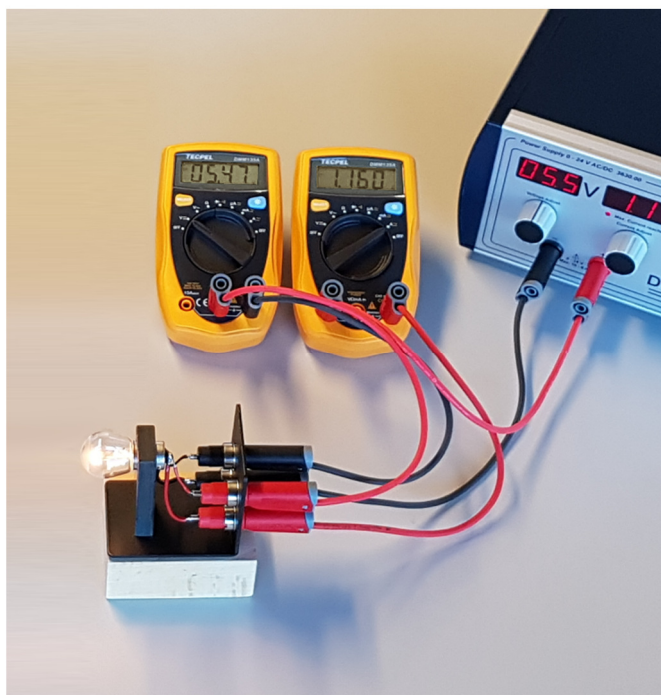


Nummer	133720	Emne	Lys, IR, energi i elektromagnetisk stråling		
Version	2018-03-05 / HS	Type	Elevøvelse	Foreslås til	gymAB p. 1/4



Formål

I dette eksperiment undersøges Stefan-Boltzmanns lov:

Den udstrålede effekt fra et absolut sort legeme er proportional med den absolutte temperatur i fjerde potens.

Princip

Wolfram-glødetråden i en lampe opfører sig næsten som et sort legeme ved de temperaturer, der arbejdes med.

Glødetrådens temperatur bestemmes ud fra dens modstand.

Den udstrålede effekt bestemmes ud fra den tilførte elektriske effekt sammen med en model for tabet i form af varmeledning.

Apparatur

Stefan-Boltzmanns lampe

Modstand (100 Ohm)

(Stue-) termometer

Strømforsyning

Multimetre (2 stk.)

Ledninger

Stefan-Boltzmanns lov

Josef Stefan udledte strålingsloven empirisk i 1879 og Ludwig Boltzmann kunne i 1884 give loven en teoretisk base i termodynamikken.

Et absolut sort legemes med areal A og temperatur T udstråler effekten P_S givet ved:

$$P_S = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

hvor σ er Stefan-Boltzmanns konstant. I dette eksperiment undersøger vi proportionaliteten med T^4 .

Da arealet er konstant, kan vi slå de to konstanter sammen:

$$P_S = s \cdot T^4$$

Måleprincipper

Temperaturbestemmelse

Glødetråden er lavet af metallet wolfram. Modstanden i en wolframtråd afhænger af dens temperatur på en veldefineret måde. Modstandens størrelse bestemmes ved hjælp af Ohms lov.

For at kunne beregne temperaturen af wolframtråden skal vi bruge modstandens størrelse R_{REF} ved stuetemperatur t_{REF} . (Det kan ikke bare gøres med en enkelt måling, da målestrømmen vil bevirke en opvarmning – metoden beskrives nedenfor.)

Når vi kender stuetemperaturen t_{REF} og den tilhørende modstand R_{REF} , findes der regneudtryk, som kan give os temperaturen i tråden ud fra dens modstand – se detaljerne under *Beregninger*.

Energiregnskabet

I en statisk situation er glødetrådens indre energi konstant. Den tilførte elektriske effekt går dels til udstrålet lys, dels til tab (*varmeledning* i tilledningerne og *konvektion* i gassen i pæren):

$$P_{EL} = P_S + P_{TAB}$$

Lav temperatur: Udstråling næsten nul

Ved små temperaturstigninger (hvor $P_S \approx 0$) vil den tilførte elektriske effekt være i ligevægt med tabet:

$$P_{EL} \approx P_{TAB}$$

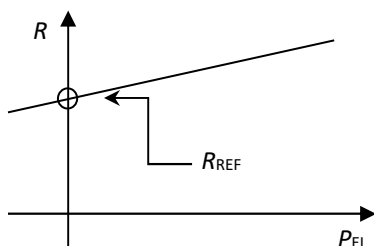
Det antages, at tabeffekten (ledning og konvektion) er proportional med temperaturforskellen mellem glødetråd og omgivelserne:

$$P_{TAB} = K_{TAB} \cdot (T - T_{OMG})$$

Modstanden er ved små temperaturstigninger en lineær funktion af trådens temperatur.

Dermed bliver modstandens værdi alt i alt en lineær funktion af den tilførte elektriske effekt i dette temperaturområde. Det giver mulighed for at bestemme R_{REF} ud fra en graf over modstanden som funktion af den tilførte effekt P_{EL} :

Se skitsen. Hvor $P_{EL} = 0$, er opvarmningen også 0:



Nu har vi de nødvendige oplysninger til at kunne finde trådens temperatur ud fra dens modstand. De samme måledata, som blev brugt til at bestemme R_{REF} , kan derefter bruges til at bestemme K_{TAB} .

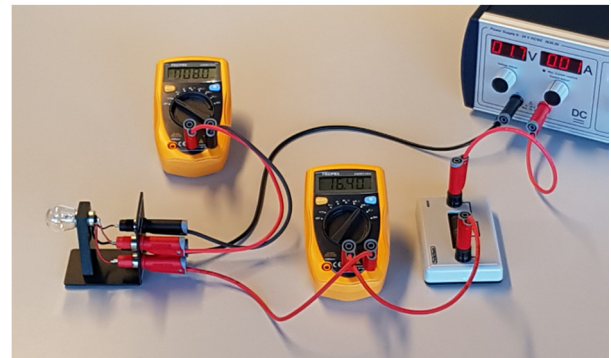
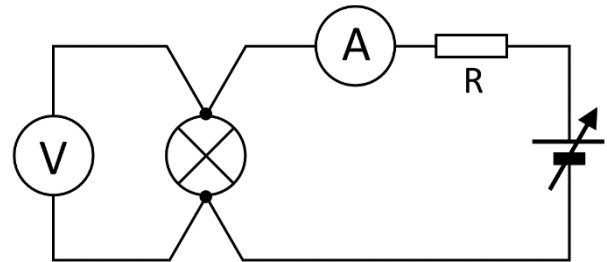
Det giver mulighed for at beregne P_{TAB} – og dermed P_S – for alle temperaturer.

Udførelse

Der skal måles præcist – brug eksterne instrumenter fremfor dem, som er indbygget i strømforsyningen.

1 – Bestemmelse af t_{REF} , R_{REF} og K_{TAB}

Der arbejdes med ganske små strømme og spændinger her, så for at gøre det lettere at indstille strømforsyningen, indskydes en modstand i kredsløbet – se diagram og foto herunder.



I de indledende målinger indsættes en modstand i serie med lampen

Bemærk, at voltmeteret tilsluttes de to øverste bøsninger på lampen – derved måles spændingen U direkte over glødelampen.

Voltmeteret skal måle i mV-området og amperemeteret i mA-området.

Skrø forsigtigt op for strømforsyningen, til voltmeteret viser ca. 25 mV og notér den nøjagtige værdi for spænding og strøm. Gentag for 40, 55, 70 85 mV.

Bestem stuetemperaturen t_{REF} .

Notér resultaterne i et skema som dette:

t_{REF} :		°C
U	I	
mV	mA	

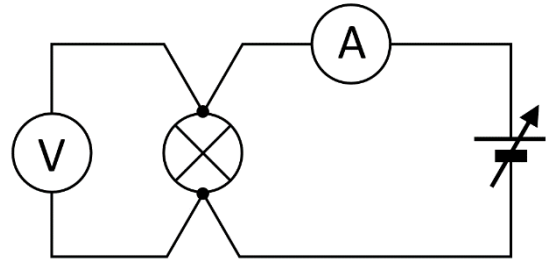
2 – Måling ved højere temperatur

NB: Seriemedstanden benyttes kun i del 1. Den må ikke være i kredsløbet under resten af eksperimentet. (Diagram til højre, foto på forsiden).

NB: Amperemeteret skal indstilles på A – normalt en anden bøsning end mA!

Mål lampespænding U og strøm I , startende ved $U = 0,5$ V. Spændingen skal øges med ca. 30 - 40 % for hver måling. Den sidste måling foretages ved 12 V. (Det giver 10-12 målepunkter.)

Notér resultaterne i et skema.



Beregninger

Det kan i høj grad betale sig at lade beregningerne foregå i et regneark. Det skal have i hvert fald kolonnerne som vist her under. Afsæt også nogle celler til værdierne T_{OMG} (K), R_{300} (Ω) og K_{TAB} (W/K).

U	I	R	R / R_{300}	T	P_{EL}	P_{TAB}	P_{S}
V	A	Ω		K	W	W	W

1a – Bestemmelse af R_{REF} og t_{REF}

Beregn modstand R og tilført effekt P_{EL} ud fra spænding og strøm. Afbild R som funktion af P_{EL} som beskrevet i *Måleprincipper* og indtegn en ret linje.

Bestem R_{REF} som skæring med 2.-aksen.

Nu er vi klar til beregning af temperaturen.

For at kunne anvende en *universel* formel til temperaturbestemmelse, skal vi først ud fra R_{REF} bestemme modstanden ved en standardtemperatur, som er valgt til 300 K:

Ud fra en tabelværdi for wolframs temperaturkoefficient nær stuetemperatur kan man opstille følgende formel, som giver R_{300} ud fra en måling ved rumtemperaturen t_{REF} (målt i $^{\circ}\text{C}$):

$$R_{300} = R_{\text{REF}} \cdot \left(1 + \frac{26,8^{\circ}\text{C} - t_{\text{REF}}}{208,3^{\circ}\text{C} + t_{\text{REF}}} \right)$$

Ud fra trådens aktuelle modstand R kan dens *absolute* temperatur T bestemmes ved først at finde den relative modstandsændring $x = R/R_{300}$, og derefter indsættes x i et sjettegradspolynomium:

$$T = a_6 x^6 + a_5 x^5 + a_4 x^4 + a_3 x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_0$$

Koefficienterne er givet ved:

$$\begin{array}{ll} a_6: & -9,915 \cdot 10^{-5} & a_2: & -19,76 \\ a_5: & 6,794 \cdot 10^{-3} & a_1: & 267,3 \\ a_4: & -0,1840 & a_0: & 52,38 \\ a_3: & 2,520 & & \end{array}$$

1b – Bestemmelse af K_{TAB}

For resultaterne i del 1 afbildes nu P_{EL} som funktion af $(T - T_{\text{OMG}})$. Indtegn bedste rette linje og find K_{TAB} som hældningskoefficienten.

2 – Måling ved højere temperatur

For målingerne i del 2 beregnes P_{TAB} ud fra den netop fundne værdi for K_{TAB} . Beregn også P_{S} .

NB: Dette gøres **kun** for målingerne i del 2.

P_{S} afbildes som funktion af T i et dobbeltlogaritmisk koordinatsystem. Vi forventer en sammenhæng som $P_{\text{S}} = s \cdot T^4$, så resultatet skulle meget gerne være en ret linje.

På et stykke logaritme papir bestemmes eksponenten som hældningskoefficienten.

I et regneark skal begge akser formateres til *Logaritmisk skala*, helst med *Basis* (dvs. grundtal) 2 og der skal indtegnes en "tendenslinje" af typen *Potens*. Sørg for at ligningen vises – så kan eksponenten direkte aflæses.

Ekstra spørgsmål

Antag, at glødetråden er et absolut sort legeme og at dens totale længde er 50 mm (den er rullet op i en spiral – se efter med en lup). Slå Stefan-Boltzmanns konstant op i en tabel.

Hvor stor er trådens diameter? (Find og brug værdien af s .)

Diskussion og evaluering

Kan udstrålingen fra glødetråden med rimelighed beskrives med sammenhængen $P_{\text{S}} = s \cdot T^4$?

Kan eventuelle afvigelser forklares?

(Hvis du besvarede *Ekstra spørgsmål*:

Lyder tykkelsen som en rimelig værdi?)

Noter til læreren

Benyttede begreber

Energi og effekt
Absolut temperatur
Ohms lov
Elektrisk effekt

Matematiske forudsætninger

Lineære funktioner
Anvendelse af regneark (over begynderniveau)

Om apparaturet

Man kunne forestille sig at måle strålingseffekten direkte ved hjælp af en bredbåndsdetektor. Det giver også nogenlunde acceptable resultater, som dog plages af, at glasset i glødelampen absorberer langbølget infrarød stråling. Derved måles for små værdier ved lavere temperaturer, og man ender typisk med en eksponent, som er væsentligt højere end 4.

Den her beskrevne metode til bestemmelse af strålingsenergien undgår dette problem.

Glødetråden er naturligvis ikke et ideelt sort legeme. Men den opfører sig nogenlunde som et "gråt legeme", kendetegnet ved at den absorberer alle bølgelængder *lige godt*, selv om absorptionen er lidt lavere end 100 %. Stefan-Boltzmanns lov korrigeres ved at tilføje faktoren ε (emissiviteten):

$$P_S = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

Faktoren $\varepsilon \cdot A \cdot \sigma$ er stadigvæk en konstant. I dette eksperiment er arealet A kun i spil i det allersidste ekstra-spørgsmål, og det er ikke væsentligt, at ε ikke er helt lig med 1.

På vores hjemmeside kan man hente et regneark med temperaturomregningen (resultater eller formler kan da kopieres over i hovedregnearket).
(Søg efter varenummer 277022.)

Detaljeret apparaturliste

Specifikt for eksperimentet

277022 Stefan-Boltzmanns lampe
420541 Modstand 100 Ohm, 10 W, 1 %

Standard laboratorieudstyr

361600 Strømforsyning (el.lign.)
386135 Multimeter (el.lign.) (2 stk.)
105720 Sikkerhedskabel, 50 cm sort (2 stk.)
105721 Sikkerhedskabel, 50 cm, rød (3 stk.)

Reklamationsret

Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato.
Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.

Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet, dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.

Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen. Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbeløbet forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt.

Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.

© Frederiksen Scientific A/S

Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes på vores hjemmeside