

## PENTOSE PHOSPHATE (PP) PATHWAY

**Άλλες ονομασίες:**

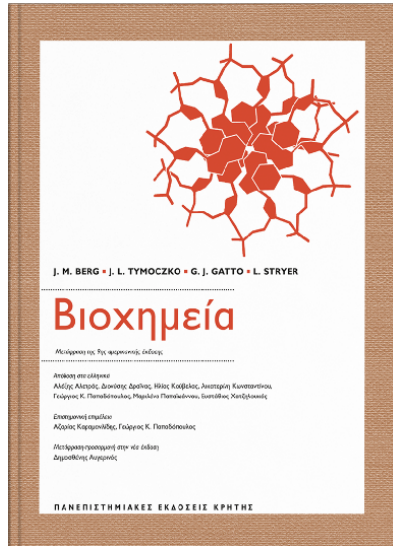
*Πορεία μονο-φωσφορικής-εξόζης*

*Πορεία φωσφογλυκονικού*

*Παράκαμψη των πεντοζών*

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20

## Η ΟΔΟΣ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (

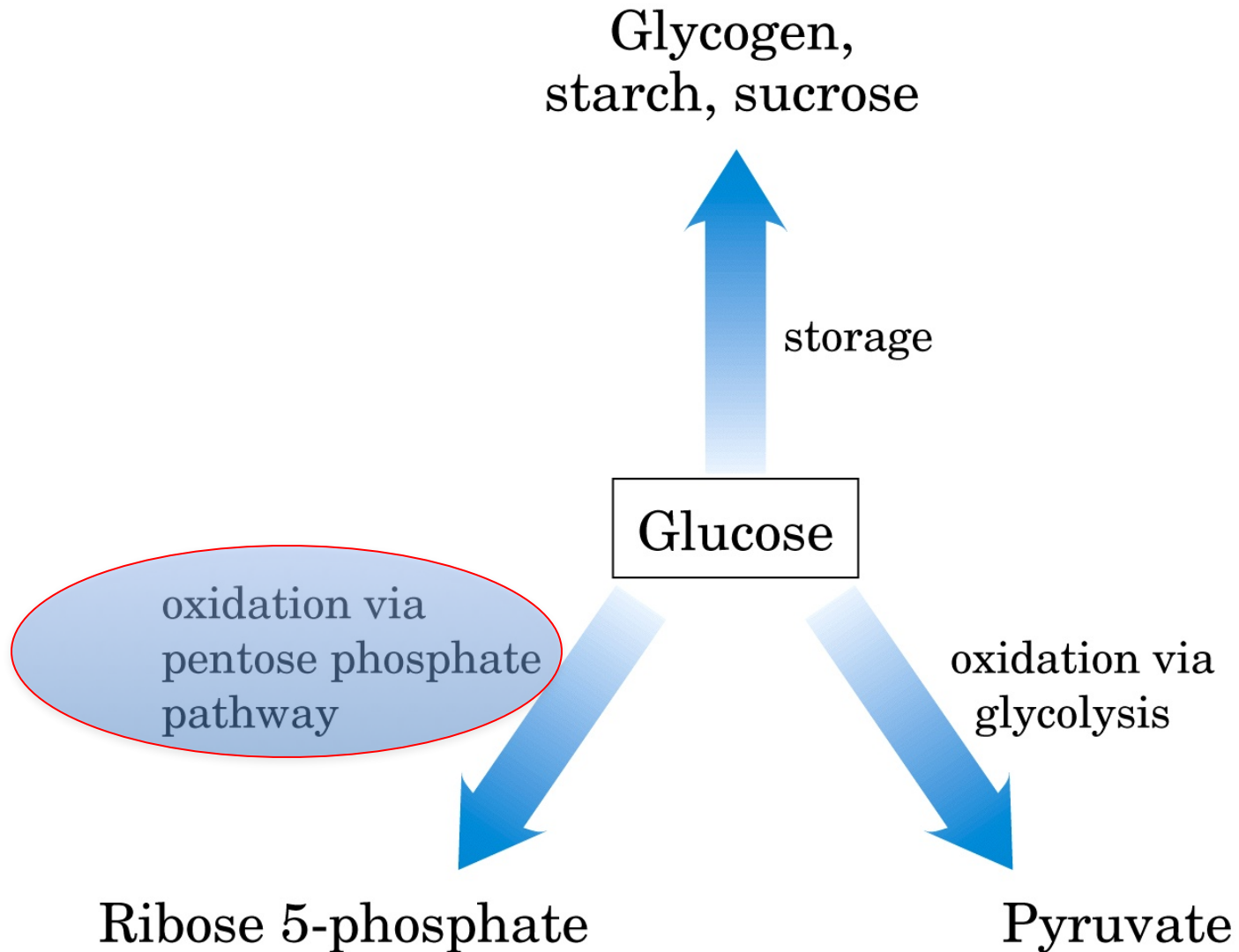


**ΒΙΟΧΗΜΕΙΑ, 102074412**

Tymoczko, Berg, **Stryer**  
**ΠΑΝ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ,**

9η(ΔΙΕΘΝΗΣ)/1η ελληνική 2021

Η ΟΔΟΣ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (PP) ΑΠΟΤΕΛΕΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ  
ΠΟΡΕΙΑ ΟΞΕΙΔΩΣΗΣ ΤΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ



## Πίνακας 20.4 Ιστοί με ενεργό την πορεία των φωσφορικών πεντοζών

Ιστός	Λειτουργία
Επινεφρίδια	Σύνθεση στεροειδών
Ήπαρ *	Σύνθεση λιπαρών οξέων και χοληστερόλης
Όρχεις	Σύνθεση στεροειδών
Λιπώδης ιστός	Σύνθεση λιπαρών οξέων
Ωοθήκες	Σύνθεση στεροειδών
Μαστοί **	Σύνθεση λιπαρών οξέων
Ερυθροκύτταρα	Διατήρηση της ανηγμένης γλουταθειόνης

\* 30% γλυκόζης οξειδώνεται με οδό PP

# ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ

## 1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ NADPH\*

α) Απαραίτητο συνενζυμο σε βιοσυνθeseis

β) Διατήρηση «αναγωγικής ατμόσφαιρας» στα κύτταρα)

## 2. Βιοσύνθεση νουκλεϊνικών οξέων (ribose -5-P (R5P )

## 3. Μεταβολισμός σακχάρων με 7C – 3C.

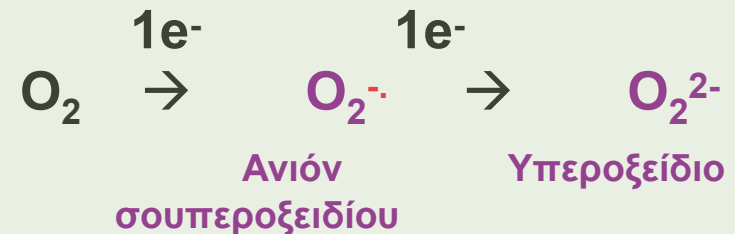
## 4. Σύνδεση με γλυκόλυση-γλυκονεογένεση

## ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟ STRESS

Συσσώρευση παραγώγων  
οξειδωτικού μεταβολισμού  
(ελεύθερες ρίζες ή ROS)  
σε συνδυασμό με μειωμένη  
αναγωγική ικανότητα  
κυττάρου

## Ελεύθερες ρίζες

ή ROS (Reactive Oxygen Species)



Μερική αναγωγή του  $\text{O}_2$

(αντί  $\text{O}_2 + 4e^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$  πλήρης αναγωγή)

- Η αναγωγική ικανότητα παρέχεται από τα αναγμένα συνένζυμα:
- NADPH (από πορεία PP στο κυτταρόπλασμα)
- NADH (απο οξειδωτικό μεταβολισμό).

- **ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΟ STRESS ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΩΓΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ**

Οι ROS προκαλούν καταστροφή μεμβρανών και λύση κυττάρων  
(οξειδωση λιπιδίων μεμβρανών)

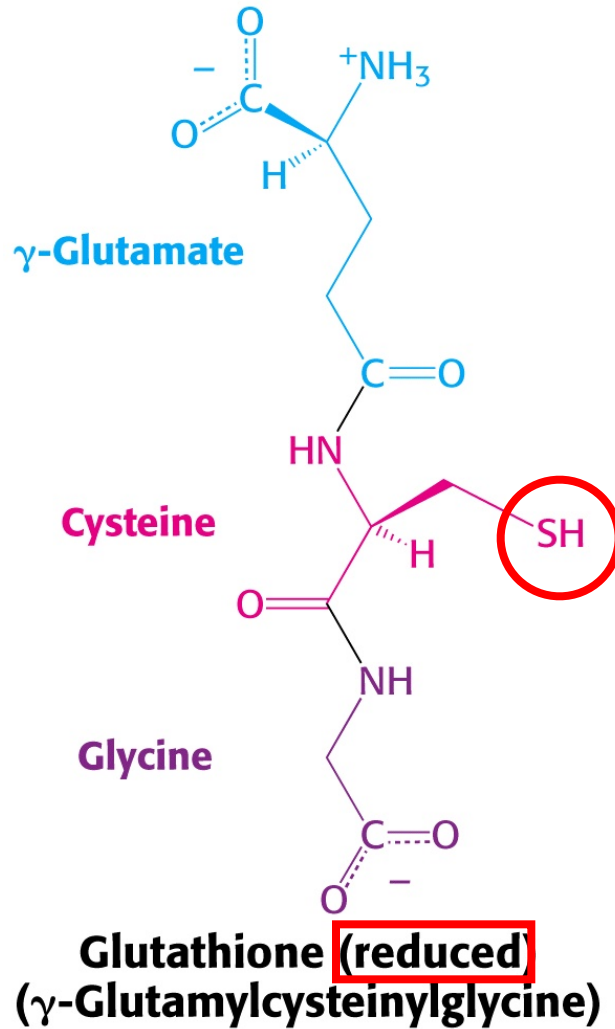
και

Παθολογικές καταστάσεις

(εγκεφαλικές, ηπατικές, νεφρικές, μυικές και καρδιακές παθήσεις)

- **Η προστασία από τις ελεύθερες ρίζες παρέχεται και :**
- από ένζυμα, τις **καταλάσες** (των περοξεισωματίων),
- τη **βιταμίνη E** (λιποδιαλυτή)
- **αναγμένο γλουταθείο**

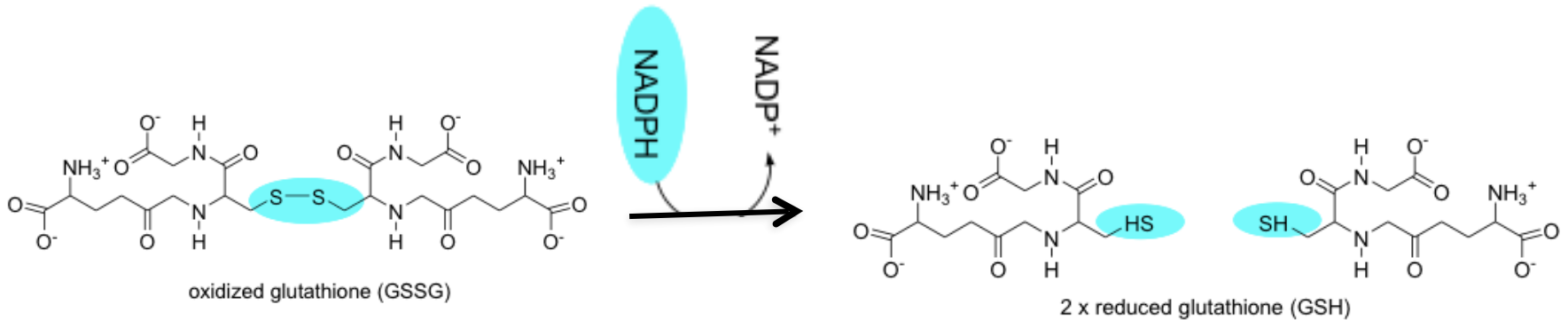
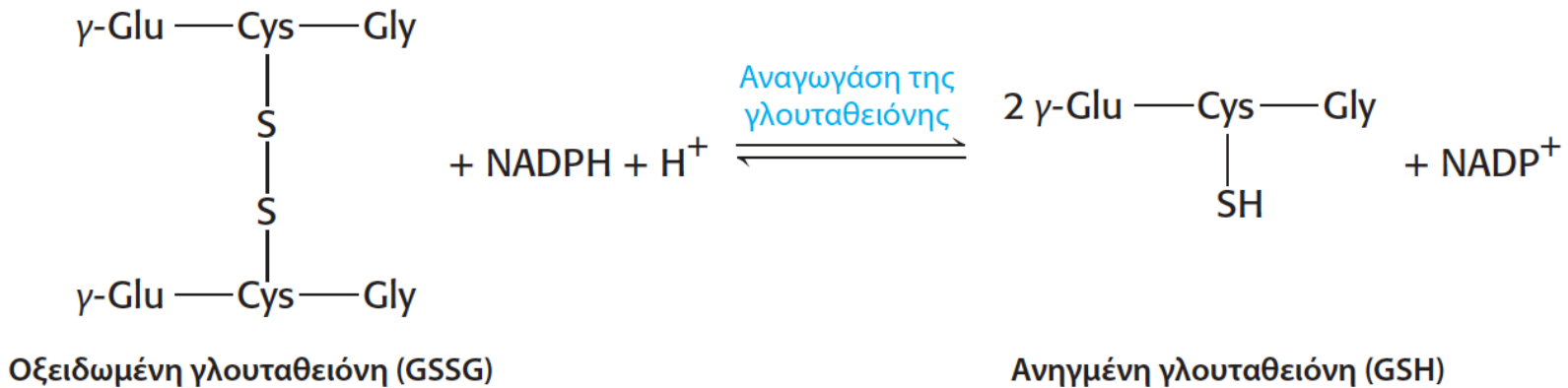
Γλουταθειό ή γλουταθειόνη (GSH)  
γ- Γλουταμυλ-κυστεϊνο-γλυκίνη





# ΑΝΑΓΜΕΝΟ Γλουταθειό (GSH) και ερυθροκύτταρα

Στα ερυθροκύτταρα  $[GSH] / [GSSG] = 500$ ,  
ή  $[GSH] \gg [GSSG]$  (περισσότερο αναγμένη μορφή)



Το **NADPH** πέρχεται από οδο PP

# ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ

## 1. ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΟΥ NADPH\*

α) Απαραίτητο συνενζυμο σε βιοσυνθέσεις

β) Διατήρηση «αναγωγικής ατμόσφαιρας» στα κύτταρα)

## 2. Βιοσύνθεση νουκλεϊνικών οξέων (ribose -5-P (R5P )

## 3. Μεταβολισμός σακχάρων με 7C – 3C.

## 4. Σύνδεση με γλυκόλυση-γλυκονεογένεση

Τα **NADPH** και **NADH** δεν είναι μεταβολικά ισοδύναμα

ΜΕΣΑ ΣΤΑ ΚΥΤΤΑΡΑ:

Υπάρχει περισσότερο **NAD<sup>+</sup>** και **NADPH**

$$\underline{[NAD^+] / [NADH] = 1000,}$$

Άρα  $[NAD^+] \gg [NADH]$  και ευνοείται η αναγωγή του  $NAD^+$

και ο οξειδωτικός μεταβολισμός

$$\text{Ενώ, } \underline{[NADP^+] / [NADPH] = 0.01,}$$

άρα  $[NADPH] \gg [NADP^+]$ , και ευνοείται η

**οξείδωσή του  $NADPH$**

κατά τις αναγωγικές βιοσυνθέσεις

## • ΟΔΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (PP)

### I. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

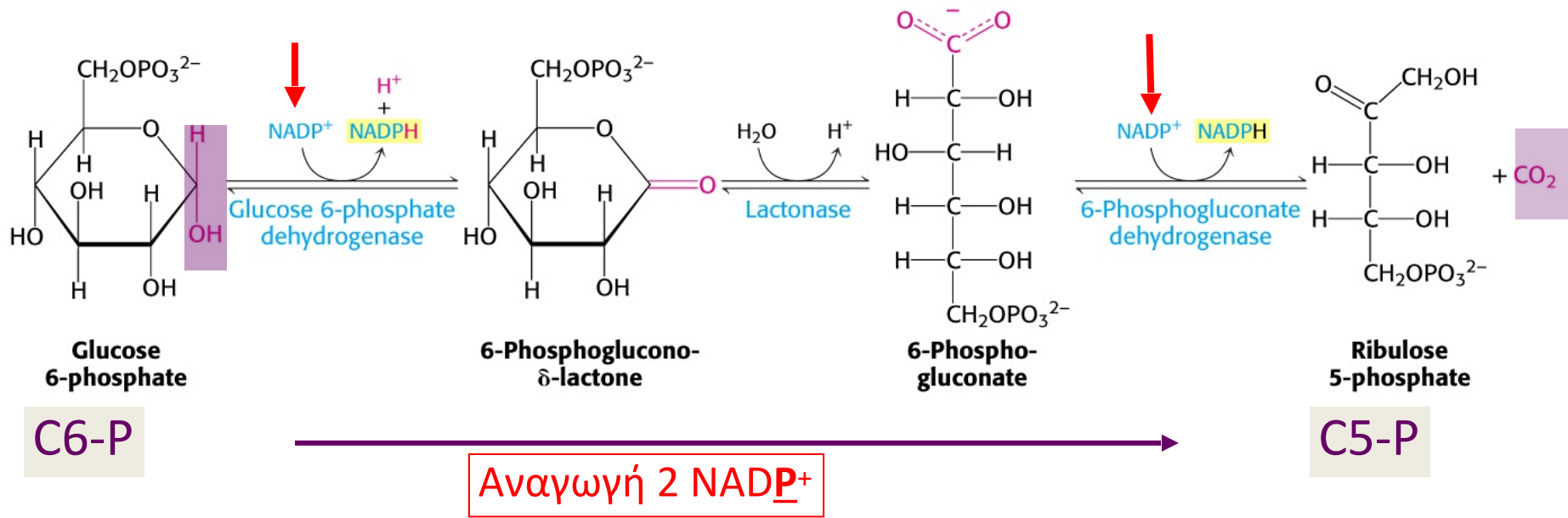


### II. ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



Η C6 (F-6-P) και η C3 (GAP)  
χρησιμοποιούνται στη γλυκόλυση

# 1. Η ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΤΩΝ PP<sub>5</sub>



## I. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



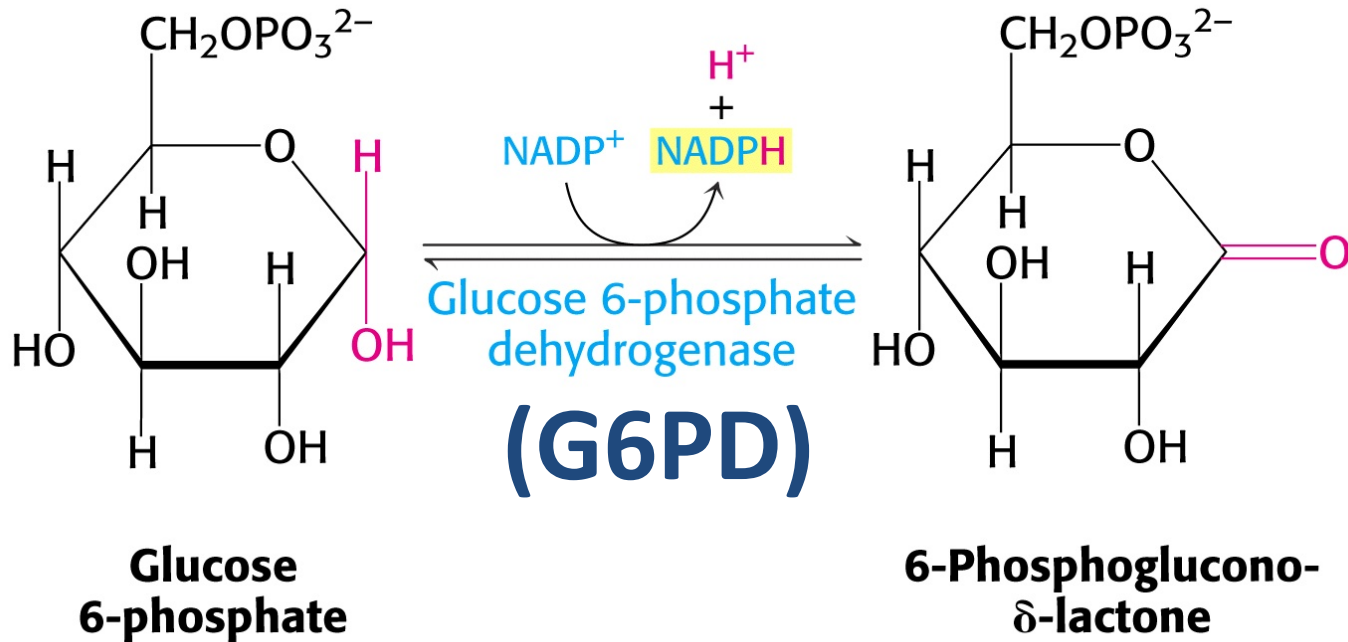
## II. ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



Η **C6 (F-6-P)** και η **C3 (GAP)** χρησιμοποιούνται στη γλυκόλυση

**\*\*Ενζυμα με ειδικευση σε NADP<sup>+</sup> αντι NAD<sup>+</sup> 1930 : ανακάλυψη από Otto Warburg\*\***

# ΑΦΥΔΡΟΓΟΝΑΣΗ ΤΗΣ 6-ΦΩΣΦΟΡΙΚΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ (G6PD)



## Βιοσυνθέσεις :

Η κατανάλωση NADPH (και αύξηση του  $\text{NADP}^+$ ), ενεργοποιεί αλλοστερικά την G6PD.

# malaria protection hypothesis

ή

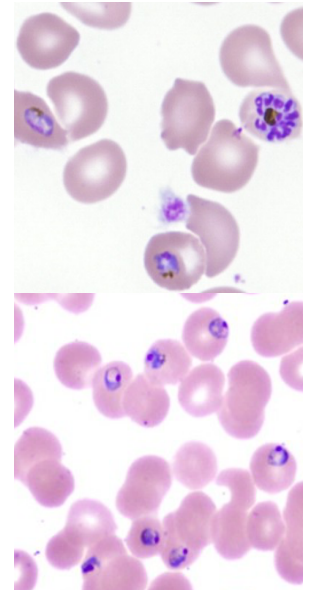
## Πως η έλλειψη αφυδρογονάσης της γλυκόζης- P (G6PD) επιδρά ευεργετικά ενάντια της ελονοσίας

---

Η ελονοσία προκαλείται από το παράσιτο *Plasmodium Falciparum*, το οποίο απαιτεί για βέλτιστη ανάπτυξη αναγμ. Γλουταθείο για προστασια από το οξειδ stress

Τα άτομα με έλλειψη της G6PD παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στο παράσιτο, διοτι είναι πιο ανθεκτικά σε οξειδ stress από ότι το παράσιτο, **Και εφόσον δεν** χρησιμοποιηθούν φάρμακα κατά της μαλάρια ή ζιζανιοκτόνα

Έχει παρατηρηθεί εξελικτική έλλειψη της αφυδρογονάσης από πληθυσμούς της Αφρικής που βρίσκονται σε περιοχές που μαστίζονται από ελονοσία (malaria)



Infected RBC with Plasmodium

## •ΟΔΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (PP)

### I. ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



### II. ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

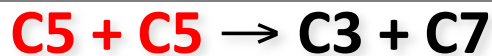


Η C6 (F-6-P) και η C3 (GAP)  
χρησιμοποιούνται στη γλυκόλυση

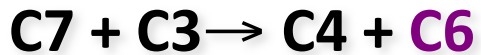


## ΦΑΣΗ II : ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ

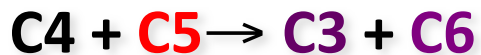
Όταν το κύτταρο χρειάζεται ακόμη **περισσότερο NADPH**, για βιοσυνθέσεις (εκτός των νουκλ. οξέων) τότε η **ριβουλόζη-5-P (C5)** μετατρέπεται σε **ενδιάμεσα της γλυκόλυσης C3 (GAP)** και **C6 (F-6-P)**



Τρανσκετολάση

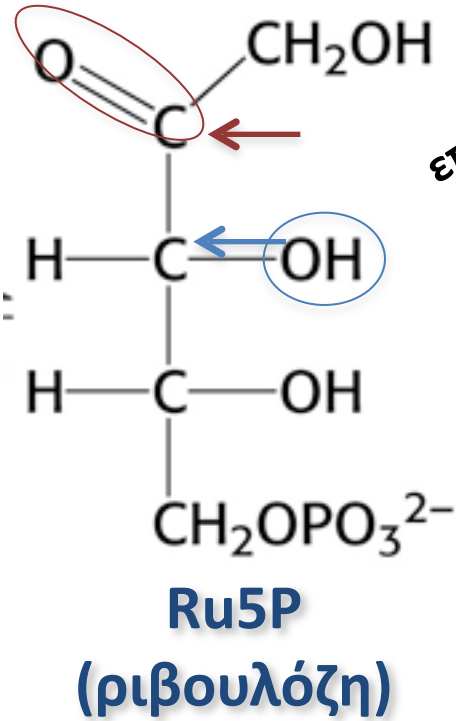


Τρανσαλδολάση

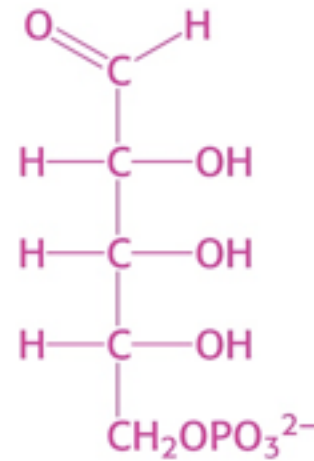
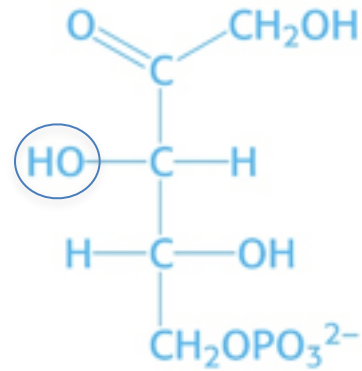


Τρανσκετολάση

Η Ru5P (ριβουλόζη) μετατρέπεται είτε σε R5P (ριβόζη), είτε σε ξυλουλόζη (Xu5P)



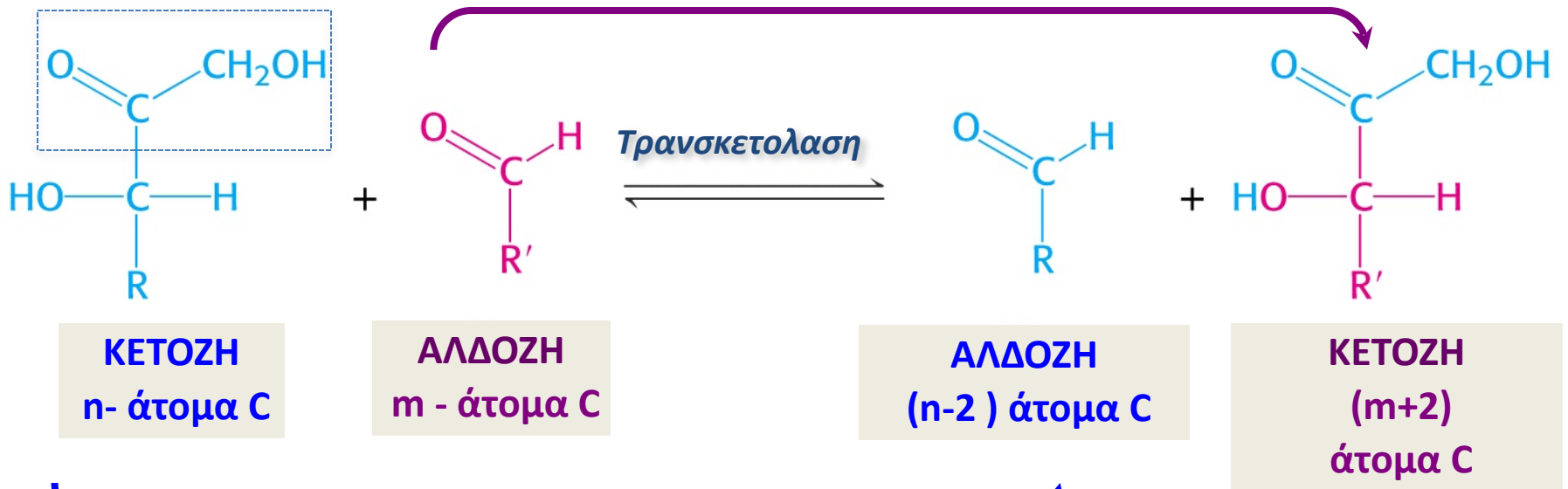
επιμεράση  
υδράση



# 1. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΡΑΝΣΚΕΤΟΛΑΣΗΣ

Μεταφορά 2C

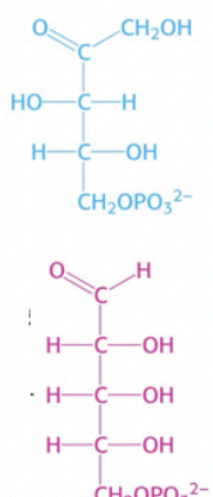
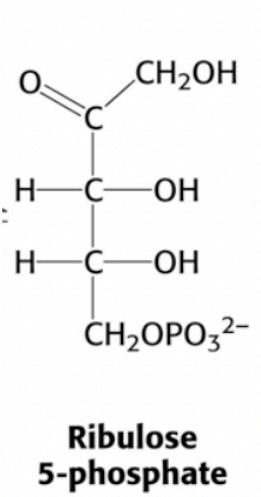
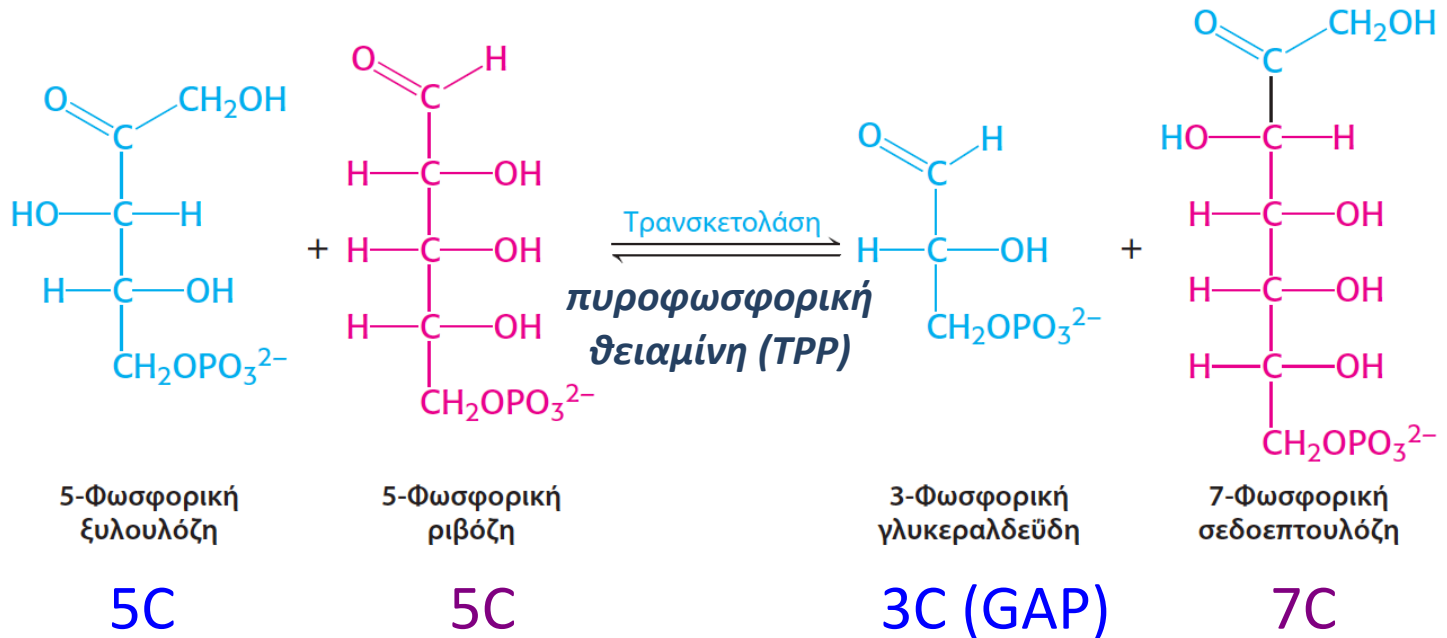
Ο σκελετος της **ΑΛΔΟΖΗΣ** με  $m$ -άτομα C μετατρέπεται σε **ΚΕΤΟΖΗ** με  $(m+2)$ -άτομα C



Ο σκελετος της **ΚΕΤΟΖΗΣ** με  $n$ -άτομα C μετατρέπεται σε **ΑΛΔΟΖΗ** με  $(n-2)$ -άτομα C.

