

## Het Registreeren der Bestraling van het Aardoppervlak door Prof. Dr. D. van Gulik.

Het is een bekende zaak, dat in de Weerkunde de straling der zon een factor is van overheerschende beteekenis. Haar rechtstreeksche invloed op de temperatuur van den grond en van de dampkringslucht springt duidelijk genoeg in het oog; maar zij levert ook de warmte die het water aan het aardoppervlak doet verdampen en alzoo de vochtigheid van de atmosfeer regelt. Het is verder de zonnearmte, die den dampkring in beroering houdt en dus den wind veroorzaakt en die evenzeer bewerkt, dat in de omhoogstijgende luchtmassa's de meegevoerde waterdamp tot wolken condenseert en weder neerslaat als regen, hagel of sneeuw, terwijl hierbij nog de electriche krachten kunnen worden ontketend, die in het onweer tot uiting komen. HANN zegt dan ook: es ist nicht gelungen, irgend einen erheblichen meteorologischen Vorgang mit Sicherheit nachzuweisen, dessen Kraftquelle nicht in der Bestrahlung unseres Weltkörpers durch die Sonne läge.

Deze overwegende invloed door de zonnestraling uitgeoefend op de genoemde „meteorologische elementen“, die het klimaat eener landstreek, en in engeren zin ook den heerschenden weers-toestand bepalen, doet reeds gevoelen van hoe groote beteekenis de zonnestraling ook voor den landbouw moet zijn.

Maar ook rechtstreeks is zij voor den land- en tuinbouw een weldaad van het allerhoogste belang. De gewassen kunnen het zonnelicht niet ontberen, dat voor de koolstofassimilatie (fotosynthese) wordt vereischt. In de groene plantendeelen toch moeten uit stoffen van een kleineren energie-inhoud (kool-dioxyd en water) verbindingen van grooteren energie-inhoud (koolhydraten) worden opgebouwd. De onmisbare rol der zonnestralen hierbij is deze, dat zij het tot stand komen dezer laatste verbindingen mogelijk maken, door het te kort aan energie, of arbeidsvermogen, bij te passen. De landbouw stelt zich nu ten doel op deze wijze zonneënergie vast te leggen met de vooropgestelde bedoeling, dat de verkregen producten bovenal voedingsmiddelen zullen zijn. En voor hem, die later dit voedsel gebruikt is het stoffelijke deel ervan feitelijk iets bijkomstigs; het gaat in de eerste plaats om de onstoffelijke energie, het arbeidsvermogen, dat in deze materie is vervat en dat door de spijsvertering aan den gebruiker van het voedsel wordt ter beschikking gesteld. Want aan alle denken en doen en aan iedere levensverrichting is onafscheidelijk verbruik van energie verbonden en hierom is voor ieder levend wezen een eerste levensbehoefte, dat zijn voorraad arbeidsvermogen geregeld wordt aangevuld en bijgehouden. Dit

nu heeft plaats bij de voeding door aanvoer van arbeidsvermogen, dat van oorsprong zonneënergie is.

Deze korte beschouwing moge voldoende zijn om te doen inzien, dat de wetenschappelijke studie van den landbouw, meer nog dan aan geregelde waarnemingen omtrent temperatuur, neerslag, vochtigheid enz., behoefte heeft aan doorlopende metingen en vooral registreeringen van de stralingsenergie, welke de zon aan de te velde staande gewassen ter beschikking stelt. Eerstgenoemde waarnemingen en registreeringen vinden reeds sinds tal van jaren onafgebroken plaats op duizenden stations. Daarentegen is het aantal plaatsen, waar metingen van de zonnestralingsenergie en nog meer waar geregelde registreeringen van deze grootheid geschieden, hoewel de belangstelling ervoor in de laatste jaren sterk is toegenomen, nog zeer beperkt, gelijk uit een recente verhandeling van KIMBALL <sup>1)</sup> is na te gaan.

Voor den landbouw is dan de stralingsenergie, die het horizontale aardoppervlak door de gezamenlijke zonne- plus hemelstraling ontvangt, de belangrijkste te meten grootheid. Zij wordt in den regel per cm<sup>2</sup>. van het oppervlak berekend en in gram-calorieën uitgedrukt, ofschoon men ook, naar het voorbeeld van SHAW <sup>2)</sup> de bestralingssterkte kan uitdrukken in kilowatts per vierkanten decameter, waarbij één calorie per cm<sup>2</sup>. gelijkwaardig is met 1,16 K.W.U. per DM<sup>2</sup>.

