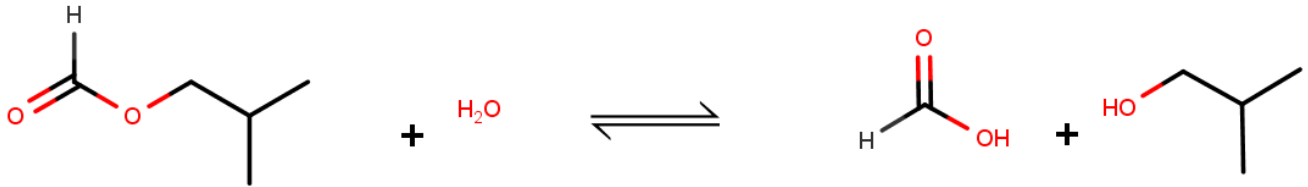


Perjantai 22.2.2019

VASTAA YHTEENSÄ 4 TEHTÄVÄÄN SITEN, ETTÄ OLET VASTANNUT TEHTÄVIIN 1-2.
HYÖDYNNÄ AINEISTOT-OSION LIITTEITÄ!

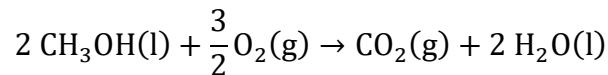
1. **MONIVALINTA** – Valitse oikea vastaus (**vain yksi on oikea**). Tarvitset taulukkotietoja.

1.1 Minkä niminen annettu reaktio (vasemmalta oikealle) on?

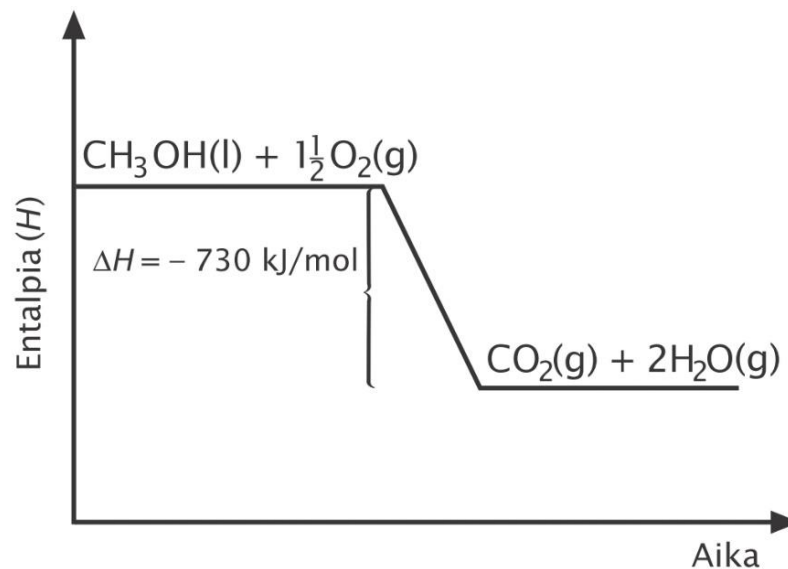


- | | |
|---|--|
| <input type="radio"/> substituutioreaktio | <input type="radio"/> kondensaatioreaktio |
| <input type="radio"/> eliminaatioreaktio | <input checked="" type="radio"/> hydrolyysireaktio |
| <input type="radio"/> protolyysireaktio | |

1.2 Metanolin täydellistä palamista kuvaava reaktioyhtälö on



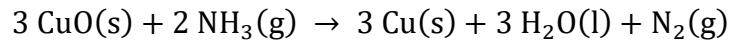
ja sitä vastaava energiakaavio on alla.



Mikä on entalpiamuutos ΔH , kun 2 moolia metanolia palaa täydellisesti?

- | | | |
|-------------------------------|--|-------------------------------|
| <input type="radio"/> +730 kJ | <input type="radio"/> +1 460 kJ | <input type="radio"/> -365 kJ |
| <input type="radio"/> -730 kJ | <input checked="" type="radio"/> -1 460 kJ | <input type="radio"/> +365 kJ |

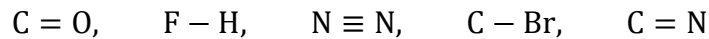
1.3 Tarkastele seuraavaa reaktioyhtälöä ja valitse **väärä** väittämä



- Ammoniakin ja typpikaasun ainemäärät ovat yhtä suuret.
- Jos typpikaasua halutaan tuottaa 3 moolia, tarvitaan 9 moolia kupari(II)oksidia ja 6 moolia ammoniakkia.
- Yksi mooli kupari(II)oksidia tuottaa yhden moolin kuparimetallia.
- Kuparia ja vettä syntyy aina yhtä monta hiukkasta.



