

BİYOENERJETİK: ATP'İN ROLÜ

Prof. Dr. Erdiñç DEVRİM

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı

<http://cv.ankara.edu.tr/devrim@ankara.edu.tr>

BİYOENERJETİK

- **Enerji**, bir olayın gerçekleşebilirliğini ve yönünü belirleyen güç ya da bir işi gerçekleştirme yeteneği olarak tanımlanır.
- **Termodinamik**, enerji ve madde arasındaki ilişkileri inceleyen fizik dalıdır.
- Termodinamik ilkeler ve yöntemler aracılığıyla biyokimyasal olayları inceleyen bilim dalına ise **biyoenerjetik** (**biyokimyasal termodinamik**) adı verilir.
- **Biyoenenerjetik** terimi hücreesel enerji dönüşümlerini ifade eder.

TERMODİNAMİK KAVRAMLARI

- Termodinamik, bir kimyasal ya da fiziksel olay sırasında, belirli bir madde grubunu kapsayan bir **sistem**de meydana gelen enerji değişikliklerini ölçer.
- Sistemin dışındaki maddenin tümü bu bağlamda **çevre** olarak tanımlanır.
- **Evren = Sistem + Çevre**

TERMODİNAMİK YASALARI

- Birinci yasa:

Evrenin toplam enerjisi sabittir.

- İkinci yasa:

*Evren sürekli daha düzensiz olma eğilimindedir.
Tüm doğal süreçlerde evrenin toplam entropisi artar.*

Termodinamik İfadeler, Yasalar ve Sabitler

Tanımlar

ΔG	Serbest enerji (Gibbs serbest enerjisi) değişimi
ΔG^0	Standart serbest enerji değişimi, substratların ve ürünlerin 1 M konsantrasyonları ile başladığı durumdaki ΔG
$\Delta G^{0'}$	25 °C ve pH 7,0'daki standart serbest enerji değişimi
ΔH	Entalpi veya ısı içeriği değişimi
ΔS	Entropi değişimi veya düzensizlikteki artış
K'_{denge}	25 °C ve pH 7,0'daki denge sabiti ($[\text{H}_2\text{O}] = 55,5 \text{ M}$ ve $[\text{H}^+] = 10^{-7} \text{ M}$ sabitin içindedir)
$\Delta E^{0'}$	İndirgenme potansiyelindeki değişim
$\sim P$	Yüksek enerjili fosfat bağı için biyokimyasal sembol (hidrolizi sonucunda yaklaşık 7 kcal/mol ısıdan daha fazla enerji açığa çıkan bağı)

Termodinamik Yasaları

Termodinamiğin birinci yasası (enerjinin korunması): Herhangi bir fiziksel ve kimyasal değişimde çevresi ile birlikte sistemin toplam enerjisi sabit kalır.

Termodinamiğin ikinci yasası: Evren düzensiz olma eğilimindedir. Tüm doğal süreçlerde bir sistemin toplam entropisi her zaman artar.

Sabitler

ΔG ve ΔH 'in birimi = cal/mol veya J/mol: 1 cal = 4,18 J
T, mutlak sıcaklık: K, Kelvin = 273 + °C (25 °C = 298 °K)
R, evrensel gaz sabiti: 1,98 cal/mol-K veya 8,31 J/mol-K
F, Faraday sabiti: F = 23 kcal/mol-volt veya 96500 J/V.mol
 $E^{0'}$ 'nin birimi, volt

Formüller

$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$
 $\Delta G^{0'} = -RT \ln K'_{\text{denge}}$
 $\Delta G^{0'} = -nF \Delta E^{0'}$
 $\ln = 2,303 \log_{10}$

Gibbs serbest enerjisi (G)

- Sabit basınç ve sıcaklıkta gerçekleşen bir tepkime (reaksiyon) sırasında iş yapabilen enerji miktarını ifade eder. Başka bir deyişle, kullanılabilir enerjidir.
- Bir tepkime serbest enerji açığa çıkararak gerçekleşiyorsa ΔG negatif bir değerdir ve tepkime ekzergoniktir.
- Bir tepkime serbest enerji alarak gerçekleşiyorsa ΔG pozitif bir değerdir ve tepkime endergoniktir.