Nu kan men zich, om niet in de straks te behandelen kostbaardere en meer gecompliceerde toestellen te vervallen, behelpen met de betrekkelijk eenvoudige zonnenschijn-autografen <sup>3)</sup>, die het aantal uren van zonnenschijn aantekenen. Men past hierop dan de volgende, door A. ANGSTRÖM <sup>4)</sup> gegeven, formule toe:

$$Q = Q_0 (0,25 + 0,75 S),$$

waarin Q de gezochte energie voor een zekeren dag voorstelt, Q<sub>0</sub> die welke bij onafgebroken zonnenschijn gevonden zoude zijn <sup>5)</sup> en S het aantal uren zonnenschijn, gedeeld door het aantal uren, dat de zon boven de horizon was; alles natuurlijk voor dien-zelfden dag. Deze formule komt blijkbaar hierop neer, dat de stralingsenergie bestaat uit de som van twee termen, n.l. uit een vast gedeelte,  $\frac{1}{4} Q_0$ , waaraan bij geheel bedekte lucht (nul zonnereuren) niets meer wordt toegevoegd, plus een zeker breukdeel van

<sup>1)</sup> MONTHLY WEATHER Review, 55, 1927, blz. 155.

<sup>2)</sup> Sir NAPIER SHAW, Manual of Meteorology, 1926, vol. I, blz. 237.

<sup>3)</sup> Zie hierover mijn Leerboek der Meteorologie, IIIe druk, 1927, blz. 97.

<sup>4)</sup> Met. Zs. 1927, blz. 235.

<sup>5)</sup> Deze grootheid is voor verschillende plaatsen en verschillende tijden van het jaar thans wel bij benadering bekend; zie KIMBALL loc. cit.

$\frac{3}{4} Q_0$ , dat afhangt van het aantal uren zonneshijn. De variaties van dag tot dag schuilen dus uitsluitend in den laatsten term, behalve dan dat  $Q_0$  in den loop van het jaar een regelmatige langzame verandering ondergaat; en voor het bepalen van den laatsten term alleen moeten dan ook de waarnemingen met den zonneautograaf dienst doen.

Het is echter duidelijk, dat een berekening van de stralingsenergie, die op het aantal zonne-uren gebaseerd is, geen juiste waarden kan opleveren, omdat de bepaling van het aantal zonne-uren zelve niet nauwkeurig kan zijn.<sup>1)</sup> Hierom al niet, omdat aan een uur zonneshijn in den middag een veel grootere waarde toekomt dan aan een uur zonneshijn bijv. in den laten namiddag; terwijl het bovendien groot verschil maakt of de zon dien tijdsduur onbelemmerd heeft gestraald, dan wel door een licht wolkenfloers of door voorbijtrekkende kleine wolkjes getemperd is. Zoo kenmerkte zich de geheele vijfde Augustus 1926 door een licht betrokken hemel, die het inbranden op den zonneautograaf verhinderde en aldus geen enkel zonneur opleverde. Toch was de bewolking licht genoeg om nog een aanzienlijke hoeveelheid stralingsenergie door te laten, nl. 260 calorie, volgens de aantekeningen van den straks te beschrijven solarimeter. Gaat men echter de energie berekenen uit de formule van °ANGSTRÖM, waarin (afgaande op het feit, dat vier dagen later, op een dag van bijna onafgebroken zonneshijn 480 cal. ontvangen zijn), voor  $Q_0$  de waarde van 500 cal. is te substitueeren, dan zou een bedrag van slechts 125 cal. gevonden worden, behept dus met een fout van meer dan 100 %. Hierbij komt nog, dat voor toepassing in de correlatierekening niet de waarden zelve, maar hare afwijkingen van het gemiddelde worden gebruikt, waarin de fout percentsgewijs nog vergroot overgaat.

