

ΕΝΟΤΗΤΑ 3: Ενέργεια και οργανισμοί

3.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

Η **Ενέργεια** είναι δύσκολο να ορισθεί, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως η ικανότητα επιτέλεσης έργου ή η αιτία της εμφάνισης των φυσικών, χημικών και βιολογικών φαινομένων. Ενέργεια υπάρχει στο περιβάλλον μας, όπως και σε όλο το σύμπαν.

Ενέργεια υπάρχει στους κεραυνούς, στους σεισμούς, στα ηφαίστεια, στην τροφή, στον ατμοσφαιρικό αέρα, στα νερά, στα κύτταρα, παντού γύρω μας. Όλες οι λειτουργίες της ζωής απαιτούν ενέργεια για να επιτελεσθούν. Για παράδειγμα, η κίνηση, η πέψη, η αναπαραγωγή δε θα μπορούσαν να γίνουν, χωρίς την κατανάλωση ενέργειας από τα κύτταρα. Ενέργεια απαιτείται και για μια ατέλειωτη σειρά χημικών αντιδράσεων, που είναι σημαντικές για την επιβίωση των οργανισμών. Η ενέργεια λοιπόν είναι απαραίτητη για τους οργανισμούς, διότι χωρίς αυτή, απλά, δε θα υπήρχε ζωή.

- Πόση όμως ενέργεια είναι διαθέσιμη;
- Από πού εξασφαλίζουν την ενέργειά τους οι οργανισμοί;
- Ποια είναι η τύχη της ενέργειας που χρησιμοποιούν οι οργανισμοί;

Για να δώσουμε απαντήσεις στα πιο πάνω ερωτήματα, πρέπει να ανατρέξουμε στους νόμους της θερμοδυναμικής.

• 1ος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Το ολικό ποσό ενέργειας στο σύμπαν είναι σταθερό. Η ενέργεια δεν μπορεί να δημιουργηθεί από το μηδέν, ούτε και να καταστραφεί, αλλά μπορεί να μετατραπεί από μια μορφή σε άλλη.

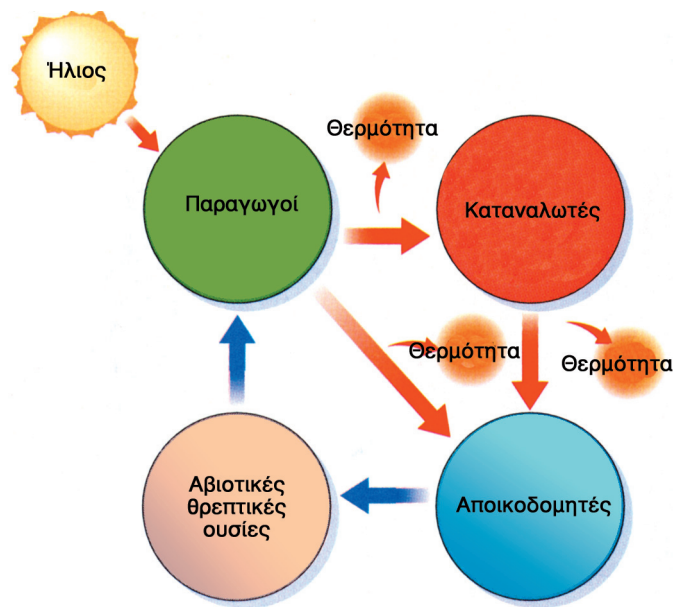
• 2ος Νόμος της Θερμοδυναμικής

Κατά τις μετατροπές της ενέργειας από μια μορφή σε άλλη, ένα μέρος της μετατρέπεται σε μορφή ενέργειας που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιολογικού έργου αλλά προάγει συνεχώς την αταξία στο σύμπαν.

Ας ερευνήσουμε, κατά πόσο οι λειτουργίες των οργανισμών συνάδουν με τους πιο πάνω νόμους.

Οι οργανισμοί αδυνατούν να δημιουργήσουν ενέργεια από το μηδέν και γι' αυτό πρέπει απαραίτητα να την πάρουν από το περιβάλλον τους. Η πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη ζωή στον πλανήτη Γη είναι ο ήλιος, που συνεχώς εκπέμπει ενέργεια στο διάστημα. Μέρος αυτής της ενέργειας δεσμεύεται από τα φυτά και μετατρέπεται σε χημική, μέσα στα βιομόρια τους. Τα φυτά τρέφουν άμεσα ή έμμεσα τους υπόλοιπους οργανισμούς και έτσι η ενέργεια μεταφέρεται από οργανισμό σε οργανισμό, μέσω της τροφικής αλυσίδας, ακολουθώντας μια μονόδρομη πορεία, χωρίς επιστροφή. Οι αποικοδομητές εξασφαλίζουν την ενέργειά τους με την αποσύνθεση των νεκρών σωμάτων των οργανισμών. Σε κάθε μετατροπή της μιας μορφής ενέργειας σε άλλη, ένα ποσό ενέργειας διαφεύγει στο περιβάλλον υπό μορφή θερμότητας.

Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής ισχύει για ολόκληρο το σύμπαν και για οποιοδήποτε άλλο κλειστό σύστημά του. Οι οργανισμοί στον πλανήτη Γη, ανταλλάσσουν ύλη και ενέργεια με το περιβάλλον τους και θεωρούνται ανοικτά συστήματα. Ο πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής ισχύει και για τους οργανισμούς, διότι αποτελούν τμήμα ενός πιο μεγάλου συστήματος, του ηλιακού, που είναι κλειστό σύστημα. Κατά συνέπεια, τα βιολογικά φαινόμενα ικανοποιούν πλήρως τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής.



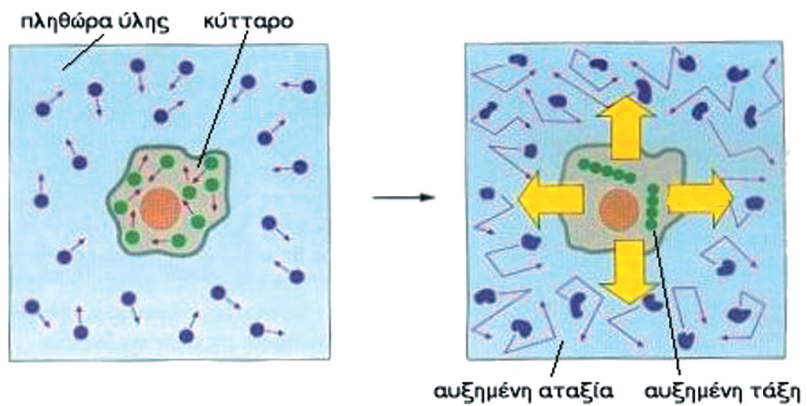
Εικόνα 3.1 Η ροή της ενέργειας μέσα στους οργανισμούς

Τα κύτταρα και κατ' επέκταση οι οργανισμοί προσλαμβάνουν ενέργεια από το περιβάλλον, συνθέτουν τα βιομόριά τους, δημιουργούν τάξη, ιεραρχία και υψηλή οργανωτική δομή μέσα τους. Επομένως, κάποιος θα μπορούσε να ισχυρισθεί ότι οι οργανισμοί δεν ακολουθούν το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής διότι δημιουργούν τάξη και ιεραρχία. Όμως, οι οργανισμοί εκλύουν συνεχώς θερμική ενέργεια στο περιβάλλον τους και γι' αυτό χρειάζεται η συνεχής ροή ενέργειας στους οργανισμούς για να διατηρηθεί η τάξη και η υψηλή οργανωτική δομή.

Η θερμότητα έχει δύο σημαντικά χαρακτηριστικά:

- θεωρείται ενέργεια στην πιο αποδιοργανωμένη μορφή που προάγει την αταξία της ύλης
- μπορεί να επιτελέσει έργο μόνον, όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο περιοχών και επομένως αδυνατεί να επιτελέσει βιολογικό έργο, αφού τα κύτταρα διατηρούν ομοιόμορφη θερμοκρασία σ' όλη τη μάζα τους.

Το κύτταρο προσλαμβάνει ενέργεια από τα μόρια του εξωτερικού περιβάλλοντός του (αριστερά) και αυξάνει την τάξη των μορίων μέσα του (δεξιά) ενώ απελευθερώνει θερμότητα που προκαλεί αυξημένη αταξία στο περιβάλλον



Εικόνα 3.2 Ταύτιση των οργανισμών με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής

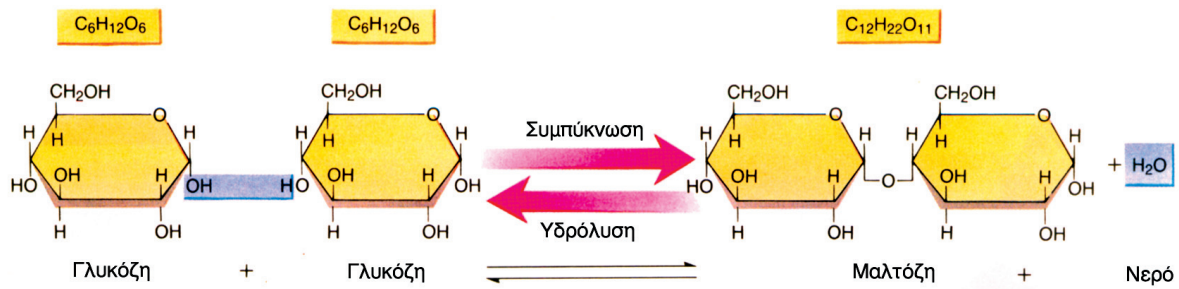
Με βάση τα πιο πάνω, οδηγείται κάποιος στο αβίαστο συμπέρασμα ότι οι οργανισμοί ευρίσκονται σε πλήρη ταύτιση με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, αφού η αύξηση της τάξης που δημιουργείται στο εσωτερικό τους αντiroπείται και με το παραπάνω από την ποσοτικά μεγαλύτερη ελάττωση της τάξης που προκαλούν στο περιβάλλον.

• Βιοχημικές αντιδράσεις – Μεταβολισμός

Τα κύτταρα των οργανισμών, για να αναπτυχθούν, για να αποκτήσουν την πολύπλοκη εσωτερική τους οργάνωση και για να παραμείνουν ζωντανά, χρειάζονται ενέργεια και βασικά δομικά συστατικά. Για το σκοπό αυτό διασπούν μεγάλα βιομόρια σε μικρότερα και απλούστερα και συνθέτουν νέα, από μικρά και απλά μόρια. Αυτές οι χιλιάδες χημικές αλλαγές που επιτελούνται στα κύτταρα σε κάθε χρονική στιγμή ονομάζονται **βιοχημικές αντιδράσεις**.

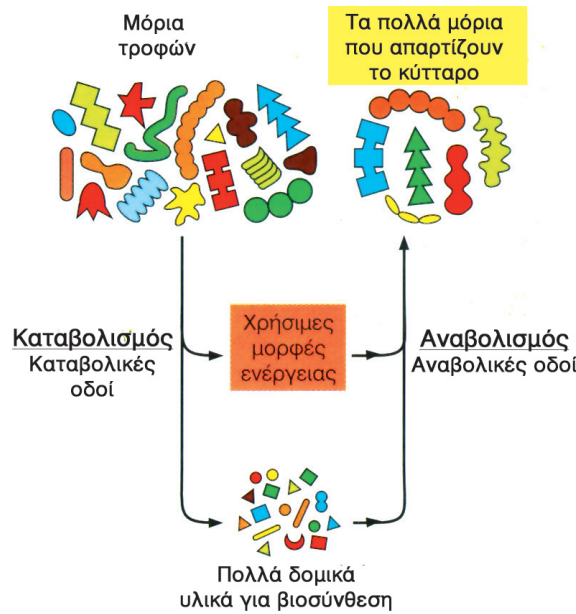
Παραδείγματα τέτοιων βιοχημικών αντιδράσεων, είναι οι βιοσυνθέσεις (συμπυκνώσεις) και οι διασπάσεις (υδρολύσεις) των βιομορίων, στο κυτταρικό επίπεδο, που εξετάσαμε στο κεφάλαιο των οργανικών ουσιών.

Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις είναι **αμφίδρομες**, δηλαδή, κατά την επιτέλεση των αντιδράσεων, τα προϊόντα, καθώς σχηματίζονται, αντιδρούν μεταξύ τους και δίνουν πίσω τα αντιδρώντα σώματα.



Το σύνολο των βιοχημικών αντιδράσεων που γίνονται σ' ένα κύτταρο ή σ' έναν πολυκύτταρο οργανισμό, ονομάζεται **μεταβολισμός**. Ο μεταβολισμός έχει δύο σκέλη, τον καταβολισμό και τον αναβολισμό.