# 1. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΡΑΝΣΚΕΤΟΛΑΣΗΣ

## Μεταφορά 2C



Ενδιάμεσο της γλυκόλυσης /-νεογενεσης !!

PENTOSE PHOSPHATE PATHWAY<sub>20</sub>(PPP)

## Πυροφωσφορική θειαμίνη (TPP), βιταμίνη B1

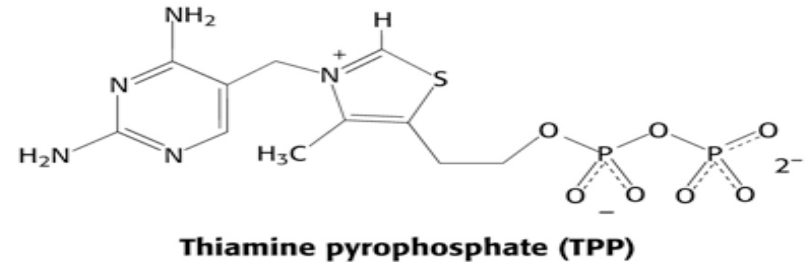
- Προσθετική ομάδα των ενζύμων :

### Τρανσκετολάση

Αποκαρβοξυλάση πυροσταφυλικού

Αφυδρογονάση πυροσταφυλικού

Αφυδρογονάση α-κετογλουταρικού



- Η **έλλειψη της B1** προκαλεί **Beri-Beri** (σοβαρή νευρομυϊκή δυσλειτουργία).

### Σύνδρομο Wernicke-Korsakoff:

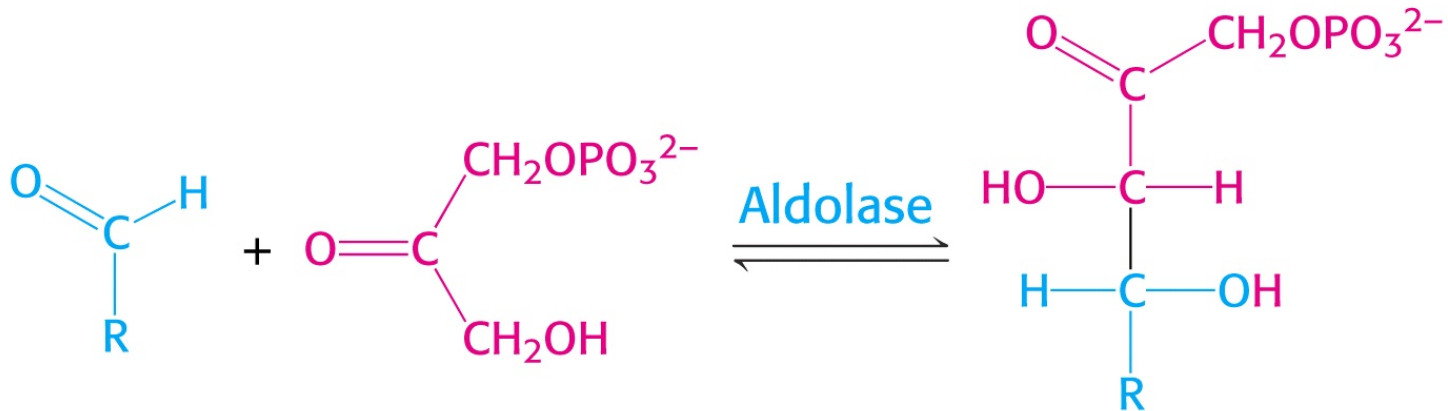
Η τρανσκετολάση δεν μπορεί να δεσμεύσει καλά το συνένζυμό της την TPP  
→ επιβράδυνση της οδού



# Τρανσαλδολάση

## Μεταφορά 3C

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ της (φωσφορικής) δι-υδροξυ-ακετόνης (**3C**) με μία αλδόζη



**Aldose**  
(*n* carbons)

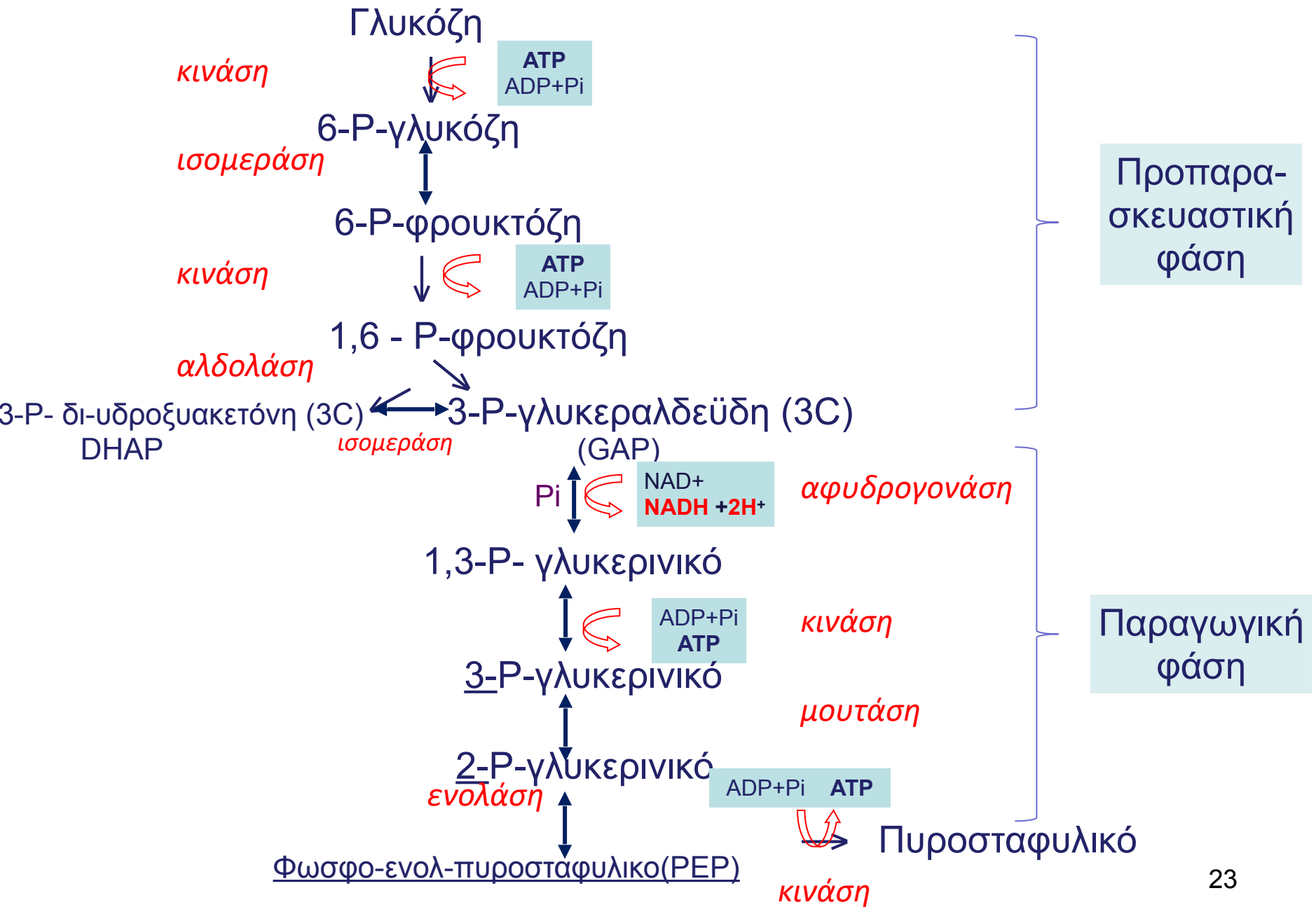
**Dihydroxyacetone  
phosphate  
(DHAP)**

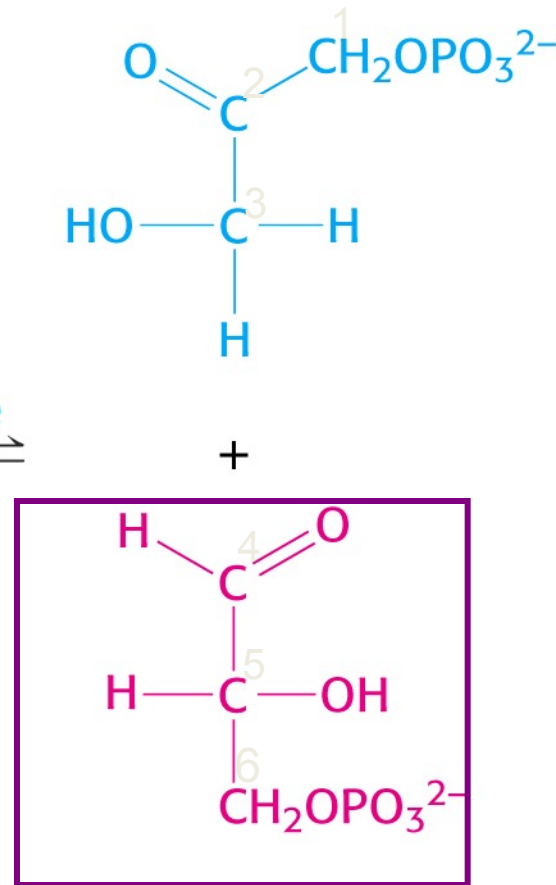
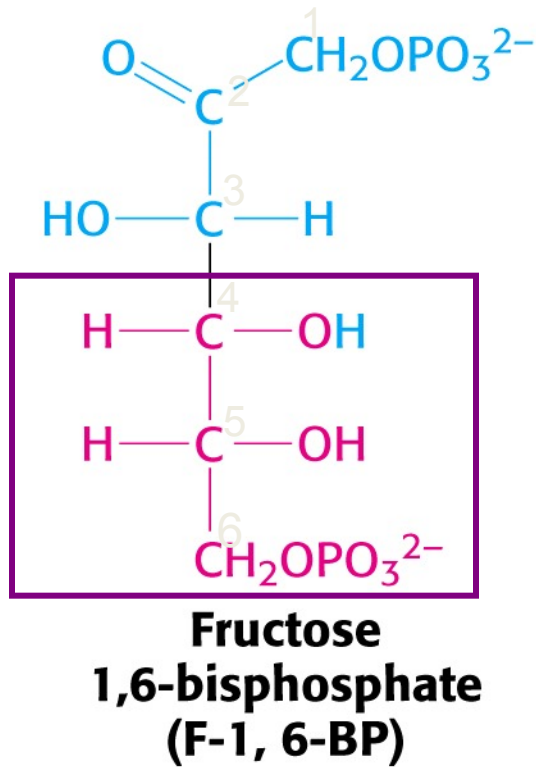
**Ketose**  
(*n* + 3 carbons)

Αλδόζη (*nC*)

Κετόζη(**3C**)

Κετόζη(***n+3***)C





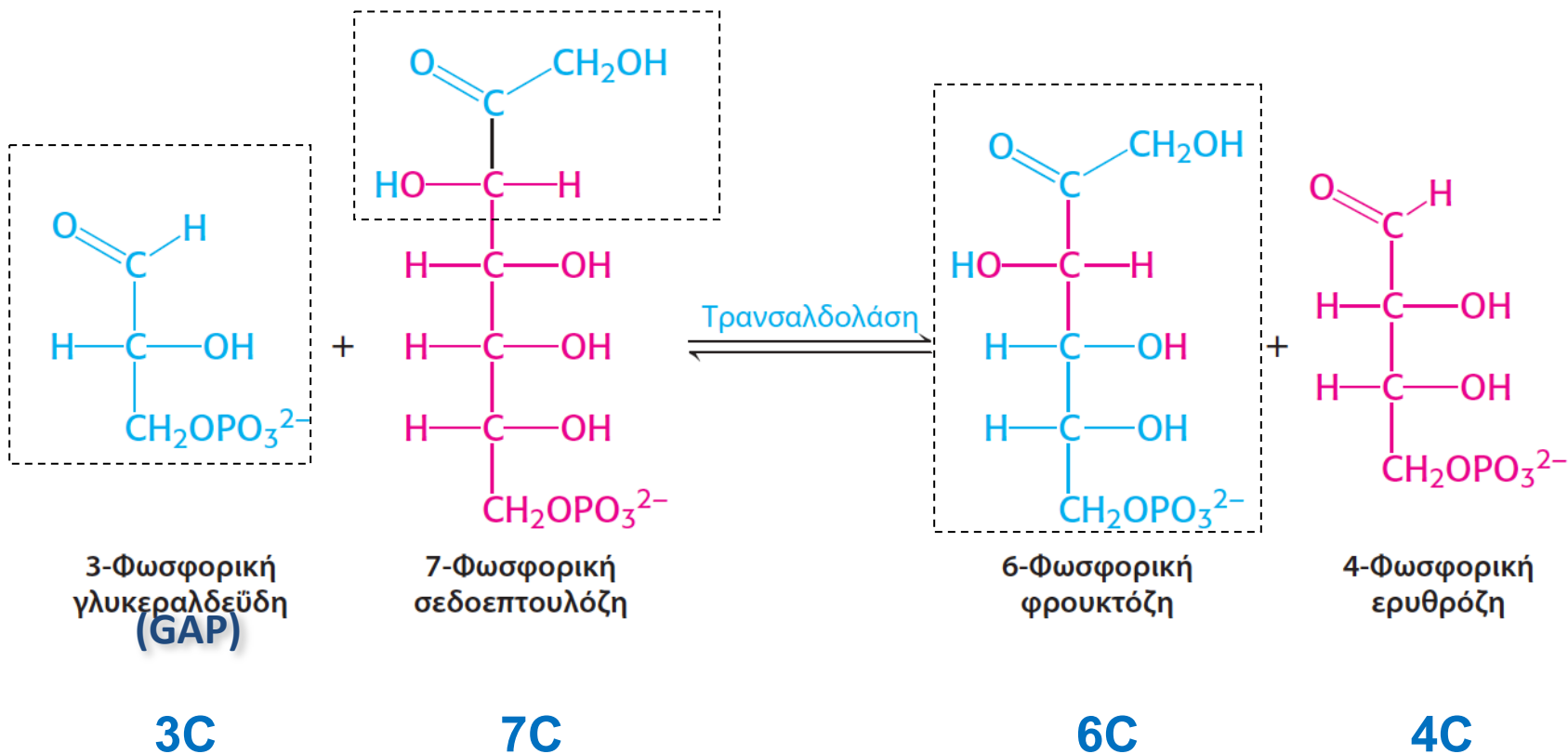
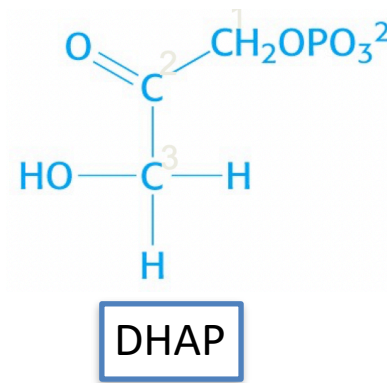
**Dihydroxyacetone  
phosphate  
(DHAP)**