1.4 Mikä seuraavista sidoksista on vahvin?

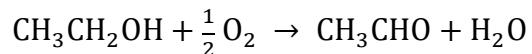


- $\text{C} = \text{O}$
- $\text{F} - \text{H}$
- $\text{N} \equiv \text{N}$
- $\text{C} - \text{Br}$
- $\text{C} = \text{N}$

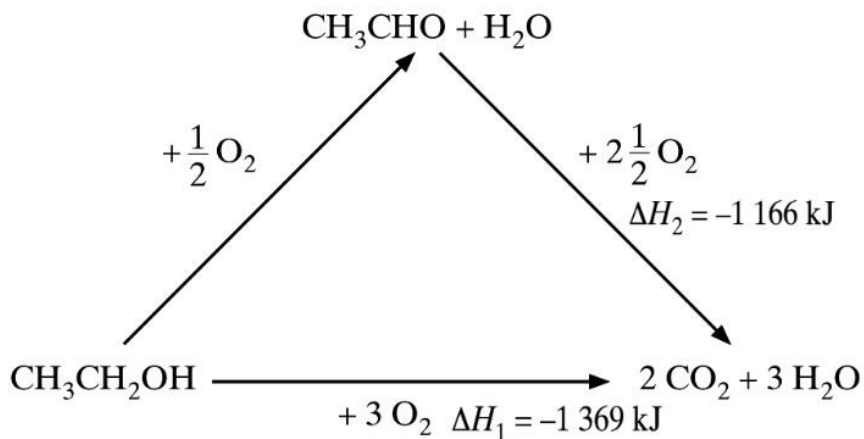
1.5 Mikä seuraavista **kuvaa** entropian S kasvua?

- Pakasteesta otetun rasian pintaan muodostuu vesipisaroita.
- $\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(s)}$
- Aminohapot liittyvät peptidisidoksilla proteiiniksi.
- Järviveteen muodostuu sulfaattisaostumia.
- Tavarat ja vaatteet leviävät huoneen lattialle päivän aikana.

1.6 Etanoli hapettuu bakteerien avulla etanaaliksi (asetaldehydiksi) seuraavasti:



Laske Hessin syklin avulla tämän reaktion reaktiolämpö, kun tunnetaan etanolin ja etanaalin palamisreaktioiden reaktiolämmöt.



$\Delta H_{\text{reaktio}} = -203 \text{ kJ}$

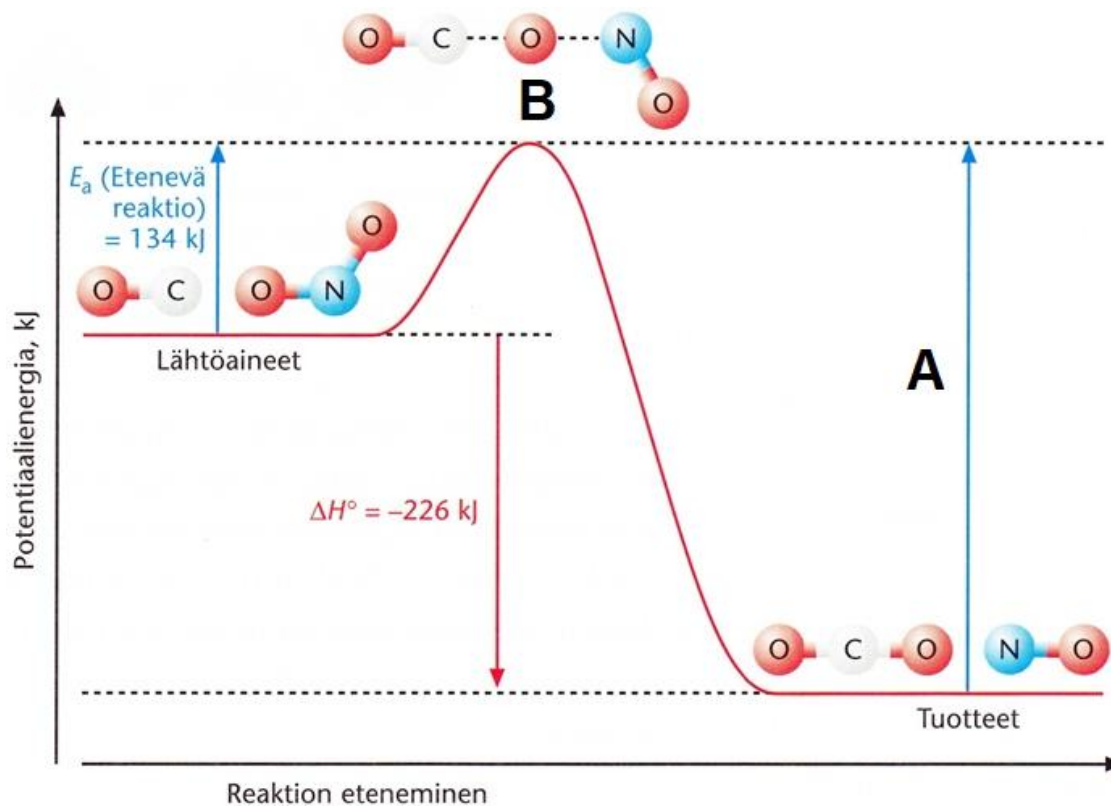
$\Delta H_{\text{reaktio}} = 203 \text{ kJ}$

$\Delta H_{\text{reaktio}} = 2535 \text{ kJ}$

$\Delta H_{\text{reaktio}} = -2535 \text{ kJ}$

$\Delta H_{\text{reaktio}} = -101,5 \text{ kJ}$

1.7 Mikä väite on **väärin**, kun tarkastellaan seuraavaa energiakaaviota?



- Käänteisreaktion aktivoitumisenergia on suurempi kuin 134 kJ.
- Kirjain **B** kuvaa transitiotilan siirtymäkompleksia.
- Tuotteet ovat pysyvämpiä kuin lähtöaineet.
- Kirjain **A** kuvaa käänteisreaktion E_A :ta.
- Reaktio $\text{CO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{CO} + \text{NO}_2$ on eksoterminen.

1.8 Valitse saantoprosentin **oikea** laskukaava.

$$\text{saanto} - \% = \frac{\text{teoreettinen saanto}}{\text{punnittu saanto}} \cdot 100 \%$$

$$\text{saanto} - \% = \frac{\text{todellinen saanto}}{100 \%} \cdot \text{teoreettinen saanto}$$

$$\text{saanto} - \% = \frac{\text{todellinen saanto}}{\text{teoreettinen saanto}} \cdot 100 \%$$

$$\text{saanto} - \% = \left(\sum n \cdot \Delta H_f^\circ (\text{reaktiotuotteet}) - \sum n \cdot \Delta H_f^\circ (\text{lähtöaineet}) \right) \cdot 100 \%$$

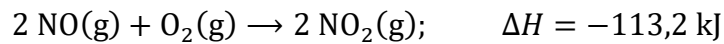
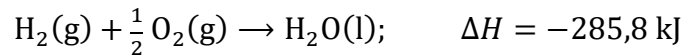
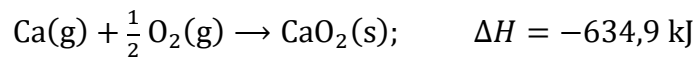
1.9 Mikä seuraavista väittämistä on **väärin**?

- Orgaanisten yhdisteiden pelkistyminen merkitään [H] merkinnällä reaktionuolen päälle.
- Markovnikovin sääntö voidaan ilmaista seuraavasti:

$$\text{CH}_2 = \text{CHCH}_3 + \text{HBr} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHBrCH}_3$$
- Lämpömäärä Q saadaan yhtälöstä $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.
- Sekundääriset alkoholit hapettuvat ketoneiksi.
- Substituutioreaktiossa molekyylin yksi tai useampi atomi tai atomiryhmä lohkeaa pois, jolloin syntyy kaksi reaktiotuotetta.

1.10 Mikä seuraavista **ei sovi** muodostumislämmön määritelmään?





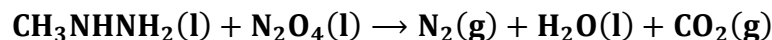
1.11 Annetut vesiliuokset yhdistetään. Missä vaihtoehdossa muodostuu sakkaa?

- $\text{KNO}_3(\text{aq})$ ja $\text{BaCl}_2(\text{aq})$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ ja $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2(\text{aq})$
- $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd}(\text{aq})$ ja $\text{NH}_4\text{I}(\text{aq})$
- $\text{SrS}_2\text{O}_3(\text{aq})$ ja $\text{MgBr}_2(\text{aq})$

1.12 Mikä seuraava väittämä on **väärin**?

- Gravimetrisessä menetelmässä tutkittava ioni saostetaan pois niukkaliukoisena suolana
- Se aine, joka hapettuu, toimii pelkistimenä.
- Happo + emäs = esteri + vesi.
- Rajoittavan tekijän avulla määritetään teoreettinen saanto.

2. a) Avaruussukkulan ohjaamiseen käytetään avaruudessa reaktiota, jossa nestemäiset metyylihydratsiini CH_3NHNH_2 ja dityypitetetraoksidi N_2O_4 reagoivat seuraavasti:



i) Tasapainota reaktioyhtälö, kun tiedetään että metyylihydratsiinin stoikiometrinen kerroin tasapainotetussa reaktioyhtälössä on 4.

ii) Laske reaktioentalpia $\Delta H_{\text{reaktio}}^{\circ}$ muodostumisentalpioiden avulla. Tieto:

$$\Delta H_f^{\circ}(\text{CH}_3\text{NHNH}_2(\text{l})) = +53 \text{ kJ/mol}$$

$$\Delta H_f^{\circ}(\text{N}_2\text{O}_4(\text{l})) = -20 \text{ kJ/mol}$$

Onko reaktio endo- vai eksotermisen?

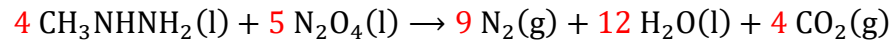
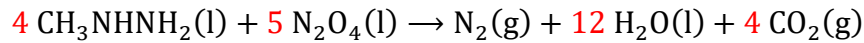
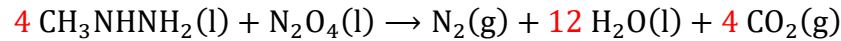
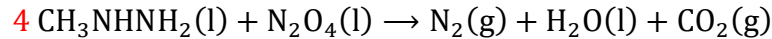
iii) Kuinka paljon energiaa vapautuu yhtä metyylihydratsiini-grammaa kohti? (9p)

b) Urea NH_2CONH_2 on typpilannoite, jota valmistetaan ammoniakista ja hiilidioksidista:



Mikä on tarvittavan ammoniakkikaasun tilavuus ($T = 25\text{ °C}$ ja $p = 152,0\text{ kPa}$), jotta ureaa voidaan valmistaa 908 grammaa? Voit olettaa, että hiilidioksidia on ylimäärin. (3p)

a) i) Tasapainotus kun tiedetään, että metyylihydratsiin stoikiometrinen kerroin on 4 (ensin hiilet ja vedyt, sitten happi ja lopuksi typpi)



ii) Reaktioentalpia $\Delta H_{\text{reaktio}}^{\circ}$ saadaan mudostumisentalpioista kaavaa

$$\Delta H_{\text{reaktio}}^{\circ} = \sum n \cdot \Delta H_f^{\circ}(\text{reaktiotuotteet}) - \sum n \cdot \Delta H_f^{\circ}(\text{lähtöaineet})$$

käyttäen. Siis

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{reaktio}}^{\circ} &= \left(9 \text{ mol} \cdot 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} + 12 \text{ mol} \cdot \left(-285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + 4 \text{ mol} \cdot \left(-393,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) \\ &\quad - \left(4 \text{ mol} \cdot \left(53 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + 5 \text{ mol} \cdot \left(-20 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right) \\ &= -5\,115,6 \text{ kJ} \approx -5116 \text{ kJ} \quad (\text{huom. neljää met. hydrat. moolia kohti}) \\ \Rightarrow &= -1\,278,9 \text{ kJ} \approx -1279 \text{ kJ} \quad (\text{huom. yhtä met. hydrat. moolia kohti}) \end{aligned}$$

Koska $\Delta H_{\text{reaktio}}^{\circ} < 0$, niin reaktio on eksotermisen. Eksotermisyyden voisi myös päätellä tilanteesta. Käytetään polttoaineena raketeille \rightarrow tarvitaan siis energiaa jne. TAI **iii)**-kohdan tehtävänannosta ☺

iii) Koska $M(\text{CH}_3\text{NHNH}_2) = 46,078\text{ g/mol}$, niin yhden moolin massa on siten 46,078 g. Näin ollen yhtä metyylihydratsiinigrammaa kohti vapautuu energiaa

$$\frac{1\,278,9 \text{ kJ}}{46,078 \text{ g}} = 27,755 \dots \frac{\text{kJ}}{\text{g}} \approx 27,8 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}$$

b) Reaktioyhtälö



on tasapainossa. Oletetaan, että hiilidioksidia on ylimäärin, joten

$$n(\text{urea}) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{NH}_3) \quad \text{TAI} \quad n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{urea})$$

Laskut antavat:

$$n(\text{urea}) = \frac{m}{M} = \frac{908 \text{ g}}{60,062 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 15,117\,711 \dots \text{ mol},$$

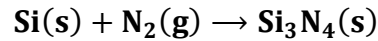
josta ammoniakkin ainemäärä

$$n(\text{NH}_3) = 2 \cdot n(\text{urea}) = 2 \cdot 15,117\,711 \dots \text{ mol} = 30,235 \dots \text{ mol},$$

ja tilavuus ($pV = nRT$)

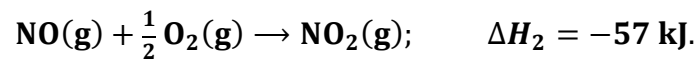
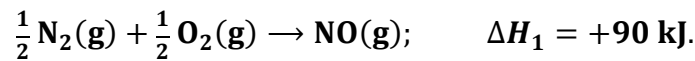
$$V(\text{NH}_3) = \frac{nRT}{p} = \frac{30,235 \dots \text{ mol} \cdot 8,31451 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 298,15 \text{ K}}{152\,000 \text{ Pa}} = 0,493\,110 \text{ m}^3 \approx 493 \text{ l}.$$

3. a) Suihkumoottorin turbiinin lavat voidaan jäykistää piinitridillä Si_3N_4 . Sitä voidaan valmistaa seuraavalla reaktiolla:

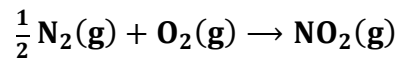


Tasapainota reaktio ja laske synteessin teoreettinen saanto, kun 4,00 grammaa piitä ja 3,00 grammaa typpikaasua reagoi. Mikä oli reaktion todellinen saanto (grammoina kahden desimaalin tarkkuudella), kun saantoprosentti oli 73,87 %?

- b) Polttoaineiden palaessa esimerkiksi auton moottorissa, ilman typpikaasu hapettuu samalla typpi-monoksidiksi ja osa typpimonoksidista edelleen typpidioksidiksi oheisten reaktioiden mukaan:

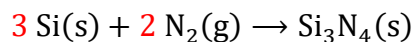


Hyödynnä Hessin lakia ja ratkaise reaktion



entalpamuutos. Onko typpidioksidin muodostuminen alkuaineistaan endo- vai eksoterminen tapahtuma? Perustelee.

- a) Tasapainotus (heti kuntoon!)



Käytössä olevat ainemäärät

$$n(\text{Si, käytössä oleva}) = \frac{4,00 \text{ g}}{28,09 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,142\,399 \dots \text{ mol}$$

$$n(\text{N}_2, \text{ käytössä oleva}) = \frac{3,00 \text{ g}}{28,02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,107\,066 \dots \text{ mol}$$

Koska

$$\begin{aligned} n(\text{Si, tarvittava määrä}) &= \frac{3}{2} \cdot n(\text{N}_2, \text{ käytössä oleva}) = \frac{3}{2} \cdot 0,107\,066 \dots \text{ mol} = 0,160\,599 \dots \text{ mol} \\ &> 0,142\,399 \dots \text{ mol} = n(\text{Si, käytössä oleva}) \end{aligned}$$

niin pii on reaktion rajoittava tekijä.

Näin ollen tuotteen

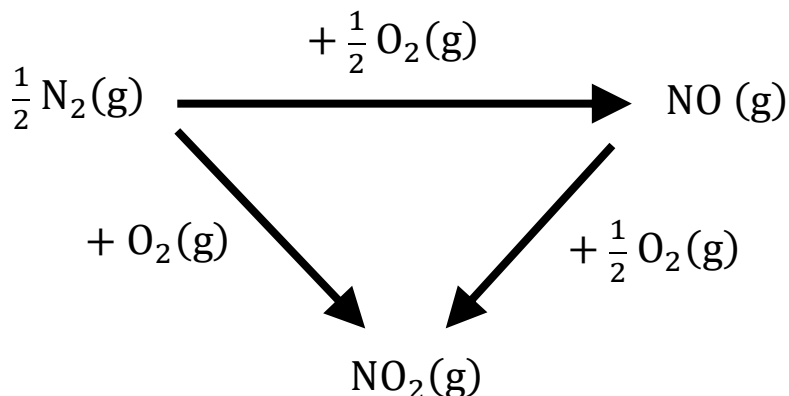
$$n(\text{Si}_3\text{N}_4, \text{ teoreettinen}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{Si, käytössä oleva}) = 0,047\,466 \dots \text{ mol}.$$

$$\Rightarrow m(\text{Si}_3\text{N}_4, \text{ teoreettinen}) = n \cdot M = 0,047\,466 \dots \text{ mol} \cdot 140,31 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 6,660\,021 \dots \text{ g}$$

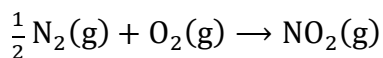
Koska saantoprosentti on 73,87 %, niin todellinen saanto = punnittu saanto · 0,7387, eli

$$m(\text{Si}_3\text{N}_4, \text{punnittu}) = 0,7387 \cdot 6,660\,021 \dots \text{g} = 4,919 \dots \approx 4,92 \text{ g}.$$

b) Piirretään sykli (sykliä ei välttämättä tarvitse tehdä)



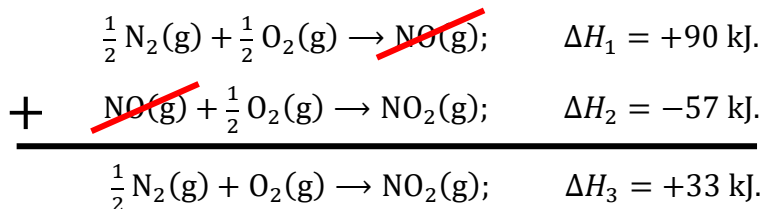
Syklin nojalla entalpiamuutos ΔH_3 reaktiolle



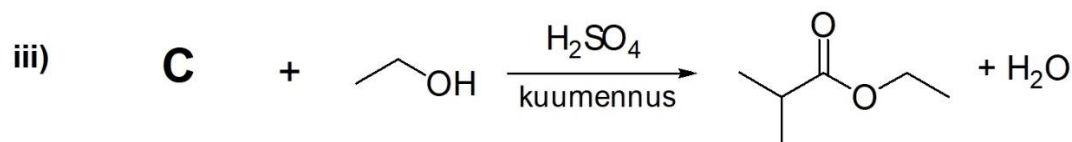
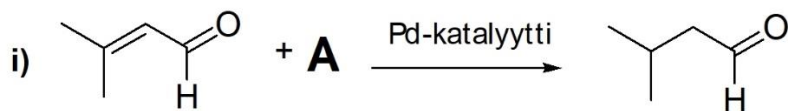
on $\Delta H_3 = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 90 \text{ kJ} - 57 \text{ kJ} = +33 \text{ kJ}$.

Typidioksidin muodostuminen on endoterminen tapahtuma, sillä reaktioentalpian arvo on positiivinen eli tapahtuma sitoo lämpöä.

TAI Kirjoittaa reaktiot allekkain:



4. a) Täydennä puuttuvat yhdisteet A-C, käytä MarvinSketch-ohjelmaa. Millä nimellä i)-, ii)- ja iii)-kohtien reaktioita kutsutaan?



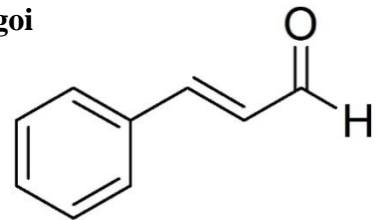
b) Mitä syntyy, kun reagoi seuraavien yhdisteiden kanssa? Esitä tuotteiden rakenteet, käytä MarvinSketch-ohjelmaa. i) syklohekseeni ii) metyyliamiini iii) 1-penteeni iv) $\text{CH}_3\text{COONa}(\text{aq})$

c) Kanelialdehydi vastaa osaltaan kanelin erittäin aromaattisesta tuoksusta. Esitä viivakaavoilla reaktiotuotteiden rakenteet, joita syntyy, kun kanelialdehydi (kuva alla) reagoi

i) bromin Br_2 kanssa,

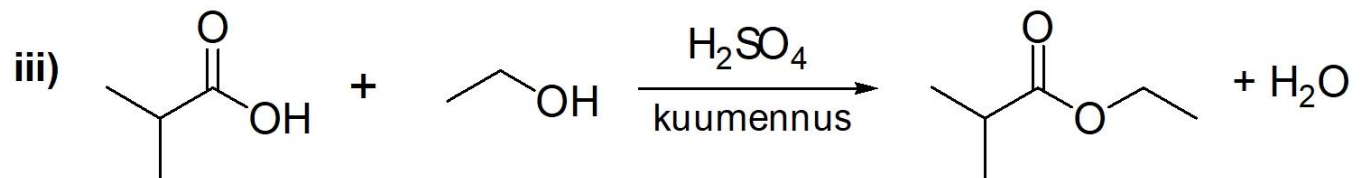
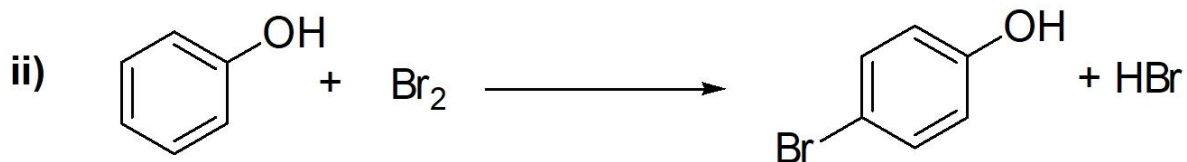
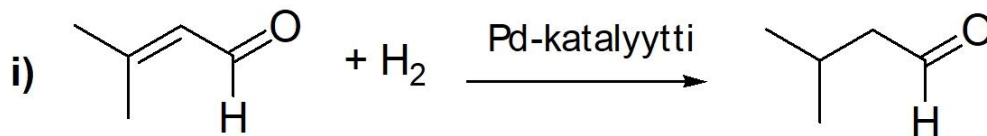
ii) natriumboorihydridin NaBH_4 kanssa.

Käytä MarvinSketch-ohjelmaa.



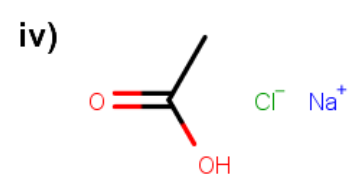
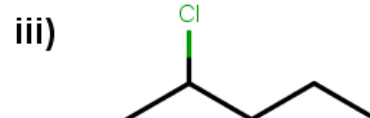
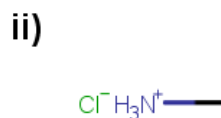
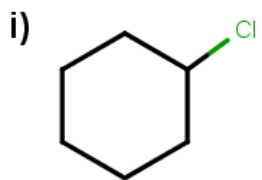
Kanelialdehydi

a) MarvinSketch antaa

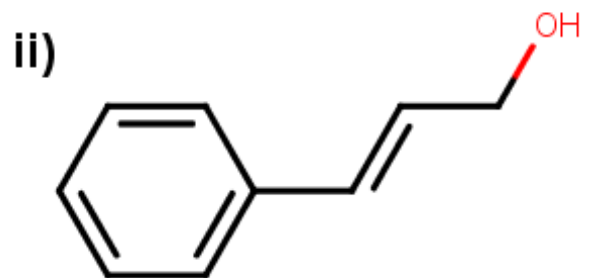
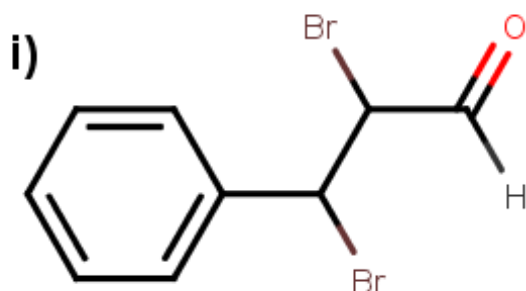


i) on additioreaktio (hydrays eli vedytys), ii) on elektrofiilinen aromaattinen substituutioreaktio (halogenointi) ja iii) on kondensaatioreaktio: esteröinti tai esteröityminen

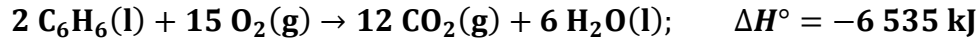
b) Tuotteet:



c)



5. a) Laske bentseenin C_6H_6 muodostumisentalpia $\Delta H_f^\circ(C_6H_6)$ vertailuolosuhteissa, kun tiedetään seuraava:



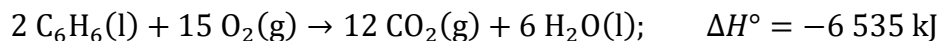
b) Ratkaise sidosenergia-arvojen avulla, kumpi seuraavista reaktioista vapauttaa enemmän energiaa,

i) metaanin palamisreaktio vai

ii) vedyn palamisreaktio,

kun palavaa ainetta on sama ainemäärä ja happea on ylimäärin. Voidaanko vetyä pitää hyvänä energialähteenä verrattuna metaaniin laskettujen palamislämpöjen perusteella? Mitkä tekijät puoltavat vedyn käyttöä energialähteenä?

a) Reaktioyhtälö



on tasapainossa ja taulukkokirjasta saadaan muodostumisentalpiat:

$$\Delta H_f^\circ(CO_2, g) = -393,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}, \quad \Delta H_f^\circ(H_2O, l) = -285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

$$\Delta H_f^\circ(O_2, g) = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \text{ (koska pysyvin muoto)}, \quad \Delta H_f^\circ(C_6H_6, l) = ? \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

Hyödynnetään laskukaavaa

$$\Delta H_{\text{reaktio}}^\circ = \sum n \cdot \Delta H_f^\circ(\text{reaktiotuotteet, olomuoto}) - \sum n \cdot \Delta H_f^\circ(\text{lähtöaineet, olomuoto})$$

Siis

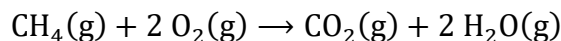
$$-6\,535 \text{ kJ} = \left[12 \text{ mol} \cdot \left(-393,5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + 6 \text{ mol} \cdot \left(-285,8 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right]$$

$$- \left[2 \text{ mol} \cdot \Delta H_f^\circ(C_6H_6, l) + 15 \text{ mol} \cdot 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]$$

$$\Rightarrow -6\,535 \text{ kJ} = [-4\,722 \text{ kJ} - 1\,714,8 \text{ kJ}] - 2 \text{ mol} \cdot \Delta H_f^\circ(C_6H_6, l)$$

$$\Rightarrow \Delta H_f^\circ(C_6H_6, l) = \frac{-6\,535 \text{ kJ} + 4\,722 \text{ kJ} + 1\,714,8 \text{ kJ}}{-2 \text{ mol}} = \frac{-98,2 \text{ kJ}}{-2 \text{ mol}} = 49,1 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$$

b) Metaanin palamisreaktion reaktioyhtälö yhtä metaanimoolia kohti on:



Lähtöaineiden sidosten katkaisemisiin tarvittava energiamäärä on:

$$\left(4 \text{ mol} \cdot 412 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + \left(2 \text{ mol} \cdot 496 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) = +2\,640 \text{ kJ}.$$

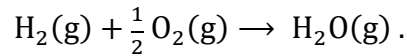
Reaktiotuotteiden sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä on:

$$- \left[\left(2 \text{ mol} \cdot 743 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) + \left(4 \text{ mol} \cdot 463 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right) \right] = -3\,338 \text{ kJ}.$$

Näin ollen

$$\Delta H_c(\text{CH}_4, \text{g}) = 2\,640 \text{ kJ} - 3\,338 \text{ kJ} = -698 \text{ kJ}.$$

Vedyn palamisreaktion reaktioyhtälö yhtä vetymoolia kohti on:



Lähtöaineiden sidosten katkaisemisiin tarvittava energiamäärä on:

$$\left(1 \text{ mol} \cdot 436 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) + \left(\frac{1}{2} \text{ mol} \cdot 496 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right) = +684 \text{ kJ}.$$

Reaktiotuotteiden sidosten muodostumisessa vapautuva energiamäärä on:

$$-\left[\left(2 \text{ mol} \cdot 463 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}\right)\right] = -926 \text{ kJ}.$$

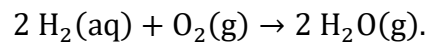
Näin ollen

$$\Delta H_c(\text{H}_2, \text{g}) = 684 \text{ kJ} - 926 \text{ kJ} = -242 \text{ kJ}.$$

Metaanin palamisreaktio vapauttaa energiaa enemmän. Vetyä ei siten voida pitää hyvänä energialähteenä, kun vertailuna käytetään palamisreaktioissa vapautuvan energian määrää. Vedyn palamisreaktiossa muodostuu vain vettä, joten hiilidioksidipäästöjä ei synny. Vety on lähes ehtymätön energialähde, sillä sitä saadaan esimerkiksi hajottamalla vettä elektrolyytisesti.

