

Sztereokémia, királis molekulák:

(királis univerzum,
tükörképi világ?)



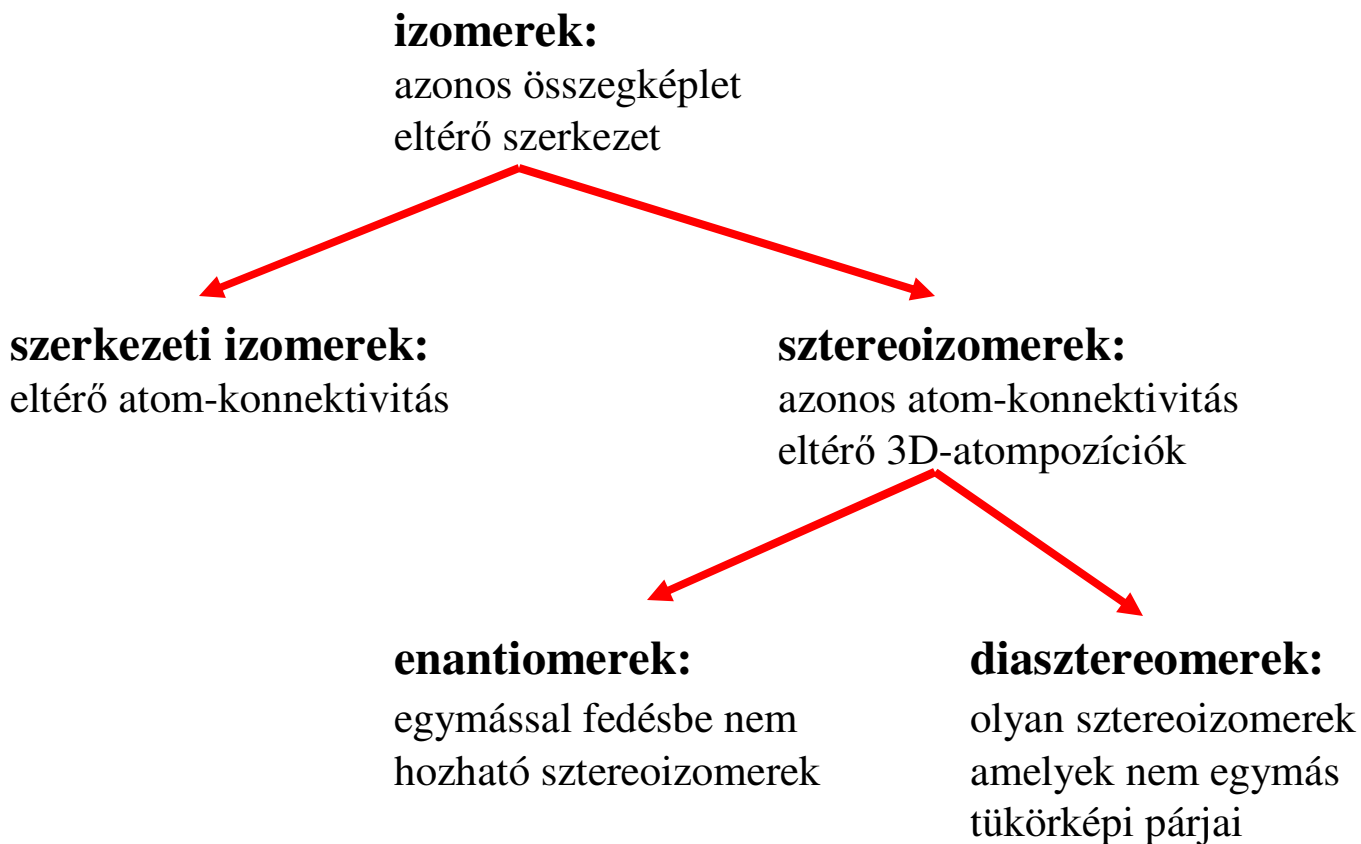
Copyright 1986 Anglo-Australian Observatory, photography by David Malin.

memo: a földi élet királis!

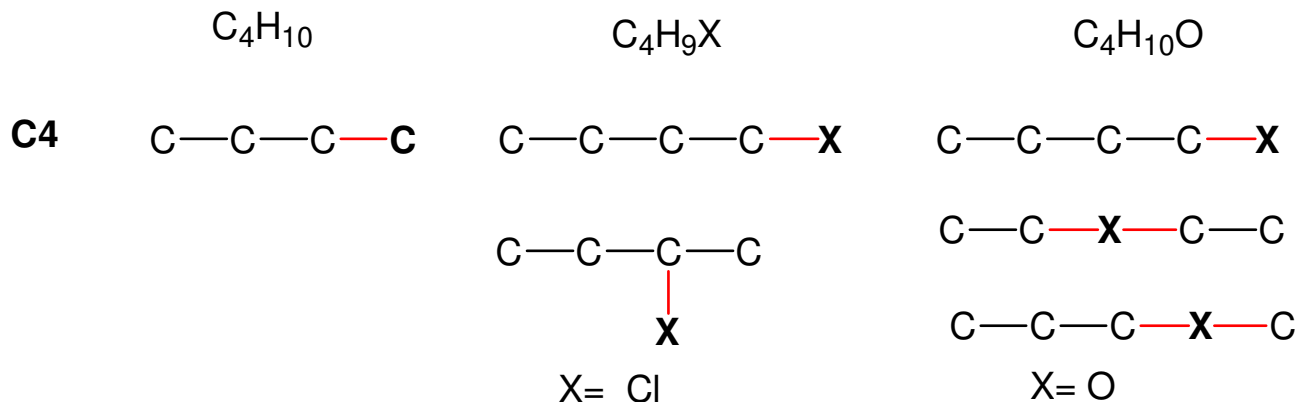
Pl. a földön az L-aminosavak vannak túlnyomó többségben.

- Az **enantiomer szelekció**, módját idejét és okát csak találgatjuk.)
- A Murchison meteoriton (1970) egy sor nem földi eredetű aminosav van, és ezek között négy esetén 7-9% -al több az L- mint a D. (Talán a pörgő neutron-csillagok által kibocsájtott elektromágneses sugárzás indukálja a kiralitást a csillagközi térbe?)

Izomerek felosztása



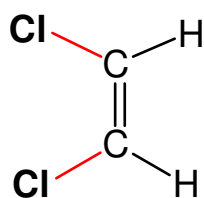
szerkezeti izomerek: (eltérő atom-konnektivitás)



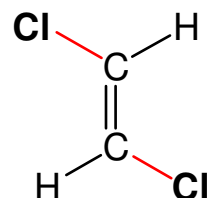
sztereoizomerek

azonos atom-konnektivitás:
ugyanannyi
C-Cl, C-H, C=C
kötés

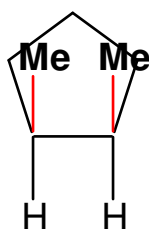
de eltérő 3D-atompozíciók



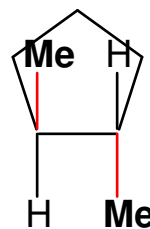
cisz-1,2-diklóretén



transz-1,2-diklóretén

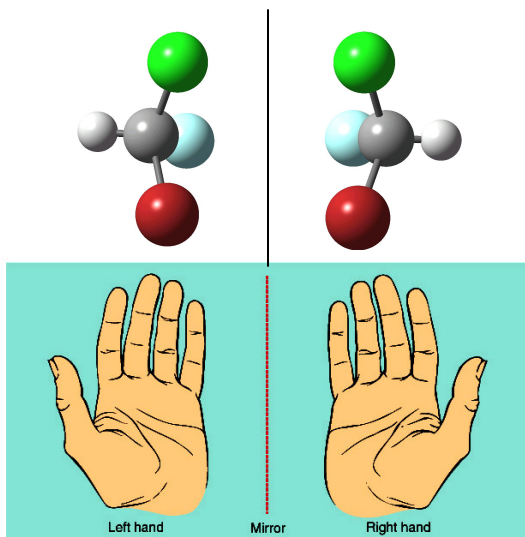


cisz-1,2-dimetilciklopentán

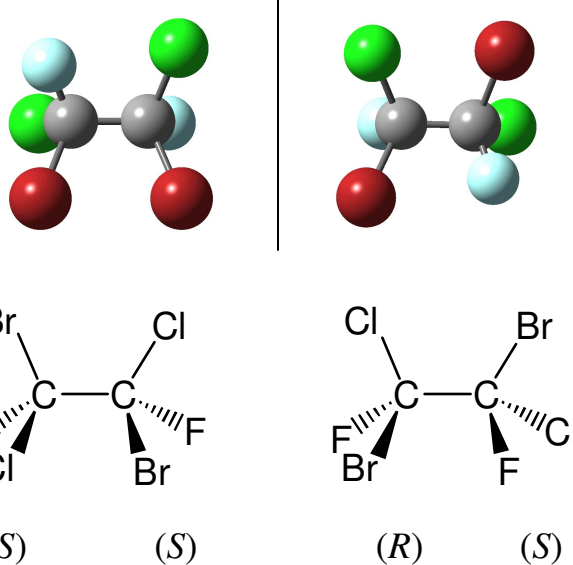


transz-1,2-dimetilciklopentán

enantiomerek: egymással
fedésbe nem hozható sztereoizomerek

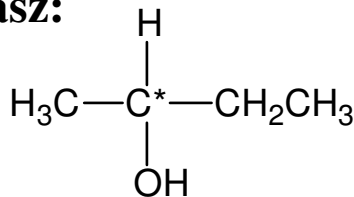


diasztereomerek: olyan
sztereoizomerek amelyek egymás-
nak nem tükörképi párjai



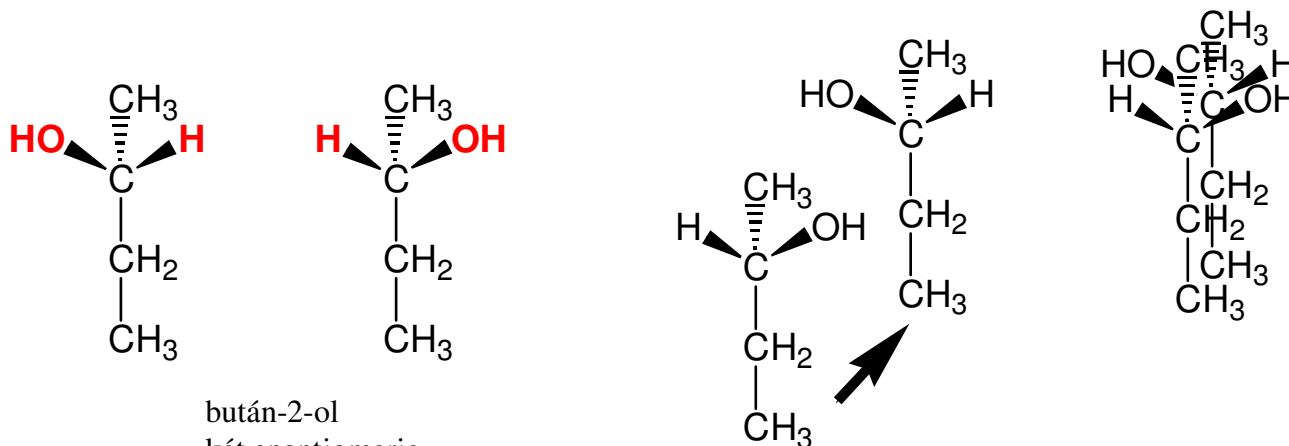
kérdés: királis-e a bután-2-ol?

válasz:



A csillaggal jelölt C-atom körül 4 különböző szubsztituens található
Ez a szénatom **sztereocentrum** (aszimmetriás szénatom).

a két enantiomer pár **nem hozható fedésbe**



megjegyzés: az enantiomerpárok **mindig fellépnek**, **ha** van egy sp^3 -as szén négy különböző szubsztituenssel.

módszer: az sp^3 -as szénatom szubsztituensei közül kettőt cseréljünk fel.
pl. bután-2-ol 2-es szénatomján a -H-t és az -OH-t.

memo:

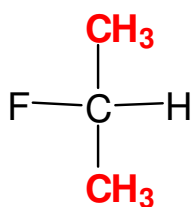
- enantiomerek spontán nem alakulnak egymásba
- az enantiomerek minden fizikai és kémiai tulajdonsága azonos, kivéve azt az esetet, ha királis anyaggal vagy behatással (pl. fénnel) kerül kölcsönhatásba.

kérdés: mikor **akirális** egy molekula?

