

Polimerek és makromolekulák

Molnár Kristóf

Biofizikai és Sugárbiológiai tanszék

molnar.kristof1@semmelweis.hu



Hermann Staudinger (1881-1962)

1920

Royal Society to Staudinger: “There is no such thing as a macromolecule”

1953

Nobel Prize to Staudinger

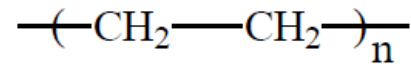
Valamennyi elem közül a szén az egyetlen, amelynek atomjai korlátlan számban kapcsolódhatnak közvetlenül egymással, a létrejövő molekulák stabilitásának csökkenése nélkül.

Makromolekulák, polimerek

- **Makromolekula:** 5000Da-nál nagyobb, ismétlődő egységekből felépített szerves vagy szervetlen molekula
- **Oligomer:** Ismétlődő egységek száma kevesebb mint 10
- Ismétlődő egység és monomer nem feltétlenül azonos

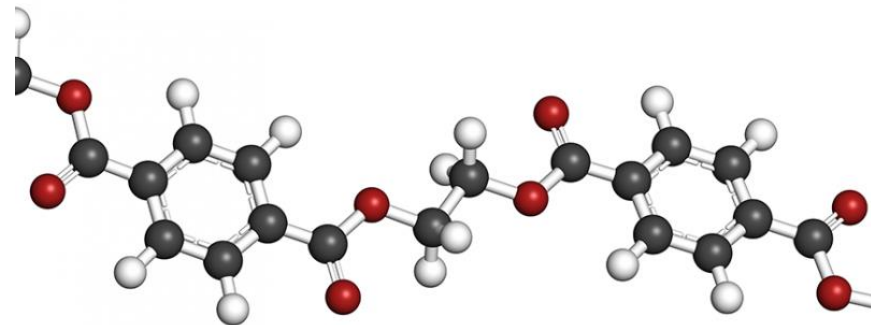


monomer



ismétlődő egység

- **Polimer:** gyűjtőfogalom az összes nagy molekulatömegű vegyületre (pl: fehérje, Polietilén, Epoxi)
- **Műanyag:** Polimerek mellett egyéb adalékanyagokat is tartalmaz

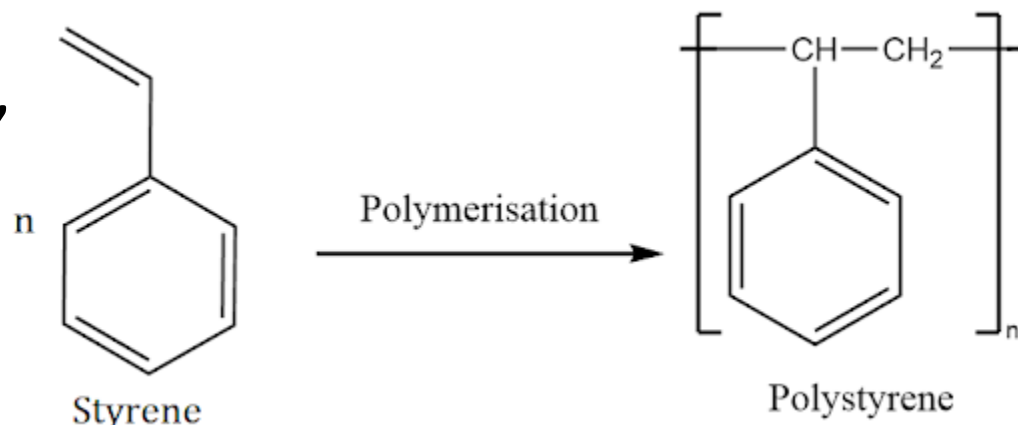


Polimerek előállítása és tulajdonságai

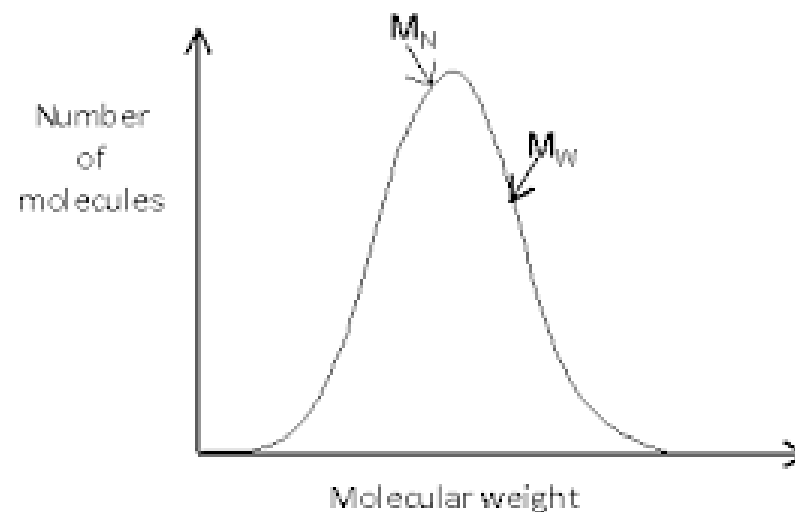
Szintézis -> polimerizáció

- Gyökös, Ionos (anionos, kationos)
- Poliaddíció, polikondenzáció, stb.

(Részletek az extra diákon).



A polimerek és a műanyagok fizikai és kémiai tulajdonságai az azokat felépítő molekulaláncok kémiai összetételétől és a láncok hosszától és annak eloszlásától függenek.



Polimerek csoportosítása I.

Őket felépítő monomerek szerint:
Homo- és Kopolimerek

Homopolimer



Kopolimerek

Statisztikus



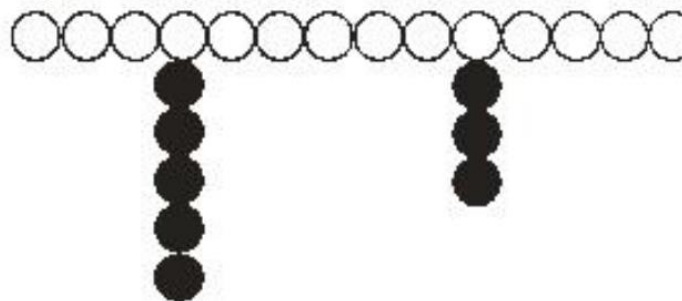
Alt-mald



Blokk

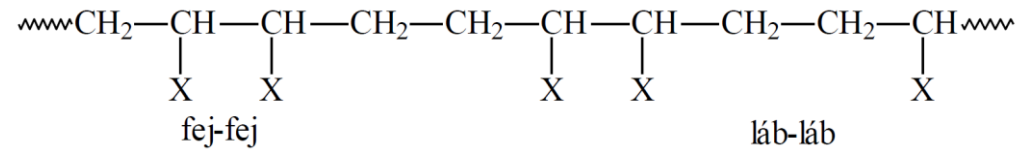
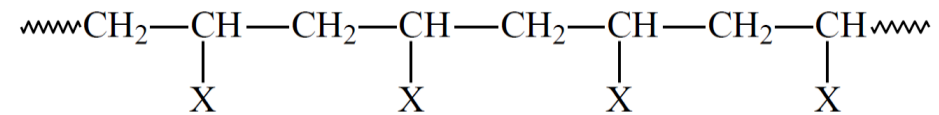


Ojtott



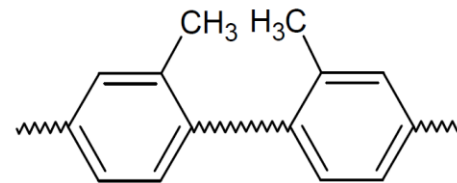
Orientációjuk szerint:
Fej-láb, Fej-fej, Láb-láb

Fej-láb

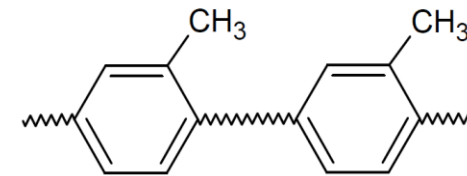


fej-fej

láb-láb



(head-to-head)



(head-to-tail)

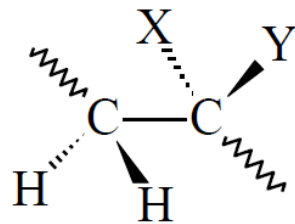
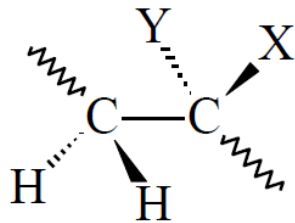
DNS: 4 ismétlődő egység , fehérjék: 20 ismétlődő egység

Polimerek csoportosítása II.

- Izoméria

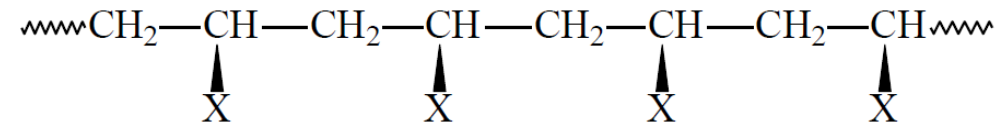
Aszimmetrikus C atomot tartalmazó
polimer (pl.: vinil polimerek)

Enantiomerek

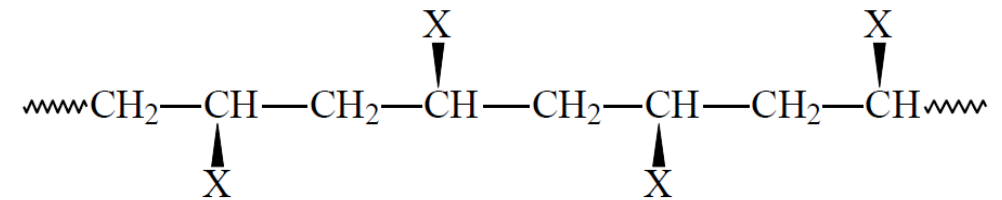


Nincs optikai aktivitás!

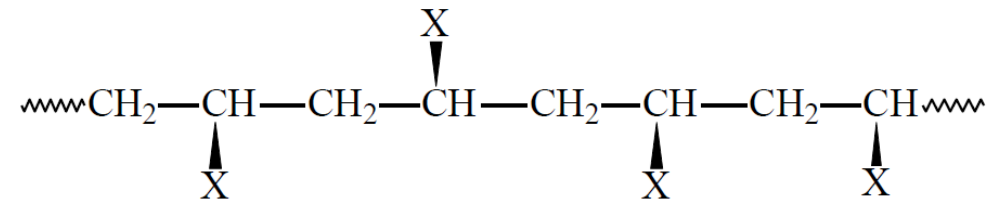
Egyetlen szubsztituenst
tartalmaz
Izotaktikus



Szündiotaktikus



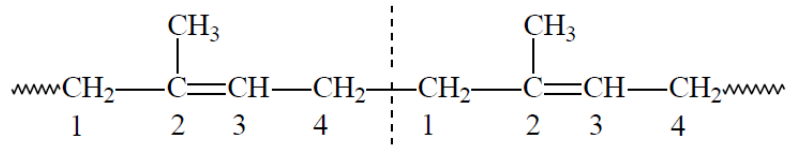
Ataktikus



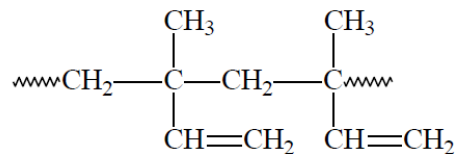
Izo- és szündiotaktikus
legtöbbször kristályos!

Polimerek csoportosítása III.

- Izoméria II
Konjugált diének (1-4 és 1-2 kapcsolódás)

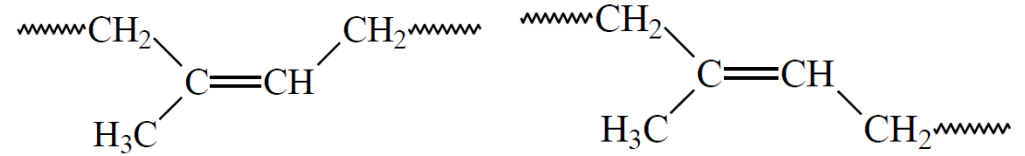


1-4 kapcsolódás



1-2 kapcsolódás

Cisz- és transz izoméria



cisz-1,4 poliizoprén

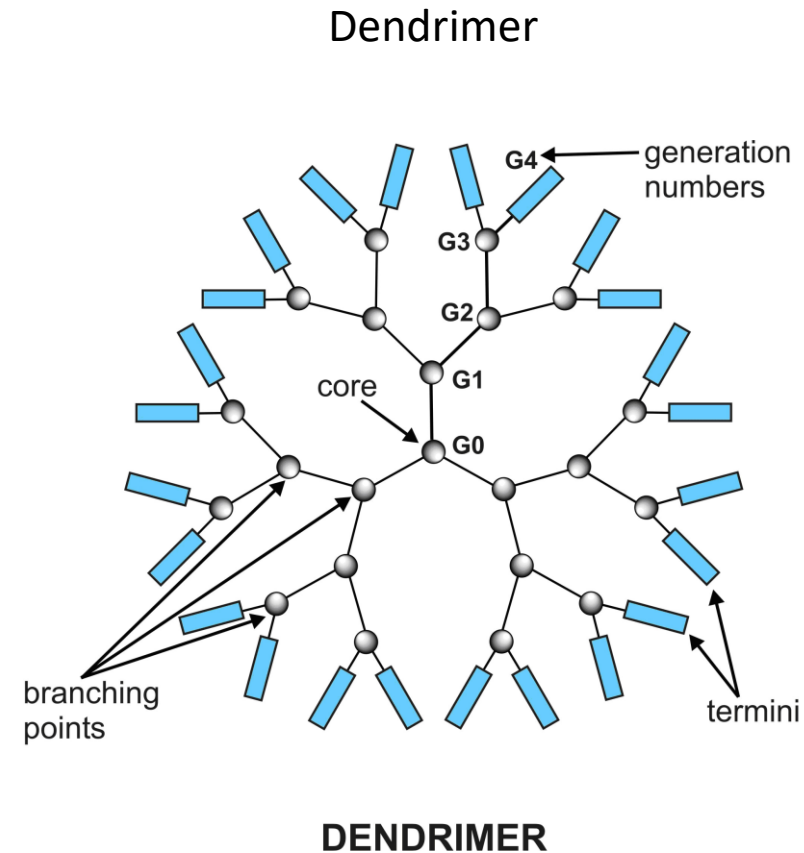
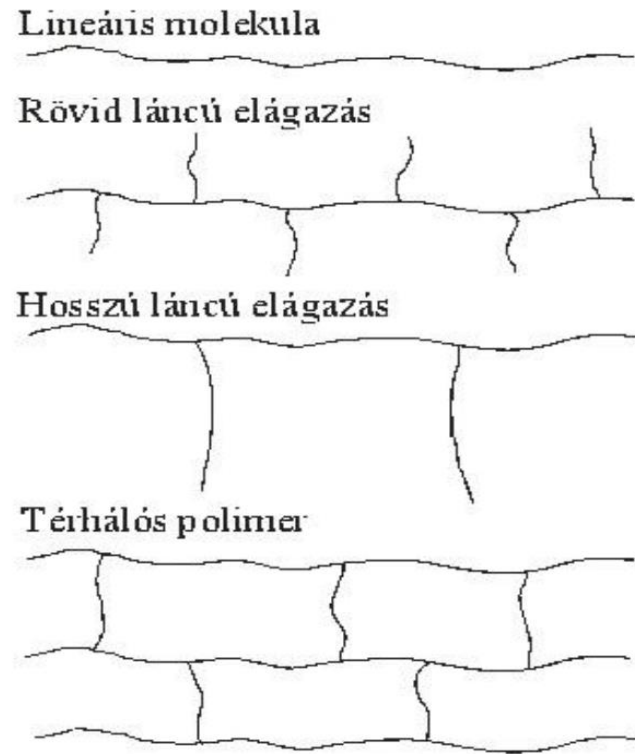
transz-1,4 poliizoprén



Hevea natural rubber latex (HNRL)

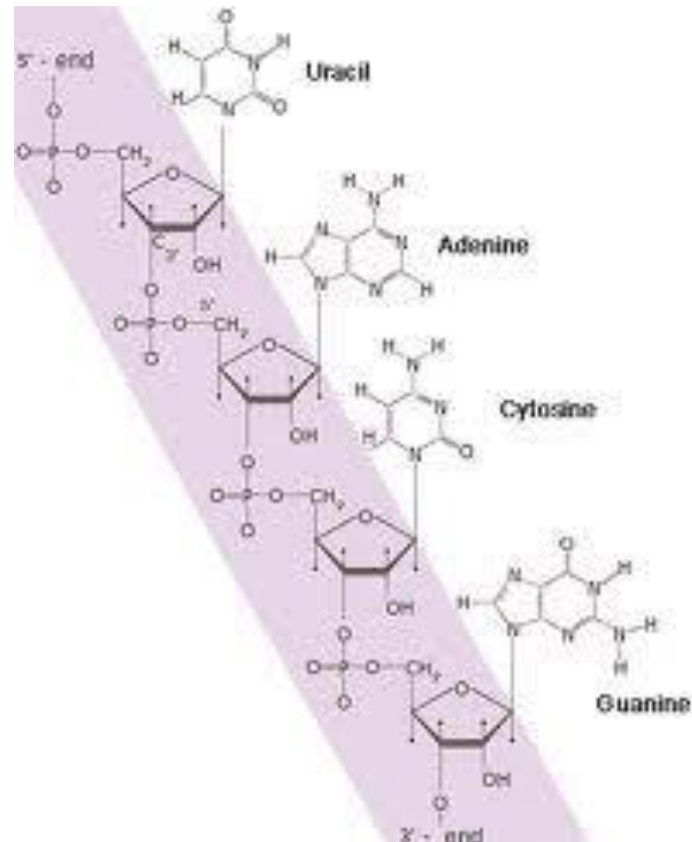
Polimerek csoportosítása IV.

