

T 1

TEMPERATURMÄTNINGAR

MÅLSÄTTNING.

Laborationen vill visa på de moderna fysikaliska mätmetoderna för bestämning av temperatur.

FÖRBEREDELSE.

Du ska känna till:

- allmänna gaslagen och
- ett ämnes trippelpunkt.

Namn:

Kurs:

Utförd den:

Handledare:

Godkänd den:

av:

Introduktion.

Laborationens mål är att göra Dig förtrogen med de moderna fysikaliska mätmetoderna för bestämning av temperaturen.

Bedöm användbarheten av de olika temperaturgivarna med utgångspunkt från följande karaktäristika:

Onoggrannheten (den uppmätta temperaturens avvikelse från den verkliga).

Upplösningen (den minsta temperaturdifferens som ger en reproducerbar och avläsbar ändring av utsignalen).

Känsligheten (ändring av utsignal vid en grads ändring av temperaturen).

Temperaturområdet (det temperaturområde som givaren täcker i den aktuella uppkopplingen).

Linjariteten (avvikelse från linjärt temperaturberoende inom temperaturområdet. Anges endast för linjära givare oftast i %).

Tidskonstanten (anger hur snabbt givaren reagerar på en mycket snabb temperaturändring).

1. GASTERMOMETER.

I gastermometern utnyttjar man principen att för en ideal gas gäller följande samband

$$\frac{pV}{T} = nR$$

där p = trycket

V = volymen

T = temperaturen

n = antalet kmoler

R = allmänna gaskonstanten.

Om gasvolymen hålles konstant för en given gasmassa fås att

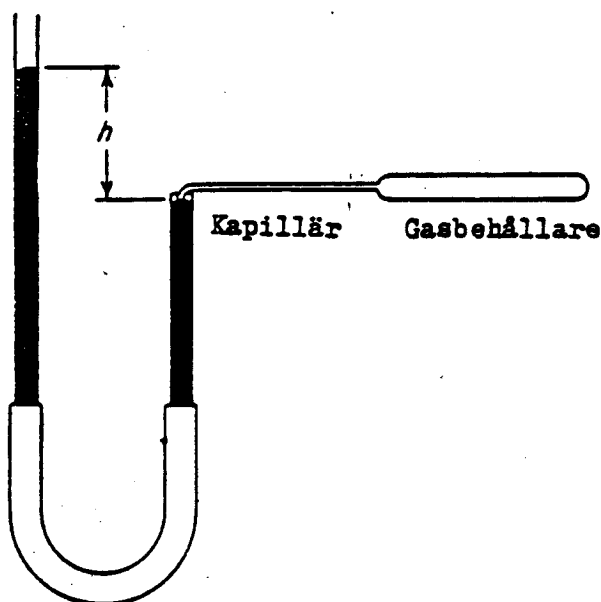
$$\left(\frac{p}{T}\right)_{V,m} = \text{konst eller att}$$

$$T = T_0 \left(\frac{p}{p_0}\right)_{V,m} \quad (11)$$

där T_0 och p_0 , respektive, är referenstemperatur och -tryck, medan p är gasens tryck vid den sökta temperaturen T .

Gastermometern fungerar på följande sätt (se figur 1).

Gasbehållare placeras inuti materialet, vars temperatur skall bestämmas.



Figur 1. Gastermometer med konstant volym.

Gasvolymen hålles konstant genom justering av kvicksilverpelaren så att den alltid står vid ett index i ena skänkeln. Trycket mätes genom att observera höjdskillnaden mellan de två kvicksilverytorna.

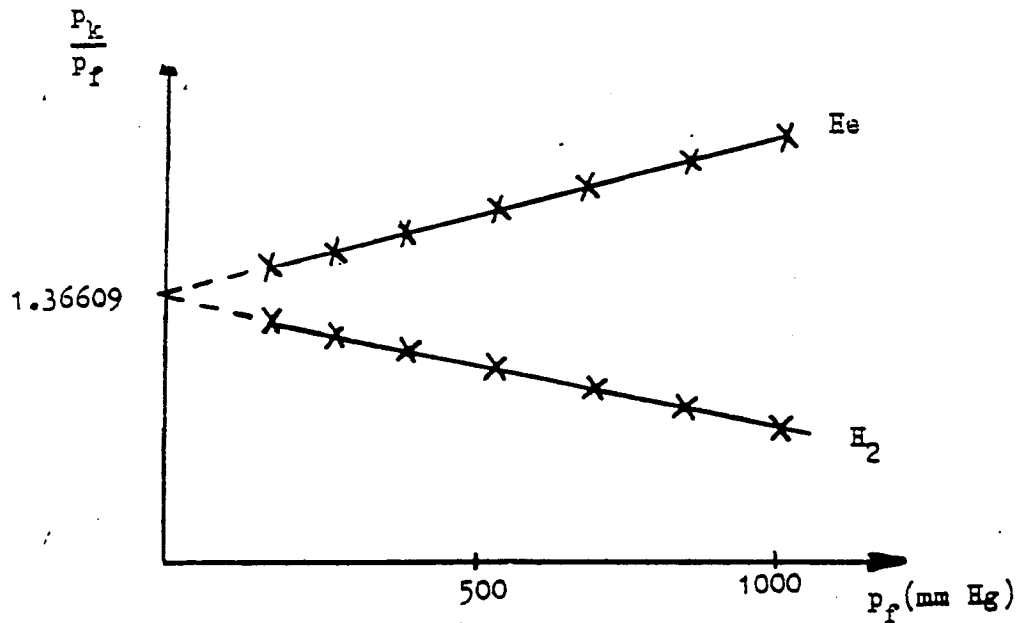
Om referenstemperaturen T_0 och referenstrycket p_0 är kända kan då temperaturen T omedelbart bestämmas från ekvationen (1).

