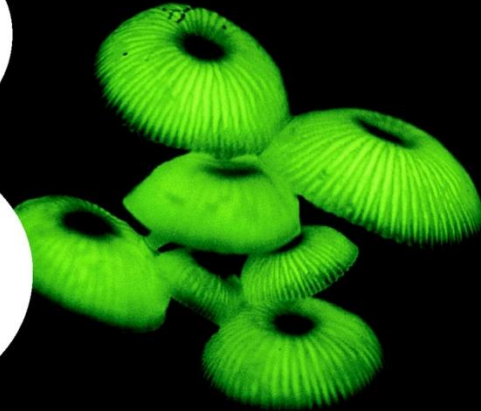


# Εισαγωγή στον μεταβολισμό

# 8



▲ Εικόνα 8.1 Τι προκαλεί τη βιοφωταύγεια αυτών των μυκήτων;

# Κυτταρική αναπνοή: Αποκτώντας χημική ενέργεια

# 9



▲ Εικόνα 9.1 Με ποιον τρόπο αξιοποιεί το γιγάντιο πάντα τη χημική ενέργεια των φύλλων ώστε να τροφοδοτήσει ενεργειακά τις λειτουργίες του;

## ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

ΥΛΗ: ότι έχει ΜΑΖΑ (;)  
και τι είναι ΜΑΖΑ\*: ορίζεται δύσκολα

- α) άρα η ΥΛΗ: ορίζεται δύσκολα
- β) η ΕΝΕΡΓΕΙΑ: επίσης ορίζεται δύσκολα
- γ) ΧΡΟΝΟΣ: επίσης ορίζεται δύσκολα

\*(σύμφωνα με τη μοντέρνα Φυσική μπορεί να είναι μια έντονη στρέβλωση-καμπύλωση του χώρου) ΑΛΛΑ ΑΥΤΟ ΤΟ ΞΕΧΝΑΤΕ.....

Θυμόμαστε τις διαφάνειες αυτές από προηγούμενη μας παρουσίαση.

**Η ΥΛΗ (m-μάζα) ΚΑΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ (E) ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΜΕΤΑΤΡΕΠΟΝΤΑΙ ΥΠΟ ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ Η ΜΙΑ ΣΤΗΝ ΑΛΛΗ ΚΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟ.**

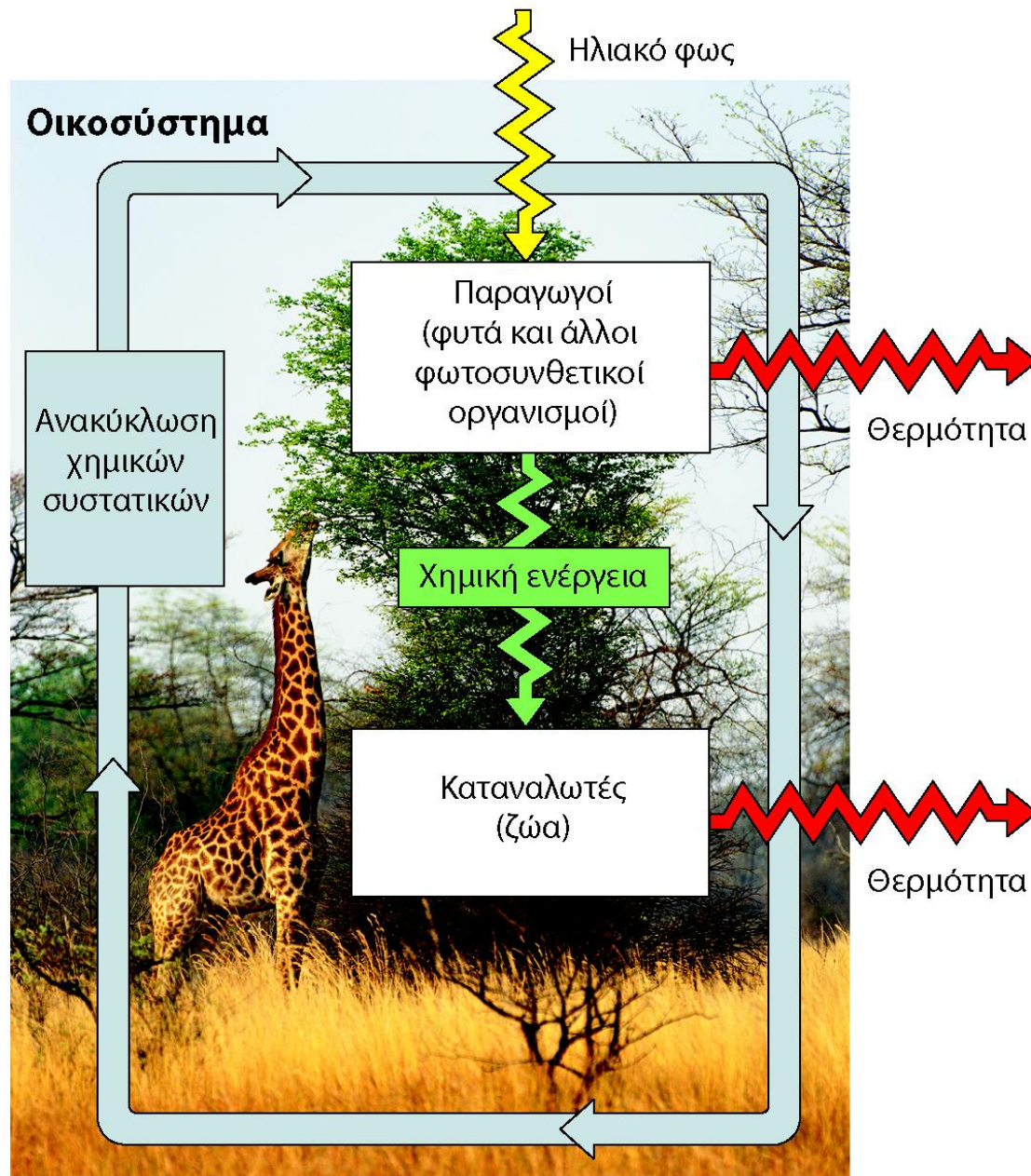
(c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό)

**ΤΙΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΑΥΤΕΣ ΔΙΕΠΕΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ ΕΙΝΣΤΕΙΝ:**

$$E=mc^2$$

Στη φύση ύλη και ενέργεια λειτουργούν ισοδύναμα ως δύο όψεις του ΙΔΙΟΥ ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΣ

**ΠΕΡΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ,  
ΠΕΡΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ  
ΚΑΙ ΠΕΡΙ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΥ**



Θυμόμαστε τη διαφάνεια αυτή από προηγούμενη παρουσίαση.

1) Η **ύλη ανακυκλώνεται** σε ένα οικοσύστημα\*.

2) Η **ενέργεια** δεν ανακυκλώνεται, αλλά **διαπερνά** το οικοσύστημα\* **προς συγκεκριμένη κατεύθυνση** (από το ήλιο στους αυτότοροφους-παραγωγούς οργανισμούς και κατόπιν στους ετερότροφους-καταναλωτές)

\* Οικοσύστημα είναι οι έμβιοι και άβιοι παράγοντες μίας περιοχής

▲ **Εικόνα 1.5** Ανακύκλωση θρεπτικών υλών και ροή ενέργειας σε ένα οικοσύστημα.

Ελλ.εκδοση  
1994,  
εκδ.ΠΑΠΑΖΗΣΗ



## 6-1 ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η έννοια της ενέργειας εμφανίζεται σε κάθε κλάδο της φυσικής αλλά δεν είναι εύκολο να ορίσουμε γενικά τι είναι ακριβώς η ενέργεια. Η έννοια αυτή είναι ο ακρογωνιαίος λίθος ενός θεμελιώδους φυσικού νόμου που ονομάζεται διατήρηση της ενέργειας και ορίζει ότι η ολική ενέργεια σε κάθε απομονωμένο σύστημα είναι σταθερή, οτιδήποτε και να συμβαίνει μέσα στο σύστημα. Οι νόμοι διατήρησης, που συμπεριλαμβάνουν τη διατήρηση της μάζας, της ενέργειας, της ορμής, της στροφορμής, του ηλεκτρικού φορτίου και άλλων, παίζουν ζωτικούς ρόλους σε κάθε κλάδο της φυσικής και προσφέρουν ενοποιητικά νήματα που διαπερνούν όλη τη δομή της επιστήμης. Κάθε νόμος διατήρησης βεβαιώνει ότι το σύνολο μιας φυσικής ποσότητας σε κάθε απομονωμένο (κλειστό) σύστημα είναι σταθερό.

**Η ενέργεια ως μέγεθος δεν μπορεί να οριστεί επαρκώς.** Ουσιαστικά δεν ξέρουμε τι είναι, όπως δεν ξέρουμε τι είναι ο χρόνος κ.ά.. Για λόγους εκπαιδευτικούς δεχόμαστε συμβατικά τον παρακάτω «χαρακτηρισμό»:

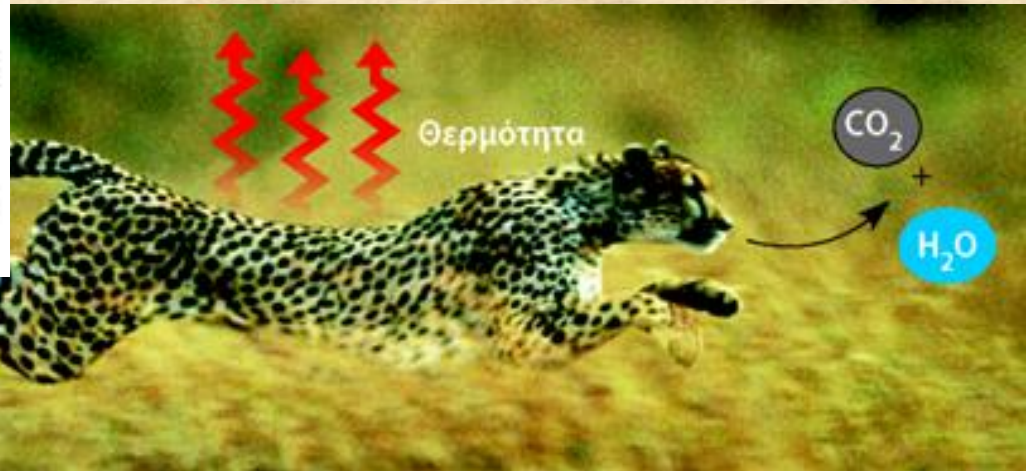
- **Ενέργεια** θα λέμε την ικανότητα πρόκλησης μεταβολών κάθε είδους (φυσικών, χημικών βιολογικών κ.ό.κ.).
- Η **ενέργεια εμφανίζεται σε διάφορες μορφές** (κινητική, δυναμική, φωτεινή, ηλεκτρική, πυρηνική κ.ά.). Μπορεί να αλλάζει μορφές αλλά δεν μπορεί να καταστραφεί ή να δημιουργηθεί (αυτό λέγεται **άθερμοδυναμικός νόμος**).



Χημική  
ενέργεια

Κάποιοι νόμοι της  
θερμοδυναμικής που  
διέπουν τους ενεργειακούς  
μετασχηματισμούς  
(α' και β' νόμος της  
Θερμοδυναμικής )

**(α) Πρώτος νόμος της θερμοδυναμικής:** Η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί ή να μετατραπεί, αλλά όχι να καταστραφεί. Π.χ., η χημική (δυναμική) ενέργεια της τροφής θα μετατραπεί στην κινητική ενέργεια του τσιτάχ (β).