Alak: Polimer láncok elágazottságának száma és mértéke meghatározza a polimer makroszkopikus szerkezetét és tulajdonságait!

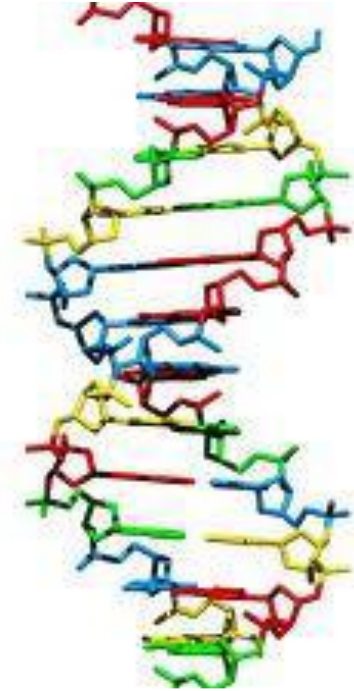


Polimerek és makromolekulák óriásiak lehetnek!

RNS



DNS

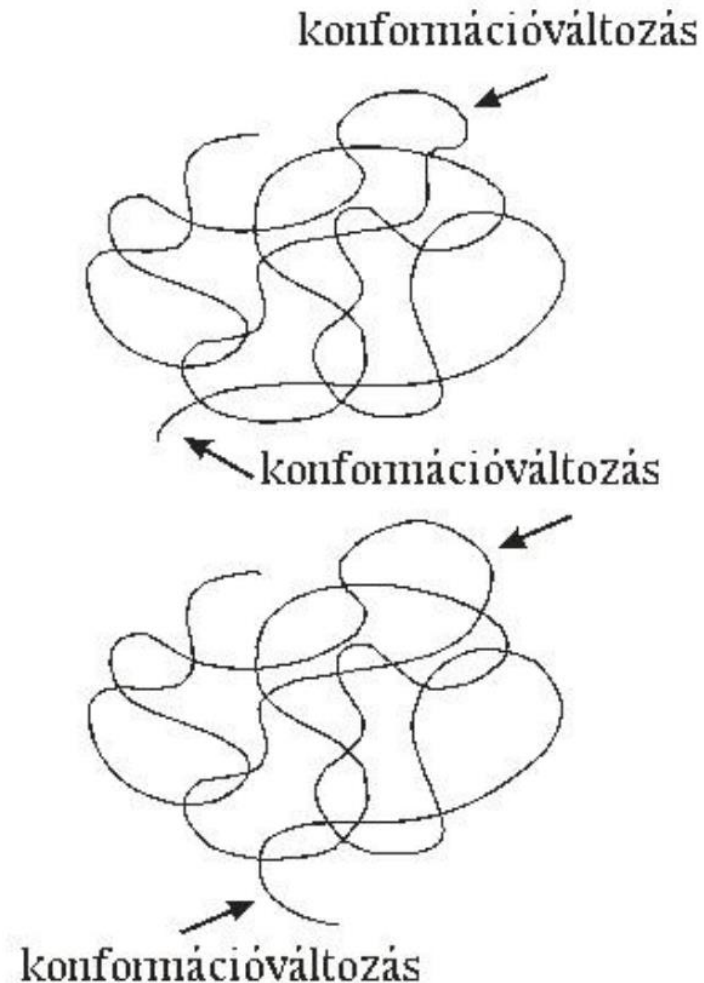


A leghosszabb makromolekula a DNS: $10^9 < N < 10^{10}$
N az ismétlődő egységek száma

Polimerek csoportosítása V.

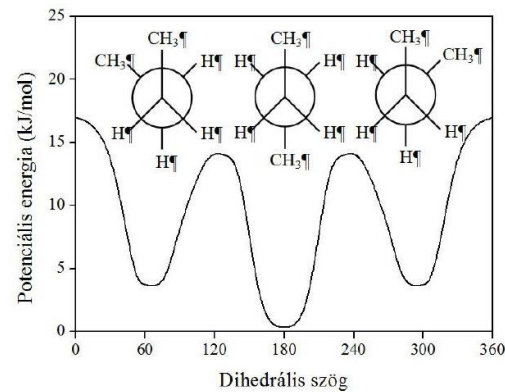
A polimer lánc valamilyen körülmények között felvett alakja

- polimerekben láncok nem kinyújtva, egymással párhuzamosan helyezkednek el
- a monomerek egymáshoz viszonyított helyzetét a vegyértékszögek, valamint a vegyértékszög körüli rotációt gátló energetikai és szférikus hatások határozzák meg
- külső erők távollétében a láncok gombolyodott formát vesznek fel
- láncalak adott körülmények között: *konformáció*
- lehetséges alakok összessége: *konformáció-eloszlásnak*

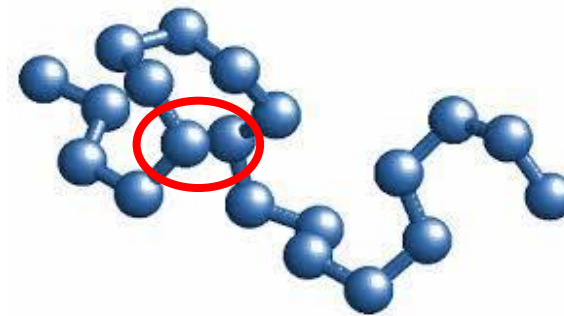


A térszerkezetet meghatározó kölcsönhatások

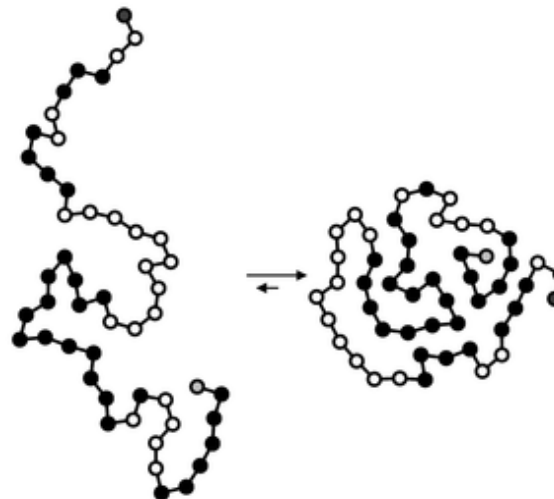
Rövidtávú kölcsönhatások



Hosszútávú kölcsönhatások



Hidrofób kölcsönhatás



Polimerek térszerkezete I.

Szabadon kapcsolt láncmodell

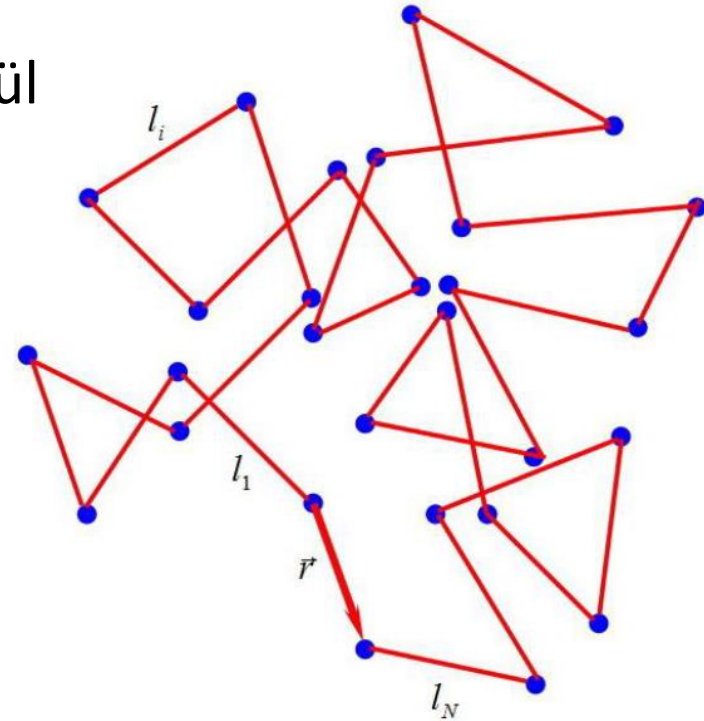
A molekula N darab / hosszúságú elemből áll
 Szabad elfordulás a kapcsolódási pontok körül
 Nincs intramolekuláris kölcsönhatás
 Minden konformáció egyenértékű

Átlagos láncvégtávolság

$$\vec{r} = \vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \dots + \vec{l}_i + \dots + \vec{l}_N$$

Négyzetes láncvégtávolság

$$\vec{r}^2 = \vec{r} \cdot \vec{r} = \vec{l}_1 \cdot \vec{l}_1 + \vec{l}_2 \cdot \vec{l}_2 + \dots + \vec{l}_i \cdot \vec{l}_i + \dots + \vec{l}_N \cdot \vec{l}_N + 2 \sum_{i < j}^N \vec{l}_i \cdot \vec{l}_j$$



$$r^2 = \underbrace{N l^2}_{\text{Minden konformációra ugyanaz}} + \underbrace{\sum_{i < j}^N l^2 \cos \alpha_{ij}}_{\text{Konformációnként változik}} \xrightarrow{\text{Összes konformációt összegezve}} \langle \vec{r}^2 \rangle = N l^2$$

Polimerek térszerkezete II.

Kötésszögek

A kötések által bezárt szögek rögzítettek

Csak a rögzített szögek körül mehet végbe a rotáció

Szabad rotáció abban a térben ahol nincs kölcsönhatás

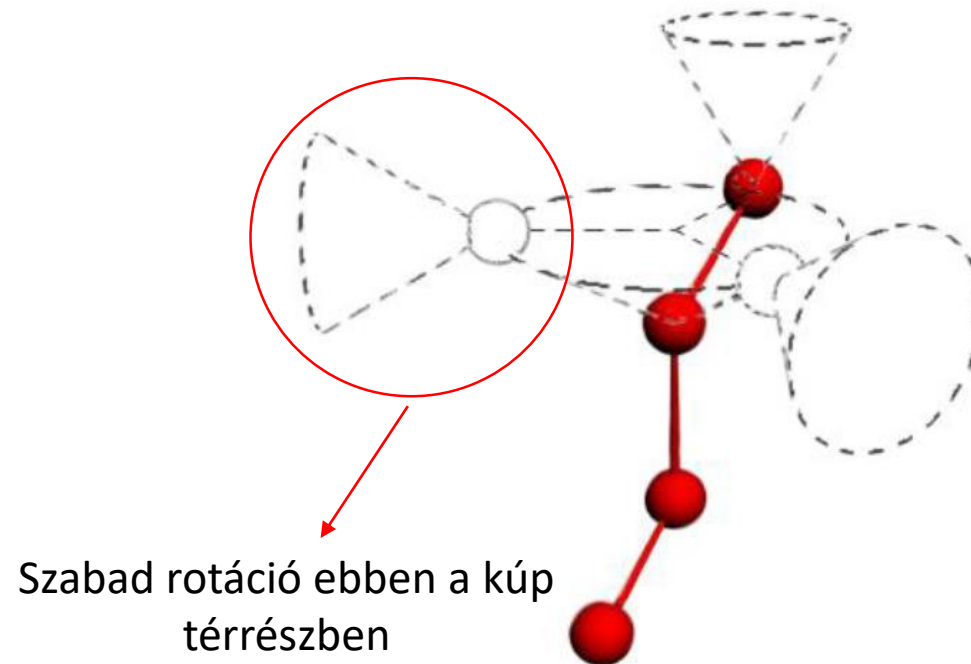
Minden konformáció azonos E-jú

Átlagos láncvégtávolság

$$\langle \bar{r}^2 \rangle = N l^2 \frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

C-C kötésnél $\cos \alpha \approx 1/3$ -ad
ezért a láncvégtávolság

$$\langle \bar{r}^2 \rangle = 2 N l^2$$



Polimerek térszerkezete III. Gátolt rotáció

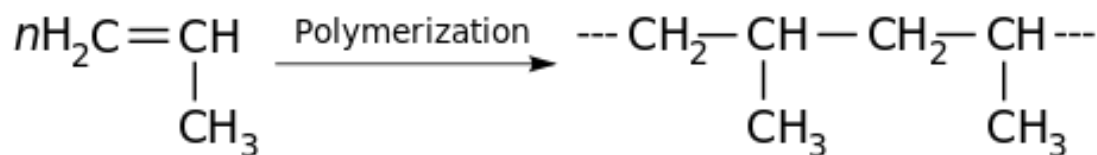
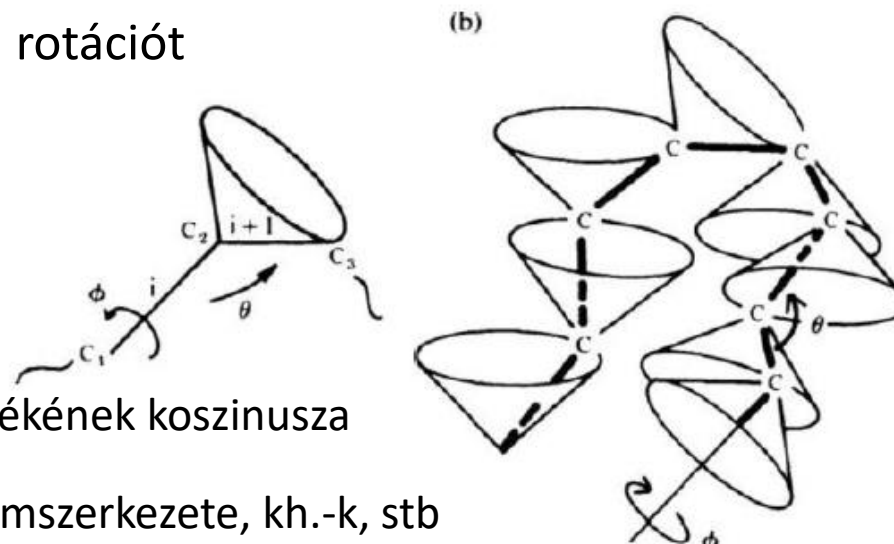
Szubsztituensek és sztérikus kh.-ok gátolják a rotációt

Különböző E-jú konformációk

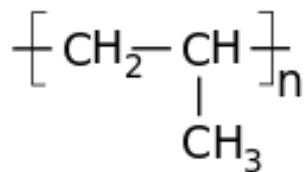
$$\langle \bar{r}^2 \rangle = N l^2 \frac{(1 + \cos \alpha)}{(1 - \cos \alpha)} \frac{(1 + \langle \overline{\cos \phi} \rangle)}{(1 - \langle \overline{\cos \phi} \rangle)}$$

Belső átfordulásra jellemző szög átlagos értékének koszinusza

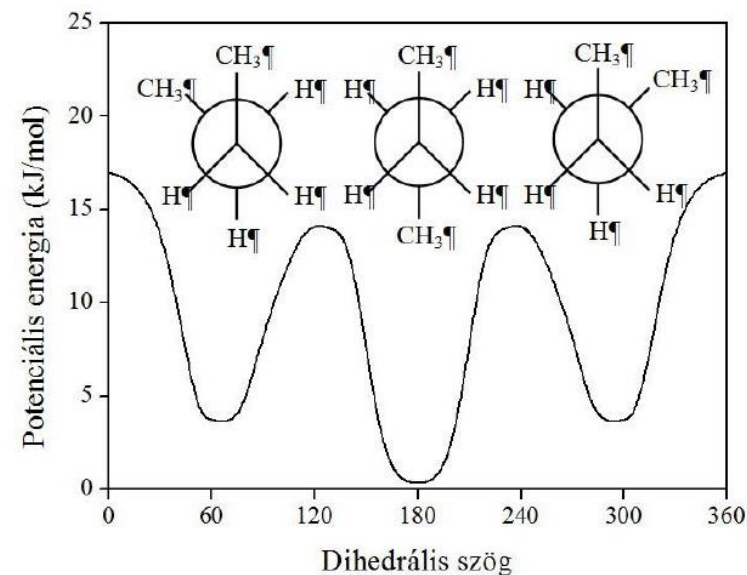
$\langle \bar{r}^2 \rangle = K_m N l^2$ K_m : Lánc merevsége, lánc finomszerkezete, kh.-k, stb



