

# Mal for rapport til laboratorium i fysikk

S. Kragset<sup>a</sup>, I. B. Sperstad<sup>a</sup>, F. A. Martinsen<sup>a</sup>, M. Farstad<sup>a</sup>, T. A. Bojesen<sup>a</sup>, P. G. Ellingsen<sup>a</sup>, J. A. Støvneng<sup>a</sup>,  
V. Risinggård<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Institutt for fysikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 7491 Trondheim.

## 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 [?]. På slutten av forrige setning ser vi et eksempel på en referanse. Her er et eksempel på en referanse til læreboka [?]. 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 `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  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  Stefan-Boltzmann-konstanten. Dersom dette skal gjelde for et objekt med vilkårlig emissivitet  $\epsilon$ , må vi justere til

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

[TEORI LESLIEKUBE?]

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.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^2 + h^2}{gh}}, \quad (4)$$

der  $g$  er tyngdens akselerasjon og  $h$  er avstanden fra opphengspunktet til massesenteret, som vist i figur 1. Tregheitsradiusen  $r$  er gitt ved

$$r = \sqrt{\frac{l^2 + b^2}{12}}, \quad (5)$$

der  $l$  er lengden og  $b$  er bredden til pendelen.

Disse ligningene kan vi nå henvise til, for eksempel kan vi si at vi skal bruke ligning (4) til å måle tyngdeakselerasjonen  $g$ .

Noen ganger trenger vi litt større oppstillinger av ligninger som går over flere linjer, og de kan for eksempel formateres slik som dette:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 &= \left(\frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial l} \Delta l\right)^2 + \left(\frac{1}{r} \frac{\partial r}{\partial b} \Delta b\right)^2 \\ &= \left(\frac{l \Delta l}{l^2 + b^2}\right)^2 + \left(\frac{b \Delta b}{l^2 + b^2}\right)^2. \end{aligned} \quad (6)$$

Generelt skal alle ligninger ha ligningsnummer, men om vi skal vise en utregning eller ønsker å nevne noe i forbiarten som trenger den ekstra plassen vi har i en

likning kan det være greit å sløyfe ligningsnummeret. For eksempel vil vi nå kommentere at dersom  $(l\Delta l)^2 \gg (b\Delta b)^2$  så får vi

$$\frac{\Delta r}{r} \approx \frac{\Delta l}{l}$$

fra likning (6).

Vi får ofte bruk for subskript for å angi variabelnavn, for eksempel for å skille mellom  $l_1$  og  $l_2$ . Dersom subskriptet er et ord og ikke en indeks, skal det brukes rett font, slik som i  $l_{\text{meterstav}}$ .

### 3. Metode

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

En Lesliekube 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 verifisere Stefan-Boltzmanns lov, må vi måle stråling fra et objekt som emitterer varmestråling. For å unngå stor påvirkning fra omgivelser, gir det mening å bruke et objekt med høy temperatur, for eksempel en Stefan-Boltzmann-lampe. Denne glødelampen inneholder en wolframtråd som kan bli opp mot 3000K, betydelig høyere enn romtemperatur med en faktor på rundt 10.

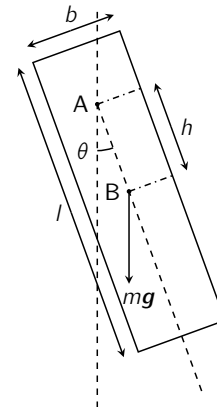
I metodedelen skal det være med en figur som viser det eksperimentelle oppsettet. Her viser vi et eksempel på en figur som er hentet inn fra en PDF-fil. Flere detaljer om hvordan du kan lage figurer finner du på nettsiden [?]. Vi kan referere til figurer på samme måte som vi refererer til ligninger. Nå refererer vi til figur 1.

Husk at figurteksten skal forklare alle de viktige elementene i figuren; leseren skal kunne forstå figuren ved hjelp av figurteksten alene og slippe i lete i brødteksten etter forklaringer.

### 4. Resultater

Oftest vil vi skrive inn enkeltmålinger i resultatdelen. Da er det viktig å angi usikkerhet. For eksempel kan lengden til pendelen være  $l = (1000,015 \pm 0,005) \text{ mm}$ . Vi kan også skrive opp usikkerheten separat. I dette tilfellet har vi  $\Delta l = 5 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ . Alternativt kunne vi skrevet denne usikkerheten som  $\Delta l = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$  eller  $\Delta l = 5 \mu\text{m}$ .

I resultatdelen er det ofte bruk for tabeller for å presentere måledata på en oversiktlig måte. Husk at alle måledata skal oppgis med usikkerhet! Tabell 1 er et godt eksempel.



**Figur 1:** Her skriver du figurteksten. Merk at denne kommer under figuren. Naturligvis avslutter vi figurteksten med punktum.

I tabell 2 ser vi et eksempel der den samme tabellen er laget på en litt annen måte. Merk at mens figurtekster står under figurene skal tabelltekster plasseres over tabellene.

Selv om tabeller er hendige, er de ikke alltid den beste løsningen i resultatdelen. Det er for eksempel lettere å se om det er en sammenheng mellom avstanden fra opphengspunktet til massesenteret og verdien og usikkerheten som ble målt for tyngdeakselerasjonen dersom vi plottet resultatene i en figur. Figur 2 er et eksempel på dette. Denne presentasjonsformen blir mer aktuell dersom vi har mange resultater.

### 5. Diskusjon

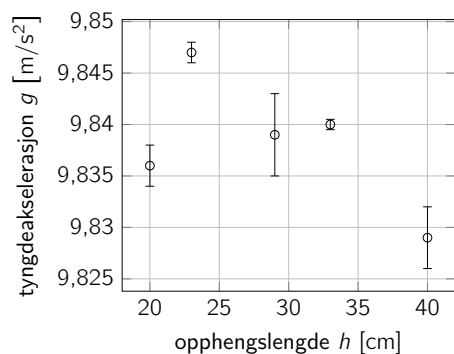
Rapportskriving i L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X gir mange muligheter. Selv om det er endel tekniske finesser som skal på plass er det viktig

**Tabell 1:** Dette er den obligatoriske tabellteksten. Den kommer over tabellen. Husk at de samme reglene gjelder for utforming av tabellteksten som for utforming av figurteksten.

$h$ [cm]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]
20	$9,836 \pm 0,004$
23	$9,847 \pm 0,002$
29	$9,839 \pm 0,008$
33	$9,840 \pm 0,001$
40	$9,829 \pm 0,006$

**Tabell 2:** Denne tabellen har identisk innhold som den forrige, men er laget på en litt annen måte.

$h$ [cm]	$g$ [m/s <sup>2</sup> ]
20	$9,836 \pm 0,004$
23	$9,847 \pm 0,002$
29	$9,839 \pm 0,008$
33	$9,840 \pm 0,001$
40	$9,829 \pm 0,006$



**Figur 2:** Denne presentasjonsformen egner seg bedre til å tydeliggjøre trender i datagrunnlaget. Her kan det se ut som om verdien vi måler for  $g$  og usikkerheten i målingene er relativt uavhengig av  $h$ .

å huske på at god skriving og godt språk ligger til grunn for å skrive en god rapport.

## 6. Konklusjon

Nå har vi gitt endel eksempler på formatering. For å mestre  $\text{\LaTeX}$  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  [\$\text{\LaTeX}\$  StackExchange](#). Lykke til!