

# A rendezettből a rendezetlenség felé

A kémia vizsgától a biokémia szigorlatig

Dr. Lengyel Anna

# Mértékegységek

<b>multiple</b>	<b>prefix</b>	<b>symbol</b>	<b>sub- multiple</b>	<b>prefix</b>	<b>symbol</b>
$10^1$	deca	da	$10^{-1}$	deci	d
$10^2$	hecto	h	$10^{-2}$	centi	c
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	milli	m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	pico	p
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a

# Gáztörvények

Megadják az állapotjelzők közötti összefüggéseket (nyomás ( $p$ ), hőmérséklet ( $T$ ), térfogat ( $V$ ), moláris anyagmennyiség ( $n$ )).

**Állapotjelzők:** a termodinamikai rendszernek olyan jellemzői, amelyek csak a rendszer állapotától függenek, és nem függenek attól, hogyan jutott a rendszer ebbe az (egyensúlyi) állapotba. Folyamatjelzők pl. a munka és a hő, melyek két egyensúlyi állapot közötti különbséget, az átmenetet jelentő folyamat tulajdonságait jellemzik.

**Boyle-Mariotte törvénye:** A nyomás és a térfogat összefüggése ideális gázokra, állandó hőmérsékleten.

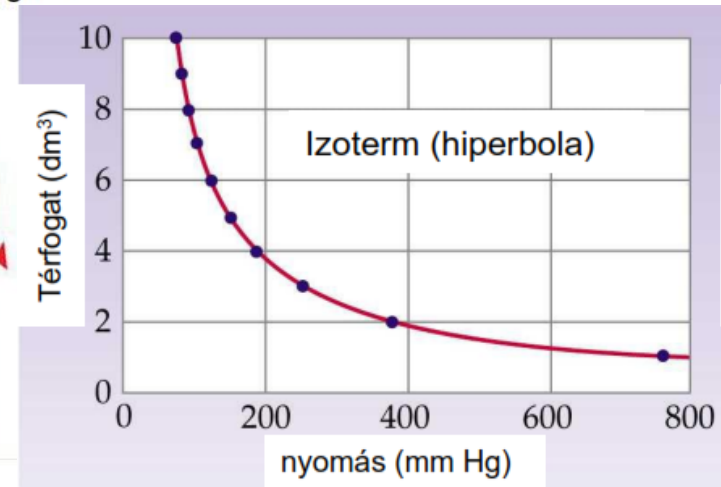
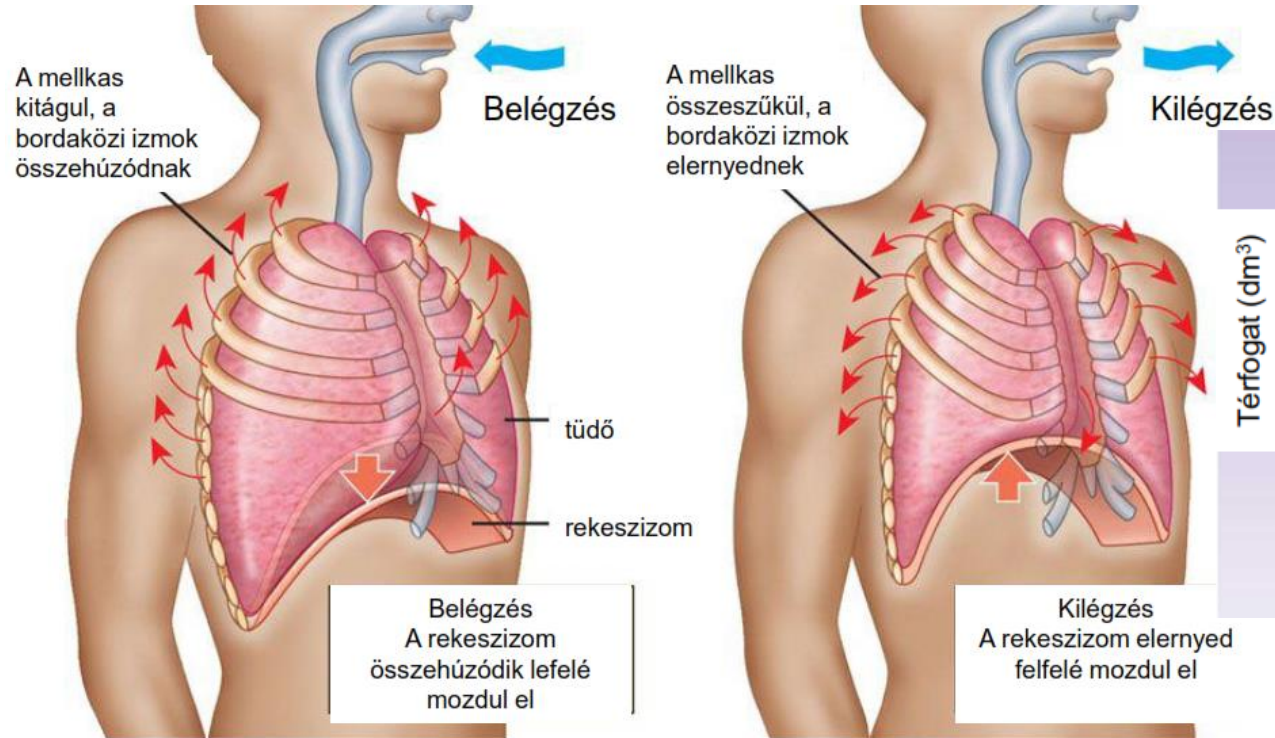
$$\mathbf{p \cdot V = k} \quad T \text{ és } n \text{ állandó}$$

(izoterm)

a gáz két különböző állapotára:

$$\mathbf{p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2}$$

# Boyle-Mariotte törvénye



Belégzéskor a tüdő kitágul, a nyomás a tüdőben csökken, a levegő beáramlik a tüdőbe a kisebb nyomás irányába. Kilégzéskor a tüdőtérfogat csökken, a nyomás emelkedik, a levegő kiáramlik a nagyobb nyomású tüdőből.

# Kérdés

**Ideális gázok esetén a Boyle-Mariotte törvény (ahol  $p$  = nyomás,  $V$  = térfogat és  $T$  = abszolút hőmérséklet) kimondja, hogy....**

1.  $V/T$  = állandó, ha a  $p$  állandó
2.  $p V$  = állandó, ha a  $T$  állandó
3.  $T/p$  = állandó, ha a  $V$  állandó
4.  $p/T$  = állandó, ha a  $V$  állandó

# Kérdés

**Ha két test termikus egyensúlyban van egy 3. testtel, akkor egymással is termikus egyensúlyban vannak. Ezt az állítást nevezzük**

1. a termodinamika második főtételenek
2. a termodinamika első főtételenek
3. Kelvin Planck törvényének
4. a termodinamika nulladik főtételenek

# Kérdés

**A termodinamika első főtétele megállapítja, hogy ...**

- a.** energia-egyensúly alakul ki, ha a rendszer állapota vagy a folyamat változáson megy keresztül
- b.** az állapot vagy a folyamat megváltoztatható-e vagy sem
- c.** a. és b. is
- d.** egyik sem

# Kérdés

Az alábbi állítások közül melyik írja le legjobban a termodinamika második főtételét?

- a)** Az Univerzum belső energiája állandó.
- b)** Az energiát nem lehet teremteni, sem elpusztítani.
- c)** Ha egy izolált rendszer spontán változáson megy keresztül, akkor a rendszer entrópiája növekszik.
- d)** Abszolút nulla fokon egy tökéletes kristály entrópiája nulla.



# Termodinamika

**A termodinamika 0. főtétele:** Ha A termikus egyensúlyban van B-vel és B termikus egyensúlyban van C-vel, akkor C is termikus egyensúlyban van A-val. (hőmérő, termosztát)

**A termodinamika 1. főtétele:** az energiamegmaradás törvénye  
A zárt rendszer belső energiája (E) mindaddig állandó, míg azt munkavégzés (W) vagy hőcsere (Q) meg nem változtatja:

$$\Delta E = Q + W \quad Q: \text{reakcióhő}$$

- Ha nincs munkavégzés:  $\Delta E = Q_V$  ( $Q_V$ : reakcióhő állandó térfogaton)

- Ha van térfogatváltozás:  $\Delta E = Q_p - p\Delta V$  ( $Q_p$ : reakcióhő állandó nyomáson)

