A sebességi egyenlet

Guldberg és Waage (1864)

$$a\mathrm{A} + b\mathrm{B} \longrightarrow c\mathrm{C} + d\mathrm{D}$$

$$v = k[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y$$

A k állandót az adott reakció sebességi állandójának nevezzük.
A hatványkitevőket ($x,\ y$) az adott reaktánsra vonatkoztatott reakciórendnek nevezzük. Általánosságban x és y nem egyezik meg a sztöchiometria számokkal (a és b).
A sebességi egyenletben szereplő hatványkitevők összegét a reakció bruttó rendjének nevezzük.

Sebességi egyenlet

Nulladrendű reakció:

$$v = \left(\frac{d[\mathrm{A}]}{dt}\right) = k[\mathrm{A}]^0 = k$$

$$[\mathrm{A}] = [\mathrm{A}]_0 - kt$$

$$t_{1/2} = \frac{[\mathrm{A}]_0}{2k}$$

Sebességi egyenlet

Elsőrendű reakció:

$$v = \left(\frac{d[\mathrm{A}]}{dt}\right) = k[\mathrm{A}]$$

$$\ln \frac{[\mathrm{A}]_0}{[\mathrm{A}]} = kt$$

$$[\mathrm{A}] = [\mathrm{A}]_0 e^{-kt}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k}$$

Sebességi egyenlet

Másodrendű reakció:

$$v = \left(\frac{d[\mathrm{A}]}{dt}\right) = k[\mathrm{A}]^2$$

$$\frac{1}{[\mathrm{A}]} - \frac{1}{[\mathrm{A}]_0} = kt$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{k[\mathrm{A}]_0}$$

Molekularitás

Elemi reakciónak nevezzük azokat a reakciókat amelyek egy reakciólépésben mennek végbe. A molekularitás azt mutatja meg, hogy egy elemi reakcióban hány molekula vesz részt.

- Monomolekulás reakciók: a reakcióban egy részecske alakul át. Például az etán bomlása etilénre és hidrogénre:
  $C_2H_6 \longrightarrow C_2H_4 + H_2$

Molekularitás

- Bimolekulás reakciók: a termékek két részecske reakciója során képződnek.

  Példák:

  $H_3O^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$

  $H_2 + Br \longrightarrow HBr + H$

Molekularitás

- Bimolekulás reakciók: a termékek két részecske reakciója során képződnek.

  Példák:

  $H_3O^+ + OH^- \longrightarrow H_2O$

  $H_2 + Br \longrightarrow HBr + H$

- Trimolekulás reakciók: ezek nagyon ritkák, mivel három részecske egyidejű ütközésének a valószínűsége igen kicsi.

  Példa:

  $2\ NO + Cl_2 \longrightarrow 2NOCl$

Elemi reakciók

Az elemi reakciók sebességi egyenletét a reakcióegyenletből közvetlenül felírhatjuk, de csak ez elemi reakciókét.

Egy unimolekulás elemi reakció egyenlete elsőrendű a reaktánsra:

$$\mathrm{A} \longrightarrow \text{termékek}$$

$$\frac{d[\mathrm{A}]}{dt} = -k[\mathrm{A}]$$

Hasonlóan, egy bimolekulás elemi reakció másodrendű:

$$\mathrm{A} + \mathrm{B} \longrightarrow \text{termékek}$$

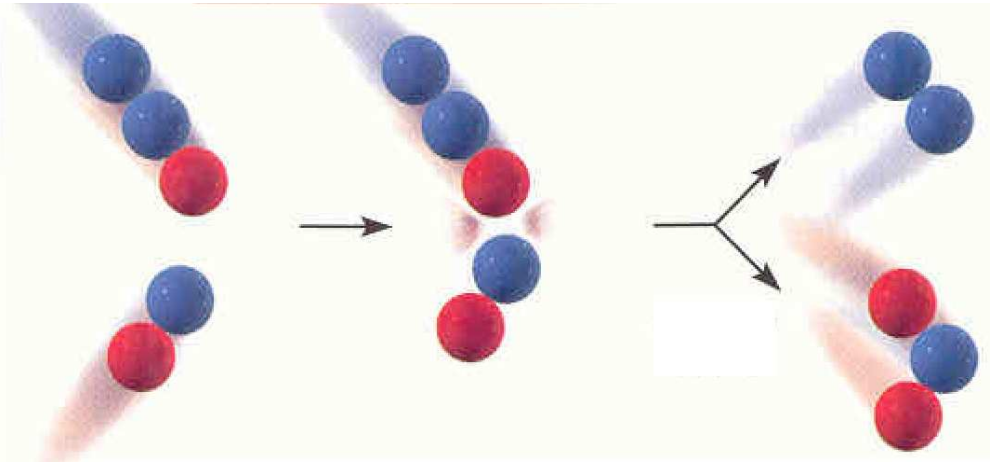
$$\frac{d[\mathrm{A}]}{dt} = -k[\mathrm{A}][\mathrm{B}]$$

Ütközési elmélet

A kémiai reakció feltétele a molekulák ütközése során jön létre. Csak azok az ütközések hatásosak amelyekben a résztvevő molekulák megfelelő mozgási energiával rendelkeznek és az ütközéskor a molekulák elhelyezkedése is megfelelő.

$$k = Z \exp(-E^0/RT)$$

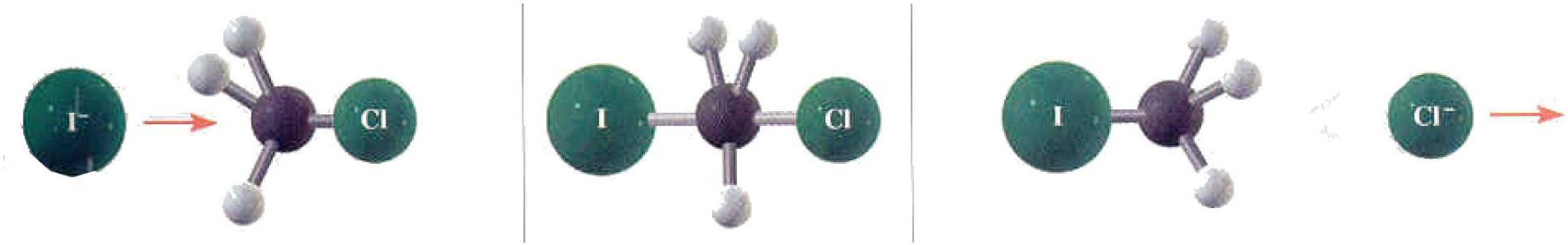
ahol Z az ütközési frekvencia tényező az $(-E^0/RT)$ tag megadja azon ütközések hányadát amelyek elegendő energiával rendelkeznek.