Θερμότητα

CO<sub>2</sub>  
+  
H<sub>2</sub>O

**(β) Δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής:** Κάθε μεταφορά ή μετατροπή ενέργειας αυξάνει την αταξία (εντροπία) του σύμπαντος. Π.χ., η αταξία στο περιβάλλον του τσιτάχ αυξάνεται με τη μορφή της θερμότητας και των μικρών μορίων που συνιστούν τα τελικά προϊόντα του μεταβολισμού.

## ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ, ΚΑΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ, ΑΝΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

- **Μεταβολισμός:** είναι το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που συμβαίνουν σε έναν οργανισμό. Οι αντιδράσεις αυτές καταλύονται από ένζυμα (πρωτεΐνες).
- Με το μεταβολισμό οι οργανισμοί μετασχηματίζουν την ενέργεια και την ύλη σύμφωνα με τους νόμους της Θερμοδυναμικής.
- Οι μεταβολικές αντιδράσεις ονομάζονται **καταβολικές** (όταν διασπώνται μόρια κι απελευθερώνεται ενέργεια) ή **αναβολικές** (όταν σχηματίζονται μόρια και καταναλώνεται ενέργεια).

## ΚΙΝΗΤΙΚΗ και ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

- **Κινητική ενέργεια:** η ενέργεια ενός σώματος (αυτοκίνητο, άτομο, μόριο κ.ό.κ.) λόγω της κίνησής του.
- **Δυναμική ενέργεια:** ορίζεται η ενέργεια που ενέχει ένα σώμα, λόγω της θέσεως (σε σχέση με κάποια άλλη θέση), ή λόγω της διάταξής του στο χώρο, της δομής του.

Ο δύτης έχει περισσότερη δυναμική ενέργεια πάνω στον βατήρα, παρά μέσα στο νερό.

Η βουτιά μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια σε κινητική.

Η μετατροπή της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας ενός σώματος που πέφτει (του δύτη), ως συνάρτηση του ύψους, δηλαδή της θέσης του σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας.



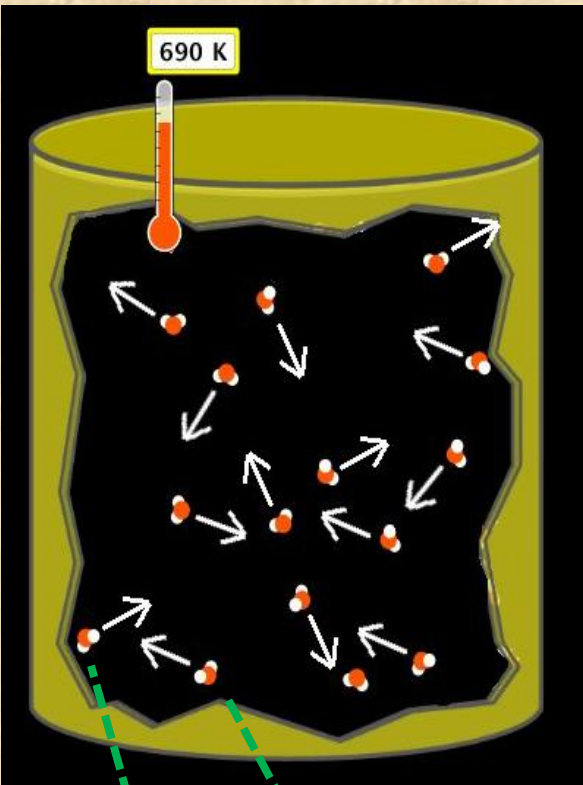
Η ανάβαση στον βατήρα μετατρέπει την κινητική ενέργεια των μυϊκών κινήσεων σε δυναμική ενέργεια.

Ο δύτης έχει λιγότερη δυναμική ενέργεια μέσα στο νερό, παρά όταν βρίσκεται στον βατήρα

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ		ΔΥΝΑΜΙΚΗ + ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
	+		=	
	+		=	
	+		=	
	+		=	

▲ **Εικόνα 8.2** Μετασχηματισμοί μεταξύ δυναμικής και κινητικής ενέργειας.

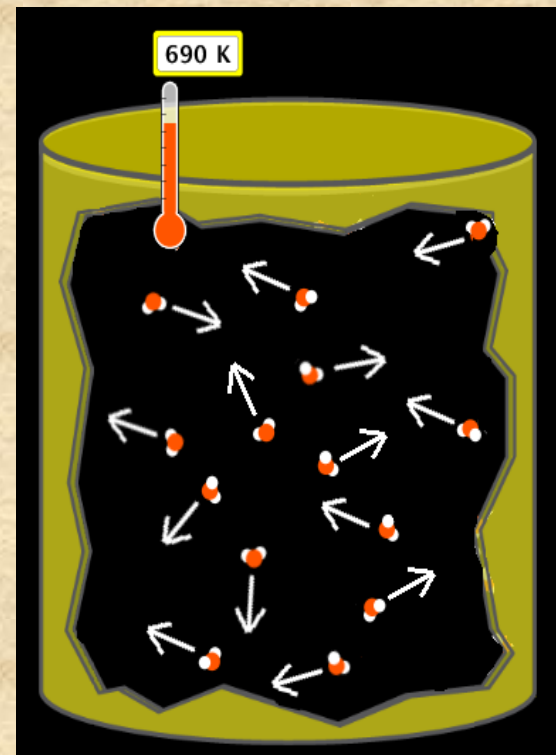




Απομονωμένο\* δοχείο με  
μόρια νερού σε θερμοκρασία  
690° K δηλαδή σε 417° C.  
Σε λίγο...

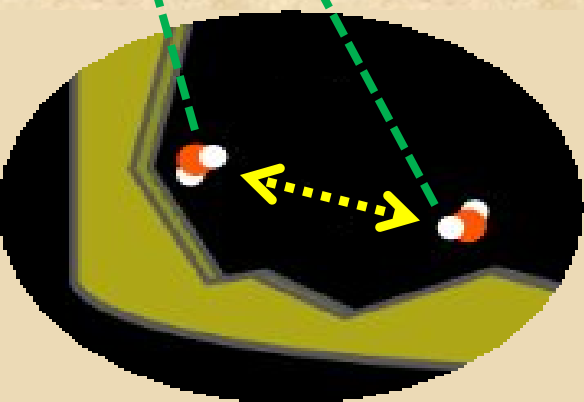


• Τα μόρια του νερού κινούνται συνεχώς. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο πιο έντονη η κίνηση. Τα λευκά βέλη δείχνουν την στιγμιαία ταχύτητα των μορίων του νερού η οποία μεταβάλλεται ταχύτατα. Η ταχύτητα κάθε μορίου σχετίζεται με την κινητική ενέργεια κάθε μορίου.

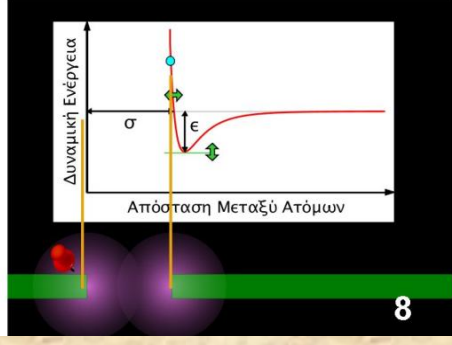
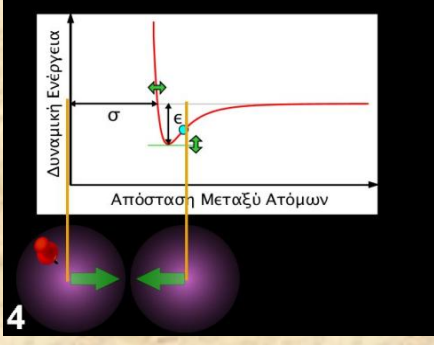
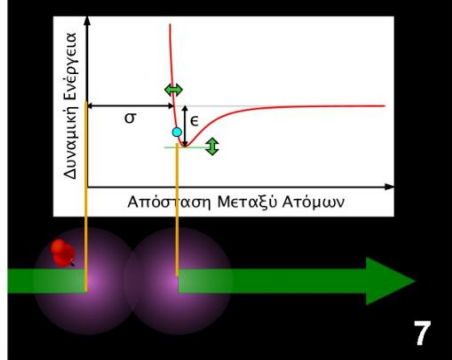
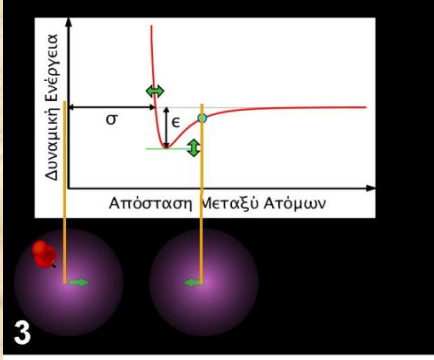
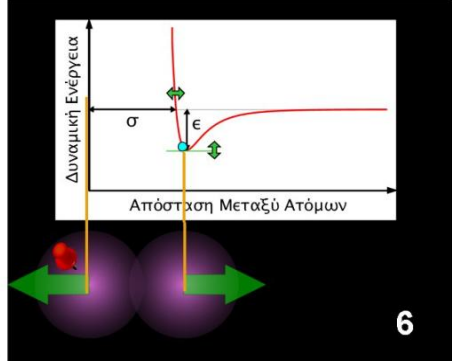
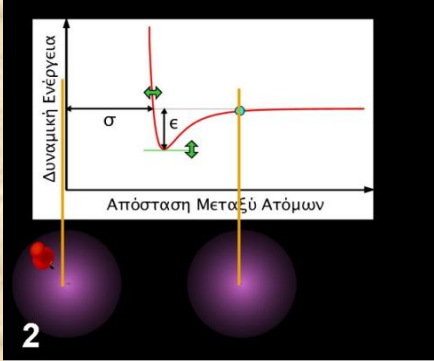
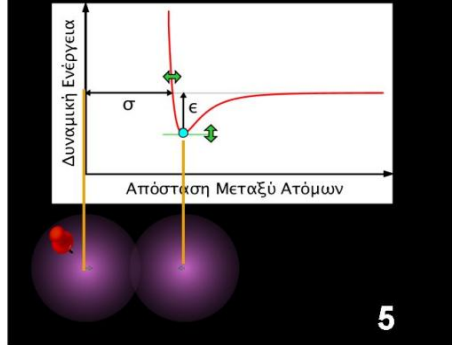
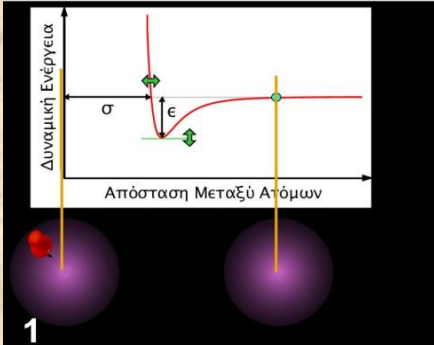


• Το άθροισμα των κινητικών ενεργειών όλων των μορίων είναι η **θερμική ενέργεια** του συστήματος που είναι ανάλογη με τη **θερμοκρασία** του συστήματος. Μεγάλη θερμοκρασία σημαίνει μεγάλη ταχύτητα κίνησης μορίων.