Propylene monomer

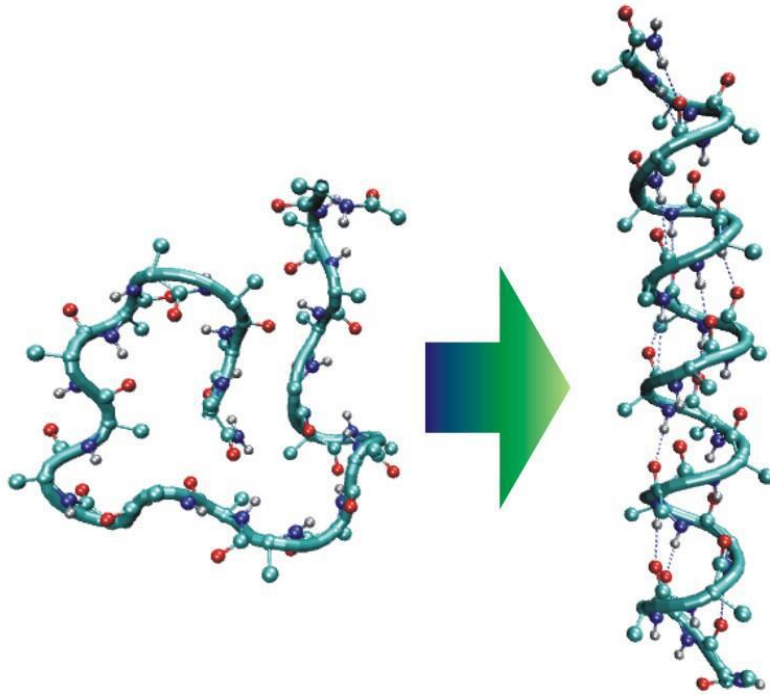


Polypropylene polymer



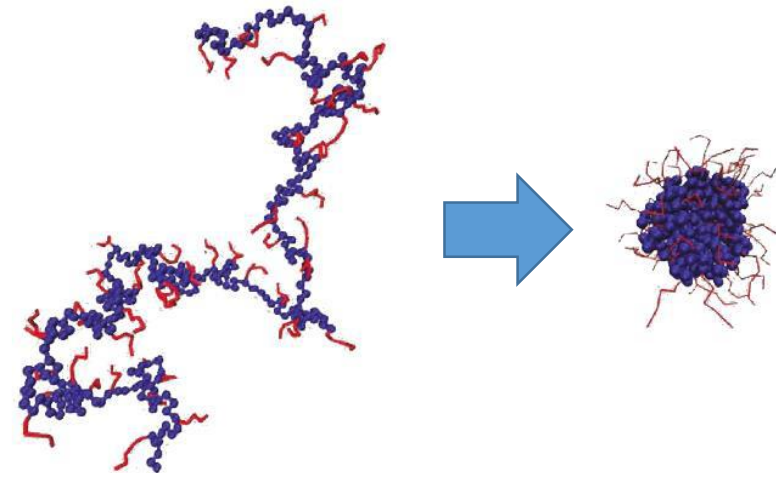
Molekuláris rendeződés

Gombolyag \rightarrow hélix



$$\Delta S_{conf} < 0$$

Gombolyag \rightarrow globula



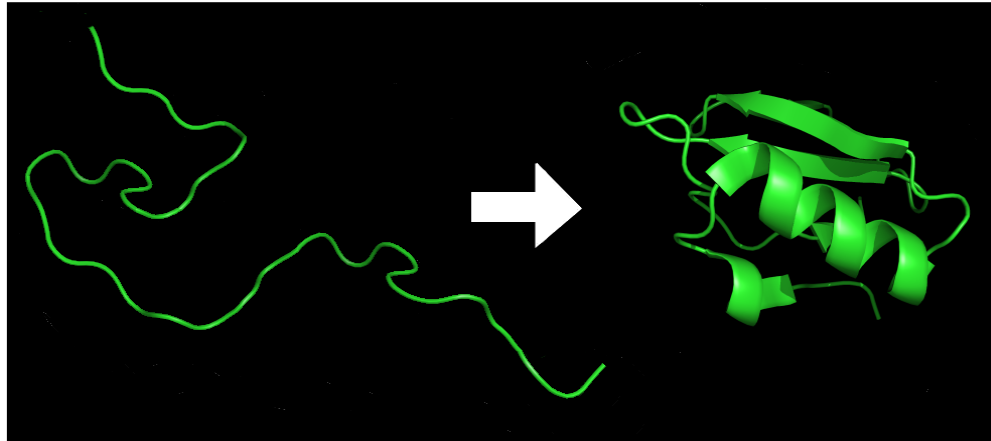
$$\Delta S_{conf} < 0$$

Akkor mi a hajtóerő?

Molekuláris rendeződés

Hajtóerő:

$$\Delta G < 0$$



Konformációs
entrópia
csökken!

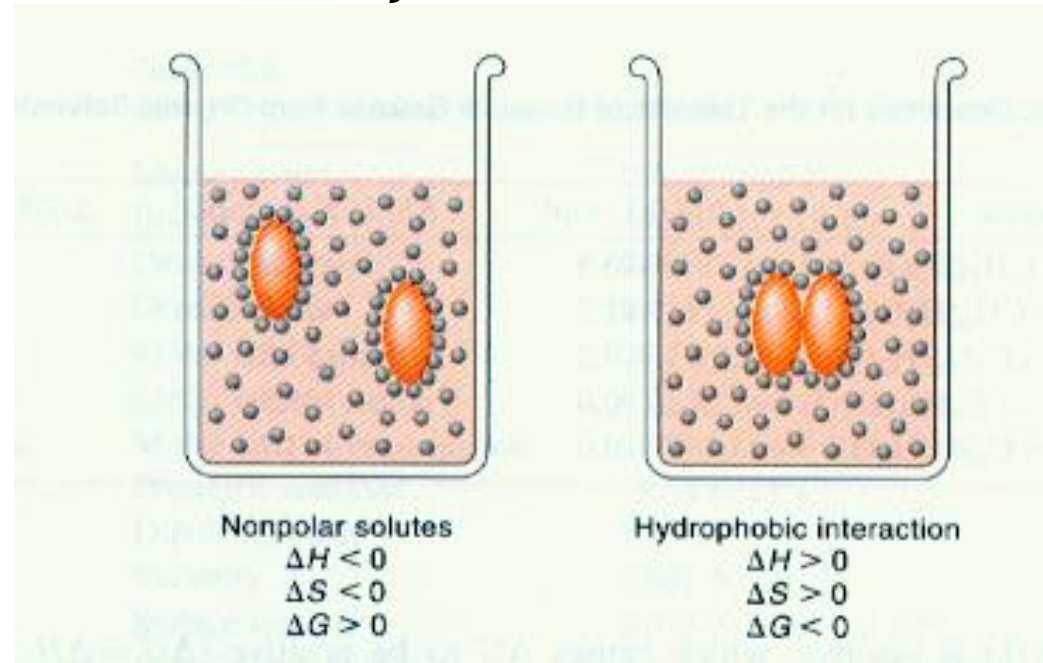
$$\Delta G_{conf} = \Delta H_{conf} - T\Delta S_{conf} \quad \Delta H_{conf} \leq 0 \quad \Delta S_{conf} \leq 0$$

$$\Delta G_{config} > 0$$

$$\Delta G_{tot} = \Delta G_{conf} + \Delta G_{water} \longrightarrow \text{Hidrofób kölcsönhatás}$$

Hidrofób kölcsönhatás

$$\Delta G_{conf} = \Delta H - T\Delta S$$



Hajtóerő: $\Delta S > 0$  $\Delta G < 0$

Polimerek oldhatósága

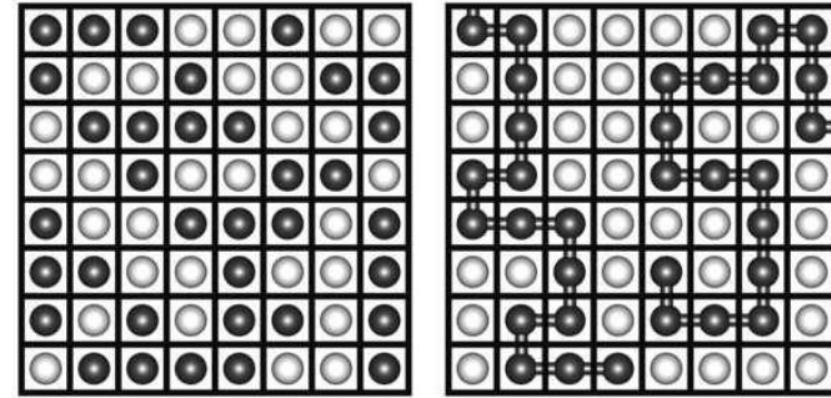
Elegyítési szabadentalpia negatív **hajtóerő**

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

$$\Delta G < 0$$

Oldószer térfogataránya polimer térfogataránya

$$\phi_1 = \frac{V_1}{V} = \frac{n_1}{n_1 + n_2 N} \quad \phi_2 = \frac{V_2}{V} = \frac{n_2 N}{n_1 + n_2 N}$$



Kismolekulás anyagokhoz képest ΔS kisebb

$$\Delta S_{mix,id} = -R(n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2)$$

Elegyítési entrópia növekedés nem mindig elegendő

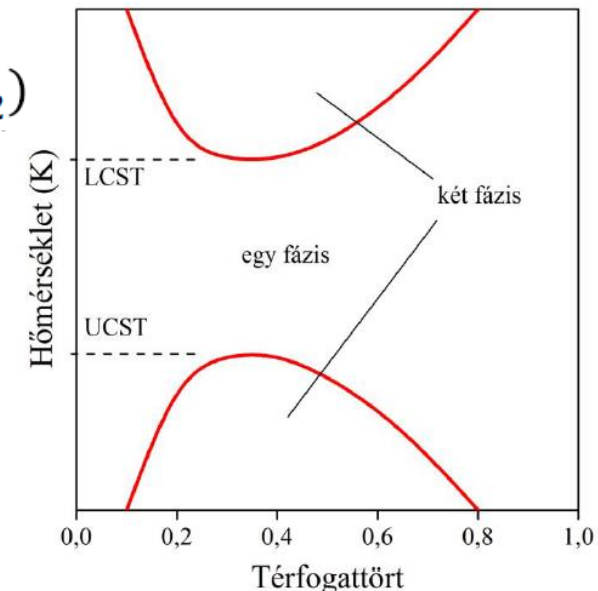
Egyéb kölcsönhatások (pl: hidrofób kh.) is kellenek

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T \Delta S_{mix,id} = RT(n_1 \chi_{12} \phi_2 + n_1 \ln \phi_1 + n_2 \ln \phi_2)$$

Polimer-oldószer kh. Paraméter

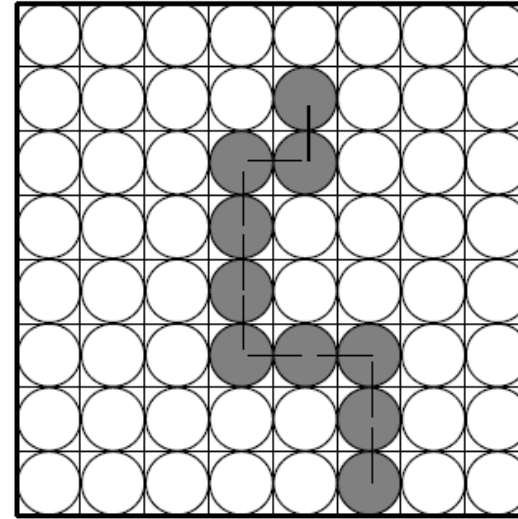
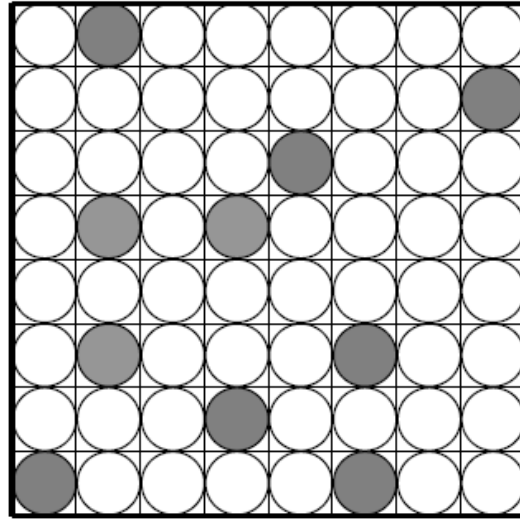
$$\chi_{12} = \frac{V_0}{R T} (\delta_1 - \delta_2)^2$$

Polimer oldatok
általános fázisdiagramja



Polimerek oldhatósága: példa

$$S = k_B \ln \Omega$$



$$\Omega = \frac{64!}{10! \cdot 54!}$$

$$\Omega = 5,49 \cdot 10^{17}$$

$$\Omega = 64 \cdot 63 \cdot 62 \cdot 61 \cdot 60 \cdot 59 \cdot 58 \cdot 57 \cdot 56 \cdot 55 = 5,49 \cdot 10^{17}$$

$$\Omega = 6144$$

$$\Omega = 64 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 6144$$

Polimerek molekulatömege

- Átlagos molekulatömeg + molekulatömeg eloszlás

Szám szerinti átlagos molekulatömeg:

$$\bar{M}_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i}$$

A molekulák számától függő tulajdonság mérésén (pl.: ozmózisnyomás)

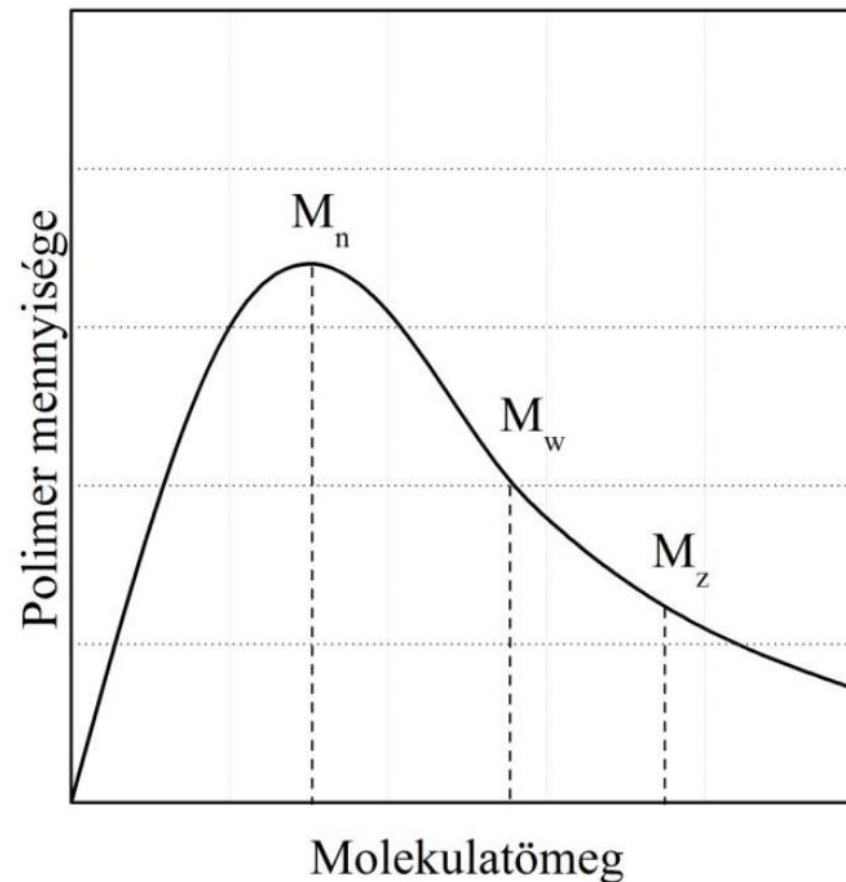
Tömeg szerinti átlagos molekulatömeg:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i}$$

A molekulák méretétől függő tulajdonság mérésén (pl.: fényszóródás)

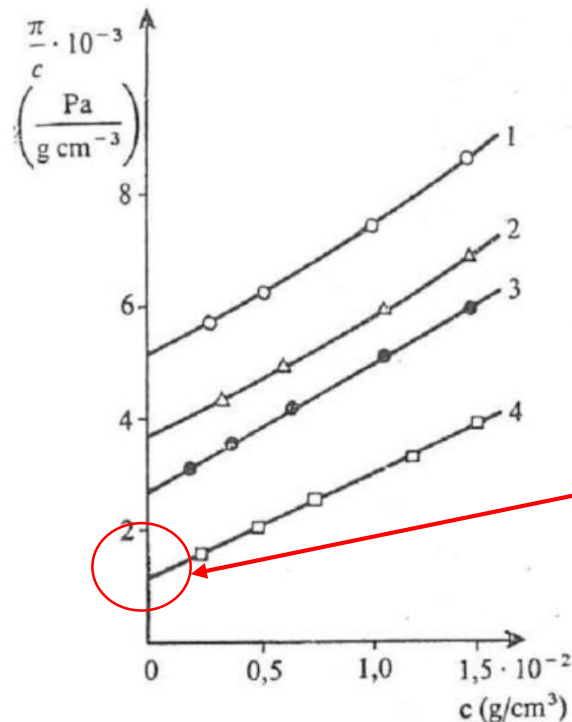
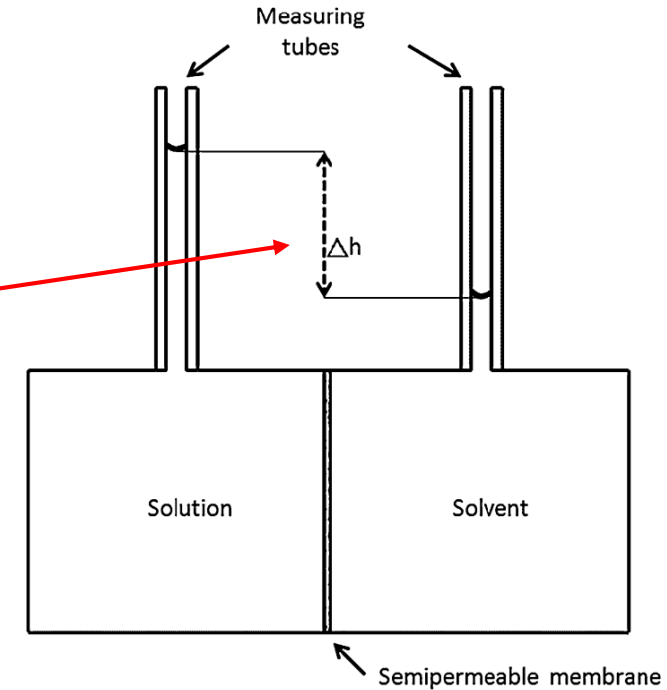
Diszperzitás: eloszlás szélessége

$$D = \frac{M_w}{M_n}$$



Molekulatömeg meghatározás ozmométerrel

- Féligáteresztő hártya a polimer oldat és az oldószer között
- Mérjük az ozmózisnyomást (π) és számoljuk a koncentrációra normált redukált ozmózis nyomást (π/c)



$$\frac{\pi}{c} = \frac{RT}{M_n} + B^*c$$

0-ra extrapolált érték (tengelymetszet)