Nedan följer en kort beskrivning av hur gastermometrar har utnyttjats för att fastställa temperaturskalan och referenstemperaturerna.

Antag att vi har en såpass stor mängd gas, exempelvis helium, i behållaren i figur 1 att trycket är 1000 mm Hg vid vattnets fryspunkt (p_f). Sedan värmer vi upp gasen till vattnets kokpunkt och håller volymen konstant. Trycket blir då p_k och vi får

$$\frac{T_k}{T_f} = \frac{p_k}{p_f}$$

Om vi sedan ändrar gasens mängd i behållaren kommer trycket vid fryspunkten att reduceras från 1000 till exempelvis 800 mm Hg. Trycket vid kokpunkten mätes på nytt och det nya förhållandet $\frac{p_k}{p_f}$ uträknas. Punkterna inritas i ett diagram och kurvan som för små värden på p_f kan approximeras med en rät linje extrapoleras ut till trycket $p_f = 0$. Sedan upprepas försöket med en annan gas exempelvis vätgas.



Figur 2.

Man finner att de extrapolerade kurvorna för bägge gaserna skär vertikalkaxeln i samma punkt. (Se figur 2.) Ytterligare försök med andra gaser ger samma resultat. Vi definierar

$$\frac{T_k}{T_f} = \lim_{p_f \rightarrow 0} \left(\frac{p_k}{p_f} \right) = 1,36609 \pm 0,00004$$

$V = \text{konst.}$

Vi kan nu bestämma ett sådant värde på T_f att differensen mellan T_k och T_f blir lika med 100 för att på så sätt kunna matcha resultaten till Celsius skala. Detta tal blir $T_f = 273,15 \text{ K}$, vilket förstås ger $T_k = 273,15 \text{ K} \cdot 1,36609 = 373,15 \text{ K}$.

Vid etablering av temperaturskalan utgick man av praktiska skäl inte från $T_f = 273,15 \text{ K}$, svarande mot vattnets fryspunkt, utan istället från talet $T_{tr} = 273,16 \text{ K}$ för vattnets trippelpunkt. Trippelpunkten hos vatten ligger $0,010^\circ \text{C}$ över fryspunkten och $273,16 \text{ K}$ var det bästa experimentella värdet på trippelpunkten.

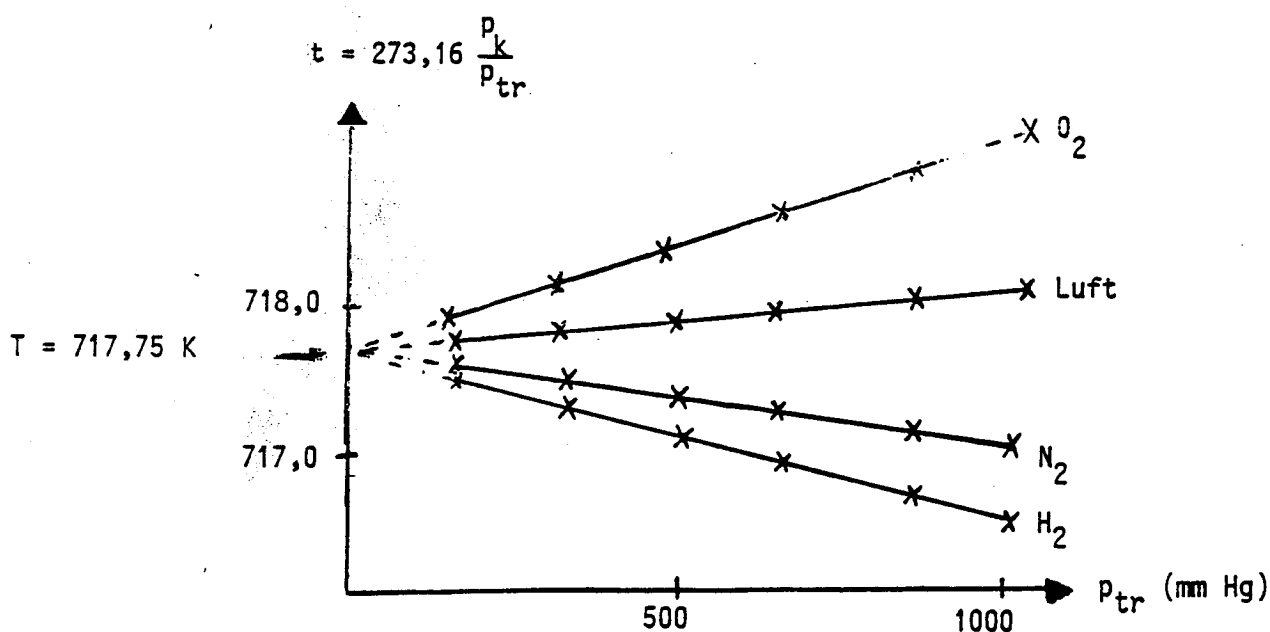
Kelvintemperatur definieras således:

$$T = 273,16 \lim_{p_{tr} \rightarrow 0} \left(\frac{p}{p_{tr}} \right)_V \quad (2)$$

Celsiustemperatur definieras

$$t^\circ \text{C} = T - 273,15 \text{ K}$$

Bestämning av en viss temperatur, t ex svavels kokpunkt vid 1 atm tryck med hjälp av gastermometer för konstant volym tillgår på så sätt att en viss mängd av någon gas inneslutes i termometerbehållaren. Dess tryck kan antas vara 1000 mm Hg vid vattnets trippelpunkt. Behållaren omges sedan med kondenserande svavelånga vid 1 atm. tryck och trycket i behållaren mätes (p_k). Sedan släpper man ut litet gas och proceduren upprepas. Trycket vid trippelpunkten reduceras allt mer. Kurvan extrapoleras till $p_{tr} = 0$ och det visar sig att alla gaser ger samma temperatur när p_{tr} sänks och det närmar sig noll (figur 3).



Figur 3.

Den noggranna bestämningen av en temperatur kräver flera månaders laboratorie- och beräkningsarbete. Några så noggrant bestämda temperaturer, fixpunkter, som används för kalibrering av andra termometrar anges i Tabell 1. (Se nästa sida.)

Har man tillgång till tabellen med temperaturskalans fixpunkter, kan mätproceduren med gastermometern avsevärt förenklas, genom att kalibrera gastermometern mot den i Tabell 1 angivna närmaste fixpunkten. Det avlästa trycket vid denna T_0 är p_0 . Sedan utnyttjar man direkt ekvationen (1) istället för ekvationen (2) och den mödosamma proceduren vilken visades i figur 2.

Tabell 1.

Temperaturskalans fixpunkter, EIPT-68, IPTS-68. (15^e Conférence Générale des Poids et Mesures 1975.)

	$T_{68}(K)$	$t_{68}(^{\circ}C)$
Trippelpunkt, vatten	273.16	+0.01
Trippelpunkt, väte	13.81	-259.34
Kokpunkt, väte vid 33330.6 Pa(25/76 atm)	17.042	-256.108
Kokpunkt, väte	20.28	-252.87
Kokpunkt, neon	27.102	-246.048
Trippelpunkt, syre	54.361	-218.789
Trippelpunkt, argon	83.798	-189.352
Kokpunkt, syre	90.188	-182.962
Kokpunkt, vatten	373.15	100
Smältpunkt, tenn	505.118	231.968
Smältpunkt, zink	692.73	419.58
Smältpunkt, silver	1235.08	961.93
Smältpunkt, guld	1337.58	1064.43

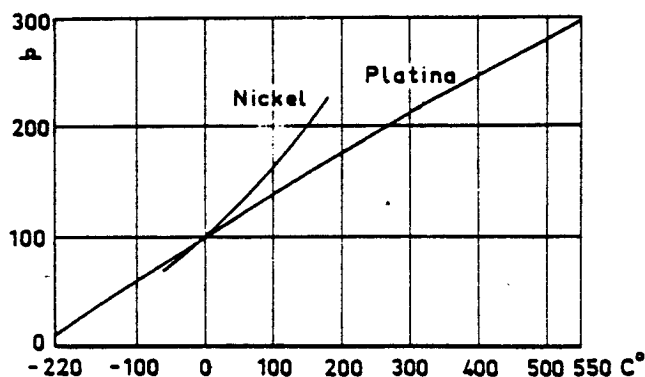
Anm. Kokpunkten för vätskor mätes vid trycket i normalatmosfär, 1 atm = 101325 Pa (N/m²).

De nödvändiga korrektioner, som tar hänsyn till volymändringar av gasbehållaren vid förflyttningen av behållaren från temperaturen T_0 till T , samt andra korrektioner är sammanställda i ekvationen 9 i appendix.

