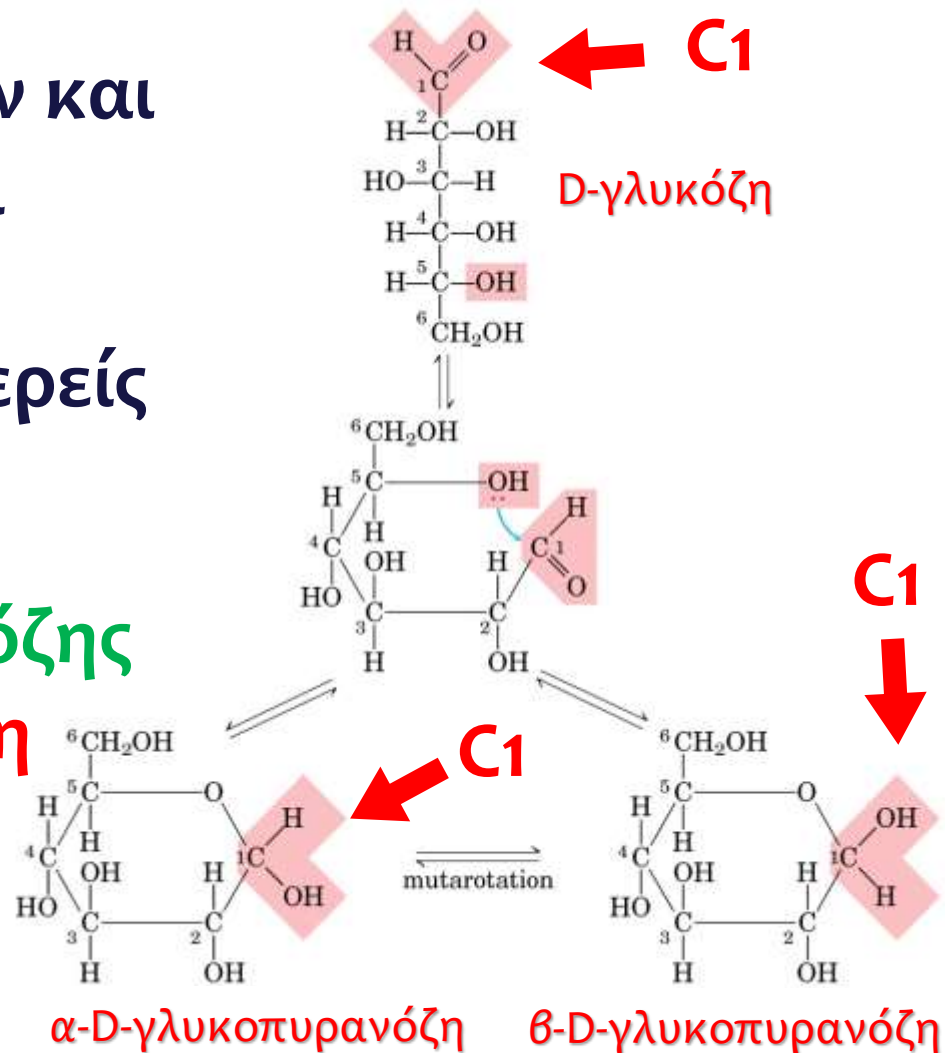
Π.χ. κατά **Fisher** προβολή
α-D-γλυκόζης:

- Αν προβάλλουμε το σάκχαρο στο επίπεδο με την καρβονυλική ομάδα στην κορυφή
- το ασύμμετρο άτομο C, που βρίσκεται μακρύτερα απ' την καρβονυλική ομάδα, έχει την **-OH ομάδα του προς τα δεξιά**

Μονοσακχαρίτες

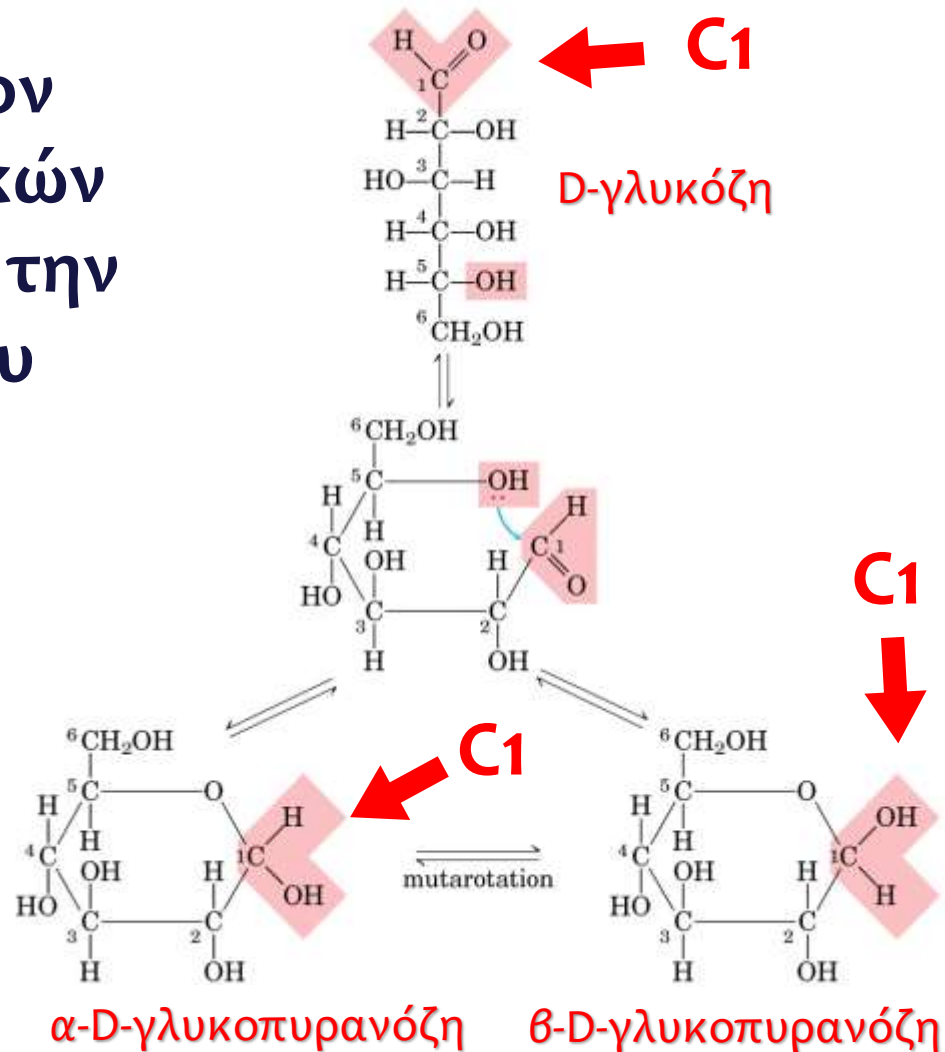
- Με την παραδοχή της **ημιακεταλικής μορφής** το άτομο του **C1** των αλδοζών και το **C2** των κετοζών γίνεται **ασύμμετρο** και έτσι παρουσιάζονται δυο ισομερείς μορφές

- Στην περίπτωση της **γλυκόζης** σχηματίζονται η **α-γλυκόζη** και η **β-γλυκόζη**, οι οποίες είναι κατοπτρικά ισομερή ως προς το άτομο **C1**



Μονοσακχαρίτες

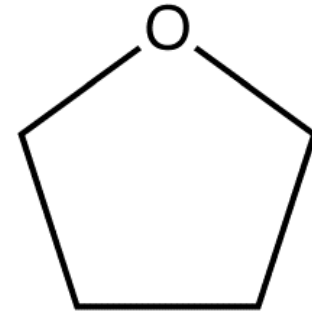
- Η παρουσία των δύο αυτών μορφών γλυκόζης εξηγεί τον **πολυστροφισμό** των υδατικών διαλυμάτων, γιατί κατά την παραμονή του σακχαρούχου διαλύματος η μία μορφή μεταπίπτει στην άλλη και τελικά αποκαθίσταται ισορροπία, οπότε η στροφή του πολωμένου φωτός παίρνει τη σταθερή της τιμή (39)



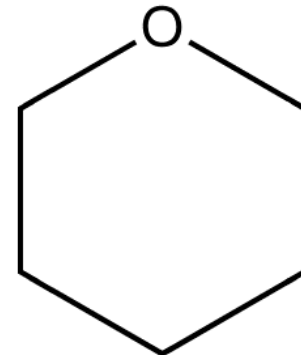
***Πόλωση του φωτός** ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο το επίπεδο ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου του φωτός είναι το ίδιο για όλα τα φωτόνια. Αυτό το φως ονομάζεται πολωμένο (wiki).

Μονοσακχαρίτες

- **Γλυκόζη**: η ισορροπία είναι ~ 38% α- & 62% β- και ένα ελάχιστο ποσοστό σε άκυκλη μορφή που εξηγεί την δυνατότητα των σακχάρων να αντιδρούν ως άκυκλες αλδεΐδες ή κετόνες



Δακτύλιος φουρανοζών

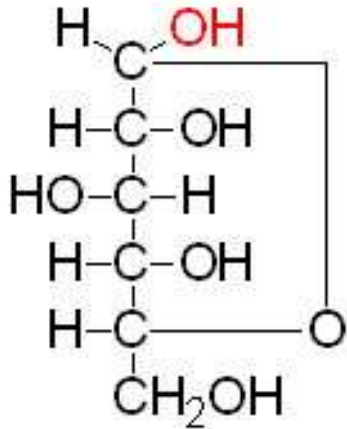


Δακτύλιος πυρανοζών

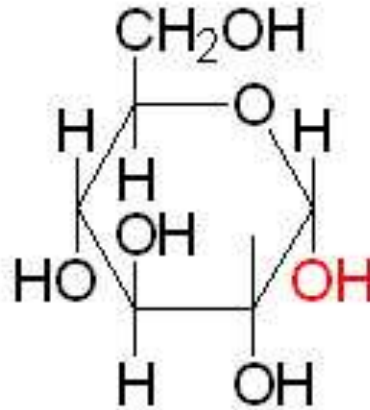
- Οι **κυκλικές ημιακετάλες** έχουν δακτυλίους με 5 ή 6 άτομα, και τα σάκχαρα με αυτές τις δομές είναι γνωστά με τα ονόματα **φουρανόζες** και **πυρανόζες**, αντίστοιχα

Μονοσακχαρίτες

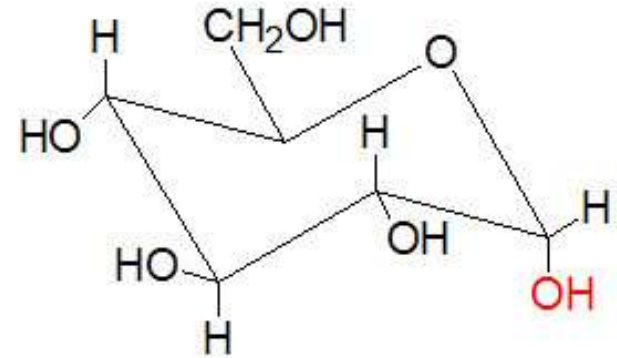
■ Π.χ. Γλυκόζη: προβολές & δομές



Κυκλική **κατά Fischer**
προβολή α-D-γλυκόζης

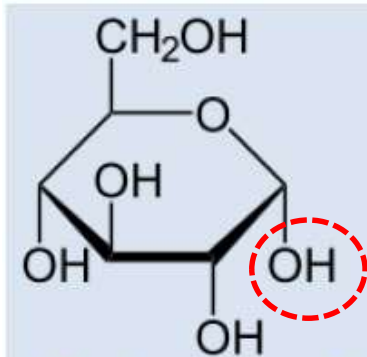


Κυκλική **κατά Haworth**
προβολή α-D-γλυκόζης

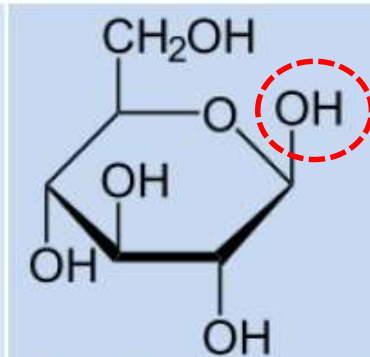


Τύπος **διαμόρφωσης**
(ανάκλιντρο) α-D-γλυκόζης

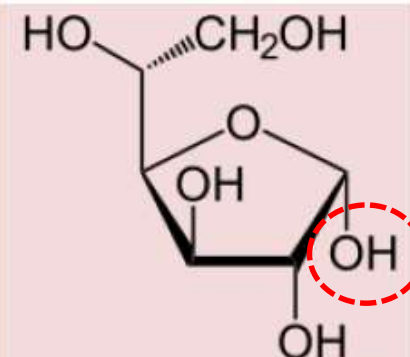
ημιακεταλικές δομές **φουρανόζης & πυρανόζης**



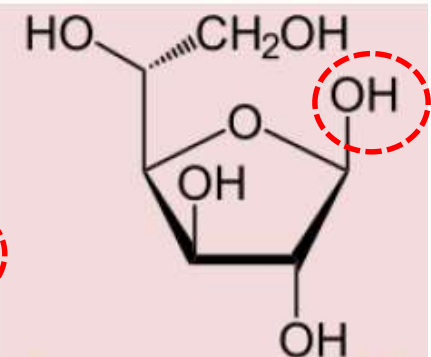
α-D-γλυκοπυρανόζη



β-D-γλυκοπυρανόζη



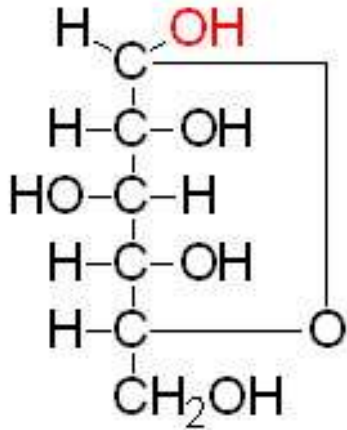
α-D-γλυκοφουρανόζη



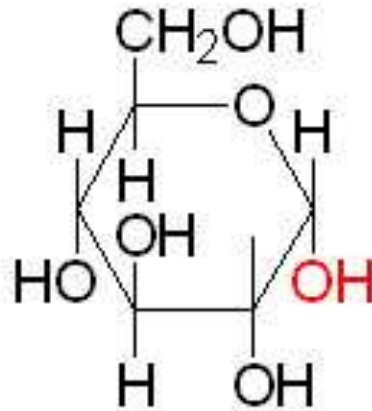
β-D-γλυκοφουρανόζη

Μονοσακχαρίτες

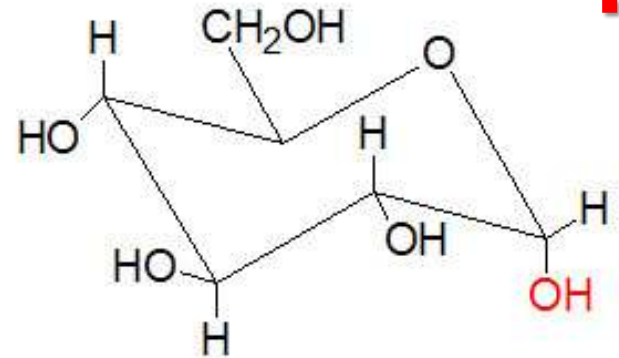
- Π.χ. **Γλυκόζη**: προβολές & δομές



Κυκλική **κατά Fischer**
προβολή α-D-γλυκόζης



Κυκλική **κατά Haworth**
προβολή α-D-γλυκόζης



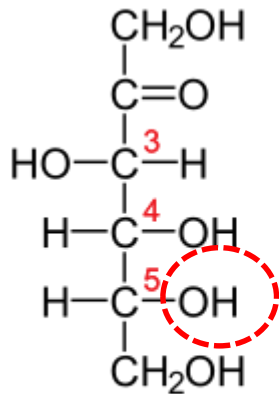
Τύπος **διαμόρφωσης**
(ανάκλιντρο) α-D-γλυκόζης

- Η μορφή της πυρανόζης (τύπος **κατά Haworth**), είναι η συνήθως στη φύση λόγω της σταθερότητάς της, αν και στο χώρο ο τύπος διαμόρφωσης **ανακλίντρου** είναι ο ορθότερος

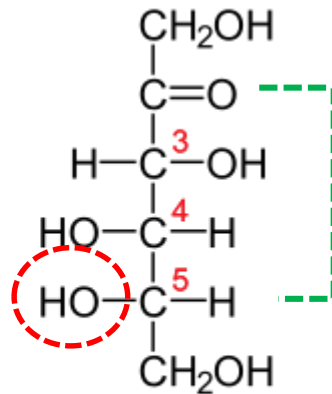
Μονοσακχαρίτες

■ Π.χ. Φρουκτόζη: προβολές & δομές

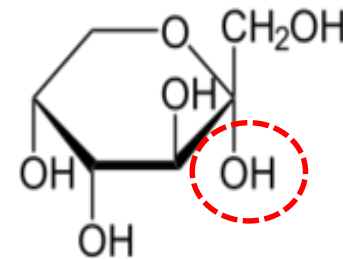
!



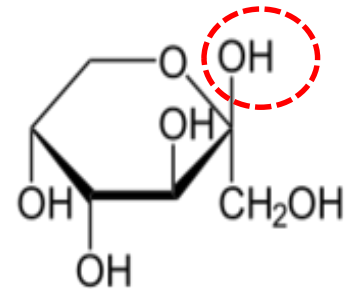
D-φρουκτόζη



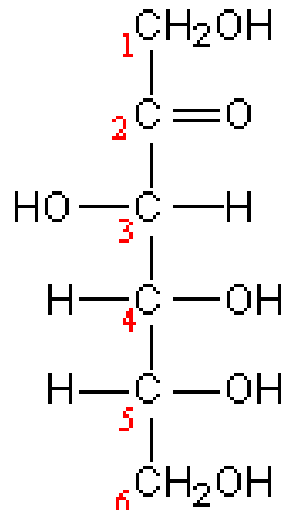
L-φρουκτόζη



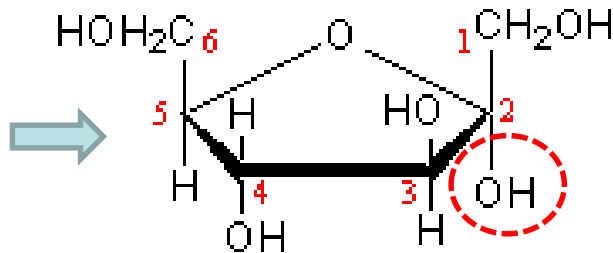
α-D-φρουκτοπυρανόζη



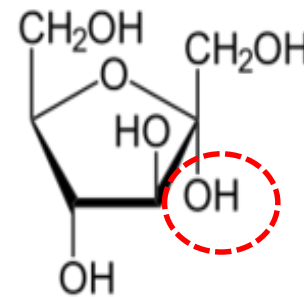
β-D-φρουκτοπυρανόζη



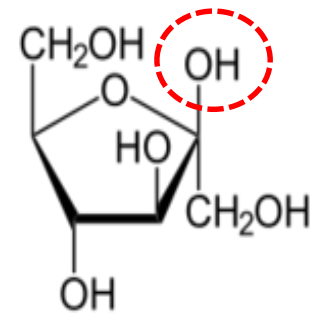
D-φρουκτόζη



α-D-φρουκτοφουρανόζη



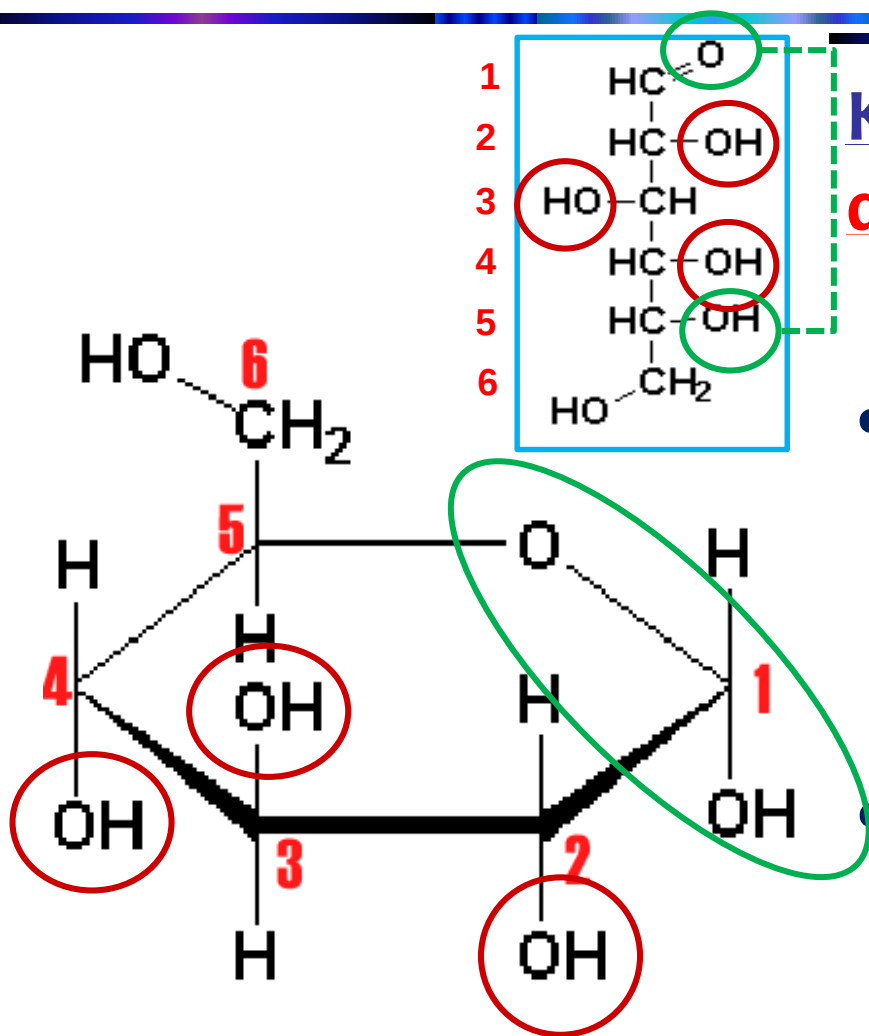
α-D-φρουκτοφουρανόζη



β-D-φρουκτοφουρανόζη

!

