

Norsk finale



Kvalifisering til den 7. nordiske kjemiolympiaden i Gøteborg og
den 57. internasjonale kjemiolympiaden i Dubai,
De forente arabiske emirater



57th INTERNATIONAL
CHEMISTRY OLYMPIAD
UNITED ARAB EMIRATES 2025

Dag: Fredag 21. mars 2025.

Varighet: 180 minutter.

Hjelpemidler: Lommeregner og "Vedlegg 1 til eksamen i kjemi 2"

Maksimal poengsum: 100 poeng.

Oppgavesettet er på **14** sider (inklusive forsiden og formelark)
og har **7** oppgaver.

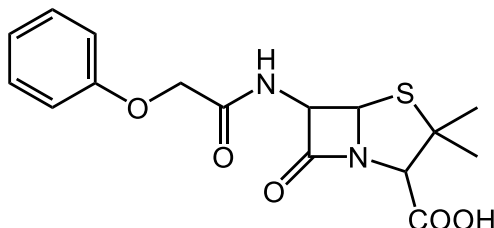
SKRIV TYDELIG SÅ DU IKKE MISTER POENG PGA UKLARHETER !!

Besvarelsen føres på egne ark. Du kan beholde oppgaveheftet.

Oppgave 1 (20 poeng – 2 per deloppgave)

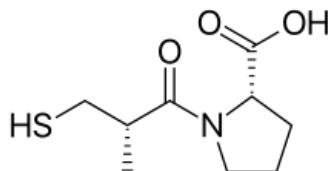
Hvert av spørsmålene i denne oppgaven skal besvares ved å angi bokstavkoden til det alternativet som er korrekt. *Kun ett svar* er korrekt for hvert spørsmål.

- 1) Hvor mange sp^2 og sp^3 hybridiserte C-atomer, hvor mange π -bindinger og hvor mange kirale sentre (C-atomer) er det i fenoksymetylpenicillin?



- A) $sp^2 = 9$, $sp^3 = 7$, $\pi = 6$, kirale = 3
B) $sp^2 = 8$, $sp^3 = 8$, $\pi = 5$, kirale = 3
C) $sp^2 = 9$, $sp^3 = 7$, $\pi = 6$, kirale = 2
D) $sp^2 = 8$, $sp^3 = 8$, $\pi = 5$, kirale = 1
- 2) Du målte absorbansen ved 280 nm av lysozym i en 1 cm kyvette til å være 0,20. Hva er konsentrasjonen av lysozym? Ekstinksjonskoeffisienten til lysozym $\epsilon_{280\text{nm}} = 37,47 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.
- A) 0,20 mM
B) 0,0053 mM
C) 187 mM
D) 0,00071 mM
- 3) Hvilken geometri/struktur har molekylet XeF_4 ?
- A) Tetraedrisk
B) Usymmetrisk tetraeder
C) Kvadratisk plan
D) Oktaedrisk
- 4) Hva er elektronkonfigurasjonen til Cu^{2+} ?
- A) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$
B) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^8$
C) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^7$
D) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^0 3d^9$
- 5) Hvilken ladning vil et protein netto ha ved veldig lav pH og ved veldig høy pH?
- A) Lav pH: positivt ladd, høy pH: negativt ladd
B) Lav pH: negativt ladd, høy pH: positivt ladd
C) Lav pH: nøytralt, høy pH: positivt ladd
D) Lav pH: negativt ladd, høy pH: nøytralt

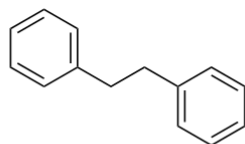
- 6) Hvilket utsagn er korrekt for halvledere?
- A) De leder litt strøm fordi båndgapet er lite
 - B) De leder strøm godt fordi valens- og ledningsbånd overlapper
 - C) De leder ikke strøm fordi de har båndgap
 - D) Ledningsevnen synker når temperaturen stiger
- 7) Hvilken kulepakning har lag i rekkefølge ABC?
- A) Enkel kubisk (sc)
 - B) Kubisk romsentrert (bcc)
 - C) Kubisk flatesentrert (fcc/ccp)
 - D) Heksagonal (hcp)
- 8) Hvor mange mulige stereoisomerer har captopril, en medisin mot kronisk hypertensjon (høyt blodtrykk)?