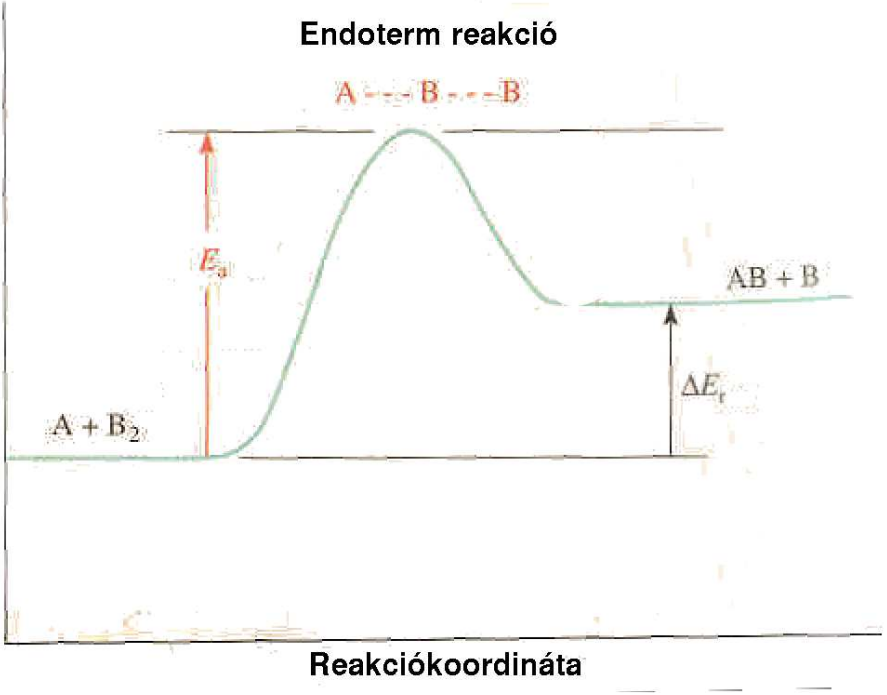
Átmenetiállapot-elmélet

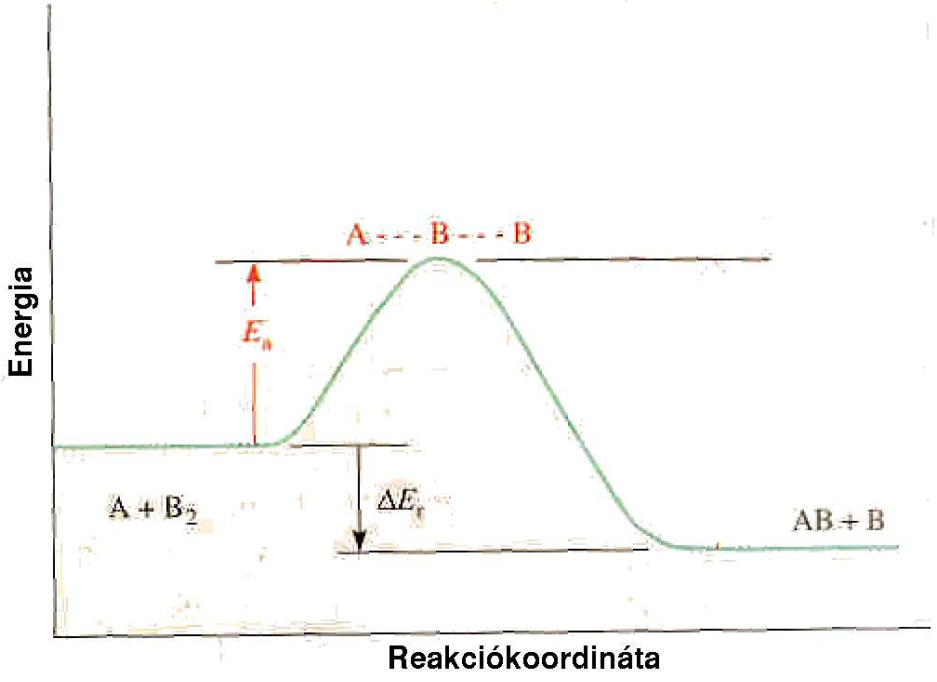
A reaktánsok egy nagy energiájú átmeneti állapoton keresztül alakulnak át a termékekké. Az aktiválási energia E_a az átmeneti állapot eléréséhez szükséges energia.

