

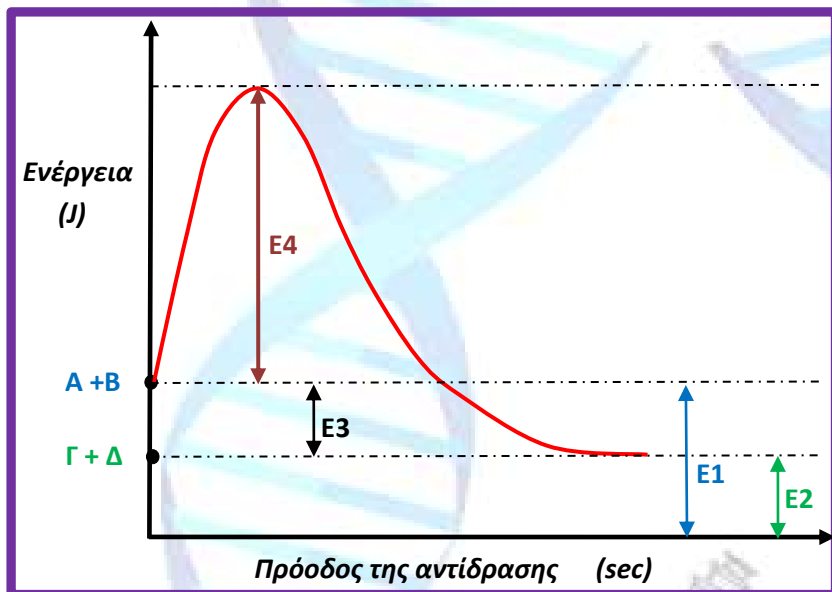
Κεφάλαιο 3. Μεταβολισμός

3.2 Ένζυμα και Βιολογικοί Καταλύτες

Μηχανισμός δράσης των ενζύμων

Βασικές έννοιες

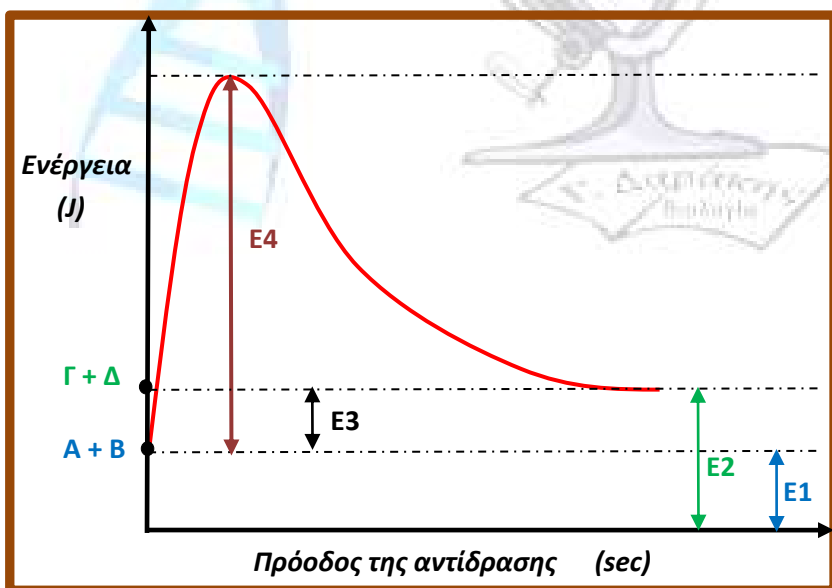
- Ποιές χημικές αντιδράσεις ονομάζονται εξώθερμες;
Εξώθερμες είναι οι αντιδράσεις κατά τις οποίες εκλύεται (παράγεται) ενέργεια. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα εξώθερμων αντιδράσεων είναι οι αντιδράσεις καύσης κατά τις οποίες παράγεται θερμότητα.
Οι αντιδράσεις καταβολισμού είναι στην πλειονότητά τους εξώθερμες αντιδράσεις.



Εικόνα 1.