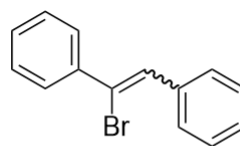
- A) 6
 - B) 4
 - C) 3
 - D) 2
- 9) Hvor mange isomerer eksisterer av komplekset $[\text{CoCl}_2(\text{en})_2]$, hvor symbolet 'en' er en forkortelse for den bidentate liganden 1,2-diaminoetan?
- A) 1
 - B) 2
 - C) 3
 - D) 4
- 10) En kjemisk reaksjon $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ går 32 ganger så raskt når konsentrasjonen av begge reaktantene dobles i samme forsøk. Hastighetsloven til denne reaksjonen kan skrives
- A) $r = k [\text{A}]^5 [\text{B}]^1$
 - B) $r = k [\text{A}]^3 [\text{B}]^3$
 - C) $r = k [\text{A}]^2 [\text{B}]^2$
 - D) $r = k [\text{A}]^3 [\text{B}]^2$

Oppgave 2 (8 poeng)

Forbindelser som inneholder benzenringer er nyttige i mange ulike situasjoner, fra medisiner til ulike typer plast. Vi skal her undersøke 2 enkle difenyler, nemlig bibenzyl og α -bromstilben:



Bibenzyl

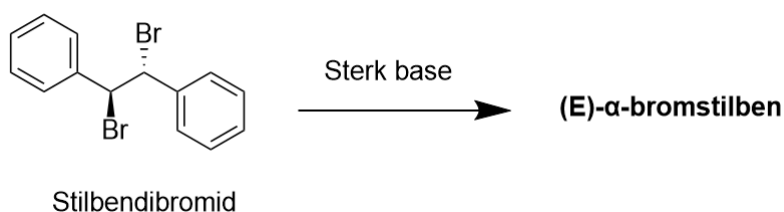


α -bromstilben

Den bølgete linjen indikerer at stereokjemien er ubestemt, altså her at molekylet kan ha enten *cis*- eller *trans*-konfigurasjon ved dobbeltbindingen.

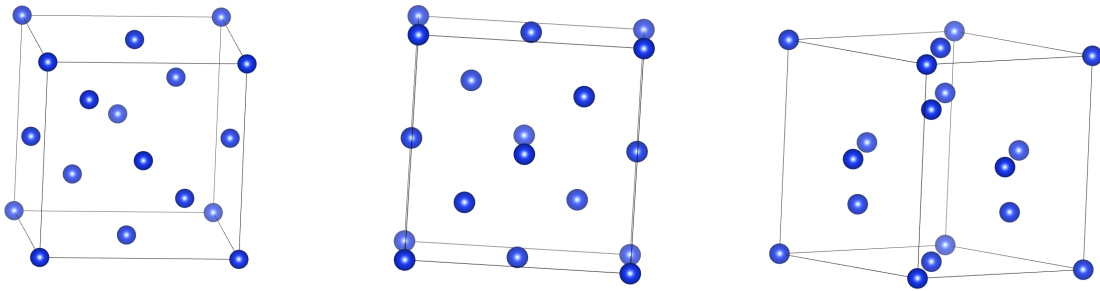
- a) Tegn Newmanprojeksjon for de 3 ulike konformasjonene (*gauche*/antiperiplanar) til bibenzyl. Angi hvilken konformasjon som er mest stabil.

Ofte er det ønskelig å bare syntetisere en spesifikk stereoisomer. (E)- α -bromstilben kan syntetiseres ved følgende eliminasjonsreaksjon av stilbendibromid:



- b) Angi R/S-konfigurasjon for de to ulike stereosentrene til reaktanten stilbendibromid.
- c) Tegn strukturen til (E)- α -bromstilben-produktet. Hvorfor dannes bare én av stereoisomerene? Gi en kort begrunnelse for svaret ditt ved å bruke Newmanprojeksjon.

Oppgave 3 (12 poeng)



Figur 1. Enhetscellen til fast silisium, fra forskjellige vinkler.

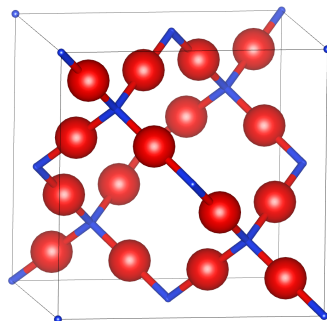
Silisium i fast form kan innta diamantstruktur, vist i figuren over. I denne strukturen er ikke atomene tettest kulepakket, men man kan se rester av en slik struktur. Celleparameteren er $5,4 \text{ \AA}$ ($= 5,4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$), mens Si har atommasse $28,09 \text{ u}$ (molar masse $= 28,09 \text{ g/mol}$).

- a) Hvilken tetteste kulepakking minner Si-strukturen mest om? Hvilke av atomene er det som ikke er tettest kulepakket?
- b) Hvor mange atomer er det totalt i enhetscellen?
- c) Hva slags bindinger er det mellom Si-atomene i denne strukturen?
- d) Hva er tettheten til silisium for denne strukturen?

Båndgapet til fast Si er $1,12 \text{ eV}$.

- e) Hvilke bølgelengder kan eksitere elektroner over i ledningsbåndet i denne halvlederen?

I naturen forekommer Si vanligvis som oksid, for eksempel i form av kvarts, SiO_2 , som kan innta strukturen vist i figuren under (oksygen er rød, silisium er blå).

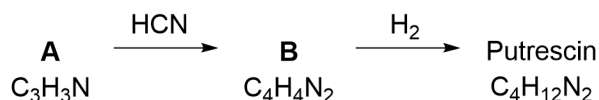


Figur 2. Enhetscellen til SiO_2 .