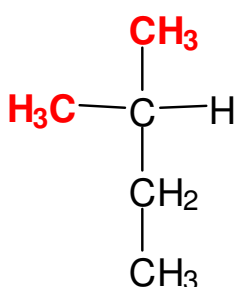
válasz:

- ha minden sp^3 -as szénatomjához legalább két egyforma szubsztituens kapcsolódik.
- ha van a molekulában egy tükörsík

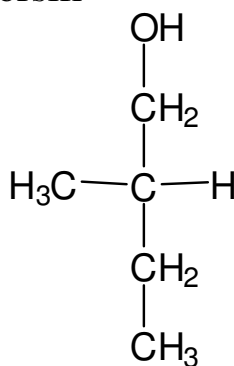
példák:



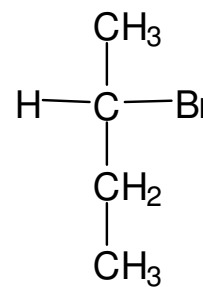
2-fluorpropán
(nem)



2-metilbután
(nem)



2-metilbután-1-ol
(igen)



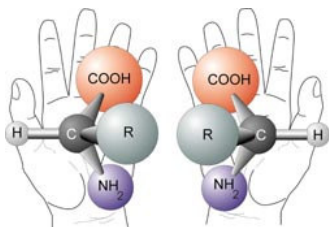
2-brómbután
(igen)

kérdés: mi minden királis?

válasz:

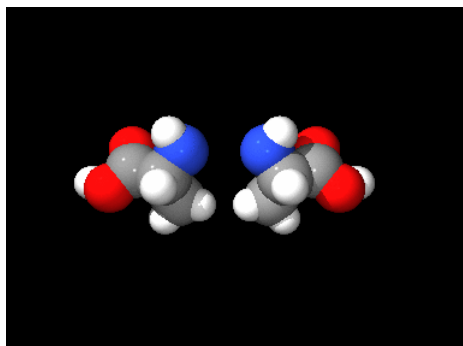
- az emberi test királis,
- az emberek többsége jobbkezes,
- a csigaházak menete királis,
- egy sor futónövény királisan nő,
- a legtöbb biológiailag fontos molekula királis, de csak az egyik királis

Jobbmenetes
tekeredésű futóbab



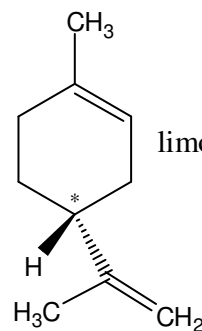
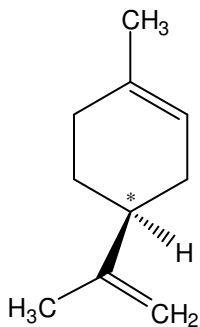
forma a természetes,

- a 21 természetes aminosavból 20 királis,
- a szénhidrátok többsége jobbkezes,
- a természetes DNS A és B formái jobbkezesek

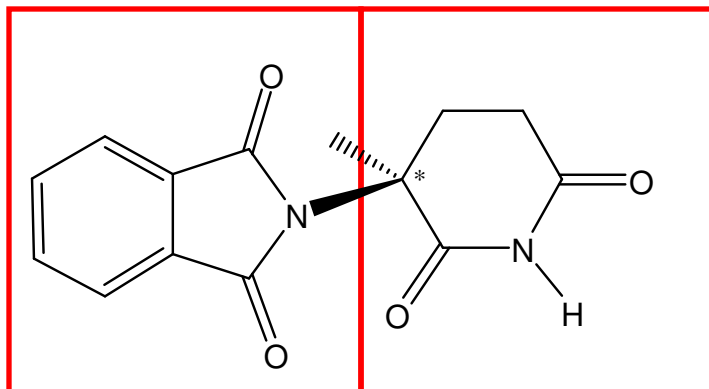


memo: királis ligandum, királis receptor
(a kéz és a kesztyű kapcsolata)

pl. limonén: az egyik enantiomer narancs vagy citrom illatú
a másik enantiomer fenyőtoboz illatú (Bruckner II/2 1295)



limonén enantiomerjei



ftalimido rész

glutárimid rész

thalidomid (contergan)
egyik enantiomer teratogén
kísérleteznek ma is vele mint
AIDS, agydaganat stb. elleni szer

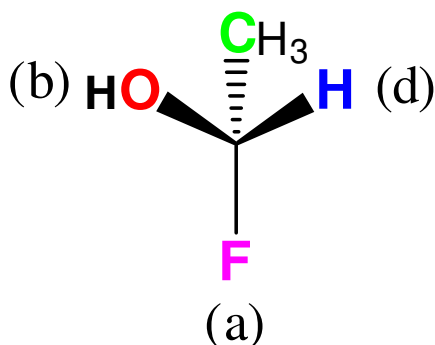
A sztereokémia rövid története:

- Kolbe (1877 Lipcsei Egyetem); tetraéderes ligandumtér csirái
- van't Hoff (holland) és Le Bel (francia) [1874]; a szénatom tetraéderes
- van't Hoff (1901 Nobel-díj)

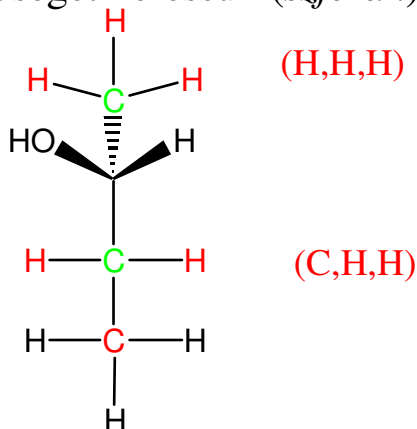
kérdés: hogyan különböztetjük meg az enantiomereket?

válasz:

- 1) a sztereocentrumhoz közvetlenül kapcsolódó atomok (szubsztituensek) rangsorának felállítása az atomok rangja az atomszámmal nő ($H < C < N < O < F < Cl < \dots$) (c)



- 2) ha két szubsztituens királis szénhez kapcsolódó atomtípus azonos, akkor a konektivitás mentén az első különbséget keressük (szférák)



- 3) R vagy S meghatározása: úgy nézzük a királis szénre hogy a legkisebb rangú szubsztituens „ne lássuk”:
ha a rang az óramutató járása szerint növekszik,
akkor R (*Rectus*), amúgy S (*Sinister*)

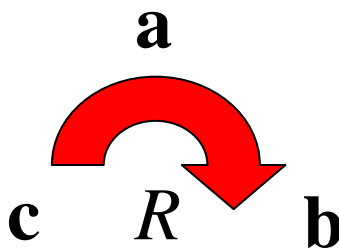
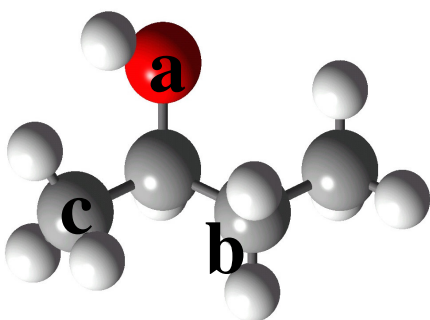
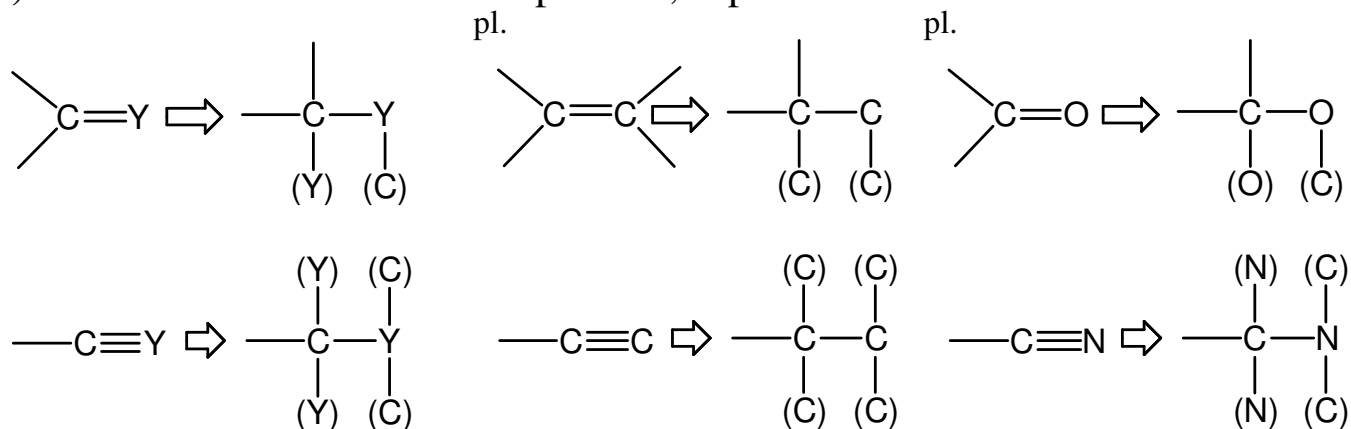


Photo courtesy University College Library, Manuscripts & Rare Books, copyright University College London.