M_n : Számszerinti átlag szerinti molekulatömeg

Molekulatömeg meghatározás viszkozitás méréssel

Oldószer-polimer közötti kölcsönhatás miatt viszkozitás nő, amely függ a koncentrációtól

Relatív viszkozitás

$$\eta_r = \frac{t}{t_0} = \frac{\eta}{\eta_0} \longrightarrow \begin{array}{l} \text{Oldat viszkozitás} \\ \text{Oldószer viszkozitás} \end{array}$$

Specifikus viszkozitás

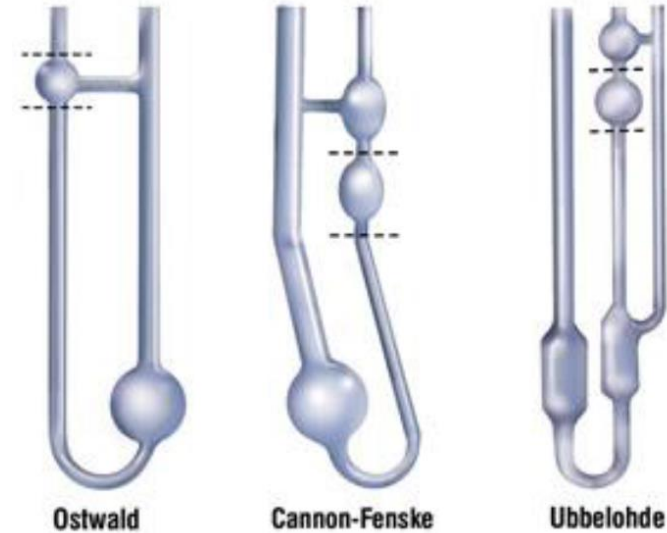
$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{t - t_0}{t_0}$$

Határviszkozitás

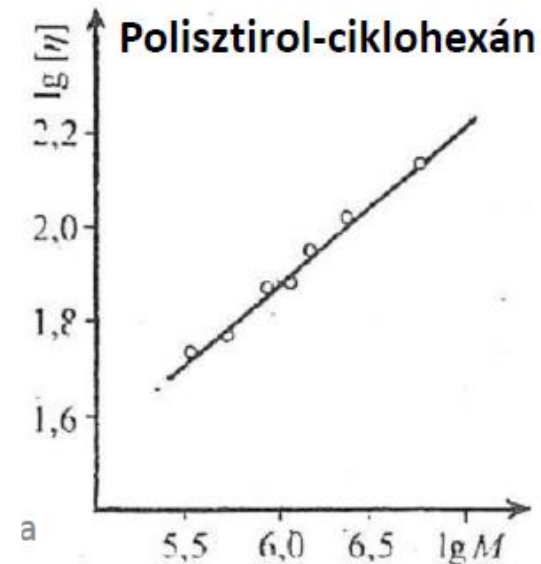
$$\frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] + k' [\eta]^2 c$$

Mark-Houwink egyenlet

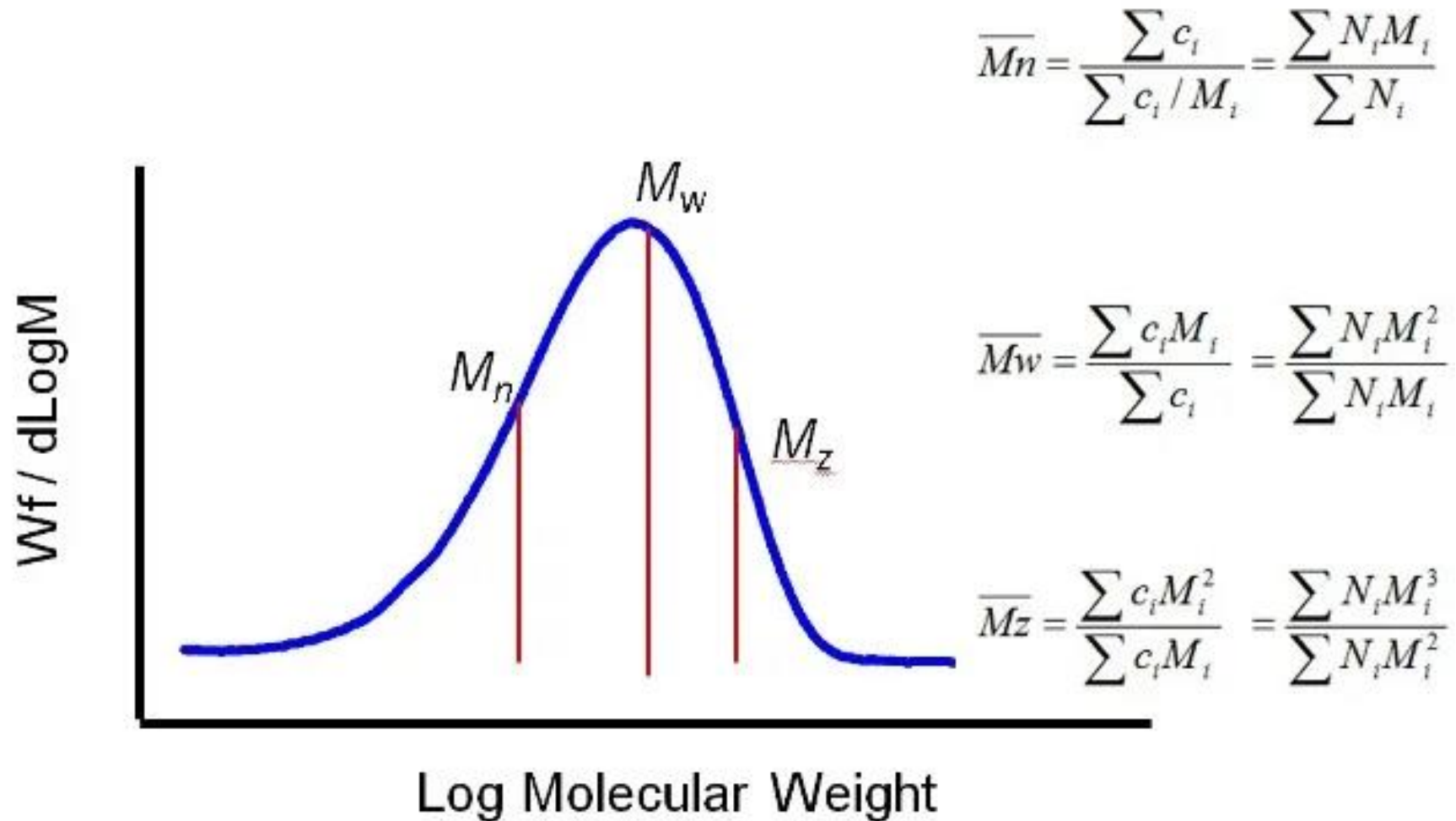
$$[\eta] = k M_v^\alpha$$



Átfolyási idő mérésére alkalmas
viszkoziméterek

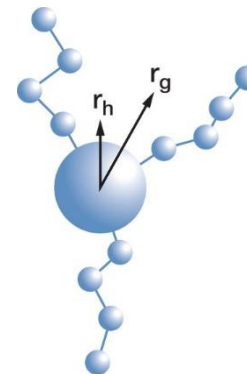
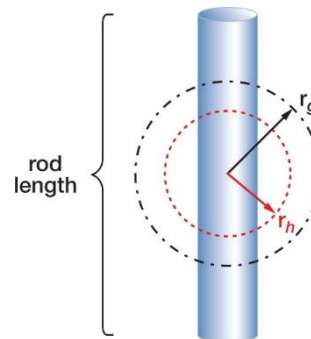
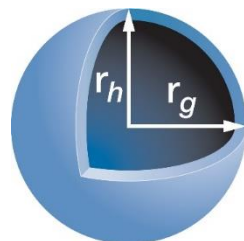
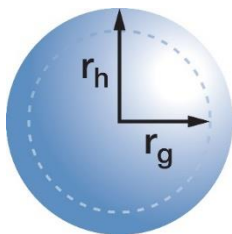
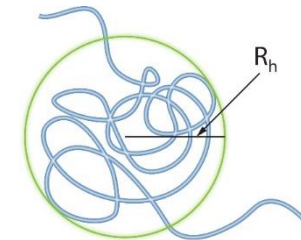
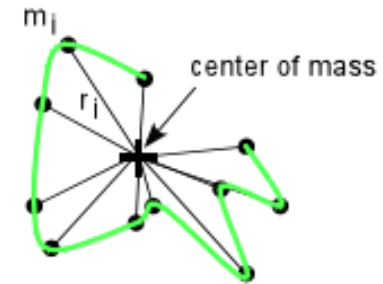


És mi van az eloszlással?

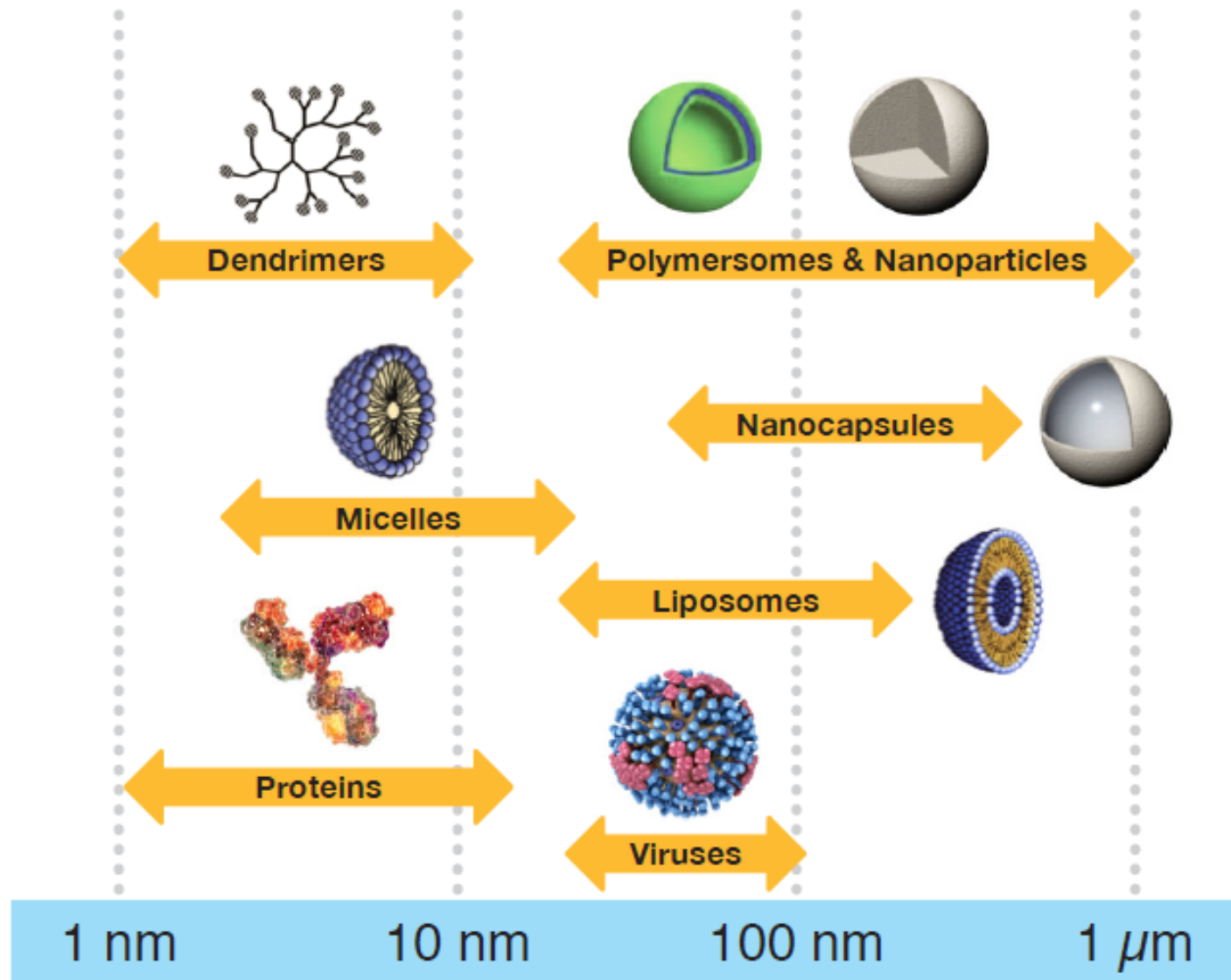


Részecske méret leírása

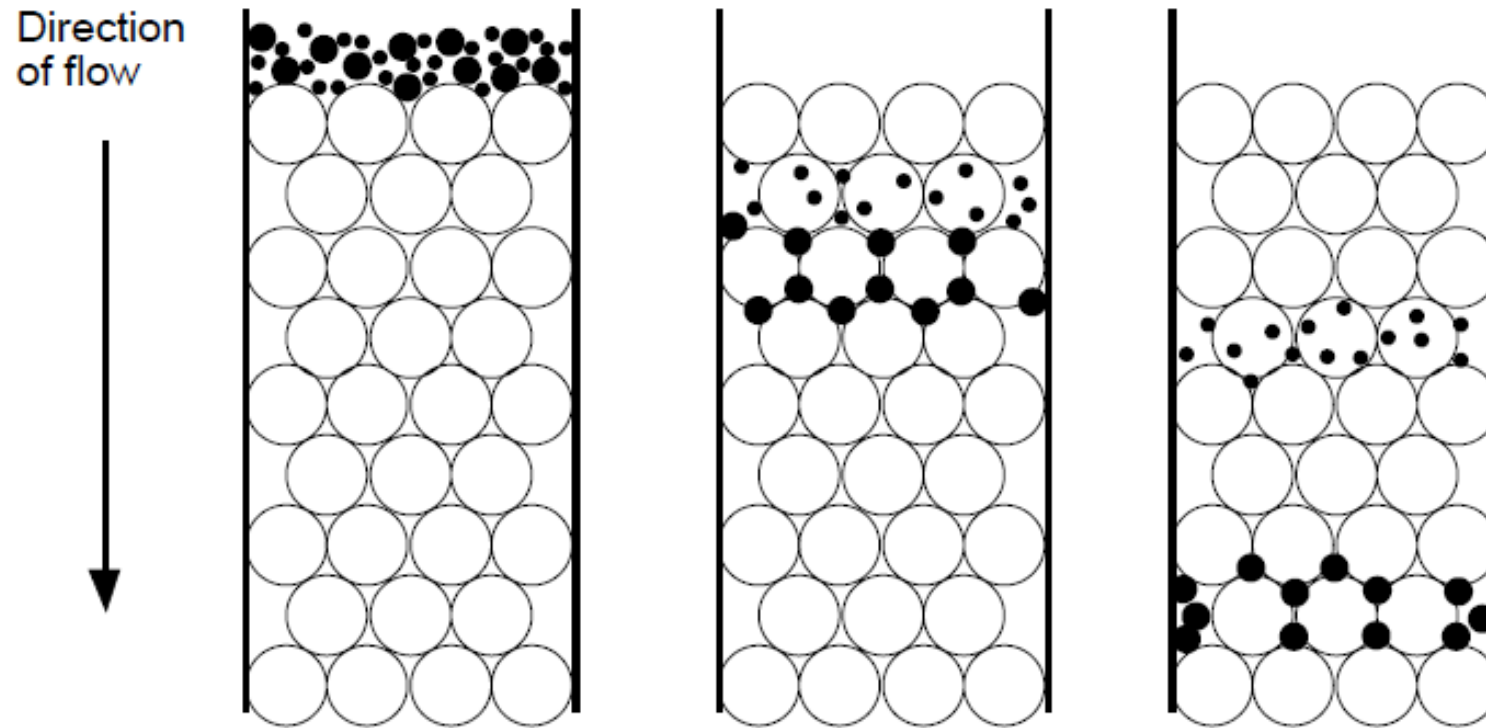
- r_g tehetetlenségi sugár (radius of gyration) – tömegközépponttól mért átlagos távolság.
- r_h hidrodinamikai rádiusz (hydrodynamic radius) – olyan gömb sugara amellyel a polimer molekula diffúziós tulajdonságai megegyeznek.