Μονοσακχαρίτες



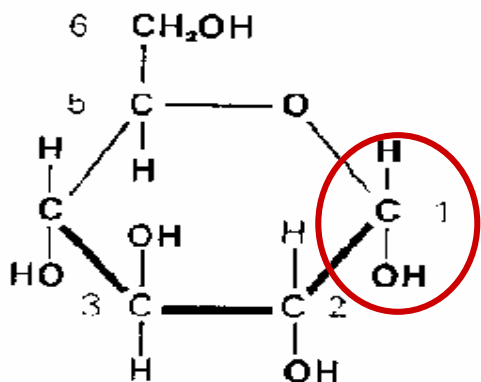
Κατά **Haworth** προβολή
α-D-γλυκόζης:

- αναπαράσταση στο επίπεδο της κυκλικής της δομής (**D-γλυκοπυρανόζη**)
- Οι -OH ομάδες στους C2 & C4 που βρίσκονται προς τα δεξιά στην προβολή κατά Fischer, στην κατά Haworth προβολή βρίσκονται κάτω από το επίπεδο του δακτυλίου

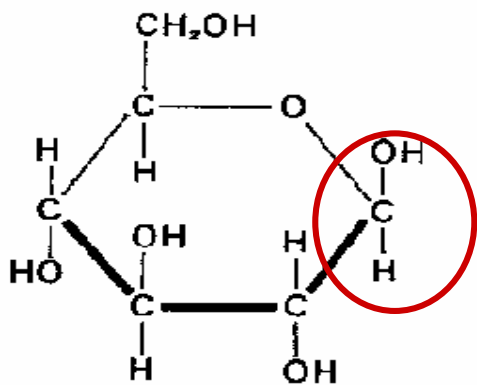


Μονοσακχαρίτες

Κυκλικές δομές



α-D-γλυκοπυρανόζη



β-D-γλυκοπυρανόζη

Επανάληψη:

• Ο **C1** (ασύμμετρος) ορίζει
πότε ένα σάκχαρο έχει την
διαμόρφωση:

α-

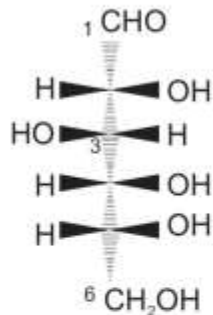
(με το OH- κάτω απ' το
επίπεδο του δακτυλίου)

β-

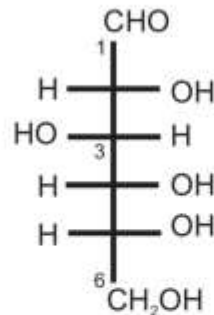
(με το OH- πάνω απ' το
επίπεδο του δακτυλίου)

Προβολές Σακχάρων

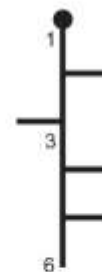
Wedge-Dash
projection



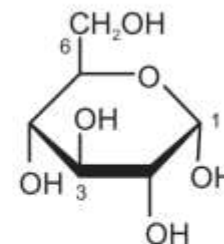
Fisher-Tollen
projection



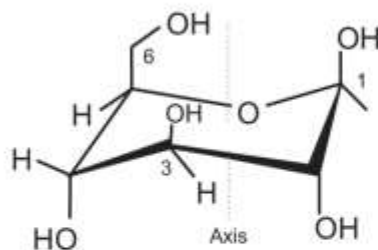
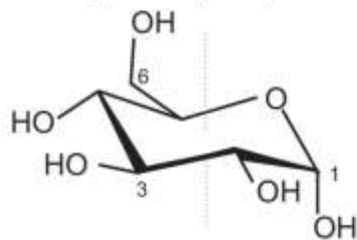
Rosanoff
projection



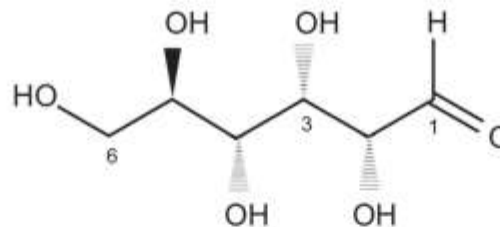
Haworth
projection (simple)



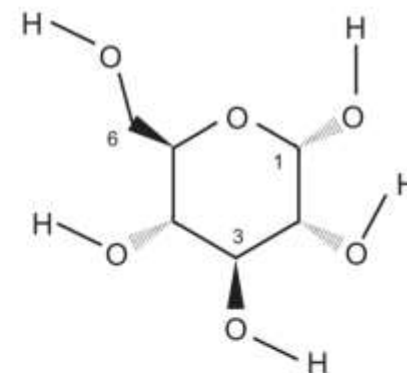
Reeve's
Projection (chair)



Natta (zigzag)
projection (simple)



Mill's (Pubchem)
projection



Legends

— Atoms in the plane of this page

▲ Atoms flanking outward
of the plane of this page (front)

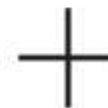


Atoms flanking inward
of the plane of this page (behind)



Haworth projection

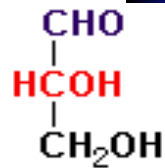
Equivalent to



Fisher projection

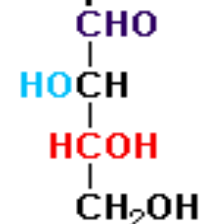
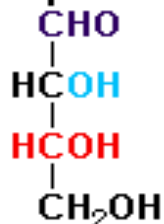
Μονοσακχαρίτες

Η κατά Fisher
προβολή των
D-αλδοζών



Τριόζη

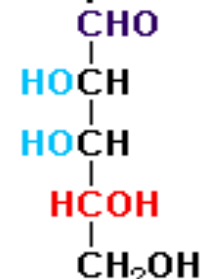
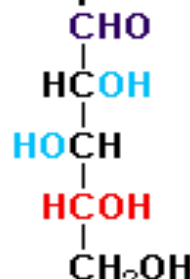
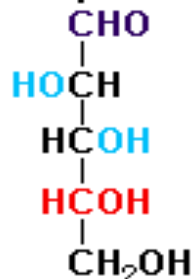
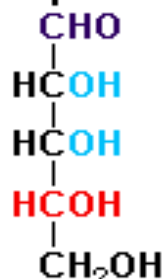
D-γλυκεριναλδεΐδη



Τετρόζες

D-ερυθρόζη

D-θρεόζη



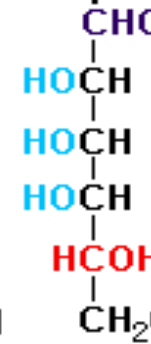
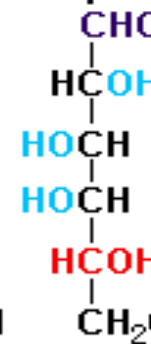
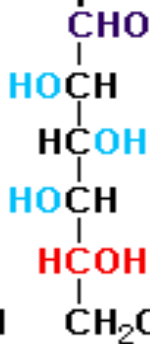
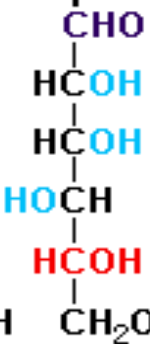
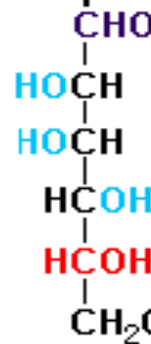
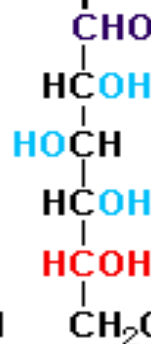
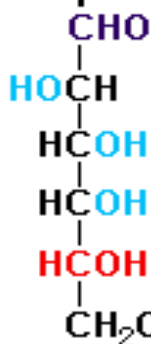
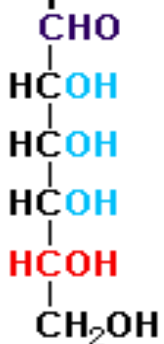
Πεντόζες

D-ριβόζη

D-αραβινόζη

D-ξυλόζη

D-λυξόζη

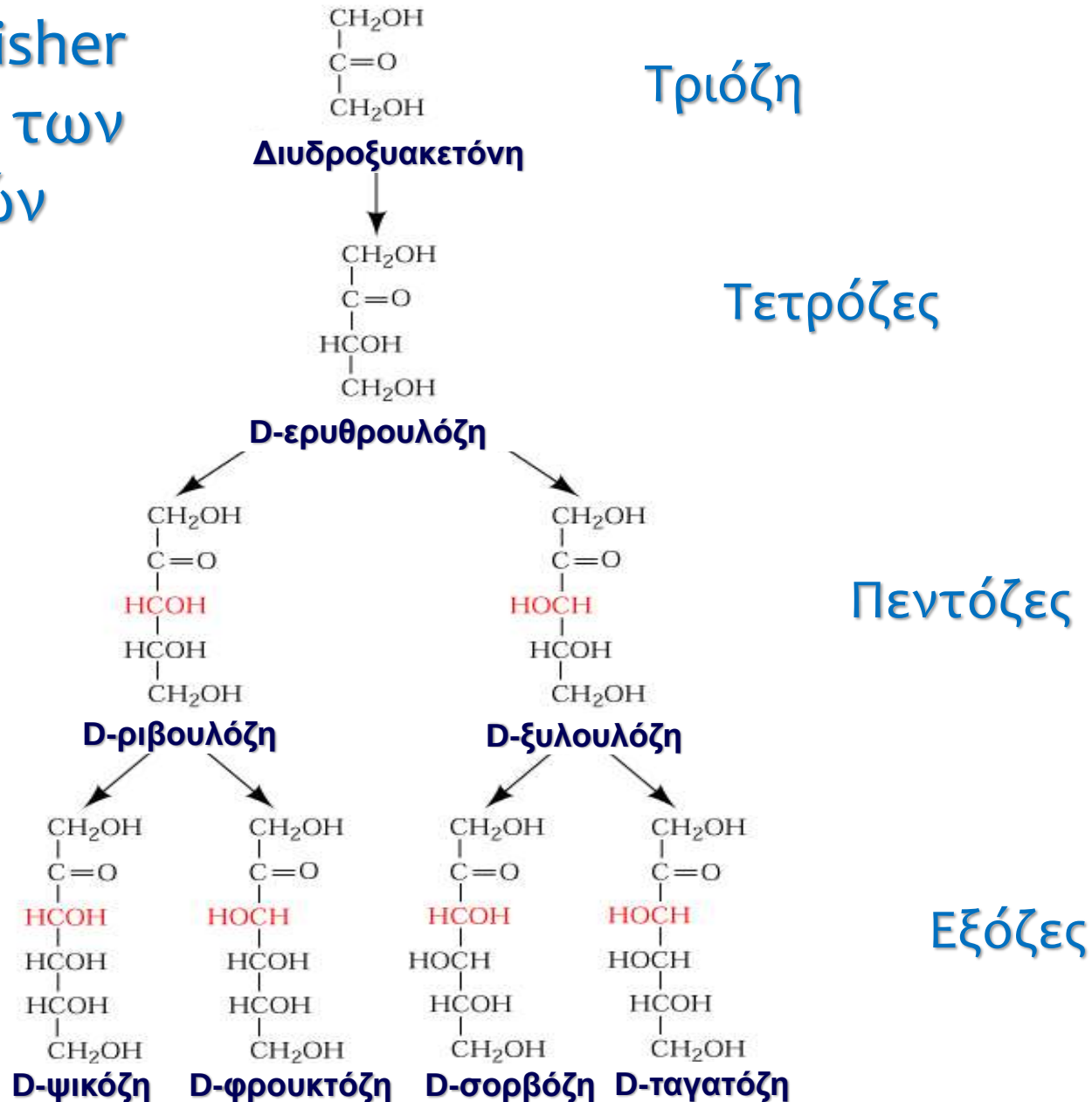


Εξόζες

D-αλλόζη D-αλτρούζη D-γλυκόζη D-μαννόζη D-γουλόζη D-ιδόζη D-γαλακτόζη D-ταλόζη

Μονοσακχαρίτες

Η κατά Fisher
προβολή των
D-κετοζών



Φυσικές ιδιότητες σακχάρων

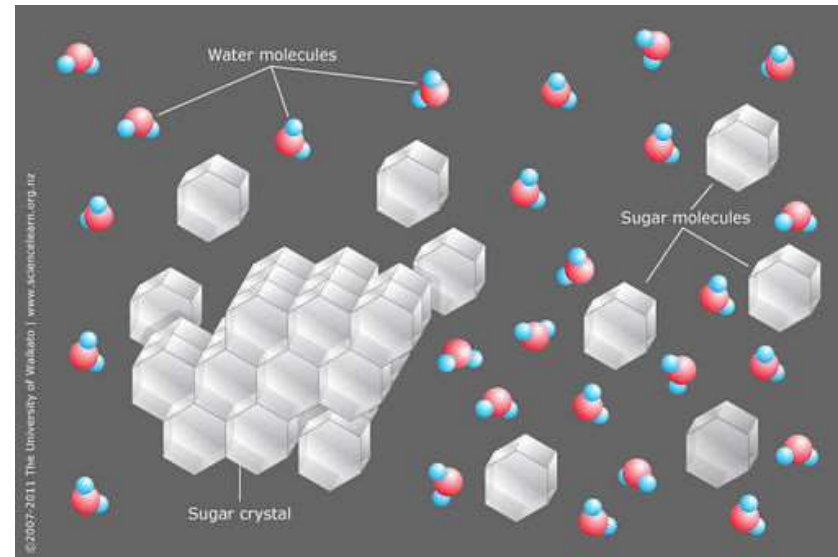
!

- Η πρόσληψη υγρασίας από ένα σάκχαρο σε κρυσταλλική μορφή εξαρτάται από τη **δομή**, τα παρόντα **ισομερή**, και την **καθαρότητα**

Υγροσκοπικότητα
& διαλυτότητα

- Η συγκράτηση νερού από τα σάκχαρα έχει πολλές εφαρμογές στην τεχνολογία τροφίμων
- Η **διαλυτότητα** των μονο- και ολιγο-σακχαριτών είναι πολύ καλή
- Τα **ανωμερή** διαφέρουν σημαντικά ως προς τη διαλυτότητα

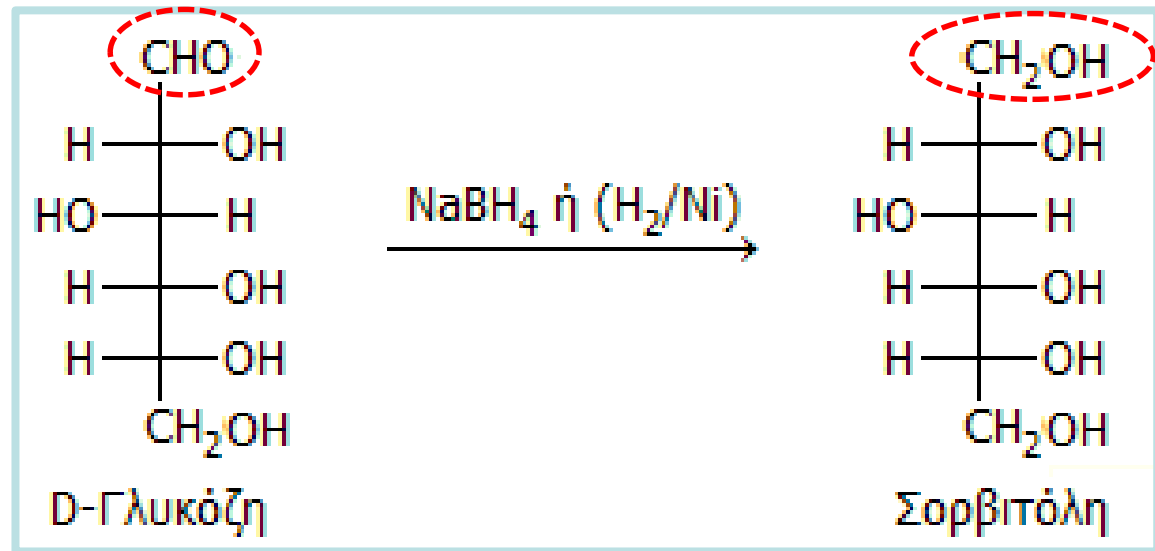
- Οι **μονοσακχαρίτες** είναι σε μικρή έκταση διαλυτοί στην αιθανόλη και αδιάλυτοι σε οργανικούς διαλύτες (αιθέρας, χλωροφόρμιο, βενζόλιο)



Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!

Αναγωγή προς
αλκοόλες
(Αλδιτόλες)

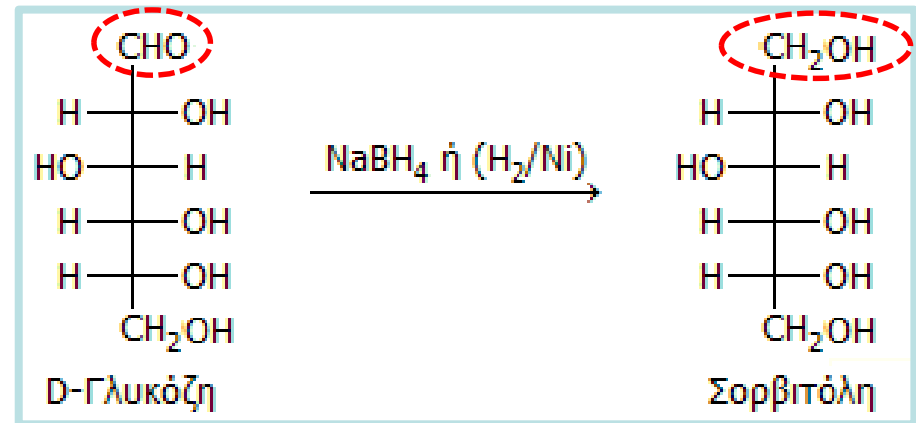


- D-Γλυκόζη → D-Σορβιτόλη
- D-Μαννόζη → D-Μαννιτόλη
- D-Γαλακτόζη → D-Δουλτσιτόλη

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!

Αναγωγή προς αλκοόλες (Αλδιτόλες)

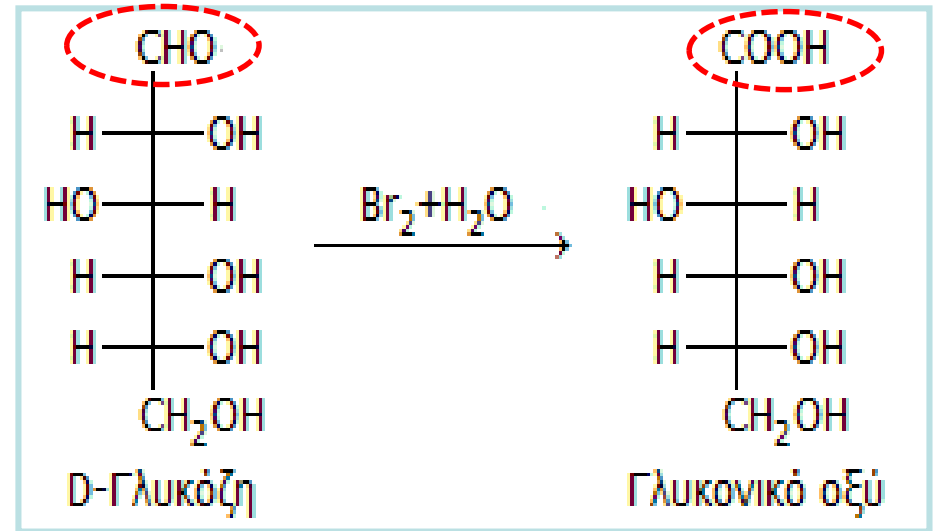


- Οι **πολύ-υδροξυλιωμένες αλκοόλες** (αλδιτόλες) είναι διαλυτές στο νερό & έχουν γλυκιά γεύση
- Χρησιμοποιούνται ως **υγροσκοπικές** και ως **γλυκαντικές ουσίες** στα τυποποιημένα τρόφιμα, π.χ. σε τσίχλες για πρόληψη τερηδόνας, τρόφιμα για **διαβητικούς** και τρόφιμα χαμηλών θερμίδων
- Υπάρχουν στη φύση (γλυκερόλη σε λιπίδια, π.χ. **σορβιτόλη** σε φρούτα, **μαννιτόλη** σε φυτικούς ιστούς, κλπ.)

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!!!

Οξείδωση προς
αλδονικά,
δικαρβοξυλικά &
ουρονικά οξέα

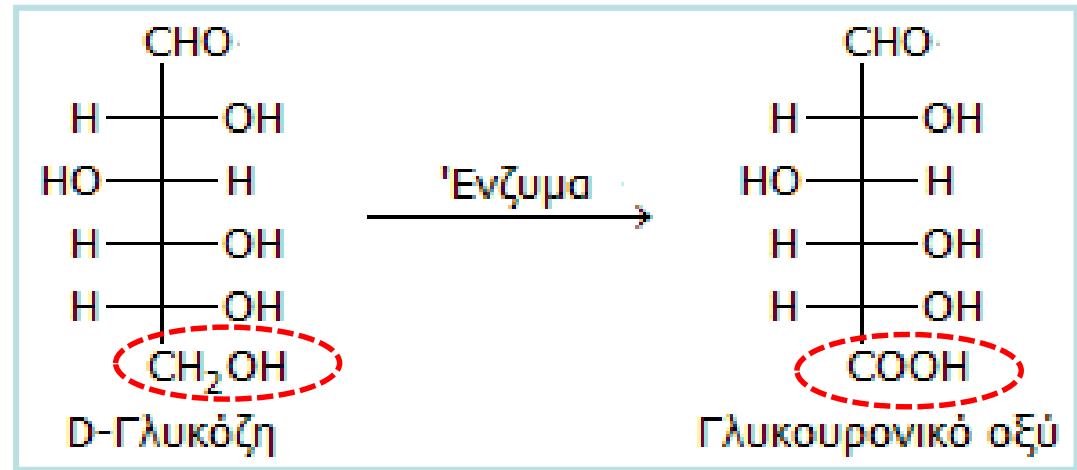


- Τα σάκχαρα έχουν αναγωγικές ιδιότητες γιατί η αλδεϋδική ομάδα μπορεί να οξειδωθεί προς καρβοξυλική δίνοντας το αντίστοιχο αλδονικό οξύ
- ✓ Εφαρμογή: Άλατα αλδονικών οξέων με Ca χρησιμοποιούνται για χορήγηση του στοιχείου αυτού

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!!