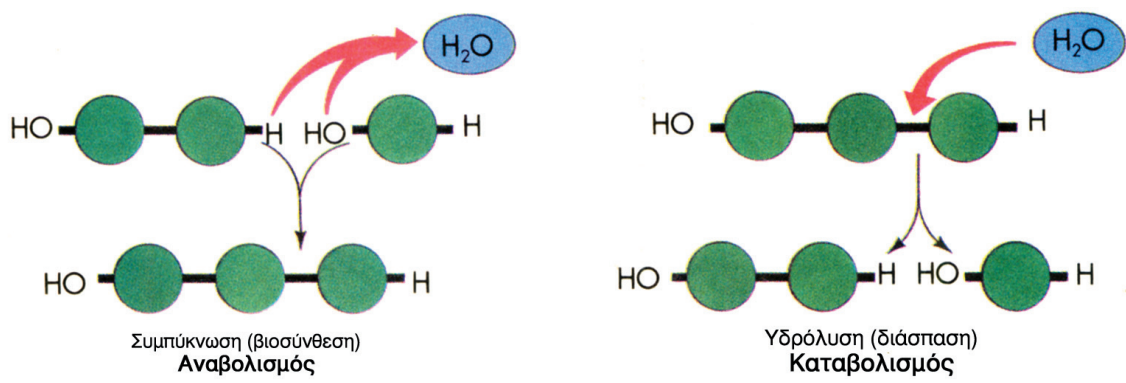
Εικόνα 3.3: Αμφίδρομη βιοχημική αντίδραση



Εικόνα 3.4: Σχηματική παράσταση του μεταβολισμού στο κυτταρικό επίπεδο

Καταβολισμός ονομάζεται η μεταβολική οδός κατά την οποία χημικές ενώσεις διασπώνται σε απλούστερα μόρια με παράλληλη συνήθως απελευθέρωση ενέργειας, όπως, για παράδειγμα, η υδρόλυση των πολυσακχαριτών σε απλά σάκχαρα.

Αναβολισμός ονομάζεται η μεταβολική οδός κατά την οποία από απλά μόρια συντίθενται πιο πολύπλοκα μόρια, με παράλληλη συνήθως προσφορά ενέργειας, όπως, για παράδειγμα, η βιοσύνθεση των πρωτεϊνών.

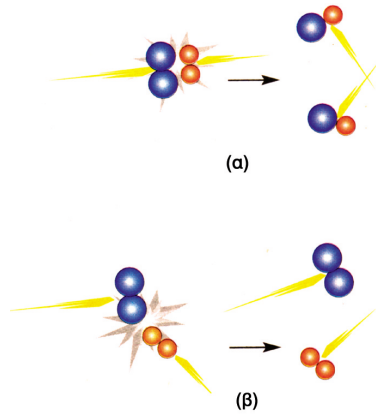


Εικόνα 3.5:
Μεταβολικές διεργασίες

• **Ενέργεια ενεργοποίησης**

Μέσα στα διαλύματα, τα μόρια των διαλυμένων ουσιών βρίσκονται σε συνεχή κίνηση και είναι φυσικό να συγκρούονται μεταξύ τους. Σύμφωνα με τη χημική θεωρία οι συγκρούσεις αυτές είναι απαραίτητες, για να γίνει μια χημική αντίδραση. Χημικές αντιδράσεις, όμως, δε γίνονται πάντοτε με απλή και τυχαία σύγκρουση των μορίων των αντιδρώντων σωμάτων. Στις πιο πολλές περιπτώσεις οι συγκρούσεις αυτές πρέπει να είναι προσανατολισμένες και ακριβείς, ώστε τα μόρια να μπορέσουν να αντιδράσουν.

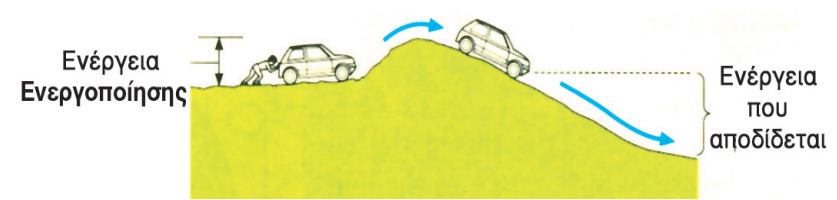
Επίσης, απαιτείται μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας ικανής να διασπάσει τους χημικούς δεσμούς, που υπάρχουν μέσα στα μόρια και να δημιουργηθούν ταυτόχρονα νέοι. Με απλά λόγια ένα μόριο χρειάζεται μια ώθηση (ενέργεια), πάνω από κάποιο ενεργειακό φραγμό, προκειμένου να λάβει μέρος σε μια χημική αντίδραση. Η συγκεκριμένη αυτή ποσότητα ενέργειας, που καθιστά τα μόρια ικανά να αντιδρούν και να σχηματίζουν ένα ενδιάμεσο ασταθές ενεργοποιημένο σύμπλοκο, ονομάζεται **ενέργεια ενεργοποίησης**.



Εικόνα 3.6:

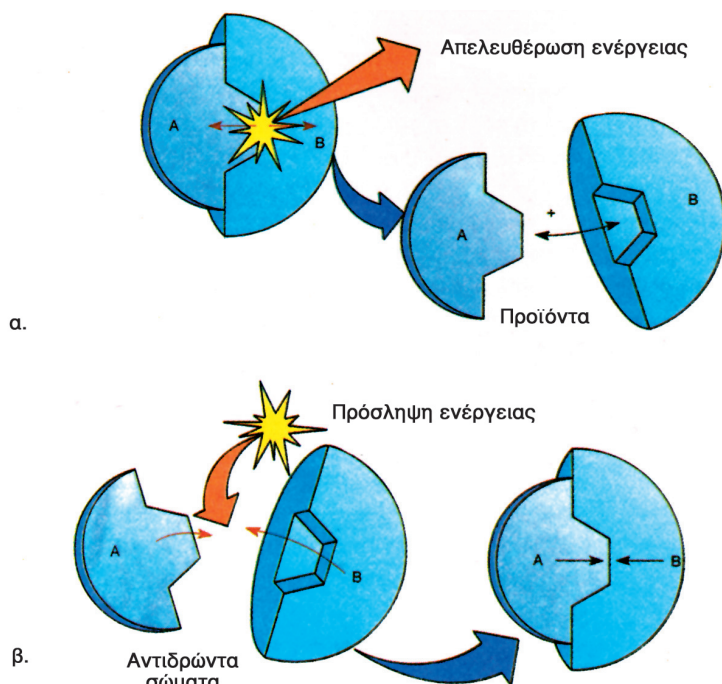
α) Η σύγκρουση των μορίων είναι αποτελεσματική και οδηγεί στο σχηματισμό προϊόντων, επειδή τα μόρια έχουν κατάλληλο προσανατολισμό και ικανοποιητική ενέργεια.

β) Η σύγκρουση των μορίων είναι αναποτελεσματική επειδή δεν είναι προσανατολισμένη και γι' αυτό δεν οδηγεί σε σχηματισμό προϊόντων



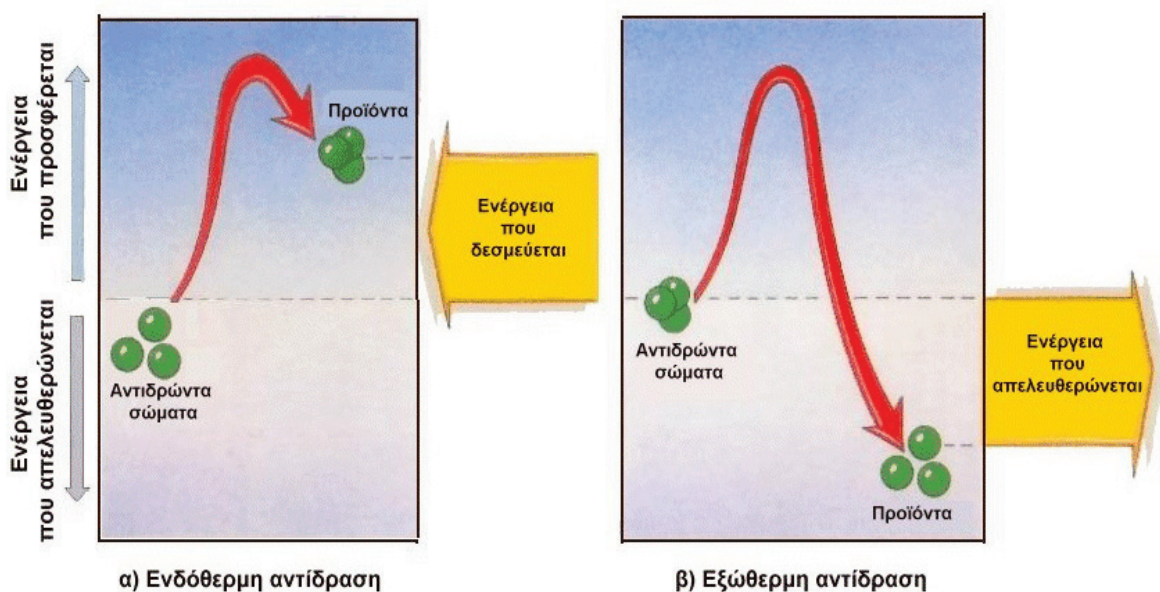
Εικόνα 3.7: Μηχανικό ανάλογο της απαιτούμενης από τα χημικά μόρια ενέργειας ενεργοποίησης για να αντιδράσουν

Σε ορισμένες βιοχημικές αντιδράσεις, η χημική ενέργεια των μορίων των αντιδρώντων σωμάτων, είναι πολύ μεγαλύτερη απ' εκείνη που αποθηκεύεται στα μόρια των προϊόντων με αποτέλεσμα να γίνεται απελευθέρωση ορισμένης ποσότητας ενέργειας. Κάθε βιοχημική αντίδραση που απελευθερώνει ενέργεια ονομάζεται **εξώθερμη αντίδραση**. Μέρος της ενέργειας που απελευθερώνεται χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιολογικού έργου μέσα στο κύτταρο, ενώ μέρος της είναι απλά θερμική ενέργεια και δε χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιολογικού έργου. Εξώθερμες αντιδράσεις είναι οι καταβολικές (υδρολύσεις των βιομορίων).



Εικόνα 3.8: Σχηματική παράσταση μιας εξώθερμης (α) και μιας ενδόθερμης (β) αντίδρασης

Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, σε ορισμένες χημικές αντιδράσεις, η χημική ενέργεια που αποθηκεύεται στα προϊόντα είναι μεγαλύτερη απ' εκείνη, που προϋπήρχε στα αντιδρώντα σώματα και γι' αυτό απαιτείται προσφορά ενέργειας. Κάθε χημική αντίδραση που για την επιτέλεσή της απαιτείται προσφορά ενέργειας ονομάζεται **ενδόθερμη αντίδραση**. Ενδόθερμες αντιδράσεις είναι οι αναβολικές, όπως οι βιοσυνθετικές ή αντιδράσεις συμπύκνωσης.



Εικόνα 3.9

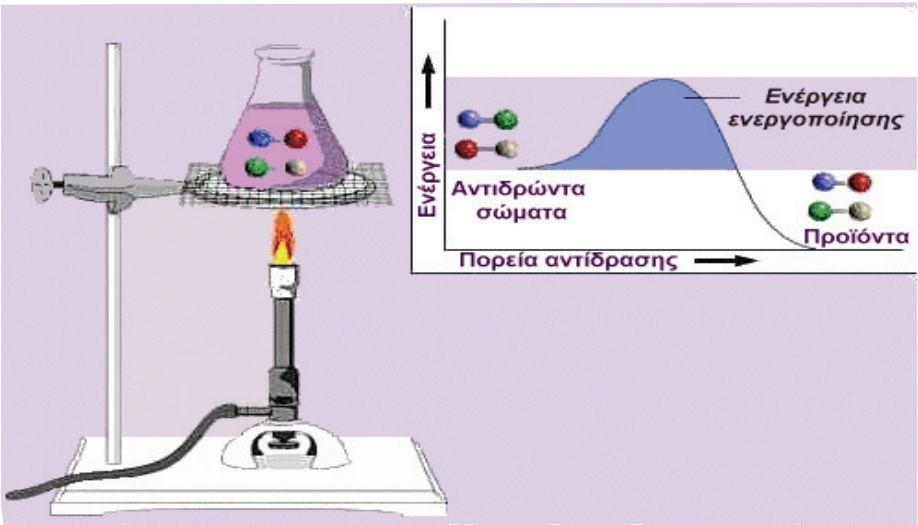
α) Στις ενδόθερμες χημικές αντιδράσεις η ενέργεια που εγγκλείουν τα προϊόντα είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια των αντιδρώντων σωμάτων και γι' αυτό πρέπει να προσφερθεί επιπλέον ενέργεια για να γίνει μια τέτοια αντίδραση

β) Στις εξώθερμες χημικές αντιδράσεις η ενέργεια που εγγκλείουν τα προϊόντα είναι μικρότερη από την ενέργεια των αντιδρώντων σωμάτων και γι' αυτό απελευθερώνεται ενέργεια, όταν γίνεται μια τέτοια αντίδραση

3.2 ENZYMA (βιολογικοί καταλύτες)

Στις χημικές αντιδράσεις, που γίνονται σε δοκιμαστικούς σωλήνες μέσα στα χημικά εργαστήρια, η ενέργεια ενεργοποίησης, που απαιτείται από τα αντιδρώντα σώματα, προσφέρεται υπό μορφή θερμικής ενέργειας. Ο χρόνος, όμως, που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας τέτοιας αντίδρασης είναι πολύ μεγάλος.