**Glyceraldehyde  
3-phosphate  
(GAP)**



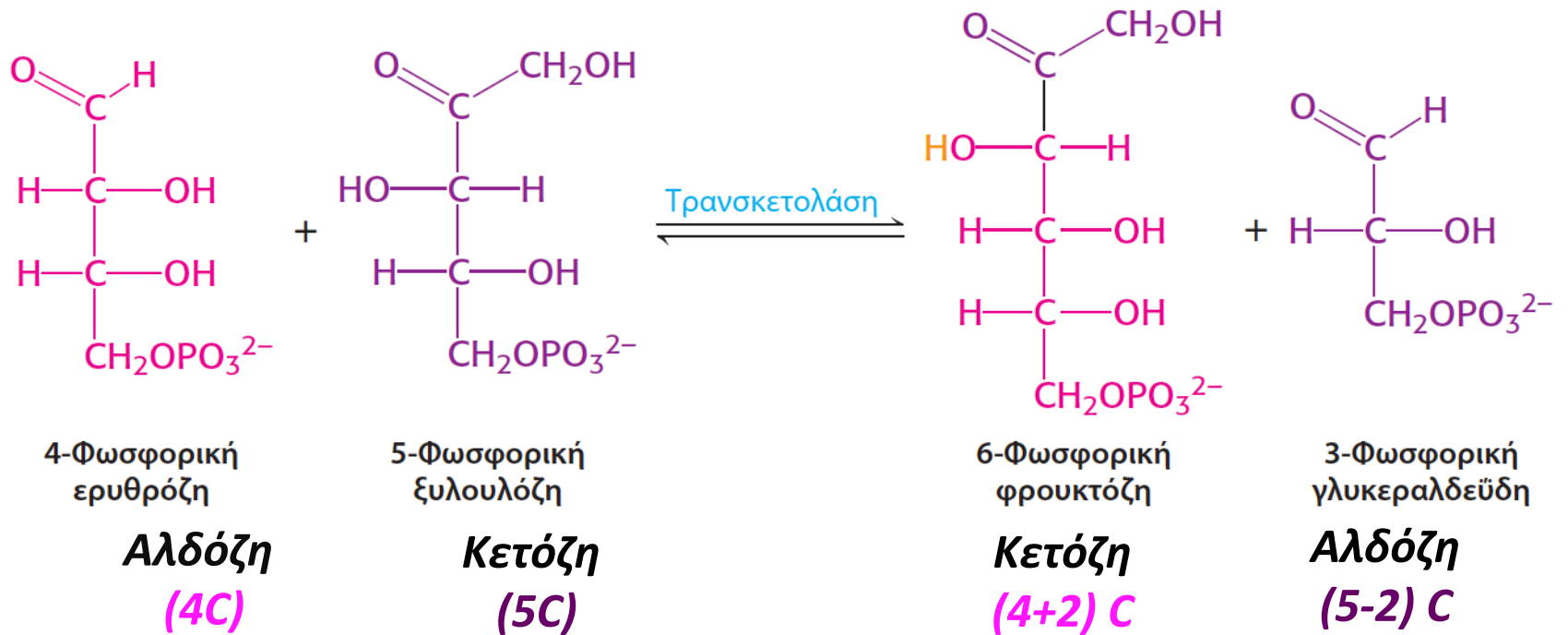
## 2. Αντίδραση τρανσαλδολάσης Μεταφορά 3C

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ της δι-ϋδροξυ-ακετόνης (3C) με μία αλδόζη



### 3. ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΤΡΑΝΣΚΕΤΟΛΑΣΗΣ

Ο σκελετος της **κετόζης** μετατρέπεται σε **αλδόζη** με  $(n-2)$  άτομα C

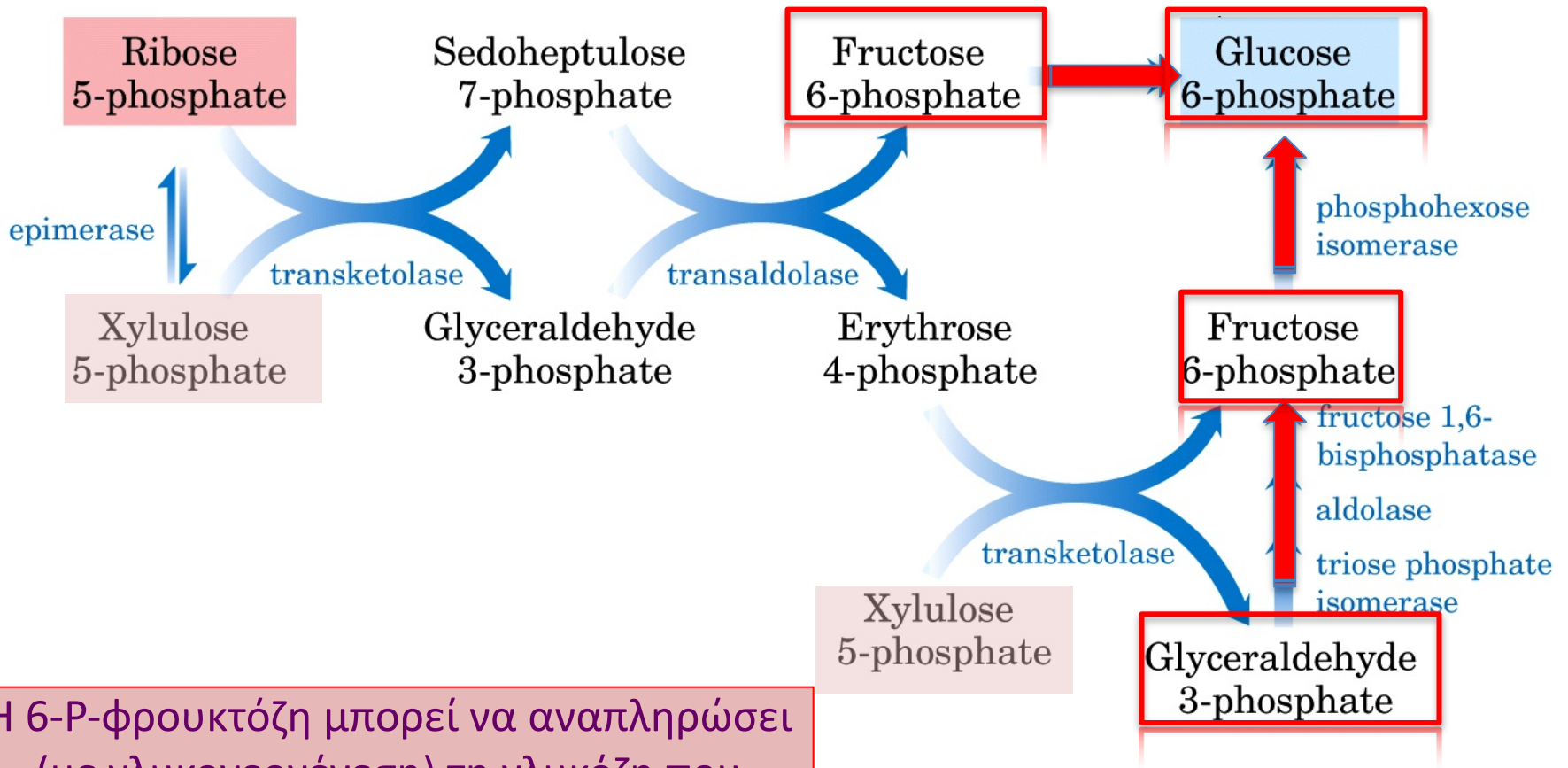


Ο σκελετος της **αλδόζης** μετατρέπεται σε **κετόζη** με  $(n+2)$  C

Χρησιμοποιούνται στη γλυκόλυση/  
γλυκονεογένεση

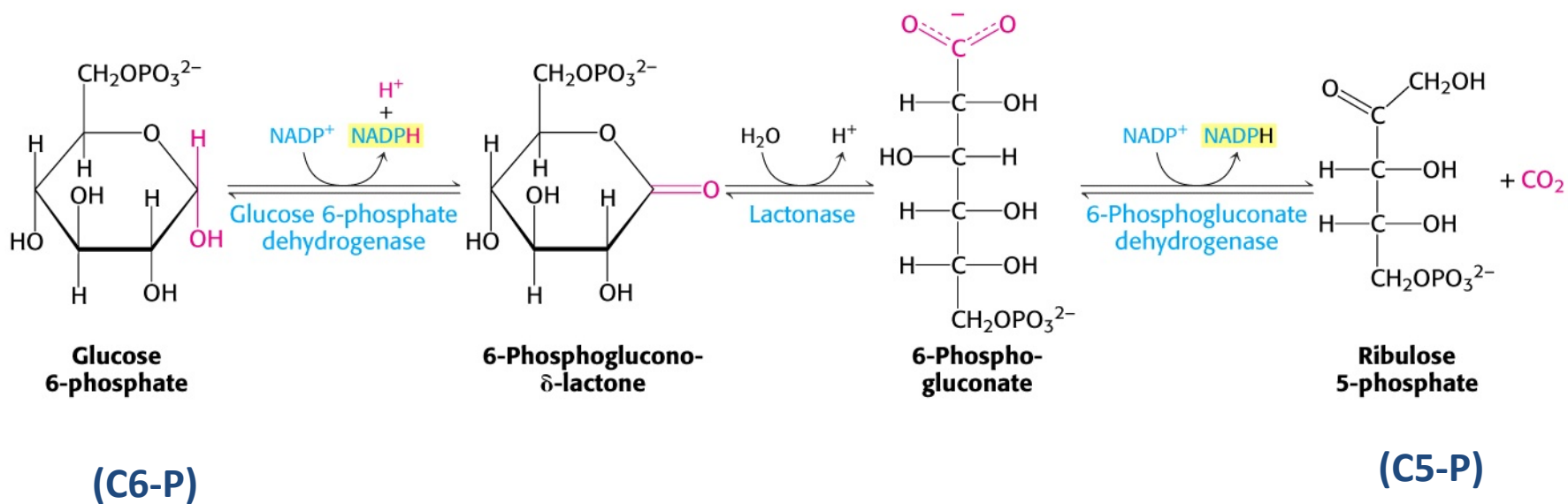
## ΦΑΣΗ II: ΜΗ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ

## PENTOSE PHOSPHATE PATHWAY (PPP)

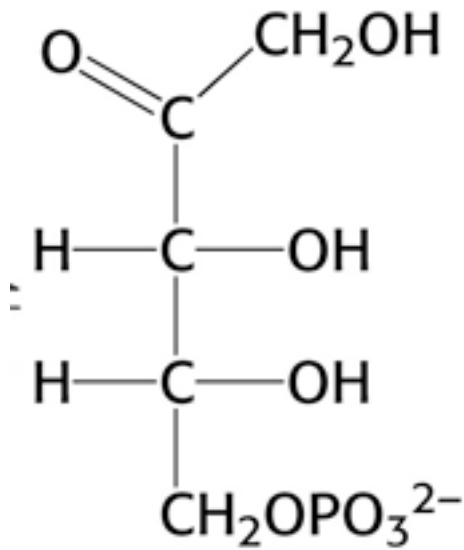


Η 6-P-φρουκτόζη μπορεί να αναπληρώσει (με γλυκονεογένεση) τη γλυκόζη που οξειδώθηκε κατά στη φάση I

Η οδος των PPs ξεκίνησε από οξείδωση της γλυκόζης (C6) σε ριβόζη (C5) και χρησιμοποιήθηκαν 3 μόρια C5-P Κατα την φάση II (μη-οξειδωτική)

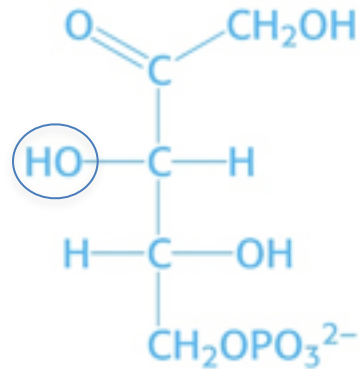


Η Ru5P (ριβουλόζη) μετατρέπεται είτε σε R5P (ριβόζη), είτε σε ξυλουλόζη (Xu5P)

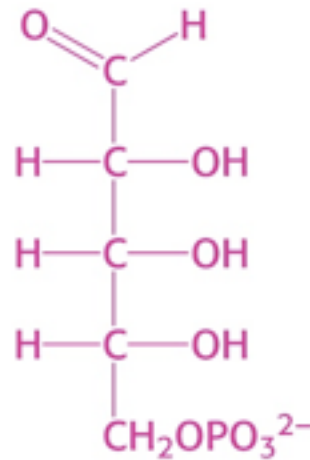


**Ru5P**  
(ριβουλόζη)

επιμεράση  
υδρολάση



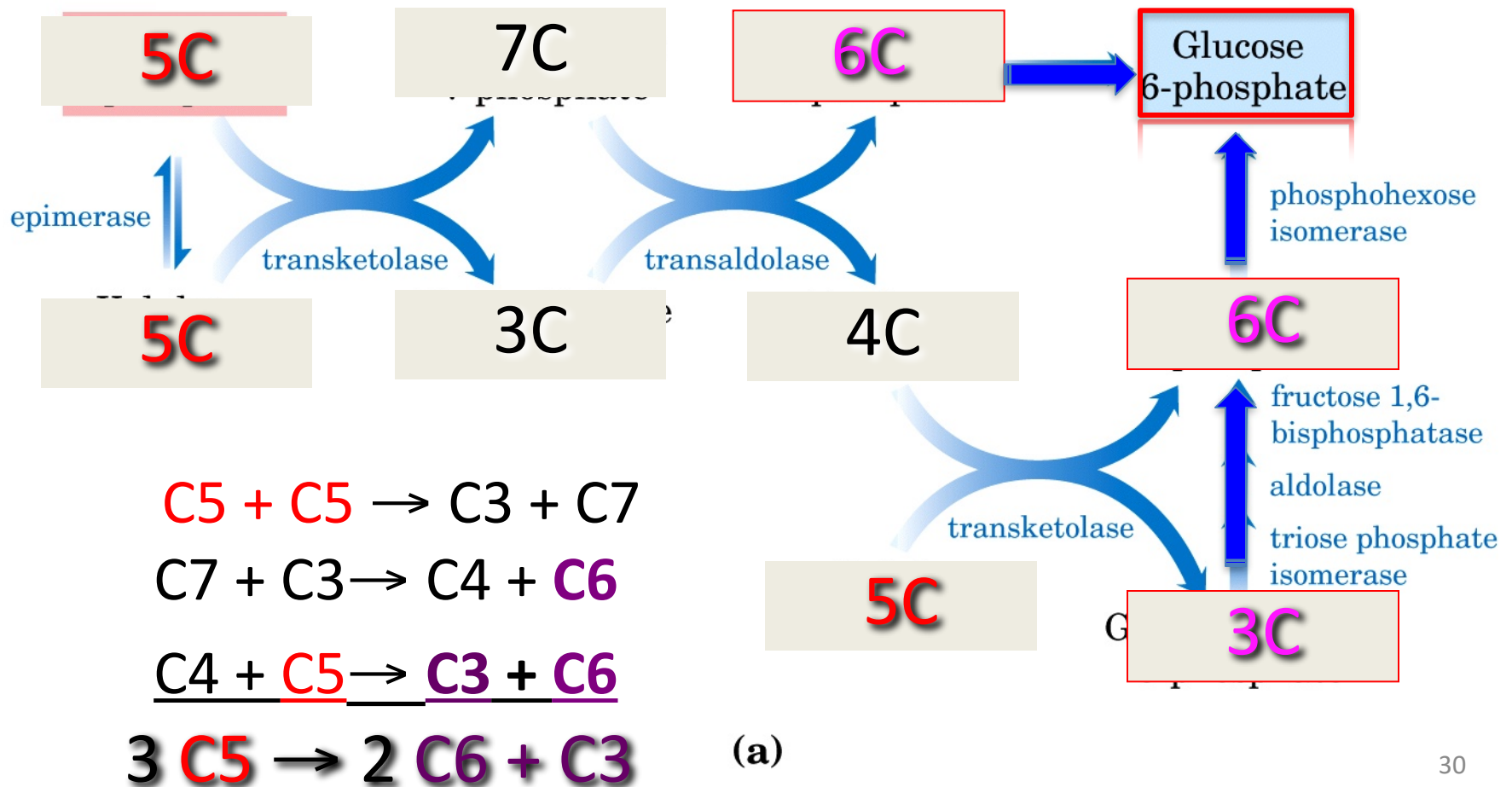
**Xu5P**  
(ξυλουλόζη)