Size Exclusion Chromatography (SEC) – *Organic Mobile Phase* Gel Permeation Chromatography (GPC) – *Water Mobile Phase*



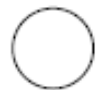
Méretkizárásos Kromatográfia - elve



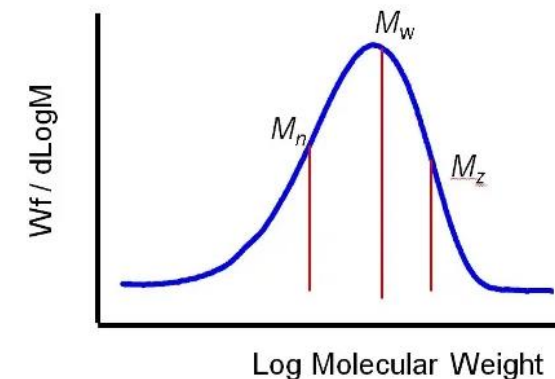
Molecules larger than the largest pores of the swollen gel particles



Molecules small enough to penetrate gel particles



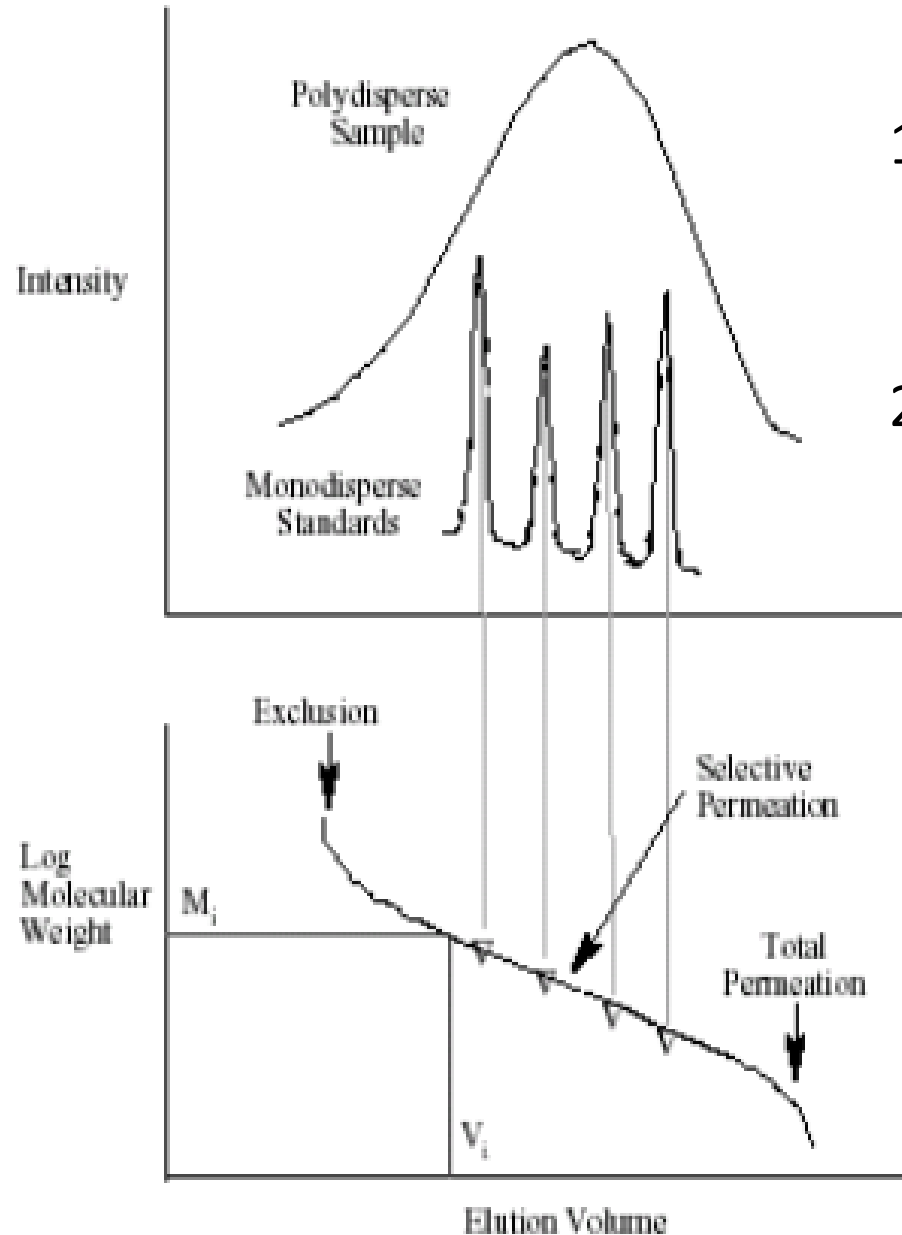
Gel particles



Detektálás: UV-VIS vagy refrakív index detektor.

Univerzális kalibráció módszere

www.waters.com

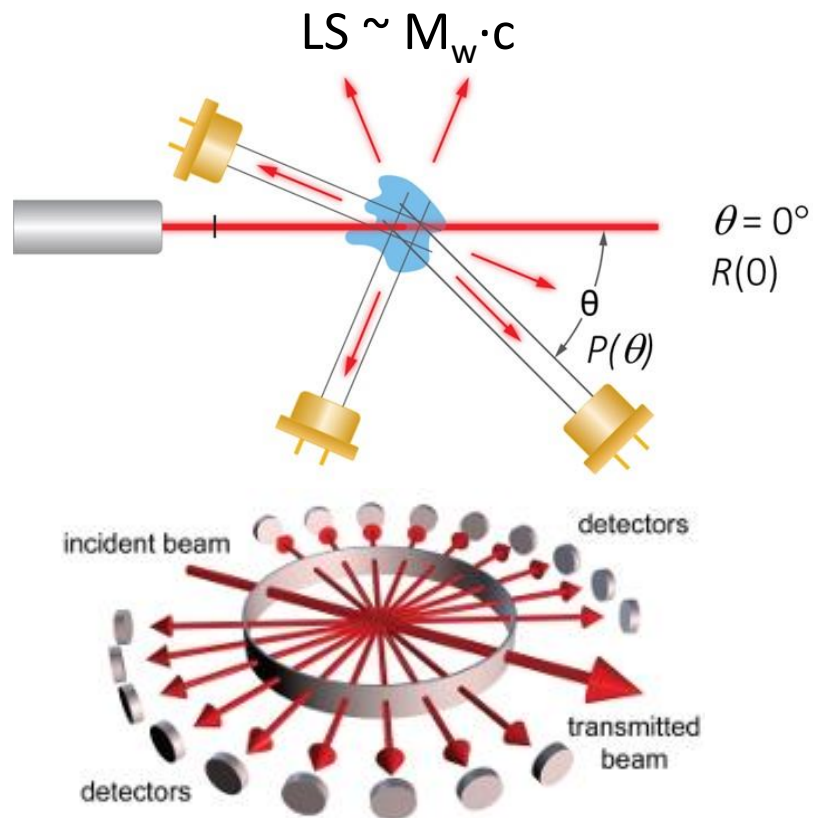


1. Ismert molekulatömegű szűk méreteloszlású standardok mérése → kalibrációs görbe
2. Ismeretlen eloszlású polimer eloszlásának becslése a kalibráció alapján

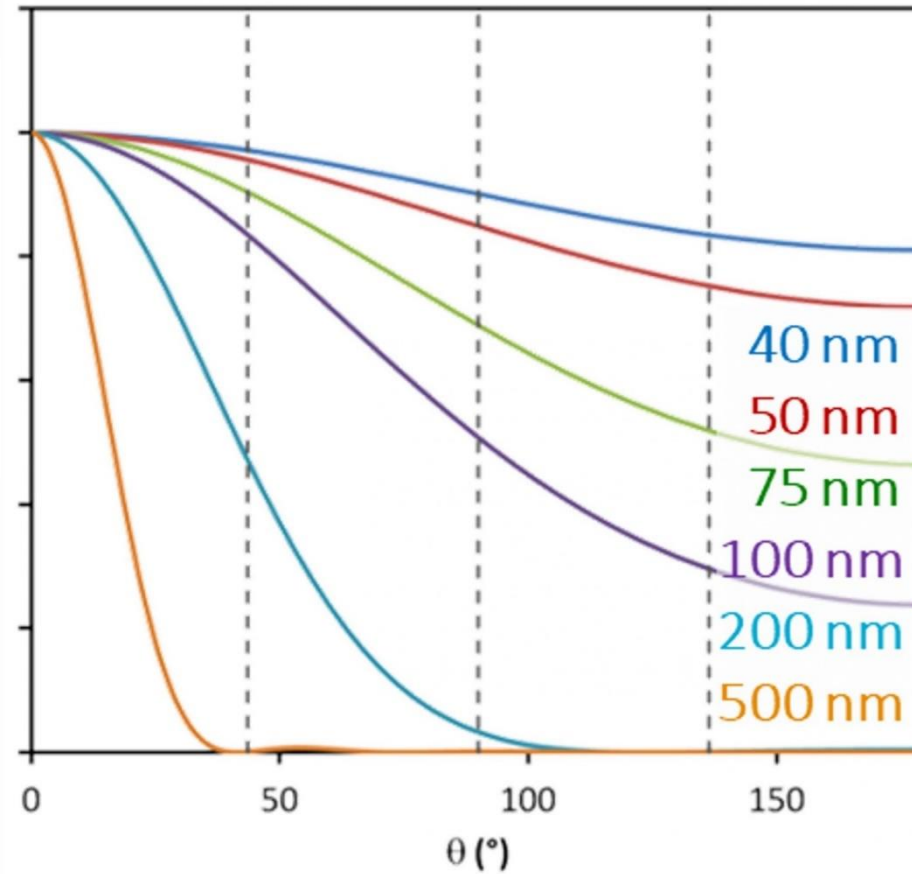
Hátrányok:

- Közelítések: pl kalibráló és mért polimer közel azonos tulajdonságokkal rendelkeznek
- Érzékeny a rendszer paraméterekre (oldószer)

Multi Angle Laser Light Scattering Detector

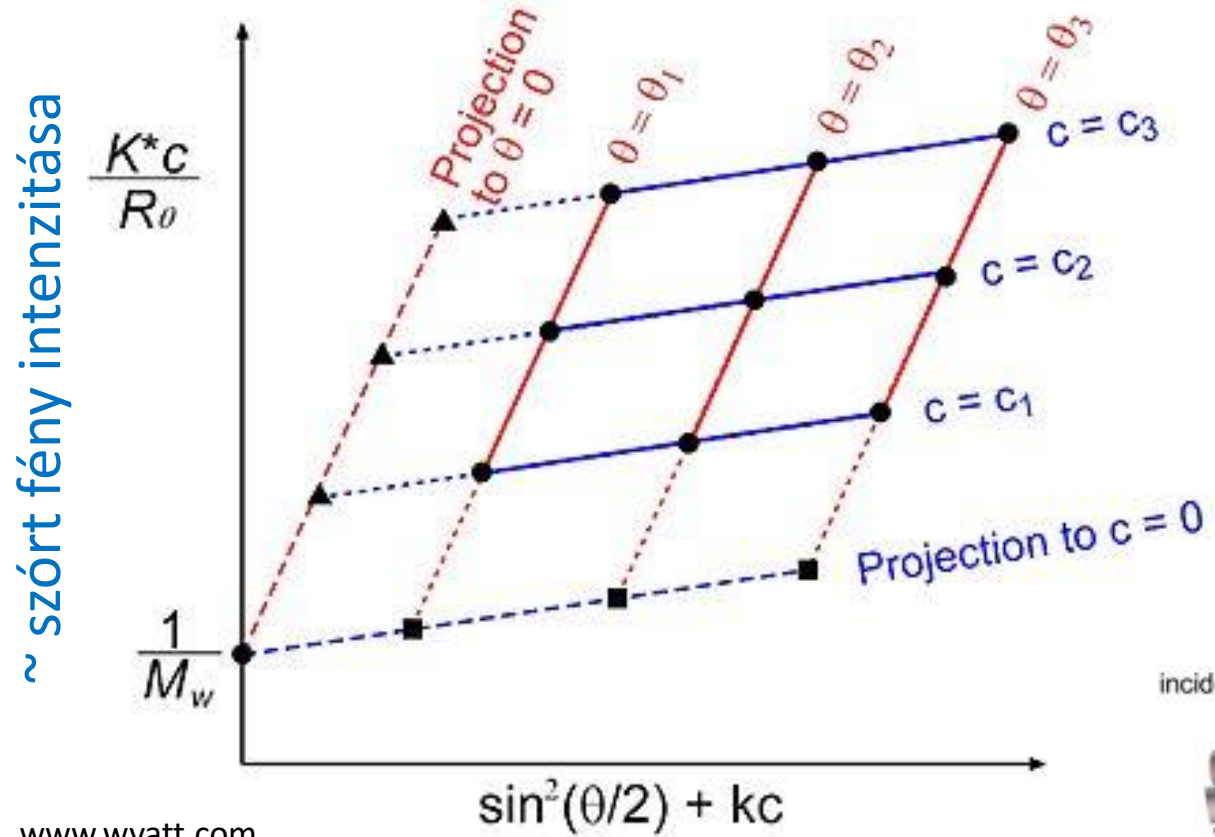


www.wyatt.com



A szórt fény intenzitásának szögeloszlása függ a fényszóró részecske méretétől és alakjától.

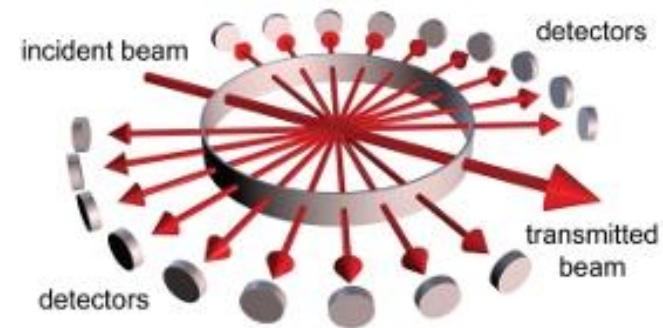
Zimm plot



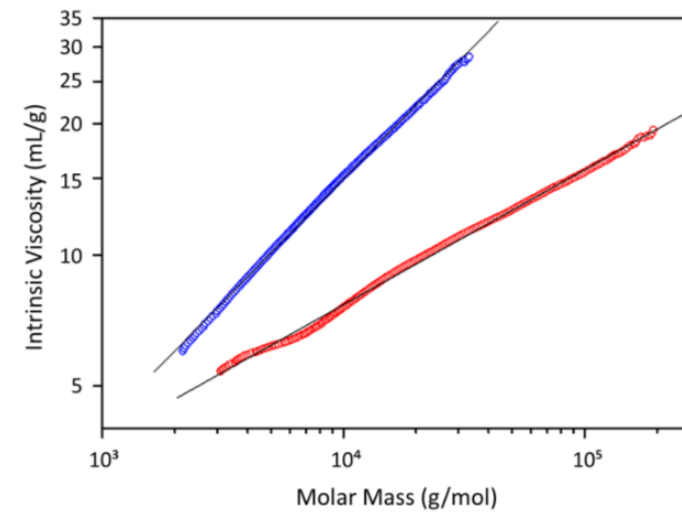
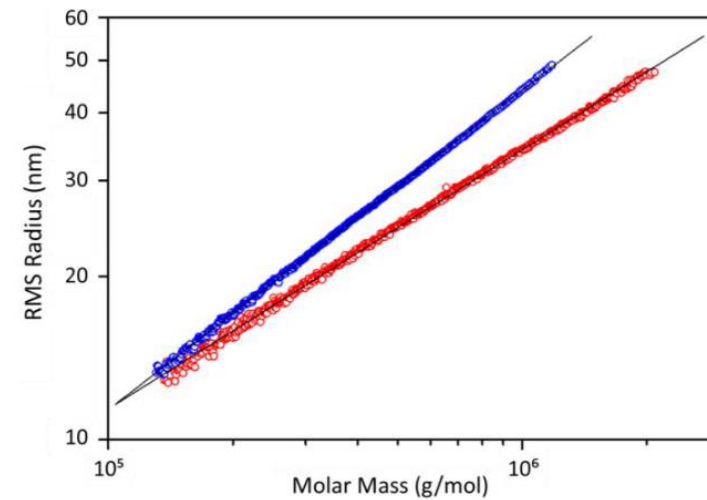
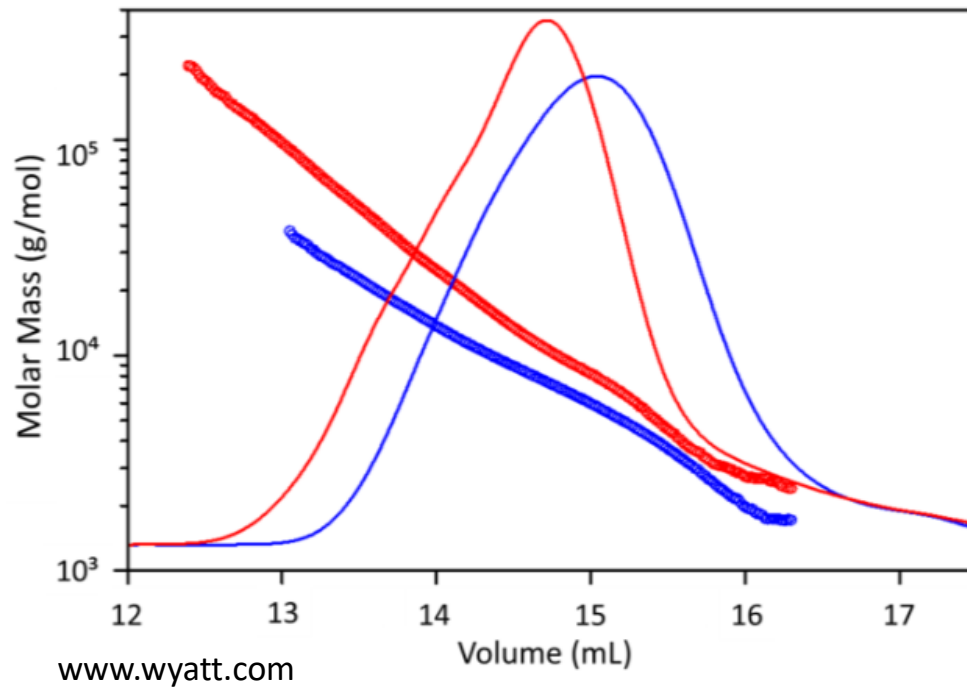
Intercept $\rightarrow M_w$

