Utrecht University Library
Partner in Science
Universiteit Utrecht

# Bijdrage tot kennis der differentiaal-calorimetrie bij den mensch

https://hdl.handle.net/1874/313864

# BIJDRAGE TOT DE KENNIS DER
# DIFFERENTIAAL-CALORIMETRIE
# BIJ DEN MENSCH

H. HEYSTER

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

# BIJDRAGE TOT DE KENNIS DER DIFFERENTIAAL-CALORIMETRIE BIJ DEN MENSCH.

# BIJDRAGE TOT DE KENNIS DER DIFFERENTIAAL-CALORIMETRIE BIJ DEN MENSCH

## PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE GENEESKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS Dr. C. G. N. DE VOOYS, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER LETTEREN EN WIJSBEGEERTE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE TE VERDEDIGEN OP DINSDAG 27 JUNI 1933 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR

DOOR

**HENDRIK HEYSTER**
ARTS
GEBOREN TE UTRECHT.

---

KEMINK EN ZOON N.V. — OVER DEN DOM — UTRECHT

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

AAN MIJN OUDERS.

De voltooiing van dit proefschrift biedt mij een welkome gelegenheid om U, Hoogleeraren, Oud-Hoogleeraren en Docenten der Medische en Philosophische Faculteiten der Utrechtsche Universiteit, dank te zeggen voor de wetenschappelijke opleiding, die ik van U heb mogen ontvangen. De nagedachtenis van den Hooggeleerden Zwaardemaker zal bij mij steeds in eerbiedige herinnering blijven.

Hooggeleerde Noyons, Hooggeachte Promotor; zeer veel dank ben ik U verschuldigd voor de hartelijke wijze, waarop U mij bij de bewerking van dit proefschrift hebt willen terzijde staan en voor den grooten steun, dien ik, dank zij Uw bijzondere kennis en groote ervaring op het gebied der calorimetrie, van U heb mogen genieten. De tijd, dien ik als assistent onder Uw bezielende leiding in Uw zoo schitterend ingericht laboratorium heb mogen werken, is voor mij een bijzonder aangename geweest.

Aan Uw welwillendheid, Hooggeleerde de Snoo, Hooggeachte Leermeester, heb ik het te danken, dat ik thans tijdens mijn assistentschap aan Uw kliniek deze dissertatie heb kunnen voltooien. Dat ik mij onder Uw leiding in de obstetrie en gynaecologie mag bekwamen, stemt mij tot groote dankbaarheid.

U, Hooggeleerde Bouman, ben ik zeer erkentelijk voor den tijd, gedurende welken ik in de Psychiatrisch-Neurologische Kliniek werkzaam heb mogen zijn, waaraan ik met zeer veel genoegen terug denk.

Den goeden raad en de nuttige wenken, die ik van U, Zeergeleerde Jongbloed, mocht ontvangen, stel ik op hoogen prijs.

Ook U, zeer geachte Mejuffrouw G r u t t e r i n k, ben ik veel dank verschuldigd voor de groote medewerking, die U mij hebt willen verleenen.

Voorts betuig ik mijn hartelijken dank aan het geheele personeel van het Physiologisch Laboratorium voor zijn zeer gewaardeerde en belangrijke hulp, mij in zoo ruime mate betoond.

Aan mijn studiejaren en de vele vriendschap, die ik daarin — mede door den band, dien het Utrechtsch Studenten Corps vormt — heb mogen ondervinden, blijf ik zeer aangename herinneringen bewaren.

## INHOUD.


Blz.

INLEIDING . . . . . 1

HOOFDSTUK I.

Directe en indirecte calorimetrie . . . . . 2

Algemeene beginselen van de gebezigde differentiaal methode . . . . . 5

HOOFDSTUK II.

Ligging der calorimeterkamer . . . . . 9

Verwarming van de calorimeterkamer . . . . . 10

Beschrijving van den differentiaal-calorimeter . . 13

A. Het koelsysteem . . . . . 24

B. Het bolometerstelsel . . . . . 31

C. De menging . . . . . 34

D. De ventilatie . . . . . 35

E. De vochtmeting . . . . . 36

HOOFDSTUK III.

Contrôle van de meetinstrumenten . . . . . 50

Contrôle van den calorimeter . . . . . 54

A. Gelijksoortige warmtebronnen in beide kamertjes . . . . . 54

B. Ongelijksoortige warmtebronnen in beide kamertjes . . . . . 59

HOOFDSTUK IV.

Het gebruik van den calorimeter . . . . . 69

HOOFDSTUK V.

Enkele toepassingen . . . . . 78

SAMENVATTING . . . . . 90

RESUMÉ . . . . . 92

GERAADPLEEGDE LITERATUUR . . . . . 94

## INLEIDING.

In 1927 heeft N o y o n s te Leuven een boek het licht doen zien getiteld: „The differential calorimeter with special reference to the determination of the human basal metabolism".

Hierin vindt men, naast een uitvoerig historisch overzicht van de ontwikkeling van het differentiaal beginsel in de calorimetrie, een beschrijving van den differentiaal-calorimeter, zooals die door den schrijver in de moeilijke na-oorlogsche jaren te Leuven is gebouwd.

In de inleiding leest men:

„The described apparatus is to be regarded as an attempt, which may be repeated and, as I hope, done better".

In de laatste alinea van de samenvatting van zijn werk geeft N o y o n s in de volgende bewoording aan, welke verbeteringen onder andere kunnen worden aangebracht:

„The described form of our instrument is susceptible to be improved still more, especially by replacing the lead walls by copper walls and by diminishing the whole capacity of the apparatus, which may be easily obtained by reducing its mass and by accomplishing the cooling of the chambers by air instead of by water".

Welnu, de toen geuite wenschen zijn in vervulling gegaan en in de hier volgende bladzijden vindt men de beschrijving van en eenige ervaringen met den nieuwen differentiaal-calorimeter voor den mensch, zooals die thans onder leiding van N o y o n s in het Physiologisch Laboratorium te Utrecht is geconstrueerd.

---

## HOOFDSTUK I.

### Directe en indirecte calorimetrie.

De hoeveelheid warmte door den mensch per tijdseenheid afgegeven kan door middel van twee principieel verschillende methoden bepaald worden, namelijk door middel van:

*a.* indirecte calorimetrie;
*b.* directe calorimetrie.

Bij de *indirecte calorimetrie* wordt uit de hoeveelheid opgenomen zuurstof en de hoeveelheid uitgescheiden koolzuur via het respiratorisch quotient berekend hoeveel warmte er in het lichaam wordt geproduceerd.

De *directe calorimetrie* stelt zich ten doel het meten van de hoeveelheid warmte door het lichaam afgegeven.

Aangezien de mensch, afgezien van de kleine dagschommelingen in zijn temperatuur, een homoiotherm wezen is, moet de hoeveelheid per tijdseenheid in het lichaam geproduceerde warmte gelijk zijn aan de hoeveelheid afgegeven warmte. De uitkomsten verkregen met de indirecte en de directe calorimetrie moeten dus ook met elkaar overeenstemmen. Door de onderzoekingen van Rosa, Atwater, Benedict en Rubner is deze overeenstemming ook experimenteel aangetoond.

De directe calorimetrie heeft vele voordeelen boven de indirecte. Zoo vervallen de tijdroovende en moeilijke gasanalyses, die voor de indirecte calorimetrie vereischt worden, afgezien dan van minder nauwkeurige methoden, waarbij men zich tevreden stelt met het bepalen van de hoeveelheid verbruikte zuurstof, door middel van wegen of spirometrie.

Bij de directe calorimetrie kan men den patiënt in een ruim kamertje brengen (de afmetingen van deze kamertjes in den Utrechtschen calorimeter zijn: lengte 2.29 m., breedte 1.53 m., hoogte 2.32 m.), waarin men den patiënt naar verkiezing kan laten liggen, zitten of staan.

Men kan de proefpersonen allerlei vormen van arbeid in gedoseerde hoeveelheid laten verrichten. Dit alles terwijl zij niet gehinderd worden door helmen, maskers, mondstukken met bijbehoorende neusklemmen, ventielen en dergelijke. In het bijzonder is dit laatste bij de bepaling van de zoogenaamde „grondstofwisseling" van groot belang. Hierbij zijn toch — naast het gedurende 36 uur houden van een eiwitarm diëet en het nuchter zijn op den ochtend der bepaling — als punten van cardinaal belang te beschouwen, dat de patiënt zoowel psychisch als lichamelijk zooveel mogelijk in rust verkeert.

Een ander voordeel van de directe calorimetrie is, dat zij het mogelijk maakt, dat wij ons van oogenblik tot oogenblik op de hoogte stellen van de hoeveelheid warmte, die door een individu in vrijheid wordt gesteld. De indirecte- of gasanalytische methoden kunnen ons slechts een gemiddelde over een zeker tijdsverloop verschaffen. Deze tijd moet langer genomen worden, naarmate een grootere precisie wordt vereischt.

Natuurlijk heeft de directe calorimetrie ook haar schaduwzijden. Zooals gezegd, zal bij een mensch, vanwege zijn constante lichaamstemperatuur, de hoeveelheid in het lichaam geproduceerde warmte gelijk zijn aan de door het lichaam afgegeven warmte. Zoodra de lichaamstemperatuur zich echter wijzigt, krijgen we andere verhoudingen. Stel, dat door een of andere oorzaak, b.v. door het verrichten van arbeid, de lichaamstemperatuur stijgt, dan is de hoeveelheid warmte door het lichaam afgegeven kleiner dan de hoeveelheid daarin geproduceerd. Wel zou uit de stijging van de temperatuur, het lichaamsgewicht

en de specifieke warmte deze opgestapelde hoeveelheid warmte berekend kunnen worden.

Omgekeerd zal gedurende een daling van de lichaamstemperatuur de warmte-afgifte de warmteproductie overtreffen.

In beide gevallen moeten dus de uitkomsten verkregen met de directe en indirecte calorimetrie verschillen.

Het is goed, hierbij even stil te staan, want zooals algemeen bekend is, ondergaat zelfs de lichaamstemperatuur van den normalen mensch in rust in een etmaal vrij aanzienlijke schommelingen.

Bij vergelijkende bepalingen van de warmte-afgifte langs den weg der directe en indirecte calorimetrie, bij contrôlebepalingen, bij de bepaling van de z.g. grondstofwisseling, is het dus gewenscht, hiervoor zooveel mogelijk hetzelfde tijdstip te kiezen.

Ons doel, de directe calorimetrie, is het meten van de hoeveelheid warmte door het menschelijk lichaam aan zijn omgeving afgestaan. Hoe geeft een mensch zijn warmte af? Deze warmte-afgifte heeft in ons geval practisch in tweeërlei vorm plaats:

I. *directe warmte* { *straling*, geleiding, convectie

II. *latente warmte*.

Gewoonlijk neemt men aan, dat de *directe warmte*-afgifte ± 75 % van de totale bedraagt. Hiervan komt het grootste deel voor rekening van de straling. Geleiding en convectie spelen een ondergeschikte rol, omdat de temperatuurverschillen van het bekleede lichaam en diens omgeving zoo betrekkelijk gering zijn en omdat de luchtstrooming langs het lichaam ook zoo weinig intensief is.

De *latente warmte* zou ± 25 % bedragen. Wij vinden haar terug bij de berekening van de hoeveelheid water,

die in een bepaalden tijd omgezet wordt in waterdamp. De verdamping van het water geschiedt voornamelijk aan het oppervlak van de longen en luchtwegen, en dat der huid. Hiervoor wordt verdampingswarmte aan het lichaam onttrokken.

Rubner schat het warmte-verlies door straling bij normale kamertemperatuur (15°—20°C.) op 80 % van de totale hoeveelheid afgegeven energie. Soderstrom en Du Bois vonden, dat zoowel bij normale personen van verschillenden leeftijd, als bij zieken met uiteenloopende kwalen, 24 % van de totale calorieënafgifte verbruikt werd voor de verdamping van water, indien de bepalingen geschiedden onder standaardvoorwaarden.

Levine en Wilson constateerden, dat bij normale en ondervoede kinderen het warmteverlies door verdamping gemiddeld 26—27 % van de totale calorieënafgifte bedraagt. Over het percentage van de latente warmte bestaat dus bij de verschillende onderzoekers geen volkomen overeenstemming.

## Algemeene beginselen van de gebezigde differentiaal methode.

Noyons heeft als eerste met succes, te Leuven een calorimeter voor den mensch ontworpen en geconstrueerd, waarbij het differentiaal principe streng is doorgevoerd.

Reeds vroeger waren door D'Arsonval pogingen daartoe aangewend, zonder dat zulks tot een goed resultaat had geleid.

Door den Leuvenschen calorimeter op te bouwen uit twee volkomen gelijke kamertjes, die onder dezelfde condities werden gehouden, werd een nieuwe weg ingeslagen.

Ongeveer terzelfder tijd heeft ook Benedict een calorimeter voor kleine kinderen gebouwd, welke gebaseerd was op het differentiaal beginsel. De andere in gebruik zijnde calorimeters voor den mensch bestaan slechts

uit één kamertje. Hierbij is het noodzakelijk dit vertrekje op absoluut constante temperatuur te houden, hetgeen een haast onmogelijk uitvoerbare, technische opdracht is. Dergelijke apparaten vragen zeer groote finantieele offers en bij de bediening ervan zijn vele technisch goed onderlegde personen noodig.

Door gebruik te maken van twee kamertjes, die als het ware de schalen van een warmtebalans vormen, vervalt de noodzakelijkheid van het op absoluut constante temperatuur houden van het systeem. Uit den aard der zaak brengt het op gelijke temperatuur houden van de onderdeelen van het geheele systeem ook moeilijkheden met zich mede, maar deze zijn gemakkelijker te overwinnen, zooals uit de verdere beschrijving van den calorimeter zal volgen.

Alvorens over te gaan tot het uitvoerig bespreken van den bouw en de toepassing van de gebruikte methode, is het gewenscht in korte trekken de voornaamste beginselen toe te lichten.

Ofschoon het op absoluut constante temperatuur houden van de kamertjes werd prijsgegeven, is het echter van het grootste belang, dat de temperatuur en de warmteafgifte van de kamertjes volkomen dezelfde zijn. Dit werd bereikt door de kamertjes op te stellen in een gelijkmatig verwarmd vertrek, terwijl er naar gestreefd is, dat de warmteontwikkeling in de kamertjes door de warmtebronnen beiderzijds even groot is. De hierbij geproduceerde hoeveelheid warmte wordt door een differentiaal koelsysteem der beide kamertjes aequivalent weggevoerd. Ook de ventilatie en de menging der lucht in de kamertjes geschiedt op aequivalente wijze. Als warmtebron fungeert in het eene kamertje de te onderzoeken proefpersoon; in het andere een kunstmatige warmtebron, waarvan de hoeveelheid afgegeven warmte gemakkelijk kan worden geregeld en berekend.

De in beide kamertjes nagestreefde aequivalente tem-

peratuur wordt gemeten door middel van een differentiaal bolometerstelsel. Als contrôle daarop beschikken we over gevoelige thermometers, die van buiten af afleesbaar, door den wand van den calorimeter, tot het inwendige van de kamertjes reiken. Dat we bij onze bepalingen ons niet verlaten op de thermometers vindt zijn oorzaak in de omstandigheid, dat de thermometers slechts de locale warmteverhoudingen aangeven, terwijl de bolometers de summatie der warmteverhoudingen in het geheele vertrekje doen kennen.

Door het wegvoeren der geproduceerde warmtehoeveelheden, na onderlinge vergelijking der warmte-verhouding, wordt er naar gestreefd de kamertjes tot een adiabatisch systeem te maken, waardoor de invloed van eventueele kleine verschillen in de warmte-capaciteit der kamertjes tot een minimum wordt herleid.

Wat de bepaling van de latente warmte aangaat, zou men, zooals Noyons het heeft beproefd, kunnen uitgaan van de twee volgende methoden:

*a.* het langs differentieelen weg bepalen der latente warmte, door in het vertrekje, waarin de warmte produceerende weerstand is opgesteld, tevens een inrichting aan te brengen, waarmede een overeenkomstige hoeveelheid latente warmte wordt ontwikkeld. Bij deze methode wordt de latente warmte verdisconteerd zonder eenige verdere berekening.

*b.* het absorbeeren gedurende bepaalden tijd van de door den mensch afgegeven waterhoeveelheid en van deze waterhoeveelheid de caloriewaarde te berekenen.

Wij hebben den sub *a.* genoemden weg vaak gevolgd, maar hebben tenslotte de voorkeur gegeven aan een methode, waarbij wij de waterhoeveelheid, per tijdseenheid door een mensch afgegeven, op den voet hebben gevolgd en gemeten en daarna aan de hand der verkregen waarden de daarmede overeenstemmende caloriewaarde in rekening gebracht.

Deze laatste methode geeft het voordeel, dat we de latente warmte als een zelfstandige grootheid leeren kennen en waardeeren, wat ontegenzeggelijk van groot belang is, vooral nu men in den laatsten tijd voor de waterafgifte van den mensch groote belangstelling heeft.

## HOOFDSTUK II.

### Ligging van de calorimeterkamer.

Bij den bouw van het nieuwe Physiologisch Laboratorium te Utrecht is in ruime mate rekening gehouden met de eischen, waaraan vertrekken voor stofwisselingsonderzoek moeten voldoen.

Het laboratorium heeft drie verdiepingen: kelder, beganen grond en eerste verdieping.

De voorgevel is nagenoeg op het Noorden gelegen (N.N.W.). De localiteiten voor stofwisselingsonderzoek bevinden zich alle aan den noordelijken kant. Hun ligging op het Noorden is met het oog op een zoo constant mogelijke kamertemperatuur gewenscht, aangezien onder deze verhoudingen de temperatuurschommelingen gedurende den dag betrekkelijk gering zijn. Speciaal voor den differentiaal calorimeter is het van groot belang, dat het vertrek, waarin hij is opgebouwd, een constante gelijkmatige temperatuur heeft. Om aan dezen eisch zoo goed mogelijk te voldoen, bevindt de calorimeter zich op de eerste verdieping in het midden van de noordzijde van het gebouw.

Om temperatuurinvloeden van buiten zoo veel mogelijk uit te sluiten, is tusschen het plafond en het platte dak een dikke laag geperst stroo aangebracht. De drie ramen van dit vertrek en die van de aangrenzende kamers kunnen door middel van houten rolluiken worden afgesloten, om een te sterke afkoeling tijdens den nacht tegen te gaan.

Dank zij deze voorzorgen is gedurende den zomer een voldoende constant zijn van de kamertemperatuur gewaarborgd.

Gedurende den tijd dat het laboratorium kunstmatig verwarmd moet worden, zijn bijzondere voorzorgen geboden.

## Verwarming van de calorimeterkamer.

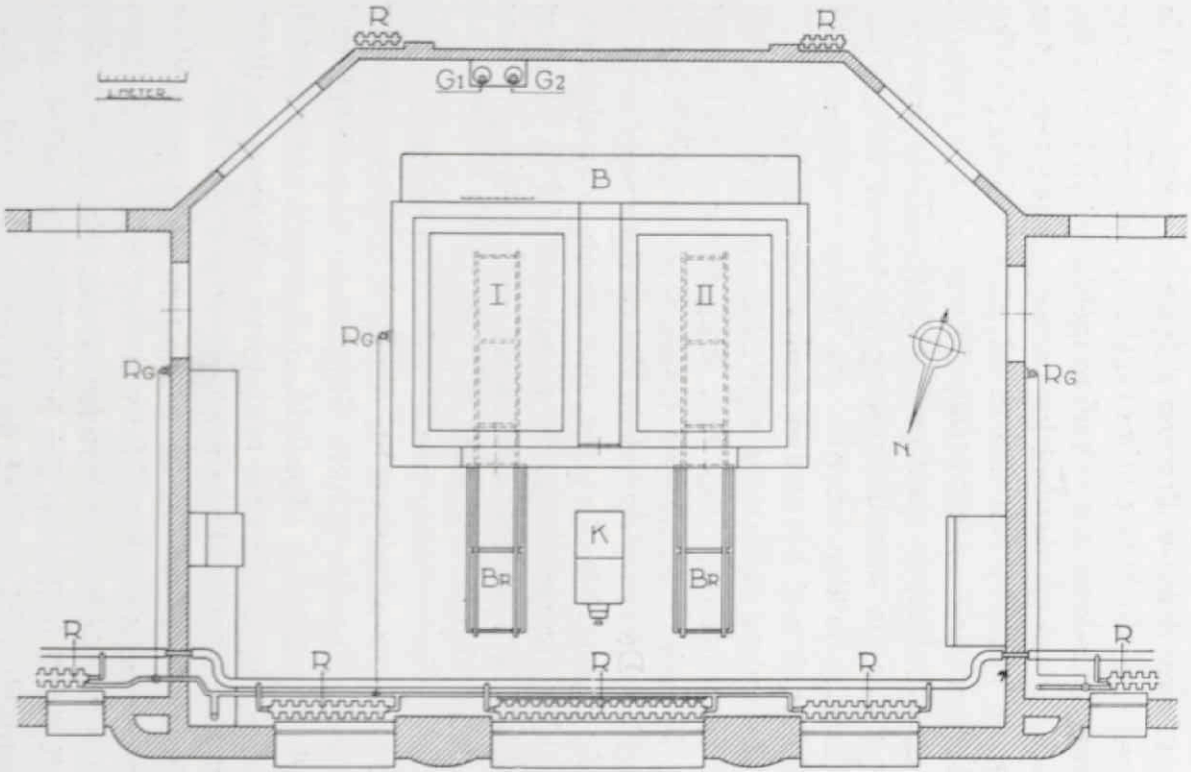
Het gebouw wordt met warm water door middel van het éénbuizenstelsel verwarmd. Het benoodigde warme water wordt geleverd door een centrale, op eenigen afstand van het laboratorium gelegen, en wordt vanuit deze centrale door het laboratorium gepompt. Een verdeeling in groepen maakt het mogelijk om vanuit de machinezaal van het laboratorium ieder gedeelte van het gebouw van de gewenschte warmte te voorzien en gedurende langeren tijd op min of meer constante temperatuur te houden.

Na 's middags 5 uur wordt de centrale stookplaats niet meer bediend. Een electrische pompinstallatie maakt het dan mogelijk het nog in de ketels der centrale aanwezige warme water door de „groep calorimeter" te laten circuleeren.

Tot de „groep calorimeter" behooren, behalve de calorimeterkamer zelf, alle onmiddellijk hieraan grenzende vertrekken, zoowel op de eerste verdieping als op den beganen grond.

In het voor- en najaar, wanneer de centrale niet meer, of nog niet in werking is, levert de automatische oliestookinrichting van het laboratorium tevens warm water voor verwarming, dat door middel van een tegenstroomapparaat door de „groep calorimeter" geleid kan worden.

In de calorimeterkamer zijn een drietal radiatoren onder de ramen geplaatst (fig. 1). Het verwarmende oppervlak van deze radiatoren is extra groot gemaakt; hierdoor wordt verkregen, dat hun temperatuur naar verhouding laag blijft, waardoor de afgegeven warmte voornamelijk tot convectie wordt teruggebracht. Warmtebronnen van hooge temperatuur, die veel stralende warmte geven, dienen vermeden te worden. Metingen aan deze drie radiatoren hebben aangetoond, dat hun temperatuur gedurende




FIGUUR 1. PLATTEGROND VAN DE CALORIMETERKAMER MET DE OPSTELLING VAN DEN CALORIMETER.

I en II calorimeterkamertjes; B bedieningstafel; K koelkast; Br brancard; $G_1$ en $G_2$ spiegelgalvanometers R radiator; Rg regulator.

den winter slechts zelden boven 50° C. stijgt, indien de kamertemperatuur op ± 20° C. wordt gehouden.

De calorimeter is symmetrisch in het vertrek opgebouwd en bevat twee volkomen gelijke kamertjes. Nu is het streven om alle uitwendige factoren, die deze kamertjes kunnen beïnvloeden, zoo veel mogelijk gelijk te maken.

Om te voorkomen, dat het kamertje gelegen tegenover het warmste gedeelte van den middelsten radiator, welke tevens de grootste is, meer stralende warmte zou ontvangen dan het andere, is voor genoemden radiator ter vermindering van de directe straling en tevens ter gelijkmatige distributie der warmte een scherm aangebracht van triplexhout met binnenbekleeding van metaal.

De beide andere radiatoren zijn elkanders spiegelbeeld; zij zijn zoo afgesteld, dat hun temperatuur onderling gelijk is. Hun invloed op den calorimeter is dus beiderzijds dezelfde. De ervaring leerde, dat op deze oogenschijnlijk weinig belangrijke factoren, met groote zorg dient gelet te worden, aangezien anders ongelijkheid in straling en verwarming optreedt, die de warmtebepalingen zeer sterk en hinderlijk beïnvloedt.

Ongeveer in het midden van de calorimeterkamer is een Simson-regulator aangebracht, die de kamertemperatuur op gewenschte hoogte houdt. Stijgt deze boven het peil waarop de regulator is afgesteld, dan wordt automatisch de retourleiding van de drie radiatoren geknepen en daarmede het warmtedebiet verminderd. (fig. 1).

De temperatuur van de twee aangrenzende vertrekken kan men eveneens door middel van dergelijke regulatoren op de gewenschte hoogte houden. Deze regulatoren zijn, zooals uit fig. 1 blijkt, op den buitenkant der scheidingsmuren aangebracht, zoodat de vandaar naar de calorimeterkamer toestroomende warmte, practisch beiderzijds even groot is. Gewoonlijk zijn de drie regulatoren op dezelfde waarde afgesteld, waardoor de temperatuur in deze drie kamers nagenoeg gelijk is. Dit heeft het voordeel, dat

gedurende den winter, wanneer er een belangrijk temperatuurverschil bestaat tusschen de calorimeterkamer en de gang, de aangrenzende vertrekken als sluizen bij het betreden van de calorimeterkamer dienst doen.