Omdat in de registreering der zonne-autografen te veel van den zonneshijn der morgen- en avonduren verloren ging is men in den laatsten tijd aan het Meteorologisch Instituut te De Bilt ertoe overgegaan alleen op den zonneshijn tusschen 8 uur v.m. en 4 uur n.m. te letten. Dit moge, vergeleken met de oude methode, een verbetering zijn, aan den anderen kant kan het uit den aard der zaak niet nauwkeurig zijn de wisselingen in den zonneshijn geheel buiten beschouwing te laten, die plaats vinden vóór 8 uur en na vier uur, d. i. in de helft van den zonnedag gedurende de voor de cultures belangrijkste maanden van het jaar. En dat de maatregel nog al ingrijpend is, blijkt hieruit, dat de normale jaarlijksche zonneshijnduur te De Bilt, volgens de oude methode

---

<sup>1)</sup> DORNO, Ausstattung moderner Strahlungsobservatorien, noemt haar op blz. 4 een „erster Notbehelf“.

berekend 0,33 bedraagt en volgens de nieuwe methode 0,38, een sprong van 15 %, dus in eerstgenoemd bedrag.

Als dan blijkbaar de „zonneuren“ geen grondslag kunnen vormen, betrouwbaar genoeg om er een zoo gewichtigen factor als de stralingsenergie der zon uit af te leiden, rijst de vraag, of deze laatste niet rechtstreeks is te meten en te registreren. Dit is inderdaad op verschillende wijzen uitvoerbaar gebleken.<sup>1)</sup> De meest toegepaste methode is wel die van het thermoëlement (thermozuil), waarbij de opgevangen stralingsenergie eerst door absorptie in warmte en vervolgens in een electrischen stroom (thermostroom) wordt omgezet. Deze laatste is met behulp van een gevoeligen galvanometer gemakkelijk te meten en zelfs te registreren.

Het beginsel van werking der thermozuil, dat in elk leerboek der Natuurkunde behandeld wordt, kan hier buiten bespreking blijven. De firma KIPP te Delft heeft een door prof. MOLL ontworpen thermozuil tot een bruikbaren solarimeter uitgewerkt door afsluiting met een kleinen glazen halfbol.<sup>2)</sup> Hiervan beschikt mijn laboratorium over een drietal exemplaren, terwijl er voorts nog aanwezig is de, op verschillende plaatsen der Vereenigde Staten in gebruik zijnde, solarimeter van KIMBALL.<sup>3)</sup> Dit toestel is in Amerika geijkt, d. w. z. de sterkte van den thermostroom is opgegeven, dien hij (bij gegeven weerstand) levert als de bestraling per minuut één gramcalorie per  $\text{cm}^2$ . bedraagt. Een der solarimeters van KIPP (zie blz. 9) heeft in 1926 en in 1927, gedurende voorjaar en zomermaanden, in horizontale opstelling, onafgebroken gewerkt in verbinding met een registreerenden galvanometer (Cambridge-threadrecorder). De stand van den wijzer van dezen galvanometer wordt elke minuut met een inktstip aangeteekend op een papierstrook, die door een uurwerk langzaam voortschuift. De geheele reeks van aangeteekende stippen vormt een diagram, dat nauwkeurig het verloop der straling voor elken dag laat nagaan. Des nachts, wanneer de galvanometer natuurlijk geen uitwijking ondergaat, wordt de nullijn van het diagram beschreven.

Het oppervlak van de figuur (curve) boven de nullijn stelt voor elken dag het totale bedrag der stralingsenergie („stralingsom“) voor, dat zonne- en hemelstraling tezamen dien dag ter beschikking van een  $\text{cm}^2$ . van het horizontale aardoppervlak hebben gesteld. Het uitmeten van dit oppervlak geschiedt met behulp van een planimeter, een bewerking, die echter slechts dan eenvoudig en

<sup>1)</sup> Deze toestellen hebben allerlei namen gekregen; wij zullen hier slechts van solarimeters spreken.

<sup>2)</sup> M. WEATHER Rev. 52, 1924, June; 54, 1926, Sept.

<sup>3)</sup> M. WEATHER Rev. 51, 1923, May.

nauwkeurig kan geschieden, als de gang der straling het regelmatige verloop vertoont van bv. figuur 1, geregistreerd op j.l. Koninginnedag. Maar dikwijls wisselt zonneshijn voortdurend af