$$Q_p = \underbrace{\Delta E + p\Delta V}_{\Delta H}$$

$$\Delta H = \Delta E + p\Delta V$$

$\Delta H$  = Entalpiaváltozás állandó nyomáson

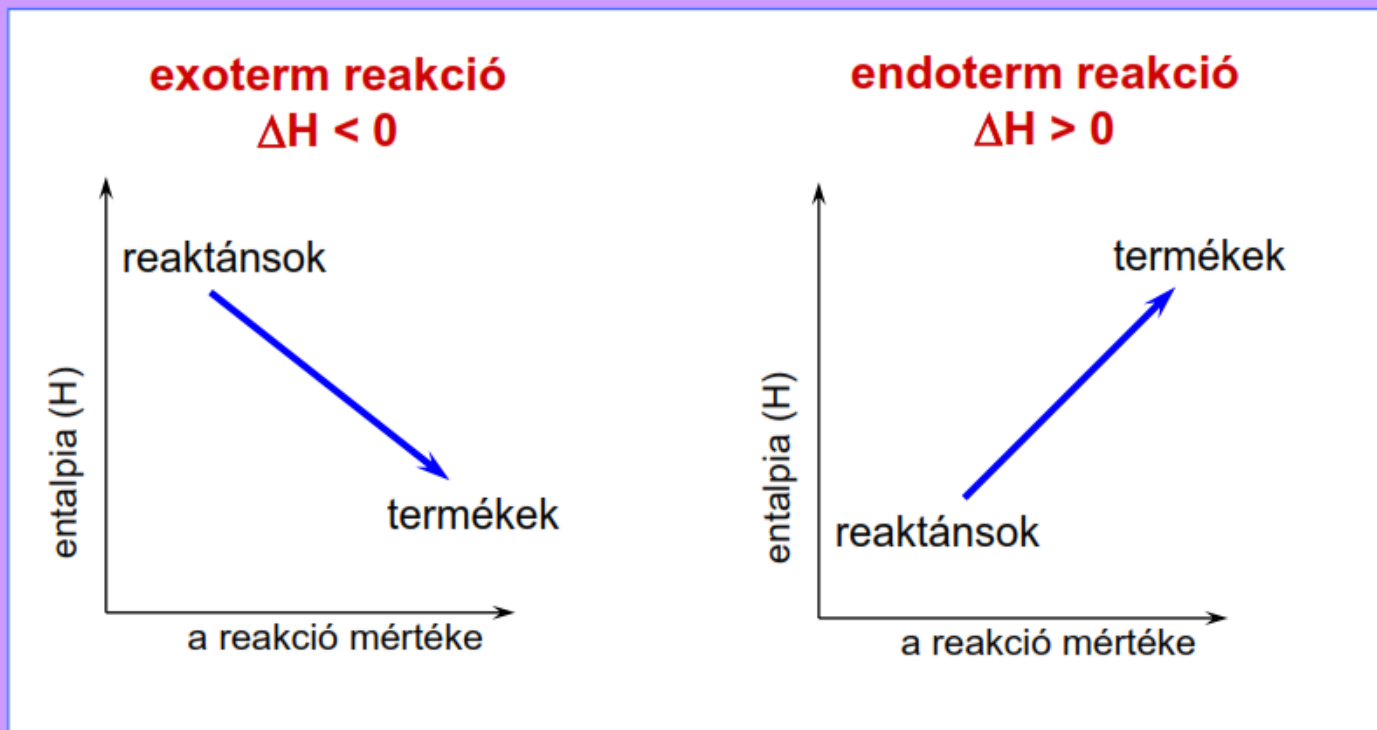
**Hess tétele:** a kémiai reakciókat kísérő entalpiaváltozás csak a rendszer kezdeti és végállapotától függ, de független a reakcióúttól.

(az energiamegmaradás törvénye kémiai reakciókra)

**Egy kémiai reakció entalpiaváltozása (reakcióhője):**

$$\Delta H = \sum H_{\text{termékek}} - \sum H_{\text{kiindulási anyagok}}$$

**A reakcióhő állandó nyomáson ( $\Delta H$ )**



Az entalpia (H) a termodinamikai rendszer energiájának mértéke

**A termodinamika 2. főtétele:** Önként végbemenő folyamatokban az entrópia növekszik (a kémiai reakciók iránya).

**Az entrópiaváltozás:**  $\Delta S = S_{\text{végállapot}} - S_{\text{kiindulási állapot}}$

$$\Delta S_{\text{összes}} > 0$$

$$(\Delta S_{\text{rendszer}} + \Delta S_{\text{környezet}} > 0)$$

**Entrópia (S): a rendezetlenség mértéke (J/ K)  $S = k \ln W$**

k: a Boltzmann-állandó ( $1,381 \cdot 10^{-23}$  J/K)

W: a makroállapotot létrehozó mikroállapotok száma

**Spontán folyamatok:** önként, energiabefektetés nélkül végbemennek

**Nem spontán folyamatok:** maguktól nem játszódhatnak le, energiabefektetést igényelnek

**A termodinamika 3. főtétele:**

a tökéletes kristály entrópiája 0 K hőmérsékleten 0 J/K.

A hőmérséklet hatása az entrópiaváltozásra kémiai reakcióban:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad \text{állandó nyomáson:} \quad \Delta S = \frac{\Delta H}{T}$$

$$\Delta Q = \text{reakcióhő}$$

A spontán kémiai reakciók az entalpiacsökkenés és az entrópianövekedés irányába mennek végbe.

entalpia = szabadentalpia + nem hasznosítható energia

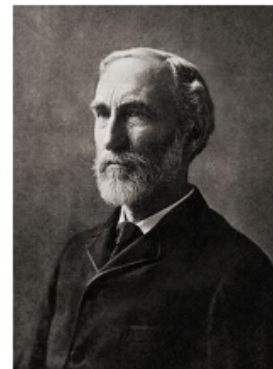
$$H = G + TS$$

**Szabadentalpia (G): a rendszer munkavégző képessége**

**Kémiai reakciók szabadentalpiaváltozása:**

$$\Delta G = G_{\text{végállapot}} - G_{\text{kiindulási állapot}}$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad \text{Gibbs-egyenlet}$$



Josiah Willard Gibbs  
(1839-1903)

Ha  $\Delta G < 0$  a folyamat spontán le játszódik, exergonikus

Ha  $\Delta G > 0$  a folyamat önként nem megy végbe, endergonikus

Ha  $\Delta G = 0$  nincs átalakulás, egyensúlyi állapot

Standardállapotú kiindulási anyagok és termékek esetén:  
standard szabadentalpiaváltozás:  $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$

**Egyensúlyban:  $\Delta G = 0$**

$$0 = \Delta G^\circ + RT \ln K$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K$$



Jég

$$\Delta S^\circ = +22.0 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \quad (\text{Entrópia nő})$$

$$\Delta H^\circ = +6.01 \text{ kJ}/\text{mol} \quad (\text{Endoterm})$$



spontán 0°C felett

spontán 0°C alatt



$$\Delta S^\circ = -22.0 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{mol}) \quad (\text{Entrópia csökken})$$

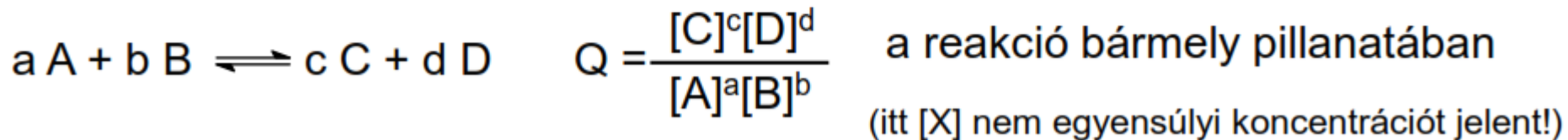
$$\Delta H^\circ = -6.01 \text{ kJ}/\text{mol} \quad (\text{Exoterm})$$



Víz

## A szabadentalpia és a kémiai egyensúly – a reakció mértéke

A reakcióelegy összetételének jellemzése: reakcióhányados (Q)



**A reakció iránya mindig az aktuális összetételtől függ!**  
(Le Châtelier-Braun elv)

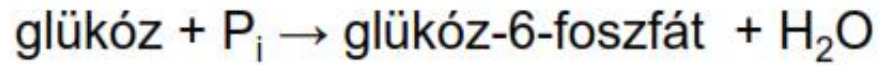
$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

# Kérdés

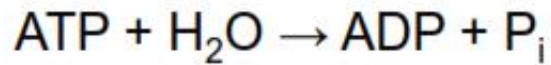
## Egy izolált rendszer energiája

- a. mindig csökken
- b. mindig állandó
- c. mindig nő
- d. egyik sem





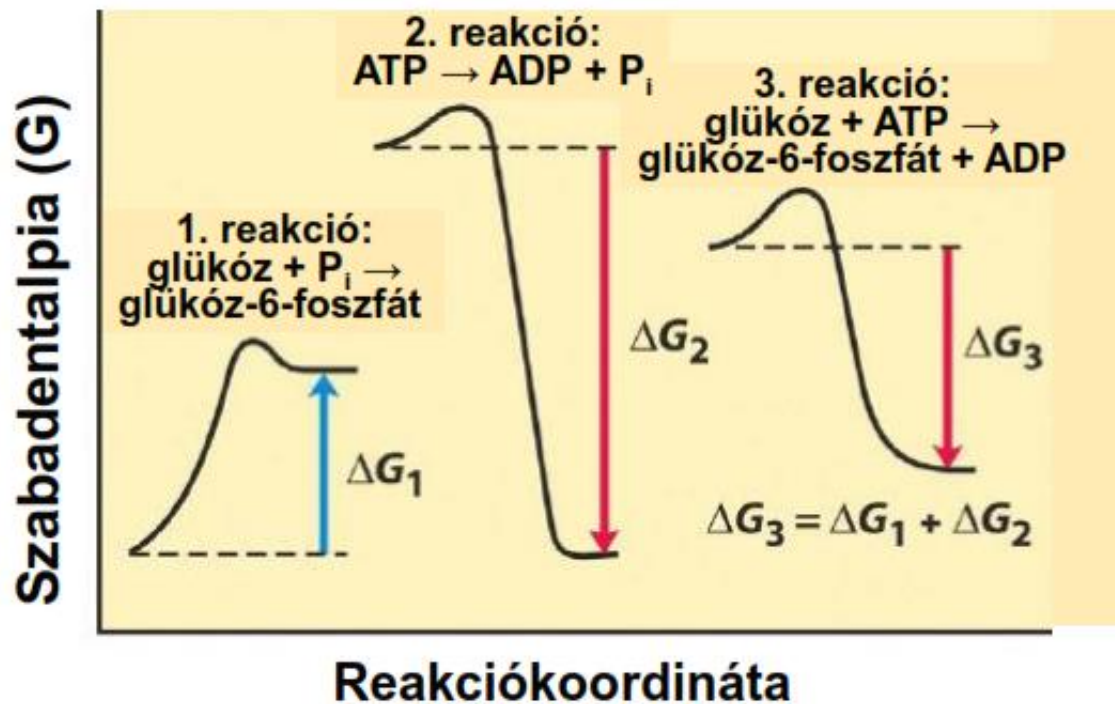
$$\Delta G^{\circ'} = 13,8 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G^{\circ'} = -30,5 \text{ kJ/mol}$$



$$\Delta G^{\circ'} = 13,8 - 30,5 = -16,7 \text{ kJ/mol}$$



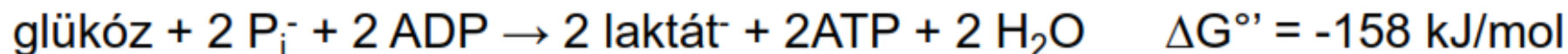
$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q$$

## Anaerob és aerob anyagcsere: az „ATP-raktár” feltöltése

### Anaerob sejtek energiatermelése: fermentáció



Az „ATP-készlet” feltöltése:



### Aerob sejtek energiatermelése:



1 glükózmolekula aerob oxidációja során 38 ATP keletkezik!