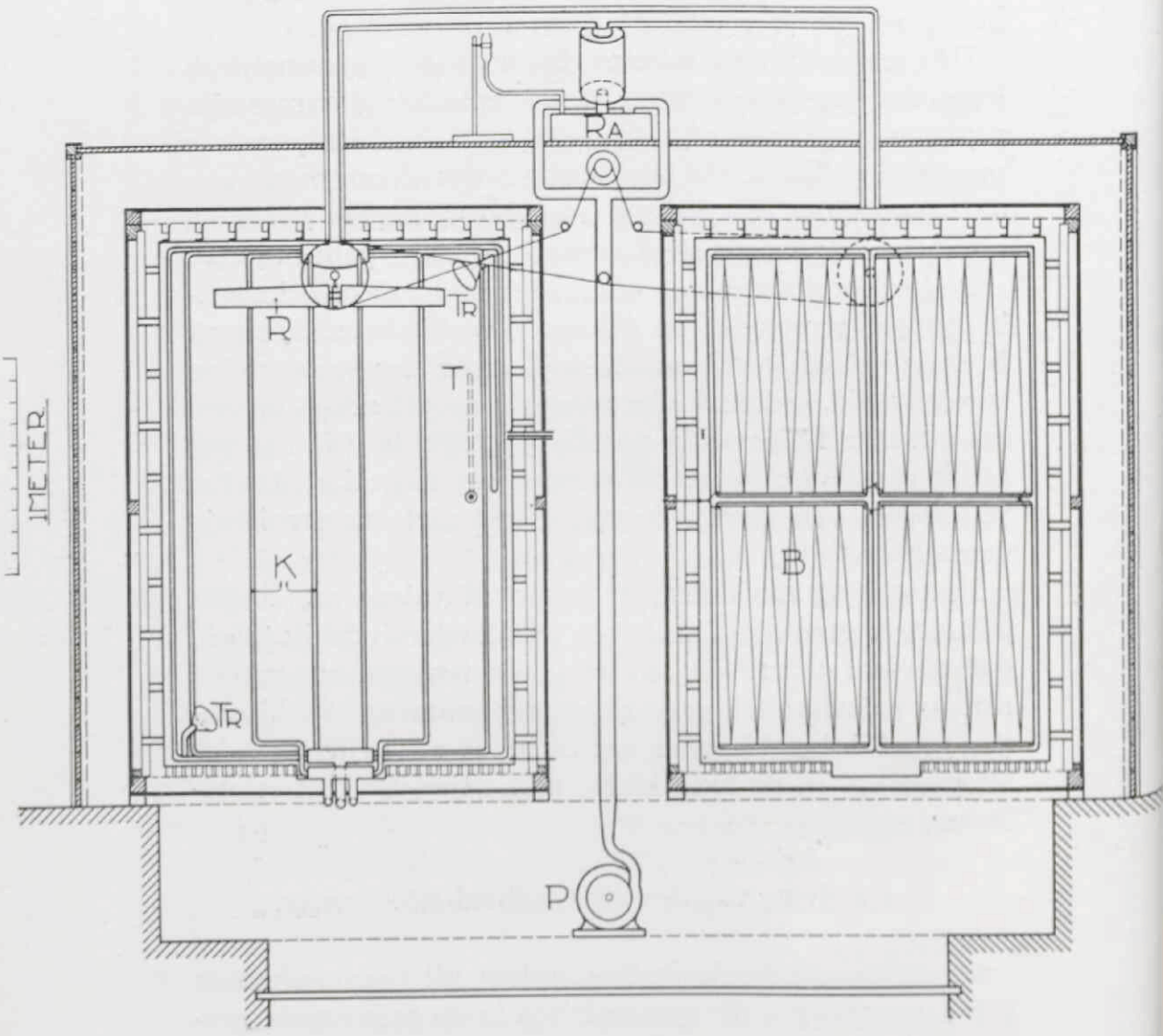
De twee gelijke radiatoren, die in de gang symmetrisch tegen den zuidelijken muur van de calorimeterkamer zijn geplaatst, zijn zoo afgesteld, dat ook hun temperatuur practisch gelijk is. De temperatuur van dezen muur aan de kamerzijde, met behulp van thermometers gemeten, bleek op overeenkomstige punten nagenoeg gelijk te zijn.

De temperatuur van de vertrekken onder de calorimeterkamer gelegen (weeg- en ijkkamer, vestibule en toiletten) is door het afstellen van de radiatoren der verwarming zoo geregeld, dat de invloed van deze vertrekken op den calorimeter beiderzijds practisch gelijk is. Bij het gebruik van den calorimeter werd er op toegezien, dat het ventileeren van genoemde vertrekken niet onevenwichtig geschiedde.

In den loop van de experimenten zijn deze voorzorgen geleidelijk genomen, aangezien proefondervindelijk bleek, dat speciaal gedurende den winter de temperatuur van de aan de calorimeterkamer grenzende ruimten van bijzonder groot belang is voor het constant en gelijk zijn der temperatuur in de twee kleine kamertjes van den calorimeter.

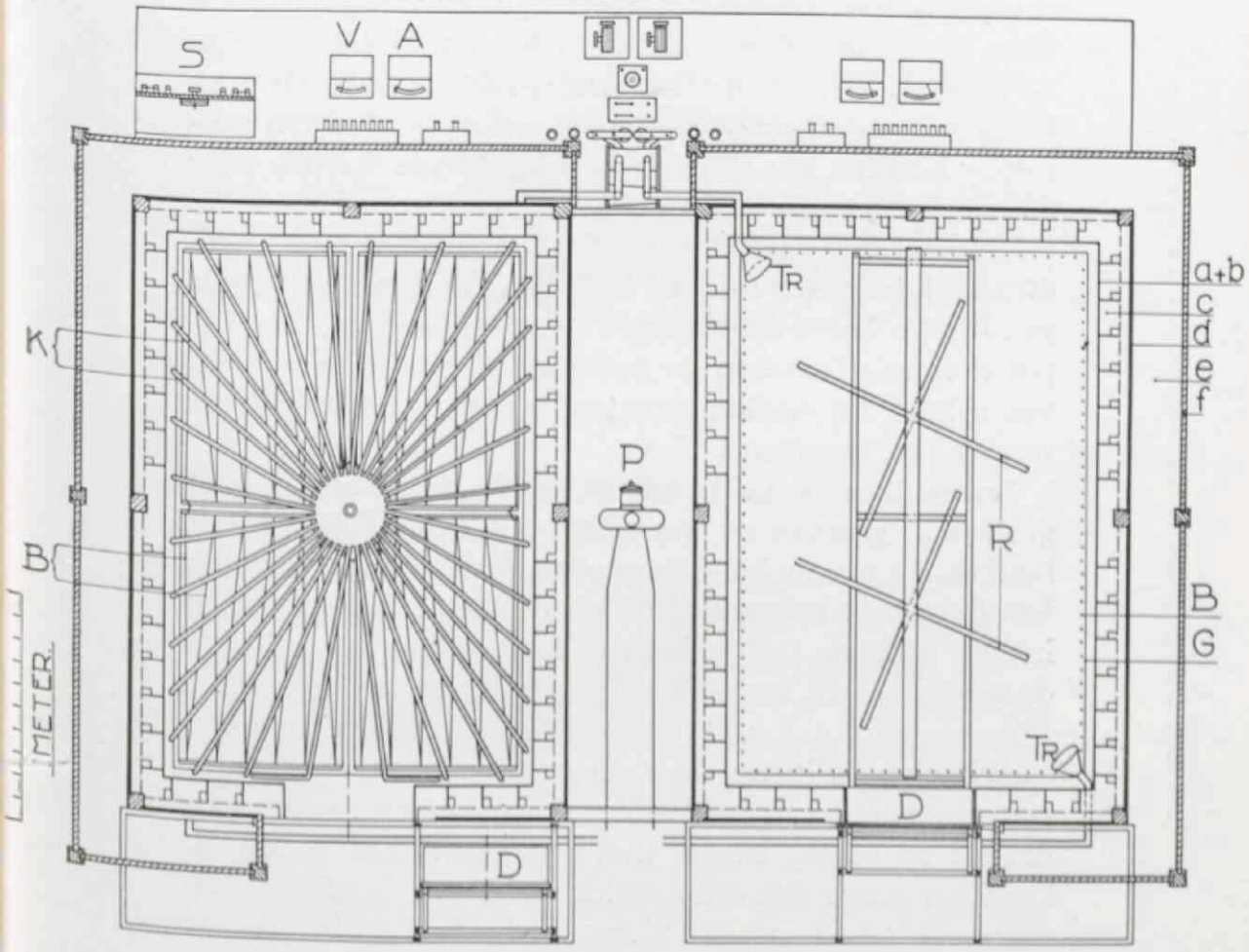
### Beschrijving van den differentiaal-calorimeter.

De differentiaal-calorimeter bestaat uit twee volkomen gelijke vertrekjes, die symmetrisch in de gemeenschappelijke calorimeterkamer zijn opgesteld. De afmetingen van ieder kamertje zijn: lengte 2.29 m., breedte 1.53 m., hoogte 2.32 m. Hun wanden zijn van dun rood koper (0.5 m.m.). Deze koperen kamertjes zijn, om hun de noodige stabiliteit te verschaffen, ingebouwd in een houten geraamte, gevormd door een zwaar houten raamwerk,




FIGUUR 2. VERTICALE DOORSNEDE VAN DEN CALORIMETER.

B bolometernet; K koelbuizen; R roerinrichting; T thermometer; Tr (onder) trechter voor inkomende ventilatielucht; Tr (boven) trechter voor uitgaande ventilatielucht; Ra radiator voor luchtkoeling; P pomp voor koellucht.




FIGUUR 3. HORIZONTALE DOORSNEDE VAN DEN CALORIMETER.

a gevernist asbestpapier; b koperwand; c luchtlaag; d celotex; e luchtlaag; f hout; B bolometernet; G kopergaas; K koelbuizen; R roerinrichting; D deur; P pomp voor koellucht; Tr (onder) trechter voor inkomende ventilatielucht; Tr (boven) trechter voor uitgaande ventilatielucht; A ampèremeter; V voltmeter; S schakelbord bolometersysteem.

waarop ten behoeve van de zijwanden loodrechte en voor de boven- en ondervlakte horizontale latten (4 c.m. × 2.5 c.m.) op een onderlingen afstand van 15 c.m. zijn vastgeschroefd. Onder den vloer zijn ter versterking een extra aantal draaglatten aangebracht. Aan dit latwerk zijn de koperen wanden der kamertjes met koperen strippen bevestigd, waardoor de kamertjes weinig punten van aanraking bezitten, om aldus de overdracht van warmte naar de omgeving tegen te gaan.

Het houten geraamte van ieder kamertje is met 1 c.m. dikke celotexplaten bekleed. De aldus gevormde omhulsels van celotex bevinden zich op 15 c.m. afstand van den koperen wand. Tusschen de beide calorimeterkamertjes is, van celotex tot celotex gemeten, een gangetje vrijgelaten van 50 c.m. breedte.

Ten slotte is om beide vertrekjes één groote houten kast gebouwd, waarvan de wanddikte 1½ c.m. bedraagt. Het hout is 20 c.m. van het celotex verwijderd. De frontbreedte van deze kast bedraagt 4.70 m., de diepte 3.08 m. en de hoogte 2.92 m. Op de houten bovenvlakte bevindt zich daarenboven een laag dik viltpapier ter betere isolatie.

Zooals uit fig. 2 blijkt is onder een groot deel van den calorimeter de kamervloer ongeveer 85 c.m. verzonken. De onderwand van het celotex der kamertjes komt zoodoende op gelijke hoogte met den kamervloer te liggen. De aldus onder den calorimeter verkregen en afgeschutte ruimte is geheel met dik viltpapier bekleed en bereikbaar door een deurtje in de frontzijde van de houten kast tusschen de twee kamertjes.

Door het laten verzinken van den vloer is belangrijk aan hoogte gewonnen en wordt het binnentreden der kamertjes vergemakkelijkt.

De koperen kamertjes zijn van binnen met asbestpapier beplakt, waarvan de dikte op de zijwanden 0.5 m.m., op het plafond en den vloer 1 m.m. bedraagt. Het aanbrengen van deze warmtewerende laag van asbestpapier was noo-

dig, omdat de ervaring leerde, dat het koelende vermogen van het koelsysteem nadeelig beïnvloed werd door den zich op korten afstand van de koelbuizen bevindenden koperwand, waardoor warmte van buiten de kamertjes naar de koelbuizen toevloeide, terwijl zooals uit de verdere beschrijving zal blijken, het koelsysteem alleen bestemd is om de in de kamertjes geproduceerde warmte aequivalent weg te voeren.

Om vochtabsorptie door het asbestpapier te verhinderen, is dit bestreken met een dun laagje vernis.

Van het centrum van de kamertjes naar buiten gerekend krijgen we dus achtereenvolgens de onderstaande lagen: (figuur 2 en 3)

*a.* gevernist asbestpapier . (0.5 m.m.)
*b.* koperwand . . . . . (0.5 m.m.)
*c.* lucht . . . . . (15 c.m.)
*d.* celotex . . . . . ( 1 c.m.)
*e.* lucht . . . . . (20 c.m.)
*f.* hout . . . . . (1½ c.m.)

Er is bij de constructie van het geheele apparaat nauwlettend op toegezien, dat voor ieder kamertje dezelfde materialen in gelijke hoeveelheid werden gebruikt.

De beide dubbelwandige deuren, die toegang geven tot de kamertjes van den calorimeter, bevinden zich in den noordelijken wand. In fig. 3 is om de constructie duidelijk te doen uitkomen één deur geopend, de andere gesloten geteekend. De deuren zijn 55 c.m. breed, 110 c.m. hoog en 15 c.m. dik. Hun voor- en achterwand zijn van glas, waartusschen zich een 15 c.m. dikke luchtlaag bevindt. Het geraamte der deuren is van licht hoekijzer gemaakt, terwijl de zijwanden van rood koper (0.5 m.m.) zijn.

Deze dikte der luchtlaag is zeer doelmatig; ter wering van warmteverlies door vensters laat men zich namelijk leiden door de volgende formule:

$$Q = k.0.\ (T_1 — T_2).t$$

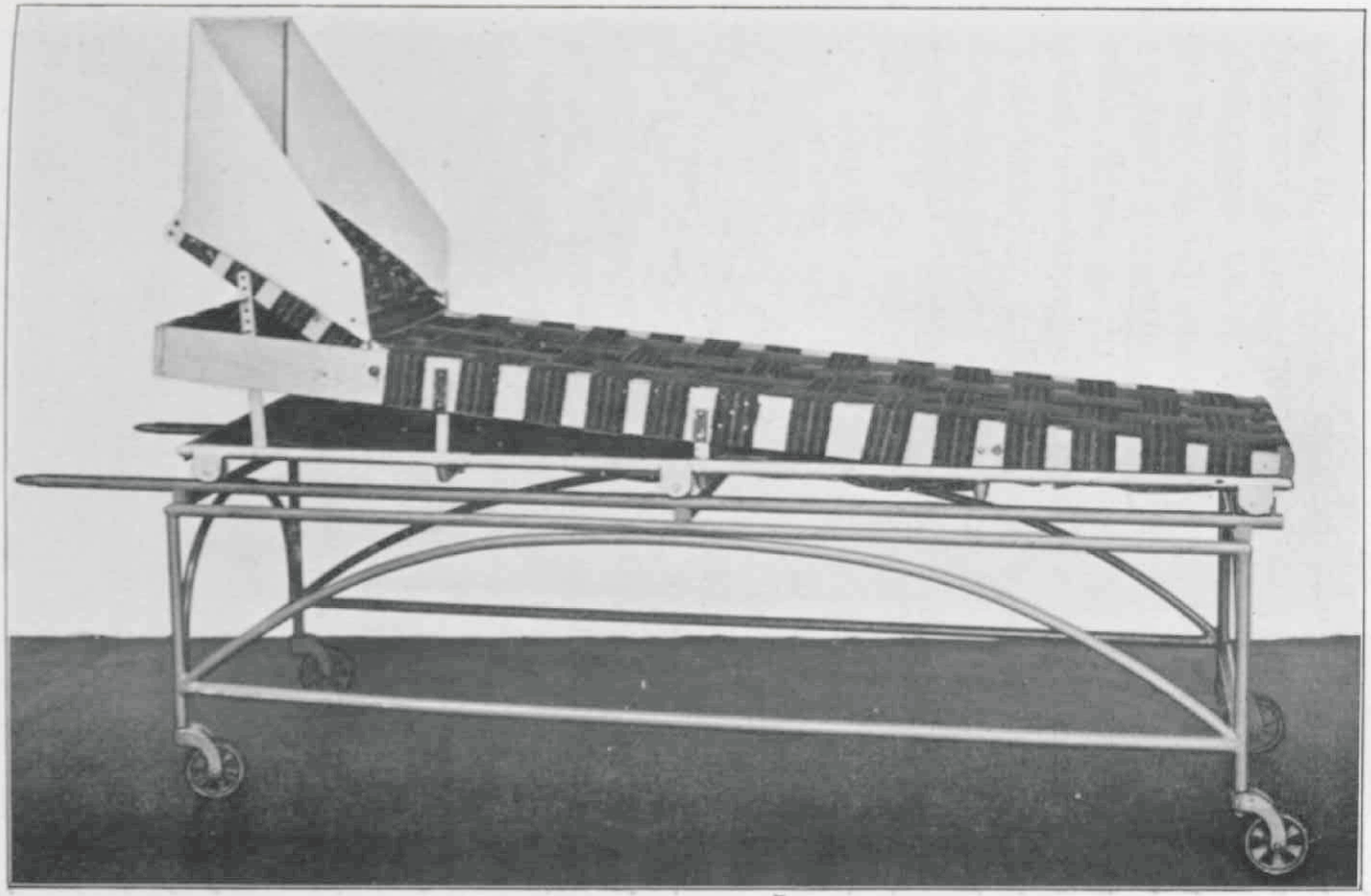
waarin Q het warmteverlies voorstelt, k den transmissiecoëfficient, 0 het warmteverliezend oppervlak, $T_1$ de kamertemperatuur, $T_2$ de temperatuur van de buitenlucht en t den tijd.

$k = \frac{l}{d}$, d.w.z. de transmissie-coëfficient (k) is afhankelijk van de dikte (d) der diverse lagen en van hun warmtegeleidingseigenschappen (l). Bij dubbele vensters in woonhuizen, waar het gaat om een temperatuurverschil van meerdere graden, is de gunstigste dikte der luchtlaag $\pm$ 5 c.m.

In ons geval waar de temperatuurverschillen veel kleiner zijn en minder dan 1° C. bedragen, bereikt k zijn minimumwaarde bij een dikte der luchtlaag van $\pm$ 15 c.m.

De deuren zijn aan een raamwerk opgehangen, dat door middel van rolletjes loopend in horizontaal U-ijzer, gemakkelijk verplaatsbaar is in voor-, achter- en zijwaartsche richting. Bij het openen van den calorimeter worden eerst de deuren naar voren getrokken en daarna zijwaarts weggeschoven. De nauwkeurige afsluiting van de deur tegen den calorimeter wordt verkregen door middel van zes beugels met klemschroeven en een caoutchouc band, gemaakt uit een dikwandige vacuumslang, waarin een kern van dik ijzerdraad gelegd is, om den afsluitband zijn vorm te doen behouden.

Op den vloer van beide kamertjes is, even boven de nog te bespreken koelbuizen, een houten raamwerk aangebracht, waardoor men, zonder hinder van de koelbuizen, in de kamertjes kan loopen. Het raamwerk is afgedekt met een laag viltpapier. Deze afdekking met een, de warmte slecht geleidende laag, werd noodig geoordeeld om te voorkomen, dat een belangrijk deel der door den mensch respectievelijk door den electrischen weerstand geproduceerde warmte zou verloren kunnen gaan zonder gemeten te zijn. Het was namelijk om practische redenen niet mo-



FIGUUR 4. PHOTO VAN DEN BRANCARD.

gelijk, om ook den vloer te bekleeden met een bolometernet en zoodoende ook de langs dezen weg afvloeiende warmte te vergelijken. Op het aldus bedekte raamwerk is een onderstel van dunne stalen buizen aangebracht, waarvan de bovenste tevens dienst doen als rails voor den brancard. Voor ieder kamertje is eveneens uit dunne stalen buizen een brancard geconstrueerd, die aan de onderzijde voorzien is van wieltjes. Deze brancards zijn buiten den calorimeter op rijdbare onderstellen geplaatst, terwijl de bovenste buizen van deze onderstellen, die eveneens als rails functionneeren, zich op dezelfde hoogte bevinden als de railbuizen in de kamertjes. Door de uiteinden van deze twee stelsels van rails conisch in elkaar te laten sluiten, is een glooiende overgang verkregen.

Op één van beide brancards is ten behoeve van de proefpersoon een bed bevestigd. Oorspronkelijk was hiervoor een spiraalveeren matras gekozen, die in een rechthoek van dun hoekijzer was opgespannen. Aangezien echter de warmtecapaciteit van een dergelijk bed vrij groot is en we in ons streven, om de calorische capaciteit van alle onderdeelen zoo gering mogelijk te maken, steeds verder zijn gegaan, werd dit ijzeren raam vervangen door een houten, en de stalen matras door een vlechtwerk van singels. Het bed maakt een helling van $\pm 5°$ met den horizon. Reeds jaren geleden namelijk hebben N o y o n s en D u B o i s onafhankelijk van elkaar geconstateerd, dat bij het bepalen van de grondstofwisseling het liggen op een bed, dat een geringe helling met den horizon maakt, voordeelen heeft boven het liggen op een horizontaal vlak. Onder de eerste omstandigheid toch ontspannen de spieren van het lichaam zich volledíger, terwijl de invloed der zwaartekracht op de vloeistofmassa's in het lichaam bij korte proefnemingen als deze van geen beteekenis kan worden geacht.

Het hoofdeinde van het bed is verstelbaar gemaakt; het

hoofd rust op een luchtkussen, hetwelk een geringe warmtecapaciteit heeft.

Ter vermindering der directe straling van het hoofd op de bolometerdraden, is om het hoofdeinde van het bed een kap van dun papier aangebracht (fig. 4).

Op den anderen brancard zijn de warmteproduceerende weerstand en de inrichting voor het voortbrengen van latente warmte opgesteld. [1])

Een geraamte, samengesteld uit dun ijzerband en hout, geeft steun aan de buisjes van pertinax, waarop de weerstandsdraad is uitgespannen. De weerstand bestaat uit een groot middenstuk en twee kleine uiteinden (fig. 20). Deze vorm is gekozen, teneinde de warmteproductie van een mensch in liggende houding eenigszins na te bootsen. Het middenstuk komt daarbij overeen met romp plus armen, de beide uiteinden met hoofd, respectievelijk beenen.

De weerstand heeft een kleinen temperatuurcoëfficient voor het electrisch geleidingsvermogen, doordat gebruik is gemaakt van nickeline draad. De dikte van dezen draad bedraagt 0.7 m.m., de lengte 195 m., de totale weerstand bij kamertemperatuur gemeten 126 Ω. Het totale oppervlak van den draad is 0.43 m².

Indien voor bepaalde experimenten een veel grootere hoeveelheid warmte geproduceerd moet worden dan onder normale omstandigheden bij de bepaling van de grondstofwisseling het geval is, kan, doordat de weerstand uit twee afzonderlijke draden gewonden is, het Ohmage op eenvoudige wijze tot de helft worden gereduceerd.

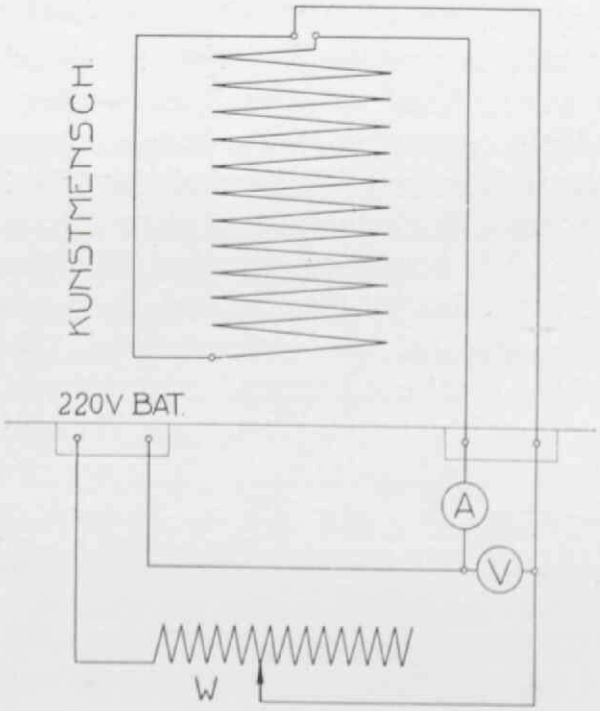
Vlak onder de deuren bevindt zich zoowel in als buiten ieder kamertje een stopcontact, waarop de kunstmensch door middel van een snoer met stekker kan worden aangesloten. Dit heeft in de eerste plaats het voordeel, dat de kunstmensch in beide kamertjes gebruikt kan worden

---

1) Eenvoudigheidshalve wordt deze opstelling in het laboratorium gewoonlijk „kunstmensch" genoemd.

en in de tweede plaats kan men, zooals ook is geschied, bij de ijking van den calorimeter gebruik maken van twee electrische warmtebronnen.

De stopcontacten buiten de kamertjes stellen ons in staat om voor den aanvang der bepaling, als de calorimeterdeuren nog gesloten zijn, en de brancard, waarop de proef-




FIGUUR 5. SCHEMA VAN DE ELECTRISCHE SCHAKELING VAN DEN KUNSTMENSCH.

A ampèremeter; V voltmeter; W Schuifweerstand.

persoon ligt, aan de eene zijde van den calorimeter is opgesteld, den kunstmensch, die aan de andere zijde symmetrisch is geplaatst, een hoeveelheid warmte te laten ontwikkelen, die volgens schatting met die van den proefpersoon overeenkomt. De invloed van deze warmtebronnen op den calorimeter is zoodoende practisch dezelfde.

Op het moment dat de deuren geopend worden en proefpersoon en kunstmensch gelijktijdig naar binnen gescho-

ven worden, moet de stekker in het stopcontact in de kamer overgeplaatst worden.

De beide stopcontacten van ieder kamertje zijn verbonden met een zich op de bedieningstafel bevindend klemmenbord; hierop kan naar behoefte de 110 Volt of 220 Volt gelijkstroom van de accumulatorenbatterij van het laboratorium worden aangesloten.

In den beginne werd de 220 Volt gelijkstroom van de stad gebezigd; de spanning van dezen stroom schommelt echter zoo sterk, dat van verder gebruik hiervan moest worden afgezien.

De weerstand (W fig. 5), die op de bedieningstafel is geplaatst, regelt de stroomsterkte en stelt ons zoodoende in staat den kunstmensch iedere gewenschte hoeveelheid warmte te laten afgeven. De stroomsterkte wordt afgelezen op een N.I.E.A.F. ampèremeter (A), de spanning op een voltmeter (V), die door dezelfde fabriek geleverd is.

De weerstand van de zware leidingen, die vanaf de meters naar den kunstmensch gaan, is practisch nul.