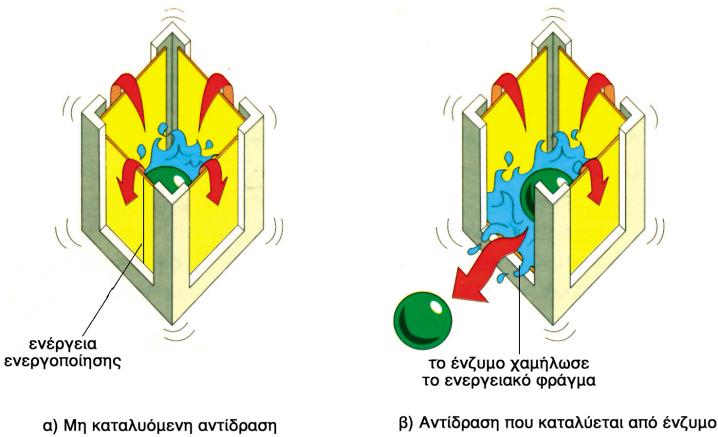
Στα κύτταρα η ενέργεια ενεργοποίησης για τις διάφορες χημικές αντιδράσεις δεν μπορεί να προσφέρεται υπό μορφή θερμότητας, διότι αυτά επιβιώνουν μόνο μέσα σε στενά πλαίσια θερμοκρασίας. Η υπερθέρμανση προκαλεί διάσπαση των δεσμών υδρογόνου και των άλλων ασθενών δεσμών των μακρομορίων των κυττάρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση της τρισδιάστατης στερεοχημικής δομής των μακρομορίων και το θάνατο των κυττάρων, όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει με τη μετουσίωση των πρωτεϊνών. Επιπρόσθετα, οι βιοχημικές αντιδράσεις μέσα στα κύτταρα πρέπει να γίνονται ταχύτατα, για να μπορούν αυτά να επιβιώνουν.



Εικόνα 3.10: Η απαιτούμενη ενέργεια ενεργοποίησης προσφέρεται στα αντιδρώντα σώματα μέσα στα χημικά εργαστήρια υπό μορφή θερμότητας

• Πώς, επομένως, πραγματοποιούνται οι χιλιάδες χημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού, χωρίς υπερθέρμανση των κυττάρων και μάλιστα με μεγάλες ταχύτητες;

Εικόνα 3.11: Μηχανικό ανάλογο της ενζυμικής δράσης. Η ενζυμική δράση αναπαρίσταται με την ελάττωση του τοιχώματος της δεξαμενής και το υπόστρωμα από την πράσινη μπάλα. Χωρίς την ενζυμική δράση (ελάττωση του ύψους του τοιχώματος) η αντίδραση είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί (η πράσινη μπάλα δεν μπορεί να εξέλθει από τη δεξαμενή).



Τα κύτταρα διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης για τις περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού τους. Με απλά λόγια, ο ενεργειακός φραγμός, που πρέπει να υπερπηδηθεί από τα αντιδρώντα μόρια χαμηλώνει αισθητά και γι' αυτό οι αντιδράσεις γίνονται μέσα σε όρια θερμοκρασίας, συμβατά με τη ζωή. Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται στη δράση ορισμένων χημικών ουσιών, που ονομάζονται **ένζυμα ή βιολογικοί καταλύτες**.

Τα ένζυμα ως προς τη χημική τους σύσταση είναι στη συντριπτική τους πλειοψηφία πρωτεΐνες σφαιρίνες (έχουν σφαιρικό σχήμα στην τριτοταγή δομή τους) και παράγονται μέσα στα κύτταρα, σύμφωνα με τις κωδικοποιημένες πληροφορίες του DNA, του κληρονομικού υλικού. Μικρός αριθμός ενζύμων αποτελείται από μόρια ριβοζονουκλεϊνικών οξέων και γι' αυτό ονομάζονται **ριβοένζυμα**.

Τα περισσότερα ένζυμα βρίσκονται στις μεμβράνες του ενδοπλασματικού δικτύου, των μιτοχονδρίων, των χλωροπλαστών και της συσκευής Golgi. Μικρός αριθμός ενζύμων δρα και στο εξωτερικό περιβάλλον των κυττάρων.

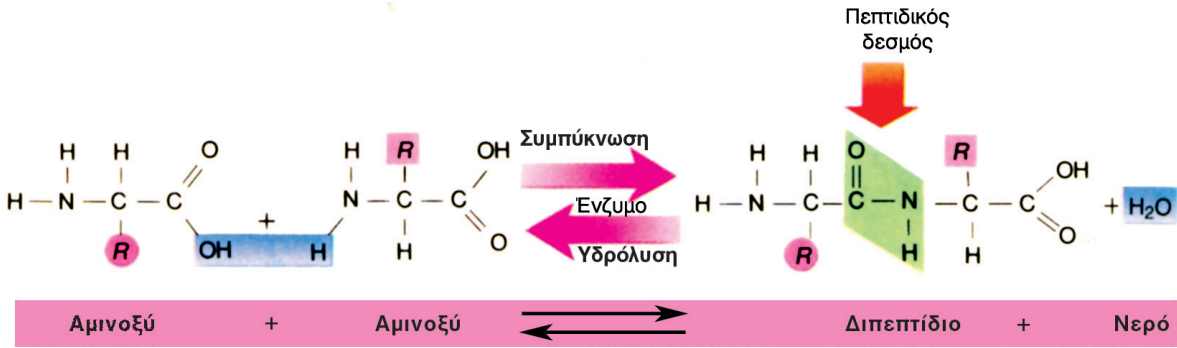


Τα ένζυμα παρουσιάζουν **εξειδίκευση** ως προς τις αντιδράσεις τις οποίες καταλύουν και διακρίνονται σε ένζυμα με χαμηλή, μέτρια και υψηλή εξειδίκευση. Ένζυμα με μέτρια εξειδίκευση είναι αυτά που καταλύουν περιορισμένο αριθμό αντιδράσεων. Τα ένζυμα με υψηλή εξειδίκευση καταλύουν μόνο μια αντίδραση.

Σε περιπτώσεις κατάλυσης αμφίδρομων αντιδράσεων τα ένζυμα εκδηλώνουν την ιδιότητα της **αντιστρεπτικότητας**, δηλαδή το ίδιο ένζυμο καταλύει την αντίδραση και προς τις δύο κατευθύνσεις, από τα αντιδρώντα σώματα προς τα προϊόντα και αντίστροφα.

Σε κάθε αντίδραση, που καταλύεται από ένζυμο, το αντιδρών ή τα αντιδρώντα σώματα ονομάζονται **υπόστρωμα**.

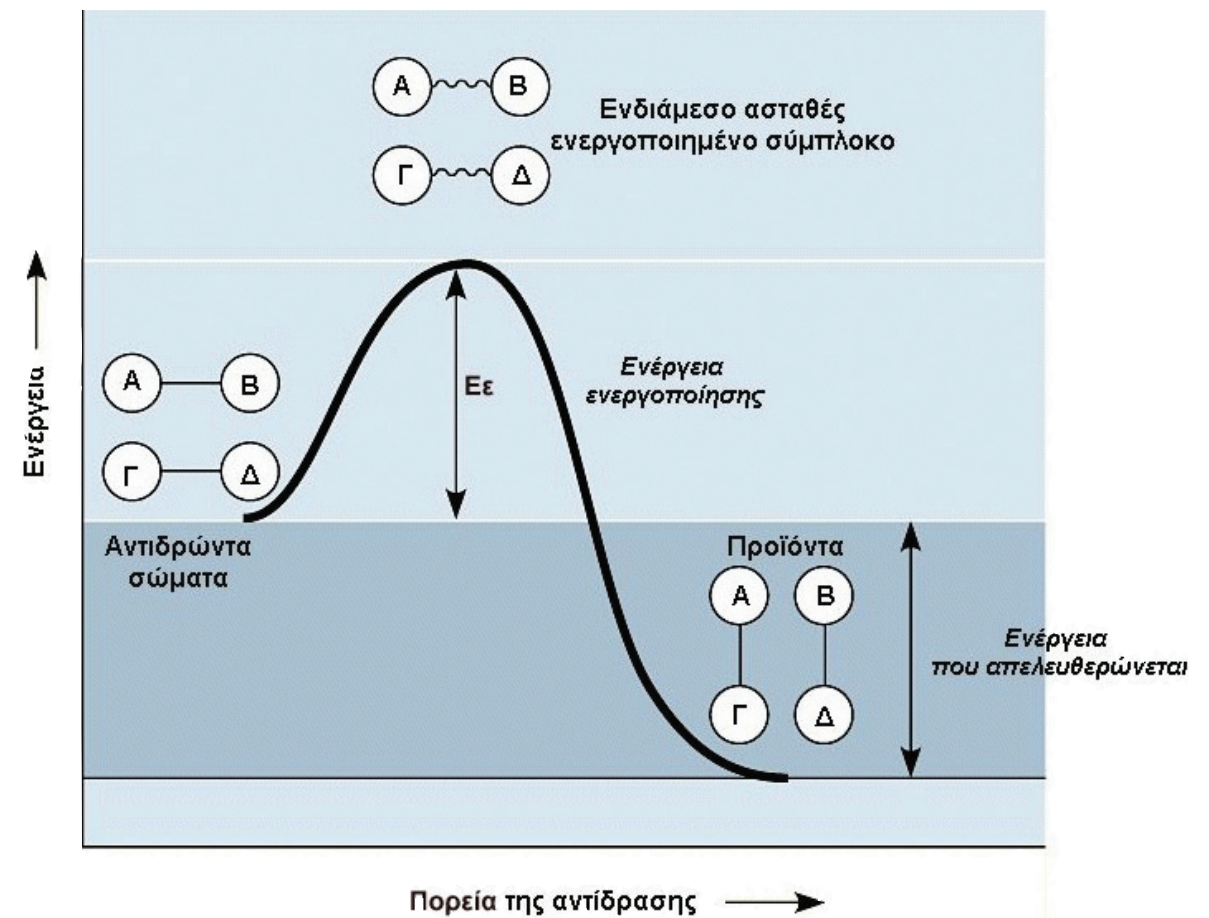
Εικόνα 3.12: Τα ένζυμα επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις διότι μειώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης των αντιδρώντων σωμάτων.



Ενότητα 3.13: Αμφίδρομη αντίδραση που καταλύεται από ένζυμο μέσα στα κύτταρα. Το ένζυμο στην περίπτωση αυτή παρουσιάζει αντιστρεπτικότητα

• Πώς όμως τα ένζυμα δρουν και μειώνουν την ενέργεια ενεργοποίησης;

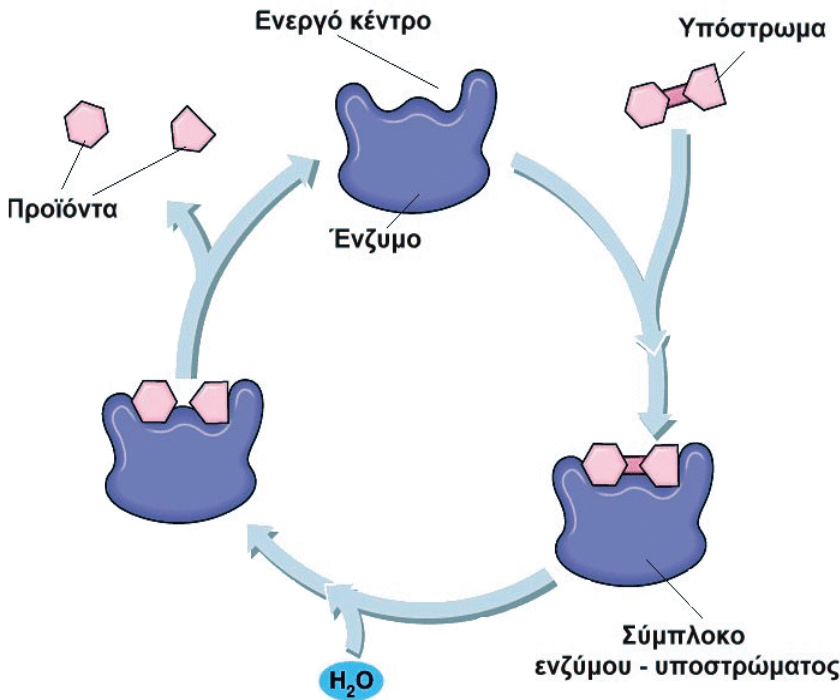
Όταν τα μόρια αντιδρούν για τη δημιουργία νέων μορίων, περνούν από μια ενδιάμεση ασταθή κατάσταση (ενδιάμεσο ενεργοποιημένο σύμπλοκο), κατά την οποία, σπάζουν μερικοί από τους χημικούς δεσμούς τους και δημιουργούνται νέοι.