$38 \cdot 30 \text{ kJ} = 1140 \text{ kJ}$  energia tárolódik el



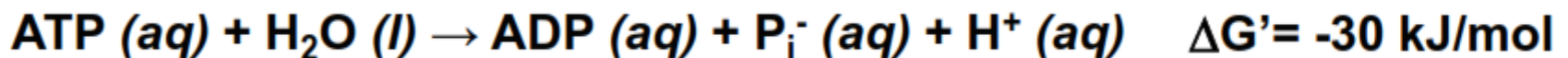
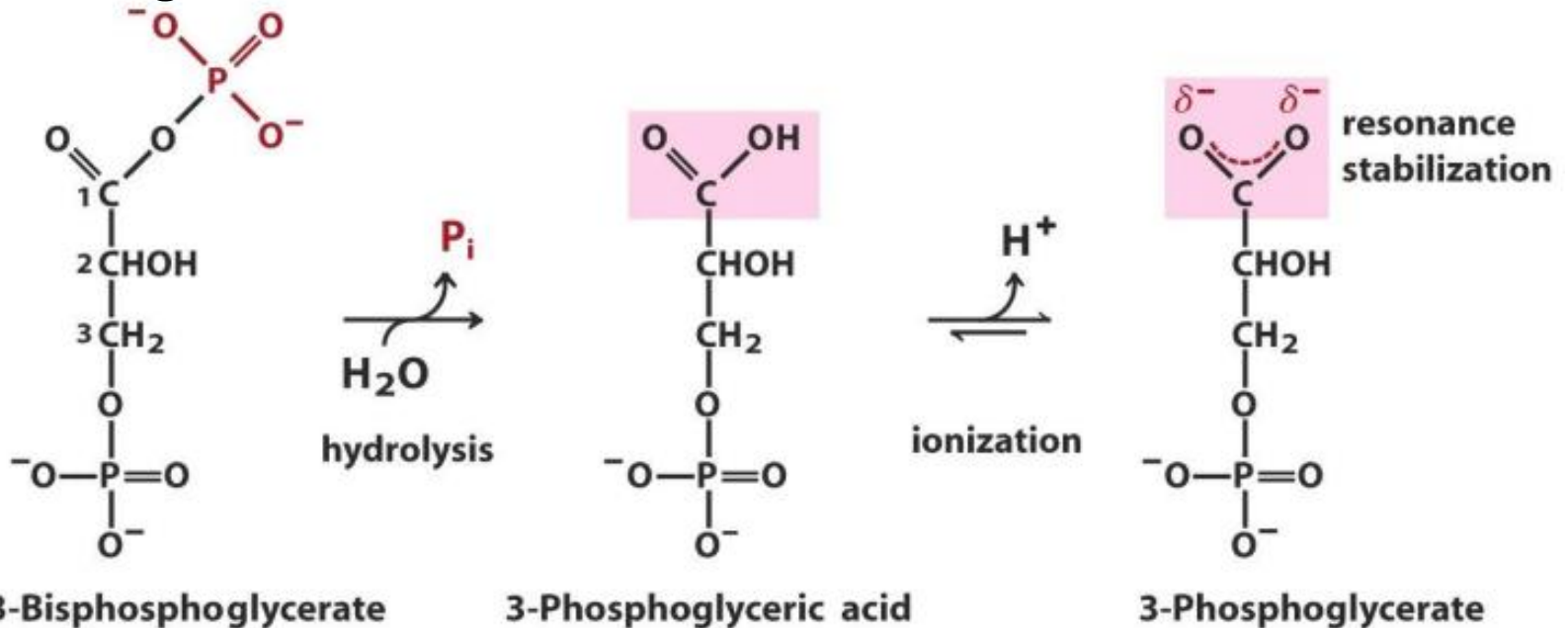
# Kérdés

A következő állítások közül melyik igaz minden olyan esetben, amikor egy reverzibilis kémiai reakció elérte az egyensúlyi állapotot?

- a) Minden reaktáns terméké alakult
- b) A reakció felváltva előrefelé és visszafelé zajlik
- c) A rendszer szabadentalpiája elérte a minimumot
- d) Az előrefelé irányuló reakció dominál a visszafelé irányuló reakció felett

# Kérdés

Számolja ki a foszfoglicerát-kináz reakció szabad energia változását standard körülmények között! Melyik részreakció exergonikus és melyik endergonikus?



**Az élő rendszerek soha nincsenek termodinamikailag egyensúlyban**

A reakciók lefolyásának irányát az aktuális sejtbeli koncentrációk határozzák meg

**Ami termodinamikailag kedvező, az nem biztos, hogy gyors**

A reakciósebesség a  $\Delta G$  értékétől elvileg független

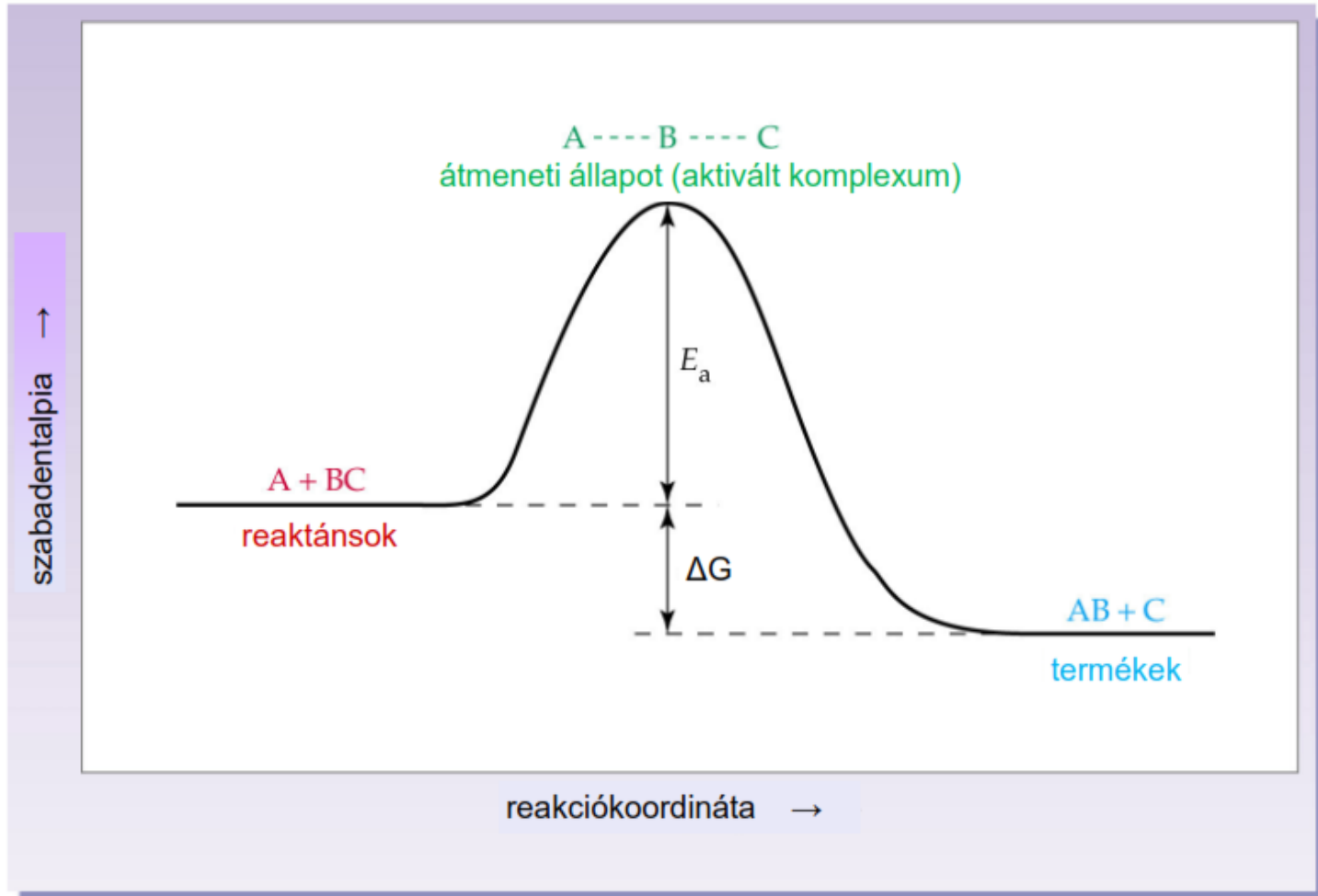
A katalizátorok (pl. enzimek) nem befolyásolják a kémiai egyensúlyt, csupán gyorsítják annak elérését

**Elméletileg minden elemi reakció megfordítható**

Az „irreverzibilis” címke jelentése biokémiában:

A sejtbeli körülmények (hőmérséklet, koncentrációk) mellett az egyik irány *megfigyelhetetlenül/kimutathatatlanul lassú.*