De hoeveelheid warmte, die door een electrischen stroom in een weerstand ontwikkeld wordt, is nauwkeurig bekend uit de formule van J o u l e :

$$C = 0.000239\ i^2.\ R.\ t$$

waarin C de hoeveelheid warmte in groote calorieën voorstelt, i de stroomsterkte in ampères, R den weerstand in Ohms en t den tijd in seconden.

Aanvankelijk maten we alleen de stroomsterkte; voor den weerstand, die éénmaal met behulp van de brug van Wheatstone was opgemeten, werd een vast bedrag in rekening gebracht. Aangezien de electrische weerstand van een draad met zijn temperatuur varieert — het beginsel waarop de bolometer berust — is in ons geval eigenlijk geen constante waarde voor R aan te geven. Zelfs bij den door ons gebruikten nickelinen weerstand met kleinen

temperatuurcoëfficient voor het electrisch geleidingsvermogen, geeft dit aanleiding tot onnauwkeurigheid.

Nu mogen we den factor $i^2 R$ (wattage) vervangen door het product van stroomsterkte (ampèrage) en spanning (voltage); door dus naast het ampèrage tevens het voltage van den gebezigden stroom te meten, wordt deze onnauwkeurigheid vermeden, aangezien veranderingen in den weerstand van den kunstmensch in het wattage zijn verdisconteerd.

Het zou een vereenvoudiging beteekenen, indien het stroomverbruik op een wattmeter kon worden afgelezen. Tot nu toe is het ons echter niet gelukt, een voor dit doel voldoend nauwkeurigen wattmeter te verkrijgen. Het ideaal zou zijn een zelfregistreerende precisie-wattmeter.

Wij zijn gewend de grondstofwisseling uit te drukken in calorieën per minuut. Door naast den tijd tevens het ampèrage en voltage in te voeren wordt de bovenstaande formule dus:

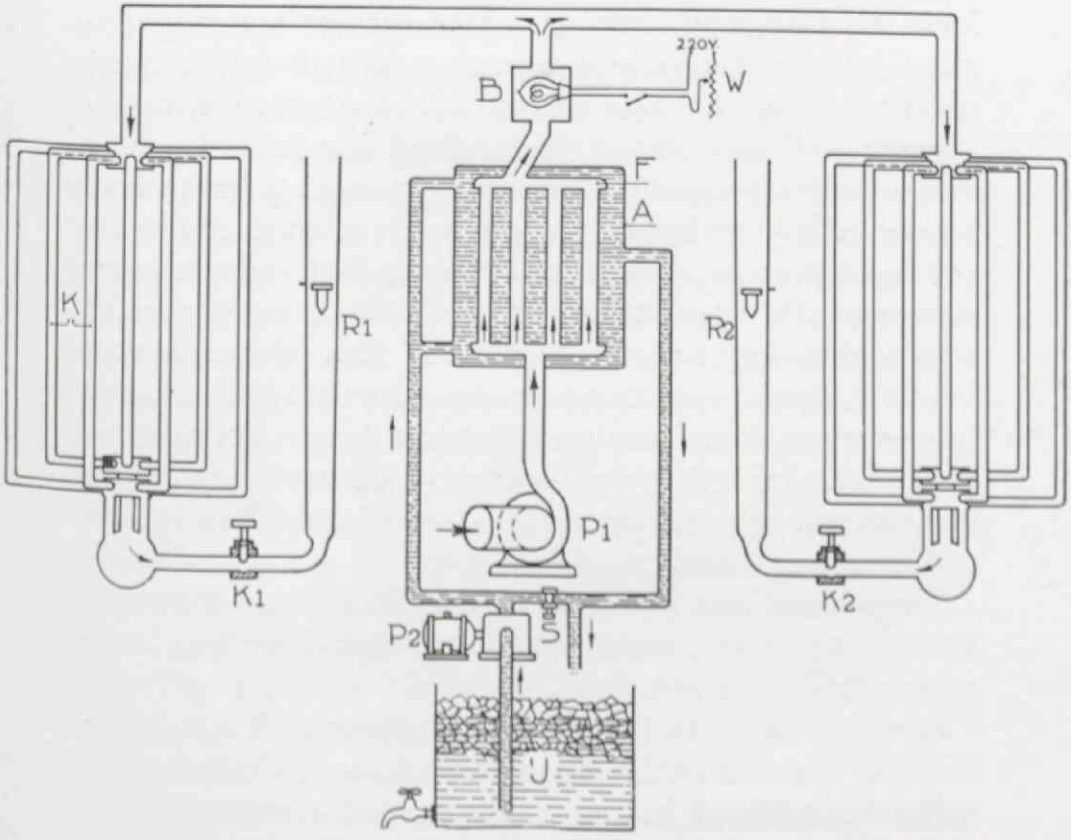
$$\text{Cal. per min.} = 0.000239 \text{ A.V. } 60$$
$$= 0.01434 \text{ A.V}$$

### A. Het koelsysteem.

Zooals in hoofdstuk I reeds is aangegeven, heeft het groote voordeelen het calorimetersysteem adiabatisch te maken. Door de temperatuur binnen en buiten de kamertjes nagenoeg gelijk te houden, wordt voorkomen dat door eventueele kleine verschillen in de warmte-capaciteit van de kamertjes een met het temperatuurverschil aangroeiende ongelijke hoeveelheid warmte naar de omgeving zou wegvloeien. Wanneer dus tijdens het experiment warmte in de kamertjes wordt geproduceerd, moet deze na gemeten te zijn, aequivalent worden weggevoerd.

In den Leuvenschen calorimeter werd hiertoe gebruik gemaakt van een buizenstelsel waardoor koelwater

stroomde. Nu heeft water in de eerste plaats het voordeel dat het gemakkelijk koud te verkrijgen is (waterleiding) en in de tweede plaats heeft het, dank zij zijn groote warmtecapaciteit, een groot koelend vermogen. Bedenken




FIGUUR 6. SCHEMA VAN HET KOELSYSTEEM.

$P_1$ luchtpomp; F radiator; B bus met kooldraadlamp; W schuifweerstand; K koelbuizen; $K_1$ en $K_2$ regelkranen; $R_1$ en $R_2$ rotameters; IJ ijsbak; $P_2$ waterpomp; S slangklem op shunt-verbinding; A bak om radiator.

wij echter, dat zich in het koelsysteem van iedere kamer een aanzienlijke hoeveelheid water bevindt dan is het duidelijk, dat de warmtecapaciteit van het geheele apparaat hierdoor belangrijk verhoogd is. Met een vergrooting van de warmtecapaciteit gaat een verlangzaamd reageeren van het geheele toestel gepaard. Vandaar dat bij den bouw van den calorimeter steeds het streven heeft voorgezeten

om de massa, en daarmede de warmtecapaciteit van alle onderdeelen, zoo klein mogelijk te maken.

Hoewel water als koelmiddel dus groote voordeelen heeft, overwegen in ons geval de nadeelen sterk. Daarom is bij de constructie van den Utrechtschen calorimeter lucht als koelmiddel met een zeer geringe warmtecapaciteit gekozen. De geringe warmtecapaciteit van de lucht maakt het, met het oog op een voldoende koeling, noodzakelijk een zeer groote hoeveelheid koude lucht door de koelbuizen te zenden. Aanvankelijk werd getracht deze koude lucht te verkrijgen door om een groot aantal evenwijdige dunwandige koperen buizen leidingwater te laten stroomen. De zoodoende verkregen afkoeling der lucht werd echter onvoldoende bevonden. Een afdoende verbetering werd evenmin verkregen door het leidingwater te vervangen door ijswater. Eerst toen tevens het koelend oppervlak aanzienlijk was vergroot — door gebruik te maken van een automobielradiator — werd een bevredigende oplossing gevonden.

Thans volgt hier, aan de hand van een schematisch overzicht (fig. 6) een beschrijving van het differentiaal-koelsysteem. (Zie ook fig. 2 en 3).

Boven in de beide kamertjes ontspringen uit een koperen doos (middellijn 30 c.m., hoogte 4 c.m.), die zich even onder het plafond bevindt, zijdelings en stervormig een 32-tal koperen buizen (diameter uitwendig 10 m.m., inwendig 8 m.m.), die op 3 c.m. afstand evenwijdig aan het plafond loopen. Op 3 c.m. afstand van de zijwanden buigen deze buizen 90° om, en gaan verticaal langs de zijwanden naar beneden, om op een afstand van 3 c.m. van den bodem nog eens 90° om te buigen en zich stervormig te vereenigen in een soortgelijk koperen reservoir op eenigen afstand van den bodem. Het zoo gevormde stelsel van koelbuizen loopt dus parallel met de kamerwanden en is daarvan overal 3 c.m. verwijderd. Een houten raam boven aan de zijwanden in de kamertjes bevestigd en een

dergelijk raam op den bodem, waarin de buizen zijn ingelaten, verschaffen dezen de noodige stabiliteit.

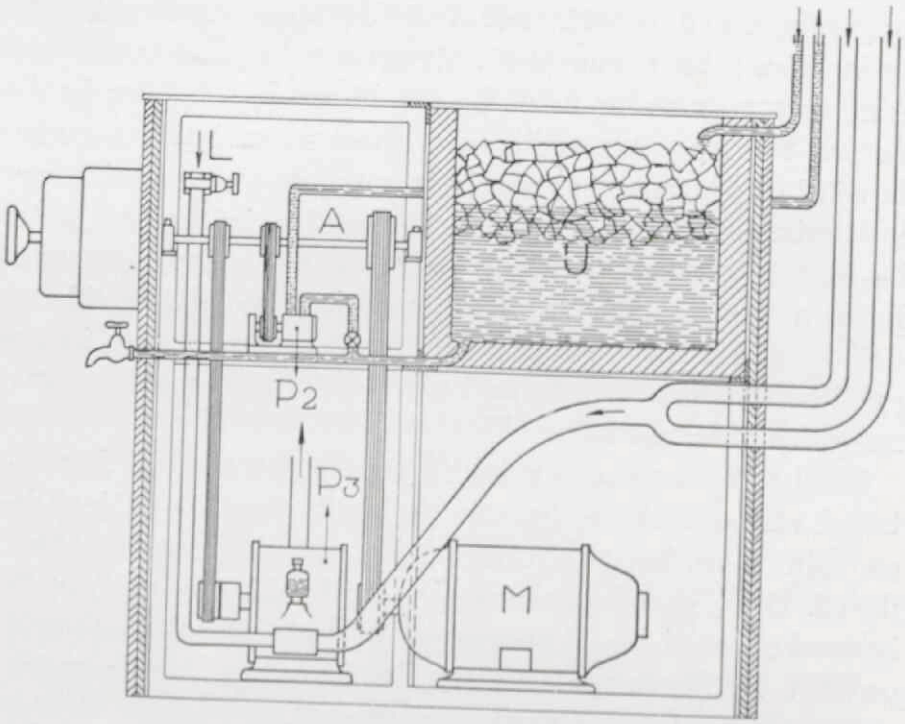
De reservoirs onder in de kamers bestaan eigenlijk uit twee reservoirs, die ieder de helft van het aantal koelbuizen ontvangen. Deze constructie is gekozen met het doel om indien onverhoopt de luchtkoeling moest worden prijsgegeven, dan toch met dezelfde apparatuur gebruik te kunnen maken van een waterstroom, welke vanaf het ééne reservoir onder in de kamer langs de helft der koelbuizen omhoog gevoerd zou worden naar het reservoir boven in de kamer, om van hier langs de andere helft der koelbuizen het tweede reservoir beneden in de kamer te bereiken, vanwaar het water voorgoed den calorimeter zou kunnen verlaten. Dit systeem zou het voordeel hebben, dat de gemiddelde temperatuur van het koelwater in de opstijgende en neerdalende buizen boven en onder nagenoeg dezelfde zou zijn.

Om het koelend oppervlak te vergrooten zijn op de verticaal verloopende deelen van de koelbuizen 8 c.m. breede en ruim 2 m. lange strooken fijnmazig kopergaas gesoldeerd. Deze strooken werden vastgehecht aan de nog te bespreken kooi van kopergaas, die patiënt en weerstand omhult. De horizontale koelbuizen in het plafond werden eveneens aan dit gaaswerk vastgehecht.

Door het boven beschreven stelsel van koelbuizen wordt lucht gepompt. De electrisch aangedreven luchtpomp ($P_1$), die in de ruimte onder den calorimeter is opgesteld, zuigt door een wijde aanvoerbuis (diameter 19 c.m.) lucht uit de calorimeterkamer aan. Voor een goede warmte-isolatie is het noodzakelijk, dat de luchtlaag in de ruimte onder den calorimeter zooveel mogelijk in rust blijft; daarom wordt de benoodigde hoeveelheid koellucht niet uit deze ruimte betrokken, maar uit de calorimeterkamer.

De lucht, door deze pomp aangezogen wordt door een buis, die in het gangetje tusschen beide kamers omhoog loopt, gevoerd naar een radiator van een Ford-auto (F),

die in het midden op den calorimeter is geplaatst. Na het inwendige van dezen radiator doorloopen te hebben, passeert de luchtstroom de bus (B), waarin zich een kooldraadlamp bevindt. Hierna vertakt de luchtstroom zich




FIGUUR 7. GEDETAILLEERD SCHEMA VAN DE KOELKAST UIT HET KOELSYSTEEM.

M motor; A as; $P_2$ pomp voor ijswater; IJ ijsbak; $P_3$ pomp voor ventilatie lucht; L lek.

in twee gelijke deelen en belandt in de koperen bussen, die onder het plafond in de kamertjes zijn aangebracht. De buizen, die de lucht van den radiator naar de kamertjes brengen, zijn met kurktouw geïsoleerd. Ook de doorvoering van deze buizen door den koperen kamerwand is, om directe overdracht van koude hierop zooveel mogelijk uit te sluiten, van isolatiemateriaal voorzien. De lucht, in de bovenste koperen bus aangekomen, verdeelt zich over de

boven beschreven 32 koelbuizen en verlaat de kamer door een gemeenschappelijke buis, die uit de onderste koperen reservoirs ontspringt en eveneens geïsoleerd door den kamerwand gevoerd is. De afgevoerde koellucht komt, na geleid te zijn door de beide rotameters ($R_1$ en $R_2$), die op de bedieningstafel zijn opgesteld, weer vrij in de kamer uit. De rotameters geven de hoeveelheid lucht aan, die per tijdseenheid passeert. Het debiet van ieder bedraagt 6000—18000 liter per uur. Door het afstellen van de regelkranen ($K_1$ en $K_2$), die in de leidingen voor de rotameters zijn geplaatst, wordt zorg gedragen, dat de hoeveelheid koellucht beiderzijds precies gelijk is. Gewoonlijk bedraagt deze hoeveelheid voor iedere kamer 15000 liter per uur.

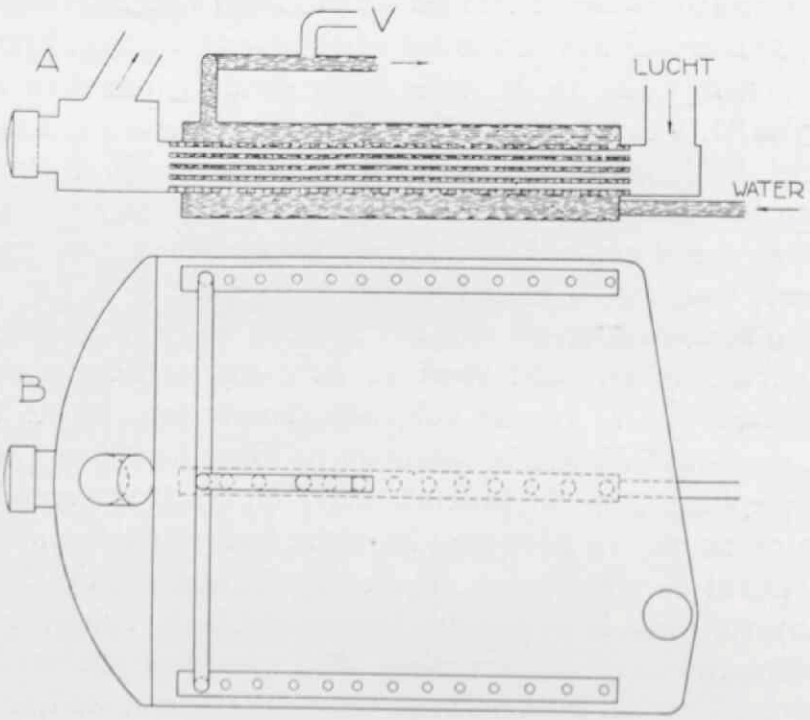
Om den Ford-radiator is een koperen bak (A) gesoldeerd, waardoor ijswater wordt gepompt.

Op eenigen afstand van het midden van den noordelijken calorimeterwand staat in de calorimeterkamer een koelkast (fig. 7) van de volgende afmetingen: lengte 1.00 m., breedte 0.50 m., hoogte 1.00 m. Deze kast heeft twee verdiepingen; op de onderste staat de electromotor (M), die de as (A) in beweging brengt. Door middel van deze as wordt de waterpomp ($P_2$) aangedreven, die op de bovenverdieping is opgesteld. Bovendien brengt deze as de luchtpomp ($P_3$) in beweging, die, zooals uit de verdere beschrijving zal blijken, voor de ventilatie van de kamertjes zorgt.

Het bovenste deel van de koelkast wordt voor ruim de helft ingenomen door een koperen ijsbak (IJ), die een inhoud van 65 liter heeft en waarin zich water met ijs bevindt. Hij is door middel van geteerde kurkplaten en celotex geïsoleerd.

Het zich in den bak bevindende ijswater wordt door de waterpomp ($P_2$) naar den koelbak om den radiator gepompt. Ter verkrijging van een gelijkmatige verdeeling van het koelwater over het geheele oppervlak van den radiator, wordt het koelwater langs twee geperforeerde

buizen onder in dezen bak aangevoerd, terwijl het langs één dergelijke buis, die in het midden boven op den bak loopt, weer afstroomt, om vervolgens naar den ijsbak terug te stroomen. Ter beveiliging van het koelsysteem is aan de bovenzijde van den bak om den radiator een ontluchtingsbus (V) aangebracht (fig. 8).




FIGUUR 8. RADIATOR TER AFKOELING VAN DE KOELLUCHT.
A verticale doorsnede v. d. radiator in den koelbak.
B horizontale " " " " " "
V ontluchtingsbuis.

Tusschen de aan- en afvoerleiding van het koelwater bevindt zich even boven de koelkast een shunt-verbinding, die met behulp van een slangklem (S fig. 6) kan worden geregeld, zoodat het koelwater desgewenscht zonder het bovenste koelsysteem te passeeren, direct in den ijsbak kan worden teruggevoerd.

De *hoeveelheid* lucht, die door de beide koelsystemen

gaat, kan dus naar behoefte geregeld worden door middel van de kranen $K_1$ en $K_2$, onder contrôle van de rotameters. De *temperatuur* van de lucht is afhankelijk van de circulatie van het ijswater om den radiator. Bij geheel geopend zijn van de shunt-verbinding, stroomt geen ijswater om den radiator; hoe verder deze shunt-verbinding echter gesloten is, des te sterker wordt de doorstrooming. Deze shunt-verbinding wordt pas gesloten op het moment, dat de proefpersoon in den calorimeter wordt geschoven. Voordien wordt reeds gedurende ongeveer een half uur lucht van kamertemperatuur door het koelsysteem geblazen. Dit helpt zoodoende mede om den geheelen calorimeter op kamertemperatuur te stabiliseeren.

De kooldraadlamp, die zich in de bus (B fig. 6) bevindt, doet onder normale omstandigheden geen dienst. Indien echter door een foutieve manipulatie — b.v. koelen zonder dat zich warmtebronnen in den calorimeter bevinden — het temperatuurevenwicht tusschen de beide kamertjes onderling of tusschen de beide kamertjes en de omgeving verstoord is, kan, door het laten branden van deze lamp, warme lucht door beide of één van beide koelsystemen geblazen worden. De sterkte van den gloeistroom wordt vanaf de bedieningstafel geregeld door middel van den weerstand (W).

### B. Het bolometerstelsel.

Door het toegepaste differentiaalbeginsel is de calorimeter tot warmtebalans gemaakt. De beide calorimeterkamertjes vormen de schalen van de balans. Wanneer in het ééne kamertje een onbekende hoeveelheid warmte wordt geproduceerd door den te onderzoeken mensch, moeten we in het andere kamertje door middel van de kunstmatige warmtebron zooveel warmte ontwikkelen, dat het temperatuurevenwicht tusschen de beide kamertjes niet verstoord wordt. We dienen dus van oogenblik tot

oogenblik de warmteverhoudingen in beide vertrekjes te kunnen vergelijken. Hiertoe worden we in staat gesteld door het bolometersysteem.

De bolometrie berust op het beginsel, dat de electrische weerstand van een draad verandert met zijn temperatuur. De temperatuurmeting wordt hierbij dus teruggebracht tot een weerstandsmeting.

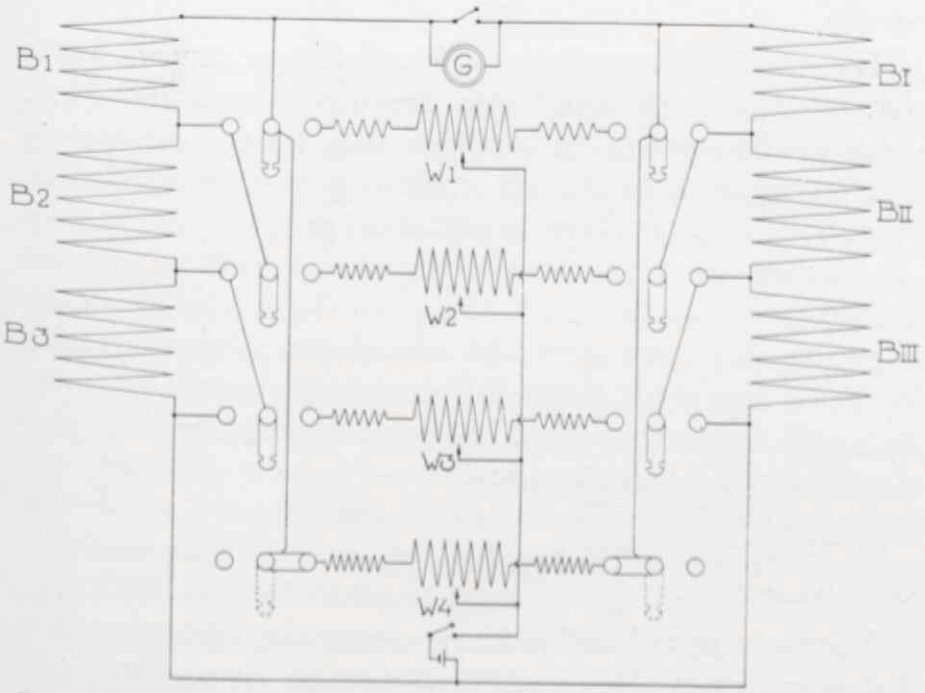
Op geringen afstand van de koelbuizen is in beide kamertjes, zoowel langs de zijwanden als het plafond, fijnmazig kopergaas uitgespannen, dat als het ware een groote kooi vormt (fig. 3). Dit gaas is wat zijn functie betreft te vergelijken met het kopergaas in de mijnlamp; ook hier heeft het ten doel de warmte over een groot oppervlak te verdeelen en zoodoende tevens een snellen afvoer van de warmte te bewerkstelligen. Aan dit kopergaas, dat bevestigd is op de buitenzijde van een gemakkelijk uitneembaar raamwerk, samengesteld uit dunwandige koperen buizen, zijn de strooken kopergaas van de koelbuizen vastgehecht.

Aan de binnenzijde van dit raamwerk is tusschen strooken isolatiemateriaal (pertinax), nikkeldraad van 0.4 m.m. dikte, zig-zaggewijze uitgespannen (fig. 2 en 3). Voor de bolometers werd nikkeldraad gebezigd, omdat dit een hoogen temperatuurcoëfficient heeft voor het electrisch geleidingsvermogen. Het nikkeldraad, dat zich op $\pm$ 1 c.m. afstand van het kopergaas bevindt, is zoodanig aangebracht, dat er in iedere kamer drie netten van bolometerdraden zijn ontstaan. Het eerste net bevindt zich onder het plafond, het tweede en derde strekken zich resp. langs de bovenste en langs de onderste helft der vier zijwanden uit. In ieder kamertje is zoodoende 285 meter nikkeldraad uitgespannen. Om redenen van technischen aard was het niet goed mogelijk om de deuren en de vloeren der kamertjes met een bolometernet te bekleeden.

De drie bolometernetten van ieder kamertje zijn met een verdeelbord, dat zich op de bedieningstafel bevindt,

verbonden op de wijze als in fig. 9 schematisch is aangegeven.

Men ziet daaruit, dat de bolometernetten de armen vormen van de brug van Wheatstone. Als stroombron doet bij deze weerstandsmeting een 2 volts accu dienst, terwijl




FIGUUR 9. SCHEMA VAN HET BOLOMETERSYSTEEM, DIENEND TER VERGELIJKING DER THERMISCHE VERHOUDINGEN IN DE CALORIMETERKAMERTJES.

$B_1$, $B_2$ en $B_3$ bolometernetten linker kamertje; $B_I$, $B_{II}$ en $B_{III}$ bolometernetten rechter kamertje; G galvanometer; $W_1$, $W_2$, $W_3$ en $W_4$ draaiweerstanden.

de galvanometer (G) aangeeft wanneer de brug stroomloos is. Op dat moment is dus de weerstand van het bolometernet in de linkerkamer gelijk aan dien in de rechterkamer, waaruit volgt dat de temperatuur in beide kamertjes gelijk is.

Door ieder bolometernet uit drie onderdeelen samen te stellen, zijn we in staat om de temperatuurverhoudingen in de verschillende deelen der kamertjes te vergelijken. Dit

is van belang, omdat wij door middel van koeling, ventilatie en luchtmenging trachten te bereiken, dat de temperatuur op overeenkomstige plaatsen in beide kamertjes overeenstemt. Gewoonlijk echter worden de beide bolometernetten in hun geheel gebruikt, waarbij dus de som van de warmteverhoudingen in beide vertrekjes vergeleken wordt.

Natuurlijk bestaan er steeds kleine temperatuurverschillen tusschen beide kamertjes, dus ook de weerstand van de beide bolometerstelsels zal van dag tot dag een weinig varieeren. Deze kleine verschillen in weerstand worden voor het begin van een bepaling bijgeregeld met behulp van den draaiweerstand $W_4$, die correspondeert met het volledige bolometerstelsel. Wij gaan dus bij ieder experiment steeds uit van een nulstand van den galvanometer en trachten dien stand gedurende de geheele bepaling zooveel mogelijk te bewaren door het regelen van de warmteproductie van den kunstmensch.