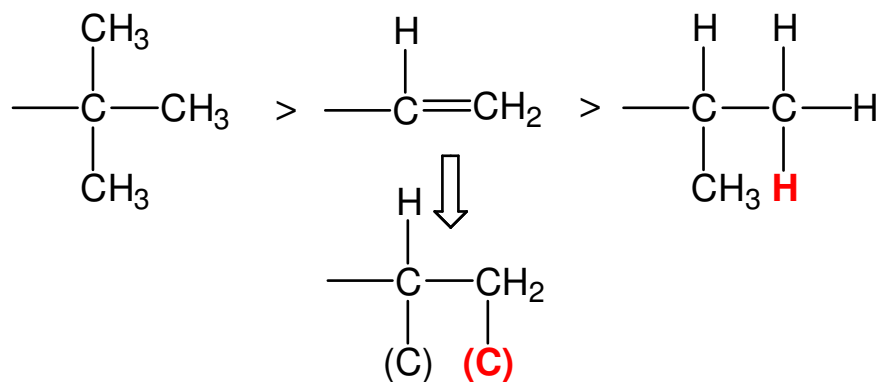
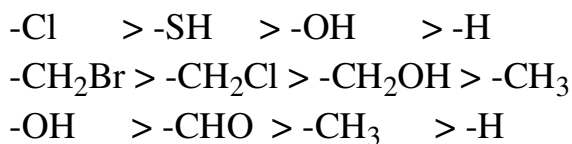
R.S.Cahn, C.K.Ingold
és V.Prelog (1966)

4) A többszörös kötés esetén duplikálás, triplikálás

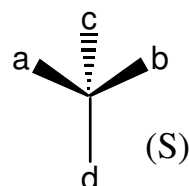
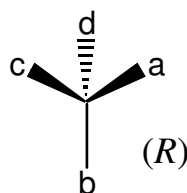
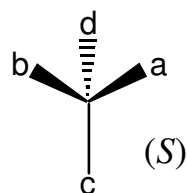
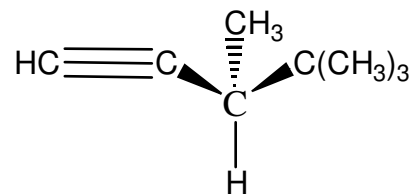
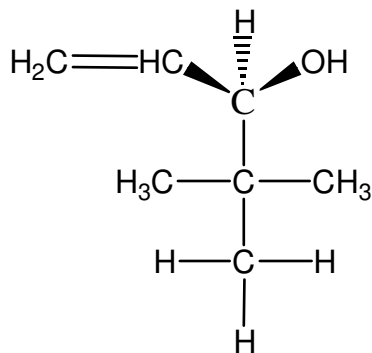
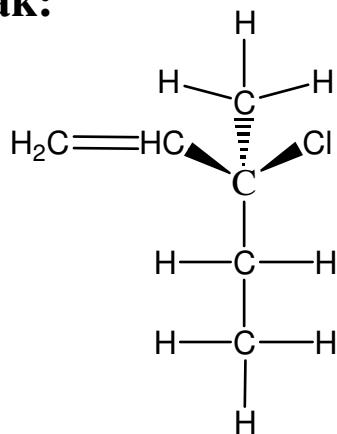


a () atomok "meztelen" atomok, azaz nincs "folytatás"

megjegyzés: prioritás sorrendek



példák:



kérdés: miben **különböznek** és miben **hasonlóak** az enantiomerek?

válasz: enantiomer molekuláknak azonos az olvadás és forráspontjuk, a törésmutatójuk, az oldhatóságuk az IR- és NMR-spektrumuk.

példa:

fizikai tulajd.	(<i>R</i>)-bután-2-ol	(<i>S</i>)-bután-2-ol
fp (1atm)(°C)	99,5	99,5
sűrűség (g/mL)(20°C)	0,808	0,808
törésmutató (20°C)	1,397	1,397

kérdés: Tehát minden tulajdonságuk azonos?

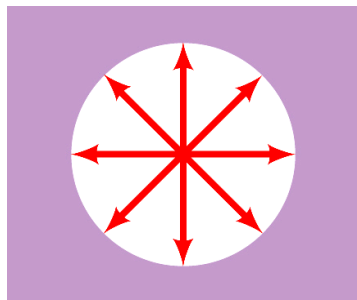
válasz: Különbség akkor mutatkozik, amikor az enantiomerek királis anyaggal vagy behatással (ol. fény) kerül kölcsönhatásba.

példa:

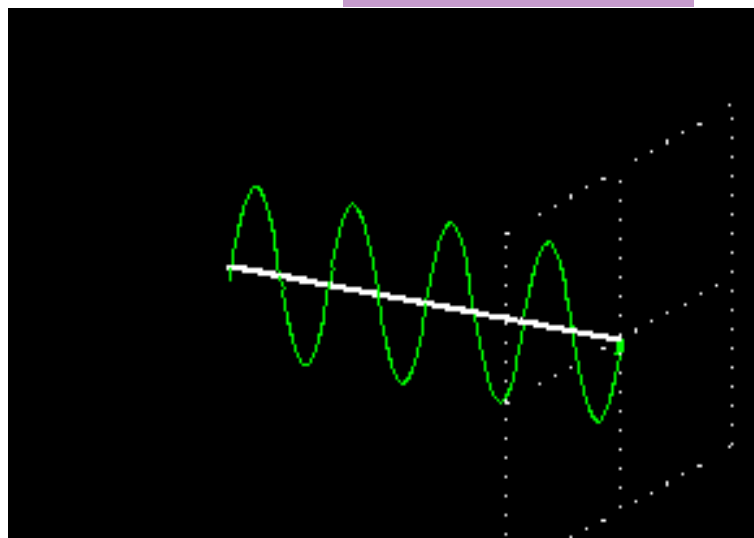
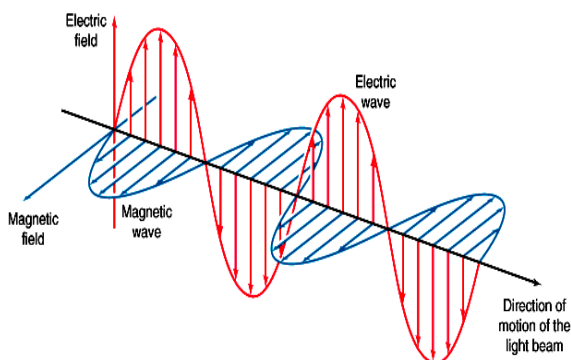
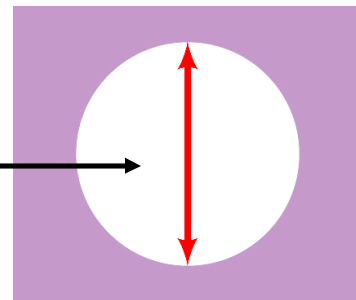
- királis oldószerben másként oldódnak
- királis molekulákkal másként reagálnak
- polarizált fénnel másként lépnek kölcsönhatásba

(az egyik enantiomer annyit forgatja balra, mint a másik jobbra a síkban polarizált fényt.)

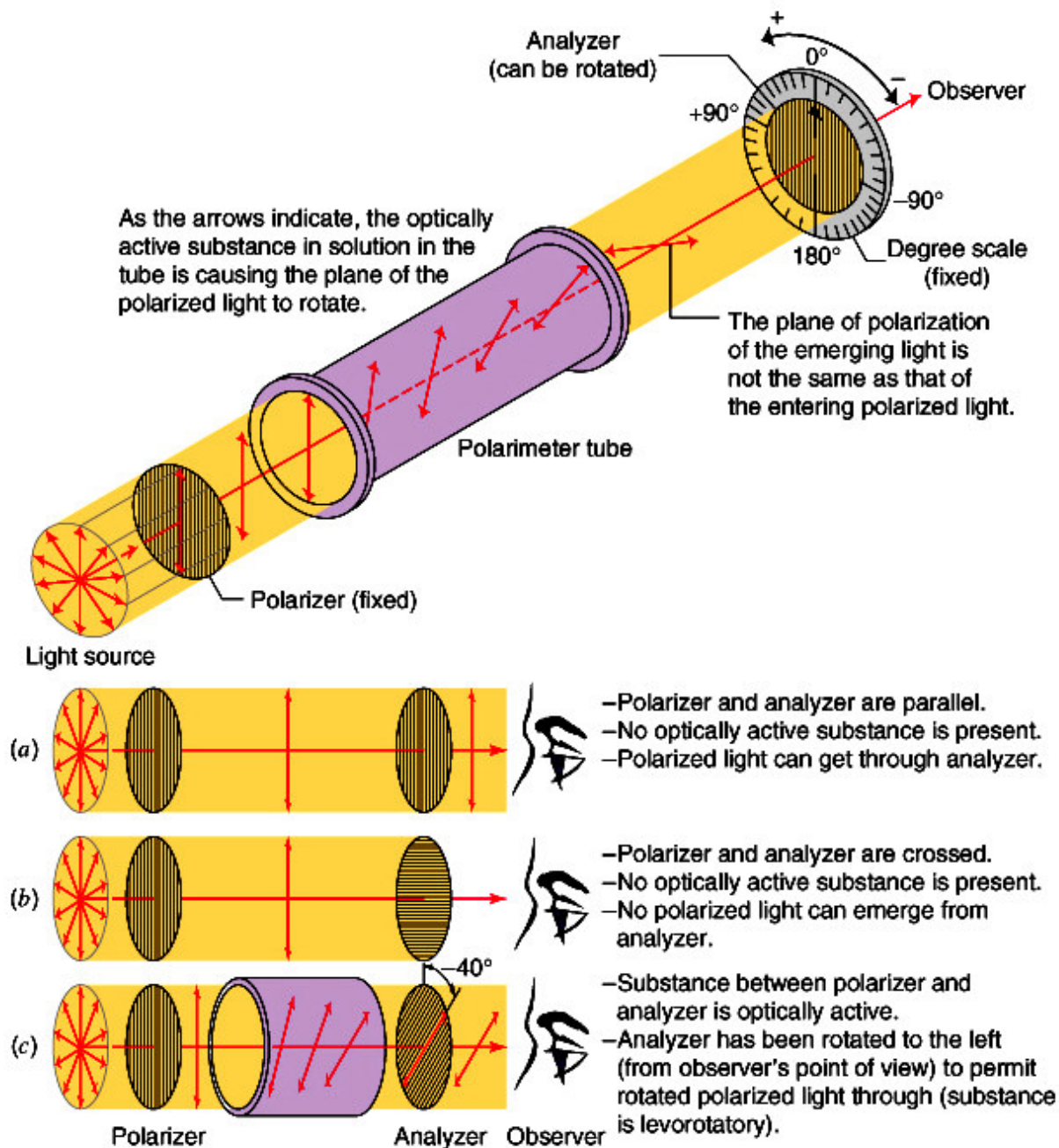
megjegyzés: Mind a polarizált mind a polarizálatlan fényben az elektromos és mágneses transzverzális hullámok síkja egymásra merőleges. (Polarizálatlan fény esetén minden lehetséges síkban történik rezgés.)



síkban polarizált fény
elektromos mezőjének
síkja



memo: Forgatást polariméterrel mérünk



memo:

- a) polarizátor és anilizátor párhuzamos: síkban poláris fényt látunk
- b) polarizátor és anilizátor merőleges: nem jön ki fény
- c) polarizátor által előállított síkban polarizált fényt a királis közeg 40°-kal ($\alpha=40^\circ$) elforgatja, amit az anilizátor helyes beállításával mérünk.

memo:

- a jobbra forgatás (óramutatóval azonos irány) az a (+) [*dexter*]
- a balra forgatás (óramutatóval ellentétes irány) az a (–) [*laevus*]

kérdés: mitől függ egy anyag forgatása α ? (Bruckner I/1 335)

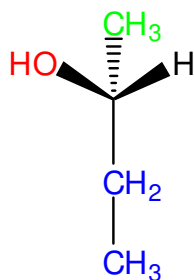
válasz: arányos

- az oldat koncentrációjával (c) {g/mL},
- a rétegvastagsággal (l) {dm}
- és a fajlagos forgatóképességgel $[\alpha]$

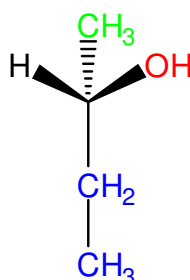
adott T és λ mellett

példa: $[\alpha]_D^{25} = +3.12^\circ$ (az a Na-lámpa D vonalán [$\lambda=589.6$ nm], 25°C -on, egy 1.00 g/mL koncentrációjú oldat egy 10 cm-es küvettában éppen pozitív irányba 3,12 fokot forgat.)

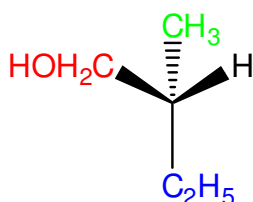
memo: van amikor a névbe beírjuk az empirikus forgatási irányt,
van amikor nem.