- 6. Vetyä ja happea sisältävän kaasuseoksen tilavuus on 47,2 ml (NTP). Seoksen läpi johdetaan sähkönpurkaus, jolloin kaikki happi yhtyy vetyyn muodostaen vettä. Mikä oli alkuperäisen seoksen tilavuusprosenttinen koostumus, kun reagoimatta jääneen vedyn tilavuus oli 10,6 ml (NTP)? Mikä oli reaktiossa muodostuneen veden tilavuus, kun veden tiheys on 1,00 g/ml? [YO, syksy 1995]**

Tasapainotettu reaktioyhtälö on



Tehtävänannosta saadaan, että happi loppuu ensin ..., jolloin kaikki happi yhtyy vetyyn... . Kaasujen tilavuudet alussa ja lopussa:

$$\text{ALUSSA: } V(\text{H}_2) + V(\text{O}_2) = 47,2 \text{ ml}$$

$$\text{LOPUSSA: } V(\text{H}_2) + \quad = 10,6 \text{ ml}$$

Koska NTP-olosuhteet, niin

$$n(\text{H}_2, \text{lopussa}) = \frac{V}{V_m} = \frac{0,0106 \text{ l}}{22,41 \text{ l/mol}} \approx 0,000473003 \dots \text{ mol}$$
$$n(\text{H}_2, \text{alussa}) + n(\text{O}_2, \text{alussa}) = \frac{V}{V_m} = \frac{0,0472 \text{ l}}{22,41 \text{ l/mol}} \approx 0,00210620 \dots \text{ mol}$$

Toisaalta, tasapainotetun reaktioyhtälön nojalla

$$\frac{n(\text{O}_2)}{n(\text{H}_2)} = \frac{1}{2} \Rightarrow n(\text{O}_2, \text{reagoiva määrä}) = n(\text{O}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2) = \frac{1}{2} \cdot n(\text{H}_2, \text{reagoiva määrä}).$$

Näin ollen

$$n(\text{H}_2, \text{reagoiva määrä}) + \underbrace{n(\text{O}_2, \text{reagoiva määrä})}_{= \frac{1}{2}n(\text{H}_2, \text{reagoiva määrä})} = \underbrace{n(\text{H}_2, \text{alussa}) + n(\text{O}_2, \text{alussa})}_{\approx 0,002106 \dots \text{mol}} - \underbrace{n(\text{H}_2, \text{lopussa})}_{\approx 0,000473 \dots \text{mol}}$$

$$\Rightarrow 3/2 \cdot n(\text{H}_2, \text{reagoiva määrä}) = 0,002106 \dots \text{mol} - 0,000473 \dots \text{mol} \\ = 0,00163319 \dots \text{mol}$$

$$\Rightarrow n(\text{H}_2, \text{reagoiva määrä}) = 0,001088799 \dots \text{mol}$$

ja

$$\Rightarrow n(\text{O}_2, \text{reagoiva määrä}) = 0,000544399 \dots \text{mol}$$

Hapen tilavuudeksi alussa on siis

$$V(\text{O}_2, \text{reagoiva määrä}) = V(\text{O}_2, \text{alussa}) = n \cdot V_m = 0,000544 \dots \text{mol} \cdot 22,41 \text{ l/mol} \\ = 0,0122 \text{ l} \hat{=} 12,2 \text{ ml}$$

Hapen tilavuusprosenttiosuudeksi sekä kaasun koostumukseksi (tilavuusprosentteina) saadaan

$$\frac{V(\text{O}_2)}{V(\text{koko tilavuus})} = \frac{12,2 \text{ l}}{47,2 \text{ l}} = 0,25847 \dots \approx 25,8\% \Rightarrow \begin{cases} \text{til-}\%(\text{O}_2) \approx 25,8 \\ \text{til-}\%(\text{H}_2) \approx 74,2 \end{cases}$$

Veden tilavuus lopussa:

Tasapainotetusta reaktioyhtälöstä saadaan

$$\frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{O}_2)} = \frac{2}{1} \Rightarrow n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot n(\text{O}_2) = 0,001088799 \dots \text{mol}$$

$$\Rightarrow m(\text{H}_2\text{O}) = 0,001088799 \dots \text{mol} \cdot 18,016 \text{ g/mol} = 0,01961581 \dots \text{g}$$

$$\Rightarrow V(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{\rho} = \frac{0,01961581 \dots \text{g}}{1,00 \frac{\text{g}}{\text{ml}}} = 0,01961581 \dots \text{ml} \approx 0,0196 \text{ ml}$$