### C. De menging.

Voor een nauwkeurige temperatuur- en vochtmeting is het zeer gewenscht, dat de temperatuur en vochtigheidsgraad in de verschillende deelen van ieder kamertje zooveel mogelijk gelijk zijn. Hiertoe is een menging van de lucht in de kamertjes noodzakelijk. Deze wordt verkregen door het ventileeren der kamertjes in diagonale richting (zie ventilatie) en door een roerinrichting.

Onder het plafond bevinden zich in ieder kamertje twee stel roerders, ieder vier schoepen dragend van dun aluminium (fig. 2 en 3); alle roerders worden in beweging gebracht door een motor, die op den calorimeter is opgesteld en waarvan het aantal toeren regelbaar is met een schuifweerstand.

De snelheid, waarmede de schoepen draaien, speelt een belangrijke rol. Het is namelijk uit een serie proefnemin-

gen gebleken, dat de warmte-afgifte van den mensch sterk toeneemt, indien de luchtstroomingen door de schoepen verwekt te intensief zijn. Experimenteel werd bepaald, met welke snelheid de schoepen mogen draaien zonder dat zij de warmte-afgifte van de proefpersoon beïnvloeden.

### D. De ventilatie.

Hoewel de inhoud van ieder kamertje bijna 8000 liter bedraagt, is het vooral bij langdurige bepalingen noodzakelijk, dat het vertrekje, waarin zich de proefpersoon bevindt, voldoende geventileerd wordt. Aangezien ook bij de ventilatie het differentiaal beginsel streng is doorgevoerd, worden *beide* kamertjes, dus ook dat waarin zich de warmteproduceerende weerstand bevindt, met een volkomen gelijke hoeveelheid lucht geventileerd. De voor de ventilatie benoodigde lucht wordt betrokken uit het vertrek, waarin de calorimeter is opgebouwd; ze wordt voor beide kamertjes vanaf hetzelfde punt aangezogen, om er zeker van te zijn, dat de vertrekjes met lucht van dezelfde temperatuur en van denzelfden vochtigheidsgraad worden ververscht. Vanaf dit punt wordt de lucht, zooals fig. 10 schematisch weergeeft, door twee buizen naar de trechters (Tr) gevoerd, die zich onder in de hoeken der kamertjes bevinden; de lucht strijkt diagonaalsgewijze door de kamertjes en verlaat deze weder door soortgelijke trechters ($Tr_1$) in de tegenovergestelde bovenhoeken. Na passage door het kranenstelsel (K) en de electrische vochtmeters ($V_1$ en $V_2$) gaat de luchtstroom door de beide rotameters ($R_1$ en $R_2$), waarboven zich de regelkranen ($Kr_1$ en $Kr_2$) bevinden. Van hier wordt de lucht door twee buizen, die over den calorimeter loopen en zich daarna vereenigen, aangezogen door een zuigpomp ($P_3$), die onderin de koelkast (fig. 7) is opgesteld en aangedreven wordt door den motor (M).

De grove regeling van de hoeveelheid ventilatielucht

geschiedt met behulp van het lek (L fig. 7); door het afstellen van de regelkranen ($Kr_1$ en $Kr_2$ fig. 10) boven de rotameters wordt de fijne regeling verkregen en wordt er tevens voor zorg gedragen, dat de hoeveelheden ventilatielucht voor de beide kamertjes nauwkeurig gelijk zijn.

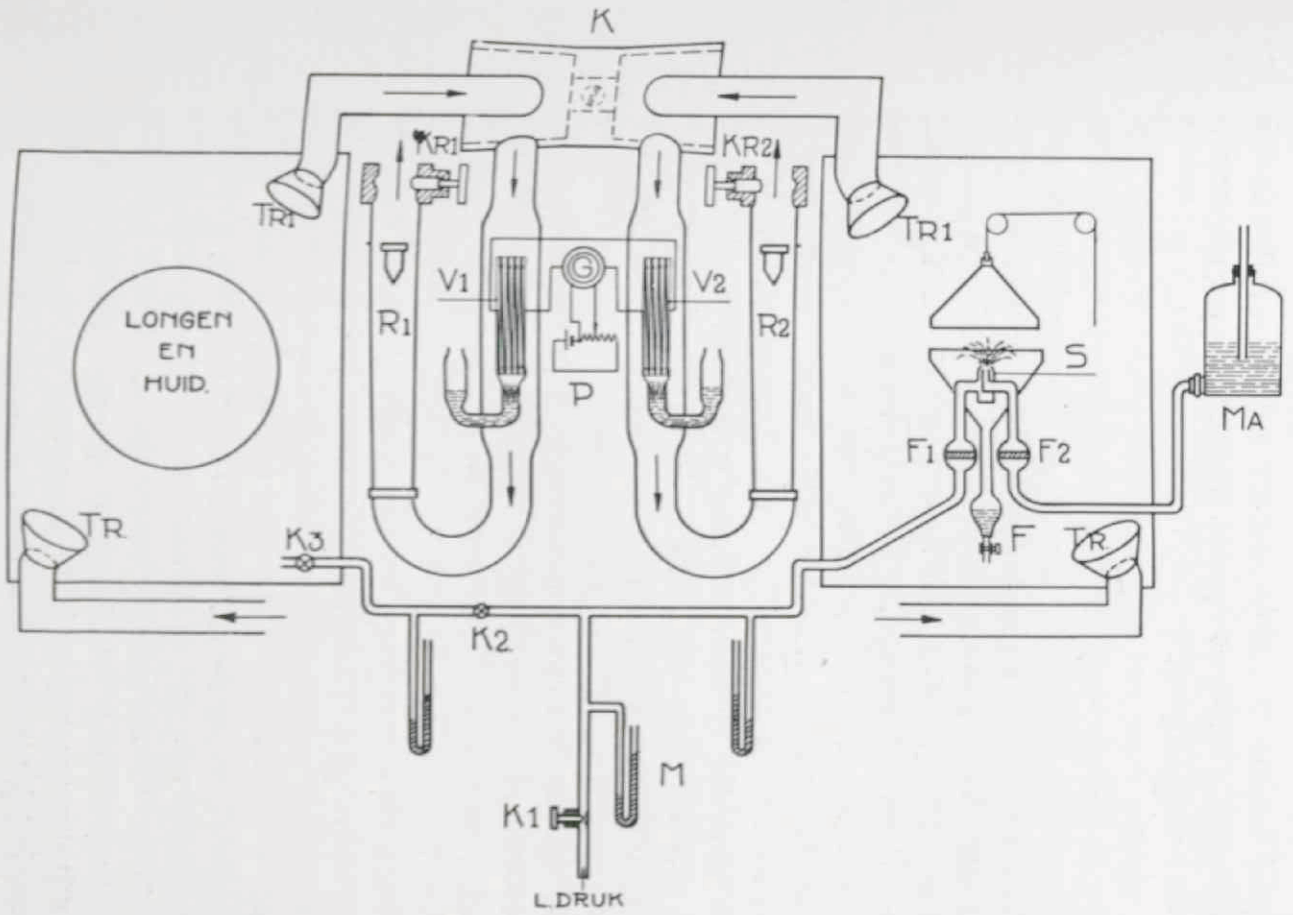
### E. De vochtmeting.

Aan de bespreking van de ventilatie sluit direct een beschrijving van de vochtmeting aan, omdat bij de bepaling van de hoeveelheid latente warmte gebruik gemaakt wordt van den luchtstroom, die noodig is voor de verversching der kamertjes.

De eerste methode, die toegepast is voor de bepaling van de hoeveelheid latente warmte is van differentiaal standpunt bezien de mooiste; hierbij toch wordt, naast de aequivalentie van warmte, een aequivalente vochtigheidsgraad nagestreefd, door in het kamertje, waarin zich de kunstmatige warmtebron bevindt, een hoeveelheid waterdamp te produceeren gelijk aan die door den mensch afgestaan.

Voor het verkrijgen van waterdamp is gebruik gemaakt van een sproeiinrichting, die boven den verwarmingsweerstand op den brancard is aangebracht. De toepassing van een sproeier heeft het voordeel, dat een systeem verkregen wordt met een zeer geringe warmtecapaciteit en een zeer groot verdampingsoppervlak, namelijk het oppervlak van een zeer groot aantal uiterst kleine waterdruppeltjes.

Onder in een kegelvormig reservoir (fig. 10) bevindt zich de sproeier (S). Het niet verdampte water wordt in het fleschje (F) verzameld. Een kegelvormig dun koperen deksel boven den sproeier verhindert, dat er vloeistofdruppeltjes wegspatten. Wanneer op een oogenblik de vochtproductie geheel stop gezet moet worden, kun-




FIGUUR 10. SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET SYSTEEM DER WATERDAMPPRODUCTIE EN DER VERGELIJKENDE VOCHTMETING VAN DE LUCHT DER CALORIMETERKAMERTJES, WAARBIJ DE LATENTE WARMTE ZONDER BEREKENING WORDT VERDISCONTEERD.

Tr trechter voor inkomende ventilatielucht; $Tr_1$ trechter voor uitgaande ventilatielucht; K kranenstelsel; $V_1$ en $V_2$ electrische vochtmeters; $R_1$ en $R_2$ rotameters; $Kr_1$ en $Kr_2$ regelkranen; Ma flesch van Mariotte; $F_1$ en $F_2$ filters; S sproeier; F reservoir voor niet versproeid water; $K_1$, $K_2$ en $K_3$ regelkranen; M. manometer; G galvanometer; P potentiometer.

nen we van buiten het kamertje het kegelvormige deksel laten zakken; het is niet voldoende dat alleen de sproeiinrichting buiten werking gesteld wordt, want van de natte binnenvlakte der koperen kegels zou nog geruimen tijd water verdampen.

Het niveau van het te versproeien water wordt geregeld met behulp van een flesch van Mariotte (Ma). De luchtdruk, die verkregen wordt uit de persleiding van het laboratorium, is nauwkeurig regelbaar met een fijnregelkraan ($K_1$) en wordt afgelezen op den manometer (M). Door het afstellen van kraantjes ($K_2$ en $K_3$) wordt er zorg voor gedragen, dat er in het kamertje, waarin de proefpersoon zich bevindt, een hoeveelheid lucht wordt geblazen gelijk aan die, welke voor het versproeien van water in het andere kamertje benoodigd is.

Vlak voor de sproeiinrichting is zoowel in de lucht- als de waterleiding een filter ($F_1$ en $F_2$) aangebracht, om te voorkomen, dat de sproeier door verontreinigingen verstopt wordt.

Door het regelen van den sproeidruk (luchtdruk) kunnen we iederen gewenschten vochtigheidsgraad in het kamertje, waarin de kunstmensch geplaatst is, verkrijgen.

Gewoonlijk wordt voor tal van doeleinden de vochtigheidsgraad van lucht bepaald volgens het principe van den drogen en natten thermometer. In een stroom van de te onderzoeken lucht is daartoe een droge en een natte thermometer geplaatst. De droge thermometer geeft de temperatuur van de lucht aan; aan het oppervlak van het vochtige kousje om het ondereinde van den anderen thermometer vindt verdamping plaats; hiertoe wordt verdampingswarmte aan de omgeving onttrokken, dus ook aan het kwik van den thermometer.

Er ontstaat zoodoende tusschen den drogen en den natten thermometer een temperatuurverschil, het zoogenaamde psychrometrisch verschil. Hoe vochtiger de

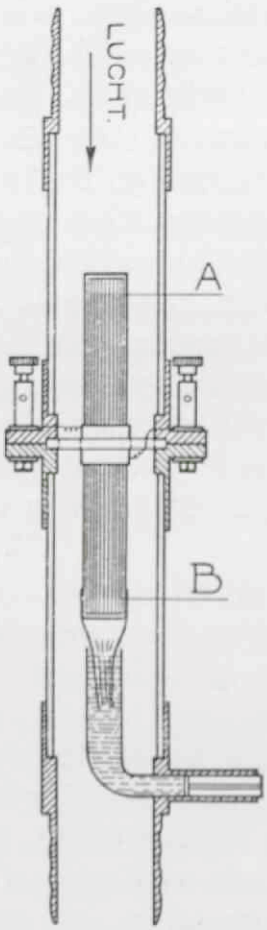
lucht des te kleiner temperatuurverschil, hoe droger de lucht des te grooter temperatuurverschil. Uit de verkregen gegevens, n.l. de temperatuur van de lucht, d.i. de temperatuur aangewezen door den drogen thermometer, en het psychrometrisch verschil, kan de vochtigheidsgraad van de lucht berekend worden.

Indien we voor ons geval deze methode toepassen, moeten we om den vochtigheidsgraad van de lucht in beide kamertjes te vergelijken en te volgen voortdurend vier thermometers aflezen en daarnaar den sproeidruk regelen. Het nauwkeurig aflezen van vier thermometers eischt veel tijd, zoodat het practisch niet mogelijk is op deze wijze het vochtgehalte van de lucht van beide kamertjes doorloopend precies gelijk te houden.

Daarom werd gebruik gemaakt van een electrische methode, waarbij telkens slechts één aflezing noodig is. De hiertoe vervaardigde electrische vochtmeters, waarvan men er één afgebeeld vindt in fig. 11, zijn als volgt geconstrueerd.

Om den dunnen wand van een rond glazen buisje, waarvan de uitwendige doorsnede 11 m.m. en de lengte 95 m.m. bedraagt, is in de lengterichting een draad gewikkeld, die afwisselend bestaat uit constantaan en manganin; deze 0.2 m.m. dikke draden zijn electrisch aan elkaar gelascht. De wikkeling is zoodanig, dat de manganin gedeelten alle op den buitenkant van het buisje liggen, terwijl de constantaan gedeelten zich over den geheelen binnenwand en een gedeelte van den buitenwand uitstrekken, met dien verstande, dat de laschpunten komen te liggen op twee cirkelomtrekken aan de buitenzijde van het buisje op 5 m.m. afstand van den boven- en onderrand. Op deze wijze is een thermoelectrisch systeem verkregen bestaande uit 24 paar thermopunten. Ter beveiliging van de thermopunten is het aldus omwikkelde glazen buisje aan de boven- en onderzijde van uiterst dunne glazen kapjes voorzien. De bo-

venste serie thermopunten (A) vervangt den drogen, de onderste serie den vochtigen thermometer. De onderste thermopunten (B) zijn door een dun kousje omgeven, waarvan het ondereinde in een waterreservoirtje hangt,




FIGUUR 11. GEDETAILLEERDE TEEKENING VAN DEN ELECTRISCHEN VOCHTMETER.

A droge thermopunten; B vochtige thermopunten.

zoodat het kousje steeds door capillaire werking vochtig blijft.

Het potentiaal verschil, dat tusschen de droge en natte thermopunten ontstaat, is bij een gegeven temperatuur de maat voor den vochtigheidsgraad van de lucht.

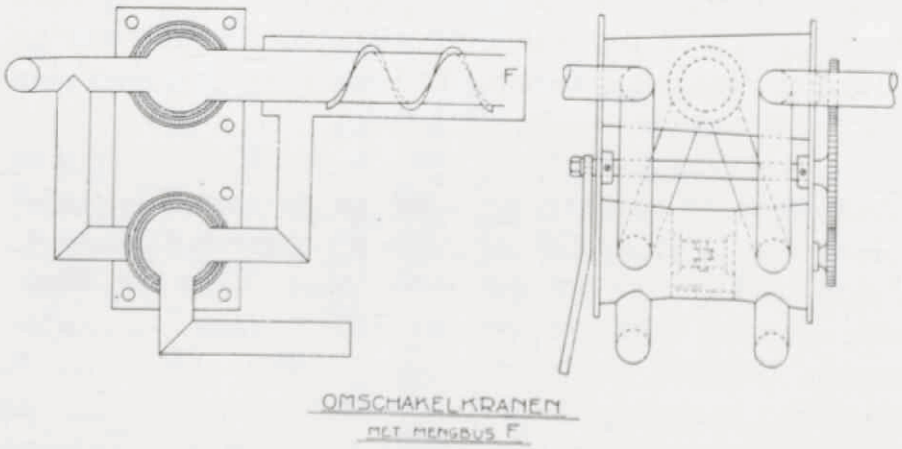
In den luchtstroom uit ieder kamertje wordt, op de wijze als fig. 10 schematisch aangeeft, een dergelijke electrische vochtmeter geplaatst. De vochtmeters zijn zoodanig geschakeld, dat de potentiaalverschillen elkander tegenwerken. Indien de spiegelgalvanometer (G) op nul staat, en de temperatuur in de twee vertrekjes dezelfde is, is dus de vochtigheidsgraad van de lucht, die uit beide kamertjes komt gelijk. We mogen hieruit dan concludeeren, dat door den kunstmensch evenveel waterdamp wordt geproduceerd als door den mensch en dat dientengevolge aan beide kamertjes evenveel verdampingswarmte wordt onttrokken.

Het kranenstelsel (K fig. 10 en fig. 12) is zoodanig geconstrueerd, dat we de lucht uit de twee kamertjes afkomstig, afzonderlijk of intensief gemengd langs de beide vochtmeters kunnen doen gaan. Voor het begin der bepaling laten we gemengde lucht langs de vochtmeters strijken; zoodoende bevinden deze zich in luchtstroomen waarvan de vochtigheidsgraad gelijk is; nu worden met behulp van den potentiometer (P) eventueel aanwezige kleine potentiaalverschillen tusschen beide vochtmeters gecompenseerd. Ook tijdens de bepaling kunnen we af en toe even gemengde lucht laten doorstroomen ter contrôle van de vochtmeters.

Deze electrische wijze van vochtmeting bezit een groote mate van gevoeligheid, hetgeen moge blijken uit het feit, dat de hoeveelheid vocht afkomstig van één diepe uitademing, in één van de kamertjes gemaakt, een duidelijken uitslag van den galvanometer tengevolge heeft. Te meer spreekt dit feit als we bedenken, dat de inhoud van ieder kamertje bijna 8 $m^3$. bedraagt.

Wij hebben deze methode van vochtmeting, waarbij de latente warmte zonder verdere berekening in het totale calorieënbedrag verdisconteerd is, vaak toegepast. Toch blijkt in de praktijk, dat deze methode bezwaren met zich meebrengt. Gedurende de bepaling van de

totale warmteafgifte van een proefpersoon, moeten we de temperatuur en den vochtigheidsgraad op indicatie van de beide galvanometers zoo goed mogelijk gelijk houden. Nu is de moeilijkheid, dat de temperatuur en de vochtigheidsgraad ten nauwste met elkaar verband houden. Op het moment namelijk, dat we den sproeidruk verhoogen, dus meer waterdamp produceeren, daalt de temperatuur in het kamertje, doordat hieraan meer ver-




FIGUUR 12. SCHEMA VAN HET KRANENSTELSEL (K IN FIG. 10), HETWELK DE NUL-INSTELLING VAN DE ELECTRISCHE VOCHTMETERS MOGELIJK MAAKT.

dampingswarmte onttrokken wordt; tegelijkertijd moeten we dus de warmteproductie verhoogen. Het gevolg van een en ander is, dat het zelfs bij meerdere routine vrij lang duurt voor de warmte- en vochtbalans in evenwicht is en gehouden kan worden.

Gemiddeld is hiervoor ± 60 min. noodig. Deze tijdsduur kan belangrijk verkort worden door de bepaling van de hoeveelheid latente warmte achterwege te laten. Zooals in hoofdstuk V bij de beschrijving van enkele toepassingen zal blijken, zijn we hiertoe dan ook tijdelijk overgegaan en hebben voor de hoeveelheid latente warmte een vast bedrag van 25 % der totale calorieënafgifte in rekening gebracht.

In den laatsten tijd hebben we echter een methode toegepast, waarbij van het compensatiebeginsel is afgezien en waarbij de hoeveelheid latente warmte afzonderlijk berekend wordt. Bij deze methode wordt de tijdsduur der bepaling niet verlengd; bovendien heeft zij het voordeel, dat we de hoeveelheid latente warmte als een zelfstandige grootheid kunnen leeren kennen.

Wanneer een ruimte, waarin waterdamp wordt geproduceerd, met een constante hoeveelheid lucht per tijdseenheid wordt doorstroomd, bestaat de volgende betrekking:

$$x = f_1 + \frac{b}{a} - (f_1 - f_o + \frac{b}{a})\, e^{-\frac{a}{v} t} \qquad (1)$$

waarin:

$f_1$ = absolute vochtigheid (gr/m³.) van de binnenkomende lucht.
$f_o$ = absolute vochtigheid van de lucht in de ruimte bij het begin.
b = hoeveelheid afgegeven waterdamp (gr/min.)
a = doorstroomingssnelheid (m³./min.)
v = volume der ruimte (m³.)
x = absolute vochtigheid van de uitstroomende lucht.
t = tijd (min.)
e = grondtal der natuurlijke logarithmen.

Bij onze experimenten staat uren voor het begin der bepaling de calorimeterruimte in open verbinding (open deuren) met de calorimeterkamer, waaruit de ververschingslucht wordt betrokken, zoodat we $f_o = f_1$ mogen stellen. Voor ons is b de te bepalen onbekende, terwijl x, die we verder $f_t$ zullen noemen, d.i. de absolute vochtigheid der uitstroomende lucht na een tijd t, wordt gemeten.

We kunnen dus voor (1) schrijven:

$$f_t = f_o + \frac{b}{a} - \frac{b}{a} e^{-\frac{a}{v} t} \qquad (2)$$

waaruit: $$f_t - f_o = \frac{b}{a} (1 - e^{-\frac{a}{v} t})$$

en: $$b = \frac{a (f_t - f_o)}{1 - e^{-\frac{a}{v} t}} \qquad (3)$$

De waarde van $f_t$ neemt met t toe; eerst na oneindig langen tijd wordt $f_t$ en dus ook $f_t - f_o$ constant.

De term $1 - e^{-\frac{a}{v} t}$, die een waarde heeft tusschen 0 en 1 (immers voor $t = o$ is $e^{-\frac{a}{v} t} = 1$, dus $1 - e^{-\frac{a}{v} t} = o$ en voor $t = \infty$ is $e^{-\frac{a}{v} t} = o$, dus $1 - e^{-\frac{a}{v} t} = 1$), geeft aan welk deel van de waarde $f_\infty - f_o$ is bereikt na een tijd t. Om dus de eindwaarde te krijgen moet met $\frac{1}{1 - e^{-\frac{a}{v} t}}$ worden vermenigvuldigd.

Men kan dezen „precisiefactor" ook in procenten uitdrukken, als volgt:

Noem $1 - e^{-\frac{a}{v} t} = y\ \%$

dan is $1 - e^{-\frac{a}{v} t} = \frac{y}{100}$ of $-e^{-\frac{a}{v} t} = \frac{y}{100} - 1$

of $e^{-\frac{a}{v} t} = 1 - \frac{y}{100} = \frac{100 - y}{100}$

$$\text{dus} \quad e^{\frac{a}{v}t} = \frac{100}{100 - y}$$

$$\frac{a}{v}t = \ln \frac{100}{100 - y}$$

$$t = \frac{v}{a} \ln \frac{100}{100 - y}$$

$$\text{of} \quad t = 2.3 \frac{v}{a} \log \frac{100}{100 - y} \tag{4}$$

Daar nu a, v en t bekend zijn en $f_o$ en $f_t$ worden gemeten, kan b berekend worden, rechtstreeks met behulp van (3) of door a $(f_t - f_o)$ te vermenigvuldigen met $\frac{100}{y}$, nadat y berekend is volgens (4). Zooals hierboven is aangetoond zijn beide manieren eigenlijk volkomen dezelfde.

De bepaling van $f_o$ en $f_t$ geschiedt volgens de methode van den drogen en natten thermometer als volgt:

Is t de temperatuur in °C. van den drogen en $t^1$ die van den natten thermometer, dan is

$$e = E^1 - \tfrac{1}{2} (t - t^1) \frac{b}{755}$$

waarin

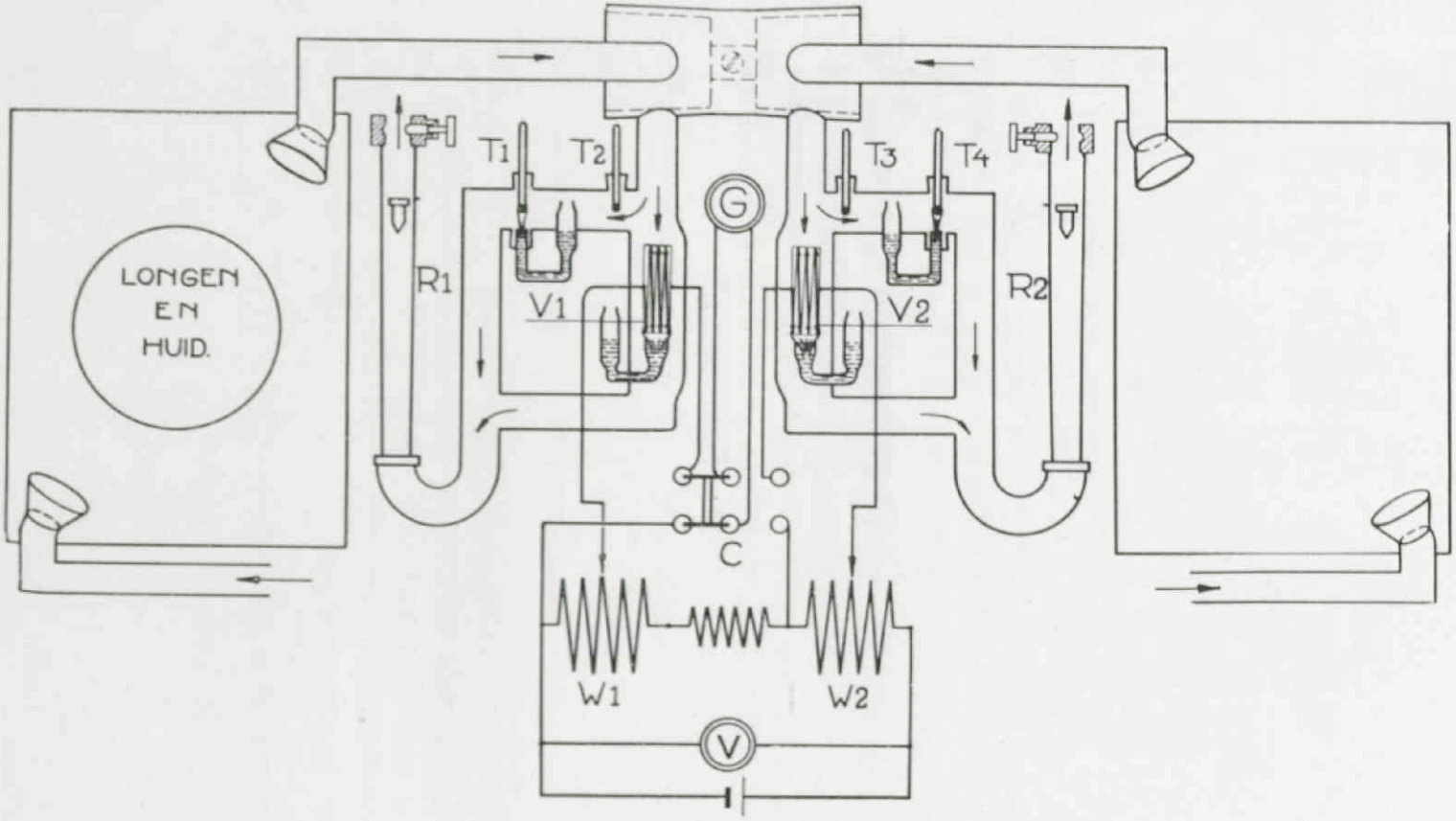
e = gezochte waterdampspanning in m.m. Hg.
$E^1$ = spanning van den verzadigden waterdamp bij $t^1$ °C.
b = barometerstand.