Metabolizma

- Ekzergonik tepkimeler *katabolizma* olarak bilinir (genellikle yakıt moleküllerinin yıkım veya oksidasyonu ile gerçekleşir).
- Yapım (sentez) tepkimeleri anabolizma olarak adlandırılır.


Anabolizma + Katabolizma = Metabolizma

Entalpi (H)

- Tepkime sisteminin ısı içeriğidir.
- Bir kimyasal tepkime çevresine ısı veriyorsa ekzotermiktir ve ΔH negatif bir değerdir.
- Bir kimyasal tepkime çevresinden ısı alarak gerçekleşiyorsa endotermiktir ve ΔH pozitif bir değerdir.

Entropi (S)

- Bir sistem ve çevresinin düzensizliğinin kantitatif ifadesidir.
- Sistem dengeye geldiği zaman toplam entropi en büyük değerine ulaşır.



Biyolojik sistemlerde var olan koşullarda
(sabit basınç ve sıcaklıkta):

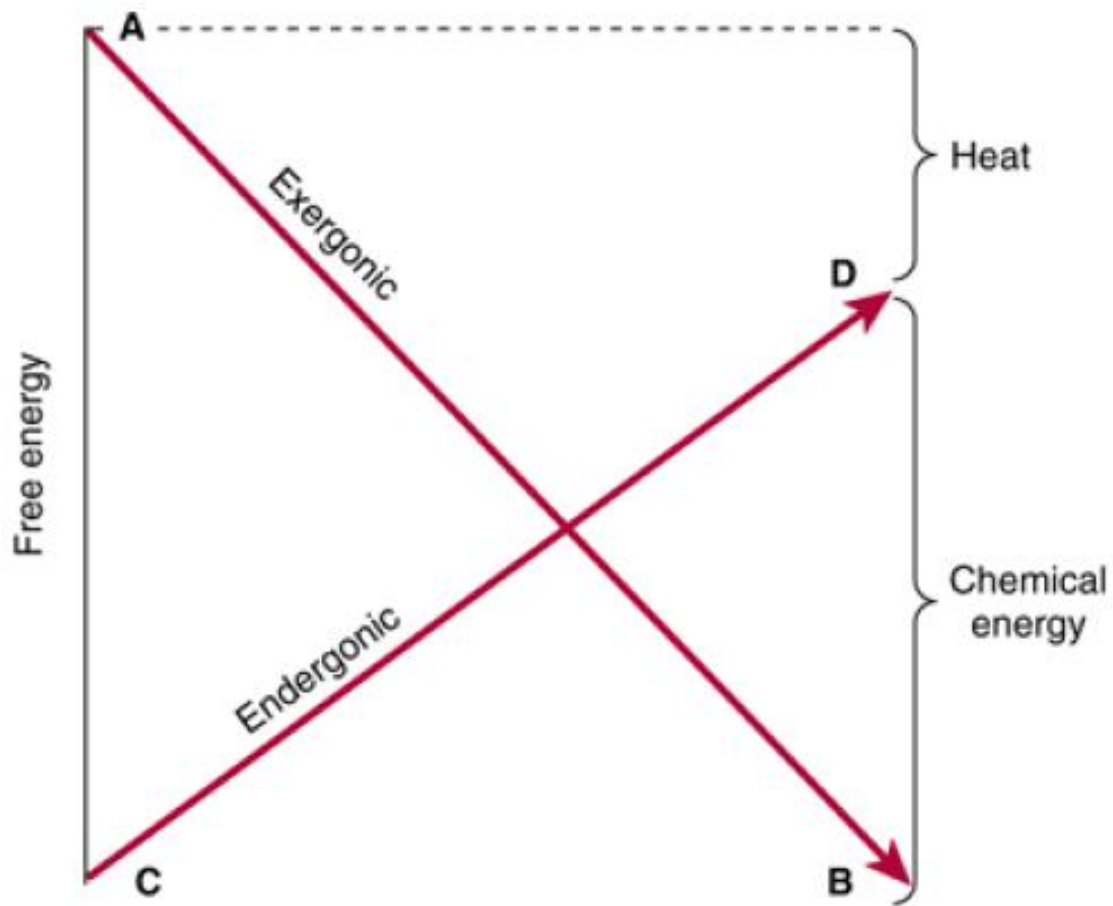
$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Biyokimyasal tepkimeler için Gibbs serbest enerjisi