Slope $\rightarrow r_g$

\sim detektor pozicio



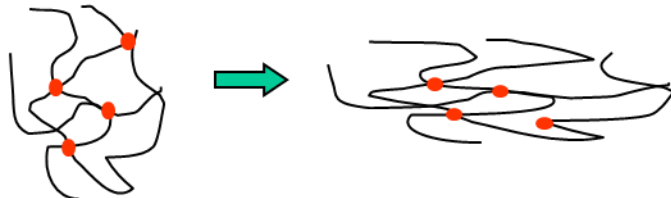
Elágazó vs Lineáris polimerek



$$[\eta] = k M_v^\alpha$$

MAKROMOLEKULÁK RUGALMASSÁGA

Entrópia rugalmasság



$$\Delta S_{konfig} < 0$$

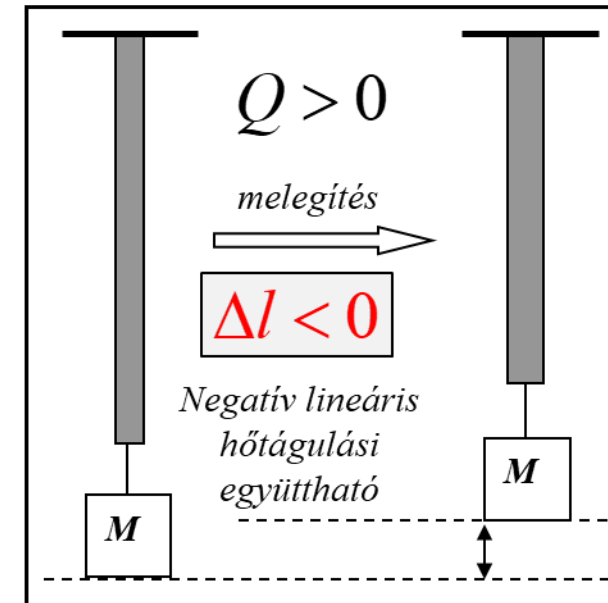
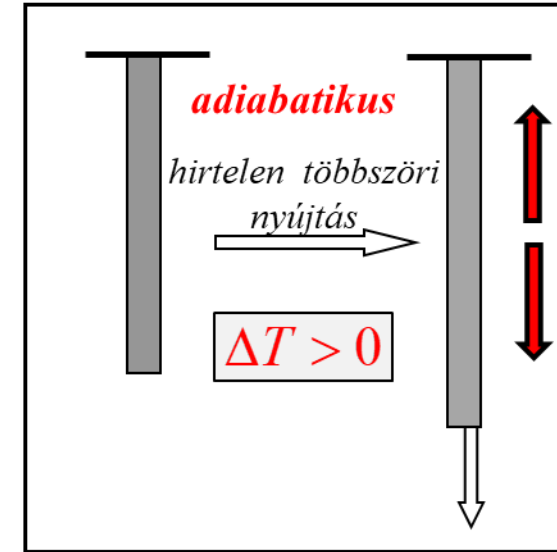
$$\Delta S = \Delta S_{konfig} + \Delta S_{term} = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta S_{term} > 0$$

$$\Delta S_{term} \quad \Rightarrow \quad \Delta S_{konfig}$$

nyújtott \Rightarrow gombolyodott

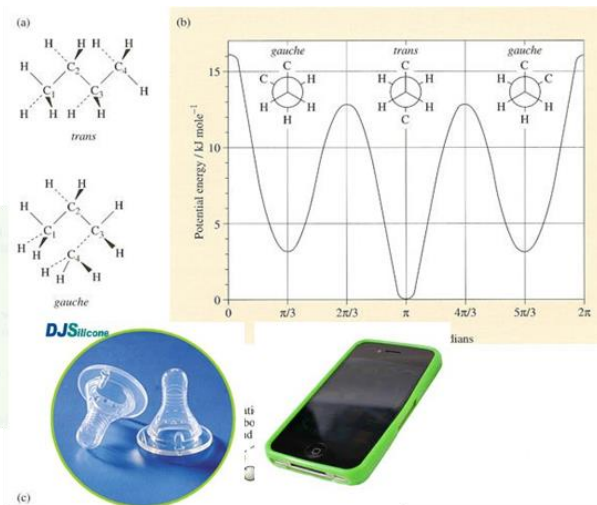
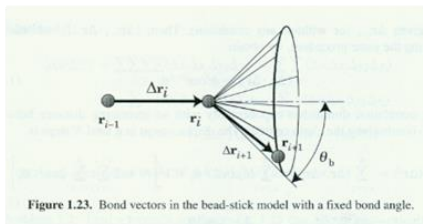
$$\Delta S_{konfig} > 0$$

összehúzódás

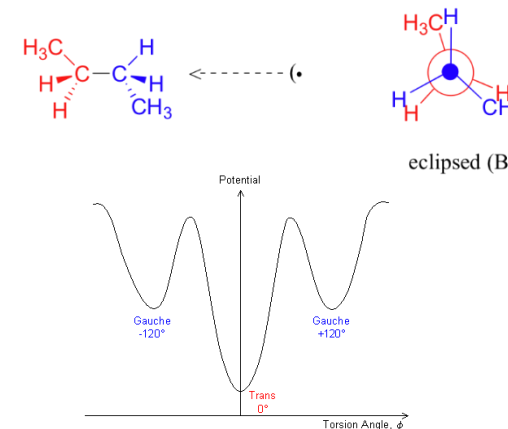


Hajlékony láncú polimerek

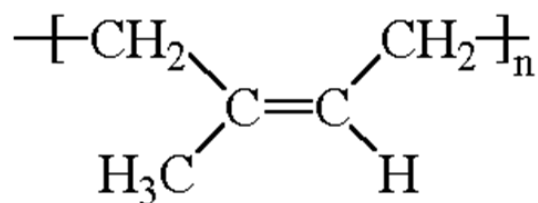
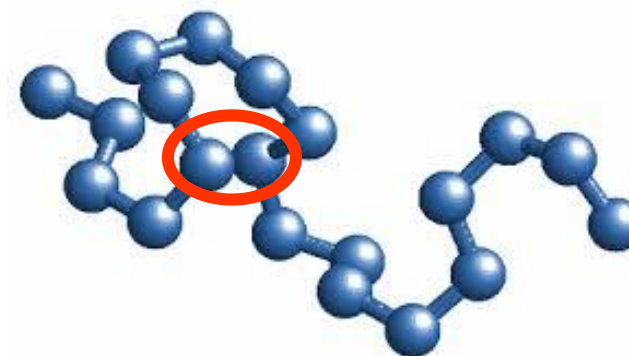
Mitől függ a rugalmasság?



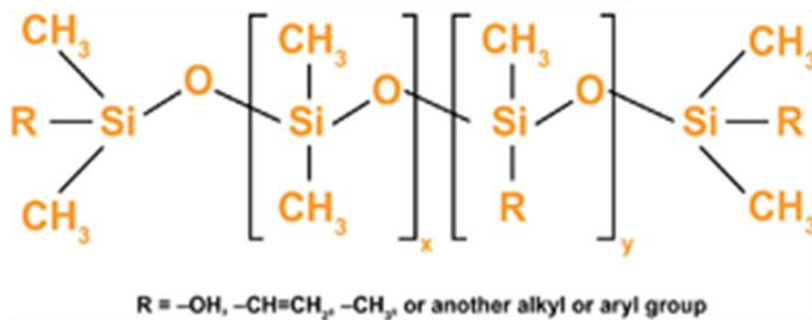
Rövidtávú kölcsönhatások



Hosszútávú kölcsönhatások

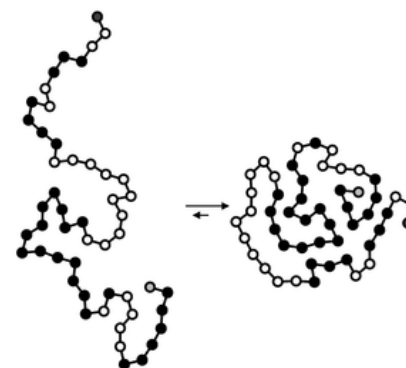


kaucsuk,
polyisoprene



szilikon gumi,
polidimetilsziloxán

A rotáló egységek közötti távolság növelése kedvez a hajlékonyságnak!



Hidrofób kölcsönhatások

Polimerek és állapotaik

Dr. Hargitay Hajnalka
polimertechnika előadása alapján

- Hőmérséklettől függő tulajdonságok:
 - **Halmazállapot:** gáz, folyadék, szilárd
 - **Fázisállapot (rendezettség):** amorf, üveges
 - **Fizikai állapot:** Azonos fázisállapotú, de fizikai szerkezetében és a molekulaláncok hőmozgásának típusában eltérő polimer állapotok.

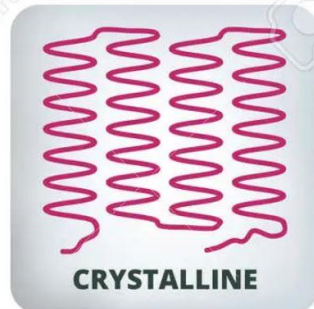
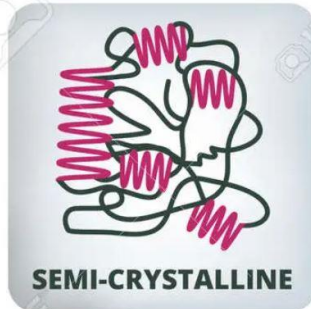
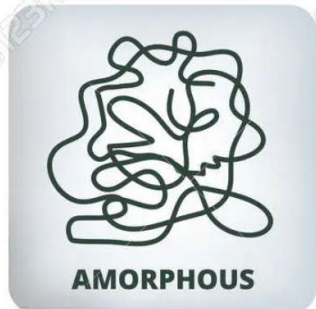
Fázisállapotok:

Amorf állapot:

- Ömledék: szabad rotáció, a makromolekulák folytonos mozgása lehetséges
- Üveg: nincs rotáció, a kötések körüli rotációhoz szükséges energia (alacsony hőmérsékleten) nem áll rendelkezésre.

Semi Kristályos állapot

Kristályos állapot



Kristályosság:

A polimerkristály elemi cellájának rácspontjaiban nem egyes atomok, hanem a polimerlánc nagyobb egységei találhatók. A polimerek kristályossága (soha) nem teljes, a hosszútávú rendezettség nem terjed ki az anyag egészére; a „kristályos” polimerek kétfázisú rendszerek (amorf + kristályos fázis) Egy makromolekula több kristályos és amorf tartomány része lehet.

Növekvő kristályossági fok:

- növekvő szakítószilárdság és merevség (modulus),
- kisebb duzzadás oldószerekben,
- jobb gáz- és gőzzáró képesség,
- csökkenő ütésállóság, szakadási nyúlás és átlátszóság,
- növekvő hajlam a vetemedésre.

Polimerek fizikai állapotai

Dr. Hargitay Hajnalka
polimertechnika előadása alapján

Fizikai állapotok

Üveges állapot: A makromolekula és egyes részei csak rezgő mozgásra képesek. Nagy merevség, szilárdság, külső erő hatására energiarugalmas def.

Nagyrugalmas állapot: Mikro-Brown mozgás, molekulák tömegközéppontja rögzített, nagymértékű reverzibilis deformáció

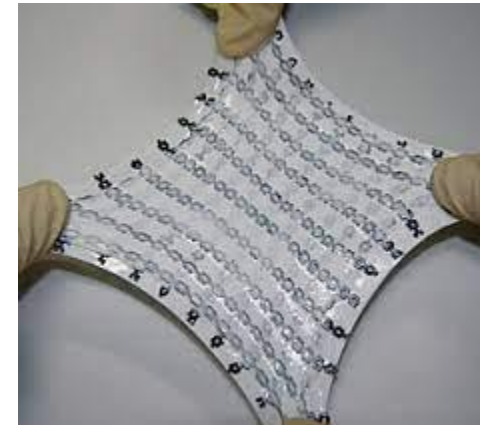
Ömledékállapot: A molekulák egymáshoz képest elmozdulnak, Mikro-Brown mozgás, rugalmas deformáció.

Polimerek szegmensmozgása:
Az **atomok és oldalgyökök emelkedő hőmérséklettel** egyre erőteljesebb hőmozgás hatására a főlánc egyes részei, a *szegmensek* lánc tagok módjára csuklósan átbillenő, a vegyértékkúpok mentén **rotációs hőmozgásba** kezdenek az **üvegedési hőmérséklet felett**. Egyes láncszakaszok kiegyenesednek, mások összegombolyodnak, és a molekulalánc komformációja véletlenszerűen, de folyamatosan változik.