$$A + BC \longrightarrow ABC \longrightarrow AB + C$$



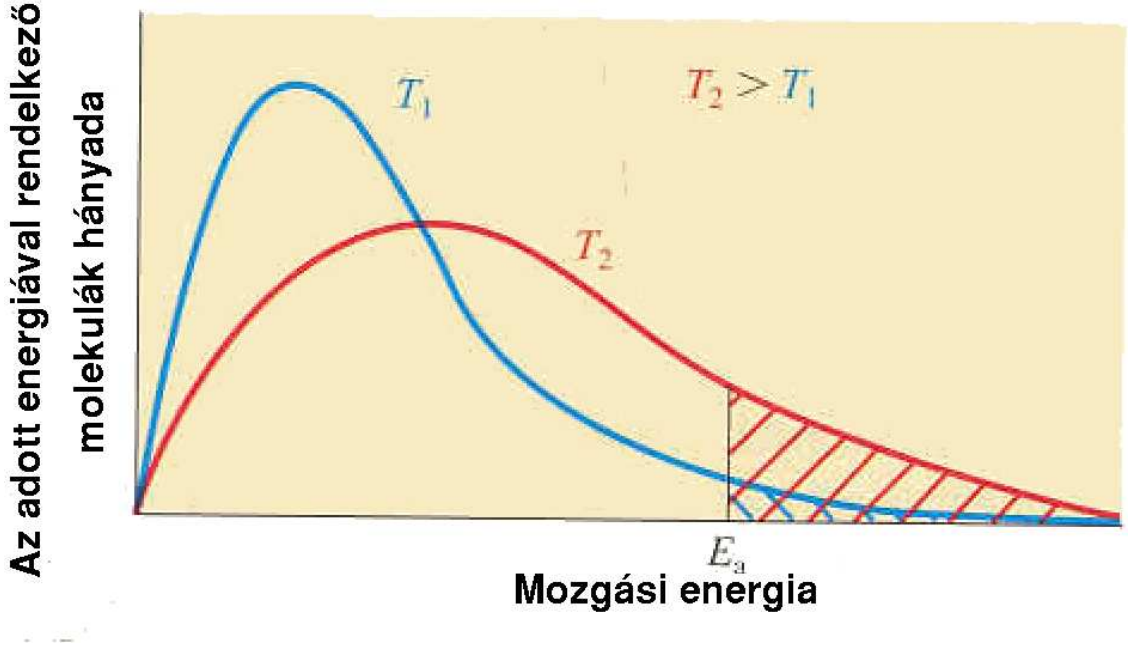
Átmenetiállapot-elmélet





A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

A tapasztalat szerint a reakciók sebessége kb. a kétszeresére nő 10°C hőmérséklet növelés hatására. Az átlagos kinetikus energia arányos a az abszolút hőmérséklettel, így magasabb hőmérsékleten több molekula rendelkezik a megfelelő kinetikus energiával ami a reakció sebességének növekedését eredményezi.



A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Arrhenius egyenlet:

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

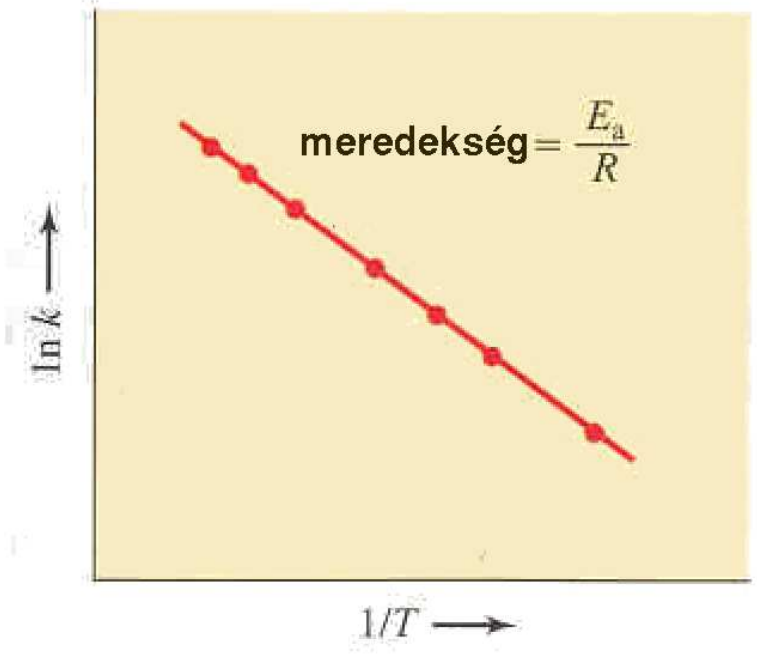
Ha feltételezzük hogy az aktiválási energia és a preexponeciális faktor A nem függ a hőmérséklettől (ami egy nem túl széles hőmérséklet tartományban megtehető):

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Arrhenius egyenlet:

$$\ln k = -\left(\frac{E_a}{R}\right)\frac{1}{T} + \ln A$$



A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Feladat:

A következő elsőrendű reakció sebességi állandója $9,16 \times 10^{-3}$ s^{-1} 0,0°C-on. Az aktiválási energiája 88,0 kJ/mol. Mennyi a sebességi állandó értéke 2,0°C-on.

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$

A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Feladat:

A következő elsőrendű reakció sebességi állandója $9,16 \times 10^{-3}$ s^{-1} 0,0°C-on. Az aktiválási energiája 88,0 kJ/mol. Mennyi a sebességi állandó értéke 2,0°C-on.

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Feladat:

A következő elsőrendű reakció sebességi állandója $9,16 \times 10^{-3}$ s^{-1} 0,0°C-on. Az aktiválási energiája 88,0 kJ/mol. Mennyi a sebességi állandó értéke 2,0°C-on.

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln \frac{k_2}{9,16 \times 10^{-3}} = \frac{88,0}{8,314}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{275}\right) = 0,282$$

A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Feladat:

A következő elsőrendű reakció sebességi állandója $9,16 \times 10^{-3}$ s^{-1} 0,0°C-on. Az aktiválási energiája 88,0 kJ/mol. Mennyi a sebességi állandó értéke 2,0°C-on.

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln \frac{k_2}{9,16 \times 10^{-3}} = \frac{88,0}{8,314}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{275}\right) = 0,282$$

$$\frac{k_2}{9,16 \times 10^{-3}} = 1,32$$

A reakciók sebességének hőmérsékletfüggése

Feladat:

A következő elsőrendű reakció sebességi állandója $9,16 \times 10^{-3}$ s^{-1} 0,0°C-on. Az aktiválási energiája 88,0 kJ/mol. Mennyi a sebességi állandó értéke 2,0°C-on.

$N_2O_5 \longrightarrow NO_2 + NO_3$

$$\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

$$\ln \frac{k_2}{9,16 \times 10^{-3}} = \frac{88,0}{8,314}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{275}\right) = 0,282$$

$$\frac{k_2}{9,16 \times 10^{-3}} = 1,32$$

$$k_2 = 1,32(9,16 \times 10^{-3}) = 1,21 \times 10^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$$

Reakciómechanizmusok

Egy összetett reakció elemi lépések sorozatából építhető fel, ezt nevezzük a reakció mechanizmusának.

1. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + I_2 \longrightarrow 2\ HI$$

Reakciómechanizmusok

Egy összetett reakció elemi lépések sorozatából építhető fel, ezt nevezzük a reakció mechanizmusának.

1. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + I_2 \longrightarrow 2\ HI$$

Mechanizmus:

$$\begin{array}{ccccccccc} H & & I & & H & \ldots & I & & H - I \\ | & + & | & \rightarrow & \vdots & & \vdots & \rightarrow & \\ H & & I & & I & \ldots & H & & I - H \end{array}$$

Reakciómechanizmusok

2. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$$

Reakciómechanizmusok

2. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$$

Mechanizmus:

Reakciómechanizmusok

2. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$$

Mechanizmus:

Láncindító lépés (UV fény):

$$Cl_2 \longrightarrow 2\ Cl$$

Reakciómechanizmusok

2. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$$

Mechanizmus:

Láncindító lépés (UV fény):

$$Cl_2 \longrightarrow 2\ Cl$$

Láncvivő lépések:

$$Cl + H_2 \longrightarrow HCl + H$$

$$H + Cl_2 \longrightarrow HCl + Cl$$

Reakciómechanizmusok

2. példa:

A bruttó reakció:

$$H_2 + Cl_2 \longrightarrow 2\ HCl$$

Mechanizmus:

Láncindító lépés (UV fény):

$$Cl_2 \longrightarrow 2\ Cl$$

Láncvivő lépések:

$$Cl + H_2 \longrightarrow HCl + H$$

$$H + Cl_2 \longrightarrow HCl + Cl$$

Lánclezáró (lánctörő) lépések:

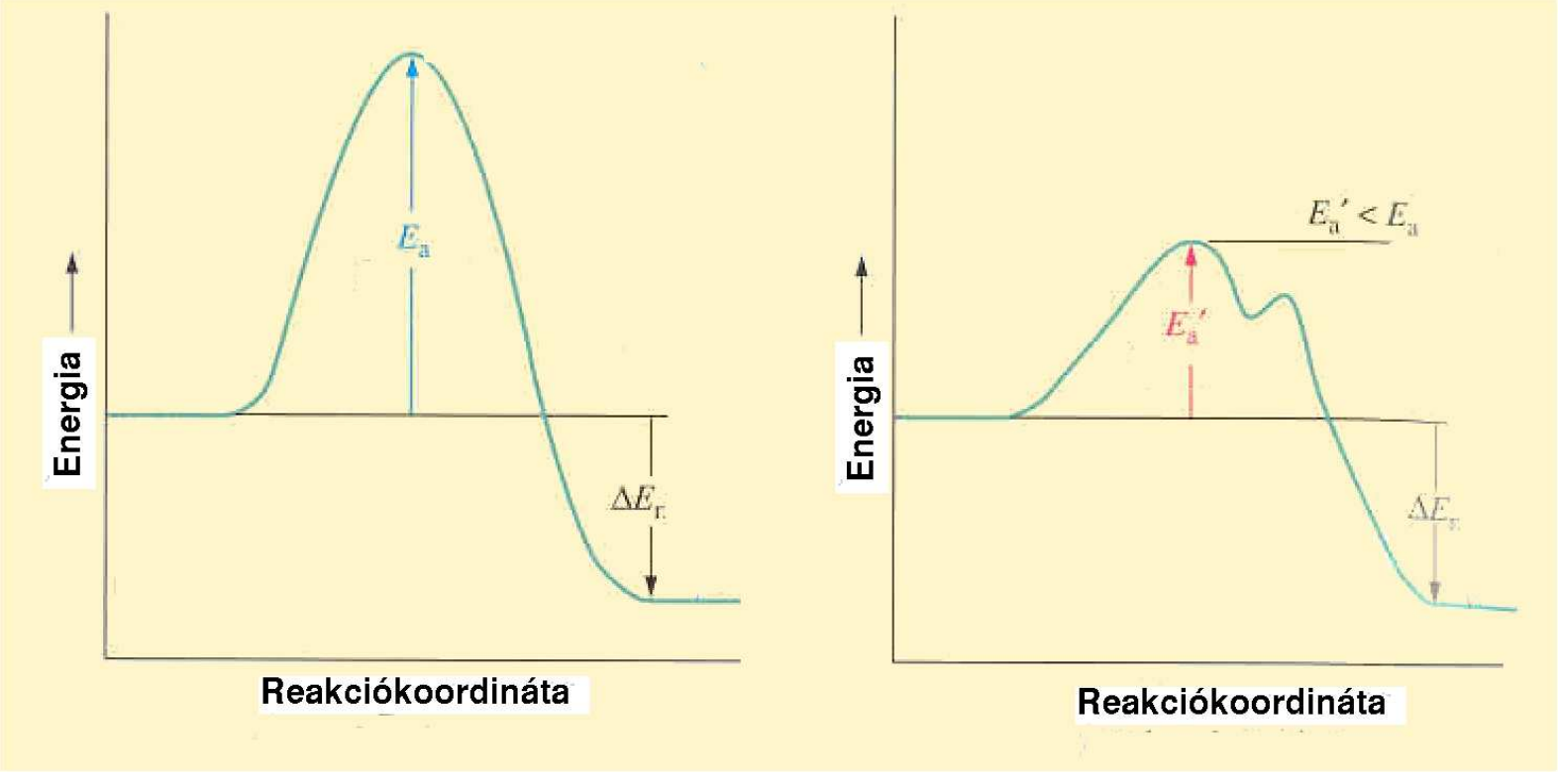
$$H + H \longrightarrow H_2$$

$$Cl + Cl \longrightarrow Cl_2$$

$$Cl + H \longrightarrow HCl$$

Katalízis

A katalizátor olyan anyag amely meggyorsítja a reakció végbemenetelét és a reakció végén változatlan formában és mennyiségben visszamarad. A katalizátor olyan módón éri el ezt a hatást, hogy egy kisebb aktiválási energiával rendelkező reakcióútat nyit meg.



