

OVER HET METEN VAN HOOGTE TEMPERATUREN.

DOOR

G. J. W. BREMER.

»Die strahlungstheoretische Temperaturskala und ihre Verwirklichung bis 2300° abs,“ von O. LUMMER und E. PRINGSHEIM.

Ber. der Deutsch Phys. Gesellschaft, I, p. 3, 1903.

»Ueber einen optischen Pyrometer“, L. HOLBORN und F. KURLBAUM.

Ann. d. Physik, 10; p. 125, 1903.

Voor het meten van hooge temperaturen gebruikte men tot voor korten tijd slechts gasthermometers en thermo-elementen. Met een gasthermometer kon men echter niet boven 1150° C. komen. Een thermo-element kan dienen tot 1500°, maar de aanwijzingen sluiten zich slechts aan die van den gasthermometer aan door extrapolatie eener theoretische formule. Intusschen moet opgemerkt worden, dat de bij relatief lage temperaturen verkregen betrekking tusschen de thermokracht en de temperatuur geldig gebleken is tusschen een verrassend groot interval. Ook heeft de experimenteele meetbaarheid der thermokracht eene grens niet alleen in het smeltpunt der gebruikte metalen, maar ook in de omstandigheid, dat de stoffen, die als isolatoren dienen, bij hooge temperaturen goede geleiders der electriciteit worden. Daardoor wordt de meting der electromotorische kracht bij hooge temperatuur onuitvoerbaar en zoo ontbrak tot dusverre eene bruikbare meetmethode voor het gebied der zeer hooge temperaturen, die aanwijzingen gaf, betrekking hebbende op de schaal van den gasthermometer.

Door op geschikte wijze straling van een zwart lichaam te voor- schijn te brengen en de wetten daarvan experimenteel vast te stellen, is een weg geopend om dat doel te bereiken.

Iedere der gecontroleerde en juist bevonden stralingswetten is ge- schikt tot grondslag eener meetmethode binnen het temperatuurin- terval, waarvoor de wet bevestigd is.

Hiervoor komen drie voor zwarte straling geldende wetten in aanmerking.

1. $E = \sigma T^4$ (Wet van STEFAN-BOLTZMANN).
2. $\lambda_m T = A$) Verschuivingswetten van W. WIEN.
3. $E_m = B T^5$)

De eerste wet beteekent, dat de energie E , door een zwart lichaam uitgezonden, evenredig is aan de vierde macht der absolute tempe- raatuur. STEFAN heeft ze uit proeven afgeleid en BOLTZMANN heeft ook eene theoretische verklaring daarvan gegeven.

Men krijgt een volkomen zwart lichaam, als men stralen uit een hol lichaam door eene kleine opening laat gaan. Het wordt bijvoor- beeld aldus uitgevoerd: Om een porceleinen cylinder (fig. 1) A,B is

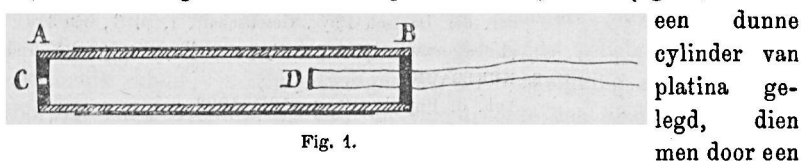


Fig. 1.

stroom doet gloeien, zoodat ook het porcelein (chamotte) gaat gloeien. De temperatuur in den cylinder wordt gemeten door een thermo- element van platina en rhodium D. Vóór aan den cylinder is de kleine opening C, waaruit de stralen komen. Men laat deze op een bolo- meter vallen en kan op deze wijze genoemde wet bewijzen.

2o. $\lambda_m T = A$ (2940). De golflengte λ_m , waarbij het maximum van energie zich bevindt, is omgekeerd evenredig aan de absolute temperatuur. De waarde der constante A is 2940 als men λ_m uit- drukt in microns. Het maximum van energie verplaatst zich steeds meer naar het lichtend deel van het spectrum, hoe hoger de tem- peratuur wordt.

3o. $E_m = B T^5$. De grootste waarde van de uitgestraalde energie neemt zeer snel toe met de temperatuur. Zij is evenredig aan de vijfde macht van de absolute temperatuur.

LUMMER en PRINGSHEIM gebruikten voor hun onderzoek een lichaam van kool, dat bij verschillend hooge graden van gloeiing aan meting

onderworpen werd. Hierbij bleek, dat de verschillen in de temperaturen, naar bovengenoemde formules bepaald, steeds binnen de fouten der proef bleven. De energiekrommen door hen geconstrueerd, zijn in fig. 2 voorgesteld. De waarnemingen zijn door kleine cirkeltjes aangegeven op de kromme lijn voor 2320° . De andere kromme lijnen zijn door vroegere waarnemingen bij 1450° , 1215° en 935° verkregen. De temperatuurbepalingen met den spectraalphotometer stemmen volkomen overeen met die van den bolometer, alsook met die uit de intensiteit van het maximum van energie. Daarom mag men beweren, dat de geldigheid der stralingswetten tot 2300° be-
wezen is.