2. TEMPERATURGIVARE.

A. RESISTANS GIVARE.

Den elektriska resistansen hos både ledare och halvledare är temperaturberoende. För metaller ökar resistansen med temperaturen och sambandet är för små temperaturintervall linjärt (figur 4). Vanligen används



Figur 4.

platina eller nickel. Nickel har den högsta temperaturkoefficienten hos resistiviteten. Platina ger det största mätområdet (se figur 4). För att givarna skall vara lätt utbytbara om de går sönder brukar de dimensioneras för en viss bestämd resistans, exempelvis 100 Ω , vid 0°C. Motståndstermometerens känselkropp består oftast av en trådspiräl upplindad på en stomme av glas eller keramik, som sedan har kapslats in.

För större temperaturintervall kan resistansens temperaturberoende skrivas:

$$R = R_0 (1 + At + Bt^2)$$

där R_0 är termometerens resistans vid 0°C, R dess resistans vid t°C. A och B kan betraktas som materialkonstanter för metallen ifråga.

För att rita upp ett kalibreringsdiagram måste således R_0 , A och B bestämmas. Temperaturskalans fixpunkter givna i Tabell 1 kan då utnyttjas.

Halvlederresistorerna eller termistorerna som de vanligen kallas har en olinjär resistans.

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

T_0 väljes oftast (t ex i databladets tekniska beskrivningar) till 298 K = 25°C.

β är en materialkonstant. Den är av storleksordningen 3000 - 5000 K. Temperaturkoefficienten för termistorn erhålles genom derivering av ekvationen ovan med avseende på T och division med R

$$\frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{1}{R} \cdot R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} \cdot \left(\frac{-\beta}{T^2} \right) = - \frac{\beta}{T^2}$$

Om β är positiv innebär det att derivatan dR/dT är < 0 , dvs resistansen minskar med ökande temperatur.

Termistorn är då av så kallad NTC-typ (Negative Temperature Coefficient).

Är $\beta < 0$ är temp.koefficienten positiv och termistorn är av PTC-typ.

Termistorer består oftast av en sintrad blandning av mangan-, nickel och

koboltoxider. De kan även bestå av kisel med spårtilfsats av varierande mängd bor. Fördelen med termistorn är dess stora temperaturkoefficient ($| \beta/T^2 | \approx 0,05$ jämfört med platinas 0,004. Vanligen uppges som referensvärde resistansen vid 25°C , R_{25} .

$$R_T = R_{25} e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298} \right)}$$

R_{25} varierar starkt mellan olika termistortyper (från några ohm upp till $100 \text{ k}\Omega$). De tillverkas i form av stavar och skivor samt som små pärlor ingjutna i glas.

Termistorer är ej lika stabila och noggranna som metalliska givare. De passar därför ej för precisionsmätningar. Användningsområdet är från temperaturer nära absoluta nollpunkten upp till c:a 300°C .

Fördelarna är:

Hög temperaturkoefficient.

Kan utföras med så hög resistans att variationer i ledningsresistanserna blir betydelselösa.

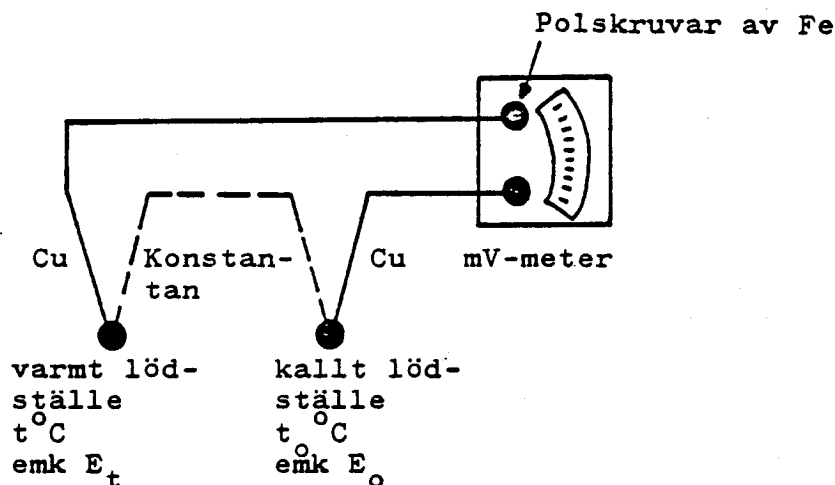
Givarna har små dimensioner och liten massa. De är därför snabba och påverkar ej temperaturen i mätpunkten.

B. TERMOELEMENT.

Löder man samman två trådar av olika metaller till en sluten krets så uppstår i kretsen en elektrisk ström om lödställena hålles vid olika temperatur. Strömmens orsak är potentialsprång i själva lödställena (Seebeck-effekt). Potentialsprången är temperaturberoende.

