

BİYOENERJİ VE METABOLİZMA

ÖĞRENİM HEDEFLERİ

- **Enerji, İş**
- **Enerji tipleri**
- **Biyoenerji**
- **Canlı organizmalarda enerji kullanımı**
- **Termodinamik Kanunları**
- **Entropi ve Entalpi**
- **Enerji transferi ve metabolik enerji kullanımı**

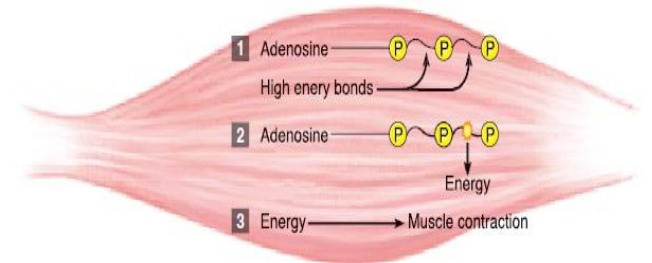
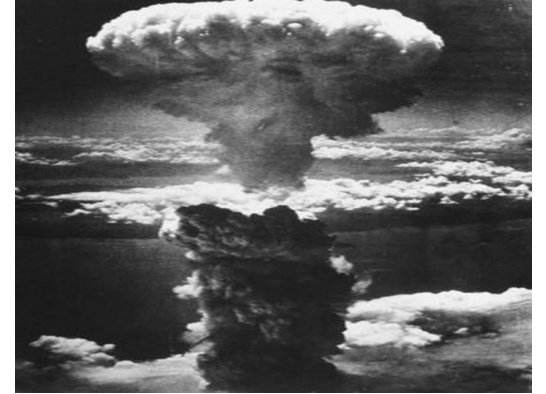
ENERJİ

Enerji: İş yapma kapasitesi

İş: Enerjinin değişik formudur

Doğada enerji çeşitli formlarda mevcuttur:

- ışık enerji
- elektriksel enerji
- Isı enerjisi
- nükleer enerji
- kimyasal enerji



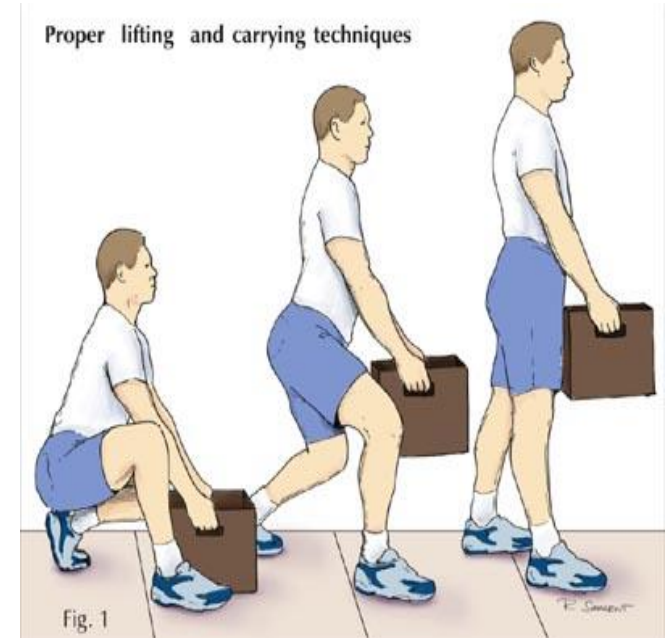
KUVVET-ENERJİ-İŞ

Enerji: İş yapma kapasitesi

İş: Enerjinin değişik formudur

Kuvvet: Bir nesneyi hareket ettiren veya şeklini değiştiren herhangi bir etki

***1 kalori = 4.184 joule**



$$\text{Work (J)} = F \cdot d$$

$$J = \text{Newton} \cdot \text{meter}$$

$$F (\text{Newton}) = m \cdot a \\ = (\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2)$$

$$\text{Work (J)} = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^2$$

KUVVET-ENERJİ-İŞ

TABLE 3.1 Terms in the English, metric, and international systems

Unit	English system	Metric system	International system
Mass	slug	kilogram (kg)	kilogram (kg)
Distance	foot (ft)	meter (m)	meter (m)
Time	second (s)	second (s)	second (s)
Force	pound (lb)	newton (N)	newton (N)
Work	foot-pound (ft-lb)	kilogram-meter (kgm)	joule (J)
Power	horsepower (hp)	watt (W)	watt (W)

❖ *Enerji, yaşam için önemlidir...*

Enerjinin 6 tipi:

- mekaniksel
- kimyasal
- ısı
- elektriksel
- ışık ve
- nükleer

İnsan vücudunda

termodinamik kanunlarına göre dönüştürülebilir.

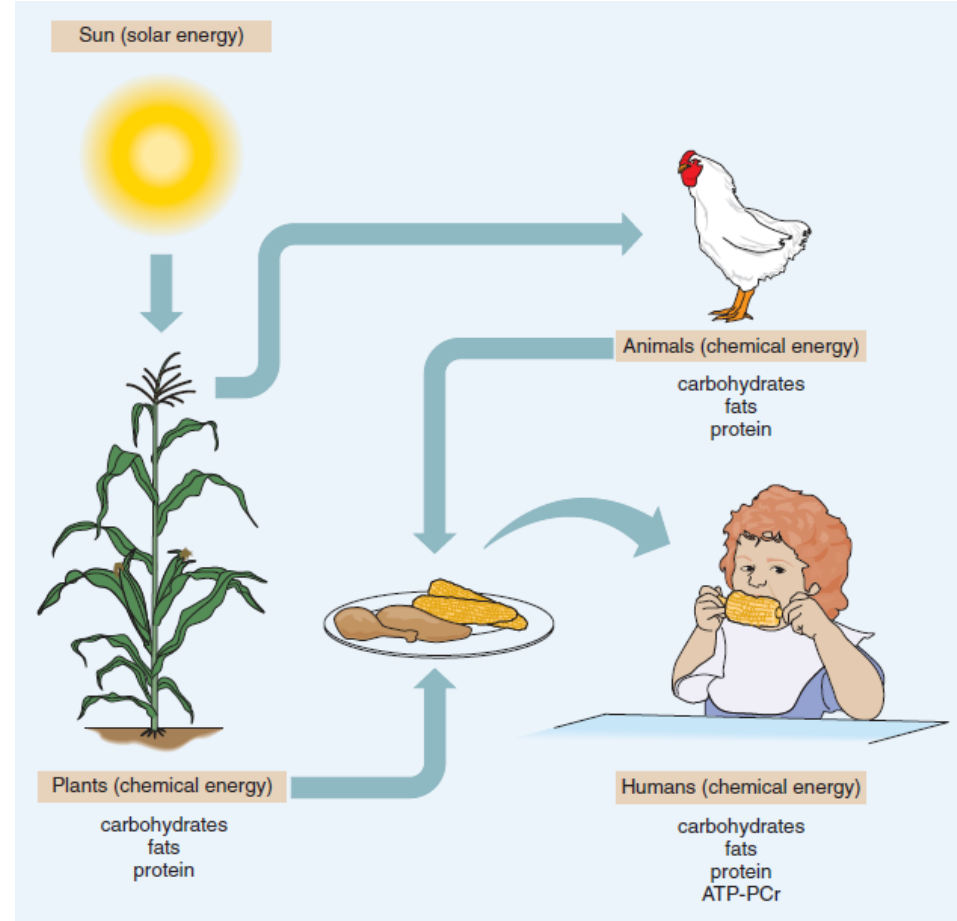
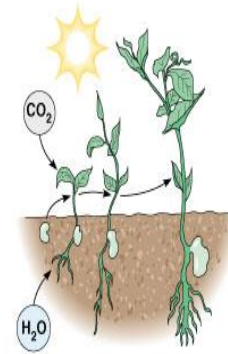


FIGURE 3.1 Through photosynthesis, plants utilize solar energy and convert it to chemical energy in the form of carbohydrates, fats, or proteins. Animals eat plants and convert the chemical energy into their own stores of chemical energy—primarily fat and protein. Humans ingest food from both plant and animal sources and convert the chemical energy for their own stores and use.

CANLILAR NEDEN ENERJİYE İHTİYAÇ DUYAR?

Bütün canlılar, varlıklarını sürdürebilmek için iş yapmak zorundadır.