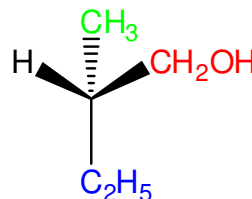
(*R*)-(-)-bután-2-ol
 $[\alpha]_D^{25} = -13,52^\circ$



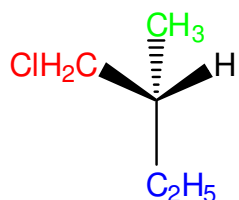
(*S*)-(+)-bután-2-ol
 $[\alpha]_D^{25} = +13,52^\circ$



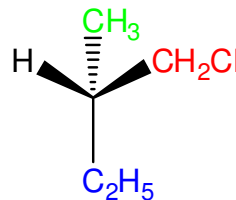
(*R*)-(+)-2-metilbután-1-ol
 $[\alpha]_D^{25} = +5,756^\circ$



(*S*)-(-)-2-metilbután-1-ol
 $[\alpha]_D^{25} = -5,756^\circ$



(*R*)-(-)-1-klór-2-metilbután
 $[\alpha]_D^{25} = -1,64^\circ$



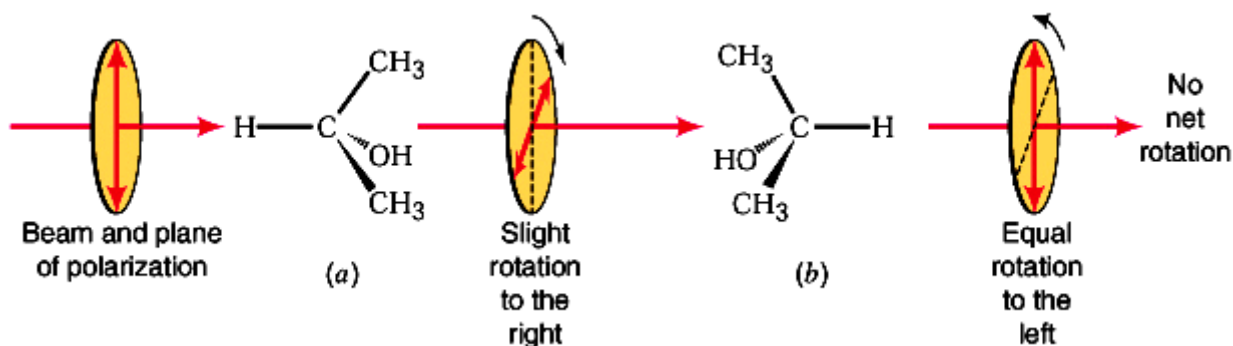
(*S*)-(+)-1-klór-2-metilbután
 $[\alpha]_D^{25} = +1,64^\circ$

memo: vegyük észre hogy az (*R*) és (*S*) abszolút konfiguráció és a pozitív vagy negatív forgatás egymástól **teljesen független!!**

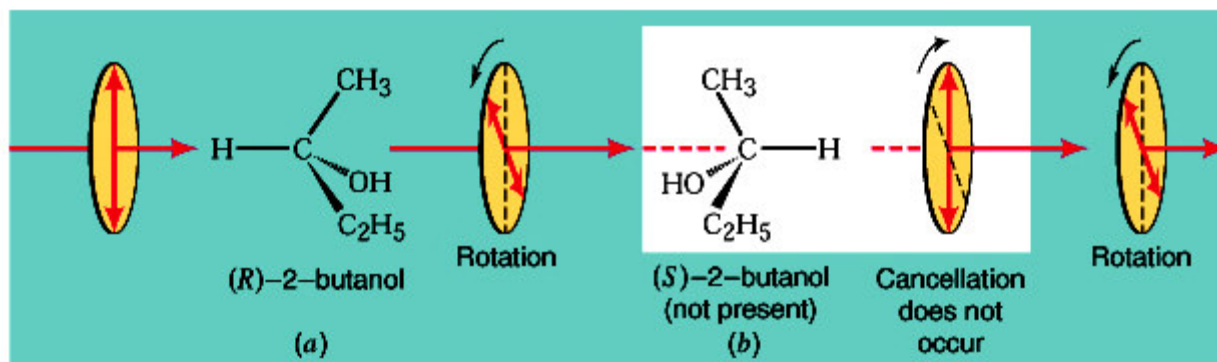
kérdés: mi az optikai aktivitás molekuláris eredete?

válasz: mind a királis mind az akirális molekulák kölcsönhatásba kerülnek a síkban polarizált fénnel.

A) ha a molekula akirális, az egymással egyébként azonos tükörképi párok **kompensációja** miatt nem lesz makroszkópikus forgatás:



B) ha a molekula királis (és csak az egyik enantimer van jelen) akkor **nincs belső kompensáció** és lesz makroszkópikus forgatás:



C) ha a molekula királis, s mindkét eleme az enantimerpárnak jelen van (**racemát**), akkor a tükörképi párok kompensációja miatt nem lesz makroszkópikus forgatás:

memo: a racemátokat a ($\pm$) szimbólummal látjuk el:

pl: ($\pm$)-2-bután-1-ol

kérdés: mi az hogy enantiomer arány?

válasz: ha egyetlen enantiomer van jelen akkor a királis anyag optikailag tiszta. Ekkor az enantiomer arány 100%.

pl. az (S)-(+)-bután-2-ol esetében ($[\alpha]_D^{25} = +13.52^\circ$) a forgatás $+13.52^\circ$

kérdés: mi lesz az enantiomer arány értéke, ha az anyag csak részben tiszta optikailag?

válasz: ha teljes a racemizáció akkor a forgatás 0° .

Ha tehát egy 0° és $+13.52^\circ$ közé eső forgatást mérünk, akkor tudjuk hogy a racém elegy több (S)-(+)-bután-2-olt tartalmaz mint (R)-(-)-bután-2-ol-t.

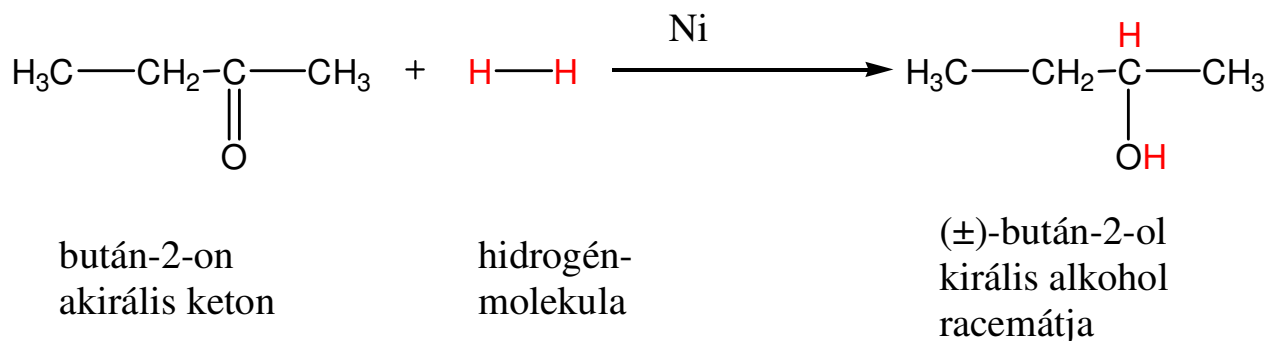
kérdés: hogy lehet az enantiomer arányt meghatározni a forgatásból?

válasz:

$$\text{enantiomer arány (\%)} = \text{mért forgatás} / [\alpha]_D^{25}$$

$$\text{pl. enantiomer arány (\%)} = +6.76^\circ / +13.52^\circ = 50\%$$

memo: Egy királis molekulát ha nem enantioszelektív módon állítunk elő, akkor racemátot kapunk:

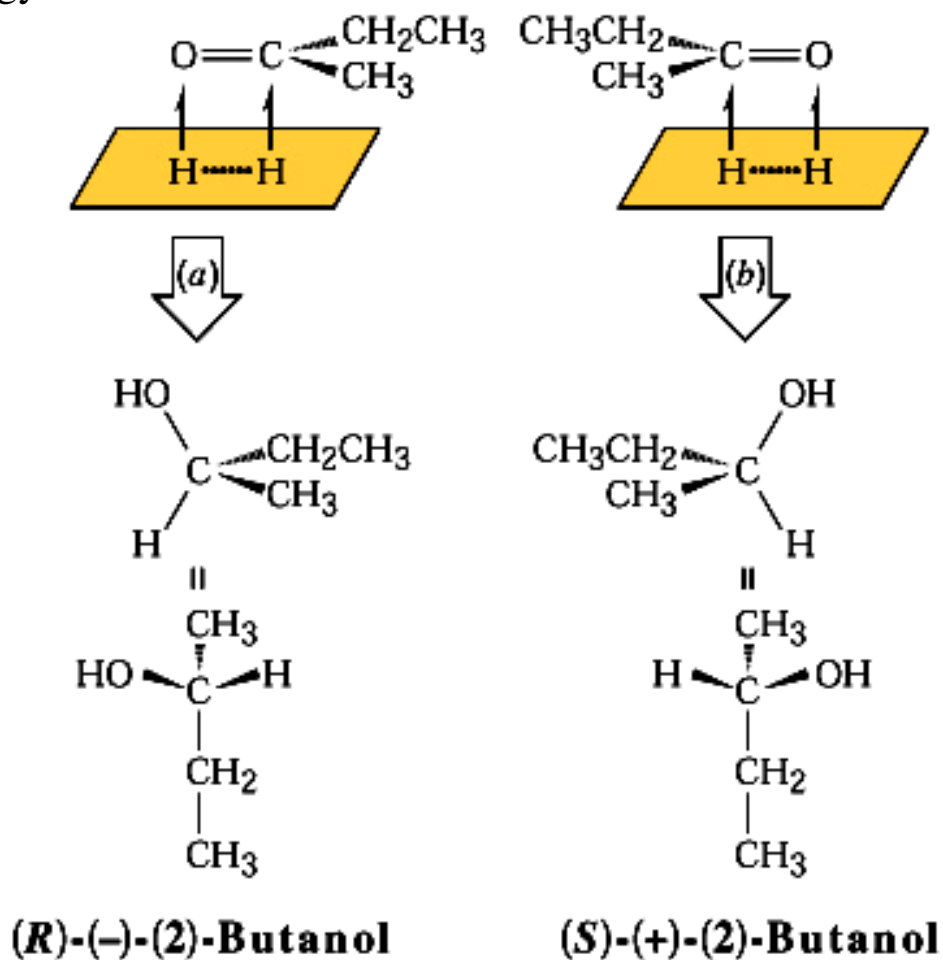


a redukció során az enantiomerek 1:1 arányú keverékét kapjuk.

kérdés: mi az enantioszelektív szintézis?

válasz: amikor az egyik enantiomer túlsúlyban keletkezik a reakció során.