Οξείδωση προς
αλδονικά,
δικαρβοξυλικά &
ουρονικά οξέα

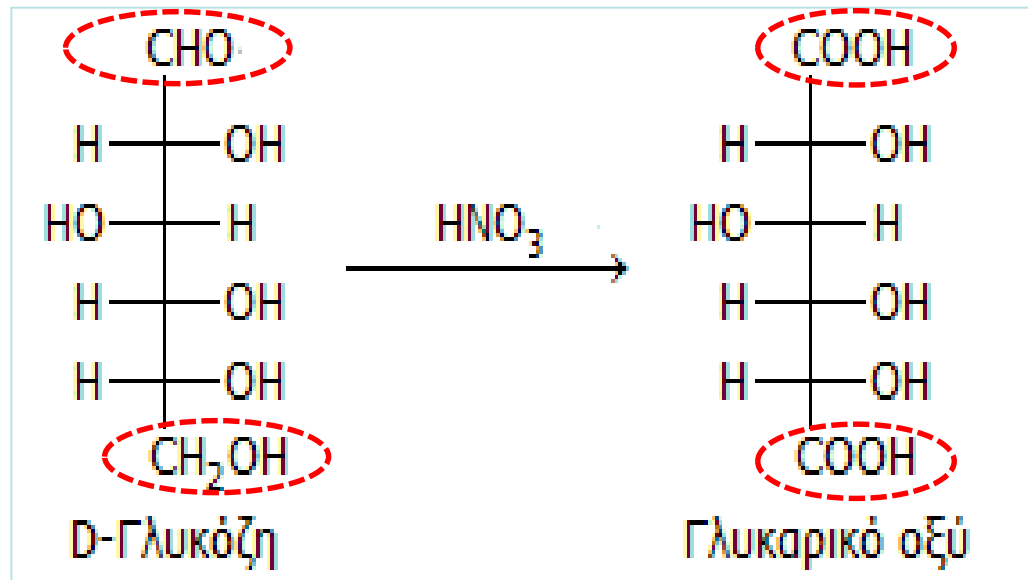


- Ουρονικά οξέα σχηματίζονται με οξείδωση της ακραίας πρωτοταγούς -OH ομάδας (**δύσκολη χημική αντίδραση - γίνεται ενζυμικά στη φύση**)
 - ✓ Π.χ. το γαλακτουρονικό οξύ αποτελεί δομικό συστατικό των πηκτινών (φρούτα), και το μαννουρονικό οξύ του αλγινικού οξέως (πολυσακχαρίτης από φύκη)

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!!

Οξείδωση προς
αλδονικά,
δικαρβοξυλικά &
ουρονικά οξέα



- Οξείδωση αλδοζών και στα δύο άκρα δίνει τα αλδαρικά ή σακχαρικά οξέα
 - ✓ Π.χ. το βλεννικό οξύ (D-γαλακταρικό οξύ) υπάρχει στη φύση αλλά χρησιμοποιείται και για τη χημική ανάλυση (διάκριση) γαλακτόζης από άλλα μονοσάκχαρα γιατί είναι αδιάλυτο σε οξέα
 - ✓ Οι κετόζες όταν οξειδώνονται δίνουν μικρότερα προϊόντα (διάσπασης), π.χ. από τη φρουκτόζη παράγονται γλυκολικό οξύ (υδροξυοξικό) & το τριυδροξυ-βουτυρικό οξύ

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!!

Επίδραση αλκαλίων

- Προκαλεί **άνοιγμα του δακτυλίου** και **ενολοποίηση** [ενόλη: -CH=C(OH)-]
- Επίδραση πιο ισχυρών αλκαλίων ενισχύει τον ισομερισμό προς ενδιόλες $\text{C}_2=\text{C}_3$, $\text{C}_3=\text{C}_4$ κλπ.

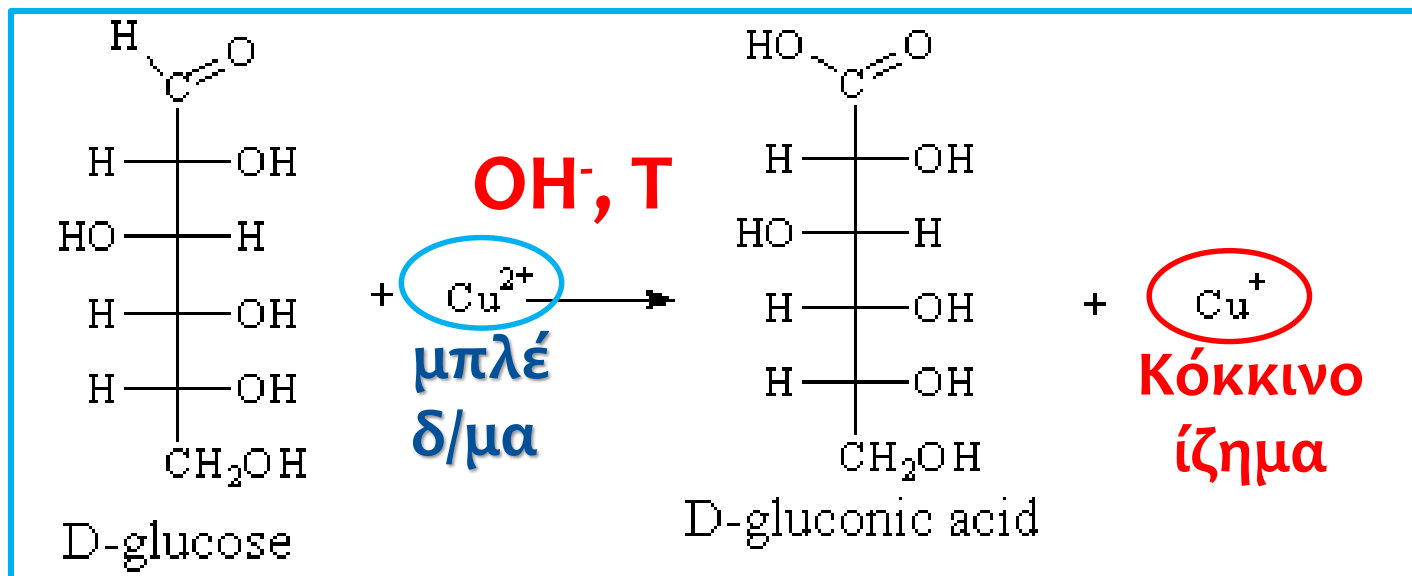
[**ενδιόλη**: -C(OH)=C(OH)-]

- Οι ενδιόλες διασπώνται στο δ. δεσμό προς μίγματα αλδεϋδών, πεντοζών, τετροζών ή τριοζών που πολλαπλασιάζουν την αναγωγική ικανότητα των σακχάρων.

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

!!!!

Επίδραση αλκαλίων



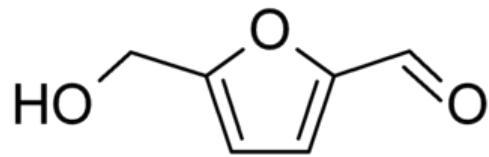
(αναγωγή Cu^{+2} προς Cu^{+1} υπό βρασμό σε αλκαλικό περιβάλλον)

Η αντίδραση βρίσκει εφαρμογή στον προσδιορισμό σακχάρων π.χ. με τη μέθοδο **Layne-Eynon!!!**

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

Επίδραση
οξέων

!!

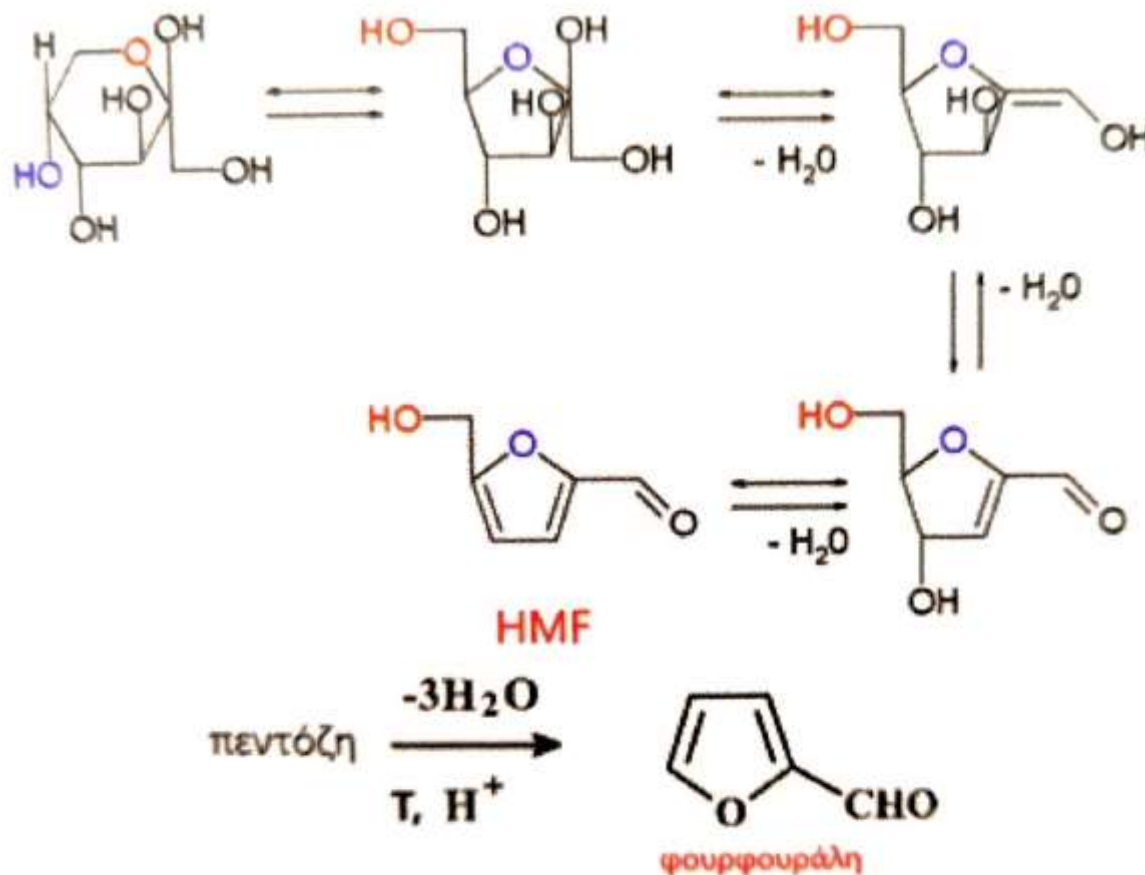


5-υδροξυ-
μέθυλο-
φουρφουράλη
(HMF)

- Αραιά διαλύματα οξέων έχουν μικρή επίδραση στους μονοσακχαρίτες
- Θέρμανση σε ισχυρά όξινο περιβάλλον προκαλεί αφυδάτωση προς φουρανικά παράγωγα: π.χ.
φουρφουράλη απ' τις πεντόζες και 5-υδροξυμέθυλο-φουρφουράλη απ' τις εξόζες
- Οι φουρφουράλες αντιδρούν εύκολα προς ενώσεις καστανών χρωμάτων, στις οποίες οφείλεται η **αμαύρωση** των τροφίμων κατά την επεξεργασία

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

Επίδραση οξέων



Σχήμα 5.5. Αφυδάτωση σακχάρων σε όξινο περιβάλλον για τον σχηματισμό φουρφουράλης και ΥΜΦ.

Χημικές ιδιότητες σακχάρων

Επίδραση οξέων

- Από αναλυτικής άποψης έχει σημασία η συμπύκνωση των φουρφουραλών με φαινόλες, όπου στηρίζονται οι μέθοδοι ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης των σακχάρων, όπως:

!!

- Δοκιμή Molisch:
με αλκοολικό διάλυμα α-ναφθόνης & π. $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ανίχνευση σακχάρων
- Αντίδραση Seliwanoff:
με ρεσορκινόλη & $\text{HCl} \rightarrow$ διάκριση κετοζών - αλδοζών
- Αντίδραση ανθρόνης:
με ανθρόνη & π. $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ποσοτικός προσδιορισμός σακχάρων

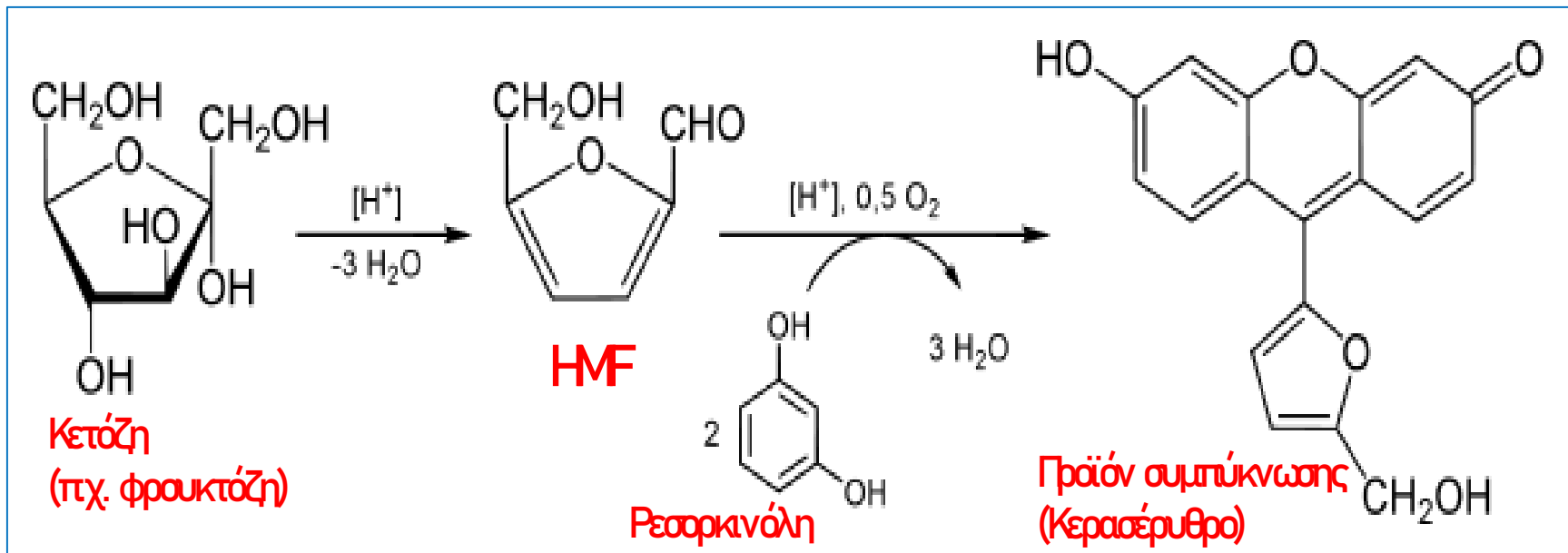
Χημικές ιδιότητες σακχάρων

Επίδραση οξέων

!!!

■ Δοκιμή Fiehe:

με ρεσορκινόλη & HCl → ανίχνευση τεχνητού ιμβερτοσακχάρου στο μέλι



* **HMF** = 5-(υδροξυμέθυλο)-φουρφουράλη

* **Ιμβερτοσάκχαρο**: ισομοριακό μίγμα γλυκόζης και φρουκτόζης που προκύπτει από όξινη υδρόλυση της σακχαρόζης (ζάχαρης)

Χημικές ιδιότητες σακχάρων !

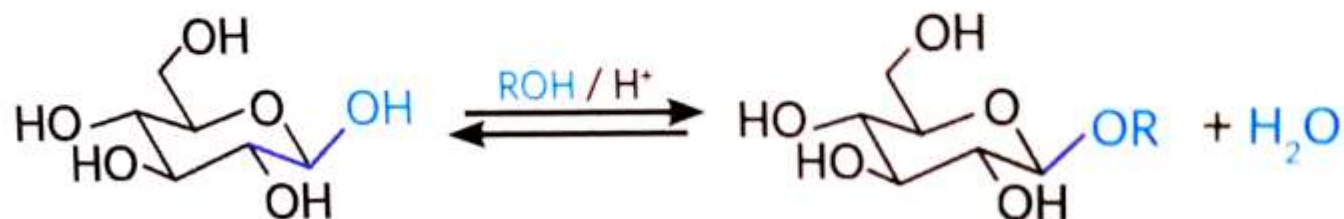
Γλυκοζίτες

Προϊόντα **συμπύκνωσης** ενός σακχάρου κι ενός άλλου συστατικού (όταν δεν είναι σάκχαρο, ονομάζεται **αγλυκόνη**)

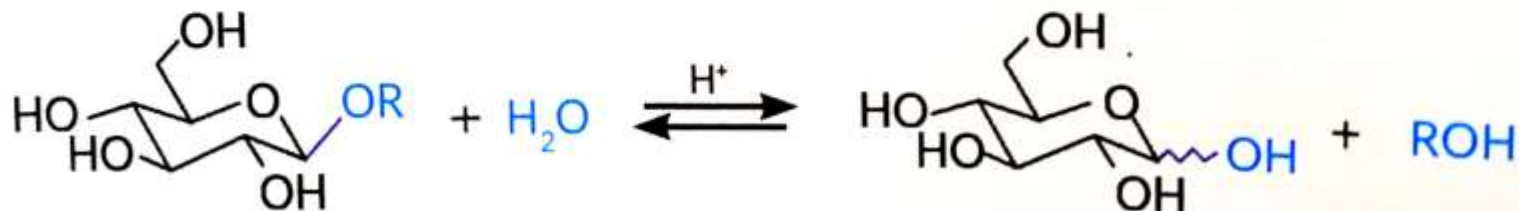
- Σχηματίζονται από το **H** του **ημιακεταλικού -OH**, οπότε και οι ολιγο- & πολυσακχαρίτες θεωρούνται γλυκοζίτες
- Λαμβάνονται σε μικρές ποσότητες από την τροφή αλλά επηρεάζουν πολύ την ποιότητα των τροφίμων ή τον οργανισμό

Γλυκοζίτες

Γ. Σχηματισμός γλυκοζιτών



Δ. Υδρόλυση γλυκοζιτών



Χημικές ιδιότητες σακχάρων Γλυκοζίτες

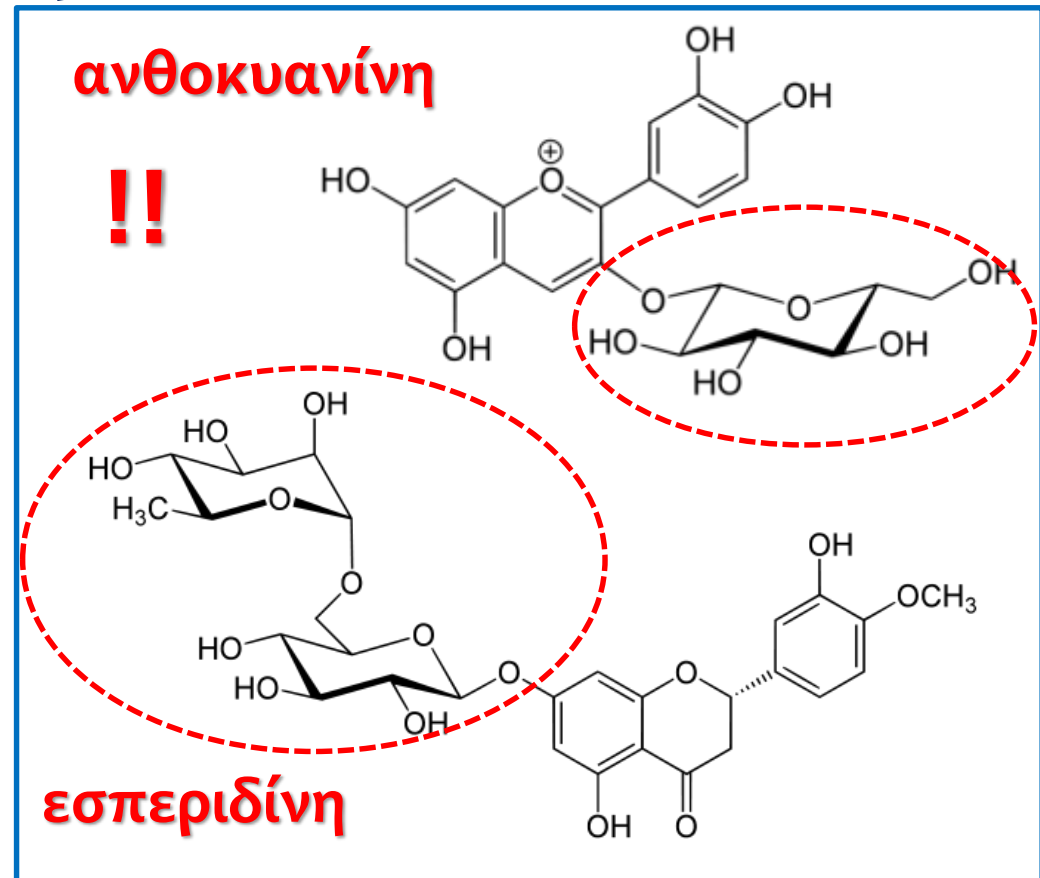
- ✓ Γλυκοαλκαλοειδή με βιολογική δράση (π.χ. σολανίνη πατάτας) !!
- ✓ Γλυκοζίτες που με υδρόλυση αποδίδουν HCN ή πολυφαινόλες, οι οποίες με οξείδωση δίνουν σκούρα χρώματα
- ✓ Σαπωνίνες (στεροειδείς γλυκοζίτες) που δημιουργούν αφρισμό (π.χ. δημιουργούν πρόβλημα στην εκχύλιση των τεύτλων)
- ✓ Γλυκοζίτες που είναι φυσικές χρωστικές ή έχουν πικρές γεύσεις
- ✓ Ανάλογα με το άγλυκο συστατικό διακρίνονται σε O-γλυκοζίτες, N-γλυκοζίτες & S-γλυκοζίτες