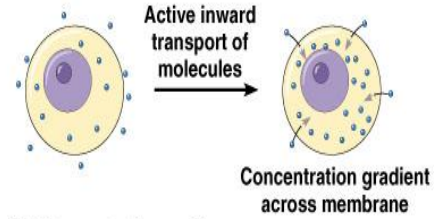
- Mekanik iş
- Osmotik iş
- Kimyasal İş
- Elektriksel iş



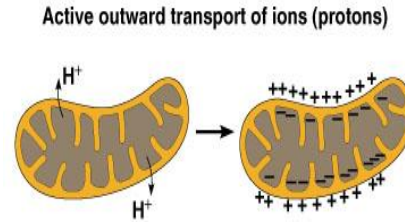
(a) Synthetic work



(b) Mechanical work



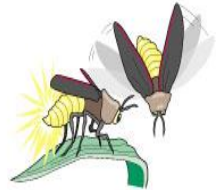
(c) Concentration work



(d) Electrical work



(e) Heat



(f) Bioluminescent work

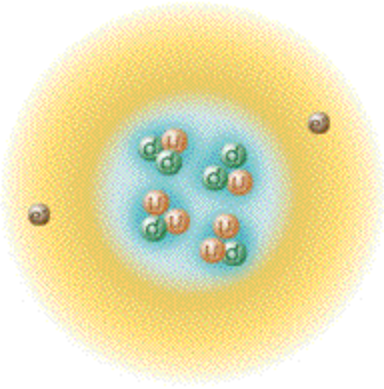
ENERJİ TİPLERİ

1- Mekanik enerji (Kinetik +potansiyel)

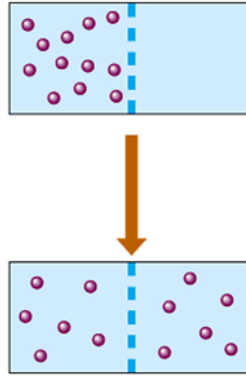
Kinetik enerji:

-hareketli obje tarafından üretilen enerji

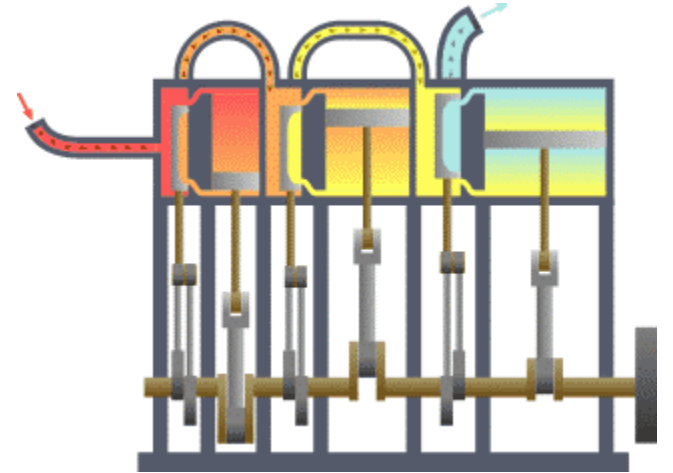
Örneğin: hareket eden elektronlar, ısısal hareket, gibi.



ATOM HAREKETİ



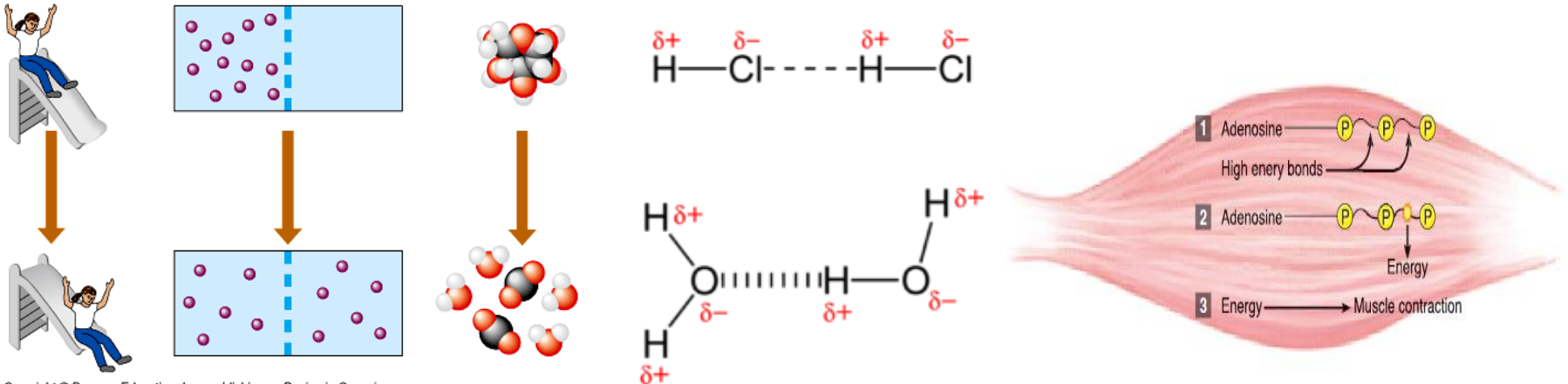
MOLEKÜLER HAREKET



ISIL SİSTEM HAREKETİ

Potansiyel enerji: Durgun nesneler hala enerjiye sahip olabilir

- ❖ Durum veya yapısal enerji
- ❖ Etkileşim potansiyel enerjisi, bağ enerjisi
- ❖ Depolanmış enerji (Kimyasal potansiyel enerji, ATP gibi)

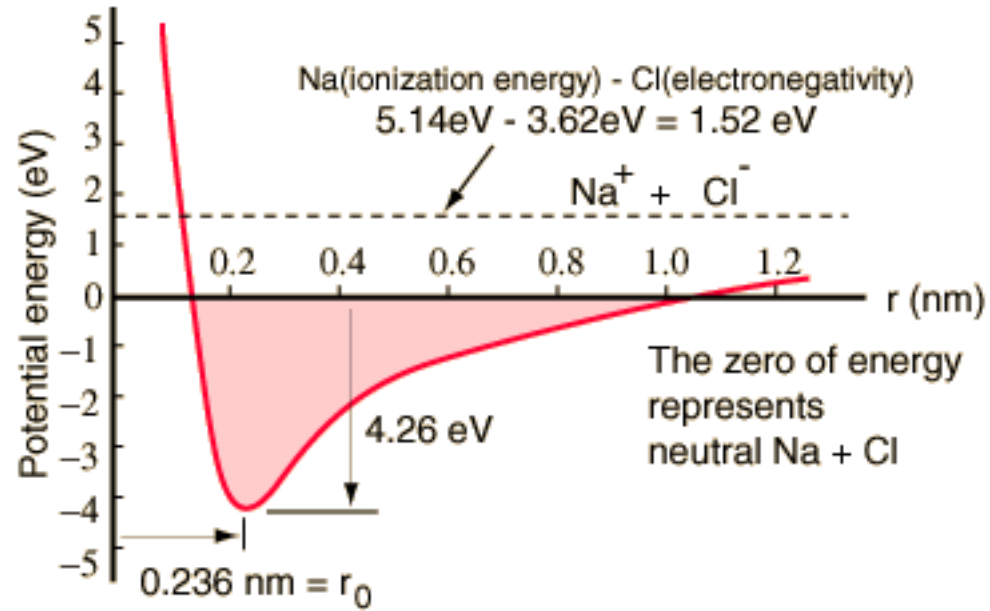


MOLEKÜLLER ARASI ETKİLEŞİMLER

Etkileşim potansiyel enerjisi
Bağlanma enerjisi

$$U_{\text{iyon}} = - \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r}$$

- 1 mol gazın ortalama ısısal enerjisi, **RT**, R evrensel gaz sabiti,
- 1 gaz molekülü ortalama ısısal enerjisi, k Boltzman sabiti: **kT**
- Vücut sıcaklığında **RT~0.616** kcal/mol dolaylarındadır.



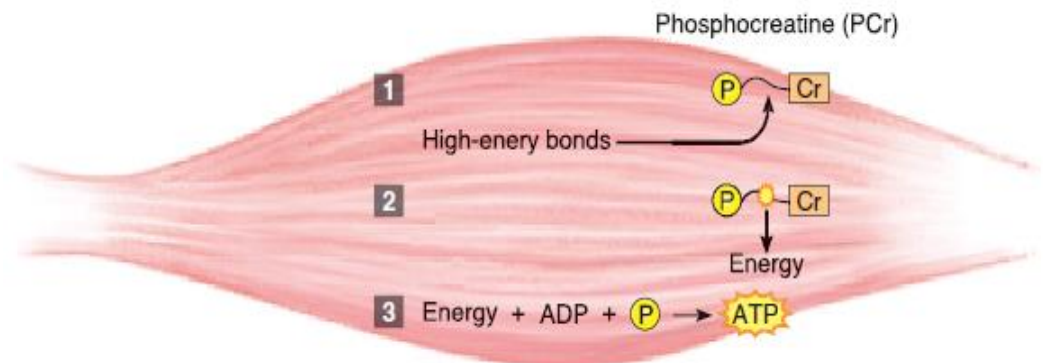
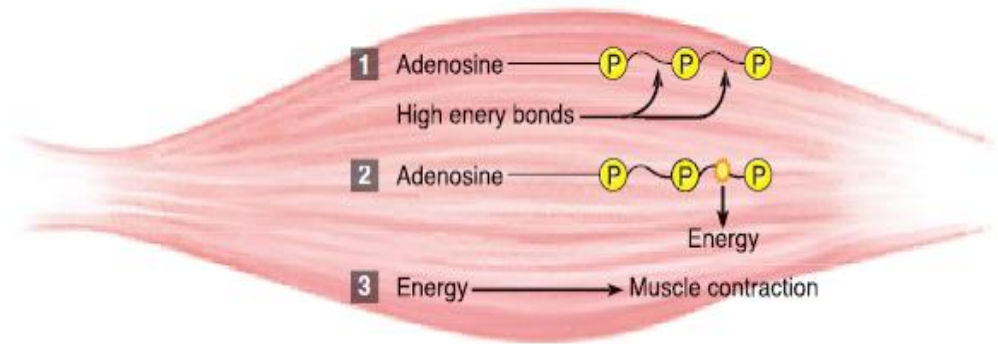
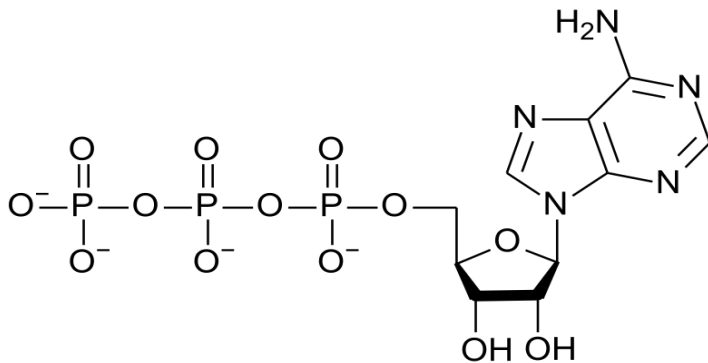
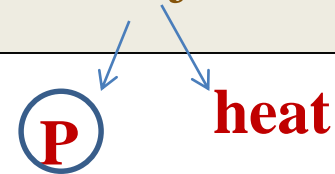
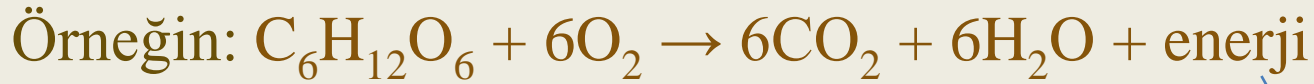
BİYOMOLEKÜLERDE POTANSİYEL ENERJİ