Voor practisch gebruik is de factor $\frac{b}{755}$ gelijk 1 te stellen, zoodat de formule wordt:

$$e = E^1 - \tfrac{1}{2} (t - t^1) \tag{5}$$

Tusschen e en f bestaat de volgende betrekking:

$$f = \frac{1.060}{1 + \alpha t} e \tag{6}$$




FIGUUR 13. SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET SYSTEEM DER VOCHTMETING, WAARBIJ DE LATENTE WARMTE WORDT GECONTROLEERD EN VOOR IEDER DER KAMERTJES AFZONDERLIJK BEREKEND.

$T_2$ en $T_3$ droge thermometers; $T_1$ en $T_4$ natte thermometers; $V_1$ en $V_2$ electrische vochtmeters; C commutator; $W_1$ en $W_2$ rolweerstanden V voltmeter; $R_1$ en $R_2$ rotameters.

Uit (5) en (6) volgt:

$$f = \frac{1.060}{1 + \alpha t} \left\{ E^1 - {}^1/_2 (t - t^1) \right\}$$

of

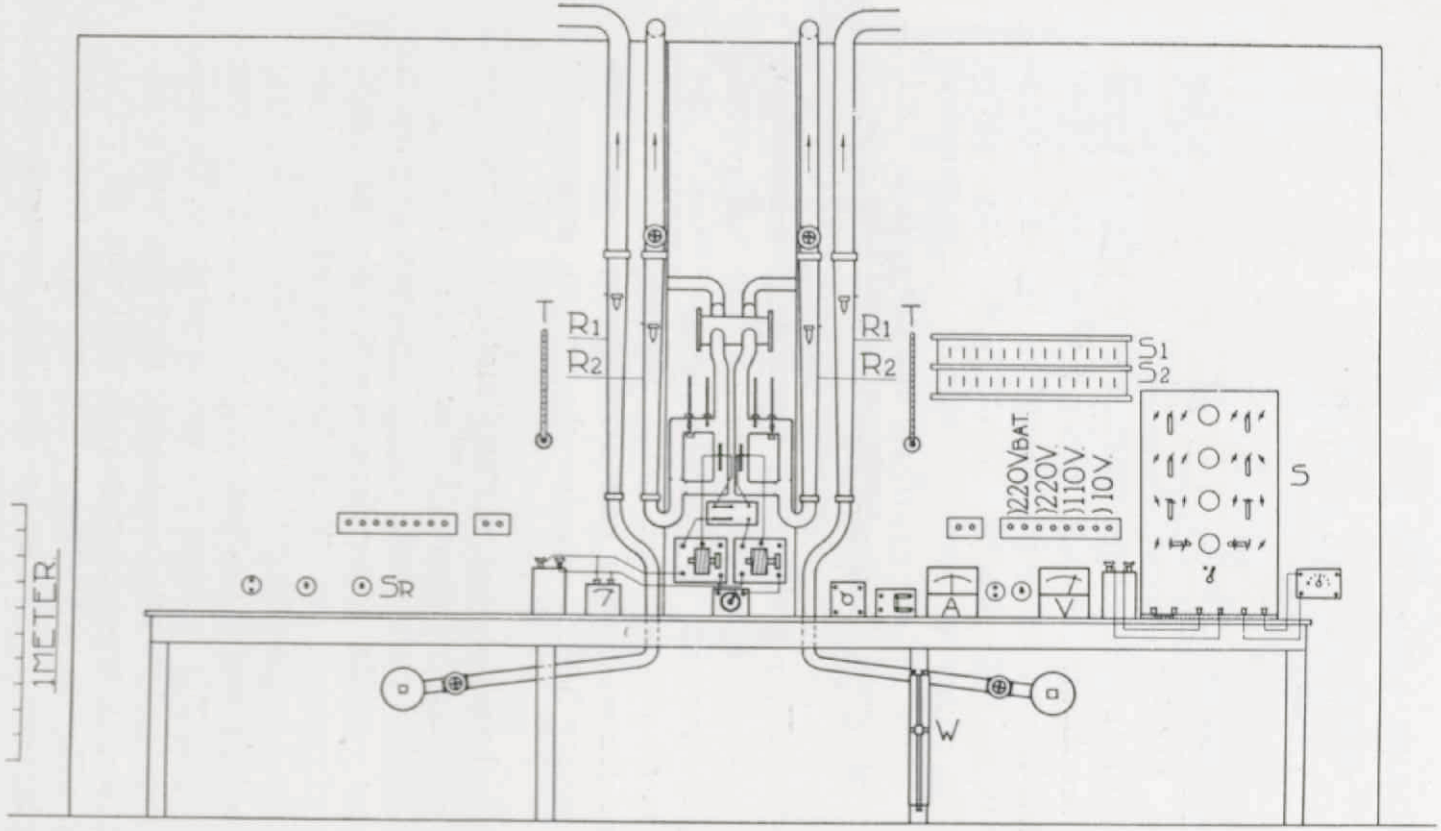
$$f = \frac{289.38}{273 + t} \left\{ E^1 - {}^1/_2 (t - t^1) \right\} \qquad (7)$$

$E^1$ wordt in een tabel gevonden, t en $t^1$ zijn de droge en natte thermometerstanden; deze 3 waarden, bepaald bij het begin van de proef, geven $f_o$; bepaald na een tijd t geven zij $f_t$. De waarden van t, $f_o$ en $f_t$ ingevuld in formule (3) geven de gezochte waarde d.i. het aantal grammen water, dat de proefpersoon per minuut heeft afgegeven gedurende het verblijf in den calorimeter.

In fig. 13 vindt men de opstelling voor de vochtmeting, zooals deze thans in gebruik is, schematisch weergegeven. De luchtstroom uit ieder kamertje verdeelt zich gelijkelijk, en wel zoo, dat de ééne helft van de lucht langs den drogen en den natten thermometer gaat, terwijl de andere helft langs den electrischen hygrometer strijkt.

De vier thermometers worden met behulp van een op een slede verplaatsbaren kijker afgelezen.

Zooals uit het voorgaande blijkt, behoeven we voor de berekening van de hoeveelheid vocht door de proefpersoon afgegeven, slechts de droge en natte thermometers bij het begin en het einde der bepaling af te lezen; de hoeveelheid lucht, die passeert, wordt door de rotameters ($R_1$ en $R_2$) in liters per uur aangegeven. De electrische vochtmeters zijn zoodoende niet absoluut noodzakelijk. Indien we echter het verloop van de vochtkromme willen leeren kennen, kunnen deze electrische hygrometers ons goede diensten bewijzen, aangezien deze een veel grooter gevoeligheid bezitten en veel sneller reageeren dan de thermometers.




FIGUUR 14. SCHEMA VAN DE BEDIENINGSTAFEL VOOR DE REGELING VAN DE VENTILATIE, DE KOELING, DE MENGING EN DE WARMTEAFGIFTE VAN DEN KUNSTMENSCH, ALSMEDE VOOR DE VERGELIJKING VAN DE TEMPERATUUR- EN VOCHTIGHEIDSVERHOUDINGEN.

$R_1$ rotameters in koelsysteem; $R_2$ rotameters in ventilatiesysteem; Sr schakelaar voor de roerinrichting; $S_1$ galvanometerschaal voor de contrôle der temperatuurverhouding; $S_2$ idem voor de contrôle der vochtigheidsverhouding; A en V ampère- en voltmeter ter berekening der warmteafgifte; W schuifweerstand ter regeling der warmteafgifte van den kunstmensch; S schakelbord bolometersysteem; T gevoelige thermometers, die tot het inwendige der kamertjes reiken.

De beide hygrometers zijn afzonderlijk geschakeld. Het potentiaal verschil, dat tusschen de droge en natte thermopunten ontstaat, wordt door middel van een potentiometer en een galvanometer (G) gecompenseerd. De rolweerstand ($W_1$) doet voor den linker hygrometer dienst en de rolweerstand ($W_2$) voor den rechter. Doordat gebruik gemaakt is van een commutator (C) kunnen we den potentiometer en den galvanometer voor de compensatie van beide vochtmeters bezigen.

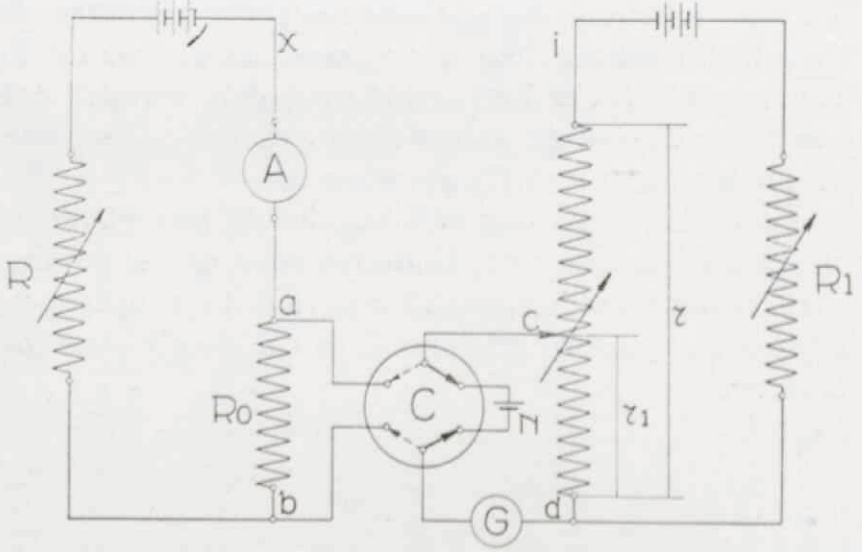
We kunnen uit het aldus verkregen potentiaalverschil onmiddellijk het psychrometrisch verschil afleiden, indien we slechts ons thermo-electrisch systeem ijken. Dit gebeurt feitelijk regelmatig, wanneer we zoo nu en dan voor dezelfde lucht het psychrometrisch verschil aflezen op den drogen en natten thermometer en tegelijkertijd de elecrische waarde opteekenen.

De ervaring heeft ons geleerd, dat de bovenbedoelde betrekking tusschen electrische waarden en het psychrometrisch temperatuurverschil gemeten door middel van thermometers tevens afhankelijk is van de absolute temperatuur.

## HOOFDSTUK III.

### Contrôle van de meetinstrumenten.

Alvorens over te gaan tot het controleeren van den calorimeter, was het noodzakelijk eerst enkele zeer belangrijke onderdeelen hiervan, n.l. de meetinstrumenten, te ijken.




FIGUUR 15. SCHEMA VAN DE OPSTELLING VOOR DE IJKING VAN DE AMPÈREMETERS.

In de eerste plaats kwamen hiervoor in aanmerking de electrische meetinstrumenten — de voltmeter en de ampèremeter — aangezien we bij de berekening der calorische waarden hierop volkomen moeten kunnen vertrouwen. De ijking van deze instrumenten vond plaats in het Physisch Laboratorium te Utrecht. Voor den ampèremeter werd hiertoe gebruik gemaakt van het compensatiebeginsel, waarbij een normaal-element als standaard-voltage wordt gebezigd.

In het kort volgt hier een beschrijving van de gevolgde methodiek (figuur 15).

Ro is een normaal weerstand van bijvoorbeeld 0.1 Ohm (internationale Ohm), A de te ijken ampèremeter, R een regelbare weerstand en x de sterkte van den stroom, die door A gaat. De spanning tusschen a en b wordt Vo genoemd. We mogen dus schrijven: Vo = x Ro.

In den rechter kring loopt een stroom, waarvan de sterkte i bedraagt, die regelbaar is met $R_1$. De spanning tusschen c en d = i $\times$ $r_1$; $r_1$ is een onderdeel van de weerstandsbank r en af te lezen tot in $10^{-5}$ Ohm.

Deze weerstandsbank is zoodanig geconstrueerd, dat de totale weerstand in de rechter keten niet verandert, indien $r_1$ gewijzigd wordt; zoodoende blijft de stroomsterkte i constant.

Schakel het normaal-element N in door middel van den commutator C. De spanning van het normaal-element is nauwkeurig bekend en bedraagt 1.0183 Volt bij 20° C. Maak b.v. $r_1$ = 10.183 Ohm en regel de stroomsterkte in de rechter keten door middel van $R_1$ zoodanig, dat de galvanometer G geen uitslag geeft. Aangezien i $\times$ $r_1$ = 1.0183 Volt en $r_1$ = 10.183 Ohm, weten we dus dat i = 0.1 Amp.

Schakel nu door middel van den commutator de linker keten in en bepaal hoe groot r moet zijn, opdat de galvanometer geen uitslag geeft. Dan is:

Vo = i r Volt  i = 0.1 Amp.  dus Vo = 0.1 $\times$ r Volt.

$$x = \frac{Vo}{Ro} \text{ of } x = \frac{0.1 \times r}{Ro} \text{ Amp.}$$

Ro en r zijn bekend, dus x, de stroomsterkte in de keten, waarin de te ijken ampèremeter is opgenomen, is nauwkeurig bekend. De stand van den ampèremeter wordt genoteerd en daarachter de benoodigde correctie. Door middel van den schuifweerstand R kunnen we nu de stroomsterkte (x) varieeren en zoodoende den am-

pèremeter over zijn geheele meetbereik controleeren. Hiertoe moeten we bij elke nieuwe x op de bovenbeschreven manier r wederom bepalen, en hieruit de stroomsterkte in de linker keten berekenen.

TABEL I.

**IJking van de ampère-meters.**

| Aanwijzing meter N.I.E.A.F. No. 42308 | Aanwijzing meter N.I.E.A.F. No. 42307 | Werkelijke waarde |
|---|---|---|
| | *Schaal 1 op 1.* | |
| 0.104 | 0.101 | 0.10003 |
| 0.202 | 0.201 | 0.20002 |
| 0.301 | 0.300 | 0.30003 |
| 0.403 | 0.400 | 0.40004 |
| 0.504 | 0.500 | 0.50003 |
| 0.603[5] | 0.600 | 0.60003 |
| 0.704[5] | 0.700 | 0.70003 |
| 0.802 | 0.800 | 0.80002 |
| 0.900 | 0.900 | 0.90000 |
| 0.951 | 0.950 | 0.95000 |
| | *Schaal 1 op 2.* | |
| 0.203 | 0.201 | 0.4000 |
| 0.301[5] | 0.300[5] | 0.6000 |
| 0.402 | 0.400 | 0.8000 |
| 0.503 | 0.500 | 1.0000 |
| 0.554 | 0.550 | 1.100 |
| 0.755 | 0.750 | |
| 0.777 | 0.771 | 1.545 |

Op deze wijze werden twee N.I.E.A.F. ampèremeters geijkt. De tweede ampèremeter heeft dienst gedaan bij

de contrôle van den calorimeter met gelijksoortige warmtebronnen. Tabel No. I geeft een overzicht van de aan te brengen correcties.

TABEL II.

**IJking van den voltmeter.**

| Aanwijzing meter N.I.E.A.F. No. 37318 | Werkelijke waarde | Correctie |
|---|---|---|
| | *Schaal 125 Volt.* | |
| 10.0 | 10.0 | 0 |
| 20.0 | 20.0 | 0 |
| 30.0 | 30.0 | 0 |
| 40.0 | 39.6 | — 0.4 |
| 50.0 | 49.6 | — 0.4 |
| 70.0 | 69.5 | — 0.5 |
| 80.0 | 79.5 | — 0.5 |
| 90.0 | 89.5 | — 0.5 |
| 100.0 | 99.7 | — 0.3 |
| 110.0 | 109.4 | — 0.6 |
| 120.0 | 119.1 | — 0.9 |
| | *Schaal 250 Volt.* | |
| 30.0 | 60.0 | 0 |
| 50.0 | 99.6 | — 0.4 |
| 60.0 | 119.6 | — 0.4 |
| 70.0 | 139.0 | — 1.0 |
| 80.0 | 159.6 | — 0.4 |
| 90.0 | 179.8 | — 0.2 |
| 100.0 | 199.8 | — 0.2 |
| 110.0 | 220.0 | 0 |

De voltmeter is geijkt met behulp van een standaard voltmeter van het Physisch Laboratorium (tabel II). Deze

kon niet met de compensatiemethode geijkt worden, omdat de spanningen te hoog waren.

Vervolgens was het van belang om de luchtrotameters, die — zooals in hoofdstuk II is beschreven — een belangrijk onderdeel uitmaken van het koel- en ventilatiesysteem, aan een onderzoek te onderwerpen.

Eerst werden de beide rotameters van het koelsysteem op hun onderlinge gelijkheid beproefd, door ze achter elkaar gekoppeld in een luchtstroom te plaatsen. De hoeveelheid lucht, die per tijdseenheid door de rotameters ging, was regelbaar door middel van een lek. Zoodoende werden de meters over hun geheele debiet vergeleken. Deze zelfde contrôle werd toegepast op de twee rotameters van het ventilatiesysteem. Het bleek dat de rotameters, die betrokken werden van de Rota Werke te Aken, onderling volkomen overeenstemden, zoodat hiervoor geen correctie behoeft te worden ingevoerd.

Ten slotte zij vermeld, dat de vier thermometers, die bij de vochtmeting in gebruik zijn, vergeleken werden met een door de Physikalisch-Technische Reichsanstalt geijkten thermometer.

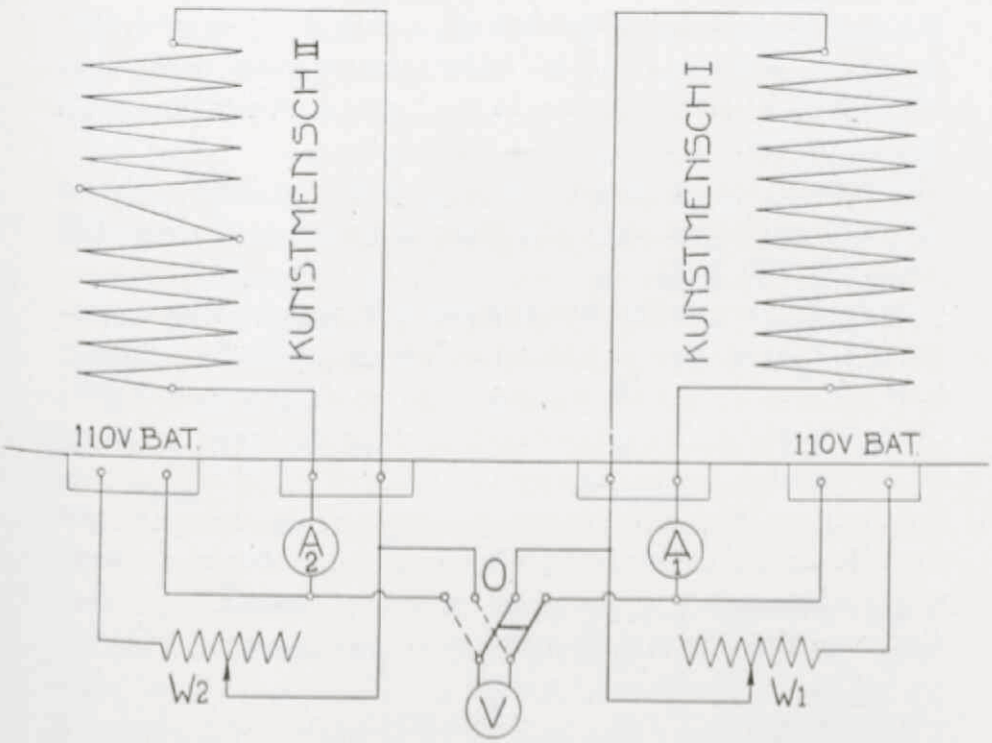
### Contrôle van den calorimeter.

#### A. Gelijksoortige warmtebronnen in beide kamertjes.

Het lag voor de hand om als eerste contrôle de proefpersoon als onbekende warmtebron te vervangen door een bekende warmtebron.

Te dien einde werden op den voor de proefpersoon bestemden brancard twee achter elkaar geschakelde vaste weerstanden van booglampen geplaatst. Na het in bedrijf stellen van den calorimeter werden de beide deuren geopend en de beide kunstmenschen naar binnen geschoven. Op deze wijze bevatten dus de beide kamertjes elk een electrische warmtebron.

De schakeling der electrische warmtebronnen was als volgt:




FIGUUR 16. SCHAKELSCHEMA VAN DE ELECTRISCHE WARMTEBRONNEN TER CONTROLEERING DER AEQUIVALENTE WARMTEMETING.
$A_1$ en $A_2$ ampèremeters; $W_1$ en $W_2$ schuifweerstanden; V voltmeter; O omschakelaar

Door den kunstmensch I werd de stroom (110 Volt) uit de accumulatorenbatterij van het laboratorium geleid. Door middel van den schuifweerstand $W_1$ en den ampèremeter A1 op de bedieningstafel opgesteld, werd de stroomsterkte op 1 Amp. gebracht. Het voltage werd op den voltmeter afgelezen.

Zooals uit fig. 16 blijkt, werd voor den kunstmensch II dezelfde schakeling toegepast. In dezen stroomkring werd de stroomsterkte van den ampèremeter $A_2$ afgelezen. De voltmeter V deed door den omschakelaar O dienst voor beide stroomketens.

Terwijl dus de kunstmensch I een constante hoeveel-

heid warmte afgaf, doordat de stroomsterkte in deze keten op 1 Amp. gehandhaafd bleef, werd met behulp van den schuifweerstand $W_2$ de stroomsterkte in de keten van den kunstmensch II zoodanig geregeld, dat de galvanometer van het bolometersysteem, welke de aequivalentie van warmte in de beide kamers aangeeft, op nul stond.

Hiervoor was volgens aflezing op den voltmeter V en den ampèremeter $A_2$ een stroom benoodigd van 0.78 Amp. bij 100 Volt.

In de keten van den kunstmensch II, waarin de stroomsterkte 1 Amp. was, bedroeg de spanning 78 Volt, eveneens afgelezen op den voltmeter V. In deze waarden zijn duidelijkheidshalve de correcties voor de ampèremeters en den voltmeter ingevoerd.

Schrijven we nu naast elkaar op de hoeveelheid warmte in Calorieën (C), die door ieder der genoemde warmtebronnen per minuut werden ontwikkeld, dan zien we, dat deze volkomen overeenstemmen.

| *Kunstmensch I.* | *Kunstmensch II.* |
|---|---|
| $C = 0.01434 \times A \times V$ | $C = 0.01434 \times A \times V$ |
| $C = 0.01434 \times 1 \times 78$ | $C = 0.01434 \times 0.78 \times 100$ |
| $C = 1.11852$ | $C = 1.11852$ |

Gedurende twee uur werd de proef voortgezet en bleef deze toestand stationnair. Voortdurend schommelde de galvanometer om zijn nulstand.

Bij de aansluitende contrôleproef, waarbij de beide kunstmenschen met de bijbehoorende meetinstrumenten en weerstanden verwisseld werden, werd hetzelfde gunstige resultaat verkregen.

Uit een en ander blijkt, dat onder deze omstandigheden bij een gelijke warmteproductie in de beide kamers, de bolometernetten ook gelijkelijk verwarmd worden en dat dus in de beide kamertjes dezelfde temperatuur heerscht.

De oppervlakte van den gebezigden weerstandsdraad der beide kunstmenschen liep weinig uiteen; zij was van dezelfde orde als de oppervlakte van den mensch.

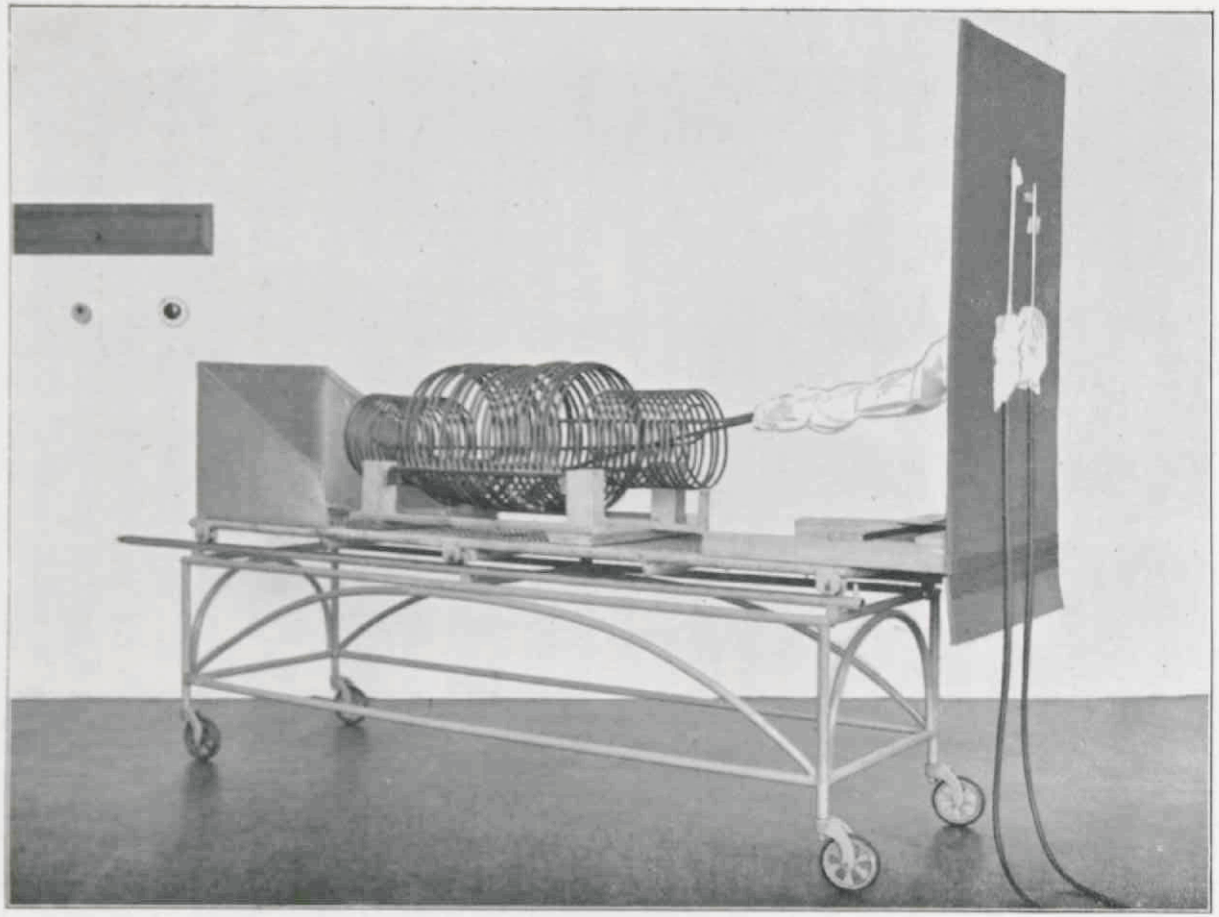
Het leek ons van belang om na te gaan of de grootte van het stralend oppervlak, bij een zelfde warmteproductie, bij deze metingen een belangrijke rol speelt.

