

HANDLEIDING BIJ HET
ASTRONOMISCH PRACTICUM

DEEL B
HET STERRENSTELSEL

1958

*Uitgave van de Stichting Pressa Trajectina,
Universiteitshuis, kamer 25; Lepelenburg 1,
Utrecht.*

I N H O U D

Ter inleiding tot het astronomisch practicum

§	<u>DE ZON.</u>	blz.
1	De middellijn der zon.	5
2	De zonneconstante.	8
3	De helderheidsverdeling over de zonneschijf.	10
4	Het zonnenspectrum.	11
5	De aequivalente breedte der Fraunhofer-lijnen.	12
6	De groeikromme.	14
7	Zonnevlekken.	16
8	De aswenteling der zon.	17
9	De zonnevlekkencyclus.	18
10	De vorm der corona.	19

DE STRALING DER STERREN.

11	Het tekenen van een sterrebeeld.	21
12	Onderzoek van een kleine kijker.	22
13	De schijnbare helderheid der sterren.	23
14	De invloed der extinctie.	25
15	De kleur der sterren.	26
16	Sterspectra.	28
17	De naastbijzijnde sterren.	29
18	De diameter der sterrebeeldjes als maat voor de lichtsterkte.	32
19	De lichtkromme van een eclipsveranderlijke.	34
20	De gemiddelde lichtkromme van een Cepheïde.	35

DUBBELSTERREN EN STERHOPEN

21	De beoordeling van een kijker uit de waarneming van dubbelsterren.	38
22	De baan ener visuele dubbelster (Methode van Zwiers).	39
23	De baan ener spectroscopische dubbelster (Methode van Henroteau).	41
24	De dynamische parallax van dubbelsterren.	44
25	Waarneming van sterhopen.	45
26	De verdeling der sterren in een bolvormige sterrehoop.	46
27	Cepheïden in bolvormige sterrenhopen.	47

STERSTATISTIEK.

28	De verdeling der sterren aan het uitspannel.	49
29	Het apex der zonsbeweging.	51
30	Voorkeursrichtingen in de bewegingen der sterren.	54
31	Donkere nevels.	55
32	De Melkweg.	59

=====

TER INLEIDING TOT HET ASTRONOMISCH PRACTICUM

Het astronomisch practicum is bedoeld om de op de colleges besproken onderwerpen tot een levende werkelijkheid te maken. Aan de hand van uitgekozen voorbeelden geeft het een denkbeeld van de wetenschappelijke methoden die men gebruikt om het Heelal te onderzoeken. Het practicum wordt wekelijks gehouden op een vaste dag en uur. Telkens als het mogelijk is worden de hemelobjecten zelf waargenomen. Wanneer de lucht bewolkt is, worden foto's of andere documenten bestudeerd; deze laatste werkwijze is als volwaardig wetenschappelijk te beschouwen; ook de vak-astronoom besteed een groot gedeelte van zijn arbeid aan het bewerken van fotografische opnamen.

DE VOLGENDE HULPMIDDELEN ZIJN VEREIST:

*pen, potlood, gomelastiek,
passer, gradenboog, rekenlineaal,
ongelinieerd aantekenblok, gecartonneerd schrift,
grafiekenschrift (mm-papier, liefst rood).*

Het practicum is geen schooltje! Verwacht wordt in de eerste plaats, dat men met opgewekte belangstelling zal werken en zal trachten de dingen te *begrijpen*. De leiders van het practicum stellen zich niet voor U te beoordelen, zij willen U alleen uitleggen wat U niet duidelijk zou zijn. Schriften en boeken kunnen naar willekeur geraadpleegd worden, en men kan onbeperkt gebruik maken van de bibliotheek. Er wordt prijs op gesteld dat de deelnemers elkaar onderling helpen. Gesprekken die niet op het werk betrekking hebben zouden echter storend zijn en moeten liever vermeden worden.

Men werkt meestal in groepjes van twee, liefst steeds met dezelfde maat; de groepering wordt aan de deelnemers zelf overgelaten. Lees zorgvuldig de instructie. Neem eerst de algemene gedachtengang goed in U op; ga dan direct aan het werk, en ga punt voor punt de opgaven uitvoeren. - Vooral bij het begin wordt dikwijls nodeloos tijd verloren.

Het optekenen der waarnemingen geschiede precies zoals een weten-

schappelijk onderzoeker dit doet wanneer hij een of ander probleem bewerkt. Maak Uw verslag direct tijdens het werk. Schrijf het met inkt in Uw schrift, beknopt, maar zo helder en goed leesbaar, dat het over een maand nog begrijpelijk zal zijn! Eenvoudige schetstekeningen helpen daarbij. De achtereenvolgende stadia van het onderzoek kunnen meestal met voordeel in tabelvorm opgetekend worden; suggesties voor een geschikt schema zijn aan het eind der instructies gegeven.

Alleen directe waarnemingen aan de kijker, op het dak, bij de instrumenten, worden eerst in het aantekenblok ordelijk opgetekend en verder niet meer gewijzigd. Dikwijls zal een der partners waarnemen en de andere optekenen; later worden de rollen verwisseld. Direct daarna worden deze gegevens overgenomen en in het algemene verslag verwerkt, dat ieder van de twee opstelt.

Numerieke berekeningen worden door beide partners onafhankelijk van elkaar uitgewerkt, en na elke stap worden de uitkomsten vergeleken; dit is de enige manier om het begaan van vergissingen te vermijden! Men schaffe zich zo snel mogelijk een rekenlineaal aan en lere daarmee werken; het is een kostbaar bezit en kostbare kennis voor Uw gehele leven.

Tekeningen van natuur-objecten worden door elk der twee deelnemers op een blad van het aantekenblok gemaakt; de oorspronkelijke tekeningen worden daarna gedagtekend en in het schrift geplakt (gluton alleen aan de hoeken!). Voor het maken van zulke tekeningen is geen enkele bijzondere aanleg vereist; de bedoeling is alleen, dat men zich goed reken-schap gaat geven van alles wat men ziet, en het op duidelijke wijze door een schets leert vastleggen. Toch kan men in de uitvoering blijk geven van goede zorg en smaak.

Doordat het verslag nog diezelfde avond opgesteld wordt, is de herinnering aan de waarneming veel frisser; bovendien wordt vermeden, dat de uitwerking thuis te veel tijd in beslag neemt. Men wordt verzocht, het schrift vóór het verlaten van het practicum bij de leiders in te leveren.

Ieder die de sterrekunde gaat bestuderen, doet dit met de verwachting, dat nu inhoud zal gegeven worden aan het overweldigende gevoel dat

over hem is gekomen bij het aanschouwen van een fonkelende sterrenhemel. Die verwachting zal vervuld worden; maar men moet bereid zijn zich daar moeite voor te geven. Het waarnemen door de kijker vereist *oefening*. Het werk op fotografieën is een werk met *symbolen*, waarvan de eigenlijke betekenis pas door een verstandelijke redenering blijkt. Gedurende de arbeid is het echter goed, zich af en toe te bezinnen over de wonderlijke schoonheid en grootheid van het Heelal, dat men aan het verkennen is. Ook de vakastronoom is van dat gevoel doordrongen. Hij brengt het zelden tot uitdrukking, maar het geeft wijding aan al zijn werk.

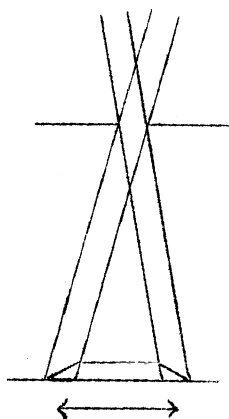
DE ZON

§ 1. DE MIDDELIJN DER ZON.

De middellijn der zon wordt waargenomen als een kleine hoek γ die in radialen of boogminuten op te geven is. Is dit hoekje eenmaal zorgvuldig bepaald en is de afstand Zon-Aarde bekend, dan is de middellijn der Zon ook in lengtemaat gemakkelijk te berekenen.

1^e Methode.

Bevestig in de koperen klemmen van het hoge statief een kartonnetje voorzien van een kleine opening. Richt het nauwkeurig naar de zon. Vang het zonnebeeldje op enige afstand daarachter op, op een wit scherm, dat goed loodrecht op de stralen wordt gehouden. De onscherpe lichtrand van het zonnebeeldje ontstaat, doordat de opening niet oneindig klein is. Wanneer men de middellijn der lichtvlek meet tot halverwege het helderheidsverval van de wazige rand, vindt men precies de waarde, die voor een oneindig klein gaatje zou gelden. Deze meting geschiedt slechts goed bij heldere zonschijn. Meet tenminste twee middellijnen van het zonsbeeld, en de afstand tot de kleine opening (met een touw).—Herhaal dit nog voor een paar andere afstanden van het scherm.—Maak in Uw grafiekenschrift een grafische voorstelling van de middellijn als functie van de afstand; trek zo goed mogelijk een rechte lijn door de oorsprong en de waargenomen punten.



$$\text{Bepaal } \gamma (\text{in radialen}) = \frac{\text{middellijn zonsbeeld}}{\text{Afstand gaatje-scherm}}$$

afstand tot scherm	1 ^e middellijn	2 ^e middellijn	gemiddelde diameter

2^e Methode.—

Vervang het kartonnetje door een ander, voorzien van een zwakke lens. De brandpuntsafstand daarvan, F , is (doch slechts bij benadering)

opgegeven op het kartonnetje. Bepaal nauwkeurig op welke afstand zich het scherpe zonsbeeld aftekent; kies een wit, grijs of zwart schermje, waarop het beeld helder, maar niet te fel uitkomt. Als dit beeld niet over zijn gehele omtrek scherp is, moet de lens zorgvuldiger loodrecht op de stralen gezet worden.

Houd Uw vinger voor een deel van de lens, en zie welke invloed dit op het beeld heeft. Onderzoek zorgvuldig het keurige beeldje. Bemerkt randverzwakking en het roodachtig worden nabij de rand. Langs de omtrek lopen "golfjes", tengevolge van de stromen warme en koude lucht in de dampkring van de aarde (scintillatie). Schommel een weinig heen en weer met het schermje, zodat de korrel van het papier minder hinderlijk is; en zie of er zonnevlekken waar te nemen zijn.

Meet tenslotte twee middellijnen D_1 en D_2 en de brandpuntsafstand F

Bereken γ (in radialen) = $\frac{\bar{D}}{F}$.

Herhaal de meting met een lens van andere brandpuntsafstand.

Bereken de gemiddelde waarde $\bar{\gamma} = \frac{\sum D}{\sum F}$; dit is nauwkeuriger dan wanneer men het gemiddelde der breuken $\frac{D}{F}$ zou opmaken, de grote waarden krijgen nu meer gewicht.

Aanvulling.-

Het zonnebeeld is klaarblijkelijk niet puntvormig. Het is dus fout om te zeggen dat de zonnestrallen als evenwijdig kunnen worden beschouwd; de stralen van één punt van de zon zijn praktisch evenwijdig, maar de richtingen zijn merkbaar verschillend voor de individuele punten der zonneschijf.

Het zonsbeeld is des te groter naarmate de lens zwakker is. Maak ook hier een grafiek zoals bij de eerste methode.

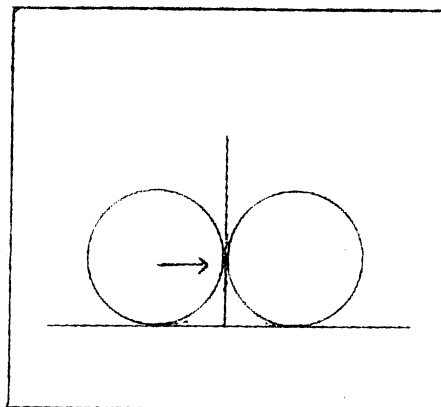
3^e Methode.-

Tengevolge van de dagelijkse draaiing van het hemelgewelf (= aswenteling der aarde) legt de zon een cirkel af in 24 uur. Op deze tijd van het jaar staat zij dicht bij de aequator, zodat we deze cirkel voorlopig als een grote cirkel kunnen beschouwen. Zij legt dus in 24 uur een boog 2π af. Als we nu bepalen hoeveel tijd de zon nodig heeft om haar eigen middellijn te doorlopen, kunnen we die middellijn in radialen aangeven.

Teken zorgvuldig op Uw scherm twee onderling loodrechte lijnen. Klem het met een wasknijper zó vast, dat de zonsrand (of een zonnevlek) nauwkeurig langs de ene lijn loopt door de dagelijkse beweging. Als de goede richting door de proeven gevonden is, bepalen we hoeveel seconden t verlopen vanaf het ogenblik waarop eerst de ene, dan de andere rand aan de dwarslijn raken.

Herhaal deze meting tenminste twee maal en neem het gemiddelde van de tijden t_1 en t_2 .

Bereken $\gamma = 2\pi \cdot \frac{t}{24 \cdot \pi \cdot 3600}$.



Aanvulling.-

In de Nautical Almanac vindt U de declinatie δ van de zon, d.i. haar afstand tot het aequatorvlak. De lengte van de dagelijks afgelegde boog is dus nauwkeuriger $= 2\pi \cdot \cos \delta$.

Welke invloed heeft dit op Uw uitkomst?

Discussie.-

Vergelijk de uitkomsten der drie methoden. Beoordeel hun nauwkeurigheid. Welke waarde van γ zult U tenslotte aannemen?

Reken γ om in boogminuten (bedenkt: 2π radialen $= 360^\circ$; enz.).

Bereken de middellijn der zon in km, als bekend is dat de afstand aarde-zon $150 \cdot 10^6$ km bedraagt.

=====

1^e Methode.-

afstand tot scherm	1 ^e middellijn	2 ^e middellijn	gemiddelde diameter

2^e Methode.-

F	D ₁	D ₂	\bar{D}
$\Sigma F =$	$\gamma = \frac{\Sigma D}{\Sigma F} =$		$\Sigma D =$

3^e Methode.-

$t_1 = \dots\dots\dots$

$t_2 = \dots\dots\dots$

$\bar{t} = \dots\dots\dots$

$$\gamma = 2\pi \cdot \frac{\bar{t}}{24 \cdot \pi \cdot 3600} = \dots\dots\dots$$

Aangenomen waarde voor γ : $\dots\dots\dots$ rad. = $\dots\dots\dots$ boogminuten.

Middellijn der zon = $150 \cdot 10^6 \cdot \gamma \cdot \text{km} = \dots\dots\dots$ km

VERMIJD REKENFOUTEN!

Litteratuur.-

G. Abetti, in Hdb. der Astrophysik, IV, blz. 106.

§2.

DE ZONNECONSTANTE

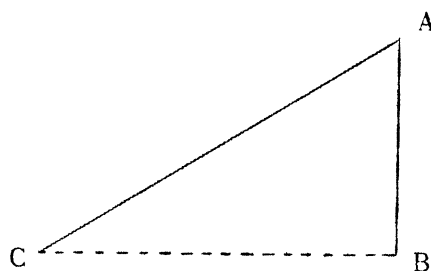
We meten de hoeveelheid energie, die de zon uitstraalt, door een klein gedeelte hiervan op te vangen in een calorimeter. Hiervoor gebruik - en we een zwartgemaakt messing cylindertje, loodrecht op de zonnestraling opgehangen, en waarin een thermometer steekt.

Meting.-

1. Kies een waarnemingsplaats, niet te dicht bij een door de zon beschenen muur, liefst zo open mogelijk. Houd de calorimeter voorlopig in de schaduw, leg horloge, papier en potlood klaar.

2. Breng de thermometer in het metalen schijfje; zachtjes draaiend en drukkend om goed warmtecontact tussen thermometer en metaal te verzekeren.

3. Lees de tijd af en bepaal de lengte van de lichtweg door de dampkring op dit ogenblik, uitgedrukt in die lengte bij vertikaal invallende zonnestrallen. Hiertoe houdt men een latje of een potlood zo goed mogelijk verticaal, en meet de verhouding AC/AB.



4. Breng de calorimeter in de zon; richt hem snel, door eerst de hoogte in te stellen en het geheel naar het gewenste azimuth te keren. Beoordeel de opstelling door de schaduw van het schijfje waar te nemen op de doorzichtige bodem van de calorimeter. Scherm daarna onmiddellijk de calorimeter af.

5. Lees de temperatuur af met tussenruimten van een halve minuut, gedurende drie minuten. Waarnemer (A) volgt de secondenwijzer van het horloge, geeft 5 seconden tevoren het sein "opgepast" en dan het sein voor de aflezing "nu". Waarnemer (B) leest de thermometer af, eerst de tiende delen van een graad, daarna de volle graden. Waarnemer (A) noteert.

6. Trek het scherm weg op het precieze ogenblik van de laatste aflezing en herhaal de vorige meting, weer gedurende 3 minuten, maar nu in de zon.

7. Tweede schaduwmeting = herhaling van meting 5.

8. Herhaal de metingen 3 - 7 bij andere zonshoogte, later op de namiddag.

Bewerking.-

9. Bij het grafisch voorstellen van de resultaten blijkt al direct dat de eerste halve minuut nog niet de volle stijging of daling vertoont, traagheidseffecten spelen daarbij een rol. Laat dus bij elk van de drie metingen schaduw - zon - schaduw deze halve minuut vervallen. Bereken de gemiddelde stijging per minuut:

a) bij de eerste schaduwmeting (s_0)

b) bij de zonnemeting (s_z)

c) bij de tweede schaduwmeting (s'_0).

De invloed der omgeving tijdens de zonnemeting is dan met voldoende benadering:

$$\frac{s_0 + s'_0}{2},$$

en de gecorrigeerde stijging in de zon bedraagt

$$s = s_z - \frac{s_0 + s'_0}{2} \quad . \quad (\text{Let op de tekens})$$

10. Bepaal de calorimeter-constante $G = \text{warmtewaarde/oppervlak} = \text{soortelijk gewicht} \times \text{soortelijke warmte} \times \text{dikte}$. Hoe kleiner deze is, des te gevoeliger de calorimeter. De stijging van s graden per minuut komt overeen met het opvangen van $K = s.G$ calorieën per minuut per cm^2 . Voor lood is s.g. = 11,3; s.w. = 0,031. Voor messing van de calorimeter is s.g. = 8,5; s.w. = 0,093; dikte is 1,2 cm.

11. K zou de zonneconstante zijn, als de aardatmosfeer niets tegenhield. Nu echter is $K = K_0 \cdot 10^{-a} \sec z$. We zetten nu alle deze middag gevonden waarden $\log K$ tegen de bijbehorende $\sec z$ uit en trekken hierdoor de best passende rechte lijn. Deze levert ons de zonneconstante K_0 en de extinctieconstante A . (Daar de extinctie niet voor alle golflengten hetzelfde is, is het interpoleren d.m.v. een rechte lijn niet geheel juist; bij juiste extrapolatie komt K_0 10% hoger uit.)

Uitbreiding.-

12. Hoeveel procent wordt een ster verzwakt, die in het zenith staat?

13. Hoeveel energie straalt nu de zon per cm^2 van zijn eigen oppervlak uit?

Bereken hieruit de effectieve temperatuur van de zon met behulp van de formule van Stofan-Boltzmann;
straling zwart lichaam = $\sigma = 1,37 \cdot 10^{-12} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec gr}^4$.

tijd in minuten	t schaduw	t zon	t schaduw
0			
0,5			
1			
1,5			
2			
2,5			
3			
	$s_0 =$ _____	$s_z =$ _____	$s'_0 =$ _____

$\sec z =$ _____

$G =$ _____

Litteratuur.-

Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution (I - VI).

C.G. Abbot: The Sun. (New York).

C.G. Abbot: Twenty - five years study of solar radiation.

Washington 1933.

§ 3. DE HELDERHEIDSVERDELING OVER DE ZONNESCHIJF.

Algemene instructies.-

Behandel fotografische platen altijd voorzichtig! Zet er geen vingers op, vat ze alleen bij de randen aan! Vermijd de gelatinelaag te krassen!