Daar de stralingswetten, die aan deze proeven ten grondslag liggen, berusten op de gasthermometrische temperatuurschaal, want de constanten hadden betrekking op deze schaal, zoo kan men besluiten, dat men voor de temperatuur van het koollichaam dezelfde waarde zou vinden, wanneer het gelukte ze direct met een idealen gasthermometer te meten.

De optische pyrometer van HOLBORN en KURLBAUM (fig. 3) berust op de photometrie van eene homogene straling. Als vergelijkingslamp dient een door electriciteit gloeiend gemaakte draad en de veranderende ring van de lichtsterkte wordt gemeten door de sterkte van den stroom, die voor de verhitting dient.

Als photometer dient een eenvoudige verrekijker, wiens objectieflens L, achter de opening van het diaphragma D, een beeld geeft van de gloeiende oppervlakte, wier temperatuur gemeten moet worden. Achter het diaphragma is de kooldraad eener kleine gloeilamp, die

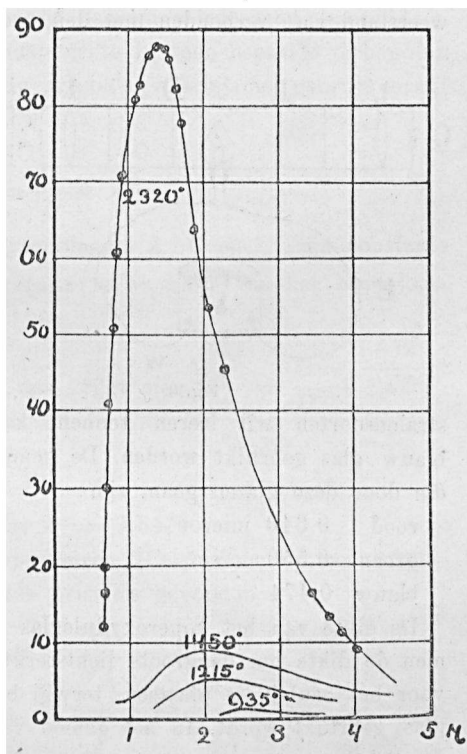


Fig. 2.

in de figuur 90° gedraaid is voorgesteld. Men ziet het beeld der lichtende opening door een rood glas G en een oculair L₂. Aanvankelijk teekent de kooldraad zich zwart af op dat beeld. Wordt echter de draad door den stroom gloeiend gemaakt en krijgt hij dezelfde sterkte zijner roode stralen als de te meten oppervlakte, dan ziet men den kooldraad in het middengedeelte niet meer, terwijl de door geleiding afgekoelde uiteinden zich nog donker afteekenen. Deze photometrische inrichting is zeer gevoelig.

Om de stroomsterkte der gloeilamp geregeld te kunnen veranderen, is in den stroom een voor regeling vatbare weerstand aangebracht. Bij de door SIEMENS en HALSKE vervaardigde instrumenten is deze weerstand vast verbonden met den voet van den verrekijker.

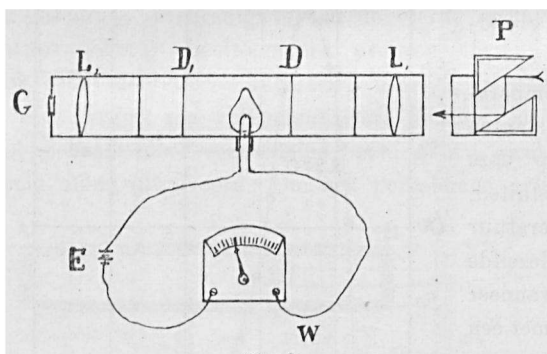


Fig. 3.

Om den photometer ook nog voor donkere roodgloei-hitte te kunnen toepassen, moet men licht van groote golflengte, dus rood glas (koperoxyduglas) gebruiken. Voor andere doeleinden, n.l. als men het emissievermogen van bepaalde

stralensoorten wil leeren kennen, kan ook nog een groen en een blauw glas gebruikt worden. De gemiddelde golflengten der stralen, die door deze glazen gaan, zijn:

rood	0.643 micron.
groen	0.550 »
blauw	0.474 »

De dikte van het koperoxyduglas is 2 mm. Bij 1200° verdubbelt men de dikte om de groote lichtsterkte, door nog een tweede glaasje voor het oculair te plaatsen, terwijl beneden 800° heel geen gekleurd glas gebruikt wordt. In het gebied van de lagere temperaturen zijn de lichtbronnen homogeen genoeg, dan verzwakt het roode glas de gevoeligheid van de instelling. Men kan dan naar beneden tot 650° meten. Wanneer de te meten lichtsterkte die der gloeilamp overtreft, dan wordt eene lichtverzwakking voor het objectief aangebracht door twee of ook wel drie terugkaatsende prisma's P.