Tablo 1.3. Kimyasal Bağ (Disosiyasyon) ve Etkileşim Enerjileri

Etkileşim	Tipi	Enerji (kcal/mol)
Atom veya Moleküllerin Ortalama Isısal enerjisi (RT)		0.616
ZAYIF ETKİLEŞİMLER:		
1. van der Waals		1-2
2. dipol - dipol		3-7
3. hidrojen bağı	$\begin{array}{c} \text{O} \cdots \text{H} - \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$	5
4. enzim - substrat		3-12
5. iyon - dipol	$\text{K}^+ \cdots \text{HOH}$	17
KUVVETLİ ETKİLEŞİMLER:		
1. Kovalant bağ		
	$\begin{array}{c} \text{H} - \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} - \text{C} - \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$	100
	$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} - \text{N} - \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$	58
	$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} - \text{N} - \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$	50
	$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} - \text{N} - \\ \diagup \quad \diagdown \end{array}$	70
	$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} - \text{O} \\ \diagup \end{array}$	145
	$\begin{array}{c} \diagdown \quad \diagup \\ - \text{C} \equiv \text{C} - \\ \diagup \end{array}$	120
2. İyonik bağ		
NaCl buharı (1)		99
Latis enerjisi		183

Kimyasal enerji:

- kimyasal tepkime sonucunda ortaya çıkan enerji



ISI VE KİNETİK KURAM: ISI ENERJİSİ

$$Q=m.c.\Delta T$$

Q: verilen veya alınan ısı enerjisi miktarı

m: kütle, c: [ÖZ ISI](#)

m.c= ISI KAPASİTESİ

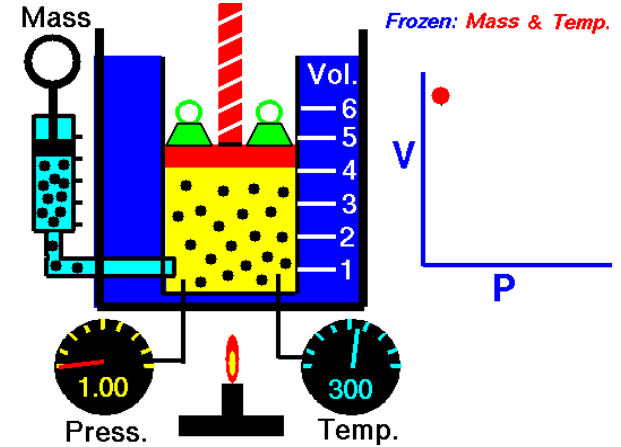
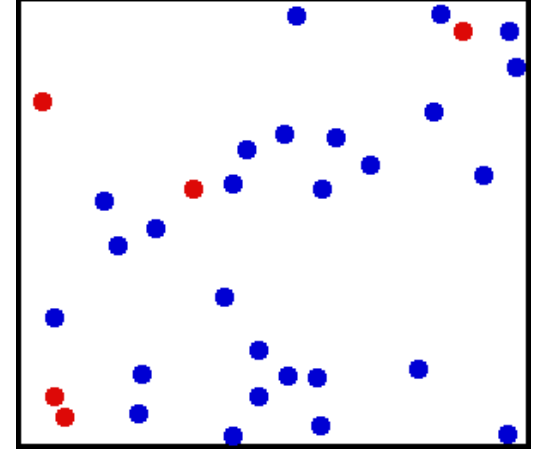
ΔT : sıcaklık farkı (sıcaklık değişimi)

İdeal gaz yasası ve Boyle yasası:

Gazların makroskopik özelliklerini açıklar, basınç, sıcaklık ve hacim gibi

$$PV=nRT$$

$$P_1V_1=P_2V_2$$



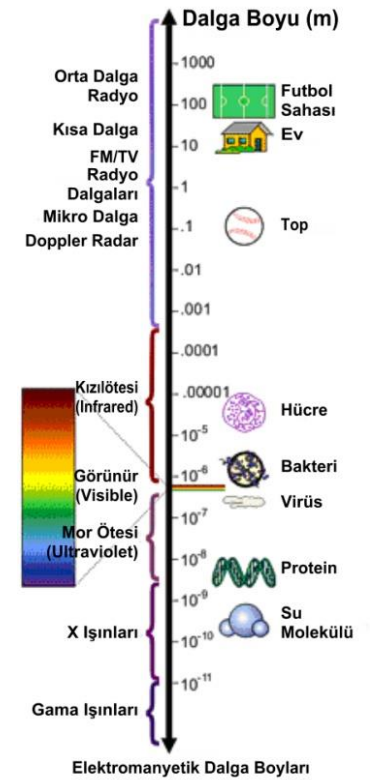
$$\left(\frac{1}{2}mv^2\right)_{ort} = \frac{3}{2}kT$$

ISI VE SICAKLIK

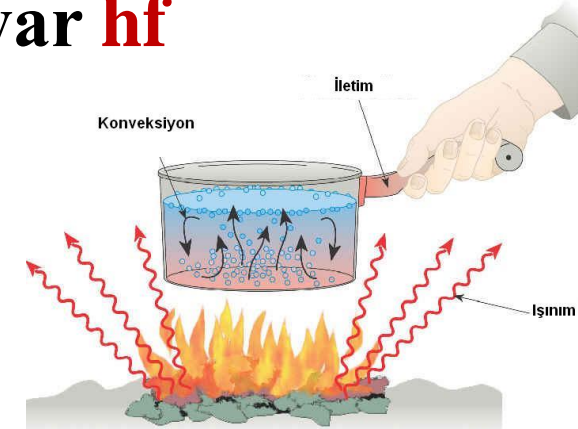
	TANIM	BİRİM
ISI (Q)	Bir maddedeki moleküllerin rastgele hareketi nedeniyle oluşan bir enerji biçimidir. Maddenin tüm moleküllerinin toplam enerjisidir.	Calori (cal)=4.134 J
SICAKLIK (T)	Bir maddenin bir molekülünün ortalama kinetik enerjisidir.	°C, K, F
ISI KAPASİTESİ (C)	Bir maddenin sıcaklığını 1 °C arttırmak için gerekli olan ısı enerji miktarına denir.	cal/kg °C
KALORİK DEĞER VEYA YAKIT DEĞERİ	Bir maddenin birer gramının sağladığı enerji miktarına denir	kcal/g

ISI NASIL İLETİLİR

- İletim (Fourier yasası)
- Işınım ($E=h.f$)
- Isı yayılımı



T sıcaklığında bir cisim, o sıcaklığa özgü bir elektromanyetik ışıma yayar **hf**



Sıcakta ve soğuk koşullarda vücut sıcaklığını nasıl düzenleriz?