De lessenaar, die U ter beschikking gesteld wordt kan op velerlei manieren gebruikt worden. U kunt bv. de melkglazen plaat bijna horizontaal leggen op de rubber reepjes; daarop komt dan de te onderzoeken opname. Zorg dat de glazen plaat onder en boven stofvrij is.

De verlichtingslamp kan in allerlei standen gebracht worden door verplaatsen of draaien. Zorg voor goed licht, maar vermijd een te sterke verwarming, die de plaat zou beschadigen.

Bij fotometrische bepalingen moet men nooit te lang naar het object turen. Kijk aandachtig, maar beslis snel, om het oog niet te vermoeien.

U wordt een opname van de zon ter hand gesteld, gefotografeerd in violet of rood licht; over de helft van de zonnescijf is de gelatinelaag verwijderd. Tracht al direct de randverzwakking te zien.

Op dezelfde plaat staat ook een ijkingschaal, verkregen met een buis-sensitometer; de helderheden, waarmee de verschillende hokjes verkregen zijn bedragen: 100, 50, 25, 12,5, 6.

Wij willen nu de zwartingen langs een straal der zonnescijf vergelijken met die der ijkingshokjes. Als tussentrap gebruiken we een wig. Voor de beoordeling der zwartingen is het doelmatig het veld te beperken tot een klein rechthoekje.

Noteer de nummers van de opname en van de wig.

Leg de platen altijd in deze volgorde:

onder: zonne-opname, met de gelatine naar boven;
afschermend papieren diafragma;

boven: wig, met de gelatine naar onderen.

Daarop eventueel nog een glaasje dat als kleurfilter dient.

A. IJking van de wig.

1. Breng de ijkingshokjes achtereenvolgens op het diafragma in het afschermende millimeterpapier en schuif de wig erlangs, zorgdragend, dat de twee gelatinelagen naar elkaar toe gekeerd zijn en dat de rand van de wig vlak naast de rand van de ijkingshokjes komt. Bepaal telkens bij welke stand van de wig de zwarting gelijk is aan die der ijkingshokjes (stand aflezen op het millimeterpapier).

2. Maak een grafiek van de logarithme der gebruikte lichtsterkte tegen de standen van de wig (ijkingskromme)!

B. Meting.

3. Leg nu evenzo de wig langs de middellijn van het zonsbeeld. Breng de punten, die op $-0,9$; $-0,8$; $-0,6$; $-0,3$; $0,0$; $+0,3$; $+0,6$; $+0,8$; $+0,9$; van het centrum gelegen zijn midden in het diafragma.

Maak, door de wig er langs te schuiven, de zwartingen van wig en meetpunten gelijk en lees de bijbehorende wigstanden af. Bepaal via de ijkingskromme bij elke wigstand de helderheid van het bijbehorende meetpunt.

4. Maak een grafische voorstelling van de helderheid langs een straal der zonneschijf a) tegen r/R ; b) tegen $\cos \gamma$ (waarin γ de heliocentrische hoek is, dus $r/R = \sin \gamma$).

C. Uitbreiding.

5. Stel de resultaten voor door een formule van de vorm $i = a + b \cos \gamma$;

De verhouding $\frac{a}{a+b} = \frac{i(\text{rand})}{i(\text{centrum})}$ kenmerkt Uw kromme.

6. Herhaal de bewerking 1 t/m 5 voor opnamen, in rood licht gemaakt. Vergelijk.

Nr. ijkingshokje	lichtsterkte I	log I	stand wig	
Afstand van centrum zonsbeeld.	lichtsterkte I	log I	stand wig	gemiddelde I
-0,9	+0,9			
-0,8	+0,8			
-0,6	+0,6			
-0,3	+0,3			
0,0				

LITTERATUUR.

Unsöld: Physik der Stern - Atmosphären, hoofdstuk II.

§ 4. HET ZONNESPECTRUM.

Ter bewerking is een directe fotografische opname gegeven van een klein gedeelte van het zonnenspectrum, vervaardigd met de grote rooster-spektrograaf der Mt. Wilson sterrewacht. Deze platen worden gedemonstreerd, ze moeten met grote zorgvuldigheid behandeld worden.

De opname is 'n negatief, de Fraunhoferlijnen zijn dus helder op donkere achtergrond. Op dezelfde plaat bevinden zich verschillende opnamen van grotere of kleinere belichtingstijd en intensiteit.

Het golflengtegebied is op de enveloppe aangegeven (in $\text{Å} = 10^{-8} \text{ cm}$). Naar deze platen zijn registreringen vervaardigd met een speciaal toestel van de Utrechtse Sterrewacht, die de lichtsterkte op elk punt van het spectrum aangeven. Onderaan bevindt zich een horizontale lijn die met de lichtsterkte nul overeenkomt.

1. Vergelijk met elkaar:

- de registreerstrook;
- de fotografische atlas van Rowland;
- de Revised Rowland Table.

Let op de "vleugels" der sterke lijnen, op de "centrale intensiteit", op de "blends" (lijnen die zo dicht op elkaar vallen dat ze elkaar vervormen).

2. Leg op de registreerstrook een meetlatje met het nulpunt voldoende links van de verticale "referentielijn" (bv. 20 cm links).

Maak nu een tabel van de plaatsen van een 4-tal goed gevormde lijnen, waarvan U zo nauwkeurig mogelijk het midden afleest (nauwkeurigheid 0,1 mm)

Schrijf daarnaast de benaderde golflengte, afgelezen van de Atlas van

Rowland, en daarnaast de golflengte in internationale schaal, overgenomen uit de Revised Rowland Table. Deze beide waarden vertonen een systematisch verschil, doordat Rowland de absolute waarden der golflengten niet nauwkeurig kende.

3. Nu gaan we een zo nauwkeurig mogelijke λ -schaal voor de gehele plaat opmaken. Noem x de afgelezen afstanden, y de golflengten; in beginsel komt de bewerking daarop neer, door de punten (x,y) zo goed mogelijk een rechte lijn te trekken. We doen dit niet grafisch, maar numeriek met een vereenvoudigde "methode der kleinste kwadraten".

Bereken eerst \bar{x}, \bar{y} ; dit is al een punt waardoor de lijn gaan moet. De helling der lijnen wordt nu gegeven door

$$D = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{\sum |y - \bar{y}|}$$

dit is tevens de dispersie, gemeten op de registreerstrook in mm per A. Het is nu gemakkelijk, de A streepjes aan te geven op een strook dik papier die men op de registreerstrook legt. Eerst berekent men een streepje vlak naast \bar{x}, \bar{y} , en vindt de andere door optellen of aftrekken van een aantal malen D.

Teken deze streepjes en zet er de A-schaal bij.

4. Lees van enkele onbekende lijnen de golflengte af op Uw schaal, en vergelijk met de waarde in de tabellen.

Uitbreiding.

5. Bepaal welke lijnenparen nog gesplitst worden door de spektograaf. Zoek hiertoe twee zwakke lijnen die nog net te onderscheiden zijn en niet teveel van sterkte verschillen. Lees in de R.R.T. af hoeveel hun golflengten uiteenliggen.

Tabellen betreffende het zonneppektrum.

Revision of Rowland's Preliminary Table. Washington 1928.

Ch. Moore: A multiplet table of astrophysical interest. Princetown 1933.

Allen: Fraunhofer Intensity Tables. Canberra 1938

Photometric Atlas of the Solar Spectrum. Utrecht 1940.

Ijking.

	x	$ x - \bar{x} $	λ Rowl	λ intern = y	$ y - \bar{y} $
1					
2					
3					
4					
$\Sigma x =$				$\Sigma y =$	
$\bar{x} =$				$\bar{y} =$	

$$D = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{\sum |y - \bar{y}|} =$$

Contrôle

λ afgelezen	λ Rev. Rowl. T.	Vershil

§5. DE AEQUIVALENTE BREEDTE DER FRAUNHOFERLIJNEN.

Het is van belang niet alleen de nauwkeurige golflengte maar ook de "sterkte" der Fraunhoferlijnen te kunnen meten. Dit is door Rowland gedaan in een empirische schaal naar het uiterlijk der lijn op de spektro-

grammen. Een nauwkeuriger maat krijgt men door invoering van het begrip "aequivalente breedte".

Wij denken ons een spektraallijn die over de breedte A alle straling uit het spektrum weghaalt, en die dus een rechthoekig profiel heeft; maak het gebied A zo breed, dat het oppervlak gelijk wordt aan dat der ware spektraallijn, en dat die denkbeeldige lijn dus evenveel energie aan het spektrum onttrekt. Dan is A de aequivalente breedte. Men drukt die uit in Angström eenheden.

1. Vergelijk de U gegeven registreerstrook met de fotografische atlas van Rowland. Behandel deze kostbare foto met grote zorg! Teken in Uw schrift de golflengte op van een aantal zuiver gevormde lijnen, zoals U die van de atlas afleest. Uit de registreerstrook kunt U er zich van vergewissen dat de lijnen enkelvoudig zijn en zich op een effen continuüm aftekenen. Neen lijnen van zeer uiteenlopende sterkte.

Leg een reep karton langs de atlas en geef de uitgezochte lijnen aan met een streepje op de reep, om ze bij verder werk gemakkelijk terug te vinden.

Vergelijk Uw lijnen met de Catalogus van Rowland ("Revised Rowland Table = R.R.T."). Denk aan het verschil $\lambda_{\text{Rowl}} - \lambda_{\text{intern}}$. Om zeker te zijn van de indentificering, moet U niet alleen kijken naar de onderzochte lijn maar naar de omgeving en naar de sterkteschattingen. Lijnen die dubbel zijn of gevormd in de aardatmosfeer (O_2 , H_2O) verwerpen we.

2. Maak zelf een schaal voor het schatten der lijnsterkten. Geef aan de sterkste lijnen het cijfer 10, aan de zwakste het cijfer nul, en interpoleer de overige zo goed mogelijk, op het oog. Tracht alle lijnen op dezelfde wijze te beoordelen.

3. Vergelijk Uw schaal met die van Rowland, ontleend aan de Revised Rowland Table. Elke lijn wordt voorgesteld door een stipje, waarvan de abscis overeenkomt met de Rowland-sterkte, de ordinaat met Uw schaalnummer. Trek een vloeiende kromme tussen die stippen. (Indien de R.R.T. niet direct beschikbaar is, gaat U over tot het bewerken der volgende nummers.)

4. Wij zullen thans de aequivalente breedte nauwkeuriger bepalen. Leg boven de onderzochte lijn een celluloid plaat, zodat de rand daarvan aangeeft hoe de continue achtergrond van het spektrum verloopt.

Bepaal het oppervlak van de lijn door uittellen van het aantal mm^2 ; denk U daartoe dit oppervlak in horizontale strookjes verdeeld, waarvan U telkens de breedte bepaalt, en bereken de som.

Doe dit voor een aantal lijnen.

5. Bereken hieruit de aequivalente breedte dezer lijnen, eerst in mm dan in A.

6. IJk de schaal van Rowland, door de aeq. breedte tegen de Rowlandsterkte uit te zetten. Trek een vloeiende kromme tussen de gemeten punten.

Hoe groot zijn ten opzichte daarvan de afwijkingen die in de schattingen van Rowland voorkomen?

Uitbreiding.

7. Vergelijk Uw uitkomst met die van anderen in verschillende spektraalgebieden.

Litteratuur.

G.F.W. Mulders: Aequivalente breedten van Fraunhoferlijnen. Nijmegen 1934. Zie verder de litteratuur bij 94.

λ	geschatte lijnsterkte	Rowland- sterkte	Oppervlak in mm^2	Aeq.breedte in A	Vershil Rowl.-curve

§6. DE GROEIKROMME.

1. Beginsel.

De equivalente breedte A ener Fraunhofer-lijn is een functie van het product Nf ; hierin is N het aantal absorberende atomen per cm^3 , f de oscillatorsterkte (uit de atoomtheorie dikwijls bekend).

De groeikromme is een lijn die aangeeft, hoe de equivalente breedte met het aantal absorberende deeltjes toeneemt. Feitelijk kunnen we natuurlijk op de zon N niet veranderen. Maar in plaats daarvan gaan we componenten van multipletten vergelijken; deze ontstaan op bijna hetzelfde energie-niveau en hebben vrijwel dezelfde golflengte. Voor twee dezer componenten is volgens Boltzmann:

$$\frac{N}{N'} = \frac{g}{g'} e^{-\frac{\epsilon}{kT}} \approx \frac{g}{g'} \quad \text{dus} \quad \frac{Nf}{N'f'} = \frac{gf}{g'f'}$$

Door twee multipletcomponenten te vergelijken, waarvan de grootheden gf in een zekere verhouding staan leren we dus hoe een lijn verandert als Nf in die verhouding verandert of als (bij gegeven f) N verandert. Voor multipletcomponenten kunnen de relatieve waarden van gf gemakkelijk theoretisch worden aangegeven (zie hierbij gevoegde tabel).

2. Werkwijze.

Kies een bepaald multiplet. In de tabel vindt u A en gf . Zet $\log A$ tegen $\log gf$ uit. U heeft aldus een stukje van de groeikromme verkregen.

Herhaal dit met een ander multiplet van hetzelfde spektraalgebied. De lijnen van de twee beschouwde multipletten sluiten niet bij elkander aan; dit is te wijten aan het feit, dat we alleen de relatieve waarden van Nf binnen het multiplet kenden.

We moeten dus voor aansluiting zorgen door vermenigvuldigen van alle gf -waarden van het tweede multiplet; d.w.z. door in onze logaritmische schaal de punten, multiplet per multiplet, horizontaal te verschuiven.

Doe dit voor verscheidene multipletten: ieder stuk groeikromme wordt overgetekend op doorzichtig papier, op zulk een wijze dat de stukken bij elkaar aansluiten. Trek de gemiddelde groeikromme. De abscis $\log gf$ is tevens $\log Nf$, op een constante na.

3. Uitvoering.

We gaan nu de aanslagtemperatuur berekenen. Beschouw enerzijds een lijn, die geabsorbeerd wordt door het grondniveau; anderzijds een lijn van hetzelfde element, geabsorbeerd door een atoom-niveau van aanslagenergie ϵ .

$$\frac{Nf}{N_0 f_0} = \frac{gf}{g_0 f_0} \cdot e^{-\frac{\epsilon}{kT}}; \quad \text{of} \quad \frac{Nf}{gf} = \text{const.} \cdot e^{-\frac{\epsilon}{kT}}$$

$$\log Nf - \log gf = \text{const.} - \frac{5040}{T} E.$$

Lees dus uit de groeikromme $\log Nf + \text{const.}$ af, ontleen $\log gf$ aan de tabel (ditmaal moeten de absolute waarden genomen worden), en maak een grafiek van $\log Nf + \text{const.} - \log gf$ tegen E . De constante is voor alle lijnen dezelfde. De helling geeft $5040/T$ en dus T .

Enkele Multipletten.

		gf (relatief)	log gf (absoluut)	A(in mA)	log Nf	log Nf - log gf
Ti $5p - 5p$ $\epsilon = 1,73\text{eV}$	4465	56	0,85	38		
	4471	54	0,83	40		
	4479	18	0,35	21		
	4480	10	0,10	34		
	4481	112	1,15	63		
	4489	54	0,83	38		
	4496	56	0,85	41		
	Ti $5p - 5D$ $\epsilon = 1,74\text{eV}$	4617	108	1,43	62	
4623		56	1,15	50		
4629		21	0,72	93		
4639		35	0,94	41		
4639		28	0,85	40		
4639		27	0,83	34		
4645		12	0,48	20		
4650		9	0,35	15		
4656		4	0,00	10		
Ti $5F - 5G$ $\epsilon = 0,84\text{eV}$		4981	1440	1,96	131	
	4991	1094	1,84	112		
	4999	810	1,71	109		
	5007	585	1,57	120		
	5014	425	1,43	107		
	5016	120	0,88	62		
	5020	180	1,05	76		
	5022	175	1,04	69		
	5024	120	0,88	63		
	5040	8	0,70-1	9		
	5043	9	0,76-1	12		
	5045	5	0,48-1	8		
	Ti $3F - 3D$ $\epsilon = 1,43\text{eV}$	5471	35	0,59	5	
5481		35	0,59	9		
5512		405	1,65	42		
5514		189	1,32	33		
5514		280	1,49	39		
Fe $7D - 7D$ $\epsilon = 2,45\text{eV}$		4187	360	1,18	260	
	4187	375	1,19	320		
	4191	240	1,00	315		
	4210	120	0,70	182		
	4222	105	0,64	148		
	4233	240	1,00	224		
	4235	441	1,26	382		
	4250	360	1,18	294		
	4260	1056	1,64	610		
	4271	375	1,19	418		
4299	264	1,04	203			
Fe $7F - 7D$ $\epsilon = 2,86\text{eV}$	4859	31	0,71	166		
	4871	84	1,14	217		
	4872	65	1,03	182		
	4878	32	0,72	131		
	4890	101	1,22	199		
	4891	160	1,42	300		
	4903	25	0,62	118		

		gf (relatief)	log gf (absoluut)	A(in mA)	logNf	log Nf-log gf
Fe $7\bar{D} - 7D$ $\epsilon = 2,86\text{eV}$	4919	116	1,28	261		
	4920	267	1,65	447		
	4938	18	0,48	110		
	4957	106	1,26	263		
	4957	390	1,81	540		
	4985	10	0,32	111		
	5006	68	1,05	219		
	5044	4	1,82	70		
Fe $5D - 5D$ $\epsilon = 3,24\text{eV}$	5208	48	1,00	110		
	5215	42	0,94	112		
	5217	36	0,88	101		
	5229	24	0,70	111		
	5253	6	0,10	79		
	5263	30	0,80	111		
	5273	24	0,70	100		
	5283	84	1,24	162		
	5302	42	0,94	136		
	5324	180	1,57	254		
	5339	48	1,00	145		
	5393	36	0,88	136		

§ 7. ZONNEVLEKKEN.

De aswenteling wordt onderzocht door de zonnevlekken gedurende verscheidene dagen te volgen, en te meten hoe ze zich over de zonnescijf verplaatsen. Alle vlekken (althans op éénzelfde breedte) bewegen op bijna gelijke wijze: deze beweging is een algemene beweging van de gehele zon.

1. Stel de kijker op. Sommige kijkers zijn draaibaar in hoogte en azimuth. Andere zijn draaibaar om de hemelas en loodrecht daarop ("parallaktisch opgesteld"); deze laatste moeten met hun as in het NZ-vlak gericht worden, het hoogste uiteinde naar het noorden toe.

2. Onderzoek hoe de kijker bewogen kan worden (grove beweging en fijne beweging). Richt hem op een ver verwijderd voorwerp, stel het oculair scherp, en geef de stand met een potloodstreepje aan. Stel voorlopig het oculair 1 cm verder van het objectief dan deze stand, om het zonsbeeld op een scherm te kunnen opvangen.

3. Richt de kijker zo goed mogelijk op de zon. Dit kost enig zoeken; zorg dat de kijkerschaduw op een blad papier zo klein mogelijk wordt; kijk voorzichtig langs de kijker (niet erdoor!). Als de richting goed is verschijnt ineens een grote heldere lichtschijs op het scherm. Klem nu de kijker en regel hem verder met de fijne bewegingen.

4. Gebruik nu als scherm een kartonnetje, bevestigd aan een houder, en bedekt met een blad wit papier. Focuseer de kijker tot het beeld zo scherp mogelijk is. Vergewis U ervan dat de lichtschijs die U ziet wel het beeld is van de gehele zonnescijf; bij draaiing aan een der fijne bewegingen moet het beeld zich als geheel verplaatsen, Mocht het zonsbeeld groter zijn dan het veld van de kijker, dan kunt U het gehele beeld niet tegelijkertijd zien. Bestudeer dan eerst het beeld gegeven door de zoeker, en gebruik het grotere en mooiere van de kijker om de bijzonderheden na te gaan.