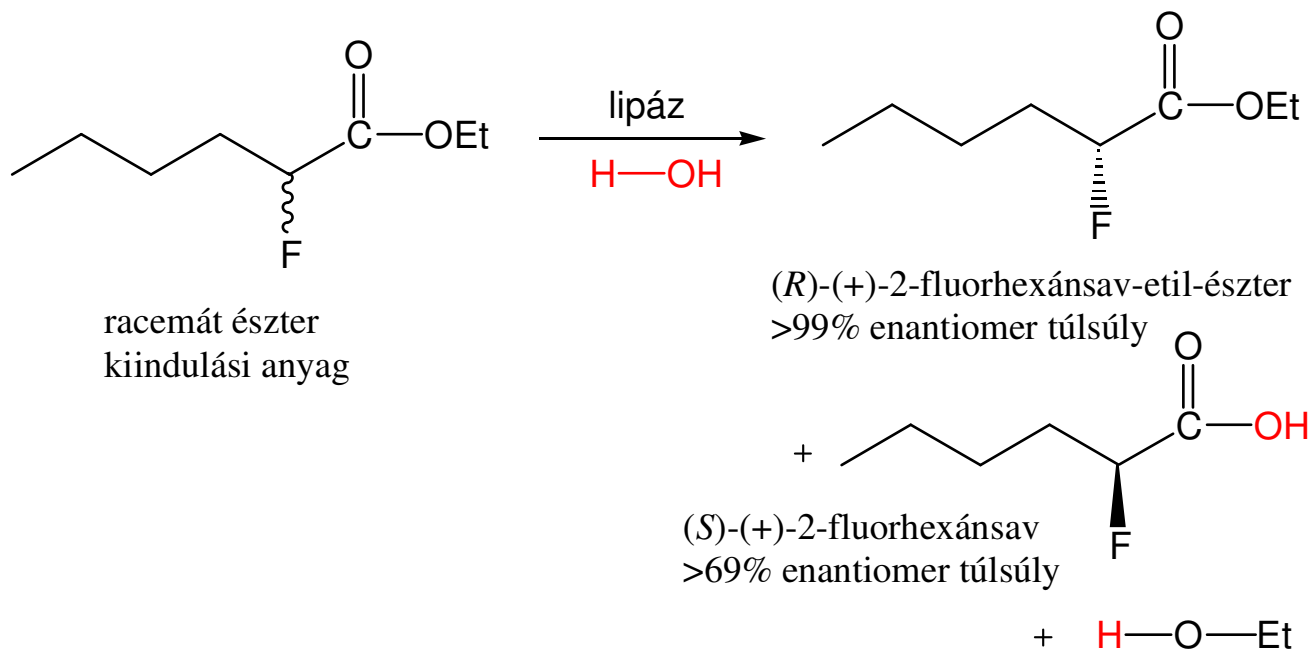
példa: A hagyományos Ni-katalízis során mindkét enantiomer egyforma valószínűséggel keletkezik, hiszen a karbonil mindkét orientációja egyformán valószínű:



kérdés: hogyan lehet elérni hogy egy reakció enantioszelektív legyen?

válasz: királis reagens, oldószer, katalizátor vagy enzim kell!

példa: lipáz enzimmel történő észterhidrolízis:



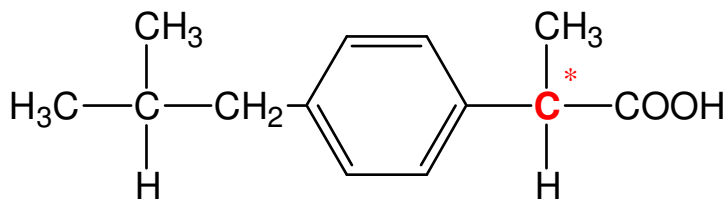
magyarázat:

- a lipáz aktív zsebébe nem fér be az (*R*) enantiomer, ezért az visszamarad és a hidrolízis során 99%-ig dúsul.
- továbbá az (*S*)-(-)-sav 69%-ban keletkezik.

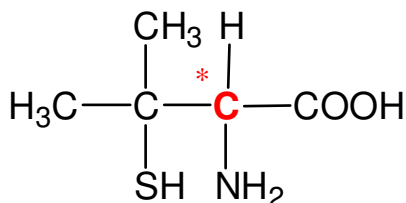
kérdés: egy királis gyógyszer mindkét enantiomerje ugyanolyan hatást fejt ki?

válasz: gyakran csak az egyik enantiomer a hatásos

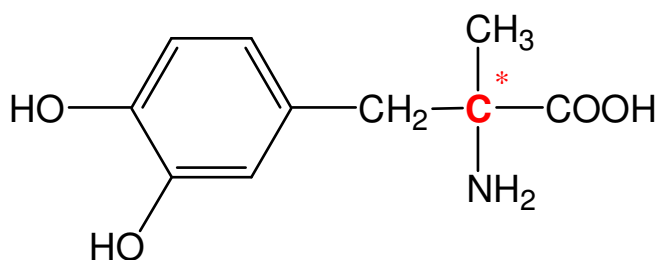
példa:



ibuprofén (lázcsillapító)
(*S*) hatásos, (*R*) hatástalan



penicillamin (krónikus artritis)
(*S*) hatásos, (*R*) toxikus

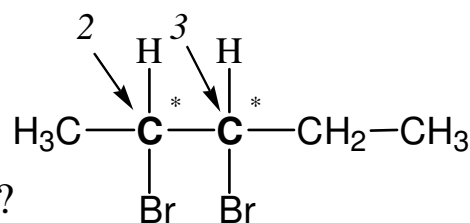


metildopa (vérnyomás csökkentő)
(*S*) hatásos, (*R*) hatástalan

kérdés: mi a helyzet ha a molekula egynél több kiralitáscentrumot tartalmaz?

válasz: elvileg n kiralitáscentrum 2^n sztereoizomert eredményez

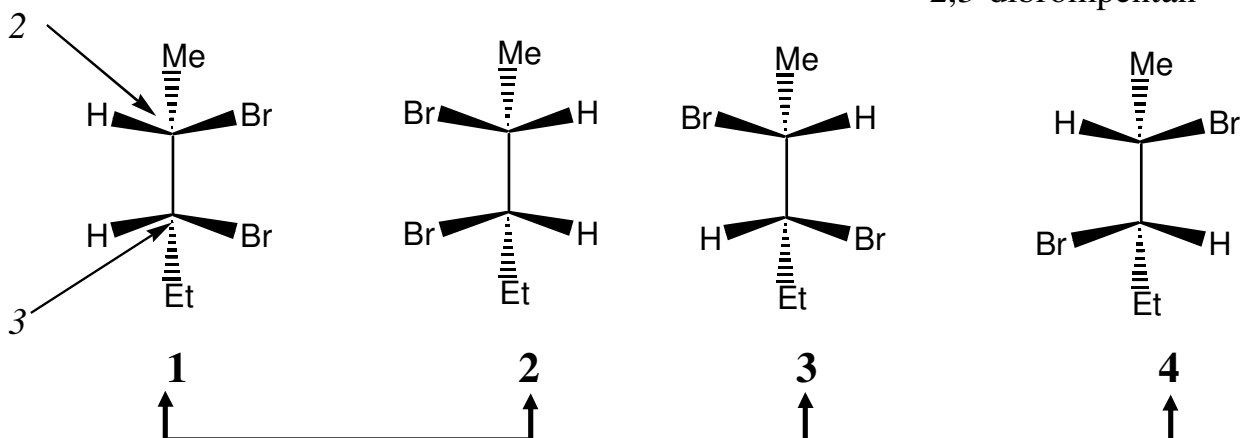
memo: tekintsük az $n=2$ esetet



2,3-dibrómpentán

kérdés: melyik lesz ez a négy (2^2) sztereoizomer?

válasz: az alábbi négy szerkezet, amely közül



enantiomerek

(egymással nem hozhatók fedésbe
egymás tükörképi párjai)

enantiomerek

(egymással nem hozhatók fedésbe
egymás tükörképi párjai)

kérdés: milyen viszonyban vannak ezek a sztereoizomerek egymással?

válasz:

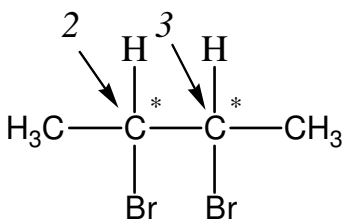
- 1 és 2 egymás tükörképi párja: azaz enantiomerek
- 3 és 4 egymás tükörképi párja: azaz enantiomerek
- 1 és 3 vagy 2 és 4 nem tükörképi párok, de sztereoizomerek: azaz diasztereomerek:

	1	2	3	4
1	azonos	enantiomer	dia (C2 epi)	dia (C3 epi)
2		azonos	dia (C3 epi)	dia (C2 epi)
3			azonos	enantiomer
4				azonos

memo: Az 1-es és 3-as molekulák C3-as szénatomjainak konfigurációja azonos, míg a C2-szénatomot konfigurációja különböző: ezért ez a diasztereomer pár egymás C3-epimere.

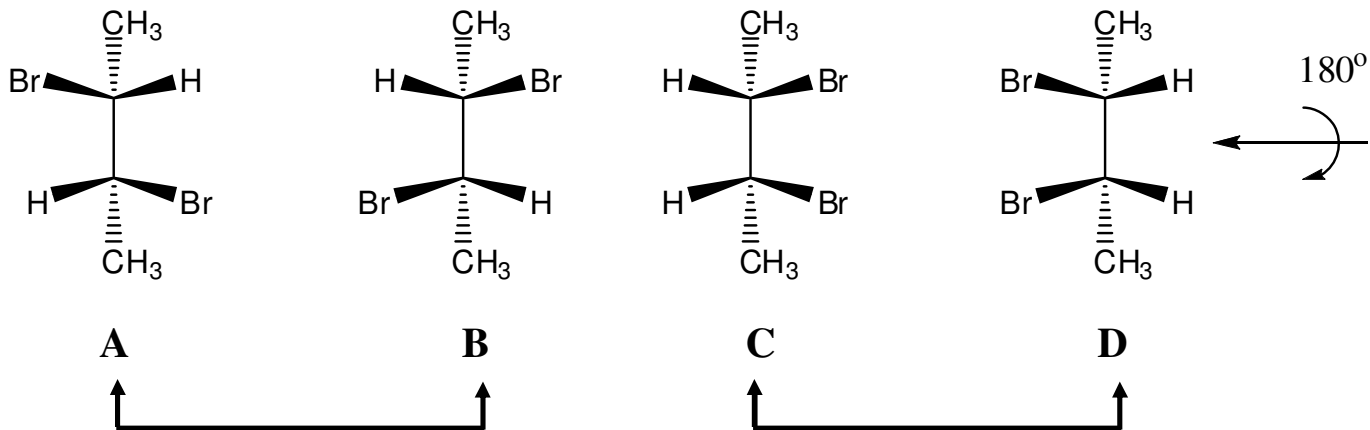
memo: A diasztereomer molekulák olvadási- és forráspontja eltérő, a törésmutatójuk különböző, az oldhatóságuk az IR- és NMR-spektrumuk más és más.
A két molekula **különböző** tulajdonságokkal rendelkezik.

kérdés: mi a helyzet ha van két kiralitáscentrum, de a királis szénatomok szubsztituensei páronként azonosak? Pl: 2,3-dibrómbután?