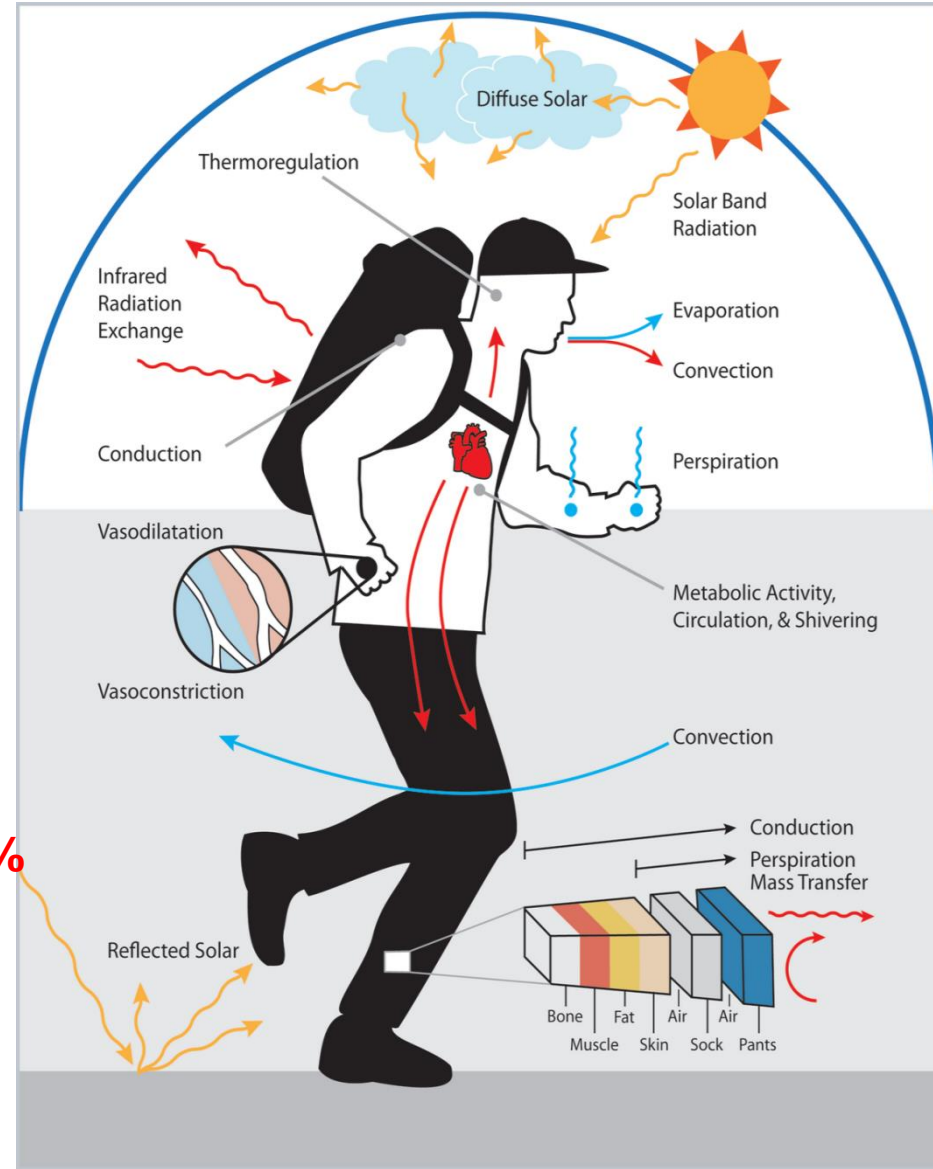
Işınım-Radyasyon ~ 55% ~ 5%

İletim ~ 25% ~ 15%
Isı yayma

Terlemenin buharlaşması ~ 7%
Nefes alama yoluyla terleme ~ 13%

~ 80%

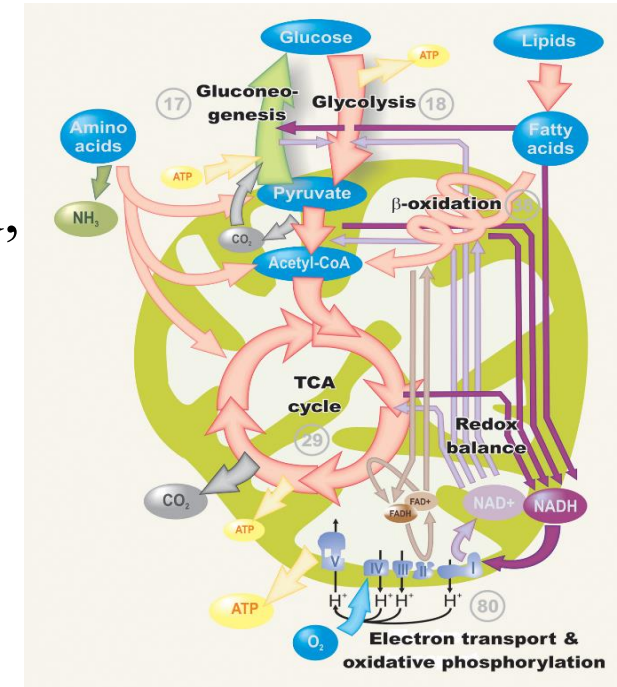
1 L suyu buharlaştırmak için 540 kcal ihtiyaç vardır



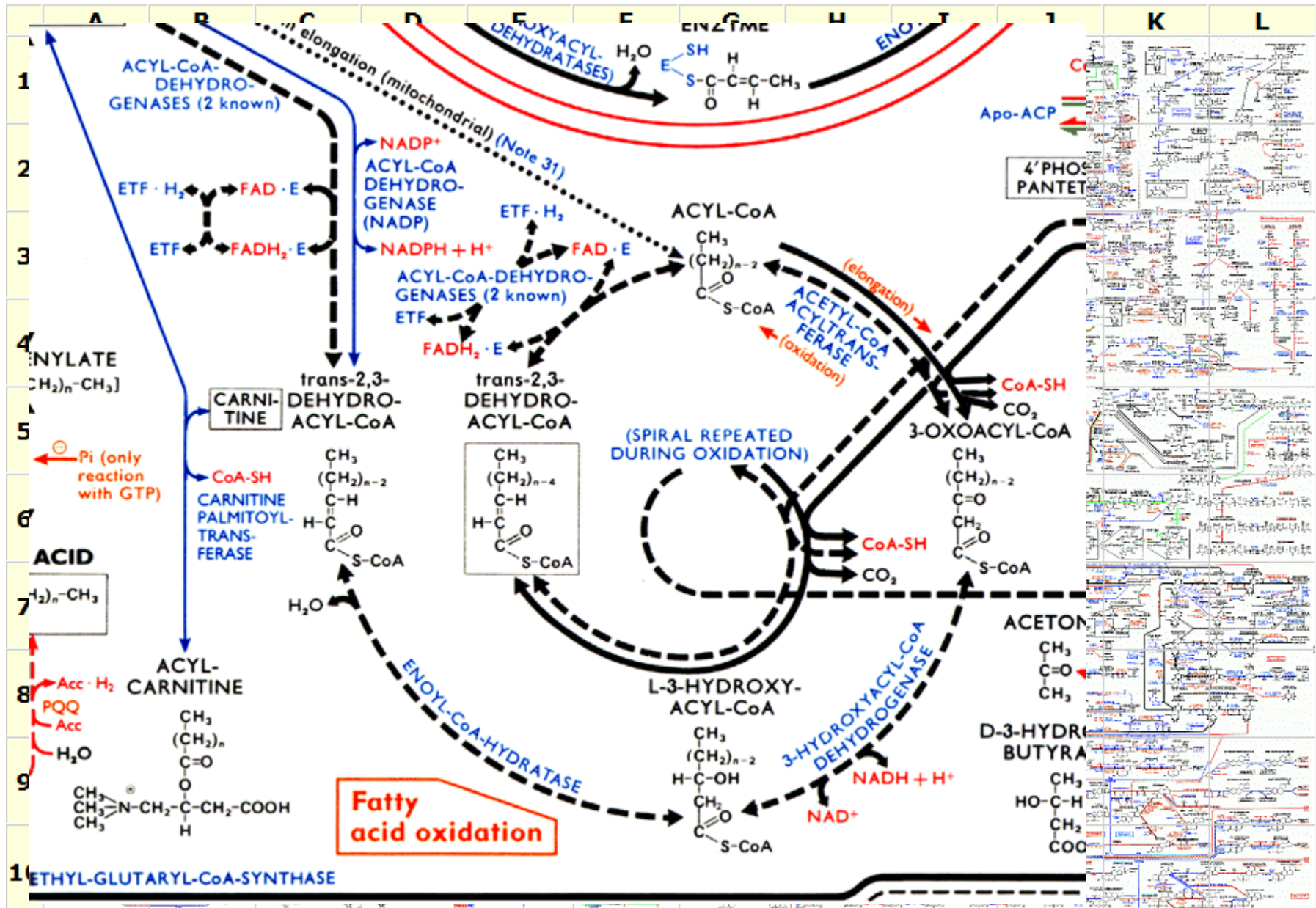
Nemlilik buharlaşma oranını azaltır

BİYOENERJİ VE BİYOENERJETİKLER

- **Biyoenerji**; mısır, şeker kamışı, odun gibi organik malzemelerden elde edilen yenilenebilir enerjidir.
- **Biyoenerjetik**, canlı organizmalar içinde ve arasında enerji kullanımını ve dönüşümlerle ilgilenir.
- **Biyolojik termodinamik**, glikoliz, sitrik asit döngüsü, oksidatif fosforilasyon, üre döngüsü, yağ asidi β -oksidasyonu gibi reaksiyonlardır.

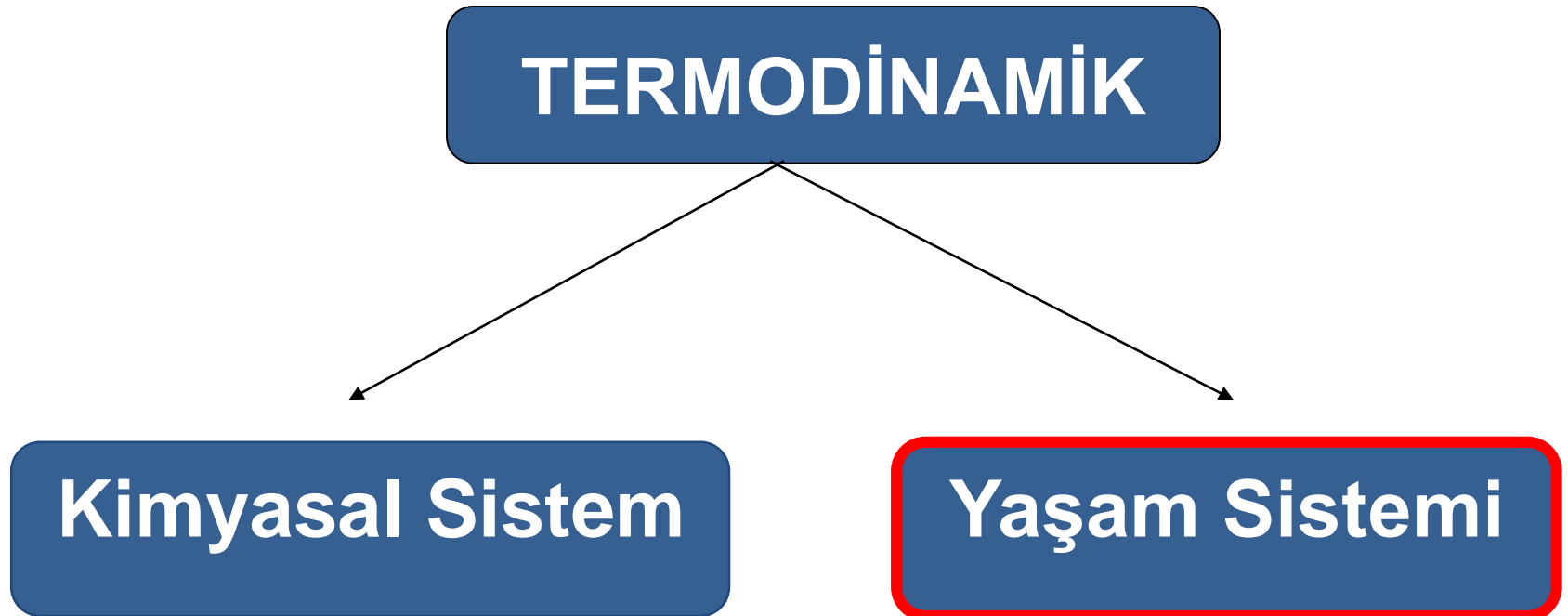


BİYOENERJİ VE BİYOENERJETİKLER



TERMODİNAMİK KANUNLARI

Termodinamik : *Therme* (ısı) ve *dynamics* (güç)



TERMODİNAMİK KANUNLARI

Termodinamik I

Termodinamik II

Termodinamik III

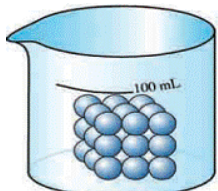
Termodinamiğin I. kanunu enerjinin
dönüşümü kanunudur

```
graph TD; A[Termodinamiğin I. kanunu enerjinin dönüşümü kanunudur] --> B[İş]; A --> C[Isı];
```

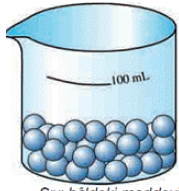
İş

Isı

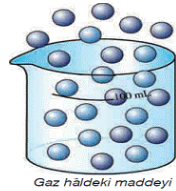
TERMODİNAMİĞİN I. KANUNU



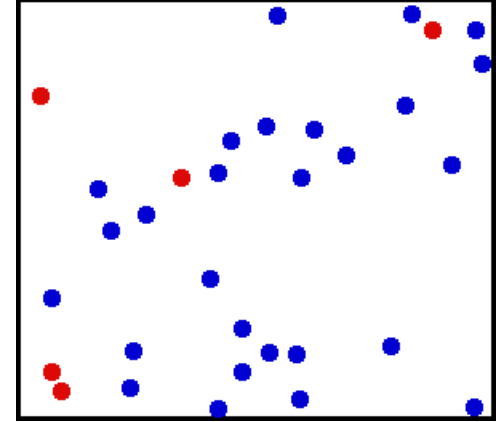
Katı hâldeki maddeyi
oluşturan tanecikler



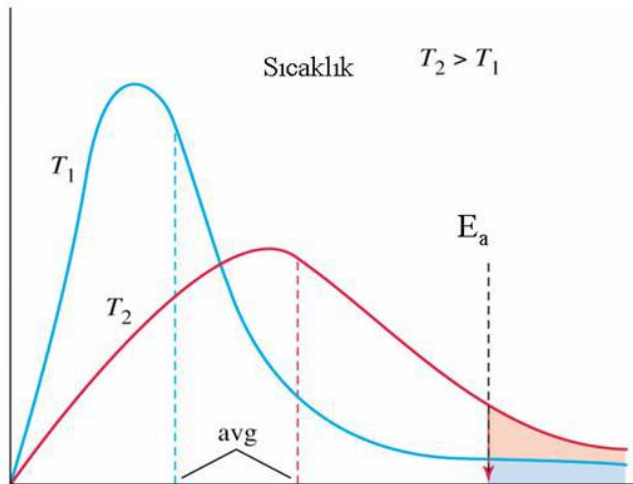
Sıvı hâldeki maddeyi
oluşturan tanecikler



Gaz hâldeki maddeyi
oluşturan tanecikler



$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

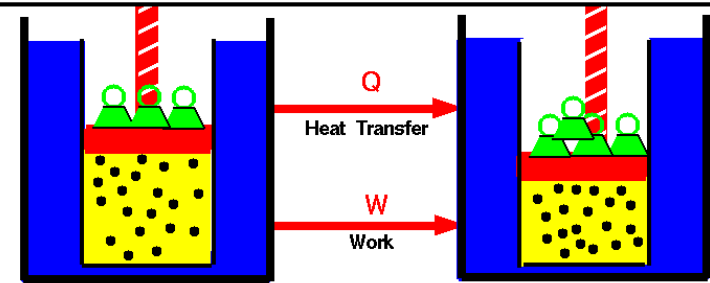


Molekül sayısı-kinetik enerji grafiği



First Law of Thermodynamics

Glenn
Research
Center



State 1

E = Internal Energy

State 2

$$E_2 - E_1 = Q - W$$

Any thermodynamic system in an equilibrium state possesses a state variable called the internal energy (E). Between any two equilibrium states, the change in internal energy is equal to the difference of the heat transfer into the system and work done by the system.

TERMODİNAMİĞİN I. KANUNU NEDİR?

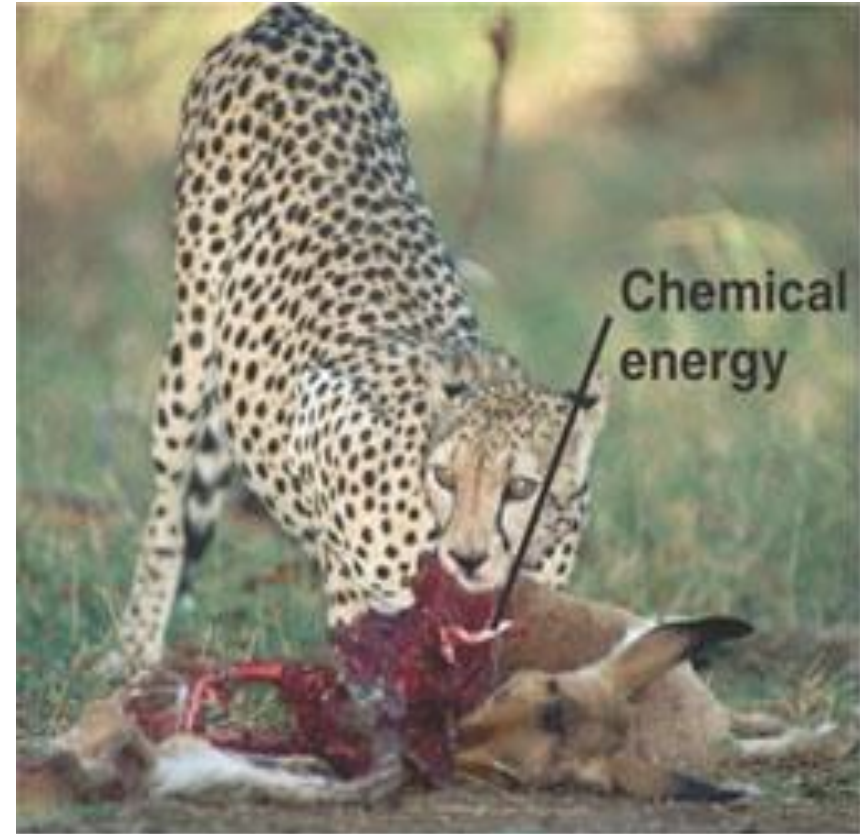
(Kinetik enerji→Potansiyel→Isı).
Toplam enerji sbt.

$$Q = \Delta E_{iç} + \dot{İş} (W)$$

Q: Sistemin aldığı veya verdiği ısı enerjidir. Birimi: kcal veya kj

$\Delta E_{iç}$: Sistemdeki iç enerji değişikliği

W: Sistemin yaptığı veya sisteme yapılan iş



(a) First law of thermodynamics

TERMODİNAMİĞİN I.

$$\delta Q = dU + \delta W$$

$$\delta W : PdV + Fdx + \phi dq + \sum \mu_i dn_i$$

Sistemin yaptığı veya sisteme yapılan iş

Bir sistemin bütün parametrelerinin sabit kaldığı değişmediği duruma termodinamik denge denir.

