

# Mal for rapport til laboratorium i fysikk

J. O. Bruun, S. Klyve

## Sammendrag

Sammendraget er en kort og konsis oppsummering av innholdet i rapporten. Sammendraget er den delen av rapporten som skal skrives sist, når du har full kontroll på alt innholdet. En god lengde for et sammendrag er 4–5 setninger. I løpet av disse setningene skal forsøket introduseres, du skal fortelle hvilke metoder som ble brukt, resultatene skal presenteres og du må fortelle kort hva resultatene betyr. Om resultatet eksisterer i form av et tallsvaret skal dette oppgis med tilhørende usikkerhet.

## 1. Introduksjon

Stefan-Boltzmanns lov er en viktig relasjon i fysikken, som forbinder emittert varmeenergi fra et svart legeme, med dets temperatur. Den ble først formulert av Joseph Stefan i 1879, og utledet av Ludwig Boltzmann fem år senere (INSERT KILDE). I dette forsøket skal vi studere emissiviteten til ulike overflater ved ulike temperaturer, i tillegg til å verifisere Stefan-Boltzmanns lov ved å sjekke forholdet mellom temperatur og emittert varme fra et objekt.

Her begynner den egentlige rapporten. Mer informasjon om hva de enkelte delene av rapporten skal inneholde finnes på nettsiden til laben [1]. På slutten av forrige setning ser vi et eksempel på en referanse. Her er et eksempel på en referanse til læreboka [2]. Referanselisten kommer til slutt i rapporten. I denne malen har vi brukt  $\text{\LaTeX}$  til å formatere referansene, men det er også mulig å formatere dem manuelt direkte i  $\text{\texttt{tex}}$ -filen.

## 2. Teori

Et svart legeme er et objekt som absorberer all innkommende strålingsenergi, uavhengig av bølgelengden. Dersom objektet er i termisk likevekt, blir det totalt sett hverken tilført eller avgitt energi. Det vil si at objektet må emitte like mye stråling som det absorberer for å oppnå likevekt. For et svart legeme betyr dette at den emitterte strålingsenergien er lik den absorberte. Forholdet mellom den emitterte effekten per flateenhet,  $j$ , og det svarte legemets temperatur er gitt ved Stefan-Boltzmanns lov:

$$j = \sigma T^4 \quad (1)$$

Her er  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  Stefan-Boltzmann-konstanten. Dersom dette skal gjelde for et objekt med vilkårlig emissivitet  $\epsilon$ , må vi justere til

$$j = \epsilon \sigma T^4. \quad (2)$$

Leslies kube er et objekt med fire ulike overflater; svart, hvit, upolert aluminium og blankt aluminium (speil). Den

varmes opp innvendig ved hjelp av en glødepære, og temperaturen til kubens kan leses av i tabell basert på resistansen i en innebygd termistor. Når resistansen stabiliserer seg på en gitt verdi, har kubens oppnådd termostatisk likevekt. Fra dette kan det måles avgitt varmestråling med en strålingssensor, og med det undersøke hvordan dette avhenger med overflate og temperatur.

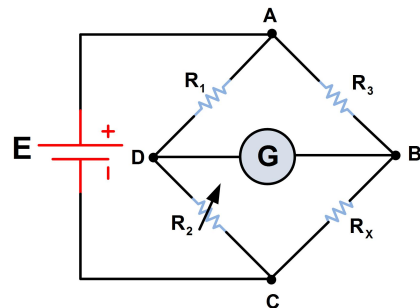
For å måle temperaturen til glødetråden i en Stefan-Boltzmann-lampe, kan følgende relasjon brukes:

$$T = T_0 + \frac{R - R_0}{\alpha R_0} \quad (3)$$

Her er  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  temperaturkoeffisienten til wolfram.  $R_0$  er motstanden ved referansetemperatur  $T_0$ , og  $R = \frac{V}{I}$  er motstand ved temperatur  $T$ . Siden denne relasjonen i utgangspunktet gjelder kun for små temperaturvariasjoner i metallet, må vi bruke relativ motstand  $R/R_0$ , og lese av temperaturen til wolframtråden fra tabell. Fra dette finner vi usikkerheten i den relative resistansen ved Gauss feilforplantning

$$\left( \Delta \frac{R}{R_0} \right)^2 = \frac{\Delta R^2}{R_0^2} + \frac{R^2 \Delta R_0^2}{R_0^4}. \quad (4)$$