• Όταν τα μόρια πλησιάζουν μεταξύ τους αλληλεπιδρούν λόγω των ηλεκτρικών δυνάμεων έλξης ή άπωσης που ασκεί το ένα στο άλλο (όλα ανά δύο μεταξύ τους). Η αλληλεπίδραση αυτή (βλέπε κίτρινο βέλος αριστερά) δημιουργεί ένα κλάσμα της **δυναμικής ενέργειας** του συστήματος των μορίων νερού.



Απομονωμένο σημαίνει: δεν ανταλλάσσει  
ΥΛΗ, ούτε ΕΝΕΡΓΕΙΑ με το περιβάλλον



• Η **Δυναμική ενέργεια** (στο σχεδιάγραμμα) και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ δύο πανομοιότυπων ατόμων σε διάφορες αποστάσεις μεταξύ τους (αρχικά από μακριά και σιγά σιγά πλησιάζοντας).

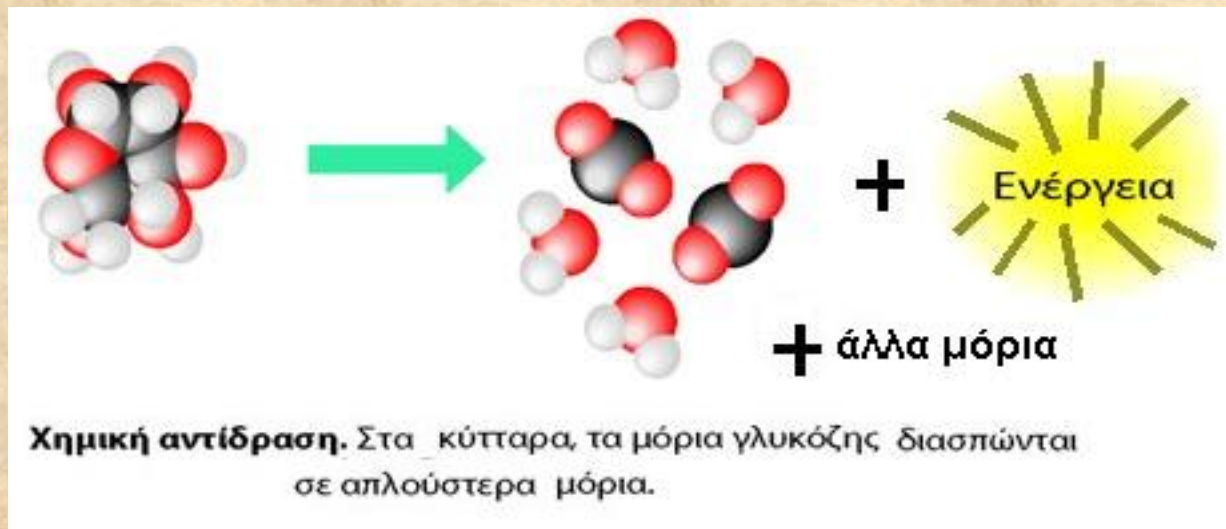
• Αρχικά όταν τα άτομα απέχουν πολύ μεταξύ τους **έλκονται ηλεκτροστατικά** αμυδρά (μέσω der Waals αλληλεπιδράσεων\* ) (1-4)

• Όσο πλησιάζουν αρκετά αρχίζει η επικάλυψη των ηλεκτρονικών τους νεφών, οπότε η **ηλεκτρική άπωση των αρνητικά φορτισμένων νεφών** τους είναι πολύ μεγάλη (6-8).

• Στη διαφάνεια 5 έχει επιτευχθεί **ισορροπία** μεταξύ ελκτικών και απωστικών δυνάμεων κι εκεί το μόριο **ισορροπεί**.

• Ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ παροδικά θετικών ή αρνητικών περιοχών του μορίου

- Η **δυναμική ενέργεια** που απαιτείται για να πλησιάσουν τα δύο άτομα από μακριά και να σχηματίσουν ένα μόριο, αποθηκεύεται στο μόριο ως **χημική ενέργεια**.
- Παραδείγματος χάρη για να σχηματιστεί ένα μόριο γλυκόζης  $C_6H_{12}O_6$  απαιτείται ενέργεια μέσω της οποίας το  $CO_2$  και το  $H_2O$  σχηματίζουν μόριο.  
(φωτοσύνθεση)  
 **$CO_2$  και  $H_2O$  και ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ δημιουργούν τη γλυκόζη  $C_6H_{12}O_6$**   
Η δυναμική αυτή ενέργεια που απαιτείται είναι η χημική ενέργεια του μορίου.
- Όταν το μόριο διασπαστεί σε μικρότερα μόρια ή άτομα η παραπάνω ενέργεια που απαιτήθηκε για το σχηματισμό του μορίου, αποδίδεται.



## ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- **Κινητική ενέργεια:** η ενέργεια ενός σώματος (αυτοκίνητο, άτομο, μόριο κ.ό.κ.) λόγω της κίνησής του.
- Η **θερμική ενέργεια** χαρακτηρίζει το **σύνολο της κινητικής ενέργειας** των σωματιδίων (ατόμων, μορίων) που συγκροτούν τα υλικά σώματα, καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους. Όσο η θερμική ενέργεια είναι μεγαλύτερη τόσο το σώμα εμφανίζεται να έχει υψηλότερη **θερμοκρασία**.
- **Δυναμική ενέργεια:** ορίζεται η ενέργεια που ενέχει ένα σώμα, λόγω της θέσεως (σε σχέση με κάποια άλλη θέση π.χ. σε σχέση με την επιφάνεια της θάλασσας), ή λόγω της διάταξής του στο χώρο, της δομής του.
- **Χημική ενέργεια** χαρακτηρίζεται το **σύνολο της δυναμικής ενέργειας** που **απαιτήθηκε για τη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από τα επιμέρους άτομα**, κάτω από την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων και που είναι αποθηκευμένη στην ύλη που περιέχει τα άτομα.
- Η **χημική ενέργεια** όταν τα μόρια διασπώνται και πάλι στα επιμέρους άτομα από τα οποία αποτελούνταν **απελευθερώνεται-μετασχηματίζεται** συνήθως σε θερμική ενέργεια.

---

Εσωτερική ενέργεια ονομάζεται το **συνολικό άθροισμα της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας** των δομικών στοιχείων ενός σώματος αν αυτό απομονωθεί από όλες τις εξωτερικές δυνάμεις.

• Αφού σύμφωνα με τον α΄ νόμο της Θερμοδυναμικής η ενέργεια ενός συστήματος δεν καταστρέφεται, ούτε δημιουργείται αλλά μένει σταθερή, **γιατί τα συστήματα αενάως δεν ανακυκλώνουν την ενέργεια του και να είναι αυτάρκη;**

• Ο λόγος που δεν συμβαίνει αυτό είναι ο β΄ νόμος της Θερμοδυναμικής. Δια μέσου όλων των σχετικών πειραμάτων αποδεικνύεται ότι **στην πλειονότητα των μετατροπών ενέργειας από μία μορφή σε άλλη, ένα τμήμα της μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια-θερμότητα,** που είναι μη χρήσιμη μορφή ενέργειας, μη ικανή να παράγει έργο\*, παρά μόνο θερμαίνει τα συστήματα και τελικώς διασκορπίζεται στο περιβάλλον. **Άρα ένα μέρος «χρήσιμης» ενέργειας χάνεται σε κάθε μετατροπή.** Συνεπώς η ποιότητα της ενέργειας υποβαθμίζεται σε κάθε μετατροπή.

• Η θερμική ενέργεια-θερμότητα θεωρείται η πιο χαμηλής ποιότητας κι η πιο αποδιοργανωμένη μορφή ενέργειας, που είναι συνειφασμένη με την αταξία της ύλης.

• Έτσι όταν ένα ζώο καταναλώνει ένα άλλο, ένα τμήμα της χημικής ενέργειας που πήρε ο θηρευτής από το θήραμα θα μετατραπεί ανεπιστρεπτί σε μη αξιοποιήσιμη\* για την παραγωγή κάποιου έργου θερμότητα, η οποία τελικώς θα διασκορπιστεί μέσω του σώματος του θηρευτή στο περιβάλλον.

**• Το σύμπαν γενικά, σε κάθε μετατροπή ενέργειας γίνεται λιγότερο διατεταγμένο (γίνεται πιο άτακτο), κι άρα αυξάνει η εντροπία του (βλέπε παρακάτω).**

---

\*Η θερμότητα μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή έργου, αν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αρχικής και τελικής κατάστασης, αλλά αυτό δεν συμβαίνει στο κύτταρο όπου η θερμοκρασία του πρέπει να είναι συνεχώς σταθερή (αλλά αυτό το τελευταίο το ξεχνάτε)

# ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ GIBBS

•Ο Gibbs το 1878 επινόησε μία συνάρτηση μέσω της οποίας μπορεί κάποιος να μελετήσει την ενέργεια ενός συστήματος ανεξάρτητα από το περιβάλλον του. Αυτή η συνάρτηση ονομάστηκε **ελεύθερη ενέργεια Gibbs (G)** ενός συστήματος και **είναι η ενέργεια του που μπορεί να παράγει έργο**, όταν η θερμοκρασία (T-temperature) και η πίεση (P-pressure) είναι ομογενείς σε όλη την έκταση του συστήματος (συνθήκη που πληρείται σε έναν ζωντανό οργανισμό). Η παρακάτω εξίσωση δίνει την μεταβολή της ελεύθερης ενέργειας  $\Delta G$  σε μία μεταβολή π.χ. σε μία χημική αντίδραση:

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S,$$

όπου **H είναι η ενθαλπία** του συστήματος (δηλαδή η συνολική του ενέργεια), **T η θερμοκρασία** σε °K (βαθμούς Κέλβιν °K = °C + 273), **S είναι η εντροπία** του συστήματος δηλαδή η **αταξία** του συστήματος και στην περίπτωση χημικής αντίδρασης **Εντροπία = αταξία = η χημική ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα.**

Υπενθυμίζεται ότι το σύμβολο  $\Delta$  πριν από ένα μέγεθος σημαίνει τη διαφορά-μεταβολή του από μία αρχική σε μία τελική τιμή

π.χ.  $\Delta G = G_{\text{ΤΕΛΙΚΗ}} - G_{\text{ΑΡΧΙΚΗ}}$  ή  $\Delta G = G_{\text{ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ}} - G_{\text{ΑΝΤΙΔΡΩΝΤΩΝ}}$  αν πρόκειται για χημική αντίδραση. Όμοια  $\Delta H = H_{\text{ΤΕΛΙΚΗ}} - H_{\text{ΑΡΧΙΚΗ}}$  κ.ό.κ.

Επίσης υπενθυμίζεται ότι η ενέργεια μετριέται σε Joule στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.).

▲ **Εικόνα 8.5** Η σχέση της ελεύθερης ενέργειας με τη σταθερότητα, την ικανότητα έργου και την αυθόρμητη μεταβολή. Τα ασταθή συστήματα (πάνω διαγράμματα) είναι πλούσια σε ελεύθερη ενέργεια. Έχουν την τάση να μεταβαίνουν αυθόρμητα σε πιο σταθερές καταστάσεις (κάτω), αποδίδοντας ενέργεια κατά την μεταβολή αυτή.

