

# Μάθημα Βιοχημικές Διεργασίες (ENE.2070)

## Ισοζύγια Μάζας & Στοιχειομετρία μεταβολικών αντιδράσεων

---

Δρ. ΑΝΕΣΤΗΣ ΒΛΥΣΙΔΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

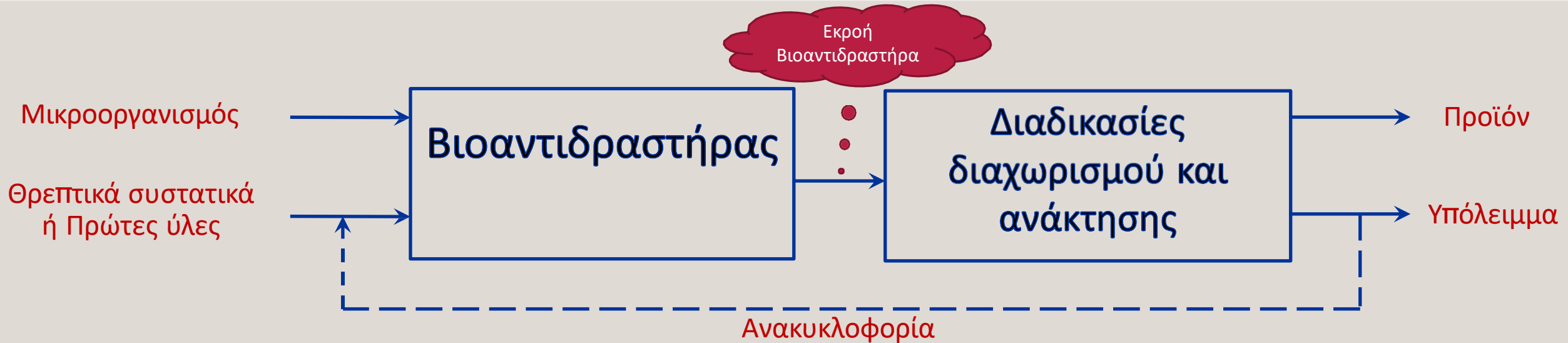
Πανεπιστήμιο Πατρών

---

# Γενική διάταξη στις Βιοχημικές Διεργασίες

# Γενική διάταξη στις Βιοχημικές Διεργασίες

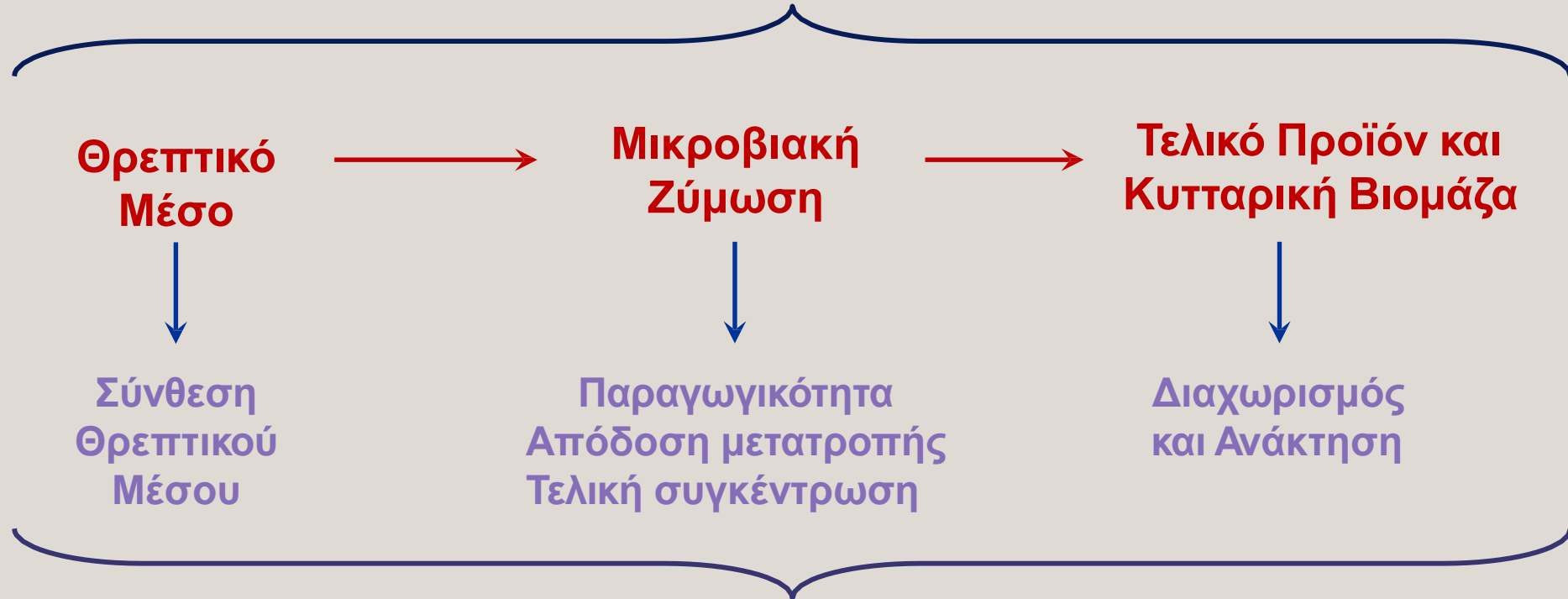
- Απλουστευμένο διάγραμμα ροής μίας τυπικής βιοχημικής διεργασίας



- Πριν την διεργασία της ζύμωσης (βιοαντιδραστήρας) πρέπει να γίνουν και διάφορες άλλες απαραίτητες διεργασίες όπως η καλλιέργεια του μικροοργανισμού και η παραγωγή του θρεπτικού μέσου ( περιλαμβάνεται και η αποστείρωση).
- Άλλα σημαντικά στοιχεία μίας ζύμωσης είναι η παροχή οξυγόνου, η ρύθμιση του pH, η ανάγκη για νερό ψύξης κατά τη διάρκεια της ζύμωσης.
- Ο σχεδιασμός μιας βιοχημικής διεργασίας απαιτεί την ανάπτυξη κάποιου μαθηματικού μοντέλου που να περιγράφει επαρκώς την διεργασία.

# Γενική διάταξη στις Βιοχημικές Διεργασίες (συνεχ')

## Αποτελεσματικότητα μίας Βιοδιεργασίας



## Οικονομική Βιωσιμότητα Βιοδιεργασίας

Ο στόχος στη σύνθεση θρεπτικών μέσων είναι να αναμειγνύονται συστατικά πλούσια σε ορισμένα θρεπτικά συστατικά και ανεπαρκή σε άλλα, με υλικά που διαθέτουν άλλο προφίλ για την επίτευξη της κατάλληλης χημικής ισορροπίας στο χαμηλότερο κόστος επιτρέποντας την εύκολη μετατροπή.

---

# Σύνθεση θρεπτικού μέσου

# Σύνθεση θρεπτικού μέσου

---

- Ο στόχος στη σύνθεση θρεπτικών μέσων είναι να αναμειγνύονται συστατικά πλούσια σε ορισμένα θρεπτικά συστατικά με υλικά που διαθέτουν άλλα χαρακτηριστικά για την επίτευξη ενός προφίλ που θα δίνει:
  - Κατάλληλη χημική ισορροπία (C:N:P)
  - Χαμηλό κόστος θρεπτικού και
  - Ομαλή (εύκολη) πραγματοποίηση της βιοδιεργασίας.
- Η πιο χρήσιμη και σχετικά απλή πρωταρχική ταξινόμηση των διατροφικών κατηγοριών είναι αυτή που λαμβάνει υπόψη τις παραμέτρους:
  - Τη φύση της πηγής ενέργειας και τη φύση της κύριας πηγής άνθρακα, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι απαιτήσεις για συγκεκριμένους αυξητικούς παράγοντες.
  - Οι φωτο- και χημειο- χρησιμοποιούν πηγές φωτός και χημικής ενέργειας, αντίστοιχα.
  - Οι αυτότροφοι και οι ετερότροφοι

# Προαπαιτούμενα για τη διαμόρφωση των Θρεπτικών μέσων

---

- Μεγιστοποίηση της απόδοσης μετατροπής της πηγής άνθρακα σε προϊόν ή βιομάζα
- Μεγιστοποίηση συγκέντρωσης προϊόντος ή βιομάζας
- Μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας
- Ελαχιστοποίηση του σχηματισμού ανεπιθύμητων παράπλευρων προϊόντων
- Σταθερή ποιότητα και διαθεσιμότητα καθ 'όλη τη διάρκεια του έτους
- Χαμηλό κόστος προ-επεξεργασίας
- Ελαχιστοποίηση προβλημάτων κατά την αποστείρωση, βιομετατροπή και καθαρισμό προϊόντων

# Βελτιστοποίηση του θρεπτικού μέσου βάση της στοιχειομετρίας της βιοαντίδρασης

---

Πηγή άνθρακα (πηγή ενέργειας) + πηγή αζώτου +  $O_2$  +  
άλλες θρεπτικές ανάγκες (P,K,S,Cl,Na,Mg) →

→ Βιομάζα + Προϊόντα +  $CO_2$  +  $H_2O$  + θερμότητα



---

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών Αντιδράσεων

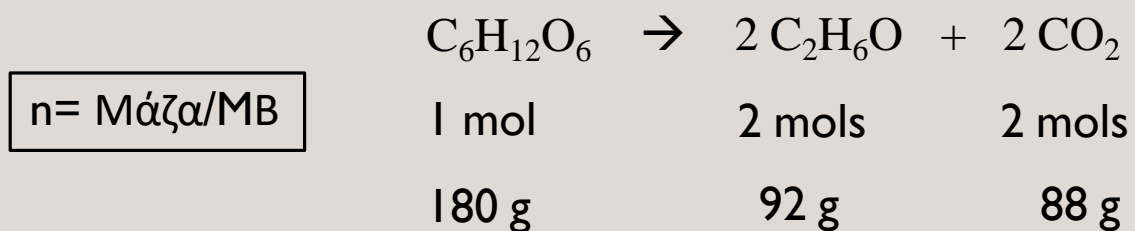
# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων

---

- Σε χημικές ή βιοχημικές αντιδράσεις, τα άτομα και τα μόρια αναδιατάσσονται για να σχηματίσουν νέες ομάδες.
- Οι **σχέσεις μάζας και γραμμομορίων** μεταξύ των αντιδρώντων που καταναλώνονται και των προϊόντων που σχηματίζονται μπορούν να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας **στοιχειομετρικούς υπολογισμούς**.
- Αυτή η πληροφορία συνάγεται από **σωστά γραμμένες εξισώσεις αντίδρασης** και σχετικά ατομικά βάρη.
- Αν και το κύτταρο είναι σύνθετο, η στοιχειομετρία της μετατροπής των υποστρωμάτων σε προϊόντα και κυτταρικά υλικά συχνά παρουσιάζεται **με μορφή απλής ψευδοχημικής εξίσωσης** η οποία αντιπροσωπεύει μία **μακροσκοπική** προσέγγιση του μεταβολισμού.
- Παρά την απλότητά της, η μακροσκοπική προσέγγιση παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για **θερμοδυναμική ανάλυση**.
- Η απροσδιοριστία των στοιχειομετρικών συντελεστών της "αντίδρασης" μικροβιακής ανάπτυξης πηγάζει από το ότι πρόκειται για μία συνολική αντίδραση που προκύπτει από άθροιση πολλών επί μέρους αντιδράσεων, των οποίων οι **ρυθμοί εξαρτώνται από τις επικρατούσες συνθήκες**.