5. Het scherm is zo aangebracht, dat het zonsbeeld een middellijn krijgt van 5 tot 10 cm. Teken zo nauwkeurig mogelijk de omtrek en de plaats van alle zonnevlekken; ook de grootte van elke vlek moet zo goed mogelijk weergegeven worden.

6. Raak gedurende enige minuten niet meer aan de fijne bewegingen van de kijker, en teken op hoe de vlekken zich door de dagelijkse beweging verplaatsen. Met tussenruimten van enige seconden geeft U telkens door een stipje de nauwkerige stand aan van een of twee goed kenbare punten. U kunt nu het scherm van de kijker losmaken, en door deze punten een rechte lijn trekken. Een daaraan evenwijdige lijn door het centrum der zon geeft U de OW-richting: W = de richting naar dewelke de zon beweegt, loodrecht daarop zijn de N en Z-richtingen (waar de ene, waar de andere?). Uw tekening is nu georiënteerd.

7. Bestudeer een interessante vlekkgroep meer in het bijzonder. Maak een detailtekening op een afzonderlijk blad papier. Let op kern en halfschaduw.

Uitbreiding.

8. Herhaal de waarnemingen 5 - 6 gedurende verscheidene dagen. De tekeningen zijn steeds vergelijkbaar doordat ze georiënteerd zijn. Breng alle posities van éénzelfde vlek op eenzelfde tekening over en schets de baan die de vlek doorlopen heeft. Doe dit ook voor andere vlekken.

Tekeningen naar astronomische objecten zijn weergaven van natuurtaferelen en moeten met zeer veel zorg uitgevoerd worden. Het zijn documenten, waarvan niets meer veranderen mag na afloop der waarneming! Dagtekenen, inplakken!

§8. DE ASWENTELING DER ZON.

Op de Greenwich-sterrenwacht en de met haar samenwerkende sterrenwachten wordt de zonneschijf dagelijks gefotografeerd en de plaats van alle vlekgroepen op de zonneschijf uitgemeten. Deze plaats van alle vlekgroepen wordt het eenvoudigst bepaald uit de afstand r tot het centrum (als breukdeel van de straal der schijf), en uit de positiehoek φ , gemeten in de zin NESWN, uitgaande van de projectie van de poolas op de zonneschijf. Een andere wijze is het aangeven van "heliografische coördinaten", overeenkomend met de lengte en breedte op aarde.

Met behulp van de vlekken zullen we de aswenteling der zon bestuderen. Bedenk echter dat een individuele vlek wel eens afwijkingen t.o.v. het gemiddelde vertoont (eigen beweging van een vlek); dit kan kleine onregelmatige afwijkingen verklaren.

Oriënteer U in de lijst der Positions and Areas of Sun Spots and Faculae; op de eerste bladzijde staat de betekenis van elke kolom.

1. Trek een cirkel van 20 cm. middellijn en twee nauwkeurig loodrechte diameters; de verticale diameter geeft de richting van de projectie der zonneas aan (zie voorbeeld onderaan).
2. Kies een grote vlekkgroep omstreeks 1 December, laat U hierbij leiden door zijn oppervlak. Let op het groepnummer in kolom 2, en zoek diezelfde vlekkgroep op ^{de} lijst der vorige dagen, teruggaande tot het ogenblik waarop hij voor het eerst op de zonneschijf verschenen is.
3. Zet zijn achtereenvolgende plaatsen op de zonneschijf uit met behulp van de gradenboog en meetlat, om de andere dag overslaand om tijd te winnen.
4. Trek door de getekende punten een zo zuiver mogelijke kromme lijn, de baan van de vlek zoals we die van op aarde waarnemen.
5. Herhaal dit op ^{een} andere tekening voor een andere grote vlekkgroep die omstreeks 5 Maart of omstreeks 3 September over het midden der schijf trok, en een geringe heliografische breedte heeft. Omstreeks deze data is de baan het sterkst gekromd; dit bewijst dat het aequatorvlak op die

ogenblikken zo sterk mogelijk naar ons toe of van ons af helt. Welke pool helt naar ons toe?

6. We kunnen nu de helling van de zonneas bij benadering bepalen. Stel i de hoek tussen het vlak van de cirkel, door de vlek beschreven, en de richting van onze gezichtslijn; noem a en b de halve grote en kleine assen der ellips. Dan is $b/a = \sin i$. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk a en b uit Uw tekening en bereken i .

7. Schat ruw de tijd die de vlek nodig heeft gehad om over de zichtbare zonneschijf te trekken, en bereken daaruit de totale rotatietijd.

8. Om de rotatietijd nauwkeuriger te bepalen, kiest U een vlekengroep die meer dan eenmaal over de zonneschijf is getrokken (Ledger 1: recurrent Groups; volgt op de General Catalogue)

Noteer welke de nummer de vlekengroep bij zijn verschillende overgangen gekregen heeft, en zoek hem op in de General Catalogue. Werk nu als volgt verder:

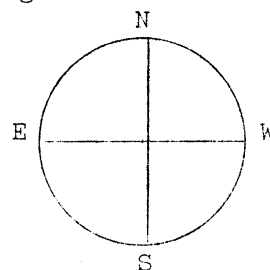
9. Teken zijn afstand r tot de centrale meridiaan als functie van de dag, bij de eerste overgang; (1 dag = 1 cm; straal der zon = 10 cm). Herhaal dit bij de volgende overgang (trek ditmaal van het aantal dagen 20 af, zodat beide curven niet te ver uiteen komen te staan). Meet de horizontale verschuiving der beide curven t.o.v. elkaar, en leidt daaruit de juiste duur der aswenteling af.

Uitbreiding.

10. Vergelijk Uw resultaat met hetgeen anderen hebben gevonden aan groepen van verschillende breedte.

11. Deze omwentelingstijd is de "synodische" S . Hieruit is de "siderische" omwentelingstijd T af te leiden door de omwentelingstijd E der aarde om de zon in rekening te brengen met de betrekking

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{E} = \frac{1}{S}$$



Litteratuur.

Greenwich Observations, Heliographic Results.

Vlekengroep no.

datum	r	φ

§9 DE ZONNEVLEKKENCYCLUS.

Als aanwijzer voor de "werkzaamheid" der Zon gebruikt men de zonnevleken-relatiefgetallen, zoals die aan de sterrewacht te Zürich vastgesteld zijn door Wolf, Wolfer en Brunner, steunende op het werk van een aantal waarnemers over de gehele wereld. Noem G het aantal groepen, V het aantal vlekken, dan is het relatiefgetal $R = 10 G + V$.

Deze getallen gelden voor de 4-duimskijker waarmee Wolf zijn waarnemingen begon in 1852. Voor een ander instrument werden ze daarop gereduceerd.

1. Teken op millimeterpapier de R-getallen voor een tijdbestek van ongeveer 60 jaar.
Zorg voor een geschikte schaal!
2. Bepaal de gemiddelde duur van de cyclus over dit interval.
3. Bepaal voor alle beschikbare cycli de tijdsduur T_m van minimum tot minimum. Teken de frequentiekromme, bemerk de spreiding.
4. Nummer de opeenvolgende cycli. We gaan zoeken of er soms enig verschil is tussen de even en oneven nummers. Bepaal voor alle cycli: de grootste waarde van R; noem die R_m de tijdsduur t tussen het minimum en het daarop volgende maximum ("stijgtijd").
zet t uit als functie van R_m , even en oneven cycli onderscheidend. Trek vloeiende krommen tussen de punten van elke groep. Discussieer de gevonden wetmatigheid.
5. Kies 3 cycli, waarin R_m resp. groot, gemiddeld en klein is; laat U daarbij leiden door de bij par.4 verkregen kromme, zodat U 3 goede representatieve cycli verkrijgt. Teken de drie overeenkomstige curven zó, dat de tijden van de maxima op elkaar vallen. Vergelijk het resultaat met Uw waarnemingen sub. 4. De zonnevlekkencycli vormen een schaar krommen met één parameter.

min	max	duur T_m	R_m	stijgtijd t

Aanvulling.

6. Interessant is ook het uitzetten van de dagelijkse R-getallen gedurende een periode van 2 maanden. Men herkent dikwijls de 27-daagse periode.

Litteratuur.

Astronomische Mitteilungen Zürich.

§ 10. DE VORM DER CORONA.

Sedert lang is opgemerkt, dat de vorm der corona verschillend is naar gelang men bij een minimum of een maximum waarneemt. Om deze afhankelijkheid quantitatief te onderzoeken, zou een nauwkeurige fotometrie van de opnamen vereist zijn, zoals die in de laatste jaren dikwijls is uitgevoerd. Het is echter mogelijk, een veel groter materiaal te bewerken, door een vereenvoudigde methode toe te passen.

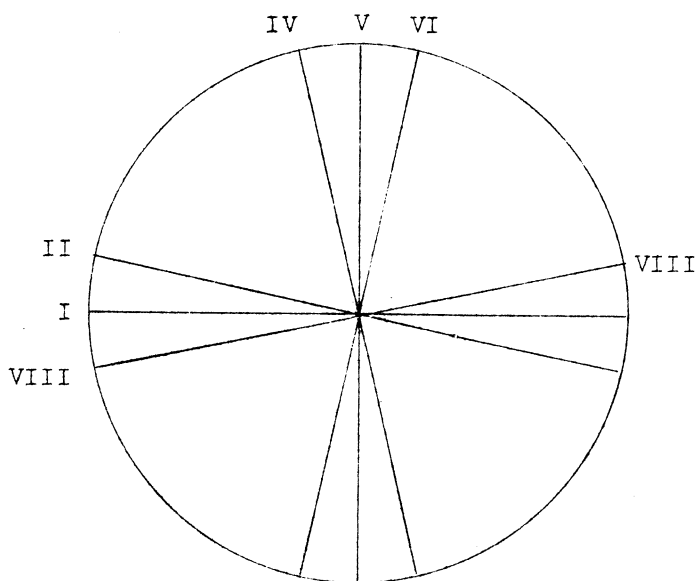
Een verzameling foto's van een bepaalde eklips wordt U ter hand gesteld. Als de reproductie enigszins hard is, kan men vrij gemakkelijk de "ontrek" der corona aangeven. Leg een blad doorzichtig papier op de foto, en trek deze lijn zo zuiver mogelijk, echter niet lettend op kleine onregelmatigheden en lichtvegen. Deze lijn is een lijn van gelijke helderheid, een isofoot. Hoe ook de reproductie gebeurd is, altijd weten we, dat deze lijn ook bij de werkelijke corona een isofoot was.

Bij lang belichte opnamen verkrijgt men isofoten op grote afstand van de zonsrand; bij kort belichte opnamen, isofoten dicht bij de zonsrand.

1. Trek zoveel mogelijk isofoten van eenzelfde corona, gebruikmakend van het beschikbare materiaal. Nummer elke tekening. Geef op elke tekening aan hoe de as der zon loopt.

2. Wij willen onderzoeken, hoe groot de afplatting dezer isofoten is. Om niet te veel last te hebben van toevallige bochtjes in de getekende

lijnen, werken we op de volgende wijze. Een glazen plaat, voorzien van lijnen zoals op de figuur hiernaast aangegeven, wordt op Uw tekening gelegd. Meet in millimeters de middellijnen I, II, IV, V, VI, VIII, meet ook de middellijn M der zonschijf. Bereken achtereenvolgens:



de aequatoriale diameter

$$A = \frac{1}{3}(I + II + VIII)$$

de polaire diameter

$$P = \frac{1}{3}(IV + V + VI)$$

de afplatting

$$\epsilon = \frac{A - P}{P}$$

de aequatoriale diameter in zonnemiddellijnen

$$R = \frac{A}{M}$$

3. Hoe wijzigt zich de afplatting der isofoten bij toenemende afstand tot de zonsrand?

Zet voor deze corona de grootheid ϵ grafisch uit als functie van R .

Stel $\epsilon = a + b(R - 1)$. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de constanten a en b . Wat is hun betekenis?

Aanvulling.

4. Van onze kromme benaderen we het eerste deel door een rechte lijn en lezen ϵ daarop af voor $R = 2$. Dergelijke gegevens, van verschillende eklipsen afkomstig, worden uitgezet tegen de phase van de 11-jarige periode.

Litteratuur.

Ludendorff, Sitzungsber. Akad. Berlin 16, 185, 1928; 16, 200, 1934.
Van de Hulst in Kuiper, The Sun, blz. 288.

	Opname 1	Opname 2	Opname 3
I			
II			
VIII			
A			
IV			
V			
VI			
P			
M			
R=A:M			

DE STRALING DER STERREN.

§11. HET TEKENEN VAN EEN STERREBEELD

1. We kiezen de sterrebeelden Pegasus of Andromeda met de aangrenzende delen van Perseus, die op deze tijd van het jaar goed zichtbaar zijn en niet te hoog staan. Zet U in een gemakkelijke houding; verlicht Uw schetsboek met het licht van een verzwakte lantaarn, op geschikte afstand gezet.
2. Teken op niet te kleine schaal. Geef vooreerst de plaatsen der helderste sterren aan, op de juiste verhoudingen lettend en op de richting van de vertikaal.
Vul nu de tekening aan met zwakkere sterren.
Tracht vooral in een goed omschreven gebiedje alle sterren op te tekenen die U nog kunt waarnemen; U kunt b.v. de omgeving kiezen van γ Andr., met de nevelvlek.-
De dikte der stipjes moet een denkbeeld geven van de helderheid der sterren; zet geen open cirkeltjes, maar geheel zwarte schijfjes.
3. Vergelijk Uw tekening met een steratlas (in de bibliotheek).
Zet bij de sterren de Griekse letters of de cijfers die hun door het gebruik zijn toegewezen.
Van welke grootte zijn de zwakste sterren die U heeft kunnen aangeven?
4. Vergelijk de atlas met de hemel en beproef of U met behulp van de sterkaarten nog meer zwakke sterren kunt zien.
5. Bepaal nauwkeurig de stand van de planeten, welke zich nabij dit sterrebeeld bevinden. Maak hierbij zoveel mogelijk gebruik van "alignementen" (= denkbeeldige verbindingslijnen die de onderlinge stand der sterren aangeven).
6. Let in het bijzonder op de nevelvlek van Andromeda nabij γ Andr.
Uitbreiding.
7. Teken nogmaals het gebiedje dat U het best onderzocht heeft, maar dit maal zoals U het ziet door een binocle.
 - a. Focusseer vooreerst met het niet-instelbare oculair alleen;
 - b. Wijzig daarna het instelbare oculair tot beide ogen het beeld scherp zien;
 - c. Regel zorgvuldig de afstand tussen de twee oculairen.
 Merk op hoeveel meer sterren zichtbaar worden.

8. Teken hetzelfde veld, gezien door een kleine kijker.

9. Schat de helderheden van een aantal sterren in een willekeurige schaal; een van de zwakste noemt U b.v. 1, de sterkste 10, en de overige daartussenin. Vergelijk Uw schaal met de sterhelderheden uit Schlesinger, Catalogue of bright Stars.- Grafiek.

Uw tekeningen met zorg behandelen; dagtekenen; inplakken; niet meer veranderen!

Steratlussen.-

Sterregids der Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrekunde.

Schürig-Goetz: Tabulae Caelestes.

Norton's Star Atlas.

§12. ONDERZOEK VAN EEN KLEINE KIJKER.

1. Begin met U rekenschap te geven van de bewegingen. Is de opstelling een altazimuth of is die parallaktisch? Hoe werken de klemmingen? Zijn er fijne bewegingen?

2. Richt de kijker op een verwijderd voorwerp: a) kijkende dwars door een ruit; b) met geopend raam. Onderzoek of U ook dichterbijgelegen voorwerpen scherp kunt zien; hoe dichtbij?

3. Onderzoek hoe het oculair van de buis afgenomen kan worden. Kijk, of U een Ramsden-oculair dan wel een Huygens-oculair heeft. In het eerste geval kunt U het als loupe gebruiken, het geeft een reëel beeld van een verre lamp. In het tweede geval gaat dit niet. Hoe is de bolle kant der lenzen gericht bij de twee typen oculairen? Waar zitten de kruisdraden en het diafragma? Bestudeer, hoe het oculair werkt: stel de kijker in op een verwijderd voorwerp (straatlantaren), en meet hoever het voorvlak van het oculair nu van het objectief verwijderd is; verwijder dan het oculair, meet de afstand van het objectiefbeeld tot het objectief. Waar lag dus het objectiefbeeld t.o.v. de lenzen van het oculair?

4. Bepaal de brandpuntsafstand van het Ramsden oculair als geheel. Ontwerp daartoe het beeld van twee lampen, die op een afstand V van elkaar verwijderd zijn dwars op de lichtweg; uit de verhouding $V/B = v/b$ kunt U $b \approx f$ bepalen. Bereken nu de vergroting van de kijker, voorzien van dit oculair.

hoek)

5. Stel de kijker in op oneindig, richt de kijker op een helderverlichte wand en bemerk de oogring. Houd Uw oog voor of achter de oogring en onderzoek, hoe het veld verandert. Vergewis U van de plaats van de oogring door een potlood op het objectief te leggen en de afbeelding daarvan op te zoeken. Meet de middellijn van de oogring met een loupe en een millimeter-schaaltje; in een statief vastgeklemd. Bereken opnieuw de vergroting van de kijker.

hoek)

6. Als de kijker kruisdraden heeft, kijk dan, of die scherp voor Uw oog kunnen worden ingesteld. Stel daarna de kijker als geheel scherp op een verre lichtbron. Onderzoek nu, of dit percies gebeurd is, door het oog een weinig heen en weer te bewegen. Is er parallax? Stel het oculair iets teveel naar voren, daarna naar achteren.

7. Bij het kijken naar een heldere achtergrond ziet U allerlei stofjes.

Waar zitten die? Draai het oculair en zie, of ze mee bewegen. Onderzoek zo mogelijk elke oculairlens afzonderlijk. Hoe is het veld, als U het oculair gebruikt zonder zijn eerste lens ("veldlens")? Meet de grootte van het veld 2φ , uit $tg \varphi = \text{straal diafragma/brandpuntsafstand ooglen}$ s. Een practischer methode zal bij een andere proef toegepast worden (doorgangstijd)

8. Kijk naar een willekeurig tafereel en scherm een deel van het objectief af. Hoe verandert het veld? En de helderheid?

9. Om de buiging te onderzoeken maken we het effect vele malen groter dan het bij normaal gebruik van de kijker is. Verminder de middellijn van het objectief tot 1 mm door aanbrengen van een scherpje met kleine opening. Stel dan in op een verwijderde, puntvormige lichtbron. Bekijk de buigingsringen; maak een schets, die (kwalitatief) de lichtverdeling aangeeft langs een middellijn van de figuur.

10. Vervang het scherm met ronde opening door een metaalgaasje en onderzoek de buigingsfiguur.

§13. DE SCHIJNBARE HELDERHEID DER STERREN

De sterren worden verdeeld in grootteklassen. Elke grootteklasse is K maal zwakker dan de vorige; K is zo gekozen dat vijf grootteklassen overeenkomen met een helderheidsverhouding 100. Dus is $100 = K^5$ en $K = 2,51$.

Voorbereidende instructie

Om de coördinaten en de helderheid van een bepaalde ster op te zoeken volgen we altijd de volgende werkwijze:

- de ster opzoeken in een steratlas;
- de rechte klimming aflezen;
- de stercatalogus raadplegen, waarin de sterren naar rechte klimming gerangschikt zijn;
- controleren of de declinatie en de helderheid ook ongeveer kloppen.

Zeer bruikbare catalogi van de helderste sterren vindt men b.v. in:

Nautical Almanac ("Mean Places of Stars")

Berliner Astr. Jhrbuch XII B 32

Connaissance des Temps XII B 30

Yale Catalogue of Bright Stars X Ba 104

Ambronn: Sternverzeichniss X Ba 157

Waarnemingen zonder speciale hulpmiddelen.-

1. Schrijf op het U gegeven sterrekaartje de helderheden van enkele gemakkelijk herkenbare sterren, zodat U een vergelijkingsschaal verkrijgt van Om tot 5^m . Kies deze sterren liefst aan de zuidzijde, b.v. in het gebied dat U bij proef B 15 heeft getekend.