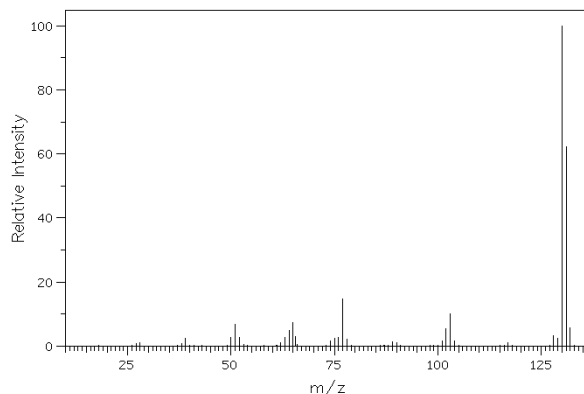
- f) Hva er sammenhengen mellom denne strukturen til SiO_2 og strukturen til rent Si?

Oppgave 4 (18 poeng)

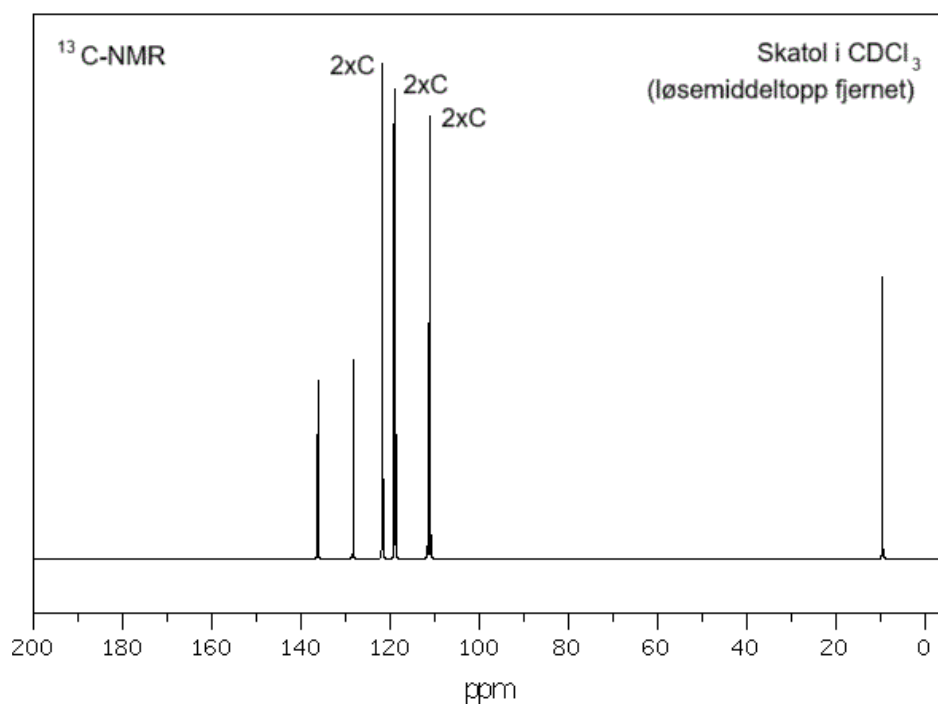
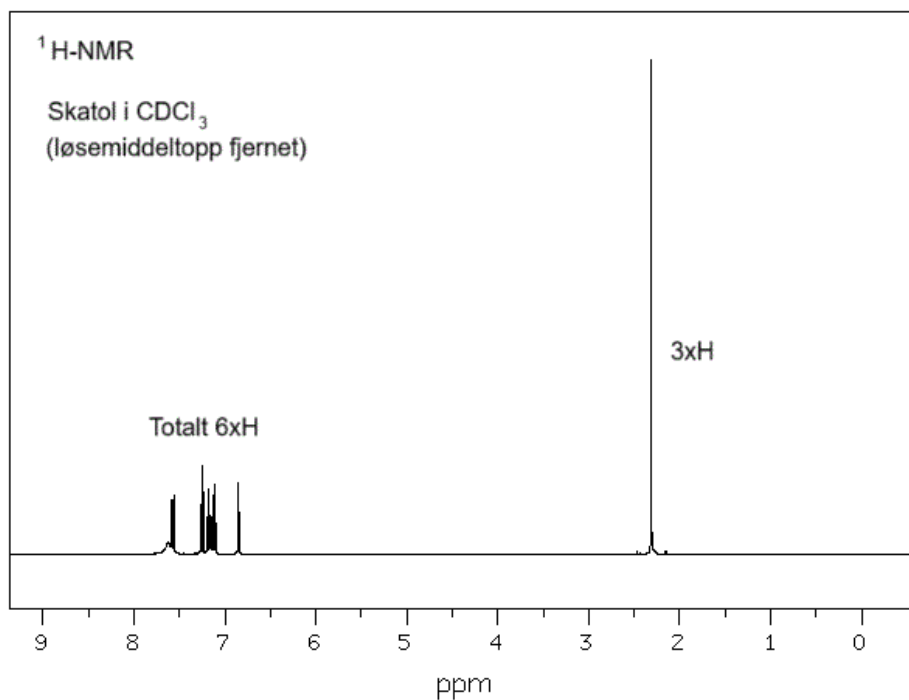
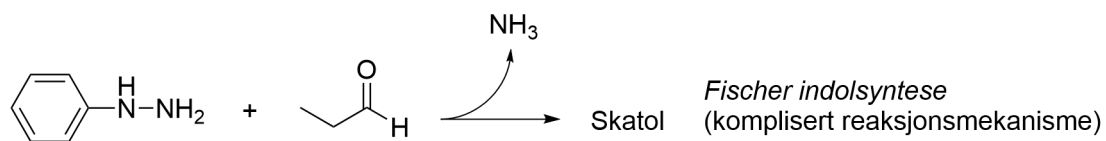
Putrescin og kadaverin er to organiske forbindelser som oppstår når proteiner råtner og som er mye av årsaken til den vonde lukten når døde dyr brytes ned. Begge stoffene ble oppdaget av den tyske medisinprofessoren Ludwig Brieger (1849–1919) i 1885. Putrescin produseres i store mengder fra industrikjemikaliet **A** på følgende måte:

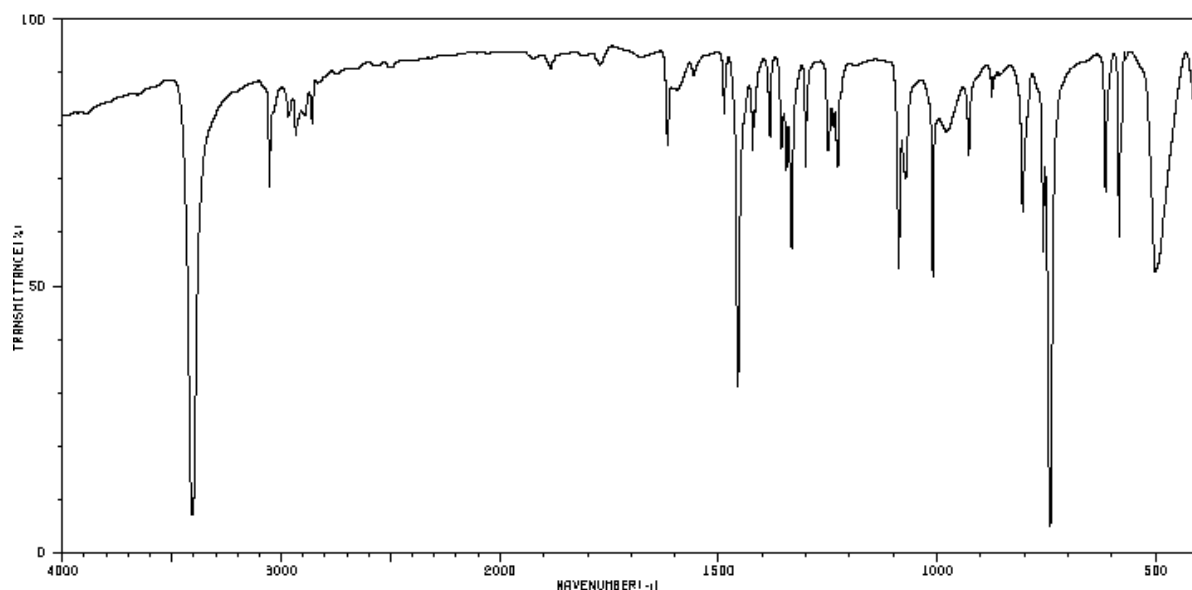


- Industrikjemikaliet **A** lages fra propen ved SOHIO-prosessen (ammoksidering). Her omsettes propen med oksygen (luft) og ammoniakk ved 400–500 °C og produktene absorberes i vandig svovelsyre. I den vandige syreløsningen fås en blanding av stoff **A**, acetonitril ($\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$) og ammoniumsulfat. Nitriler inneholder cyanogruppen ($-\text{C}\equiv\text{N}$). Tegn de kjemiske strukturene til **A** og acetonitril.
- Stoff **B** er ravsyredinitril. Tegn den kjemiske strukturen til denne forbindelsen.
- Tegn den kjemiske strukturen til putrescin. Hva er stoffets korrekte kjemiske navn?
- Kadaverin kan syntetiseres ved å behandle 1,3-diklorpropan med natriumcyanid (NaCN) i et organisk løsemiddel, etterfulgt av hydrogenering av mellomproduktet (glutaronitril). Tegn den kjemiske strukturen til kadaverin og gi det korrekte kjemiske navnet. Hva slags reaksjon er det første reaksjonstrinnet i syntesen?
- I forråtnelsesprosesser dannes putrescin og kadaverin fra to ulike aminosyrer som forekommer naturlig. Hvilke to aminosyrer er dette? Se strukturen til alle de 20 naturlige aminosyrene i formeloversikten.
- Når putrescin reagerer med adipinsyre (heksandisyre) fås en polymer kjent under navnet Nylon 46, som tilhører polyamidene. Tegn strukturen til den repeterende enheten i denne polymeren.
- I 1877 oppdaget Brieger den kjemiske forbindelsen skatol, et meget illeluktende stoff som forekommer naturlig i avføring. En forbrenningsanalyse av dette stoffet gav følgende resultat: 82,41% C, 6,92% H og 10,68% N. Massespektrometrisk analyse av stoffet gav diagrammet under. Hva er den kjemiske formelen til skatol?