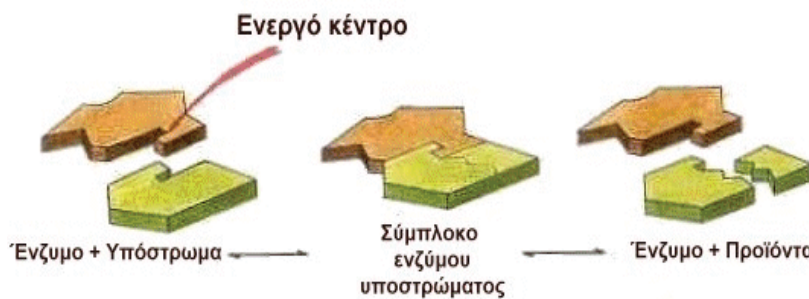
Εικόνα 3.14: Σχηματική παράσταση μιας εξώθερμης αντίδρασης

Το ενεργοποιημένο αυτό σύμπλοκο βρίσκεται σε ψηλότερο ενεργειακό επίπεδο, απ’ ότι τα μόρια του υποστρώματος ή τα μόρια των προϊόντων. Όσο πιο μεγάλη είναι αυτή η διαφορά των επιπέδων ενέργειας, τόσο πιο αργά επιτελείται η χημική αντίδραση. Εδώ υπεισέρχεται η δράση των ενζύμων, που ενώνονται προσωρινά με το υπόστρωμα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός προσωρινού **συμπλόκου ενζύμου-υποστρώματος** και την ταυτόχρονη μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης που απαιτείται για να γίνει η βιοχημική αντίδραση.

Η πρόσδεση του υποστρώματος στο ένζυμο δε γίνεται σε οποιανδήποτε τυχαία θέση του ενζυμικού μορίου, αλλά σε μια κατάλληλα διαμορφωμένη περιοχή, η οποία ονομάζεται **ενεργό κέντρο**. Το ενεργό κέντρο αποτελεί ένα μικρό τμήμα του ενζύμου και η πρόσδεση του υποστρώματος σ’ αυτό γίνεται με ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις του τύπου των δεσμών υδρογόνου. Το ενεργό κέντρο μπορούμε να το φανταστούμε σαν μια εσοχή, στην οποία ταιριάζει απόλυτα το υπόστρωμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ενεργό κέντρο διαμορφώνεται με τρόπο ώστε να αποκτά το συμπληρωματικό σχήμα του υποστρώματος, μετά την πρόσδεσή του με αυτό.



Εικόνα 3.15: Ο καταλυτικός κύκλος ενός ενζύμου. Το σχεδιάγραμμα παρουσιάζει το ένζυμο σακχαράση που καταλύει την υδρόλυση της σακχαρόζης σε γλυκόζη και φρουκτόζη

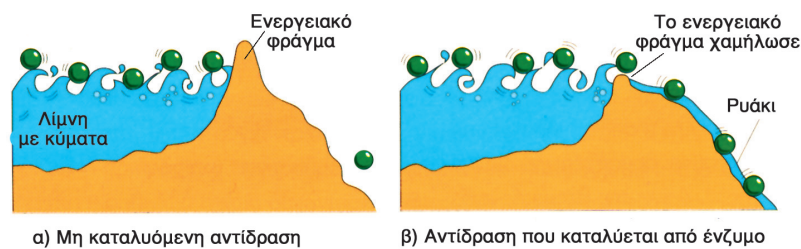


Εικόνα 3.16: Σχηματική παράσταση της δράσης ενός ενζύμου

Για να υπάρχει ενζυμική δράση, πρέπει να γίνει πλήρης εφαρμογή (αλληλοσυμπλήρωση) του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο και αυτό δικαιολογεί την εξειδίκευση ενός ενζύμου ως προς το υπόστρωμά του. Μετά το τέλος της αντίδρασης, το ένζυμο απελευθερώνεται αλώβητο από οποιαδήποτε χημική ή φυσική μεταβολή, ικανό να επαναλάβει την ίδια διεργασία χιλιάδες φορές, χωρίς αλλοίωση των τελικών προϊόντων. Γι' αυτό το λόγο τα ένζυμα απαντώνται μέσα στο κύτταρο σε πολύ μικρές ποσότητες. Για παράδειγμα, ένα απλό μόριο ουρεάσης που βρίσκεται στο σπλάκνι, μπορεί σ' ένα δευτερόλεπτο να υδrolύσει τόσα μόρια ουρίας, που, για να υδrolυθούν χωρίς την ενζυμική δράση, απαιτούνται τρία εκατομμύρια χρόνια.

• Πώς τα ένζυμα επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις;

Η μείωση της ενέργειας ενεργοποίησης, που προκαλούν τα ένζυμα, αυξάνει υπέρμετρα τον αριθμό των μορίων του υποστρώματος, που διαθέτουν την απαιτούμενη ενέργεια για να γίνει μια συγκεκριμένη βιοχημική αντίδραση. Επομένως, τεράστιος αριθμός μορίων υποστρώματος αντιδρά ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της βιοχημικής αντίδρασης.



Εικόνα 3.17: Μηχανικό ανάλογο της σχέσης μεταξύ της ενζυμικής δράσης και της ταχύτητας της αντίδρασης.

Όταν η αντίδραση δεν καταλύεται (υψηλό ενεργειακό φράγμα) πολύ λίγα μόρια (πράσινες μπάλες) έχουν την απαιτούμενη ενέργεια για να αντιδράσουν (υπερπηδήσουν το φράγμα) και η ταχύτητα της αντίδρασης είναι μικρή. Αν το ενεργειακό φράγμα χαμηλώσει (δράση ενζύμου) πολύ περισσότερα μόρια αντιδρούν (υπερπηδούν το φράγμα) με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης.

Χαρακτηριστικά των ενζύμων

Όλα τα ένζυμα έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά:

- Απαντώνται εντός και εκτός των κυττάρων, σε πολύ μικρές ποσότητες.
- Έχουν ενεργό κέντρο.
- Παρουσιάζουν εξειδίκευση.
- Επιταχύνουν τις βιοχημικές αντιδράσεις, μειώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης των υποστρωμάτων.
- Δεν αλλοιώνονται κατά τη διάρκεια της καταλυτικής τους δράσης.
- Δεν αλλοιώνουν τα τελικά προϊόντα ή την ισορροπία μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων σωμάτων μιας αντίδρασης.
- Δεν καταλύουν αντιδράσεις, που, ούτως ή άλλως, είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν.

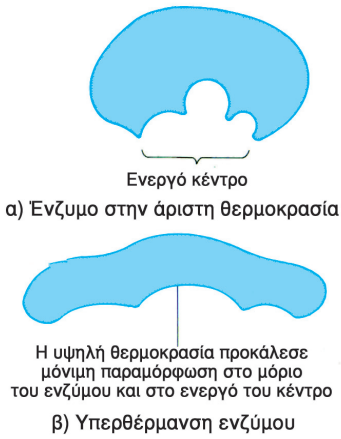
Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων

Οποιοσδήποτε χημικός ή φυσικός παράγοντας, που μπορεί να αλλάξει την τρισδιάστατη στερεοχημική (τριτοταγή ή τεταρτοταγή) δομή ενός ενζύμου, επηρεάζει άμεσα και την ικανότητά του για καταλυτική δράση. Η ενζυμική δράση επηρεάζεται επίσης και από άλλους φυσικοχημικούς παράγοντες που δεν αλλοιώνουν κατ' ανάγκη τη δομή του ενζύμου. Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων είναι:

- η θερμοκρασία
- το pH
- η συγκέντρωση του ενζύμου
- η συγκέντρωση του υποστρώματος

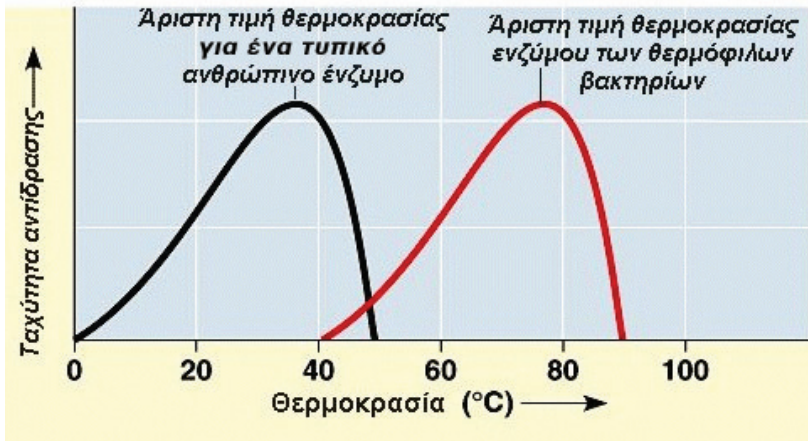
• Θερμοκρασία

Όλες οι χημικές αντιδράσεις επιταχύνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, λόγω της αύξησης της κινητικής ενέργειας των μορίων των αντιδρώντων σωμάτων και των αυξημένων συγκρούσεων μεταξύ των μορίων. Στα κύτταρα, η αύξηση της θερμοκρασίας, μέσα σε στενά πλαίσια, προκαλεί επίσης επιτάχυνση των βιοχημικών αντιδράσεων, που καταλύονται από ένζυμα. Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας, πέραν ορισμένου ορίου, προκαλεί αλλαγές στη στερεοχημική δομή των ενζύμων και αλλαγές στο ενεργό τους κέντρο. Οι αλλαγές οφείλονται στη διάσπαση των χαλαρών δεσμών υδρογόνου και των άλλων ασθενών δεσμών, που υπάρχουν στα μόριά τους.



Εικόνα 3.18: Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στα ένζυμα

Για κάθε ένζυμο υπάρχει μια άριστη τιμή θερμοκρασίας στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης που καταλύει γίνεται μέγιστη. Κάτω απ' αυτή την άριστη τιμή, οι δεσμοί υδρογόνου και οι άλλες υδρόφοβες συνδέσεις, που διαμορφώνουν τη στερεοχημική δομή του ενζύμου, δεν έχουν την απαιτούμενη ευελιξία για προσαρμογή του ενεργού κέντρου στο υπόστρωμα. Πάνω από την άριστη τιμή, οι δεσμοί και οι συνδέσεις χαλαρώνουν, το σχήμα του ενεργού κέντρου αλλάζει και το ένζυμο καθίσταται ανενεργό. Υπέρμετρη αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μετουσίωση των ενζύμων, δηλαδή καταστροφή της τρισδιάστατης δομής τους και απώλεια της λειτουργικότητάς τους, επειδή σπάζουν οι χημικοί δεσμοί μεταξύ των πλευρικών ομάδων των αμινοξέων της πρωτεΐνης-ενζύμου.



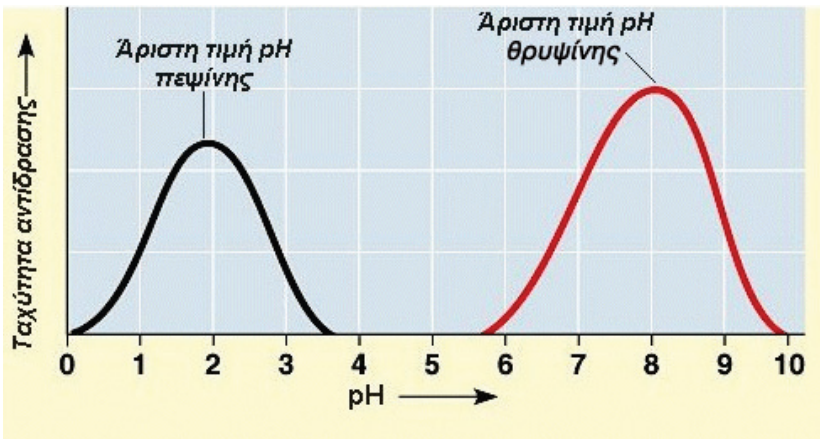
Εικόνα 3.19: Η επίδραση της θερμοκρασίας στην ενζυμική δράση

Τα περισσότερα από τα ένζυμα του ανθρώπινου σώματος έχουν άριστη τιμή θερμοκρασίας μεταξύ 35° και 40° C, πλαίσια που συμπεριλαμβάνουν την κανονική θερμοκρασία του σώματος. Τα βακτήρια που ζουν στις θερμές πηγές έχουν πιο ανθεκτικά ένζυμα και έτσι η άριστη τιμή θερμοκρασίας φθάνει τους 70° C.

• Το pH

Μικρές αλλαγές στο pH του πρωτοπλάσματος προκαλούν δραματικές αλλαγές στην ικανότητα των ενζύμων για καταλυτική δράση. Η δευτεροταγής και τριτοταγής δομή των ενζύμων διατηρείται, λόγω δεσμών μεταξύ των αμινομάδων και των καρβοξυλομάδων των πολυπεπτιδικών αλυσίδων, που υπάρχουν στο μόριό τους. Αυτοί οι δεσμοί είναι πολύ ευαίσθητοι στις συγκεντρώσεις ιόντων H^+ που καθορίζουν το pH. Τα αρνητικά φορτισμένα αμινοξέα των πολυπεπτιδικών αλυσίδων ενώνονται με τα θετικά υδρογονοϊόντα (H^+) και έτσι σπάζουν οι δεσμοί μεταξύ των αμινοξέων των πλευρικών ομάδων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε αλλαγή της στερεοχημικής μορφής του ενεργού κέντρου του ενζύμου. Το ένζυμο αδυνατεί πια να προσαρμοστεί πλήρως με το υπόστρωμα και καθίσταται ανενεργό.

Τα περισσότερα ένζυμα δρουν σε περιβάλλον με pH 6.5 – 8.5. Παρ' όλα αυτά, ορισμένα ένζυμα μπορούν να διατηρούνται ανέπαφα και να παρουσιάζουν καταλυτική δράση και σε μεγάλες συγκεντρώσεις υδρογονοϊόντων (H^+).