En Wheatstonebro kan brukes til å måle nøyaktig motstand i en krets. Ved å justere resistansene vist i figur 1 til



**Figur 1:** Wheatstonebro [3].  $R_1, R_2, R_3$  er kjente størrelser som kan justeres helt til det ikke går strøm gjennom  $G$ .

strømmen gjennom  $G$  er 0, så kan en ved Krichoffs lover finne resistansen

$$R_x = \frac{R_3 R_2}{R_1}. \quad (5)$$

Siden  $R_x$  her vil referere til resistansen i resistoren i tillegg til i ledningene kan en finne resistansen i resistoren  $R_0$  ved å kople den ut og finne resistansen i ledningene  $R_{x0}$  og har dermed

$$R_0 = R_x - R_{x0}. \quad (6)$$

Feilmarginen i  $R_0$  kan da finnes ved Gauss feilforplantning

$$\Delta R_0^2 = \frac{(R_x - R_{x0})^2}{R_1^2} \left( \Delta R_3^2 + \frac{R_3^2 \Delta R_1^2}{R_1^2} \right) + \frac{R_3^2}{R_1^2} (\Delta R_x^2 + \Delta R_{x0}^2). \quad (7)$$

### 3. Metode

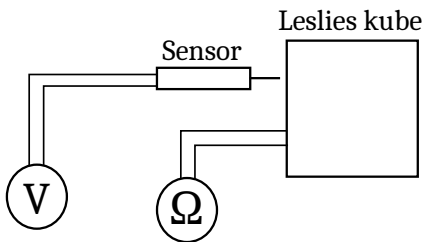
Dette forsøket omfatter i hovedsak to ulike deler; først å undersøke emissivitet til ulike overflater ved ulike temperaturer ved bruk av en Leslies kube, og deretter verifisere Stefan-Boltzmann lov ved å måle emittert varmestråling fra en lampe ved varme temperaturer.

For Leslies kube kobles utstyret opp som vist i figur 2 og skrur på lampen i Leslies kuben på høy intensitet først før den skrur ned når ohmmeteret viser omtrent 40 k $\Omega$  før intensiteten skrur ned. Venter så til det oppnås en form for termisk likevekt og måler så varmestråling ved å lese av voltmeteret koblet til sensoren på hver av de fire sidene og skrur så opp intensiteten, venter i omtrent fem minutter til det er tilnærmet termisk likevekt og måler så varmestråling på nytt. Gjør dette fire ganger.

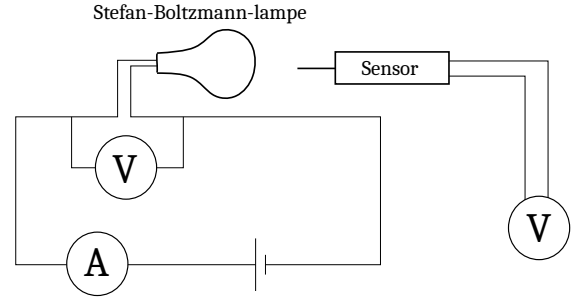
Kobler opp utstyr som vist i figur 3. Setter spenningen til 1 V og måler så av strøm og spenning i kretsen med Stefan-Boltzmann-lampen og spenningen i varmestrålingssensoren. Setter så opp spenningen med 1 V og gjør det samme til og med 12 V.

### 4. Resultater

Ser først på dataen funnet ved Leslies kube som vist i figur 4. Avlesninger av voltmeteret koblet til varmestrålingssensoren viser intensiteten og ved avlesninger av ohmmeteret



**Figur 2:** Utstyrsoppsett. Leslies kube er koblet til et strømuttak og et ohmmeter, varmestrålingssensoren er koblet til et voltmeter.



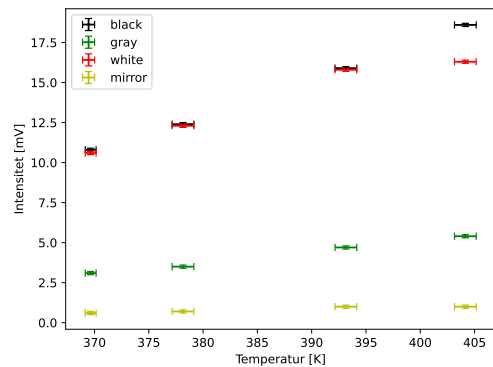
**Figur 3:** Utstyrsoppsett. Kobler et voltmeter parallelt med Stefan-Boltzmann-lampen i en krets med et ammeter og en spenningskilde som kobles til et strømuttak. Kobler et voltmeter til sensoren.

finnes resistans og dermed temperatur ved avlesning av tabell. Siden temperaturen finnes ved avlesning av tabell finnes nederste og øverste grense ved avlesning av laveste resistans som kan slå opp høyere enn høyeste verdi i feilmarginintervallet, og motsatt for lavere.

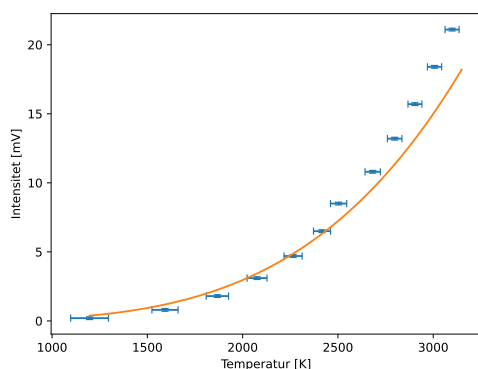
Videre er dataen for Stefan-Boltzmann-lampa vist i figur 5. Ved avlesninger av voltmeteret koblet til sensoren finnes intensiteten og temperatur er funnet ved avlesning av resistans og ved å lese av tabell. Usikkerheten i temperaturen kommer av måleusikkerheten i resistansen og usikkerheten i resistansen ved romtemperatur som vist i (4). Bruker samme metode for å finne feilmarginer som ved Leslies kube.

### 5. Diskusjon

Kan se i figur 4 at alle målingene ser ut til å følge en lik økning i fothold til hverandre med unntak av den hvite siden i siste måling. Vi forventet at intensiteten skulle følge likningen i (2) med varierende  $\epsilon$  på de forskjellige sidene. Da ville målingene vært proporsjonale med  $T^4$ , men hvis vi tegner inn  $\alpha T^4$  med  $\alpha = \bar{U}/T^4$ , hvor  $\bar{U}$  er gjennomsnittet av de målte verdiene for intensiteten, får vi grafen vist i



**Figur 4:** Leslies kube. Punktene er målinger ved de forskjellige intensitetene hvor temperaturen er tilnærmet konstant i hver av de fire målingene ved samme intensitetsinnstilling.



**Figur 5:** Stefan-Boltzmann-lampe. Punktene er avlesninger og den heltrukne linja er et gjett på en fjerdegradsfunksjon.

figur 6. Her er det vanskelig å se om denne modellen passer siden det er relativt liten forskjell på største og minste verdi for temperaturene som er målt.

Det kan finnes flere forklaringer på hvorfor de teoretiske modellene som vi forventet ikke skulle vises i dataen. Noe som kan hende er at siden vi måler temperaturen ved resistans i en glødepære inne i kuben vil temperaturen vi finner være for glødepæren, men muligens ikke for overflaten på kuben og da kan det hende at systemet inne i kuben ikke er kommet i termisk likevekt å at temperaturen dermed ikke realistisk er det samme som den vi måler. Det kan hende at denne temperaturforskjellen øker med temperaturen vi måler og at målingene derfor ikke er proporsjonal med  $T^4$ .

Vi kan også tenke oss at siden denne temperaturen er så liten i forhold til romtemperaturen kan det gjøre at varmestralingen er liten i forhold til annen stråling som kan detekteres av sensoren og dermed ikke vil øke med  $T^4$ , men i dette tilfellet er hovedsaklig problemet at temperaturforskjellene er liten og det er dermed vanskelig å konkludere med noen proporsjonalitet.

Vi kan så se på målingene i forhold til hverandre. Vi hadde regnet med at den svarte siden ville emittere mest

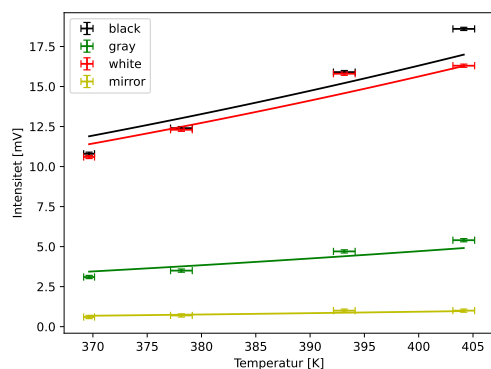
stråling siden denne siden også vil absorbere mest stråling. Det som var uventet var at den hvite siden emitterte neste like mye som den svarte siden, ettersom vi vet at hvite objekter reflekterer alt synlig lys. Vi kan tenke oss at selv om dette er sant så vil i dette tilfelle varmestralingen ikke være i form av synlig lys og det kan hende at den hvite siden absorberer denne bølgelengden nesten like godt som den svarte siden og dermed emitterer omtrent like mye.

Vi ser at det er en måling som er langt ganske langt unna den korresponderende målingen av den svarte siden. Dette kan være en målefeil, men kan tenke seg at i dette tilfellet begynner varmestralingen å nærme seg synlig lys eller en annen bølgelengde som blir reflektert av hvitt og ikke svart. Dette virker ikke veldig sannsynlig siden vi vet at intensiteten i varmestralingen skal øke med  $T^4$  og det derfor ikke gir mening at det er en stor plutselig forskjell i evnen til absorpsjon. En annen tanke er at det egentlig er en betydelig forskjell på disse målingene men at de ser små ut i forhold til alle de andre målingene vi har. Det kan også hende at det tar lenger å tid å varme opp visse sider av kuben og at dette fører til at hvit emitterer omtrent like mye stråling. Dette siste punktet er nok ikke spesielt sannsynlig siden vi til første måling lot det stå veldig lenge og vi ser at første måling også er veldig like.

Som forventet er den blanke aluminiumssiden som emitterer minst da dette omtrent er et speil og vil dermed reflektere omtrent all stråling. I tillegg vet vi at aluminium reflekterer mye stråling fra før av, noe vi også kan se ved at den upolerte aluminiumssiden også emitterer ganske lite, men likevel en del mere enn den blankpolerte. For å finne emisjonskonstanter for upolert og blankpolert aluminium kan det antas at den svarte siden er tilnærmet et sort legeme og vil dermed ha  $\epsilon = 1$  og får da

## 6. Konklusjon

Nå har vi gitt endel eksempler på formatering. For å mestre L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X er det bare én ting som gjelder – trening. Last ned kildefilene og lek med de ulike elementene. Sitter du fast er det som regel noen som har hatt de samme problemene før deg. Det meste av dokumentasjon er å finne på CTAN. Spørsmål og svar er å finne på L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X StackExchange. Lykke til!



**Figur 6:** Leslie's kube med tilnærmede fjerdegradspolynomer.

**Tabell 1:** Emisjonskonstant for de ulike overflatene på Leslie's kube. Legg til feilmarginer etterhvert.

Side	$\epsilon$
Svart	1
Hvit	0,958
Upolert aluminium	0,289
Polert aluminium	0,057

## Referanser

- [1] Nesse, T. og V. Risinggård, Institutt for fysikk, NTNU: *NTNU Fysikklab.* <http://home.phys.ntnu.no/brukdef/undervisning/fyslab/rapport.html>, (sjekket 13.09.2016).
- [2] Young, H. D. og R. A. Freedman: *University Physics*. Pearson Education, 14. utgave, 2016.
- [3] Sheik, A. F.: *Wheatstone Bridge Circuit Theory and Working Principle.* <https://electricalacademia.com/instrumentation-and-measurements/wheatstone-bridge-circuit-and-working-principle/>, (hentet 19.10.2022).