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων

- Παράδειγμα: κύρια αντίδραση στην αλκοολική ζύμωση όπου η γλυκόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα:



Έχουμε διατήρηση των παρακάτω ποσοτήτων:

(i) Της **Συνολικής Μάζας** δλδ η συνολική μάζα των αντιδρώντων = η συνολική μάζα των προϊόντων και

(ii) Αριθμός ατόμων κάθε στοιχείου, π.χ. ο αριθμός των ατόμων C, H και O στα αντιδρώντα = τον αριθμό των ατόμων C, H και O, αντίστοιχα, στα προϊόντα.

Σημειώστε ότι δεν υπάρχει αντίστοιχος νόμος διατήρησης των moles.

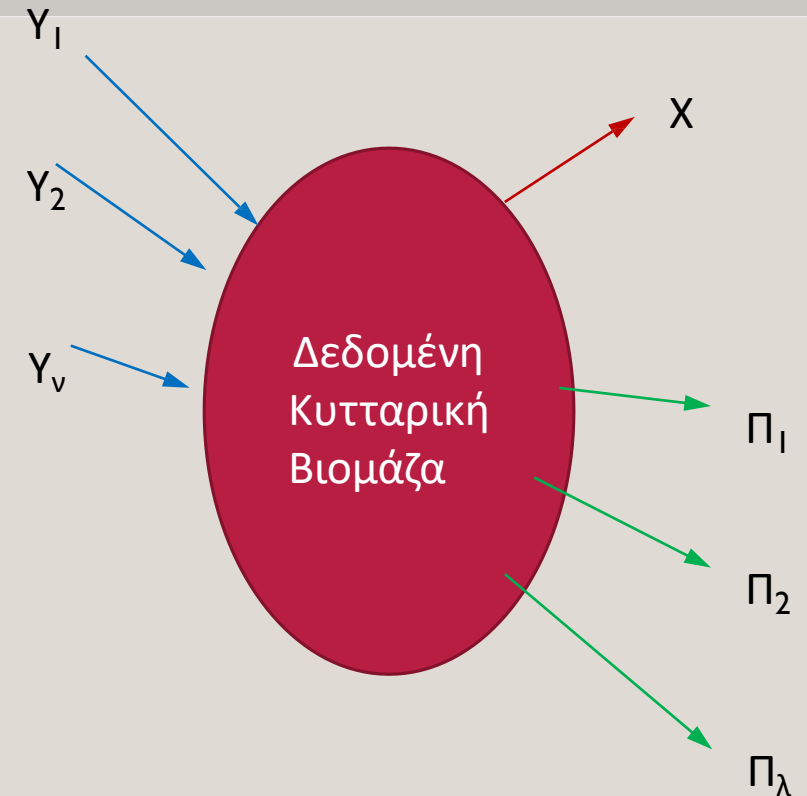
# Ισοζύγια Μάζας

---

- Τα ισοζύγια μάζας παρέχουν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στην ανάλυση της μηχανικής.
- Πολλές περίπλοκες καταστάσεις απλοποιούνται κοιτάζοντας την κίνηση της μάζας και την εξίσωση που σχετίζει το τι βγαίνει σε συνάρτηση με αυτό που μπαίνει.
- Ερωτήσεις που μπορούν να απαντηθούν με τα Ισοζύγια Μάζας:
- Ποια είναι η παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια της ζύμωσης;
- Ποιο κλάσμα του υποστρώματος που καταναλώνεται δεν μετατρέπεται σε προϊόντα;
- Πόσο αντιδρών απαιτείται για την παραγωγή  $x$  γραμμαρίων προϊόντος;
- Πόσο οξυγόνο πρέπει να παρέχεται για να προχωρήσει αυτή η ζύμωση;

# Η Μικροβιακή Ανάπτυξη ως Αντίδραση

- Ένα πλήθος Υποστρωμάτων ( $Y_1, Y_2, \dots, Y_v$ )
- Χρησιμοποιείται από την Δεδομένη Κυτταρική Βιομάζα
- Για παραγωγή ενός πλήθους Μεταβολικών προϊόντων (εξωκυτταρικών) ( $\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_\lambda$ )
- Και για την παραγωγή πρόσθετης κυτταρικής βιομάζας  $X$



## Εμπειρικοί χημικοί τύποι διαφόρων μικροοργανισμών

Μικροοργανισμοί	Στοιχειακός τύπος
<i>Escherichia coli</i>	$CH_{1.77}O_{0.49}N_{0.24}$
<i>Klebsiella aerogenes</i>	$CH_{1.75}O_{0.43}N_{0.22}$
<i>K. aerogenes</i>	$CH_{1.73}O_{0.43}N_{0.24}$
<i>K. aerogenes</i>	$CH_{1.75}O_{0.47}N_{0.17}$
<i>Aerobacter aerogenes</i>	$CH_{1.83}O_{0.55}N_{0.25}$
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	$CH_{1.64}O_{0.52}N_{0.16}$
<i>S. cerevisiae</i>	$CH_{1.83}O_{0.56}N_{0.17}$
<i>S. cerevisiae</i>	$CH_{1.81}O_{0.51}N_{0.17}$
<i>Candida utilis</i>	$CH_{1.83}O_{0.54}N_{0.1}$
<i>C. utilis</i>	$CH_{1.87}O_{0.56}N_{0.2}$
<b>Μέσος τύπος</b>	<b><math>CH_{1.79}O_{0.5}N_{0.2}</math></b>

$$MB_{\text{average}} = 24.6$$

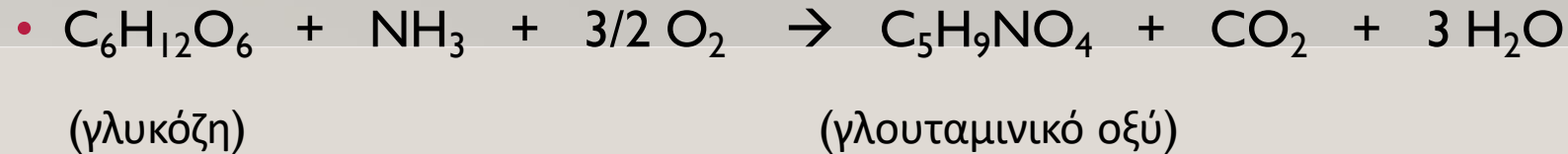
Ο εμπειρικός τύπος για την κυτταρική βιομάζα δεν είναι σταθερός (δλδ η αναλογία C, H, O και N), αλλά η ακριβής σύσταση θα εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης (γι' αυτό και βλέπουμε και άλλη σύσταση για τον ίδιο μικροοργανισμό).

# Δεδομένα στοιχειακής σύστασης διαφόρων κατηγοριών μικροοργανισμών

<i>Στοιχείο</i>	<i>Βακτήρια</i>	<i>Ζύμες</i>	<i>Μούχλες</i>
Carbon	50-53	45-50	40-63
Hydrogen	7	7	-
Nitrogen	12-15	7.5-11	7-10
Phosphorus	2-3	0.8-2.6	0.4-4.5
Sulphur	0.2-1	0.01-0.24	0.1-0.5
Potassium	1-4.5	1-4	0.2-2.5
Sodium	0.5-1	0.01-0.1	0.02-0.5
Calcium	0.01-1.1	0.1-0.3	0.1-1.4
Magnesium	0.1-0.5	0.1-0.5	0.1-0.5
Chloride	0.5	-	-
Iron	0.02-0.2	0.01-0.5	0.1-0.2

Bacteria tend to have slightly higher nitrogen contents (12 - 15%) than fungi (7 - 11%).

# Παράδειγμα: Στοιχειομετρική σύνθεση αμινοξέων



Πόσο οξυγόνο σε γραμμάρια θα πρέπει να εισάγουμε για παραγωγή 15 γ γλουταμινικού οξέος.

MB O<sub>2</sub>:32

MB Γλουταμινικού Οξέος: 147

$$n = \text{Μάζα} / \text{MB}$$

Εδώ γνωρίζω τους στοιχειομετρικούς συντελεστές.

Βήμα πρώτο: Μετατρέπω τα g γλουταμινικού οξέος σε mol.

Βήμα δεύτερο: Υπολογίσω πόσα mol οξυγόνου χρειάζονται τα mol του Γλ.Οξ. με τους Στοιχ.Συντελεστές

Βήμα τρίτο: Μετατρέπω τα mol οξυγόνου σε γραμμάρια.

$$(15 \text{ g glutamic acid} / 147 \text{ g/mol}) * (3/2 \text{ mol O}_2 / 1 \text{ mol glutamic acid}) * 32 \text{ g/mol} = 4.9 \text{ g O}_2$$



# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων

---

- Μέχρι στιγμής είδαμε ότι όλα τα αντιδρώντα μετατρέπονται στα προϊόντα που προσδιορίζονται στην εξίσωση, και ότι η αντίδραση λαμβάνει χώρα μέχρι τέλους.
- Αυτό συχνά δεν ισχύει στις βιομηχανικές αντιδράσεις (είτε χημικές είτε βιοχημικές)
  - Δλδ τα αντιδραστήρια συνήθως δεν παρέχονται στις ακριβείς αναλογίες που υποδεικνύονται από την εξίσωση της αντίδρασης.
  - Για να κατευθύνουμε την αντίδραση προς όφελός μας ή
  - Γιατί σε πολύπλοκα συστήματα η στοιχειομετρία μπορεί να μην είναι γνωστή με ακρίβεια.
- Μπορεί να παρέχονται ποσότητες σε περίσσεια σε ορισμένα αντιδρώντα. Αυτή η περίσσεια αντιδρώντων δεν παίρνει μέρος στην αντίδραση και έτσι καταλήγει στην εκροή του βιοαντιδραστήρα μόλις η αντίδραση σταματήσει.
- Επιπλέον, τα αντιδρώντα καταναλώνονται σε παράπλευρες αντιδράσεις για την παραγωγή προϊόντων που δεν περιγράφονται από την κύρια εξίσωση της αντίδρασης.
- Και αυτά τα παρά-προϊόντα αποτελούν μέρος του τελικό μείγματος της ζύμωσης.

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων

---

- Έτσι σε ένα **υπόστρωμα** θεωρούμε το **περιοριστικό θρεπτικό συστατικό**, το οποίο ορίζεται ως το συστατικό που θα εκλείψει πρώτο αν η αντίδραση προχωρήσει μέχρι τέλους.
- Ένα **αντιδρών σε περίσσεια** είναι ένα αντιδρών που υπάρχει σε μια ποσότητα μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να συνδυαστεί με όλα τα περιοριστικά αντιδρώντα.
- Συνεπάγεται ότι το αντιδρών σε περίσσεια **παραμένει στο μείγμα της αντίδρασης** μόλις το περιοριστικά αντιδρώντα καταναλώνονται.
- Το ποσοστό περίσσειας υπολογίζεται ως η ποσότητα περίσσειας του αντιδρώντος σε σχέση με την απαιτούμενη ποσότητα για πλήρη κατανάλωση του περιοριστικού αντιδρώντος:

$$\% \text{ περίσσεια} = \frac{(\text{Διαθέσιμα moles (ή η μάζα)} - \text{Τα moles (ή τη μάζα) για πλήρη αντίδραση με το περιοριστικό θρεπτικό μέσο})}{\text{Τα moles (ή τη μάζα) που χρειάζονται για πλήρη αντίδραση με το περιοριστικό θρεπτικό μέσο}} * 100$$

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων (συνεχ.)