Schat t.o. daarvan de helderheden van een 6-tal naburige sterren.

Optekenen (zie tabelvorm op volgende bla).

3. Tuur aandachtig naar een zwakke ster, fixeer hem goed. Is hij nu beter of minder goed zichtbaar? Wat zijn de zwakste sterren die U nu kunt waarnemen?

4. Wat is het kleinste helderheidsverschil dat U nog net duidelijk kunt onderscheiden?

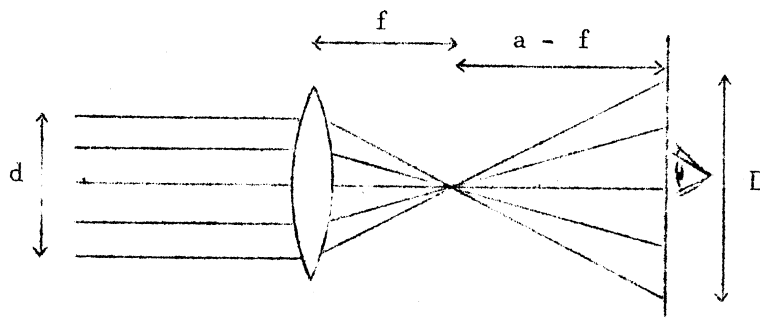
5. Vergelijk α en β UMa $\Delta m = 0^m,6$
 ϵ en η UMa $\Delta m = 0^m,2$

In welke richting is het verschil?

Waarnemingen met een eenvoudige sterfotometer.

6. We willen thans bepalen met welke helderheidsverhouding één grootteklasse overeenkomt. Gebruik hiertoe een sterke lens, die aan het uiteinde van een lange lat bevestigd is en die U op een flinke afstand voor U houdt in de richting van Jupiter. De lens ontwerpt een beeldje dat helderder of zwakker wordt naarmate U de lens op een grotere of kleinere afstand a van Uw oog houdt. Vermijd reflexbeeldjes van lanternen! Dit gaat het best, door sterren waar te nemen die hoog aan de hemel staan. De verzwakking is gemakkelijk te

berekenen; het licht, dat invalt door een cirkeltje van middellijn d , is op de afstand van het oog uitgespreid over een grotere cirkel met middellijn D . Rekent men nog een factor 0,9 voor lichtverlies door absorptie en door terugkaatsing tegen de lens-



oppervlakken, dan wordt de verzwakkingsfactor voor een bolle lens:

$$V = 0,9 \left(\frac{d}{D}\right)^2 = 0,9 \left(\frac{f}{a-f}\right)^2;$$

Voor een holle lens is $V = 0,9 \left(\frac{f}{a+f}\right)^2$.

Verplaats de lens met behulp van de lange lat, tot zij op een afstand a het beeld van Jupiter precies gelijk maakt aan een naburige ster, die onverzwakt wordt waargenomen. Voer aldus verschillende vergelijkingen van Jupiter met zwakke sterren uit, zoveel mogelijk op ^{sterren}gelijke hoogte boven de kim liezend. Teken de resultaten systematisch op, identificeer de sterren direct met Uw kaartje of maak een schetsje dat U later met een atlas vergelijkt.

Zoek de helderheden der waargenomen sterren in een catalogus op.

7. Zet grafisch uit: $10 \log V$ tegen m . Trek zo goed mogelijk een rechte lijn tussen de verkregen punten door; deze moet een helling 0,4 hebben, klopt dat? Met welke waarde van $\log V$ komt één grootteklasse gemiddeld overeen? Wat is de helderheid van Jupiter, gegeven dat α Lyrae (Vega) een ster is van de grootte 0?

Uitbreiding:

Vergelijk de helderheid der maan met die van Jupiter of een heldere ster.

8. Laat daartoe de maan weerspiegelen op de lens van onze fotometer, die U naar de tegengestelde kant van de hemel richt; U ziet het stervormige spiegelbeeldje geprojecteerd op de donkere hemel. (Let op het beeldje, dat door het bolle vóórvlak weerspiegeld wordt; het is het verst van U af en het helderst; als U heen en weer schommelt met Uw oog, schommelt het in gelijke zin). Regel de afstand tot het spiegelbeeldje even helder lijkt als een bepaalde ster, en meet hem. Bereken nu hoeveel malen helderder de maan is dan die bepaalde ster, bedenkend, dat de reflectiecoëfficiënt van glas 0,04 is. Als zij vol was, zou haar lichtsterkte nog groter zijn. Ontleen die verhouding aan de curve van Russell, en bereken de lichtsterkte der V M in grootteklassen.

Naam der ster	α	δ	m uit N.A.	m geschat	verschil

	Naam der ster	α	δ	m uit N.A.	a	f	$V=0,9\left(\frac{f}{a-f}\right)^2$	$\log_{10} V$
							$V=0,04\left(\frac{f}{a+1}\right)^2$	$2,5 \log V$
Vergeleken met Jupiter								
Vergeleken met Maan								

Litteratuur:

J.F.W. Herschel, Outlines of Astronomy, blz. 443. (1853)
 Kn. Lundmark in Hdb. d. Astrophysik, V₁, hoofdstuk 4 (blz. 210-362).

13a WAARNEMINGEN MET EEN POLARISATIE - ===== F O T O M E T E R =====

Onze eenvoudige sterfotometer berust op hetzelfde beginsel als de fotometer van Zöllner. Een kleine opening, verlicht door een lampje, wordt in een glaasje weerspiegeld gezien. Dank zij een tussengeschakeld brilleglas ziet de waarnemer het lichtstipje in oneindig, zoals de ster zelf. Door twee polaroid-plaatjes, waarvan één draaibaar, kan het licht naar willekeur verzwakt worden; de instelling 0 komt overeen met volledige duisternis.

1. De meting bestaat daarin, dat de kunstmatige ster in het gezichtsveld dicht bij de werkelijke gebracht wordt en door draaien van het polaroid over de hoek θ daaraan gelijk gemaakt wordt. Elke instelling wordt tweemaal uitgevoerd, eenmaal links en eenmaal rechts van de 0-streep, om nulpuntsfouten te elimineren: θ_1 , θ_r

Kijk aandachtig, maar niet te lang; draai de analysator iets te ver naar de ene, dan naar de andere zijde, en stel zonder lang aarzelen in. Schrijf de instelling op zonder er nog iets aan te veranderen. Soms kan men ook de gelijkheid van twee sterren beter beoordelen door de blik iets zijwaarts te richten, kleurverschillen zijn dan minder hinderlijk. Meet aldus een 10-tal sterren van sterk verschillende helderheid. Een daarvan moet verscheidene malen in de loop van de avond gemeten worden, bijv. volgens het schema a b c a d e a f g a h i a... enz.

2. Bereken voor alle metingen samen $\Sigma \theta_1 + \Sigma \theta_r$ en bepaal aldus het nulpunt van Uw instrument nauwkeurig.

3. Bereken voor elke ster de gemiddelde $\bar{\theta} = \frac{\theta_r - \theta_1}{2}$. De lichtsterkte i is evenredig met $\sin^2 \bar{\theta}$.

4. Onderzoek het verband tussen $\log i \sim \log \sin^2 \bar{\theta}$ en de schijnbare grootte m_v . Grafiek! Binnen de meetfouten moet $\log i_0 - \log i = a m$.

Bepaal a uit Uw metingen.

Hoe groot is dus volgens die metingen de verhouding tussen de lichtsterkte van twee opeenvolgende grootteklassen?

Aanvulling. - Bediscussieer de metingen iets vollediger. Wat is de middelbare fout van een instelling? Kan men veranderingen in de doorzichtigheid van de lucht of spanningsveranderingen in het elektrische net wegrekenen?

ster	θ_1	θ_r	$\bar{\theta}$	$\sin \bar{\theta}$	$\sin^2 \bar{\theta}$	$\log \sin^2 \bar{\theta}$ $= 2 \log \sin \bar{\theta}$	m_v
	-	+					

§ 14.

DE INVLOED DER EXTINCTIE

Beginsel.

oor verstrooiing en absorptie in de dampkring, wordt een ster verzwakt volgens de wet $i = i_0 e^{-k \sec z}$, waarin z de zenithsafstand voorstelt. Uit vergelijking van lage en hoge sterren is de coëfficiënt k te bepalen.

Uitvoering (bij zeer heldere lucht).-

Sterren op een hoogte groter dan 60° vertonen practisch alle dezelfde extinctie. Wij zullen ze aanduiden als "zenithsterren". Het is doelmatig een 10-tal dergelijke sterren te kiezen, bv. in het sterrebeeld Auriga, en alle lage sterren daarop te betrekken.

1. Neem nu een laagstaande ster 1 waar (hoogte h), en zoek een zenithster z die zeer precies dezelfde helderheid schijnt te hebben. Mocht er geen geschikte zenithster te vinden zijn, interpoleer dan tussen twee zenithsterren z_1 en z_2 . Identificeer de sterren met een kaartje. Bepaal nog de hoogte h met de jacobsstaf.

2. Herhaal dit voor een drietal laagstaande sterren met verschillende hoogten h . Zoek ook naar zeer laagstaande sterren op hoogten van $3^\circ - 5^\circ$.

3. Zoek in een ster-catalogus de visuele helderheid der gebruikte sterren op. Uit de uitgevoerde vergelijkingen volgt dat de laagstaande sterren zwakker waren dan uit de catalogus volgt. Stel het verschil = $\Delta m = m - m_0$.

4. We berekenen nu de extinctie-coëfficiënt. Voor een lage ster geldt:

$$\log_{10} i = \log_{10} i_0 - 0,434 k \cdot \sec z$$

$$2,5 \log_{10} i = 2,5 \log_{10} i_0 - 1,08 k \cdot \sec z$$

$$m = m_0 + 1,08 k \cdot \sec z. \quad \text{Voor een Zenithster: } m' = m'_0 + 1,08 k$$

Als beide even helder lijken, geldt: $\Delta m = m'_0 - m_0 = 1,08 k (\sec z - 1)$.

Maak een grafiek van Δm als functie van $\sec z$, en leg zo goed mogelijk een rechte lijn tussen de waargenomen punten. Uit de helling leidt U 1,08k en dus k af.

5. Hoeveel verzwakking heeft een zenithster ondergaan?

Litteratuur.

Kn. Lundmark in Hdb. d. Astrophysik, V₁, blz. 566.

ster	h	sin h	$\frac{1}{\sin h} = \sec z$	m waargenomen	m catalogus	Δm
(z_1)						
(z_2)						
(1)						

§15.

DE KLEUR DER STERREN

De grootteklasse m van de sterren kan fotografisch of fotovisueel bepaald worden, naarmate men blauwgevoelige of geel gevoelige platen gebruikt. Hoe hoger de temperatuur der ster, hoe groter de verhouding i (blauw)/ i (geel) hoe kleiner de kleurindex $c = m_{pg} - m_{pv}$. De kleurindex is dus een maat voor de "geelheid" der ster, en daardoor voor de temperaturen. De te bestuderen opnamen zijn foto's van dubbelsterren, wier componenten zeer verschillende temperaturen hebben. Voor het objectief was een objectieftralie geplaatst, die van elke ster twee buigingsbeeldjes geeft, vrijwel precies 1^m,0 zwakker dan het hoofdbeeld. Er zijn een aantal achtereenvolgende belichtingen geschied, nadat telkens de plaat een weinig verschoven was.

1. Vergelijk eerst voorlopig de fotografische en de fotovisuele opname,

en geef U rekenschap van het opvallende verschil. Behandel fotografische platen altijd voorzichtig! Zet er geen vingers op, vat ze alleen bij de randen aan! Als de letters op de plaat in de goede stand gezien worden, heeft U de gelatinelaag naar U toegekeerd.

2. Bepaal door schatting het helderheidsverschil $m - m'$ van de twee dubbelstercomponenten, a) op de fotografische opname, b) op de fotovisuele opname. Steun bij deze schatting op de schaalwaarde, gegeven door de objectieftralie; vergelijk ook het hoofdbeeld van de zwakste ster met het buigingsbeeld van de sterkste. Vergis U vooral niet in het teken der verschillen! Trek de magnituden steeds in dezelfde richting van elkaar af, zowel bij de fotovisuele als bij de fotografische opname. Vergeet niet dat m des te groter wordt naarmate de sterren zwakker zijn. Vul direct in Uw tabel de spectraaltypen in, in dezelfde volgorde als die waarin U de magnituden geschat heeft.

3. U kunt nu het verschil der kleurindices van de twee sterren bepalen. Immers:

$$(m_{pg} - m'_{pg}) - (m_{pv} - m'_{pv}) = (m_{pg} - m_{pv}) - (m'_{pg} - m'_{pv}) = c - c'.$$

Bereken dit voor alle U gegeven platen.

4. Van de gefotografeerde sterren is ook het spectrum bekend. In volgorde van afnemende temperaturen worden de voornaamste spectraaltypen aangegeven door:

$B_0, B_1, B_2, \dots, B_9, A_0, A_1, \dots, A_9, F_0, F_1, \dots, F_9, G_0, G_1, \dots, G_9,$
 $K_0, K_1, \dots, K_9, M_0, M_1, \dots$

We willen nu vinden hoe de kleurindex van het spectraaltype afhangt.

Neem als absis de spectraalklasse, als ordinaat de kleurindex. Houd rekening met de willekeurige afspraak, dat de kleurindex voor een A_0 ster nul gesteld wordt, en zet dus eerst de kleurindices uit voor het paar $A_0 - G_7$. Voor de andere dubbelsterren kent U alleen het verschil der kleurindices; zet ieder dezer puntenparen uit op een zodanige hoogte, dat de kromme zo glad mogelijk door het geheel van alle punten loopt.

Litteratuur.-

Hdb. d. Astrophysik, II₁, 363.

Ster	$m_{pg} - m'_{pg}$	$m_{pv} - m'_{pv}$	$c - c'$	spectra

§16.

STERSPECTRA.

We onderzoeken copieën van spectra, opgenomen met de Bruce spectograaf van de Yerkes-Sterrewacht.

Behandel deze plaatjes zeer zorgvuldig! Leg ze ter bestudering op de melkglazen plaat van Uw lessenaar. Zorg voor goed licht, maar vermijd te sterke verwarming. Leg de V-zijde altijd links, de R-zijde rechts. De zwakke loupe is platbol. Draai de platte kant naar Uw oog, breng het oog vrij dicht bij de lens.

1. Bekijk het spectogram. Het licht van het sterspectrum heeft op de plaat een donkere band veroorzaakt, doorsneden door helderder Fraunhofer lijnen. Waarom loopt deze band naar links en rechts niet verder door? Aan weerszijden is, voor het identificeren der golflengten, een vergelijkingspectrum opgenomen (Ti - Fe - vonk).
2. De glazen schaal is de copie van het vergelijkingspectrum; hierbij is een golflengteschaal aangegeven, alsook de plaatsen waar enige der meest kenmerkende Fr. -lijnen te vinden zijn. Voor nauwkeuriger identificatie gebruikte men de bijgevoegde papier afdruk van het vergelijkingspectrum. Breng spectogram en vergelijkingschaal voorzichtig met de gelatinelagen op elkaar tot dekking. Niet krassen!
3. Vergelijk het sterspectrum met de figuren van de verschillende spectraaltypen en tracht eerst een algemene indruk te verkrijgen van de klasse. In het algemeen is het type des te "later" naarmate er meer spectraallijnen zijn. Let vooral op de onderlinge sterkte der waterstofflijnen, heliumlijnen, metaallijnen en bandenspectra (vgl. de tabel aan het eind van deze instructie).
4. Lees nu de beschrijvingen van de spectraaltypen in de buurt van het door U onderzochte, en zoek welke kenmerken voor het fijner differentiëren gebruikt kunnen worden.
5. Schat de sterkte van enige kenmerkende lijnen in de schaal:
3 = sterk, 2 = vrij sterk, 1 = zwak, 0 = ontbrekend.
6. Geef tenslotte Uw eindoordeel over dit spectrum.
7. Ruil de door U onderzochte plaat tegen een andere met sterk verschillend type en bestudeer achtereenvolgens verschillende klassen.

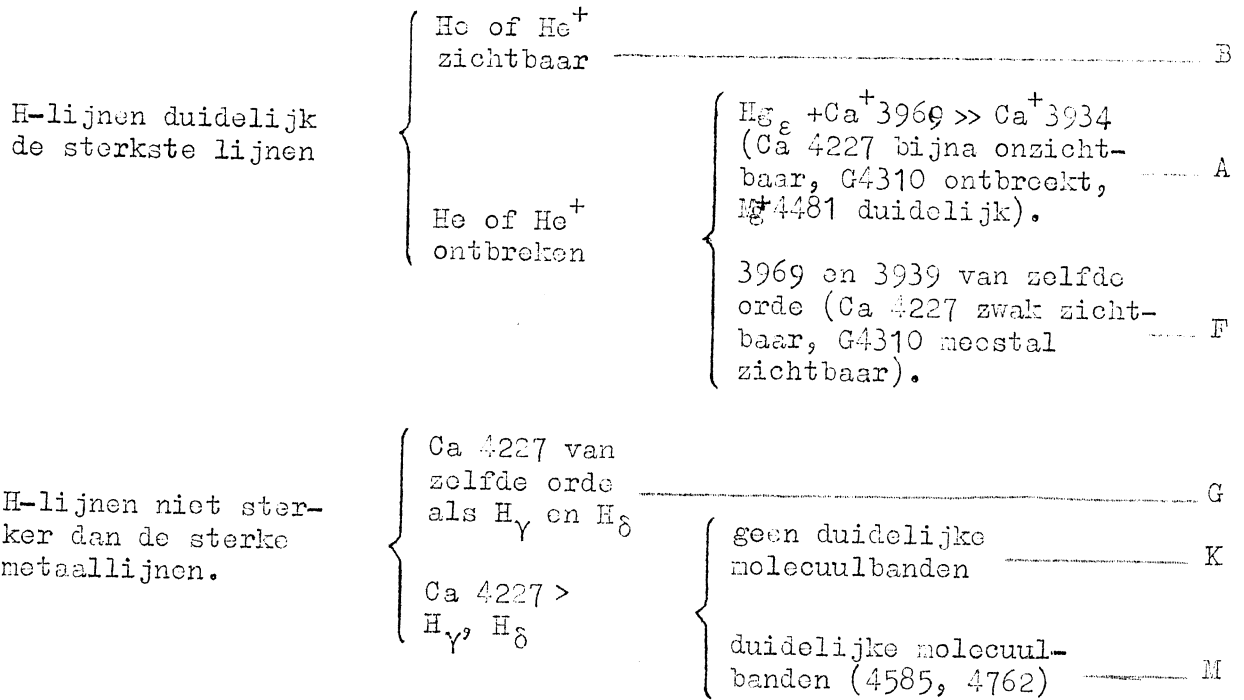
Uitbreiding.-

8. Bekijk het spectrum van Nova Aquilae.
9. Met een meetmicroscop kan men aan deze plaatjes de radiële snelheid van de sterren meten. Beproof of U die onder de loupe kunt schatten, bv. bij Mizar, opgenomen met de 3 prisma-spectograaf.

Litteratuur.-

F.J.M. Stratton: Astronomical Physics, blz 110. (II H.16).
 E. Curtiss in Hdb. d. Astrophysik, V₁, blz. 44.
 The Henry Draper Catalogue.

BEPALINGSTABEL.



Enkele karakteristieke lijnen.

	<u>H</u>	<u>He I</u>	<u>He II</u>	<u>Ca I</u>	<u>Ca II</u>	<u>Mg II</u>
η	3835	4026	3924	4227	3934	4481
ζ	3889	4472	4026		3969	
ϵ	3970		4200			
δ	4102		4542			
γ	4340		4686			
β	4861					

+++++

§ 17.