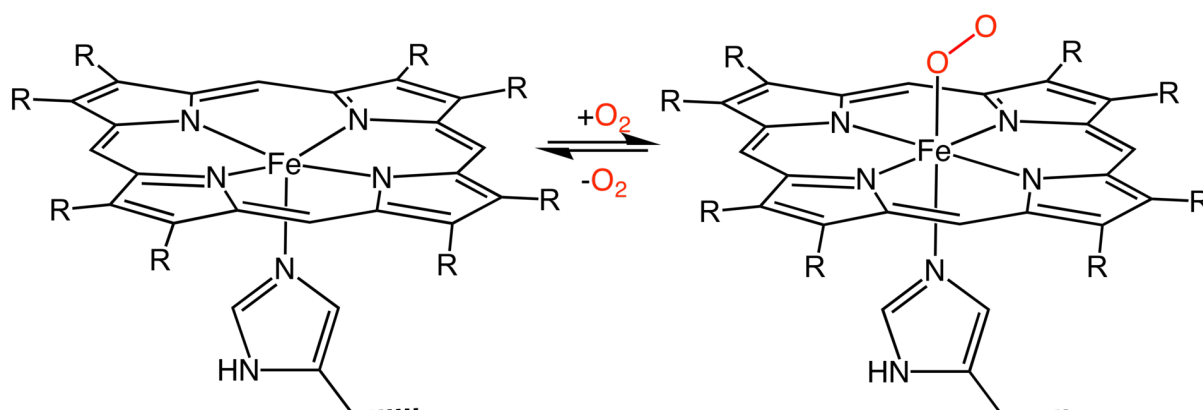


- h) Skatol er en heterosyklisk forbindelse som dannes i fordøyelseskanalen til dyr og mennesker fra aminosyren tryptofan. Det kan syntetiseres fra fenyldiazin og propanal som vist under (under avspaltning av ammoniakk). NMR- og IR-spektra er gitt nedenfor. Tegn den kjemiske strukturen til skatol.





Oppgave 5 (14 poeng)

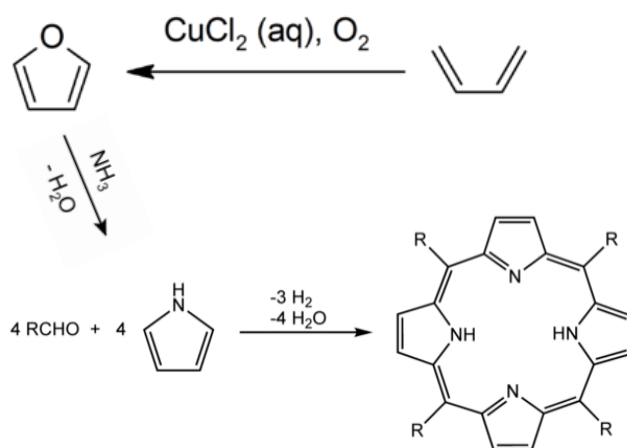


Figur 1. En hem-struktur.

Hem-komplekser som ligner på strukturen vist i Figur 1 over finnes i mange sammenhenger i kroppen, blant annet i hemoglobin i blodet i forbindelse med transport av O_2 . Strukturen består av et jern-ion, en porfyrin-ring og to aksiale ligander. Når det ikke er bundet et O_2 -molekyl er det koordinert et vannmolekyl på samme plass (ikke vist på figuren). Alle aksiale ligander er nøytrale. Den totale ladningen til komplekset er 0.

- a) Anta at alle R-gruppene er like og at det er fri rotasjon rundt bindingene til de aksiale ligandene. Hvor mange isomerer finnes for denne hem-strukturen?

- b) Dersom vi fjerner porfyrin-ringene fra komplekset har den ladning -2. Hva er oksidasjonstallet til jern i komplekset? Hvor mange elektroner er det i 3d-orbitalene til jern?
- c) Vi antar at komplekset oppfører seg som vanlige oktaedriske komplekser. Gi en kort begrunnelse for at komplekset bør være høyspinn og tegn en oversikt som viser fordelingen av elektroner i d-orbitalene til jern.
- d) Tegn molekylorbital-energinivådiagram for O_2 . Hva er bindingsordenen i molekylet ifølge diagrammet?
- e) Som et ledd i reduksjonen av oksygen i kroppen dannes mellomproduktet O_2^- . Hva er bindingsordenen i dette molekylet? Vil det reagere svakere eller sterkere enn O_2 på magnetisme?



