

# Aineilla on erilaisia reaktioita

KEMIALLINEN  
REAKTIO, KE4

## Määritelmä, reaktiomekanismi:

*Reaktiomekanismi* on yksityiskohtainen malli, joka selittää atomi- ja elektronitasolla, miten reaktio tapahtuu. Siis malli, jolla kuvataan mitkä lähtöaineiden sidokset aukeavat ja millaisia uusia sidoksia muodostuu reaktion eri vaiheissa.

Mallin on kyettävä selittämään myös *miten* sidokset katkeavat/muodostuvat, miten elektroniryhmät ryhmittyvät uudelleen ja missä järjestyksessä ilmiöt tapahtuvat. Vaikka mekanismia ei voida suoraan havaita, niin päättelyn kautta voidaan sulkea eri mekanismivaihtoehtoja pois. Usein jääkin vain yksi jäljelle.

Reaktiomekanismin kuvaamiseen käytetään mahdollisimman tarkkoja rakennekaavoja sekä **erilaisia nuolia**, jotka kuvaavat elektronien liikettä. Orgaanisissa yhdisteissä reaktiot tapahtuvat pääsääntöisesti *funktionaalisissa ryhmissä*.

**Tänä päivänä hyödynnetään laskennallista kemiaa reaktiomekanismien määrittämisessä/selvittämisessä!**

Reaktioita voidaan luokitella seuraavasti:

- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Palaminen                     | 5. Protoninsiirtoreaktio (protoly.) |
| 2. Hapettuminen ja pelkistyminen | 6. Neutraloituminen                 |
| 3. Saostuminen                   | 7. Radikaalireaktiot (substituutio) |
| 4. Hajoaminen                    | 8. Ionireaktiot                     |

Näistä osa käsitellään luvuissa 6 ja 7.

Orgaanisille yhdisteille tyypillisiä reaktioita ovat:

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. Korvautumis- eli substituutioreaktiot, $S_N1$ , $S_N2$ | 3. Eliminaatioreaktio   |
| 2. Liittymis- eli additioreaktiot                         | 4. Kondensaatioreaktiot |
|   | 5. Hydrolyysireaktio    |

Liittymis ja eliminaatio sekä kondensaatio ja hydrolyysi ovat toistensa vastaakohtaisia reaktioita. Nämä käsitellään luvuissa 8 - 11.

Polymerointireaktiot, jotka jaetaan additio- ja kondensaatioreaktioihin, luvut 12-13.

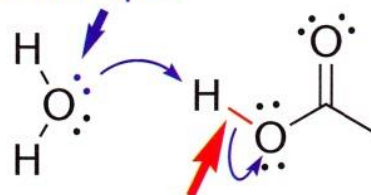
## Reaktiomekanismin piirtäminen, erityisesti luvut 8 - 11

Reaktiomekanismia piirrettäessä esitetään selkeästi, mitkä molekyylin elektronit lähtevät liikkeelle toista molekyyliä kohti ja muodostavat uuden sidoksen. Samalla esitetään mikä sidos tai mitkä sidokset katkeavat. Pyritään piirtämään reagoivat molekyylit keskenään oikeaan asentoon.

Sidoselektronien liikkeitä sidosten katkeamisessa/muodostuksessa kuvataan kaarinuolten avulla. Kaarinuoli kertoo mikä sidos tai elektronipari hyökkää eli muodostaa sidoksen ja mikä sidos katkeaa ja minne elektronit päätyvät.

On sovittu, että **nuolen suunta ilmaisee elektronien liikesuunnan**.

Hapen vapaa elektronipari



Punaisen sidoksen kaksi elektronia

- ↪ Kuvaa kahden elektronin, kuten vapaan elektroniparin tai sidoselektroniparin, liikettä.
- ↪ Kuvaa yhden elektronin liikettä.
- Kuvaa reaktion suuntaa.
- ⇌ Kuvaa tasapainoreaktiota. Tuotteet voivat reagoida takaisin lähtöaineiksi.

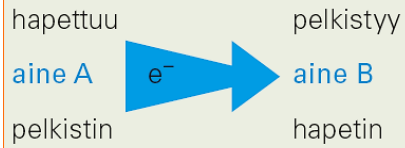
Tarvitaan aina vähintään kaksi kaarinuolta: toinen kuvaamaan sidoksen katkeamista ja toinen kuvaamaan sidoksen muodostumista.

### Missä reaktio tapahtuu?

Tavallisesti reaktioissa molekyylin se kohta, jossa on paljon vapaita elektroneja "hyökkää" toisen molekyylin siihen kohtaan, jossa on elektronien vajoaus. Tällaisia kohtia, joissa on vapaita elektroneja, ovat esimerkiksi vapaat elektroniparit (halogeenit, happi). Toisaalta kohtia, joissa on elektronien vajoaus, ovat poolisten sidosten positiivisen osittaisvarauksen saanut pääty. Orgaanisilla yhdisteillä funktionaaliset ryhmät.

# Hap.-pelk. (kertaus) ja palaminen

**Määritelmä, yleisesti:** Hapettuminen on elektronien luovuttamista ja pelkistyminen on elektronien vastaanottamista. Hapettuminen ja pelkistyminen tapahtuvat aina yhdessä. Jos aine A hapettuu, niin aine B pelkistyy.



## Hiiliyhdisteiden hapettuminen (+O/−H)/pelkistyminen (−O/+H) :

Hiiliyhdiste hapettuu, kun sen happiatomien lukumäärä kasvaa tai vetyatomien lukumäärä vähenee. Vastaavasti hiiliyhdiste pelkistyy, kun sen happiatomien lukumäärä vähenee tai vetyatomien lukumäärä kasvaa.

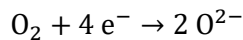
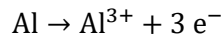
Orgaanisten yhdisteiden hapet.-pelkist. käytiin opintojaksolla 2.

Hapettavana aineena voidaan käyttää esimerkiksi kaliumpermanganaattia  $\text{KMnO}_4$  tai natrium/kaliumdikromaattia  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

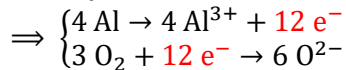
## Hapetus-pelkistys

Hapettumista ja pelkistymistä voidaan kuvata erillisillä reaktioyhtälöillä, ns. **osa- tai puolireaktiot**. Kun nämä yhdistetään saadaan kokonaisreaktio, **op.jakso 5**.

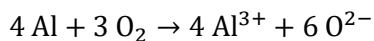
Alumiinin palaminen:



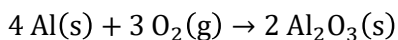
Tasapainotetaan elektronit, kerrotaan 4:llä ja 3:lla:



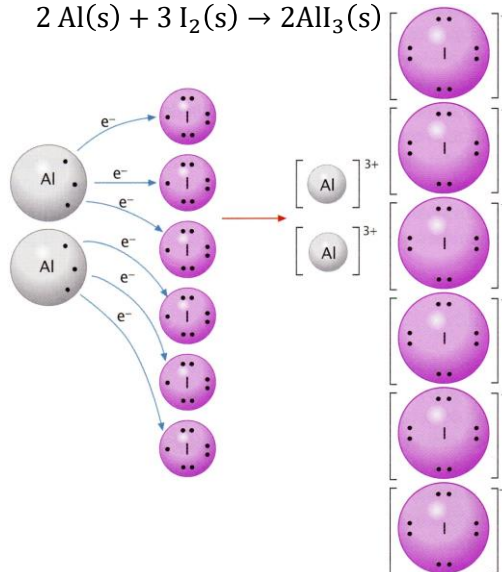
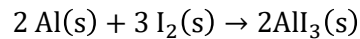
Kokonaisreaktioksi tulee:



Lopullinen reaktioyhtälö:



Alumiinin ja jodin reaktio. Lopullinen reaktioyhtälö:



## Palaminen on aineen reagoimista hapen kanssa

### Määritelmä, palamisreaktio:

Palamisreaktiossa palava aine reagoi hapen  $O_2$  kanssa. Tuotteet ovat palavan aineen sisältämien alkuaineiden oksideja. (Happi pelkistyy ja palava aine hapettuu.) Vertaa edellinen dia!

**Huomautus** Palamisreaktio tuottaa lämpöä eli on eksoterminen.

Jos palava yhdiste koostuu vedystä ja hiilestä, muodostuu vedyn ja hiilen palamistuotteita eli oksideja: vettä ja hiilidioksidia.

Muista, että palamisreaktioissa veden olomuoto on kaasu (g) eikä neste (l).



## Syttyminen vaatii riittävän korkean lämpötilan

### Määritelmä, leimahduspiste:

Aineen leimahduspiste kuvaa sitä lämpötilaa, jossa aineesta höyrystyy riittävästi kaasua, jotta se voi syttyä palamaan (höyrystyneen aineen ja ilman hapen muodostama seos).

Kun aineen on kerran saanut syttymään, palamisreaktio lämmittää ainetta. Tämän seurauksena palavaa ainetta höyrystyy lisää ja palaminen jatkuu itsestään.

### Syttymisen edellytykset:

- syttyvän aineen lämpötila on korkeampi kuin sen leimahduspiste
- palamisreaktion käynnistämiseen tarvittava energia saadaan esimerkiksi palavasta tulitikusta tai kipinästä.

### Palamisen edellytykset:

- palava aine eli polttoaine
- riittävä lämpötila
- happi tai happea sisältävä ilma

**Sammutus perustuu aina jonkun näistä kolmesta poistamiseen!**

**Harjoitus** Mitä hiilen, rikin ja typen oksideja tiedät nimeltä?  
Mitkä ovat näiden oksidien kaavat?

Esimerkiksi hiilen oksideja ovat  $\text{CO}$  = hiilimonoksidi  
 $\text{CO}_2$  = hiilidioksidi  
rikin oksideja ovat  $\text{SO}_2$  = rikkidioksidi  
 $\text{SO}_3$  = rikkiatrioksidi  
typen oksideja ovat  $\text{NO}$  = typpimonoksidi  
 $\text{NO}_2$  = typpidioksidi  
 $\text{NO}_3$  = typpitrioksidi  
 $\text{N}_2\text{O}$  = dityppioksidi  
 $\text{N}_2\text{O}_4$  = dityppitetraoksidi



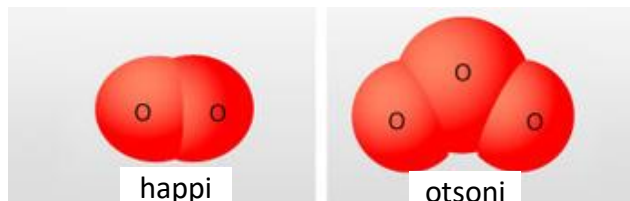
## Oksidit

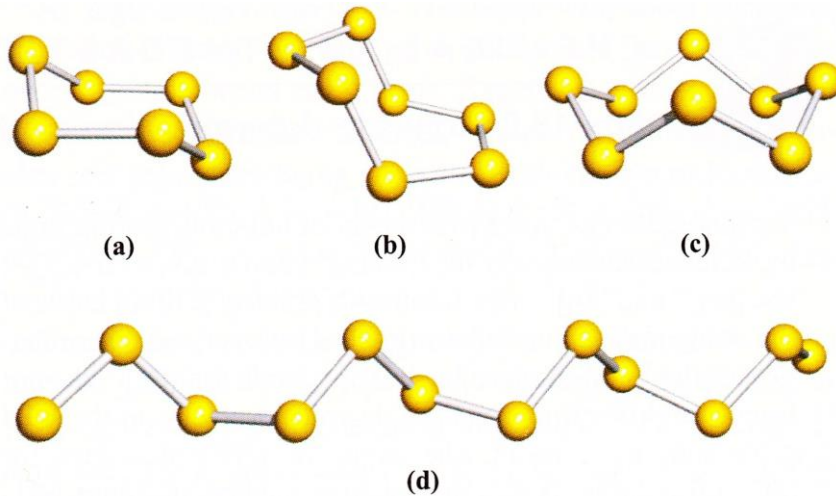
Vaikka vety on maailman kaikkeuden yleisin alkuaine, niin maankuoren ”valti-  
as” on happi O (noin puolet massasta). Myös muiden planeettojen kuorissa  
on runsaasti happea. Poikkeuksen Maa tekee siinä, että myös ilmakehässä on  
happea runsaasti, 21 %.

### Määritelmä, allotropia:

*Allotropialla* tarkoitetaan saman alkuaineen atomien erilaista järjestymistä  
(erirakenteisia muotoja) samassa olomuodossa.

Hapella on kaksi tunnettua allotrooppista muotoa, happi  $\text{O}_2$  ja otsoni  $\text{O}_3$ .  
 $\text{O}_2$ -molekyylissä happiatomien välinen sidos on erittäin luja, joten  $\text{O}_2$  tarvit-  
see aktivointia reagoidakseen. Sen sijaan otsoni  $\text{O}_3$  on reaktiivisempaa. Sitä  
esiintyy yläilmakehässä → katso lisädiat ”radikaalireaktiot”.

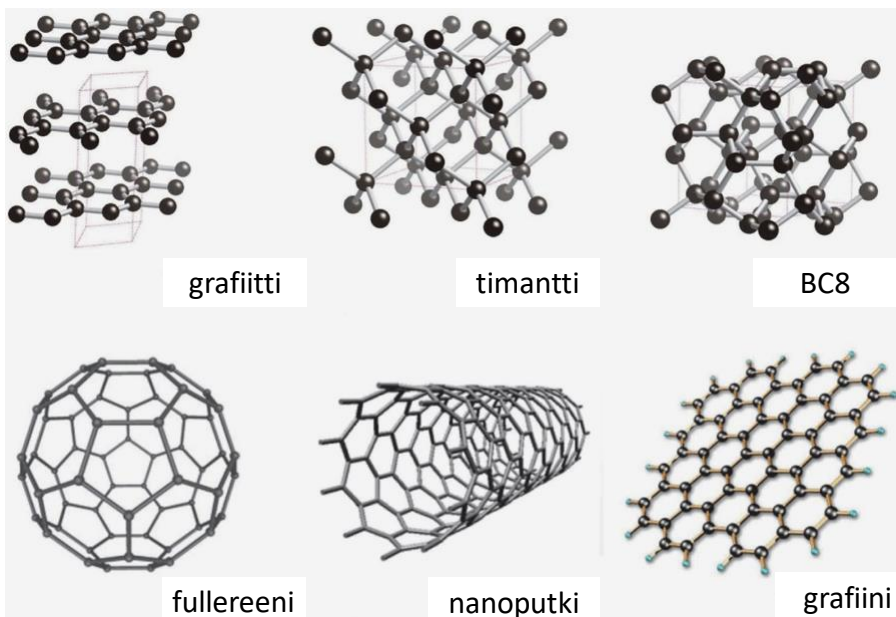




**Fig. 16.6** Representations of the structures of some allotropes of sulfur: (a)  $S_6$ , (b)  $S_7$ , (c)  $S_8$  and (d) *catena*- $S_\infty$  (the chain continues at each end).

Muutamien rikin alltrooppisten rakenteiden esitysmuotoja: a)  $S_6$ -rengas, b)  $S_7$ -rengas, c)  $S_8$ -rengas ja d) *catena*- $S_\infty$ -ketju.

Hiilen alltrooppisia muotoja.



**Määritelmä, oksidi:**

Alkuaineiden happiyhdisteitä kutsutaan *oksideiksi*.

Epämetallien oksidit ovat kovalenttisia ja molekyylien välillä on vain heikkoja sidoksia: dipoli-dipolisidoksia ja dispersiovoimia. Siksi ne ovat kaasuja huoneenlämpötilassa. Epämetalleille on tyypillistä, että ne voivat muodostaa erilaisia oksideja, joissa epämetalliatomien ja happiatomien suhde vaihtelee.

Metallien oksidit ovat ionisia. Vahvojen ionisidosten vuoksi metallioksidien sulamispisteet ovat korkeita. Esimerkiksi magnesiumoksidin  $MgO$  sulamispiste on  $2800\text{ °C}$  ja alumiinioksidin  $Al_2O_3$  sp.  $2054\text{ °C}$ .

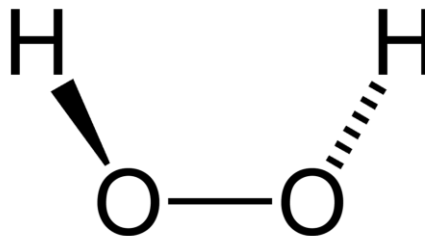
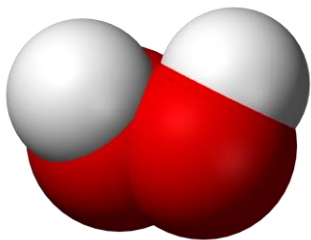
<b>Yhdiste</b>	$Li_2O$	$BeO$	$B_2O_3$
<b>Sidostyyppi</b>	ionisidos	ionisidos	kovalenttinen, verkkomainen polymeerirakenne
<b>Olomuoto 25 °C:ssa</b>	kiinteä	kiinteä	kiinteä
<b>Yhdiste</b>	$CO_2$	$NO_2$	$OF_2$
<b>Sidostyyppi</b>	kovalenttinen	kovalenttinen	kovalenttinen
<b>Olomuoto 25 °C:ssa</b>	kaasu	kaasu	kaasu

**Määritelmä, peroksidit:**

Yhdisteitä, joissa on  $O - O$ -ryhmä, kutsutaan peroksideiksi.

Vaikka kaksoissidoksellinen  $O = O$ -sidon onkin vahva niin peroksidien yksinkertainen  $O - O$   $\sigma$ -sidon katkeaa helposti. Peroksidit ovat hyviä hapettimia!

Tärkein peroksidi on vetyperoksidi  $H_2O_2$ , jota käytetään hapettimena ja mm. valkaisuaineena. Ennen (esim. 50-luvulla) haavojen puhdistamiseen.



Oksideissa hapen hapetusluku on tavallisesti  $-II$ . Poikkeuksen tekevät peroksidit, joissa hapetusluku on  $-I$ .

Tarkastellaan seuraavaa taulukkoa, jossa elektronegatiivisuusarvojen erotukset. Mitä havaitaan?

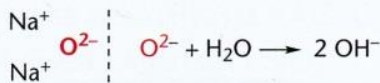
$\text{Li}_2\text{O}$ 3,5 – 1,0 = 2,5 emäs	$\text{BeO}$ 2,0 emäs	$\text{B}_2\text{O}_3$ 1,5 happo	$\text{CO}_2$ 1,0 happo	$\text{N}_2\text{O}_5$ 0,5 happo		
$\text{Na}_2\text{O}$ 2,7 emäs	$\text{MgO}$ 2,3 emäs	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 2,0 amfolyytti	$\text{SiO}_2$ 1,7 happo	$\text{P}_4\text{O}_{10}$ 1,4 happo	$\text{SO}_3$ 1,0 happo	$\text{Cl}_2\text{O}_7$ 0,5 happo
$\text{K}_2\text{O}$ 2,7 emäs	$\text{CaO}$ 2,5 emäs	$\text{Ga}_2\text{O}_3$ 1,9 amfolyytti	$\text{GeO}_2$ 1,7 happo	$\text{As}_2\text{O}_5$ 1,5 happo	$\text{SeO}_3$ 1,1 happo	$\text{Br}_2\text{O}_5$ 0,7 happo
$\text{Rb}_2\text{O}$ 2,7 emäs	$\text{SrO}$ 2,5 emäs	$\text{In}_2\text{O}_3$ 1,8 emäs	$\text{SnO}_2$ 1,7 amfolyytti	$\text{Sb}_2\text{O}_5$ 1,6 happo	$\text{TeO}_3$ 1,4 happo	$\text{I}_2\text{O}_5$ 1,0 happo
$\text{Cs}_2\text{O}$ 2,8 emäs	$\text{BaO}$ 2,6 emäs	$\text{Tl}_2\text{O}_3$ 1,7 emäs	$\text{PbO}_2$ 1,6 amfolyytti	$\text{Bi}_2\text{O}_5$ 1,6 happo		

### Määritelmä, amfolyytti:

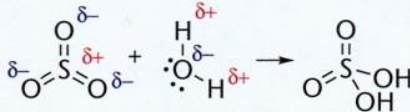
*Amfolyytti* on aine, joka voi toimia joko happona tai emäksenä  $\rightarrow$  6.opintoj.

### Happamat ja emäksiset oksidit

- A** Emäksisissä oksideissa on emäksisiä oksidi-ioneja.



- B** Happamissa oksideissa on kovalenttisia sidoksia ja keskusatomilla on positiivinen osittaisvaraus.



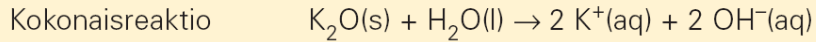
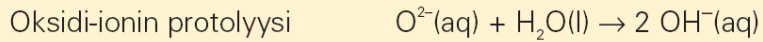
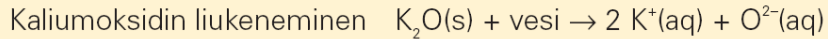
Oksidi on sitä happamampi, mitä suurempi on keskusatomin hapetusluku eli mitä enemmän siinä on hapetta.

Emäksisissä oksideissa on emäksisiä oksidi-ioneita  $\text{O}^{2-}$  ja happamissa oksideissa on epämetallinen keskusatomi, jolla positiivinen osittaisvaraus.

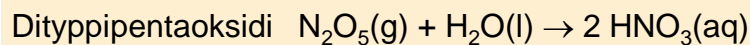
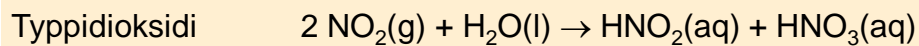
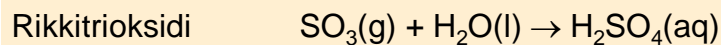
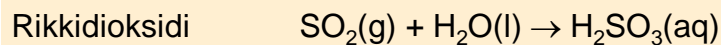
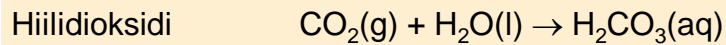
<b>Yhdiste</b>	$\text{Li}_2\text{O}$			
<b>Elektronegatiivisuuksien erotus <math>\Delta\chi</math></b>	3,5 – 1,0 = 2,5			
<b>Emäksisyys tai happamuus</b>	emäs			
<b>Yhdiste</b>	$\text{Na}_2\text{O}$			
<b>Elektronegatiivisuuksien erotus <math>\Delta\chi</math></b>	2,7			
<b>Emäksisyys tai happamuus</b>	emäs			
<b>BeO</b>	<b><math>\text{B}_2\text{O}_3</math></b>	<b><math>\text{CO}_2</math></b>	<b><math>\text{N}_2\text{O}_5</math></b>	<b>–</b>
2,0	1,5	1,0	0,5	
emäs	heikko happo	happo	happo	
<b>MgO</b>	<b><math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></b>	<b><math>\text{SiO}_2</math></b>	<b><math>\text{P}_4\text{O}_{10}</math></b>	<b><math>\text{SO}_3</math></b>
2,3	2,0	1,7	1,4	1,0
emäs	amfoteerinen	heikko happo	happo	happo



Ionirakenteiset ja vahvasti pooliset yhdisteet liukenevat veteen ioneina → muodostuu emäksisiä oksidi-ioneita  $O^{2-}$ .



Epämetallioksidit kovalenttisinä yhdisteinä, liukenevat veteen molekyyleinä ja voivat reagoida vesimolekyylien kanssa happihapoksi.



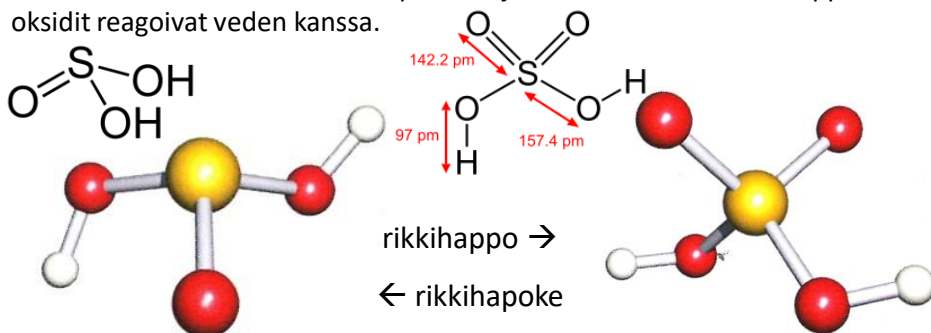
## Rikin oksidit ja rikkihappo

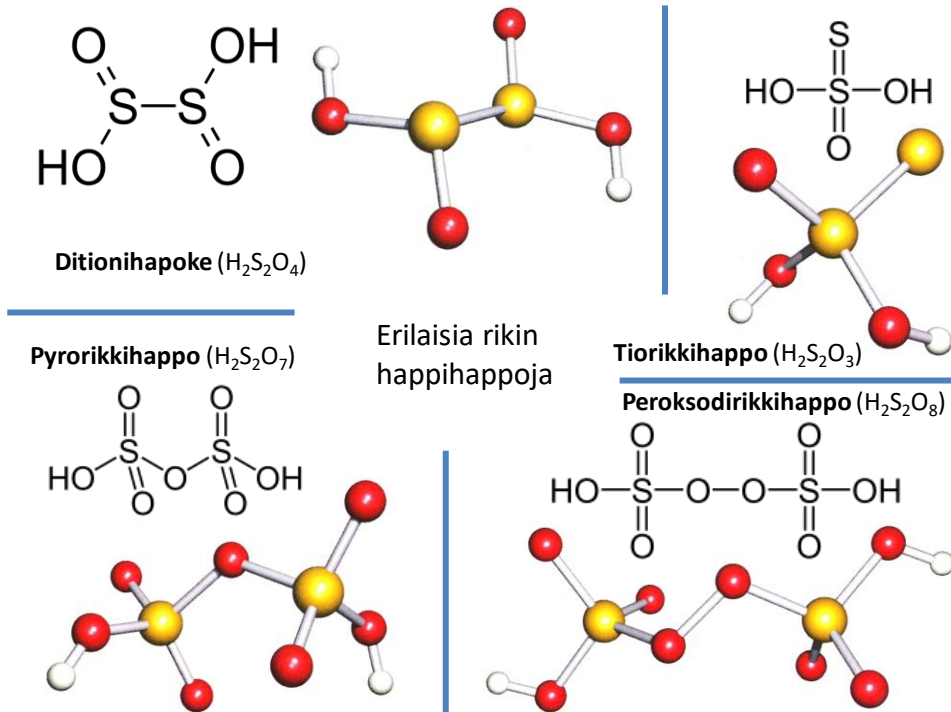
### Määritelmä, happihapot:

Happihapot ovat happea sisältäviä happoja. (Lisää 6.-opintojaksolla.)

Kun rikkiä ja rikkipitoisia yhdisteitä poltetaan ilmassa,  $S + O_2 \rightarrow SO_2$ , syntyy ensin rikkidioksidia  $SO_2$ . Se on pistävän katkuista kaasua. Rikkidioksidi hapetuu edelleen,  $2 SO_2 + O_2 \xrightarrow{V_2O_5} 2 SO_3$ , rikkiatrioksidiksi  $SO_3$ , katalyyttinä vanaadiinipentaoksidi  $V_2O_5$  tai valo.

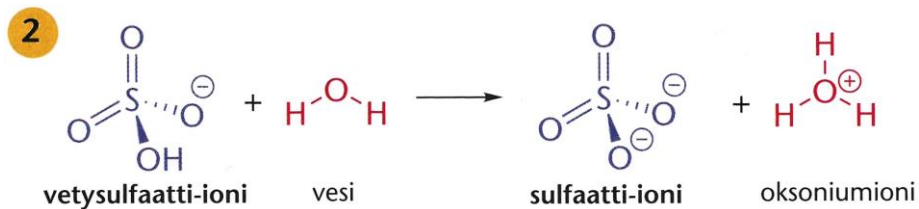
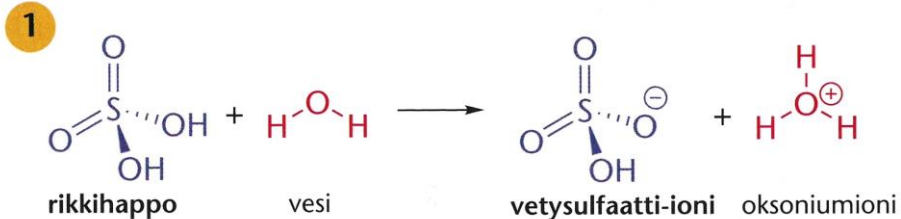
Rikkidioksidista saadaan rikkihapoketta ja rikkiatrioksidista rikkihappoa kun oksidit reagoivat veden kanssa.





Rikkihappo on maailman tuotetuin kemikaali → lannoite, kemianteollisuus, paperiteollisuus jne.

Happoa, joka voi luovuttaa kaksi protonia, kutsutaan **diproottiseksi**. Rikkihaposta voi syntyä kahdenlaisia suoloja: vetysulfaatteja ja sulfaatteja. Vetysulfaatit ovat happamia, koska vetysulfaatti-ioni voi toimia vielä happona. Edelleen, happo voi olla jopa on kolmenarvoinen, esim. fosforihappo  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .



# Protolysoituminen on protoninsiirtoreaktio

**Määritelmä:** Happo on aine, joka voi luovuttaa vetyionin  $H^+$  eli protonin ja vastaavasti emäs on aine, joka voi vastaanottaa protonin. (Tämä on Brønstedtin – happo – emäs määritelmä. Laajempi tapa olisi Lewisin happo-emäs – määritelmä.)

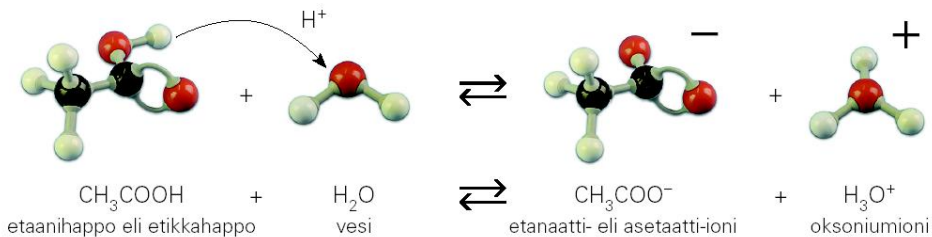
Happojen ja emästen **vesiliuoksissa** tapahtuu protolysoitumista, eli vetyionin  $H^+$  siirtymistä. Muodostuu joko *oksoniumioni*  $H_3O^+$  tai *hydroksidi-ioni*  $OH^-$ .

**Tärkeää!** Vesiliuoksessa olevat oksoniumionit  $H_3O^+$  aiheuttavat happamuuden ei happo! Vastaavasti vesiliuoksessa olevat hydroksidi-ionit  $OH^-$  aiheuttavat emäksisyyden ei emäs!

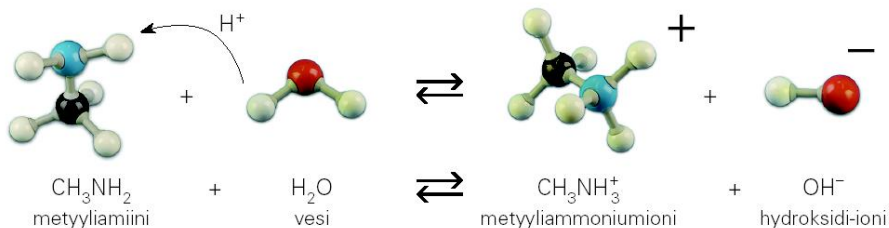
Vesiliuoksessa on aina molempia ioneita (veden autoprotolyysi) ja kumpaa lajia on enemmän määrää liuoksen happamuuden tai emäksisyyden. Tarkempi tarkastelu opintojaksolla 6.

## Protoninsiirtoreaktioita

Etikkahapon reaktio vedessä:

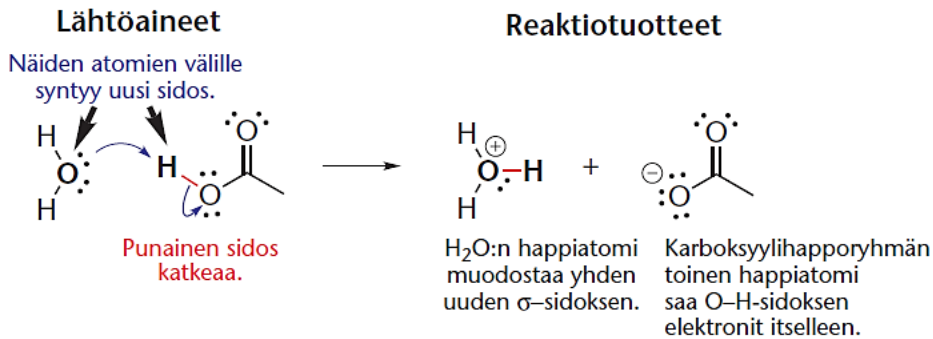


Metyyliamiinin reaktio vedessä:



## Yhteenveto

- Protonisiirtoreaktioissa happo luovuttaa protonin  $H^+$  eli vety-ytimen emäkselle. Emäs siis ottaa vastaan.
- Reaktiomekanismia kuvataan piirtämällä kaarinoilet, jotka kuvaavat elektroniparien liikkeitä.
- Nuolen suunta osoittaa elektronien liikesuunnan ja kertoo, mihin uusi sidos muodostuu ja mistä vanha sidos katkeaa.

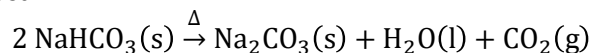


## Hajoamisreaktiot

Hajoamisreaktioissa yhdiste hajoaa lämmön tai valon vaikutuksesta toisiksi yhdisteiksi, joskus jopa alkuaineikseen. Helposti hajoavia yhdisteitä ovat mm. vety-karbonaatit, nitraatit ja peroksidit.

Typpiyhdisteiden hajoamisreaktioita käytetään hyväksi räjähdysaineissa. Räjähdyksessä nämä yhdisteet hajoavat tuottaen runsaasti kaasumaisia reaktiotuotteita, joiden muodostuminen vapauttaa runsaasti lämpöenergiaa. Tuho-vaikutus perustuu myös nopeaan laajenemiseen  $\rightarrow$  paine.

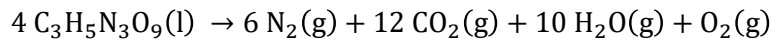
**Esimerkki 1** Leivinjauhe eli natriumvetykarbonaatti hajoaa kuumennettaessa seuraavasti



ja syntyvä hiilidioksidikaasu kohottaa taikinan.

Merkki  $\Delta$  tarkoittaa kuumentamista tai lämmittämistä.

**Esimerkki 2** Nitroglyseriini on nestemäinen räjähdysaine, dynamiitin tärkein räjähtävä aineosa. Räjähdyksessä se hajoaa nopeasti tuottaen hiilidioksidia, typpeä, vettä ja happea, jotka kaikki ovat kaasuja.



Reaktio on hyvin eksoterminen (reaktiotuotteiden vahvat kovalenttiset sidokset vapauttavat energiaa syntyessään). Painevaikutus syntyy, kun muodostuvat kaasut laajenevat nopeasti korkeassa lämpötilassa. Mikä oli nitroglyseriinin massa, kun kaasujen tilavuus NTP-olosuhteissa oli  $42,2 \text{ dm}^3$ ?

**Ratkaisu:**

Kaasujen yhteinen ainemäärä

$$n(\text{kaasut, yht.}) = \frac{V}{V_m} = \frac{42,2 \text{ dm}^3}{22,41 \text{ dm}^3/\text{mol}} = 1,8831 \text{ mol.}$$

Tasapainotetun reaktioyhtälön mukaan

$$\begin{aligned} n(\text{kaasut, yht.}) &= n(\text{N}_2) + n(\text{CO}_2) + n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{O}_2) \\ &= 6 + 12 + 10 + 1 = 29 \text{ mol.} \end{aligned}$$

Näin ollen

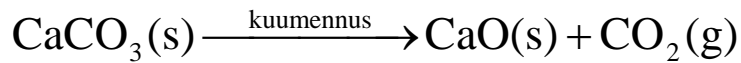
$$\frac{n(\text{nitroglys.})}{n(\text{kaasut})} = \frac{4}{29} \Rightarrow n(\text{nitroglys.}) = \frac{29}{4} \cdot 1,8831 \text{ mol} = 0,25974 \text{ mol}$$

ja massaksi tulee

$$\Rightarrow m(\text{nitroglys.}) = 0,25974 \text{ mol} \cdot 227,10 \text{ g/mol} = 58,986 \text{ g.}$$

**Esimerkkejä lisää**

Kalsiumkarbonaatti hajoaa kuumennettaessa kalsiumoksidiksi ja hiilidioksidiksi:



Vetyperoksidin hajoaminen vedeksi ja hapeksi:



TNT eli 2,4,6-trinitrotolueeni on yleisesti käytetty räjähdysaine.



TNT:n hajoamisreaktio on hyvin nopea, eikä siinä tapahdu palamista.

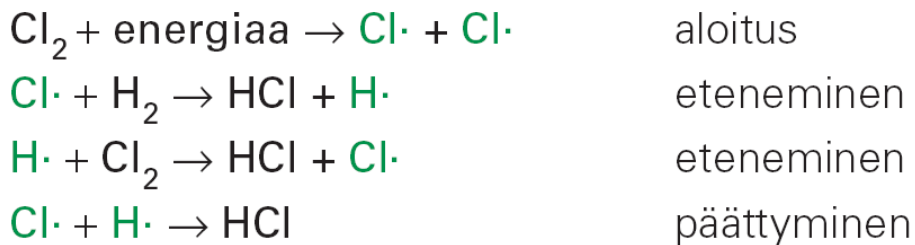
## Radikaalireaktiot\*

### Määritelmä, radikaali:

*Radikaali* (vapaa radikaali) on atomi, molekyyli tai ioni, jolla on pariton ulko-elektroni. Parittomuus syntyy, kun kovalenttinen sidos katkeaa ja molemmat atomit saavat yhden sidoselektronin. Tämän vuoksi radikaalit ovat erittäin reaktiivisia ja lähes aina törmätessään tapahtuu reaktio. Radikaalit merkitään kemiallisen kaavan viereen mustalla ympyrällä (kuvaa paritonta elektronia).

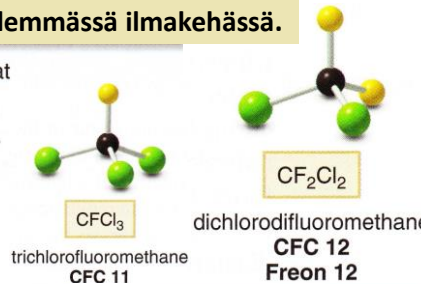
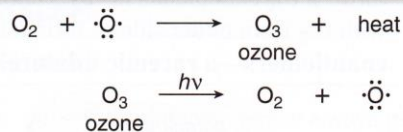
Radikaalireaktiot ovat ketjureaktioita. Siihen kuuluu aloitus (initiation), eteneminen (propagation) ja päättyminen (termination).

### Esimerkki:



**Esimerkki:** Otsonia syntyy ylemmässä ilmakehässä happimolekyylistä ja happiatomista. Otsoni myös hajoaa auringon valon myötä takaisin.

### Otsonin muodostuminen ja hajoaminen ylemmässä ilmakehässä.



Otsoni on elintärkeä → kuin suojakuori UV-säteilyltä. Ihmiset tuhosivat otsonikerrosta, kunnes tajuttiin tilanne.



### Mechanism 15.2 A Radical Chain Mechanism Leading to Ozone Destruction

#### Initiation

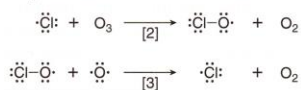
Step [1] Bond cleavage in a CFC molecule forms two radicals.



- The reaction begins with homolysis of a C–Cl bond in  $\text{CFCl}_3$ . The  $\text{Cl}\cdot$  radical formed in this step initiates the radical process.

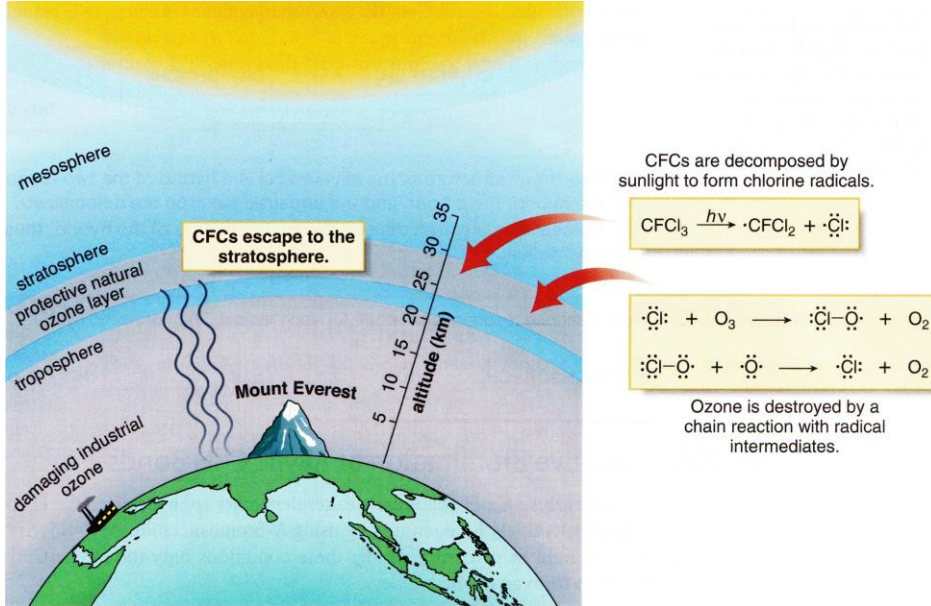
#### Propagation

Steps [2] and [3] One radical reacts and a new radical is formed in each step.



- Reaction of  $\text{Cl}\cdot$  with  $\text{O}_3$  forms chlorine monoxide ( $\text{ClO}\cdot$ ) in Step [2], which then reacts with oxygen atoms to form  $\text{O}_2$  and  $\text{Cl}\cdot$ .
- Because the  $\text{Cl}\cdot$  radical formed in Step [3] is a reactant in Step [2], Steps [2] and [3] can occur repeatedly to continue the chain.

Nykyään ponnekaasuina ei saa käyttää CFC-tuotteita, vaan muita kaasuja.



Kuvat: Organic Chemistry: Janice Gorzynski Smith, McGraw Hill

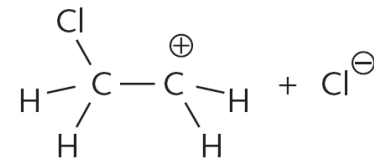
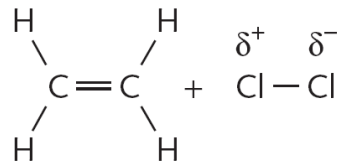
## Ionimekanismi\*

### Määritelmä, ionimekanismi:

*Ionimekanismissa* sidoselektronit jäävät kokonaan elektronegatiivisemmälle alkuaineelle (hajoamistuotteelle) ja syntyy positiivisia ja negatiivisia ioneja.

Epäorgaanisten yhdisteillä ionimekanismit ovat tuttuja → suolat.

Orgaanisilla yhdisteillä syntyy ns. karbokationi. Eli karbonyylisen ryhmän hiili (ns. karbonyylinen hiili) jää positiivisesti varautuneeksi, johon sitten hyökkää toisen molekyylin se kohta, jossa on paljon elektroneja.



väli tuotteena karbokationi