DE NAASTBIJZIJNDE STERREN.

Bij deze tekst is een lijst gevoegd van de 50 sterren met de grootst bekende parallax. We zullen allerlei eigenschappen van deze goed bekende sterren berekenen. Elk groepje van twee practikanten bewerkt 5 sterren; de uitkomsten worden dan door de anderen overgenomen.

1. Bereken voor elke ster de afstand in parsec = $\frac{1}{p}$.
2. Bereken voor elke ster de absolute helderheid $M = m + 5 + 5 \log p$.
3. Onderzoek of de schijnbare helderheid der sterren enigszins een denkbeeld geeft van hun afstand.
4. Teken voor deze 50 naastbijzijnde sterren het diagram van Hertzsprung-Russell.
 Waardoor onderscheidt zich dit van de "gewone" vorm waarin men het diagram in de leerboeken vindt?

Ziet U nog andere merkwaardige eigenschappen van deze groep sterren? Schrijf naast elke spectraalklasse de daarmee overeenkomende temperatuur (vergelijk de tabel hieronder).

5. Bereken de ware diameters dezer 50 sterren, met als eenheid de diameter der zon. Het uitgangspunt hiervoor is de betrekking:

$$I_{\text{bol}} = C \cdot 4 \pi R^2 \cdot \sigma T_e^4 \quad \text{en} \quad \frac{I_*}{I_{\odot}} = \left(\frac{R_*}{R_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T_{e*}}{T_{e\odot}}\right)^4 .$$

werk logaritmisch en met grootteklassen. Voor de berekening moet de visuele helderheid der sterren eerst herleid worden op de bolometrische helderheid, die de totale hoeveelheid uitgestraald licht aangeeft. De hiertoe vereiste bolometrische correctie is in een speciaal tabelletje aangegeven. (Geef U rekenschap van de oorzaken, die het verloop dezer correctie bepalen). Bereken dus: $M_{\text{bol}} = M_{\text{vis}} - (M_{\text{vis}} - M_{\text{bol}})$.

Uitbreiding.-

6. Wat is de gemiddelde afstand van die sterren tot elkaar? - Hoeveel procent zijn leden van dubbele of meervoudige stelsels? - Hoeveel procent zijn witte dwergen?

7. Bepaal de lichtkrachtfunctie voor deze sterren.

8. Het is de moeite waard al deze sterren te tekenen in projectie op het galactische vlak. Zet de zon in het midden der tekening en trek cirkels met een straal van 1, 2,5 parsec. Trek een as naar rechts, welke de richting naar het punt met galactische lengte 0 voorstelt. Ten opzichte van deze lijnen worden de sterren als stipjes uitgezet.

Ster Nr.	M_{vis}	M_{bol}	$M_{\text{bol}} - M_{\odot}$	T_e	$\log T_e$	$\log \frac{T_e}{T_{\odot}}$	$5 \log \frac{R}{R_{\odot}}$	$\frac{R}{R_{\odot}}$

STER - TEMPERATUREN.

B0	23 000°	gG0	5500°	dG0	6000°
B5	15 000	gG5	4700	dG5	5600
A0	11 200	gK0	4100	dK0	5100
A5	8 600	gK5	3300	dK5	4400
F0	7 400	gM0	3050	dM0	3400
F5	6 500	gM4	2420	dM2	2870
		gM8	1800	dM5	2000

$$\text{BOLOMETRISCHE CORRECTIE} = M_{\text{vis}} - M_{\text{bol}}$$

BO	+ 1,8	gG	- 0,1	dGO	- 0,2
B5	+ 1,0	gG5	+ 0,1	dG5	- 0,1
A0	+ 0,3	gK0	+ 0,4	dK0	0,0
A5	- 0,1	gK5	+ 1,1	dK5	+ 0,7
F0	- 0,3	gM0	+ 1,4	dM0	+ 1,0
F5	- 0,2	gM2	+ 1,9	dM2	+ 1,7
		gM4	+ 2,7		
		gM6	+ 3,9		
		gM8	+ 5,1		

Beide tabellen naar Pettit, Ap. J. 68, 296, 1928.
Zie ook: Kuiper, Ap. J. 95, 201, 1942.

DE NAASTBIJZIJNDE STERREN

Nr.		Galaktische lengte	Spectrum	m	Parallax
1	Proxima Centauri	282°	M5e	11,0	0!760
2	α Centauri A	284	G0	0,3	.760
3	B	"	K5	1,7	.760
4	de ster van Barnard	358	M5	9,5	.545
5	Wolf 359	213	M6e	13,5	.421
6	Luyten 726.8 A	145	M6e	12,5	.410
7	B	"	M6e	13,0	"
8	Lal 21185	152	M2	7,5	.398
9	Sirius A	195	A0	-1,6	.375
10	B	"	Wd	7,1	"
11	Ross 154	339	M5e	10,6	.351
12	Ross 248	78	M6e	12,0	.316
13	ε Eridani	164	K2	3,8	.303
14	Ross 128	239	M5	11,1	.298
15	61 Cygni A	50	K6	5,6	.293
16	B	"	M0	6,3	"
17	Luyten 789-6	15	M6	12,2	.292
18	Procyon A	182	F5	0,5	.288
19	B	"	Wd	10,8	"
20	ε Indi	303	K5	4,7	.285
21	Σ 2398 A	56	M4	8,9	.280
22	B	"	M4	9,7	"
23	Groombridge 34 A	85	M2e	8,1	.278
24	B	"	M4e	10,9	"
25	τ Ceti	142	G4	3,6	.275
26	Lac 9352	333	M2	7,2	.273
27	BD +5° 1668	180	M4	10,1	.263
28	Lac 8760	332	M1	6,6	.255
29	de ster van Kapteyn	217	M0	9,2	.251
30	Krueger 60 A	72	M4	9,9	.249
31	B	"	M5e	11,4	"
32	Ross 614 A	181	M5e	10,9	.258
33	B	"			"
34	BD - 12°4523	332	M5	10,0	.244
35	de ster van van Maanen	92	WdF3	12,3	.236
36	Wolf 424 A	261	M6e	12,6	.223

Nr.		Galaktische lengte	Speetrum	m	Parallax
37	Wolf 424 B	261°	M6e	12,6	0".223
38	Groombridge 1618	133	K5	6,8	.222
39	CD-37°15492	307	M3	8,6	.219
40	CD-46°11540	310	M4	9,7	.213
41	BD +20°2465	185	M4e	9,5	.211
42	CD- 44°11909	314	M5	11,2	.209
43	CD - 49°13515	296	M3	9,0	.209
44	AOe 17415,6	65	M3	9,1	.206
45	Ross 780	21	M5	10,2	.206
46	Lalande 25372	323	M2	8,6	.205
47	CC 658	264	wd	11	.203
48	o ² Eridani A	349	K0	4,5	.200
49	B	"	wdA	9,2	"
50	C	"	M5e	11,0	"
51	70 Ophiuchi A	358	K0	4,2	.199
52	B	"	K5	5,9	"
53	C	"	--	--	"
	De Zon		GO	-26,7	(206265")

 $M_{vis} = 4,8$

§ 18. DE DIAMETER DER STERREBEELDJES ALS MAAT VOOR DE LICHTSTERKTE.

1. Bekijk de foto van de open sterhoop Praesepe ("de Krib" = M 44), in het sterrebeeld de Kreeft. Merk op hoe sterk de diameters der sterrebeeldjes uit elkaar lopen; de sterren varieeren van 6^m tot 13^m. Deze verschillen hebben niets te maken met de afmetingen der sterren. Tengevolge van instrumentele en atmosferische omstandigheden is het beeld in de kijker altijd ietwat wazig. **Fotografeert** men, dan wordt de drempelwaarde van de plaat bij zwakke sterren alleen vlak bij de lichttop bereikt, voor heldere sterren daarentegen is deze drempelwaarde over een groot deel van de lichtberg overschreden.

2. Vergelijk Uw opname met het kaartje, hierachter gereproduceerd. Daarin zijn de fotografische helderheden aangegeven.

3. Meet de middellijn van een aantal sterrebeeldjes met behulp van het schaalte en een vrij sterk vergrootglas in 0,1 mm. of 0,05 mm. Om eventuele uitrekking van de beeldjes onschadelijk te maken, meten we in twee onderling loodrechte richtingen en middelen. Onderzoek vooral de zwakste sterren met zorg!

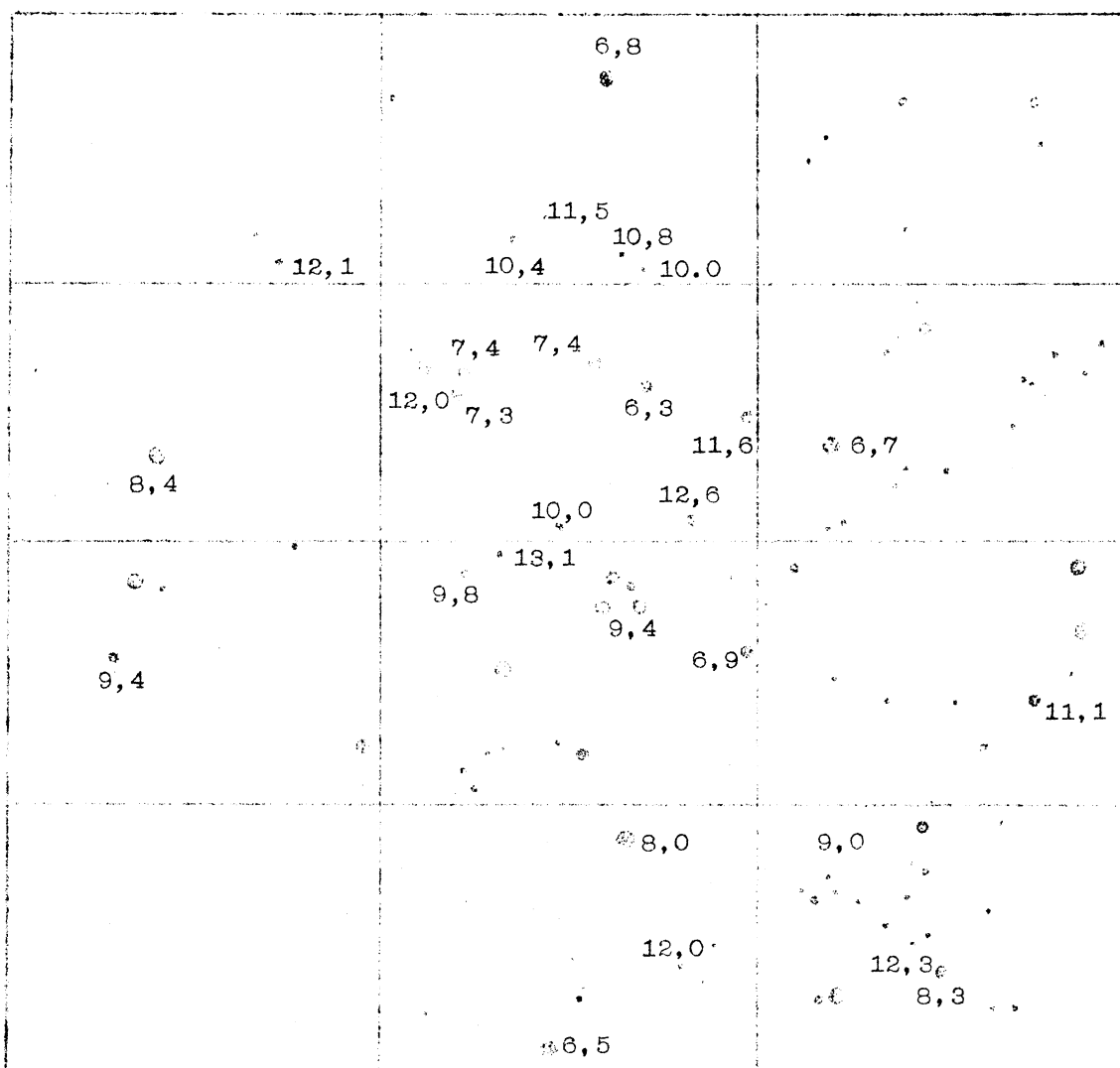
4. We zoeken nu een empirisch verband tussen de middellijn D van een sterrebeeldje en de schijnbare helderheid. Dit kan grafisch geschieden; in vele gevallen is het echter wenselijk een eenvoudige interpolatieformule ter beschikking te hebben. Beproof achtereenvolgens door grafisch uitzetten de volgende formules:

$$m = a - bD$$

$$m = a - b\sqrt{D}$$

$$m = a - b \log D$$

Kaartje van PRAESEPE. (E. Hertzsprung, A.N. 203, 268, 1916).



5. Aan welke formule is het best voldaan? Waarmee zou samenhangen dat voor sommige platen de ene formule past, voor andere weer een andere? Schat de grootte der overblijvende afwijkingen der grootteklassen.

Uitbreiding.-

6. Bereken uit de hiergevonden functie hoe de lichtverdeling in elk beeldje is. Stel I = de lichtsterkte in het centrum van het sterrebeeld; i = de lichtsterkte op een ander punt. Indien waargenomen is: $I = f(D)$, volgt: $\frac{I}{f(D)} = \text{const.}$ Dus was de lichtverdeling in het beeldje: $i = \frac{\text{const}}{f(D)} \cdot I$.

Litteratuur.-

Kn. Lundmark in: Hdb. d. Astrophysik, V₁, Blz 296.

§ 19. DE LICHTKROMME VAN EEN ECLIPSVARANDERLIJKE

U Gephei is een bedekkingsveranderlijke met een periode van $2^d.49$. Hier wordt alleen het minimum bestudeerd.

Beginsel.-

Bij gegeven belichtingstijd wordt het fotografische beeldje van een ster des te groter, naarmate de ster helderder is. Is dit verband bekend, dan kan uit een reeks opnamen van een ster de lichtkromme geconstrueerd worden. Bedacht moet echter worden, dat de doorzichtigheid van de dampkring bij de verschillende opnamen niet altijd dezelfde is.

Uitvoering.-

Teken alle uitkomsten tabellarisch op. Voor nrs. 2-3 dient één enkele tabel over de gehele breedte van het aantekenschrift (twee bladzijden). - Kortheidshalve zullen de waarnemingspunten slechts om het andere bewerkt worden; men kiese bv. de even nummers.

1. Maak vooreerst de ijkingskromme met behulp van de standaardbeeldjes onderaan. Meet de diameter van elk beeldje in 0,1 mm of 0,05 mm langs twee onderling loodrechte richtingen; neem het gemiddelde, en stel het verband grootteklasse - diameter grafisch voor. - vergrootglas gebruiken!

2. Meet nu eerst de gemiddelde diameters voor de twee niet veranderlijke vergelijkingssterren A en B. Herleid die tot helderheden. Indien Uw ijkingskromme niet ver genoeg gaat, kunt U voorzichtig extrapoleren.

3. Bepaal voor elke waarnemingstijd hoeveel de helderheden der vergelijkingssterren afwijken t.o.v. de normale waarden, welke $8^m,3$ resp. $8^m,7$ bedragen (volgens BD.). Neem de gemiddelde van deze twee afwijkingen.

4. Meet de gemiddelde diameters der variabele. Om onbevooroordeeld te werken, meet men de beeldjes in geheel onregelmatige volgorde. Zet die om in helderheden (tabel). Trek de bij (3) bepaalde afwijkingen af.

5. Teken de helderheid als functie van de tijd. Schaal: $1^u = 1,5$ cm, $1^m = 2$ cm. Hierbij worden toenemende magnituden altijd naar beneden afgezet. De waarnemingstijden zijn in de tabel op de volgende blz opgegeven. Wanneer viel het minimum?

Bepaal dit met de "halverende curve" (zie proef B 20).

Let op de vorm der curve nabij het minimum. Trek daaruit een besluit betreffende de aard der eclips (partieel of totaal).

Litteratuur.-

- Payne-Gaposchkin: Variable stars. Cambridge 1938 (hoofdst. II).
 K. Schiller: Einführung in das Studium der veränderlichen Sterne. Leipzig.
 Dugan: Princeton Contr. Nr 5, 1920; blz. 18.

Beeldje

1	----- 3 Nov.	23 ^h	0 ^m	5 ^s	21	4	52	55
2			14	50	22	5	5	17
3			29	0	23		20	52
4			47	48	24		38	25
5	----- 4 Nov.	0	5	32	25	-----	53	55
6			20	8	26	6	15	0
7			34	24	27		31	12
8			49	13	28		49	20
9		1	3	55	29	7	7	30
10	-----		18	35	30	-----	23	48
11			43	32	31		39	0
12			59	0	32		59	4
13		2	13	34	33	8	12	5
14			34	0	34		27	35
15	-----		51	20	35	-----	44	58
16		3	7	20	36	9	6	15
17			21	57	37		21	54
18			37	0				
19		4	22	42				
20	-----		37	47				

IJking.-

Diam.			m
(1)	(2)	gem.	

Lichtkromme.-

Da- tum	Diam. A			Diam. B			Invloed dampkring					Diam.var.			m var.	
	(1)	(2)	gem.	(1)	(2)	gem.	m _A	Δm _A	m _B	Δm _B	Δm	(1)	(2)	gem.	gemeten	gecorr.

§ 20.

DE GEMIDDELDE LICHTKROMME VAN EEN CEPHEIDE

1. Hieronder is een lijst der helderheden opgegeven van η Aquilae, zorgvuldig met een fotocel bepaald door C.C. Wylie te Illinois. Stel deze grafisch voor; kies daarbij de schaal zo doelmatig mogelijk, zodat de golvingen niet te spits worden (bv. 0^m,5 = 1 cm; 1^d = 0,5 cm). Het is gebruikelijk, de grotere helderheden boven, de kleinere onder te tekenen; de m - schaal moet dus van boven naar beneden toenemen. Het blijkt, dat de ster periodiek van lichtsterkte wisselt, maar de waarnemingen omvatten verschillende perioden, en zijn niet talrijk genoeg om elk der perioden goed weer te geven. We kunnen echter de gemiddelde

lichtkromme afleiden.

2. Maak een eerste bepaling van de periode, uit enkele minima of maxima, die door een voldoende aantal punten goed vastgelegd zijn. Nog beter gaat het uit de afstand tussen de stijgende takken.

Stel gemiddeld: p dagen.

Trek van alle datums van de tweede cyclus p af; van alle datums van de derde cyclus $2p$; enz. - Alle waarnemingen zijn nu tot eenzelfde cyclus herleid.

3. Zet alle waarnemingen op grote schaal uit, met potlood, alsof ze op één cyclus betrekking hadden. (schaal: 1 cm = 1^d en 1 cm = $0^m,2$). Als p te groot of te klein geschat is ziet men de curven stelselmatig verlopen. Het is doelmatig, de curven der achtereenvolgende cycli met cirkeltjes, kruisjes enz. te onderscheiden. Zodra men aan een drietal cycli merkt, dat de curven verlopen, wijzigt men de gekozen waarde van p lichtelijk, en verplaatst de reeds uitgezette punten.

4. Maak een nieuwe benadering voor de periode, zo nauwkeurig mogelijk; stel P . Herleid opnieuw alle waarnemingen tot één cyclus, teken opnieuw.

5. Indien de benadering thans voldoende is, kan de gemiddelde lichtkromme getrokken worden. Beoordeel deze curve.

Aanvulling.-

6. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk het ogenblik van het eerste maximum of minimum met de methode der "halverende curve": men trekt horizontale koorde, die de lichtkromme elk in twee punten snijden, neemt het midden van elk paar snijpunten, verbind de gevonden punten tot een vloeiende kromme. Deze snijdt de lichtkromme in het maximum.

De Juliaanse dagtelling werd voorgesteld door Scaliger in 1582. Het is een doerlopende telling, beginnend met 1 Januari van - 4712.

Voor het werk over veranderlijke sterren is dit stelsel buitengewoon praktisch en algemeen in gebruik.