Χημικές ιδιότητες σακχάρων Γλυκοζίτες

- **Ο-γλυκοζίτες:** γλυκό συστατικό κυρίως η β-D-γλυκοπυρανόζη & άγλυκο συστατικό φαινόλες, φλαβόνες, στεροειδή, τερπενοειδή κ.α.
Π.χ.: οι φλαβονοειδείς γλυκοζίτες:

✓ **Ανθοκυανίνες**
(άγλυκο συστατικό
ανθοκυανιδίνη-
φυσικές χρωστικές)

✓ **Εσπεριδίνη** (άγλυκο
συστατικό είναι η
φλαβανόνη
εσπεριτίνη)

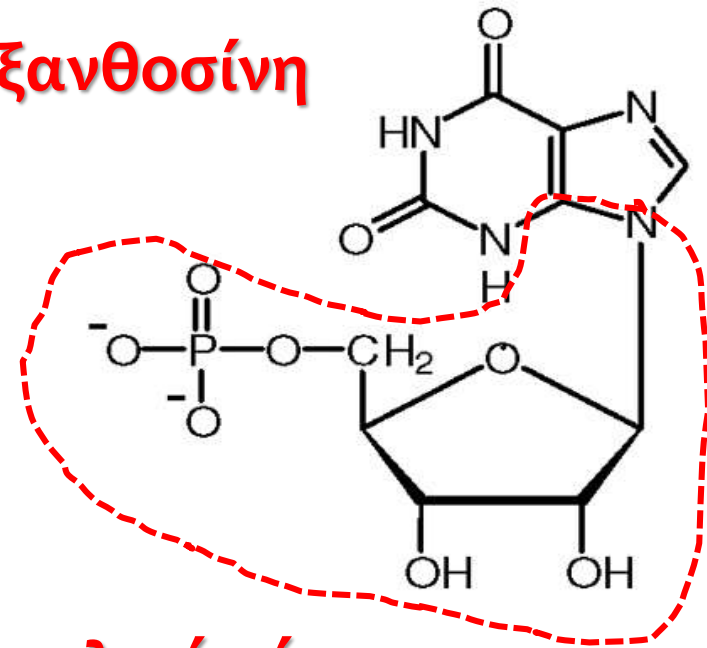


- **N-γλυκοζίτες:**
νουκλεοτίδια
ενώσεις αζωτούχου
βάσης & P-ριβόζης –
ορισμένα χρησιμο-
ποιούνται ως
ενισχυτικά γεύσης:

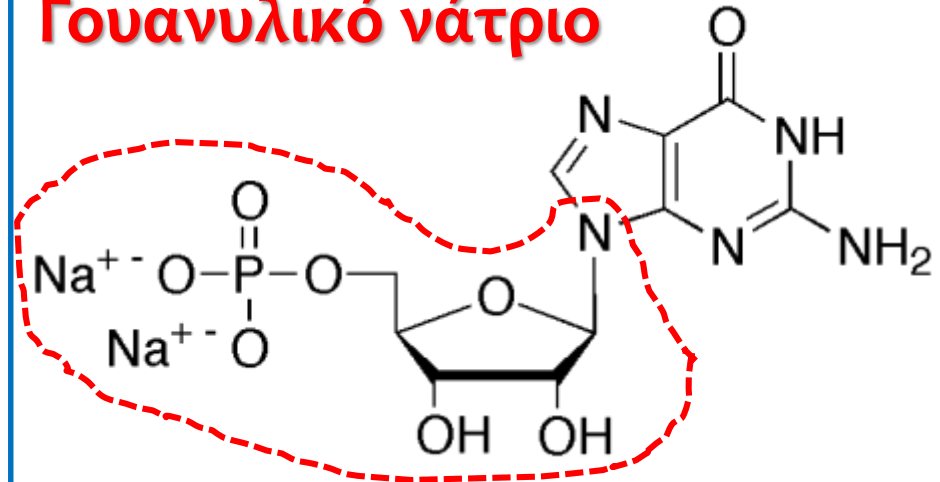
- ✓ **5'-P-ξανθοσίνη**
- ✓ **Γουανυλικό νάτριο**

5'-P-ξανθοσίνη

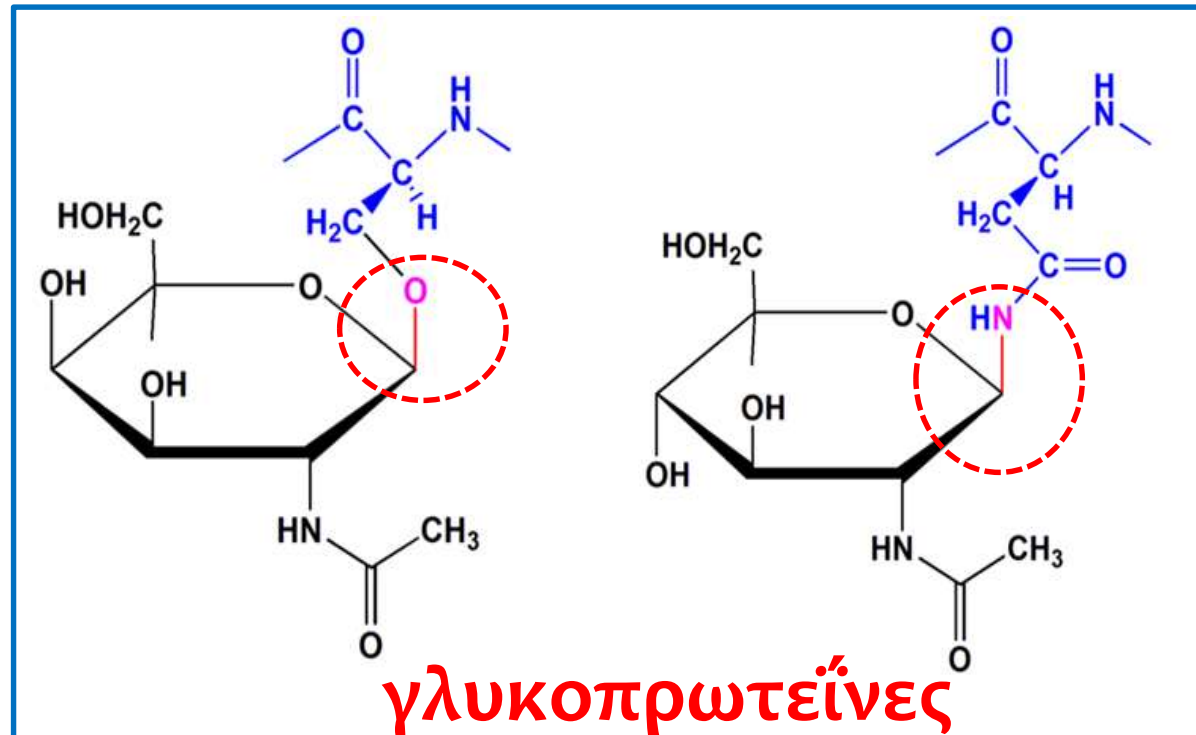
!!



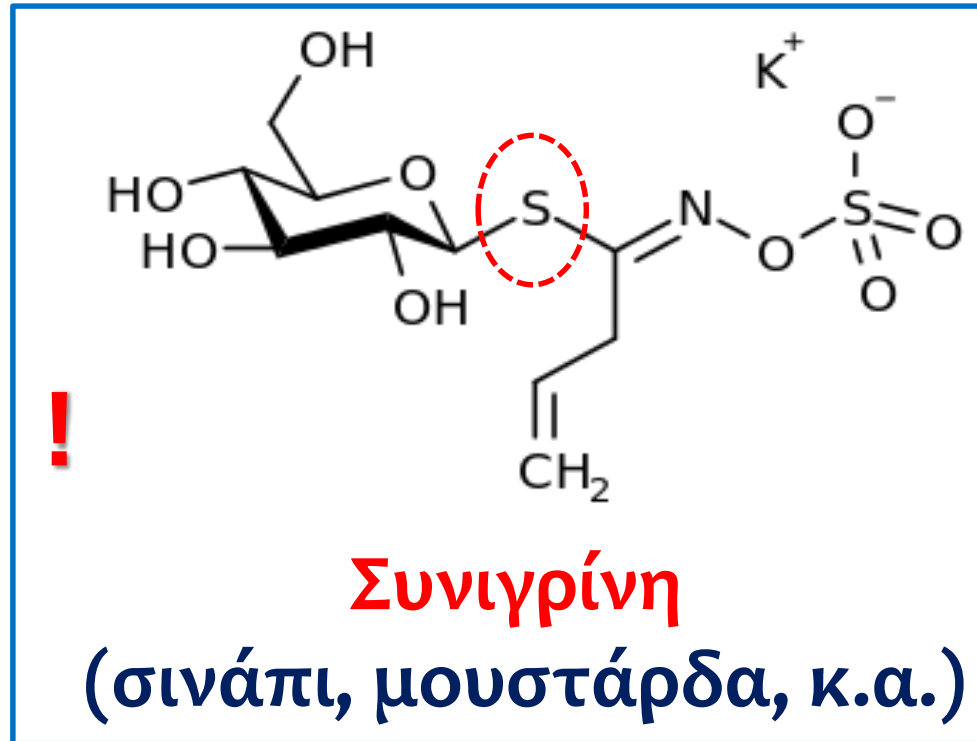
Γουανυλικό νάτριο



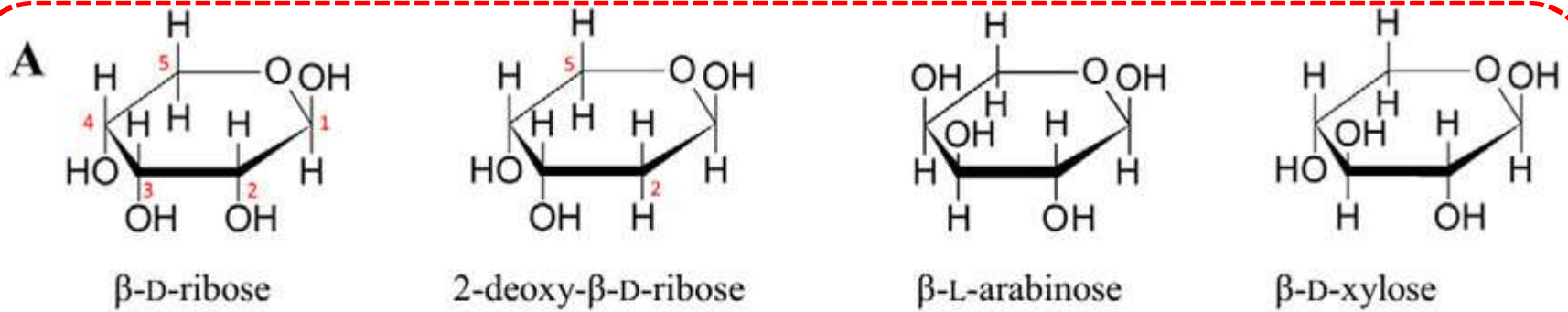
!!



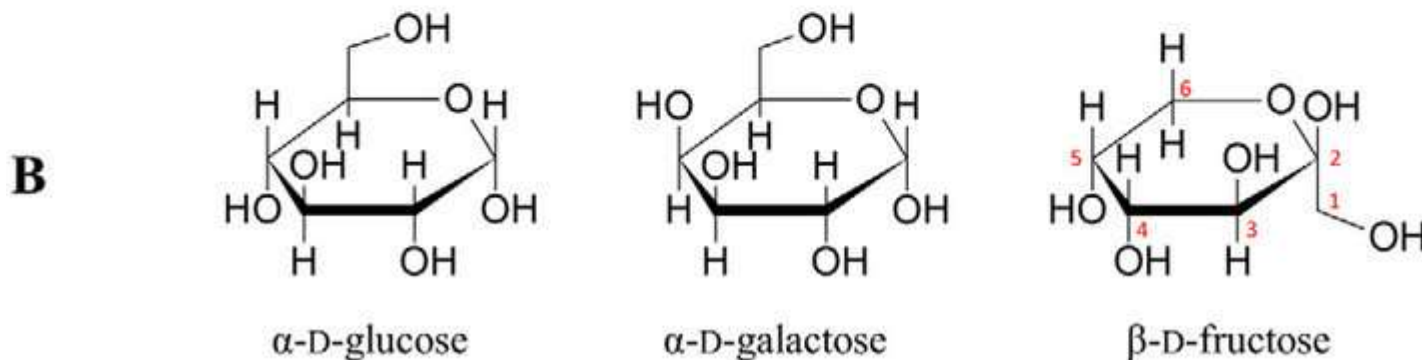
✓ Μικτοί O- & N-γλυκοζίδες:
γλυκοπρωτεΐνες (π.χ. από το -OH
μιας σερίνης & την -NH μιας λυσίνης)



- ✓ **S-γλυκοζίτες:** απαντούν σε διάφορα φυτικά τρόφιμα και με υδρόλυση δίνουν ισοθειοκυανικούς εστέρες (**-N=C=S**) (π.χ. **σιναπέλαια**) με δριμύτητα γεύσης



Πεντόζες



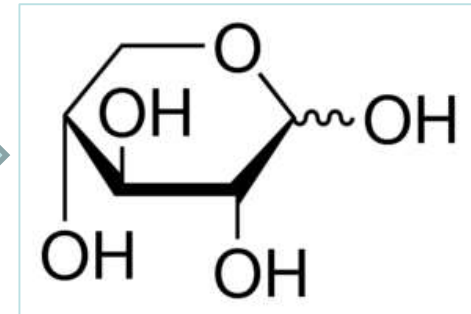
Εξόζες
για
σύγκριση

■ Πεντόζες:

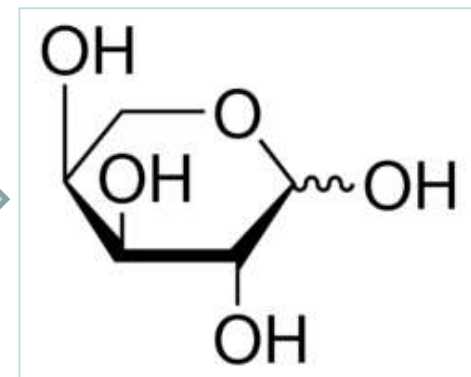
ευρύτατα διαδεδομένες στη φύση ενωμένες
ως συστατικά **πολυσακχαριτών ή γλυκοζιτών**
(ημικυτταρίνες ξύλων, RNA, DNA)

■ Οι πιο γνωστές πεντόζες είναι οι:

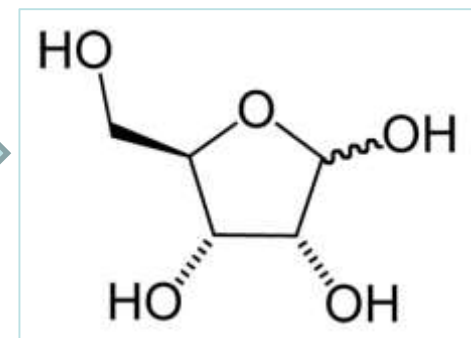
✓ **D-ξυλόζη**: συστατικό πεντοζανών στα άχυρα, πίτυρα, ξύλο



✓ **L-αραβινόζη**: συστατικό κόμμεων, πηκτινικών υλών, ημικυτταρινών

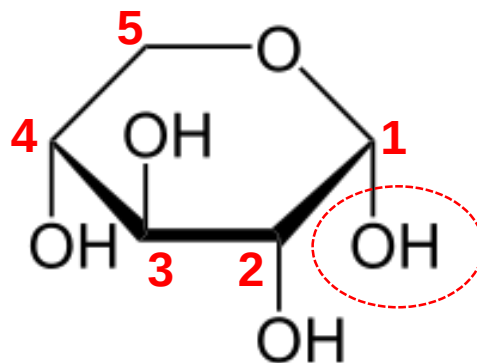


✓ **D-ριβόζη**: συστατικό νουκλεϊνικών οξέων

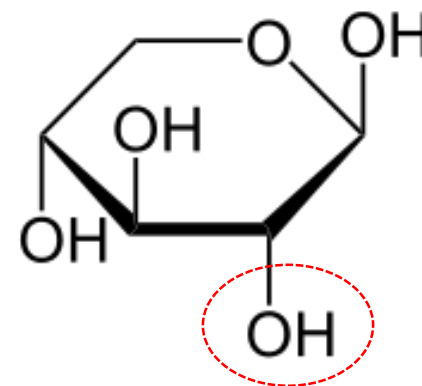


✓ D-ξυλόζη

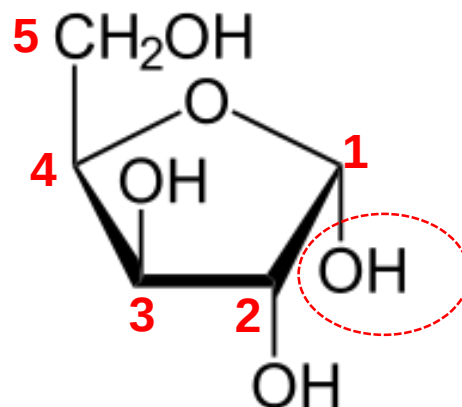
!!



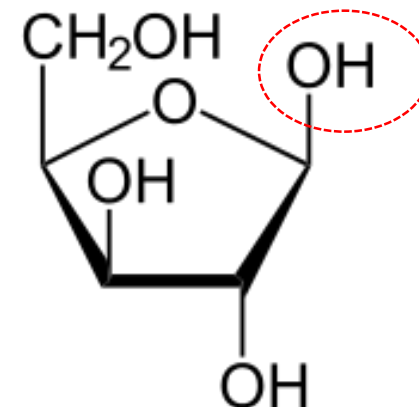
α -D-Xylopyranose
 α -D-ξυλοπυρανόζη



β -D-Xylopyranose
 β -D-ξυλοπυρανόζη



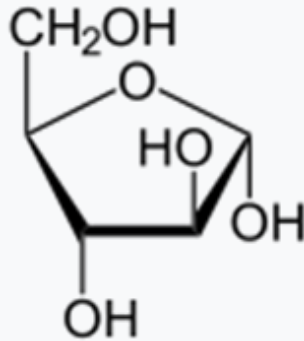
α -D-Xylofuranose
 α -D-ξυλοφουρανόζη



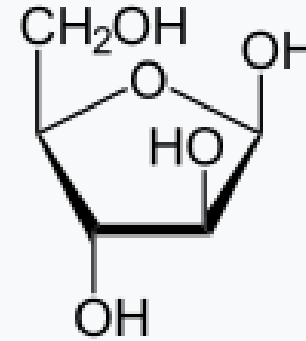
β -D-Xylofuranose
 β -D-ξυλοφουρανόζη

✓ L-αραβινόζη

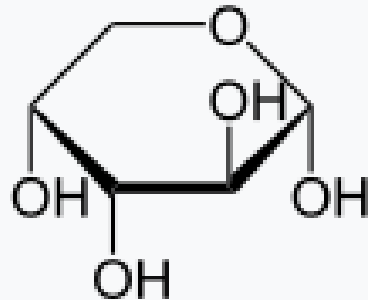
!!



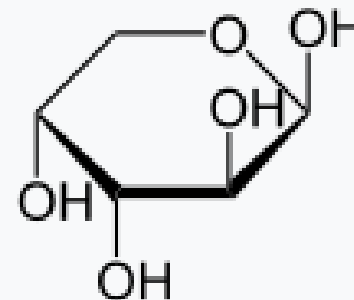
α -D-Arabinofuranose
 α -D-αραβινοπυρανόζη



β -D-Arabinofuranose
 β -D-αραβινοπυρανόζη



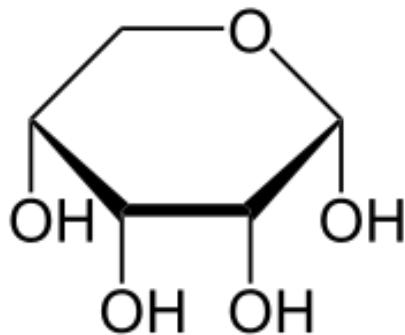
α -D-Arabinopyranose
 α -D-αραβινοφουρανόζη



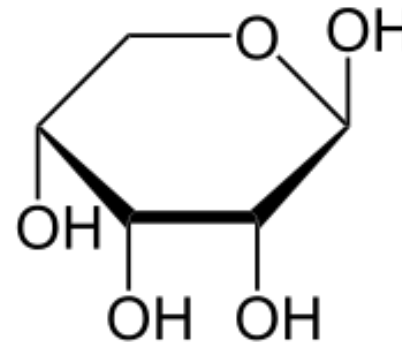
β -D-Arabinopyranose
 β -D-αραβινοφουρανόζη

✓ D-ριβόζη

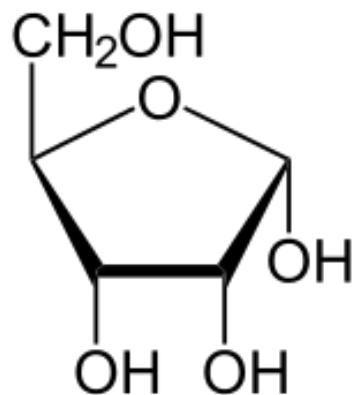
!!