E_4 : Ενέργεια ενεργοποίησης
 E_1 : Ενέργεια αντιδρώντων
 E_2 : Ενέργεια προϊόντων
 E_3 : Ενεργειακή διαφορά προϊόντων-αντιδρώντων
Εξώθερμη αντίδραση: $E_3 < 0$
Εκλύεται (παράγεται) ενέργεια

- Ποιές χημικές αντιδράσεις ονομάζονται ενδόθερμες;
Ενδόθερμες είναι οι αντιδράσεις που για να πραγματοποιηθούν πρέπει να προσφερθεί ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποθηκεύεται στους δεσμούς των προϊόντων της αντίδρασης.
Οι αντιδράσεις αναβολισμού είναι στην πλειονότητά τους ενδόθερμες αντιδράσεις.



Εικόνα 2.

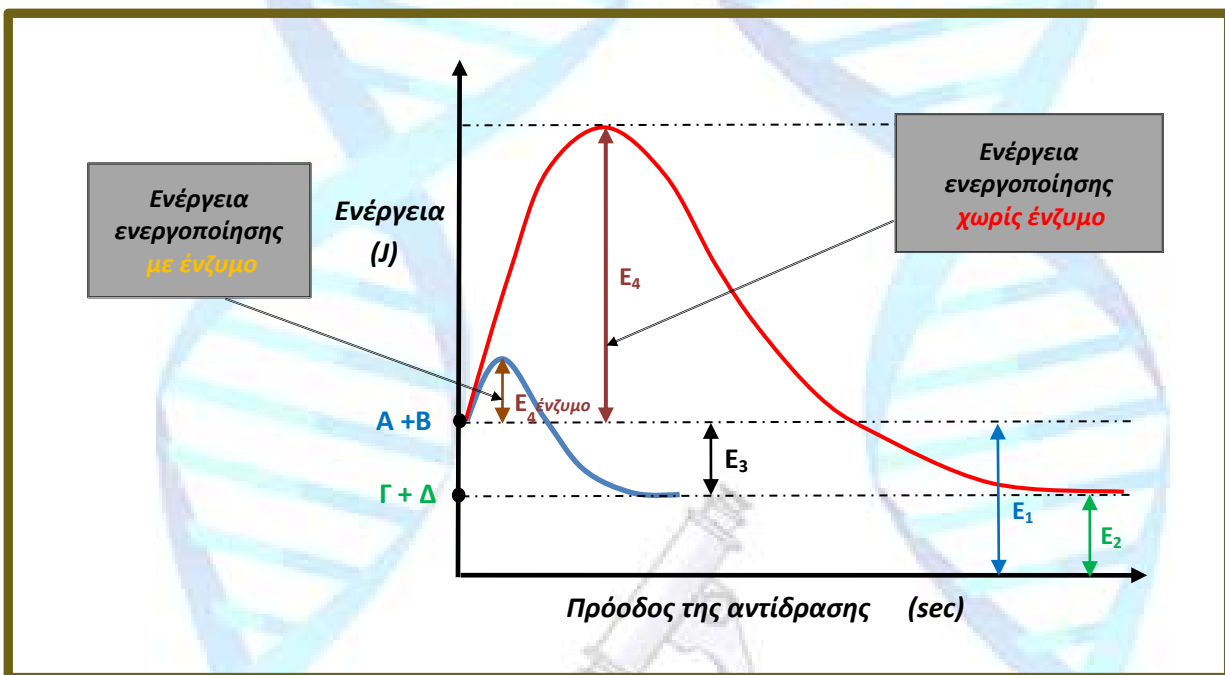
E_4 : Ενέργεια ενεργοποίησης
 E_1 : Ενέργεια αντιδρώντων
 E_2 : Ενέργεια προϊόντων
 E_3 : Ενεργειακή διαφορά προϊόντων-αντιδρώντων
Ενδόθερμη αντίδραση: $E_3 > 0$
Απαιτεί την προσφορά ενέργειας

- Τι απαιτείται γενικά για την πραγματοποίηση μιας αντίδρασης;

Γενικά για την πραγματοποίηση μιας αντίδρασης είναι αναγκαία προϋπόθεση είναι τα μόρια των αντιδρώντων να έρθουν σε επαφή μεταξύ τους.

Αυτό εξασφαλίζεται:

- 1) είτε με την αύξηση της κινητικής ενέργειας (κινητικότητας) των αντιδρώντων. Ο συνηθέστερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι η προσφορά στο σύστημα θερμότητας. Η προσφερόμενη αυτή ποσότητα θερμότητας στο σύστημα αντιπροσωπεύει την ενέργεια ενεργοποίησης.
- 2) είτε με τη δράση ειδικών μορίων που συνδέονται προσωρινά με τα μόρια των αντιδρώντων και τα κατευθύνουν με τέτοιο τρόπο, ώστε τα μόρια των αντιδρώντων να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους και έτσι να πραγματοποιείται η αντίδραση. Τα ειδικά αυτά μόρια ονομάζονται καταλύτες.