Om de schaalverdeeling te verkrijgen, wordt de straling van de

gloeilamp vergeleken met die van een gloeiend zwart lichaam¹, waarvan de temperatuur met een thermo-element gemeten wordt. Voor eene reeks temperaturen tot 1500° toe bepaalt men de stroomsterkte, waarbij de gloeilamp zich even hel lichtend toont als het zwarte lichaam, construeert daarna eene kromme lijn en kan dan omgekeerd uit de gemeten stroomsterkte de temperatuur aangeven. Door deze vergelijking met het zwarte lichaam wordt het toestel een absolute photometer, wiens aanwijzingen betrekking hebben op de lichtsterkte der zwarte straling. Bij het instrument van SIEMENS en HALSKE worden door den stroommeter der gloeilamp de temperaturen direct aangewezen. Het is beter de temperatuur van den kooldraad niet boven 1500° te laten gaan en daarom wordt voor oppervlakten van hoogere temperatuur de lichtsterkte in eene bepaalde verhouding verzwakt met de terugkaatsende prisma's, waarbij men gebruik maakt van de stralingswet van WIEN.²

$$\varphi_{\lambda} = \frac{C}{\lambda^5} e^{\frac{-C'}{\lambda T}}$$

waarin φ_{λ} = intensiteit bij golflengte λ . C en C' zijn constante grootheden; T absolute temperatuur; e = basis van het Nep. logarithmenstelsel.

Wordt de straling verzwakt, dan krijgt men $\varphi'_{\lambda} = \frac{C}{\lambda^5} e^{\frac{-C'}{\lambda T'}}$

en daaruit $1 \frac{\varphi_{\lambda}}{\varphi'_{\lambda}} = \frac{C'}{\lambda} \frac{T - T'}{T T'}$.

C' = 14503 en voor rood glas $\lambda = 0.643$.

Uit waarnemingen bij temperaturen (Celsiuschaal) van 1200°, 1350° en 1500° werd voor twee prisma's gevonden

$$1 \frac{\varphi_{\lambda}}{\varphi'_{\lambda}} = 5.4511 \frac{\varphi_{\lambda}}{\varphi'_{\lambda}} = 223.$$

Door twee prisma's kan men de temperatuurverhooging tot 2800° voortzetten, zonder dat de gloeilamp boven de 1500° behoeft te branden. Met behulp van meer spiegelingen kan men willekeurig hoog komen.

¹ O. LUMMER und F. KUHLBAUM, Ann. d. Phys., 5, p. 829, 1901.

² Wisd. Ann., 58, p. 662, 1896.

Met dezen pyrometer hebben HOLBORN en KURLBAUM het smeltpunt van eenige metalen bepaald. Daarvoor werd dan een dun plaatje van enkele millimeters breedte door een steeds sterker gemaakten electrischen stroom verhit in een van binnen en buiten zwart gemaakten kast van ijzerblik. Tegelijkertijd doet men den stroom der gloeilamp in den photometer stijgen. De photometer is door eene opening in de kast op het verhitte metaal gericht. Men moet dus de lichtsterkte bepalen op het oogenblik als de metalen reep doorsmelt. Hij vond zoo voor platina 1545° en voor palladium 1346°. De lengte der verhitte plaatjes was 30 tot 110 mM., de breedte 7 tot 10 mM. en de dikte 0.015 mM. Deze temperaturen zou echter een zwart lichaam bij dezelfde lichtsterkte bezitten. Bij metaalemissie is de temperatuur hooger. Om dit verschil te bepalen hebben de schrijvers eene serie metingen gedaan. Zij deden het voor platina beneden het smeltpunt. Het platinablik vormde daarvoor eene kast, waarin de soldeerplaats van het thermo-element was aangebracht. De photometer wordt dan op deze kast gericht. Van hunne waarnemingen worden hier eenige overgenomen.

s	t	t—s
641°	681°	40°
771	818	47
902	979	77
1054	1149	95
1230	1361	131
1413	1571	158

s is de temperatuur van het zwarte lichaam, berekend uit de stroomsterkte van de gloeilamp.

t is de temperatuur in graden Celsius, gemeten met het thermo-element.

Het verschil $t-s$ blijkt eene lineaire functie van t te zijn.