Wanneer we door middel van een electrischen stroom in een weerstand een bepaalde hoeveelheid warmte willen ontwikkelen, kunnen we een korten draad met hoogen specifieken weerstand (dus gering oppervlak) nemen, of een langen draad met geringen specifieken weerstand (dus grooter oppervlak), zoodanig dat de totale weerstand van den korten draad kleiner is dan die van den langen. Door nu de stroomsterkte zoo te kiezen, dat het wattage in beide gevallen gelijk is, wordt dus door beide draden eenzelfde hoeveelheid warmte afgegeven.

In het eerste geval is de temperatuur van den draad natuurlijk belangrijk hooger dan in het tweede, want volgens de wet van Stefan-Boltzmann wordt de warmte-afgifte door straling van een voorwerp bepaald door de stralende oppervlakte te vermenigvuldigen met het verschil van de vierde machten van de temperatuur van het stralend voorwerp en van de temperatuur van de omgeving, beide uitgedrukt in absolute temperatuurwaarden.

De proef werd nu zoo ingericht, dat in de ééne kamer op den brancard, die normaliter voor de proefpersoon bestemd is, een korte weerstandsdraad van ± 2½ m. lengte werd uitgespannen, terwijl zich in de andere kamer de normale kunstmensch met den langen weerstandsdraad bevond.

Het bleek, dat indien de beide warmtebronnen volgens berekening met de formule van Joule eenzelfde hoeveelheid warmte produceerden, de bolometernetten in de beide kamers ook gelijkelijk verwarmd werden, dus



FIGUUR 17. OPSTELLING VAN EEN DOOR WARM WATER GEVOEDE WARMTEBRON TER BESTUDEERING DER AEQUIVALENTIE VAN WARMTEAFGIFTE DOOR HETEROGENE WARMTEBRONNEN.

dat ook de temperatuur in de kamertjes practisch onderling gelijk bleef. We mogen hieruit concludeeren, dat de grootte en de temperatuur van het stralende oppervlak, binnen zekere grenzen, practisch geen rol spelen bij den invloed, dien de door ons benutte warmtebronnen op de bolometernetten uitoefenen.

**B. Ongelijksoortige warmtebronnen in beide kamertjes.**

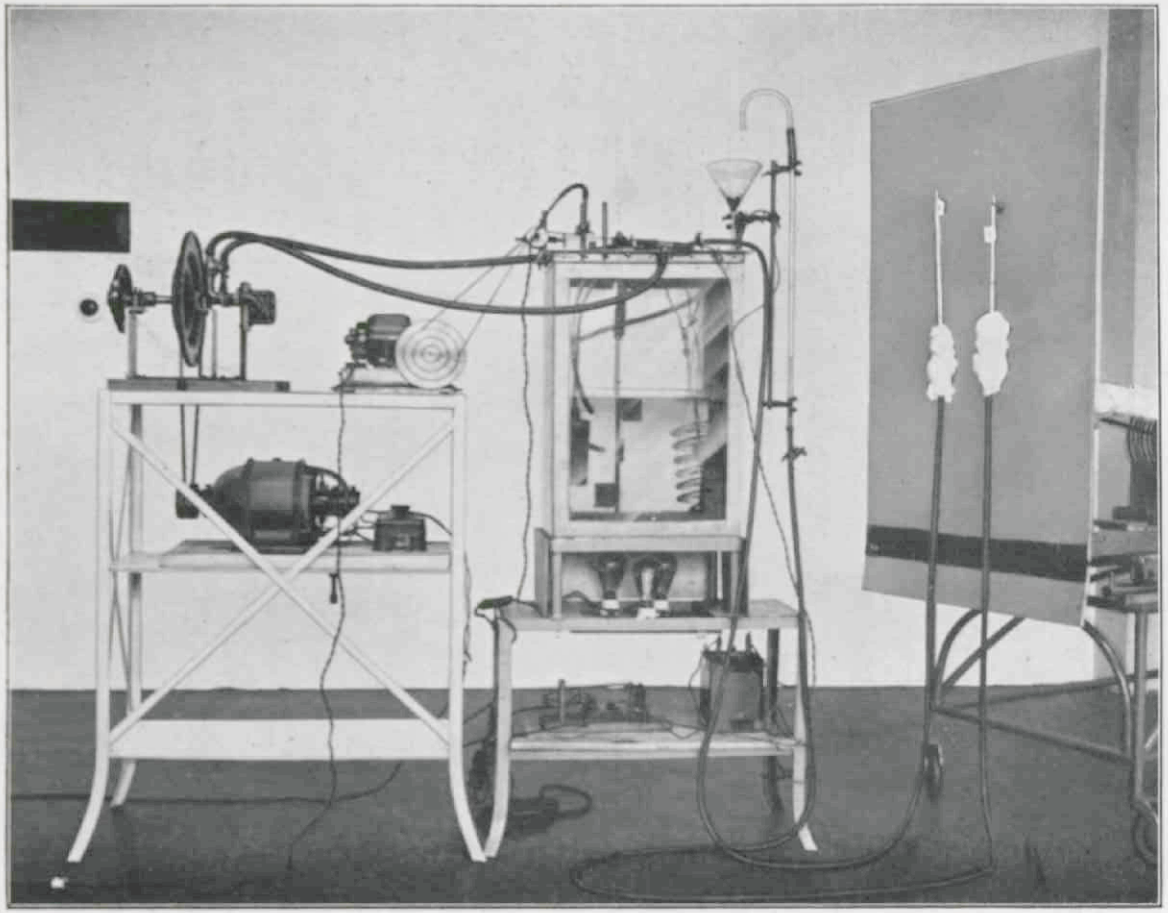
Het was van belang om na deze proeven met gelijksoortige warmtebronnen in de beide kamers, hetzelfde te herhalen met ongelijksoortige. De vraag was nu, welke warmtebron, behalve de electrische, kunnen we een nauwkeurig bekende hoeveelheid warmte laten ontwikkelen. Bij de ijking van den Leuvenschen calorimeter werd hiervoor gebruik gemaakt van een alcoholvlam.

Wij hebben de voorkeur gegeven aan warm water; dit veroorloofde ons een systeem te gebruiken met een betrekkelijk groote massa, waarmede we de normale verhoudingen meer benaderen.

Hiervoor werd de volgende, in fig. 19 schematisch aangegeven, proefopstelling gemaakt.

Op den voor den mensch bestemden brancard werd in een houten standaard een spiraalvormig koperen buizenstelsel geplaatst.

Zooals uit de photo (fig. 17) blijkt, is de doorsnede der windingen van de spiraal in het midden grooter dan aan de beide uiteinden. De buis, waaruit het middenstuk is samengesteld, heeft een grooteren diameter (uitwendig 10 m.m.) dan de buizen voor de uiteinden van de spiraal gebruikt (uitw. 8 m.m.); de totale buislengte bedraagt ruim 45 meter. Door de spiraal aldus te construeeren werd beoogd, den vorm en het oppervlak van het menschelijk lichaam (hoofd-romp-beenen) eenigszins na te bootsen. De oppervlakte ($\pm$ 1.5 m$^2$.) komt overeen met die van een kleinen mensch.



FIGUUR 18. PHOTO DER INRICHTING VOOR WARMTELEVERING EN VOOR METING VAN HET WARMTEVERLIES DER GEBRUIKTE MET WARMWATER GEVOEDE WARMTEBRON.

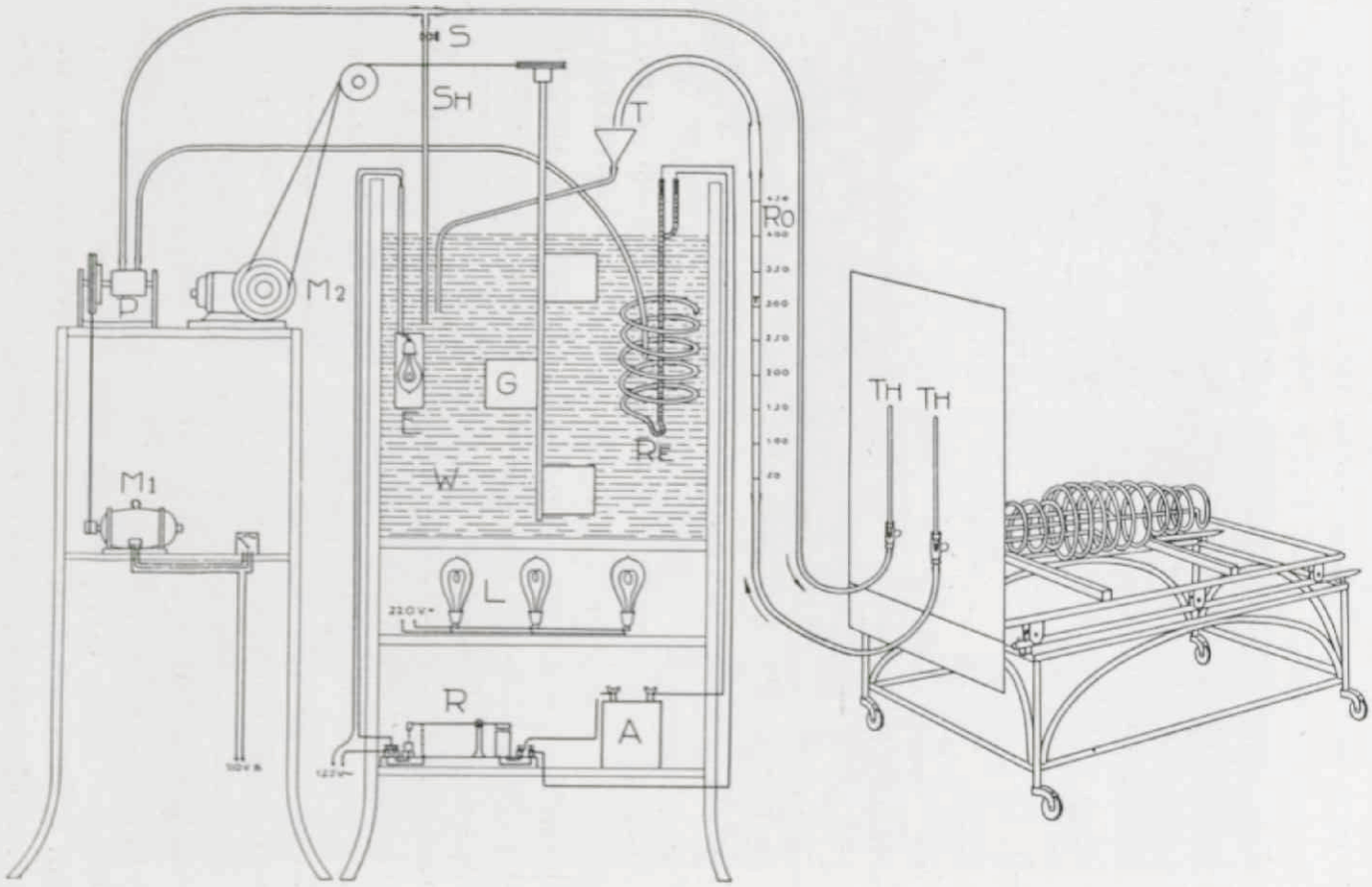
Om een gelijkmatige verdeeling van de warmte te verkrijgen, werd — in nabootsing van het circulatiestelsel bij den mensch — het warme water in het midden van de groote spiraal binnengeleid en hier over de beide helften van de spiraal gelijkelijk verdeeld. De beide uiteinden van de spiraal werden in een gemeenschappelijke afvoerbuis vereenigd.

Aangezien het technisch niet wel mogelijk was om de aan- en afvoerleiding door de dubbelwandige glazen deur te voeren, werden — om het differentiaal principe getrouw te blijven — *beide* glazen deuren tijdelijk door houten (triplex platen) vervangen.

Door het ondereinde van één dezer houten deuren scharnierend te maken, kon deze blijvend aan den brancard bevestigd worden. De opstelling verkreeg hierdoor een grootere stabiliteit en tevens werd het mogelijk de thermometers, die de temperatuur van het in en uit de kamer stroomende water aangeven, zoo dicht mogelijk bij de deur te plaatsen. Om warmteverlies hier ter plaatse tegen te gaan, werden de buizen om de thermometers met watten ingepakt. Ook een gedeelte van de aan- en afvoerbuis in de kamer werd over een afstand, gelijk aan dien van de houten deur in de andere kamer tot den electrischen kunstmensch, met watten geïsoleerd. Zonder deze voorzorg zou, omdat zich op de deuren geen bolometernet bevindt, door de eene deur meer warmte ongemeten kunnen wegvloeien dan door de andere.

Aan de hand van het schema (fig. 19) volgt hier nog in het kort een beschrijving van de verdere opstelling. Ter verduidelijking is ook een photo van deze proefopstelling opgenomen (fig. 18).

Het waterbad (W), gevuld met gedistilleerd water, wordt tijdens een proef voortdurend verwarmd door de drie kooldraadlampen (L). De zich in het bad bevindende toluol-kwik thermoregulator (Re) sluit of verbreekt den stroom van den 4-volts accu (A), die dient




FIGUUR 19. SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN DE OPSTELLING IN FIG. 18.

W waterbad; L 3 kooldraadlampen; Re toluol-kwik thermoregulator; A Accu; R relais; E verwarmingselement; $M_1$ motor; P waterpomp; Ro waterrotameter; T trechter; S. slangklem; Sh shunt; $M_2$ motor; G roerinrichting; Th thermometers in instroomend en uitstroomend water.

voor de voeding van het relais (R). Dit relais regelt het sluiten of verbreken van den wisselstroom (125 Volt), welke geleid wordt door het zich eveneens in het waterbad bevindende verwarmingselement (E), dat naar behoefte een aanvullende hoeveelheid warmte levert.

De door den motor (M1) aangedreven waterpomp (P) pompt het water uit het bad door de spiraal. Het terugstroomende water komt, na passage door den waterrotameter (Ro), die het volume in c.c. per min. aangeeft, via den trechter (T) terug in het bad. Met behulp van de slangklem (S) op den shunt (Sh) kan iedere gewenschte snelheid van doorstrooming verkregen worden. De motor ($M_2$) brengt de roerinrichting (G) in werking.

Het waterbad is op 2 meter afstand midden voor den noordelijken calorimeterwand geplaatst, zoodat de invloed van deze warmtebron op beide kamertjes gelijk is.

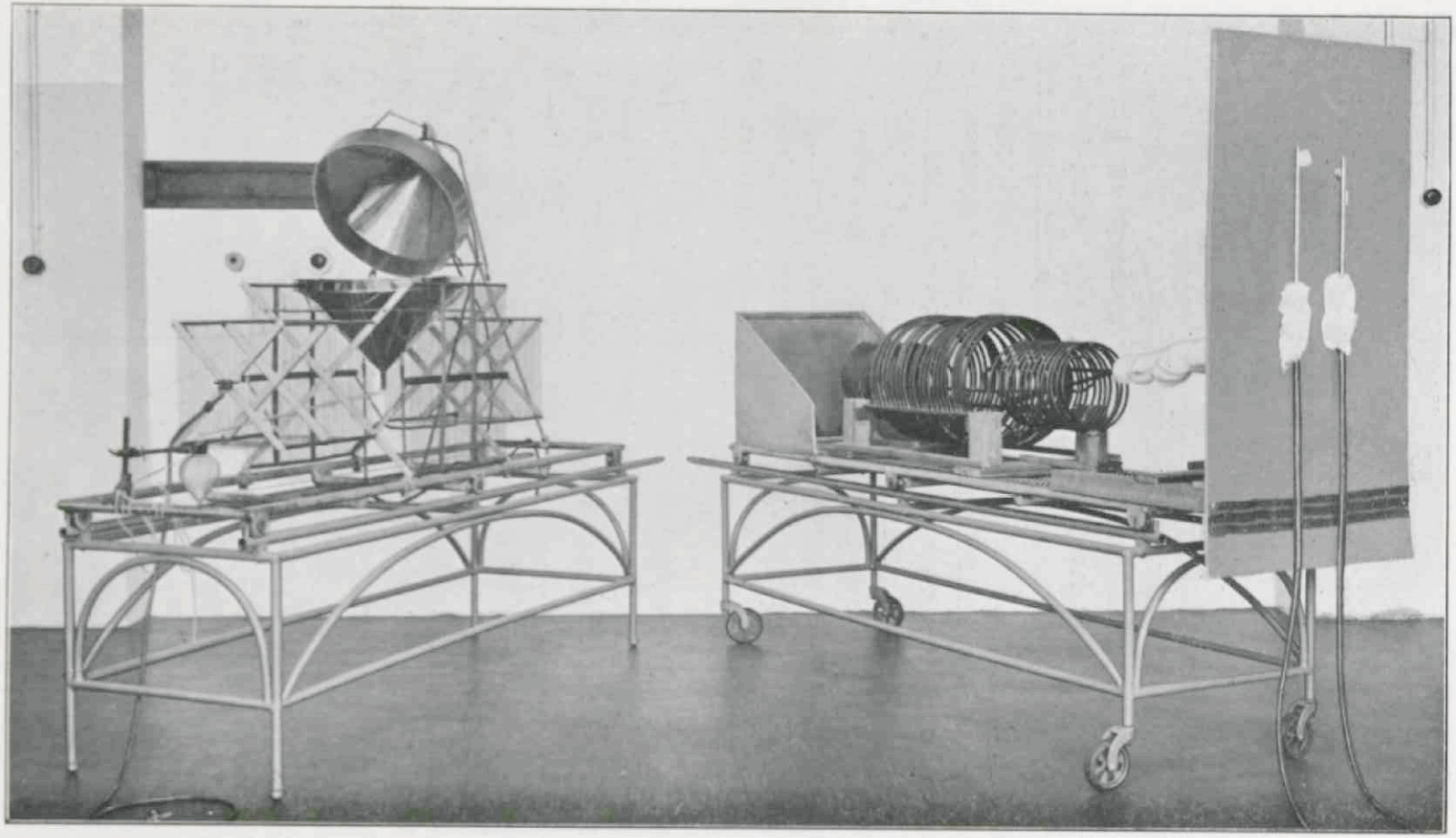
Door middel van twee kijkers worden de thermometers afgelezen.

Bekend zijn dus de hoeveelheid water, die per tijdseenheid door de spiraal stroomt, en het temperatuurverschil van het in- en uitstroomende water; hieruit is de hoeveelheid warmte door de spiraal afgegeven in calorieën te berekenen.

Bij de met dit apparaat verrichte ijkingen werd als volgt te werk gegaan:

De beide brancards (fig. 20) — op den een de electrische kunstmensch, op den ander het waterapparaat — werden symmetrisch terzijde van den calorimeter opgesteld. Nadat het water in het waterbad op temperatuur was gekomen, werd de circulatie in gang gebracht. Tegelijkertijd werd de stroom (110 Volt batterij) voor den kunstmensch ingeschakeld; zijn sterkte werd zoodanig geregeld, dat schattenderwijze de warmteproductie van beide warmtebronnen overeenkwam. Tevens werd de calorimeter in werking gesteld.

Als na ± 30 minuten de temperatuur van het uit-



FIGUUR 20. PHOTO VAN DEN GEBRUIKTEN KUNSTMENSCH EN VAN DE TER CONTRÔLE GEBEZIGDE BUISVORMIGE MET WARM WATER GEVOEDE WARMTEBRON.

stroomende water constant was geworden, werden de glazen deuren geopend en terzijde geschoven, de beide brancards naar binnen gereden en door de triplex deuren der kamertjes afgesloten.

Van dit oogenblik af werd de verwarmingsstroom voor den kunstmensch zoodanig geregeld, dat de galvanometer, die de aequivalentie van warmte in de beide kamers aangeeft, op nul stond. Zoodra de met water verwarmde spiraal in den calorimeter geschoven werd, daalde de temperatuur van het uitstroomende water; de luchtstroomingen, door de draaiende schoepen onder het plafond verwekt, veroorzaakten in het begin een vermeerderde warmteafgifte van de spiraal.

Als na ongeveer 20 minuten de temperatuur van het uitstroomende water weer constant was geworden, werd met het regelmatig noteeren der waarden begonnen.

Door dengene, die den verwarmingsstroom voor den kunstmensch aan de bedieningstafel regelde, werd na afloop van iedere minuut de stand van ampère- en voltmeter opgeschreven.

Door den waarnemer aan de andere zijde van den calorimeter gezeten, werd eveneens om de minuut de stand van de beide thermometers en die van den waterrotameter genoteerd.

Hier volgt thans een protocol van een der ijkingen, die het laatst verricht werden (Tabel III).

Uit deze tabel blijkt, dat wanneer men de waterwaarde 100 % stelt, dat dan de electrische waarde bedraagt $\frac{1.462}{1.476} \times 100\ \% = 99.1\ \%$, dus 0.9 % te weinig.

TABEL III.

**Protocol van de waterijking op 19 September 1931.**

| Tijd | Waterwaarde | | | | | Electr. waarde | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rotameter c.c. water per min. | Temp. ingaand water | Temp. uitgaand water | Temp. verschil | Warmte-afgifte in Cal. p. min. | Amp. | Volt. | Warmte-afgifte in Cal. p. min. |
| 11 45 | 420 | 24.93 | 21.40 | 3.53 | 1.483 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.46 | 420 | 24.93 | 21.41 | 3.52 | 1.478 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.47 | 420 | 24.95 | 21.41 | 3.54 | 1.487 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.48 | 421 | 24.95 | 21.41 | 3.54 | 1.490 | 0.90 | 114 7 | 1.480 |
| 11.49 | 420 | 24.95 | 21.40 | 3.55 | 1.491 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.50 | 420 | 24.95 | 21.40 | 3.55 | 1.491 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.51 | 420 | 24.94 | 21.40 | 3.54 | 1.487 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.52 | 420 | 24.94 | 21.40 | 3.54 | 1.487 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.53 | 420 | 24.93 | 21.40 | 3.53 | 1.483 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.54 | 420 | 24 94 | 21.40 | 3.54 | 1.487 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.55 | 420 | 24.95 | 21.40 | 3.55 | 1.491 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.56 | 424 | 24.95 | 21.41 | 3.54 | 1.501 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.57 | 422 | 24.95 | 21.42 | 3.53 | 1.490 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 11.58 | 422 | 24.95 | 21.43 | 3.52 | 1.485 | 0.90 | 114 7 | 1.480 |
| 11.59 | 421 | 24.95 | 21.44 | 3.51 | 1.478 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 12.00 | 422 | 24.95 | 21.44 | 3.51 | 1.481 | 0.90 | 114.7 | 1.480 |
| 12.01 | 424 | 24.94 | 21.44 | 3.50 | 1.484 | 0.895 | 114.2 | 1.466 |
| 12 02 | 423 | 24.95 | 21.44 | 3.51 | 1.485 | 0.895 | 114.2 | 1.466 |
| 12.03 | 424 | 24 94 | 21.46 | 3.48 | 1.476 | 0.895 | 114.2 | 1.466 |
| 12.04 | 424 | 24.94 | 21.47 | 3.47 | 1.471 | 0.895 | 114.2 | 1.466 |
| 12.05 | 423 | 24.94 | 21.46 | 3 48 | 1.472 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.06 | 424 | 24.94 | 21.44 | 3.50 | 1.484 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.07 | 424 | 24.95 | 21.44 | 3.51 | 1.488 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.08 | 424 | 24.95 | 21.44 | 3.51 | 1.488 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.09 | 423 | 24.96 | 21.47 | 3.49 | 1.476 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12 10 | 425 | 24.96 | 21.48 | 3 48 | 1.479 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.11 | 426 | 24.96 | 21.49 | 3.47 | 1.478 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.12 | 425 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.471 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.13 | 422 | 24.96 | 21.50 | 3 46 | 1.460 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.14 | 422 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.460 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.15 | 421 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.457 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.16 | 421 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.457 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.17 | 424 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.467 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12 18 | 424 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.467 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.19 | 424 | 24.96 | 21.50 | 3,46 | 1.467 | 0.89 | 113.6 | 1.450 |
| 12.20 | 421 | 24.97 | 21 50 | 3.47 | 1.461 | 0.885 | 113.1 | 1.435 |
| 12.21 | 419 | 24.97 | 21.51 | 3.46 | 1.450 | 0.885 | 113.1 | 1.435 |
| 12.22 | 420 | 24.96 | 21.51 | 3.45 | 1.449 | 0.885 | 113.1 | 1.435 |
| 12.23 | 419 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.450 | 0.885 | 113.1 | 1.435 |
| 12.24 | 419 | 24.96 | 21.50 | 3.46 | 1.450 | 0.885 | 113.1 | 1.435 |
| Totaal warmte bedrag gedurende 40 min.. . . . . | | | | | 59.037 | | | 58.469 |
| Per minuut . . . . . | | | | | 1.476 | | | 1.462 |

De ijkingen, met het waterapparaat uitgevoerd, hebben geruimen tijd in beslag genomen. Ze zijn echter van groot nut geweest. Door de vele moeilijkheden, die erbij te overwinnen waren, hebben we geleerd welke veranderingen en verbeteringen er in de methodiek der warmtemeting konden en moesten worden aangebracht. De resultaten van de eerste ijkingsproeven waren dan ook onvoldoende. Eerst geleidelijk aan hebben we, na het aanbrengen der verbeteringen, bepalingen verkregen, die den toets der kritiek konden doorstaan. Hoewel het niet de gunstigste resultaten zijn, die verkregen werden, hebben we, om selectie te vermijden, in tabel IV de waarden vereenigd, die de *laatste* acht ijkingen hebben opgeleverd. Bij de experimenten 60 tot en met 63 bevond het waterapparaat zich in het rechter kamertje, bij de laatste vier proeven werd de geheele opstelling verwisseld, zoodat hierbij het waterapparaat in het linker kamertje geplaatst werd.