# Reakció kinetika



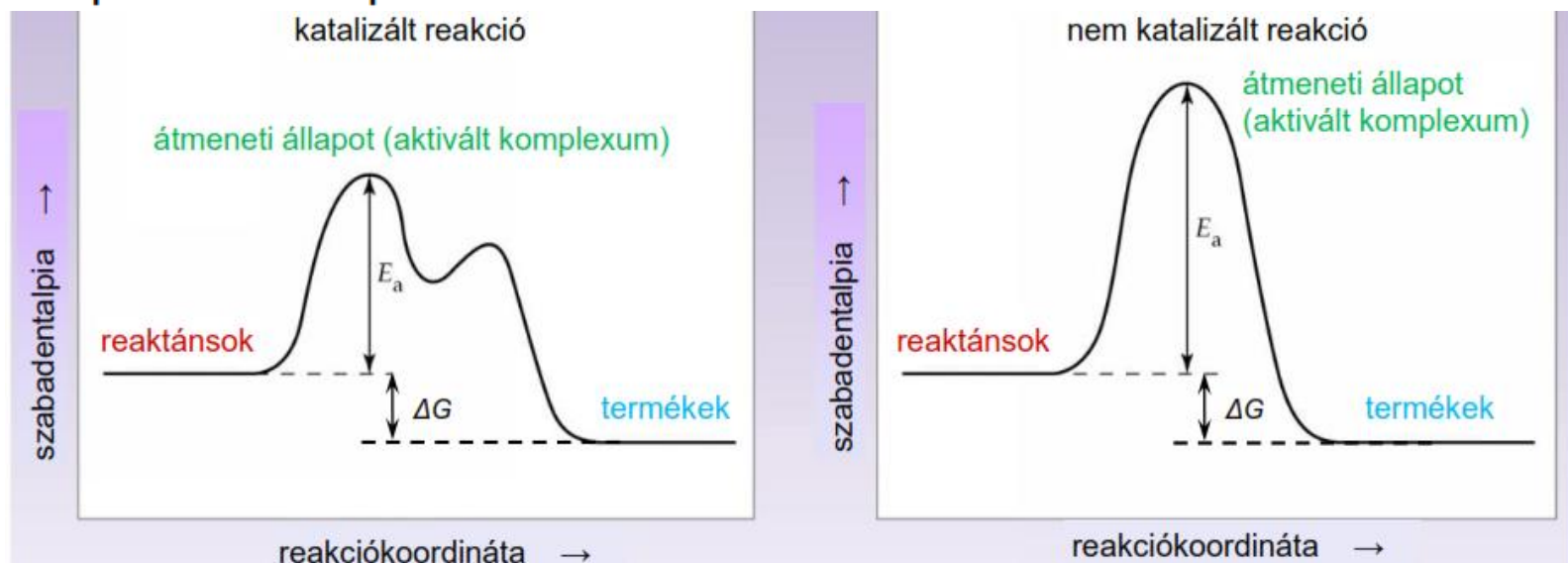
**$E_a$ : aktiválási energia**: az aktivált komplexum képződéséhez szükséges energia

$\Delta G$ : reakció-szabadentalpia

**Katalizátor:** olyan anyag, amely azáltal növeli meg a reakciósebességet, hogy új, kisebb aktiválási energiájú reakcióutat nyit meg, de a reakció végén változatlan formában visszanyerhető.

Katalizátor nélkül a reakció jóval lassabban játszódik le.

A katalizátor azáltal növeli meg a reakciósebességet, hogy új, kisebb aktiválási energiájú reakcióutat nyit meg, pl. kisebb energiájú aktivált komplexumot képez.



Biológiai rendszerekben az enzimek katalizálják a reakciókat.

Homogén katalízis: a katalizátor ugyanolyan fázisban van, mint a reaktánsok

Heterogén katalízis: a katalizátor és a reaktánsok eltérő fázisban vannak.

**Inhibitor:** Olyan anyag, amely csökkenti a reakciósebességet, de a reakció végén változatlan formában visszanyerhető

# Reakciósebesség

Megadja, hogy időegység alatt milyen gyors az átalakulás a reakció során:

- a termék(ek) koncentrációjának növekedése, vagy
- a kiindulási anyag(ok) koncentrációjának növekedése.

Egy reakció sebessége függ:

- a reaktánsok anyagi minőségétől
- a reaktánsok koncentrációjától
- a hőmérséklettől
- A reaktánsok halmazállapotától

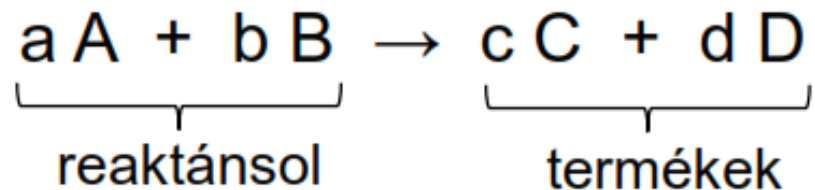
## **Sebességi egyenlet:**

Megadja, hogy miként függ a reakció sebessége a reaktánsok koncentrációjától.

Sebesség-meghatározó lépés: a reakciómechanizmus leglassúbb lépése, amely a legkisebb sebességi állandóval rendelkezik.



## Sztöchiometriai egyenlet:



nagybetű (A, B, C, D): vegyületek vagy elemek

kisbetű (a, b, c, d): sztöchiometriai együtthatók

## Sebességi egyenlet:

$$v = k [A]^x [B]^y$$

v: reakciósebesség

k: sebességi állandó

[A], [B]: koncentrációk (mol/dm<sup>3</sup>)

x, y: kitevők, „rend”

**Rendűség**: a sebességi egyenletben szereplő kitevők összege

$$v = k [A]^x [B]^y \quad x + y = \text{a reakció rendűsége}$$

$$v = k [A]^x [B]^y \quad x + y = \text{a reakció rendűsége}$$

pl.: ha  $x = 1$  a sebesség egyenesen arányos A koncentrációjával

ha  $x = 2$  a sebesség négyzetesen arányos A koncentrációjával stb...

**A kitevőket csak kísérletesen lehet meghatározni, nem következnek a sztöchiometriai együtthatókból!**

sztöchiometriai egyenlet		sebességi egyenlet
$(\text{CH}_3)_3\text{CBr}(aq) + \text{H}_2\text{O}(aq) \longrightarrow (\text{CH}_3)_3\text{COH}(aq) + \text{H}^+(aq) + \text{Br}^-(aq)$		Rate = $k[(\text{CH}_3)_3\text{CBr}]$
$\text{HCO}_2\text{H}(aq) + \text{Br}_2(aq) \longrightarrow 2 \text{H}^+(aq) + 2 \text{Br}^-(aq) + \text{CO}_2(g)$		Rate = $k[\text{Br}_2]$
$\text{BrO}_3^-(aq) + 5 \text{Br}^-(aq) + 6 \text{H}^+(aq) \longrightarrow 3 \text{Br}_2(aq) + 3 \text{H}_2\text{O}(l)$		Rate = $k[\text{BrO}_3^-][\text{Br}^-][\text{H}^+]^2$
$\text{H}_2(g) + \text{I}_2(g) \longrightarrow 2 \text{HI}(g)$		Rate = $k[\text{H}_2][\text{I}_2]$
$\text{CH}_3\text{CHO}(g) \longrightarrow \text{CH}_4(g) + \text{CO}(g)$		Rate = $k[\text{CH}_3\text{CHO}]^{3/2}$
$2 \text{NH}_3(g) \rightarrow \text{N}_2(g) + 3 \text{H}_2(g)$ (1130K, Pt katalizátor)		Rate = $k$
sebességi egyenlet	rendűség	k mértékegysége
Rate = $k$	Nulladrendű	M/s or $\text{M s}^{-1}$
Rate = $k[\text{A}]$	Elsőrendű	1/s or $\text{s}^{-1}$
Rate = $k[\text{A}][\text{B}]$	Másodrendű	$1/(\text{M} \cdot \text{s})$ or $\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$
Rate = $k[\text{A}][\text{B}]^2$	Harmadrendű	$1/(\text{M}^2 \cdot \text{s})$ or $\text{M}^{-2} \text{s}^{-1}$

A sebesség mértékegysége mindig M/s, de a sebességi állandó (k) mértékegysége a reakció rendűségétől függ.



# Összefoglalás 1.

## Reakciósebesség

kifejezése

sebességi egyenlet

a koncentrációk időbeni változása

$$v = k [A]^x [B]^y \quad x+y=\text{rendűség}$$

$$v = \frac{-\Delta[A]}{\Delta t}$$

megadja

az integrált sebességi egyenletet

felezési idő

## Reakciómechanizmus

az elemi reakciólépések

jellemezhető

tartalmazza

összegük megadja

a molekularitással

a köztitermékeket

a teljes reakciót

unimolekuláris

bimolekuláris

termolekuláris

típusai  
nullad-  
rendű    első-  
rendű    másod-  
rendű    stb.

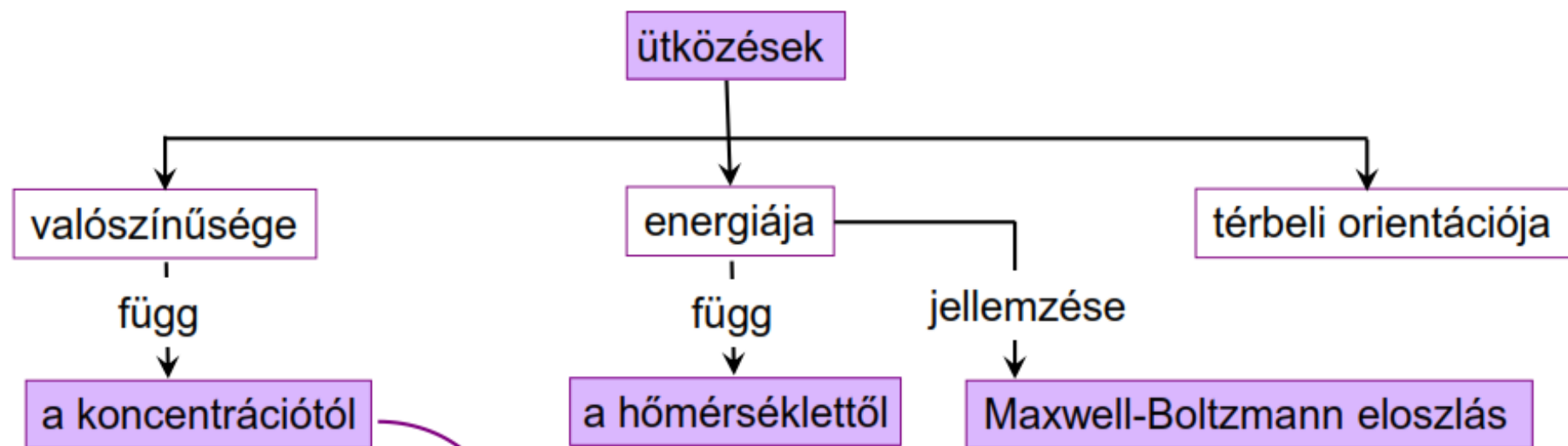
a reaktáns  
ugyanakkora

hányada

mennyisége alakul át időegység alatt

## Összefoglalás 2.

### Az ütközési elmélet



$$v = k [A]^x [B]^y$$

### A reakció energiaprofilja

tartalmazza

az átmeneti állapotot  
(aktivált komplexum)