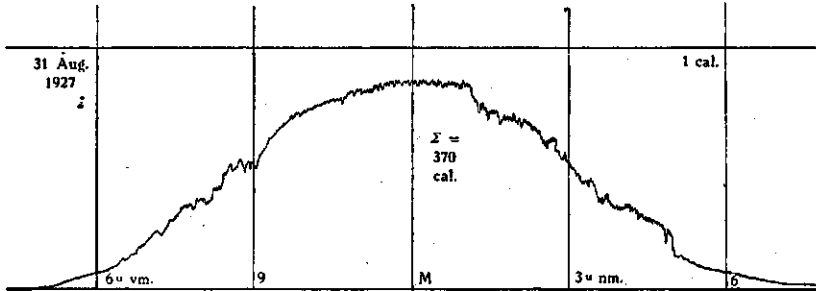


Fig. 1.

met schuil gaan achter wolken; de registreerstippen <sup>1)</sup> liggen dan onregelmatig over het geheele oppervlak der figuur verspreid en het planimetreeren wordt lastig en onnauwkeurig.

Om hieraan tegemoet te komen en om bovendien het instrumentarium te vereenvoudigen, heeft de genoemde Delftsche instrumentenfabriek onlangs een integrator in den handel gebracht om in combinatie met haren solarimeter te worden gebruikt. Het is een electrolytische cel, waarin verdund fosforzuur door den thermostroom wordt ontleed en de ontwikkelde waterstof in een verdeeld buisje wordt opgevangen. Het volume van dit gas wordt evenredig gesteld met het totaal der stralingsenergie gedurende den expositietijd van den solarimeter, en deze stralingssom is derhalve, na ijking van den integrator, uit dit volume onmiddellijk af te leiden. De toestel is niet anders dan een electriciteitsmeter (Elektrolytzähler, Modell E<sub>2</sub>) van Siemens-Schuckert, waaruit, ter verhooging van de gevoeligheid een shuntweerstand is weggenomen. Toch is de gevoeligheid van het instrument voor vele doeleinden nog te klein, want gedurende een zomerdag ontwikkelt het gemiddeld een volume waterstof, dat niet meer dan 3 of 4 mm. beslaat. Alleen voor de bepaling van het totaal der straling over langere termijnen, bijv. over decaden (tijdvakken van tien dagen) zou dit instrument daarom te gebruiken zijn. Het is echter zeer de vraag of deze toestel kan worden geleverd met elektroden, welke, ook voor de bij deze toepassing optredende uiterst lage elektrische spanningen, voldoende vrij van polarisatie zijn. Met een door mij ontvangen exemplaar bleek mij dit op verre na niet het geval te zijn.

<sup>1)</sup> Voor de reproductie was het noodig in figuur 1 de stippen door een doorlopende lijn te verbinden, zoodat de stippen niet afzonderlijk meer zichtbaar zijn.

Een andere methode om te ontkomen aan de bezwaren der planimetrische werkwijze was inmiddels in mijn laboratorium uitgewerkt door de constructie van den, volgens geheel ander beginsel werkenden, integrator van figuur 2. Deze was bestemd om den Cambridge threadrecorder te vervangen, of beter nog, om gezamenlijk met dezen op denzelden solarimeter te worden aangesloten en derhalve gelijktijdig te fungeeren.

Het nieuwe apparaat, dat feitelijk een micro-electriciteitsmeter vertegenwoordigt, heeft met een Cambridge recorder den draaispoelgalvanometer gemeen, maar, in plaats van de uitwijkingen van den galvanometerwijzer elke minuut aan te teekenen, moet de nieuwe toestel deze uitwijkingen bij elkaar optellen, en de som afleesbaar maken op een telwerk. Deze som toch is een maat voor de stralingsom. Om dit mogelijk te maken is het boveinde van het ophangdraadje van de galvanometerspoel bevestigd aan een soort van wip W, die door middel van tandrad Z van een uurwerk over een kleinen afstand wordt op en neer bewogen met de periode van een minuut.