2,3-dibrómbután

válasz: az alábbi négy szerkezet írható fel, amely közül



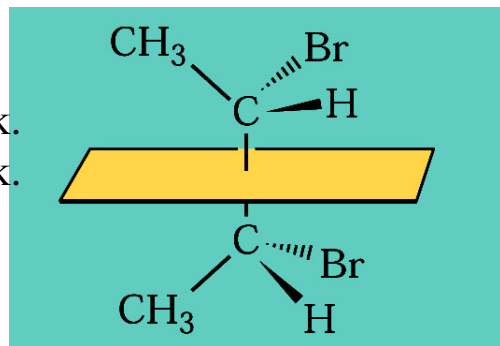
enantiomerek

(egymással nem hozhatók fedésbe
egymás tükörképi párjai)

mezo-alak

(egymással fedésbe hozható szerkezetek
nem királis molekula)

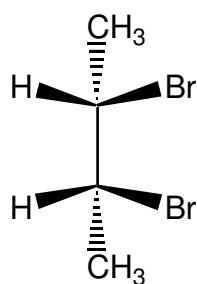
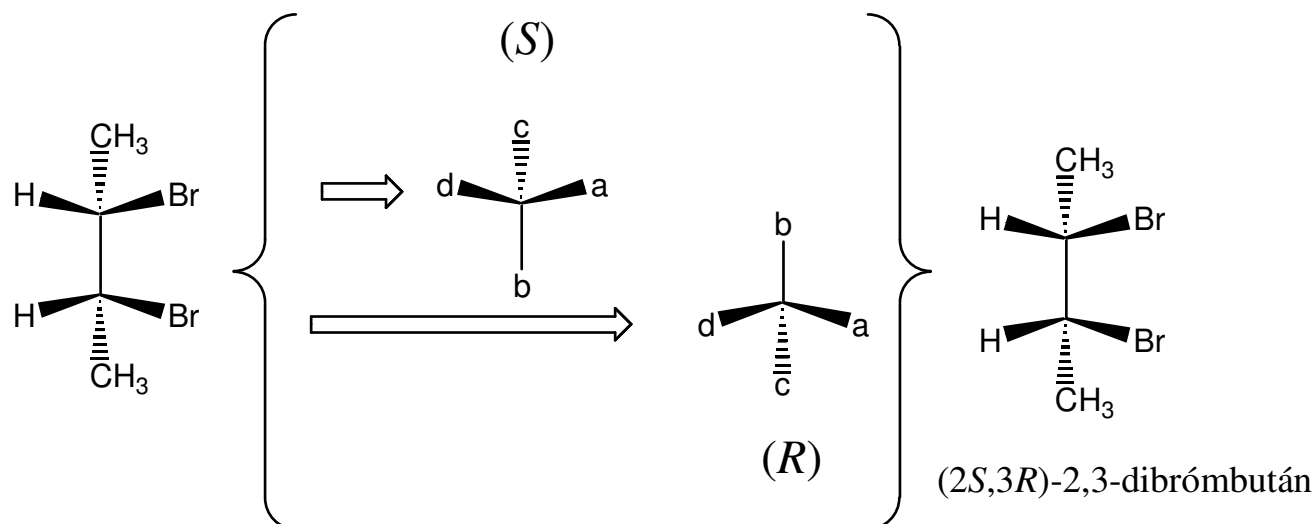
- memo:**
- A és B egymás tükörképi párja
 - C-t 180°-ot helyesen elforgatva D kapjuk.
 - D-t 180°-ot helyesen elforgatva C kapjuk.



- memo:**
- a mezo szerkezetű anyag
(C amely azonos D-vel)
 - optikailag inaktív: intramolekuláris kompenzáció miatt nem forgat

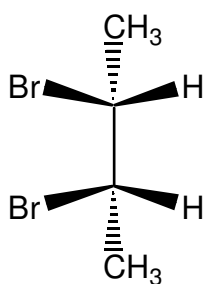
kérdés: hogyan adjuk meg a több sztereocentrummal rendelkező molekulák abszolút konfigurációját?

válasz: úgy mint ha csak egyetlen királis szén volna, mindegyiket egymástól függetlenül külön-külön specifikáljuk:



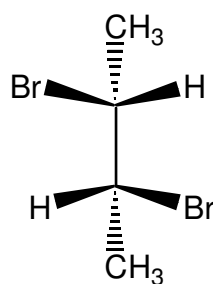
A

(S,R)



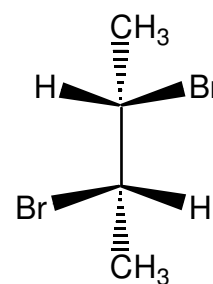
B

(R,S)



C

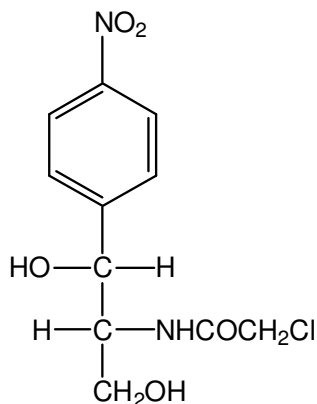
(R,R)



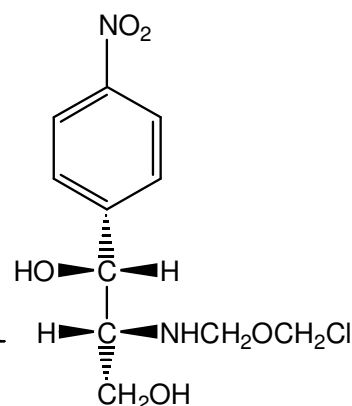
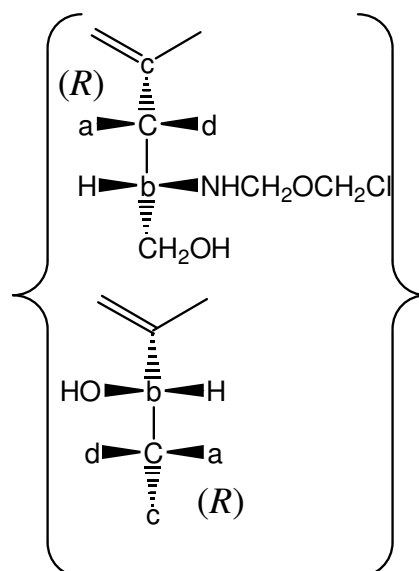
D

(S,S)

memo: a klóramfenikol (antibiotikum [*Streptomyces venezuelae*]) volt az első természetes eredetű nitrobenzol-származék amelyet izoláltak. Rajzoljuk fel az *R,R* természetes sztereoizomert!



klóramfenikol

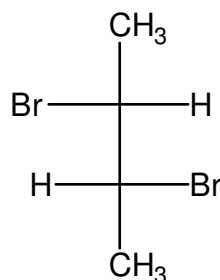
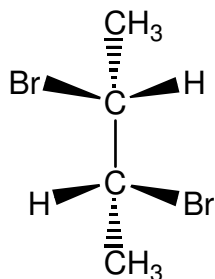


(R,R)-klóramfenikol

kérdés: hogyan tudjuk a kiralitáscentrumot körülvevő szubsztituensek térbeli elhelyezkedését következetesen síkbeli rajzokon visszaadni?

válasz: használjuk a Fischer-féle projekciót:

példa:



(*R,R*)-2,3-dibrómbután
3-dimenziós
ábrázolása

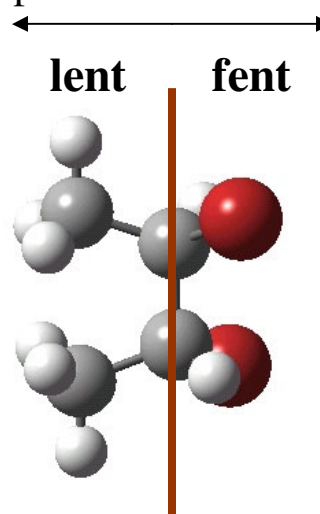
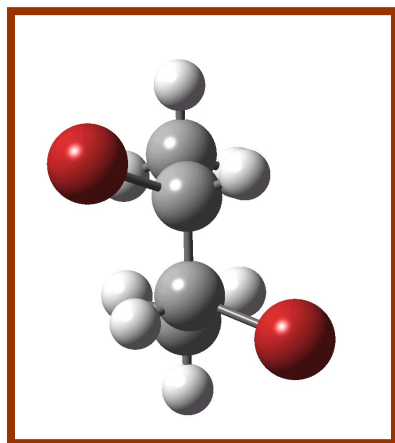
2,3-dibrómbután
Fischer-projekciós
ábrázolása



© Corbis

Emil Fischer

szabály: minden vízszintes vonal a papír síkjához képest felfelé,
minden függőleges vonal a papír síkjához képest lefelé
kötésirányt rögzít.



memo: a papír síkjához képest lefelé vannak a metilek, felfelé a bróm- és a hidrogénatom.

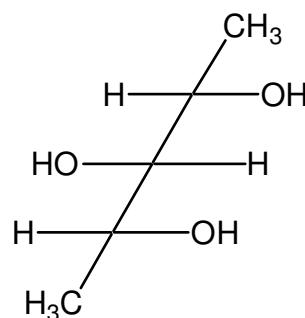
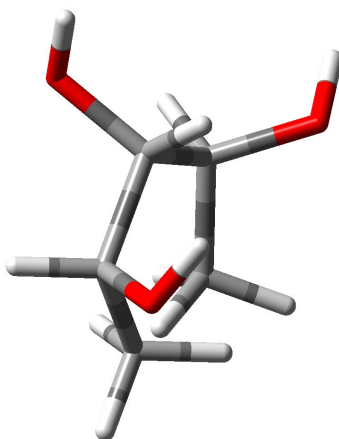
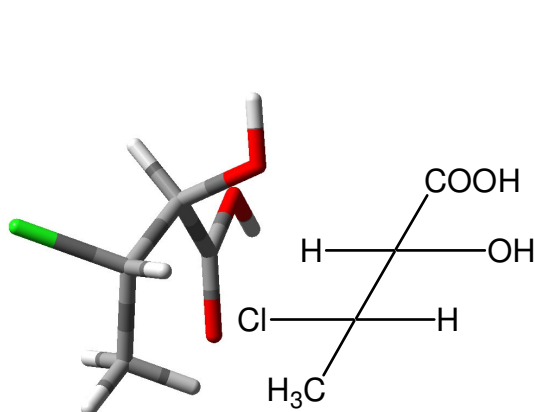
konvenció:

- a főláncot függőlegesen orientáljuk,
- az összes szubsztituenst fedő állásúnak rajzoljuk:

következmény:

- a függőleges kötések a papírsík mögé vetítődnek,
- a vízszintes kötések a papírsík elé.

Bruckner I-1 364

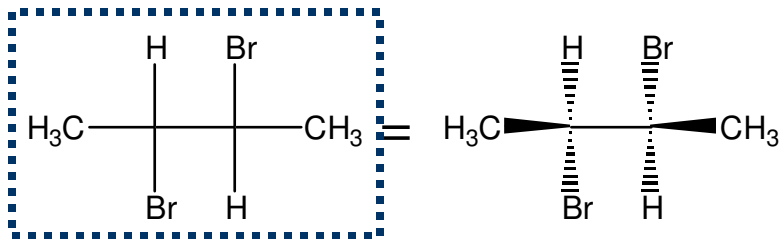


memo: A Fischer-féle konvenció értelmében a sík „irányai” hordozzák a molekula térbeliségének információját.

kérdés: mit lehet csinálni és mit nem egy Fischer-féle projekciós képlettel anélkül, hogy a konfigurációt megváltoztatnánk?

válasz:

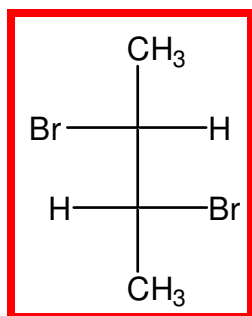
A-val nem azonos szerkezet (S,S)



90° forgatás
a papír síkjában

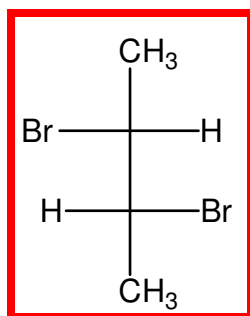
180° forgatás

a papír síkjára
merőleges síkban
(tükrözés)