kialakulásához  
szükséges

aktiválási  
energia

$$k = A e^{-E_a / RT}$$

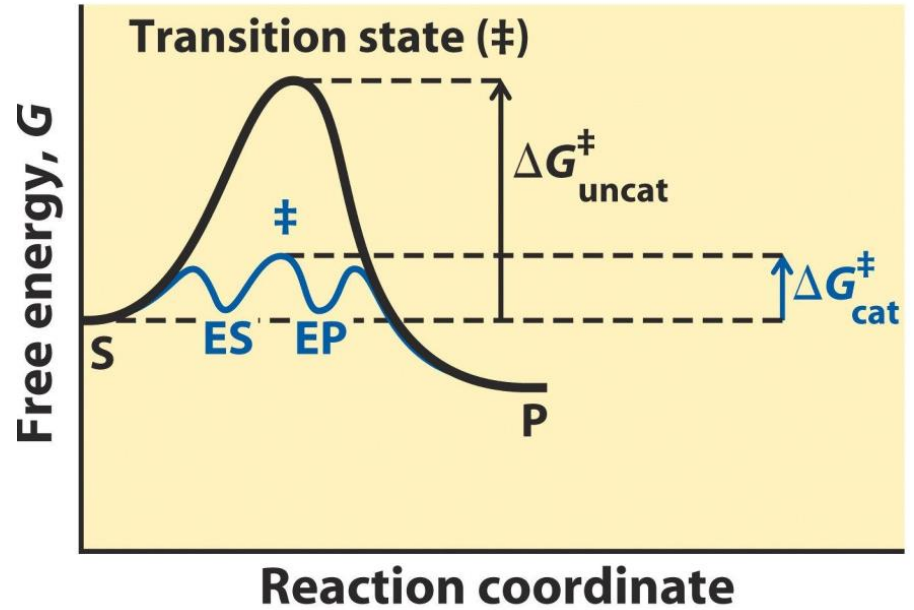
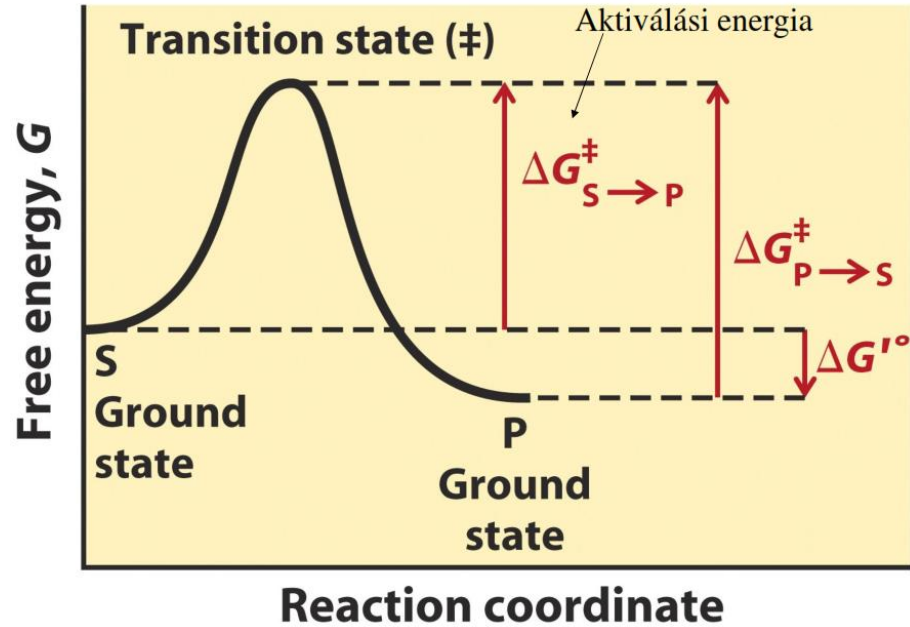
Arrhenius-egyenlet

# Kérdés

Az alábbiak közül melyik állítás igaz az enzimekre nézve?

- I. Növelik a reakció sebességét az átmeneti állapot stabilizálása által.
  - II. Növelik az aktiválási energiát, így eltolják az egyensúlyt a termékek irányába.
  - III. Csökkentik az aktiválási energiát a reakció termékeinek megváltoztatása által.
- A. csak az I.
  - B. II.+III.
  - C. I.+III.
  - D. csak a III.

# Enzimek



# Enzimek osztályozása

**TABLE 6–3**

**International Classification of Enzymes**

<b>Class no.</b>	<b>Class name</b>	<b>Type of reaction catalyzed</b>
<b>1</b>	<b>Oxidoreductases</b>	<b>Transfer of electrons (hydride ions or H atoms)</b>
<b>2</b>	<b>Transferases</b>	<b>Group transfer reactions</b>
<b>3</b>	<b>Hydrolases</b>	<b>Hydrolysis reactions (transfer of functional groups to water)</b>
<b>4</b>	<b>Lyases</b>	<b>Addition of groups to double bonds, or formation of double bonds by removal of groups</b>
<b>5</b>	<b>Isomerases</b>	<b>Transfer of groups within molecules to yield isomeric forms</b>
<b>6</b>	<b>Ligases</b>	<b>Formation of C—C, C—S, C—O, and C—N bonds by condensation reactions coupled to cleavage of ATP or similar cofactor</b>

**Table 6-3**

*Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition*

© 2008 W. H. Freeman and Company

**TABLE 6-1****Some Inorganic Ions That Serve as Cofactors for Enzymes**

Ions	Enzymes
$\text{Cu}^{2+}$	Cytochrome oxidase
$\text{Fe}^{2+}$ or $\text{Fe}^{3+}$	Cytochrome oxidase, catalase, peroxidase
$\text{K}^{+}$	Pyruvate kinase
$\text{Mg}^{2+}$	Hexokinase, glucose 6-phosphatase, pyruvate kinase
$\text{Mn}^{2+}$	Arginase, ribonucleotide reductase
Mo	Dinitrogenase
$\text{Ni}^{2+}$	Urease
Se	Glutathione peroxidase
$\text{Zn}^{2+}$	Carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase, carboxypeptidases A and B

# Kofaktorok

Table 6-1  
Lehninger Principles of Biochemistry  
© 2008 W. H. Freeman

Coenzyme	Examples of chemical groups transferred	Dietary precursor in mammals
Biotin	$\text{CO}_2$	Biotin
Coenzyme A	Acyl groups	Pantothenic acid and other compounds
5'-Deoxyadenosylcobalamin (coenzyme $\text{B}_{12}$ )	H atoms and alkyl groups	Vitamin $\text{B}_{12}$
Flavin adenine dinucleotide	Electrons	Riboflavin (vitamin $\text{B}_2$ )
Lipoate	Electrons and acyl groups	Not required in diet
Nicotinamide adenine dinucleotide	Hydride ion ( $:\text{H}^-$ )	Nicotinic acid (niacin)
Pyridoxal phosphate	Amino groups	Pyridoxine (vitamin $\text{B}_6$ )
Tetrahydrofolate	One-carbon groups	Folate
Thiamine pyrophosphate	Aldehydes	Thiamine (vitamin $\text{B}_1$ )

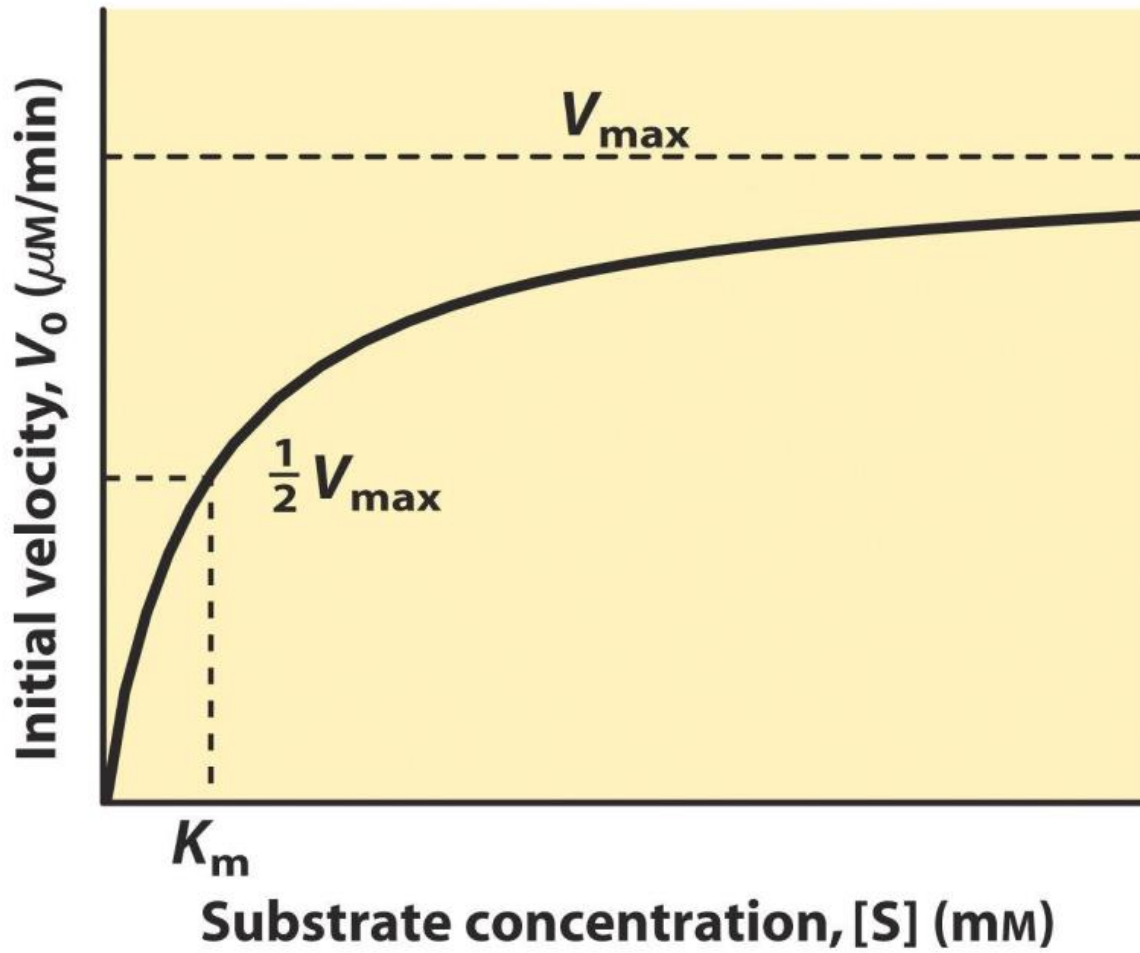
# Izoenzimek (Izozimek)