TABEL IV.

**Vergelijkend overzicht van ijkingswaarden.**

| Exp. N° | Datum | Waterwaarde in Cal. per min. | Electrische waarde in Cal. per min. | Verschil in Cal. per min. | Verschil in % v d waterwaarde |
|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 28-8-'31 | 1.538 | 1.510 | − 0.028 | − 1.8 % |
| 61 | 2-9-'31 | 1.138 | 1.119 | − 0.019 | − 1.7 % |
| 62 | 3-9-'31 | 1.131 | 1.144 | + 0.013 | + 1.1 % |
| 63 | 4-9-'31 | 1.243 | 1.217 | − 0.026 | − 2.1 % |
| 64 | 10-9-'31 | 1.246 | 1.239 | − 0.007 | − 0.6 % |
| 65 | 11-9-'31 | 1.378 | 1.312 | − 0.066 | − 4.8 % |
| 66 | 18-9-'31 | 1.427 | 1.396 | − 0.031 | − 2.2 % |
| 67 | 19-9-'31 | 1.476 | 1.462 | − 0.014 | − 0.9 % |
| Gemiddeld: | | 1.322 | 1.300 | − 0.022 | − 1.6 % |

We mogen deze uitkomsten bevredigend achten, vooral wanneer we in aanmerking nemen, dat bij het aflezen van minuut tot minuut van twee thermometers en van één rotameter kleine fouten natuurlijk onvermijdelijk zijn. Bovendien zou men redelijkerwijze het kleine tekort, dat de waterwaarde aanwijst ten opzichte van de electrische waarde, terug mogen brengen tot het kleine ongecorrigeerde warmteverlies, dat optreedt bij het voeren van de warmwaterbuizen door de houten afsluitdeur. De conclusie dat ongelijksoortige warmtebronnen de bolometernetten in beide kamertjes nagenoeg gelijkelijk verwarmen, lijkt ons dan ook gewettigd.

## HOOFDSTUK IV.

### Het gebruik van den calorimeter.

In het voorgaande is de constructie van den calorimeter toegelicht; thans moge hier een korte beschrijving volgen van de wijze, waarop bepalingen met den calorimeter verricht worden.

Zooals reeds in hoofdstuk I is vermeld, laten wij voor de bepaling van de grondstofwisseling de personen 36 uur eiwitarm diëet houden; den avond voorafgaande aan den ochtend der bepaling hebben zij hun laatsten maaltijd genuttigd. Naast deze diëet-voorzorgen is het van groot belang, dat de patiënten ten tijde van de bepaling zooveel mogelijk geestelijk en lichamelijk in rust zijn.

De psychische rust van de proefpersonen kunnen we bevorderen door hun even in het kort mede te deelen, hoe het verloop van de bepaling zal zijn. Dat dit zeer gewenscht is, blijkt uit het feit, dat de meeste patiënten zich kennelijk opgelucht gevoelen als ze hooren, dat er niets anders van hen verlangd wordt dan dat ze gedurende eenigen tijd zoo stil mogelijk liggen, en dat er geen enkel gevaar aan de bepaling verbonden is. Verder moet er rust heerschen in het vertrek waar de bepaling plaats vindt, d.w.z. geluiden, die de patiënten kunnen verontrusten, zooals b.v. het hardhandig sluiten van de calorimeter-deuren dienen vermeden te worden. Het monotone gezoem van motoren en pompen achten wij niet nadeelig; het verwekt eerder neiging tot slaap dan onrust.

Wat de lichamelijke rust betreft het volgende: Als regel worden de patiënten, wier grondstofwisseling bepaald moet worden, per ziekenauto naar het laboratorium gebracht. De brancard van deze auto wordt in de lift geschoven en zoo belandt de patiënt op de eerste

verdieping, waar de calorimeterkamer gelegen is. Hier wordt de proefpersoon overgetild op den calorimeterbrancard, waarna deze terzijde van den calorimeter geplaatst wordt. Op die wijze worden actieve bewegingen van den patiënt tot een minimum beperkt.

Zoodra de brancard, waarop zich de proefpersoon bevindt, aan de eene zijde van den calorimeter is geplaatst, wordt de stroom voor den kunstmensch, die symmetrisch aan de andere zijde is opgesteld, ingeschakeld. De sterkte van den stroom wordt zoodanig geregeld, dat naar schatting de warmte-afgifte van den kunstmensch overeenkomt met die van de proefpersoon. Zoodoende zal de invloed van beide warmtebronnen op den calorimeter van den beginne af nagenoeg gelijk zijn.

Aangezien zelfs een transport met een ziekenauto altijd eenige vermoeienis van den patiënt tengevolge heeft, laten we hem minstens een half uur rust houden, alvorens we met de bepaling beginnen. Deze tijd wordt benut om den calorimeter in werking te stellen.

De kamertemperatuur, die zooals in hoofdstuk II is beschreven ongeveer op 20° C. wordt gehouden, wordt opgenomen. De thermometers, die de temperatuur in de calorimeterkamertjes tot in honderdsten van 1° C. aangeven worden afgelezen (T fig. 14). De temperatuur in de calorimeterkamertjes is steeds iets lager dan de kamertemperatuur. Doorgaans verschillen de kamertjes onderling weinig in temperatuur.

Indien er door een foutieve handeling een belangrijk temperatuurverschil tusschen beide kamertjes zou zijn ontstaan, kunnen we, zooals in hoofdstuk II aan het slot van de beschrijving van het koelsysteem is uiteengezet, betrekkelijk gemakkelijk het temperatuurevenwicht tusschen beide kamertjes herstellen door òf koude òf warme lucht door de buizen van het koelsysteem van één der kamertjes te zenden.

De calorimeterdeuren worden gesloten. De nulstand

van den spiegelgalvanometer van het bolometersysteem wordt bepaald, waarna dit stelsel in werking wordt gebracht. Door middel van den ondersten der vier draaiweerstanden, die zich op het verdeelbord van het bolometersysteem bevinden, wordt de galvanometer eventueel op zijn nulstand teruggebracht (fig. 9).

De motoren, die de pompen voor de koellucht, de ventilatielucht en het ijswater aandrijven, worden aangezet; evenzoo de motor, die de roerinrichtingen in de kamertjes in beweging brengt.

Door een blik te werpen op de vier rotameters overtuigen wij ons ervan, dat de hoeveelheid koellucht beiderzijds even groot is en de beide kamertjes gelijkelijk geventileerd worden. Een eventueele ongelijkheid in koeling of ventilatie wordt door het verstellen van de betrokken regelkranen opgeheven. Ieder kamertje wordt met 8000 liter lucht per uur geventileerd, terwijl de hoeveelheid lucht, die door elk koelsysteem gaat, gewoonlijk 15000 liter per uur bedraagt.

Voor de komst van den patiënt is de ijsbak in de koelkast met fijn gehakt ijs en water gevuld. Er moet aan gedacht worden, dat een circulatie van ijswater om den radiator alleen mogelijk is, indien in den ijsbak iets meer water aanwezig is dan de bak om den radiator kan bevatten. Een merkteeken in den ijsbak geeft het hiertoe vereischte niveau van het water aan. De shunt tusschen aan- en afvoerleiding van het koelwater blijft geopend tot het tijdstip, waarop het experiment begint, zoodat voordien lucht van kamertemperatuur door het koelsysteem geperst wordt.

Wanneer de rusttijd van den patiënt verstreken is, worden de beide calorimeterdeuren gelijktijdig geopend, de beide brancards voor de kamertjes geplaatst en daarna de mensch en de kunstmensch tegelijkertijd naar binnen geschoven. Nu wordt de shunt tusschen de aan- en afvoerleiding van het koelwater gesloten.

TABEL V.

**Protocol van een stofwisselingsbepaling.**

| Tijd | Directe warmte | | | Latente warmte | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kamer met mensch | | Kamer met kunstmensch | |
| | Amp. | Volt. | Galv. | Therm. 1 nat | Therm. 2 droog | Therm. 3 droog | Therm. 4 nat |
| 10.57 | | | | 12.85 | 19.40 | 19.48 | 12.95 |
| | | | | Begin der bepaling. | | | |
| 10.58 | 0.60 | 77.0 | | | | | |
| 10.59 | 0.60 | 77.0 | 7 R | 13.05 | 19.40 | 19.48 | 13.00 |
| 11.00 | 0.59 | 75.9 | | 13.16 | 19.48 | 19.54 | 12.98 |
| 11.01 | 0.59 | 75.9 | 0 | | | | |
| 11.02 | 0.59 | 75.9 | | 13.30 | 19.52 | 19.60 | 13.00 |
| 11.03 | 0.60 | 77.0 | 1 L | | | | |
| 11.04 | 0.62 | 79.8 | | 13.40 | 19.55 | 19.60 | 13.00 |
| 11.05 | 0.64 | 82.2 | | | | | |
| 11.06 | 0.66 | 84.8 | 6 L | 13.48 | 19.58 | 19.65 | 13.00 |
| 11.07 | 0.70 | 89.9 | | | | | |
| 11.08 | 0.72 | 92.4 | 3 R | 13.56 | 19.60 | 19.68 | 13.00 |
| 11.09 | 0 70 | 89.9 | | | | | |
| 11.10 | 0.70 | 89.9 | | 13.62 | 19.64 | 19.70 | 13.00 |
| 1.11 | 0.70 | 89.9 | 2 R | | | | |
| 11.12 | 0.70 | 89.9 | 0 | 13.70 | 19.68 | 19.70 | 13.00 |
| 11.13 | 0.70 | 89.9 | ½ R | | | | |
| 11.14 | 0.70 | 89.9 | 0 | 13.76 | 19.70 | 19.72 | 13.00 |
| 11.15 | 0.70 | 89.9 | | | | | |
| 11.16 | 0.70 | 89.9 | | 13.80 | 19.71 | 19.73 | 13.00 |
| 11.17 | 0.70 | 89.9 | 1½ L | | | | |
| 11.18 | 0.71 | 91.1 | | 13.84 | 19.71 | 19.76 | 13.00 |
| 11.19 | 0.72 | 92.4 | | | | | |
| 11.20 | 0.72 | 92.4 | | 13.86 | 19.71 | 19.76 | 13.00 |
| 11.21 | 0.72 | 92.4 | ½ R | | | | |
| 11.22 | 0.72 | 92.4 | 0 | 13.90 | 19.71 | 19.77 | 13.00 |
| 11.23 | 0.72 | 92.4 | 0 | | | | |
| 11.24 | 0.72 | 92.4 | 1 R | 13.92 | 19.72 | 19.80 | 13.00 |
| 11.25 | 0.72 | 92.4 | 0 | | | | |
| 11.26 | 0.72 | 92.4 | | 13.95 | 19.73 | 19.80 | 13.00 |
| 11.27 | 0.72 | 92.4 | 1 L | | | | |
| 11.28 | 0.72 | 92.4 | 0 | 13.97 | 19.73 | 19.80 | 13.00 |
| 11.29 | 0.72 | 92.4 | ½ R | | | | |
| 11.30 | 0.72 | 92.4 | 0 | 13.98 | 19.73 | 19.80 | 13.00 |

Vanaf het oogenblik dat de calorimeterdeuren gesloten zijn, wordt de hoeveelheid warmte, die de kunstmensch afgeeft zoodanig geregeld, dat de galvanometer, die de aequivalentie van warmte in beide kamertjes aangeeft, zooveel mogelijk op nul staat. De stand van den ampère- en voltmeter wordt van minuut tot minuut genoteerd. Meestal wordt na verloop van 20—25 minuten een stationnaire toestand bereikt, hetgeen blijkt uit het feit, dat de galvanometer om zijn nulstand blijft schommelen, zonder dat de warmteproductie van den kunstmensch gewijzigd behoeft te worden. Wanneer deze toestand ruim 5 minuten heeft bestaan, wordt de bepaling geëindigd. Bij de berekening van de calorische waarde wordt het ampèrage en voltage, zooals die gedurende de laatste vijf minuten waren, gebezigd.

Indien we naast de hoeveelheid directe warmte tevens de hoeveelheid latente warmte willen bepalen, moeten we voor het begin en het einde der bepaling den stand van de vier thermometers aflezen. Hoewel we voor de berekening van de totale vochtafgifte aan deze 8 temperatuurwaarden genoeg hebben, worden tusschentijds toch nog meerdere aflezingen gedaan, om een inzicht te krijgen omtrent het verloop van den vochtigheidsgraad van de lucht in de beide kamertjes. Als voorbeeld geeft tabel V het protocol van een bepaling.

De berekening wordt nu als volgt:

*Directe warmte:*

De sterkte van den verwarmingsstroom is 0.72 Amp., de spanning, na invoering van de correctie (—0.4 Volt) voor den voltmeter 92.0 Volt. Volgens de formule van J o u l e bedraagt de warmteproductie dus

$$\begin{aligned} \text{Cal. per min.} &= 0.000239 \times A \times V \times 60 \\ &= 0.01434 \times 0.72 \times 92 \\ &= 0.9499 \end{aligned}$$

*Latente warmte*:

De in het protocol aangegeven waarden der droge en natte thermometers stellen ons in staat de absolute vochtigheid van de lucht in grammen water per kubieken meter lucht te berekenen.

Wij maken hiertoe gebruik van de in hoofdstuk II beschreven formule:

$$f = \frac{289.38}{273 + t}\left\{E^1 - {}^1/_2\,(t - t^1)\right\} \qquad (7)$$

$E^1$ is de spanning van den verzadigden waterdamp bij $t^1$ °C en wordt in een tabel gevonden. Eerst berekenen we de absolute vochtigheid van de lucht in beide kamers voor het begin der bepaling ($fo_I$ en $fo_{II}$).

Stand van de thermometers voor het begin der bepaling met toegepaste correctie:

| | Therm. 1 | Therm. 2 | Therm. 3 | Therm. 4 |
|---|---|---|---|---|
| | 12.85 | 19.40 | 19.48 | 12.95 |
| corr. | — 0.02 | + 0.03 | + 0.01 | — 0.03 |
| | 12.83 | 19.43 | 19.49 | 12.92 |

$$fo_I = \frac{289.38}{292.43}\left\{11.111 - {}^1/_2\,(19.43 - 12.83)\right\}$$

$$fo_{II} = \frac{289.38}{292.49}\left\{11.174 - {}^1/_2\,(19.49 - 12.92)\right\}$$

$fo_I = 7.7295$ gr./m³ $\qquad fo_{II} = 7.8049$ gr./m³

Vervolgens wordt berekend de absolute vochtigheid van de lucht in beide kamers aan het einde der bepaling ($ft_I$ en $ft_{II}$).

Stand van de thermometers bij het einde van de bepaling:

| | Therm. 1 | Therm. 2 | Therm. 3 | Therm. 4 |
|---|---|---|---|---|
| | 13.98 | 19.73 | 19.80 | 13.00 |
| corr. | — 0.01 | + 0.02 | + 0.01 | — 0.03 |
| | 13.97 | 19.75 | 19.81 | 12.97 |

$$ft_I = \frac{289.38}{292.75}\left\{11.966 - {}^1/_2\,(19.75 - 13.97)\right\}$$

$$ft_{II} = \frac{289.38}{292\,81}\left\{11.209 - {}^1/_2\,(19.81 - 12.97)\right\}$$

$ft_I = 8.9714$ gr /m³ $\qquad ft_{II} = 7.6977$ gr./m³

We zien hieruit, dat de lucht in de kamer, waarin zich de mensch bevond, $8.9714 - 7.7295 = 1.2419$ gr/m³. vochtiger geworden is.

De lucht in de kamer met den kunstmensch is $7.8049 - 7.6977 = 0.1072$ gr/m³. droger geworden.

In totaal is dus de lucht in de kamer met den mensch gedurende de 32 min., die de proef duurde, $1.2419 + 0.1072 = 1.3491$ gr/m³. vochtiger geworden.

We kunnen dus nu schrijven:

$$f_{32} - f_0 = 1.3491 \text{ gr/m}^3.$$

Volgens de beschrijving op blz. 45 vinden we nu de totale hoeveelheid vocht per minuut door de proefpersoon afgegeven uit:

$$V = a\,(f_{32} - f_0) \times \frac{100}{y}$$

Gedurende de proef werd doorstroomd met 8 m³. lucht per uur, dus is a in bovenstaande formule $\frac{8}{60}$ ; ons rest nu nog de factor $\frac{100}{y}$ te bepalen met behulp van formule (4):

$$t = 2.3\,\frac{v}{a}\log\frac{100}{100 - y}$$

Hierin is t nu 32; V stelt voor het vrije kamervolume, d.w.z. den inhoud van de kamer verminderd met het volume van de proefpersoon enz. Dit vrije volume hebben we bepaald op 7.68 m³.

Wanneer we de bekenden in formule (4) invullen krijgen we

$$32 = 2.3 \times \frac{7.68}{\frac{8}{60}} \log \frac{100}{100 - y}$$

of

$$\log \frac{100}{100 - y} = \frac{32}{2.3 \times \frac{7.68}{\frac{8}{60}}}$$

$$\log \frac{100}{100 - y} = 0.24155$$

dus

$$\frac{100}{100 - y} = 1.744$$

en

$$\frac{100}{y} = 2.344$$

Het is duidelijk, dat deze waarde voor eenzelfde proefduur slechts eenmaal berekend behoeft te worden.

Van de formule $V = a\,(f_{32} - f_0) \times \frac{100}{y}$ die de totale hoeveelheid vocht per minuut afgegeven weergeeft, zijn nu alle factoren bekend.

We vinden dus:

$$V = \frac{8}{60} \times 1.3491 \times 2.344 \text{ gr.}$$

$$V = 0.4216 \text{ gr.}$$

Uit de formule van Smith is het aantal calorieën bekend, dat voor de verdamping van 1 gram water bij een temperatuur t benoodigd is.

$$L_t = 0.5972 - (0.00058 \times t) \text{ Cal.}$$

De kamertemperatuur tijdens de proef was 19.75° C, derhalve:

$$L_{19.75} = 0.5972 - (0.00058 \times 19.75) \text{ Cal.}$$

$$L_{19.75} = 0.5857 \text{ Cal.}$$

Voor de verdamping van 0.4216 gram water per minuut is dus benoodigd:

$$0.4216 \times 0.5857 = 0.2469 \text{ Cal.}$$

| | |
|---|---|
| Directe warmte | 0.9499 Cal/min. |
| Latente warmte | 0.2469 Cal/min. |
| Totale warmteafgifte | 1.1968 Cal/min. |

De proefpersoon, waarop deze bepaling betrekking heeft, was van het mannelijk geslacht, 22 jaar en 11 maanden oud, woog 65.1 K.G. en was 1.75 meter lang. Volgens de tabellen van Harris en Benedict is zijn normaalwaarde 1.1688 Cal/min., zoodat wij de grondstofwisseling 2.4 % verhoogd bevinden.

## HOOFDSTUK V.

### Enkele toepassingen.

De voornaamste toepassing, die de calorimeter tot nu gevonden heeft, betreft wel de bepaling der grondstofwisseling van een aantal normale personen en patienten, waarbij de verkregen uitkomsten vergeleken werden met de waarden, die een geheel andere methode, n.l. een gasanalytische, opleverde. We maakten hiertoe gebruik van de gaskamer van Noyons.

Wat de normale proefpersonen aangaat, zij hier vermeld, dat een aantal medische studenten zoo bereidwillig was, zich voor deze stofwisselingsproeven beschikbaar te stellen. De bepalingen werden zoodanig ingericht, dat op één ochtend driemaal de grondstofwisseling van dezelfde persoon bepaald werd, en wel eerst calorimetrisch, dan gasanalytisch en tenslotte nogmaals calorimetrisch.

De duur van iedere calorimetrische bepaling bedroeg ± 30 min., die der gasanalytische 60 min. De voorzorgen, die wij gewend zijn te nemen aangaande het diëet en de rust van de proefpersoon, zijn in hoofdstuk IV beschreven. Ter bekorting van den proefduur werd bij de calorimetrische bepalingen alleen de hoeveelheid directe warmte bepaald, voor de latente warmte werd 25 % van het totale calorieënbedrag in rekening gebracht. Als standaardwaarden werden de waarden van Harris en Benedict gebezigd. Tabel VI geeft een overzicht van de uitkomsten verkregen bij normale proefpersonen.

Deze tabel geeft tot enkele opmerkingen aanleiding. Allereerst valt het op, dat de waarden van de tweede calorimetrische bepaling in het meerendeel der gevallen lager zijn dan die van de eerste calorimetrische bepa-

ling. Dit zal voornamelijk een gevolg zijn van het feit, dat de proefpersonen door vermeerderde rust een lagere stofwisseling verkregen hebben. Men verlieze bij de waardeering der verkregen resultaten niet uit het oog, dat deze proefpersonen op eigen gelegenheid, per tram of per rijwiel naar het laboratorium kwamen, waardoor het niveau van hun stofwisseling misschien niet even laag kwam te liggen als dat, wat wij steeds nastreefden bij de patienten. Bovendien zijn de proefpersonen bij de tweede bepaling meer aan de omgeving gewend, hetgeen ook zeker van invloed geacht moet worden. Ter vergelijking met de uitkomsten der gasanalytische methode hebben we de gemiddelde waarden van de eerste en tweede calorimetrische bepaling genomen. Het blijkt, dat we bij het middelen van de gasanalytische waarden een verlaging van 0.9 % ten opzichte van de normaal waarden van Benedict verkrijgen, terwijl hetzelfde gedaan voor alle calorimetrische bepalingen een gemiddelde verlaging van 2.1 % oplevert, alzoo een verschil van 1.2 %.

Men zou zich kunnen afvragen, of de ietwat kleinere waarden, die wij bij onze gasanalytische en calorimetrische bepalingen over het algemeen boekten, in vergelijking met de standaardwaarden door Harris en Benedict aangegeven, niet terug te voeren zijn tot de omstandigheid, dat de genoemde Amerikaansche onderzoekers bij het vaststellen hunner standaardwaarden hebben gebruik gemaakt van methoden, waarbij geen rekening werd gehouden met de gaswisseling door de huid. Stofwisselingsbepalingen waarbij hiermede wel rekening wordt gehouden wijzen toch waarden aan, die 1 à 2 % hooger liggen.

In experiment no. 174 werd maar één calorimetrische bepaling verricht. Hoewel in experiment no. 116 twee calorimetrische bepalingen gedaan werden, is in deze tabel alleen de 2e bepaling vermeld, omdat de proef-

TABEL VI. Vergelijkende stofwisselings-waarden bij normale personen.

| No. | Datum | Naam | Geslacht | Leeftijd in jaren | Lengte in c.m. | Gewicht in K.G. | Normaal waarde Harris-Benedict | Gasanalytische bepaling | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | in Cal. per min. | Procentueele verhooging of verlaging |
| 96 | 2-XI-'31 | H. P. B. | ♀ | $19\frac{9}{12}$ | 162 | 66.8 | 1.0438 | 1.2665 | + 21.4% |
| 97 | 4-XI-'31 | P. F. X. T. | ♂ | $26\frac{9}{12}$ | $171\frac{1}{2}$ | 67.0 | 1.1550 | 1.0860 | — 6.0% |
| 99 | 9-XI-'31 | W. G. K. | ♂ | $20\frac{7}{12}$ | 178 | 69.5 | 1.2333 | 1.1400 | — 7.3% |
| 101 | 12-XI-'31 | W. B. | ♂ | 21 | 190 | 79.3 | 1.3650 | 1.2514 | — 8.4% |
| 102 | 13-XI-'31 | H. B. | ♂ | $25\frac{5}{12}$ | 184 | 70.0 | 1.2486 | 1.2366 | — 1.0% |
| 103 | 14-XI-'31 | H. O. v. d. Z. | ♂ | 19 | 192 | 90.0 | 1.4769 | 1.4103 | — 4.5% |
| 105 | 18-XI-'31 | M. A. K. | ♂ | $21\frac{11}{12}$ | 180 | 64.5 | 1.1840 | 1.0623 | — 10.3% |
| 108 | 24-XI-'31 | H. S. | ♂ | $20\frac{6}{12}$ | $177\frac{1}{2}$ | 68.3 | 1.2188 | 1.2597 | + 3.4% |
| 110 | 30-XI-'31 | A. W. G. | ♂ | $22\frac{5}{12}$ | 175 | 65.9 | 1.1784 | 1.1339 | — 3.8% |
| 112 | 3-XII-'31 | M. W. T. | ♀ | 20 | 161 | 50.4 | 0.9306 | 0.9369 | + 0.7% |
| 113 | 4-XII-'31 | G. S. v. d. W. | ♂ | 22 | 174 | 64.3 | 1.1618 | 1.2236 | + 5.3% |
| 116 | 9-XII-'31 | P. C. P. | ♂ | $22\frac{4}{12}$ | $176\frac{1}{2}$ | 72.6 | 1.2483 | 1.1940 | — 4.3% |
| 118 | 11-XII-'31 | D. B. | ♂ | $23\frac{3}{12}$ | 190 | 72.5 | 1.2892 | 1.2827 | — 0.5% |
| 119 | 12-XII-'31 | J. A. v. B. | ♂ | $21\frac{6}{12}$ | 181 | 69.0 | 1.2326 | 1.0755 | — 12.8% |
| 120 | 14-XII-'31 | E. O. K. v. H. | ♂ | $20\frac{3}{12}$ | $175\frac{1}{2}$ | 60.0 | 1.1340 | 1.1578 | + 2.1% |
| 174 | 9-XII-'32 | W. S. | ♂ | $22\frac{11}{12}$ | 175 | 65.1 | 1.1688 | 1.2999 | + 11.2% |
| Gemiddelde procentueele afwijking van de waarden van Harris-Benedict | | | | | | | | | — 0.9% |

| I. 1ste Calorimetrische bepaling | | | II. 2de Calorimetrische bepaling | | | Gemiddelde van I en II (totale waarde) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| zonder latente warmte | + 25% voor latente warmte | Procentueele verhooging of verlaging | zonder latente warmte | + 25% voor latente warmte | Procentueele verhooging of verlaging | in Cal. per min. | Procentueele verhooging of verlaging |
| 1.0211 | 1.3615 | + 30.4% | 0.9498 | 1.2664 | + 21.3% | 1.3140 | + 25.9% |
| 0.8879 | 1.1839 | + 2.5% | 0.8127 | 1.0836 | — 6.2% | 1.1338 | — 1.8% |
| 0.9289 | 1.2386 | + 0.4% | 0.8587 | 1.1449 | — 7.2% | 1.1918 | — 3.4% |
| 0.9829 | 1.3106 | — 4.1% | 0.9060 | 1.2080 | — 11.5% | 1.2593 | — 7.8% |
| 0.9060 | 1.2080 | — 3.2% | 0.8456 | 1.1275 | — 9.7% | 1.1678 | — 6.5% |
| 1.0044 | 1.3393 | — 9.3% | 0.9569 | 1.2759 | — 13.6% | 1.3076 | — 11.5% |
| 0.8043 | 1.0724 | — 9.4% | 0.7391 | 0.9854 | — 16.8% | 1.0289 | — 13.1% |
| 0.9360 | 1.2480 | + 2.4% | 0.9522 | 1.2696 | + 4.1% | 1.2588 | + 3.3% |
| 0.8434 | 1.1245 | — 4.6% | 0.8248 | 1.0998 | — 6.7% | 1.1122 | — 5.7% |
| 0.7176 | 0.9568 | + 2.8% | 0.6776 | 0.9034 | — 2.9% | 0.9301 | — 0.1% |
| 0.8891 | 1.1854 | + 2.0% | 0.8891 | 1.1854 | + 2.0% | 1.1854 | + 2.0% |
| — | — | — | 0.8914 | 1.1885 | — 4.8% | 1.1885 | — 4.8% |
| 0.8456 | 1.1275 | — 12.5% | 0.8746 | 1.1661 | — 9.5% | 1.1468 | — 11.0% |
| 0.9099 | 1.2132 | — 1.6% | 0.8219 | 1.0959 | — 11.1% | 1.1546 | — 6.4% |
| 0.8590 | 1.1453 | + 1.0% | 0.8215 | 1.0953 | — 3.4% | 1.1203 | — 1.2% |
| — | — | — | 0.9499 | 1.2665 | + 8.4% | 0.9499 | + 8.4% |
| Gemiddelde procentueele afwijking van de waarden van Harris-Benedict | | | | | | | — 2.1% |