Litteratuur.-

Ch. Cl. Wylie, Ap. J56, 217, 1922.

Payne - Gaposchkin, Variable stars. Cambridge 1938 (hoofdstuk IV).

Jul. dag.	Magnitude	Jul.dag.	Magnitude	Jul. dag.	Magnitude
094.685	3.546	109.725	3.759	125.660	3.974
095.856	3.888	112.673	4.390	127.757	4.554
096.719	3.941	113.639	4.596	128.692	4.476
097.776	4.296	114.728	4.211	128.778	4.424
098.660	4.478	115.794	3.492	129.709	3.769
099.718	4.556	117.769	3.933	129.754	3.708
100.675	4.004	118.697	4.096	130.667	3.566
102.636	3.790	118.776	4.118	131.650	3.884
103.612	3.933	119.620	4.352	136.737	3.908
104.692	4.238	121.700	4.352	149.744	4.587
105.664	4.430	122.798	3.557	151.611	3.509
107.656	4.141	123.736	3.642		
108.829	3.509	124.733	3.938		

J.D.	m	J.D. - p	m	J.D. - 2p	m

21. DE BEOORDELING VAN EEN KIJKER UIT DE WAARNEMING VAN DUBBELSTERREN.

De eenvoudigste manier om de bruikbaarheid van een kijker te beoordelen is de waarneming van dubbelsterren. Men kiest bij voorkeur paren, waarvan de componenten niet meer dan 2^m of 3^m in helderheid verschillen. Een lijstje van geschikte sterren is hieronder aangegeven; daarvan zijn de aangestreepte bijzonder aan te bevelen.

Oefen U vooreerst in het gebruik van de kijker door hem in te stellen op enkele heldere sterren of planeten. Verzuim niet, het nummer van Uw kijker op te tekenen en de middellijn van zijn objectief.

1. Kies een der wijde paren van gemiddelde helderheid. Zoek het object op de steratlas en prent U goed het omgevende sterfeld in; maak een schetskaartje

2. Richt Uw kijker op de dubbelster en beoordeel of de componenten duidelijk gesplitst zijn, nauwelijks gesplitst of niet gesplitst. - Vergis U vooral niet in het identificeren der ster!

Teken het resultaat Uwer beoordeling op. Maak een tabelletje: ster, afstand der componenten, m en Δm, mate van scheiding, theoretisch scheidend vermogen uit formule.

3. Herhaal de waarnemingen met andere paren, tot U de grens d in boogseconden kunt aangeven tot dewelke Uw kijker scheidt.

4. Vergelijk Uw uitkomst met het theoretisch scheidend vermogen:

$$d'' = \frac{13}{p} (1 + 0,2 \overline{\Delta m}^2)$$

Hierin is p de middellijn van het objectief in centimeters; Δm het helderheidsverschil der componenten.

Uitbreiding.-

5. Onderzoek ook een paar, waarvan de componenten een zeer verschillende helderheid hebben. Vergelijk de splitsing met die, welke U hierboven gevonden heeft.

	Afstand	m _{totaal}	Δm	α	δ
- ζ UMa (Mizar)	14"	1,8	2,0	13 ^h 20 ^m	+55° 27'
- θ Ori AC	13"	5,3	1,5	5 33	- 5 25
- σ Ori AC	13"	3,5	3,5	5 36	+ 2 38
Σ 401 (Tau)	11"	5,9	0,5	3 28	+27 24
- γ And AB	10"	2,8	2,0	1 59	+41 55
- θ Ori BD	9"	5,3	1,1	5 33	- 5 25
η Cas	8,5"	3,6	3,6	0 46	+57 33
--γ Ari	8"	4,5	0,1	1 55	+19 03
β Mon	7"	4,4	0,5	6 26	- 7 00
ι Cas	7"	4,6	3,9	2 25	+67 11
ξ Cep	7"	4,5	1,9	22 02	+64 23
35 Sex	7"	5,9	1,1	10 41	+ 5 01
54 Leo	6"	4,5	1,8	10 53	+2 ^r 0

	<u>Afstand</u>	<u>m_{totaal}</u>	Δm	α	δ
γ Vir	6"	3,4	0,0	12 ^h 39 ^m	- 1°11'
ζ Cnc AC	5"	5,3	0,7	8 09	+17 48
- α Gen	4,6"	1,8	0,9	7 31	+32 00

	<u>Afstand</u>	<u>m₁</u>	<u>m₂</u>	α	δ
ϵ Peg	140"	2,5	9	21 ^h 40 ^m	+ 9°30'
ζ Gem	94"	4	7		
η Peg	90"	3	10	22 40	+29 45
γ Lep	73"	4	6,5	5 41	+22 30
δ Ori	53"	2,5	7	5 29	- 0 20
λ Ari	38"	5	8		
ι Aur	31"	4	6,5		
14 Aur	14"	5	7	5 12	+32 38
ι Ori	11"	3	7		

Litteratuur.-

Groosmuller: Hemel en dampkring, 33, blz. 210, 390, 425; 1935.

§ 22. DE BAAN ENER VISUELE DUBBELSTER. (Methode van Zwiers).

N.B. Wil een bevredigende uitkomst bereikt worden, dan moet de tekening zo nauwkeurig mogelijk uitgevoerd worden.

Uitgangspunt zijn de micrometerwaarnemingen zoals ze door een aantal waarnemers in de loop der 19^e en 20^e eeuw uitgevoerd zijn.

De helderste component F is als oorsprong aangenomen; van de zwakste componente B ("de begeleider") wordt de afstand tot aan de hoofdster gemeten, terwijl ook de richting der verbindingslijn bepaald is. We hebben het dus steeds over de relatieve baan.

1. Neem de waargenomen punten met inkt op doorzichtig papier over. Trek daar zo goed mogelijk met de vrije hand een ellips door; dit is de schijnbare baan, die uit de ware baan ontstaan is doordat we deze uit een schuine richting geprojecteerd zien op het hemelgewelf, dat als projectievlak dient.

Merk op dat de hoofdster in het algemeen niet in het brandpunt van de schijnbare baan staat.

We zullen nu de ware baan grafisch bepalen.

2. Het centrum C der ware baan is ook het centrum der schijnbare baan. Bepaal dit door in een willekeurige richting enkele onderling evenwijdige koorden te tekenen, en door hun middelpunten de toegevoegde middellijn te trekken.

3. Het periastron P, waar de begeleider het dichtst bij de hoofdster komt, vindt men door CFP te trekken d.i. de projectie der lange as.

4. De excentriciteit is $c = \frac{CF}{CP}$, want deze verhouding verandert niet bij scheve projectie.

5. De korte as is toegevoegd aan de lange as: deze eigenschap blijft waar in de projectie. Trek dus een stelsel koorden evenwijdig aan de lange as en verbindt de middelpunten.

6. De hulpcirkel en de hulpellips.

De ware, ongeprojecteerde baanellips, met haar (nog onbekende) halve assen a en b , kan in beginsel verkregen worden uit een hulpcirkel met straal a , waarvan men alle y -coördinaten in de verhouding b/a verkleint. — Omgekeerd kunnen we in onze figuur enige koorden tekenen, evenwijdig aan de projectie der korte as, en ieder hunner helften verlengen in de verhou-

ding $\frac{a}{b} = \frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$. Door de uiteinden gaat de hulpellips, die de projectie is van de hulpcirkel.

(Waarnemingsfouten in de gegevens of slordigheid in de tekening hebben hier een grote invloed op de resultaten, en daardoor ook op alle verder te bepalen elementen. Men werke dus extra zorgvuldig en kritisch!)

We moeten nu de ligging van de baan in de ruimte bepalen. Hiertoe denken we ons het projectievlak door de hoofdster aangebracht. Waar de baan dit snijdt zijn de knopen, K en K' ; de lijn KFK' is de knopenlijn, de lijn dus om welke het baanvlak gekanteld is. Zij is evenwijdig aan de as van de hulpellips.

7. De helling van het baanvlak i is te vinden door de assen α , β van de hulpellips te construeren; $\beta/\alpha = \cos i$. (Zie ook nr. 13).

Trek hiertoe een cirkel om C , die de hulpellips in 4 punten snijdt; de verbindingslijnen der snijpunten geven de richtingen der assen aan. Bepaal α , β , i

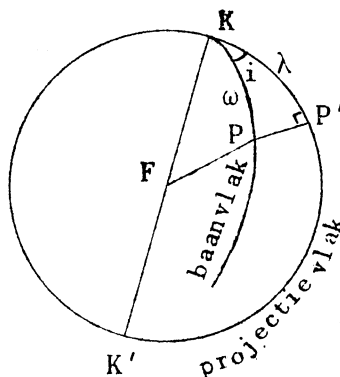
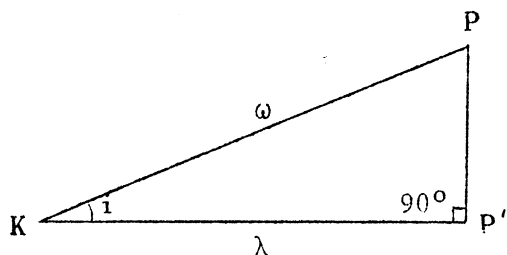
8. De enige middellijn van de omgeschreven cirkel, die niet door de projectie verkort wordt, is α . Dit is dus tevens de grote as a . Reken die om in boogseconden.

9. De knopenlijn moet evenwijdig zijn aan α , men trekt haar door F . Lees de positiehoek Ω af van de knoop; kies die knoop, waarbij Ω tussen 0° en 180° ligt.

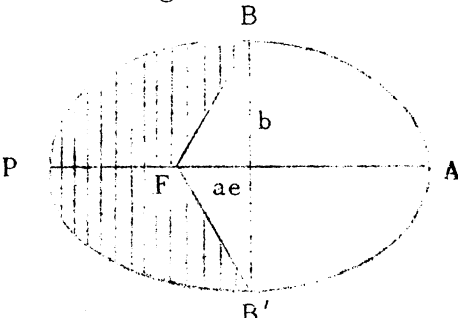
10. De hoek ω tussen de voerstraal naar het periastron en de knopenlijn zien we geprojecteerd als λ . Denk U een bol om F , en het door F gaande projectievlak als vlak van tekening; we zien de lijn FP geprojecteerd in FP' . We berekenen nu ω uit de sferische driehoek KPP' door toepassen der formule: $\text{tg } \lambda = \text{tg } \omega \cos i$.

11. Bepaal tenslotte nog bij benadering uit de waarnemingen de onwente-lingstijd T en het tijdstip t van doorgang door het periastron. Zijn die wellicht door interpolatie nog nauwkeuriger te vinden?

Vergelijk de door U bepaalde baanelementen met die welke de waarnemer zelf heeft berekend.



Aanvulling.-

12. Toets de gevonden periode op de volgende wijze. In de figuur van de ware baan noemen we B, B' de uiteinden der korte as. Noem T_1 , T_2 de tijden vereist voor het afleggen van BPP', B'AB. Het gearceerde oppervlak is:
- 
- FBB' - FBB' = $\frac{1}{2} \pi ab - abe$.
 Het nietgearceerde is $\frac{1}{2} \pi ab + abe$.

Uit de perkenwet volgt:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\frac{1}{2} \pi ab - abe}{\frac{1}{2} \pi ab + abe} = \frac{\frac{\pi}{2} - e}{\frac{\pi}{2} + e}.$$

Mocht dus alleen T_1 of T_2 nauwkeurig bekend zijn, dan kan men toch de som $T = T_1 + T_2$ vinden.

13. Indien de bepaling der assen van de hulpellips moeilijk mocht zijn wegens kleine excentriciteit, meet dan diameters in een aantal richtingen, om de 15° . Trek een sinuslijn door die punten; bepaal de nulpunten; het maximum en het minimum liggen daar midden tussen.

Litteratuur.-

- R.G. Aitken, The Binary Stars. New York.
 F.C. Henroteau in: Hdb. d. Astrophysik, VI, hoofdstuk 4.
 N.W. Mc. Leod, A.J. 48 119, 1939.

§ 23. DE BAAN ENER SPECTROSCOPISCHE DUBBELSTER.

(Methode van Henroteau).

Gegeven is een stel metingen van de radiale snelheid aan één componenten van een spectroscopische dubbelster. Deze metingen zijn al gecorrigeerd voor de beweging van aarde en zon. ongeveer

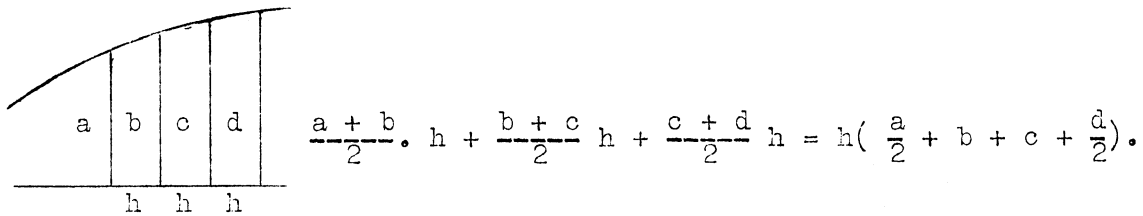
1. Stel de radiale snelheid grafisch voor als functie van de tijd. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de periode \mathcal{P} . Houd daarbij rekening met de gewichten der punten; maak de grootte der stippen (ruw) evenredig aan hun gewicht.

We zullen nu verder aannemen, dat $i = 90^\circ$, dus dat de waarnemingsrichting in het baanvlak ligt. De waarde van \mathcal{A} die we tenslotte zullen verkrijgen geldt in werkelijkheid voor $\mathcal{A} \sin i$.

2. Onder de snelheidskromme tekenen we nu de integraalkromme:

$$z = \int_0^t v \, dt;$$

die de positie van de ster langs de gezichtslijn aangeeft, als functie van de tijd. Bepaal hiertoe de aangroeiing van het oppervlak met intervallen van telkens twee dagen, het eenvoudigst door sommeren van ordinaten volgens Simpson:



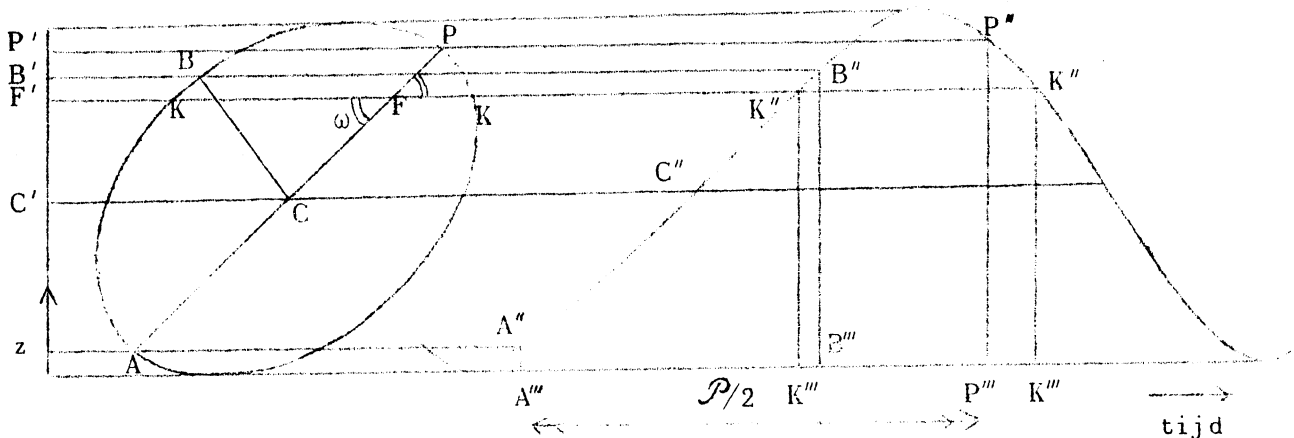
In de sterk gekromde gedeelten moet men overgaan tot intervallen van één dag of misschien minder.

Indien $\int_0^P v \cdot dt \neq 0$, bewijst dit, dat er niet precies genoeg gecorrigeerd was voor de radiale snelheid van het stelsel als geheel. Verbind in de integraalkromme de punten overeenkomend met de tijden 0 en P, en maak daarna deze lijn horizontaal door aanbrengen van een correctie aan alle punten van de integraalkromme.



3. De integraalkromme geeft ons weer hoe we de ster zien bewegen, indien we waarnemen in het baanvlak, vanuit het oneindige, en loodrecht op de waarnemingsrichting. — In de figuur beginnen wij met de baan als bekend te onderstellen, om eigenschappen der integraalkromme af te leiden. In feite moet juist de baan uit de integraalkromme afgeleid worden. Het centrum der baan komt dus overeen met een punt op halve hoogte tussen z_{\max} en z_{\min} .

4. Men kan bewijzen dat de radiale snelheid het grootst is in de knopen. Bepaal uit de snelheidskromme de ogenblikken, waarop de ster zich in de knopen K bevindt, en breng die over in de integraalkromme. De punten K'' moeten even hoog komen te liggen; meestal klopt dit niet precies, omdat de ogenblikken van maximale en minimale radiale snelheid slecht te bepalen zijn. Kies de beste, gemiddelde plaats. U weet nu ook waar (d.w.z. op welke hoogte) zich het brandpunt F der ellips bevindt.



5. Apastron A en periastron P voldoen aan twee voorwaarden:

- Hun abscissen liggen op een afstand $\mathcal{P}/2$ van elkaar in de tijd;
- hun ordinaten z , gemeten vanaf de lijn CC' , zijn gelijk en tegengesteld van teken.

Zoek door proberen welke punten A'' , P'' hier precies aan voldoen.

Het periastron P'' moet aan dezelfde zijde der CC' - lijn liggen als \underline{F} en \underline{K} , en wel op de steilste helling der curve.

6. Bepaal de excentriciteit

$$e = \frac{CF}{CP} = \frac{C'F'}{C'P'}$$

7. We zullen nu het uiteinde B der korte as bepalen, door te berekenen hoeveel tijd $t-t_0$ de ster nodig heeft om van P naar B te komen.

Voor dit ^{laatste} punt is de excentrische anomalie $E = \pi/2$. Uit de vergelijking van Kepler volgt dus de middelbare anomalie

$$M = \frac{\pi}{2} - e = \frac{2\pi}{\mathcal{P}} (t - t_0).$$

$$\text{en} \quad t - t_0 = \frac{\mathcal{P}}{2} \left(\frac{1}{2} - \frac{e}{\pi} \right).$$

We kennen aldus de afstand $P''B''$ en de punten B'' , B' , B'' .

8. We moeten nog ω , de lengte van het periastron (=PFK = CFK) aangeven.

$$P'C' = PC \cdot \sin \omega$$

$$B'C' = BC \cdot \cos \omega$$

$$\cotg \omega = \frac{B'C'}{P'C'} \cdot \frac{PC}{BC} = \frac{B'C'}{P'C'} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$$

9. Tenslotte vinden we de halve lange as: $\mathcal{A} = PC = \frac{P'C'}{\sin \omega}$.

10. IJk nog de z schaal, door U rekenschap te geven van de betekenis der oppervlakte elementen in de snelheidskronne, opgevat als snelheid \times tijd = = afgelegde weg. Bepaal aldus de absolute waarde van \mathcal{A} in km. Feitelijk is dit de waarde van $\mathcal{A} \sin i$. De hoek i is uit spectroscopische waarnemingen niet te bepalen.

Aanvulling.-

11. Teken de ellips die de baanvorm weergeeft (afgezien van de factor $\sin i$).

Litteratuur.-

zie proef par. 20.

§ 24.

DE DYNAMISCHE PARALLAX VAN DUBBELSTERREN.Beginsel.-

Uit de wet van Newton volgt voor een dubbelster:

$$\mu_1 + \mu_2 = \frac{a^3}{P^2 p^3},$$

waarin μ_1 en μ_2 = de massa's der componenten, in zonnemassa's;

a = de hoekafstand tussen de componenten, in boogsec.