---

- Άλλοι όροι που καθορίζουν μία αντίδραση είναι:
- **Μετατροπή** είναι το κλάσμα ή το ποσοστό ενός αντιδρώντος που έχει μετατραπεί σε προϊόντα.
- **Ο βαθμός ολοκλήρωσης** είναι συνήθως το κλάσμα ή το ποσοστό του περιοριστικού αντιδραστηρίου που μετατρέπεται σε προϊόντα.
- **Επιλεκτικότητα** είναι το ποσό ενός συγκεκριμένου προϊόντος που σχηματίζεται ως κλάσμα του ποσού που θα είχε σχηματιστεί εάν όλο το υλικό τροφοδοσίας είχε μετατραπεί σε αυτό το προϊόν.
- **Απόδοση** είναι η αναλογία μάζας ή moles προϊόντος που σχηματίζεται προς τη μάζα ή τα moles του αντιδρώντος που καταναλώθηκε.
  - Εάν περισσότερα από ένα προϊόντα ή αντιδρώντα εμπλέκονται στην αντίδραση, η απόδοση θα πρέπει να αναφέρεται σε συγκεκριμένη ένωση
  - π.χ. η απόδοση γλουταμινικού οξέος από γλυκόζη είναι 0.6 g g<sup>-1</sup>.
  - Εξαιτίας της πολυπλοκότητας του μεταβολισμού και τη συχνή εμφάνιση παράπλευρων αντιδράσεων, **η απόδοση είναι ένας πολύ σημαντικός όρος στις βιοχημικές διεργασίες.**

# Παράδειγμα: Ημιτελής αντίδραση και απόδοση

---

- Ανάλογα με τις συνθήκες καλλιέργειας, η γλυκόζη μπορεί να καταβολίζεται από ένα στέλεχος ζύμης για να παράγει αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα ή μπορεί να χρησιμοποιεί άλλες βιοσυνθετικές αντιδράσεις. Ένα εμβόλιο ζύμης προστίθεται σε διάλυμα που περιέχει 10 g γλυκόζης. Στο τέλος της αντίδρασης, έχει παραμείνει στο διάλυμα 1 g γλυκόζης ενώ η αιθανόλη προσδιορίστηκε σε 3,2 g. Προσδιορίστε:
  - α) την **κλασματική μετατροπή** της γλυκόζης σε αιθανόλη.
  - β) την **απόδοση** αιθανόλης από γλυκόζη.

$$n = \text{Μάζα} / \text{ΜΒ}$$

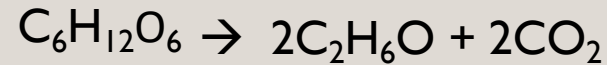


# Λύση Άσκησης

Ένα εμβόλιο ζύμης προστίθεται σε διάλυμα που περιέχει 10 g γλυκόζης. Στο τέλος της αντίδρασης, έχει παραμείνει στο διάλυμα 1 g γλυκόζης ενώ η αιθανόλη προσιδορίστηκε σε 3,2 g.

ΜΒαιθ.=46,07

ΜΒ γλυκ =180,156 g/mol



$$n = \text{Μάζα} / \text{ΜΒ}$$

- Πρώτο βήμα: Υπολογίζω τα moles αιθανόλης που παράγονται 0,07 mol αιθανόλης
- Δεύτερο βήμα: Από την στοιχειομετρία της αντίδρασης βλέπω ότι το ένα mol αιθανόλης χρειάζεται 0,5 moles γλυκόζης.
  - Οπότε και υπολογίζω τα moles της γλυκόζης τα οποία μπορώ να τα μετατρέψω σε g
- Η γλυκόζη που καταναλώθηκε για παραγωγή αιθανόλης είναι ίση με 6,3 g
  - α) η ολική **κλασματική μετατροπή** της γλυκόζης σε αιθανόλη =  $6,3/10 = 0,63 \text{ g/g}$   
ή μετατροπή της γλυκόζης που καταναλώθηκε σε αιθανόλη =  $6,3/(10-1) = 6,3/9 = 0,70 \text{ g/g}$
  - β) η **απόδοση** αιθανόλης από γλυκόζη =  $3,2/9 = 0,36 \text{ g/g}$
- **Μετατροπή** είναι το κλάσμα ή το ποσοστό ενός αντιδρώντος που έχει μετατραπεί σε προϊόντα.
- **Απόδοση** είναι η αναλογία μάζας ή moles προϊόντος που σχηματίζεται προς τη μάζα ή τα moles του αντιδρώντος που καταναλώθηκε.

---

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών Αντιδράσεων Ισοζύγια ηλεκτρονίων

# Στοιχειομετρία Βιοχημικών αντιδράσεων

## Ισοζύγια ηλεκτρονίων – Βαθμός αναγωγής

---

- Σε πολύπλοκες αντιδράσεις υφίσταται ένας επιπλέον στοιχειομετρικός συντελεστής.
  - Γεγονός που απαιτεί περισσότερες πληροφορίες.
- Τα ισοζύγια των στοιχείων δεν παρέχουν ενεργειακές πληροφορίες σχετικές με την αντίδραση.
- Κατά συνέπεια, εισάγεται ο όρος **βαθμός αναγωγής**.
- Χρησιμοποιείται για την κατάστρωση ισοζυγίων ηλεκτρονίων στις βιοαντιδράσεις.
- **Ορισμός του Βαθμού αναγωγής ( $\gamma$ )**
  - Ο βαθμός αναγωγής ( $\gamma$ ) για οργανικές ουσίες ορίζεται ως ο **αριθμός ισοδύναμων διαθέσιμων ηλεκτρονίων ανά γραμμοάτομο C**.
  - Διαθέσιμα ηλεκτρόνια είναι αυτά τα οποία μεταφέρονται στο οξυγόνο κατά την οξείδωση μίας χημικής ένωσης προς  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και  $\text{NH}_3$ .
- Το ισοζύγιο του βαθμού αναγωγής λέει ότι το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των αντιδρώντων σε μία αντίδραση είναι ίσο με το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των προϊόντων.

# Βαθμοί Αναγωγής βασικών στοιχείων και ενώσεων

## Βαθμοί αναγωγής στοιχείων

$$C = 4$$

$$H = 1$$

$$N = -3$$

$$O = -2$$

$$P = 5$$

$$S = 6$$

Ο βαθμός αναγωγής  
οποιαδήποτε στοιχείου σε  
χημικής ένωση είναι ίσος με  
το σθένος του συγκεκριμένου  
στοιχείου.

## Βαθμοί αναγωγής Ενώσεων

Μεθάνιο ( $CH_4$ ):

$$1(4) + 4(1) = 8, \gamma = 8/1 = 8$$

Γλυκόζη ( $C_6H_{12}O_6$ ):

$$6(4) + 12(1) + 6(-2) = 24, \gamma = 24/6 = 4$$

Αιθανόλη ( $C_2H_5OH$ ):

$$2(4) + 6(1) + 1(-2) = 12, \gamma = 12/2 = 6$$

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής του  $CO_2, H_2O, NH_3$ ;

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής της βιομάζας;

( $CH_{1.64}N_{0.16}O_{0.52}$ );

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής της γλυκερόλης;

( $C_3H_8O_3$ )

Υψηλός βαθμός αναγωγής σημαίνει χαμηλός βαθμός οξείδωσης.



---

# Άσκηση : Στοιχειακά ισοζύγια και ισοζύγιο ηλεκτρονίων

# Ασκηση : Στοιχειακά ισοζύγια και ισοζύγιο ηλεκτρονίων

- Το βακτήριο *Clostridium acetobutylicum* χρησιμοποιείται σε μία αναερόβια ζύμωση και μετατρέπει την γλυκόζη σε ακετόνη, βουτανόλη και μικρότερες συγκεντρώσεις βουτυρικού και οξικού οξέος. Παρακάτω βλέπουμε τα προϊόντα που παράγονται από 100 moles γλυκόζης και 11,2 moles NH<sub>3</sub> που χρησιμοποιείται ως πηγή αζώτου.

Προϊόντα που παράγονται	Moles
Βιομάζα =	13
Βουτανόλη =	56
Ακετόνη =	22
Βουτυρικό οξύ =	0,4
Οξικό οξύ =	14
CO <sub>2</sub> =	221
H <sub>2</sub> =	135
Αιθανόλη =	0,7

A) Να βρείτε την στοιχειακή σύσταση της βιομάζας πραγματοποιώντας τα ισοζύγια για τον άνθρακα, το άζωτο, το υδρογόνο και το οξυγόνο.

B) Να βρείτε εάν το ισοζύγιο των ηλεκτρονίων είναι σε ισορροπία.

# Λύση Άσκησης

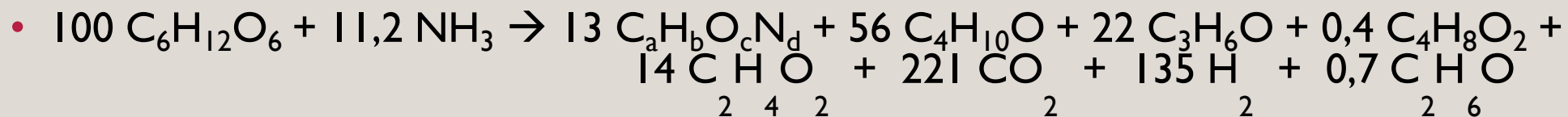
---

- **A) Να βρείτε την στοιχειακή σύσταση της βιομάζας πραγματοποιώντας τα ισοζύγια για τον άνθρακα, το άζωτο, το υδρογόνο και το οξυγόνο.**
- Η γενική μορφή της στοιχειακής σύστασης της βιομάζας (*Clostridium acetobutylicum*) μπορεί να γραφτεί
  - $C_aH_bO_cN_d$
  - Οπότε εμείς ψάχνουμε να βρούμε τα a,b,c και d.
- Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υπολογίσουμε τα στοιχειακά ισοζύγια για τα C,H,O και N.

## Λύση Άσκησης (συνέχ')

- Γράφουμε την αντίδραση με όλα τα αντιδρώντα και προϊόντα που παίρνουν μέρος:

- Επίσης από τον πίνακα έχουμε την αρχική και τελική σύσταση της ζύμωσης



- Ισοζύγιο C

- $100 * 6 = 13a + (56 * 4) + (22 * 3) + (0,4 * 4) + (14 * 2) + (221) + (0,7 * 2)$
- $600 = 13a + 542$
- $a = 4,46$

- Ισοζύγιο H

- $(100 * 12) + (11,2 * 3) = 13b + (56 * 10) + (22 * 6) + (0,4 * 8) + (14 * 4) + (135 * 2) + (0,7 * 6)$
- $b = 16,01$

Προϊόντα που Παράγονται	Moles
Βιομάζα =	13
Βουτανόλη =	56
Ακετόνη =	22
Βουτυρικό οξύ =	0,4
Οξικό οξύ =	14
CO <sub>2</sub> =	221
H <sub>2</sub> =	135
Αιθανόλη =	0,7

## Λύση Άσκησης (συνέχ')

---

- $100 \text{ C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 11,2 \text{ NH}_3 \rightarrow 13 \text{ C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d + 56 \text{ C}_4\text{H}_{10}\text{O} + 22 \text{ C}_3\text{H}_6\text{O} + 0,4 \text{ C}_4\text{H}_8\text{O}_2 + 14 \text{ C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + 221 \text{ CO}_2 + 135 \text{ H}_2 + 0,7 \text{ C}_2\text{H}_6\text{O}$
- Ισοζύγιο O
  - $100 * 6 = 13c + (56 * 1) + (22 * 1) + (0,4 * 2) + (14 * 2) + (221 * 2) + (0,7 * 1)$
  - $c = 3,88$
- Ισοζύγιο N
  - $(11,2 * 1) = 13d$
  - $d = 0,86$
- Οπότε ο μοριακός τύπος της βιομάζας είναι  $\text{C}_{4,46}\text{H}_{16,01}\text{O}_{3,88}\text{N}_{0,86}$

# Λύση Άσκησης (συνέχ')

B) Να βρείτε εάν το ισοζύγιο των ηλεκτρονίων είναι σε ισορροπία.