Katalízis

Heterogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok más fázisban vannak. A leggyakoribb példa a Pt katalizátor használata gázfázisú reakciókban.

Példák:

$H_2C{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} H_3C\text{-}CH_3$

Katalízis

Heterogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok más fázisban vannak. A leggyakoribb példa a Pt katalizátor használata gázfázisú reakciókban.

Példák:

$H_2C{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} H_3C\text{-}CH_3$

$2NH_3 + 5/2O_2 \xrightarrow{Pt} 2NO + 3H_2O$

Katalízis

Heterogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok más fázisban vannak. A leggyakoribb példa a Pt katalizátor használata gázfázisú reakciókban.

Példák:

$H_2C{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} H_3C\text{-}CH_3$

$2NH_3 + 5/2O_2 \xrightarrow{Pt} 2NO + 3H_2O$

$2H_2O_2 + \xrightarrow{fm} 2H_2O + O_2$

Katalízis

Heterogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok más fázisban vannak. A leggyakoribb példa a Pt katalizátor használata gázfázisú reakciókban.

Példák:

$H_2C{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{Pt} H_3C\text{-}CH_3$

$2NH_3 + 5/2O_2 \xrightarrow{Pt} 2NO + 3H_2O$

$2H_2O_2 + \xrightarrow{fm} 2H_2O + O_2$

Gépjárművekben használatos katalizátorok:

$2CO + O_2 \xrightarrow{Pt,NiO} 2CO_2$

$2NO \xrightarrow{Pt,NiO} N_2 + O_2$

$2C_8H_{18} + 25\ O_2 \xrightarrow{Pt,NiO} 16CO_2 + 18\ H_2O$

Katalízis

Homogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok azonos fázisban vannak.

1. példa:

Bruttó reakció:

$SO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow SO_3$

Katalízis

Homogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok azonos fázisban vannak.

1. példa:

Bruttó reakció:

$SO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow SO_3$

$SO_2 + NO_2 \longrightarrow SO_3 + NO$

$NO + 1/2\ O_2 \longrightarrow NO_2$

Katalízis

Homogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok azonos fázisban vannak.

1. példa:

Bruttó reakció:

$SO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow SO_3$

$SO_2 + NO_2 \longrightarrow SO_3 + NO$

$NO + 1/2\ O_2 \longrightarrow NO_2$

2. példa:

Bruttó reakció:

$2Ce^{4+} + Tl^{+} \longrightarrow 2Ce^{3+} + Tl^{3+}$

Katalízis

Homogén katalízis

A katalizátor és a reaktánsok azonos fázisban vannak.

1. példa:

Bruttó reakció:

$SO_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow SO_3$

$SO_2 + NO_2 \longrightarrow SO_3 + NO$

$NO + 1/2\ O_2 \longrightarrow NO_2$

2. példa:

Bruttó reakció:

$2Ce^{4+} + Tl^{+} \longrightarrow 2Ce^{3+} + Tl^{3+}$

$Ce^{4+} + Mn^{2+} \longrightarrow Ce^{3+} + Mn^{3+}$

$Ce^{4+} + Mn^{3+} \longrightarrow Ce^{3+} + Mn^{4+}$

$Mn^{4+} + Tl^{+} \longrightarrow Mn^{2+} + Tl^{3+}$

Az ózonréteg

Az ózon termelése:

$$O_2 + h\nu \longrightarrow 2\ O\ (242\ nm)$$

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M$$

Az ózonréteg

Az ózon termelése:

$$O_2 + h\nu \longrightarrow 2\ O\ (242\ nm)$$

$$O + O_2 + M \longrightarrow O_3 + M$$

Az ózon természetes fogyása:

$$O_3 + h\nu \longrightarrow O + O_2$$

$$O + O_3 \longrightarrow 2O_2$$

Az ózonréteg

Az ózon katalitikus bomlása:

$$X + O_3 \longrightarrow XO + O_2$$

$$XO + O \longrightarrow X + O_2$$

nettó reakció:

$$O + O_3 \longrightarrow 2O_2$$

Az ózonréteg

Az ózon katalitikus bomlása:

$$X + O_3 \longrightarrow XO + O_2$$

$$XO + O \longrightarrow X + O_2$$

nettó reakció:

$$O + O_3 \longrightarrow 2O_2$$

A hangsebességnél gyorsabb repülőgépek nagy mennyiségű NO-ot bocsájtanak ki.

$$NO + O_3 \longrightarrow NO_2 + O_2$$

$$NO_2 + O \longrightarrow NO + O_2$$

Az ózonréteg

A kluoroflurokarbonok (CFC) hatása

$$CF_2Cl_2 + h\nu \longrightarrow CF_2Cl + Cl$$

Az ózonréteg

A kluoroflurokarbonok (CFC) hatása

$$CF_2Cl_2 + h\nu \longrightarrow CF_2Cl + Cl$$

$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2$$

$$ClO + O \longrightarrow Cl + O_2$$

Enzimkatalízis

Az enzimek a biológiai reakciók specifikus katalizátorai. Az enzim egy fehérje, amelynek harmadlagos szerkezete egymáshoz közel hoz bizonyos funkciós csoportokat és ezzel egy adott szubsztrátra specifikus kötőhelyet alakít ki.

$$\mathrm{E} + \mathrm{S} \rightleftharpoons \mathrm{ES} \longrightarrow \mathrm{P} + \mathrm{E}$$

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$v = -\frac{d[\mathrm{S}]}{dt} = k[\mathrm{ES}] = kK[\mathrm{E}][\mathrm{S}]$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$[\mathrm{ES}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$[\mathrm{ES}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K = \frac{[\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$[\mathrm{ES}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K = \frac{[\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$K[\mathrm{E}][\mathrm{S}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$[\mathrm{ES}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K = \frac{[\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$K[\mathrm{E}][\mathrm{S}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K[\mathrm{E}][\mathrm{S}] + [\mathrm{E}] = [\mathrm{E}]_T$$