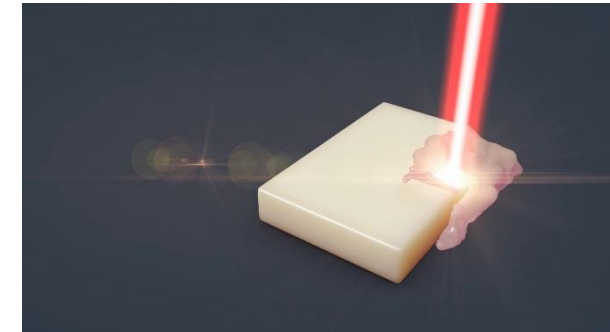
Üveges



Nagyrugalmas



Ömledék



Polimerek mechanikai tulajdonságai

Üveges állapot: a Makromolekula merev, energiarugalmas deformáció

Hőmérséklet emelése: Nagyrugalmas állapot

Nagyrugalmas állapotban nagymértékű rugalmas deformáció

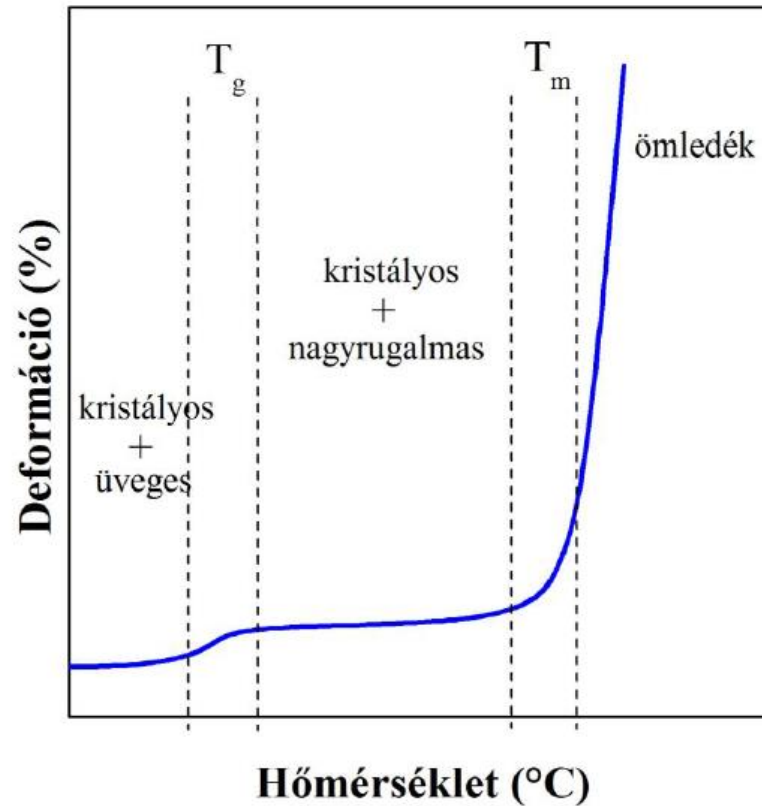
T további növelésével ömledék állapot

T_g : Üvegesedési hőmérséklet

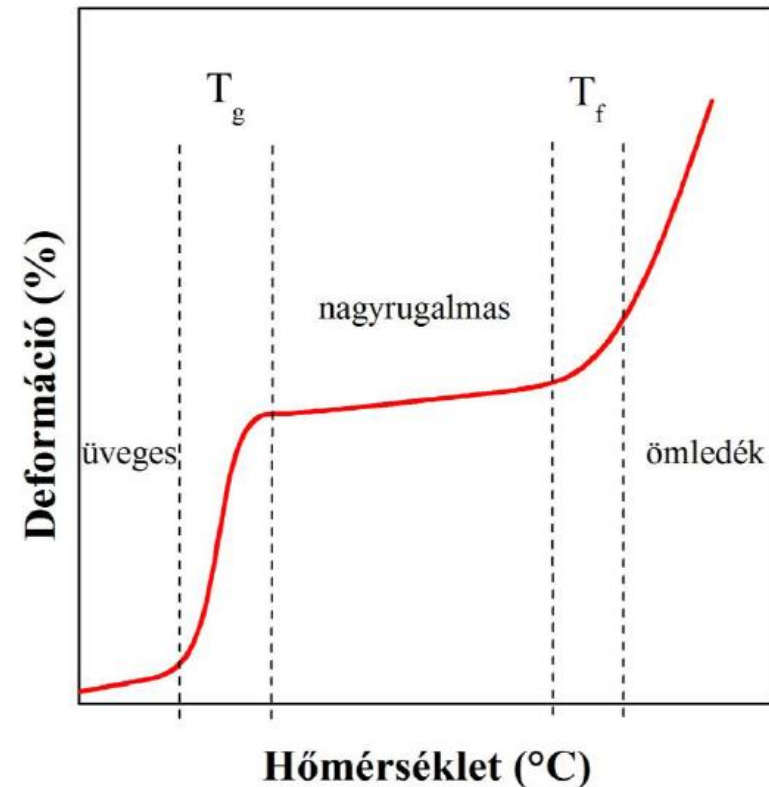
T_m : Kristályolvadási hőmérséklet

T_f : Folyási hőmérséklet

Kristályos polimer



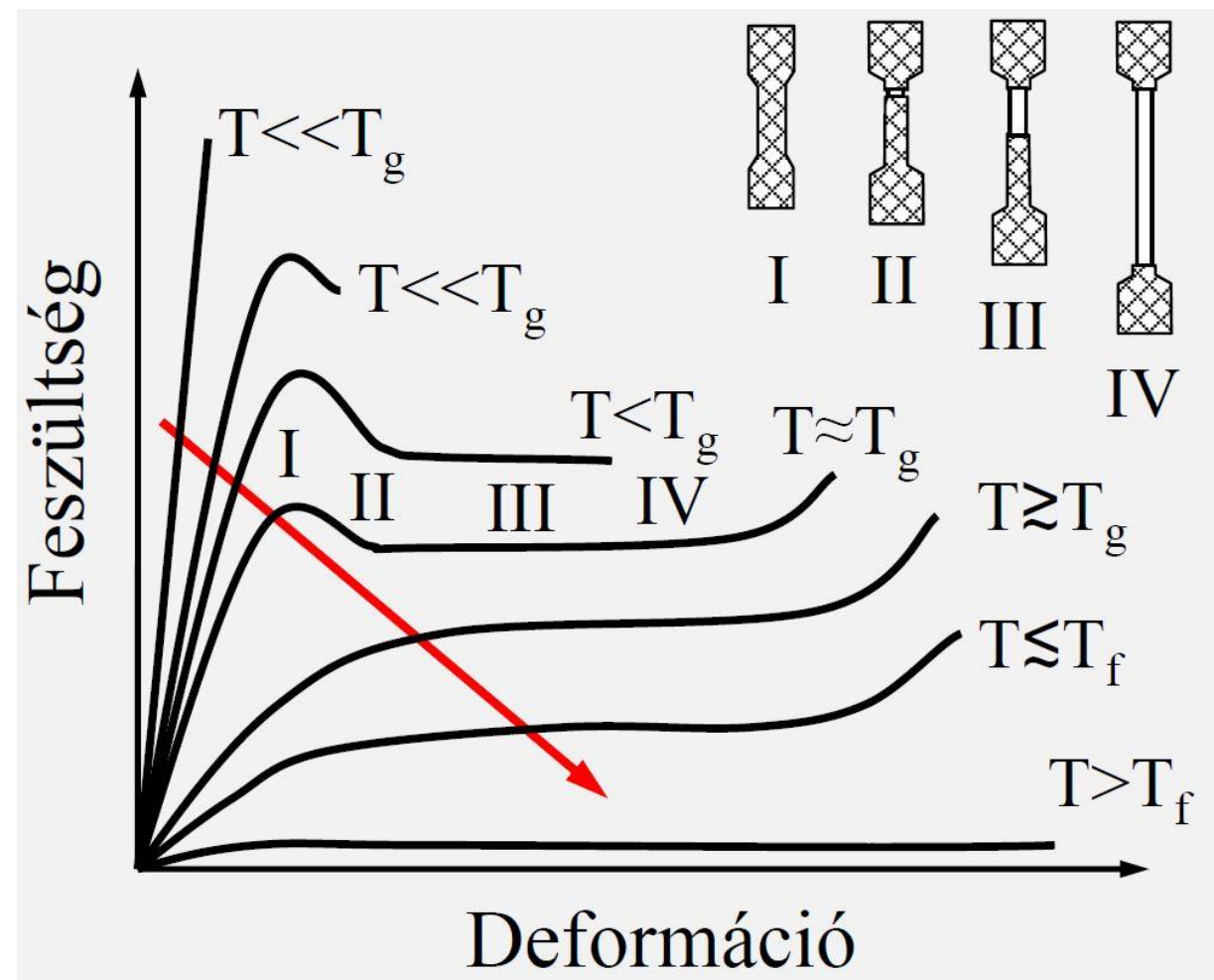
Amorf polimer



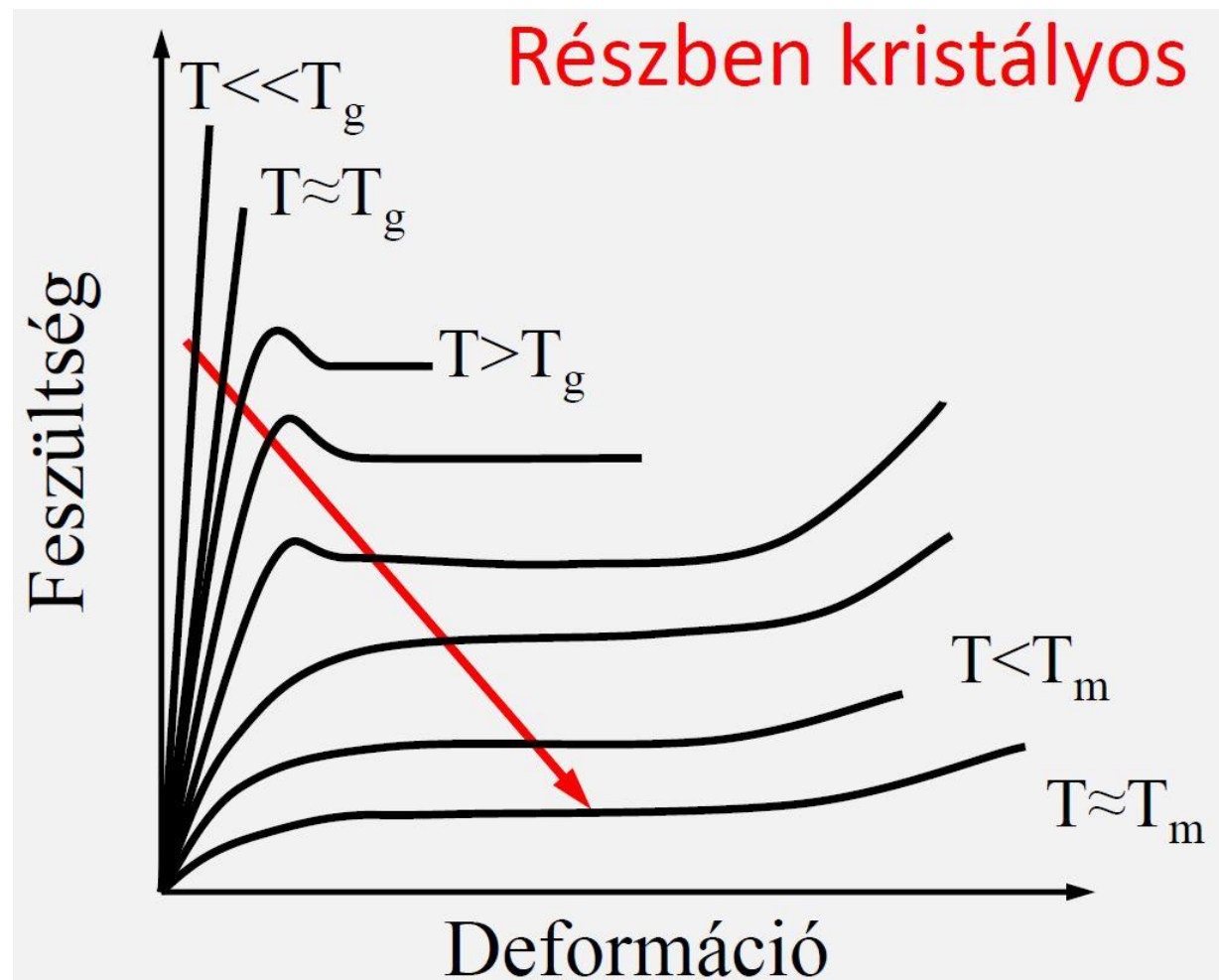
Polimerek mechanikai tulajdonságai

Dr. Hargitay Hajnalka
polimertechnika előadása alapján

Amorf polimer



Kristályos polimer



KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

molnar.kristof1@semmelweis.hu

Extra

Polimerek előállítása

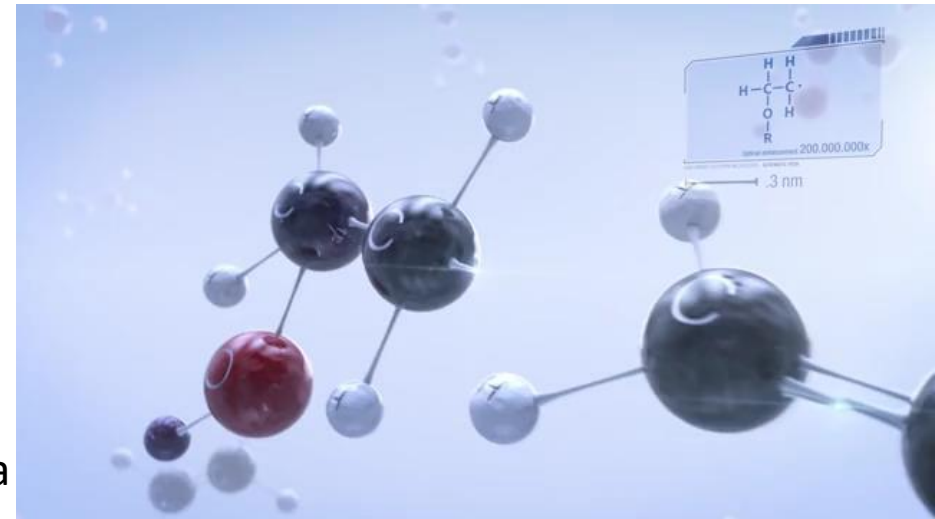
A reakció típusa és jellege	Addíció	Szubsztitúció
Láncreakció	Polimerizáció	
Lépcsős reakció	Poliaddíció	Polikondenzáció

Láncreakció: A monomer molekulák gyors láncreakcióban egymáshoz kapcsolódnak. A polimer molekulatömege a reakció folyamán állandó.

A növekvő láncok száma nagyon alacsony

Lépcsős reakció: A makromolekula mérete folyamatosan növekszik.

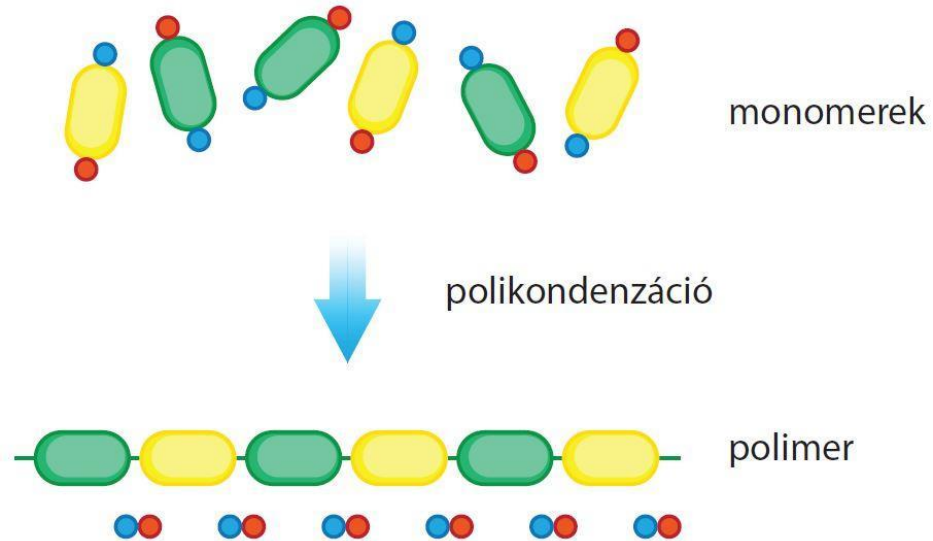
A monomerek hamar elfogynak és nagy molekula csak a reakció végén keletkezik.



Polimerek képződése-Lépcsős polimerizáció

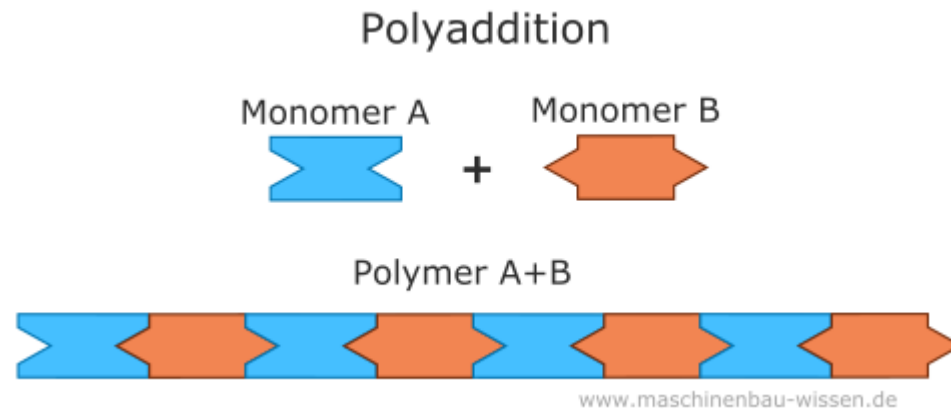
• Polikondenzáció

- Kismolekulájú melléktermék keletkezése
- Nincs láncreakció: Izolálható molekulák
- Lassú (lépések egyesével)
- Általános képlet:
 $x-R-y + x-R'-y \rightarrow x-R-R'-y + xy$
 $x-R-R'-y + x-R-y \rightarrow x-R-R'-R-y + xy$
- Folyamatos energiabevitel
- Két kondenzációra képes csoport
- Pl: Fenoplasztok, poliészterek



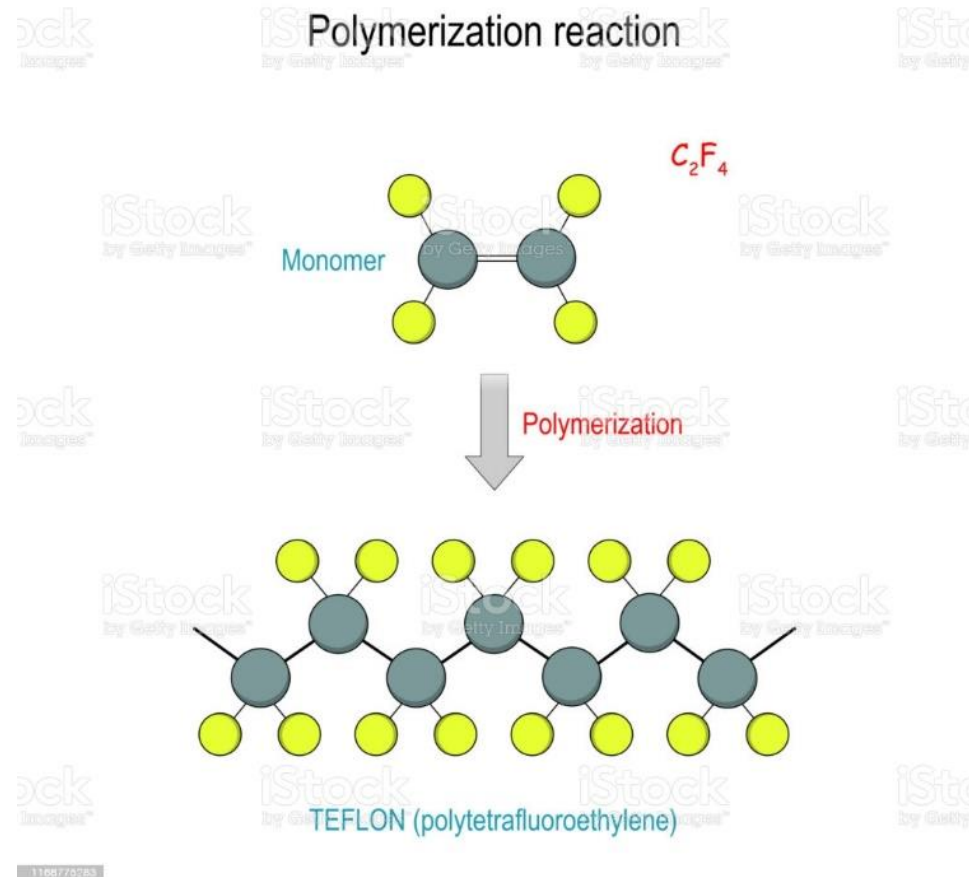
• Poliaddíció

- Nincs melléktermék
- Nincs láncreakció: Izolálható molekulák
- Lassú (lépések egyesével)
- Általános képlet:
 $nA + nB \rightarrow (AB)_n$
- Két kondenzációra képes csoport
- Pl: Epoxi, Poliuretán



Polimerek képződése-Láncpolimerizáció

- Láncpolimerizáció általános jellemzése
 - Gyors láncreakció
 - Nincs melléktermék
 - Nincs segédanyag
- Láncreakció lépései
 - Inicializálás: Indító lépés
 - Láncnövekedés
 - Lánczáródás (láncátadás)
- Leghatékonyabb eljárás!
- Típusai:
 - Gyökös
 - Ionos
 - Anionos
 - Kationos



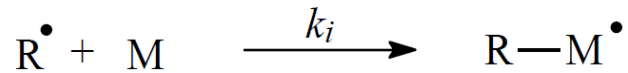
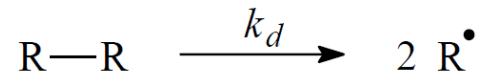
Láncpolimerizáció lépései-Inicializálás

- Láncnövekedésre képes centrum kialakítása

- Fizikai inicializálás (UV, UH, Hő)

- Kémiai inicializálás: Reaktív anyagokkal reagáltatás

Gyökös Polimerizáció



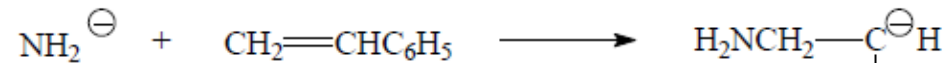
PI: Peroxidok

Két gyök is keletkezik

Iniciátor bomlása lassabb

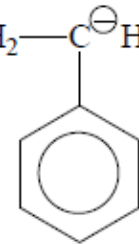
Anionos Polimerizáció

Kokatalizátor képződés



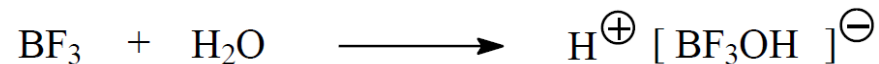
PI: KNH_2

Kokatalizátor kell (Víz)