## Βαθμοί αναγωγής στοιχείων

$$C = 4$$

$$H = 1$$

$$N = -3$$

$$O = -2$$

$$P = 5$$

$$S = 6$$

Ο βαθμός αναγωγής οποιουδήποτε στοιχείου σε χημικής ένωση είναι ίσος με το σθένος του συγκεκριμένου στοιχείου.

## Βαθμοί αναγωγής Ενώσεων

Μεθάνιο ( $CH_4$ ):

$$1(4) + 4(1) = 8, \gamma = 8/1 = 8$$

Γλυκόζη ( $C_6H_{12}O_6$ ):

$$6(4) + 12(1) + 6(-2) = 24, \gamma = 24/6 = 4$$

Αιθανόλη ( $C_2H_5OH$ ):

$$2(4) + 6(1) + 1(-2) = 12, \gamma = 12/2 = 6$$

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής του  $CO_2, H_2O, NH_3$ ;

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής της βιομάζας;

( $CH_{1.64}N_{0.16}O_{0.52}$ );

Ποιος είναι ο βαθμός αναγωγής της γλυκερόλης;

( $C_3H_8O_3$ )

# Λύση Άσκησης (συνέχ')

Αριθμός διαθέσιμων ηλεκτρονίων για μία ένωση  $C_aH_bO_cN_d = 4a + b - 2c - 3d$

Προϊόντα που παράγονται	Moles
Βιομάζα	= 13
Βουτανόλη	= 56
Ακετόνη	= 22
Βουτυρικό οξύ	= 0,4
Οξικό οξύ	= 14
CO <sub>2</sub>	= 221
H <sub>2</sub>	= 135
Αιθανόλη	= 0,7

Ένωση	Αρ. ηλεκτρ. ανά mol ένωσης	Αρ. ηλεκτρ. ανά 100 mol γλυκόζης
Γλυκόζη C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	24	2400
Αμμωνία NH <sub>3</sub>	0	0
Βιομάζα C <sub>a</sub> H <sub>b</sub> O <sub>c</sub> N <sub>d</sub>	23,51	305,63
Βουτανόλη C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	24	1344
Ακετόνη C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	16	352
Βουτυρικό οξύ C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	20	8
Οξικό οξύ C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	8	112
CO <sub>2</sub>	0	0
H <sub>2</sub>	2	270
Αιθανόλη C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	12	8,4



Συνολικά διαθέσιμα ηλεκτρόνια από τα αντιδρώντα (δλδ την γλυκόζη) = 2400



Συνολικά διαθέσιμα ηλεκτρόνια από τα προϊόντα = 305,63 + 1344 + 352 + 8 + 112 + 270 + 8,4 = 2400,03

Οπότε το Ισοζ. Ηλεκτρ. είναι σε ισορροπία

# Παράδειγμα υπολογισμού στοιχειομετρικών συντελεστών



Οπότε για να βρούμε όλους τους συντελεστές της βιοαντίδρασης παίρνουμε πληροφορίες από πειράματα

1) Respiratory quotient (αναπνευστικό πηλίκο) =  $\frac{\text{moles } CO_2 \text{ produced}}{\text{moles } O_2 \text{ consumed}} = \frac{d}{a}$

Δλδ τα moles  $CO_2$  που παράγονται ανά mol καταναλισκόμενου οξυγόνου.

2) Απόδοση ανάπτυξης (Growth yield) =  $Y_{XS} = \frac{\text{γραμμια κυτταρων που παραγονται}}{\text{γραμμια υποστρώματος που καταναλώνονται}} = \frac{c(MB_{\text{βιομαζας}})}{(MB_{\text{υποστρώματος}})}$

3) Απόδοση προϊόντος (Product yield) =  $Y_{PS} = \frac{\text{γραμμια προϊόντος που παραγονται}}{\text{γραμμια υποστρώματος που καταναλώνονται}} = \frac{f(MB_{\text{προϊόντος}})}{(MB_{\text{υποστρώματος}})}$



# Άσκηση : Ισοζύγια μάζας

---

- Σε μία ζύμωση για παραγωγή της ζύμης *Saccharomyces cerevisiae*, υπολογίστηκε ότι η κατανάλωση 200 g γλυκόζης δίνει 74,6 g κυττάρων ελευθερώνοντας 121 g διοξειδίου του άνθρακα. Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο κατά τη διάρκεια της σύνθεσης των κυττάρων μετρήθηκε σε 67,2 g.
- Να γράψετε τα ισοζύγια μάζας που προκύπτουν και να υπολογίσετε:
- A) την απόδοση της ζύμωσης ως προς την παραγωγή κυττάρων.
- B) την τιμή του RQ (Respiratory quotient).

# Λύση Άσκησης

- Πρώτο Βήμα: Γράφουμε την αντίδραση



- Η ποσότητα του νερού που παράγεται για να ισχύει το ολικό Ισοζύγιο Μάζας είναι:
  - Μάζα αντιδρώντων = Μάζα Προϊόντων”  $200 + 67,2 = 74,6 + 121 + \text{Μάζα νερού}$
  - Μάζα νερού =  $267,2 - 195,6 = 71,6 \text{ g}$
  - $\Delta = 71,6 / 18 = 3,98 \text{ mol H}_2\text{O}$

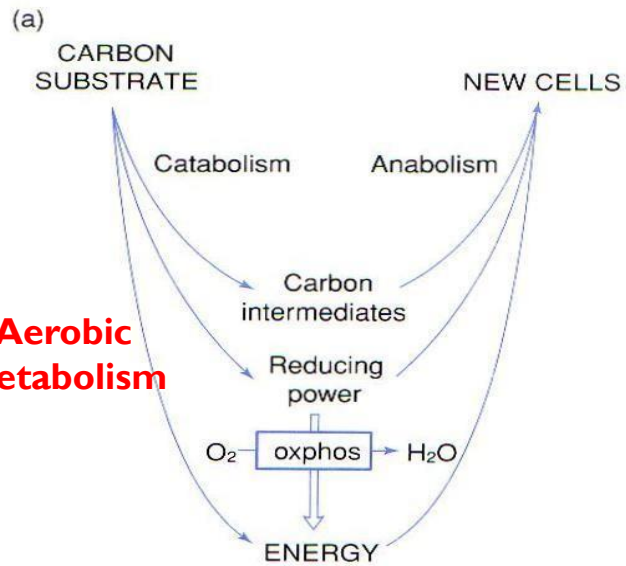
# Λύση Άσκησης (συνέχ')

---

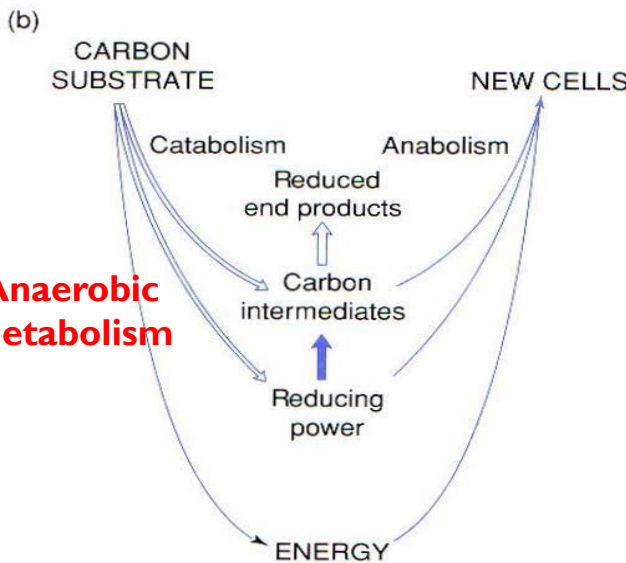
- A) Απόδοση της ζύμωσης ως προς την παραγωγή κυττάρων ( $Y_{x/s}$ ).
  - $Y_{x/s} = 74,6 / 200 = 0,373$  g ζύμης / g γλυκόζης
  
- B) Τιμή του RQ (Respiratory quotient).
  - $RQ = \text{moles CO}_2 \text{ που παράγονται} / \text{moles O}_2 \text{ που καταναλώθηκαν} = 2,75 / 2,1 = 1,3$

# Κύρια μεταβολικά μονοπάτια

**Aerobic  
metabolism**



**Anaerobic  
metabolism**



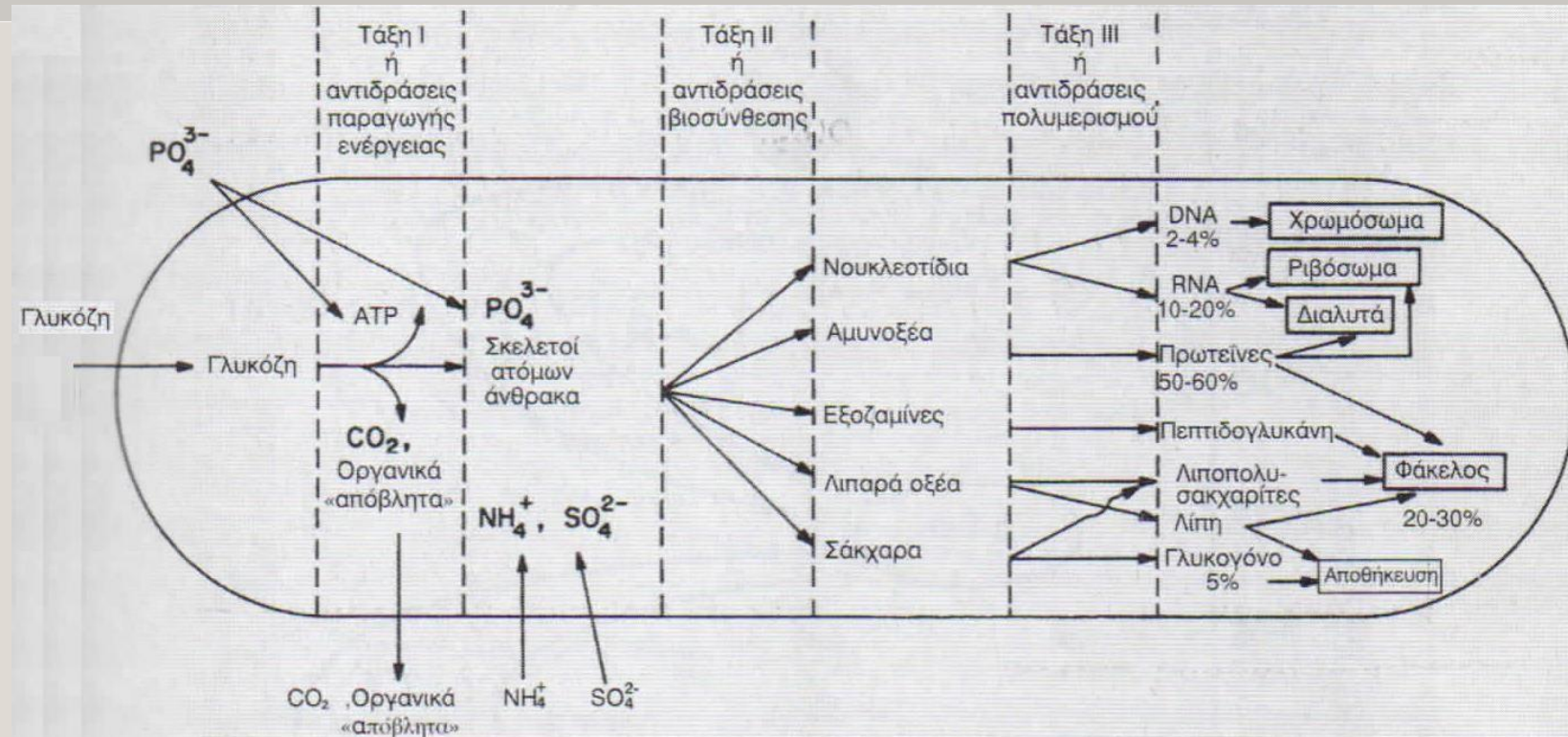
- **Μεταβολισμός = Καταβολισμός + αναβολισμός**