Εικόνα 3.20: Η επίδραση του pH στην ενζυμική δράση

Κάθε ένζυμο παρουσιάζει την καλύτερη δραστηριότητα, σε μια χαρακτηριστική άριστη τιμή του pH. Έτσι η άριστη τιμή pH για την πεψίνη, που δρα στο όξινο περιβάλλον του στομάχου, είναι γύρω στο 2, ενώ για την θρυψίνη, που δρα στο έντερο του ανθρώπου, είναι γύρω στο 8.

• Η συγκέντρωση του ενζύμου

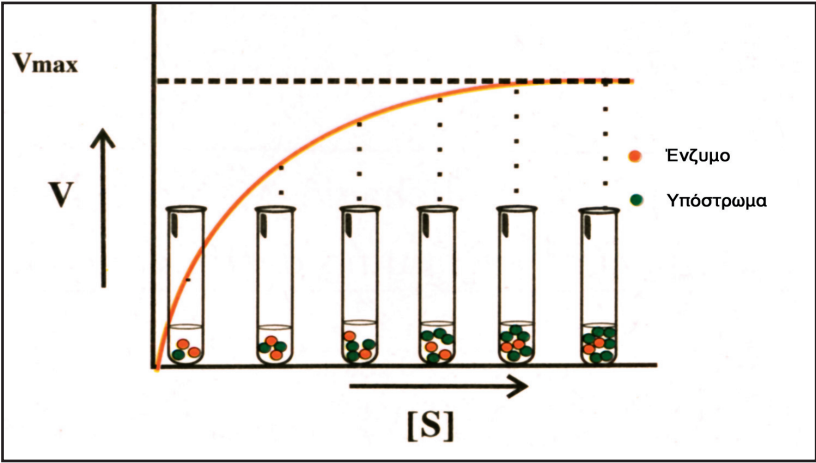
Η συγκέντρωση των μορίων ενός ενζύμου, κατά τη διάρκεια μιας τυπικής βιοχημικής αντίδρασης εντός του πρωτοπλάσματος, είναι περίπου εκατό χιλιάδες φορές μικρότερη από τη συγκέντρωση των μορίων του υποστρώματος. Κατά συνέπεια, οποιαδήποτε αύξηση στη συγκέντρωση του ενζύμου συνεπάγεται και αύξηση της ενζυμικής δράσης, αν όλοι οι άλλοι παράγοντες (συγκέντρωση του υποστρώματος, θερμοκρασία και pH του πρωτοπλάσματος) διατηρηθούν αμετάβλητοι.

• Η συγκέντρωση του υποστρώματος

Κατά τη διάρκεια εργαστηριακών πειραμάτων, παρατηρήθηκε ότι αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος δημιουργεί αύξηση στην ταχύτητα μιας βιοχημικής αντίδρασης που ήταν κάτω από τη δράση ενζύμου. Πέραν, όμως, ενός σημείου και παρ' όλη τη συνεχή αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος, δεν παρατηρήθηκε οποιαδήποτε μεταβολή στην ταχύτητα της αντίδρασης. Αντίστοιχα φαινόμενα παρατηρούνται και στην ενζυμική δράση μέσα στα κύτταρα.

Οι εργαστηριακές αυτές διαπιστώσεις ερμηνεύονται ως εξής: Με την αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος, τα ενεργά κέντρα των μορίων του ενζύμου, που ήταν διαθέσιμα προς πλήρωση, άρχισαν να σχηματίζουν σύμπλοκα ενζύμου - υποστρώματος, με αυξανόμενο ρυθμό μέχρι του σημείου, στο οποίο η συνεχής προσφορά μορίων του υποστρώματος προκάλεσε κορεσμό σ' όλα τα μόρια του ενζύμου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της αντίδρασης μέχρι του σημείου κορεσμού.

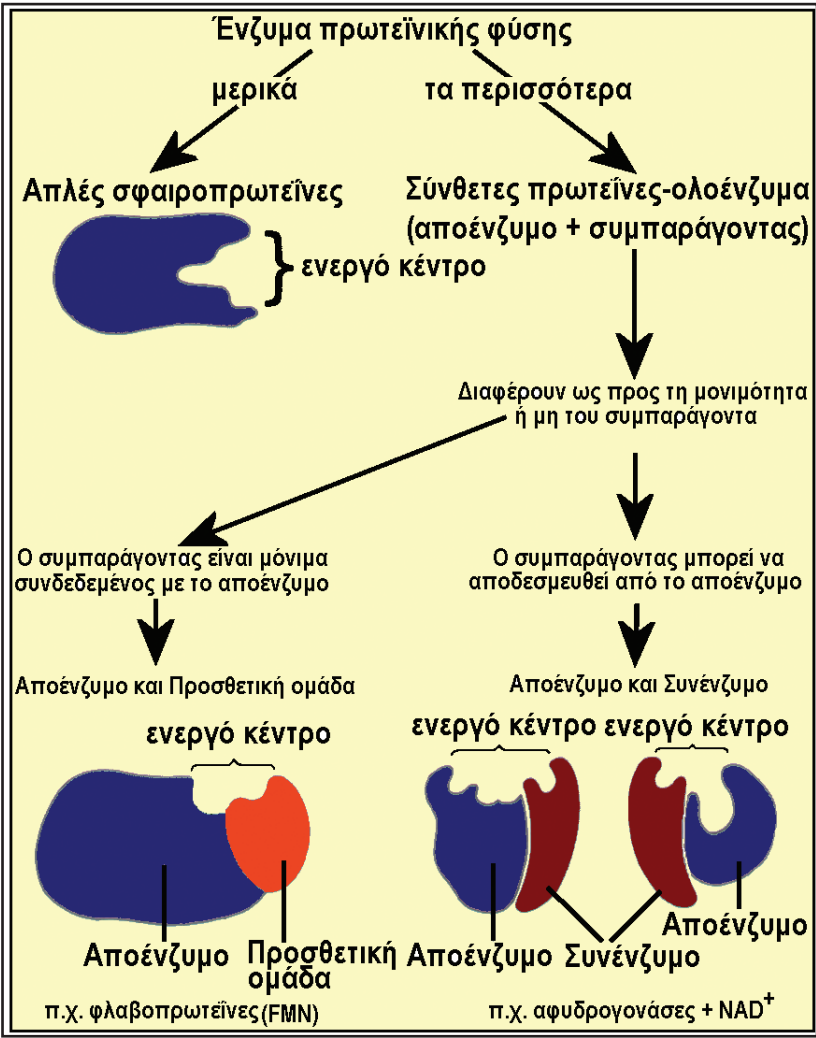
Στο στάδιο αυτό, το ένζυμο αποδίδει το μέγιστο της καταλυτικής του ισχύος και η ταχύτητα παίρνει τη μέγιστη τιμή. Περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί, γιατί απλά, όλα τα ενεργά κέντρα των μορίων του ενζύμου είναι ανά πάσα στιγμή, κατειλημμένα από μόρια υποστρώματος.



Εικόνα 3.21: Η ταχύτητα της ενζυμικής αντίδρασης (V) αυξάνει με την αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος (S). Όμως, πέραν από ένα όριο συγκέντρωσης υποστρώματος η ταχύτητα παραμένει σταθερή και ίση με τη μέγιστη τιμή Vmax.

• Δομή των ενζύμων

Τα περισσότερα από τα ένζυμα πρωτεϊνικής φύσης, δεν αποτελούνται μόνο από σφαιροπρωτεΐνες, αλλά ενώνονται με άλλα μη πρωτεϊνικά μόρια, που καλούνται **συμπαράγοντες**. Μόνο κάτω απ’ αυτή την τεταρτοταγή μορφή μπορούν να έχουν ενζυμική δράση. Το πρωτεϊνικό τμήμα του ενζύμου ονομάζεται **αποένζυμο** και μαζί με το **συμπαράγοντα** συνιστούν το **ολοένζυμο**.

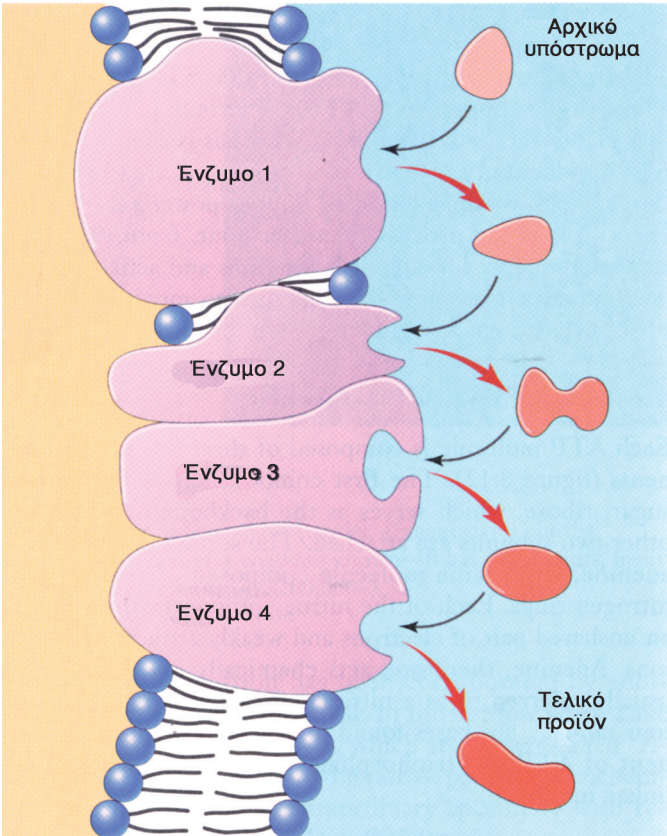


Εικόνα 3.22: Διάγραμμα που παρουσιάζει τη δομή και τα είδη των ενζύμων

Αν ο συμπαράγοντας ενός ολοενζύμου παραμένει μόνιμα συνδεδεμένος με το αποένζυμο, καλείται **προσθετική ομάδα**. Για παράδειγμα η αίμη, ένα μη πρωτεϊνικό μόριο, που συναντάται στο μόριο της αιμοσφαιρίνης και του κυτταροχρώματος, αποτελεί την προσθετική ομάδα για το ένζυμο καταλάση.

Αν ο συμπαράγοντας ενός ολοενζύμου όμως, αποχωρίζεται συχνά από το αποένζυμο και λαμβάνει μέρος σε αντιδράσεις, συνδεδεμένος με δυο ή τρία άλλα αποένζυμα, τότε ονομάζεται **συνένζυμο**. Γνωστά συνένζυμα είναι τα NAD⁺ (νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο), NADP⁺ (φωσφορικό νικοτιναμιδο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο) και FAD (φλαβινο-αδενινο-δινουκλεοτίδιο). Οι περισσότερες βιταμίνες επίσης, αποτελούν τμήματα συνενζύμων.

Ως συνένζυμα δρουν και ορισμένα μεταλλικά ιόντα, που συνενώνονται με τα ενεργά κέντρα ορισμένων αποενζύμων και χρησιμεύουν για τη δέσμευση ηλεκτρονίων από τα υποστρώματα. Για παράδειγμα, τα ιόντα Zn⁺⁺, αποτελούν συνένζυμο στο μόριο της καρβοξυτεπτιδάσης, ενζύμου του πεπτικού συστήματος, που υδρολύει τα πεπτίδια στο καρβοξυλικό τους άκρο.

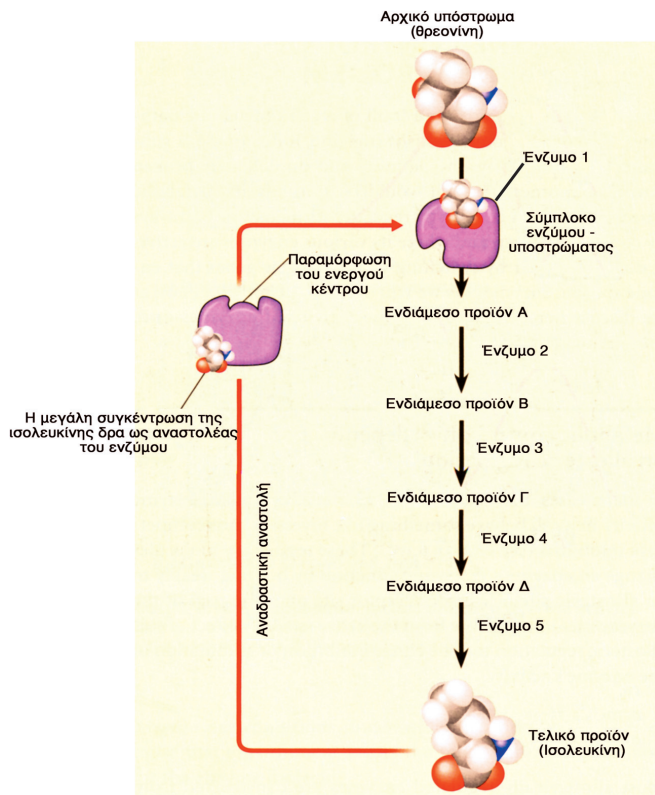


Εικόνα 3.23: Μεταβολική οδός

• **Μεταβολικές οδοί και ένζυμα**

Οι περισσότερες βιοχημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού αποτελούν τους κρίκους μιας αλυσίδας αντιδράσεων, όπου το προϊόν της πρώτης αντίδρασης αποτελεί υπόστρωμα για την επόμενη κ.ο.κ. Για παράδειγμα, η αποικοδόμηση της γλυκόζης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό γίνεται μέσω μιας εκτεταμένης σειράς βιοχημικών αντιδράσεων, που αρχίζουν από το κυτταρόπλασμα και ολοκληρώνονται στο μιτοχόνδριο. Μια τέτοια πολύπλοκη σειρά βιοχημικών αντιδράσεων ονομάζεται **μεταβολική οδός**. Οι μεταβολικές οδοί είναι δυνατό να αποτελούν τμήμα του αναβολισμού ή του καταβολισμού, οπότε χαρακτηρίζονται **αναβολικές** ή **καταβολικές οδοί** αντίστοιχα.