De draaispoel gaat dus in dien tijd eenmaal op en neer. Onder de spoel is een rond aluminiumtafeltje (T) opgesteld, op zoo korten afstand van de spoel, dat deze in haar laagsten stand telkens op dit tafeltje wordt gedeponereerd. Gedurende de rest der periode blijft de spoel echter geheel vrij opgehangen, en vertoont zij dus onder den invloed van den thermostroom een afwijking over grooteren of kleineren hoek uit haar nulstand. In dezen uitgeweken stand wordt de spoel dus telken male op het tafeltje neergezet. Dit nu is draaibaar om een stralen asje, loodrecht op zijn midden en zoodra de spoel erop is neergezet, treedt een (evenzeer door het uurwerk bewogen) mechanisme in werking, dat eerst de rem B van het tafeltje losmaakt en vervolgens spoel met tafeltje langzaam terugdraait naar den nulstand. In dezen nulstand aangekomen belet een stuitinrichting (S) een verdere draaiing. Als vervolgens de spoel weer van het tafeltje wordt afgelicht en opnieuw afwijkt, heeft inmiddels de rem B het tafeltje vastgezet. Eenige oogenblikken later wordt de spoel weder op het tafeltje gedeponereerd en ondergaat dit vervolgens een draaiing gelijk aan de nieuwe afwijking der spoel, en zoo vervolgens. De totale draaiing, die het tafeltje op deze wijze in den tijd van bijv. een uur ondergaat, is de som der zestig afwijkingshoeken, die de galvanometerspoel in dien tijd achtereenvolgens heeft gemaakt. Door middel van een op de as van het tafeltje gesneden wormschroef, wordt een telwerk bewogen, welks wijzer de totale draaiing aanwijst op een wijzerplaat G, waarvan figuur 2 slechts de achterzijde te zien geeft.

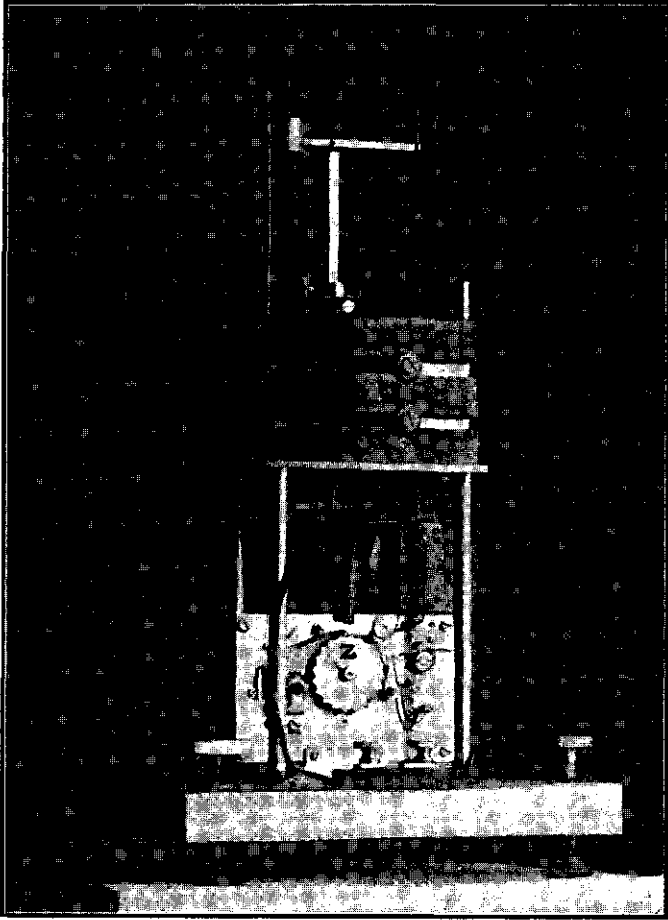


Fig. 2.