Enzimkatalízis

$$K = \frac{[\mathrm{ES}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$[\mathrm{ES}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K = \frac{[\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]}{[\mathrm{E}][\mathrm{S}]}$$

$$K[\mathrm{E}][\mathrm{S}] = [\mathrm{E}]_T - [\mathrm{E}]$$

$$K[\mathrm{E}][\mathrm{S}] + [\mathrm{E}] = [\mathrm{E}]_T$$

$$[\mathrm{E}] = \frac{[\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

Enzimkatalízis

$$v = kK[\mathrm{E}][\mathrm{S}]$$

$$[\mathrm{E}] = \frac{[\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

Enzimkatalízis

$$v = kK[\mathrm{E}][\mathrm{S}]$$

$$[\mathrm{E}] = \frac{[\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

$$v = \frac{kK[\mathrm{S}][\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

Enzimkatalízis

$$v = kK[\mathrm{E}][\mathrm{S}]$$

$$[\mathrm{E}] = \frac{[\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

$$v = \frac{kK[\mathrm{S}][\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

Michaelis-Menten-egyenlet:

$$v = \frac{k[\mathrm{S}][\mathrm{E}]_T}{[\mathrm{S}] + (1/K)}$$

Enzimkatalízis

$$v = kK[\mathrm{E}][\mathrm{S}]$$

$$[\mathrm{E}] = \frac{[\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

$$v = \frac{kK[\mathrm{S}][\mathrm{E}]_T}{K[\mathrm{S}] + 1}$$

Michaelis-Menten-egyenlet:

$$v = \frac{k[\mathrm{S}][\mathrm{E}]_T}{[\mathrm{S}] + (1/K)}$$

Ha $[\mathrm{S}]$ nagy akkor $v \approx k[\mathrm{E}]_T$ (pszeudo elsőrendű reakció)

Ha $[\mathrm{S}]$ kicsi akkor $v \approx kK[\mathrm{E}]_T[\mathrm{S}]$ (másodrendű reakció)

Indukált reakciók

$$CrO_4^{2-} + I^- + H^+ \longrightarrow \text{lassú}$$

Indukált reakciók

$CrO_4^{2-} + I^- + H^+ \longrightarrow$ lassú

azonban Fe^{2+} jelenlétében:

$CrO_4^{2-} + 3Fe^{2+} + 8H^+ \longrightarrow Cr^{3+} + Fe^{3+} + 4H_2O$

$2Fe^{3+} + 2\ I^- \longrightarrow 2Fe^{2+} + I_2$

A Fe^{2+} nem katalizátor hiszen fogyott a reakcióban.

Indukált reakciók

$CrO_4^{2-} + I^- + H^+ \longrightarrow$ lassú

azonban Fe^{2+} jelenlétében:

$CrO_4^{2-} + 3Fe^{2+} + 8H^+ \longrightarrow Cr^{3+} + Fe^{3+} + 4H_2O$

$2Fe^{3+} + 2\ I^- \longrightarrow 2Fe^{2+} + I_2$

A Fe^{2+} nem katalizátor hiszen fogyott a reakcióban.

$AsO_3^{3-} + O_2 \longrightarrow$ nincs reakció

Indukált reakciók

$CrO_4^{2-} + I^- + H^+ \longrightarrow$ lassú

azonban Fe^{2+} jelenlétében:

$CrO_4^{2-} + 3Fe^{2+} + 8H^+ \longrightarrow Cr^{3+} + Fe^{3+} + 4H_2O$

$2Fe^{3+} + 2\ I^- \longrightarrow 2Fe^{2+} + I_2$

A Fe^{2+} nem katalizátor hiszen fogyott a reakcióban.

$AsO_3^{3-} + O_2 \longrightarrow$ nincs reakció

SO_3^{2-} jelenlétében:

$SO_3^{2-} + O_2 \longrightarrow SO_4^{2-}$ gyors

$SO_3^{2-} + AsO_3^{3-} + O_2 \longrightarrow SO_4^{2-} + AsO_4^{3-}$ gyors

Autokatalízis

A reakció maga termeli a katalizátorát. Az ilyen reakciók öngyorsuló jelleggel mennek végbe.

$$2MnO_4^- + 5^-OOC\text{-}COO^- + 16H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + 10CO_2 + 8H_2O$$

Oszcilláló reakciók

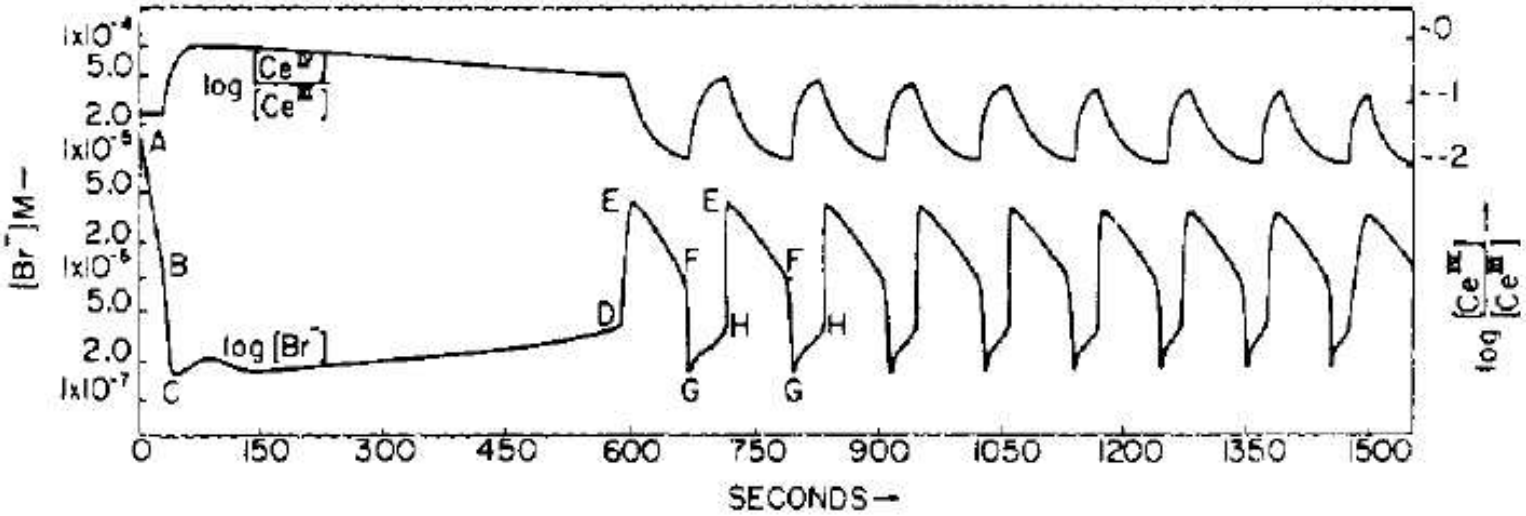
Olyan reakciók amelyek során egy vagy több köztitermék koncentrációja periodikusan változik (oszcillál).