Entalpi kavramı ve Endotermik, Egzotermik Reaksiyonlar

ENTALPİ: Bir sistemin ısı sabitidir. **Birimi:** kcal/mol
Biyolojik sistemlerde $PV \sim 0$ olduğundan

$$\Delta Q = \Delta H = H_{\text{reaktant}} - H_{\text{ürün}}; H = E + PV$$

Örneğin:

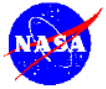
Suda KCl kristalinin çözünmesi



Moleküler hidrojen ve oksijenden suyun oluşması,

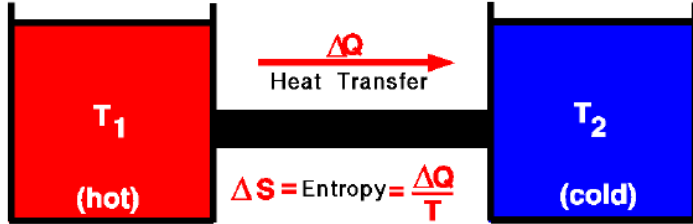


TERMODİNAMİĞİN II. KANUNU NEDİR?



Second Law of Thermodynamics

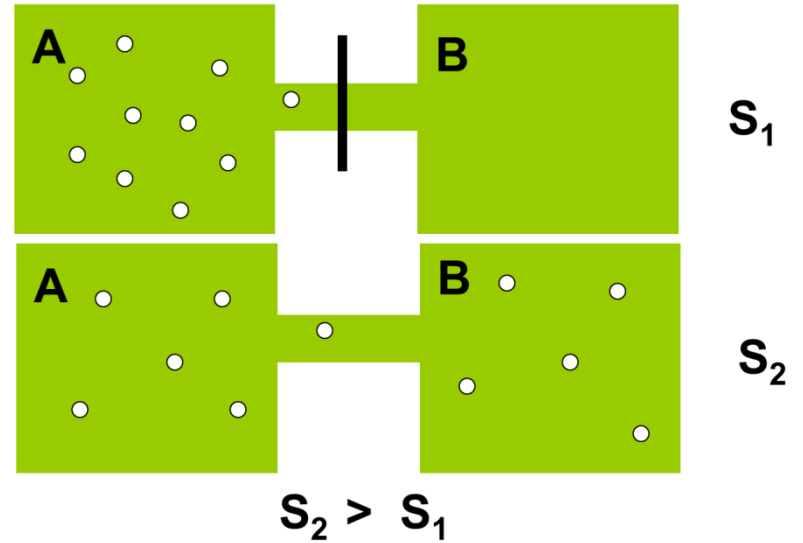
Glenn
Research
Center



There exists a useful thermodynamic variable called entropy (S). A natural process that starts in one equilibrium state and ends in another will go in the direction that causes the entropy of the system plus the environment to increase for an irreversible process and to remain constant for a reversible process.

$$S_f = S_i \text{ (reversible)}$$

$$S_f > S_i \text{ (irreversible)}$$



**Tüm termodinamik süreçler spontan bir süreçte düzenli
durumdan düzensiz duruma geçebilirler**

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU:

$$S=Q/T$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

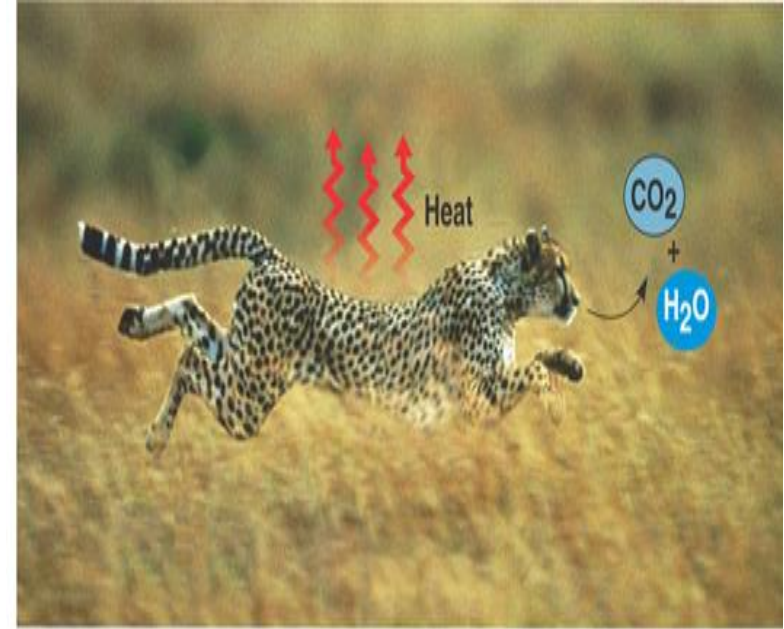
ENTROPİ, S

Bir sistemde ki düzensizliğin ölçüsüdür.

Enerji boyutuna sahiptir.

Birimi: cal/mol.K

ΔS : Entropide ki değişim.



(b) Second law of thermodynamics

*Kendiliğinden ve geri dönüşümsüz (tersinmez) biçimde gerçekleşen olaylarda sistem ve çevrede :

ENTROPİ ARTAR ← İÇ ENERJİ AZALIR

TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU:

$$\Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

$\Delta S_{\text{çevre}} = - \Delta E_{\text{çevre}} / T > 0$ ve tekrar düzenlenerek

$$\Delta E_{\text{çevre}} - T \Delta S_{\text{sistem}} < 0$$

$$\Delta G = \Delta E_{\text{çevre}} - T \Delta S_{\text{sistem}}$$

GİBBS SERBEST ENERJİ

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

TERMODİNAMİĞİN III. KANUNU:

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

Serbest enerji, G— Sabit **T** ve **P** de bir reaksiyonun kendiliğinde olup olmama yeteneğini belirler.

Birimi: cal/mol

ΔG : serbest enerjideki değişim ($G_{\text{son}} - G_{\text{başlangıç}}$)

+ ΔG : Sistem tarafından enerji kazanılır; (tepkime istemsiz)

- ΔG : Sistem tarafından enerji kaybedilir;
(Tep.istemli)

$\Delta G = 0$ ise sistem dengede.

SERBEST ENERJİ VE DENGESABİTİ

Herhangi reaksiyonda Serbest Enerji



$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \cdot \ln K$$

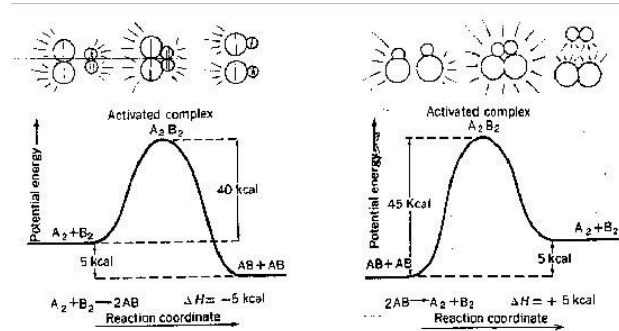
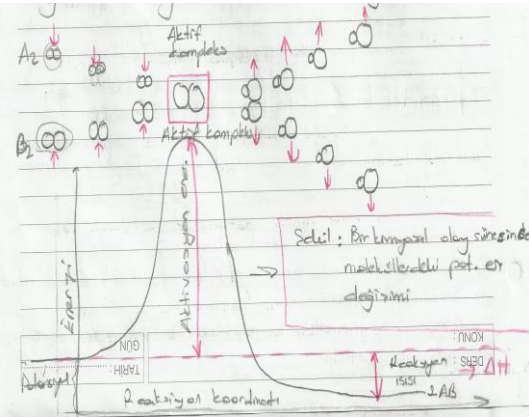
$$\ln K = \ln \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