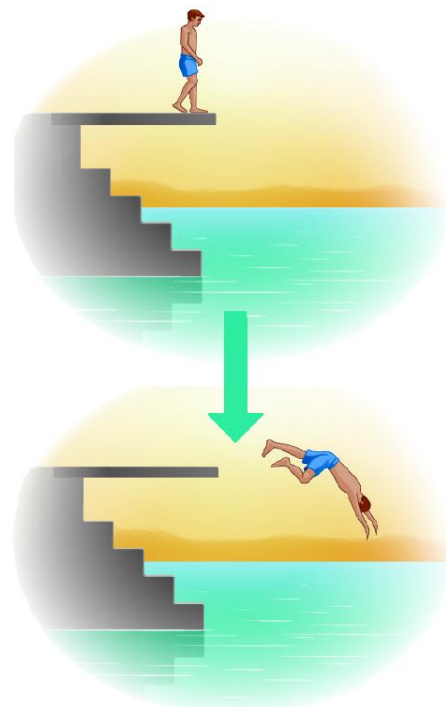
Περισσότερη ελεύθερη ενέργεια σημαίνει μικρότερη σταθερότητα στο σύστημα (π.χ. βλέπε το δύτη όταν είναι ψηλά, έχει υψηλή ελεύθερη ενέργεια και είναι ασταθής, έτοιμος να πέσει, δηλαδή έτοιμος να παράγει έργο. Ενώ όταν φτάσει στη θάλασσα, η ελεύθερη ενέργεια του μειώθηκε, ο δύτες βρίσκεται στην πιο σταθερή θέση και δεν παράγει πλέον έργο.

- Περισσότερη ελεύθερη ενέργεια (υψηλότερη  $G$ )
- Λιγότερη σταθερότητα
- Μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής έργου

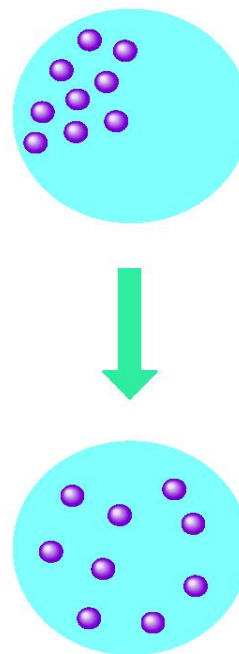
Σε μια **αυθόρμητη μεταβολή**

- Η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος μειώνεται ( $\Delta G < 0$ )
- Το σύστημα γίνεται πιο σταθερό
- Η ελεύθερη ενέργεια που απελευθερώνεται μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή έργου

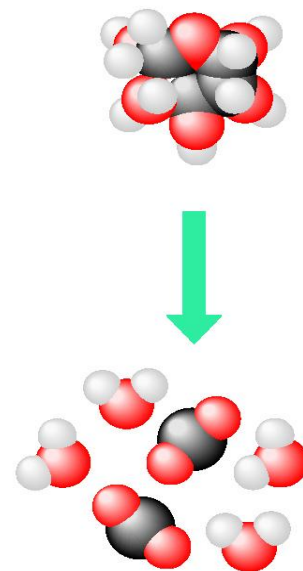
- Λιγότερη ελεύθερη ενέργεια (χαμηλότερη  $G$ )
- Περισσότερη σταθερότητα
- Μικρότερη ικανότητα παραγωγής έργου



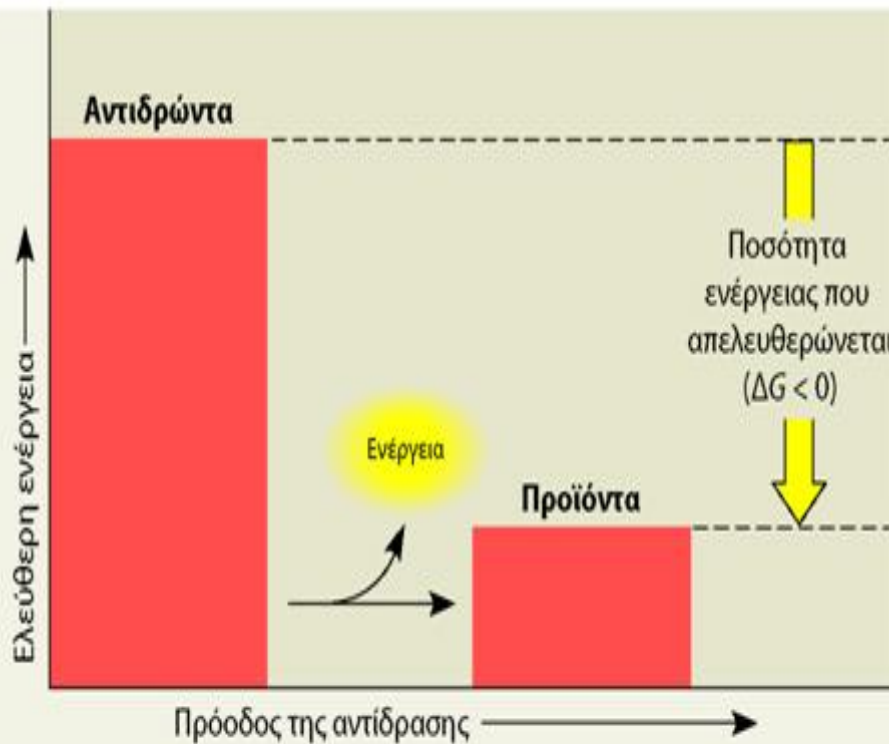
**(α) Κίνηση εξαιτίας της βαρύτητας.** Τα αντικείμενα κινούνται αυθόρμητα από μεγαλύτερο σε μικρότερο υψόμετρο.



**(β) Διάχυση.** Σε μια σταγόνα χρωστικής που ρίχνουμε σε ένα διάλυμα, τα μόρια θα διαχυθούν μέχρι να καταναμηθούν τυχαία σε όλο το διάλυμα.



**(γ) Χημική αντίδραση.** Στα κύτταρα, τα μόρια γλυκόζης διασπώνται σε απλούστερα μόρια.



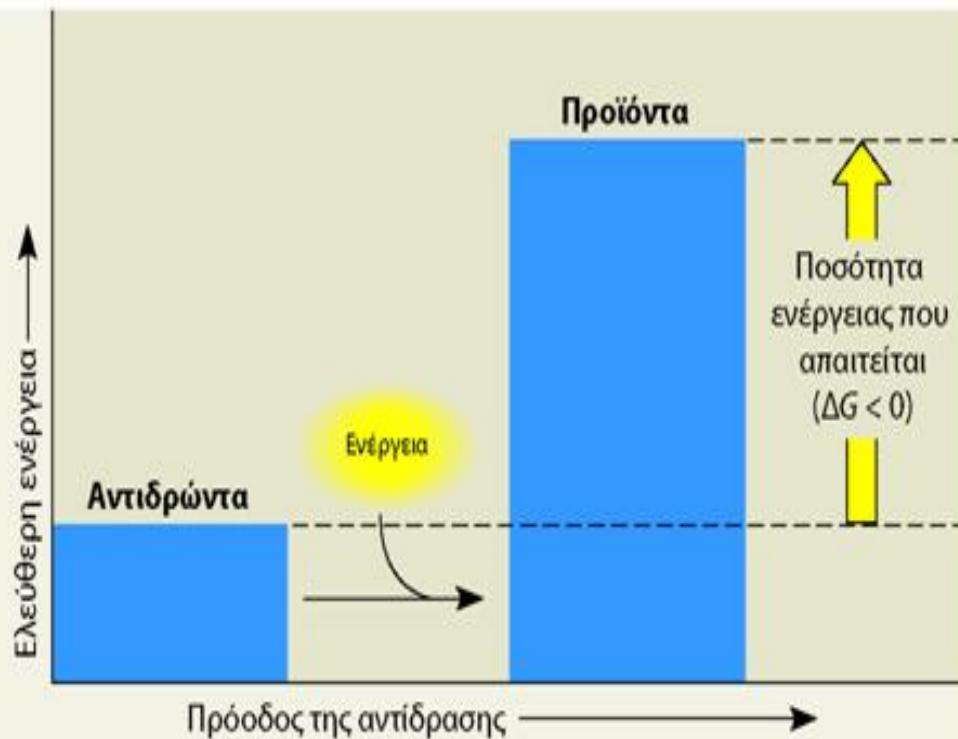
(α) Εξώεργη αντίδραση: απελευθέρωση ενέργειας

▲ **Εικόνα 8.6** Μεταβολές της ελεύθερης ενέργειας ( $\Delta G$ ) στις εξώεργες αντιδράσεις.

•Οι οργανισμοί ζουν καταναλώνοντας ελεύθερη ενέργεια. Όταν μία **μεταβολή συμβαίνει αυθόρμητα** (όπως όταν αφεθεί ένα αντικείμενο να πέσει από ψηλά, ή όταν ένα σύνθετο μόριο διασπασθεί στα άτομα που το δομούν- π.χ. η διάσπαση της γλυκόζης στην προηγούμενη διαφάνεια, Εικόνα 8.5γ), τότε η **ελεύθερη ενέργεια G ελαττώνεται** και η σταθερότητα του συστήματος αυξάνεται.

•**Ελάττωση της ελεύθερης ενέργειας** ενός συστήματος, σημαίνει μετάβαση σε **σταθερότερη κατάσταση, σε απλούστερη κατάσταση**, με ταυτόχρονη απελευθέρωση ενέργειας  $\Delta G$  (εξώεργη-εξώθερμη). Η μετάβαση ενός συστήματος σε σταθερότερη κατάσταση **γίνεται αυθόρμητα**. **Αυθόρμητη** μετάβαση σημαίνει ότι γίνεται χωρίς την προσθήκη ενέργειας (δεν σημαίνει γρήγορα).





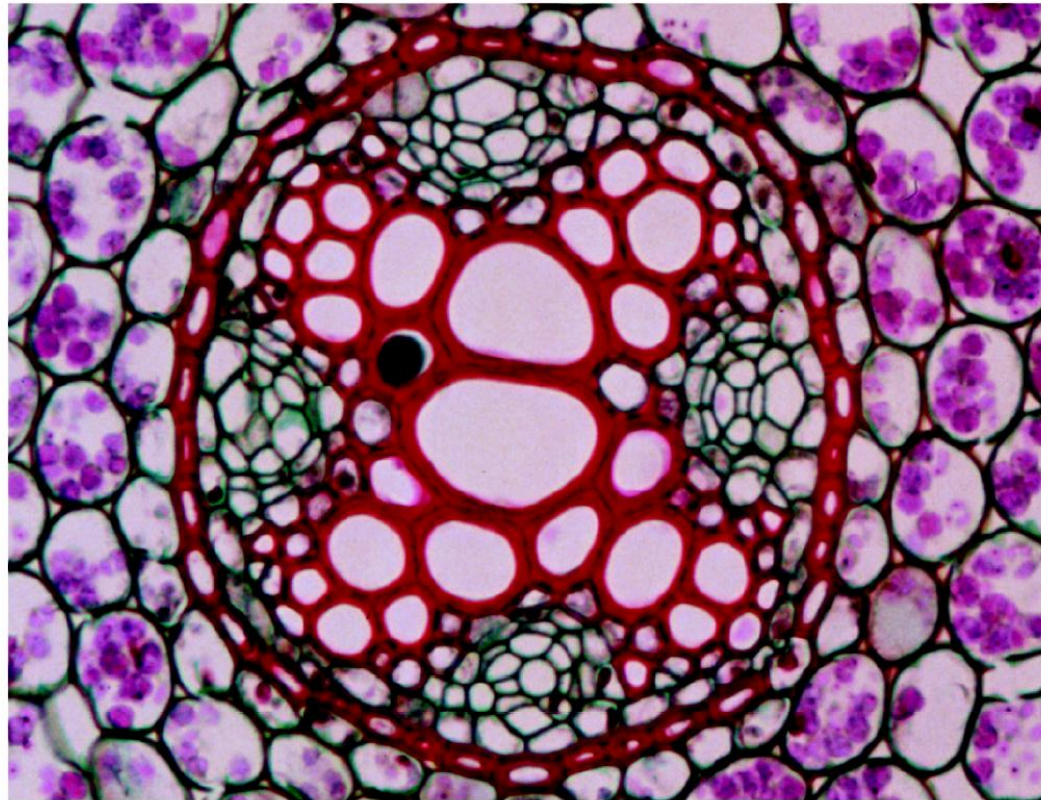
(β) Ενδόεργη αντίδραση: κατανάλωση ενέργειας

▲ **Εικόνα 8.6** Μεταβολές της ελεύθερης ενέργειας ( $\Delta G$ ) στις ενδόεργες αντιδράσεις.