Oszcilláló reakciók

Olyan reakciók amelyek során egy vagy több köztitermék koncentrációja periodikusan változik (oszcillál).

A Belouszov-Zsabotyinszkíj reakció

A malonsav bromátos oxidációja kénsavas közegben egy megfelelő katalizátor jelenlétében (e.g Ce^{4+}, vagy Mn^{3+}).



Oszcilláló reakciók

A Belouszov Zsabotyinszkíj reakció kémiája:

I. részfolyamat:

$$BrO_3^- + 2Br^- + 3H^+ \longrightarrow 3HOBr$$

Oszcilláló reakciók

A Belouszov Zsabotyinszkíj reakció kémiája:

I. részfolyamat:

$BrO_3^- + 2Br^- + 3H^+ \longrightarrow 3HOBr$

II. részfolyamat (autokatalízis):

$BrO_3^- + 2Ce^{3+} + HBrO_2 + 3H^+ \longrightarrow 2\ HBrO_2 + 2Ce^{4+} + H_2O$

Oszcilláló reakciók

A Belouszov Zsabotyinszkíj reakció kémiája:

I. részfolyamat:

$BrO_3^- + 2Br^- + 3H^+ \longrightarrow 3HOBr$

II. részfolyamat (autokatalízis):

$BrO_3^- + 2Ce^{3+} + HBrO_2 + 3H^+ \longrightarrow 2\ HBrO_2 + 2Ce^{4+} + H_2O$

II. részfolyamat (autokatalízis):

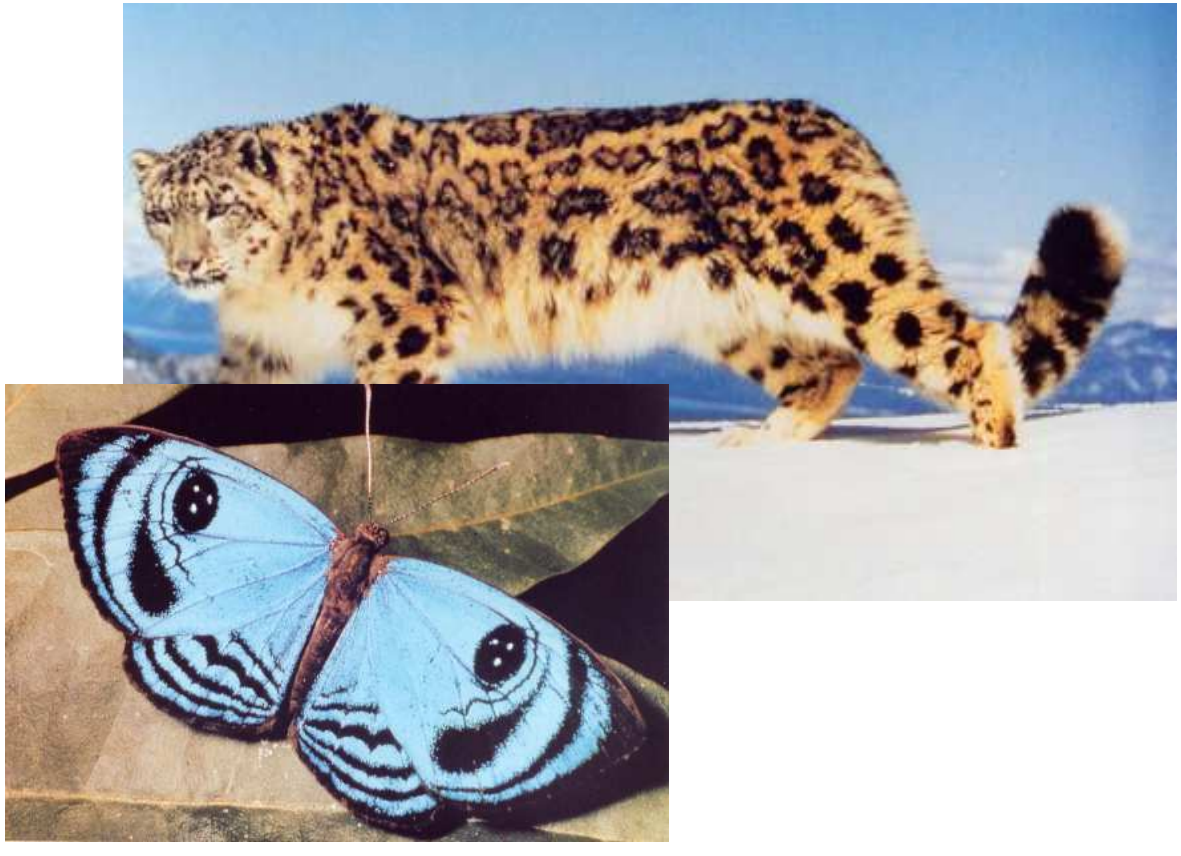
$2Ce^{4+} + HOOC\text{-}CHBr\text{-}COOH \longrightarrow f\,Br^- + 2Ce^{3+} + \text{termékek}$