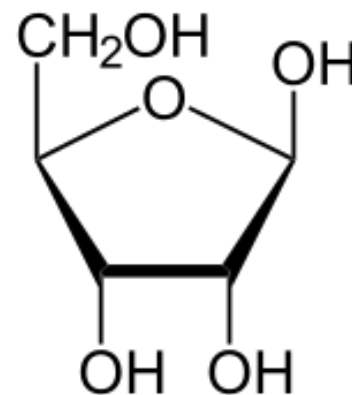
α -D-Ribopyranose
 α -D-ριβοπυρανόζη



β -D-Ribopyranose
 β -D-ριβοπυρανόζη



α -D-Ribofuranose
 α -D-ριβοφουρανόζη

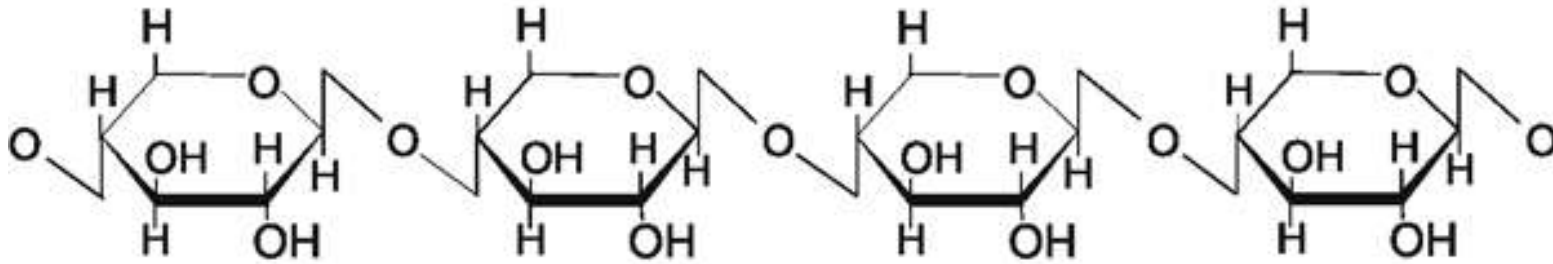


β -D-Ribofuranose
 β -D-ριβοφουρανόζη

- **Πεντοζάνες:** ανυδριτικά πολυμερή παράγωγα πεντοζών (π.χ. αραβινόζης & ξυλόζης)

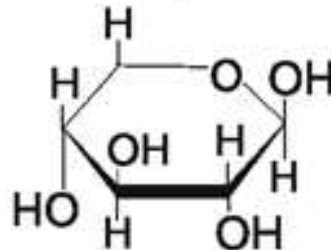
!!

✓ Ενώσεις μεγάλου ΜΒ που δεν πέπτονται



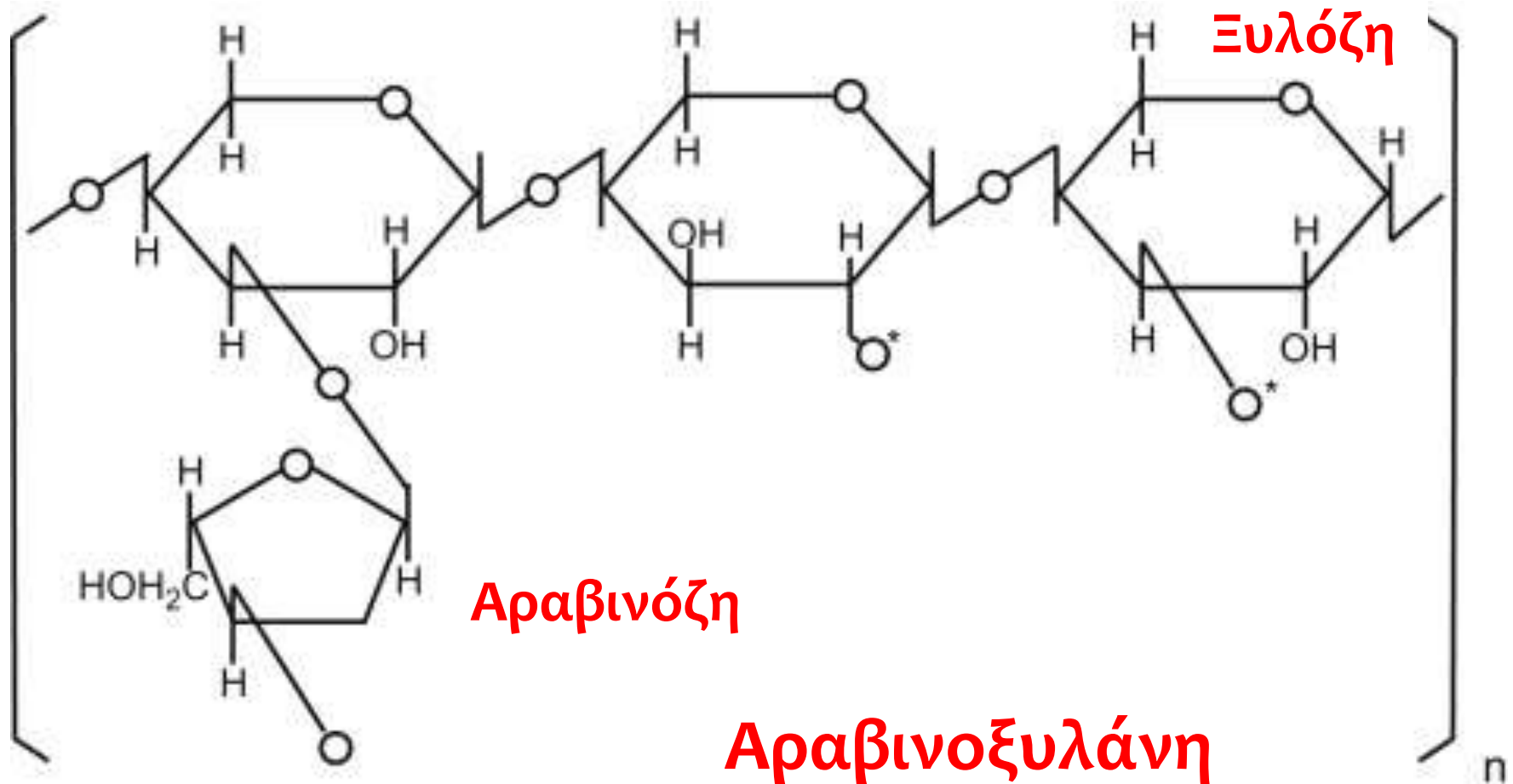
Ξυλάνη

Υδρόλυση με το ένζυμο **ξυλανάση**



Ξυλόζη

- **Πεντοζάνες:** ανυδριτικά παράγωγα πεντοζών (π.χ. αραβινόζης & ξυλόζης)
- ✓ Ενώσεις μεγάλου ΜΒ που δεν πέπτονται



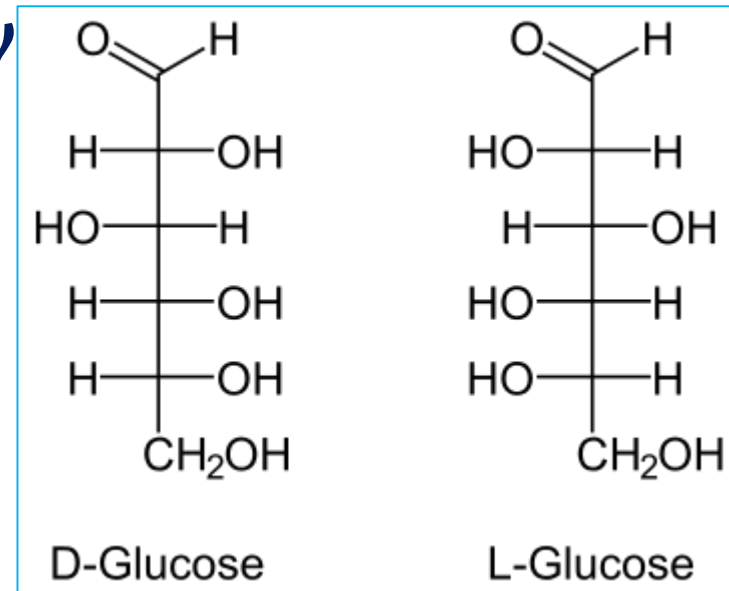
- Ευρύτατα διαδεδομένες στη φύση, με κυριότερες τις **γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη, μαννόζη**

- **D-γλυκόζη:**

- ✓ Ελεύθερη ή συστατικό πολλών ολιγο- και πολυσακχαριτών & γλυκοζιτών

- ✓ Βιομηχανικά παράγεται από υδρόλυση **αμύλου** (**αμυλοσιρόπι**) με αραιά οξέα ή με συνδυασμό ενζύμων (**αμυλάσες**)

!!!



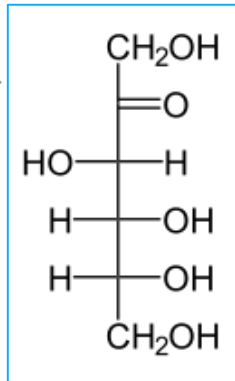
■ D-γλυκόζη:

!!!

- ✓ Προϊόντα ενζυμικής υδρόλυσης με διαφορετική περιεκτικότητα σε **γλυκόζη, μαλτόζη & δεξτρίνες** έχουν διαφορετική γλυκύτητα και φυσικές ιδιότητες
- ✓ Έχουν εφαρμογή στη βιομηχανία τροφίμων ως ενισχυτικά γεύσης, για τη **ρύθμιση ιξώδους, υγροσκοπικότητας & σημείου πήξης,** και για την **παρεμπόδιση της κρυστάλλωσης**

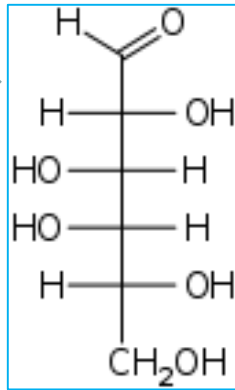
■ D-φρουκτόζη:

- ✓ Βρίσκεται σε μέλι, φρούτα, μελάσσα κ.α.
- ✓ Παρασκευάζεται με υδρόλυση της **ινουλίνης** (πολυσακχαρίτης φρουκτόζης)



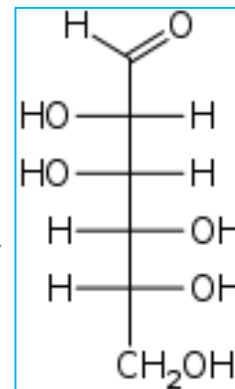
■ D-γαλακτόζη:

- ✓ Συστατικό ολιγο- & πολυσακχαριτών
- ✓ Παραλαμβάνεται με υδρόλυση **λακτόζης** (ο δισακχαρίτης του γάλακτος), **ραφινόζης**, **κόμμεων** κ.α.



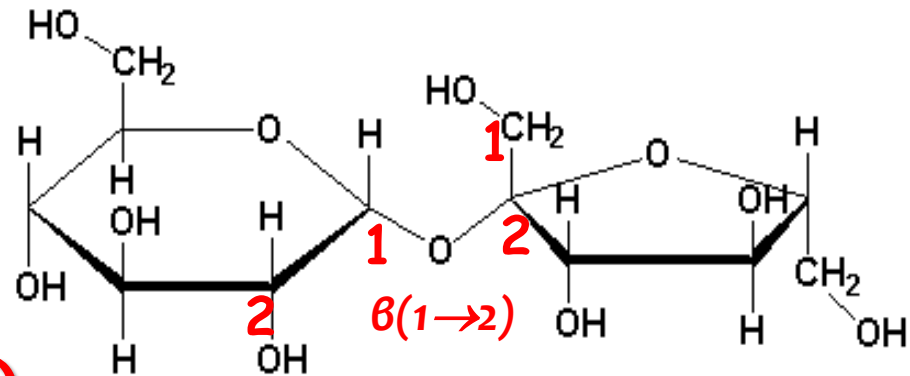
■ D-μαννόζη:

- ✓ Σε εσπεριδοειδή, μελάσσα, ελιές, κ.α.



Ολιγοσακχαρίτες: Δισακχαρίτες

- Σπουδαία κατηγορία συστατικών των τροφίμων - Σχηματίζονται από δύο μόρια μονοσακχαριτών
- Οι κυριότεροι είναι η **σακχαρόζη** (καλαμοσάκχαρο), η **μαλτόζη**, και η **λακτόζη**



- **Σακχαρόζη**
(καλαμοσάκχαρο, ζάχαρη)
(α-D-γλυκοπυρανόζυλο-1→2-β-D-φρουκτοφουρανοζίτης)

- ✓ Πολύ διαδεδομένη στη φύση (φρούτα, σακχαροκάλαμο, σακχαρότευτλα, μέλι, γλεύκος)

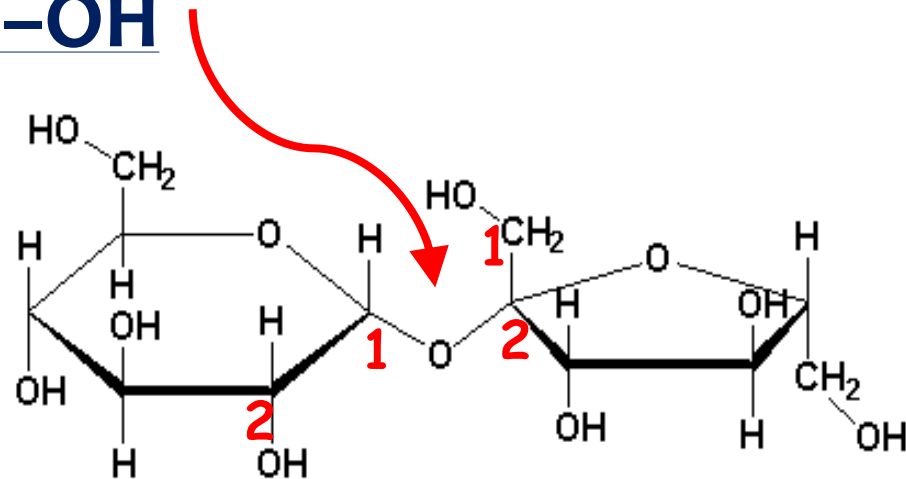
!!!

Ολιγοσακχαρίτες: Δισακχαρίτες

- Σακχαρόζη (καλαμοσάκχαρο, ζάχαρη)
(α -D-γλυκοπυρανόζυλο-1 $\rightarrow$ 2-β-D-φρουκτοφουρανοζίτης)

✓ Δεν είναι ανάγον σάκχαρο επειδή δεν έχει **!!!**
ελεύθερο ημιακεταλικό -OH

- ✓ Με όξινη ή ενζυμική υδρόλυση μετατρέπεται σε μίγμα γλυκόζης + φρουκτόζης (**ιμβερτοσάκχαρο**)
(η αντίδραση αυτή λέγεται **αναστροφή** ή **ιμβερτοποίηση**)



Ολιγοσακχαρίτες: Δισακχαρίτες

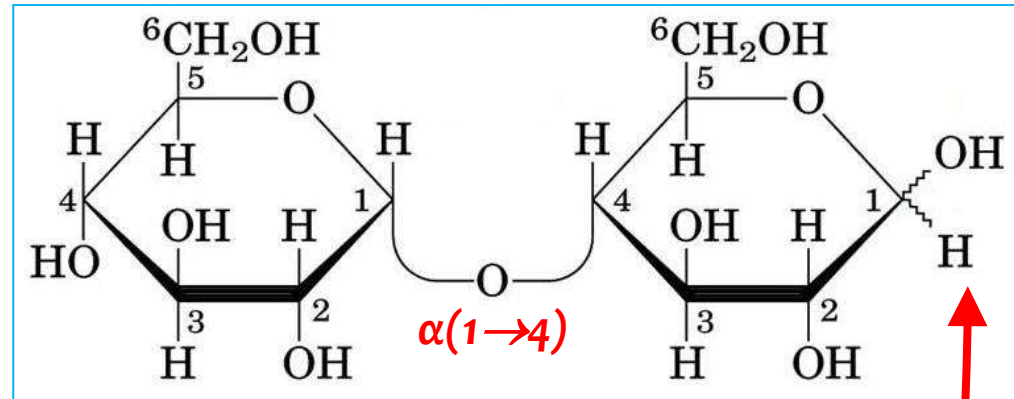
■ Μαλτόζη:

(α -D- γλυκοπυρανόζυλ-1 $\rightarrow$ 4-D-γλυκοπυρανόζη)

✓ Δομικό συστατικό
αμύλου, γλυκογόνου

✓ Κύριο ζυμώσιμο
σάκχαρο στο ζυθογλεύκος (μπύρα)

✓ Είναι ανάγον σάκχαρο επειδή έχει ελεύθερο
ημιακεταλικό -OH στο ένα από τα δύο μόρια
γλυκοπυρανόζης



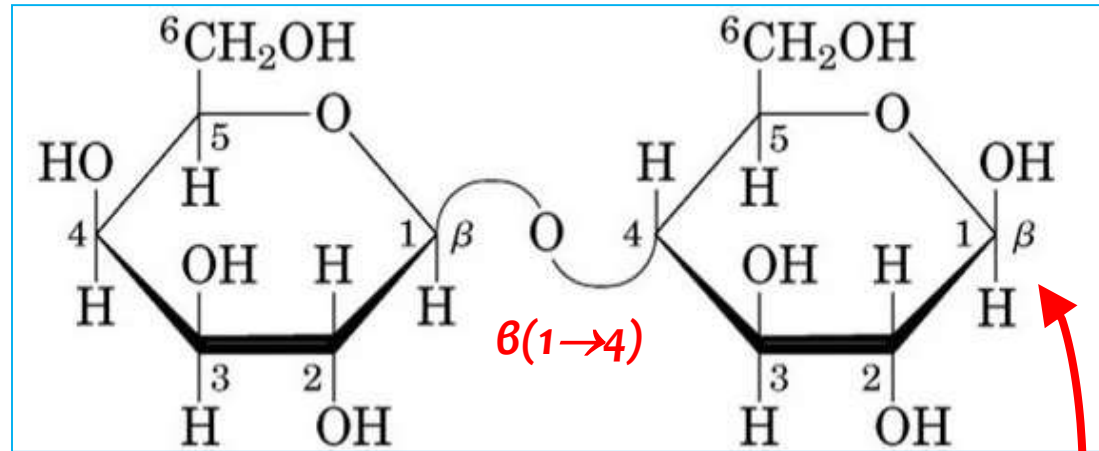
!!!

Ολιγοσακχαρίτες: Δισακχαρίτες

■ Λακτόζη (γαλακτοσάκχαρο): (β-D-γαλακτοπυρανόζυλ-1→4-β-D-γλυκοπυρανόζη)

✓ Συστατικό του γάλακτος

✓ Αποτελείται από ένα μόριο γλυκόζης & ένα γαλακτόζης

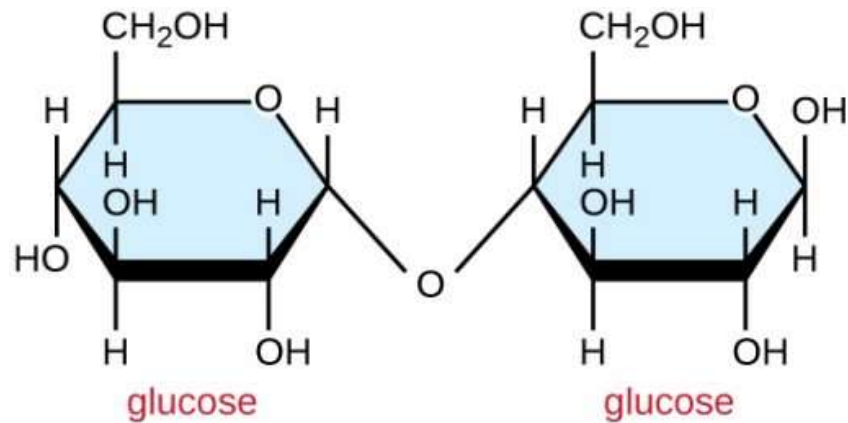


✓ Είναι ανάγον σάκχαρο

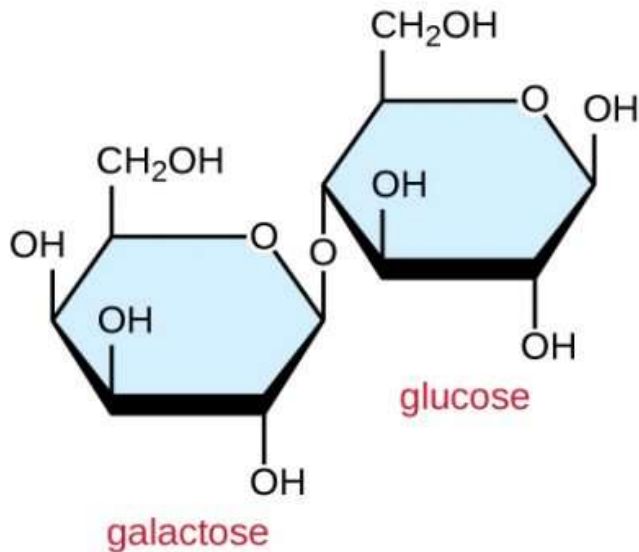
!!!