(juister : de halve lange as van de baanellips);

p = de parallax, in boogseconden;

P = de omloopstijd in jaren.

Hieruit zouden we de parallax kunnen berekenen indien we de massa's kenden. Die kunnen we ontleen aan de massalichtkrachtwet, mits we de schijnbare helderheid kunnen omzetten in de absolute helderheid via een benaderde waarde van p.

We moeten dus achtereenvolgende benaderingen uitvoeren.

Uitvoering.-

Onderzoek vooreerst de dubbelster waarvan U de baan heeft getekend. Daarna enkele der hieronder opgegeven paren:

Naam	m_1	m_2	P	a	spectrum
α Cen	0,3	1,7	78,8	17,65	d G0 - dK5
η Cas	3,7	7,4	526	12,21	d F8 - dK5
ϵ Hyd	3,7	5,3	15,3	0,23	F8

1. Begin met te onderstellen dat de componenten een massa zullen hebben van dezelfde orde als de zon, en schrijf $\mu_1 = \mu_2 = 1$

Bereken uit de gravitatievergelijking een voorlopige waarde van p

2. Bepaal voorlopig de absolute helderheden uit:

$$M = m + 5 + 5 \log p.$$

3. Lees de verbeterde waarden voor μ_1 en μ_2 af uit de M-L-wet.

Aangezien deze echter slaat op bolometrische helderheden, moeten we eerst de M-waarden herleiden met behulp der bolometrische correcties, aan het eind van proef 15 opgegeven.

4. Herhaal de bewerkingen (1), (2), (3) met de ze betere benaderingen. En ga zo door tot de uitkomsten niet meer veranderen.

5. Vergelijk in het bijzonder voor Krueger 60 en α Cen Uw resultaat met de direct bepaalde parallax, in de tabel bij proef § 15 opgegeven.

Uitbreiding.-

6. Het is interessant, na te gaan hoe snel de methode convergeert. Ga eens uit van $\mu_1 = \mu_2 = 10$ en bepaal de achtereenvolgende benaderingen.

DE MASSA-LICHTKRACHTWET.

naar G.P. Kuiper, Ap. J. 88, 472, 1930.

M_{bol}	$\log \mu$	M_{bol}	$\log \mu$
- 10	+ 1,70	0	+ 0,58
- 9	+ 1,59	+ 1	+ 0,47
- 8	+ 1,48	+ 2	+ 0,35
- 7	+ 1,37	+ 3	+ 0,24
- 6	+ 1,26	+ 4	+ 0,12
- 5	+ 1,15	+ 5	0
- 4	+ 1,04	+ 6	- 0,12
- 3	+ 0,92	+ 7	- 0,25
- 2	+ 0,81	+ 8	- 0,42
- 1	+ 0,70	+ 9	- 0,60
0	+ 0,58	+ 10	- 0,90

§ 25.

WAARNEMING VAN STERHOPEN.

Elk waar te nemen object wordt eerst in een steratlas opgezocht. Men prent zich de omgeving in, maakt wellicht een ruw schetsje om de sterhoop te kunnen vinden. Beschrijf kort wat door de kijker gezien wordt.

Onderzoek met een binocle, daarna met een kleine kijker.

1. De Krib (Praesepe) in de kreeft (CnC).
2. De hyaden, om Aldebaran.
3. De dubbele sterhoop in Perseus (η en χ)
4. Het hoofdhaar van Berenice (Coma).
5. Sterrehoop in de Eenhoorn, links van ϵ Mon. $6^h 28^m + 4^{\circ} 55'$
6. M 35 Sterrehoop in de tweelingen (Gem) $6 04 + 24 20$
7. M 67 " " " Kreeft (CnC) $8 47 + 12 5$

Onderzoek bij sterkere vergroting.

8. Sterrehoop in Cassiopeia (Cas) $23^h 53^m + 56^{\circ} 15'$
9. Sterrehoop in Cas, midden tussen γ en κ $0 40 + 61 31$
10. M. 37 " " de Voerman (Aur) $5 47 + 32 30$
11. M. 38 " " de Voerman $5 23 + 35 45$
12. M. 34 " " Perseus $2 26 + 42 21$
13. M. 41 " " Grote hond (CMa) $6 42 + 20 38$
14. M. 3 Bolv. sterrehoop in Jachthonden (CVn) $13 38 + 28 53$
15. M. 5 " " " Weegschaal $15 15 + 2 27$
16. M. 2 " " " Waterman (Aqr) $21 29 + 1 10$
17. M. 15 " " " Pegasus $21 65 + 11 44$
18. M. 13 " " " Hercules $16 39 + 36 35$

Maak een tekening van de Bleiaden.

Vergelijk met een kaart, en geef de helderste sterren met hun namen aan. Deze tekening in elk opzicht goed verzorgen! Geef op Uw tekening de E-W-richting aan. Noteer in Uw verslag met welke kijker U heeft waargenomen.

Litteratuur over belangwekkende objecten.-

Flammarion - Nort: Het Rijk der Sterren.
P.S. Ball: A. Popular Guide to the Heavens.
K. Mac Keady: Sternbuch für Anfänger.

Over sterhopen: zie proef § 24.

§ 26. DE VERDELING DER STERREN IN EEN BOLVORMIGE STERREHOOP.

1. Verdeel de foto in een aantal even hoge en brede horizontale stroken, zo goed mogelijk symmetrisch ten opzichte van het centrum, door aan de randen van de opname merktekens te zetten. Beperk het met potlood werken in de boeken tot een minimum. We nemen eens en vooral als lengteeenheid de hoogte van onze strookjes. In diezelfde eenheid meten we ook de afstand tot het centrum. En de ster dichtheden die we bepalen, hebben betrekking op deze (eenheid)³.

2. Nu tellen we het aantal sterren in elk strookje. Om de arbeid te bekorten, kan men om het andere strookje overslaan. In een paar der centrale stroken is de telling niet betrouwbaar, deze vervallen. Verder kan men het gemiddelde nemen der symmetrisch gelegen stroken.

3. Teken nu de functie $F(r)$, die beschrijft hoe groot het aantal sterren in de achtereenvolgende strookjes is; r is de lengte van de loodlijn uit het centrum op het strookje neergelaten.

4. Differentieer deze curve grafisch.

5. Bereken $f(r) = -\frac{1}{2\pi r} \frac{dF}{dr}$; dit is het aantal sterren per volume eenheid op een afstand r van het centrum. Stel deze functie grafisch voor. Zorg ervoor, de juiste eenheden aan te geven.

6. Zet $f(r)$ tegen r uit op dubbel logaritmisch papier, en bepaal met welke macht van r ongeveer de dichtheid der sterren naar buiten toe afneemt. Mocht het papier geen geschikte schaal hebben, zet dan $\log f$ tegen $\log r$ uit op gewoon papier.

7. Geef U rekenschap van de juiste waarde der eenheden, en bepaal het aantal sterren per kubieke parsec.

Aanvulling.-

8. Naderen de getallen $F(r)$ aan de buitenkant tot een bepaalde grenswaarde? Tot hoever strekt de bolvormige sterrehoop zich eigenlijk uit?

Litteratuur.-

H. Shapley: Star Clusters. Cambridge 1930.
ten Bruggencate: Sternhaufen. Berlin 1927.

CEPHEIDEN IN BOLVORMIGE STERREHOPEN.

De lichtkromme van ω Cen 8 wordt bepaald met behulp van afdrukken der platen, opgenomen te Johannesburg en later bewerkt door Dr. W. Martin (diss. Leiden 1937).

Leg de platen steeds met de gelatine van U af, vermijd schuiven en krassen. Het te bestuderen gebied is met een rood cirkeltje aangegeven. Op plaat 24561 staan er toevallig onder ster d twee valse stipjes, die niet met sterrebeeldjes verward mogen worden!

Eerste avond. Het schatten der helderheden.

1. Oriënteer de plaat op dezelfde wijze als de foto op papier. Identificeer de veranderlijke en de 4 vergelijkssterren a, b, c, d.
2. Schat de helderheid der veranderlijke tussen de vergelijkssterren, volgens het schema a 3 v 2 b. Noteer het plaatnummer, dat met inkt op de plaat aangegeven is.
3. Nadat alle 18 platen geschat zijn, berekent men de 18 helderheden door interpolatie tussen de vergelijkssterren. Schrijf bij elke waarneming de Juliaanse dag, met het plaatnummer overeenkomend.
De helderheden der vergelijkssterren zijn:

$$\begin{aligned} a &= 14^m.09 \\ b &= 14^m.55 \\ c &= 14^m.80 \\ d &= 15^m.35 \end{aligned}$$

Plaat-nummer	J.D.	Interpolatie	n	verschuiving	verschoven J.D.

Tweede avond. De bepaling der periode. (vgl. par. 18).

Hierbij worden de helderheden gebruikt, die door een ervaren waarnemer aan de originele platen bepaald zijn.

4. Stel de waarnemingen grafisch voor ($1^d = 0,5$ cm; $1^m = 2$ cm). Zet de grote helderheden, dus de kleine magnitudengetallen boven. De waarnemingen geven blijkbaar stukjes van de lichtkromme, waarin men op verschillende ogenblikken het opflitsen van de ster heeft getroffen. Maak eerst voor elk dezer flitsen uit, of de waarnemingen op de stijgende of op de dalende tak liggen; geef dit op de tekening aan. Tijdsafstanden kunnen alleen veilig gemeten worden tussen stijgende takken onderling of tussen dalende onderling.

5. Vergelijk eerst de waarnemingen bij J.D. 37 en 38. Teken deze op 10 x vergrote schaal ($1^d = 10 \text{ cm}$; $1^m = 2 \text{ cm}$). Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de afstand T (37,38); deze ligt in de buurt van een dag; de periode zou dus 1^d kunnen zijn, maar ook $0,5^d$.

6. Vergelijk nu J.D. 41 en 52 (alleen het punt 41,466 gebruikend, dat in helderheid tussen de punten 52 inligt). In dit geval worden de twee groepen waarnemingen weer op vergrote schaal getekend, maar over 10 gehele dagen naar elkaar toe verschoven; door meting van de kleine overblijvende afstand wordt het totale tijdsinterval T (41,52) weer nauwkeurig bepaald.

7. We gaan nu bepalen wat de beste waarde voor de periode is, en daartoe gaan we kiezen tussen een getal in de buurt van 1^d en een getal in de buurt van $0,5^d$. Deel Uw drie intervallen (37,38); (41,52); (28,38) door geschikte gehele getallen en vergelijk de drie waarden die voor de periode te voorschijn komen. Die oplossing, waarbij de periode zo gelijk mogelijk uit de drie intervallen gevonden wordt, verdient de voorkeur. Maak een tabelletje!

8. Schuif nu alle waarnemingen in elkaar tot ze aansluiten bij J.D.52, de abscissen verkleinend of vergrotend met een geheel aantal perioden. Zorg voor een grafiek op grote schaal, b.v. $0,5 = 10 \text{ cm}$ en $1^m = 10 \text{ cm}$. Breng eerst het punt J.D. 41,466 over: als het niet precies op de stijgende tak komt te liggen moet men de periode lichtelijk wijzigen. Met deze deze gecorrigeerde waarde worden ook de overige punten verschoven. Als beste waarde vindt men $P = 0,5212846$. Uit deze waarde van P volgt met de periodelichtkrachtwet de absolute helderheid \bar{M} .

Vergelijk hiermee de waarde van \bar{m} , en bepaal de afstand van $\omega \text{ Cen}$ in parsec.

Aanvulling.-

10. De coördinaten van $\omega \text{ Cen}$ zijn $\alpha = 13^h 20^m,8$;
 $\delta = -46^\circ 47'$. Zoek deze sterhoop op de Franklin-Adams kaart; Schat zijn middellijn, eerst in mm, dan in boogmaat. Bereken dan de middellijn van de sterhoop in parsec.

$$T(37,38) =$$

$$\begin{array}{l} T(41,52) : 9 = \dots\dots\dots \\ \quad : 10 = \dots\dots\dots \\ \quad : 11 = \dots\dots\dots \end{array} \quad \begin{array}{l} T(28,38) : 9 = \dots\dots\dots \\ \quad : 10 = \dots\dots\dots \\ \quad : 11 = \dots\dots\dots \end{array}$$

$$P = \dots\dots\dots$$

De fotografische P-M-wet

log P	M_{fot}	log P	M
-0,6	0,00	+ 0,8	- 1,53
-0,4	0,00	+ 1,0	- 1,89
-0,2	-0,07	+ 1,2	- 2,26
0,0	-0,31	+ 1,4	- 2,68
+0,2	-0,61	+ 1,6	- 3,19
+0,4	-0,93	+ 1,8	- 3,81
+0,6	-1,22	+ 2,0	- 4,60

(P in dagen).

Litteratuur.-

W. Martin, Ann. Leiden. 1937.
Vgl. Ook proef § 24.

S T E R S T A T I S T I E K§ 28. DE VERDELING DER STERREN AAN HET UITSPANSEL

We bekijken een blad van de fotografische hemelkaart. De sterrebeeldjes zijn daaraan te herkennen, dat telkens drie stipjes in driehoekpatroon opgenomen zijn. Alleen als alle drie stipjes voorkomen geldt het sterrebeeld als reëel. Op de kaart is ook een netwerk afgedrukt.

We willen vooreerst onderzoeken of de verdeling der sterren geheel door het toeval bepaald is, ofwel of er systematische afwijkingen voorkomen (sterhopen, donkere wolken). We kiezen enkele bepaalde gebieden. Een deel der praktikanten onderzoekt opnamen, die er op het oog tamelijk gelijkmatig uitzien, een ander deel krijgt opnamen bij geringe galactische breedte, die groepvorming verraden.

1. Tel het aantal sterren n in elk hokje, tot U ongeveer 200 hokjes bewerkt hebt. Om deze getallen op te tekenen, maakt U een eenvoudig netwerk, dat als afbeelding van de onderzochte plaat beschouwd wordt, en waarin U de resultaten der tellingen neerschrijft.

2. Maak een statistiek van de functie $P(n) = \frac{N(n)}{\sum N(n)}$, die aangeeft, welk breuk deel van het totale aantal hokjes 0, 1, 2, ---, n , --- sterren bevat. Teken deze kromme. Bereken ook het gemiddelde aantal sterren per hokje n_0 .

3. Teken ter vergelijking de kromme van Poisson (Wet der kleine getallen), die voor een volkomen toevallige verdeling zou gelden:

$$P(n) = \frac{n_0^n e^{-n_0}}{n!}$$

Zorg voor systematische berekening der ordinaten met behulp van logaritmen; de waarden van $\log n!$ zijn hieronder aangegeven. Deze wet geldt met voldoende benadering voor toevalsverdelingen met $n_0 < 10$.

Beoordeel de overeenstemming met de waargenomen kromme.

4. Om te onderzoeken of er geen opeenhopingen in grotere delen van het veld zijn, denken we ons de hokjes vier aan vier verenigd tot mazen met een tweemaal zo grote kantlengte als de vorige. Maak een nieuwe tabel, een nieuwe statistiek, en vergelijk weer met de wet van Poisson. Zijn de afwijkingen duidelijk of minder duidelijk? Merk op, dat bij deze grotere waarden van n_0 de functie symmetrischer

wordt en overgaat in de wet van Gauss ("Wet der grote getallen"); deze geldt practisch voor $n_0 > 15$:

$$G(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n_0}} e^{-\frac{(n-n_0)^2}{2n_0}}$$

5. Om na te gaan of de gevonden afwijkingen betekenis hebben, passen we de "correlatiemethode" toe. Zet uit: het aantal n in elk hokje tegen het gemiddelde der n 's van de hokjes links en rechts van het beschouwde. Beoordeel de ligging der aldus verkregen punten.

Met deze methode kunnen afwijkingen van de toevalsverdeling reeds op vrij hoge galactisch breedte opgespoord worden, waar men ze op het oog niet zou herkennen.

n	n log n ₀	0,434 n ₀	log n!	log P	P
0					
1					
2					

n	n-n ₀	(n-n ₀) ²	$\frac{0,434}{2n_0}(n-n_0)^2$	$\frac{0,434}{2n_0}(n-n_0)^2 - \frac{1}{2}\log 2\pi n_0$	G(n)

n	n!	log n!
0		
1	1	0
2	2	0,301
3	6	0,778
4	24	1,380
5	120	2,079
6	720	2,857
7	5·040	3,702
8	40·320	4,606
9	362·880	5,560
10	3·628·800	6,560

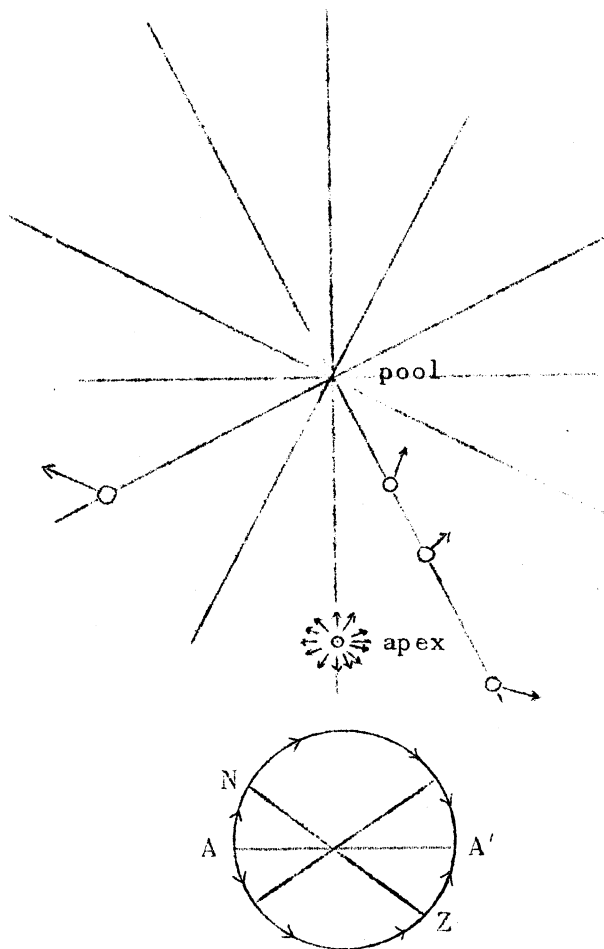
Litteratuur.-

B.J. Bok: The distribution of Stars in Space. Chicago 1937.
 Von der Pahlen: Lehrbuch der Stellarstatistik.
 Harvard Circ. Nr.396, blz.7. (XI C 108).

A. Uit eigenbewegingen.Beginsel.-

Tengevolge van de beweging der Zon door het heelal, schijnen alle sterren van het apex weg te vluchten en tot het antapex te naderen. Beschouw een veldje, dat op dezelfde hemelmeridiaan ligt als het Apex. Van de daarin gelegen sterren zullen er ongeveer evenveel zijn die hun rechte klimming vergroten als verkleinen. In veldjes, die aan de ene zijde van de meridiaan liggen, zal de rechte klimming der sterren tengevolge van de apexbeweging vergroten; aan de andere zijde zal de rechte klimming verkleinen. De meridiaan, waarop het apex ligt, zal dus te vinden zijn uit de compo-

nente der eigenbeweging μ_{α} . Deze effecten gelden slechts voor gemiddelden van een aantal sterren omdat elke ster, naast de algemene parallactische verplaatsing, nog een volgens het toeval verdeelde peculiare beweging heeft.



Op dergelijke wijze zoekt men de declinatie van het apex, door de gang van μ_{δ} te bestuderen langs de meridiaan, waarop het apex ligt. Uit de figuur ziet men, dat het teken van μ_{δ} ineens omslaat nabij de polen N en Z; dit vermijdt men door het teken te veranderen van alle μ_{δ} 's op de boog NAZ, en die op de boog NA'Z hun teken te laten behouden.

Bepaling van de rechte klimming van het Apex.