• **Αύξηση της ελεύθερης ενέργειας** ενός συστήματος, σημαίνει μετάβαση σε **πιο ασταθή κατάσταση, σε πιο περίπλοκη, σε πιο οργανωμένη κατάσταση**, με απορρόφηση ενέργειας  $\Delta G$  (ενδόεργη-ενδόθερμη). Η μετάβαση ενός συστήματος σε λιγότερο σταθερή κατάσταση **δεν γίνεται αυθόρμητα**. Μη αυθόρμητη μετάβαση σημαίνει ότι γίνεται με την προσθήκη ενέργειας .

• Στη φύση το αυθόρμητο είναι αυτό που συμβάλλει στην αύξηση της αταξίας (π.χ. Παρατηρείστε ότι αφήνοντας ένα σπίτι αφρόντιστο, θα φθαρεί σε κάποιο χρονικό διάστημα, ενώ αν επιχειρήσουμε να «τακτοποιήσουμε» το σπίτι, πρέπει να καταναλώσουμε ενέργεια).

- **Προσοχή:** Αντίθετα, στο φαινόμενο της ζωής, με θαυμαστό τρόπο, το «αυθόρμητο» είναι αυτό που αντιτίθεται στην αταξία δημιουργώντας πιο τακτικές κι οργανωμένες δομές από απλούστερες (μειώνει την εντροπία των έμβιων όντων) π.χ. απλά αμινοξέα δημιουργούν πολύπλοκες πρωτεΐνες, κ.ό.κ..
- Η ζωή αντιτίθεται στην αταξία και στοχεύει στις διαδικασίες της διαιώνισής της.
- Ταυτόχρονα όμως αυξάνεται η αταξία του περιβάλλοντος κατά το αντίστοιχο ποσό (κι έτσι δεν παραβιάζεται ο β' θερμοδυναμικός νόμος για το σύστημα ζωντανοί οργανισμοί-περιβάλλον και τελικά για το Σύμπαν γενικά).



50  $\mu\text{m}$

▲ **Εικόνα 8.4** Η ζωή χαρακτηρίζεται από τάξη. Η τάξη είναι προφανής στην ανατομική συγκρότηση του ριζικού ιστού στο φυτό (ΟΜ, εγκάρσια διατομή). Οι οργανισμοί είναι ανοιχτά συστήματα, επομένως αυξάνουν τη δική τους οργάνωση όσο μειώνεται η τάξη του περιβάλλοντος.

Κάθε κύτταρο εκτελεί τρία είδη έργων:

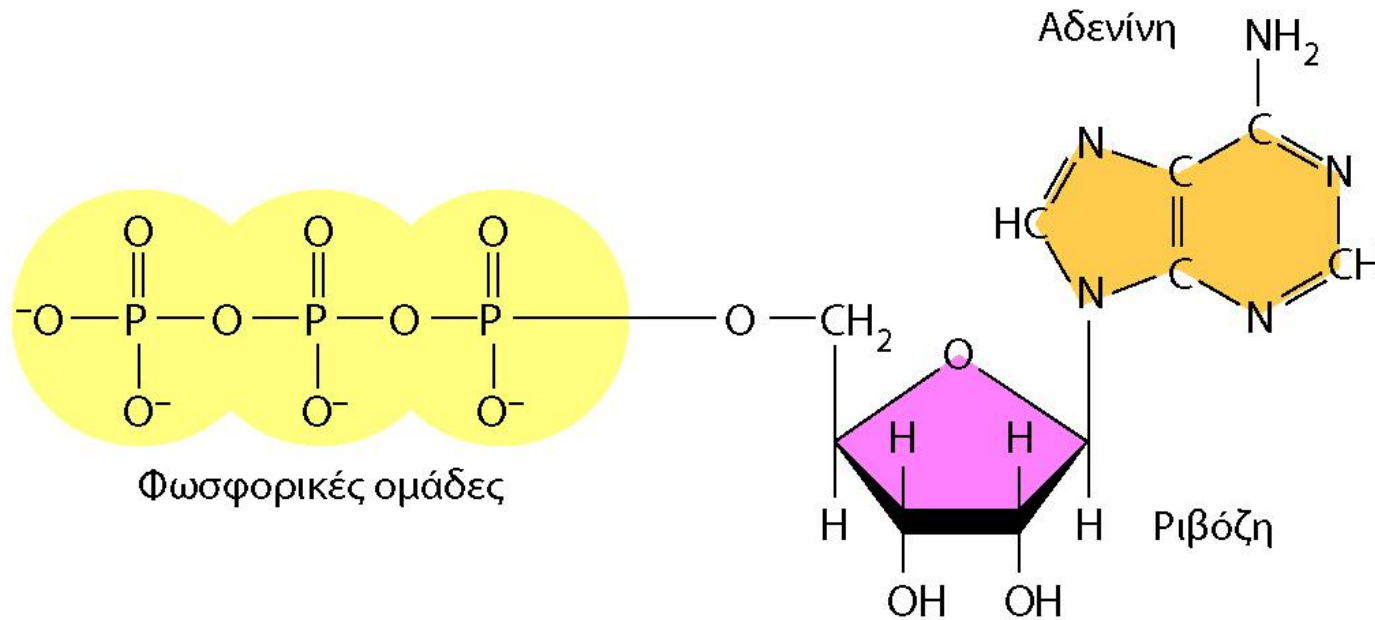
## Μορφές κυτταρικού έργου

- **Χημικό έργο:** παρέχεται ενέργεια στις ενδόθερμες αντιδράσεις που δεν μπορούν να γίνουν αυθόρμητα (παράδειγμα σύνθεση πολυμερών)
- **Μεταφορικό έργο:** παρέχεται ενέργεια για τη μεταφορά ουσιών διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης αντίθετα προς την κατεύθυνση της αυθόρμητης κίνησης τους (παράδειγμα αντλία  $K^+ - Na^+$ )
- **Μηχανικό έργο:** παρέχεται ενέργεια σε λειτουργίες όπως η συστολή μυϊκών κυττάρων, η κίνηση μαστιγίων, η κίνηση χρωμοσωμάτων κ.α

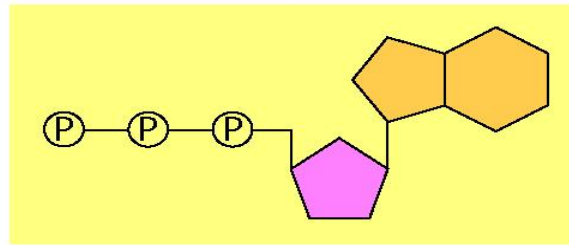
Περικλής Δρίλλιας, ΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

Η ενέργεια που παράγεται από μία εξώεργη χημική αντίδραση χρησιμοποιείται σε μία ενδόεργη χημική αντίδραση. Αυτός ο μηχανισμός ονομάζεται **σύζευξη ενέργειας**. Η σύζευξη αυτή γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις μέσω του ATP. Μέσω της σύζευξης ενέργειας εκτελούνται και οι 3 παραπάνω μορφές κυτταρικού έργου.

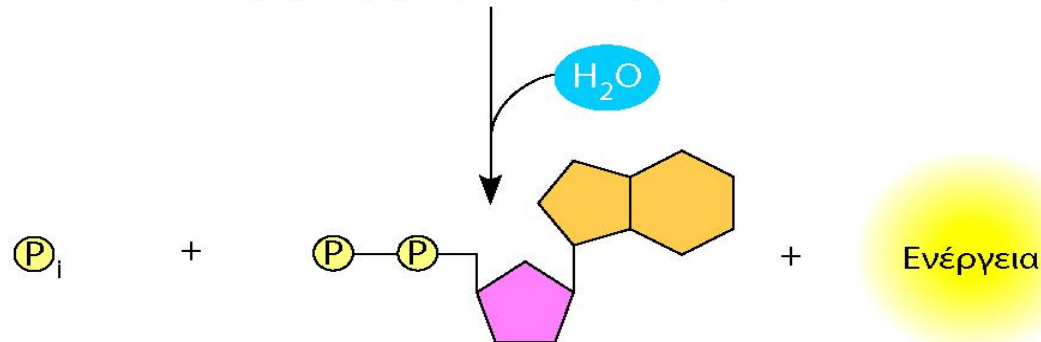
Υπενθυμίζεται ότι το μόριο του ATP (βλέπε εικόνα κάτω) είναι ένα νουκλεοτίδιο



▲ **Εικόνα 8.8** Η δομή της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP). Στις κυτταρικές συνθήκες, οι περισσότερες υδροξυλομάδες των φωσφορικών ομάδων είναι ιοντισμένες ( $\text{—O}^-$ ).



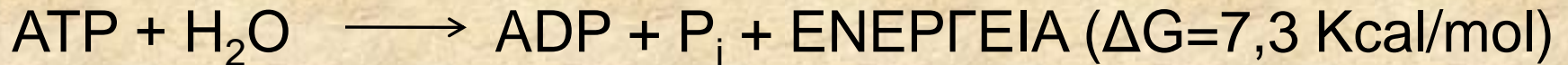
Τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP)



Ανόργανη φωσφορική ομάδα

Διφωσφορική αδενοσίνη (ADP)

▲ **Εικόνα 8.9 Η υδρόλυση της ATP.** Η αντίδραση της ATP με νερό παράγει ανόργανα φωσφορικά ιόντα ( $P_i$ ) και ADP, με παράλληλη απελευθέρωση ενέργειας.



Τα μόρια ATP και ADP παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαδικασία παραγωγής-ανταλλαγής-χρησιμοποίησης ενέργειας μέσα στο κύτταρο.