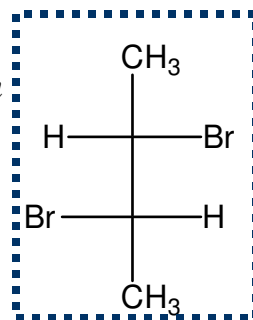


A-val azonos
szerkezet

180° forgatás
a papír síkjában

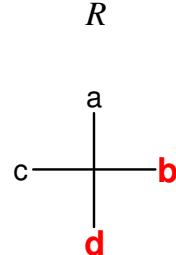
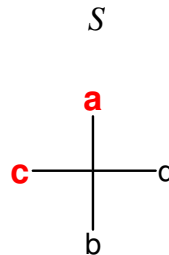
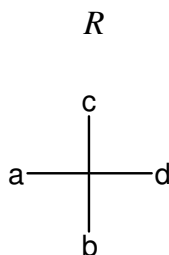


A (R,R)

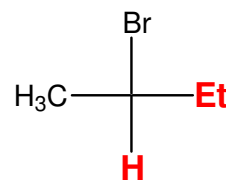
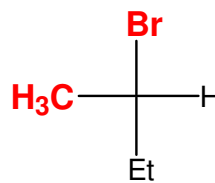
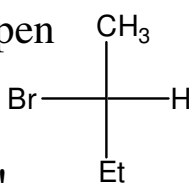


A-val nem
azonos szerkezet
A enantiomerje
(S,S)

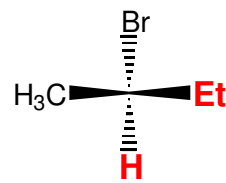
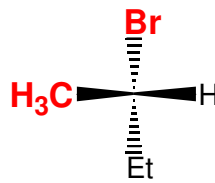
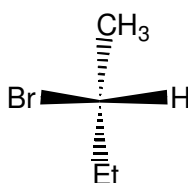
kérdés: szabad-e a szubsztituenseket felcserélni, ha a konfigurációt meg kívánjuk őrizni?



válasz: igen, a projekciós képen **páros számú cserét** végre szabad hajtani, páratlan számút nem!



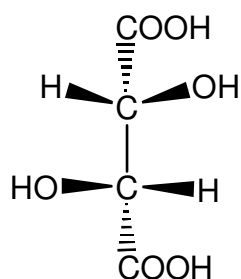
példa:



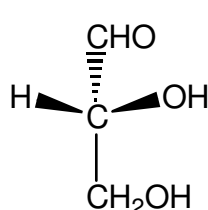
kérdés: mi a relatív konfiguráció?

válasz: 1951 előtt csak relatív (egymáshoz viszonyított) konfigurációk voltak ismertek, J.M.Bijvoet volt az első aki a röntgendiffrakció segítségével először megállapította a (+)-borkősav tényleges térszerkezetét

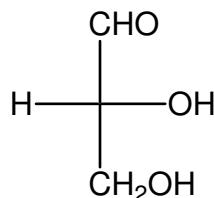
korábban csak egy optikailag aktív alapvegyülethez (pl. glicerin aldehid) viszonyított konfigurációról lehetett beszélni



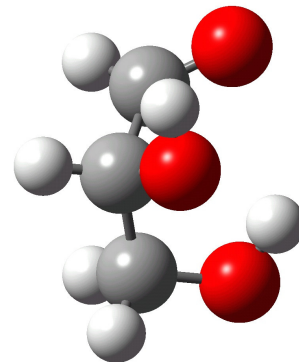
(+)-borkősav



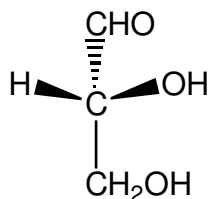
D-(+)-glicerinaldehid



R abszolút

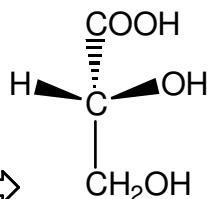
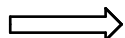


eljárás: genetikus kapcsolat keresése, avagy hogyan csinálnánk meg a szóbanforgó molekulát a glicerin aldehdből úgy hogy az eredeti konfigurációt megőrizzük:



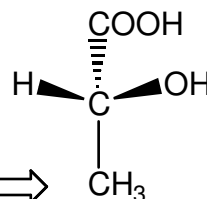
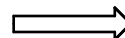
D-(+)-glicerinaldehid

R abszolút
D relatív



2,3-dihidroxipropionsav

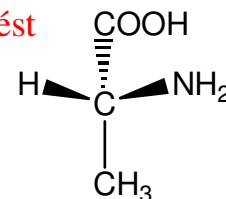
R abszolút
D relatív



D-(-)-tejsav

R abszolút
D relatív

nem
megengedett
lépés mert
a C-O kötéset
el kellene
szakítani



D-(-)-alanin

R abszolút
D relatív

megjegyzés: a D-glicerinaldehdből két szubsztituens kémiai átalakításával (de a konfiguráció megőrzésével kapjuk a D-tejsavat.)

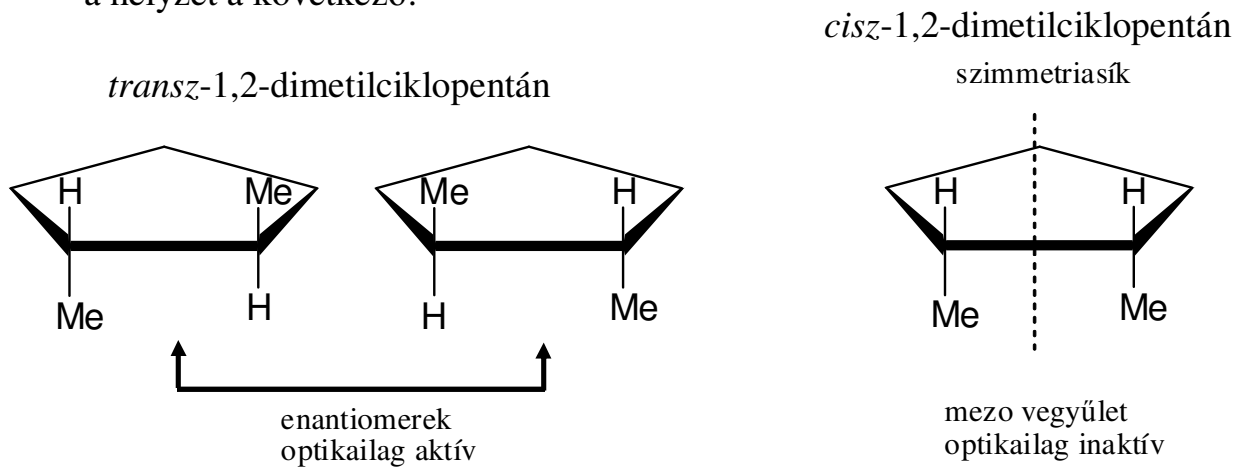
Ugyanakkor amíg a D-glicerinaldehid forgatása pozitív (jobbra forgat), addig a belőle származtatott D-tejsav forgatása negatív (balra forgat).

Ilyen az élet!

memo: A D-tejsavból egy -OH, -NH₂ cserével kapjuk a D-alanint.

kérdés: mi a helyzet ha a két vagy több kiralitáscentrum gyűrűbe van zárva?

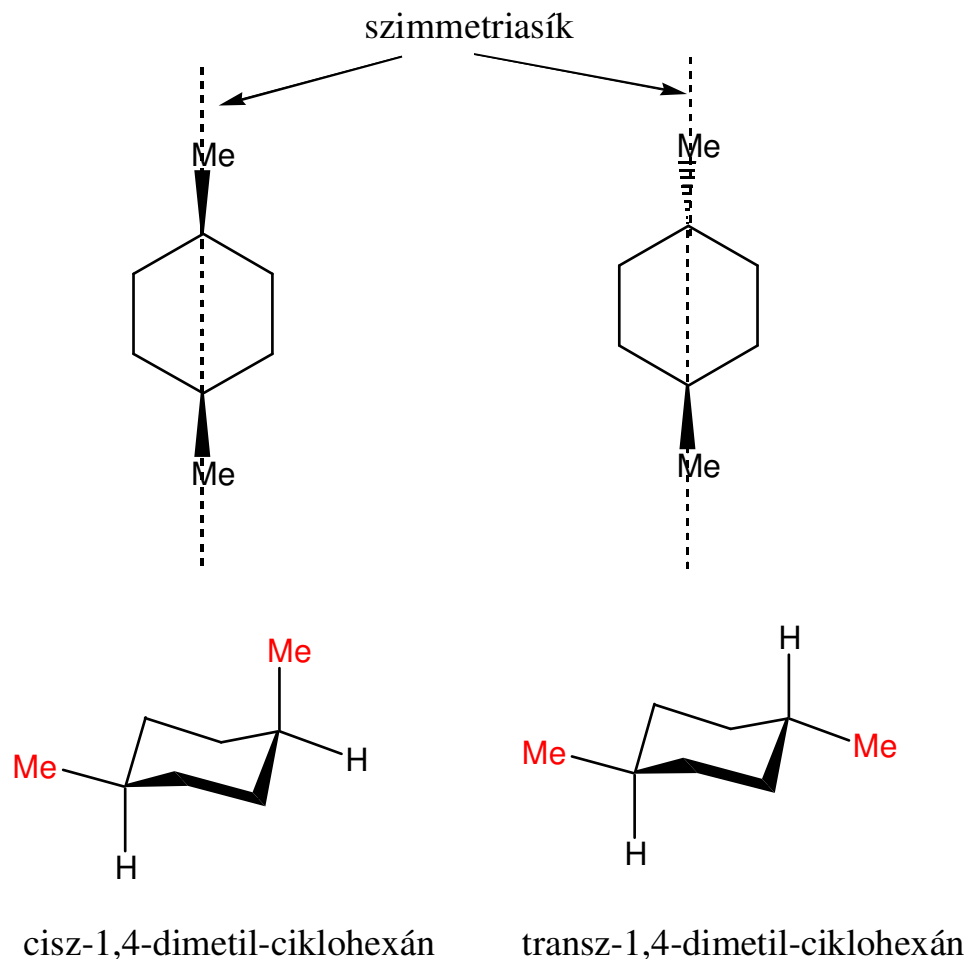
válasz: ciklopentán származékok esetén, a gyűrű kvázi síkalkata miatt a helyzet a következő:



kérdés: mi a helyzet ha a két kiralitáscentrum egy hattagú **gyűrűbe van zárva**?