**R5P**  
(ριβόζη)

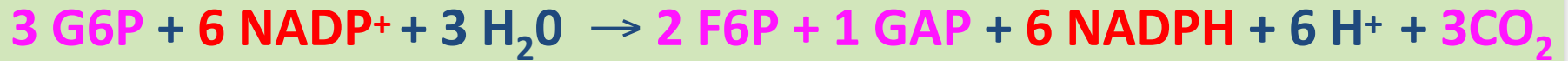
## ΣΥΝΟΛΙΚΑ

Η 6-P-φρουκτόζη μπορεί επιπλέον να ισομεριωθεί προς 6-P-γλυκόζη και να αναπληρώσει (με γλυκονεογένεση) τη γλυκόζη που οξειδώθηκε κατά την οξειδωτική φάση

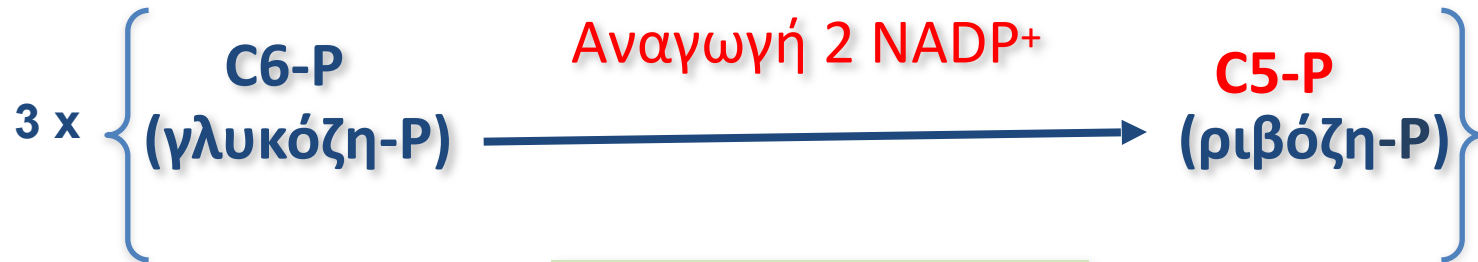


## •ΟΔΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (PP)

### ΣΥΝΟΛΙΚΑ



### ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



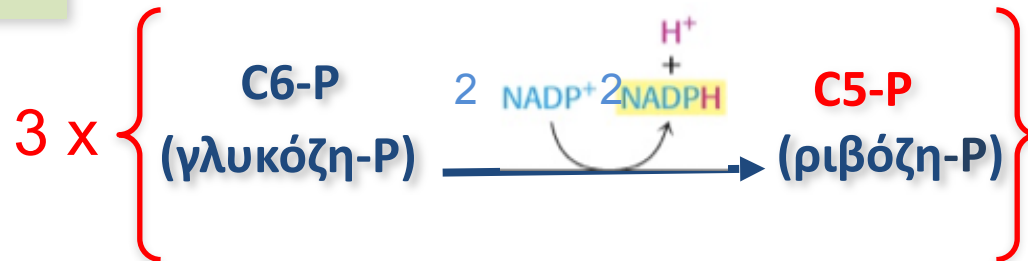
### ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



Η μη-οξειδωτική φάση της οδού των φωσφορικών πεντοζών (σε συνδυασμό με τη γλυκονεογένεση) ανακυκλώνει τελικά

τις φωσφορικές πεντόζες σε 6-P-γλυκόζη κυρίως σε ιστούς που χρειάζονται NADPH

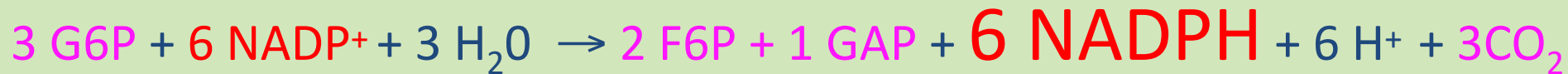
#### ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



#### ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ

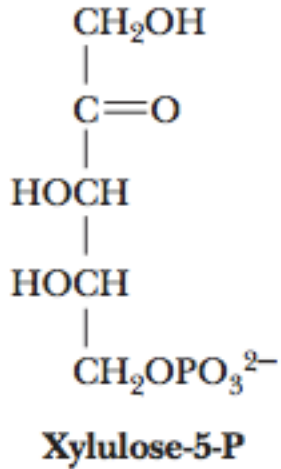


ΣΥΝΟΛΙΚΑ :

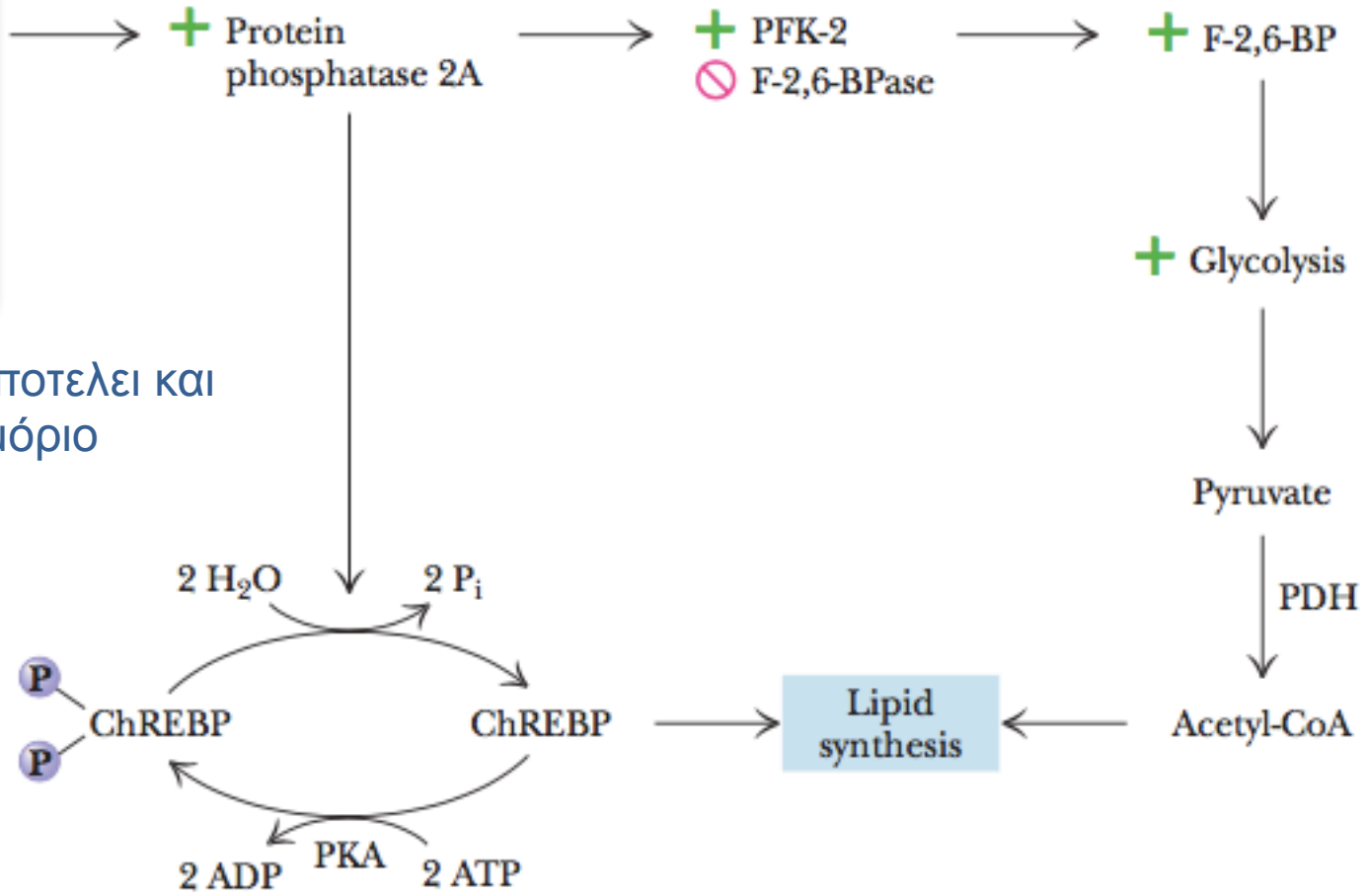




Αύξηση της γλυκόζης στο αίμα ΕΠΑΓΕΙ:  
 την Οδό PP, Τη Γλυκόλυση, και τελικά  
 τις βιοσυνθέσεις των λιπιδίων στο ήπαρ, μέσω της  
 ενεργοποίησης της PP2 και του μεταγρ παράγοντα  
**ChREBP**

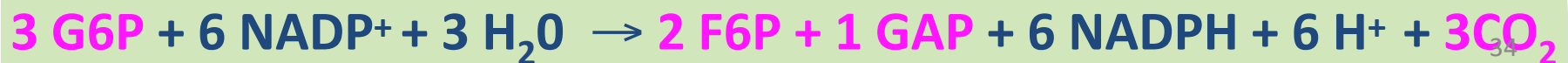
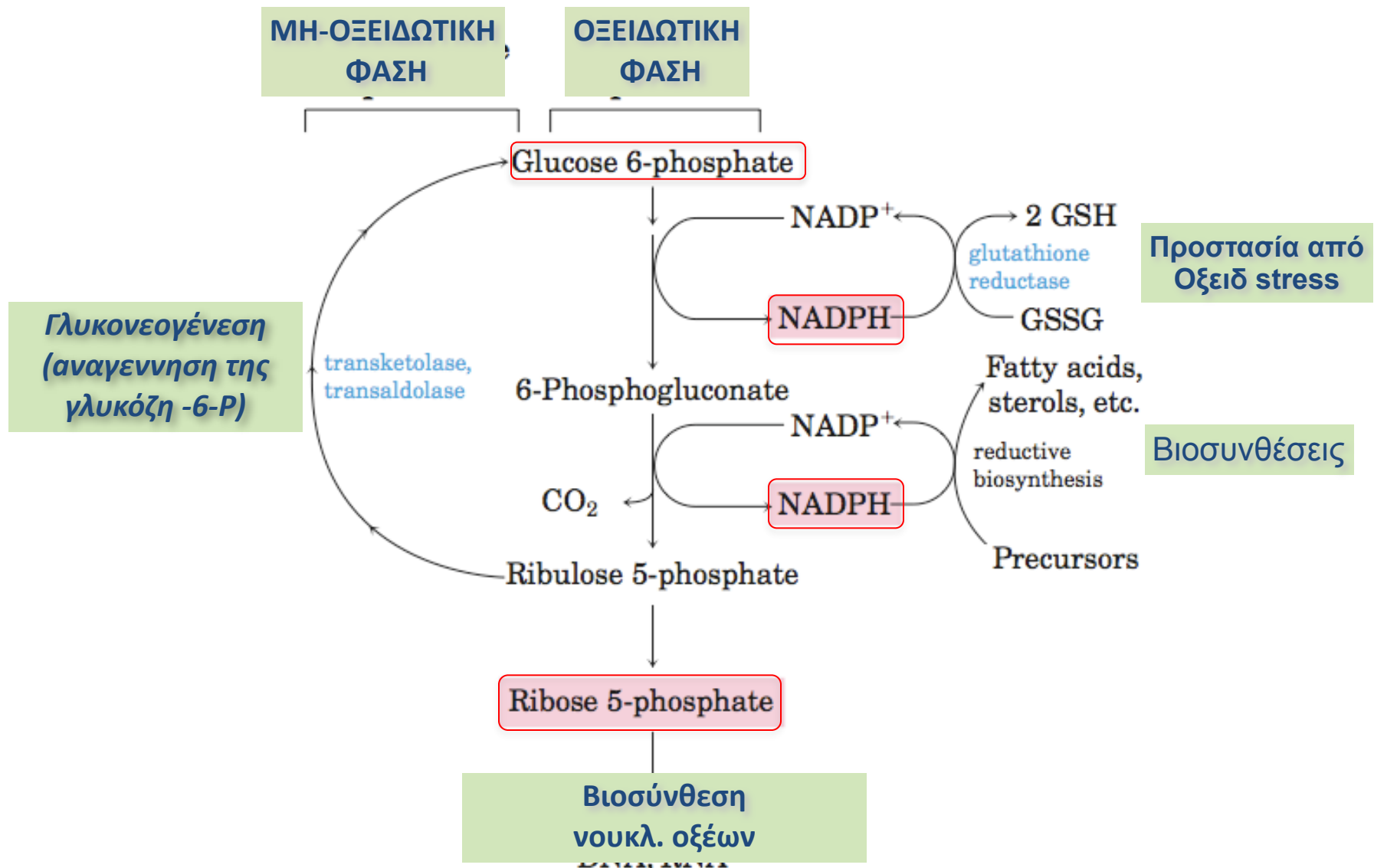


Η ξυλουλόζη αποτελεί και  
 Σηματοδοτικό μόριο



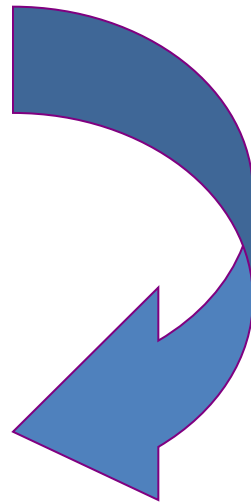
**ChREBP**, carbohydrate-responsive element-binding protein.

# ΟΔΟΣ ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ και ΤΕΛΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ



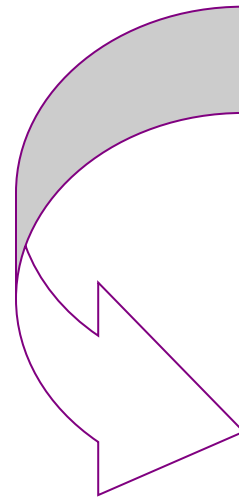
**ΤΟ ΔΙΛΛΗΜΑ ΕΝΟΣ ΚΥΤΤΑΡΟΥ :**

**Glucose-6-P**



**γλυκόλυση**

?



**Οδός φωσφορικών  
πεντοζών**

?

## ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το κύτταρο επιλέγει σύμφωνα με τις  
ανάγκες του σε :

**NADPH**

**ATP**

ή

**Ribose - 5-P**

# Περίπτωση 1:

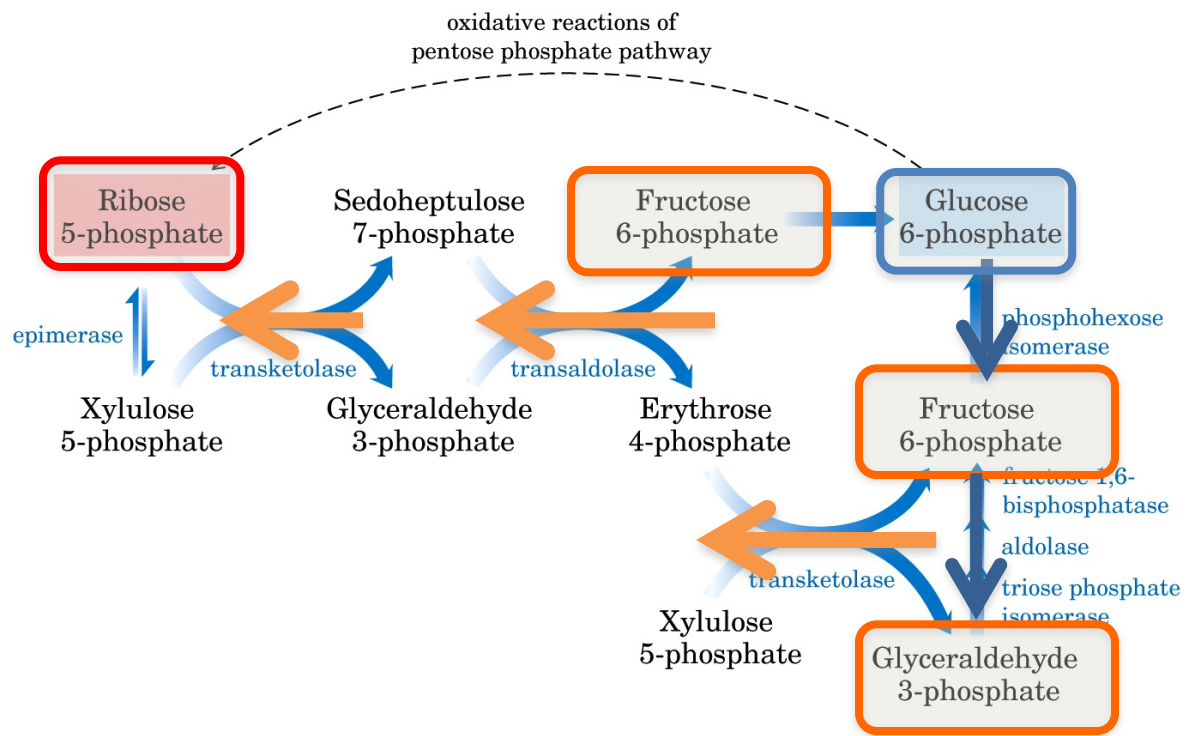
## Απαιτήσεις σε Ribose -5-P >> NADPH (πχ. σε καρκινικά κύτταρα)

**ΓΛΥΚΟΛΥΣΗ**  
(σύνθεση F6P και GAP)

+

**Αντιστροφή αντιδράσεων της μη-οξειδωτικής φάσης**

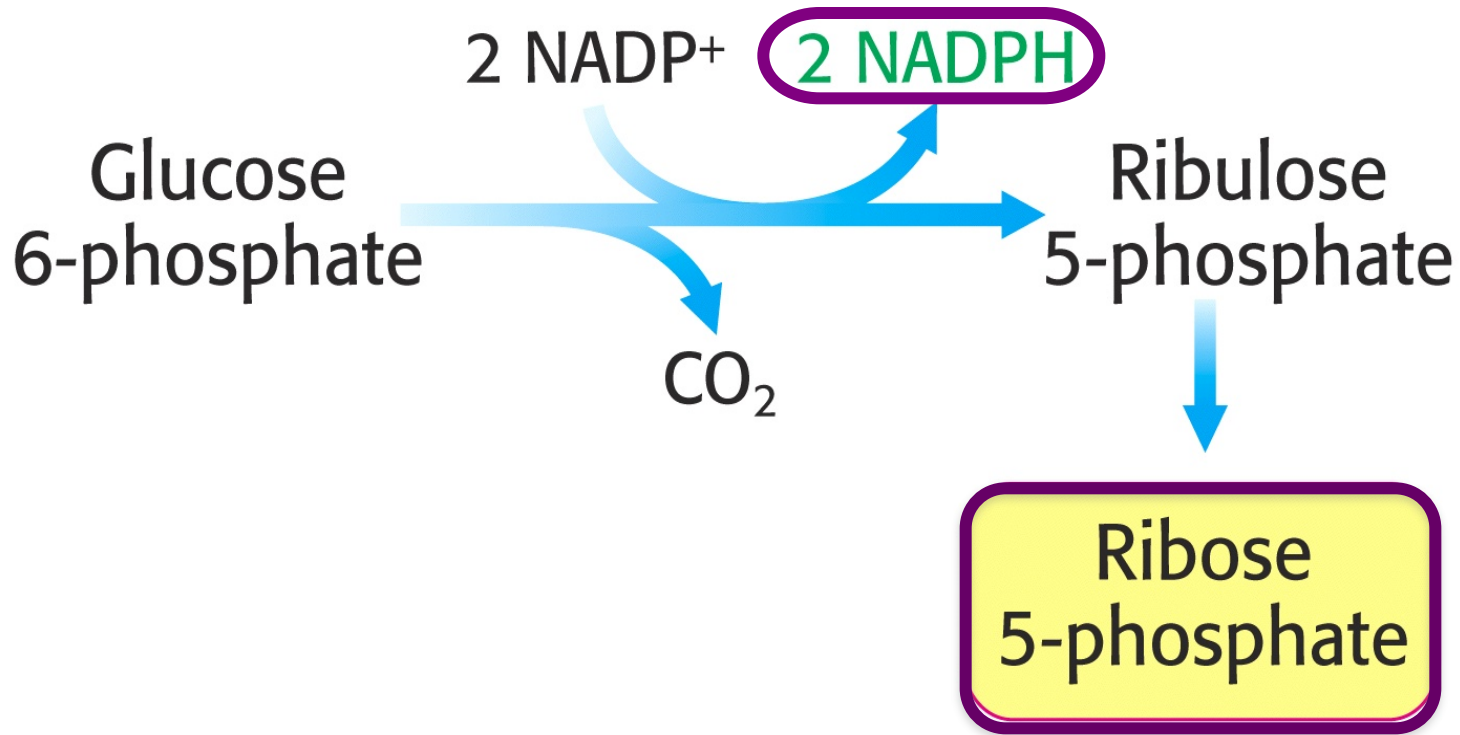
η 6-φωσφορική φρουκτόζη (F6P) και η GAP (ενδιάμεσα της γλυκόλυσης) μετατρέπονται σε φωσφορική ριβόζη



(a)

Περίπτωση 2: Απαιτήσεις σε Ribose -5-P  $\approx$  NADPH

Επικρατεί η οξειδ. φάση της πορείας των PP

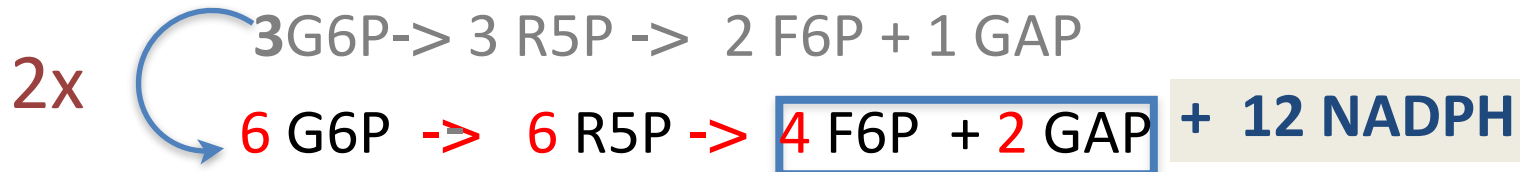


### Περίπτωση 3

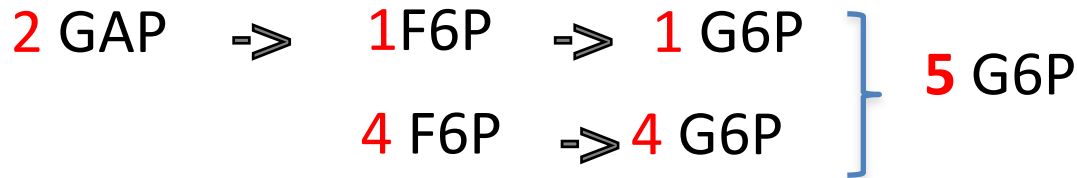
Απαιτήσεις σε NADPH >> R5P  
(πχ βιοσυνθέσεις λιπαρών οξέων)

- Συνδυασμός οδού PP και γλυκονεογένεσης

A) Από Οδό των Φωσφορικών πεντοζών (2x):



B) Και μέσω γλυκονεογένεσης:



**Αρα συνολικά:** Τα 5 G6P (από τα 6 που καταναλώθηκαν)  
αναγεννιώνται μέσω της γλυκονεογένεσης,  
Ενώ έχουν αποδοθεί  $6 \times 2 = 12$  NADPH,  
με κατανάλωση ενός μορίου γλυκόζης



**Η μη-οξειδωτική φάση της οδού των φωσφορικών πεντοζών  
(σε συνδυασμό με γλυκονεογένεση) ανακυκλώνει τελικά  
τις φωσφορικές πεντόζες σε 6-P-γλυκόζη  
κυρίως σε ιστούς που χρειάζονται NADPH**

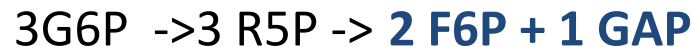


## Περίπτωση 4

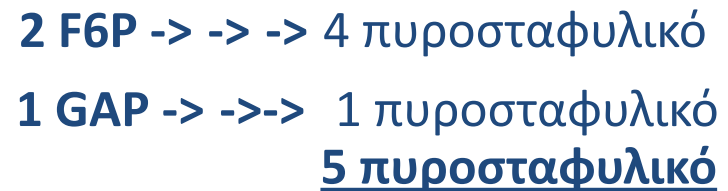
Το κύτταρο χρειάζεται NADPH και ATP (ενέργεια)

### Συνδυασμός οδού PP και γλυκόλυσης

A) Από Οδό των Φωσφορικών πεντοζών

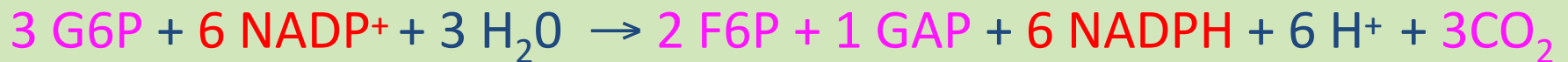


B) Και μέσω της γλυκόλυσης :



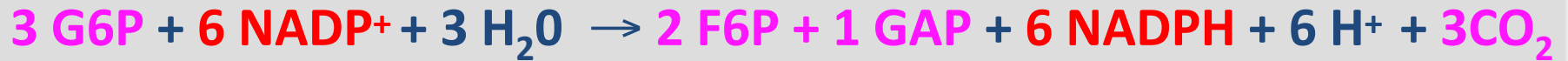
➡ Κύκλος Krebs

- Κατά την μετατροπή της F6P προς 1, 6-διφωσφορική φρουκτόζη καταναλώνεται 1 ATP ( x 2)
  - Κατά την μετατροπή της GAP προς 1,3-διφωσφο-γλυκερικό παράγεται 1 NADH ( x 5)
- Για κάθε G6P που οξειδώνεται στην οδό παράγονται 2 NADPH ( x 3)

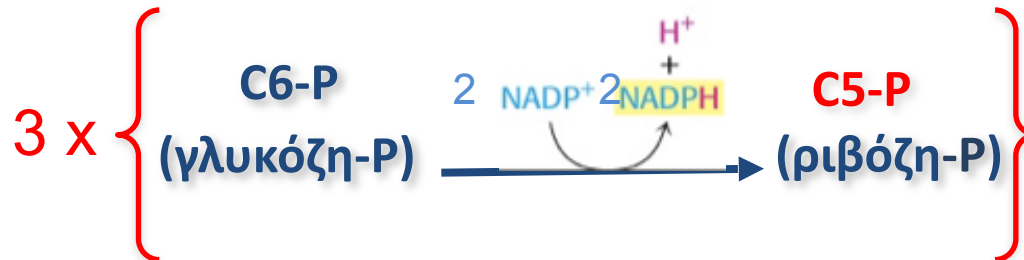


## • ΟΔΟΣ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (PP)

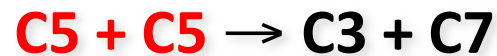
ΣΥΝΟΛΙΚΑ :



### ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



### ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗ ΦΑΣΗ



Τρανσκετολάση



Τρανσαλδολάση



Τρανσκετολάση

## ΑΠΑΝΤΗΣΗ

Το κύτταρο επιλέγει σύμφωνα με τις  
ανάγκες του σε :

**NADPH**

**ATP**

ή

**Ribose - 5-P**

**Περίπτωση 1:** Απαιτήσεις σε Ribose -5-P  $\gg$  NADPH

- Γλυκόλυση και ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ αντιδράσεων ΜΗ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΗΣ φάσης

**Περίπτωση 2:** Απαιτήσεις σε Ribose -5-P  $\approx$  NADPH

- Οξειδ. φάση της πορείας των PP

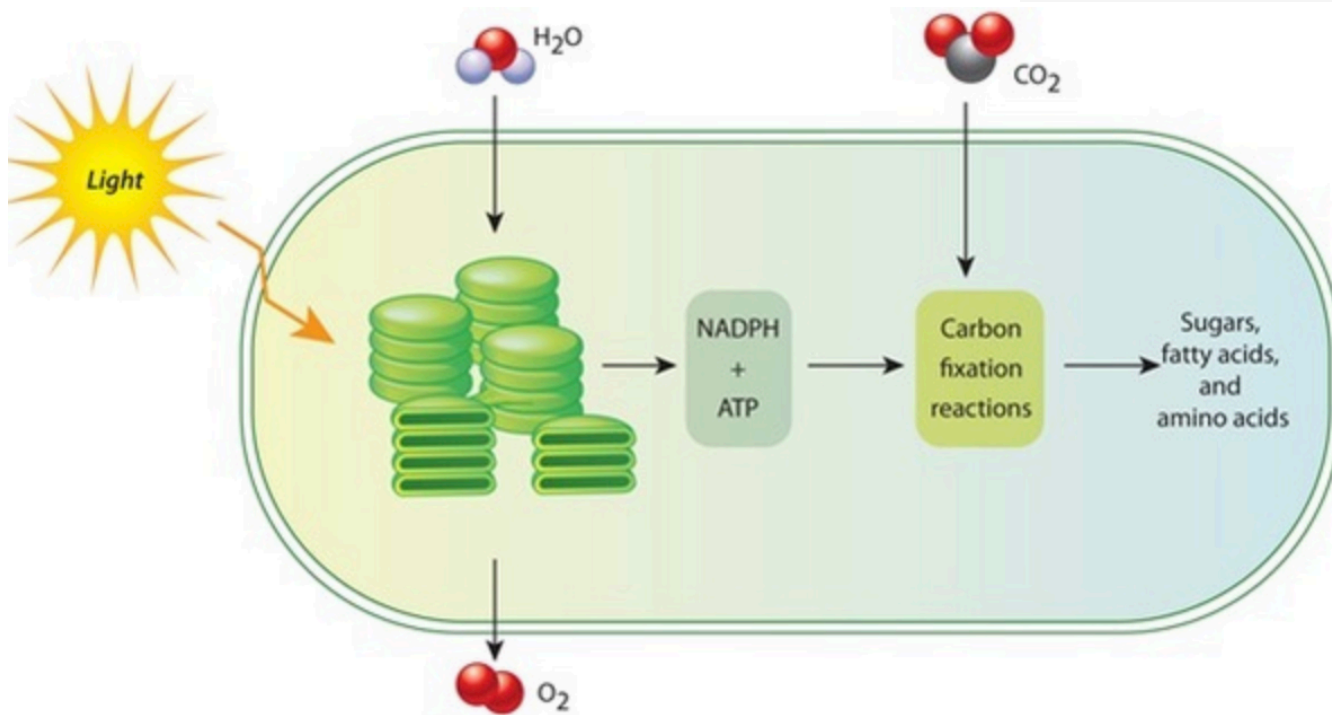
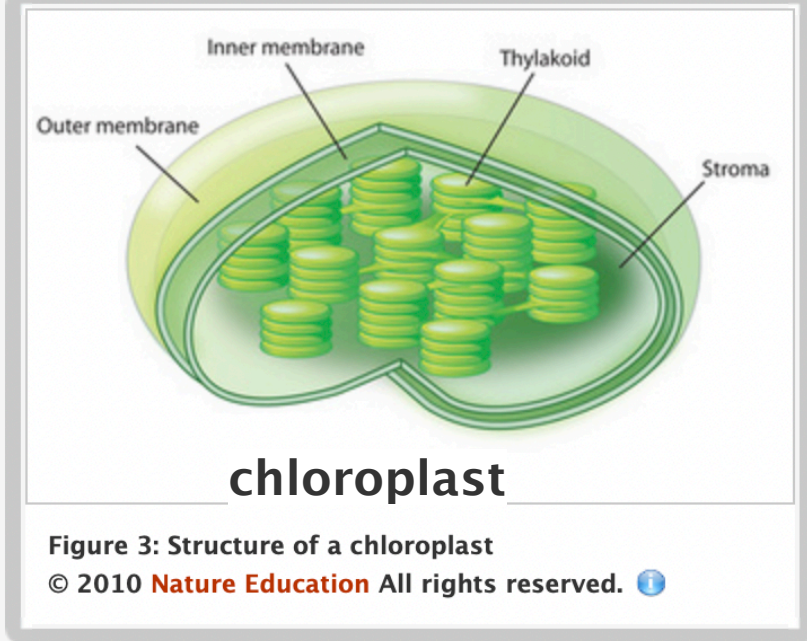
**Περίπτωση 3** *Το κύτταρο χρειάζεται περισσότερο NADPH για βιοσυνθέσεις (πχ λιπαρών οξέων), παρά Ribose -5-P .*