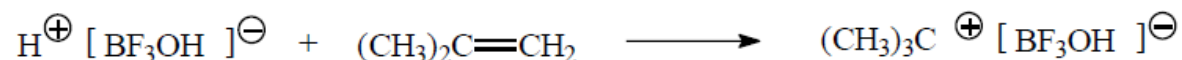
Kationos Polimerizáció

Kokatalizátor képződés



PI: Lewis savak

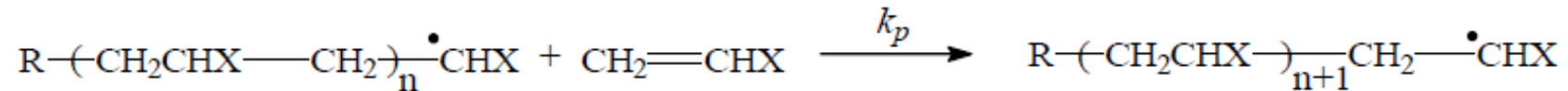
Kokatalizátor kell (Víz)



Láncpolimerizáció lépései-Láncnövekedés

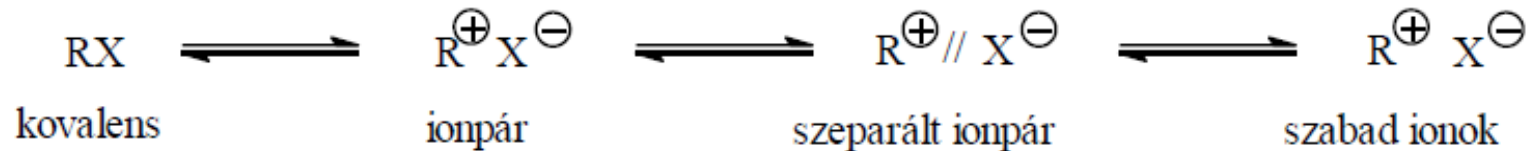
- A létrejött aktív centrumon a polimer lánc növekedése

Gyökös polimerizáció



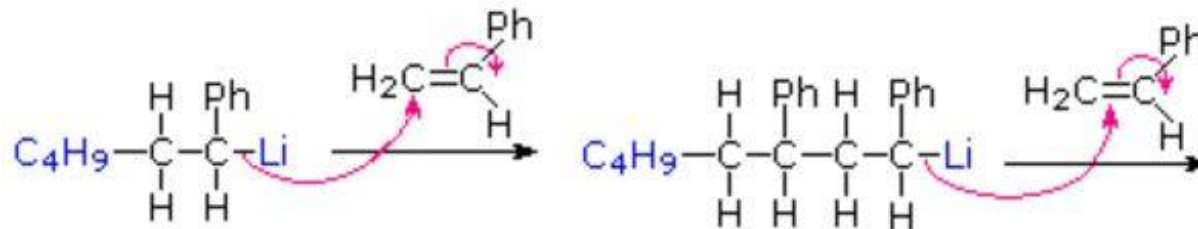
-Gyors reakció, Rövid élettartam

Kationos polimerizáció



-Sok paraméter (hőmérséklet, oldószer, stb.) befolyásolja

Anionos polimerizáció



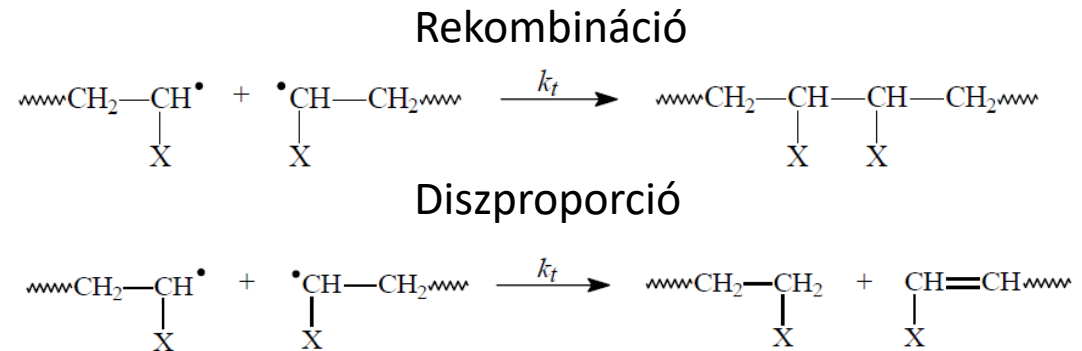
-Megállhat oldószerre történő átadással

Láncpolimerizáció lépései-Lánczáródás

- Az aktív centrum inaktívvá válik valamilyen módon

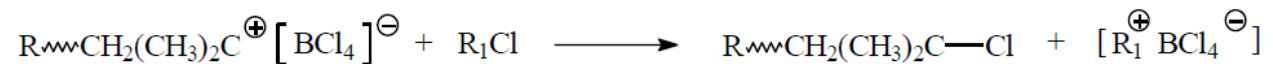
Gyökös polimerizáció

- Két makrogyök összekapcsolódása
- Makrogyök-iniciátor
- Inhibítor (más molekula)
- Szennyező



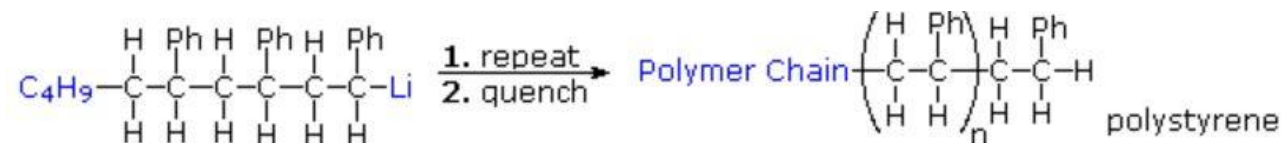
Kationos polimerizáció

- Nem tisztázott mechanizmus
- Érzékeny (pl.: vízre)
- Pl: Telekelikus polimerek

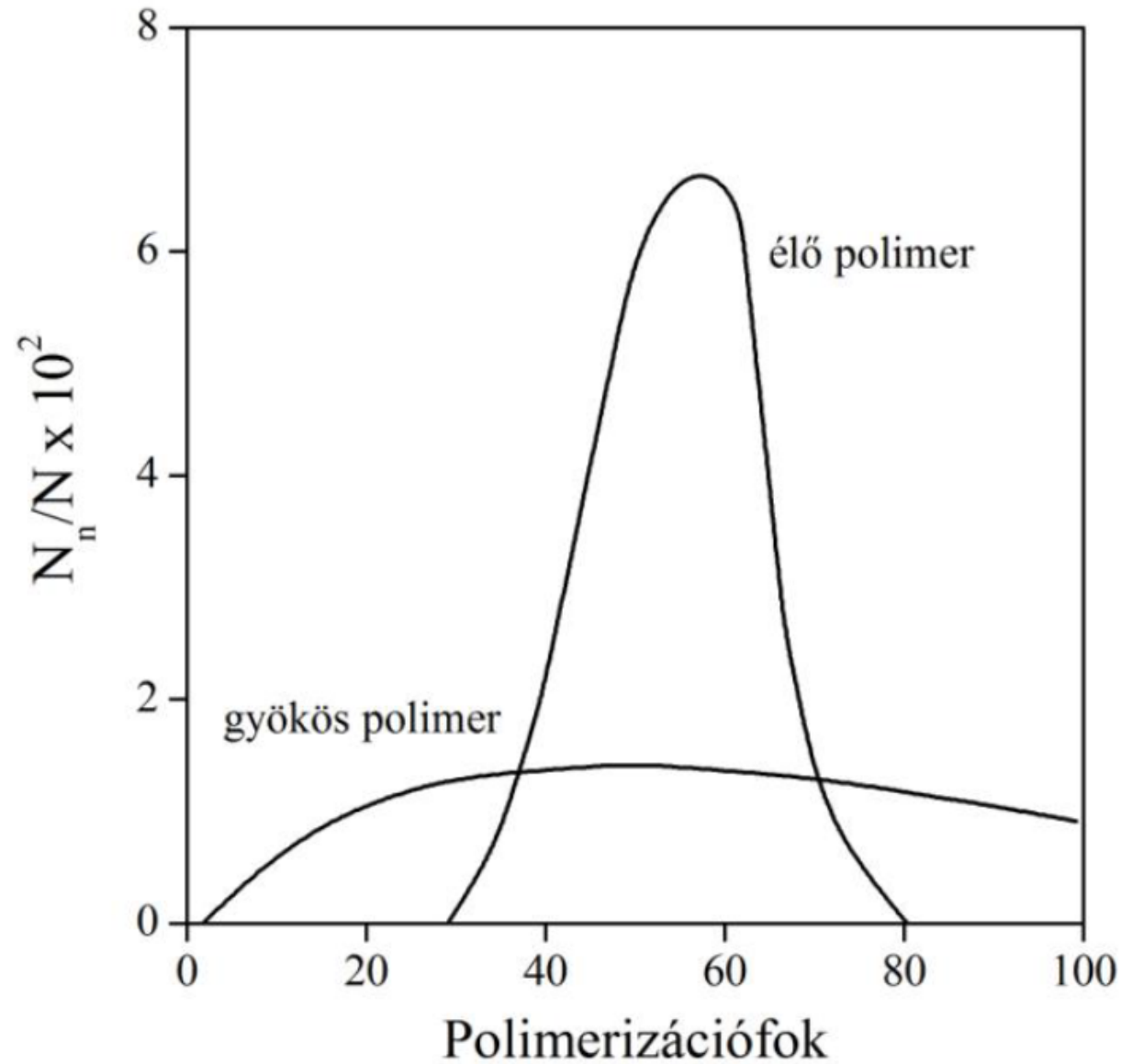


Anionos polimerizáció

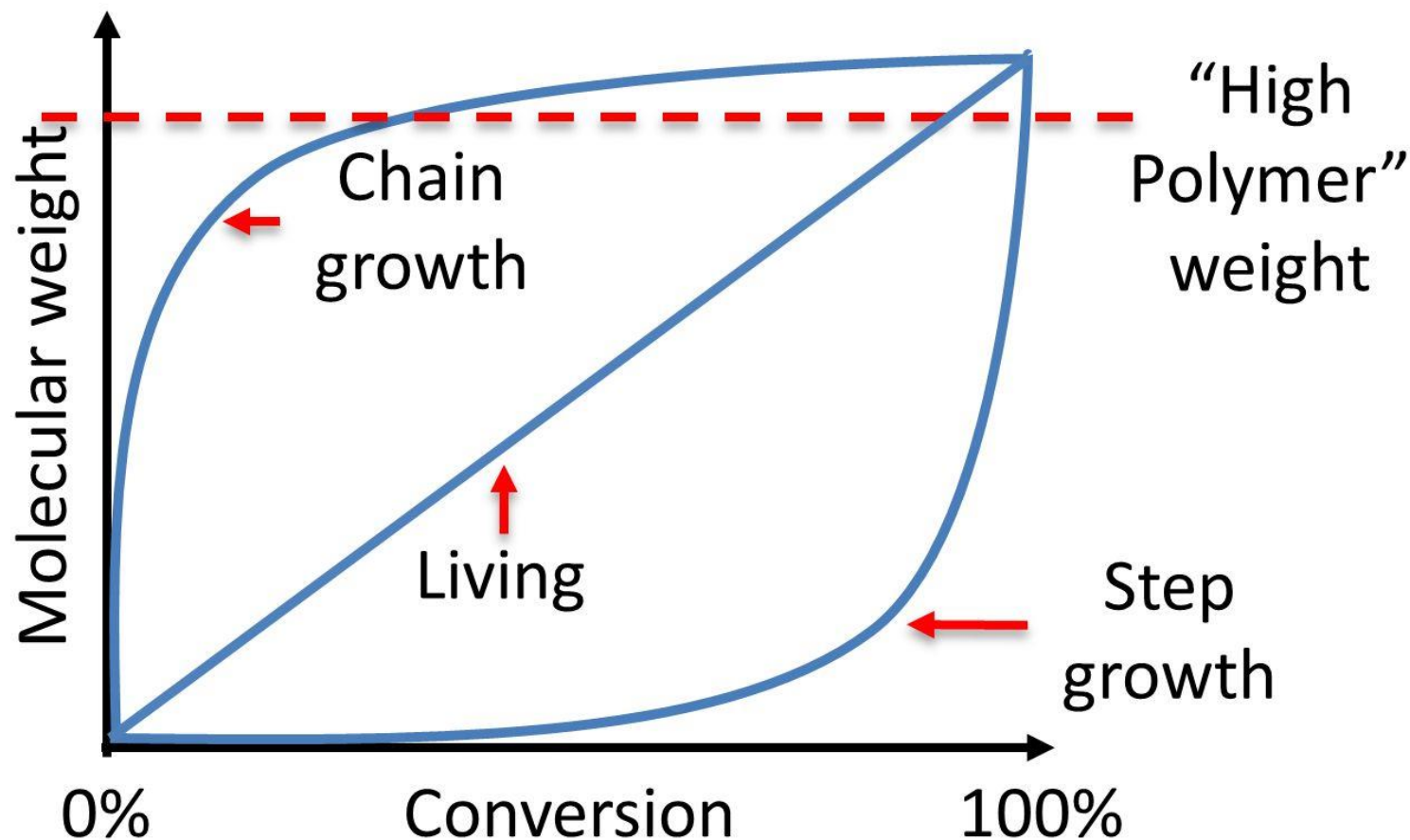
- Nem tisztázott mechanizmus
- Érzékeny (pl.: vízre)
- Tiszta körülmények között:
Élő polimerizáció



Anionos és gyökös eljárással készült polimerek moltömeg eloszlása



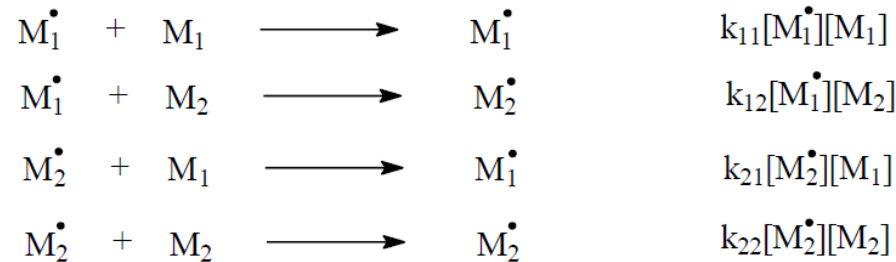
Molekulatömeg változása a konverzió függvényében a különböző polimerizációs eljárások során



Kopolimerizáció

- Két vagy több különböző ismétlődő egységből áll

Két monomer esetén (M_1 és M_2) esetén a reakciók:



Az összetételt a relatív sebességek határozzák meg

$$r_1 = \frac{k_{11}}{k_{12}}$$

$r_1 > 1$, M_1 inkább önmagával reagál

$$r_2 = \frac{k_{22}}{k_{21}}$$

$r_2 > 1$, M_2 inkább önmagával reagál

$r_1 = r_2$ Alternáló kopolimerek

Homopolimer



Kopolimerek

Statisztikus



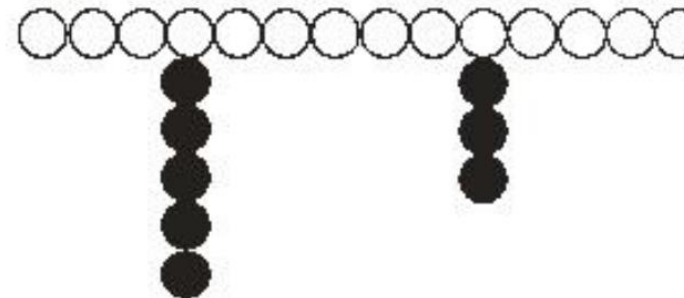
Alternáló



Blokk



Ojtott



Polimerek deformációja és folyása

-**Energia rugalmas deformáció:** Pillanatnyi rugalmas def. (Hooke-törvény)

Reverzibilis, üvegszerű állapot

-**Entrópiarugalmas deformáció:** Késleltetett rugalmas def.

Lassú visszarendeződés szegmensmozgással, Nagy rugalmas állapot

-**Viszkózus deformáció:** Maradó def.

Tömegközéppontok elmozdulnak

A 3 együttesen jellemzi a deformációt!

Folyás:

Polimerek viszkozitása függ az időtől és a nyíróerőktől

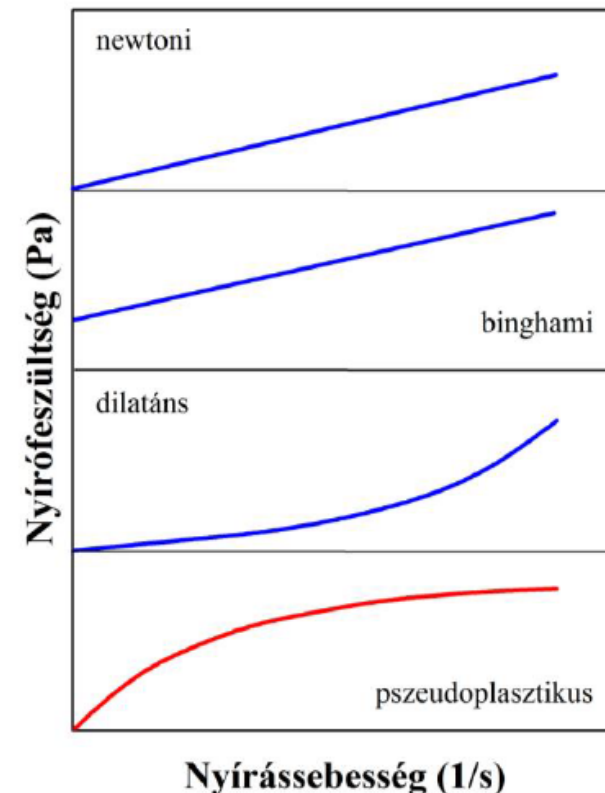
Nyírás szerinti csoportosítás:

-Newtoni folyadék: Nyírásfüggés nincs

-Bingham-folyadék: A folyás egy küszöbfesz. után indul meg

-Dilatáns folyadék: A nyírással a viszkozitás nő (elasztomerek)

-Pseudoplasztikus: Nyírás hatására a viszkozitás csökken



Polimerek deformációja és folyása