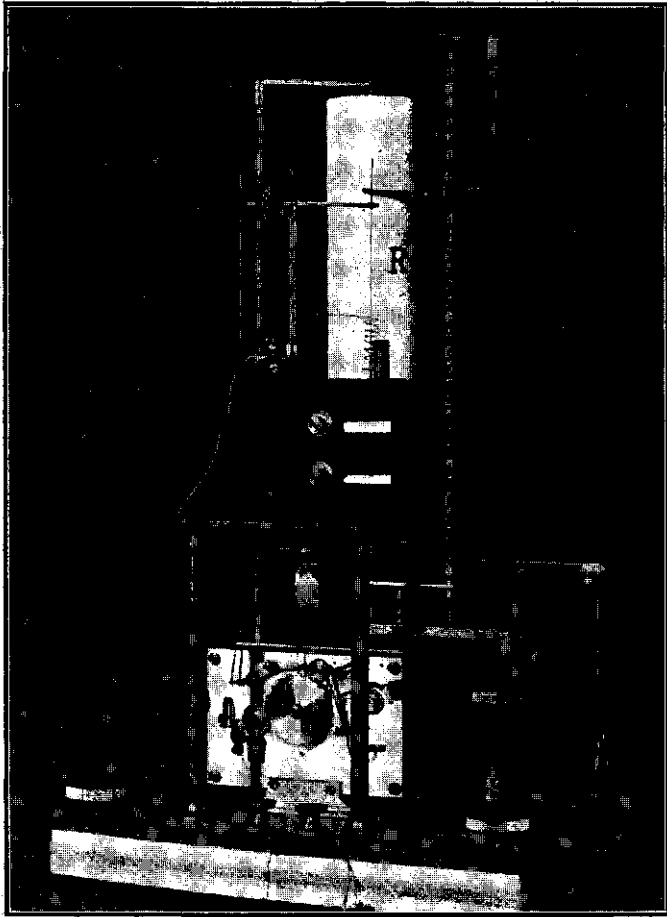


Fig. 3.



De toestel is in dezen vorm slechts korten tijd in gebruik geweest, omdat elken avond een bezoek aan het laboratorium werd vereischt om af te lezen hoever de wijzer zich in den afgelopen dag had verplaatst. Dit bedrag, dat natuurlijk de stralings-som van dien dag vertegenwoordigt, moest nog op een of andere wijze mechanisch worden aangeteekend, d. w. z. geregistreerd. Zoo is uit de toestel van figuur 2 de *registreerende* integrator van figuur 3<sup>1)</sup> ontstaan, door het telwerk weg te nemen, en de draaiing van het tafeltje door middel van tandwielen *W* over te brengen op een vertikale koperstaaf (*S*) met ingefraisdenschroefgang. In dezen schroefgang loopt, op een stalen kogel, de moer *M*, die dus bij draaiing van de schroefstaaf langs deze omlaag zakt, en wel bij een geheele draaiing van de staaf over den afstand van den spoed der schroef (8 mm.). Het dalen van deze moer is alzoo een maat voor de totale draaiing van schroefstang en tafeltje, en daarom ook voor de stralings-som door den solarimeter opgevangen. Een aan de moer bevestigde schrijfpen teekent deze daling aan op de 25 cm. hooge papierrol *R*, die door het uurwerk eens per etmaal wordt rondgewenteld. Elke week wordt het papier vernieuwd en de pen weer omhoog gebracht. Slechts bij een reeks van sterke stralingsdagen is het noodig de pen tusschentijds te verzetten. Men heeft trouwens de gevoeligheid volkomen in de hand door de keuze der tandraderen en door de grootte van den voorschakelweerstand. Gewoonlijk blijkt dan een lijn te zijn getrokken als die van figuur 4. De horizontale gedeelten worden des nachts geschreven, als moer en pen, bij gemis aan straling, niet dalen; en de afstand tusschen deze horizontale lijntjes is telkens de stralings-som van den tusschen deze nachten gelegen dag. De steilheid van de kromme lijn geeft in hare wisselingen nog een beeld van de wisselende sterkte der straling. Maar voor zulke details is de registrering van den Cambridge recorder veel beter; en deze blijft — in parallelschakeling met den integrator — bovendien voortdurend in werking.

Nog enkele woorden over den solarimeter van Kipp, zooals deze door mij wordt gebruikt. Hieraan is nl. een wijziging op mijn laboratorium uitgewerkt door dr. D. BURGER. Ofschoon een artikel hieromtrent van zijn hand nog niet is verschenen, kan ik, na de publicatie Sol. 27 der firma KIPP, zonder onbescheiden te zijn, omtrent de bedoelde wijziging het volgende mededeelen.

De zonnestraling bestaat, naar men weet, uit een zichtbaar gedeelte, het licht, en een onzichtbaar gedeelte, het ultrarood; het ultraviolet met zijn betrekkelijk zeer geringe energie buiten rekening gelaten. De energie van het ultrarood over-

1) Eigenlijk een registreerende micro-electriciteitsmeter.