✓ Απορροφά οσμές & φυσικά χρώματα και χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων ως μεταφορέας τους

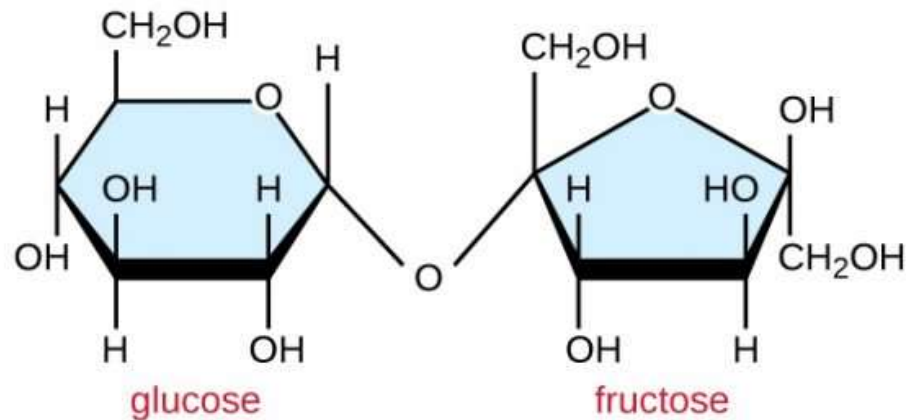
Ολιγοσακχαρίτες: Δισακχαρίτες



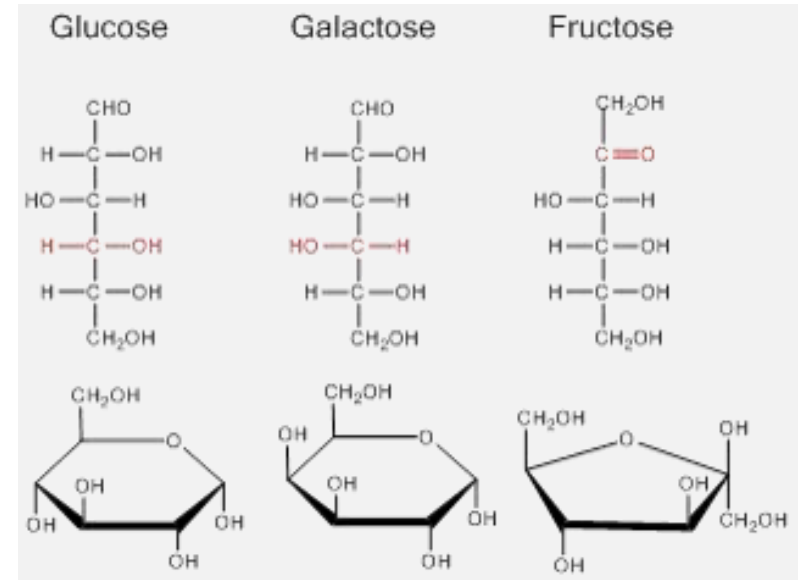
maltose



lactose



sucrose



Ολιγοσακχαρίτες: Τρισακχαρίτες

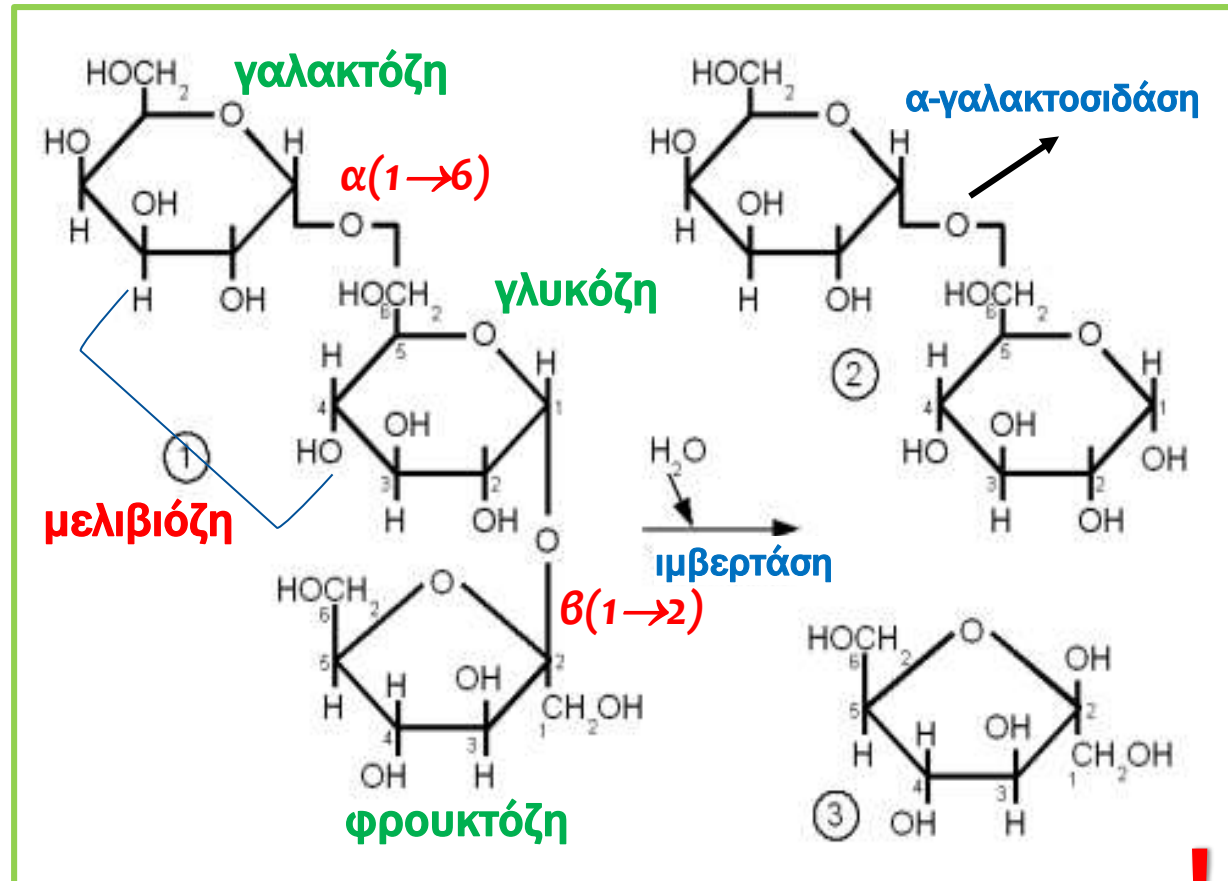
■ Ραφινόζη

(α -D-γαλακτοπυρανόζυλ-1 $\rightarrow$ 6- α -D-γλυκοπυρανόζυλ-1 $\rightarrow$ 2- β -D-φρουκτοφουρανοζίτης)

✓ Ο σπουδαιότερος τρισακχαρίτης

✓ Συστατικό σόγιας, σακχαρότευτλων, μελάσσας, κ.α.

✓ Δεν είναι ανάγον σάκχαρο επειδή δεν έχει ελεύθερα ημιακεταλικά -OH



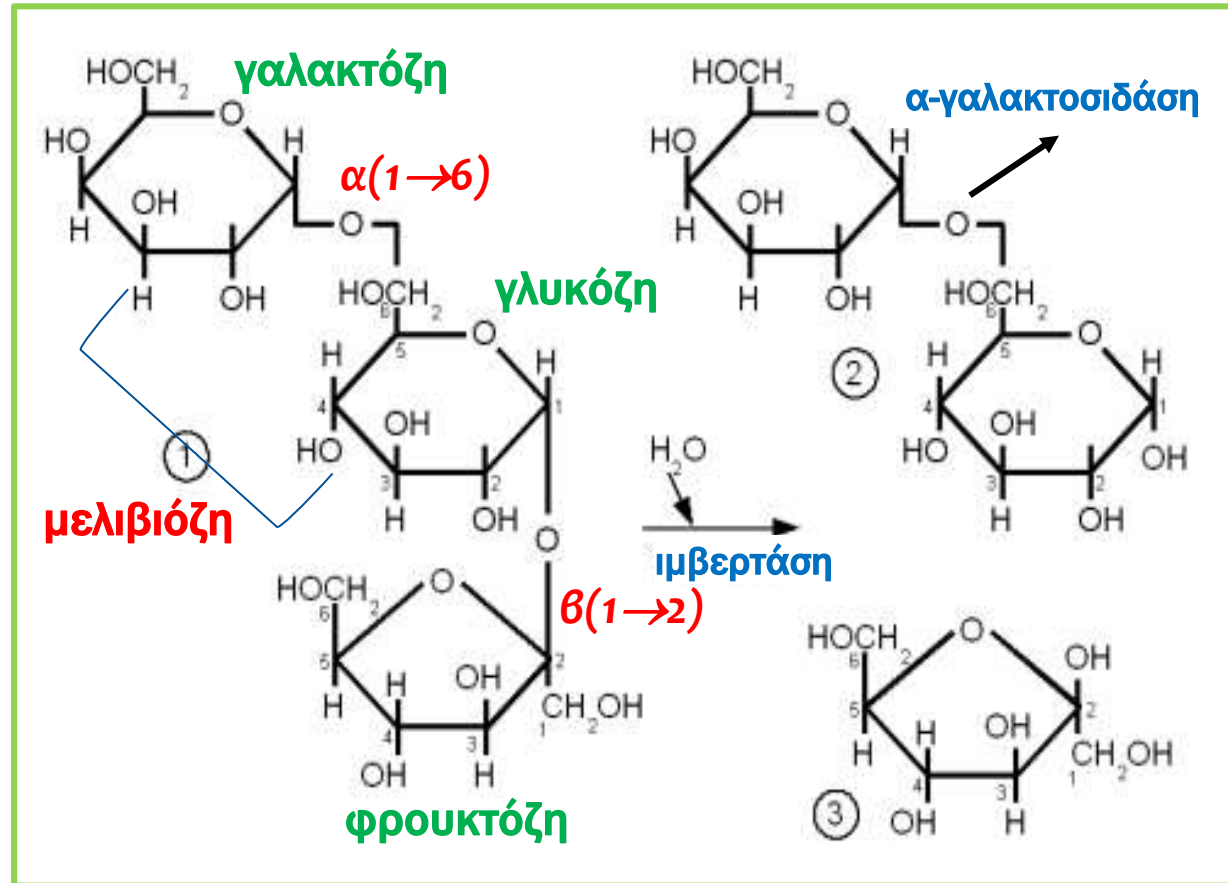
Ολιγοσακχαρίτες: Τρισακχαρίτες

■ Ραφινόζη

(α -D-γαλακτοπυρανόζυλ-1 $\rightarrow$ 6- α -D-γλυκοπυρανόζυλ-1 $\rightarrow$ 2- β -D-φρουκτοφουρανοζίτης)

✓ Με ήπια υδρόλυση
δίνει φρουκτόζη
& το δισακχαρίτη
μελιβιόζη

* Η ραφινόζη
αποβλήτων όπως η
μελάσα αξιοποιείται
βιοτεχνολογικά
(με ζύμωση) μόνο με
συνδυασμό μικρο-
οργανισμών που εκφράζουν τα ένζυμα
ιμβερτάση και α -γαλακτοσιδάση



Πολυσακχαρίτες



- Είναι πολυμερείς υδατάνθρακες με **>10 μονάδες μονοσακχαριτών**
- Ουσίες χωρίς γλυκιά γεύση
- Στη φύση απαντούν με πολύ μεγάλα ΜΒ (εκατοντάδες ή χιλιάδες μόρια μονοσακχαριτών)

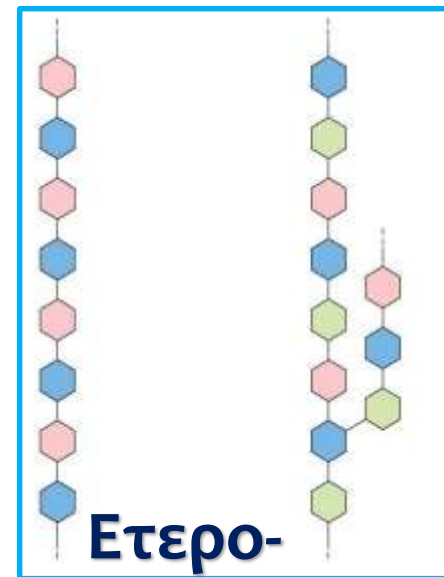
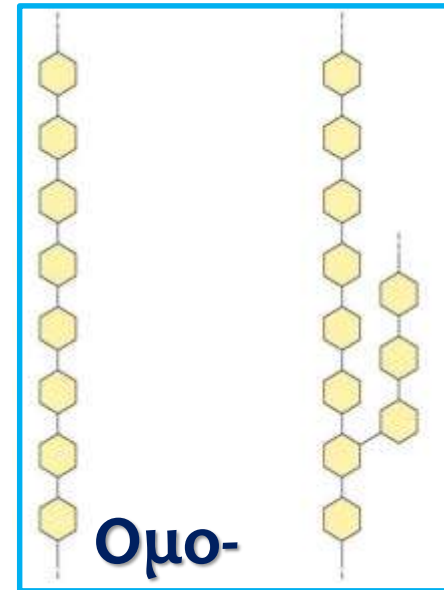
Ανάλογα με τη χημική σύσταση διακρίνονται σε:

- **Ομοπολυσακχαρίτες**

- ✓ Ένα είδος μονοσακχαρίτη ως δομικό μόριο (π.χ. κυτταρίνη, άμυλο, γλυκογόνο)

- **Ετεροπολυσακχαρίτες**

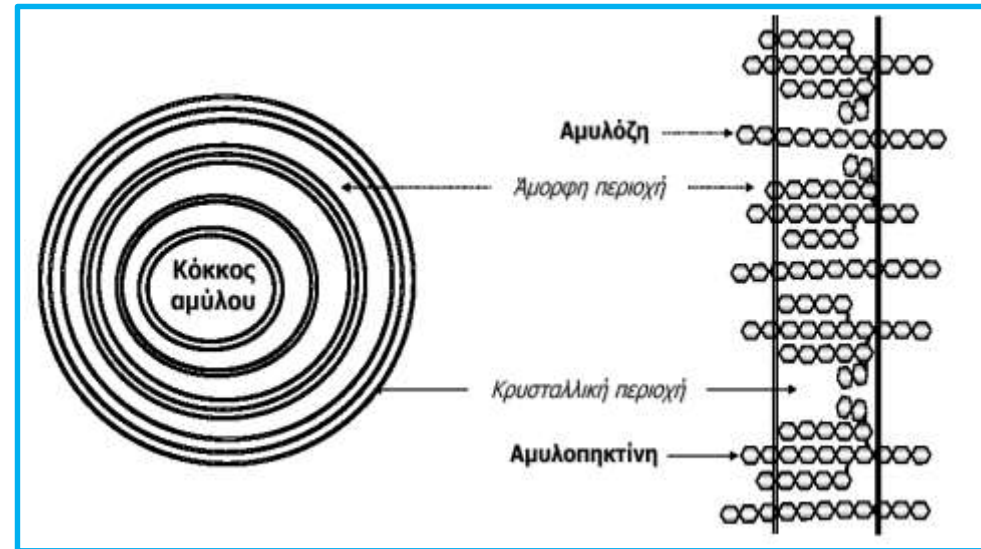
- ✓ Δυο ή περισσότερα είδη μονοσακχαριτών ως δομικά μόρια (π.χ. ημικυτταρίνες, πηκτίνες, κόμμεα, κ.α.)



Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Άμυλο

- Αποθηκευτικός υδατάνθρακας φυτών όπως δημητριακά & όσπρια



- Αποτελείται από 2 είδη πολυμερών της α -D-γλυκόζης ενωμένα με α -1 $\rightarrow$ 4 γλυκοζιτικούς δεσμούς:

!!!

- ✓ Αμυλόζη (~30% στο άμυλο) (γραμμικό πολυμερές)
- ✓ Αμυλοπηκτίνη (~70%) (διακλαδισμένο πολυμερές με επιπλέον πλάγιες αλυσίδες που ενώνονται μεταξύ τους με α (1 $\rightarrow$ 6) γλυκοζιτικούς δεσμούς)

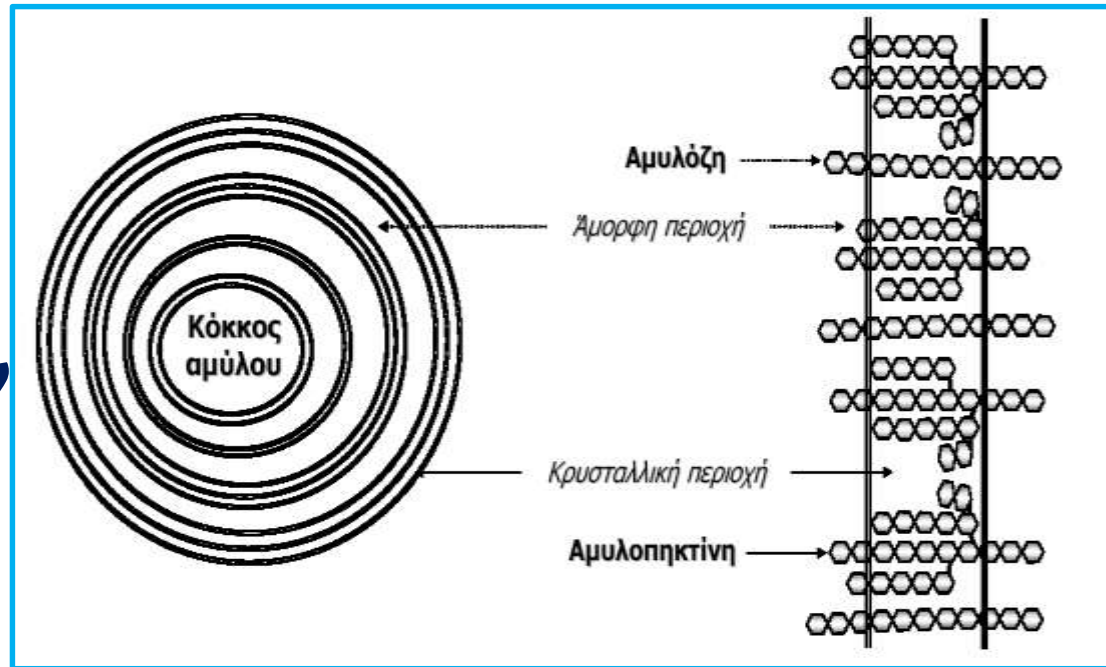
Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Άμυλο

- Οι **κόκκοι** του είναι αδιάλυτοι στο νερό, αλλά το απορροφούν και διογκώνονται

- Με αύξηση της θερμοκρασίας παρουσία νερού:

- ✓ καταστρέφεται η κρυσταλλική δομή των κόκκων
- ✓ σχηματίζονται διαμοριακοί δεσμοί-H
- ✓ σχηματίζεται πηκτή (**ζελατινοποίηση**)

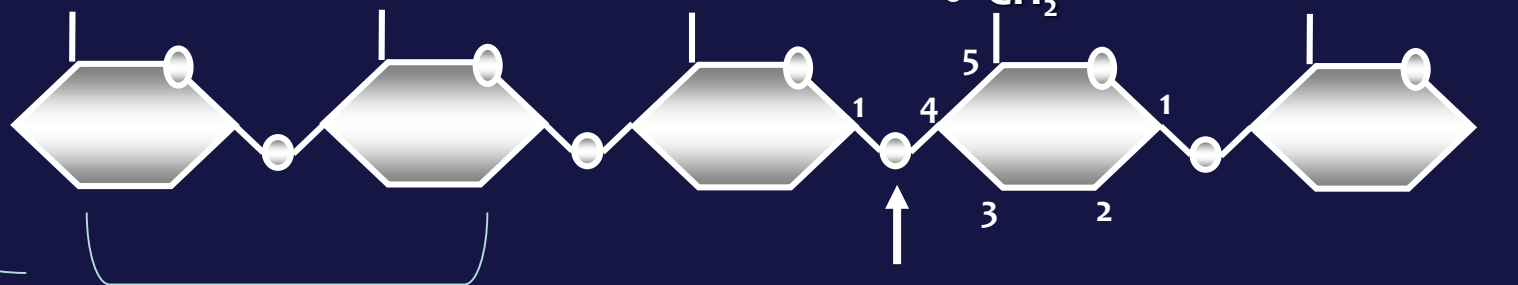


!!!

Αμυλόζη - αμυλοπηκτίνη

Αμυλόζη

$\alpha, 1 \rightarrow 6$ δεσμός



Μαλτόζη

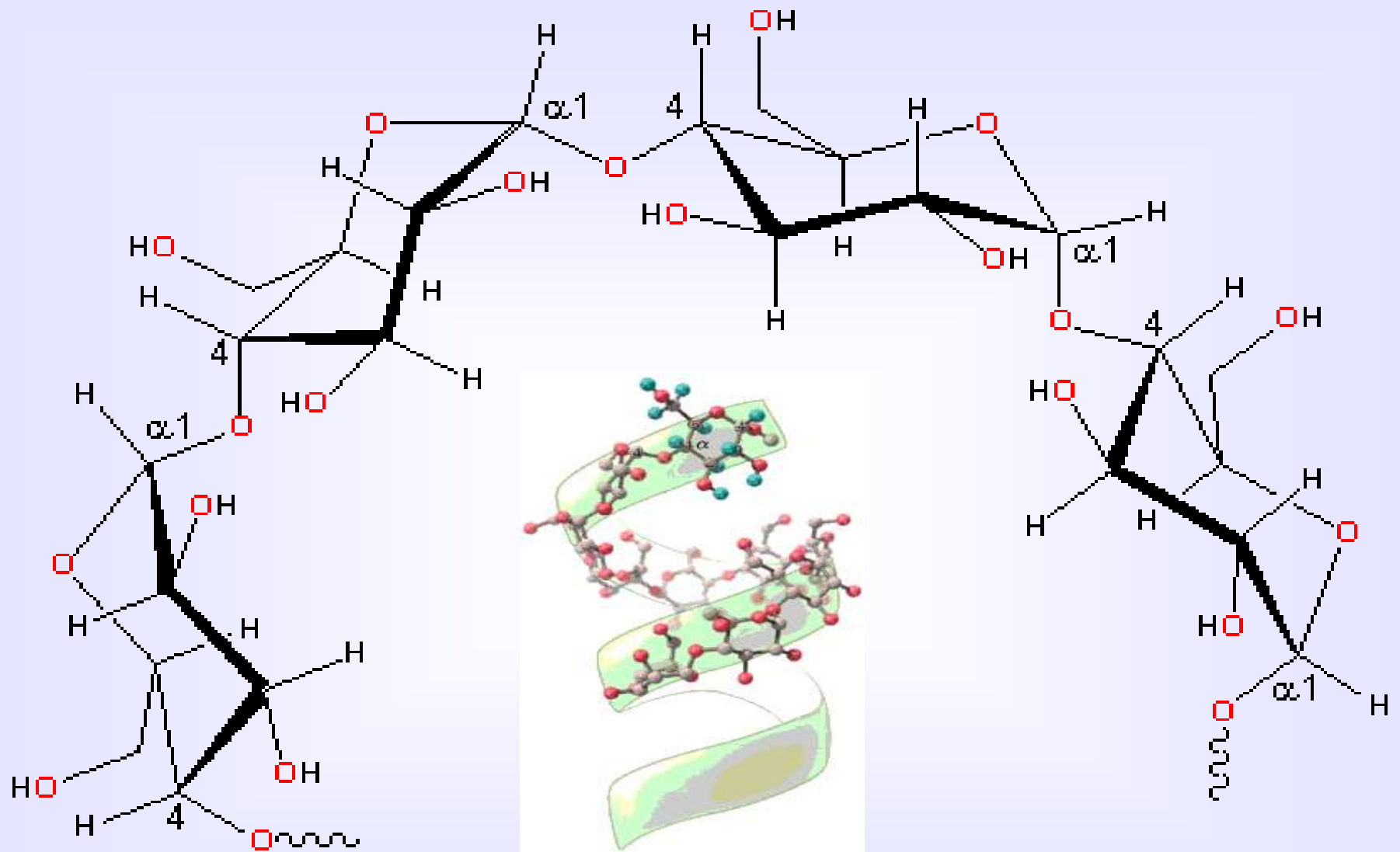
$\alpha(1 \rightarrow 4)$ δεσμός

Αμυλοπηκτίνη

✓ Οι $\alpha(1 \rightarrow 4)$ δεσμοί είναι πιο ευέλικτοι και τείνουν να σχηματίζουν ελικοειδείς δομές

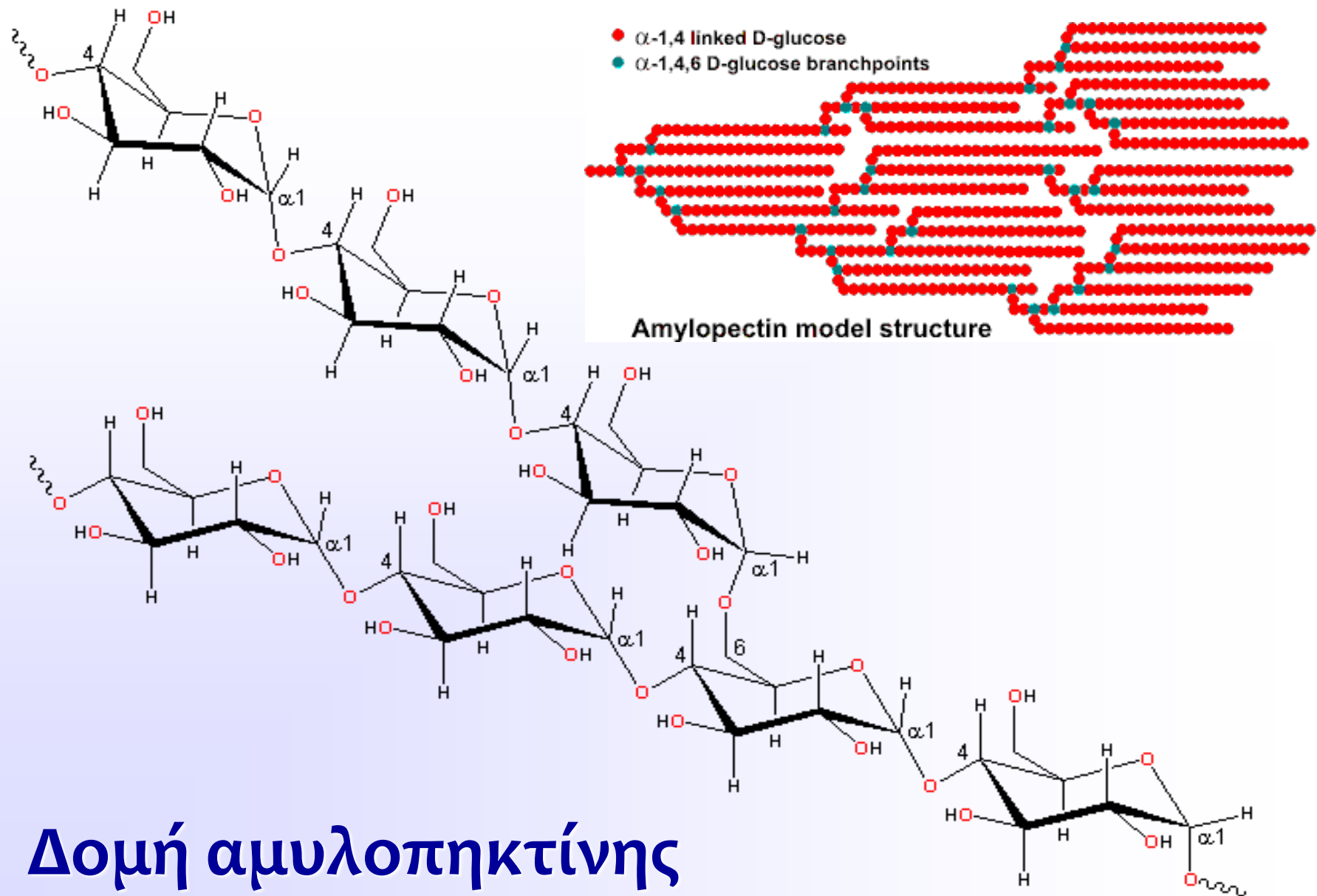
✓ Οι $\alpha(1 \rightarrow 6)$ δεσμοί σχηματίζουν παράλληλες επίπεδες δομές που συγκρατούνται με δεσμούς-H

Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο



Δομή αμυλόζης

Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο



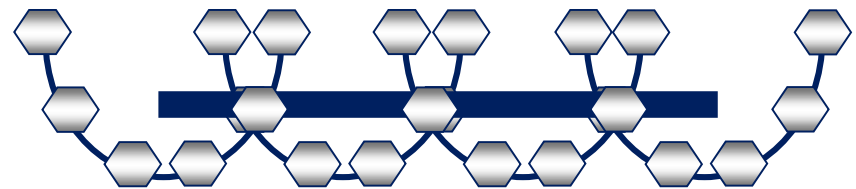
Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Αμυλόζη - αμυλοπηκτίνη

!!

- Η αμυλόζη έχει μικρότερο MB (10^5 - 10^6) απ' την αμυλοπηκτίνη (10^7 - 10^9)
- Η αμυλόζη σχηματίζει μπλε σύμπλοκο με το ιώδιο (I_2) και γι' αυτό το άμυλο χρησιμοποιείται ως δείκτης σε αντιδράσεις του I_2
- Μετά το ψήσιμο, τα αμυλούχα προϊόντα (π.χ. ψωμί) «παλινδρομούν» (σκληραίνουν – μπαγιατεύουν)

Γαλακτωματοποιητής ή ιώδιο



Σύμπλοκο αμυλόζης με γαλακτωματοποιητή ή ιώδιο

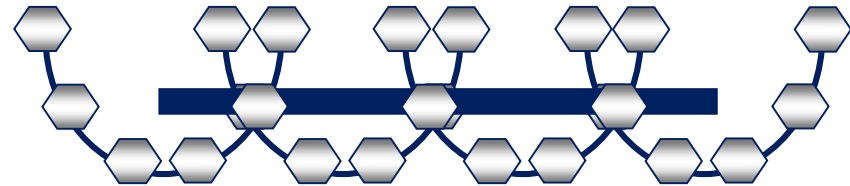
Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Αμυλόζη – αμυλοπηκτίνη

!!

- Η αμυλόζη σχηματίζει σύμπλοκα με γαλακτωματοποιητές (π.χ. λιπαρά οξέα) οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα σε τυποποιημένα προϊόντα (π.χ. αρτοποιίας) για διατήρηση της φρεσκάδας
- Η αμυλόζη σχηματίζει ευκολότερα πηκτές και υδρολύεται ευκολότερα από ένζυμα

Γαλακτωματοποιητής ή ιώδιο

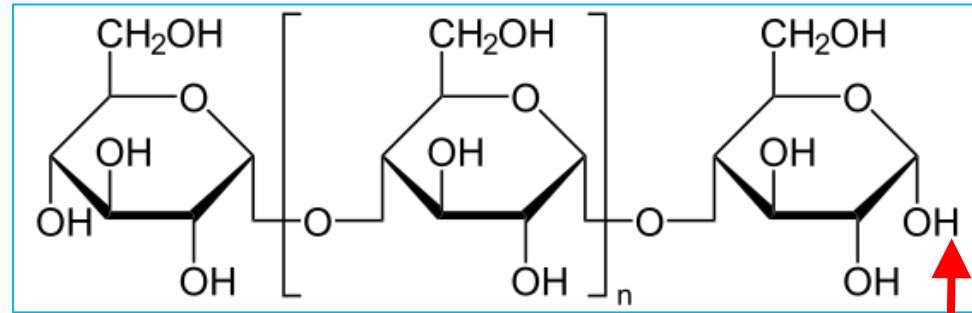


Σύμπλοκο αμυλόζης με γαλακτωματοποιητή ή ιώδιο

Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Δεξτρίνες

- Προϊόντα μερικής υδρόλυσης του αμύλου (με οξέα ή ένζυμα) μικρότερων MB
- Διακρίνονται σε:
 - ✓ **Αμυλοδεξτρίνες ή διαλυτό άμυλο** (δίνουν μπλε χρώμα με ιώδιο)
 - ✓ **Ερυθροδεξτρίνες** (δίνουν ερυθρό χρώμα με ιώδιο)
 - ✓ **Αχροοδεξτρίνες** (δε δίνουν χρώμα με ιώδιο)
- Διαλύονται στο νερό και **καθιζάνουν με προσθήκη αλκοόλης** (λευκό θόλωμα – η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση νοθείας με αμυλοσιρόπι στο μέλι)
- **Έχουν αναγωγικές ιδιότητες** γιατί έχουν ελεύθερα ημιακεταλικά -OH



!!

Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Άμυλο (λειτουργικές ιδιότητες)

!!!

- φυσικοχημικές ιδιότητες του αμύλου που καθορίζονται από το ποσοστό αμυλόζης-αμυλοπηκτίνης και την ιδιαίτερη δομή των κόκκων του αμύλου
- διαφέρουν ανάλογα με την προέλευσή του, και έχουν τεράστια τεχνολογική σημασία για την τεχνολογία τροφίμων
- Καθιστούν το άμυλο πολυ-λειτουργικό πρόσθετο στα τρόφιμα με πολλές εφαρμογές ως πηκτοποιητικό μέσο, σταθεροποιητής γαλακτωμάτων, κ.α.

Ομοπολυσακχαρίτες: Άμυλο

Άμυλο (λειτουργικές ιδιότητες)

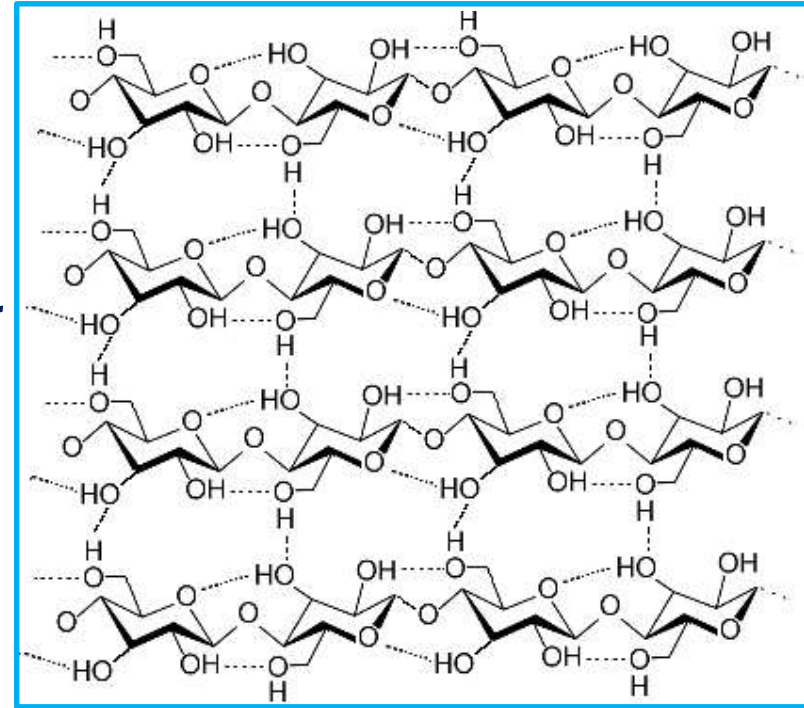
!!!

- ✓ Κρυσταλλικότητα (crystallinity)
- ✓ Ικανότητα διόγκωσης (swelling power)
- ✓ Διαλυτότητα (solubility)
- ✓ Ζελατινοποίηση (gelatinization)
- ✓ Παλινδρόμηση (retrogradation)
- ✓ Αλληλεπίδραση με λιπίδια & ιώδιο
- ✓ Ενζυμική υδρόλυση (αμυλολυτικά ένζυμα)

Ομοπολυσακχαρίτες: **Κυτταρίνη**

Κυτταρίνη

- Πολυμερές γλυκόζης ενωμένης με **$\beta(1\rightarrow4)$ γλυκοζιτικό δεσμό**: αλυσίδα γραμμική, δεν ελίσσεται και δεν έχει διακλαδώσεις
- Συστατικό **φυτικών ιστών** μαζί με **λιγνίνες**, **ημικυτταρίνες** (ξυλάνες) & **πηκτίνες**
- **Αδιάλυτη** στο νερό και άπεπτη
- **Πολύ ανθεκτική** σε οξέα, αλκάλια και ένζυμα (κυτταρινάσες)
- **Πολύ κρυσταλλική** - σχηματίζει δεσμούς-Η διαμοριακά σχηματίζοντας μικροΐνες (*microfibrils*)

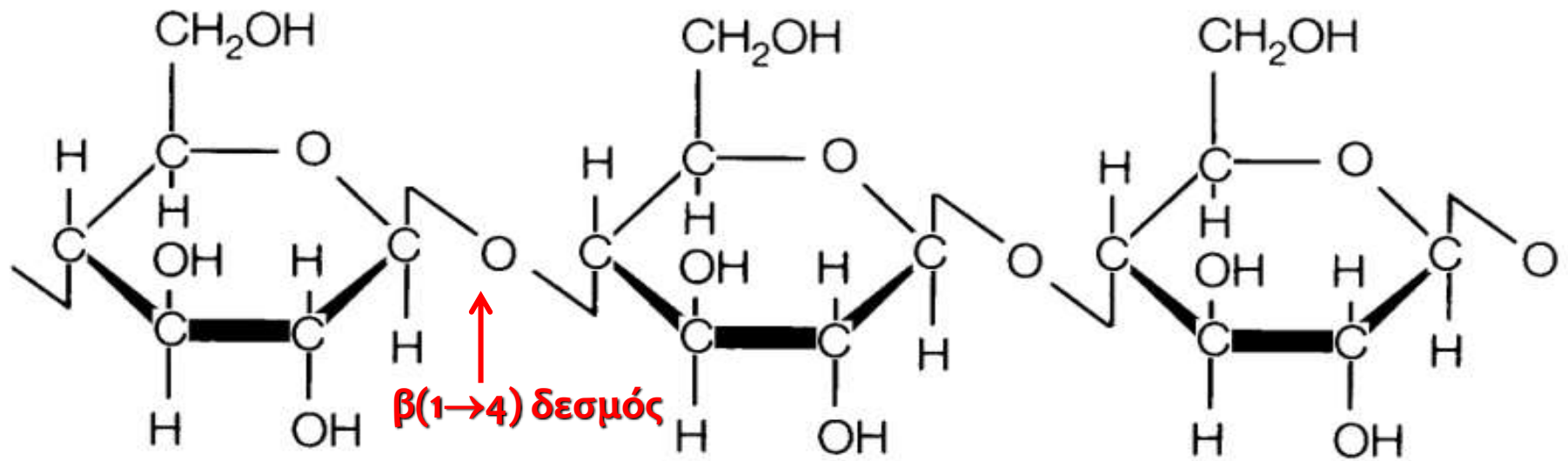


!!

Ομοπολυσακχαρίτες: Κυτταρίνη

!!!

Κυτταρίνη

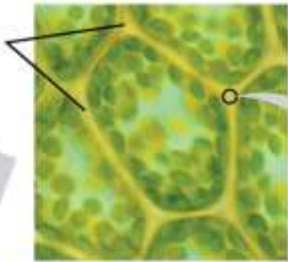


Κελλοβιόζη

Ομοπολυσακχαρίτες: **Κυτταρίνη**

Κυτταρίνη

Κυτταρικό
τοίχωμα



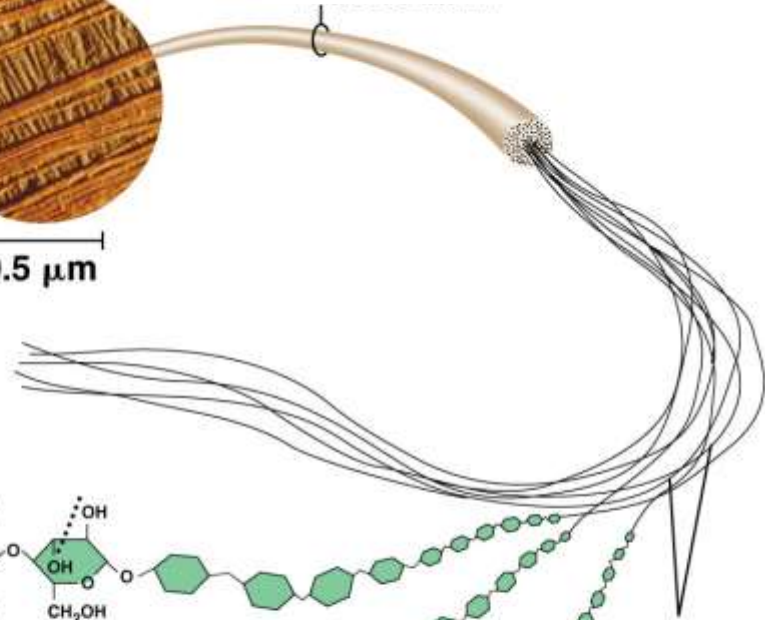
10 μm

Μικρο-ίνες
κυτταρίνης σε
ένα φυτικό
κύτταρο

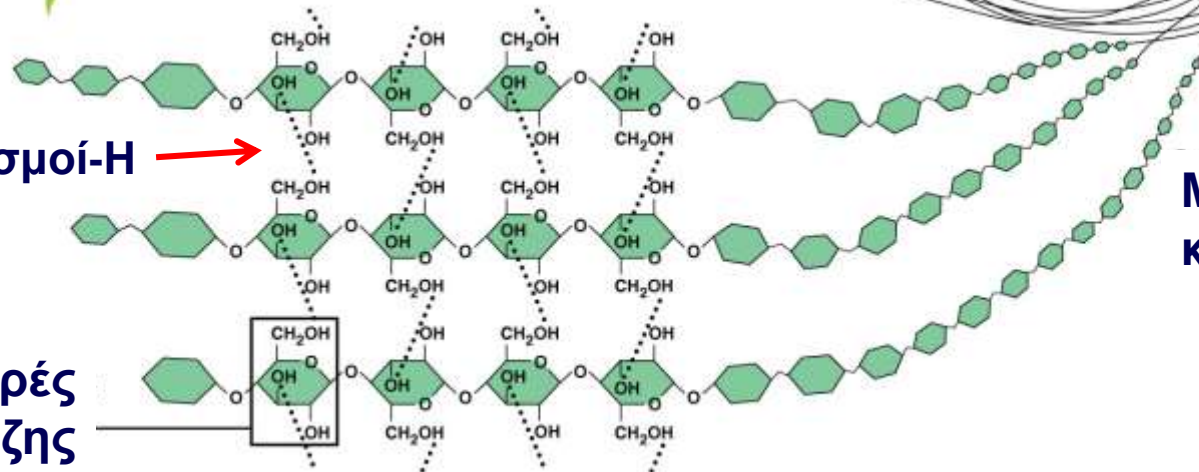


0.5 μm

Μικρο-ίνα



Δεσμοί-H



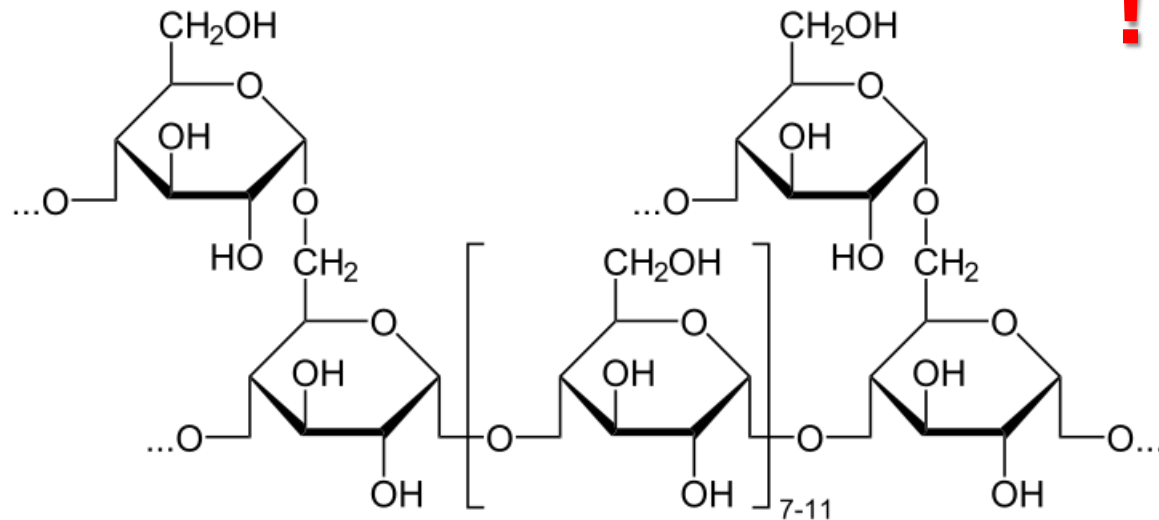
Μόρια
κυτταρίνης

Μονομερές
β-γλυκόζης

Ομοπολυσακχαρίτες: Γλυκογόνο

Γλυκογόνο

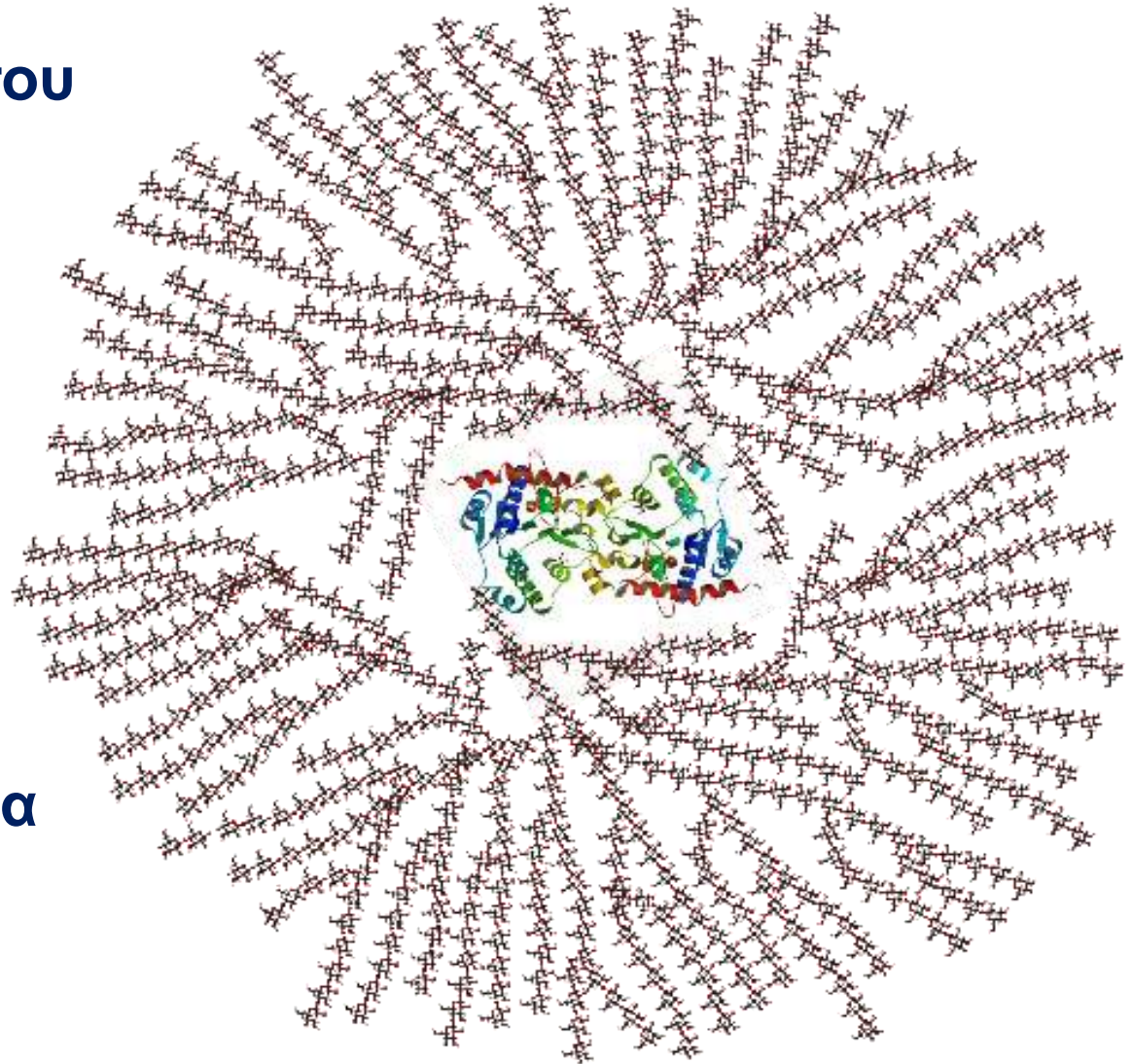
- Αποθηκευτικός
- Υδατάνθρακας των ζώων (ζωικό άμυλο)
- Αποτίθεται κυρίως στο συκώτι και τους μύς
- Δομή του ανάλογη με της αμυλοπηκτίνης αλλά πιο διακλαδισμένη
- Είναι άσπρη, άμορφη μάζα που υδρολύομενη δίνει δεξτρίνες, μαλτόζη & γλυκόζη



Ομοπολυσακχαρίτες: Γλυκογόνο

Γλυκογόνο

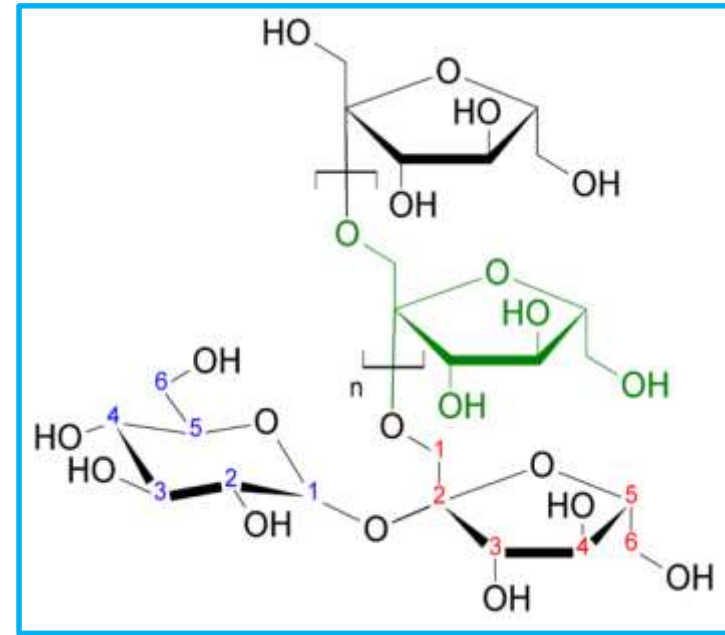
- Σχηματική 2-D τομή του γλυκογόνου.
- Πυρήνας: πρωτεΐνη γλυκογενίνη, απαραίτητη για την έναρξη της σύνθεσης του γλυκογόνου («εκκινητής»).
- Ο «κόκκος» μπορεί να περιέχει ~30.000 μονομερή γλυκόζης



Ομοπολυσακχαρίτες: **Ινουλίνη**

Ινουλίνη

- Γραμμική **πολυφρουκτοζάνη** (β -2 $\rightarrow$ 1) με ένα τελικό μονομερές γλυκόζης
- Φυτικές ινουλίνες: 20 μέχρι μερικές χιλιάδες μονομερή
- Οι μικρού μεγέθους ονομάζονται **φρουκτοολιγοσακχαρίτες (FOS)** με απλούστερη την **1-κεστόζη** (2 ΦΡΟΥΚΤΟΖΗ + 1 ΓΛΥΚΟΖΗ)
- Αποθηκευτικός υδατάνθρακας φυτών αντί αμύλου
- Χρησιμοποιείται ευρέως ως πρόσθετο σε τρόφιμα λόγω των ιδιοτήτων της: **γλυκύτητα** (μικρή), **ενεργειακό περιεχόμενο**, **πριβιοτικές ιδιότητες**, **βελτίωση απορρόφησης ιχνοστοιχείων**, **χαμηλός γλυκαιμικός δείκτης**, κ.α.



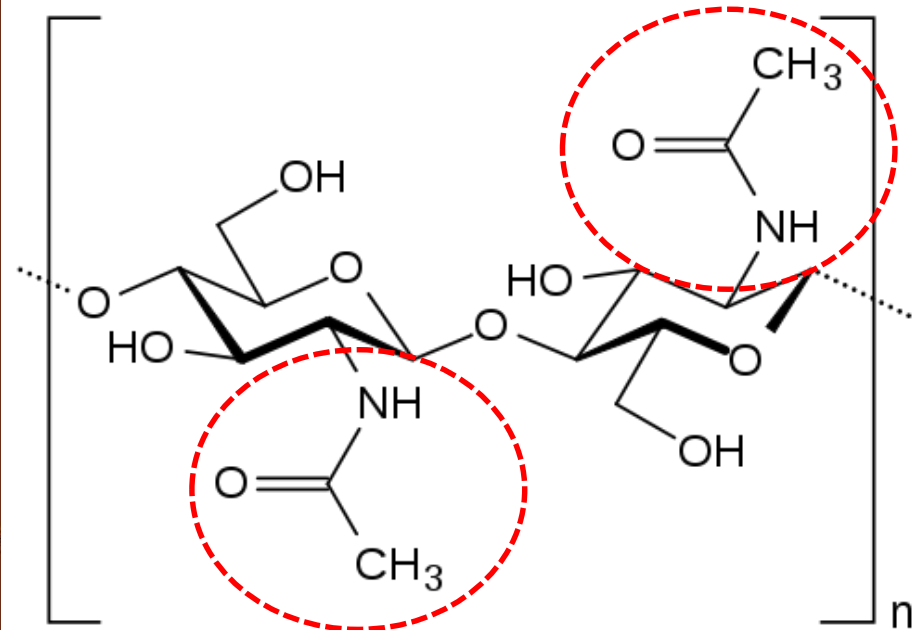
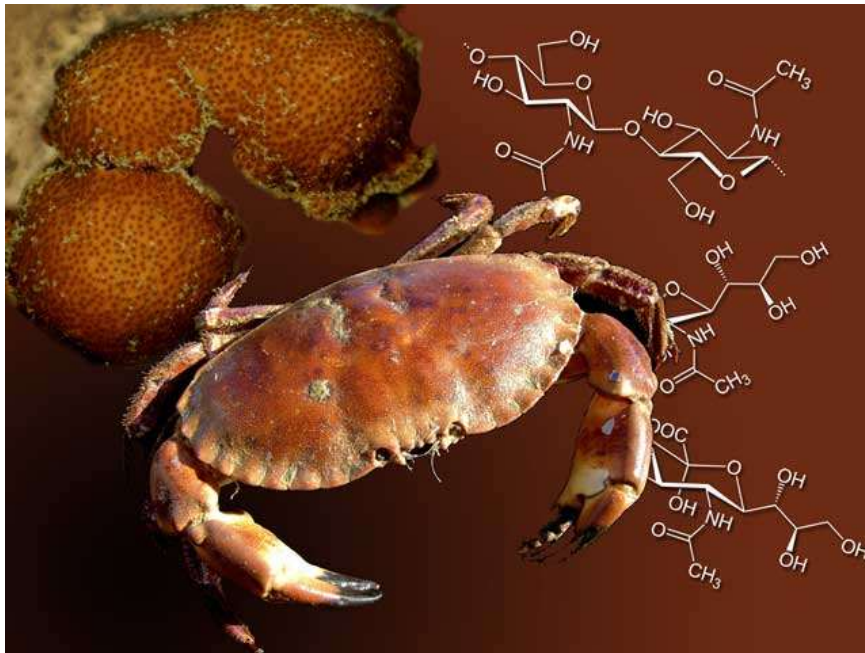
!!

Ομοπολυσακχαρίτες: **Χιτίνη**

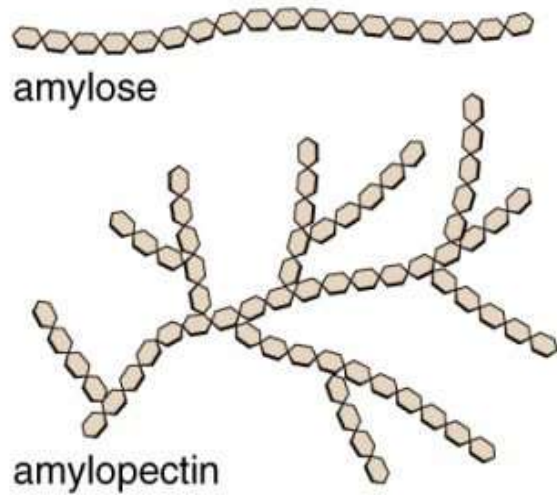
Χιτίνη

!!

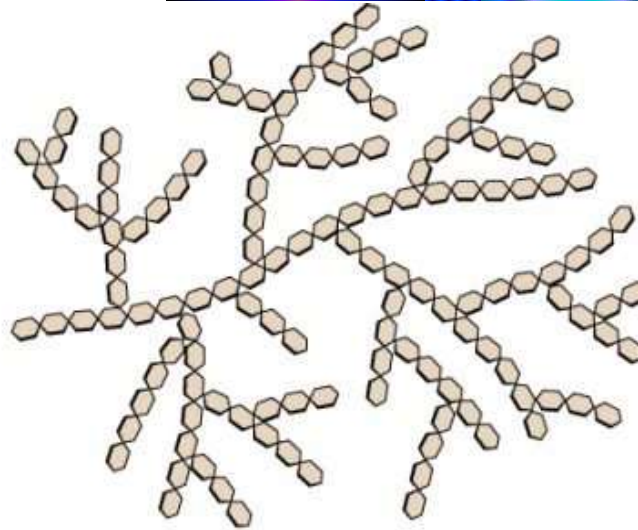
- Πολυσακχαρίτης κελύφους οστρακόδερμων (γαρίδες, κ.λπ.)
- Παρόμοια δομή με κυτταρίνη με τη διαφορά ότι σε κάθε μόριο γλυκόζης στη θέση C2 αντί για -OH υπάρχει η **N-ακέτυλ ομάδα** [ακεταμιδίου -NH(COCH₃)]
(είναι δηλ. αμινοσάκχαρο, N-ακέτυλο-γλυκοζαμίνη)



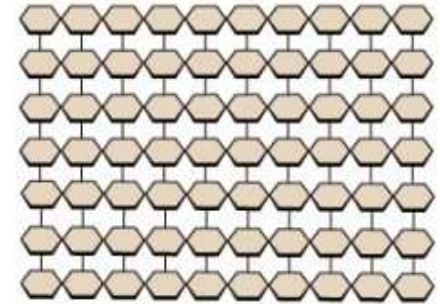
Ομοπολυσακχαρίτες



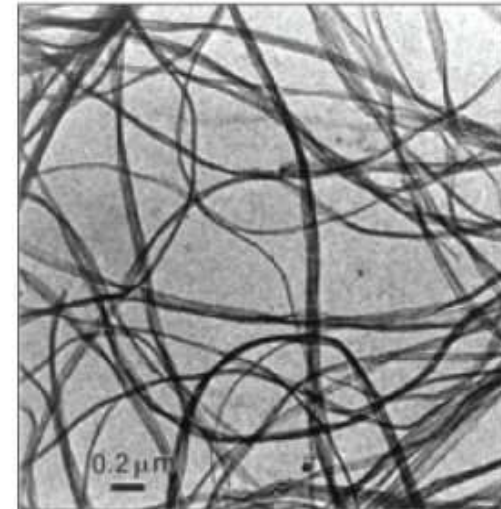
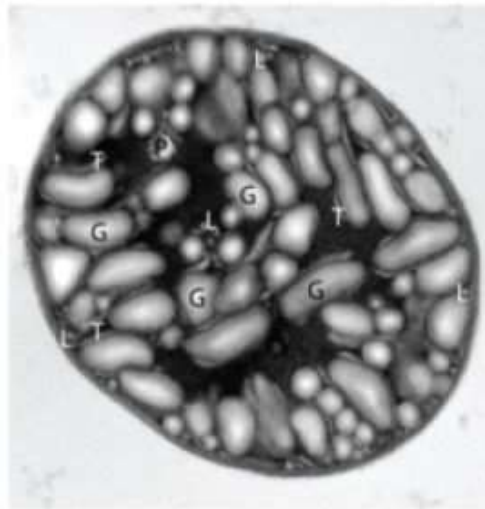
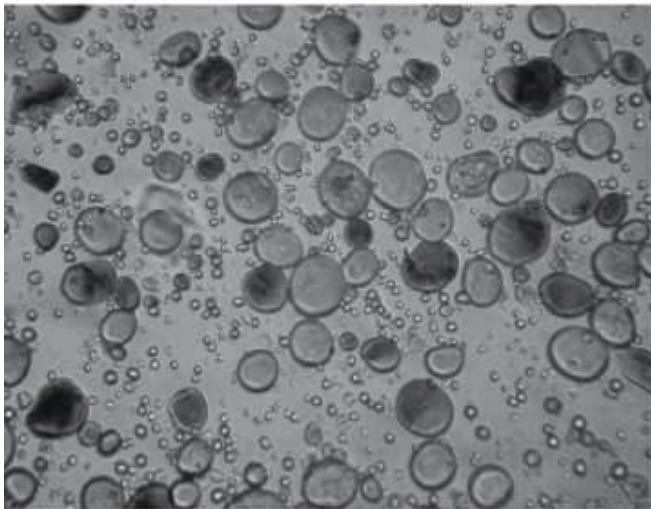
starch



glycogen



cellulose (fiber)





Υδατάνθρακες

Είδος	Μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται	Πηγές
Μονοσακχαρίτες		
Γλυκόζη, Φρουκτόζη		Φρούτα, φυτικά μέρη, αίμα, γλεύκος, μέλι κ.λπ. χυμοί φρούτων
Δισακχαρίτες		
(Καλαμοσάκχαρο) Σακχαρόζη	D-γλυκόζη, D-φρουκτόζη	Σακχαροκάλαμο, τεύτλα, φρούτα, λαχανικά, μέλι
Μαλτόζη	D-γλυκόζη	Προϊόντα υδρόλυσης αμύλου, μέλι
Λακτόζη	D-γαλακτόζη, D-γλυκόζη	Γάλα, τυρί, γαλακτοκομικά προϊόντα
Ολιγοσακχαρίτες		
Ραφινόζη, Σταχυόζη	D-γαλακτόζη, D-γλυκόζη, D-φρουκτόζη	Όσπρια, δημητριακά, σακχαρότευτλα

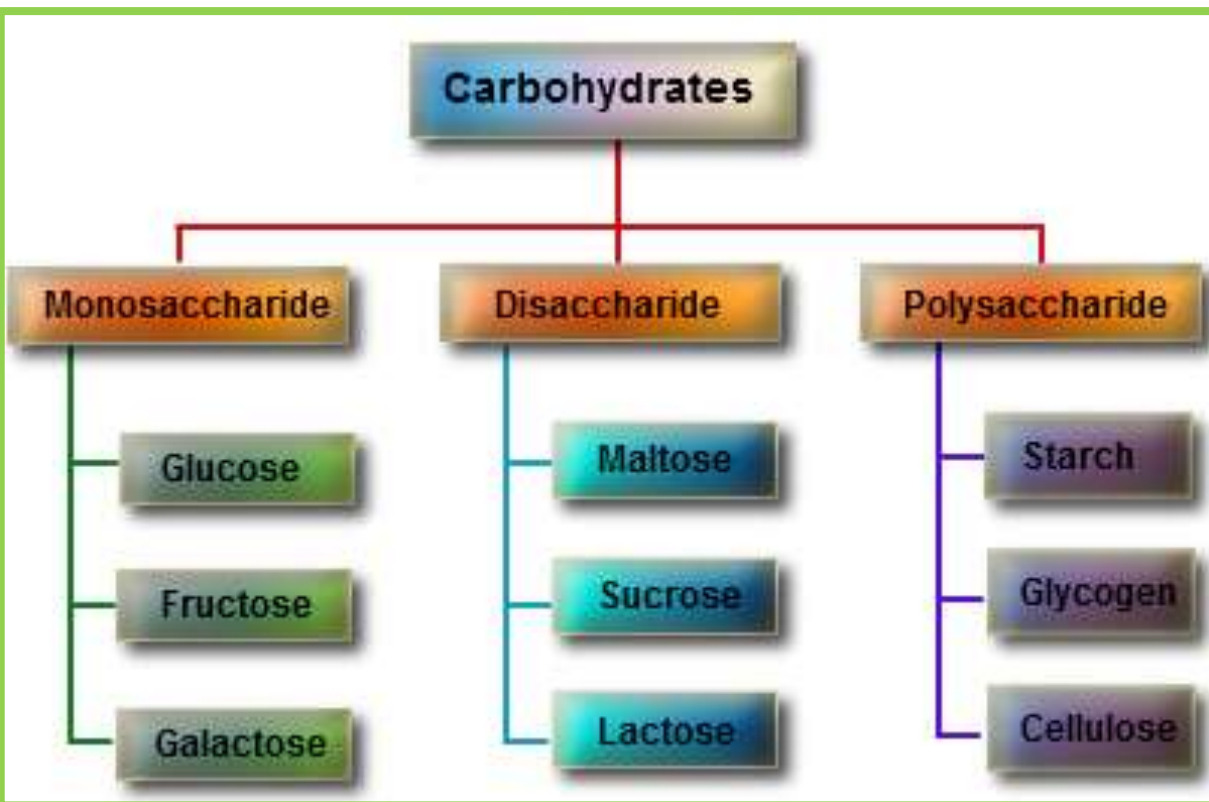


Υδατάνθρακες

Είδος	Μονοσακχαρίτες από τους οποίους αποτελείται	Πηγές
Πολυσακχαρίτες		
Αμυλο, δεξτρίνες	D-γλυκόζη	Δημητριακά, όσπρια, βολβοί, ρίζες
Κυτταρίνη	D-γλυκόζη	Τοιχώματα κυττάρων φυτών
Γλυκογόνο	D-γλυκόζη	Συκώτι, ζωικοί ιστοί
Ημικυτταρίνες	L-αραβινόζη, D-ξυλόζη, L-ραμνόζη, D-γαλακτόζη, D-μανόζη, D-γλυκόζη, D-γλυκουρονικό οξύ, D-γαλακτουρονικό οξύ	Κυτταρικά τοιχώματα φυτών, δημητριακά, όσπρια, ξηροί καρποί, αλεύρι
Πεντοζάνες	L-αραβινόζη, D-ξυλόζη	Όπου και οι ημικυτταρίνες
Πηκτινικές ύλες	D-γαλακτουρονικό οξύ, L-αραβινόζη, D-γαλακτόζη, L-ραμνόζη, L-φουκόζη	Φρούτα, λαχανικά, σακχαρότευτλα
Ινουλίνη	D-φρουκτόζη	Ραδίκια, σκόρδα, μπανάνες, κρεμμύδια
Κόμμα	Ετεροπολυσακχαρίτες	Σπόροι, εκκρίματα φυτών, φύκη, μικροοργανισμοί

Υδατάνθρακες-1^ο μέρος

Ευχαριστώ!



Αργυρώ Μπεκατώρου

Καθηγήτρια Χημείας & Τεχνολογίας Τροφίμων

Τμήμα Χημείας, Παν/μιο Πατρών

Πάτρα 2025