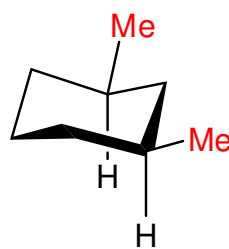
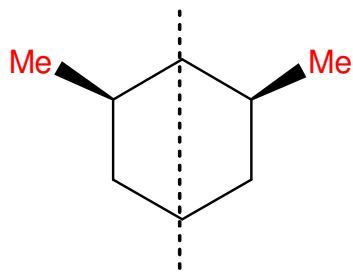
válasz: a ciklohexán esetében külön fejezetek az 1,4- az 1,3- és az 1,2- diszubsztituált származékok helyzete:

az **1,4-dimetilciklohexán**:



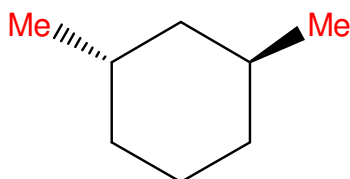
memo: nincs négy különböző szubsztituenszt tartalmazó szén, nincs sztereocentrum, nincs optikailag aktív forma.

a **cisz-1,3-dimetilcikohexán**:

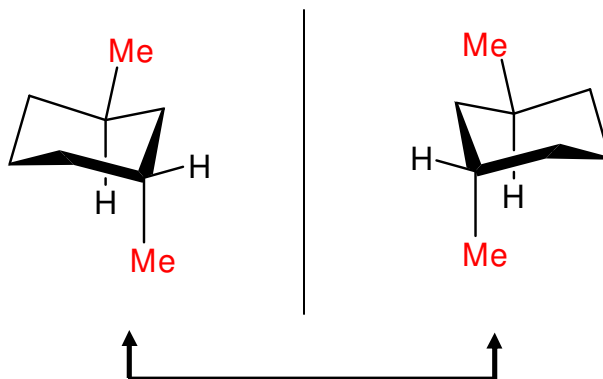


rendelkezik szimmetriasíkkal
ezért **akirális**

a **transz-1,3-dimetilcikohexán**:



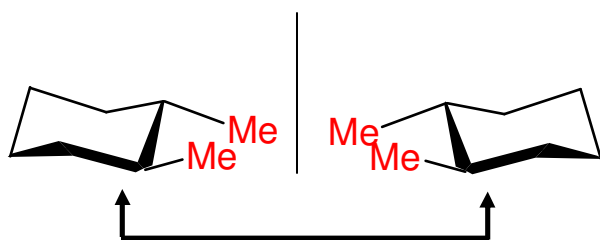
nincs szimmetriasík
ezért **királis**,
az enantiomerpár létezik



tehát:

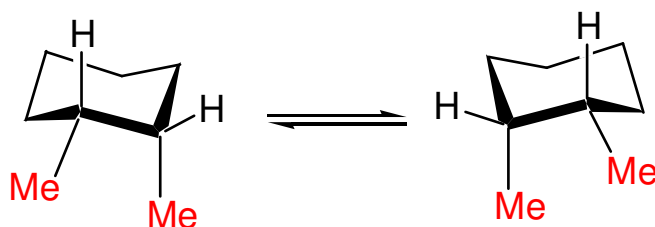
elvileg két kiralitáscentruma van ezért 4 sztereoizomert várunk:
de: - cisz esetben akirális, tehát itt csupán egyetlen szerkezet van
- transz esetben létezik az enantiomerpár, azaz két szerkezet van
összesen tehát **3 sztereoizomer** létezik

a **transz-1,2-dimetilcikohexán**:



transz-1,2-dimetil-ciklohexán
enantiomerpárja

a **cisz-1,2-dimetilcikohexán**



cisz-1,2-dimetil-ciklohexán
konformációs sztereoizomerek
amelyek egymásba alakulnak

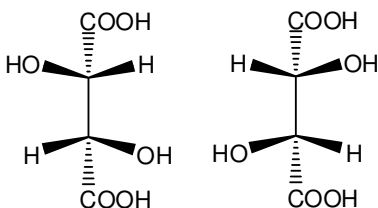
memo: példa a konformációs sztereoizoméria jelenségére!

memo: a diasztereomerek számos fizikai és kémiai paramétere különbözik, így azok szétválasztása elvileg egyszerű

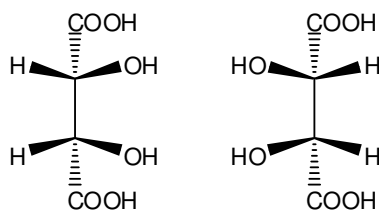
kérdés: hogyan lehet kísérleti úton enantiomereket szétválasztani?

történelem: Louis Pasteur (1848) a (+)-borkősav és a (-)-borkősav **kristályait** nagyító alatt különbözőnek találta (a két kristály egymás fedésbe nem hozható tükörképi párja) szétválasztotta azokat nagyító alatt, majd feloldva külön-külön, ellentétes előjelű, de azonos nagyságú forgatást mért.

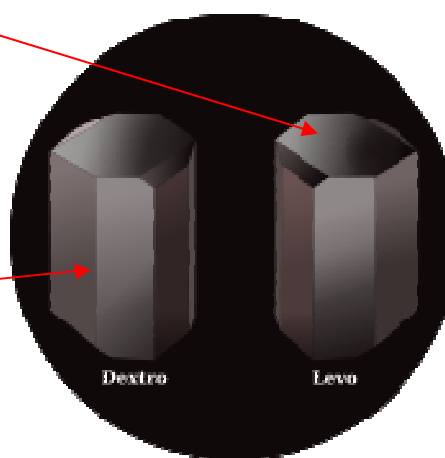
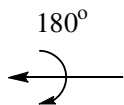
D-(S,S)-(-)-borkősav
levotartaric acid



L-(R,R)-(+)-borkősav
dextrotartaric acid



mezo-borkősav (opt. inaktív)



Louis Pasteur
(1822- 1895)

vízoldhatósága = 133 g/100ml (20°C)

memo: a borkősav (antioxidáns: E334) a borászat mellékterméke (a szőlőben lévő természetes sav)

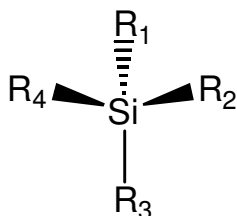
kérdés: hogyan lehet ezt akkor megtenni, ha az enantiomerek **nem kristályosodnak**?

válasz: rezorválással: az enantiomerpárból diasztereomerpárt csinálunk

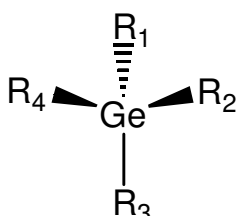
memo: lehet rezolválni királis szerves molekulákkal (királis HPLC), enzimekkel, stb.

kérdés: lehet-e a szénen kívül más atom is sztereocentrum?

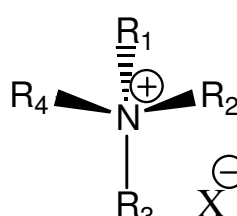
válasz: igen, minden atom amelyiknek 4 különböző „liganduma” van:



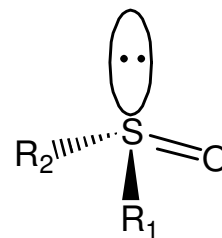
szilánok



germánok



ammóniumsók



szulfoxidok

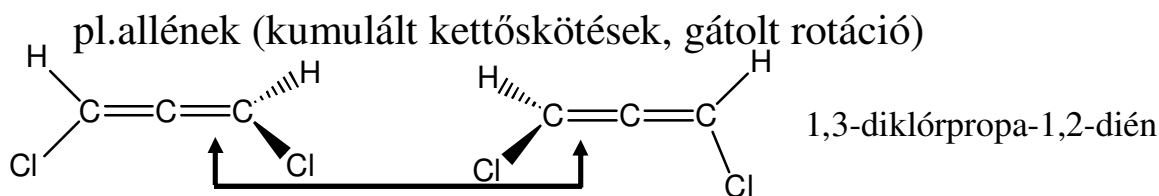
kérdés: lehet-e királis egy molekula tetraéderes központi atom nélkül?

válasz: igen, ha van nem szuperponálható tükörképi párja:

kérdés: hány ilyen esetet különböztetünk meg?

válasz: a **pontkiralitás** mellett három eset közismert:

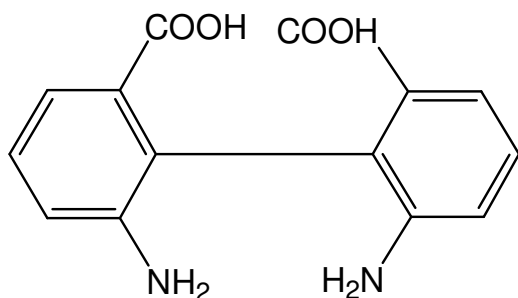
példák: - a **vonalkiralitás**



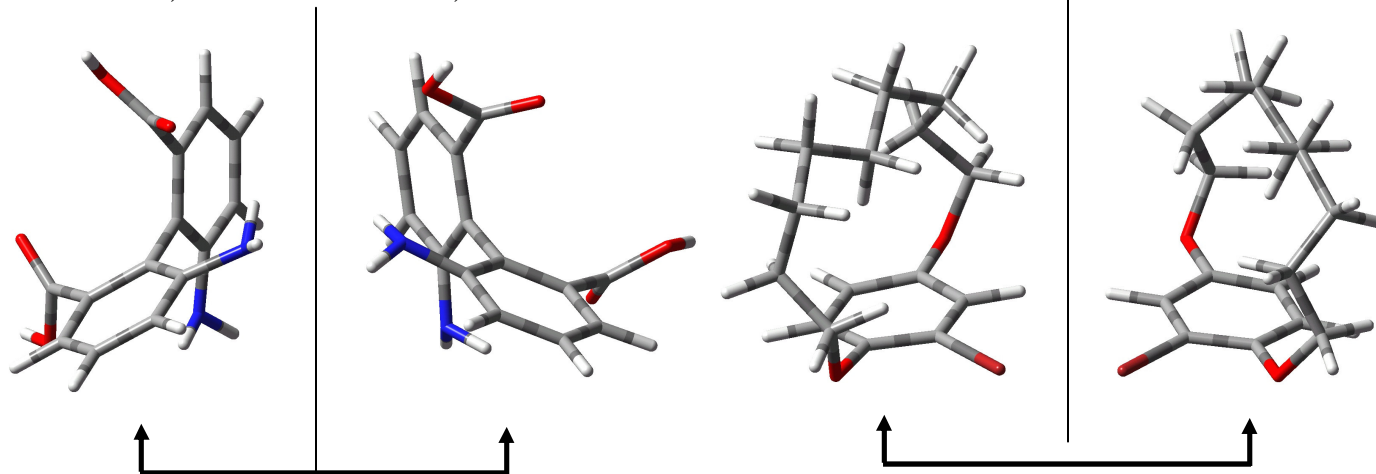
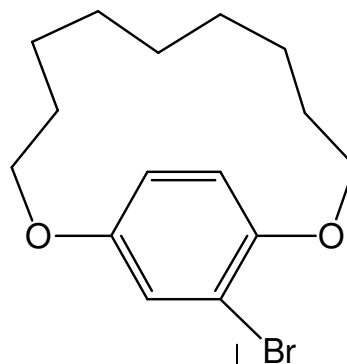
- az **anza kiralitás** (fellép az atropizoméria jelensége: szterikus okok miatt két rotamer nem tud egymásba alakulni)

-(CH₂)_n- n=9 nem tud átfordulni; enantiomerek

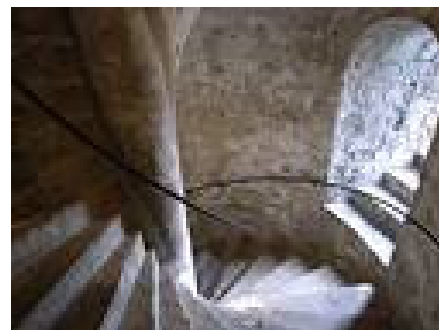
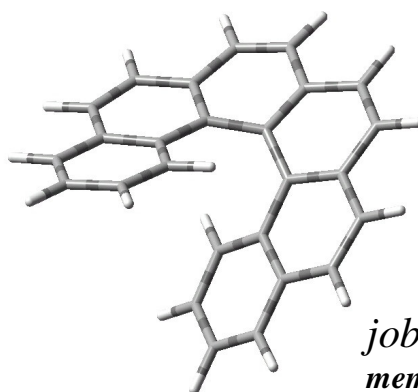
-(CH₂)_n- n=12 már át tud fordulni; azonosak



6,6'-diamino-bifenil-2,2'-dikarbonsav



- a **helikális kiralitás**
pl. hexahelicének
(szterikus okok miatt
pl. jobbmenetes)



jobbkezes lépcső, jobbkezes lovag
memo: balkezes nem lehetett lovag, mert a balkezesség az ördögtől való dolog.

izomerek besorolása:

