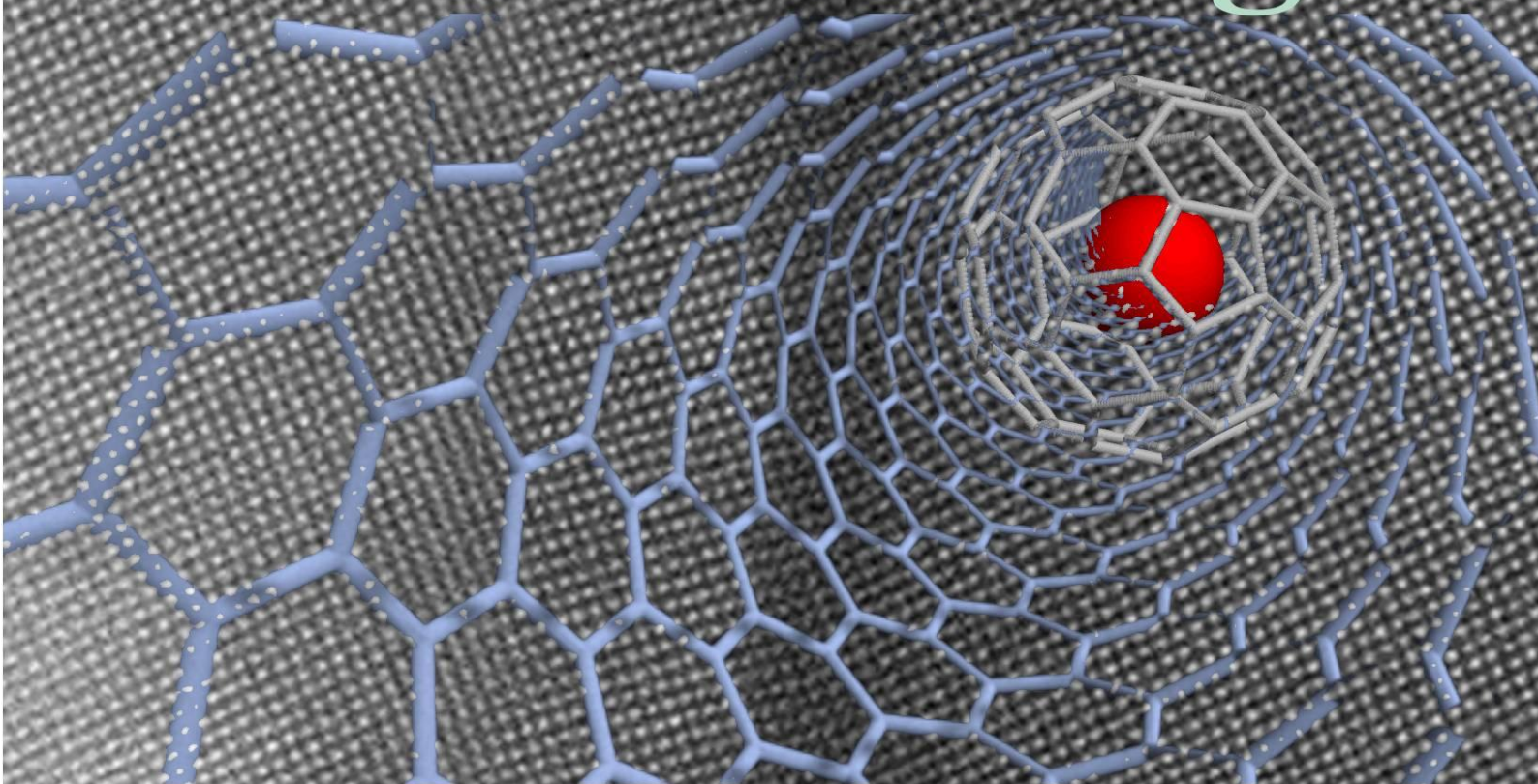


Materialer Energi Nanoteknologi



Kurshefte for laboratoriekurset i MENA1000

Martin Lie
Oddvar Dyrli
Harald Fjeld
Truls Norby

Det Matematisk-Naturvitenskapelige Fakultet
Universitetet i Oslo
2010

1. Energi og Varme
Energitransport og kalorimetri

2. Materialsyntese
Superlederen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$
Nanopartikler av gull

3. Funksjonelle egenskaper
Elektriske og optiske

4. Energikonvertering
Solcelle, elektrolyser, brenselcelle

Forord

Velkommen til laboratoriekurset!

MENA1000 Materialer, energi og nanoteknologi gir en innføring i materialvitenskap og materialer, med fokus på energiaspektet og energianvendelser. I laboratoriekurset skal vi illustrere noen deler av dette ved hjelp av praktiske oppgaver i fysikk, kjemi og materialvitenskap. Oppgavene vil for det meste understøtte øvrig pensum, men også introdusere noen nye ting. Dere får se og bruke mange forskjellige typer utstyr og derved litt trening i praktisk arbeid på laboratoriet.

Oslo, september 2009

GENERELT OM LABORATORIEØVELSENE

Laboratorieøvelsene i MENA1000 er obligatoriske; dette gjelder fremmøte, gjennomføring og godkjent journal. Godkjente laboratorieøvelser er nødvendig for å få gå opp til eksamen i MENA1000.

Eneste gyldige grunn til fravær er normalt sykdom med godkjent legeattest.

Ved gyldig fravær kan det pålegges en kompenserende øvelse, for eksempel gjennomføring av samme øvelse ved en senere anledning eller en teoretisk oppgave.

Før første lab-øvelse skal studentene ha lest sikkerhetsreglene som følger under. Bruk verneutstyr som fremlegges på laboratoriet. For laboppgave 2 anbefales det at studentene har egen laboratoriefrakk – den beskytter klær og kropp.

Før hver lab-øvelse skal studentene ha lest øvelsesbeskrivelsen og notert spørsmål til denne. Det er viktig å møte i rett tid og å ha forberedt seg for å kunne gjennomføre øvelsen i tide. Den praktiske gjennomføringen tar normalt 4 timer og må være avsluttet innen de 5 timer vi har til rådighet. Øvelsene gjennomføres i grupper på 2-3 som inndeles av ansvarlig for laboratoriekurset.

Journalene skal innleveres elektronisk gjennom fronter innen én uke etter øvelsen (innen neste fredag 16:00) og godkjennes individuelt. Normalt vil journalen kunne skrives på 5-10 sider. Mange av spørsmålene som skal besvares i journalen er helt eller delvis besvart i dette heftet, men bruk også læreboka aktivt. I selve oppgaveteksten får du også mange hint om hva du bør følge særlig godt med på.

SIKKERHETSREGLER I LABORATORIET

Beskjeder fra personalet skal etterkommes, og ved skader skal det straks gis beskjed til en av staben, men vent ikke med igangsetting av førstehjelp. Telefonnummer til sykehus er oppslått i laboratoriet.

Alle skal bruke laboratoriefrakk og øyevern tilpasset arbeidets art.

Alle skal vite hvor nærmeste brannslukker, nød-dusj, øyeskyller og førstehjelpsutstyr befinner seg og hvordan dette benyttes.

Respekter alle varselmerker. Vis forsiktighet ved bruk av elektrisk apparatur.

Påse at gassbrennere fungerer riktig dersom de skal brukes. De må ikke brenne unødige, og de skal være avstengt når laboratoriet forlates.

Spising og drikking er ikke tillatt i laboratoriet.

Private laboratorieforsøk er ikke tillatt. Opphold i laboratoriet utenom kurstiden er forbudt.

Gjør deg kjent med avfallsprosedyrene. Ikke hell i vasken kjemikalier som skader miljøet eller forårsaker lukt i bygningen.

Ved brannalarm skal gassbluss slukkes og bygningen straks evakueres.

Unngå hastverk. Velg et naturlig arbeidstempo. Løp aldri i laboratoriet eller i gangen foran. Følg gjeldende ordensregler og hold arbeidsplassen ryddig.

Uvedkommende har ikke adgang til laboratoriet.

Brudd på sikkerhetsreglene kan føre til fare for din egen og andres helse.

Alvorlige brudd er utvisningsgrunn.

ENKEL FØRSTEHJELP

Kjemikaliesprut i øyet: Vask med kaldt vann fra nærmeste spring eller øyeskylleflaske. Fortsett skylling til lege overtar. Se oppslag "Legehjelp ved ulykker".
Brukere av kontaktlinser: Skyll først. Ta vekk kontaktlinsene. Fortsett skylling.

Brannskader: Skyll skadestedet med kaldt vann fra nærmeste spring. Hold det så neddyppet i vann (15 - 20°C). Fortsett behandlingen også under transport til lege og under eventuell venting på sykehus.

Kjemikaliesøl på huden: Skyll med mye kaldt vann, fjern tilsølte klær og skyll huden, vask med såpe og vann.

Kuttskader: Skyll med kaldt vann fra springen. Stans blødning, legg nødforbinding, bruk "enkeltmannspakke" eller "blodstopper" som finnes i førstehjelpsskapet. Søk evt. lege for sying.

Gassforgiftninger: Frisk luft og fullstendig ro, tilkall lege/ambulansse.

Gift i fordøyelseskanal: Drikk mye kaldt vann. Giftinformasjonssentralen, tlf. 22 59 13 00 kan gi ytterligere opplysninger vedr. aktuelle stoff. Ta kontakt med Ullevål sykehus, Medisinsk avd., akuttmottaket, tlf **22 11 80 80**.

Elektrisk støt: Fjern skadede fra spenningskilden. Ved hjertestans: Sett straks i gang med kunstig åndedrett og hjertemassasje.

Besvimelse: Stabil sideleie, sjekk puls og åndedrett.

RAPPORTSKRIVING

Om rapportskriving:

Journalen kan sies å være en forenklet versjon av en vitenskapelig artikkel. I vitenskapelige artikler presenteres ny forskning, og det er derfor viktig at artikkelen gir tilstrekkelig informasjon for reproduksjon av resultatene. Det er også viktig at relevant teori og tidligere forskning presenteres, slik at andre forskere kan bruke dette i sin videre forskning, og som en kvalitetssikring.

I dette kurset skal vi gjøre forsøk som er kjent fra tidligere, men vi vil allikevel forsøke å skrive journaler med oppsett som likner en vitenskapelig artikkel. Formålet med journalen er at forsøket skal kunne reproduseres og forstås kun ved hjelp av journalen, og det er derfor viktig at den framstår ryddig slik at den blir lett for en utenfra å lese. Derfor bruker vi gjerne følgende oppsett:

OVERSKRIFT PÅ OPPGAVEN

Utført:dato og sted.....

Innlevert:.....dato.....

Skrevet av:

Veileder:

1. INNLEDNING

Her kan du skrive litt bredt om emnet i laboppgaven, som for eksempel grunnleggende prinsipper, anvendelsesområder og eventuelle utfordringer. Du kan også kort forklare hensikten med forsøket.

2. TEORI

Her skal all teori for forsøket presenteres. Alle likninger som benyttes skal forklares og presenteres. Teori og likninger finner du enten i labheftet, læreboka eller begge deler. Ha gjerne med figurer.

3. EKSPERIMENTELT

Her skal du kort forklare hva som ble gjort under forsøket. Unngå unødvendige detaljer, ta kun med handlinger som har betydning for resultatene. Ha med skisser av det eksperimentelle oppsettet her.

4. RESULTATER

Her skal kun resultater presenteres i nummererte tabeller, grafer og figurer. Husk at figurtekst settes under figuren mens tabelltekst settes over tabellen.

5. DISKUSJON

Her skal resultatene forklares ved hjelp av teorien fra teoridelen. Henvis til tabeller og grafer fra resultatdelen. Gikk ikke forsøket som det skulle? Forsøk å forklare hvorfor. Ha også med feilkilder. I noen forsøk kan det være hensiktsmessig å slå sammen resultater og diskusjon, men forsøk å holde disse delene hver for seg hvis du klarer.

6. KONKLUSJON

Konklusjonen kan være kort. For eksempel et kort sammendrag om det viktigste fra resultater og diskusjon.

Generelt for rapporten:

- Forsøk å skrive objektivt; unngå ord som ”jeg, man, vi” osv.
- Bruk like mange gjeldende siffer i svaret som i det minst nøyaktige måltallet som inngår i beregningene. I disse laboppgavene er det stort sett nok å ha med tre gjeldende siffer på kladd og i mellomregninger, og runde av til to gjeldende siffer i svaret. Husk: Ledende nuller teller ikke som gjeldende siffer. For eksempel har 0,0034 to gjeldende siffer mens 700,0 har fire gjeldende siffer.
- Symboler for fysiske størrelser (f.eks. *E*, *m*, *c*) skrives i *kursiv*, mens tall og enheter skrives med vanlig skrift.
- Opplisting av alle målte og/eller oppgitte størrelser som inngår i beregningene skal med i rapporten (i resultatdelen).
- Alle grafiske fremstillinger skal inneholde:
 - Overskrift
 - Tekst, symbol, enhet og 4-6 tallverdier på begge aksene
 - Tydelig merkede målepunkter uten linjer mellom punktene
 - Regresjonslinje med likning (med passe antall gjeldende siffer)

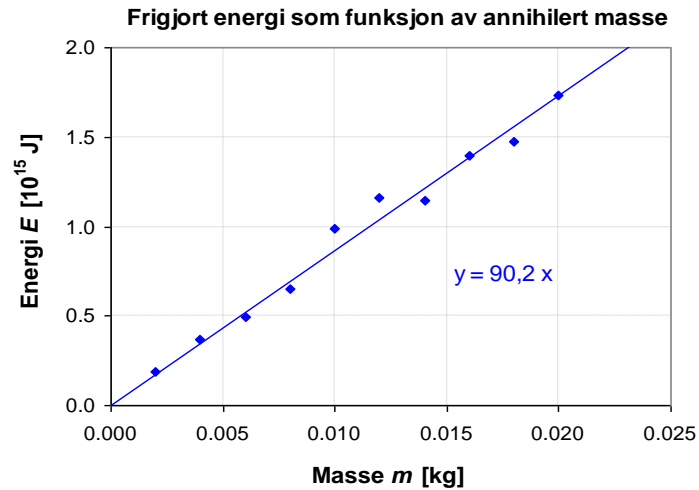
Regresjon:

Et viktig statistisk verktøy som brukes mye i eksperimentell vitenskap er regresjon. I flere av laboratorieoppgavene skal dere foreta regresjonsanalyser for å beregne fysiske parametere. Dersom den matematiske sammenhengen mellom to parametere er kjent, for eksempel at strøm og spenning er proporsjonale med hverandre, kan den elektriske motstanden finnes ved å måle spenning som funksjon av strøm. Motstanden vil da være stigningstallet i et plot av spenningen som funksjon av strøm (Lineær regresjon).

I mange av oppgavene skal du plote måledata og lime dette inn i journalen. Til dette kan du bruke programmer som f.eks Excel og Origin. For å gjøre plottet så informativt og fullstendig som mulig bør det være med både tekst, symbol og enhet på hver akse, f.eks. ”Spenning U [mV]” eller ”Temperatur T / °C”. Når det senere skal trekkes en regresjonskurve mellom målepunktene, skal det ikke tegnes linjer mellom målepunktene ved plottingen. Sørg for å bruke et ”XY (Scatter)”-plott slik at punktene får riktige koordinater langs begge akser. Ellers vil stigningstallet til regresjonslinjen bli feil.

Under følger et eksempel på bruk av regresjonsanalyse (NB: Dette er et tenkt eksempel. Ikke forsøk dette hjemme! :-)

Einsteins formel $E = mc^2$ skulle benyttes for å beregne lyshastigheten c ved å la en total masse m med materie + antimaterie få tilintetgjøre hverandre (annihilere), og måle energimengden E som ble frigjort.



Likningen $E = mc^2$ viser at et plott av energien som funksjon av massen vil være en rett linje gjennom origo ($y = ax$) med stigningstall $a = c^2$. Lineærregresjon i Excel ble benyttet til å finne stigningstallet $a = 90,2 \cdot 10^{15}$ J/kg. Siden joule gitt med grunnenheter er

$J = \text{kg m}^2/\text{s}^2$ får vi

$$\text{Lyshastigheten, } c = \sqrt{a^2} = \sqrt{\frac{90,2 \cdot 10^{15} \text{ m}^2}{\text{s}^2}} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s.}$$

ØVELSE 1: ENERGITRANSPORT OG KALORIMETRI

Fremmøtested: Fysikklab i 2. etg. vest i Fysikkbygningen, V225 (ved siden av Lille Fysiske auditorium, der forelesningene går).

I denne øvelsen skal vi illustrere begrepet energi så vel som transport og konvertering av energi. Du vil møte stoff som er kjent fra pensum om varme, stråling, og termodynamikk, men også noen helt nye prinsipper. Du vil få trening hovedsakelig i fysiske målemetoder og rapportering fra disse.

Øvelse 1a: Termoelektrisitet og energitransport

Introduksjon

I denne delen av øvelsen skal vi se nærmere på noen forskjellige måter å konvertere energi på fra en form til en annen. I den første delen blir varme konvertert direkte til elektrisk strøm ved hjelp av et Peltier-element. Direkte konvertering av varme til elektrisk energi eller omvendt kalles termoelektrisitet. Dette er en fellesbetegnelse på flere termoelektriske effekter som kjennetegnes ved at:

- Det oppstår elektriske strømmer eller spenninger pga. temperaturforskjeller i eller mellom elektriske ledere eller halvledere.
- Elektriske strømmer leder til oppvarming eller avkjøling avhengig av strømmens retning.

Kan du komme på eksempler på anvendelser av termoelektrisitet?

Teori

Seebeck-effekten

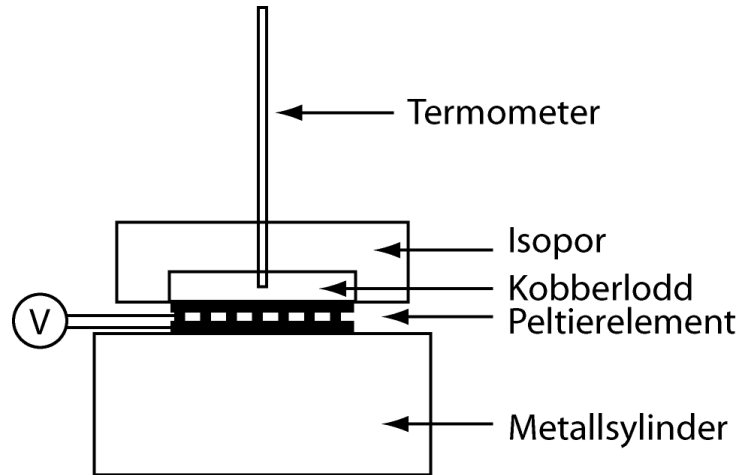
I lærebokas kapittel 3 har vi vært innom materialer i temperaturgradienter; de utvikler en elektrisk spenning hvis fortegn avhenger av om materialet er en n- eller p-leder. Hvor stor spenning vi får per grad temperaturgradient kalles termoelektrisk kraft, eller Seebeck-koeffisienten for materialet. Vi kan imidlertid ikke måle denne direkte, vi må koble materialet sammen med et annet materiale for å kunne gjennomføre målingen. Vi kan altså bare måle spenningen for et par av materialer – et termoelement.

Vi betrakter en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere a og b ("termoelement"). Når kontaktstedenes temperatur er forskjellig vil det gå en elektrisk strøm i kretsen (Seebeck-effekten) fordi materialene setter opp forskjellige spenninger i gradienten. Hvis kretsen åpnes oppstår det en termoelektrisk spenning E_{ab} mellom terminalene. Positiv retning for E_{ab} er fra materialet a til materialet b i det kalde kontaktstedet. Seebeck-koeffisienten for kontakten mellom materialene a og b er definert i likning (1).

$$S_{ab} = \frac{dE_{ab}}{dT} \quad (1)$$

der T er temperaturen i det varme kontaktstedet.

Varmeledning gjennom et Peltier-element



Figur 1: Termoelement og varmereservoar for bestemmelse av Seebeck-koeffisienten i Peltier-elementet.

Figur 1 viser et oppsett for bestemmelse av varmeledning gjennom et Peltier-element. Kobberloddets temperatur betegnes med $T_1(t)$, der t er tiden. T_2 er den store metallsylinders temperaturen og kan betraktes som konstant. Den termoelektriske spenningen $U(t)$ er gitt ved

$$U(t) = S[T_1(t) - T_2] \quad (2)$$

La kobberloddet ha varmekapasiteten C . Når kobberloddet avkjøles vil det avgi effekten

$$P = -C \frac{dT_1}{dt} \quad (3)$$

I følge Fouriers lov har vi at

$$P = \lambda A \frac{T_1(t) - T_2}{d} \quad (4)$$

der A er Peltier-elementets areal, d er tykkelsen og λ er varmekonduktiviteten til elementet.

De tre ovenstående likninger innebærer at

$$\frac{dU}{dt} = -\frac{\lambda A}{Cd} U(t) \Leftrightarrow \frac{dU}{U(t)} = -\frac{\lambda A}{Cd} dt \quad (5)$$

Ved integrasjon fra t_0 til t får vi

$$\ln \frac{U(t)}{U(t_0)} = -\frac{\lambda A}{Cd}(t - t_0) \quad (6)$$

som ved å sette $U(t_0) = U_0$ kan omskrives til en generell likning ved tiden t

$$\ln \frac{U(t)}{U_0} = -\frac{\lambda A}{Cd}t + konst \quad (7)$$

Dette viser at det er en lineær sammenheng mellom $\ln(U/U_0)$ og t .

Varmekonduktiviteten λ angis i $\frac{W}{m \cdot K}$.

Peltier-effekten

Vi betrakter igjen en krets sammensatt av to forskjellige metaller eller halvledere. Anta at kontaktstedene til å begynne med har samme temperatur. Så kobles en strømkilde til kretsen. Kontaktens temperatur vil nå forandre seg. En del av dette kan tilskrives motstands-oppvarming (Joule-effekten). Resten skyldes Peltier-effekten. Sistnevnte kan reverseres slik at den kan forårsake enten oppvarming eller avkjøling.

Peltiereffekten skyldes at ladningsbærerne som går gjennom kontaktflaten, passerer et potensialsprang og derfor mottar eller avgir energi. Avgitt energi finnes igjen som varme og mottatt energi vil medføre nedkjøling av omgivelsene. Varmemengden er lik produktet av strømmen som går fra stoff A til B og en størrelse π_{AB} , som kalles Peltierkoeffisienten. Denne er avhengig av de to stoffene og av temperaturen i kontaktstedet. Når strømmen skifter retning, skifter Peltierkoeffisienten fortegn $\pi_{AB} = -\pi_{BA}$, og oppvarming fåes der det før var avkjøling og omvendt. Strøm gir også oppvarming pga. resistans, og denne oppvarmingen øker proporsjonalt med kvadratet av strømmen. Oppvarming som skyldes Peltiereffekten øker derimot proporsjonalt med strømmen, slik at peltiereffekten blir særlig merkbar ved små strømmer.

Eksperimentelt

Del 1: Ladningsbærerens bevegelsesretning

En prøve av et halvledermateriale kobles til et voltmeter. Den ene siden av prøven varmes opp noen få grader med hånden. Voltmeteret viser en spenning av størrelsesorden 1 mV. Spenningens fortegn avhenger av om halvlederen er p-type med positive ladningsbærere eller n-type med negative ladningsbærere. Undersøk de materialene som er framlagt.

I disse målingene danner kontaktene og måleinstrumentets ledninger ”det andre materialet” som går fra målingens varme side tilbake til romtemperatur. Disse er metaller og har langt mindre termoelektrisk kraft enn halvlederen. Derfor kan vi tolke resultatet i hovedsak som gitt av halvlederens egenskaper.

Del 2: Seebeck-koeffisienten for Peltier-elementet:

Benytt apparaturen med Peltier-element som er vist i figur 1. Den store metallsylinderens temperatur, T_2 , måles ved forsøkets start og betraktes som konstant. Hold kobberloddet i hånden og varm det opp noen grader. Mål sammenhørende verdier av kobberloddets temperatur (målt med en elektronisk temperaturføler) og den elektriske spenningen E (målt med et millivoltmeter) mens loddet avkjøles. Temperaturen til den store metallsylinderen som Peltier-elementet ligger på holder seg tilnærmet konstant.

Del 3: Bestemmelse av varmekonduktiviteten

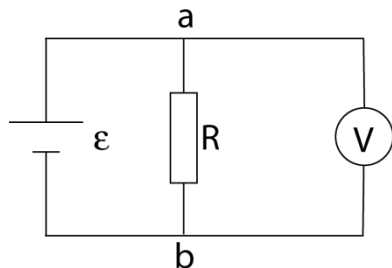
Varm opp kobberloddet fra del 2 noen grader med hånden. (Alternativt kunne du ha sendt strøm gjennom Peltier-elementet (og så brutt strømforsyningen), men det er mindre effektivt.) Mål den termoelektriske spenningen $U(t)$ med millivoltmeteret hvert 20. sekund i 500 sekunder. Husk også å skrive ned Peltier-elementets areal og tykkelse, og kobberloddets varmekapasitet.

Del 4: Peltier-kjøling

Bruk apparaturen fra figur 1. Bruk en strømforsyning til å sende en strøm på maksimalt 0,75 A gjennom Peltier-elementet. Kobberloddets temperatur vil stige eller avta avhengig av strømrretningen. Velg strømrretning slik at temperaturen avtar. Mål temperaturen for eksempel hvert 30. sekund til temperaturen begynner å flate ut (ca. 10 minutter).

Del 5: Indre resistans i en termogenerator (Peltierelement)

En metallkopp fylles med varmt vann fra springen og settes forsiktig opp på Peltier-elementet som er plassert opp på kobbersylinderen. Peltier-elementet kobles til en motstandsbox (R på Figur 2). Vi velger $R = 1; 1,5; 2,5; 4$ og 10Ω . For hvert valg av resistansen R måles potensialforskjellen U_{ab} med et voltmeter V som har stor indre resistans.



Figur 2: Krets for måling av indre resistans i termogenerator (Peltierelement) med spenning ε ved hjelp av en motstandsbox med valgbar motstand R og et voltmeter V .

Strømmen I_R gjennom motstandsboxen er gitt ved likning (8):

$$I_R = \frac{U_{ab}}{R} \quad (8)$$

Strømmen I gjennom termogeneratoren er gitt ved:

$$I = I_R + I_V \quad (9)$$

der I_V er strømmen gjennom voltmeteret. Da voltmeterets indre resistans er $10 \text{ M}\Omega$ blir $I_V \ll I_R$, slik at vi med god tilnærming kan skrive:

$$I = I_R = \frac{U_{ab}}{R} \quad (10)$$

Potensialforskjellen U_{ab} framstilles grafisk som funksjon av strømmen I på millimeterpapir. Punktene forventes da å ligge på en rett linje som kan skrives som:

$$U_{ab} = \varepsilon - r_i I \quad (11)$$

der ε er Peltier-elementets elektromotoriske spenning og r_i er dets indre resistans.

Resultater og Diskusjon

Del 1:

Tegn forsøksoppsettet og materialene og temperaturene som inngår skjematisk. Bestem hvilken prøve som er p-type og hvilken som er n-type. Begrunn svaret. Tegn og beskriv hvordan terninger av p- og n-type materialer kan kobles sammen med metallbiter i serie til en termogenerator (Peltier-element).

Del 2:

Framstill måleresultatene grafisk med kobberloddets temperatur på x-aksen og spenningen på y-aksen. Bestem Seebeck-koeffisienten, $S_{ab} = \frac{dE_{ab}}{dT}$, for

Peltierelementet ved hjelp av regresjon (se side 6 for hint om regresjon). Hvordan er spredningen i målepunktene? Kommenter.

Del 3:

Presenter måleresultatene som en grafisk fremstilling av $\ln(U(t)/U_0)$ mot tiden t . Ved hjelp av likning (7) og lineær regresjon av plotet skal du bestemme Peltier-elementets varmekonduktivitet λ .

Del 4:

Gi en grafisk framstilling av temperaturen som funksjon av tiden. Basert på plotet av temperaturen som funksjon av tiden, anslå hvor mange grader celsius under romtemperatur det er mulig å oppnå med Peltier-elementet.

Del 5:

Gi en grafisk framstilling av U_{ab} som funksjon av I .

Bruk likning (11) og plotet til å bestemme r_i ved hjelp av regresjon.

Programmeringsøvelse til del 5:

Skriv et dataprogram som ber om og leser inn ε og r_i . La programmet så regne ut og skrive en liste over U_{ab} ut fra ligningene (10) og (11), for R fra 0 til 10 ohm i steg på 0,5 ohm. (Programmet kan du bruke til å lese inn de verdiene for ε og r_i som du fant eksperimentelt og så kontrollere om U_{ab} -verdiene stemmer omtrent med de du fant ved visse R -verdier.) Dokumentér at du har skrevet og testet programmet, i eller sammen med journalen.

Feilkilder

Vurder om det finnes feilkilder som kan ha påvirket forsøket merkbart.

Øvelse 1b: Strålingskube og varmestrålingsdetektor

Introduksjon

Elektromagnetisk stråling kan enkelt forklares som energi av forskjellig karakter avgitt ved svingninger av elektrisk ladning. Elektromagnetisk stråling karakteriseres ved fordelingen av bølgelengden den består av. Synlig lys (400-700 nm) og røntgen (0.01-10 nm) stråling er eksempler på to forskjellige klasser av elektromagnetisk stråling. I denne oppgaven skal vi bli bedre kjent med stråling gjennom *Wiens forskyvningslov* og *Stefan Boltzmanns lov*.

Teori

Stråling fra et sort legeme

Et sort legeme absorberer all elektromagnetisk stråling som treffer overflaten og sender ut igjen et karakteristisk, kontinuerlig spekter som kun er avhengig av objektets temperatur. Slik stråling kalles stråling fra et sort legeme. Ettersom all elektromagnetisk stråling absorberes vil et sort legeme oppfattes sort ved lave temperaturer. Men med økende temperaturer vil det sendes ut stråling med økende frekvenser. Ved oppvarming vil derfor et sort legeme først sende ut synlig lys, fra rødt ved de lavere temperaturene, til blått ved videre temperaturøkning. Når objektet oppfattes å sende ut hvitt lys betyr dette at objektet stråler ut UV-lys

Wiens forskyvningslov

Plancks strålingslov sier at ved stråling fra et sort legeme er fordelingen av bølgelengder lik i form, men forskyvet i bølgelengde ved varierende temperaturer. Fra dette følger Wiens forskyvningslov om at bølgelengden med størst intensitet fra et sort legeme er invers proporsjonal med temperaturen av legemet, som gitt i likning (1)

$$\lambda_m = \frac{a}{T} \quad (1)$$

Der a er en konstant med verdien 0,00290 K m

Stefan-Boltzmanns lov

Også Stefan-Boltzmanns lov bygger på Plancks strålingslov. Men der Wiens forskyvningslov beskriver bølgelengden med størst intensitet beskriver Stefan-Boltzmanns lov den totale strålingsintensiteten fra et sort legeme. Stefan-Boltzmanns lov sier at den totale strålingsintensiteten fra et sort legeme er proporsjonal med absolutt temperatur i fjerde potens, som vist i likning (2)

$$M = \sigma T^4 \quad (2)$$

Der σ er Stefan-Boltzmann konstanten med verdien $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

Eksperimentelt

Strålingskuben er en aluminiumsboks som inneholder en 100 W lyspære. Kuben har en svart, en hvit, en matt og en blank sideflate. Kubens temperatur registreres ved hjelp av en termistor (temperaturavhengig elektrisk motstand). En utlagt tabell viser sammenhengen mellom kubens temperatur og termistorens resistans. Strålingskubens temperatur kan varieres.

Vi benytter en strålingsdetektor som inneholder en termosøyle (kombinasjon av flere termoelementer). Detektoren gir en termospenning som er proporsjonal med varmestrålingens intensitet. Den spektrale responsen er (i følge produsenten) tilnærmet konstant i området av bølgelengder fra 0,5 μm til 40 μm .

Del 1: Stefan-Boltzmanns lov

Detektoren plasseres 30-40 mm fra kubens svarte sideflate på en slik måte at avstanden holdes konstant under målingene. Sett varmeskjoldet mellom kuben og detektoren. Lampen i kuben tennes. Mens kubens varmes opp måles sammenhørende verdier av kubens temperatur og detektorens termospenning. Varmeskjoldet fjernes i noen få sekunder mens målingen foretas. Da kan vi regne med at detektorens temperatur er lik romtemperaturen T_0 . Hvis kuben er varm når du starter øvelsen, kan du gjøre målingene mens den avkjøles.

Del 2: Absorpsjon av varmestråling i glass

Hold detektoren ca. 50 mm fra den svarte flaten. Les av termospenningen. Sett en glassplate mellom kuben og detektoren. Les av termospenningen igjen.

Del 3: Stråling fra forskjellige flater

Sammenlikn strålingsintensitetene til den sorte, blanke, og hvite flaten ved samme temperatur.

Resultater og Diskusjon

Del 1:

Vi venter at strålingsintensiteten fra kuben følger Stefan-Boltzmanns lov, mens termospenningen U fra detektoren vil være tilnærmet proporsjonal med $(T^4 - T_0^4)$ der T er kubens temperatur. Undersøk om dette stemmer ved å fremstille målingene grafisk (NB! T og T_0 i Kelvin).

Hva er bølgelengden for maksimum strålingsintensitet fra den sorte flaten ved den høyeste og laveste temperaturen som du målte ved? (Bruk Wiens forskyvningslov). Hva slags elektromagnetisk stråling tilsvarer disse bølgelengdene?

Del 2:

Blokkerer glasset varmestrålingen?
Blokkerer glass all stråling (andre bølgelengder)?
(Ekstra: Hvordan virker et drivhus?)

Del 3:

Observerte du forskjellige strålingsintensiteter for de forskjellige flatene ved samme temperatur? Hvorfor/Hvorfor ikke? Forklar.

Feilkilder:

Vurder hvor rimelig det er å bruke Stefan-Boltzmanns lov i disse forsøkene.

Øvelse 1c: Kalorimetri

I denne øvelsen skal dere bruke vernebriller (deles ut).

Innledning

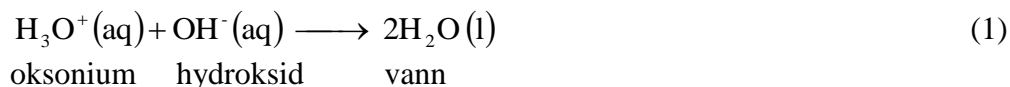
Kalorimetri er å måle varmemengde, og dette kan gjøres ved bruk av et kalorimeter. Som regel er hovedprinsippet at kalorimeteret må være godt isolert (for å holde på varmen) og at det har noe som kan måle temperaturen.

Teori

Reaksjonsentalpi for en reaksjon; nøytraliseringsvarme

Nøytralisering av en syre med en base er en eksoterm reaksjon. Derfor vil en temperaturøkning i blandingen observeres etter hvert som basen tilsettes. Dersom temperaturendringen i blandingen logges med en datalogger, kan nøytralisasjonspunktet sees som et temperaturmaksimum. Fargeomslag kan også observeres med en passende indikator.

Reaksjonen kan gjøres i et isoporbeleg, som er et enkelt kalorimeter. Dersom temperaturendringen vi har fått når alt har reagert, mengde syre og base dette stammer fra, samt mengden og varmekapasiteten til løsningene som blandes er kjent, kan standard reaksjonsentalpi, $\Delta_N H^0$, for reaksjonen bestemmes:



og dette skal vi gjøre i denne oppgaven.

Eksperimentelt

Utstyr

2,0 M HCl

2,0 M NaOH (løsningene bør ha samme temperatur)

Isoporbeleg (kalorimeter)

Plastsprøyte, 50 mL

Fenolftaleinløsning

Dataloggingsutstyr med temperaturføler

Magnetrøreverk

Termometer

Fremgangsmåte

- 1) Rigg opp utstyret for datalogging med temperaturføler. Mål ut 50,0 mL saltsyre og overfør til isoporbeholder. Sett beholderen til røring og plasser en temperatursensor i løsningen. Ha i to dråper indikatorløsning (fenolftalein).
- 2) Overfør ca. 60 mL natronlut i et begerglass. Mål temperaturen i syren og luten og notér.
- 3) Start loggingen. Sug opp ca 55 mL lut med plastsprøyten og tilsett ganske raskt, ca. 1 mL i sekundet helt til all lut er tilsatt syre. Når du nærmer deg nøytralisasjonspunktet (ofte kalt endepunktet, 50,0 mL), følg godt med og notér tilsatt volum lut når temperaturen når et maksimum. Lagre grafen fra dataloggingen som en bitmap-fil.

Husk å skissere apparaturens vesentlige deler i rapporten (under Eksperimentelt).

Resultater og Diskusjon

Legg ved grafen fra dataloggingen.

Ved hvilket volum tilsatt lut skal endepunktet for titreringen nås (teoretisk volum)?

Ved hvilket volum tilsatt lut når du temperaturmaksimum?

Forklar hvorfor temperaturkurven har et maksimum og at kurven er slakkere når temperaturen avtar igjen.

Bestem standard nøytralisasjonsentalpi, $\Delta_N H^0$, i J/mol, for reaksjonen når løsningens tetthet settes til 1,00 g/mL og løsningens spesifikke varmekapasitet, c , til 4,2 J/(gK). For å gjøre dette kan det være lurt å først regne ut nøytralisasjonsvarmen for *dette* forsøket (da får du en verdi med enhet J) for deretter å ta hensyn til hvor mange mol syre som vi benyttet i forsøket.

Hva blir fortegnet på nøytralisasjonsentalpien og hvorfor?

Feilkilder

Hvilke feilkilder er vesentlige i dette forsøket?

Øvelse 1d: ”Termodynamikk”

Innledning

I denne oppgaven skal vi bruke en latex gummistrikk – for eksempel en uoppblåst ballong – for å demonstrere noen termodynamiske prinsipper .

Teori

La oss betrakte gummien som vårt system. Den utveksler ikke masse med omgivelsene og vi lar den ikke rekke å utveksle varme før vi ”måler” dens temperatur, så den kan sees som et isolert system. Ut fra temperaturforandringen som kan observeres når strikken strekkes og slippes kan du avgjøre om strekkingen (og slippingen) av strikken er en eksoterm eller endoterm prosess. Videre kan du også si noe om forandringen i Gibbs energi ved å finne ut om strekkingen (og slippingen) av gummistrikken er en spontan eller ikke-spontan prosess. Basert på dette, og at $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, kan du bestemme fortegnet på entropiforandringen når vi strekker og slipper strikken.

Eksperimentelt

Del 1:

Hold gummien i normal lengde (ikke strukket) mot pannen. Legg merke til hvordan temperaturen i materialet (= romtemperatur) føles. Strekk et par cm av gummien raskt ut til ca. 3 ganger lengden mens den ligger mot huden. Merk deg hva som har skjedd med materialets temperatur.

Del 2:

Hold gummien utstrukket i 3 ganger lengden i 10-20 sekunder, slik at den får romtemperatur. Slipp den raskt sammen til opprinnelig lengde og føl endringen i temperatur. Merk deg hva som nå har skjedd med materialets temperatur.

Del 3:

I dette forsøket skal du sammenligne lengden til gummistrikken når den er kald og varm. Et lite lodd henger i enden av en avklippet strikk. Loddet og stikken er plassert i en målesylinder som vi kan fylle med kaldt og varmt vann. Mål lengden til strikken når den er kald (dvs i kaldt vann) ved å bruke målelinjene på målesylinderen. Bytt deretter til kokvarmt vann og vent til oppsettet har stabilisert seg. Mål lengden nå og sammenlign med strikkens lengde når den var kald.

Resultater og Diskusjon

Del 1:

Hva har skjedd med materialets temperatur? Tror du endringen skyldes termodynamikk eller kinetikk (friksjon)?

Del 2:

Hva har skjedd med materialets temperatur nå? Hva sier dette om spørsmålet om termodynamikk vs. kinetikk (friksjon)?

Del 3:

Hva har skjedd med strikken? Bruk gjerne Le Chatelier's prinsipp i forklaringen.

Lag også en tabell over ΔG , ΔH og ΔS og to linjer for hhv strekking og slipping av strikken. Marker med + og – fortegnet på ΔG og ΔH ut fra hva du observerte i de to tilfellene. Forklar hvordan dette kan brukes sammen med $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ til å bestemme fortegnet til ΔS når gummi strekkes og trekkes seg sammen.

Bruk det du vet om molekylstrukturen i gummi til å forklare entropiendringene.

Hva skjer med de fleste materialer når de varmes opp? Hva skjedde med gummistrikket? Hvorfor?

ØVELSE 2: UORGANISK MATERIALSYNTESE: SUPERLEDEREN $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ OG NANOPARTIKLER AV GULL

Fremmøte: ØU14 i Kjemibygningen. Husk labfrakk!

I denne labøvelsen skal du lære litt om syntese av uorganiske, avanserte materialer, å skrive reaksjonslikninger og enkle prinsipper ved kjemiske likevekter. Mesteparten av tiden vil du bruke på å lage superlederen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ("YBCO"), men du skal også få se hvordan man kan lage nanopartikler av gull. Du vil også lære at de optiske egenskapene til slike nanopartikler varierer med størrelsen på dem, og på denne måten få et innblikk i hva slags muligheter nanoteknologien representerer.

Øvelse 2a: Syntese av superlederen $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

Innledning

En superleder er et materiale som leder elektrisk strøm uten motstand. Denne egenskapen ble først oppdaget i kvikksølv ved temperaturer nær det absolutte nullpunkt - flytende helium måtte benyttes som kjølemiddel. Oppdagelsen ble gjort av Onnes i 1911, bare tre år etter at flytende helium ble fremstilt for første gang. Senere er superledning funnet i mange metaller og enkelte ikke-metalliske stoffer, men alltid ved svært lave temperaturer. I 1986-87 oppdaget Müller og Bednorz at $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ("YBCO") ble superledende over temperaturen til flytende nitrogen, 77 K – et stort hopp oppover i temperatur fra de hittil kjente superledere. At flytende nitrogen kan brukes som kjølemedium i stedet for helium er et tilsvarende stort sprang ned i kostnad for å bruke en slik superleder.

I øvelse 2a skal vi se eksempel på syntese av YBCO, som er et avansert keramisk funksjonelt materiale¹. Det er avansert fordi det har en bemerkelsesverdig fysisk egenskap (superledning), fordi det er komplisert oppbygd både med hensyn på struktur og sammensetning, og fordi det må lages helt rent og med velkontrollert støkiometri for at de superledende egenskapene skal være tilstede som forventet.

I løpet av øvelsen vil du bruke en del kjemisk apparatur og kjemiske arbeidsmetoder. Videre vil du bruke eksemplene som øvelse i beregninger, særlig i forbindelse med innveiing og likevekter. Du skal så sintre det syntetiserte materialet ved høy temperatur til en håndterbar prøve. I en senere oppgave i kurset skal du karakterisere prøven din med fysikalske målemetoder. Hvis vi får tid og anledning, skal vi også vise hvordan stoffet og dets struktur kan karakteriseres med avanserte instrumenter som benyttes i materialforskningen ved Universitetet i Oslo.

¹ R.S. Liu, C.T. Chang, P.T. Wu, "Homogeneous Coprecipitation as a Means toward High- T_c and Sharp-Transition $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Superconducting Oxides", *Inorg. Chem.* **28** (1989) 154-56.

Teori

Litt om superledere

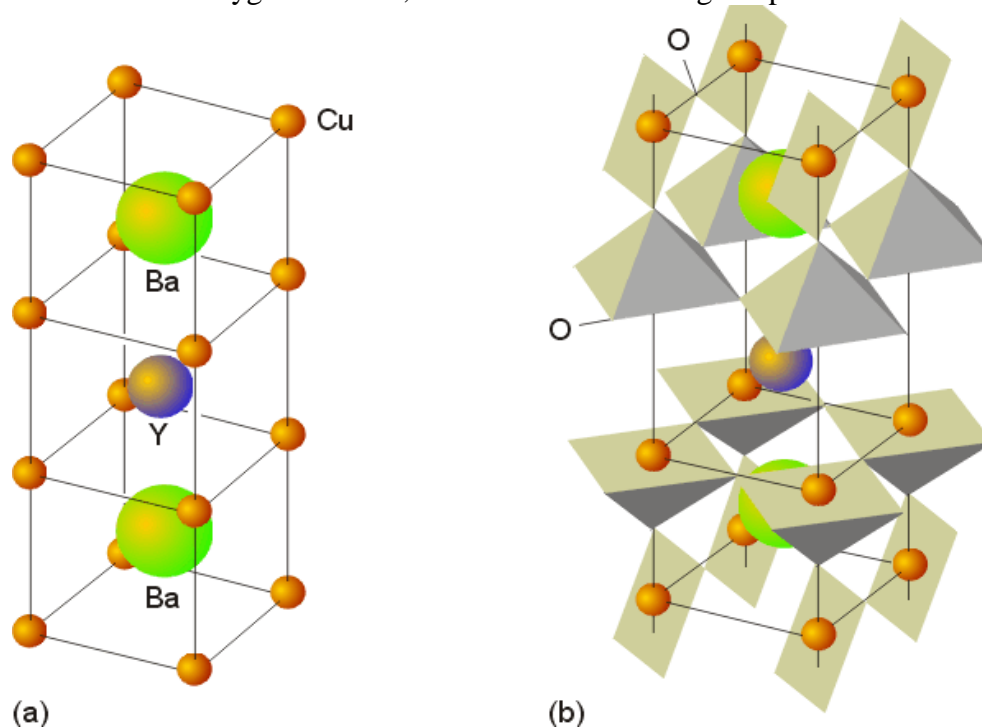
Superledere har en del parametere som viktige for praktiske anvendelser. Den mest åpenbare er den kritiske temperaturen (T_c), som er den høyeste temperaturen der materialet er superledende. I tillegg er det også et kritisk magnetfelt (H_c) og en kritisk strømtetthet (J_c). Det vil si at selv om temperaturen er lav nok vil den superledende egenskapen brytes ned om prøven blir utsatt for en for sterk strømstyrke eller et for sterkt magnetfelt. Disse parametrene er avhengige av hverandre slik at for eksempel vil den kritiske temperaturen være lavere jo sterkere magnetfelt materialet utsettes for.

En spesiell egenskap ved superledende materialer er at de vil støte fra seg magnetiske felt. Dette kalles Meissner-effekten. Dette gjør at det er mulig å få en liten permanent magnet til å sveve over en superledende prøve.

Vi skal kontrollere om materialet vi lager er superledende nettopp ved å prøve Meissner-effekten, i tillegg til å måle den elektriske ledningsevnen.

$YBa_2Cu_3O_7$

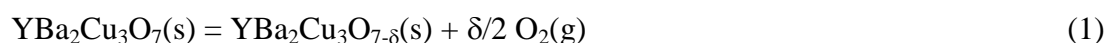
YBCO har en struktur – en romlig organisering av atomene – som kan utledes fra perovskitt-strukturen, ABO_3 . Vi kan si at Y og Ba sitter på A-plassene, mens Cu sitter på B-plassene. Vi ser at $YBa_2Cu_3O_7$ bare har besatt 7 av 9 mulige oksygen-plasser i perovskittstrukturen. Derfor er mange av CuO_6 -oktaedrene i strukturen redusert til plane CuO_4 -enheter og kvadratiske pyramider. Y- og Ba-atomene er ordnet i plan og det samme er oksygenatomene; YBCO har mao. en lagdelt perovskitt-relatert struktur.



Figur 1. Strukturen til $YBa_2Cu_3O_7$. (a) viser bare metallatomene. (b) viser oksygen som hjørner i polyedre; kvadratisk pyramidale og plankvadratiske.

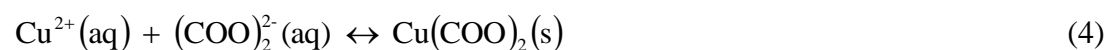
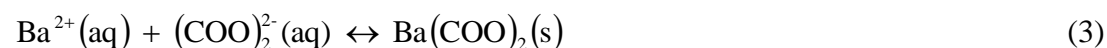
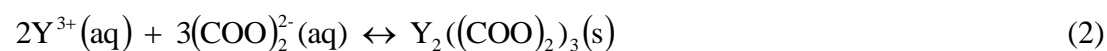
YBCO er metallisk ved romtemperatur; delokaliserte elektroner befinner seg i halvfylte bånd i spesielle plan i strukturen.

Oksidasjonstallet til kobberatomene i YBCO er uvanlig. Oftest har kobberioner oksidasjonstrinnet +2, enkelte ganger +1 under reduserende betingelser eller høy temperatur. Hvis vi antar vanlige oksidasjonstrinn for yttrium, barium og oksygen (henholdsvis +3, +2 og -2) får kobber gjennomsnittlig +2,33 som formelt oksidasjonstall i $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Mekanismen for superledning ser ut til å innebære bevegelse av elektroner mellom to- og treverdig kobber og det er derfor viktig at prøven er oksidert, dvs at oksygeninnholdet er nær 7. Som alle oksider har YBCO den egenskapen at oksygeninnholdet kan forandre seg avhengig av temperatur og oksygeninnholdet i atmosfæren rundt prøven – i YBCO er muligheten for endring relativt stor. Vi kan generelt skrive formelen som $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, der vi altså ønsker at δ er så liten som mulig slik at $7-\delta$ er nærmest mulig 7. Når $7-\delta$ avtar vil også den kritiske temperaturen avta og for $7-\delta < 6,4$ blir superledningsevnen helt borte. Reaksjonen der oksidet avgir oksygen kan skrives:

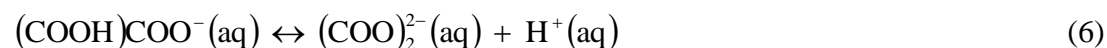
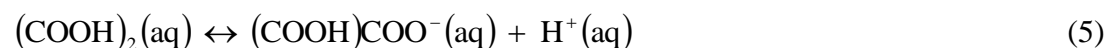


Synteseprosessen

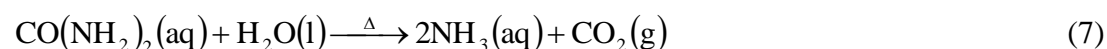
I denne syntesen skal vi felle kationer som oksalater – vi utnytter at alle oksalaterne er uløselige i vann. Hver for seg kan fellingene skrives:



Vi tilsetter imidlertid ikke oksalationer direkte, men starter med oksalsyre, $(\text{COOH})_2$, dvs. løsningen er sur. Så øker vi pH ved hjelp av ammoniakk. Når pH i løsningen øker vil likevekten mellom oksalsyre og oksalationer gradvis forskyves mot høyre fordi H^+ -ioner kontinuerlig fjernes fra løsningen:



Men i stedet for å tilsette ammoniakk direkte skal vi produsere ammoniakk i løsningen ved å hydrolysere urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Å hydrolysere betyr å reagere med vann. Hydrolyse av urea skjer ved oppvarming:



Reaksjonen finner sted mellom 80 og 100°C under utvikling av ammoniakk og karbondioksid og dette fører til en svak, kontinuerlig økning i pH, fordi ammoniakk er en svak base:



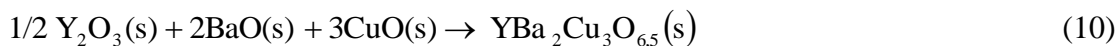
CO₂ drives ut av løsningen, og denne gassutviklingen vil også røre løsningen og forhindre støtkoking. Reaksjonen kan stoppes når løsningen har den ønskede pH ved å avkjøle løsningen til romtemperatur.

Den gradvise økningen i pH gir langsom vekst av barium- og yttriumoksalat på kobberoksalatet som blir utfelt som svært små partikler allerede i sterk sur løsning. (Hva bestemmer ved hvilken pH de tre oksalatene felles, tror du?) Kornstørrelsen til det utfelte produktet vil på grunn av dette være svært liten. Dette må vi ta hensyn til ved filtreringen og vi bruker derfor et svært finmasket filter.

Vi brenner oksalatene ved høy temperatur for å overføre dem til oksider, for eksempel



Oksidene reagerer så til sluttproduktet:



Avgivelsen av CO₂ under avbrenningen gjør at oksidene blir svært reaktive slik at de i stor grad reagerer med hverandre som en del av spaltningen av oksalatene. Dette er nettopp et av poengene med denne syntesen. Det er viktig å oppnå atomær blanding av kationene for å få riktig sammensetning og struktur overalt, og derfor er det nødvendig med liten kornstørrelse og god blanding i utgangspunktet før avbrenningen.

Alternative syntesemetoder

Metoden vi bruker her er en våtkjemisk metode, der vi starter med å bringe alle kationene i løsning og så mer eller mindre samfelle dem.

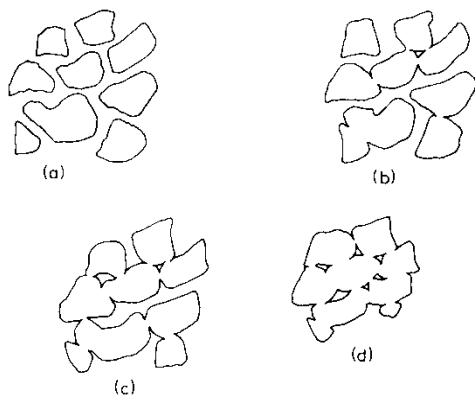
Et alternativ er den tradisjonelle kerammetoden, der oksider og karbonater blandes mekanisk i en mølle og så varmes til høy temperatur for å få reaksjon til sluttproduktet.

En annen våtkjemisk rute er utviklet av forskere ved Universitetet i Oslo. I denne brukes sitronsyre i stedet for oksalsyre – noe som har den fordel at ingen kationer felles ut som separat fase før andre. Vi har derved atomær blanding av kationene hele veien. Dette muliggjøres bl.a. ved at sitronsyre er en treprotisk syre, mens oksalsyren er toprotisk. Du får anledning til å prøve denne metoden på et senere kurs i synteseteknikker.

Sintring

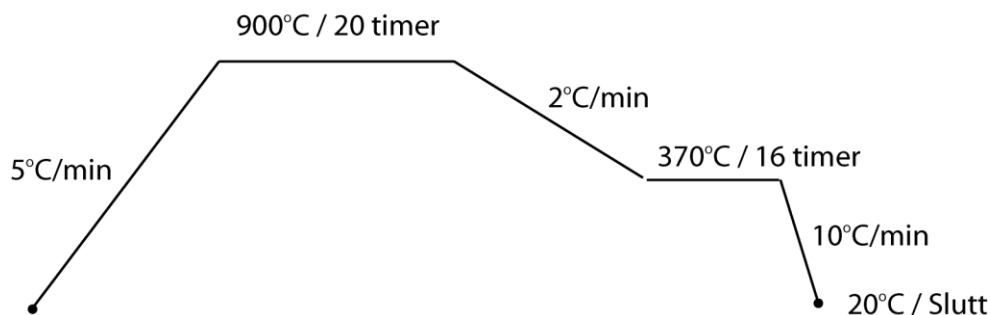
Sintring er en prosess der små partikler i direkte kontakt med hverandre danner et fast legeme. Drivkraften for sintring i et homogent krystallinsk materiale er reduksjonen i den frie energien på grunn av reduksjonen i overflateareal når partiklene vokser sammen. Det er derfor viktig å ha små partikler. I tillegg er det viktig å ha en riktig partikkelstørrelse-distribusjon for å kunne presse en tablett med minst mulig hulrom i utgangspunktet. I krystallinske materialer skjer diffusjonen (bevegelsen av atomene/ionene) langs korngrenser, på overflater og inni kornene (bulk).

Sintringsprosessen kan deles inn i tre hovedstadier. Det første stadiet er begynnende sintring, der vi får nakkedannelse, men kornene fremdeles er atskillbare. I det andre stadiet vokser nakkene og det dannes et porøst tredimensjonalt nettverk av sammenkoblede partikler. I det tredje og avsluttende stadiet dannes et fast materiale med isolerte porer. Alternativt kan porene transporteres til overflaten og forsvinne avhengig av utgangsmaterialets tetthet og formen på kornene. De ulike stadiene i sintringen er illustrert i figuren under.



Figur 2: Illustrasjon av de ulike stadiene i sintringsprosessen. Fra løst pakket pulver (a), gjennom nakkedannelse (b), og porøst tredimensjonalt nettverk (c) til et fast materiale med isolerte porer (d).

I denne oppgaven sintres prøven i oksygenatmosfære med temperaturprogrammet som er vist i figuren under. Dette steget har to funksjoner. Det første er å få laget en tett tablett som vi kan gjøre forsøk med og det andre er å øke oksygeninnholdet i prøven.



Figur 3: Temperaturprogram for sintring i oksygenatmosfære.

Beskrivelse av enkelte apparaturenheter og metoder

Veining

Når vi skal lage YBCO og andre sammensatte forbindelser må vi ofte måle ut utgangsstoffene med stor nøyaktighet. I denne øvelsen, som ofte i industrien, skal vi bruke vekter til å måle ut utgangsstoffene.

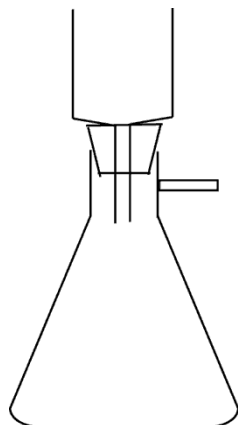
Vi skal bruke to ulike vekter i denne oppgaven. De har omtrent samme virkemåte, men ulik nøyaktighet. Vekter med måleusikkerhet på mindre enn 1 mg kalles *analysevekter*. De har et glassbur rundt seg for å dempe vibrasjoner og luftstrømmer og redusere støvmengden. Analysevekten er et dyrt og følsomt instrument og det er viktig å behandle den riktig. Ta den tiden du trenger og bruk rolige bevegelser. Unngå søl av kjemikalier på vekta. Kjemikalier veies alltid i et veieskip eller liknende, aldri rett på vekta. Lukk døra til vekta når du skal lese av det endelige resultatet.

Når vi skal veie inn stoffene til denne oppgaven bruker vi *kvantitativ overføring*. Dette vil si at vi setter veieskipet på vekta og nullstiller den. Deretter fyller vi veieskipet med riktig mengde stoff og overfører alt til bestemmelsesstedet og skyller så ut av veieskipet med et egnet løsnings- eller skyllemiddelmiddel.

Grovvekter brukes til veiinger som krever mindre nøyaktighet. Disse vektene har ikke et glassbur rundt seg. Veiingene gjøres i vår øvelse på tilsvarende måte som for analysevektene.

Filtrering

Det finns flere mer eller mindre avanserte oppsett for filtrering. I denne oppgaven skal vi bruke et oppsett med et veldig finmasket filter på grunn av den lille kornstørrelsen produktet vårt har når vi filtrerer. Filteret, som er plassert i bunnen av en trakt støttes av en plate laget av en polymer. Vi bruker også en filtrerkolbe og vannstrålepumpe. Filtreringen tar litt tid, men det er viktig å være tålmodig og ikke suge for hardt på kolben da støtteplaten til filteret kan bli ødelagt og filtreringen vil gå enda tregere. Oppsettet ser omtrent ut som skissen i figuren under.

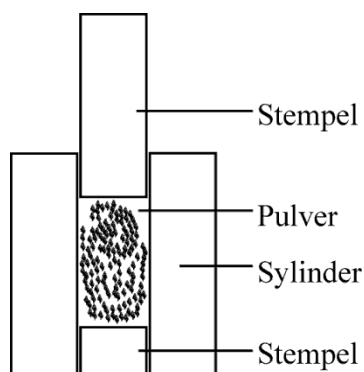


Figur 4: Skisse av filtrerkolbe og filtertrakt.

Vasking av bunnfallet skal gjøres i trakten. Det gjøres ved å tilsette det du skal vaske med (i dette tilfellet vann eller isopropanol), røre forsiktig slik at alt produktet kommer i kontakt med vannet eller isopropanolen, men uten å være borti filteret. Det er best å ikke suge bunnfallet helt tørt før man begynner å vaske.

Pressing av tabletter

For at kornene i pulveret skal komme i best mulig kontakt med hverandre under reaksjonen og for at sintringen skal ha et best mulig utgangspunkt for å danne en tett prøve uten for mye porer presser vi pulveret sammen til en tablett. Dette gjøres i en tablettpresse som illustrert i figuren under.



Figur 5: Skisse av tablettpresse med pulver

Tablettpressen består av en metallsyylinder og to stempler. Pulveret plasseres mellom stemplene og presses sammen til en tablett ved hjelp av en hydraulisk presse eller liknende. Veileder vil forklare mer om rutinene for dette under øvelsen.

Eksperimentelt

”Oppvarmingsforsøk” med kobberforbindelser

For at du lettere skal forstå hva som skjer med kobberet i de ulike trinnene i syntesen, skal du først gjøre noen mindre oppgaver som illustrerer hvilke kjemiske likevekter kobber deltar i under syntesen av YBCO, og hvordan disse påvirkes av pH.

Til en 0,05 M vandig løsning av kobber(II)nitrat tilsettes dråpevis *litt* (2 – 5 dråper) 1 M NH_3 -løsning. Rist på reagensglasset. Hva skjer?

Tilsett mer NH_3 . Rist på reagensglasset. Hva skjer? Hvilken farge har løsningen?

Tilsett 1 M salpetersyre (HNO_3) inntil alt er løst. Hva skjer?

Tilsett oksalsyre-løsning. Hva skjer?

Beskriv det du observerer og skriv reaksjonsligninger for alle reaksjonene. Når du har forstått disse reaksjonene, er du godt forberedt for å begynne på syntesen av YBCO. Diskuter gjerne det du observerer med en av veilederne!

Praktisk utførelse av syntesen (første dag)

Regn på forhånd ut de nødvendige tall for syntesen og fyll inn i tabell 1 (under). Sammenlign og diskuter med andre, og søk eventuelt hjelp, f.eks. under kollokvium.

Molforholdet mellom yttrium-, barium- og kobber-ioner skal være 1:2:3, konsentrasjonen av Y^{3+} skal være 0,068 M, og total løsningsmengde skal være 65 mL.

Regn også ut mengdene av oksalsyre og urea slik at de får konsentrasjoner 0,5 og 10 M i den totale løsningsmengden (65 ml). Husk at oksalysuren inneholder krystallvann når du beregner dens molmasse.

Tabell 1: Beregning av stoffmengder

Løsningens totale volum: 65 mL				
Reagens	Konsentrasjon (M)	Stoffmengde reagens (mol)	Molmasse (g/mol)	Masse (g)
Yttriumoksid Y_2O_3	$[Y^{3+}] = 0,068$			
Bariumkarbonat $BaCO_3$	$[Ba^{2+}] =$			
Kobberhydroksidkarbonat $Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$	$[Cu^{2+}] =$			
Oksalsyre (-dihydrat) $(COOH)_2 \cdot 2H_2O$	0,5			
Urea $CO(NH_2)_2$	10,0			

Yttriumoksid (Y_2O_3), bariumkarbonat ($BaCO_3$) og kobberhydroksidkarbonat ($Cu(OH)_2 \cdot CuCO_3$) veies inn på analysevekt. Ikke bland stoffene sammen.

Urea og oksalsyre veies inn på grovvekt.

Det skal lages to løsninger (1 og 2) som skal blandes sammen senere. *Her skal det arbeides i avtrekk.*

Løsning 1 skal når den er ferdig inneholde yttrium, barium, kobber og urea. Løsningen lages ved å først løse yttriumoksidet i 11 mL 6 M salpetersyre (HNO_3). Dette gjøres i en 100 mL erlenmeyerkolbe under kraftig oppvarming. Når alt er løst trekkes løsningen av varmen før bariumkarbonat og kobberhydroksykarbonat tilsettes. Skyll ned restene av saltene med 10 mL ionebyttet vann. Rør løsningen godt for å unngå klumper, og varm opp løsningen igjen. Sett et merke på kolben som markerer væskemengden og etterfyll om nødvendig med vann etter hvert. Når alt er løst vil løsningen være klar blå og uten partikler. Tilsett så hurtig hele den innveide mengden urea til den kokvarme løsningen og la det løse seg ved å rotere kolben. Pass på at løsningen med urea ikke blir for varm fordi dette fører til at urea begynner å dekomponere for tidlig.

Løsning 2 lages ved å løse den innveide oksalysuren i 5 ml vann under oppvarming.

Oksalsyreløsningen (løsning 2) varmes nesten til koking i et lite begerglass og settes til løsning 1. Blandingen fortynnes med ionebyttet vann til omtrent 65 ml. Blandingen skal nå varmes på et kokende vannbad. Gassutvikling av CO₂ vil røre tilstrekkelig i løsningen slik at annen røring ikke skal være nødvendig. Hvis det likevel legger seg en utfelling på bunnen, ta kolben opp etter 5 minutter og rist forsiktig.

Kobber vil felles ut som kobberoksalat (Cu(COO)₂) med en gang reaktantene er blandet. Etter hvert som reaksjonen går og pH stiger vil også yttrium- og bariumokslatene felles ut. Etter hvert vil litt av kobberoksalatet løses igjen som et kompleks, [Cu(NH₃)₄]²⁺. Dette har en sterkt mørkblå farge.

Det å avslutte ved omlag riktig pH er viktig: Dersom pH kommer for nær opp mot 8 og løsningen blir for mørkt blå, har vi mistet for mye kobber til løsningen, og materialet vil ikke bli en superleder. Dersom vi avslutter ved pH < 4 vil det utfelte materialet være for finkornet og vil lett gå gjennom eller tette filteret.

Reaksjonen tar oftest 30-60 minutter. Sjekk løsningen etter ca 20 minutter: Reaksjonen er ferdig dersom det blir mørkblått rundt boblene eller pH > 4. (En dråpe av væsken tas ut med en plastspatel for å sjekke pH.)

Mens reaksjonen over går skal dere syntetisere nanopartikler av gull. Fremgangsmåten for denne syntesen er beskrevet i 2b.

Etter at reaksjonen er ferdig tar dere erlenmeyerkolben vekk fra vannbadet. I kolben skal det være et bunnfall med lys blå farge. Blandingen tilsettes ionebyttet vann til omtrent 100 mL. Rør om. Blandingen filtreres i lunken tilstand ved hjelp av en filtertrakt og sugekolbe med filtrerpapir på nylon-nett. Filtrér først 2 minutter uten sug. Sett så på et svakt sug. Når filtreringen er ferdig vaskes bunnfallet to ganger med 50 mL vann, deretter med 50 ml isopropanol. Rør forsiktig med en plastikkpipette-spiss under vaskingen uten å ripe opp filteret. Pass på at dere ikke suger filteret helt tørt før dere er ferdige med siste vasking.

Filterkaken skal nå tørkes. Den overføres til en aluminadigel og får tørke ved 120°C over natten.

Videre behandling av det syntetiserte YBCO-materialet

Varmebehandling

Den tørkede filterkaken skal nå kalsineres (varmebehandles). Som forklart i teoridelen gjøres dette for å dekomponere oksalatene slik at vi ender opp med et oksid. Ved høy temperatur brenner vi vekk karbonet som CO₂. Temperaturbehandlingen vil også gi oss et mer homogent produkt. Kalsineringen gjøres i en muffelovn ved 900°C i 16 timer sammen med prøvene fra de andre gruppene.

Under kollokviet uken etter knuses prøven i en morter og pulveret presses til en tablett. Denne tablett settes i et aluminaskip og sintres som forklart i figur 3. Sintringen

sørger for en tett tablett vi kan gjøre forsøk med og for å øke oksygeninnholdet i prøven.

Veiting av prøven

Etter sintring (i forbindelse med lab-oppgave 3) skal du veie prøven. Regn ut utbyttet av hele prosessen (syntesen og prøvefremstillingen) som mengde produkt i forhold til beregnet mengde produkt, i %. Dette oppgis i journalen til Øvelse 3.

Test av superledende egenskaper (del av Øvelse 3)

Til slutt skal vi se om prøvene er superledende. Til dette trenger vi flytende nitrogen, en passende beholder og en liten, sterk magnet. Dersom magneten svever over prøven når prøven ligger i flytende nitrogen, er den superledende ved 77 K!

Resultater og Diskusjon

Beskriv først de separate forsøkene med kobberforbindelser ved hjelp av reaksjonslikninger og farger for alle stegene i forsøket.

Vurder likevekten for reaksjon (1) på side 23. Bør vi varmebehandle prøvene i høyt eller lavt oksygenpartialtrykk for å oppnå den ønskede støkiometrien?

Tror du entropiendringen for reaksjon (1) er positiv eller negativ?

Diskuter hvordan likevekten og derved γ - δ forskyves som funksjon av temperaturen.

Ved hvilket oksygeninnhold i materialet har Cu formelt oksidasjonstall +2?

Presenter resultatene som fargeendringer og utfellinger oversiktlig i tabeller. Forklar hvorfor oksalatene av yttrium og barium dannes gradvis mens kobberoksalat felles ut med en gang. Forklar også hvorfor noe av kobberet løses igjen etter hvert som pH øker.

I denne rapporten skal minimum følgende inkluderes under ”Innledning” og ”Teori”:

Beskriv materialet YBCO.

Beskriv kort og konsist syntesen av YBCO, inkluder reaksjonslikninger for oppløsningen av et saltene og utfelling av ett av oksalatene under hydrolysen av urea.

Utbyttet, samt karakterisering av materialet skal først beskrives i journalen til Øvelse 3.

Programmeringsøvelse:

Skriv i et programmeringsspråk (for eksempel Python) en funksjon $p(H)$ for beregning av pH; $y = p(H) = -\log(H)$. Funksjonen kan selvfølgelig også brukes til pOH , pK_a , osv. Bruk funksjonen i et program som ber om og leser inn K_a for en syre, og så beregner pK_a , pK_b for korresponderende base, samt pH og pOH i en 1 M løsning av syren og i en buffer bestående av syre og base i like mengder. (Ettersom hvordan du velger å regne kan bruke funksjonen få eller mange ganger. Prøv gjerne begge ☺.) Dokumentér programmet i eller med journalen.

Øvelse 2b: Syntese av nanopartikler av gull

De fysikalske og kjemiske egenskapene til materialer kan forandre seg når partiklene som bygger opp materialet blir små, og nærmer seg størrelsen til et atom. I denne oppgaven skal vi fremstille partikler av gull som har en diameter omkring 13 nm.

Innledning

Kort om nanoteknologi

Du skal senere i kurset lære mer om hva som kjennetegner nanoteknologi og få noen innblikk i hvilke muligheter dette representerer. Ett kjennetegn på nanoteknologi er at egenskapene til et materiale forandrer seg og blir størrelsesavhengig når det blir lite nok. Hvor lite det må bli avhenger både av hvilket materiale og hvilken egenskap vi er interessert i. Typisk må vi ned i nanometerområdet for at et materiale skal få egenskaper som skiller seg fra hvordan materialet oppfører seg ved større (og vanlige) dimensjoner. Et eksempel på hva som kan skje med et materiale når dimensjonene blir tilstrekkelig små er vismut (Bi), som går fra å være en metallisk leder til halvleder når det fremstilles som nanotråder med diameter omkring 50 nm.

I denne oppgaven skal vi stabilisere sfæriske nanopartikler av gull ved hjelp av sitratanioner ($[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7]^{3-}$, som kan avledes fra treprotisk sitronsyre). Vi syntetiserer nanopartiklene fra en løsning som inneholder treverdige gull (Au^{3+}) ved å bruke et mildt reduksjonsmiddel (hva tror du fungerer som reduksjonsmiddel?) som gir metallisk gull. Nanopartiklene får en diameter omkring 13 nm, og dette gjør løsningen rød. Vi kan gjøre frastøtningskreftene mellom nanopartiklene mindre ved å tilsette en løsning som inneholder mange positive ioner. Dermed vokser nanopartiklene, og fargen på løsningen forandrer seg.

Teori

Fargen til en løsning fylt med nanopartikler er blant annet bestemt av størrelsen og geometrien til partiklene. Selv om en stor prøve av gull er gulffarget, kan vi lage helt andre farger hvis vi klarer å kontrollere størrelsen på nanopartiklene.

Partikler som bringes i løsning vil som regel slå seg sammen til større enheter. Dette er energetisk gunstig fordi overflateenergien reduseres. Det kan derfor være vanskelig å lage stabile nanopartikler. Et mye brukt triks er å "sette" elektrisk ladde partikler (f.eks. ioner) på overflaten av nanopartiklene vi ønsker å stabilisere, slik at nanopartiklene frastøter hverandre og ikke slår seg sammen. Desto flere ioner på overflaten, desto sterkere frastøtes nanopartiklene hverandre og desto mindre partikler kan vi fremstille.

Vi skal til slutt nevne at fargen til løsningen skyldes et fenomen som kalles overflate-plasmoner. Frekvensen (og dermed fargen) til disse overflate-plasmonene er avhengig av diameteren på nanopartikkelen. Du vil kanskje lære mer om overflate-plasmoner i senere kurs på universitetet.

Eksperimentelt

1. Varm opp 20 mL 0,5 mM HAuCl_4 (aq) i en erlenmeyerkolbe til kokepunktet. I kolben legges også en magnetrører som settes i bevegelse umiddelbart.
2. Til den kokende løsningen tilsettes 2 mL av en natriumsitratløsning (34 mM). Hva skjer?
3. La løsningen koke til den får en dyp rød farge. Notér hva som skjer. Etter ca 5 minutter er reaksjonen ferdig, og kolben dras av varmen.
4. Kontrollér om løsningen inneholder nanopartikler av gull ved å la en stråle laserlys passere gjennom løsningen. Sammenlign med hvordan laserlyset passerer gjennom en løsning med HAuCl_4 (aq). Veilederne hjelper til med dette.
5. Fordel løsningen fra erlenmeyerkolben over i to reagensglass.
6. Tilsett dråpevis og sakte 1 M NaCl til det ene glasset. Notér hva som skjer og sammenlign med det andre glasset.

Resultater og Diskusjon

Hva observerte du da du lot lysstrålen fra laserlyset passere gjennom løsningen med nanopartikler av gull?

I denne syntesen har natriumsitrat to funksjoner, hvilke?

Når vi tilsetter NaCl (aq) til den røde løsningen forandrer fargen seg. Hvorfor?

ØVELSE 3: FUNKSJONELLE EGENSKAPER: LADNINGSTRANSPORT OG OPTISKE EGENSKAPER

Fremmøte: MENA1000-lab'en i 2. etasje vest i fysikkbygningen, V225 (der første lab var, ved siden av forelesningsauditoriet Lille Fysiske Auditorium).

Øvelse 3a-c: Ledningsevne i ulike typer ledere

Innledning

Materialers evne til å lede elektrisk strøm og hva slags mekanisme ladningstransporten skjer ved, er viktige egenskaper ved et materiale i mange sammenhenger. Dette er ting vi bevisst eller ubevisst gjør nytte av hver eneste dag, for eksempel når vi bruker en PC, en varmeovn eller skrur på en lysbryter.

Grovt sett deler vi materialer inn i metalliske ledere, halvledere og isolatorer. Som kjent har metaller den beste ledningsevnen av disse og isolatorer den dårligste. I tillegg kommer superledere, som har uendelig høy ledningsevne.

I denne delen av øvelsen skal vi se litt nærmere på forskjellene mellom de ulike typene ledere.

Teori

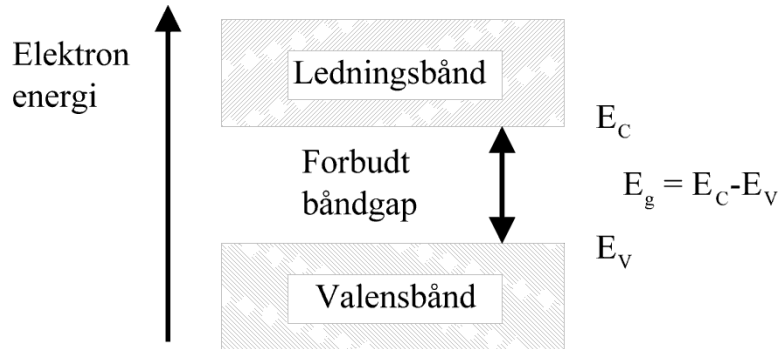
Båndteori for udopede materialer

I et fritt atom beveger elektronene seg i atomorbitaler. Orbitalene sier blant annet noe om hvilke energier elektronene kan ha. I krystallinske faste stoffer er orbitalene samlet i *energibånd*. Båndene kan overlappe hverandre, eller de kan være separert av et båndgap uten tillatte energinivåer.

For å minimere energien fyller elektronene de laveste energinivåene først. Det høyeste okkuperte energinivået ved 0 K kalles Fermivået, E_F . Det høyeste energibåndet som inneholder elektroner ved 0 K representerer valenselektronene. Det kalles derfor gjerne valensbåndet, og det øverste energinivået i dette båndet noteres E_V . Det neste båndet kalles ledningsbåndet (laveste energinivå i dette noteres E_C) og det er fordelingen av elektroner mellom disse som avgjør stoffets elektriske egenskaper. Dersom valensbåndet ikke er fullt eller overlapper med ledningsbåndet vil stoffet ha metallisk ledningsevne.

Dersom valensbåndet er fullt og atskilt fra ledningsbåndet med et båndgap vil forbindelsen enten være en halvleder eller en isolator (se Figur 1). Dette avhenger av båndgapet og dersom det er mellom 0,5 og 3 eV karakteriseres stoffet vanligvis som en halvleder.

Ved temperaturer over det absolutte nullpunkt vil elektronene kunne eksiteres termisk fra valensbåndet til ledningsbåndet. Det blir da dannet frie elektroner i ledningsbåndet og elektronhull i valensbåndet. Disse er ladningsbærerne i materialet og sørger for den elektroniske ledningsevnen. Konsentrasjonen av ladningsbærere i en isolator eller halvleder er kun avhengig av temperaturen og størrelsen på båndgapet.



Figur 1: Skjematisk illustrasjon av båndgapet i en halvleder eller isolator.

Metaller og halvleder/isolatorer vil oppføre seg forskjellig som funksjon av temperatur. I metaller har vi svært mange elektroner som kan bevege seg uten at de trenger å få tilført noe særlig energi. Valenselektronene kan bevege seg i det båndet de er siden det ikke er fullt og derfor er mange plasser å hoppe til (eller ledige energinivåer å bruke). Dersom vi øker temperaturen i metallet vil atomene få mer energi og derfor bevege seg mer. Dette skaper større vibrasjoner i gitteret av metallatomene. Elektronene vil da bli hindret litt i sine bevegelser og ledningsevnen vil bli litt mindre.

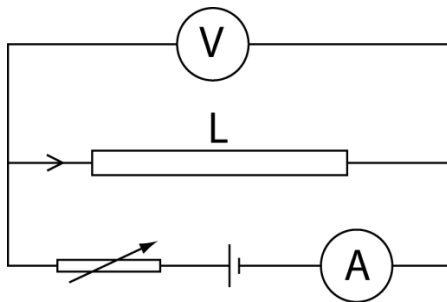
For isolatorer og udopede halvledere er situasjonen annerledes. Her er ledningsevnen blant annet bestemt av hvor mange elektroner som har nok energi til å hoppe fra valensbåndet til ledningsbåndet (eksiteres) slik at det kan dannes mobile ladningsbærere. Når temperaturen øker vil flere elektroner eksiteres og ledningsevnen vil øke. Gittervibrasjonene er en mindre effekt og spiller her liten rolle.

Når temperaturen er høy nok er ledningsevnen, σ , for en udopet halvleder eksponentielt proporsjonal med temperaturen:

$$\sigma = \sigma_0 e^{\frac{-E_g}{2kT}} \quad (1)$$

der E_g er energigapet mellom valensbåndet og ledningsbåndet (båndgapet), k er Boltzmanns konstant og T er temperaturen i Kelvin.

Måling av ledningsevne



Figur 2: Koblingsskjema for måling av ledningsevne i en leder eller halvleder. Strømmen kan besørjes av et batteri og kontrolleres ved en motstand, som i figuren, eller av en elektronisk strømkilde som erstatter disse to enhetene.

Materialprøven i figur 2 har lengden L og tverrsnitt A (NB! Ikke det samme som enheten for I , ampere, A!). Vi sender en strøm I (enhet ampere, A) gjennom prøven og leser av potensialforskjellen U (enhet volt, V) som oppstår over prøvens endepunkter. Den spesifikke ledningsevnen σ er definert ved relasjonen

$$i = \sigma \cdot E \quad (2)$$

der i er strømtettheten og E er det elektriske feltet i materialet. Dette er Ohms lov uttrykt ved parametre som er uavhengige av prøvens dimensjoner. Herav følger

$$\frac{I}{A} = \sigma \frac{U}{L} \quad \text{eller, omarrangert} \quad \sigma = \frac{I}{U} \frac{L}{A} \quad (3)$$

der L og A er prøvens lengde og tverrsnittsareal. Benevningen til σ er S/m. En Siemens (S) er en invers Ohm ($S = \frac{1}{\Omega}$). Forøvrig er det vanlig på norsk å bruke termen ”konduktivitet” om ledningsevne. Dette skyldes at det engelske ordet for ledningsevne er ”conductivity”. Vi kommer til å bruke ledningsevne.

Midlere fri veilengde for elektroner er et mål for hvor fritt elektronene kan bevege seg og kan bestemmes fra formelen (se f.eks. Læreboka Kap. 9)

$$\sigma = neu_e = \frac{ne^2 L_m}{m_e v_F} \quad (8)$$

der e er elektronets ladning (elementærladningen), n er antall ledningselektroner per m^3 , u_e er elektronets mobilitet og v_F er den hastighet som tilsvarer Fermienergien (for Cu er Fermienergien 7,05 eV og v_F kan beregnes fra denne). m_e er elektronets hvilemasse. Vi antar ofte at antall ledningselektroner i et metall tilsvarer antall atomer (dvs. at ett elektron i hvert atom bidrar til ledning). n er derfor lik atomtettheten til materialet som måles.

Eksperimentelt

Øvelse 3a: Ledningsevnen til kobber, Cu

Vi bruker oppsettet i figur 2 og benytter som prøve en kobbertråd med oppgitt lengde og tverrsnitt montert på et kretskort. Temperaturen kontrolleres ved et vannbad, og temperaturen måles med en elektronisk termometer som benytter et termoelement. Strømmen gjennom prøven settes av en strømkilde og en motstand.

Mål sammenhørende verdier av strømmen I gjennom tråden, potensialforskjellen U mellom trådens endepunkter og temperaturer i området fra ca. 20 °C til ca. 45 °C. Beregn for hvert punkt resistans R og resistivitet $\rho = R A / L$. For ett av punktene beregner du også konduktans $G = 1/R$ og ledningsevne $\sigma = 1/ \rho = G L / A$.

Øvelse 3b: Ledningsevnen til germanium, Ge

Vi bruker også her oppsettet fra Figur 2, men strømmen besørges av en elektronisk strømkilde. Still denne på angitt strøm (20 mA) – maksimal strøm (30 mA) må ikke overskrides

Prøvens temperatur kan heves ved hjelp av et varmeelement. Dette har sin egen strømkilde. (NB: De oppgitte maksimalverdier for strøm og spenning (6 V) i elementet må ikke overskrides!)

Temperaturen T i prøven registreres ved hjelp av spenningen U_T i et termoelement. Et termoelement er et par materialer med forskjellig Seebeck-koeffisient (for eksempel en n- og en p-leder) som derved gir en spenning i en temperaturgradient (Ref. Kap. 3 og Labøvelse 1). Termoelementet gir tilnærmet en konstant spenning per grad temperaturforskjell. Denne koeffisienten er oppgitt på termoelementet, og er typisk $S = dU/dT = 40 \mu\text{V/K}$. Vi har da at spenningen over elementet U_T , samt temperaturen, er gitt ved

$$U_T = S(T - T_0) \quad \text{og} \quad T = T_0 + U_T/S \quad (5)$$

der T_0 er romtemperaturen (som leses av med et termometer).

Bestem σ som funksjon av temperaturen i området fra ca. 20 °C til ca. 100 °C. ved å bruke likningene fra teoridelen om måling av ledningsevne. Prøvens dimensjoner er oppgitt.

Øvelse 3c: Egenskapene til YBCO

Til denne oppgaven skal vi bruke tablettene dere lagde i den forrige øvelsen i tillegg til noen ferdig monterte prøver til målinger av ledningsevnen. Dere skal også veie

3. Funksjonelle egenskaper

tablettene deres for å bestemme hvor stort utbyttet av reaksjonen var. Vekter er utplassert i laboratoriet.

Del 1: Meissner-effekten

I denne oppgaven skal vi kontrollere om prøvene dere lagde under forrige øvelse er superledende. Til dette trenger vi en beholder med flytende nitrogen (kokepunkt 77 K) og en magnet som er sterk og lett.

Legg en ferdig, kommersielt laget YBCO-tablett ned i flytende nitrogen og la den kjøle seg ned en liten stund. Deretter prøver vi å balansere magneten over prøven. Gjør det samme med din YBCO-prøve. Dersom magneten svever over prøven er den superledende og jo høyere den svever, jo ”bedre” er prøven.

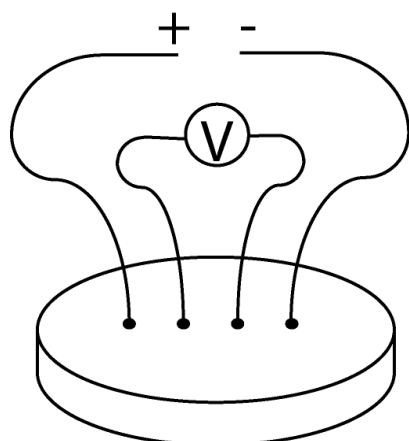
Del 2: De elektriske egenskapene til YBCO

I denne oppgaven skal vi først måle motstanden i en YBCO-tablett ved romtemperatur. Dette skal gjøres på en litt annen måte enn for kobber og germanium. Prøvene har påmontert fire kontakter som er plassert på linje som vist i Figur 3. Vi sender strøm gjennom de ytterste og måler potensialfallet over de to midterste. Veiledere vil bistå med dette. Variér strømmen i intervallet 0 – 0,4 A, og noter sammenhørende verdier av strøm og spenning.

Plassér deretter tablettene på litt tørris (dette er kaldt, bruk hansker hvis du må ta på tørrisen!). Gjenta målingene du gjorde ved romtemperatur.

Sett strømmen gjennom tablettene til omtrent 0,1 A før den senkes ned i flytende nitrogen. Hva skjer med spenningen etter hvert som temperaturen til tablettene synker?

Når prøven er senket ned i flytende nitrogen og du har observert at den er superledende skal du igjen prøve å variere strømmen gjennom prøven litt. Hva skjer med spenningen nå?



Figur 3: Ferdig YBCO-prøve med påmonterte ledninger.

Resultater og Diskusjon

Øvelse 3a: Ledningsevnen til kobber, Cu

Lag en grafisk framstilling av trådens resistans R som funksjon av temperaturen.

Bestem verdien av temperaturkoeffisienten $\frac{dR}{dT}$.

Vis sammenhørende verdier av R , ρ , G og σ ved en valgt temperatur.

Finn atomtettheten til kobber utfra at kobber har fcc-struktur med 4 atomer i enhetscellen. Enhetscellen er kubisk med gitterkonstant $a = 3,62 \text{ \AA}$ (Du kan også finne atomtettheten ved hjelp av materialets tetthet, atommassen, og Avogradros tall.)

Anslå verdien av elektronets midlere frie veilengde L_m utfra ledningsevnen ved den valgte temperaturen. Sammenlikn L_m med avstanden mellom atomene i gitteret.

Øvelse 3b: Ledningsevnen til germanium, Ge

Fra likning 4, vis matematisk hvorfor $\ln \sigma$ er en lineær funksjon av $1/T$.

Måleresultatene framstilles i et plott av $\ln \sigma$ mot $1/T$. Finn E_g fra plottet ved hjelp av regresjon.

I denne oppgaven brukte vi et varmeelement og et termoelement. Beskriv funksjonaliteten til et varmeelement. (Hvordan er det konstruert, hva er materialeegenskapen vi utnytter, hva tilfører vi og hva får vi ut? Bruk ohms lov.) Beskriv også funksjonaliteten til et termoelement. (Hvordan er det konstruert, hva er materialeegenskapene vi utnytter, hva måler vi?)

Programmeringsøvelse:

Lag et program som ber om og leser inn σ_0 og E_g og så lager et plott av $\ln \sigma$ mot $1/T$ fra $0 \text{ }^\circ\text{C}$ til $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Husk å konvertere til K. Velg selv hvordan punktene skal velges for å få jevn avstand mellom dem. Dokumentér.

Øvelse 3c: Egenskapene til YBCO

Beregn utbyttet av syntesen av YBCO-prøven (oppgis i % av teoretisk uttbytte).

Var prøven din superledende?

Hvis ikke: Nevn kort mulige årsaker, for eksempel om du mistenker at den kan ha fått feil forhold Y:Ba:Cu. Kan utseendet si noe om dette? Bruk evt. YBCO-fasediagrammet i Kap. 9 i pensum.

(Ta med eventuelle andre resultater fra karakteriseringen av prøvene og en kort diskusjon om disse, som nevnt i Øvelse 2.)

Lag en tabell som viser sammenhørende verdier av strøm og spenning for YBCO ved romtemperatur og ved "tørris-temperatur". Regn også ut motstanden, og sett inn i samme tabell. Basert på disse målingene, hva slags leder er YBCO under disse forholdene?

Forklar på hvilken måte forsøket vi gjorde over viste at YBCO var en superleder.

Øvelse 3d-e: Optiske fenomener

Innledning

Bindingstypen mellom atomer i et materiale påvirker strukturens geometri, og dette kan igjen gi opphav til optiske fenomener, som for eksempel dobbeltbrytning. Et annet (magneto)optisk fenomen er Faraday-effekten. Materialer som utviser Faraday-effekten kan gi et bilde av magnetfeltet det befinner seg i dersom en film av et slikt materiale belyses av polarisert lys.

I denne delen av øvelsen skal vi undersøke noen optiske fenomener der vi ser hvordan lys kan bli påvirket av å bevege seg gjennom en krystall og gjennom en krystall i et magnetfelt.

Teori

Resonansformer og VSEPR-tilnærming

Ofte kan Lewis-strukturer tegnes på flere forskjellige, men likeverdige måter. Disse forskjellige mulighetene kalles *resonansformer*. Et molekyl med flere resonansformer har like stor sannsynlighet for å befinne seg i hver av resonansformene, og vi sier at elektronene er *delokaliserte*. Dette kan forklares med at Lewis-bildet er en forenkling og en mer "riktig" måte å se elektronene på er at de okkuperer en molekylorbital der sannsynligheten for å finne et elektron er stor over hele molekylet.

Elektroner i kovalente bindinger deles omtrent likt mellom to naboatomer fordi atomene trekker omtrent like mye på elektronene. Kovalente bindinger har bestemte retninger, og disse gis av molekylorbitalene. En kan tenke seg at elektronene frastøter hverandre, slik at molekylorbitalene spriker mest mulig fra hverandre. Dette kalles *VSEPR-tilnærming* (*Valence Shell Electron Pair Repulsion*). En typisk situasjon der VSEPR-tilnærming gir et bra bilde av geometrien er når vi har et sentralatom omgitt av andre atomer gjennom enkeltbindinger.

Lysbryting

Lyshastigheten har forskjellig hastighet i forskjellige medier, og dette fører til lysbryting. Et materiales brytningsindeks er forholdet mellom den hastigheten lyset har i vakuum og i materialet, og er gitt ved $n = c/v$. Konsekvensen av dette er at lyset endrer retning i det det passerer en grense mellom to faser med forskjellig brytningsindeks

Noen materialer er hva vi kaller anisotrope. I et anisotrop materiale vil lyset kunne ha forskjellig hastighet i forskjellige retninger gjennom materialet, med det resultat at lyset kan brytes på mer enn én måte.

Faraday-effekten

Faraday-effekten er et magnetooptisk fenomen, noe som innebærer interaksjoner mellom lys og magnetfelt i et materiale. Magnetfeltet påvirker den elektriske feltvektoren til lyset slik at polarisasjonsplanet dreies en vinkel θ . Dreiningen er proporsjonal med lengden av mediet lyset går gjennom, styrken på magnetfeltet og en konstant som kalles Verdet-konstanten, $V(\lambda)$.

$$\theta = V(\lambda) L B \quad (1)$$

Verdet-konstanten er en funksjon av bølgelengden til lyset og temperaturen i glasset. Noen anisotrope krystaller utviser Faraday-effekt og kan brukes i magnetooptisk avbildning.

Eksperimentelt

Øvelse 3d: Dobbeltbrytning i kalsitt, CaCO_3

Kalsittkrystallens struktur

I laboratoriet finnes det en modell som viser kalsittkrystallens struktur. Kalsiumionene er representert ved sølvfargede kuler. Karbon- og oksygenatomene er representert ved henholdsvis svarte og røde kuler. Vi legger merke til at de tre oksygenatomene i hver CO_3 -gruppe danner en likesidet trekant. Karbonatomet ligger i senteret av denne trekanten. Vi legger merke til at atomene i samtlige CO_3 -grupper ligger i parallelle, ekvidistante plan. Retningen vinkelrett på disse planene kalles krystallens optiske akse.

Del 1:

En kalsittkrystall som er skåret slik at den har to parallelle sider vinkelrett på den optiske aksens legges på en tekstsider. Betrakt teksten gjennom krystallen slik at siktelinjen er parallell med den optiske aksens.

Del 2:

Betrakt den samme teksten gjennom en krystall som har sin naturlige form.

Del 3:

Følgende komponenter plasseres på den optiske benken:

- en spektrallampe
- en irisblender
- en konveks linse
- krystall montert i stativ
- en analysator
- en hvit skjerm

Diameteren på irisblenderens apertur innstilles på noen få millimeter. Avstanden mellom komponentene velges slik at aperturen avbildes skarpt på skjermen. Hold den skårede krystallen (av samme type som du benyttet i del 1) mellom linsen og analysatoren. Undersøk om lyset som kommer ut fra denne krystallen er polarisert ved å vri på analysatoren.

Del 4:

Hold så i stedet den naturlige krystallen (av samme type som du brukte i del 2) mellom linsen og skjermen slik at lysstrålen fra aperturen er vinkelrett på en av krystallens

sideflater. Du ser nå to bilder på skjermen. Det ene bildet dannes av den såkalte ordinære strålen gjennom krystallen. Dette bildet ligger på samme sted som det bildet du observerte i del 3. Strålen som danner det andre bildet kalles ekstraordinær. Finn ut hvordan de to strålene er polarisert. Legg merke til at krystallens optiske akse er parallell med planet gjennom de to strålene som kommer ut av krystallen. Husk å ta med en skisse av apparaturen i journalen.

Oppgave 3e: Faraday-effekten

Vi benytter en sylinder av flintglass med lengde $L = 30$ mm. Sylindren befinner seg i et magnetfelt rettet langs sylindrens akse (z -aksen). En lineært polarisert lysstråle sendes gjennom sylindren.

Oppgaven går ut på å bestemme verdien av Verdet-konstanten for glasset for rødt og blått lys. Polarisatoren innstilles på -45° (se i teoridelen under Faray-effekten). Analysatoren innstilles slik at synsfeltet får minimal belysning (nær $+45^\circ$). For magnetstrømmen benyttes verdiene 1,0 A, 1,5 A, 2,0 A, 2,5 A og 3,0 A. En tabell over tilhørende verdier for flukstettheten B finner du ved apparaturen. Husk å ta med en skisse av apparaturen i journalen.

NB! Når analysatorvinkelen er avlest ved en bestemt verdi for strømmen, må strømmen reduseres til 0 før strømvenderen benyttes. Så økes strømmen til samme verdi i motsatt retning og analysatorvinkelen leses av igjen. Halvparten av differansen mellom de to avlesningene gir den søkte verdi for θ .

Resultater og Diskusjon

Øvelse 3d: Dobbelbrytning i kalsitt, $CaCO_3$

Beskriv CO_3^{2-} -ionet med Lewis-elektronstruktur (Hint: resonans, delokalisering) og forutsi dets geometri ved hjelp av VSEPR-tilnærmelsen.

Beskriv ditt inntrykk av bokstavene i teksten sett gjennom de to krystallene i del 1 og 2. Hvordan brytes og polariseres lyset i de to tilfellene? Forklar.

Oppgave 3e: Faraday-effekten

Hvilke verdier fikk du for Verdet-konstantene for rødt og blått lys for materialet som ble undersøkt? Diskuter verdiene.

ØVELSE 4: ENERGIKONVERTERING: SOLCELLE, ELEKTROLYSØR OG BRENSSELCELLE

Frammøte: FV216 i 2. etasje vest i fysikkbygningen. Rommet ligger rett ved siden av dere var på lab 1 og 3. Tabeller og liknende som skal fylles ut ligger etter oppgaveteksten. Dette blir journalen på denne oppgaven og denne skal være godkjent før dere går for dagen.

Innledning

I denne øvelsen skal vi se på noen former for energikonvertering og måle hvor effektive de er. Brenselceller og elektriske motorer kan etter hvert bli et godt miljøvennlig alternativ til forbrenningsmotorer som bruker fossilt brensel. En stor fordel er at brenselceller som forbrenner hydrogen bare avgir rent vann som reaksjonsprodukt fra prosessen. Dette er selvfølgelig bare halve sannheten så lenge hydrogenet ofte lages fra fossilt brensel. Likevel vil brenselceller kunne gi en betydelig miljøgevinst siden virkningsgraden er svært høy.

Solceller har i lang tid blitt brukt for å produsere elektrisk strøm til bruk i mange ulike sammenhenger som kalkulatorer, hytter og romstasjoner. I kombinasjon med et batteri eller en annen energilagringseenhet gir solceller stor fleksibilitet for moderate strømforbruk.

Beskrivelse av utstyret og litt teori:

Utstyret som skal brukes i denne øvelsen består av et ferdig oppsett som inneholder en solcelle, en elektrolysecelle, en gasslagringsenhet for hydrogen og oksygen, en brenselcelle og en vifte. I tillegg skal dere bruke en dekademotstand, to multimetre, en lampe og diverse ledninger. Deler av utstyret er avbildet i figur 1.



Figur 1: Solcelle, elektrolysecelle, gasslager og brenselcelle montert sammen.

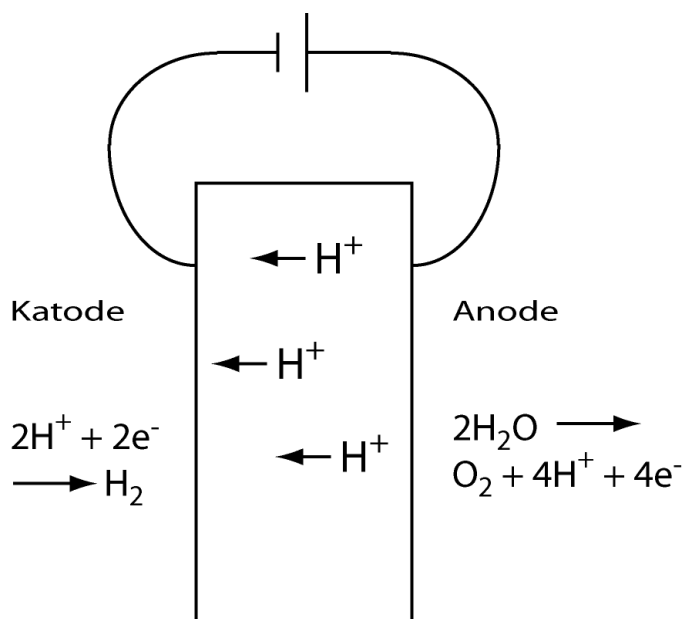
Solcella er laget av silisium. Silisium er egentlig grått, men solcella ser blå ut fordi den er dekket av et antireflekerende belegg. Dette belegget skal hindre at for mye stråling reflekteres og derved går tapt for solcella.

Elektrolysecella og brenselcella er helt identiske. De er av typen PEM, som står for Proton Exchange Membrane. De består grovt sett av to elektroder atskilt av en protonledende elektrolytt (membran). Membranen er laget av en organisk polymer og hver side av denne er dekket med et tynt lag av en katalysator. Elektrodene kan for eksempel være laget av platina eller et annet metall.

Forskjellen mellom de to cellene er at prosessen som skjer går motsatt vei: I elektrolysecellen tilføres energi i form av elektrisk strøm, hydrogenioner (fra vann) trekkes gjennom membranen, og produktet er hydrogen og oksygen. I brenselcellen tilføres hydrogen og oksygen på hver sin side av cellen og hydrogenioner transporteres gjennom membranen. Den kjemiske energien lagret i hydrogen og oksygen blir nå omdannet til elektrisk energi.

I elektrolysecellen er det en elektrisk potensialgradient (elektrisk felt) som trekker hydrogenionene gjennom membranen, og derved skaper en kjemisk gradient (nemlig hydrogen på den ene siden og oksygen på den andre). I brenselcellen er det en kjemisk potensialgradient som trekker hydrogenionene gjennom membranen, og derved skaper en elektrisk potensial (positivt i den elektroden hydrogenionene strømmer til, nemlig oksygenelektroden).

Prinsippet for elektrolysen er vist i Figur 2. Reaksjonen er en redoksreaksjon og totallikningen for reaksjonen er:

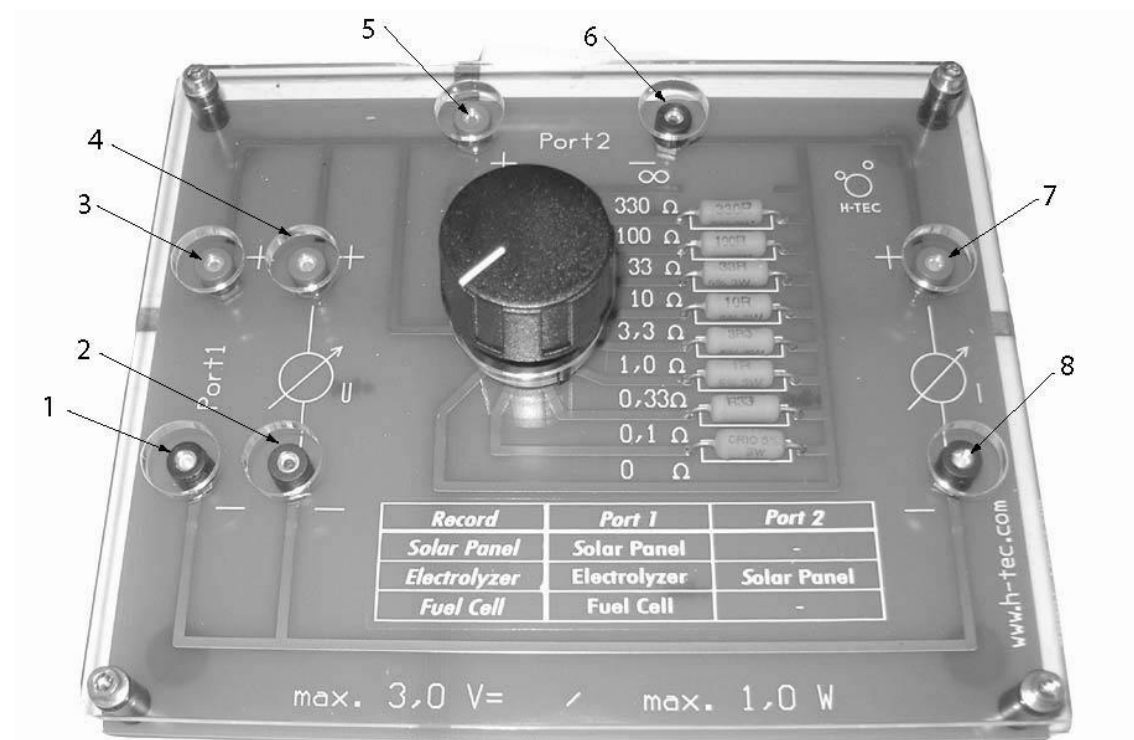


Figur 2: Prinsippskisse av en elektrolysecelle med membran som leder hydrogenioner.

For at reaksjonen skal gå må spenningen over elektrolysecellen være over en grenseverdi. Denne kan beregnes ved hjelp av kjente termodynamiske data eller finnes eksperimentelt. De to resultatene vil ha litt forskjellig betydning. Ved hjelp av termodynamiske beregninger finner vi spenningen som teoretisk skal til for å dekomponere vann til hydrogen og oksygen, eller egentlig for å oppnå 1 atm trykk for de to gassene, slik at det utvikles bobler og reaksjonen kan gå. Denne spenningen er 1,23 V. I praksis trengs det en litt høyere spenning: Vi trenger et overpotensial som avhenger blant annet av elektrodene og elektrolytten. Eksperimentelt finner vi potensialet som trengs i praksis, det vil si summen av det teoretiske potensialet og overpotensialet som trengs i dette tilfellet.

Lagringsenheten for hydrogen og oksygen er i vårt tilfelle bare en tank der gassene lagres ved atmosfærisk trykk. Det finnes andre langt mer plass effektive måter å lagre hydrogen på. Dette og mer utfyllende stoff om solceller, elektrolyseceller og brenselceller finner dere i læreboka.

Dekademotstanden er avbildet i Figur 3 og fungerer ved at ledningene kan kobles til i kontaktpunktene 1-8 og motstanden varieres ved å vri bryteren til den ønskede motstanden. Den har 8 ulike motstander med verdier fra 0,1 til 330Ω i tillegg til kortslutning ($R = 0$) og åpen krets ($R = \infty$).



Figur 3: Dekademotstand med tilkoblinger for spenningskilde og måleinstrumenter.

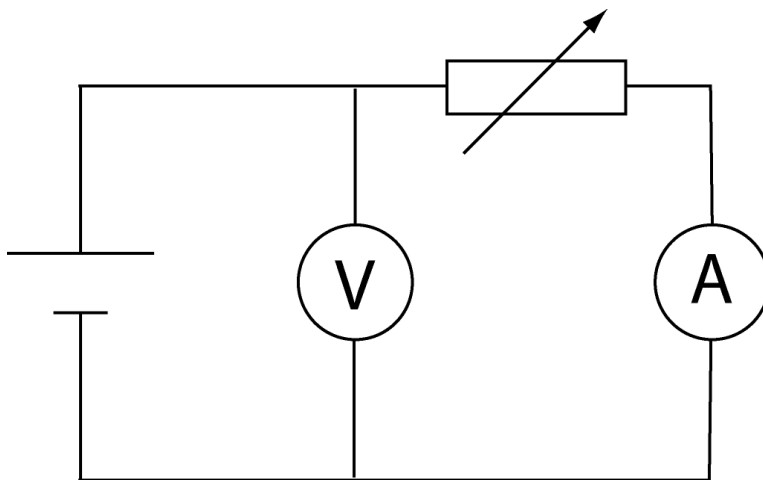
Legg merke til at brettet har anvisning for hvor du måler spenning (U) og strøm (I) samt en tabell som viser hvor (Port 1 og/eller 2) du best kobler til de forskjellige komponentene når du skal måle ("record") hhv. solcelle, elektrolyser og brenselcelle. Bruk dette, så unngår du unødvendig mye ledningsrot.

Oppgaven:Del 1: Solcellen

Strøm-spenning-karakteristikken forteller om energikarakteristikken til solcellen. Dette gjør oss i stand til å finne belastningen der solcellen gir oss maksimal effekt. Effektiviteten (η) av solcellen er gitt ved likningen:

$$\eta = \frac{\text{Elektrisk effekt}}{\text{Effekt av innkommende stråling}} = \frac{P_{ut}}{P_{inn}} \quad (2)$$

Oppsettet for å finne strøm-spenning-karakteristikken er vist i Figur 4.



Figur 4: Oppsett for å bestemme karakteristikken til en solcelle.

Spenningskilden er i dette tilfellet solcella som skal måles på. Koble sammen utstyret og bruk området 2 V DC på multimeteret som måler spenning og 10 eller 20 A DC på det som måler strømmen. Lampen rettes direkte mot solcellen (90° vinkel). *NB: I denne og særlig etterfølgende oppgaver ønsker vi selvsagt maksimal effekt av lyset og kan fristes til å sette lampen nærmere. Imidlertid går solcellens effektivitet ned om vi varmer den opp, slik at maksimal effekt over tid oppnås ved en viss avstand. Bruk den avstanden som labveilederne anviser, og ikke flytt lampen nærmere.* For å unngå feil som følge av temperatursvingninger venter vi et minutt før vi begynner målingene. Begynn med målingen av spenningen ved åpen krets ($R = \infty$) og fortsett med å variere motstanden med dekademotstanden fra større til mindre motstand. For hver måling skal strømmen og spenningen noteres i Tabell 1 og effekten beregnes. Vent noen få sekunder mellom hver måling. Disse målingene viser den maksimale effekten vi kan trekke ut av solcellen, altså P_{ut} fra likning (2).

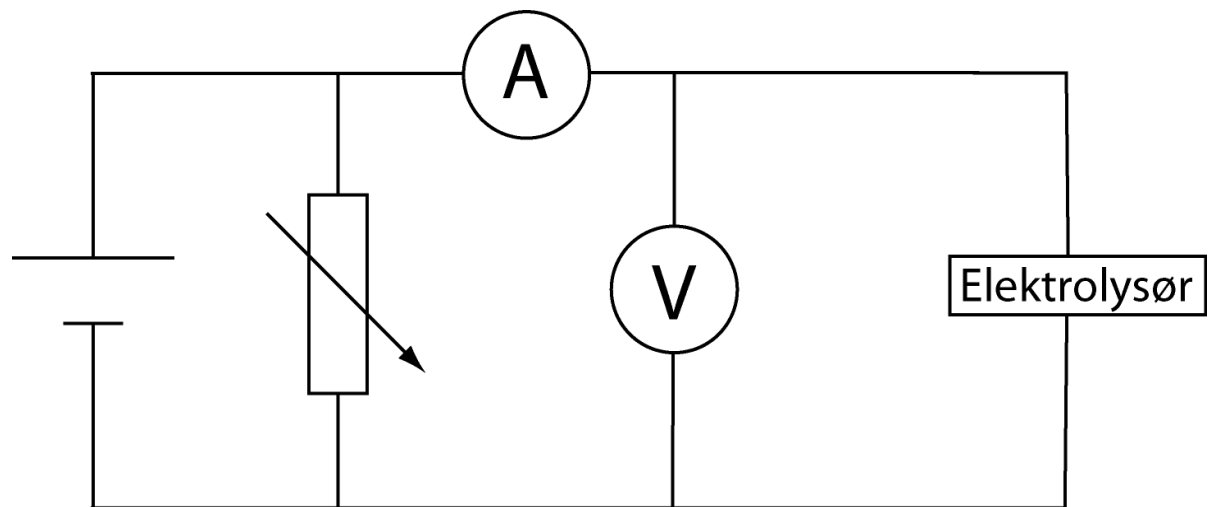
For å finne effektiviteten av solcellen trenger vi også å finne effekten av det innkommende lyset, P_{inn} . Dette kan gjøres på flere måter. Vi kan måle effekten direkte med en lysmåler eller vi kan bruke måleutstyret vi allerede har. Vi skal gjøre det siste og utnytte at kortslutningsstrømmen gjennom solcellen er proporsjonal med antallet fotoner som treffer den. For å kunne gjøre dette trengs en konstant som knytter effekten

fra lyset til kortslutningsstrømmen gjennom solcellen. For våre solceller er denne konstanten $F = 2,86 \cdot 10^3 \text{ V/m}^2$. Effekten fra lyset som treffer solcellen blir da gitt ved:

$$P_{\text{inn}} = F \cdot I_s \cdot A \quad (3)$$

der I_s er den målte kortslutningsstrømmen og A er arealet av solcellen.

Del 2: Elektrolysecellen



Figur 5: Oppsett for å bestemme strøm-spennings-karakteristikken til elektrolysecellen.

Begynn med å koble opp utstyret som vist i Figur 5. Solcellen vil også nå fungere som spenningskilde og for å variere spenningen over elektrolysecellen bruker vi dekademotstanden. Begynn uten motstand og øk motstanden steg for steg mot uendelig og noter sammenhørende strømmer og spenninger i Tabell 2. Vent noen sekunder mellom hver måling for å la systemet stabilisere seg. Noter også ved hvilken motstand cellen begynte å produsere gass. Lag en graf av strømmen som funksjon av spenningen. På grafen tegner dere inn to rette linjer som passer med punktene deres. Noter punktet der linja med det høyeste stigningstallet skjærer x -aksen. Dette er dekomponeringspotensialet for spaltingen av vann til hydrogen og oksygen i cella.

Effektiviteten av elektrolysecellen:

Faradays første lov om elektrolyse beskriver sammenhengen mellom strømmen som går gjennom cellen og gassvolumet den produserer. Sammenhengen er basert på at antallet elektroner som trengs for å produsere et gassmolekyl er gitt fra reaksjonslikningen for dannelsen av gassen. Loven kan formuleres som:

$$V = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z} \quad (4)$$

V : Teoretisk volum av gassen i m^3

R : den universelle gasskonstanten, $8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

p : atmosfæretrykket i Pa

F : Faradays konstant, 96485 C/mol

T : temperaturen i K

I : strømmen i A

t : tiden i sekunder

z : antallet elektroner som trengs for å danne ett gassmolekyl, $z(\text{H}_2)=2$, $z(\text{O}_2)=4$

Loven kan sees i sammenheng med loven for ideelle gasser, $pV=nRT$, der n er antallet mol gass. I Faradays lov finnes dette fra strømmen som går gjennom cella. Faradayeffektiviteten til elektrolysecellen er definert som:

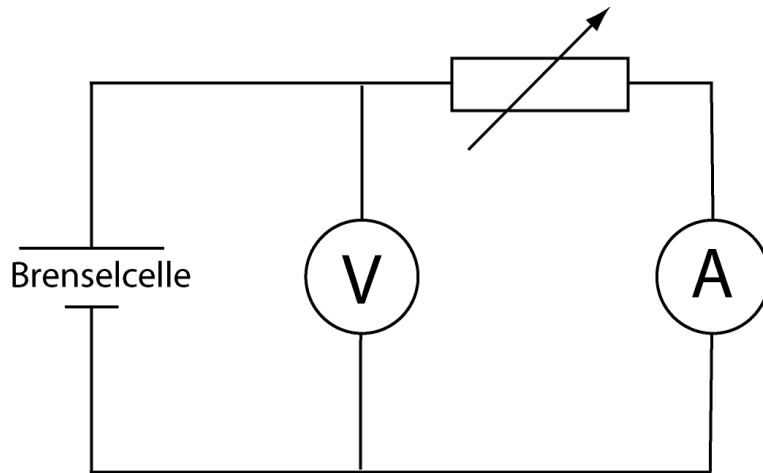
$$\eta_{\text{Faraday}} = \frac{V_{\text{H}_2}(\text{produsert})}{V_{\text{H}_2}(\text{beregnet})} \quad (5)$$

Bruk oppsettet fra Figur 5, sett $R = \infty$ og la cellen produsere gass i noen minutter før dere begynner eksperimentet. Når dere bestemmer dere for å starte, noter tiden, spenningen og strømmen for hver 2 cm^3 hydrogengass som produseres. Husk at dere må ha plass til 12 cm^3 med hydrogengass før dere starter! Beregn den elektriske effekten for hver måling og før resultatene inn i Tabell 3.

Del 3: Brenselcellen

Brenselcellen omdanner kjemisk energi lagret i hydrogen og oksygen til elektrisk energi gjennom en kontrollert reaksjon. Effekten som cella leverer er avhengig av motstanden i den ytre kretsen. Vi skal bestemme hvilken motstand som gjør at cella jobber mest effektivt.

Koble fra alle kontakter på brenselcella. Begynn med å produsere gass hvis dere trenger det. Når det er produsert minst 5 cm^3 hydrogen skal ventilen på utgangen til hydrogensiden åpnes slik at hydrogensiden i cella flushes med hydrogen. Dette fjerner gassrester som kan føre til målefeil. Gjør det samme på oksygensida. Ventilen stenges når gasstankene er nesten tomme. Deretter kobler dere til måleinstrumentene og dekademotstand som vist i Figur 6. Begynn målingene med åpen krets ($R = \infty$) og fortsett med å variere motstanden med dekademotstanden fra større til mindre motstand. For hver måling skal strømmen og spenningen noteres i Tabell 4 og effekten beregnes. Vent omtrent 5 sekunder mellom hver måling for at systemet skal stabiliseres mellom hver måling. Gjenta måleserien for å sjekke repeterbarheten i oppsettet.



Figur 6: Oppsett for å bestemme egenskaper ved en brenselcelle.

Effektiviteten til brenselcella:

Vi kan på samme måte som for elektrolysecellen beregne Faradayeffektiviteten til brenselcella. Vi bruker fremdeles likning (4) som nå viser sammenhengen mellom gassvolumet som forbrukes og strømmen cella produserer. Faradayeffektiviteten for brenselcella blir nå:

$$\eta_{Faraday} = \frac{V_{H_2}(\text{beregnet})}{V_{H_2}(\text{forbrukt})} \quad (6)$$

Koble dekademotstanden fra brenselcella og la elektrolysøren produsere hydrogen til det er 20 cm³ i tanken og kobl deretter fra strømmen til elektrolysøren. Sett dekademotstanden slik at cellespenningen når forsøket startes er over 750 mV. Kobl til motstanden som vist i Figur 6, og la brenselcella produsere elektrisitet en liten stund før dere starter forsøket. Noter forbrukt volum av hydrogen, tiden, spenningen og strømmen for hver 2 cm³ i Tabell 5. Beregn effekten for hvert målepunkt. Beregn også middelerverdier for spenningen, strømmen og effekten. Avslutt målingene når dere har forbrukt 10 cm³ hydrogen.

Faradayeffektiviteten kan langt på vei sies å tilsvare brenselsutnyttelsesgraden u_f som er nevnt i pensum. Ved å multiplisere denne med Gibbs-effektiviteten får vi den totale effektiviteten til cella:

$$\frac{P_e}{P_{in}} = \eta_{Gibbs} \eta_{Faraday} \quad (7)$$

der P_e er elektrisk effekt og P_{in} er effekten som brenselet kan gi ved fullstendig forbrenning. P_{in} kan vi beregne hvis vi kjenner brenselmengden som passerer per tidsenhet, $j_{H_2,in}$. Denne finner vi fra strømmen I , Faradaykonstanten F og Faradayeffektiviteten

$$J_{H_2,in}(\text{mol/s}) = \frac{I}{2F\eta_{Faraday}} \quad (8)$$

P_{in} er gitt ved denne fluksen multiplisert med den molare energimengden

$$P_{in} = J_{H_2,in} * \Delta H = \frac{I\Delta H}{2F\eta_{Faraday}} \quad (9)$$

P_e er gitt ved $I*U$ og vi kan da finne η_{Gibbs} og P_e/P_{in} :

$$\frac{P_e}{P_{in}} = \frac{IU}{\frac{I\Delta H}{2F\eta_{Faraday}}} = \frac{2UF\eta_{Faraday}}{\Delta H} = \frac{2UF}{\Delta H}\eta_{Faraday} \quad (10)$$

Journal til Øvelse 4

Denne delen av journalen skal fylles ut, fremvises og godkjennes før dere går for dagen.

Navn: _____

Del 1: Solcellen

Tabell 1: Solcellens strøm-spenning-karakteristikk.

R [Ω]	U [V]	I [A]	P_{ut} [W] $P_{ut} = U \cdot I$
∞			
330			
100			
33			
10			
3,3			
1			
0,33			
0,1			
0			

Plot grafer av strømmen og effekten som funksjon av spenningen i hvert sitt diagram (gjærne på en PC) og angi maksimal effekt punktet (MEP). Dette kan finnes fra begge grafene, enten som toppunktet på grafen for effekten eller som det største rektanglet som passer innenfor kurven for strøm.

Ved hvilken last leverer solcellen høyest effekt? Svar: _____ Ω

Hva er effektiviteten til solcellen ved denne lasten? Svar: _____ %

Del 2: Elektrolysecellen

Tabell 2: Bestemmelse av karakteristikken til elektrolysecella.

$R [\Omega]$	$U [V]$	$I [A]$
0		
0,1		
0,33		
1		
3,3		
10		
33		
100		
330		
∞		

Legg ved grafen av karakteristikken til elektrolysecellen. Forklar formen på grafen:

Hva er dekomponeringspotensialet til vann i elektrolysecella? Svar: _____ V

Tabell 3: Bestemmelse av Faradayeffektiviteten til elektrolysecella.

V_{H_2} [cm ³]	t [s]	U [V]	I [A]	P_e [W] $P_e = U \cdot I$
2				
4				
6				
8				
10				
12				

Beregn den gjennomsnittlige strømmen gjennom cella under hele forsøket og bruk denne til å finne Faradayeffektiviteten til elektrolysecella med likning (5) og (6).

Hva er Faradayeffektiviteten til elektrolysecella? Svar: _____ %

Varierte den elektriske effekten (P_e) som cella brukte til å produsere hydrogen under forsøket? Hvordan påvirket denne eventuelle variasjonen tiden det tok å produsere gassen?

Del 3: Brenselcellen

Tabell 4: Bestemmelse av maksimal effekt og Gibbs effektivitet for brenselcella.

$R [\Omega]$	$U [V]$	$I [A]$	$P_e [W]$ Beregnet P_e $= U \cdot I$	$\eta_{\text{Gibbs}} =$ $2UF/\Delta H$
∞				
330				
100				
33				
10				
3,3				
1				
0,33				
0,1				

Plott grafer av spenningen og effekten som funksjon av strømmen. Forklar grafene.

Ved hvilken strøm leverer brenselcellen størst effekt? Svar: _____ A

Tabell 5: Bestemmelse av Faradayeffektiviteten til brenselcella.

V_{H_2} [cm ³] Forbrukt volum	t [s]	U [V]	I [A]	P_e [W] Beregnet $P_e = U \cdot I$
0				
2				
4				
6				
8				
10				
Middelverdi				

Plott det forbrukte volumet av hydrogen mot tiden og kommenter grafen. Grafen legges ved journalen.

Hva er Faradayeffektiviteten til brenselcella? Svar: _____ %

Regn ut Gibbs-effektiviteten for cella og fyll ut dataene i Tabell 5. Regn tilslutt ut den totale effektiviteten for de første 4 cm³ og for 10 cm³ av forbrukt hydrogen. Bruk gjennomsnittsverdier for strømmen for å beregne dette.

Hva er cellas totale effektivitet, P_e/P_{in} ?

For de første 4 cm³: _____ %

For de siste 4 cm³: _____ %

Hele forsøket: _____ %

Kommenter dette kort med hensyn på størrelse og hva som påvirker cellas totale effektivitet mest av Faradayeffektiviteten eller Gibbs-effektiviteten. Har du forslag til hvordan cella kan øke effektiviteten?