- Τον καταβολισμό δλδ την ενδοκυτταρική διαδικασία κατά την οποία μία ένωση διασπάται σε μικρότερα και απλούστερα μόρια και παράγει ενέργεια για το κύτταρο.
- Τον αναβολισμό δλδ την βιοσύνθεση σύνθετων ενώσεων που χρειάζεται ενέργεια.
- Οι μικροοργανισμοί παίρνουν την απαιτούμενη ενέργεια από αντιδράσεις οξειδοαναγωγής.
- Οι αντιδράσεις αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη ενός δότη και ενός δέκτη ηλεκτρονίων.
- Για τους ετερότροφους μικροοργανισμούς: **δότες είναι οι οργανικές ουσίες.**
  - Είναι σημαντικό να υπολογίσουμε πιο ποσοστό του δότη ηλεκτρονίων θα χρησιμοποιηθεί από το κύτταρο για παραγωγή ενέργειας και πιο ποσοστό για κυτταρική σύνθεση.
- Υπό αερόβιες συνθήκες ο συνήθης **δέκτης ηλεκτρονίων είναι το μοριακό οξυγόνο (O<sub>2</sub>)**
- Υπό αναερόβιες συνθήκες (έλλειψη O<sub>2</sub> και ιόντων) η οργανική ύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δέκτης αλλά και ως δότης ηλεκτρονίων.

# Κύρια μεταβολικά μονοπάτια

Οι μεταβολικές αντιδράσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε 3 σημαντικές κατηγορίες.

- I) Η διάσπαση των θρεπτικών ουσιών
- II) Η βιοσύνθεση μικρών μορίων
- III) Η βιοσύνθεση μεγάλων μορίων
- Αυτές οι αντιδράσεις πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.



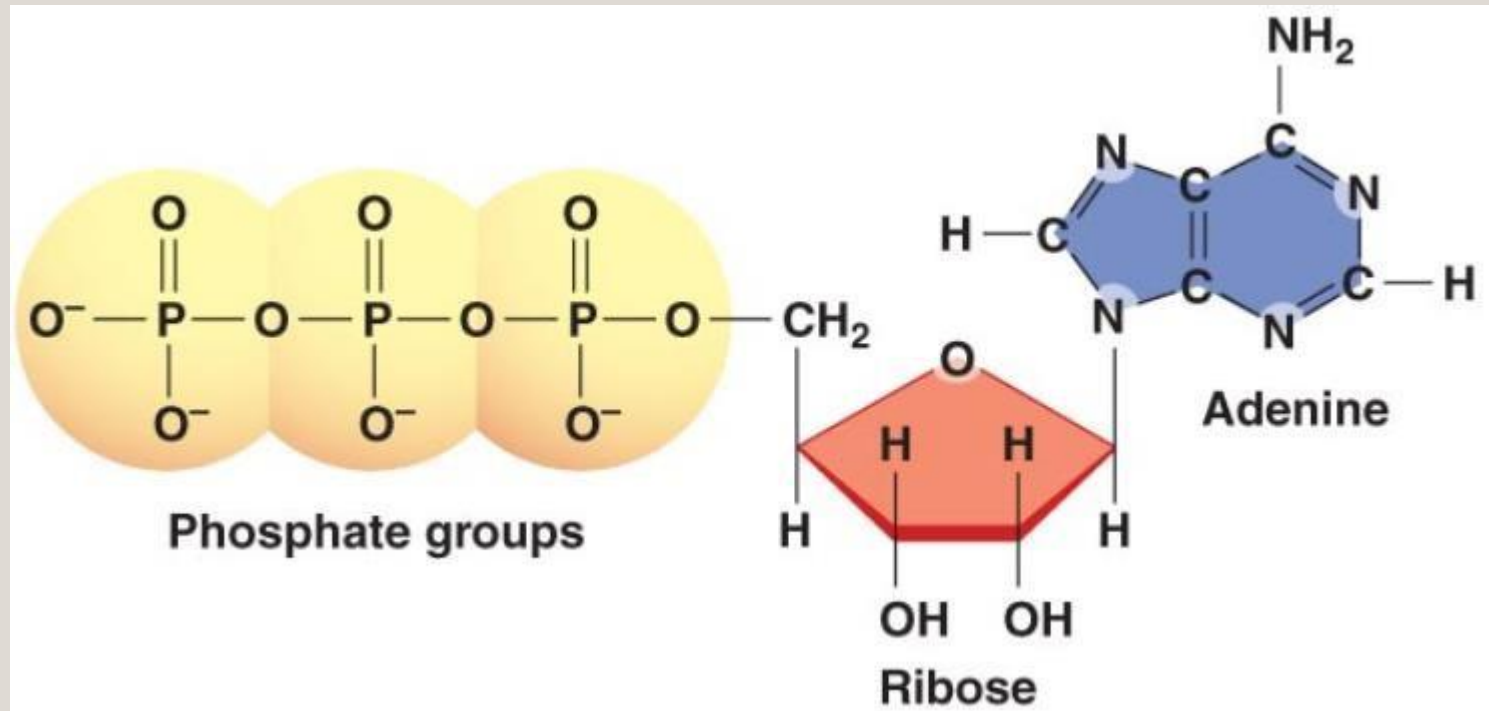
# Κύρια μεταβολικά μονοπάτια

---

- Η ενέργεια στα βιολογικά συστήματα αποθηκεύεται και μεταφέρεται κυρίως μέσω της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP) που περιέχει υψηλής ενέργειας φωσφορικούς δεσμούς
- Η ενεργός μορφή του ATP είναι ενωμένη με  $Mg^{2+}$
- Η σταθερή ενέργεια που παράγεται κατά την υδρόλυση του ATP είναι 7.3 kcal/mol
  - $ATP + H_2O \rightarrow ADP + P_i$  ,  $\Delta G^\circ = -7.3$  kcal/mol
- Αντιστρόφως, βιολογική ενέργεια αποθηκεύεται στο ATP με την αντίστροφη της αντίδρασης αυτής για να παραχθεί ATP από ADP και  $P_i$ .
- Ομοίως το ADP διασπάται για να απελευθερώσει ενέργεια.

# Κύρια μεταβολικά μονοπάτια

- Το μόριο της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP)



Αντίστοιχα τα μόρια της διφωσφορικής αδενοσίνης (ADP) και μονοφωσφορικής αδενοσίνης (AMP) είναι χωρίς τη τελευταία ομάδα φωσφόρου και χωρίς τις τελευταίες 2 ομάδες φωσφόρου, αντίστοιχα.

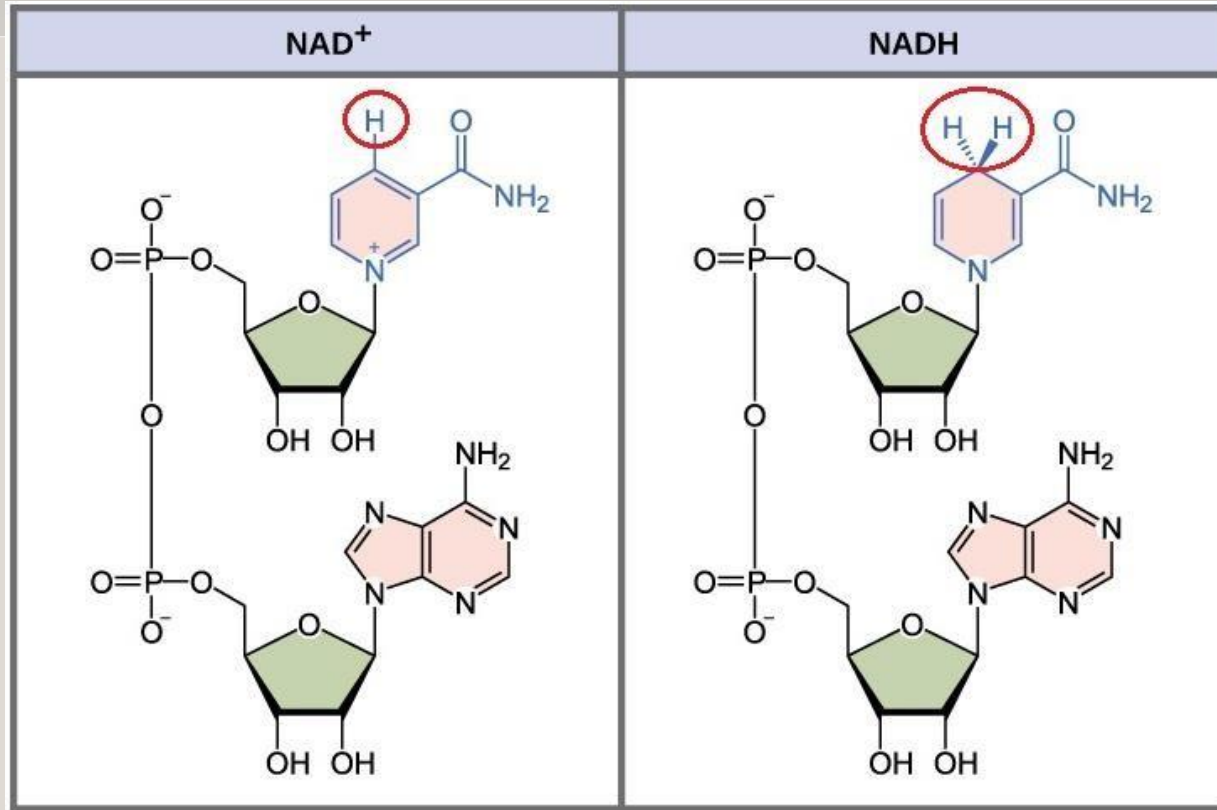
# Παράγωγα Νουκλεοτιδίων

Νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο  
(Nicotinamide adenine dinucleotide)

- Τα άτομα υδρογόνου που απελευθερώνονται κατά τις βιολογικές αντιδράσεις οξείδωσης-αναγωγής μεταφέρονται από παράγωγα νουκλεοτιδίων ( $\text{NAD}^+$  και  $\text{NADP}^+$ )
- Αυτές οι αντιδράσεις οξείδωσης-αναγωγής είναι εύκολα αντιστρεπτές.
- Το  $\text{NADH}$  μπορεί να δώσει ηλεκτρόνια σε ορισμένες ενώσεις και να δεχτεί από άλλες ανάλογα το οξειδοαναγωγικό δυναμικό των ενώσεων αυτών.
- Το  $\text{NADH}$  επιτελεί 2 σημαντικές λειτουργίες στα βιολογικά συστήματα:
  - Αναγωγική ισχύ: Το  $\text{NADH}$  και  $\text{NADPH}$  εφοδιάζουν με υδρογόνο βιοσυνθετικές αντιδράσεις.
  - Σχηματισμός  $\text{ATP}$  στον αναπνευστικό μεταβολισμό: Τα ηλεκτρόνια (ή άτομα  $\text{H}$ ) του  $\text{NADH}$  μεταφέρονται στο οξυγόνο μέσω μιας σειράς ενδιάμεσων ενώσεων. Η ενέργεια που απελευθερώνεται από αυτή τη μεταφορά ηλεκτρονίων οδηγεί στον σχηματισμό μέχρι 3 μορίων  $\text{ATP}$ .