Az izoenzimek ugyanazt a reakciót katalizálják, de különbözhet:

- szekvenciájuk, szerkezetük, alegység-összetételük
- a kódoló génjük, (akár a kromoszóma is)
- szükséges kofaktoraik
- szubsztrátaffinitásuk ( $K_M$ )
- lokalizációjuk (akár szervek között, vagy akár sejtorganellumok között is lehet eltérés)



# Affinitás



$K_M$  az a szubsztrát-koncentráció, mely az adott reakció maximális sebességének feléhez tartozik ( $v = \frac{1}{2} \cdot v_{\text{max}}$ ), a telítettség felét is ekkor éri el a fehérje.

$K_M$  a reakciót katalizáló fehérje szubsztráthoz való affinitását is megmutatja.



**Definíció:** A katalizátor aktivitása azt jelzi, hogy a katalizátor milyen gyorsan alakítja a kiindulási anyagokat termékekké.

Az enzimaktivitást az időegység alatt átalakított szubsztrát mennyiségével adjuk meg.

• SI mértékegysége a katal (kat):  
1 kat az enzimaktivitás, ha 1 mol szubsztrátot képes másodpercenként átalakítani.

• Ez túl nagy szám, ezért általánosabban használt a Unit (U), ami 1  $\mu\text{mol}$  átalakított szubsztrát 1 perc alatt.

Tiszta enzimek aktivitása ezen a skálán 5 és 500 U/mg között található.

• IUBMB egysége az „egység” (unit)  
 $U (\mu\text{mol} / \text{min})$

• SI egysége a „katal”

– Katal (mol / s)

– Nanokatal =  $10^{-9}$  Katal

–  $1U = 16.7 \text{ nKat}$

–  $60\text{mU} = 1 \text{ nKat}$

# Enzimgátlások

## Reverzibilis:

- Michaelis-Menten típusú:

Kompetitív gátlás

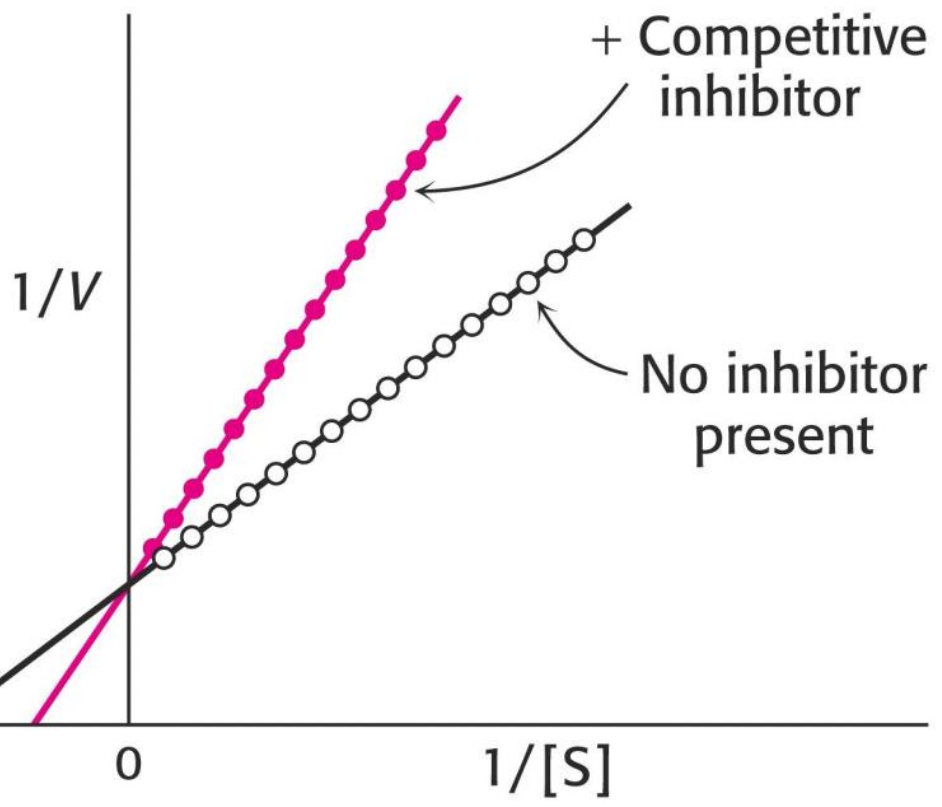
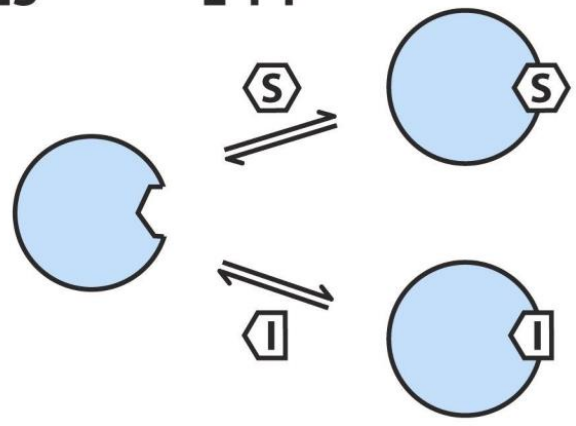
Unkompetitív gátlás

Vegyes gátlás (aleset a nonkompetitív gátlás)

- Allosztérikus szabályozás
- Kovalens módosítás
- Kötőfehérje asszociációja

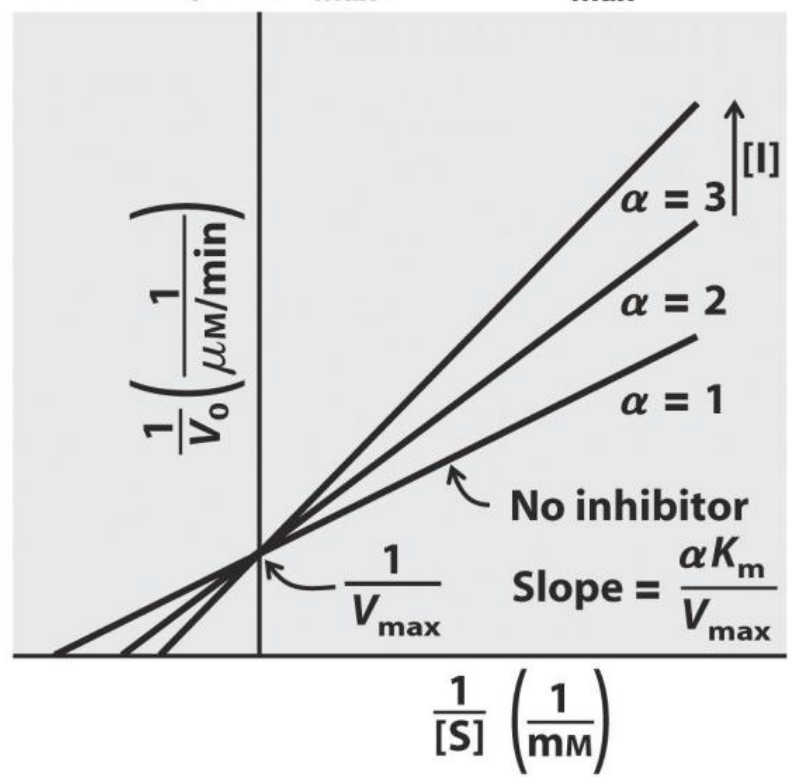
Irreverzibilis: az enzim inaktiválása

# (a) Competitive inhibition

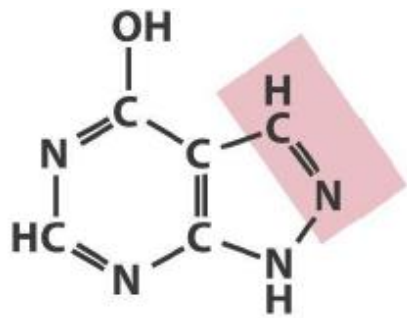


# Kompetitív gátlás

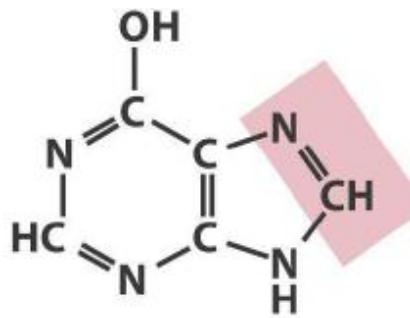
$$\frac{1}{V_0} = \left( \frac{\alpha K_m}{V_{max}} \right) \frac{1}{[S]} + \frac{1}{V_{max}}$$