Τα ένζυμα παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτέλεση των μεταβολικών οδών, διότι ελέγχουν και καθορίζουν τη σειρά με την οποία γίνονται οι αντιδράσεις, συγκρατώντας τα προϊόντα των προηγούμενων αντιδράσεων κοντά το ένα στο άλλο, ώστε να λάβουν μέρος στην επόμενη αντίδραση και ούτω καθεξής. Σε μια μεταβολική οδό η συσσώρευση του τελικού προϊόντος μπορεί να προκαλέσει αναστολή στη δράση του αρχικού ενζύμου.

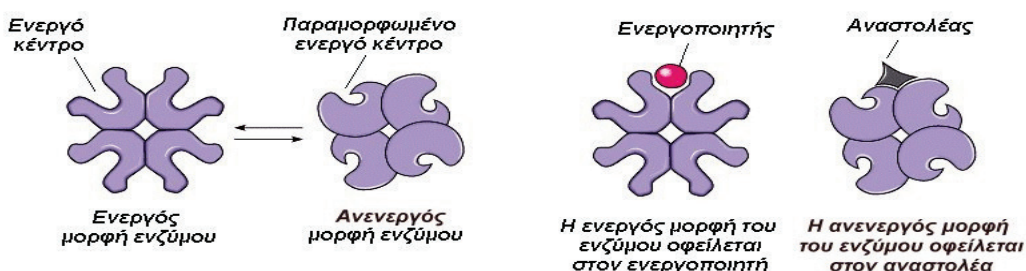


Εικόνα 3.24: Μεταβολική οδός και αναδραστική αναστολή ενζύμων. Οι μεταβολικές οδοί λειτουργούν σε ομάδες με αποτέλεσμα το προϊόν της πρώτης ενζυμικής αντίδρασης να αποτελεί το υπόστρωμα για την επόμενη κ.ο.κ. Στην πιο πάνω μεταβολική οδό η συσσώρευση της ισολευκίνης προκάλεσε αναστολή της δράσης του αρχικού ενζύμου.

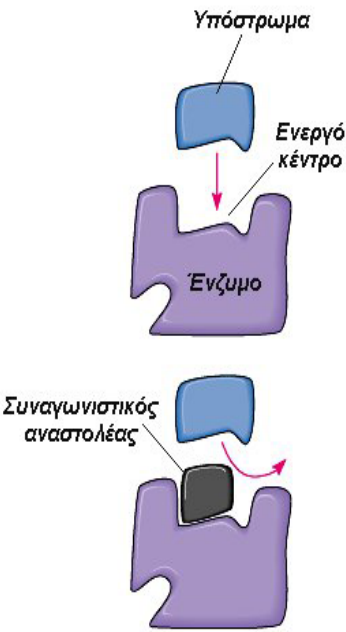
• Έλεγχος της δράσης των ενζύμων

Οι διάφορες λειτουργίες των οργανισμών ελέγχονται και συντονίζονται μέσω ρυθμιστικών μηχανισμών. Οι μηχανισμοί αυτοί βασίζονται στη δράση τους στην επιτέλεση συγκεκριμένων αντιδράσεων, που καταλύονται από ένζυμα. Γι' αυτό, ο έλεγχος και η ρύθμιση της δράσης της κάθε λειτουργίας πραγματοποιείται, ουσιαστικά, με τη ρύθμιση της δράσης των ενζύμων, από τα οποία οι αντιδράσεις εξαρτώνται άμεσα.

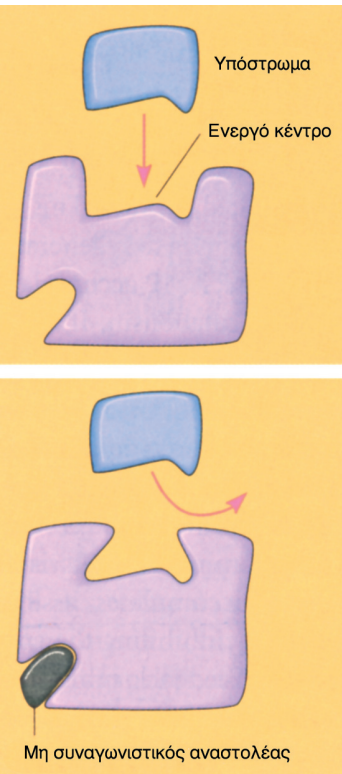
Η δράση των ενζύμων μπορεί να αρχίσει ή να ανασταλεί από διάφορες χημικές ουσίες, που άλλες παράγονται μέσα στα κύτταρα και άλλες προσλαμβάνονται από το εξωτερικό περιβάλλον. Χημικές ουσίες, που ενώνονται μαζί με τα ένζυμα και επιτυγχάνουν τη δραστηριοποίησή τους, διαμορφώνοντας το ενεργό τους κέντρο για να μπορεί να δεχθεί το υπόστρωμα, ονομάζονται **ενεργοποιητές**. Αντίθετα, χημικές ουσίες που ενώνονται με τα ένζυμα και προκαλούν σ' αυτά τέτοιες αλλαγές που αναστέλλουν τη δράση τους, ονομάζονται **αναστολείς**. Με την παρουσία των ενεργοποιητών και των αναστολέων, τα κύτταρα μπορούν να ελέγχουν ποια ένζυμα πρέπει να μείνουν ενεργά και ποια αδρανή, σε κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 3.25: Η δράση των ενεργοποιητών και των αναστολέων των ενζύμων



Εικόνα 3.26: Η δράση ενός συναγωνιστικού αναστολέα. Ο αναστολέας μιμείται τη μορφή του υποστρώματος και καταλαμβάνει το ενεργό κέντρο του ενζύμου



Εικόνα 3.27: Η δράση ενός μη συναγωνιστικού αναστολέα. Ο μη συναγωνιστικός αναστολέας προσδένεται σε περιοχή πέραν του ενεργού κέντρου και προκαλεί παραμόρφωση του ενζύμου και του ενεργού κέντρου. Έτσι το ένζυμο καθίσταται ανενεργό.

Αναστολείς Ενζύμων

Αν η αναστολή στη δράση των ενζύμων είναι μόνιμη, τότε οι χημικές ουσίες που την προκαλούν ονομάζονται **μόνιμοι αναστολείς** (μη αντιστρεπτοί), ενώ, αν η αναστολή είναι παροδική (αντιστρεπτή), οι αντίστοιχες χημικές ουσίες ονομάζονται **αντιστρεπτοί αναστολείς**.

Μόνιμοι αναστολείς

Στην περίπτωση που η δράση του αναστολέα είναι μόνιμη, παρατηρείται καταστροφή της καταλυτικής ικανότητας του ενζύμου, λόγω της σύνδεσης του αναστολέα στο ενεργό κέντρο του ενζύμου με ομοιοπολικό δεσμό. Ακόμη και αν αφαιρεθεί ο αναστολέας, το ένζυμο δεν είναι σε θέση να επανακτήσει την καταλυτική του ικανότητα. Οι μόνιμοι αναστολείς μπορούν να δράσουν ακόμη και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις, γι' αυτό ονομάζονται και δηλητήρια. Μόνιμοι αναστολείς θεωρούνται τα ιόντα των βαρέων μετάλλων, όπως του υδραργύρου και του μολύβδου, πολλά από τα αντιβιοτικά φάρμακα όπως η πενικιλίνη, οι ενώσεις κυανίου και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Οι ενώσεις κυανίου είναι δηλητήρια, γιατί τα ιόντα κυανίου (CN^-) είναι μόνιμοι αναστολείς της κυτταροχρωμικής οξειδάσης, ενός βασικού ενζύμου της κυτταρικής αερόβιας αναπνοής. Όταν η δράση της κυτταροχρωμικής οξειδάσης ανασταλεί μόνιμα, τότε καθίσταται αδύνατη, η μεταφορά ηλεκτρονίων από το υπόστρωμα στο οξυγόνο και ο άνθρωπος πεθαίνει. Τα νευροπαραλυτικά αέρια, επίσης, είναι μόνιμοι αναστολείς του ενζύμου ακετυλοχολινεστεράση, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των νευρών και των μυών.

Αντιστρεπτοί αναστολείς

Οι αναστολείς αυτοί σχηματίζουν ασθενείς δεσμούς με τα ένζυμα. Γι' αυτό, όταν ο αναστολέας αφαιρεθεί από το ένζυμο, αυτό έχει τη δυνατότητα να ανακτήσει την καταλυτική του ικανότητα. Υπάρχουν δύο τύποι αντιστρεπτών αναστολέων, οι συναγωνιστικοί και μη συναγωνιστικοί.

Συναγωνιστικοί αντιστρεπτοί αναστολείς

Οι πιο πάνω αναστολείς είναι χημικές ενώσεις με μόρια, που έχουν στερεοχημικές ομοιότητες με τα μόρια των υποστρωμάτων των ενζύμων.

Έτσι, όταν οι αναστολείς αυτοί είναι παρόντες, κατά τη διάρκεια μιας βιοχημικής αντίδρασης, τα μόριά τους προσφύονται στα ενεργά κέντρα των μορίων του ενζύμου, ξεγελώντας τα κατά κάποιο τρόπο και εμποδίζοντας έτσι το σχηματισμό συμπλόκου ενζύμου-υποστρώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας της αντίδρασης που καταλύεται από το συγκεκριμένο ένζυμο. Οι αναστολείς αυτοί ονομάζονται συναγωνιστικοί, γιατί τα μόριά τους και τα μόρια του υποστρώματος, συναγωνίζονται για την κατάληψη των ενεργών κέντρων των ενζύμων.

Η έκταση της συναγωνιστικής αναστολής εξαρτάται από:

- τις σχετικές συγκεντρώσεις του αναστολέα και του υποστρώματος
- από το βαθμό χημικής συγγένειας του ενζύμου, ως προς το υπόστρωμα και ως προς τον αναστολέα.

Παράδειγμα συναγωνιστικού αντιστρεπτού αναστολέα αποτελεί το οξυγόνο, που αναστέλλει τη δράση της καρβοξυδιασποράσης με αποτέλεσμα να μη γίνεται κατορθωτή η δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από τη διφωσφορική ριβουλόζη κατά τη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης.

Μη συναγωνιστικοί αντιστρεπτοί αναστολείς

Οι πιο πάνω αναστολείς προσδένονται σε περιοχή διαφορετική, απ' εκείνη του ενεργού κέντρου του ενζύμου, διαταράσσοντας και τροποποιώντας έτσι τη στερεοχημική δομή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραμόρφωση του ενεργού κέντρου και την αδυναμία του να δεσμεύει μόρια του υποστρώματος αποτελεσματικά. Η έκταση της μη συναγωνιστικής αναστολής εξαρτάται:

- από τη συγκέντρωση του αναστολέα
- από το βαθμό χημικής συγγένειάς του, με το ένζυμο.

Ταξινόμηση και ονοματολογία των ενζύμων

Έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς διάφοροι τρόποι ονοματολογίας των ενζύμων, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ένζυμα με ονόματα που βασίζονται:

- στην αυθαίρετη ονομασία που τους εδόθη τη στιγμή της ανακάλυψής τους, π.χ. πεψίνη, θρυψίνη, πτυαλίνη.
- στις ιδιότητες των προϊόντων που σχηματίζονται από την καταλυτική τους δράση, π.χ. σακχαράση.
- στη ρίζα του ονόματος του υποστρώματος με τη κατάληξη –αση, π.χ. ουρεάση.
- στο είδος της βιοχημικής αντίδρασης που καταλύουν, π.χ. αφυδρογονάση.

Η Διεθνής Ένωση Βιοχημείας κατέταξε τα ένζυμα σε έξι μεγάλες κατηγορίες:

- **Οξειδοαναγωγάσες** είναι ένζυμα που καταλύουν την οξείδωση ή την αναγωγή του υποστρώματος.
- **Τρανσφεράσες** είναι ένζυμα που καταλύουν τη μεταφορά ομάδων από μια ένωση σε μια άλλη.
- **Υδρολάσες** είναι ένζυμα που διασπούν υδρολυτικά μια σειρά από δεσμούς.
- **Λυάσες** είναι ένζυμα που καταλύουν αντιδράσεις στις οποίες απομακρύνεται νερό, αμμωνία ή διοξειδίο του άνθρακα.
- **Ισομεράσες** είναι ένζυμα που καταλύουν αντιδράσεις ισομερίωσης π.χ. μετατροπή αλδόζης σε κετόζη.
- **Λιγάσες** είναι ένζυμα που καταλύουν τη σύνθεση ουσιών από απλούστερα μόρια.