**Το ATP είναι μία ανακυκλώσιμη και ταχύτατα χρησιμοποιήσιμη αποθήκη ενέργειας.**

Η αντίδραση παραγωγής ενέργειας από το ATP

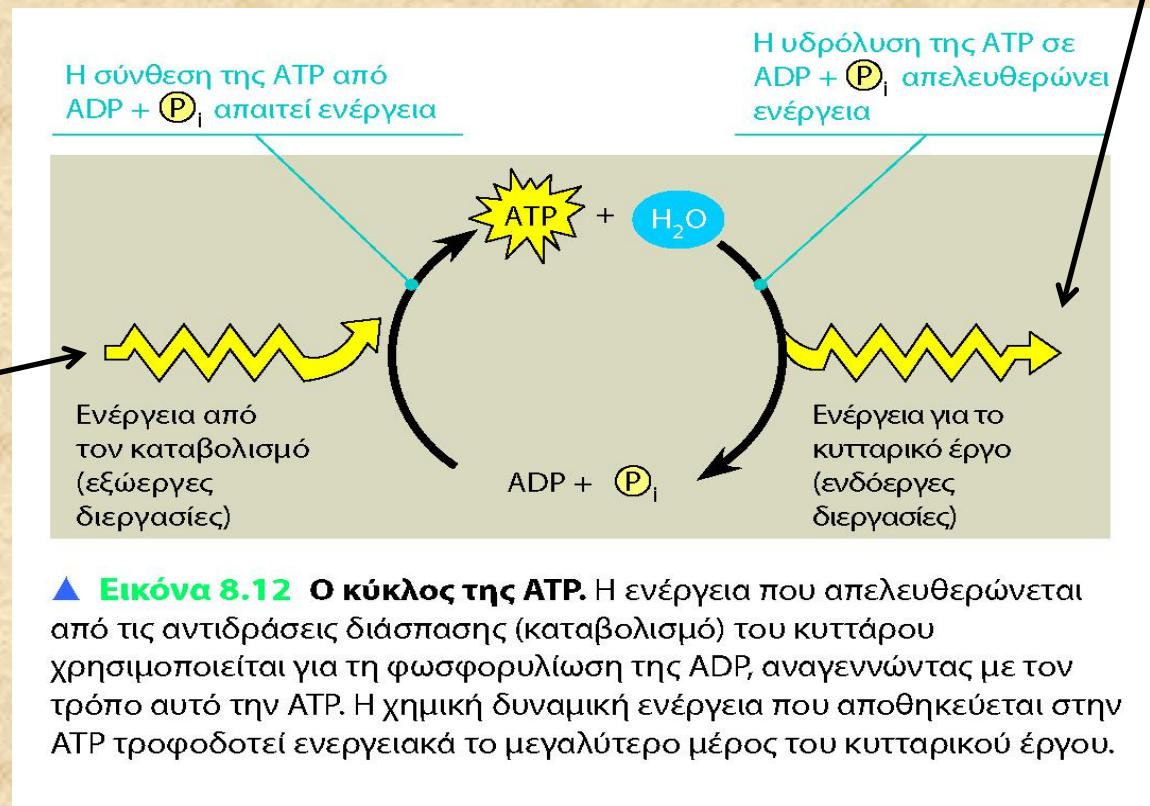
## ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ATP

Τα μόρια ATP διασπώνται σε ADP κι ξαναδημιουργούνται-αναγεννούνται πολύ γρήγορα.

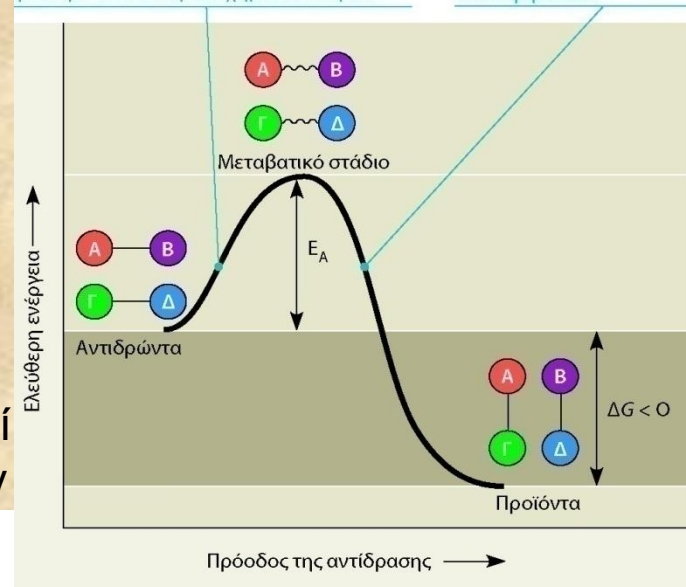
Περίπου 10.000.000 μόρια ATP διασπώνται και ξαναδημιουργούνται κάθε δυετερόλεπτο της ώρας σε κάθε ένα κύτταρο ενός οργανισμού δηλαδή περίπου 45 Kg ATP την ημέρα.

Ωραία όλα αυτά. Το ATP διασπάται σε ADP και τροφοδοτεί με ενέργεια τις κυτταρικές λειτουργίες.

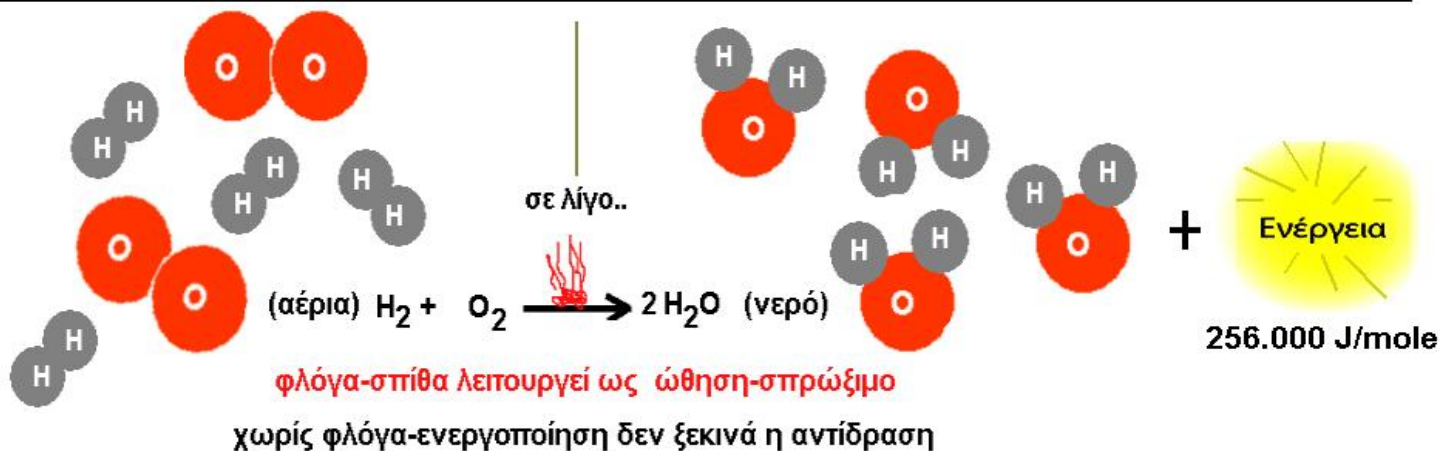
Αλλά από πού προέρχεται η ενέργεια μέσω της οποίας το ADP θα αναγεννηθεί σε ATP ;  
Η ενέργεια αυτή προέρχεται κυρίως (όχι όμως αποκλειστικά) από τη λειτουργία της αναπνοής.



- Οι αυθόρμητες αντιδράσεις και διαδικασίες αποδίδουν ενέργεια (εξώεργες-εξώθερμες). Όμως για να ξεκινήσουν χρειάζεται ένα σπρώξιμο (βλέπε το δύτη, όπου αυθόρμητα πέφτει από το βατήρα αρκεί να του δωθεί μία σπρωξιά). Η «σπρωξιά» αυτή στις χημ. αντιδράσεις λέγεται **ενέργεια ενεργοποίησης  $E_A$** .
- Η ενέργεια ενεργοποίησης χρειάζεται για να υπερνικηθεί το φράγμα ενέργειας μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων



- Το αέριο υδρογόνο ( $H_2$ ) αντιδρά αυθόρμητα με το αέριο οξυγόνο ( $O_2$ ) και δίνουν νερό και πολύ ενέργεια (256KJ/mole).
- Η αντίδραση όμως δεν ξεκινά σε δοχείο που τα περιέχει και τα δύο, παρά μόνο αν δωθεί μία φλόγα (ενέργεια ενεργοποίησης  $E_A$ ).



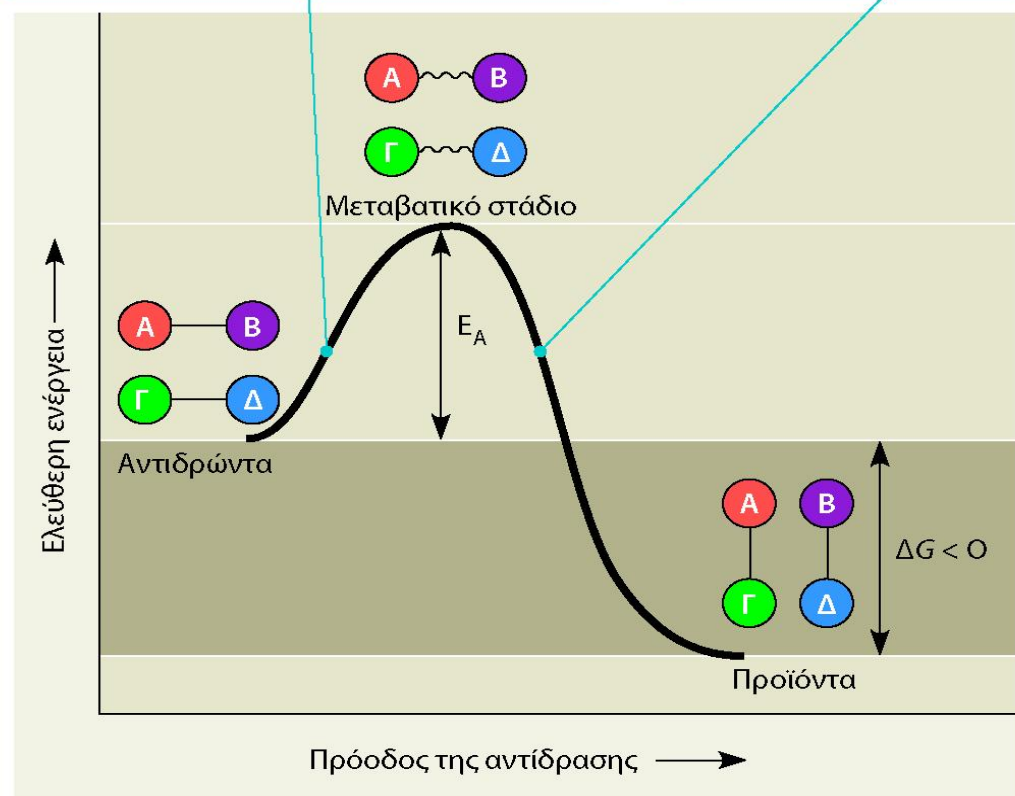


- Η αυθόρμητη αντίδραση παρότι είναι αυθόρμητη δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι είναι και γρήγορη.
- Για να ξεκινήσει η αντίδραση πρέπει τα αντιδρώντα σώματα να δεχθούν μία ενέργεια ενεργοποίησης \*. Χωρίς να δωθεί αυτή η ενεργειακή ώθηση ώστε να υπερπηδηθεί το «λοφάκι»-ενεργειακός φραγμός, η αντίδραση δεν ξεκινά.
- Στη βιολογία τα ένζυμα επιτελούν τη λειτουργία διευκόλυνσης να υπερπηδηθεί το ενεργειακό «λοφάκι»-φραγμός.