Εικόνα 3.

Στην εξώθερμη αντίδραση $A + B \rightarrow G + \Delta + \text{ενέργεια } (E_3)$:

- 1) Το ένζυμο μειώνει κατά πολύ την απαιτούμενη ενέργεια ενεργοποίησης.
- 2) Με την παρουσία του ενζύμου η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται.

E_4 : Ενέργεια ενεργοποίησης

E_1 : Ενέργεια υποστρωμάτων (αντιδρώντων)

E_2 : Ενέργεια προϊόντων

E_3 : Ενεργειακή διαφορά προϊόντων- υποστρωμάτων

- Τι ονομάζεται **ενέργεια ενεργοποίησης**;

Ενέργεια ενεργοποίησης είναι η ενέργεια που πρέπει αρχικά να προσφερθεί στα αντιδρώντα μόρια για να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε αντίδραση (ανεξάρτητα αν η αντίδραση είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη).

- Για ποιούς λόγους δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν οι χημικές αντιδράσεις στο κύτταρο με προσφορά ενέργειας;
Στο περιβάλλον η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εξασφαλιστεί με τη προσφορά θερμότητας.

Αντίθετα σε ό,τι αφορά τις αντιδράσεις του μεταβολισμού που πραγματοποιούνται στο κύτταρο, αυτό δεν είναι δυνατό για τους εξής λόγους:

- 1) Το ποσό ενέργειας, με μορφή θερμότητας, που απαιτείται για την πραγματοποίηση της αντίδρασης είναι απαγορευτικό για την επιβίωση του κυττάρου.
- 2) Επιπλέον ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των μεταβολικών αντιδράσεων είναι πολύ μεγάλος. Αυτό θα δημιουργούσε επίσης πρόβλημα στους οργανισμούς, των οποίων οι ανάγκες είναι σχεδόν πάντα άμεσες και φυσικά απαιτούν μεγάλη ταχύτητα αντιδράσεων.

- **Ποιό μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης των μεταβολικών τους αντιδράσεων διαθέτουν τα κύτταρα;**
Τα κύτταρα διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης των μεταβολικών τους αντιδράσεων ο οποίος στηρίζεται στη δράση των καταλυτών.
- **Ποιό είναι οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται στις μεταβολικές αντιδράσεις;**
Οι καταλύτες που χρησιμοποιούνται στις μεταβολικές αντιδράσεις είναι τα **ένζυμα**, που, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο 1^ο Κεφάλαιο αυτού του βιβλίου, είναι πρωτεΐνες. Τα ένζυμα ονομάζονται και **βιοκαταλύτες**.
- **Τι επιτυγχάνεται με τα ένζυμα;**
 - 1) Πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις με μειωμένη κατά πολύ την απαιτούμενη ενέργεια ενεργοποίησης.
 - 2) Με την παρουσία των ενζύμων η ταχύτητα των αντιδράσεων αυξάνεται ακόμη και μέχρι 100 εκατομμύρια φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, με την παρουσία ενζύμων, μέσα σ' ένα λεπτό, θα χρειάζονταν 32 μήνες για να πραγματοποιηθούν χωρίς αυτά.
- **Πώς ονομάζονται τα αντιδρώντα στη Βιολογία (Βιοχημεία);**
Τα αντιδρώντα μόρια των βιοχημικών αντιδράσεων (αντιδράσεων μεταβολισμού) ονομάζονται **υποστρώματα**.