Για τον πληρέστερο προσδιορισμό ενός ενζύμου, εκτός από το όνομα της κατηγορίας που ανήκει το ένζυμο, αναφέρεται και το όνομα του υποστρώματος στο οποίο επιδρά, π.χ. γαλακτική αφυδρογονάση.

Χρήσεις των ενζύμων στην καθημερινή ζωή.

Τα ένζυμα λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα στις πρακτικές εφαρμογές της Βιοχημείας, της Βιοτεχνολογίας και της Βιοϊατρικής. Η συνεχής ανακάλυψη νέων ενζύμων και η χρησιμοποίησή τους στη βιομηχανία βελτιώνουν την ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

Στον πιο κάτω πίνακα ενδεικτικά αναφέρονται μερικές από τις χρήσεις των ενζύμων στη βιομηχανία.

Πίνακας 3.1 Χρήσεις των ενζύμων

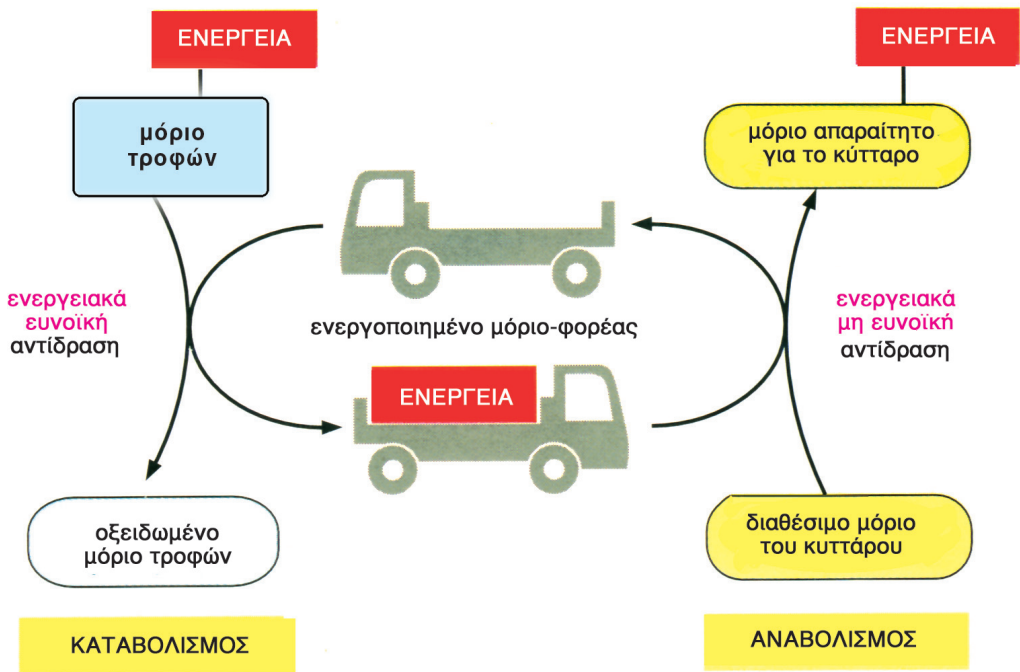
Βιομηχανία	Ένζυμα	Χρήσεις
Απορρυπαντικών	Πρωτεάσες από βακτήρια	Απομάκρυνση λεκέδων
Αρτοποιία	Πρωτεάσες	Παρασκευή μπισκότων
Γαλακτοβιομηχανία	Λιπάσες	Ωρίμανση τυριών
Ζυθοποιία	Ένζυμα από κριθάρι	Παραγωγή μπύρας
Χάρτου	Αμυλάση	Παραγωγή χαρτιού περιτυλίγματος
Ζαχαροπλαστική	Ιμβερετάση	Παραγωγή σιροπιού σοκολάτας
Οπτικών ειδών	Καταλάση	Διαλύματα καθαρισμού φακών επαφής

3.3 Η ΤΡΙΦΩΣΦΟΡΙΚΗ ΑΔΕΝΟΣΙΝΗ (ΑΤΡ)

Ζωή και ενέργεια είναι έννοιες απόλυτα συνδεδεμένες. Η επιβίωση κάθε μορφής ζωής εξαρτάται άμεσα από την ενέργεια. Τα κύτταρα πρέπει να επιβιώνουν, να αναπτύσσονται, να αναπαράγονται και να αναπληρώνουν τα κατεστραμμένα συστατικά τους. Για την επιτέλεση όλων αυτών των λειτουργιών το κύτταρο πρέπει να εκτελεί τρία κύρια είδη έργου :

- **μηχανικό έργο**, όπως η μυϊκή συστολή ή η κίνηση των χρωματισμάτων κατά την κυτταρική διαίρεση
- **μεταφορικό έργο**, όπως η ενεργειακή μεταφορά ουσιών από τις πρωτεϊνικές αντλίες των κυτταρικών μεμβρανών
- **χημικό έργο**, όπως η επιτέλεση των βιοχημικών αντιδράσεων του μεταβολισμού.

Σ’ όλες τις πιο πάνω περιπτώσεις παραγωγής έργου, η διάθεση ενέργειας στο κύτταρο είναι απαραίτητη. Η ενέργεια που απαιτείται, βρίσκεται αποθηκευμένη, υπό μορφή χημικής ενέργειας, στα μεγάλα και μικρά βιομόρια των κυττάρων, όπως οι υδατάνθρακες και τα λίπη.



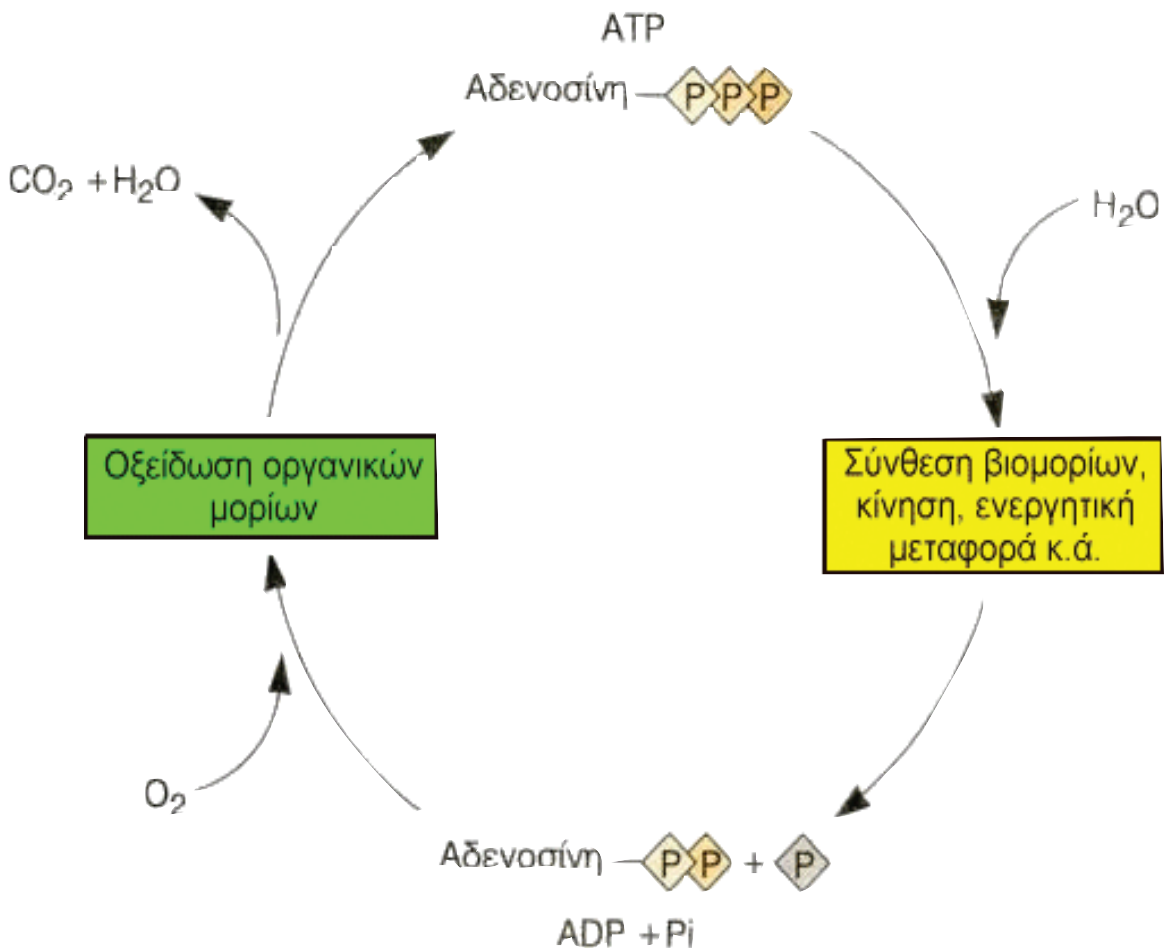
Εικόνα 3.28: Το σχεδιάγραμμα απεικονίζει παραστατικά δύο συζευγμένες βιοχημικές αντιδράσεις, μια καταβολική, που αποδίδει ενέργεια και μια αναβολική, που δεσμεύει ενέργεια. Το μεταφορικό όχημα της ενέργειας, μεταξύ των δύο αντιδράσεων, είναι η ΑΤΡ.

Για την επιτέλεση του χημικού έργου, όλα ανεξαιρέτα τα κύτταρα ικανοποιούν τις ενεργειακές ανάγκες των αναβολικών τους οδών, από την ενέργεια που απελευθερώνεται από τις καταβολικές τους οδούς. Έτσι, οι αναβολικές και οι καταβολικές οδοί δεν αποτελούν απομονωμένα τμήματα του μεταβολισμού, αλλά τμήματα που αλληλεξαρτώνται και αλληλοεπηρεάζονται. Οι βιοχημικές αντιδράσεις αυτού του είδους, που ενεργειακά η μια εξαρτάται από την άλλη και γίνονται ταυτόχρονα, ονομάζονται **συζευγμένες αντιδράσεις**. Όταν επιτελείται μια εξώθερμη αντί-

δραση σ' ένα κύτταρο, ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας που αποδίδεται μετατρέπεται σε θερμότητα και διαφεύγει στο περιβάλλον, ενώ το υπόλοιπο που ελευθερώνεται χρησιμοποιείται για την επιτέλεση μιας ενδόθερμης αντίδρασης. Η μεταφορά αυτής της ενέργειας, που απελευθερώνεται (**ελεύθερη ενέργεια**), από το σημείο αποδέσμευσής της μέχρι το σημείο επαναδέσμευσής της, επιτυγχάνεται με ένα μικρό σχετικά μόριο, την **ATP** (τριφωσφορική αδενοσίνη) που αποτελεί κατά κάποιον τρόπο, το «όχημα» μεταφοράς της ενέργειας στο κύτταρο.

Η ATP αποτελεί, επίσης, την άμεση ενεργειακή πηγή για την επιτέλεση του μηχανικού και του μεταφορικού έργου στα κύτταρα.

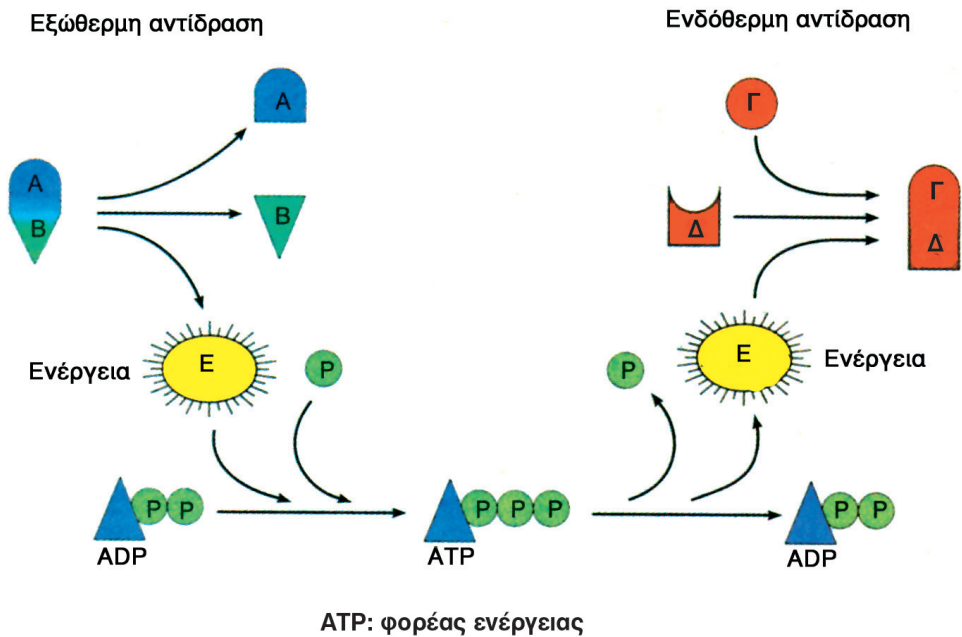
Οι **φωτοαυτότροφοι** οργανισμοί προσλαμβάνουν την ενέργεια από τον ήλιο, με τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, οι **χημειοαυτότροφοι**, από την οξείδωση ανοργάνων αλάτων, ενώ οι ετερότροφοι, την προμηθεύονται από τη διάσπαση των οργανικών ουσιών των τροφών. Η ενέργεια που προσλαμβάνεται με τους πιο πάνω τρόπους, για να είναι εκμεταλλεύσιμη από τους οργανισμούς, πρέπει να αποθηκευθεί προσωρινά, στα μόρια της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP).