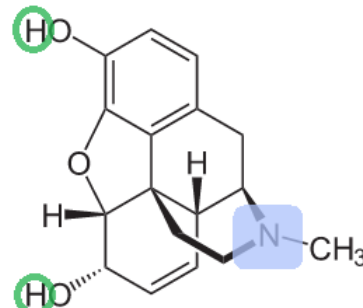
# Gyógyszerek



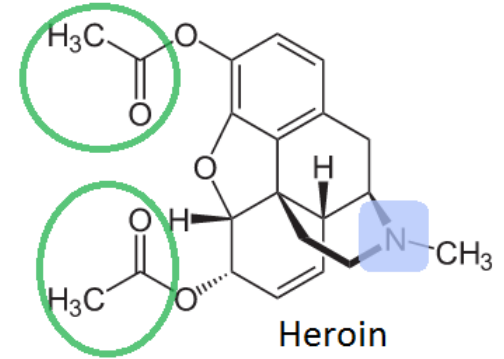
Allopurinol



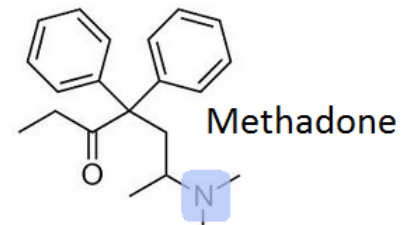
Hypoxanthine  
(enol form)



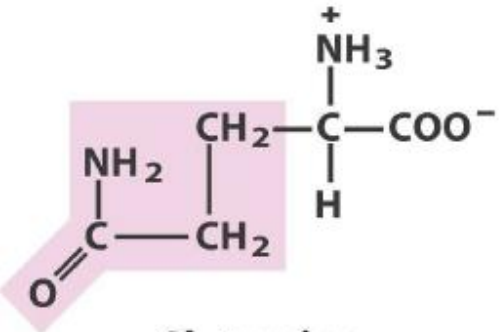
Morphine



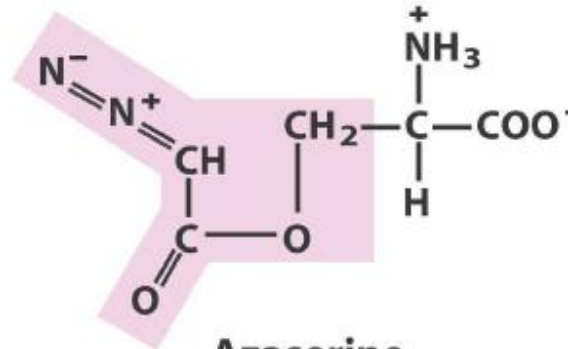
Heroin



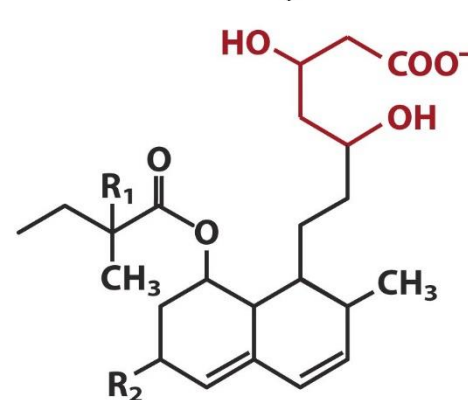
Methadone



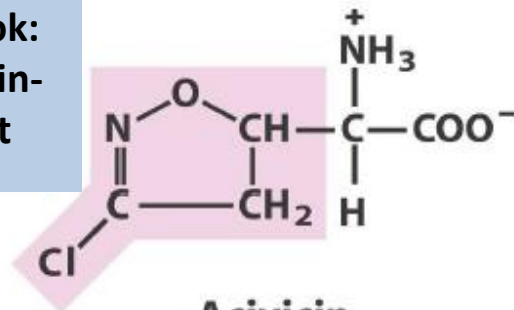
Glutamine



Azaserine



Mevalonate



Acivicin

R<sub>1</sub> = H  
R<sub>1</sub> = CH<sub>3</sub>  
R<sub>1</sub> = H  
R<sub>1</sub> = H

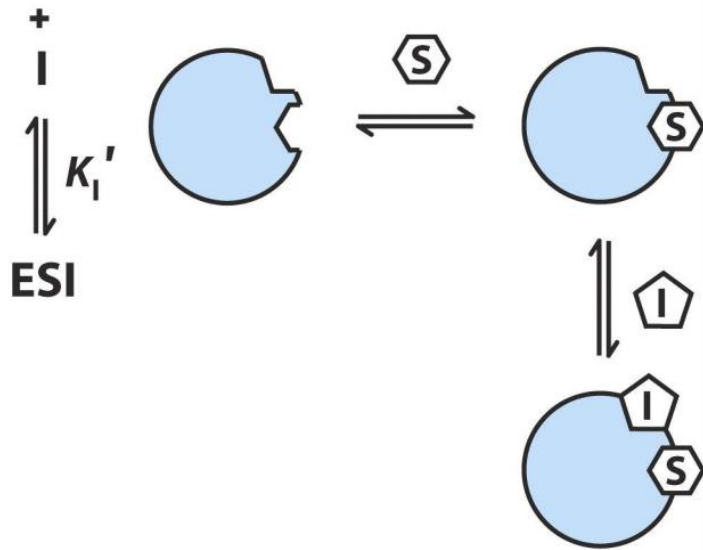
R<sub>2</sub> = H  
R<sub>2</sub> = CH<sub>3</sub>  
R<sub>2</sub> = OH  
R<sub>2</sub> = CH<sub>3</sub>

Compactin  
Simvastatin (Zocor)  
Pravastatin (Pravachol)  
Lovastatin (Mevacor)

Glutamin analógok:  
gátolják a glutamin-  
amidotranszferázt

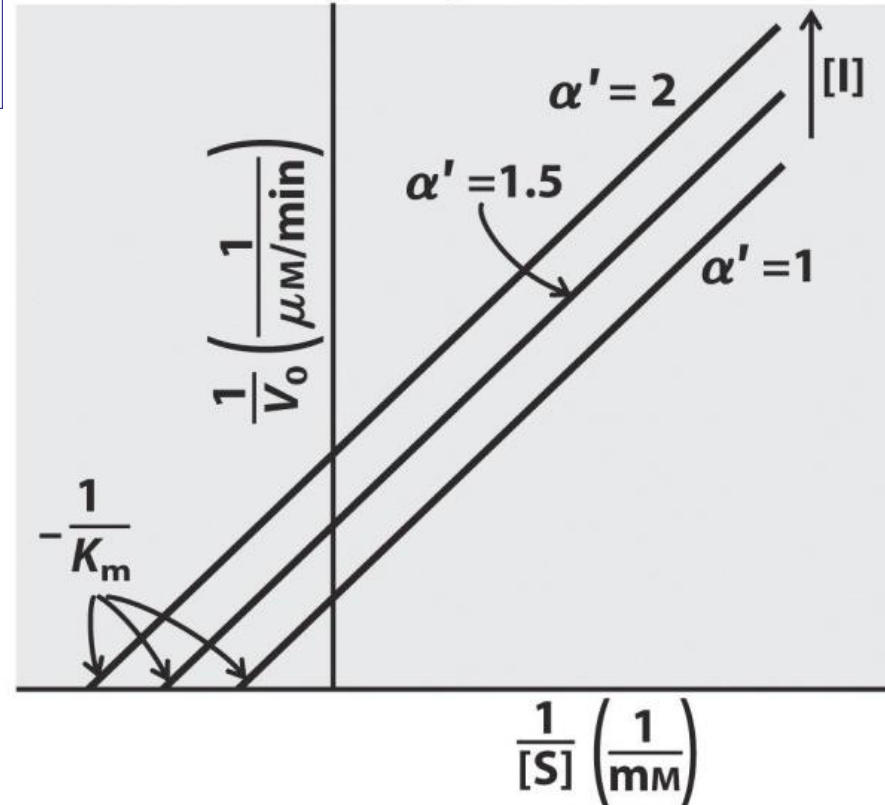


## (b) Uncompetitive inhibition

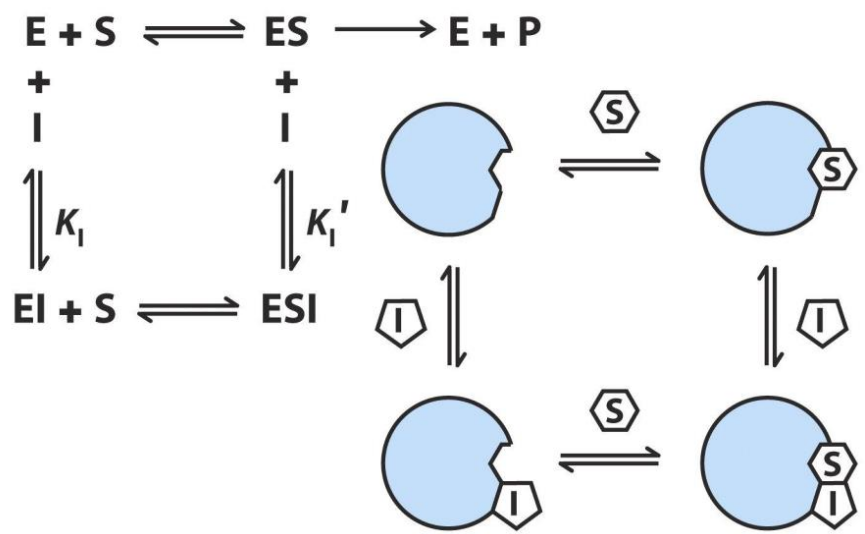


## Unkompetitív gátlás

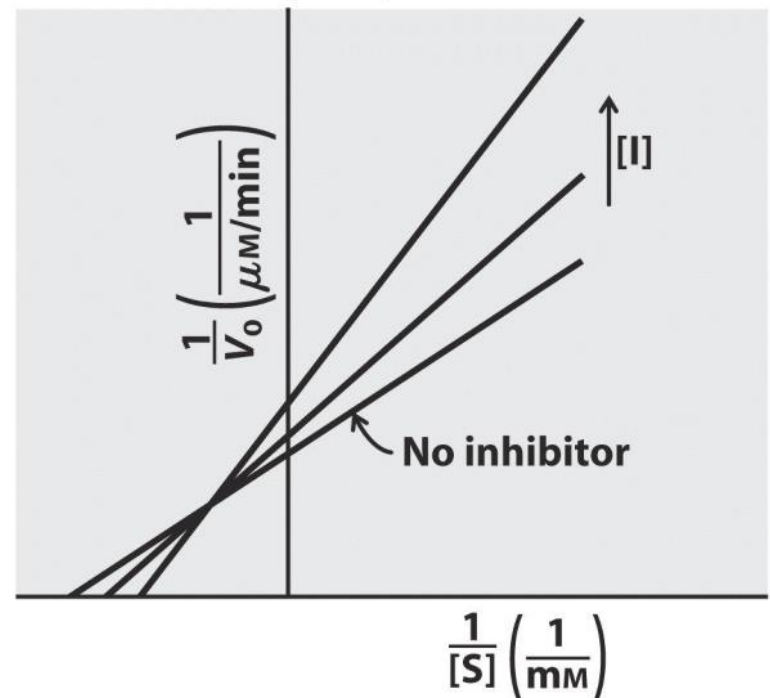
$$\frac{1}{V_0} = \left( \frac{K_m}{V_{\max}} \right) \frac{1}{[S]} + \frac{\alpha'}{V_{\max}}$$



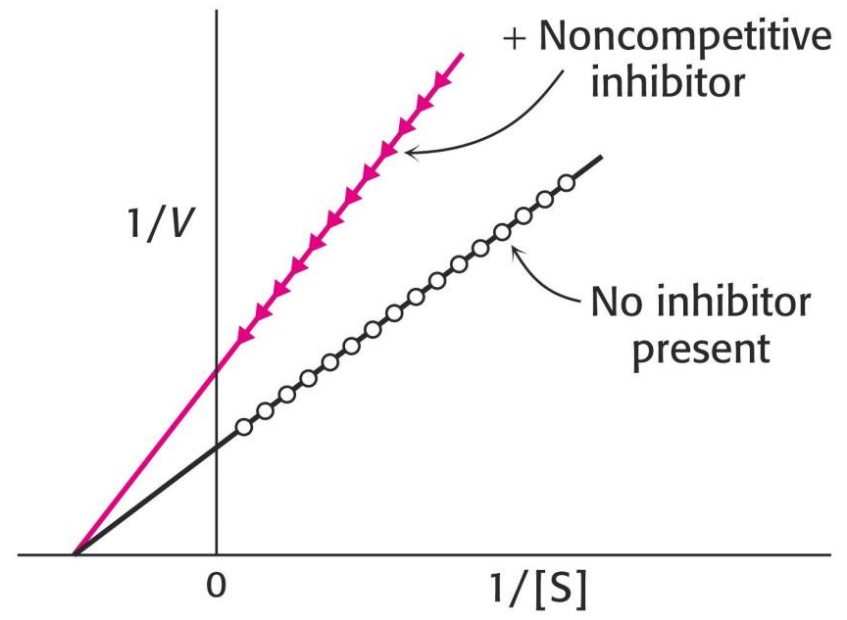
### (c) Mixed inhibition



$$\frac{1}{V_0} = \left( \frac{\alpha K_m}{V_{\max}} \right) \frac{1}{[S]} + \frac{\alpha'}{V_{\max}}$$



# Vegyes gátlás Nonkompetitív gátlás



# Kérdés

A kálium-cianid olyan mérreg, mely a citokróm  $a_3$  -hoz kötődve megakadályozza az oxigén kötődését anélkül, hogy a redukált citokróm c-hez viszonyított  $K_M$  értékét a reakciónak megváltoztatná.

Ez milyen típusú gátlást jelent?

- a. Kompetitív gátlás
- b. Unkompetitív gátlás
- c. Nonkompetitív gátlás
- d. Irreverzibilis gátlás

# Összefoglalás

- Kompetitív gátlás esetén a  $K_M$ -érték nő, a  $v_{\max}$  nem változik (az aktív centrumhoz kötődik).
- Unkompetitív gátlás esetén (ritka) csökken a  $v_{\max}$  és a  $K_M$ -érték is csökken. (az enzim-szubsztrát komplexhez kötődik).
- Vegyes típusú gátlásnál nő a  $K_M$ -érték és csökken a  $v_{\max}$
- Nonkompetitív gátlásnál (a vegyes típus a lesete) a  $v_{\max}$  csökken, de a  $K_M$ -érték változatlan. (Egyszubsztrátos enzimeknél nem fordul elő.)



# Allosztérikus gátlás (vagy aktiválás)

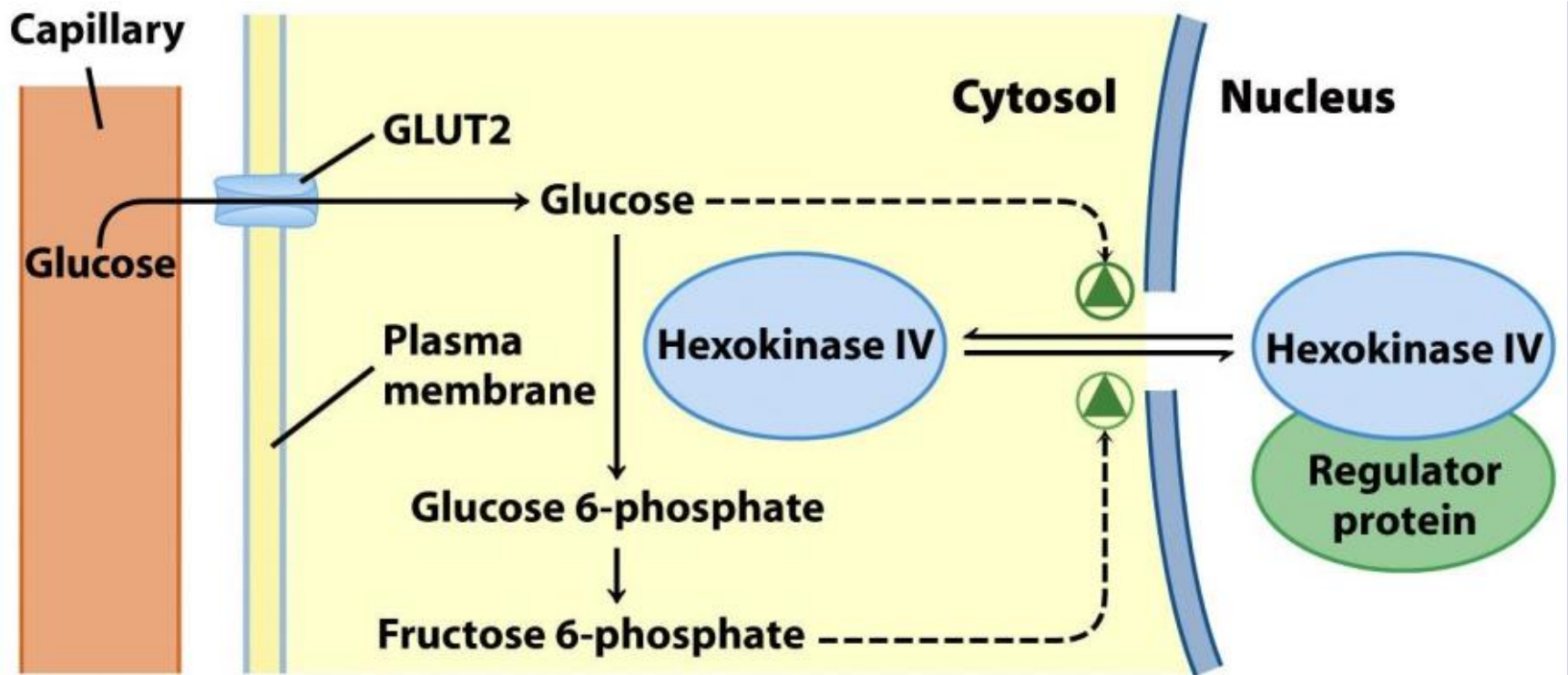
- Homotróp – ha a szubsztrát és a modulátor azonos
- Heterotróp – ha különböznek

## Kovalens módosítás

TABLE 10.1 Common covalent modifications of protein activity

Modification	Donor molecule	Example of modified protein	Protein function
Phosphorylation	ATP	Glycogen phosphorylase	Glucose homeostasis; energy transduction
Acetylation	Acetyl CoA	Histones	DNA packing; transcription
Myristoylation	Myristoyl CoA	Src	Signal transduction
ADP ribosylation	NAD <sup>+</sup>	RNA polymerase	Transcription
Farnesylation	Farnesyl pyrophosphate	Ras	Signal transduction
$\gamma$ -Carboxylation	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Thrombin	Blood clotting
Sulfation	3'-Phosphoadenosine-5'-phosphosulfate	Fibrinogen	Blood-clot formation
Ubiquitination	Ubiquitin	Cyclin	Control of cell cycle

# Kötőfehérje asszociációja (szekvesztrációs szabályozás)



**Figure 15-13**

*Lehninger Principles of Biochemistry, Fifth Edition*

© 2008 W. H. Freeman and Company

# Kérdés

A glikolízis első lépésében a hexokináz enzim glükóz-6-foszfátot termel. A G-6-P képes a hexokináz aktív centrumába bekötődni, és így megakadályozni az ATP-hez való hozzáférést. Milyen típusú gátlás ez?

- A, allosztérikus gátlás
- B, feedback gátlás
- C, nonkompetitív gátlás
- D, unkompetitív gátlás