Αντιστοίχιση όρων	<u>ΧΗΜΕΙΑΣ</u>	↔	<u>ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ (ΒΙΟΧΗΜΕΙΑΣ)</u>
	Καταλύτης	↔	Ένζυμο
	Αντιδρώντα	↔	Υποστρώματα

- **Ποιά είναι η σημαντικότερη περιοχή του ενζύμου και πώς ονομάζεται;**
Η σημαντικότερη περιοχή του ενζύμου ονομάζεται **ενεργό κέντρο του ενζύμου**. Είναι ένα μικρό τμήμα του πρωτεϊνικού μορίου στο οποίο γίνεται αρχικά η πρόσδεση των μορίων του υποστρώματος (ή των υποστρωμάτων).
- **Πού οφείλεται η πρόσδεση των μορίων-υποστρωμάτων με το ενεργό κέντρο;**
Η σύνδεση των αντιδρώντων μορίων με το ενεργό κέντρο οφείλεται στην δυνατότητα σχηματισμού δεσμών μεταξύ (των πλευρικών ομάδων) των αμινοξέων του ενεργού κέντρου με τα μόρια-υποστρώματα. Ένας και μοναδικός συνδυασμός αμινοξέων του ενεργού κέντρου είναι αυτός που μπορεί να συνδεθεί με συγκεκριμένο είδος μορίων-υποστρωμάτων. Έτσι η σύνδεση των αντιδρώντων μορίων με το ενεργό κέντρο μοιάζει με το «ταίριασμα του κλειδιού στην κλειδαριά».

● Ποιός είναι ο τρόπος δράσης των ενζύμων;

Ο τρόπος δράσης των ενζύμων συνοψίζεται στα εξής σημεία:

- 1) Τα μόρια-υποστρώματα συνδέονται αρχικά με το **ενεργό κέντρο** του ενζύμου.
- 2) Η σύνδεση των μορίων του υποστρώματος με το ενεργό κέντρο έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται ασταθείς οι δεσμοί μεταξύ συγκεκριμένων ατόμων των αντιδρώντων μορίων.
- 3) Λόγω της αστάθειάς τους οι δεσμοί αυτοί διασπώνται.
- 4) Η διάσπαση των δεσμών αυτών προκαλεί:
 - i) τον σχηματισμό νέων δεσμών μεταξύ των ατόμων και επομένως την δημιουργία των προϊόντων της αντίδρασης
 - ii) την αποσύνδεση των δημιουργηθέντων μορίων-προϊόντων από το ενεργό κέντρο που έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωσή του. Έτσι, το ένζυμο να είναι έτοιμο να δεχθεί νέα μόρια υποστρωμάτων.

● Ποιά είναι η ονοματολογία των ενζύμων;

Τα ένζυμα παίρνουν συνήθως το όνομά τους με τη προσθήκη της κατάληξης **-άση**:

- 1) είτε στο όνομα του υποστρώματος στο οποίο δρουν.
Για παράδειγμα, οι λιπάσες καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης λιπιδίων.
- 2) είτε στον τύπο της αντίδρασης που καταλύουν.
Για παράδειγμα, οι πολυμεράσες καταλύουν αντιδράσεις πολυμερισμού, δηλ. σύνθεση μακρομορίων από μονομερή. Πχ η DNA πολυμεράση καταλύει την σύνθεση DNA από δεοξυριβονουκλεοτίδια.

● Ποιά είναι η κυριότερη διάκριση των ενζύμων σε σχέση με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται;

Τα ένζυμα διακρίνονται σε **ενδοκυτταρικά** και **εξωκυτταρικά**.

- 1) Τα **ενδοκυτταρικά** ένζυμα δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού. Βρίσκονται:
 - i) είτε ελεύθερα μέσα σε συγκεκριμένα οργανίδια (πχ. μέσα στους αγωγούς του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου) ή το κυτταρόπλασμα,
 - ii) είτε δεσμευμένα πάνω σε μεμβράνες συγκεκριμένων οργανιδίων (πχ. στην εσωτερική μεμβράνη μιτοχονδρίων)
- 2) Τα **εξωκυτταρικά** ένζυμα εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες όπως το στομάχι.

Ιδιότητες των ενζύμων

● Ποιές είναι συνοπτικά οι ιδιότητες των ενζύμων;

- 1) Η τριτοταγής δομή του πρωτεϊνικού μορίου του καθορίζει τη καταλυτική του δράση.
- 2) Δρουν πολύ γρήγορα.
- 3) Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν.
- 4) Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης.
- 5) Η δραστικότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες (pH, θερμοκρασία).