- Συνδυασμός οδού PP και γλυκονεογένεσης

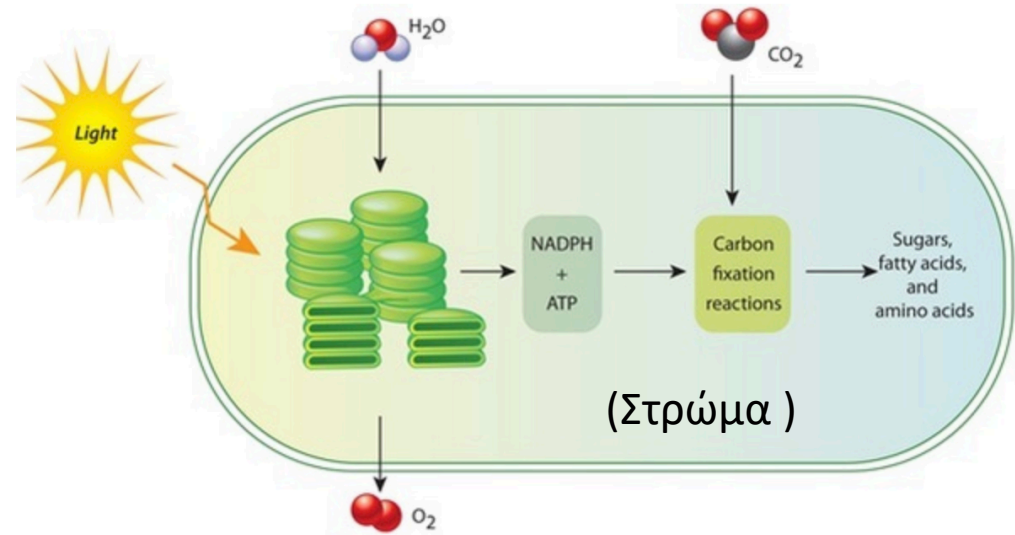
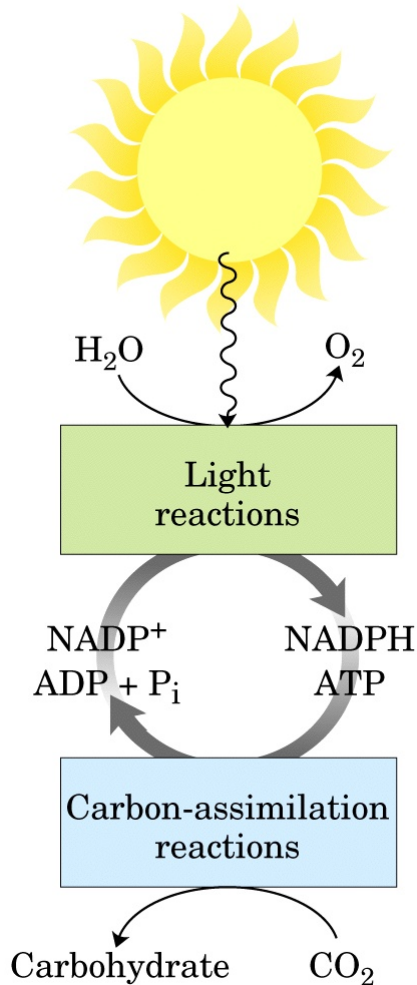
**Περίπτωση 4** Το κύτταρο χρειάζεται NADPH και ATP (ενέργεια)

- Συνδυασμός οδού PP και γλυκόλυσης

# ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



# ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ



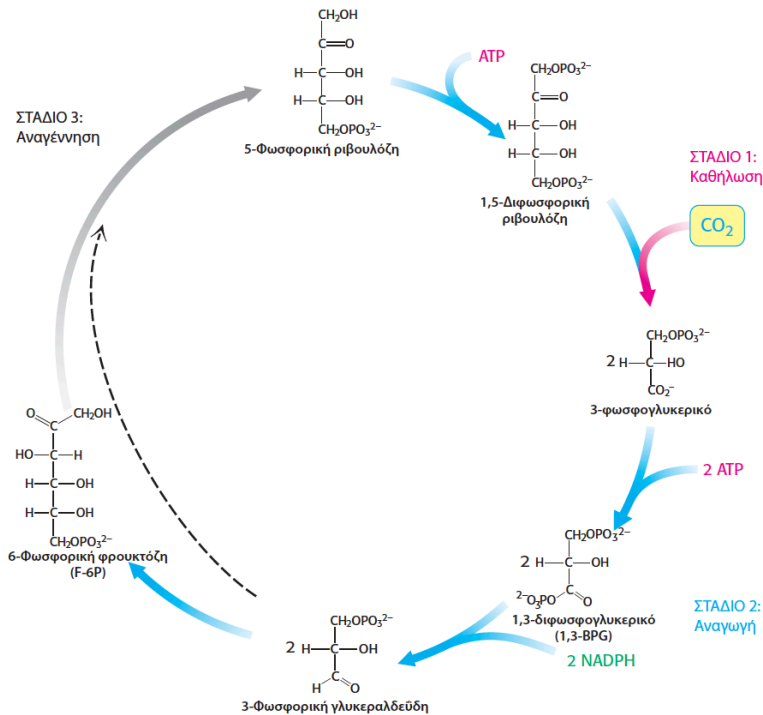
## ΦΩΤΕΙΝΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ (θυλακοειδή)

- Δέσμευση φωτεινής ενέργειας από χρωστικές
- Φωτόλυση του  $H_2O$
- Παραγωγή ενέργειας με μορφή  $ATP$  &  $NADPH$

## ΣΚΟΤΕΙΝΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ή αντιδράσεις δέσμευσης του C (κύκλος Calvin)

Χρησιμοποίηση ενέργειας από φωτεινές αντιδράσεις (με μορφή  $ATP$  &  $NADPH$ ) για αναγωγή  $CO_2$  και σύνθεση πιο πολύπλοκων οργανικών μορίων

- Κύκλος CALVIN είναι η «αντίστοιχη πορεία» της Γλυκονεογένεσης στους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς.**



Ο ΚΥΚΛΟΣ CALVIN (στους χλωροπλάστες) χρησιμοποιεί NADPH για την αναγωγή του  $\text{CO}_2$  προς εξόζες.

Η ΠΟΡΕΙΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΠΕΝΤΟΖΩΝ (στο κυτταρόπλασμα) συνθέτει NADPH κατά την οξείδωση της γλυκόζης

**Αρα, ο Κύκλος του CALVIN είναι η αναγωγική πορεία των φωσφορικών πεντοζών.**

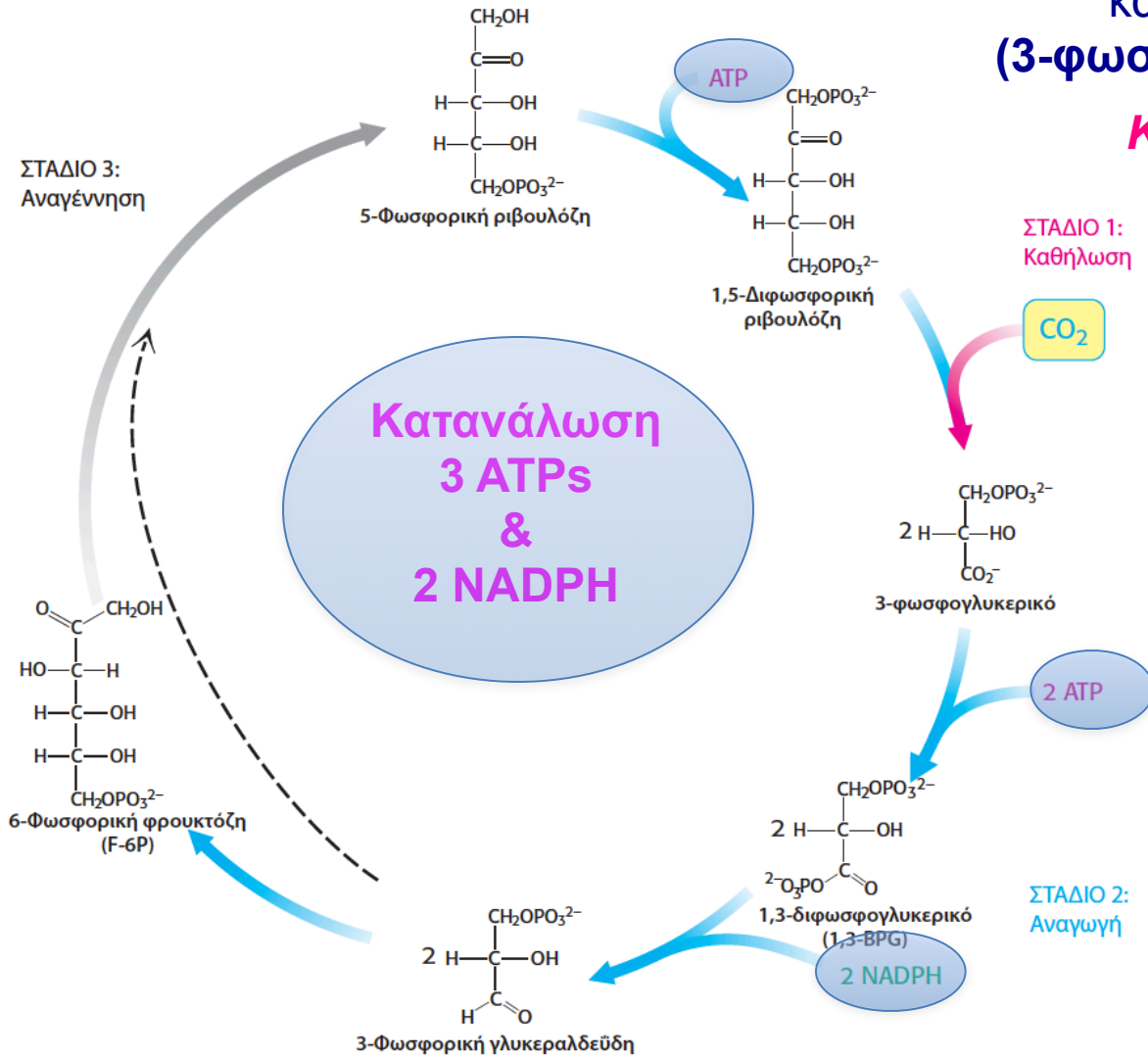
# ΚΥΚΛΟΣ CALVIN (στους χλωροπλάστες)

**Στάδιο 3 :**  
**Αναγέννηση** της  
 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης,  
 για να ξαναχρησιμοποιηθεί στον κύκλο

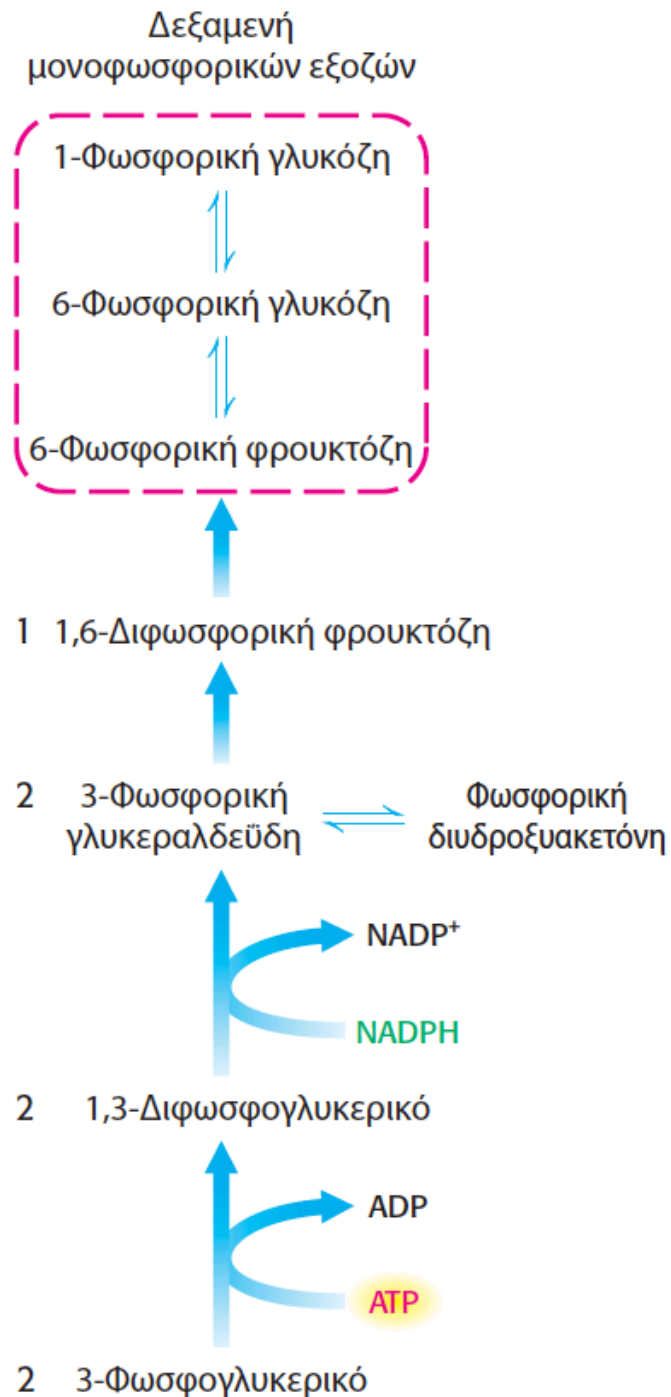
**Στάδιο 1 :**  
**Αφομοίωση του CO<sub>2</sub>**  
 από την 1,5-διφωσφορική ριβουλόζη  
 και **σχηματισμός**  
**(3-φωσφογλυκερικού) x 2**