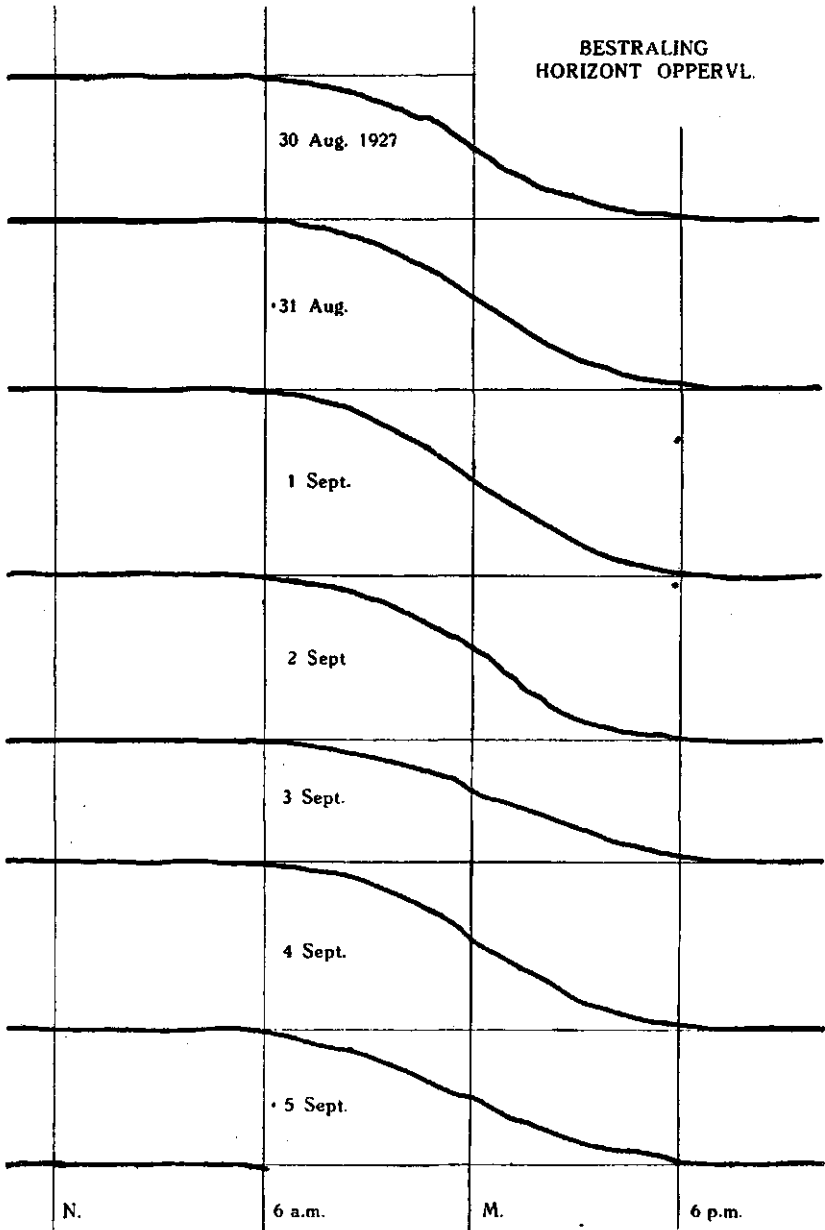


Fig. 4.

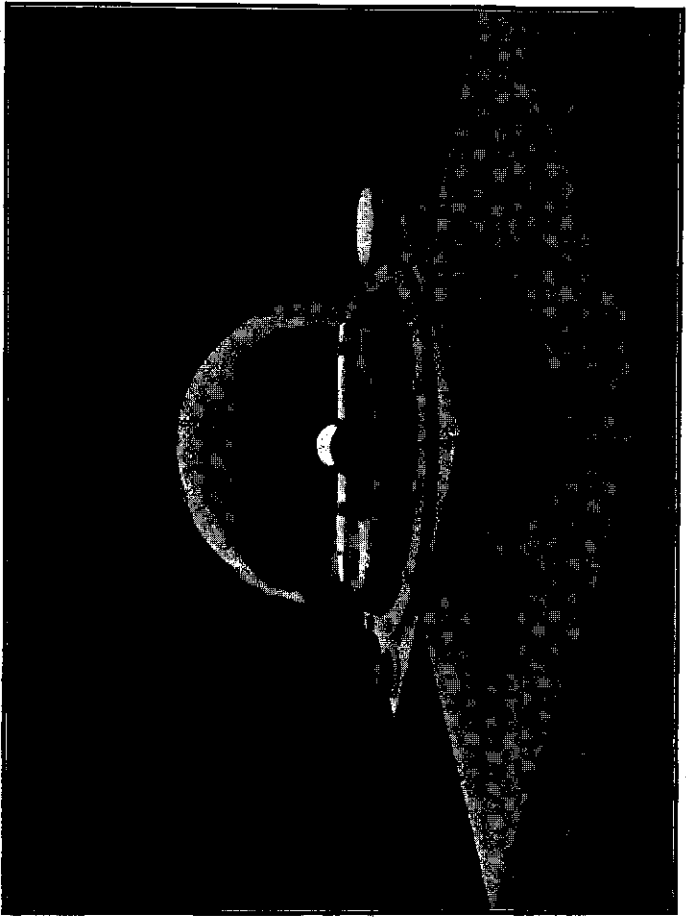


Fig. 5.