# Παράγωγα Νουκλεοτιδίων

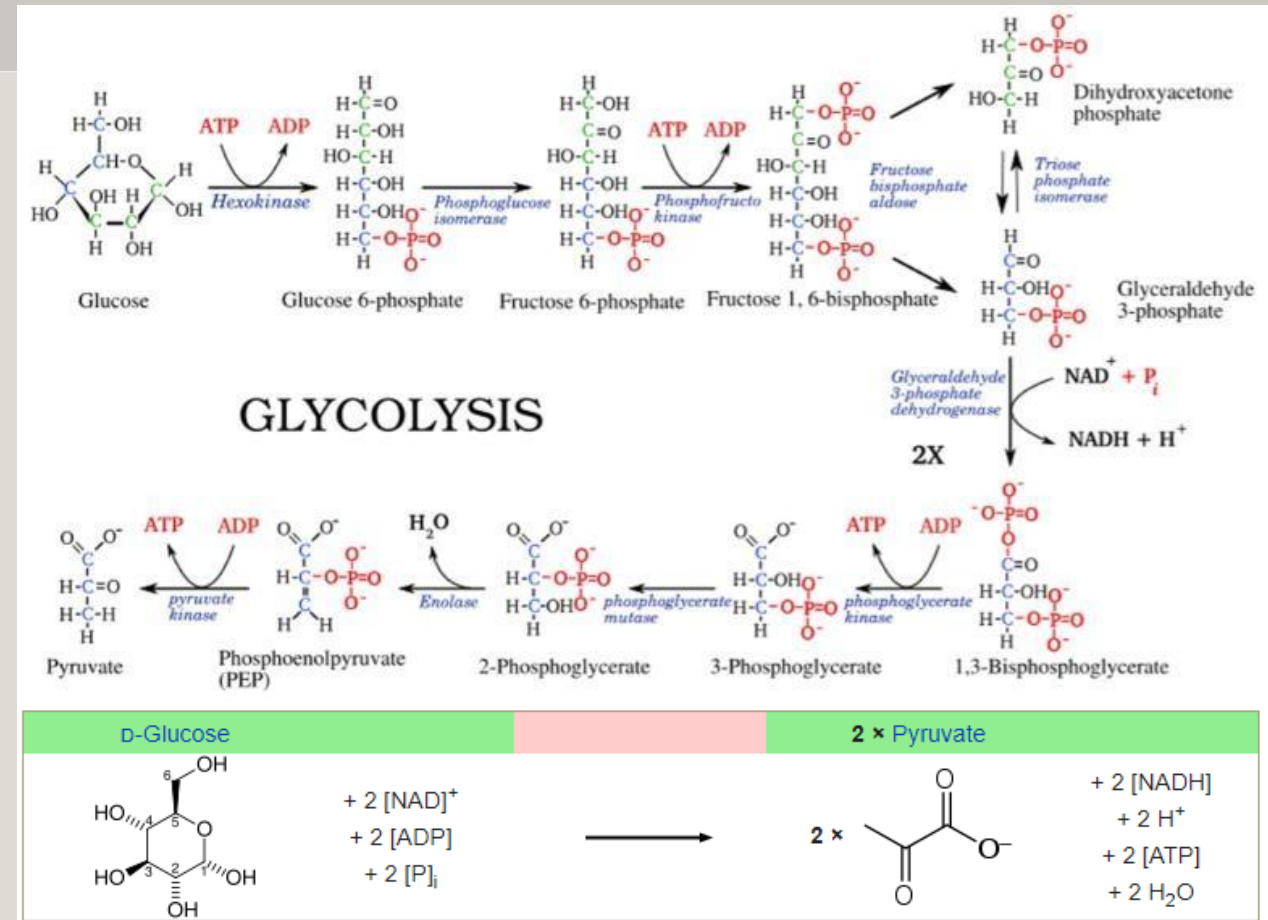


- NAD<sup>+</sup> :Οξειδωμένη μορφή
- NADH :Αναγωγική μορφή

**Νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο  
(Nicotinamide adenine dinucleotide)**

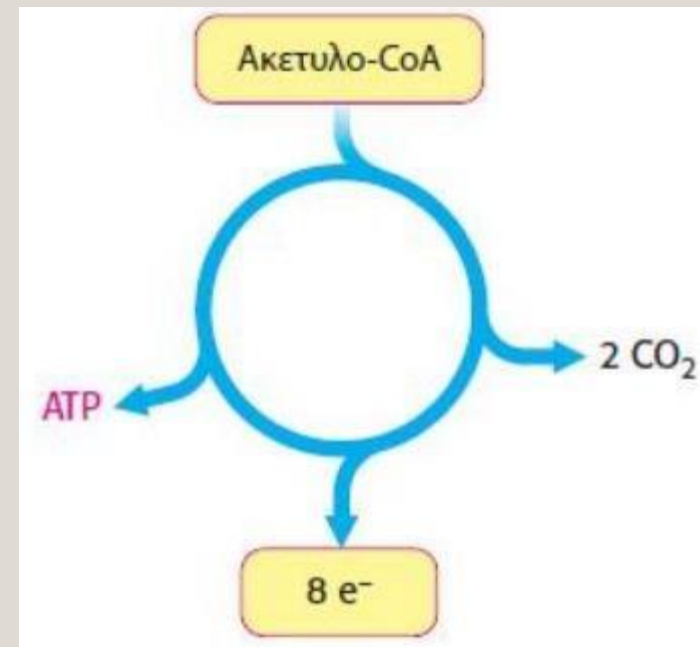
# Μεταβολισμός της γλυκόζης: Γλυκόλυση και κύκλος του Τρικαρβοξυλικού οξέος (ΤΣΑ)

- Η γλυκόζη είναι βασική πηγή άνθρακα και ενέργειας για πολλούς οργανισμούς. Διάφορα μεταβολικά μονοπάτια χρησιμοποιούνται για τον καταβολισμό της γλυκόζης.
- Ο καταβολισμός της γλυκόζης από τη γλυκόλυση ή μονοπάτι του Embden-Meyerhof-Parnas (EMP) είναι το κύριο μονοπάτι σε πολλούς οργανισμούς.
- Η πρώτη και η τρίτη αντίδραση είναι οι μόνες αντιδράσεις της γλυκόλυσης που χρησιμοποιούν ATP και είναι μη αντιστρεπτές.
- Το PEP αποφωσφορυλιώνεται περαιτέρω σε πυροσταφυλικό οξύ (Pyr) με το σχηματισμό ενός ATP.
- Το τελικό προϊόν είναι ένας κομβικός μεταβολίτης του μεταβολισμού. Μπορεί να μετατραπεί σε διάφορα προϊόντα.
- Η καθαρή απόδοση της γλυκόλυσης είναι 2 μόρια ATP / μόριο γλυκόζης υπό αναερόβιες συνθήκες ανάπτυξης.



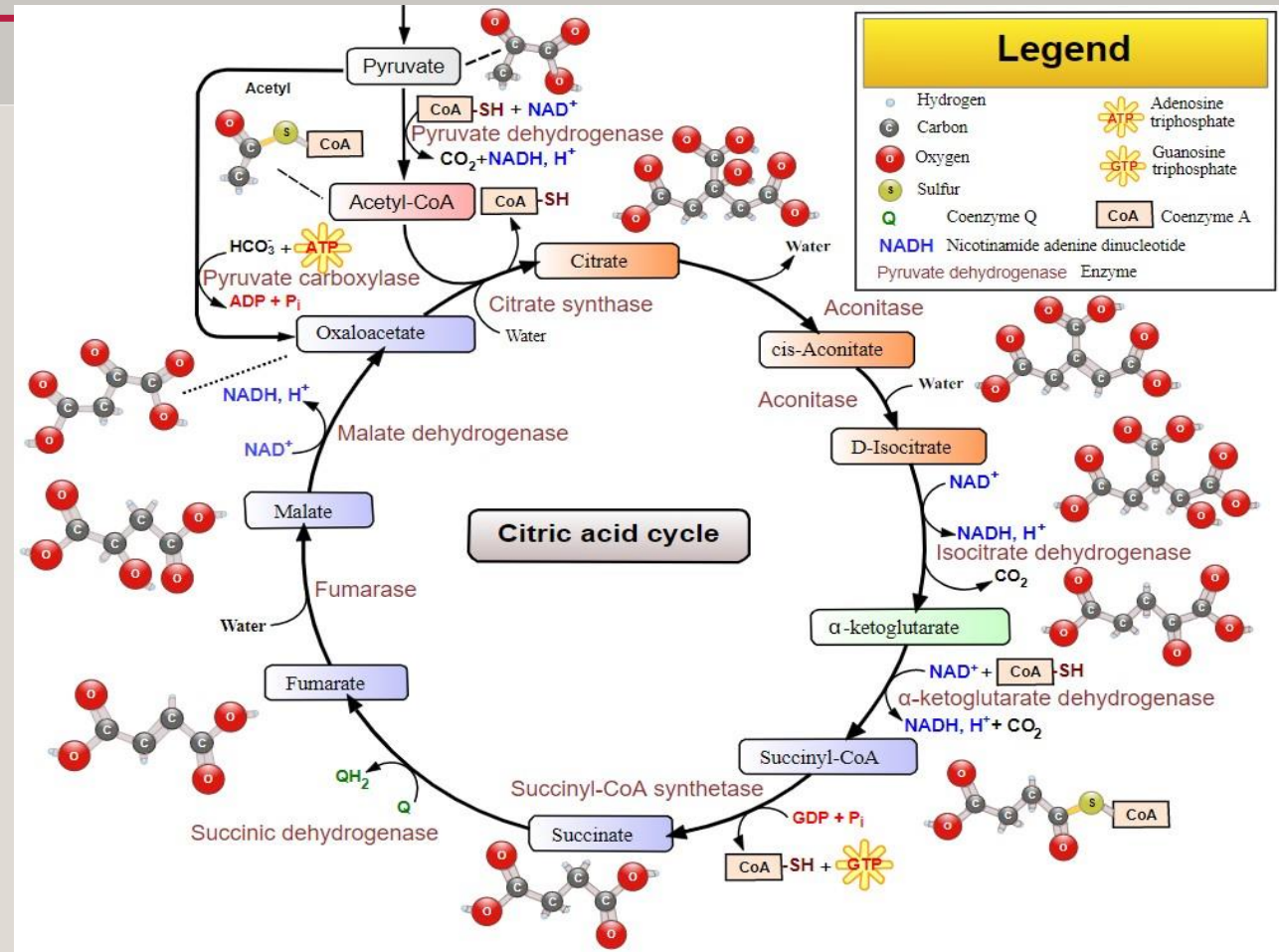
# Κύκλος του KREBS ή Του Τρικαρβοξυλικού Οξέος (TCA)

- Οι υποχρεωτικές κυκλικές πορείες λειτουργούν ως κομβικά σημεία για να διευκολύνουν τη ροή κυκλοφορίας.
- Ο κύκλος του Krebs είναι το βιοχημικό κομβικό σημείο του κυττάρου που:
  - Οξειδώνει τα καύσιμα οργανικά μόρια συνήθως στη μορφή του ακετυλο-CoA (το οποίο χρησιμεύει ως πηγή πρόδρομων μορίων για βιοσύνθεση)
  - Η παροχή ηλεκτρονίων
  - Η παραγωγή ενέργειας



# Κύκλος του KREBS ή Του Τρικαρβοξυλικού Οξέος (TCA)

- Το πυροσταφυλικό οξύ που παράγεται κατά την γλυκόλυση μεταφέρει την αναγωγική του ισχύ στο  $\text{NAD}^+$  μέσω του Κύκλου του Krebs
- Το ακετυλο-CoA (ακετυλο-συνένζυμο A) είναι ένα ενδιάμεσο κλειδί στο μεταβολισμό των αμινοξέων και των λιπαρών οξέων.
- Οι σημαντικότεροι ρόλοι του κύκλου του Krebs είναι:
  - Η παροχή ηλεκτρονίων ( $\text{NADH}$ )
  - Η παροχή σκελετών C για τη σύνθεση αμινοξέων
  - Η παραγωγή ενέργειας



# Μεταβολικά (Βιοχημικά) Μονοπάτια

Option

Scale:  30%

Category title:  ▼

Link:  ▼

Search

User data  Carbohydrate metabolism

- Central carbohydrate metabolism
  - M00001 Glycolysis (Embden-Meyerhof pathway)
  - M00002 Glycolysis, core module involving three-carbon compounds
  - M00003 Gluconeogenesis
  - M00307 Pyruvate oxidation
  - M00009 Citrate cycle (TCA cycle, Krebs cycle)
  - M00010 Citrate cycle, first carbon oxidation
  - M00011 Citrate cycle, second carbon oxidation
  - M00004 Pentose phosphate pathway (Pentose phosphate cycle)
  - M00006 Pentose phosphate pathway, oxidative phase
  - M00007 Pentose phosphate pathway, non-oxidative phase
  - M00580 Pentose phosphate pathway, archaea
  - M00005 PRPP biosynthesis
  - M00008 Entner-Doudoroff pathway
  - M00308 Semi-phosphorylative Entner-Doudoroff pathway
  - M00633 Semi-phosphorylative Entner-Doudoroff pathway
  - M00309 Non-phosphorylative Entner-Doudoroff pathway
- Other carbohydrate metabolism
  - M00014 Glucuronate pathway (uronate pathway)
  - M00630 D-Galacturonate degradation (fungi)
  - M00631 D-Galacturonate degradation (bacteria)
  - M00061 D-Glucuronate degradation
  - M00081 Pectin degradation
  - M00632 Galactose degradation, Leloir pathway
  - M00552 D-galactonate degradation, De Ley-Doudoroff pathway
  - M00129 Ascorbate biosynthesis, animals
  - M00114 Ascorbate biosynthesis, plants
  - M00550 Ascorbate degradation
  - M00854 Glycogen biosynthesis
  - M00855 Glycogen degradation
  - M00565 Trehalose biosynthesis
  - M00549 Nucleotide sugar biosynthesis
  - M00554 Nucleotide sugar biosynthesis



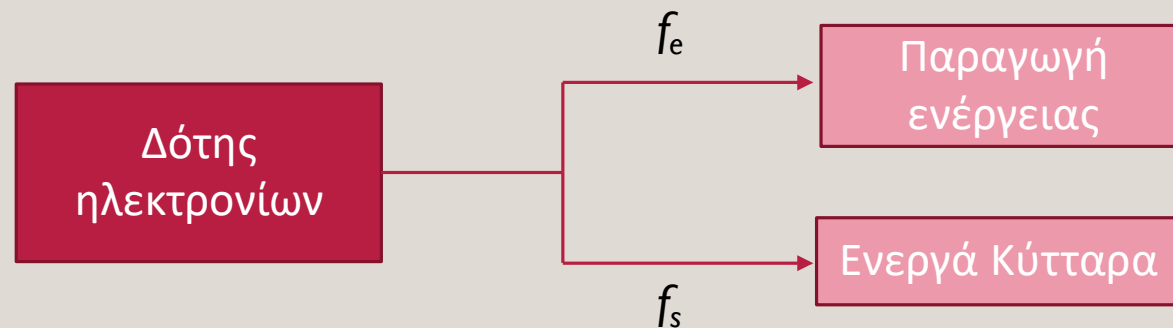
---

# Κατανομή δότη ηλεκτρονίων & Παρατηρούμενοι Συντελεστές Απόδοσης

# Κατανομή δόση ηλεκτρονίων μεταξύ ενέργειας και κυτταρικής σύνθεσης

- Το υπόστρωμα/δόση ηλεκτρονίων κατά την μικροβιακή ανάπτυξη μεταφέρεται κατά ένα κλάσμα  $f_e$  (κλάσμα ηλεκτροϊσοδυνάμων) στον δέκτη ηλεκτρονίων για παραγωγή ενέργειας και κατά ένα κλάσμα  $f_s$  χρησιμοποιείται για σύνθεση κυτταρικής μάζας

- $f_s + f_e = 1$



# Κατανομή δότη ηλεκτρονίων μεταξύ ενέργειας και κυτταρικής σύνθεσης

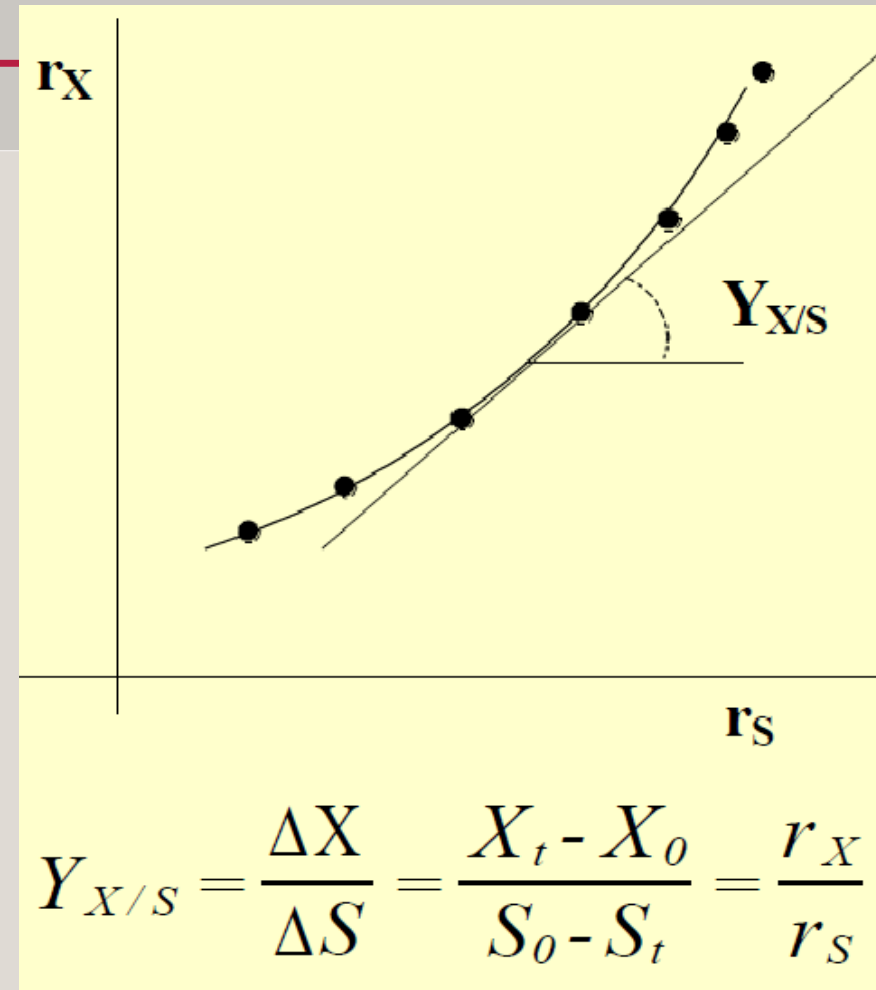
---

- Γλυκόζη ως δότη ηλεκτρονίων υπό διαφορετικές συνθήκες (διαφορετικοί δέκτες ηλεκτρονίων)
  - Αερόβια οξείδωση (αναπνοή)
  - $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O \quad \Delta G = -2880 \text{ kJ/mol}$
  - Εδώ δέκτης ηλεκτρονίων είναι το οξυγόνο.
  - Αναερόβια (αλκοολική) ζύμωση
  - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CO_2 + 2CH_3CH_2OH \quad \Delta G = -244 \text{ kJ/mol}$
- Όπως βλέπουμε οι ενεργειακές αποδόσεις είναι διαφορετικές.
- Υπό αερόβιες συνθήκες απαιτείται μικρότερη ποσότητα δότη ηλεκτρονίων να καταναλωθεί για παραγωγή ενέργειας και επομένως θα έχουμε μικρότερο  $f_e$  και μεγαλύτερο  $f_s$ .



# Παρατηρούμενοι συντελεστές απόδοσης

- $r_X$  και  $r_S$  οι ρυθμοί παραγωγής βιομάζας και κατανάλωσης υποστρώματος
- $X_t$  και  $X_0$  η βιομάζα σε χρόνους  $t$  και  $0$
- $S_t$  και  $S_0$  το θρεπτικό υπόστρωμα σε χρόνους  $t$  και  $0$
- Το  $Y_{X/S}$  πρόκειται για μακροσκοπική ποσότητα που προσδιορίζεται πειραματικά από την κλίση της καμπύλης του  $r_X$  ως προς  $r_S$
- Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται συνήθως για τον συντελεστή απόδοσης είναι g κυτταρικής μάζας ανά g υποστρώματος.
- Ως υπόστρωμα θεωρούμε το **περιοριστικό θρεπτικό συστατικό**, το οποίο ορίζεται ως το συστατικό που θα εκλείψει πρώτο αν η αντίδραση προχωρήσει μέχρι τέλους.