**Καταλύεται από**  
**RuBP**

**Στάδιο 2 :**  
 Αναγωγή του 3-  
 φωσφογλυκερικού προς  
 GAP και **δημιουργία**  
**εξοζών** στη συνέχεια.





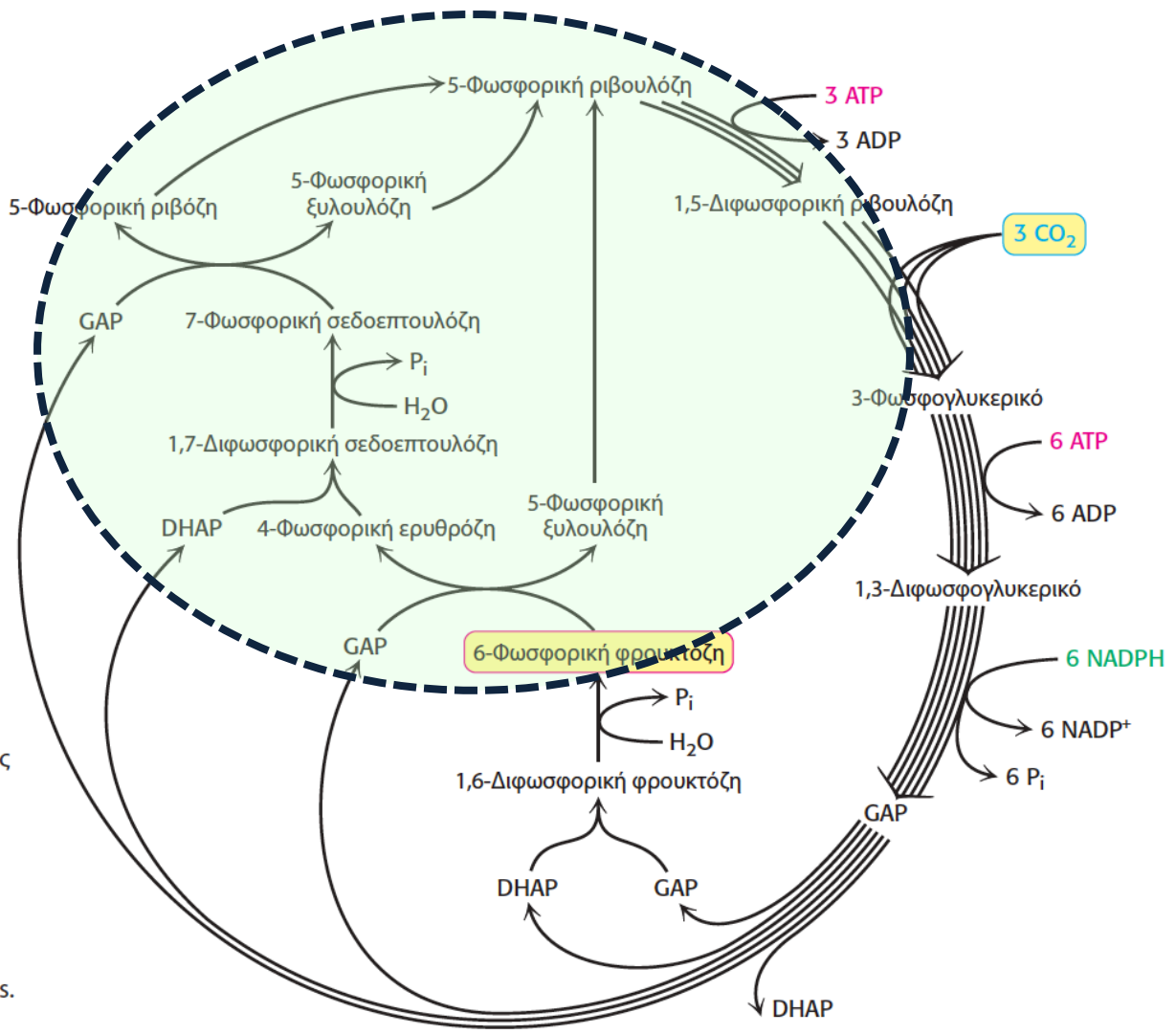


**Στάδιο 2 :**  
Αναγωγή του 3-  
φωσφογλυκερικού προς  
GAP και **δημιουργία**  
**εξοζών** στη συνέχεια  
(πορεία αντίστοιχη της  
γλυκονεογένεσης)

**Εικόνα 20.8 Σχηματισμός της φωσφορικής εξόζης.** Το 3-φωσφογλυκερικό μετατρέπεται σε 6-φωσφορική φρουκτόζη σε μια πορεία παράλληλη με εκείνη της γλυκονεογένεσης.

## Στάδιο 3 : Αναγέννηση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης

**Αντιστροφή  
Αντιδράσεων  
φάσης II  
Οδού PP**



**Εικόνα 20.11 Ο κύκλος του Calvin.**  
 Το διάγραμμα δείχνει τις αναγκαίες αντιδράσεις με τη σωστή στοιχειομετρία για να μετατραπούν τρία μόρια CO<sub>2</sub> σε ένα μόριο φωσφορικής διυδροξυακετόνης (DHAP). Ο κύκλος δεν είναι τόσο απλός όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 20.1· μάλλον απαιτούνται πολλές αντιδράσεις που εν τέλει οδηγούν στη σύνθεση σακχάρων και στην αναγέννηση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης. [Κατά J. R. Bowyer and R. C. Leegood. "Photosynthesis", στο *Plant Biochemistry*, P. M. Dey and J. B. Harbone, Eds. (Academic Press, 1997), p. 85.]

Στάδιο 2: 3 CO<sub>2</sub> δίνουν 1 μόριο GAP, η οποία μετατρέπεται σε 1,6-P-F

## CALVIN CYCLE

- Καθήλωση **CO<sub>2</sub>**
- Οξείδωση **NADPH**
- Σύνθεση **γλυκόζης**

(χλωροπλάστες)

## ΟΔΟΣ PP

- Αποβολή **CO<sub>2</sub>**
- Αναγωγή **NADP<sup>+</sup>**
- Οξείδωση **γλυκοζης**

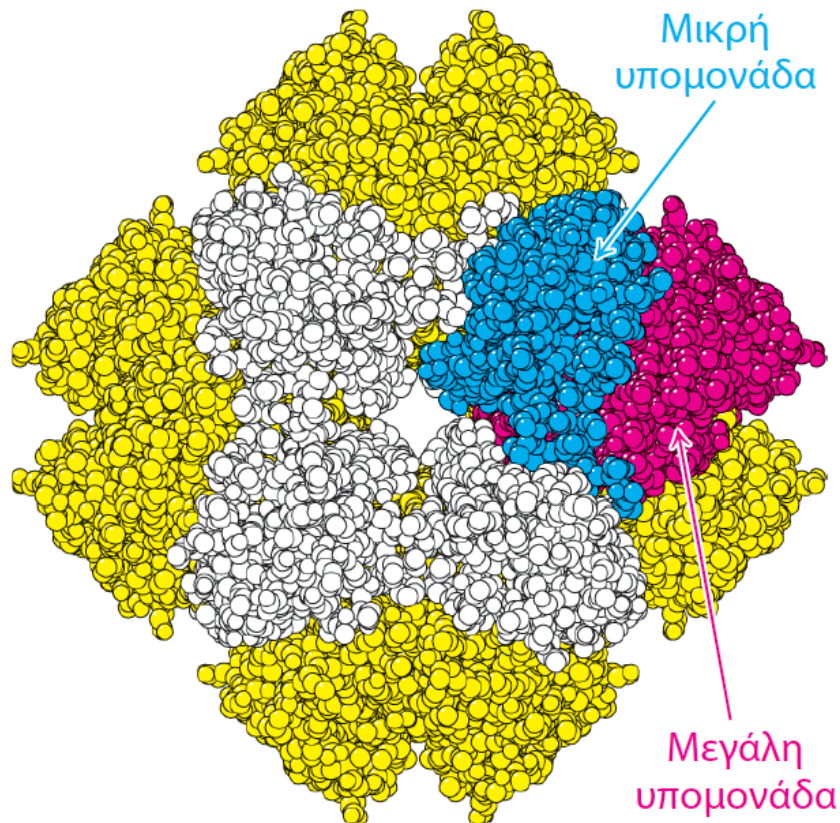
(κυτταρόπλασμα)

## «Το πιο άφθονο και το πιο αργό ένζυμο στη γή»

### RuBP

### Ribulose 1,5-bisphosphate-carboxylase

- Πολύ Αργό ένζυμο (3/sec)
- Άφθονο  
(16% πρωτεΐνης χλωροπλαστών)



#### Εικόνα 20.2 Η δομή της rubisco.

Το ένζυμο καρβοξυλάση/οξυγονάση της 1,5-διφωσφορικής ριβουλόζης (rubisco) απαρτίζεται από οκτώ μεγάλες (L) υπομονάδες (η μία φαίνεται με κόκκινο και οι άλλες με κίτρινο) και οκτώ μικρές (S) υπομονάδες (η μία φαίνεται με μπλε και οι άλλες με άσπρο). Τα ενεργά κέντρα βρίσκονται στις μεγάλες υπομονάδες. [Σχεδιασμένο από 1RXO.pdb.]

## $k_{\text{cat}}$ ή αριθμός ανακύκλωσης ή μετατροπής (turn-over rate)

Αριθμός μορίων που μπορεί να μετατρέψει ένα μόριο ενζύμου στη μονάδα του χρόνου, όταν το ένζυμο είναι πλήρως κορεσμένο σε υπόστρωμα, ( $\text{sec}^{-1}$ ).

**Table 5.4**

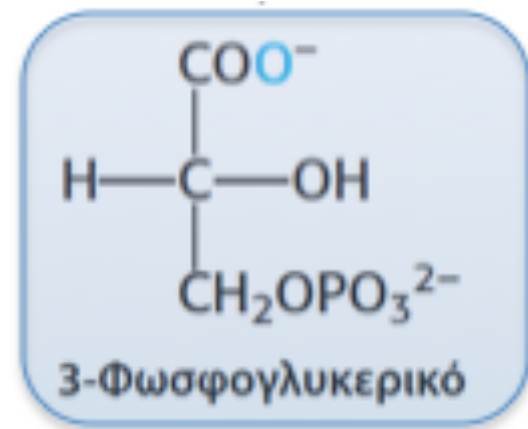
**Turnover numbers,  $k_3$ , for some enzymes**

Enzyme	Substrate	$k_3$ ( $\text{sec}^{-1}$ )
Catalase	$\text{H}_2\text{O}_2$	40,000,000
Carbonic anhydrase	$\text{HCO}_3^-$	400,000
Acetylcholinesterase	Acetylcholine	25,000
Penicillinase	Benzylpenicillin	2,000
Lactate dehydrogenase	Lactate	1,000
Chymotrypsin	Glycyltyrosinylglycine	100
DNA polymerase	DNA	15
Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase	Ribulose-1,5-bisphosphate + $\text{CO}_2$	3.3
Ribulose-1,5-bisphosphate oxygenase	Ribulose-1,5-bisphosphate + $\text{O}_2$	2.4

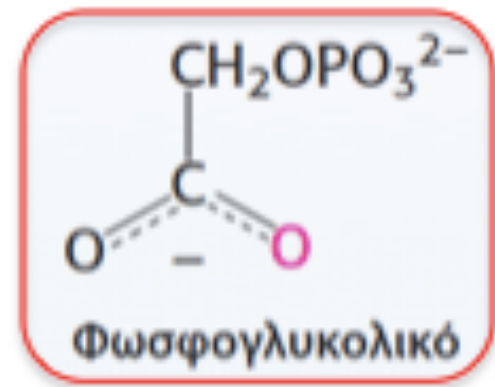
Table 5-4 Concepts in Biochemistry, 3/e  
© 2006 John Wiley & Sons

## Η RuBisCO έχει και μια ανεπιθύμητη δράση οξυγονάσης

Όταν τα επίπεδα  $\text{CO}_2$  χαμηλά,  
η δράση της οξυγενάσης μπορεί και  
υπερτερεί, και το  $\text{O}_2$  αντι του  $\text{CO}_2$   
χρησιμοποιεί ως υπόστρωμα.



Τότε, Σχηματίζεται,  
εκτός του 3-φωσφο-γλυκερικού,  
και **φωσφο-γλυκολικό**, το οποίο  
υδρολύεται σε γλυκολικό



# Περίσωση γλυκολικού - ΦΩΤΟΑΝΑΠΝΟΗ

Το γλυκολικό οξειδώνεται (μέσω γλυοξυλικού) προς  $\text{CO}_2$  (διάσωση γλυκολικού) σε μία σειρά αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα σε χλωροπλάστες και περοξεισωμάτια (ή γλυοξεισωμάτια)

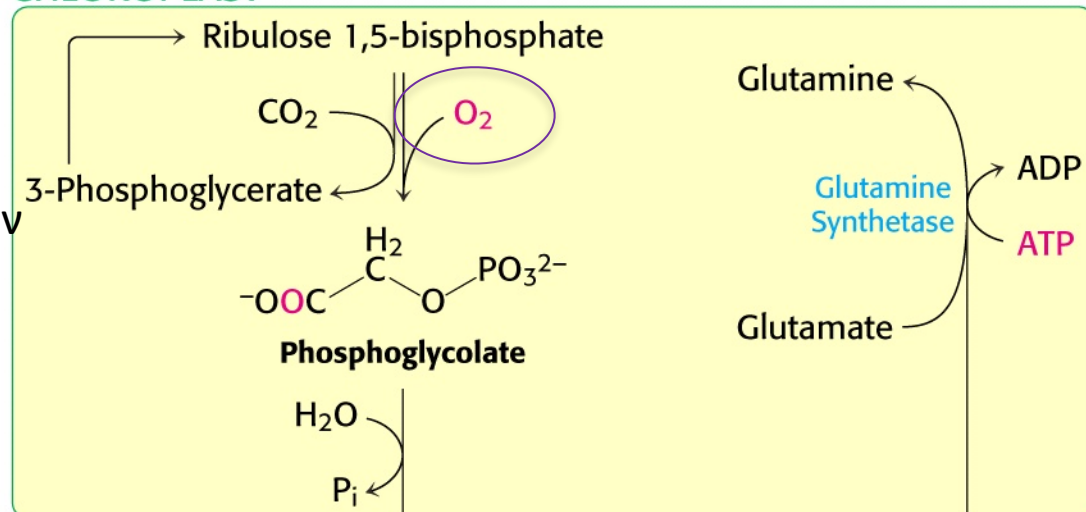
- Αξιοποίηση ατόμων C σε οργανικές ενώσεις, πχ αμινοξέα *Ser, Gly, Qln*

## Φωτο-αναπνοή:

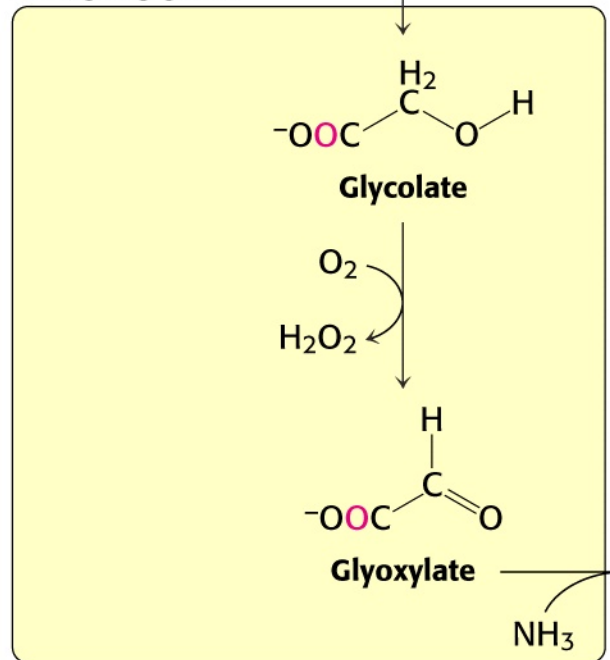
Κατανάλωση  $\text{O}_2$  και μετατροπή C προς  $\text{CO}_2$

**ΧΩΡΙΣ** παραγωγή ATP ή NADPH

## CHLOROPLAST



## PEROXISOME



## MITOCHONDRION