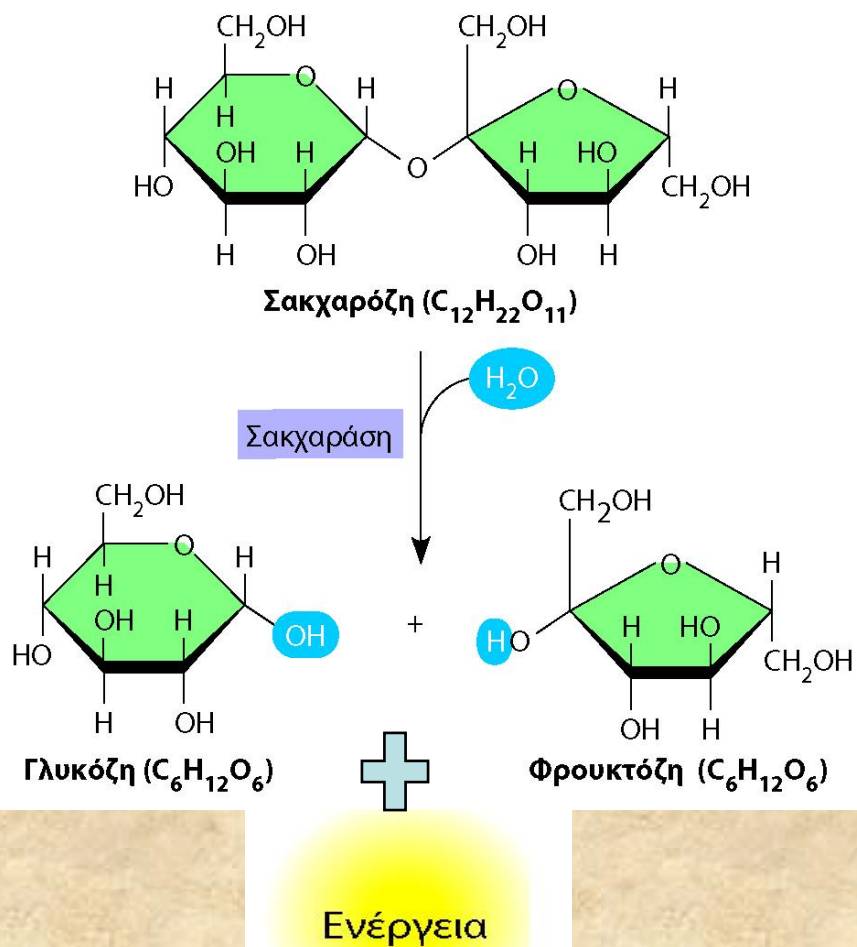
\* που θα τα στρέψει τα άτομα-μόρια στην κατάλληλη θέση και θα τους προσδώσει το κατάλληλο σχήμα ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση

Τα αντιδρώντα AB και ΓΔ πρέπει να απορροφήσουν την απαιτούμενη ενέργεια από το περιβάλλον για να εισέλθουν στην ασταθή μεταβατική κατάσταση, απ' όπου μπορεί να προκύψει διάσπαση των χημικών δεσμών.

Μετά τη διάσπαση των παλιών χημικών δεσμών, σχηματίζονται νέοι και απελευθερώνεται ενέργεια στο περιβάλλον.



▲ **Εικόνα 8.14 Το ενεργειακό προφίλ μιας εξώεργης αντίδρασης.** Τα «μόρια» της αντίδρασης είναι υποθετικά. Τα A, B, Γ, Δ αναπαριστούν τμήματα αυτών των υποθετικών μορίων. Από θερμοδυναμική άποψη, η απεικονιζόμενη αντίδραση είναι εξώεργη (αρνητική  $\Delta G$ ), άρα γίνεται αυθόρμητα. Ωστόσο, η ταχύτητα της αντίδρασης καθορίζεται από τον φραγμό που θέτει η ενέργεια ενεργοποίησης ( $E_A$ ).



▲ **Εικόνα 8.13** Παράδειγμα αντίδρασης που καταλύεται από ένζυμο: η υδρόλυση της σακχαρόζης από τη σακχαράση.

**Παράδειγμα:** Η διάσπαση της σακχαρόζης (της κοινής μας ζάχαρης-δισακχαρίτης) σε φρουκτόζη (μονοσακχαρίτης) και γλυκόζη (μονοσακχαρίτης), παράγει ενέργεια (εξώεργη-εξώθερμη).

Είναι αυθόρμητη αντίδραση, γιατί οδηγεί σε απλούστερη δομή.

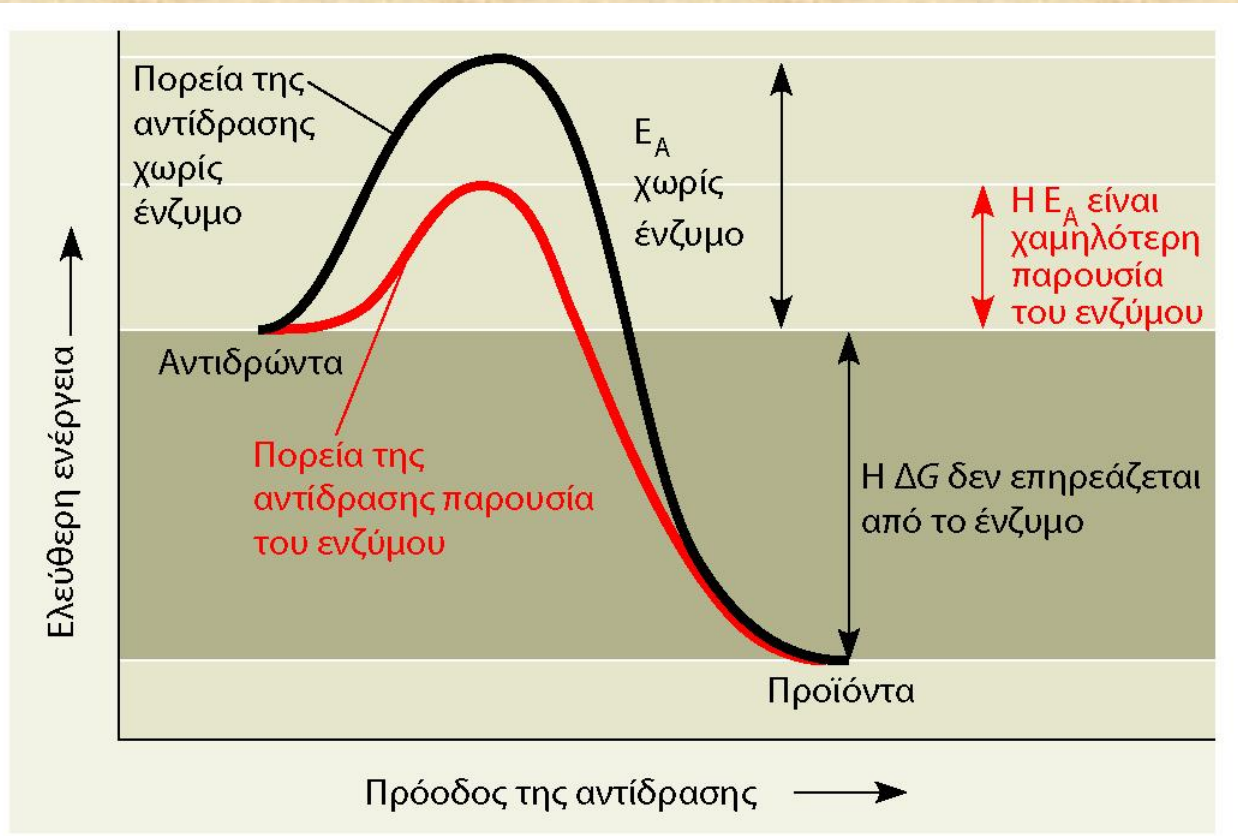
Όμως είναι πολύ αργή. Έτσι μπορεί να περάσουν χρόνια χωρίς να διασπασθεί ζάχαρη που βρίσκεται διαλυμένη μέσα σε αποστειρωμένο νερό σε γλυκόζη και φρουκτόζη.

Θυμηθείτε ότι αυθόρμητη αντίδραση δεν σημαίνει και γρήγορη.

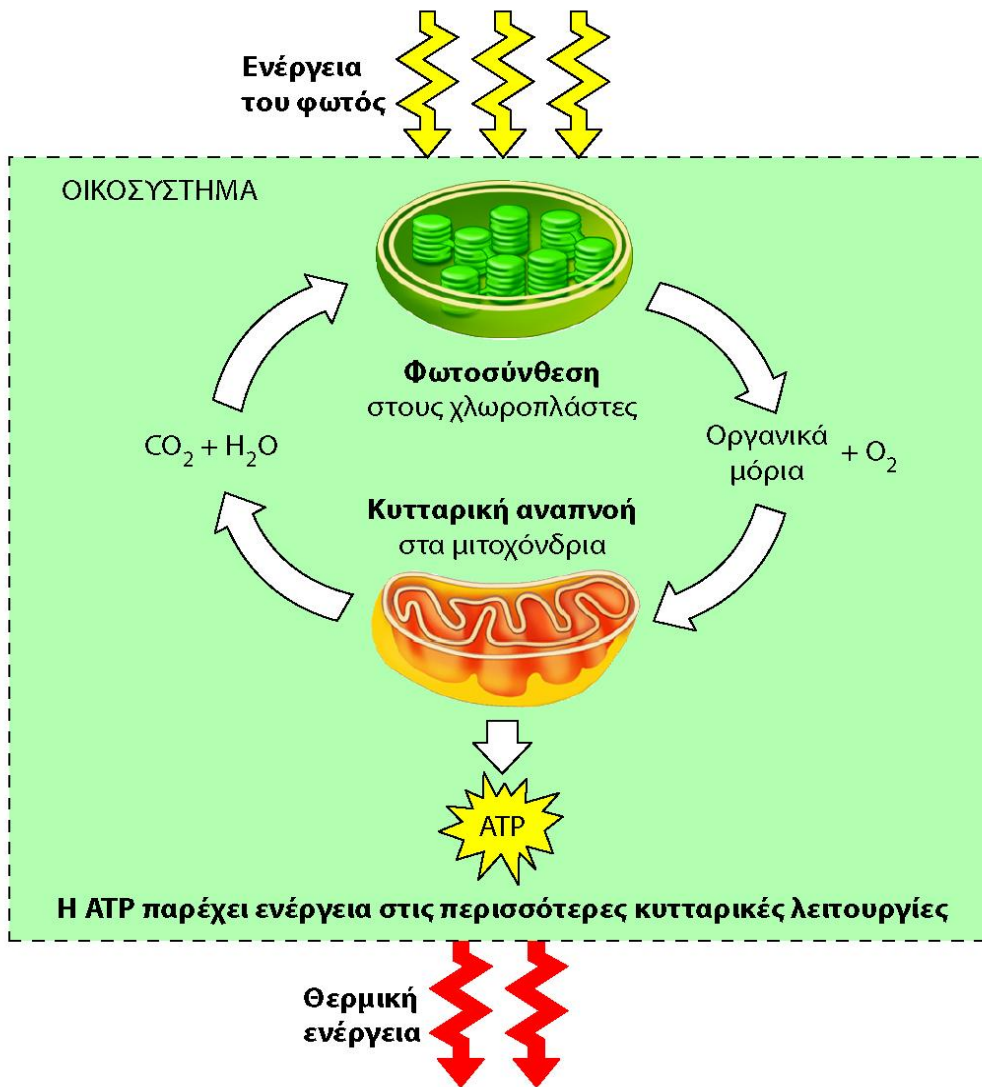
Αν όμως της δωθεί μία κατάλληλη «ώθηση», τότε γίνεται η διάσπαση της σε γλυκόζη σε ελάχιστα δευτερόλεπτα.

Η «ώθηση» δίνεται από πολύ συγκεκριμένα για κάθε αντίδραση ένζυμα (είδος πρωτεϊνών) που καταλύουν (επιταχύνουν) την αντίδραση (εδώ η σακχαράση).

▲ **Εικόνα 8.15** Η επίδραση ενός ενζύμου στην ενέργεια ενεργοποίησης. Τα ένζυμα επιταχύνουν μια αντίδραση χωρίς να επηρεάζουν την ελεύθερη ενέργεια ( $\Delta G$ ), αλλά μειώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης ( $E_A$ ).



# ΠΕΡΙ ΚΥΤΤΑΡΙΚΗΣ ΑΝΑΠΝΟΗΣ



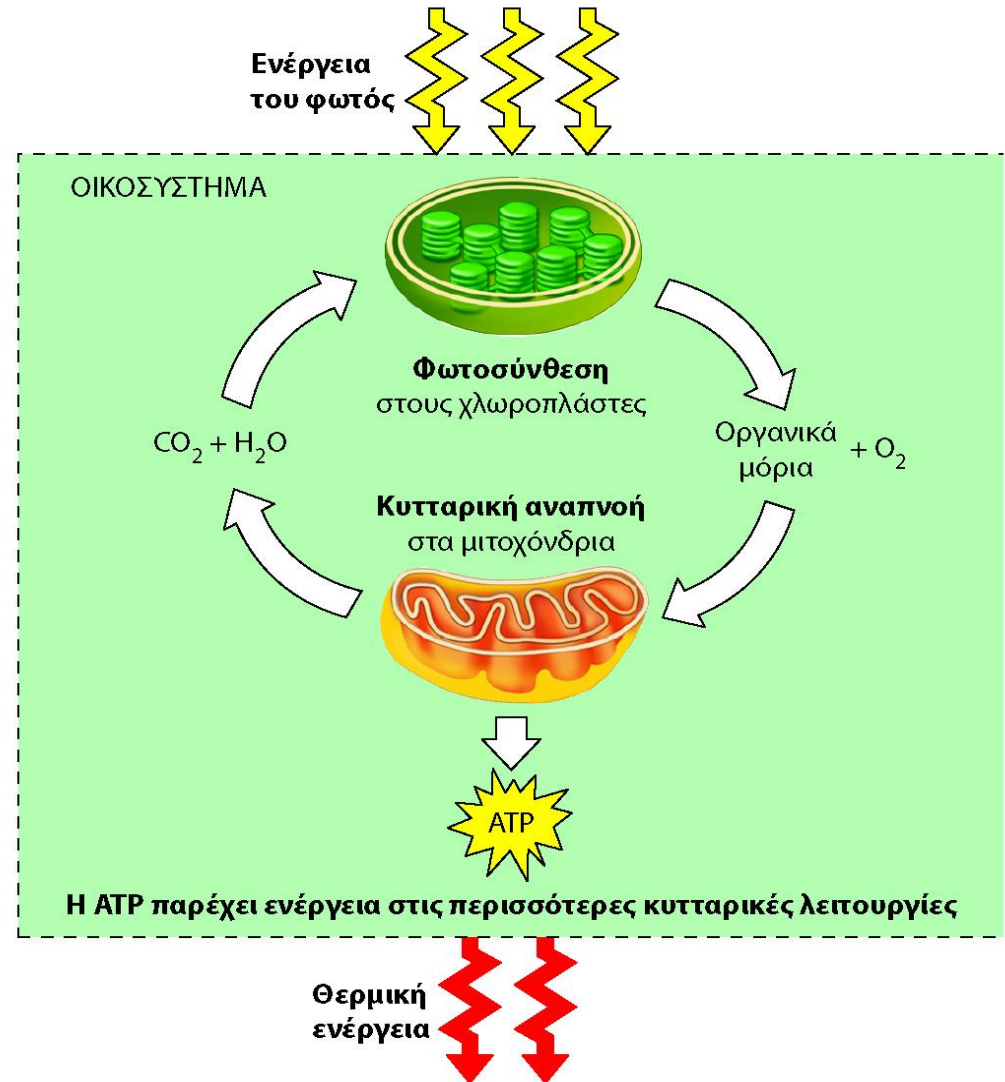
▲ **Εικόνα 9.2** Ροή ενέργειας και ανακύκλωση χημικών ουσιών στα οικοσυστήματα. Η ενέργεια εισρέει στα οικοσυστήματα υπό τη μορφή ηλιακού φωτός και τελικά εκρέει με τη μορφή της θερμότητας, ενώ τα απαραίτητα για τη ζωή χημικά στοιχεία ανακυκλώνονται.

- Τα ζωντανά κύτταρα απαιτούν ενέργεια για να επιτελέσουν τις πολυάριθμες λειτουργίες τους.
- Όλη η ενέργεια που προμηθεύονται οι ζωντανοί οργανισμοί προέρχεται ουσιαστικά από τον ήλιο.

• Παρατηρείστε ότι στο βιολογικό σύστημα της διπλανής εικόνας, η **ενέργεια εισέρχεται ως ηλιακό φως** κι **εξέρχεται ως θερμότητα**.

• Η **μάζα όμως ανακυκλώνεται** ως εξής:

- Μέσω της **φωτοσύνθεσης** (πάνω στον κύκλο) δημιουργείται οξυγόνο και οργανική ύλη π.χ. γλυκόζη.
- Η ύλη που προέρχεται από τη φωτοσύνθεση χρησιμοποιείται από τα μιτοχόνδρια μέσω της **κυτταρικής αναπνοής** (κάτω στον κύκλο) για να παραχθεί ATP (για κάλυψη ενεργειακών αναγκών) και επιπλέον διοξείδιο του άνθρακα + νερό που είναι οι πρώτες ύλες της φωτοσύνθεσης.
- **Κυτταρική αναπνοή:** είναι το σύνολο των καταβολικών διαδικασιών, όπου οργανικά μόρια διασπώνται για να παραχθεί ATP.



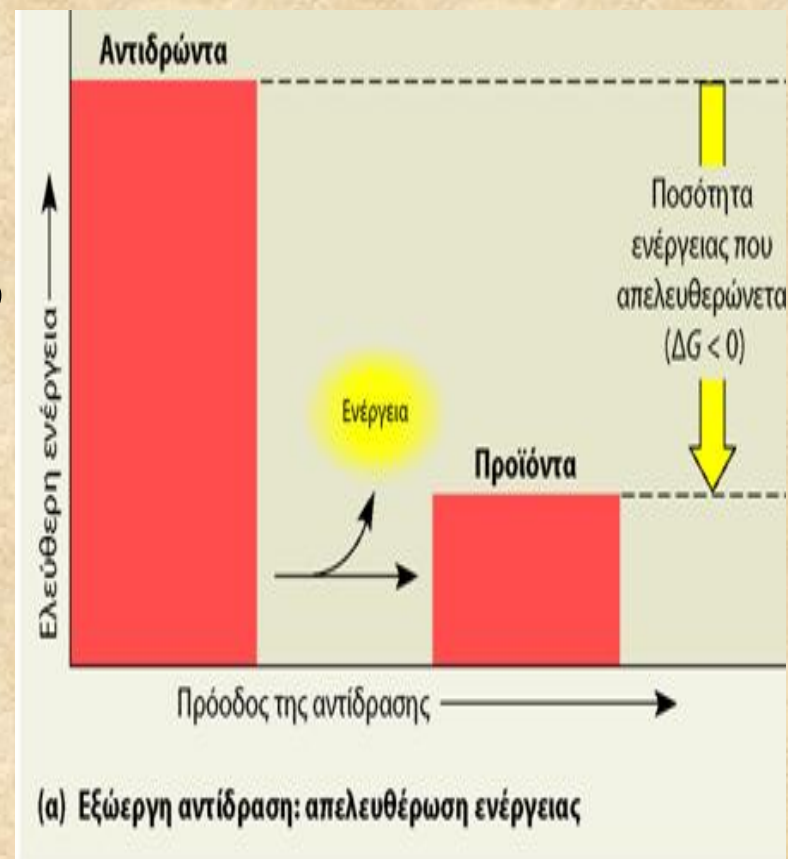
▲ **Εικόνα 9.2 Ροή ενέργειας και ανακύκλωση χημικών ουσιών στα οικοσυστήματα.** Η ενέργεια εισρέει στα οικοσυστήματα υπό τη μορφή ηλιακού φωτός και τελικά εκκρίνει με τη μορφή της θερμότητας, ενώ τα απαραίτητα για τη ζωή χημικά στοιχεία ανακυκλώνονται.

• Τα ζωντανά κύτταρα απαιτούν ενέργεια για να επιτελέσουν τις πολυάριθμες λειτουργίες τους.

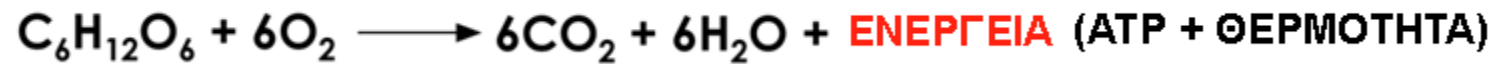
• Η ενέργεια απελευθερώνεται μέσα στο κύτταρο από διάσπαση πολύπλοκων ενώσεων σε απλούστερες (**καταβολικές διεργασίες** ή **καταβολισμός**-θυμηθείτε το σχήμα δεξιά).

• Το δεξί σχήμα είναι ένα γενικό σχήμα αντίδρασης που παράγει ενέργεια.

• Πώς υλοποιείται όμως στην πράξη ο **καταβολισμός**. Ποιοί είναι οι βασικοί μηχανισμοί **καταβολισμού**;



- 1) Ο κυριότερος μηχανισμός καταβολισμού είναι η **αερόβια αναπνοή** στην οποία απαιτούνται **οργανικές ουσίες** (π.χ. γλυκόζη) και **οξυγόνο** (από την αναπνοή). Λαμβάνει χώρα στα ευκαρυωτικά κύτταρα φυτών και ζώων και σε ορισμένα προκαρυωτικά. Π.χ. Η αποικοδόμηση της γλυκόζης:



και πιο αναλυτικά:



- 2) Ορισμένοι προκαρυωτικοί οργανισμοί **δεν χρησιμοποιούν οξυγόνο**, αλλά παράγουν τελικά ATP από άλλες ενώσεις και ο μηχανισμός λέγεται **αναερόβια αναπνοή**.
- 3) Η **ζύμωση** είναι ένας ακόμη μηχανισμός παραγωγής ATP που **δεν χρησιμοποιεί οξυγόνο** και μέσω αυτής παράγεται ενέργεια από την αποικοδόμηση σακχάρων.



## ΚΑΙ ΛΙΓΗ ΑΚΟΜΑ ΧΗΜΕΙΑ

- Η αξιοποίηση από το κύτταρο της ενέργειας που βρίσκεται στα μόρια των τροφών, ουσιαστικά γίνεται μέσω οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων και ουσιαστικά μέσω **μερικής ή ολικής μεταφοράς ηλεκτρονίων από μία ένωση σε άλλη.**
- Η χημική ένωση που δέχεται ηλεκτρόνια ανάγεται, ενώ αυτή που χάνει ηλεκτρόνια οξειδώνεται. Κάθε οξείδωση συνοδεύεται από μία ταυτόχρονη αναγωγή. Όταν μία χημική ουσία χάνει ηλεκτρόνια (οξειδώνεται), τότε κάποια άλλη ουσία προσλαμβάνει τα ηλεκτρόνια αυτά (ανάγεται).