Et mulig startmateriale for laboratoriesyntese av porfyriner er but-1,3-dien. Syntesen går via omdanning til furan, videre til pyrrol som så reageres videre med et aldehyd for å danne porfyriner. I 2020 ble det anslått at den globale produksjonen av but-1,3-dien var 14,2 millioner tonn.

- f) Hvor mange elektroner er det i π -bindinger i but-1,3-dien?

Dersom vi observerer fluorescensen til but-1,3-dien finner vi at den lengste bølglengden vi observerer er på 217 nm.

- g) Bruk dette til å estimere størrelsen til but-1,3-dien.

Oppgave 6 (18 poeng)

Grunnstoffet klor danner diatomære molekyler, Cl_2 . Standardkokepunktet til flytende klor, $\text{Cl}_2(\text{l})$, dvs. temperaturen der damptrykket til $\text{Cl}_2(\text{l})$ er lik 1 bar = 100000 Pa, er $-34,34^\circ\text{C}$.

Sammenhengen mellom damptrykket til en væske ved en temperatur T_2 og damptrykket ved en annen temperatur T_1 , er gitt ved Clausius-Clapeyrons ligning:

$$\ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = -\frac{\Delta H_{vap}^o}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$$

der ΔH_{vap}^o er den molare fordampningsentalpien til væsken.

Anta at en åpen sylindrisk beholder inneholder 141,8 g $\text{Cl}_2(\text{l})$ som holder en temperatur på $-50,00^\circ\text{C}$. Damptrykket ved denne temperaturen er 48,61 kPa.

a) Hvor stor er den molare fordampningsentalpien til $\text{Cl}_2(\text{l})$?

Et bevegelig stempel blir montert på beholderen mens temperaturen i væsken fremdeles er $-50,00^\circ\text{C}$, og slik at stempelet hviler på overflaten av væsken. Temperaturen og trykket i omgivelsene er konstant lik $25,00^\circ\text{C}$ og 1 bar. Over tid varmes systemet opp til det er i termisk og mekanisk likevekt med omgivelsene.

Tettheten til $\text{Cl}_2(\text{l})$ ved standardkokepunktet og et ytre trykk på 1 bar er tilnærmet lik tettheten ved det såkalte normalkokepunktet ($-34,03^\circ\text{C}$) og 1 atm ytre trykk, dvs $1,563 \text{ g/cm}^3$.

- b) Hvor stort er det indre volumet til beholderen akkurat idet væsken begynner å koke, og hvor stort er det når hele mengden akkurat har fordampet? Oppgi begge volumene i m^3 . Du kan anta at klorgass, $\text{Cl}_2(\text{g})$, oppfører seg som en idealgass.
- c) Hvor stort arbeid har systemet gjort på omgivelsene når væsken har fordampet, men før temperaturen i systemet har begynt å stige videre?

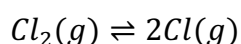
Den molare varmekapasiteten til $\text{Cl}_2(\text{g})$ ved henholdsvis konstant trykk og konstant volum, er $c_p = 33,95 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$ og $c_v = 24,78 \frac{\text{J}}{\text{K mol}}$ ved normalkokepunktet til $\text{Cl}_2(\text{l})$. Verdiene er relativt konstante i temperaturområdet fra og med standardkokepunktet til og med $25,00^\circ\text{C}$.

- d) Hvor stor er entalpiendringen i systemet når den dannede gassen blir varmet opp fra standardkokepunktet til $25,00^\circ\text{C}$ ved det konstante ytre trykket på 1 bar?
- e) Hvor stor er endringen i entropi i omgivelsene som følge av denne varmeoverføringen?
- f) Vis at entropiendringen i systemet når gassen varmes opp fra standardkokepunktet og 1 bar trykk av $\text{Cl}_2(\text{g})$ til $25,00^\circ\text{C}$ og samme gasstrykk,

blir 14,69 J/K. Del prosessen opp i to tenkte, reversible trinn og summer entropiendringene for de to trinnene.

- g) Den molare entropien til $\text{Cl}_2(\text{g})$ ved standardkokepunktet og 1 bar trykk av $\text{Cl}_2(\text{g})$, er 215,7 J/K mol. Bestem standard entropien til $\text{Cl}_2(\text{g})$, dvs. den molare entropien ved standard betingelser (1 bar trykk av $\text{Cl}_2(\text{g})$, 25,00°C)
- h) Oppvarmingsprosessen i deloppgave d-f er (opplagt) spontan. Forklar hvorfor med utgangspunkt i termodynamikkens 2. lov. Du kan bruke resultatene fra beregningene du har gjort tidligere, men du er ikke nødt til å gjøre det.

I en prøve av klorgass har vi følgende likevekt mellom klormolekyler og frie kloratomer. Likevekten er meget sterkt forskjøvet mot venstre ved 25,00°C.



- i) Hvor mange prosent av alle kloratomene er frie kloratomer ved 25,00°C? Du vil få bruk for de termodynamiske dataene under og svaret ditt på deloppgave g. Du kan bruke tilnærmingen $p_{\text{Cl}_2} \approx 1,000 \text{ bar}$ ved likevekt.

$$\Delta H_f^o(\text{Cl}(\text{g})) = 121,3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \quad , \quad \Delta H_f^o(\text{Cl}_2(\text{g})) = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \text{ (per def.)} \quad , \quad S_{\text{Cl}(\text{g})}^o = 165,1 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}}$$

Hvis du ikke kom fram til et svar eller er usikker på svaret ditt på deloppgave g, kan du bruke $S_{\text{Cl}_2(\text{g})}^o = 225,0 \frac{\text{J}}{\text{Kmol}}$.

Oppgave 7 (10 poeng)

Mysteriet med den mangelfulle labjournalen

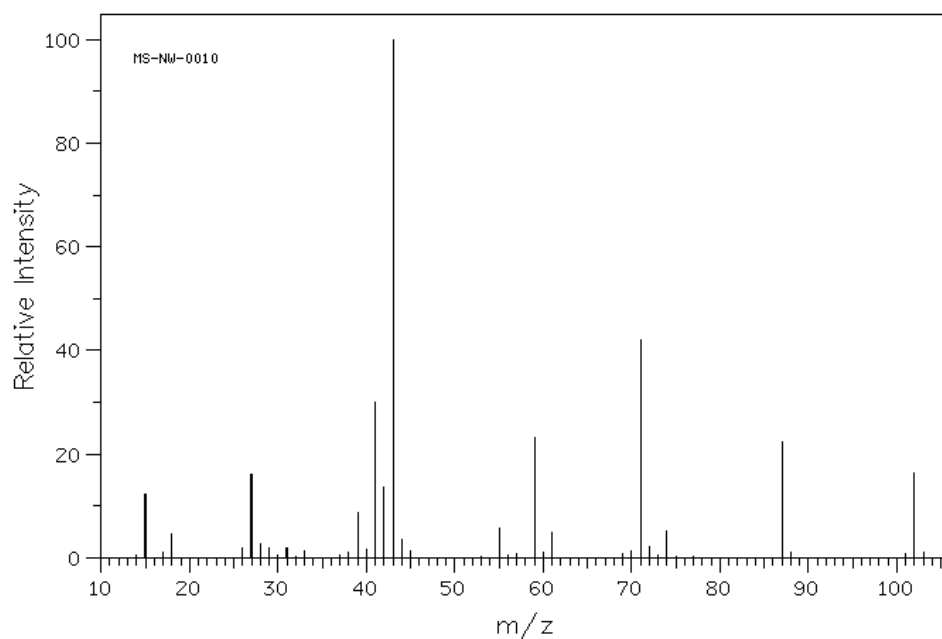
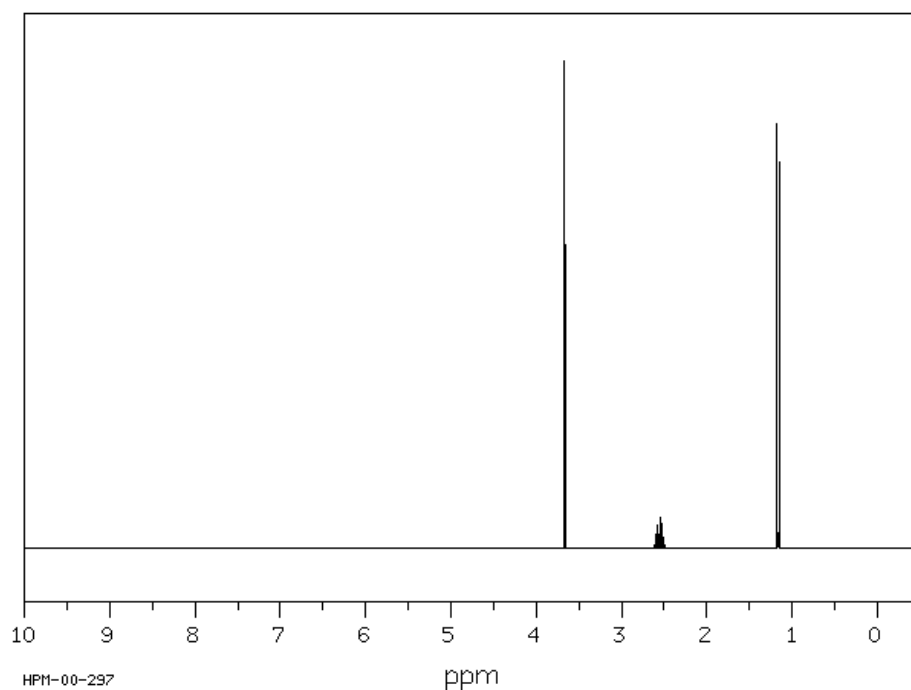
Du har syntetisert en **ester** ved å blande en karboksylsyre og en alkohol. Dessverre glemte du å notere i laboratoriejournalen hvilken syre og hvilken alkohol du brukte. Derfor leverer du inn en del av produktet ditt til analyse med ^1H NMR og MS. Du fikk spektrene som vist nedenfor. En elementanalyse viser videre at molekylformelen er $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$.

- a) Tegn 4 mulige isomerer som kan passe med formelen $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$. De skal oppfylle følgende krav (NB! I denne deloppgaven skal det **ikke** være estere): 1 skal være en karboksylsyre, 1 skal være en *kiral* alkohol, 1 skal være syklisk, 1 skal være en eter. Det vektlegges at forbindelsene er reelle, stabile molekyler.
- b) Tegn et forslag til strukturen til produktet ditt ved å bruke data fra NMR og MS.
- c) Hvilket fragment er opphavet til den høyeste toppen i MS-spekteret?

- d) For toppen ved ca 2.6 ppm i ^1H NMR spekteret, forklar kort hvilket splittingsmønster (antall topper og intensitetsfordeling) den bør ha dersom spekteret er samlet på et instrument med høy oppløsning.
- e) Hvilken syre og hvilken alkohol var det du bruke i laboratoriet for å få nevnte produkt? Svar ved å tegne strukturer av de to molekylene du mener passer.

^1H NMR informasjon: Splitting og integraler er som følger:

3.7 ppm er singlett (3x H), 2.6 ppm er kompleks multipllett (1x H), 1.2 ppm er dublett (6x H).



Tabellverdier og formler

Konstanter

Faradays konstant:	$F = 96485 \text{ C mol}^{-1}$
Gasskonstanten:	$R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $R = 0,08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
Planks konstant:	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Lysets hastighet:	$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
Hvilemasse til elektron	$m_e = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Atommasseenhet	$1 u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
Elektronvolt	$1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Energi til elektromagnetisk stråling $E = h f$

Energinnivåer til partikkel i boks $E_n = n^2 h^2 / (8 m L^2)$, $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

Termodynamiske sammenhenger $\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$
 $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ = - n F E^\circ = - R T \ln K$

Beer-Lamberts lov $A = \epsilon l c$

Antall dobbeltbindingsekvivalenter: $C_a H_b O_c N_d$ $DBE = \frac{(2a + 2) - (b - d)}{2}$
 (NB! halogen teller som hydrogen)

Utvalgte omtrentlige ^1H -frekvensområder i NMR:

Metylgrupper	$-\text{R}-\text{CH}_3$	0,8 – 1,2 ppm
Metylengrupper	$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{R}-$	1,0 – 1,5 ppm
Methingrupper	$-\text{R}-\text{C}(\text{R})\text{H}-\text{R}-$	1,2 – 1,8 ppm
Allyl (nabo til dobbeltbinding)	$-\text{C}=\text{C}-\text{CH}-$	1,5 – 2,0 ppm
$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{CO}-\text{C/O}$ (nabo til karbonyl)		2 – 3 ppm
$-\text{R}-\text{CXH}_2$ hvor X=halogen		2 – 4 ppm
$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{O}-$ (nabo til eter)		3 – 4 ppm
Vinyl (sitter på dobbeltbinding)	$-\text{C}=\text{C}-\text{H}$	4 – 6 ppm
Aromatiske protoner		6 – 9 ppm
Aldehyd (kan være svakt signal)		9 – 10 ppm

Utvalgte omtrentlige ^{13}C -frekvensområder i NMR:

Metylgrupper	$-\text{R}-\text{CH}_3$	5 – 30 ppm
Metylengrupper	$-\text{R}-\text{CH}_2-\text{R}-$	15 – 45 ppm
Methingrupper	$-\text{R}-\text{C}(\text{R})\text{H}-\text{R}-$	20 – 55 ppm
Terminal alkyn	$\text{R}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$	70 – 90 ppm
Alken	$\text{R}-\text{C}=\text{C}-\text{H}$	110 – 150 ppm
Aromatiske karbonatomer		120 – 150 ppm
Karbonyl karbonatom	$\text{O}=\text{C}$	150 – 220 ppm

Integrerte hastighetslover:

0. ordens reaksjon	$[A] (t) = - k t + [A]_0$
1. ordens reaksjon	$\ln [A] (t) = - k t + \ln [A]_0$
2. ordens reaksjon	$1 / [A] (t) = k t + 1 / [A]_0$

Halveringstider:

0. ordens reaksjon	$t_{1/2} = [A]_0 / 2 k$
1. ordens reaksjon	$t_{1/2} = \ln 2 / k$
2. ordens reaksjon	$t_{1/2} = 1 / (k [A]_0)$

Standard aminosyrer