# Παρατηρούμενοι συντελεστές απόδοσης

---

- Το υπόστρωμα χρησιμοποιείται:
- Εν μέρει για αφομοίωση άνθρακα
- Εν μέρει ως πηγή ενέργειας για ανάπτυξη και
- Εν μέρει ως πηγή ενέργειας για συντήρηση

# Παρατηρούμενοι συντελεστές απόδοσης

---

- Ο συντελεστής απόδοσης εξαρτάται από:
  - το είδος του οργανισμού
  - το είδος του υποστρώματος,
  - το ρυθμό ανάπτυξης
  - το λόγο άνθρακας/ άζωτο στο θρεπτικό μέσο
  - το pH
  - τη θερμοκρασία
  - το διαλυμένο οξυγόνο κ.ο.κ.
- Άρα η μικροβιακή ανάπτυξη ως μία πολύπλοκη συνολική αντίδραση δεν παρουσιάζει σταθερή στοιχειομετρία.

# Παρατηρούμενοι συντελεστές απόδοσης

---

- $Y_{X/O}$  : η βιομάζα που παράγεται ανά μονάδα μάζας οξυγόνου που καταναλώνεται
- Ένας συντελεστής που έχει βρεθεί να είναι περίπου σταθερός ανεξαρτήτως οργανισμού και συνθηκών ανάπτυξης είναι ο συντελεστής  $Y_{ATP}$  : τα g βιομάζας που παράγονται ανά mol ATP που σχηματίζεται κατά την ανάπτυξη. Ο συντελεστής αυτός είναι πάντοτε περίπου 10,5.
- $Y_{X/S_{mol}}$  : τα g βιομάζας που σχηματίζονται ανά mole υποστρώματος
- $Y_{X/S_{g-at}}$  : τα g βιομάζας που σχηματίζονται ανά g-atom C του υποστρώματος.

# Παρατηρούμενοι συντελεστές απόδοσης

---

- Προκειμένου να χρησιμοποιήσει κανείς κάποιο συντελεστή απόδοσης πρέπει να προσέξει ιδιαίτερα τις μονάδες στις οποίες δίνεται ο συντελεστής και τις πειραματικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του.
- π.χ. ο συντελεστής  $Y_{x/s}$  για μία καλλιέργεια ζυμομύκητα αναπτυσσόμενου σε μέσο με υπόστρωμα την γλυκόζη θα είναι πολύ διαφορετικός εάν κατά τον προσδιορισμό του χρησιμοποιήθηκαν αερόβιες απ' ό,τι εάν χρησιμοποιήθηκαν αναερόβιες συνθήκες. Επίσης θα είναι πολύ διαφορετικός εάν η θερμοκρασία ήταν 30°C απ' ό,τι εάν ήταν 35°C.

# Άσκηση

---

- Το βακτήριο *Klebsiella aerogenes* παράγεται από γλυκερόλη σε αερόβια καλλιέργεια με αμμωνία ως πηγή αζώτου. Μετρήθηκε ότι παράγονται **0,40 g βιομάζας για κάθε g γλυκερόλης** που καταναλώνεται ενώ υποθέτουμε ότι δεν σχηματίζονται άλλα μεταβολικά προϊόντα. Ποιες είναι οι **απαιτήσεις σε οξυγόνο** σε αυτή την καλλιέργεια σε μονάδες μάζας; Ο μοριακός τύπος του βακτηριδίου είναι  $\text{CH}_{1.75}\text{O}_{0.43}\text{N}_{0.22}$ .

Μετρήθηκε ότι παράγονται **0,40 g βιομάζας για κάθε g γλυκερόλης**

# Λύση Άσκησης

$$Y_{XS} = \frac{\text{γραμμια κυτταρων που παραγονται}}{\text{γραμμια υποστρώματος που καταναλώνονται}} = \frac{c(MB_{\text{βιομάζας}})}{(MB_{\text{υποστρώματος}})}$$

- Χρειαζόμαστε τον μοριακό τύπο της γλυκερόλης  $C_3H_8O_3$  (MB = 92,1) ενώ έχουμε τον μοριακό τύπο της βιομάζας (MB = 23,74)
- Βήμα 1<sup>ο</sup> :Γράφουμε την στοιχειομετρική αντίδραση
- $C_3H_8O_3 + a O_2 + b NH_3 \rightarrow c CH_{1,75}O_{0,43}N_{0,22} + d CO_2 + e H_2O$
- Δεδομένο έχουμε την απόδοση της βιομάζας από την γλυκερόλη  $Y_{XS} = 0,4 \text{ g/g}$
- $c = \frac{Y_{XS} (MB_{\text{υποστρώματος}})}{MB_{\text{κυττάρων}}} = 0,4 \text{ (g/g)} * (92,1 \text{ g/mol}) / (23,74 \text{ g/mol}) = 1,55$

# Λύση Άσκησης

Το ισοζύγιο του βαθμού αναγωγής λέει ότι το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των αντιδρώντων σε μία αντίδραση είναι ίσο με το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των προϊόντων.

Βαθμός Αναγωγής για  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  είναι μηδέν.



Υπολόγισα  $c=1,55$

- Ισοζυγίο ηλεκτρονίων στις βιοαντιδράσεις
- γλυκερόλη =  $3 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 3(-2) = 14$
- βιομαζα =  $1 \cdot 4 + 1,75 \cdot 1 + 0,43(-2) + 0,22(-3) = 4,23$

Ισοζύγιο ηλεκτρονίων

$$14 + (-4) \cdot a = 1,55 \cdot 4,23$$

- $a = \frac{1}{4} (3 \cdot 4,67 - 1,55 \cdot 4,23) = 1,86$
- Οπότε 1,86 mol  $\text{O}_2$  χρειάζονται ανά mol γλυκερόλης.
- Μετατρέπω τα mol σε g και προσδιορίζω την απαίτηση :  $\frac{1,86 \text{ mol}}{92,1 \text{ g}} = 0,646 \text{ g/g}$

$$1,86 \text{ mol} (32 \text{ g/mol}) (1$$

Βαθμός Αναγωγής  
βασικών στοιχείων

$$\text{C} = 4$$

$$\text{H} = 1$$

$$\text{N} = -3$$

$$\text{O} = -2$$

$$\text{P} = 5$$

$$\text{S} = 6$$



# Λύση Άσκησης (ενναλακτικά)

Το ισοζύγιο του βαθμού αναγωγής λέει ότι το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των αντιδρώντων σε μία αντίδραση είναι ίσο με το άθροισμα του βαθμού αναγωγής των προϊόντων.

Βαθμός Αναγωγής για  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  είναι μηδέν.



Υπολόγισα  $c=1,55$

- Υπολογίζουμε τον βαθμό αναγωγής της γλυκερόλης και της βιομάζας

- $\gamma_{\text{γλυκερόλης}} = (3 \cdot 4 + 1 \cdot 8 + 3 \cdot (-2)) / 3 = 4,67$

- $\gamma_{\text{βιομάζας}} = (1 \cdot 4 + 1,75 \cdot 1 + 0,43 \cdot (-2) + 0,22 \cdot (-3)) / 1 = 4,23$

Ισοζύγιο του βαθμού αναγωγής

$$3 \cdot 4,67 + (-4) \cdot a = 1,55 \cdot 4,23$$

- $a = \frac{1}{4} (3 \cdot 4,67 - 1,55 \cdot 4,23) = 1,86$

- Οπότε 1,86 mol  $\text{O}_2$  χρειάζονται ανά mol γλυκερόλης.
- Μετατρέπω τα mol σε g και προσδιορίζω την απαίτηση :  
mol/92.1 g) = 0,646 g/g

$$1,86 \text{ mol} (32 \text{ g/mol}) (1$$

Βαθμός Αναγωγής  
βασικών στοιχείων

$$\text{C} = 4$$

$$\text{H} = 1$$

$$\text{N} = -3$$

$$\text{O} = -2$$

$$\text{P} = 5$$

$$\text{S} = 6$$

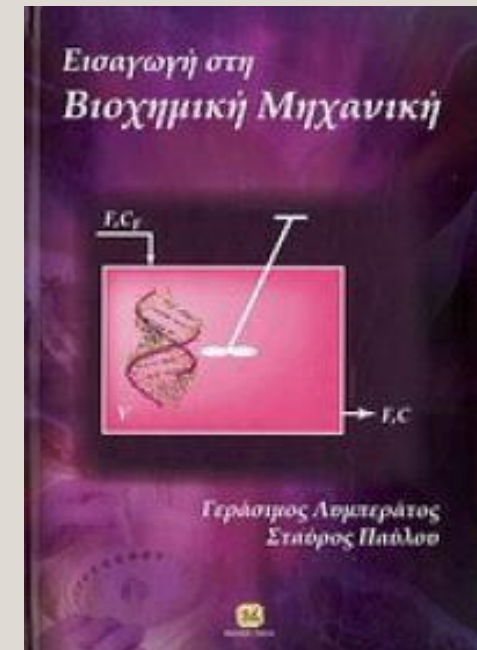
# Βιβλιογραφία

---



Michael L. Shuler, Fikret Kargi, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΙΟΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ Βασικές Έννοιες, 2005, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.

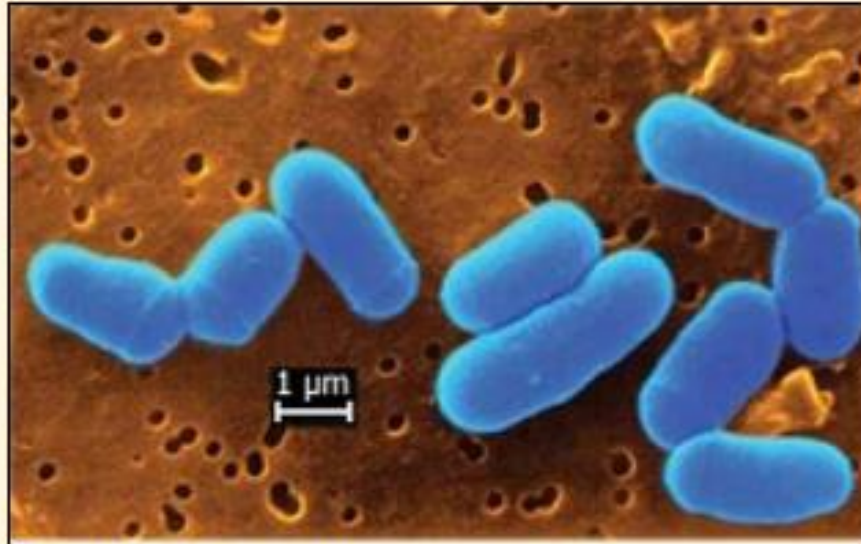
Λυμπεράτος Γ., Παύλου Στ., Εισαγωγή στη ΒΙΟΧΗΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, Εκδόσεις Τζιόλα, 2011



# Επιπλέον Βιβλιογραφία

---

- Atkinson B. & Mavituna F. (1992). Biochemical Engineering and Biotechnology Handbook, 2nd Edition, Stockton Pr.
- Bailey J. & Ollis D. (1986). Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd Edition, McGraw-Hill International Editions, Singapore.
- Doran P. (1995). Bioprocess Engineering Principles, 3rd Printing, Academic Press, San Diego.
- Nielsen J., Villadsen J., Liden G., Bioreaction Engineering Principles, 2nd Edition, Springer International Edition.
- Ratledge C. & Kristiansen B. (2001). Basic Biotechnology, 2nd edition, Cambridge University Press.
- Stephanopoulos G., Aristidou A., Nielsen J., (1998) Metabolic Engineering: Principles and Methodologies, Elsevier.



*Corynebacterium glutamicum*: Το πλέον παραγωγικό σε L-γλουταμικό οξύ μικρόβιο (τεχνητός χρωματισμός) [πηγή].