$$\Delta G^{0'} = -RT \ln K'_{eq}$$

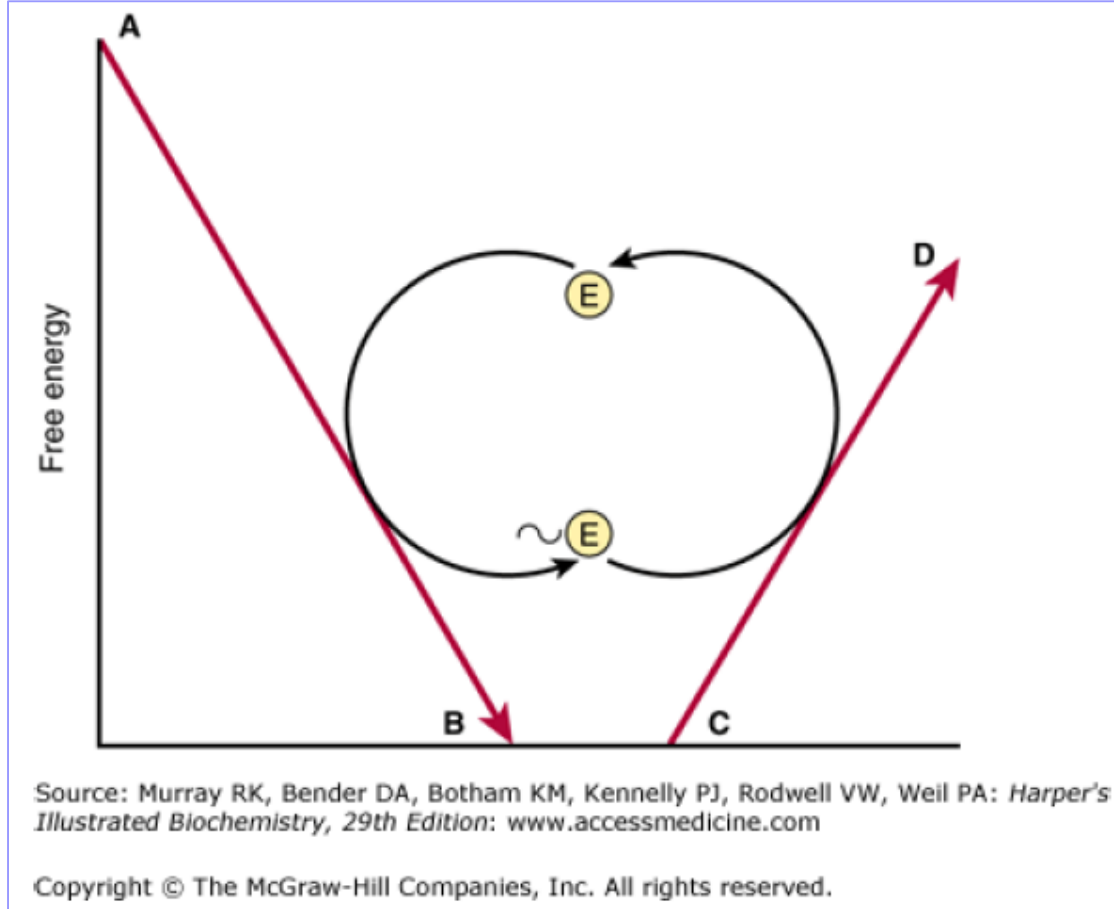


ENERJİ TRANSFERİNDE ATP'NİN ROLÜ



Source: Murray RK, Bender DA, Botham KM, Kennelly PJ, Rodwell VW, Weil PA: *Harper's Illustrated Biochemistry, 29th Edition*: www.accessmedicine.com