K= Denge sabiti

$\Delta G = 0$ ise sistem dengede

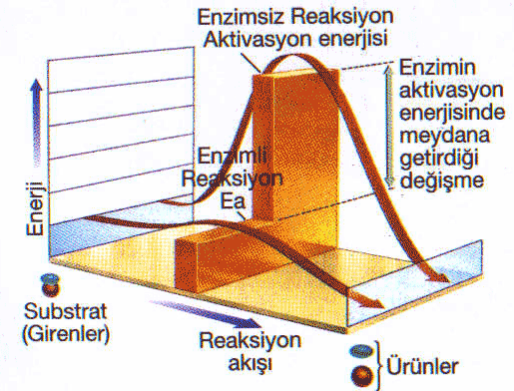
REAKSİYONLAR VE KATALİZ ETKİSİ

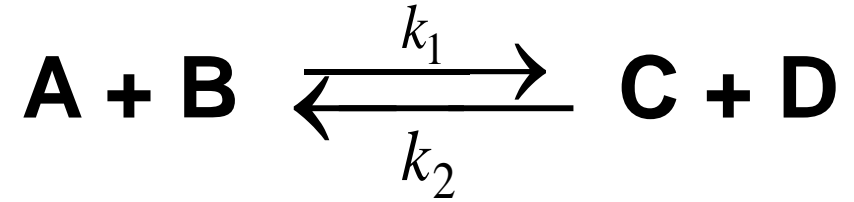
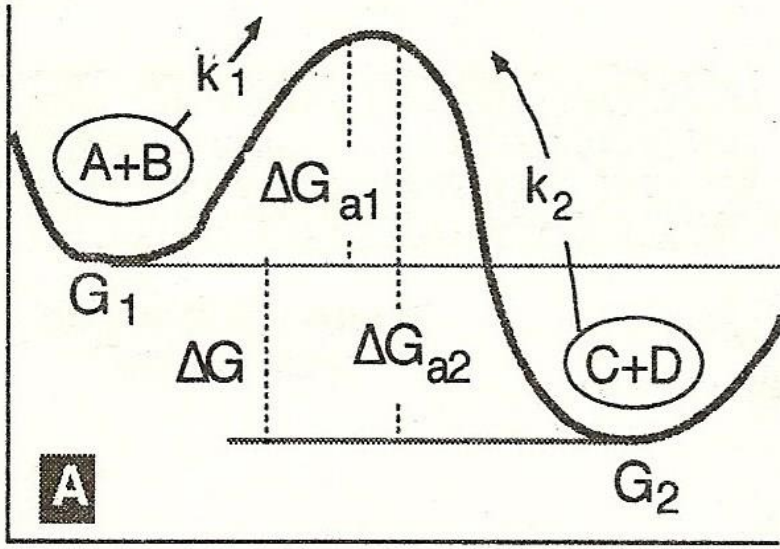
Bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi için ilk koşul, reaksiyon ürünlerinin serbest enerjisinin, reaksiyona giren maddelerin serbest enerjilerinden **küçük** olmasıdır.



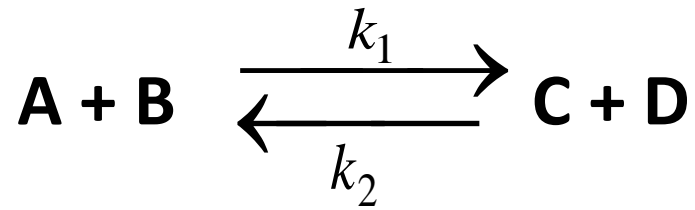
On the left is a potential energy diagram for the changes occurring in a chemical system during an exothermic reaction. On the right is the same type of diagram for a system undergoing an endothermic reaction.

Enzimlerin reaksiyondaki etkisi





- Şeklindeki bir reaksiyon için $G_2 < G_1$ ise reaksiyon soldan sağa kendiliğinden oluşabilir. Ancak bu koşul yeterli değildir.
- Bir reaksiyona girecek maddelerin ΔG_a ile gösterilen ve **aktivasyon enerjisi** olarak adlandırılan enerji engelini aşacak kadar ısısal enerjiye sahip olmaları gerekir.



➤ Buradaki k_1 ve k_2 hız sabitidir.

➤ Denge durumunda;

$$k_1 [A] [B] = k_2 [C] [D]$$

olacağından, reaksiyonun denge sabiti yani K ise hız sabitleri k_1 ve k_2 cinsinden;

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} = \frac{k_1}{k_2}$$

- Sıcaklığın artması ile reaksiyonlar hızlanabilir. Yani engeli aşabilecek moleküllerin sayısı artar.
- Biyolojik sistemlerde ise reaksiyonlar sıcaklıkla değil **katalizörler** aracılığı ile hızlandırılır.
- Katalizör etkisi ile hız sabitleri artarak reaksiyon hızlanır ancak k_1 / k_2 oranı ve K denge sabiti değişmez.

SERBEST ENERJİ VE DENGESABİTİ

Herhangi reaksiyonda Serbest Enerji



$$\Delta\mathbf{G}=\Delta\mathbf{G}^{\circ}+\mathbf{RT.lnK}$$

$$\mathbf{lnK = ln \frac{[C][D]}{[A][B]}}$$

K= Denge sabiti

$\Delta\mathbf{G} = 0$ ise sistem dengede

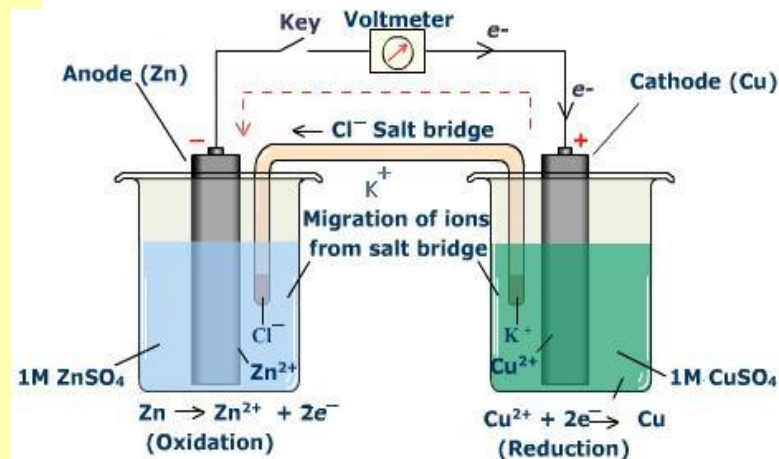
ELEKTRON İLETİMİNİN ENERJETİĞİ- SERBEST ENERJİ-redoks reaksiyonları

$$\Delta G = -n.F.\Delta E^0$$

n = aktarılan elektron sayısı

F =Faraday sabiti
(23400cal/volt)

ΔE^0 =redoks potansiyel farkı



BİYOENERJETİK AÇIDAN MOLEKÜLLERİN MEMRANDAN İLETİMİ- GİBBS SERBEST ENERJİSİ

Pasif geiş

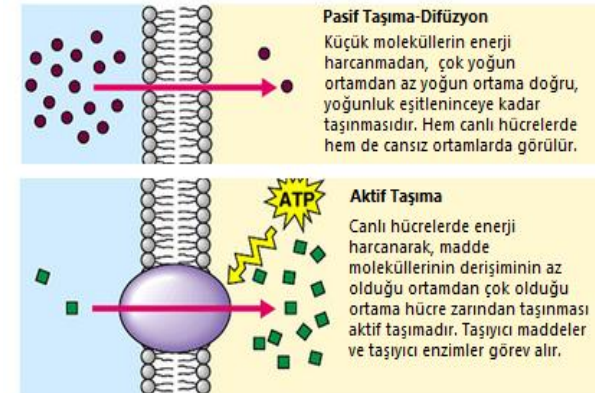
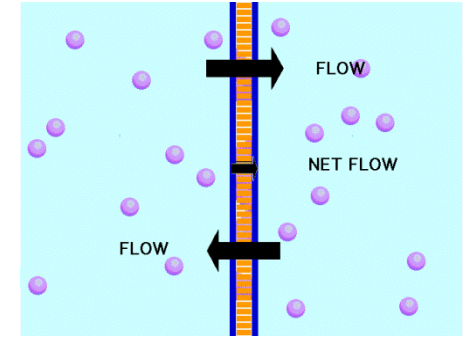
ΔS artar, ΔE azalır, $\Delta G < 0$