I kontaktytan mellan två metaller uppstår alltid en kontaktpotential, vars storlek beror på den absoluta temperaturen samt valet av metallkombination. Kontaktpotentialen beror på att elektronerna i de två metallerna har olika energi, deras Fermi-nivåer är olika. Om metallytorna bringas i kontakt med varandra kommer elektroner att strömma från metallen med högre energi och en potentialdifferens uppstår. Eftersom elektronernas energifördelning är temperaturberoende kommer kontaktpotentialen att variera med temperaturen.

Vid temperaturmätning måste det ena lödställets temperatur vara väl definierad. Detta åstadkomes enklast om lödstället placeras i smältande is eller i en termostat med väldefinierad temperatur (referenspunkt) (figur 5).



Figur 5.

Den uppmätta emk är tydligen lika med skillnaden mellan termo-emk från det varma och kalla lödstället.

Sambandet mellan termo-emk och temperatur för ett lödställe kan approximeras med uttrycket:

$$E = A' + Bt + Ct^2$$

där A', B och C är konstanter. För termoelementet med två lödställen erhålles då för dess emk, E.

$$E = E_t - E_0 = (A' + Bt + Ct^2) - (A' + Bt_0 + Ct_0^2) = -(Bt_0 + Ct_0^2) + Bt + Ct^2$$

Om vi sätter $A = -(Bt_0 + Ct_0^2)$ vilket är konstant erhålles:

$$E = A + Bt + Ct^2$$

Vanligen anger man sambandet mellan E och t för $t_0 = 0^\circ \text{C}$ (referenstemperatur), dvs $A = 0$, vilket tydligen är $E = Bt + Ct^2$, dvs en kurva genom origo.

Kalibreringen av termoelementen sker med hjälp av de närmaste fixpunkterna från Tabell 1.

C. INTEGRERAD TEMPERATURGIVARE.

Om två identiska transistorer arbetar med ett konstant förhållande mellan kollektorströmtätheterna så blir skillnaden mellan deras bas-emitter-spänningar direkt proportionell mot absoluta temperaturen T . Den temperaturberoende parameter som är av betydelse för funktionen är således skillnaden i bas-emitter-spänningarna hos de två transistorerna.

D. STRÄLNINGSTERMOMETRAR (PYROMETRAR).

Med ovan beskrivna termometrar kan ej temperaturer högre än c:a 2000°C uppmätas på grund av materialens obeständighet vid höga temperaturer. Man använder sig då i stället av den strålning som utsänds från varma kroppar. Uppvärmade föremål utstrålar ständigt elektromagnetisk strålningsenergi, vars intensitet och spektrala fördelning är entydigt bestämd av föremålets temperatur och yta. Inget medium krävs för energitransporter och strålningen utsänds vare sig föremålets temperatur är högre eller lägre än omgivningens. Denna elektronmagnetiska strålning är till sin natur identisk med ljuset. Vid temperaturer under ca 500°C ligger den största delen av den utstrålade energin i det infraröda våglängdsområdet. Vid högre temperatur utsänds även synlig strålning. Experiment visar att den intensitet varmed en kropp emitterar termisk strålning beror på kroppens temperatur och yta. Ljusintensiteten blir ett mått på temperaturen och utnyttjandet av strålningen ger därför möjlighet att mäta temperatur även på avstånd vilket ofta är en nödvändighet. De instrument som arbetar enligt denna princip kallas strålningstermometrar eller pyrometrar.

Exempel på pyrometrar.

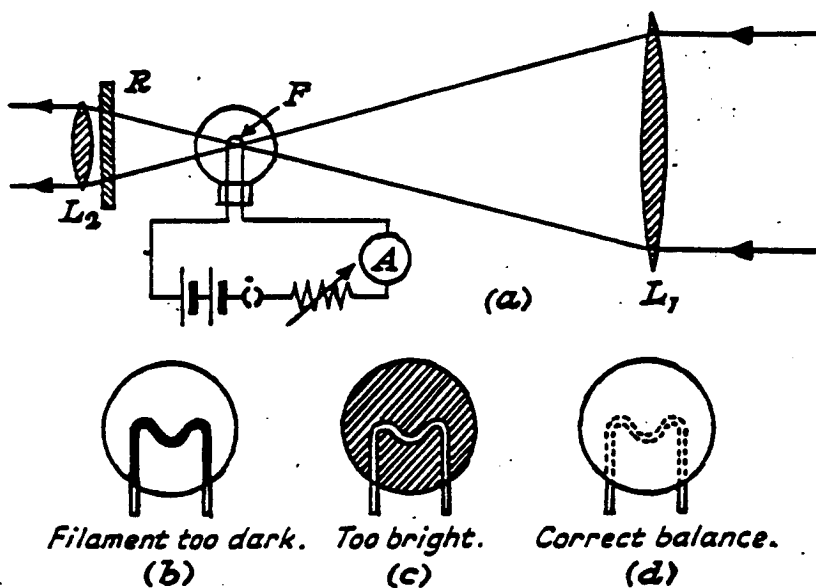
Totalstrålningspyrometern.