1. Neem een catalogus van eigenbewegingen (Boss, Schlesinger). Zo dicht mogelijk bij elk der meridianen van 3 u, 6 u, 9 u, enz. onderzoeken we telkens 50 sterren. Tel hoeveel daarvan een positieve beweging in rechte klimming μ_{α} vertonen, en hoeveel er een negatieve beweging μ_{α} hebben; stel P en N.

2. Teken de relatieve overmaat $\frac{P - N}{P + N}$ als functie van de rechte klimming. De twee rechte klimmingen, waarvoor deze functie 0 wordt, zijn die van apex en antapex. Beredeneer welk nulpunt bij het apex en welk bij het

antapex behoort. Als ze niet precies 12 uur uit elkaar liggen, neemt men een gemiddelde. Uit de verkregen getallen P, N van alle groepen wordt een algemene curve opgemaakt, waaruit de α van het apex nog nauwkeuriger volgt.

Bepaling van de declinatie van het apex.

Onderzoek nu de sterren nabij de meridiaan die door het apex en antapex gaat, tussen twee rechte klimmingen aan beide kanten daarvan. Groepeer ze naar de declinatie, zodat de sterren langs de meridiaan in 12 groepen worden verdeeld, elk 30° omvattend. Let ditmaal op de componenten μ_δ der eigenbeweging, en tel weer P en N voor elk der 12 groepen. Bij de polen mogen alle rechte klimmingen genomen worden. Een waarnemer leest alle declinaties op van de sterren die een positieve μ_δ hebben, de andere waarnemer tekent voor elke opgelezen ster een streepje in het passende δ -vlak. (Turven).

4. Teken de breuk $\frac{P - N}{P + N}$ als functie der declinatie. Het spreekt vanzelf dat nabij de polen de gemiddelde μ_δ van teken omslaat wegens de richting waarin gemeten wordt; wijzig dus het teken van de breuk in de helft van de meridiaan.

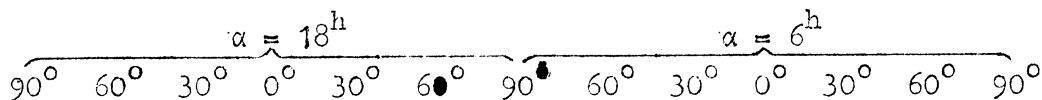
Bepaal nu de twee punten, waar de breuk 0 wordt; ook deze moeten ongeveer 180° uit elkaar liggen.

5. Geef tenslotte rechte klimming en declinatie van het door U bepaalde apex op. Zoek in de atlas het sterrebeeld, waarin dit punt ligt.

B e p a l i n g v a n α .

	0 ^h	3 ^h	6 ^h	9 ^h	12 ^h	15 ^h	18 ^h	21 ^h
P								
N								
P - N								
P + N								
$\frac{P - N}{P + N}$								

B e p a l i n g v a n δ .



P		
N		
P-N		
P+N		
$\frac{P-N}{P+N}$		

B. Uit radiële snelheden.

Om de snelheid van de zon door de ruimte te bepalen, zullen we drie onderling loodrechte componenten van die snelheid onderzoeken.

Deze kiezen wij:

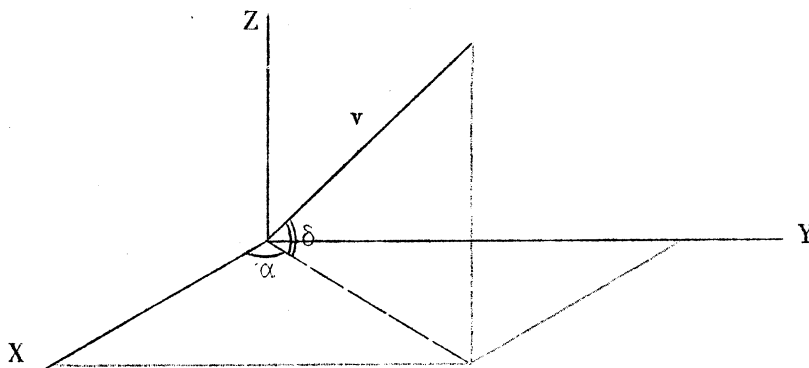
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{In de richting van de hemelpolen } (\delta = 90^\circ, \delta = -90^\circ) \text{ ----- } z, z' \\ \text{In de aequator } (\delta = 0) \text{ in de richting } \alpha = 0^h, \alpha = 12^h \text{ ----- } x, x' \\ \text{" " " " " " " } \alpha = 6^h, \alpha = 18^h \text{ ----- } y, y' \end{array} \right.$$

1. Neem een catalogus van radiële snelheden (Campbell, Moore, Vofite). Geef U rekenschap van de wijze waarop hij is ingericht en van de betekenis der kolommen.
2. Bepaal het gemiddelde der radiële snelheden voor 6 groepen sterren in de nabijheid van de 6 richtingen die we als uiteinden van onze coördinaat assen hebben gekozen. Neem deze groepen zo ruim, dat ze ieder een 25 sterren omvatten; een afwijking van 20° of 30° t.o.v. de gekozen richting is nog wel toegelaten. - Noem deze gemiddelden \bar{x} , \bar{x}' , \bar{y} , \bar{y}' , \bar{z} , \bar{z}' .
3. Waarden van \bar{x} en \bar{x}' moesten gelijk zijn, maar tegengesteld van teken. De verschillen geven U een denkbeeld van de middelbare fout van Uw karakteristiek.

Neem $\bar{x} = \frac{\bar{x} - \bar{x}'}{2}$ en evenzo \bar{y} , \bar{z} .

4. Bereken tenslotte $v = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}$. Uw uitkomst, uit een zo klein materiaal, heeft natuurlijk slechts beperkte waarde. Geef U rekenschap van de richting in de ruimte, door α en δ te berekenen van het apex. Vergis U niet in de tekens en in de zin der beweging!

5. Zoek in een atlas het sterrebeeld, naar hetwelk de zon beweegt. Vergelijk Uw uitkomst kritisch met die, uit de eigenbewegingen verkregen.



Aanvulling.-

Verdubbel het aantal sterren en ga na hoe de nauwkeurigheid der uitkomst daardoor vergroot wordt.

Litteratuur.-

Russel - Dugan - Stewart, Astronomy II, blz. 657 - 661.

A.S. Eddington: Stellar Movements.

Von der Pahlen: Lehrbuch der Stellarstatistik. Leipzig 1937.

L. Boss: General Catalogue of the radial Velocities (Lick Publ, 18 1932).

§ 30. VOORKEURSRIJCHTINGEN IN DE BEWEGINGEN DER STERREN.

Door uitgebreide onderzoekingen heeft men bevonden, dat de peculiare bewegingen een voorkeur hebben voor de richting $\alpha = 18^u$, $\delta = -12^\circ$ en voor de daaraan tegengestelde richting (vertices). Noem de snelheidscomponenten u, v, w ; dan is het aantal sterren met componenten tussen u en $u + du$, v en $v + dv$, w en $w + dw$:

$$N(u, v, w) du dv dw = c \cdot e^{-h^2 u^2 - k^2 (v^2 + w^2)} du dv dw.$$

We stellen ons voor dit te controleren en de assen van het snelheidsel-
lipsoïde te bepalen.

1. Neem een catalogus van radiële snelheden en geef U rekenschap van de wijze waarop hij is ingericht en van de betekenis der kolommen. Zoek daar een 200 sterren uit, voor de hand weg gekozen, 100 in de buurt van het vertice en 100 daartegenover.

$$\begin{array}{l} \text{Als grenzen bv. :} \\ \alpha = 17^h \text{ tot } 19^h \qquad \delta = -25^\circ \text{ tot } 0^\circ. \\ \qquad \qquad \qquad \quad 5^h \text{ tot } 7^h \qquad \qquad \qquad + 25^\circ \text{ tot } 0^\circ. \end{array}$$

Desnoods kunnen deze grenzen iets uitgebreid worden. Alleen sterren van zeer vroeg spectraaltypen kunnen worden weggelaten. Door turven maakt U een statistiek van het aantal sterren die radiële snelheden s hebben van:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ tot } 10^{\text{km}}/\text{sec}; \quad 10 \text{ tot } 20; \quad 20 \text{ tot } 30; \\ 0 \text{ tot } -10^{\text{km}}/\text{sec}; \quad -10 \text{ tot } -20; \quad -20 \text{ tot } -30; \end{array} \right.$$

Stel de verdeling grafisch voor.

2. Door de verkregen punten kan een kromme van Gauss gelegd worden. Dit is in overeenstemming met ons uitgangspunt, aangezien we een ellipsoïdische snelheidsverdeling aangenomen hebben en alleen op de u -componente hebben gelet:

$$N(u) du = c \cdot e^{-h^2 u^2} du.$$

Dat de symmetrie niet door het nulpunt gaat, is te wijten aan de parallactische componenten tengevolge van de zonsbeweging.

Bepaling van de kromme van Gauss.

A. Men maakt op $\bar{s} = \frac{\sum ns}{\sum n}$, en tekent een nieuwe schaal, waarvan het nulpunt thans de symmetrie-lijn aangeeft, en waarop de afstanden $s - \bar{s} = u$ genoemd worden.

B. Men berekent $\bar{u}^2 = \frac{\sum nu^2}{\sum n} = \frac{1}{2h^2}$.

In beide berekeningen gescheiden de summaties niet ster voor ster, maar groep per groep, hetgeen veel sneller gaat en bijna even nauwkeurig is.

Bij de bepaling van \bar{u}^2 worden de sterren van beide vertices samengevoegd, zowel in de becijfering als bij het nu volgende tekenen der kromme.

De kromme van Gauss is nu: $N(u) = \frac{Mh}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2 u^2}$, waarin M het totale aantal

sterren voorstelt; vanzelf is nu $\int_{-\infty}^{+\infty} N(n) du = M$. Teken deze curve.

Vergelijk de waargenomen curve met de verdeling volgens Gauss. Zijn er "snellopers"?

3. Herhaal de telling voor twee punten op ongeveer 90° van de vertices, bv. $\alpha = 18^h$, $\delta = +80^\circ$ en het punt daartegenover; kijk op de hemelglobe! We

vinden nu de kromme: $N(v) = C \cdot e^{-k^2 v^2}$.

Vergelijk de dispersie $\frac{1}{k}$ met die der vorige kromme $\frac{1}{h}$:

dit verschil in dispersie is het fundamentele verschijnsel der "sterstroming."

4. Vergelijk de door U gevonden assen van het snelheidsellipsoïde met de waarden, uit uitvoerige onderzoekingen afgeleid.

Aanvulling.-

5. Zijn de waarden van \bar{u} gelijk en tegengesteld voor de twee vertices? Zijn de waarden van \bar{v} gelijk en tegen gesteld voor de twee punten op 90° van de vertices? Als dit niet het geval is, zouden we moeten ^{besluiten} besluiten, gesuperponeerd op de zonsbeweging, nog een algemene uitzetting of samen-trekking van de Melkweg in onze omgeving plaatsgrijpt. Hoe groot is deze "K"-term volgens Uw statistiek?

6. Gebruik de door U gevonden waarden van \bar{u} en \bar{v} , bevrijd van K-effect, om de snelheid der zon in de richting van het apex te bepalen ($\alpha = 18^h$, $\delta = 28^\circ$). Doordat twee snelheidsvectoren vrijwel in hetvlak liggen van de uurencirkel van 18^h , kan men schrijven:

$$\text{snelheid der zon} = s_z = \sqrt{u^2 + v^2}.$$

$$\text{Daarenboven moet } \bar{u} = s_z \cdot \cos \theta, \quad \bar{v} = s_z \cdot \sin \theta$$

waarin θ de hoek is tussen het apex en vertex.- Vergelijk met de uitkomsten van proef § 27.

Litteratuur.-

R.E. Willianson, Ap. J. 93, 511, 1941.

§ 31.

DONKERE NEVELS.

Op een aantal punten van de Melkweg vermoedt men, dat er donkere wolken zijn, die het licht van de daarachtergelegen sterren ten dele verzwakken. Dergelijke gebieden zijn opvallend arm aan sterren. Iets over de afstand en de aard van zulk een donkere wolk te weten te komen gelukt door de dichtheid der sterren in het verduisterde en het onverduisterde gebied met elkaar te vergelijken, en wel voor elk der onderscheidene grootteklassen.

Als uitgangspunt zullen we de fotografische Franklin-Adamskaart gebruiken. Deze zeer waardevolle kaart moet met zorg behandeld worden, er mogen geen aantekeningen op de bladen gemaakt worden!

1. Begin met het U opgegeven gebied op te zoeken in de Melkweg-atlassen van Ross of Barnard.

2. Zoek nu een geschikt blad van de Franklin-Adams-kaart, waarop U zowel de donkere wolk als een normaal vergelijkingsblad aantroft. Leg op de kaart een glazen plaatje en geef de grenzen van de gebieden aan die U als "normaal" en als "verduisterd" zult beschouwen. Het is niet altijd mogelijk deze gebieden geheel gelijkmatig te kiezen.

Pas op de foto's niet te beschadigen met de hoeken van het plaatje!

3. Om de sterren in helderheidsklassen in te delen, krijgt U een vergelijkings-schaaltje met een reeks genummerde sterrebeeldjes van dalende sterkte. Prent U goed in het geheugen, hoe deze standaard beeldjes eruitzien.

Leg een celluloidplaatje, waarop een begrenzingsraam gegrift is, op een willekeurig punt van het onverduisterde gebied; kies voor het tellen een raam van de best geschikte afmeting. Leg daarnaast het vergelijkings-schaaltje.

4. Bepaal nu van elke ster de helderheidsklasse, het gehele rechthoekje van links naar rechts doorlopend (turven). U kunt dan aangeven hoeveel sterren van elke klasse daarin voorkomen.-

Voer eerst een prooftelling uit om te wennen.

Herhaal hetzelfde op een punt van het verduisterde gebied; doe dit zo dikwijls als nodig is om in elke klasse tenminste 200 sterren te bereiken.

Bij de helderste groepen zal dit niet mogelijk zijn; tel daar de sterren met het ongewapend oog, in de grote ruitjes van de Franklin-Adamskaart. Het is niet nodig om in iedere rechthoek alle klassen te tellen.

Bepaal aldus de verhouding der sterddichtheden

$$V = \frac{N(\text{verduisterd})}{N(\text{onverduisterd})} \text{ voor elk Uwer klassen.}$$

5. Om U een denkbeeld te verschaffen van de waarde der door U gebruikte helderheidsklassen, vergelijkt U Uw standaardsterren met de Franklin-Adamskaart in de buurt van de noordpool. In dit gebied zijn de helderheden van een aantal sterren zorgvuldig bepaald, zodat U daaraan Uw sterren kunt ijken (Handbuch der Astrophysik, 5 (1) blz. 326, 327). U kent nu V als Functie van de grootteklasse.

6. Voor het aantal sterren $N_{(m)}$ der verschillende grootteklassen m in het onverduisterde gebied nemen we de waarden die gelden voor het geheel van de hemel op dezelfde galactische breedte. (Tabel hieronder).

De galactische breedte kunt U opzoeken in: Bottlinger, Galaktischer Atlas (XII A 233); of in Norton, Star Atlas.

Stel grafisch $\log N_{(m)}$ als functie van m voor. Bereken nu uit Uw waarnemingen $\log N'_{(m)}$ voor het verduisterde gebied, en zet die in dezelfde grafiek uit.

7. Discussieer de twee verkregen curven.

Is het mogelijk, aan te geven bij welke grootteklasse de nevel zijn werking begint uit te oefenen? Hoeveel grootteklassen worden de verste sterren door de nevel verzwakt?

8. De afstand van de nevel kan aangegeven worden, als men de gemiddelde afstand kent der sterren vande verschillende helderheidsklassen. Deze is te ontlennen aan de tabel hieronder.

Onverduisterd gebied

Klasse	1	2	3	4	5	6
Totaal						

Verduisterd gebied.

Klasse	1	2	3	4	5	6
Totaal						

V3						
log V						
log N						
log N'						
m						

GEMIDDELDE AFSTAND IN PARSEC.

Naar Publicatie Groningen no. 29, tab. 25, 1918.

m	galactische breedte b		
	0 tot $\pm 20^\circ$	$\pm 20^\circ$ tot $\pm 40^\circ$	$\pm 40^\circ$ tot $\pm 90^\circ$
4.0	4	44	36
5.0	66	60	49
6.0	90	82	67
7.0	124	112	92
8.0	170	154	126
9.0	233	211	172
10.0	320	289	237
11.0	437	398	325
12.0	603	550	447
13.0	821	746	613

WAARDEN VAN $\log N_{(m)}$

Uit Ap. J. 62, 320, 1925.

m	galactische breedte b			
	0°	30°	60°	90°
4.0	8.2	7.9	7.7	7.7
4.5	8.5	8.1	8.0	7.9
5.0	8.7	8.4	8.2	8.1
5.5	8.9	8.6	8.4	8.4
6.0	9.1	8.8	8.6	8.6
6.5	9.3	9.0	8.9	8.8
7.0	9.6	9.3	9.1	9.0
7.5	9.8	9.5	9.3	9.2
8.0	10.0	9.7	9.5	9.4
8.5	10.2	9.9	9.7	9.6
9.0	10.5	10.1	9.9	9.8
9.5	10.7	10.3	10.1	10.0
10.0	10.9	10.5	10.3	10.2
10.5	1.1	0.7	0.5	0.4
11.0	1.3	0.9	0.7	0.6
11.5	1.5	1.1	0.9	0.7
12.0	1.7	1.3	1.0	0.9
12.5	1.9	1.5	1.2	1.1
13.0	2.1	1.7	1.3	1.2
13.5	2.3	1.8	1.5	1.4
14.0	2.5	2.0	1.6	1.5

§ 32.

DE MELKWEG.

Het doel is: te tekenen hoe de melkweg tussen de sterren verloopt. Deze waarneming dient te geschieden op een heldere nacht en op een open terrein, tenminste 5 km van de stad verwijderd; de maan hindert, zodra zij meer dan een sikkel is en te dicht bij de Melkweg staat; straatlantarens zijn zelfs op grote afstand hinderlijk. De zaklantarens, die we zullen gebruiken moeten een zeer zwak licht geven.

Waarneming.

Zodra ons oog aangepast is aan de duisternis, volgen we het algemene verloop van de melkweg aan de hemel en oriënteren we ons ontrent de voornaamste sterrebeelden, die langs deze strook voorkomen. U vindt die delen van de hemel op de kaarten 1, 3, en 5 van de atlas van Rohrbach. Tracht nauwkeuriger vast te leggen waar zich de hartlijn van de melkweg bevindt. Verlicht nu even de steratlas, daarbij de hand van het zaklantarentje houdend om niet meer van het licht door te laten dan strikt nodig is. Teken de afgesproken plek met een potloodstreep aan en doof direct daarna het licht. U zult opmerken dat het dan weer een minuut of zo duurt, eer het oog zijn normale gevoeligheid heeft herkregen.

Bewerk aldus de zuidelijke delen van de hemel, zo diep mogelijk naar de kim afdalend. Ga dan over het zenith heen naar het noordelijke stuk, ook daar zo ver mogelijk de melkweg volgend.

Af en toe zal het voorkomen, dat U een splitsing in de lichtgordel waarneemt; dit is bv. het geval nabij Perseus. Naarmate U langer kijkt, ziet U meer details, donkerder en lichtere plekken tekenen zich af. Teken op, welke de helderste plekken zijn in het door U waargenomen gedeelte.

Bewerking.

Breng de door U aangegeven punten zorgvuldig over op de kaart van het noordelijk halfrond, die U ter hand gesteld wordt. Trek zo goed mogelijk een vloeiende lijn door alle punten. Deze lijn is bij benadering de galactische aequator.

Bepaal op welke afstand van de hemelpool de galactische aequator verloopt en leidt daaruit af hoeveel hij helt t.o.v. de hemelaequator. Bepaal ook zo goed mogelijk de knopen van de galactische aequator t.o.v. de hemelaequator.

Vergelijk de uitkomsten met de litteratuur.

=====