treft die van het licht in den regel belangrijk, doch draagt tot de fotosynthese der planten niet noemenswaard bij <sup>1)</sup>. Het zou daarom voor plantkundige en landbouwkundige doeleinden juister zijn niet de totale zonnestralingsenergie en hare wisselingen te meten of te registreeren, maar alleen de *licht*-energie. Hiervoor wordt nu in den toestel van figuur 5 de zonnestraling, alvorens den eigenlijken solarimeter te bereiken, gezeefd door een laag gedestilleerd water van 10 cm. dikte, die zich tusschen de beide concentrische glazen halfbollen bevindt.

Aangezien de verhouding, waarin de lichte en de donkere stralen vertegenwoordigd zijn, aan vrij groote veranderingen onderhevig is, leveren de registreringen van dezen toestel natuurlijk niet precies dezelfde dagcurven op als die met den solarimeter zonder water; anders zou trouwens de bedoelde wijziging van den toestel ook geen zin hebben. Het is daarom ook niet mogelijk den door BURGER gewijzigden solarimeter zoodanig te ijken, dat hij steeds het bedrag der totale zonnestraling in calorieën aangeeft. Mijn toestel heb ik zóó geijkt, dat zijn aanwijzingen bij helderen hemel en hoogen zonnestand juist overeenkomen met het aantal gramcalorieën per horizontalen cm<sup>2</sup>. der totale lichte plus donkere straling. De bij andere stralings-toestanden gevonden waarden geven derhalve de heerschende lichtenergie in verhouding tot de lichtenergie bij de genoemde omstandigheden.

Het volgende tabelletje geeft de daggemiddelden voor de decaden en de maanden, die op deze wijze in 1926 en 1927 verkregen zijn.

	1926.				1927.			
	1e dec.	2e dec.	3e dec.	Gem.	1e dec.	2e dec.	3e dec.	Gem.
Maart . . . . .	—	—	240	—	—	—	220	
April . . . . .	265	320	265	285	205	265	295	255
Mei . . . . .	335	300	365	335	455	390	360	400
Juni . . . . .	350	325	420	365	310	380	385	360
Juli . . . . .	365	460	365	395	370	320	365	350
Augustus . . . .	350	320	325	330	360	290	300	320
September . . . .	225	280	190	230	245	155	230	210
October . . . . .	150				195			

In de wintermaanden, als de fotosynthese voor de landbouwgewassen geen groote beteekenis heeft, worden de metingen ge-

<sup>1)</sup> Zie mijn verhandeling in de Ann. der Physik, 46, 1915, blz. 147. Volgens URSPRUNG in Ber. d. Deut. Bot. Ges. 2, 1918, blz. 100, eindigt de werking reeds in het rood, bij golflengte 0,73 micron.

staakt. Met het oog op mogelijk bevrozen van het water is de gewijzigde solarimeter in dien tijd ook niet bruikbaar, een bezwaar, dat trouwens door een electrisch verwarmde spiraaldraad in de watermassa te ondervangen zou zijn. Bij dreigende nachtvorst in het voorjaar is het voldoende om tegen den avond een waxinelichtje onder de koperen grondplaat van het instrument te plaatsen; een kapje van fijn kopergeas voorkomt dan, dat de wind het uitblaast. Afdekken van de bol is natuurlijk ook voldoende, als men maar zorg draagt den volgenden morgen tijdig het dek te verwijderen.

---

SUMMARY.

Discussion in favor of the use of solarimeters instead of sunshinerecorders (Campbell Stokes, Jordan) at meteorological stations, and of continuous records of the radiation from the whole sky on a horizontal surface.

Description of a recording instrument (micro-coulomb-recorder) of high sensitivity, that, in combination with a solarimeter, makes up a radio-integrator, fit for recording diagrams of the sums of radiation.

---