● Ποιές είναι οι κοινές ιδιότητες των ενζύμων και των καταλυτών των χημικών αντιδράσεων;

Οι κοινές ιδιότητες των ενζύμων και των καταλυτών των χημικών αντιδράσεων είναι: η 2^η, η 3^η και η 5^η από τις παραπάνω ιδιότητες. Συγκεκριμένα:

- ✓ Δρουν πολύ γρήγορα. Για παράδειγμα, ένα μόριο καταλάσης μπορεί να καταλύσει, στη θερμοκρασία του κυττάρου, τη διάσπαση έξι εκατομμυρίων μορίων υπεροξειδίου του υδρογόνου μέσα σε ένα λεπτό
- $$(2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{καταλάση}} 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2).$$

- ✓ Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν, με την έννοια ότι παραμένουν αναλλοίωτα και μετά το τέλος της αντίδρασης μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν πολλές φορές, ώσπου να καταστραφούν.
 - ✓ Η δραστηριότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν η θερμοκρασία, το pH κ.ά.
- Σε τι διαφέρουν οι χημικοί καταλύτες από τα ένζυμα;
Οι διαφορές είναι δύο. Οι χημικοί καταλύτες:
 - 1) Δεν είναι πρωτεΐνες. Είναι συνήθως στοιχεία μετάλλων ή απλές ανόργανες ενώσεις.
 - 2) Δεν παρουσιάζουν εξειδίκευση. Ένα είδος χημικού καταλύτη μπορεί να καταλύει περισσότερες από μία χημικές αντιδράσεις.
 - Ποιές είναι οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των ενζύμων;
Οι ιδιότητες των ενζύμων που τα κάνουν να διαφέρουν από τους χημικούς καταλύτες απορρέουν από την πρωτεϊνική δομή τους (και περιγράφονται στη 1^η και 4^η από τις παραπάνω ιδιότητες).
 - 1) Η καταλυτική δράση του ενζύμου καθορίζεται από την τριτοταγή δομή του πρωτεϊνικού μορίου του.
Η λειτουργικότητα του ενζύμου εξαρτάται από την τελική διαμόρφωση της αλυσίδας (ή αλυσίδων) στο χώρο, δηλ, από την τριτοταγή (ή τεταρτοταγή) δομή. Αν καταστραφεί η δομή αυτή, όπως συμβαίνει κατά τη *μετουσίωση*, το ένζυμο χάνει τη λειτουργικότητά του δηλ. την καταλυτική του ικανότητα.
 - 2) Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη διάταξή τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόστρωμα.
Η σύνδεση των αντιδρώντων μορίων με το ενεργό κέντρο οφείλεται στην δυνατότητα σχηματισμού δεσμών μεταξύ (των πλευρικών ομάδων) των αμινοξέων του ενεργού κέντρου με τα μόρια-υποστρώματα. Υπάρχει ένας και μοναδικός συνδυασμός αμινοξέων του ενεργού κέντρου που μπορεί να συνδεθεί με συγκεκριμένο είδος μορίων-υποστρωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι δρουν συνήθως σε ένα μόνο συγκεκριμένο υπόστρωμα. Ένα ένζυμο δηλαδή καταλύει συνήθως μία μόνο χημική αντίδραση ή, το πολύ, μια σειρά από πολύ συγγενικές αντιδράσεις.
 - Να αναφέρετε παραδείγματα ενζύμων που δρουν σε συγκεκριμένα υποστρώματα.
 - 1) Η καταλάση, για παράδειγμα, καταλύει μόνο την αντίδραση διάσπασης του υπεροξειδίου του υδρογόνου.
 - 2) Η παγκρεατική λιπάση, ένζυμο που εκκρίνεται από το πάγκρεας, καταλύει τις αντιδράσεις διάσπασης μιας σειράς διαφορετικών λιπιδίων.
 - Ποιός παράγοντας καθορίζει τη λειτουργικότητα ενός ενζύμου;
Η λειτουργικότητα ενός ενζύμου, δηλ. η καταλυτική του ικανότητα, εξαρτάται από τη μορφή (κυρίως του ενεργού κέντρου) του. Η τελική διαμόρφωση της στο χώρο, δηλ. η τριτοταγής δομή, οφείλεται, στην πρωτοταγή δομή της πεπτιδικής αλυσίδας. Επομένως **η λειτουργικότητα ενός ενζύμου καθορίζεται από την πρωτοταγή δομή της πεπτιδικής αλυσίδας (ή των αλυσίδων, στη περίπτωση που το ένζυμο έχει τεταρτοταγή δομή).**