Med denna typ av pyrometer mätes den totala energin i strålningen över alla våglängder. I praktiken inom våglängdsområdet $0,1 - 8,0 \mu\text{m}$. Hän-syn måste tas till materialets emissionsfaktor, varför det på pyrometern avlästa värdet måste korrigeras. Speciella diagram över korrektionen brukar finnas.

Delstrålningspyrometern.

I denna jämföres strålningen från den undersökta kroppen med strålningen från en glödtråd (figur 6). Man använder sig av endast ett litet spektralområde som åstadkommes med ett rödfilter. Vanligen har detta område bredden $0,01 \mu\text{m}$. I instrumentet i figur 6 ändras ljusintensiteten hos

en glödtråd tills överensstämmelse med strålkällans intensitet erhålles. Detta inträffar när glödtråden tycks försvinna i bilden av strålkällan. Även i detta fall måste mätresultatet korrigeras med hänsyn till mätobjektets emissionsfaktor. Instrumentet visar nämligen den s k svarta temperaturen, dvs den temperatur som en "svart kropp" skulle ha för att stråla lika intensivt som mätobjektet. Vid mätning på kroppen med absorptionsförmågan < 1 och utan vidtagna anordningar för erhållande av hålrumstrålning (svartkroppsstrålning) blir som regel den avlästa temperaturen (svarta temperaturen) lägre än den verkliga.



Figur 5. Principskiss för glödtrådspyrometer. Glödtråden hos en lampa justeras in i objektivets bildplan. Om temperaturen är samma hos glödtråden och det betraktade föremålet, försvinner denna mot bakgrunden. Temperaturen hos glödtråden är empiriskt bestämd ur strömstyrkan (amperemetern graderas vanligen i $^{\circ}\text{C}$).

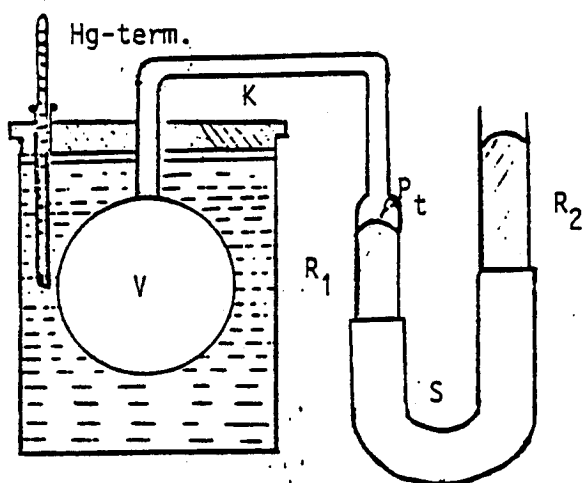
E. TERMOVISIONSKAMERAN.

I denna laboration ingår demonstration av en termovisionskamera. Liksom i pyrometrar, utnyttjar man också här strålningen som emitteras av materialet, fast i det här fallet ligger strålningen inom det infraröda området.

Utförande.

1. Uppgift 1.

Kalibrera gastermometern och bestäm temperaturen för ett vattenbad. Mät vattenbadets temperatur med precisionskvicksilvertermometer och jämför resultaten. Vid försöket användes en gastermometer som schematiskt visas i figur 7. Glasballongen V innehåller kvävgas, som är skild från ytterluften av en kvicksilvermanometer, bestående av rören R_1 och R_2 samt slangen S. Termometerns användning förutsätter att gasvolymen är konstant. Detta åstadkommes genom att kvicksilverytan i R_1 vid varje avläsning är inställd så att den nätt och jämnt tangerar spetsen på platinatråden Pt, som insmälts i glaset.



Figur 7.

t (°C.)	konstant volym $t - t_v$		
	He	H ₂	N ₂
+ 450	+ 0-081	—	+ 0-100
+ 400	+ 0-046	—	+ 0-150
+ 350	+ 0-034	—	+ 0-110
+ 300	+ 0-023	—	+ 0-080
+ 250	+ 0-015	+ 0-032	+ 0-050
+ 200	+ 0-008	+ 0-017	+ 0-027
+ 150	+ 0-003	+ 0-007	+ 0-011
+ 100	0-000	0-000	0-000
+ 50	- 0-001	- 0-002	- 0-004
0	0-000	0-000	0-000
- 25	+ 0-002	+ 0-003	+ 0-006
- 50	+ 0-004	+ 0-006	+ 0-015
- 75	+ 0-006	+ 0-010	+ 0-029
- 100	+ 0-009	+ 0-015	+ 0-052
- 125	+ 0-013	+ 0-021	+ 0-084
- 150	+ 0-018	+ 0-028	—
- 175	+ 0-023	+ 0-037	—
- 200	+ 0-028	+ 0-047	—
- 225	+ 0-034	+ 0-060	—
- 250	+ 0-043	—	—
- 260	+ 0-048	—	—

Tabell 2.