Εικόνα 3.29: Η ATP θεωρείται ως το ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου

Η ATP χαρακτηρίζεται δικαιολογημένα, ότι αποτελεί το **ενεργειακό νόμισμα του κυττάρου**, γιατί είναι ο βασικός και άμεσος, χορηγός ενέργειας στο κύτταρο. Το μόριο της ATP αποθηκεύει μέσα στους χημικούς δεσμούς του, μικρά ποσά ενέργειας, για πολύ μικρά χρονικά διαστήματα

και γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως νόμισμα, που είναι μονάδα μικρής αγοραστικής αξίας και ξοδεύεται εύκολα. Όπως ένας εργαζόμενος άνθρωπος παράγει έργο και αμείβεται με χρήματα για την εργασία του, ως εάν η ενέργεια που κατανάλωσε να αποθηκεύθηκε στα χρήματα, έτσι και το κύτταρο αποθηκεύει την ενέργεια που δεσμεύει με διάφορους τρόπους στο μόριο της ATP. Όταν ο εργαζόμενος κερδίζει περισσότερα χρήματα απ' αυτά που ξοδεύει, τότε αποταμιεύει τα περισσεύματά του στην τράπεζα. Κατ' ανάλογο τρόπο, το κύτταρο αποταμιεύει την περίσσεια της ενέργειας, που δε χρησιμοποιεί αμέσως, στα μεγάλα αποταμιευτικά βιομόριά του, όπως το γλυκογόνο, το άμυλο, τα λίπη. Όπως ο εργαζόμενος πληρώνει με μικρά νομίσματα τις καθημερινές του αγορές, χωρίς να καταφεύγει στην τράπεζα, έτσι και το κύτταρο χρησιμοποιεί τα μικρά μόρια της ATP, για τις άμεσες ενεργειακές του ανάγκες. Ο εργαζόμενος, επίσης, δεν ξοδεύει περισσότερα χρήματα απ' όσα κέρδισε, γιατί θα χρεοκοπήσει. Κατ' ανάλογο τρόπο, το κύτταρο αποφεύγει την απότομη και υπερβολική απελευθέρωση ενέργειας, που βρίσκεται μέσα στα μεγάλα βιομόριά του, γιατί αυτό θα το οδηγήσει στο θάνατο. Όπως ο εργαζόμενος καταφεύγει στην τράπεζα και αποσύρει χρήματα για τις μεγάλες τρέχουσες ανάγκες του, έτσι και το κύτταρο, όταν έχει ανάγκη επιπρόσθετης ενέργειας, καταφεύγει στη διάσπαση των μεγάλων αποταμιευτικών βιομορίων του, που θα απελευθερώσουν την αναγκαία ενέργεια. Η διάσπαση αυτή των μεγάλων βιομορίων γίνεται σταδιακά, ώστε σταδιακή να είναι και η απελευθέρωση της ενέργειας, που θα δεσμευθεί μέσα στα μόρια της ATP, και έτσι να μην αυξηθεί υπέρμετρα η θερμοκρασία του κυττάρου, σε όρια ασύμβατα με τη ζωή.

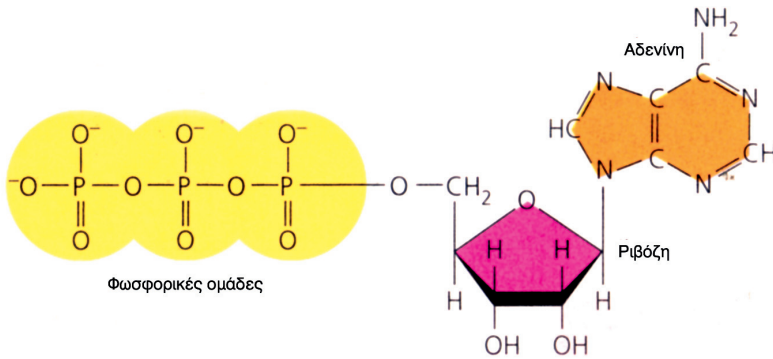


Εικόνα 3.30: Ο ρόλος της ATP στις εξώθερμες και τις ενδόθερμες αντιδράσεις

Χημική σύσταση της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP)

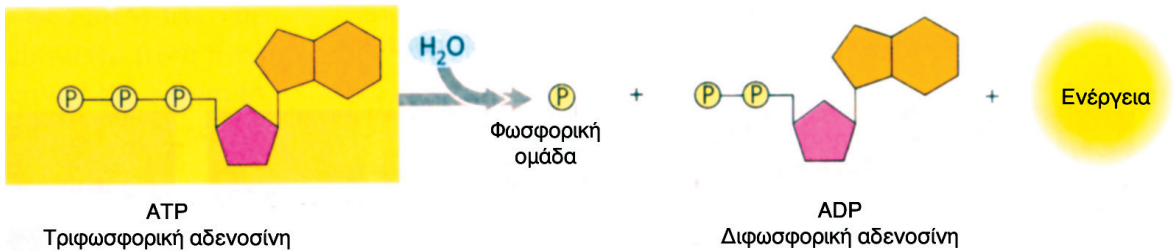
Το μόριο της τριφωσφορικής αδενοσίνης αποτελείται από τρία μέρη:

- μια αζωτούχα βάση, που είναι η **αδενίνη**
- ένα μονοσακχαρίτη με πέντε άτομα άνθρακα, που είναι η **ριβόζη**
- τρεις **φωσφορικές ομάδες (P_i)**



Εικόνα 3.31: Ο συντακτικός χημικός τύπος της ATP

Οι τρεις φωσφορικές ομάδες είναι ενωμένες σε σειρά, με ομοιοπολικούς δεσμούς, στο άκρο του μορίου της ATP και μπορούν εύκολα να αποσυνδεθούν και να επανασυνδεθούν με το υπόλοιπο μόριο. Οι ομοιοπολικοί αυτοί δεσμοί, μεταξύ των φωσφορικών ομάδων, ιδίως οι δύο τελευταίοι (μεταξύ πρώτης και δεύτερης και μεταξύ δεύτερης και τρίτης), περικλείουν ψηλά ποσά ενέργειας, συγκριτικά με άλλους χημικούς δεσμούς, που

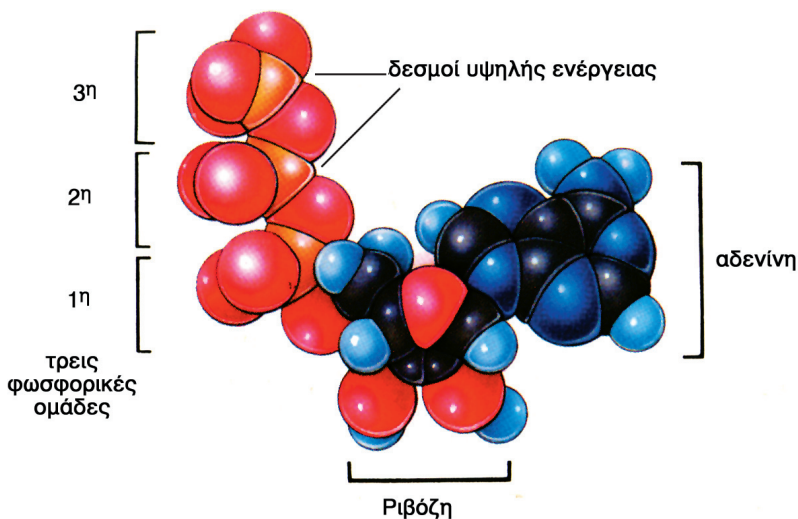


εύκολα καταστρέφονται και επαναδημιουργούνται.

Η αστάθεια αυτή που παρουσιάζουν οι δεσμοί των φωσφορικών ομάδων στο μόριο της ATP, οδηγούν στην εύκολη υδρόλυση του μορίου της, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας, άμεσα αξιοποιήσιμης από το κύτταρο. Όταν αποσπάται, με υδρόλυση, η τελευταία φωσφορική ομάδα, από το μόριο της ATP, δημιουργείται ένα μόριο **διφωσφορικής αδενosίνης (ADP)** και ταυτόχρονα ελευθερώνονται 30kJ/ mol, ενέργειας.

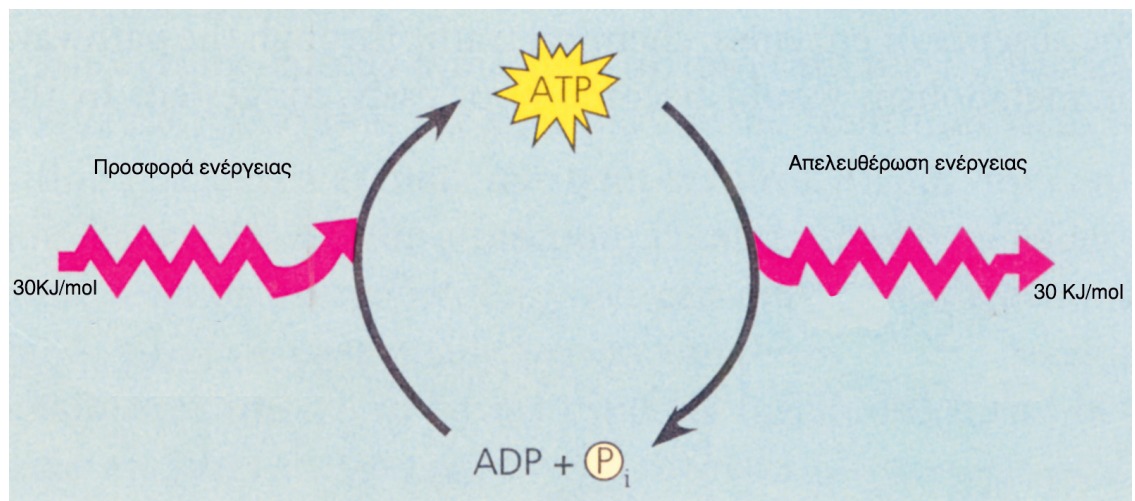
Η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη και έτσι η ATP μπορεί να επαναδημιουργηθεί, αν προσφερθεί στη διφωσφορική αδενosίνη, φωσφορική ομάδα και ενέργεια 30kJ /mol. Οι πιο πάνω αμφίδρομες αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως **αποφωσφορυλίωση της ATP και φωσφορυλίωση της ADP** αντίστοιχα.

Εικόνα 3.32: Η υδρόλυση της ATP.



Εικόνα 3.33: Ο στερεοχημικός τύπος της ATP.

Κατ’ αναλογία προς τα πιο πάνω, η ATP μπορεί να υδρολυθεί μέχρι σημείου, στο οποίο να αποσπαστούν οι δύο τελευταίες φωσφορικές ομάδες από το μόριό της και να σχηματισθεί η **μονοφωσφορική αδενοσίνη (AMP)**, με ταυτόχρονη ελευθέρωση ενέργειας. Η σταδιακή φωσφορυλίωση της AMP με την ανάλογη προσφορά ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στην αναγέννηση της ATP.



Εικόνα 3.34: Η φωσφορυλίωση ενός mol ADP απαιτεί 30 KJ ενέργεια, ενώ η αποφωσφορυλίωση ενός mol ATP απελευθερώνει την ίδια ποσότητα ενέργειας

Με τις φωσφορυλίώσεις και αποφωσφορυλίώσεις του μορίου της, η ATP λειτουργεί ως συνδετικός κρίκος μεταξύ των καταβολικών και αναβολικών διεργασιών του κυττάρου, ελευθερώνοντας ενέργεια όπου χρειάζεται.

Το κύτταρο περιέχει μια δεξαμενή από μόρια ATP, ADP και φωσφορικών ομάδων (Pi). Η αναλογία μεταξύ ATP και ADP είναι υψηλή (περίπου 10:1). Όμως δεν είναι δυνατό να αποθηκεύονται τεράστιες ποσότητες μορίων ATP, στο κύτταρο και μάλιστα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τα μόρια της ATP υδρολύονται σχεδόν με την ίδια ταχύτητα με την οποία παράγονται και έτσι η συγκέντρωσή τους στο κύτταρο παραμένει σταθερή.

Ένας άνθρωπος σε ηρεμία καταναλώνει περίπου 45 Kg ATP την ημέρα, αλλά η ποσότητα ATP που βρίσκει κανείς σε οποιαδήποτε στιγμή στο σώμα του δεν ξεπερνά το 1g. Σε κάθε κύτταρο υπολογίζεται ότι παράγονται 10 εκατομμύρια μόρια ATP το δευτερόλεπτο και ένα ισάριθμο ποσό μορίων ATP υδρολύεται, για να απελευθερωθεί η αναγκαία ενέργεια για την επιβίωσή του.

Βασισμένοι στα πιο πάνω, μπορούμε να συνοψίσουμε τη δράση της ATP στο κύτταρο ως:

- το «όχημα» μεταφοράς ενέργειας
- την άμεση πηγή ενέργειας
- το ενεργειακό του νόμισμα.