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

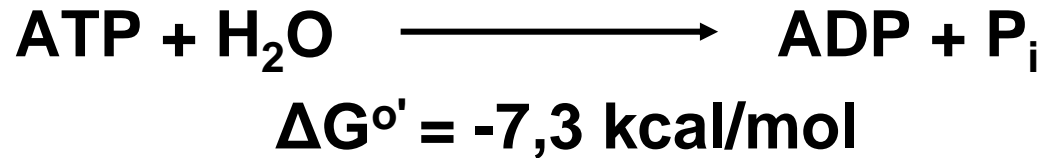


SERBEST ENERJİNİN EKZERGONİK BİR
REAKSİYONDAN ENDERGONİK BİR REAKSİYONA
YÜKSEK ENERJİLİ BİR ARA BİLEŞİK TARAFINDAN
TAŞINMASI

YÜKSEK ENERJİLİ BİLEŞİKLER

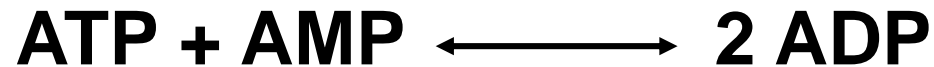
- Hücrelerin çoğunda gerçek serbest enerji değişimleri bilinmediğinden, reaksiyonların enerji değişimlerinin karşılaştırılmasında ATP hidrolizine ait standart serbest enerji değişimi kullanılır.
- ATP, biyolojik sistemlerde serbest enerjinin uzun süreli depolanmış şeklinden çok, enerjinin aktarılmasında önemli bir aracı olarak görev yapar ve hızla kullanılır.
- Standart koşullar altında hidrolizi sonucunda ATP hidrolizinden daha fazla serbest enerji sağlayan bileşikler "**yüksek enerjili bileşikler**" olarak ifade edilir.

ATP HİDROLİZİ



- ATP yapısındaki fosfoanhidrit bağlarının kararsızlığı negatif yüklü fosfat gruplarından kaynaklanır (ATP ürünlere göre daha kararsız yapıdadır).
- Ürünlerden inorganik fosfatın (P_i) rezonans formları bulunmaktadır.
- Diğer ürün ADP hızla iyonize olmaktadır.
- Her iki ürünün de yüksek hidrasyon özelliği bulunmaktadır.

ADENİLAT KİNAZ



- ADP içindeki yüksek enerjili fosfatın ATP'ye dönüşümüne olanak sağlar.
- ATP'nin katıldığı reaksiyonlarda ADP'nin yeniden fosforlanması ile belli enzimler için önemli bir allosterik aktivatör olan AMP oluşumuna olanak tanır.
- ATP konsantrasyonunun azalması sonucu artan AMP allosterik sinyal molekülü olarak ATP oluşumuna yol açan reaksiyonların başlatılmasını sağlar.

KAYNAKLAR

- **Harper's Illustrated Biochemistry**, 30th Edition. Rodwell VW, Bender DA, Botham KM, Kennely PJ, Weil PA. Lange, 2015. (*Chapter 11*)
- **Essentials of Medical Biochemistry with Clinical Cases**, Second Edition. Bhagavan NV, Ha C-E, Academic Press, 2015. (*Chapter 5*)
- **Lehninger Principles of Biochemistry**, Fourth Edition. Nelson DL, Cox MM. WH Freeman & Co, 2004. (*Chapter 1 & 13*)