Korrekationer till gastermometer med konstant volym för erhållande av termodynamisk temperatur. t är termodynamisk temperatur, t_v avläst temperatur. Gasens begynnelsestryck vid 0°C är 1000 mm Hg. Över 450°C är korrekationen mindre än det experimentella felet.

Trycket p i ballongen bestäms enligt $p = B + h$, där B är barometerståndet i mm Hg och h är den på manometern avlästa höjdskillnaden, som bestäms med hjälp av en katetometer.

Katetometern är ett precisionsinstrument varför det är viktigt att den injusteras noggrant. Se till att den står plant. Luftblåsan i vattenpasset indikerar riktigt läge. Se sedan till att kikaren står absolut vågrätt (använd vattenpass). Använd samma referensnivå för alla mätningar. Katetometern får ej rubbas under försökets gång!

Beträffande manometeravläsningen gäller att kvicksilverytorna kan inställa sig med felaktig höjdskillnad på grund av ytspänningen. Före höjdmätningen med katetometer bör man därför knacka försiktigt på glasröret. Inställning och höjdmätning görs sedan temperaturjämvikt uppmäts. Katetometern måste ha injuserats innan mätningarna börjar. Glöm ej att avläsa temperaturen både vid barometern (för ΔB) och vid skadliga rummet (se nedan).

OBS! Gastermometern får ej lämnas utan tillsyn så länge temperaturändring sker. Avkylning får ej ske förrän röret R_2 sänkts tillräckligt. Laboranten ansvarar för att kvicksilver inte sugs in genom kapillären!

Vid bestämning av temperaturen måste vissa korrektioner göras beroende på att glasballongens volym ändras med temperaturen och att gasen i kapillären mellan gasbehållaren och manometern (skadliga rummet) ej har samma temperatur som gasen i behållaren. Korrektioner måste således beräknas för dessa effekter (se appendix).

Temperaturen bestäms även med en precisionskvicksilvertermometer.

Även det avlästa värdet på kvicksilvertermometern kan behöva korrigeras då den överskjutande kvicksilverpelaren ej har samma temperatur som vattenbadet (se även appendix).

Uppgift II.

Kalibrera och genomför mätningar på ett vattenbad av godtycklig temperatur, helst under 50^o C, med hjälp av resistanstermometer, termistor, termoelement, integrerad temperaturgivare samt en precisionskvicksilvertermometer, som Du använde vid uppgift I.

Sammanställ resultaten och diskutera dem.

Uppgift III.

Bestäm temperaturen på en glödlampas glödtråd med hjälp av en optisk delstrålningspyrometer (PYROPTO).

Observera korrektionen om den strålande kroppen ej är en "svart kropp". Vid mätningen i ugnen med små öppningar kan den strålande kroppen oftast betraktas som svart. En ideal absorbator absorberar all infallande strålning = svart kropp, exempel sotad yta, hålrum med liten öppning. En sådan liten öppning är också en ideal radiator (svartkroppsstrålning).

$t_{\text{glödlampa}} = \dots\dots\dots$

Uppgift IV.

Demonstrationer av termovisionskamera.

Appendix.

Korrekitioner.

Gastermometern, tryckkorrekitioner.

- 1) Det avlästa värdet ($B + h$) korrigeras för ändringar i rumstemperatur
- 2) Det korrigerade uppmätta trycket anger inte korrekt gasmassans tillstånd. Det är två saker att ta hänsyn till: 2 a) Gasballongens volym ändras med temperaturen, 2 b) gasen i skadliga rummet har ej samma temperatur som i ballongen. Av dessa felfaktorer är 2 b) den största.

1) Det sökta lufttrycket utgöres alltså av summan av atmosfärstrycket B i mm Hg och höjdskillnaden h i manometern. För att barometeravläsningar, gjorda vid olika tillfällen, skall bli jämförbara, måste de reduceras till en normaltemperatur, vilken vanligen är 0°C . För den i laboratoriet upphängda barometern finns en särskild tabell som ger storleken ΔB på den korrektion som måste göras, då barometern avläses vid annan temp. än 0°C . Korrekturen bestäms dels av kvicksilvrets täthetsändring och dels av skalans utvidgning.

Beträffande höjdskillnaden h i manometern så måste också den reduceras till 0°C på samma sätt som för kvicksilverbarometern. För avläsning vid temp. $t^{\circ} \text{C}$ fås $h = h_{\text{okorr}} (1 - \gamma t)$. Kvicksilvrets volymsutvidningskoeff. γ sättes till $1,82 \cdot 10^{-4} \text{ grad}^{-1}$. Korrektion för skalans (katetometer) utvidgning följer formeln $\alpha h_{\text{okorr}} \cdot (t - t_0)$. Denna korrektion torde dock direkt kunna försummas då katetometerens gradering är korrekt vid $t_0 \simeq 20^{\circ} \text{C}$ och $\alpha \simeq 2 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$.

Sammanfattningsvis har vi alltså:

$$p' = B + h = B_{\text{okorr}} - \Delta B + h_{\text{okorr}} (1 - \gamma t) \quad (2)$$

2 a) Glasballongens volym ändras med temperaturen enligt

$$V = V_0 \left[1 + \beta (T - T_0) \right] \quad (3)$$

där V_0 = volymen vid 0°C , T_0 = ispunkten (273,15 K) och β = glasets volymsutvidningskoefficient.

Enligt Boyles lag gäller

$$p_1 V = p V_0 \quad (4)$$

där p_1 är trycket då volymen är V och p är det tryck som skulle ha erhållits, om volymen varit V_0 . (3) och (4) insättes i (1): $T = T_0 \frac{p}{p_0}$

$$T = T_0 \frac{p_1 \left[1 + \beta (T - T_0) \right]}{p_0} \quad (5)$$

För beräkningarna användes $\beta = 2,43 \cdot 10^{-5} \text{ grad}^{-1}$.

2 b) Kapillären K samt den del av röret R_1 , som ej är fylld av kvicksilver, utgör tillsammans det skadliga rummet, och gasen i denna del har ej samma temp. som i glasballongen. Boyles lag ger för summan av moler i de två gasvolymerna

$$\frac{p' V_0}{T} + \frac{p' v}{T_s} = \frac{p_1 V_1}{T} \quad (6)$$

Här antas den sammanslagna gasmassan uppta volymen V_1 , då dess temp. är T och p_1 är det tryck, som då skulle råda. T_s är skadliga rummets temp. och v dess volym, p' är det uppmätta korrigerade trycket.

p_1 är det tryck som skall insättas i (5) och ur (6) har vi:

$$p_1 = p' \cdot \frac{V_0}{V_1} \left(1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T}{T_s} \right) \quad (7)$$

p_0 i (5) fås på samma sätt:

$$p_0 = p'_0 \cdot \frac{V_0}{V_1} \left(1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_{0s}} \right) \quad (8)$$

(Någon hänsyn till ändring i v på grund av glasets volymsutvidgning görs inte, då $v \ll V_0$).

(5) övergår alltså i:

$$T = T_0 \cdot \frac{p'}{p_0} \cdot \frac{1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T}{T_s}}{1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_{0s}}} \left[1 + \beta (T - T_0) \right]$$

$$T \approx T_0 \cdot \frac{p'}{p_0} \cdot \frac{1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T}{T_s} + \beta (T - T_0)}{1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_{os}}}$$

$$T = T_0 \cdot \frac{p'}{p_0} \cdot \frac{1 - \beta T_0}{1 + \frac{v}{V_0} \cdot \frac{T_0}{T_{os}} - T_0 \frac{p'}{p_0} \left(\frac{v}{V_0} \cdot \frac{1}{T_s} + \beta \right)}$$

genom approximationen $\frac{1 - \epsilon_1}{1 - \epsilon_2} \approx 1 - \epsilon_1 - \epsilon_2$ ($\epsilon_1; \epsilon_2 \ll 1$)

får vi:

$$T \approx T_0 \frac{p'}{p_0} \cdot \left[1 + T_0 \frac{v}{V_0} \cdot \frac{1}{T_s} \left(\frac{p'}{p_0} - \frac{T_s}{T_{os}} \right) + T_0 \beta \left(\frac{p'}{p_0} - 1 \right) \right] \quad (9)$$

Kvicksilvertermometern (korrektioner)

Vid noggrann temp.-bestämning med vätsketermometrar kan det bli nödvändigt att korrigera för överskjutande vätskepelare. En termometer är nedstucken i ett bad enligt Fig. 6. Antag, att badet står upptill delstrecket t_0 , att det avlästa värdet är t och att omgivningens temp. är t' . Korrektionen i pelarens längd blir då

$$\Delta t = \frac{(t - t_0)(t - t')}{K} \quad (10)$$

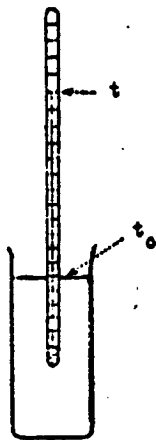


Fig. 6.

$\frac{1}{K}$ är vätskans skenbara utvidningskoeff. i glasröret. För kvicksilver är värdet approx. $\frac{1}{6,3 \cdot 10^3}$