$$\Delta G = RT \ln(C_2/C_1)$$

$$\Delta G = RT \ln(C_2/C_1) + n.F.\Delta E^0$$

Aktif geiş

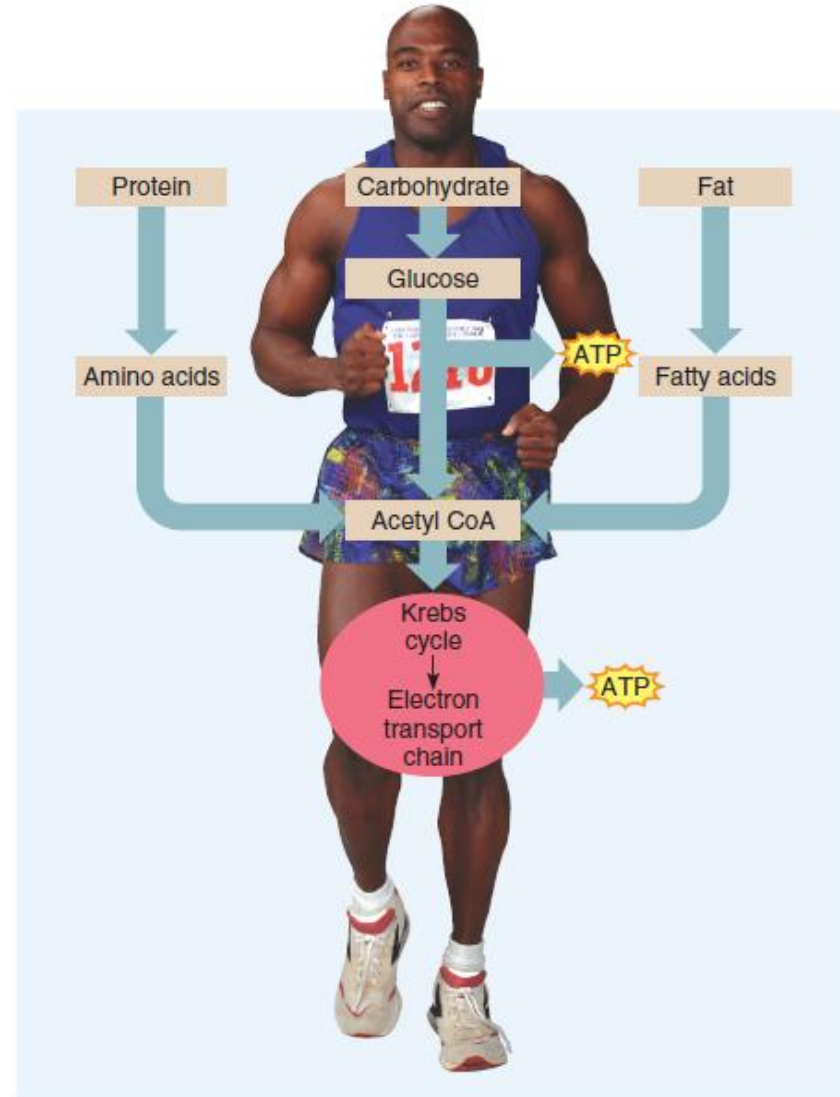
ΔS azalır, ΔE artar, $\Delta G > 0$



VÜCUTTA DEPOLANAN ENERJİ-ATP

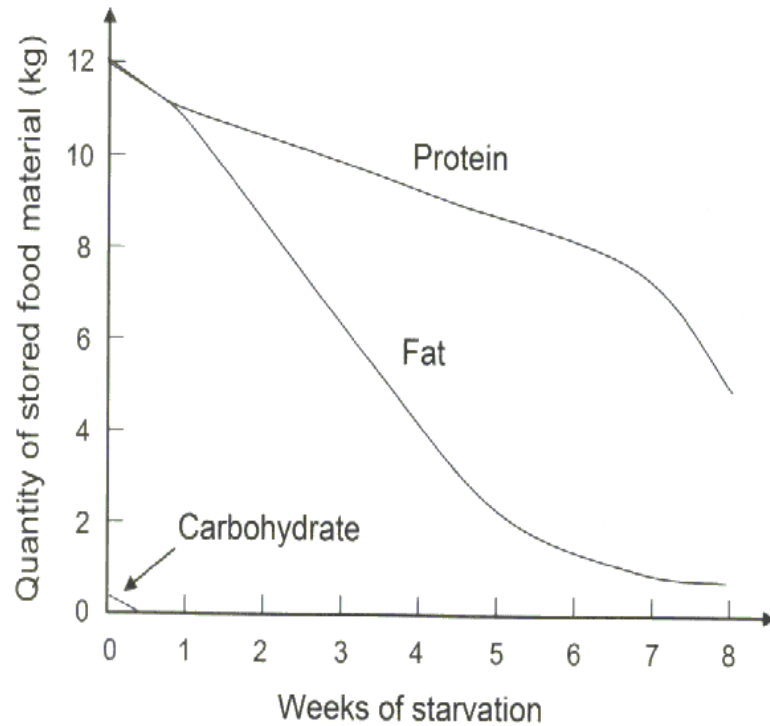


- * ATP, Karbonhidrat, yağlar ve proteinlerin yanması ile oluşur.
- * Peptit bağları gibi hücresel komponentlerin sentezine enerji sağlar,
- * Kas kasılmasına enerji sağlar,
- * Aktif transport için enerji sağlar.



ENERGY STORAGE AND USE IN BODY

Table 6.10. Body stores of fuel and energy, for a 65 kg (143 lb) person with 12% body fat. (Using data from [340])



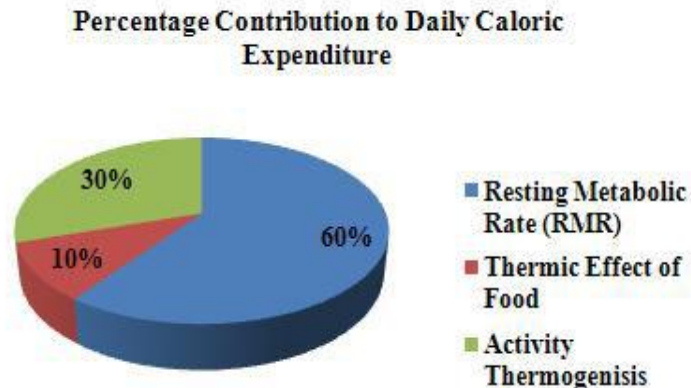
	amount (g)	energy (kcal)
carbohydrates		
liver glycogen	110	451
muscle glycogen	500	2,050
glucose in body fluids	15	62
carbohydrates total	625	2,563
fat		
subcutaneous and visceral	7,800	73,320
intramuscular	161	1,513
fat total	7,961	74,833

Protein 11 000 30 000

Sekil: Açlığın vücuttaki enerji kaynakları üzerindeki etkisi

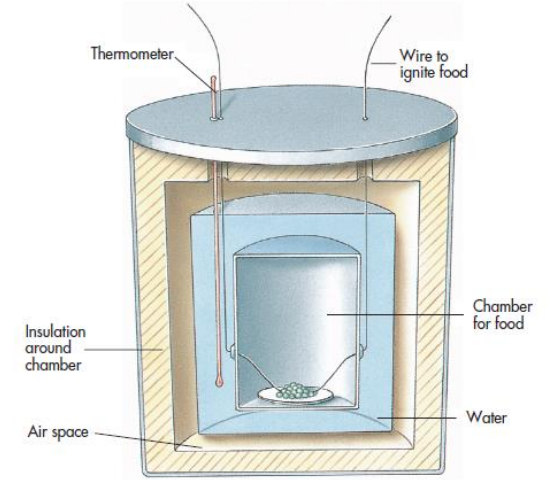
İNSANDA ENERJİ GEREKSİNİMİ

- Canlılar yaşam işlevlerini yerine getirmek için belirli hızlarda enerji harcarlar ve eylemleri arttıkça enerji tüketimi hızı da artar.
- Belirli bir eylem biçimi için, birim zamanda birim yüzey başına enerji harcaması çoğu insanda aynıdır ve **metabolik hız** olarak adlandırılır.
- Gereksiz hareketleri durdurulmuş, yatar durumda, uyanık bir insan için, vücut sıcaklığını sabit tutmak, dolaşım ve solunumu sürdürmek için gerekli enerji harcama hızına **bazal metabolik hız** denir.



TÜM VÜCUT METABOLİZMA HIZININ ÖLÇÜLMESİ

- ❖ Direk Kalorimetri
- ❖ İndirek kalorimetri



Displays speed and distance, and calculates calories and fat burned

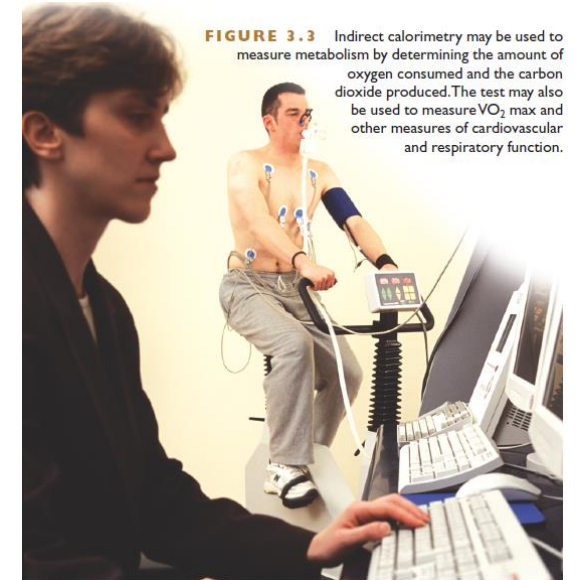


FIGURE 3.3 Indirect calorimetry may be used to measure metabolism by determining the amount of oxygen consumed and the carbon dioxide produced. The test may also be used to measure VO_2 max and other measures of cardiovascular and respiratory function.

Table 6.17. Metabolism of a resting person. (Using data from [300])

system	percentage of BMR	met. rate (kcal/min)	organ mass (kg) for a 65 kg man
liver and spleen	27	0.33	—
brain	19	0.23	1.40
skeletal muscle	18	0.22	28.0
kidney	10	0.13	0.30
heart	7	0.08	0.32
remainder	19	0.23	—
		sum = 1.22	

Table 6.21. Approximate total metabolic rates (MR) and oxygen consumption for different levels of activity for an average 70 kg person. (From [296] and [300])

activity	equivalent heat production		O ₂ consumption (L/min)
	(kcal/h)	(W)	
very low level activity			
sleeping	71	83	0.24
sitting at rest	103	120	0.34
standing relaxed	108	125	0.36
light activity			
walking slowly, 5 km/h	228	265	0.76
moderate activity			
cycling, 15 km/h	344	400	1.13
moderate swim	400	465	1.32
heavy activity			
soccer	500	580	1.65
quite heavy activity			
climbing stairs, 116 steps/min	589	685	1.96
cycling, 21 km/h	602	700	2.00
basketball	688	800	2.28
extreme activity			
racing cyclist	1,400	1,600	4.62

$$\text{MR} = f(\text{BMR})$$

<https://youtu.be/DPjMPeU5OeM>

KAYNAKLAR

- 1-Pehlivan F. Biyofiziğe giriş, 8. Baskı, Pelikan Yayıncılık, Ankara 2012.
- 2-Biyofizik Tıp ve Diş Hekimliği öğrencileri için. Prof. Dr. Gürbüz Çelebi. 4. Baskı, Barış yayınları fakülteler kitabevi, İzmir 2011.
- 3-Metabolizm: Energy, Heat, Work and Power of Body Human Energy .
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-23932-3_6

*Yeni Yiliniz
Kutlu Olsun*