TABEL VII. Vergelijkende stofwisselingswaarden bij patienten.

| No. | DATUM | NAAM | Geslacht | Leeftijd in jaren | Lengte in c.m. | Gewicht in K.G. | Normaal waarde Harris-Benedict | Gasanalitische bepaling | | Calorimetrische bepaling | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Cal. per min. | Procentueele verhooging of verlaging | Zonder latente warmte | + 25 °/₀ voor latente warmte | Procentueele verhooging of verlaging |
| 100 | 11-XI-'31 | T. H. | ♂ | 53 | 177 | 81.0 | 1.1854 | 1.5345 | + **29.4**°/₀ | 1.1280 | 1.5040 | + **26.9**°/₀ |
| 107 | 21-XI-'31 | S. | ♀ | 32 | 168 | 78.5 | 1.0882 | 1.2435 | + **14.3**°/₀ | 0.8902 | 1.1870 | + **9.1**°/₀ |
| 109 | 27-XI-'31 | D.-G. | ♀ | $30\frac{8}{12}$ | $168\frac{1}{2}$ | 73.5 | 1.0597 | 1.2677 | + **19.6**°/₀ | 0.9106 | 1.2142 | + **14.6**°/₀ |
| 129 | 24-XII-'31 | M. L. | ♀ | 23 | $155\frac{1}{2}$ | 58.7 | 0.9694 | 0.9523 | — **1.2**°/₀ | 0.7268 | 0.9691 | **0.0**°/₀ |
| 130 | 11-I-'32 | J. M. H. | ♂ | $15\frac{9}{12}$ | 181 | 65.0 | 1.2219 | 1.2381 | + **1.3**°/₀ | 0.8984 | 1.1979 | — **2.0**°/₀ |
| 132 | 22-I-'32 | F. H. | ♀ | $20\frac{8}{12}$ | $179\frac{1}{2}$ | 52.7 | 0.9688 | 1.3697 | + **41.4**°/₀ | 0.9488 | 1.2651 | + **30.6**°/₀ |
| 137 | 8-II-'32 | N. V. | ♀ | $16\frac{7}{12}$ | 170 | 54.3 | 0.8220 | 1.0794 | + **31.3**°/₀ | 0.7988 | 1.0651 | + **29.6**°/₀ |
| 141 | 19-II-'32 | R. S. | ♂ | $13\frac{8}{12}$ | 171 | 90.5 | 1.4404 | 1.3067 | — **9.3**°/₀ | 1.0898 | 1.4531 | + **0.9**°/₀ |
| 142 | 20-II-'32 | E. K. | ♀ | $26\frac{10}{12}$ | 159 | 64.3 | 0.9993 | 1.0138 | + **1.4**°/₀ | 0.7708 | 1.0278 | + **2.9**°/₀ |
| 144 | 23-II-'32 | V. | ♀ | 29 | 170 | 59.6 | 0.9750 | 1.1188 | + **14.7**°/₀ | 0.8205 | 1.0940 | + **12.2**°/₀ |
| *145* | *26-II-'32* | *N.* | ♀ | $43\frac{7}{12}$ | *175* | *74.0* | *1.0299* | *0.9683* | — **6.0**°/₀ | *0.7843* | *1.0457* | + **1.5**°/₀ |
| 147 | 1-III-'32 | P.-S. | ♀ | $37\frac{3}{12}$ | 164 | 76.5 | 1.0528 | 1.4279 | + **35.6**°/₀ | 1.0293 | 1.3723 | + **30.3**°/₀ |
| 148 | 11-III-'32 | W. K. | ♀ | 22 | 172 | 60.0 | 1.0028 | 0.8353 | — **17.6**°/₀ | 0.7015 | 0.9353 | — **6.7**°/₀ |
| 150 | 23-III-'32 | D. R. | ♀ | $23\frac{5}{12}$ | 165 | 51.3 | 0.9319 | 1.7012 | + **82.5**°/₀ | 1.2045 | 1.6060 | + **72.3**°/₀ |
| 151 | 24-III-'32 | S. | ♀ | 36 | 168 | 63.4 | 0.9743 | 1.1425 | + **17.2**°/₀ | 0.8205 | 1.0940 | + **12.3**°/₀ |
| 152 | 8-IV-'32 | J. H. B. | ♂ | 45 | 175 | 75.4 | 1.1632 | 1.5144 | + **30.2**°/₀ | 1.0865 | 1.4487 | + **24.5**°/₀ |
| 153 | 13-IV-'32 | d. B.-t. H. | ♀ | $33\frac{3}{12}$ | 165 | 50.5 | 0.8944 | 1.1184 | + **25.0**°/₀ | 0.8068 | 1.0757 | + **20.3**°/₀ |
| 158 | 29-IV-'32 | J. v. V. | ♂ | $31\frac{5}{12}$ | 164 | 61.6 | 1.0570 | 1.3283 | + **25.7**°/₀ | 0.9224 | 1.2299 | + **16.4**°/₀ |
| 159 | 9-V-'32 | E. 't V. | ♂ | 13 | 162 | 45.6 | 0.9835 | 1.0809 | + **9.9**°/₀ | 0.8205 | 1.0940 | + **11.2**°/₀ |
| 160 | 11-V-'32 | G. v. d. V. | ♂ | $39\frac{0}{12}$ | 171 | 65.3 | 1.0750 | 1.1637 | + **8.3**°/₀ | 0.8585 | 1.1447 | + **6.5**°/₀ |
| 163 | 18-V-'32 | J. O. | ♀ | $21\frac{1}{12}$ | 158 | 63.7 | 1.0125 | 0.9758 | — **3.6**°/₀ | 0.7969 | 1.0625 | + **4.9**°/₀ |
| 164 | 20-V-'32 | J. S. | ♂ | $33\frac{1}{12}$ | 187 | 104.3 | 1.5375 | 1.7378 | + **13.0**°/₀ | 1.2664 | 1.6885 | + **9.8**°/₀ |
| Gemiddelde procentueele afwijking van de waarden van Harris-Benedict | | | | | | | | | + **16.5**°/₀ | idem | | + **15.0**°/₀ |

persoon gedurende de eerste bepaling vast geslapen heeft. We vonden bij deze bepaling een verlaging van 18.9 %, hetgeen met de tweede bepaling, waarbij een verlaging van 4.8 % gevonden werd, een verschil maakt van 14.1 %. Tijdens den vasten slaap bleek de stofwisseling dus ruim 14 % gedaald, hetgeen met de waarnemingen van B e n e d i c t overeenkomt.

Bij de grondstofwisselingsbepalingen van patienten, waarvan tabel VII een overzicht geeft, werd op dezelfde wijze als bij de bepalingen van de proefpersonen te werk gegaan, met dit verschil echter dat slechts één calorimetrische bepaling werd verricht, die als regel na de gasanalytische bepaling plaats vond. Ook bij deze experimenten hebben we calorimetrisch alleen de hoeveelheid directe warmte bepaald en 25 % van het totale calorieënbedrag voor de latente warmte in rekening gebracht.

Het viel ons bij de bestudeering van deze cijfers op, dat bij afwijkingen in de stofwisseling de verschillen tusschen de uitkomsten van de gasanalytische en de calorimetrische methode grooter werden. Waar kon dit verschil door veroorzaakt worden?

Het lag voor de hand om hier als oorzaak van dit verschil aan de hoeveelheid latente warmte te denken, aangezien deze niet gemeten werd. We kunnen nu ook als volgt een indruk krijgen van de hoeveelheid latente warmte: bij de gasanalytische methode bepalen we uit de gaswisseling na omrekening in calorieën de totale hoeveelheid afgegeven warmte; bij de calorimetrische echter slechts de hoeveelheid directe warmte; het verschil tusschen beide moet dus de hoeveelheid latente warmte zijn. We kunnen dit verschil het duidelijkst procentueel uitdrukken, en wel in % van de gasanalytische waarde.

In tabel VIII hebben we dezelfde experimenten gerangschikt volgens de afwijkingen, die de langs gas-

# TABEL VIII.

| No. | Geconstateerde verhooging of verlaging van het metabolisme volgens de gasanalytische methode | Vereischte procentueele toevoeging voor de latente warmte |
|---|---|---|
| | % | % |
| 148 | — 17.6 | 16.1 |
| 141 | — 9.3 | 16.6 |
| 145 | — 6.0 | 19.0 |
| 163 | — 3.6 | 18.3 |
| 129 | — 1.2 | 23.7 |
| 130 | + 1.3 | 27.4 |
| 142 | + 1.4 | 24.0 |
| 160 | + 8.3 | 26.2 |
| 159 | + 9.9 | 24.1 |
| 164 | + 13.0 | 27.1 |
| 107 | + 14.3 | 28.4 |
| 144 | + 14.7 | 26.7 |
| 151 | + 17.2 | 28.2 |
| 109 | + 19.6 | 28.2 |
| 153 | + 25.0 | 27.9 |
| 158 | + 25.7 | 30.6 |
| 100 | + 29.4 | 26.5 |
| 152 | + 30.2 | 28.3 |
| 137 | + 31.3 | 26.0 |
| 147 | + 35.6 | 27.9 |
| 132 | + 41.4 | 30.7 |
| 150 | + 82.5 | 29.2 |

analytischen weg verkregen waarden met de normaalwaarden van Harris en Benedict vertoonden en de procentueele toevoeging voor de latente warmte aan de calorimetrische waarden daarachter vermeld.

Deze rij getallen geeft aanleiding tot de volgende nog nader te verifieeren opmerking. We krijgen n.l. den indruk, dat bij een verhooging van de stofwisseling het procentueele bedrag van de latente warmte grooter wordt en dat bij een verlaging van de stofwisseling dit bedrag afneemt.

Natuurlijk is het aantal waarnemingen te gering om hieruit thans definitieve conclusies te trekken. Nader onderzoek, dat naar aanleiding van deze bevindingen reeds is ingesteld, zal hopelijk meer licht doen schijnen.

Het calorimetrisch onderzoek leerde ons, dat het zeer wenschelijk is, dat de stofwisselingsbepalingen niet geschieden bij een te lage temperatuur der omgeving.

Dit is van des te grooter belang wanneer men de stofwisseling moet vaststellen uit het bedrag der directe warmte, vermeerderd met dat der latente warmte. Indien de temperatuur van de omgeving te laag wordt, zal daardoor de afgifte van warmte door straling worden bevorderd en zal tevens de hoeveelheid latente warmte een vermindering ondergaan door geringere verdampingsmogelijkheden. Gevolg hiervan zal zijn, dat de latente warmte niet meer een onveranderlijk bedrag van 25 % der totale stofwisseling zal uitwijzen.

We waren in de gelegenheid om bij eenige patienten de specifiek dynamische werking te bepalen. Waar het hierbij in de allereerste plaats gaat om de relatieve veranderingen, welke de stofwisseling in het verloop van den tijd onder invloed van het gebruikte voedsel ondergaat, was de calorimetrische methode bijzonder geschikt om dit verschijnsel te volgen.

Men zou, terwijl de te onderzoeken patient zich in den calorimeter bevindt en nadat men zijn grondstofwisseling bij nuchteren toestand heeft bepaald, hem voedsel, bijvoorbeeld in vloeibaren vorm, tot zich kunnen laten nemen. Onmiddellijk daarop ware voort te gaan met de calorimetrische metingen. Aldus zou een min of meer doorloopende kromme verkregen kunnen worden der warmteafgifte. Tegen deze wijze van handelen zijn evenwel bezwaren aan te voeren. Het optreden van de specifiek dynamische werking vraagt eenige uren; het zal daarenboven ook uren duren, vooraleer de stofwisseling na het optreden der verhooging tot zijn aanvangswaarde is teruggekeerd. Het is ondoenlijk voor een patient om al dien tijd volkomen rustig te blijven. Men zou hierbij het gevaar loopen eventueele wijzigingen in het stofwisselingsbedrag niet op de juiste wijze te verklaren, aangezien het mogelijk zou zijn een opgetreden verhooging op rekening te stellen der specifiek dynamische werking, welke verhooging echter afkomstig zou kunnen zijn van onwillekeurige bewegingen, voortkomende uit ontstane vermoeienis.

Wij volgden bij onze bepalingen der specifiek dynamische werking dan ook een andere methodiek en verdeelden den onderzoekingstermijn in verschillende perioden van onderzoek. De eerste bepaling geschiedde vóór het nuttigen van het voedsel, de tweede ruim een uur daarna en daarop lieten we nog eenige andere bepalingen volgen met tusschenpoozen van eenige uren. In de pauzen tusschen de bepalingen werd de patient uit den calorimeter naar buiten gebracht. We zijn aldus handelend in staat een kromme te ontwerpen van het verloop van de stofwisseling, waaruit het geoorloofd is te besluiten of en tot welke intensiteit de specifiek dynamische werking aanwezig is.

Het proefdiëet, dat wij den patienten in navolging van

## TABEL IX.

Stofwisselingswaarden bij specifiek dynamische werking.

| No. | Datum | Naam | Gevonden grondstof-wisselings-waarde in Cal. p. min. | Gevonden stofwisselings-waarde in Cal. p. min. na voedselopname | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | na 1 uur | na $2^1/_2$ uur | na $3^1/_2$ uur |
| 133 | 29-1-'32 | H. | 1.1623 | 1.3210 | 1.2665 | 1.2665 |
| 138 | 13-2-'32 | Ha. | 1.2638 | 1.4124 | 1.3738 | 1.3385 |
| 149 | 21-3-'32 | v. d. S. | 0.6680 | 0.7068 | 0.6617 | 0.6849 |
| 162 | 1-6-'32 | B | 0.9685 | 1.0966 | 1.0651 | 1.0402 |

## TABEL X.

Stofwisselingswaarden bij specifiek dynamische werking van tabel IX uitgedrukt in procentueele verandering ten opzichte der grondstofwisseling.

| No. | Datum | Naam | Gevonden grondstof-wisseling | Stofwisseling na voedsel-opname | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | na 1 uur | na $2^1/_2$ uur | na $3^1/_2$ uur |
| 133 | 29-1-'32 | H. | 100 % | 114 % | 109 % | 109 % |
| 138 | 13-2-'32 | Ha. | 100 % | 112 % | 109 % | 106 % |
| 149 | 21-3-'32 | v. d. S. | 100 % | 106 % | 99 % | 103 % |
| 162 | 1-6-'32 | B. | 100 % | 113 % | 110 % | 107 % |

K n i p p i n g gaven, bestond uit 200 gram mager vleesch, 100 gram brood, 50 gram boter en twee kopjes thee.

De in tabellen IX en X vermelde waarden, geven een beeld van het verloop en de intensiteit der specifiek dynamische werking, zooals die bij eenige patienten bepaald werd. Hierbij dient opgemerkt te worden, dat de aangegeven waarden betrekking hebben op de directe warmteafgifte. Het kwam ons niet noodzakelijk voor in deze gevallen de latente warmte te bepalen, aangezien we geen grond hebben te veronderstellen, dat de latente warmteafgifte een ander verloop zou hebben dan de directe. De calorimeter veroorlooft evenwel beide waarden te bepalen, hetgeen vooral in dit speciale geval veel meer inspanning en arbeid van den onderzoeker en meer opoffering van rust bij den patient zou vorderen.

## SAMENVATTING.

1°. De differentiaal-calorimeter, zooals deze in de laatste jaren in het Physiologisch Laboratorium te Utrecht tot ontwikkeling werd gebracht, veroorlooft nauwkeurige calorimetrische bepalingen te verrichten bij den gezonden en zieken mensch.

2°. De toegepaste wijze van koeling der calorimeterkamers door middel van afgekoelde lucht werd mogelijk gemaakt door een groote hoeveelheid lucht door een parallel buizenstelsel te leiden, waarbij practisch de adiabatie van den calorimeter werd bewaard.

3°. De ijking van den calorimeter geschiedde door middel van electrische warmtebronnen van verschillenden vorm en door middel van een met warm water gevoede warmtebron.

4°. De latente warmte door de proefpersoon afgegeven werd op verschillende wijzen bepaald; eensdeels werd de latente warmte van den mensch vergeleken met die van een kunstmatige vochtbron, anderdeels werd de latente warmte van den mensch bepaald uit de hoeveelheid vocht door hem in den calorimeter afgegeven, welke vochtwaarde door middel van droge en natte thermometers of door middel van thermo-electrische vochtmeters werd gecontroleerd en berekend.

5°. Bij een aantal normale personen en patiënten werden vergelijkende stofwisselingsbepalingen verricht

door middel van de gaskamer en met den differentiaal-calorimeter .

6°. De specifiek dynamische werking der voedingsstoffen bij eenige patiënten werd door middel van den differentiaal-calorimeter onderzocht.

## RESUMÉ.


1. Le calorimètre-différentiel, tel qu'il a été développé les dernières années au Laboratoire de Physiologie à Utrecht, permet d'exécuter des déterminations calorimétriques précises chez l'homme sain ou malade.

2. Le principe appliqué de refroidir l'intérieur des chambres calorimétriques au moyen de l'air refroidi jusqu'à concurrence de la chaleur développée est rendu possible en faisant passer une grande quantité d'air par un système refroidisseur à tubes parallèles; l'installation permet de maintenir practiquement invariable l'adiabatisme du calorimètre.

3. Le jaugeage du calorimètre est réalisé au moyen des sources de chaleur électriques de formes différentes et au moyen d'une source d'eau chaude, dont on connaît exactement la déperdition de chaleur.

4. La chaleur latente produite par la personne en expérience est déterminée selon différentes manières: d'une part la chaleur latente dégagée par l'homme est comparée à celle produite par une source artificielle d'humidité, d'autre part la chaleur latente de l'homme est calculée d'après l'accroissement d'humidité dans la chambre calorimétrique où l'homme se trouve; à cette fin le degré d'humidité existante est contrôlé au moyen des thermomètres secs et humides ou au moyen des psychromètres thermo-électriques.

5. Des déterminations comparatives du métabolisme de base ont été faites sur une série de personnes normales et malades. Les valeurs calorimétriques obtenues

sont comparées à celles établies au moyen d'une méthode gazo-analytique.

6. L'action dynamique spécifique de la nourriture a été examinée chez quelques malades au moyen du calorimètre-différentiel.

## GERAADPLEEGDE LITERATUUR.


Atwater, W. O. and F. G. Benedict, A respiration calorimeter with appliances for the direct determination of oxygen.
Washington, D.C., Published by the Carnegie Institution of Washington, 1905.

Benedict, F. G., Methoden zur Bestimmung des Gaswechsels bei Tieren und Menschen.
Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden von E. Abderhalden. Abt. IV. Teil 10.

—— and Cornelia G. Benedict, Body posture and minor muscular movements as affecting heat production.
Proc. Nat. Acad. Sc. Vol. 10. pag. 498. 1924.

—— and Elizabeth E. Crofts, Is prolonged bed rest a prerequisite for the measurement of basal metabolism?
Amer. Journ. of Physiol. Vol. 74. pag. 369. 1925.

—— Etudes récentes sur le métabolisme humain et animal.
Bull. Soc. Sc. d'Hyg. Aliment. Vol. 15. 1927.

Du Bois, Eugene F., Basal metabolism in health and disease.
Philadelphia and New York, Lea & Febiger, 1924.

——, Recent advances in the study of basal metabolism.
Cornell University Med. Bull. Vol. 20. pag. 217. 1931.

Capstick, J. W., A calorimeter for use with large animals.
Journ. of Agricult. Sc. Vol. 11. pag. 408. 1921.

Glikin, W., Kalorimetrische Methodik.
Berlin, Gebrüder Borntraeger, 1911.

Graefe, E., Die Krankheiten des Stoffwechsels und ihre Behandlung.
Berlin, Julius Springer, 1931.

Gröber, H., Wärmeübertragung. 1926.

Hawk, P. B. and O. Bergeim, Practical physiological chemistry.
London, J. & A. Churchill, 1926.

Hellmann, G., Aspirations-Psychrometer-Tafeln. Herausgegeben von Königlich Preussischen Meteorologischen Institut.
Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1914.

Henning, F., Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung.
Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1915.

Knipping, H. W. und H. L. Kowitz, Klinische Gasstoffwechseltechnik.
Berlin, Julius Springer, 1928.

Knoblauch, O. und K. Hencky, Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen mit Flüssigkeits- und elektrischen Thermometern.
München und Berlin, R. Oldenbourg, 1919.

Labbé, M. et H. Stévenin, Le métabolisme basal.
Paris, Masson et Cie, 1929.

Laniez, G., Les fondements physiques et physiologiques du métabolisme de base.
Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1932.

Lefèvre, J., Chaleur animale et bioénergétique.
Paris, Masson et Cie, 1911.

Lusk, G., Ernährung und Stoffwechsel.
Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1910.

——, The specific dynamic action.
Journ. of Nutrition. Vol. 3. pag. 519. 1931.

Levine, S. Z. and J. R. Wilson.
Amer. Journ. Dis. Child. Vol. 35. pag. 54. 1928.

McCann, W. S., Calorimetry in medicine.
Baltimore, Williams & Wilkins Company, 1924.

Noyons, A. K., Toepassing van de thermozuil ter verkrijging van kleine potentialen.
Ned. Tijds. v. Gen. Bd. 1. pag. 2142. 1926.

——, Méthode gazo-analytique à voie ouverte servant chez l'animal et chez l'homme à la détermination du métabolisme et du quotient respiratoire.
Abstracts of communications to the XIIth International Physiological Congress at Stockholm 1926.
Skandinavisches Archiv. 1926.

——, The differential calorimeter with special reference to the determination of the human basal metabolism.
Louvain, René Fonteyn, 1927.

——, Grepen uit de ontwikkeling onzer kennis over het metabolisme.
Inaugureele rede. Utrecht, 1928.

——, Démonstration d'un psychromètre électrique.
Acta Brevia Neerl. Vol. II. pag. 99. 1932.

Richet, Ch., La chaleur animale.
Paris, Felix Alcan, 1889.

Rona, P. und H. W. Knipping, Praktikum der Physiologischen Chemie; dritter Teil: Stoffwechsel und Energiewechsel.
Berlin, Julius Springer, 1928.

Rubner, M., Die Gesetze des Energieverbrauches bei der Ernährung. 1902.

Siegenbeek van Heukelom, A., De grondstofwisseling in de kliniek.
Dissertatie. Utrecht, 1924.

Soderstrom, G. F., A. L. Meyer and E. F. Du

B o i s, A comparison of the metabolism of men flat in bed and sitting in a steamer chair.
Arch. Int. Med. Vol. 17. pag. 872. 1916.

—— and E. F. D u B o i s.
Arch. Int. Med. Vol. 19. pag. 823. 1917.

T e r r o i n e, E. F. et E. Z u n z, Le métabolisme de base.
Paris, Les presses universitaires de France, 1925.

T h a n n h a u s e r, S. J., Stoffwechsel und Stoffwechsel-Krankheiten.
München, J. F. Bergmann, 1929.

## STELLINGEN.

I

Bij de constructie van thermische meetinstrumenten is het noodzakelijk de massa en daarmede de warmte-capaciteit van alle onderdeelen zoo gering mogelijk te maken.

II

Er bestaan gronden om aan te nemen, dat de hoeveelheid latente warmte geen vast percentage uitmaakt van de totale warmteafgifte van den mensch.

III

Het afbreken van de zwangerschap in gevallen van pernicieuse zwangerschapsanaemie is slechts in uitzonderingsgevallen aangewezen; in het algemeen beginne men met het toepassen van een behandeling met lever.

IV

Bij de operatieve behandeling van fractura colli femoris volge men de methode van Sven Johansson.

(Zbl. f. Ch. 1932 No. 31.)

V

Het is niet waarschijnlijk, dat er naast de sinus-caroticus zenuwen en de aorta zenuwen nog andere specifiek bloeddrukregelende zenuwen bestaan.

VI

Het gebruik van germanine bij de behandeling van den morbus Duhring is aan te bevelen.

VII

Het op verschillende plaatsen voorkomen van op chorionepithelioom gelijkende tumoren maakt het waarschijnlijk, dat deze gezwellen niet uit chorionepitheel, maar uit onontwikkeld mesenchymweefsel ontstaan.

(Molotkoff, Virch. Arch. Bd. 288 pag. 317.)

VIII

Geblazen contact glazen (Müller) zijn te verkiezen boven geslepen contact glazen (Zeiss).

IX

Bij de malaria behandeling van dementia paralytica verdient het de voorkeur de plasmodia door muggen en niet door infectieus bloed over te brengen.

X

Ernstige etterende longaandoeningen, welke voor heelkundig ingrijpen niet in aanmerking komen, behandele men met intraveneuse alcohol toediening.