Kémiai hullámok

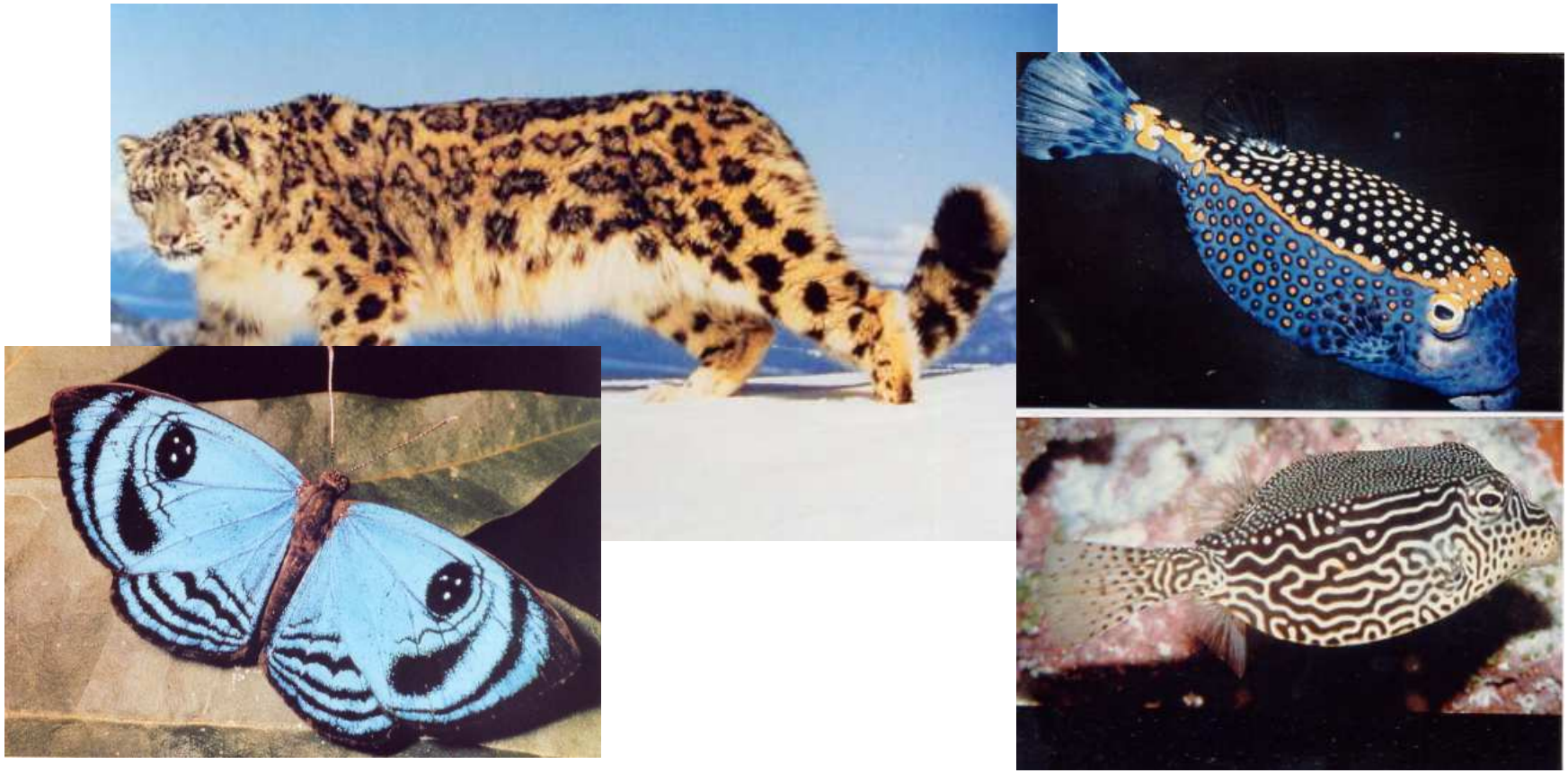
oszcilláló reakciók + diffúzió = kémiai hullámok

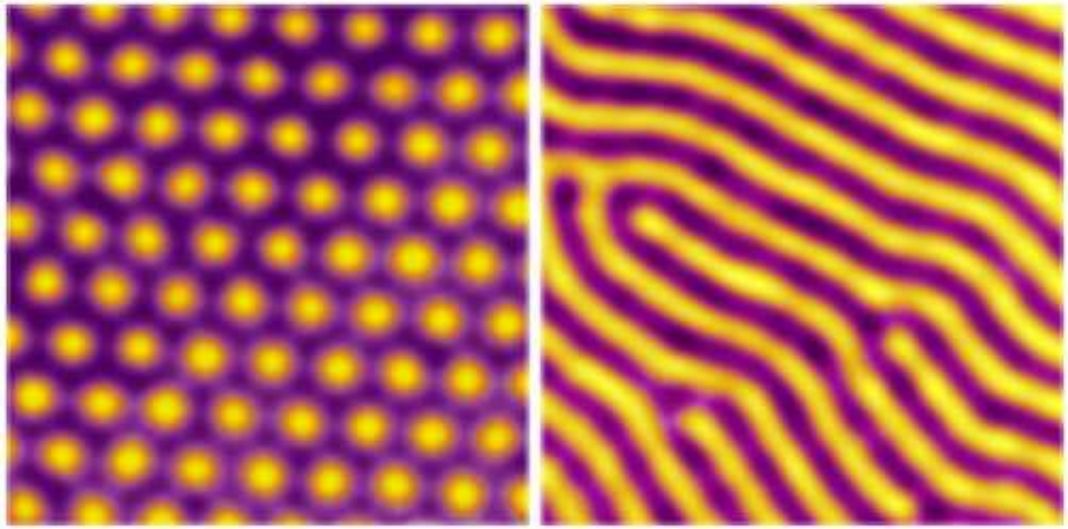
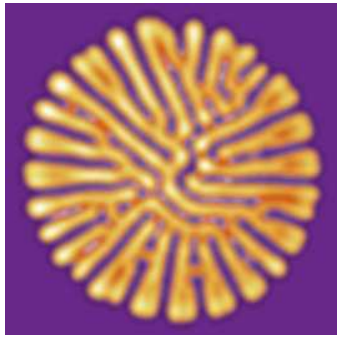
Mintázatképződés

Mintázatképződés



Mintázatképződés



Mintázatképződés

Reakció-diffúzió mintázatok kémiai rendszerekben: