

# Over de Aardrotatie en het Observeren van Sterbedekkingen

E.S. Wojciulewitsch, Hove 1972

Over wat sterbedekkingen zijn en hoe de observatie ervan nuttig is voor de tijdsbepaling.  
Trefwoorden : aardrotatie, getijdenwrijving, efemeridetijd, universele tijd, Zodiacal Catalog,



© Egon Wojciulewitsch, Hove 1972

Deze tekst kan vrij gebruikt worden voor elke educatieve activiteit. Vriendelijk verzoek de oorsprong ervan wel te respecteren.

## Sterbedekkingen

Het gebeurt regelmatig dat sterren door de maan worden bedekt. Dat betekent dat de maan tijdens haar baanbeweging om de aarde zich tussen die sterren en de aarde schuift, waardoor die sterren tijdelijk onzichtbaar zijn. Men zou evengoed van sterverduisteringen kunnen spreken, want het verschijnsel is volledig analoog aan een zonsverduistering. Anders dan bij een zonsverduistering is wel dat het sterlicht plots verdwijnt en even later even plots terug te voorschijn komt. De maan heeft immers geen atmosfeer die voor een geleidelijk uitdoven kan zorgen en de sterren vertonen zich slechts als puntvormige lichtbronnen, zodat een gedeeltelijke verduistering zoals bij de zon is uitgesloten.

Van Nieuwe Maan tot Volle Maan verdwijnen de sterren aan de donkere maanrand en komen aan de verlichte rand terug te voorschijn; van Volle Maan tot Nieuwe Maan verdwijnen ze aan de verlichte rand en komen aan de donkere terug.

Het noteren van de bedekkingstijdstippen is van bijzonder wetenschappelijk betekenis. Het Nautical Almanac Office in Engeland verzamelt alle waarneming ervan over de hele wereld en verwerkt deze met behulp van elektronische rekenapparatuur. Ze worden vooral gebruikt om wijzigingen in de aardrotatie op te sporen. Deze zijn het gevolg van bepaalde geofysische verschijnselen zoals de getijdenwrijving en de toestandswijzigingen in het inwendige van de aarde. De getijdenwrijving veroorzaakt een continue vertraging van de aardrotatie. Vooral de zee-engten en de ondiepe zeeën zijn hiervoor verantwoordelijk: het nauw van Bering (ca 90% van het effect), de Ierse Zee (ca 5%), de Rode Zee, de Noordzee enz. Verder kon N. Stoyko in 1935 aanwijzingen geven voor een periodieke wijziging in de aardrotatie veroorzaakt door veranderingen in de atmosferische massa's. De aarde zou in de zomer iets sneller wentelen dan in de winter. Tenslotte zijn er nog plotse en onregelmatige schommelingen waarvoor nog geen verklaring werd gevonden.

De zuiver astronomische betekenis van deze verschijnselen zou onbetekenend zijn, ware het niet dat de tijdrekening volledig op de aardrotatie gebaseerd is : een uur is het vierentwintigste deel van de tijd die de aarde nodig heeft om één omwenteling te volbrengen. Vermits globaal gezien de aardrotatie vertraagt, zal een uur nú iets langer duren dan enkele jaren geleden. De in de astronomie gebruikte universele tijd loopt dan ook systematisch achter op de eenparig verlopende tijd van een ideale klok. Om deze ideale klok zo goed mogelijk te benaderen werd de efemeridetijd ingevoerd. Deze wordt bepaald door de wetten van de planetenbeweging b.v. door de rotatie van de aarde. Het steeds groter wordend verschil tussen beide tijdsaanwijzingen is dan

$$\Delta t = ET - UT$$

Om de efemeridetijd te bepalen worden zonsverduisteringen, maansverduisteringen, sterbedekkingen, planeetovergangen, de posities van de planeten enz. geobserveerd. De wetten van de hemelmechanica laten toe te berekenen op welke efemeridetijdstippen deze gebeurtenissen plaatsvinden. Bij de waarneming zijn dus zowel de gemeten universele tijd als de berekende efemeridetijd gekend, en dus ook het verschil. Omwille van de onvoorspelbaarheid van de schommelingen in de aardrotatie moeten dergelijke waarnemingen (hoofdzakelijk van sterbedekkingen) voortdurend uitgevoerd worden.

Efemeridetijs zal echter nooit de universele tijds verdringen. Middernacht moet immers steeds geassocieerd blijven met 0 uur op de klok, wat in efemeridetijs niet meer het geval is. Bijna zeker wordt in de toekomst wel de rol van de efemeridetijs overgenomen door atoomtijds.

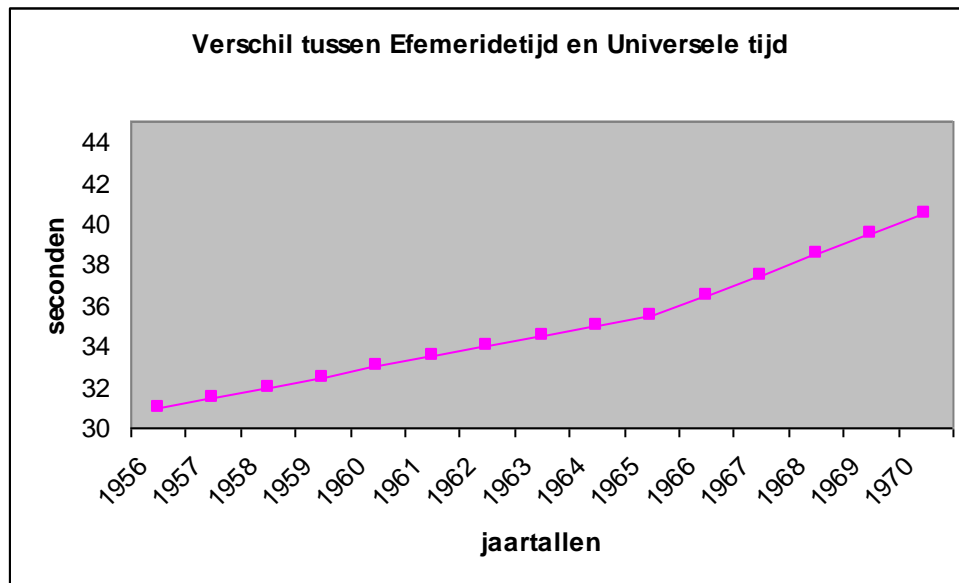


Fig.1 : Het verschil tussen Efemeridetijs en universele tijds van 1956 tot 1970

## Het observeren van sterbedekkingen

Het 'Jaarboek van de Koninklijke Sterenwacht' bevat elk jaar een overzicht van de belangrijkste verwachte sterbedekkingen (fig.2). Deze lijst geeft voor elke bedekking :

- de datum en het voorspelde tijdstip,
- het ZC-nummer van de ster,
- de gebruikelijke naam van de ster,
- de magnitude van de ster,
- de ouderdom van de maan,
- of het om een verdwijning (D) of een wederverschijning (R) gaat,
- de positiehoek van het verschijnsel,
- correctieconstanten  $a$  en  $b$  voor een nauwkeuriger berekenen van het bedekkingstijdstip naargelang de waarnemingsplaats.

Het ZC-nummer van een ster is het nummer van die ster in de Zodiacal Catalog. Dit is een catalogus van 3539 heldere sterren die door de maan kunnen worden bedekt. Hij werd samengesteld door James Robertson (Astronomical Papers, Vol. X, Part II, 1940).

De ouderdom van de maan is het aantal dagen verlopen sedert de laatste Nieuwe Maan. Hij laat toe te bepalen welke fractie van de zichtbare zijde van de maan verlicht is.

DATES --- DATA	Étoile - Ster		Grandeur Grote	Phénomène Verschijnsel	Age de la Lune Oud. De maan	U.T.	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>P</i>
	Z.C. -n°	Nom --- Naam							
			<i>m</i>		<i>d</i>	<i>h m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	°
Janv. 12	2287	6π Sco	3.0	D	25.5	6 39.6	-1.5	+0.8	93
Jan. 20	3477	15 Psc	6.6	D	4.3	18 00.9	-0.7	+0.5	36
24	470	161B.Ari	7.0	D	8.3	18 09.7	-1.0	+2.2	36
25	647	59 γTau	5.5	D	9.4	21 38.8	-1.3	-0.9	91
27	842	+25°879	6.3	D	10.7	2 55.9	+0.4	-2.0	131
27	852	125 Tau	5.0	D	10.7	4 04.6	+1.5	-1.5	116
28	1015	52B.Gem	6.4	D	11.7	3 21.1	-	-	191
28	1015	52B.Gem	6.4	R	11.7	3 25.3	-	-	200
28	1023	+24°1343	6.5	D	11.7	3 46.3	+0.3	-1.9	135

Fig.2 : Fragment uit het jaarboek van 1972 van de Koninklijke Sterrenwacht van België

De positiehoek duidt aan op welke plaats van de maanrand de bedekking begint of eindigt (fig.3). Hij wordt uitgedrukt in graden en gemeten in tegenwijzerzin vanaf de noordelijke punt van de maanrand. In een omkerende kijker ligt het noorden onderaan! De positiehoek is afhankelijk van de plaats van de waarnemer.

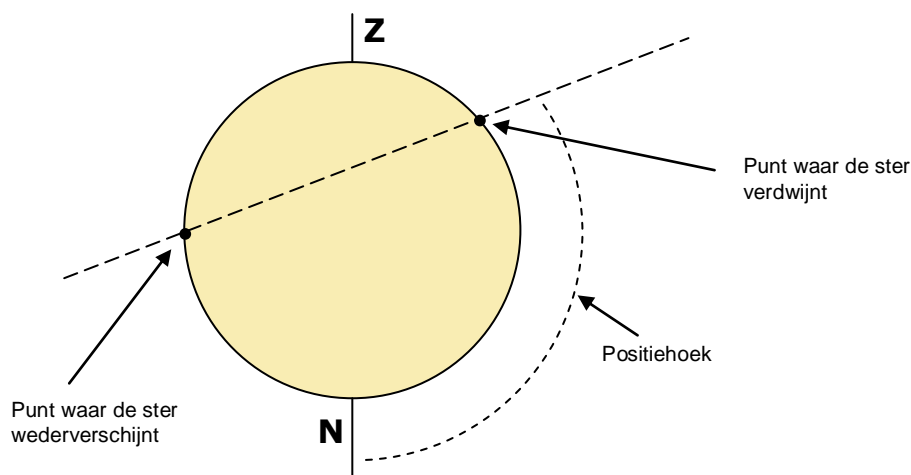


Fig.3 : De positiehoek

De bedekkingstijden uit het jaarboek zijn opgegeven in *UT*, waarbij een voorlopige waarde voor  $\Delta t = ET - UT$  werd gebruikt. Die bedekkingstijden zijn strikt genomen enkel geldig voor Ukkel. Voor andere plaatsen in België moet er een correctie worden aangebracht. Het jaarboek zelf geeft de te gebruiken correctieconstanten *a* en *b*, die als volgt worden gebruikt.

Als  $t_0$  het voorspelde tijdstip is voor Ukkel en  $t$  het te berekenen tijdstip voor een gegeven plaats, dan geldt :

$$t = t_U + a\Delta\lambda + b\Delta\phi$$

$\Delta\lambda$  is het in graden uitgedrukte lengteverschil met Ukkel. Het is positief ten westen, negatief ten oosten van Ukkel.  $\Delta\phi$  is het eveneens in graden uitgedrukte breedteverschil. Het is positief ten noorden, negatief ten zuiden van Ukkel. De coëfficiënten  $a$  en  $b$  zijn uitgedrukt in minuten per graad.

Voorbeeld :

Coördinaten voor de sterrenwacht te Hove :  $\lambda = -4^{\circ}28'02''$   $\phi = 51^{\circ}08'45''$   
 Coördinaten voor de sterrenwacht te Ukkel :  $\lambda = -4^{\circ}21'29''$   $\phi = 50^{\circ}47'55''$

Dat geeft :

$$\Delta\lambda = -6'31'' = -0.1^{\circ}$$

$$\Delta\phi = 20'48'' = 0.3^{\circ}$$

Voor het verdwijnen van de ster 161B Ari geeft het jaarboek op 24 januari 1972 :

$$t_0 = 18^{\text{h}}09.7^{\text{m}}$$

$$a = -1.0$$

$$b = +2.2$$

De bedekking van 161B Ari op 24 januari 1972 vindt in Hove dus plaats (in universele tijd) om :

$$t = t_0 + (-1.0) \times (-0.1) + 2.2 \times 0.3 = 18^{\text{h}}09.7^{\text{m}} + 0.1^{\text{m}} + 0.7^{\text{m}} = 18^{\text{h}}10.5^{\text{m}}$$

Voor de observatie zelf zijn drie instrumenten nodig : een equatoriaal opgestelde telescoop, een chronometer en een kortegolfontvanger.

Voor de telescoop is een klein toestel van 6 cm opening reeds zeer geschikt. Bovendien wordt aan de optische kwaliteit geen bijzondere eisen gesteld, vermits enkel het verdwijnen of het wederverschijnen van de ster moet vastgesteld worden.

De chronometer moet nauwkeurig zijn tot op 0.1 seconde. Het is nodig zijn verloop grondig te bestuderen.

Met een kortegolfontvanger kunnen dan tijdseinenv ontvangen worden zoals deze van DIZ Nauen op 4.525 MHz of OMA Satalice. Deze zenders geven elke seconde een signaal, dat voor de volle minuut iets langer is.

Het waarnemen zelf is nu helemaal niets moeilijks meer. Enkele minuten voor tijd wordt de telescoop equatoriaal opgesteld, zodat het volgen geen problemen geeft. De te volgen ster wordt in beeld gebracht en het volgen gestart. Op het ogenblik dat de ster verdwijnt (of verschijnt) wordt de chronometer gestart. Op een vooraf gekozen en bekend tijdstip wordt hij terug stilgezet. Is  $t_1$  het ogenblik waarop de chrono werd stilgelegd, en  $\Delta t$  de tijd dat hij gelopen heeft, dan is het tijdstip van de bedekking gelijk aan :

$$t = t_1 - \Delta t - f$$

Hierin is  $f$  de reactietijd van de waarnemer, die voor een geoefende waarnemer bekend moet zijn. Het is van belang bij de rapportering te vermelden of deze reactietijd in rekening werd gebracht.

Het rapportformulier vraagt ook nog naar het lunatienummer. Een lunatie is de tijd die de maan nodig heeft voor één synodische omloop. De lunatie die op 16 januari 1923 begon, kreeg nummer één. De lunatienummers worden in het jaarboek vermeld bij de gegevens voor de maan.

**VERENIGING VOOR STERRENKUNDE**  
**WERKGROEP STERBEDEKKINGEN**

Station : Urania, Mattheessensstraat 62, 2540 Hove  
 Geogr.lengte : -4°28'02"  
 Geogr.breedte : 51°05'45"

Gebruikte kijkers	D	f	hoogte	Observators
A Kutter	250mm	500mm	32m	a Herman Forthoff
B Refractor	76mm	90mm	20m	b Egon Wojcicki
C —				c Edwin Goffin
D —				d —
				e —

Methode voor tijdmeting : *Tijdreuder + chronometer*

Persoonlijk fout in rekening gebracht : *ja/nee*      Jaar : *1971*

Datum m d	UT h m s	Lun.	ZC	Kijker Vergr.	Obs.	Phen.	Tijd- sein	Opmerkingen
okt 27	20 05 11.3	604	3058	A 200x	a	D	D12	pf = 0.25
okt 28	20 46 17.3	604	3106	A 200x	a	D	D12	pf = 0.25
dec 27	21 57 59.2	606	387	B 125x	c	D	OMA	pf = 0.35
dec 29	0 41 23.6	606	537	A 200x	b	D	D12	pf = 0.25
dec 29	1 09 21.0	606	541	A 200x	b	D	D12	pf = 0.25

Fig.4: Voorbeeld van een rapportblad

## Het bepalen van $\Delta t$ uit een waarneming

De methode om uit waarnemingen van sterbedekkingen het verschil  $\Delta T = ET - UT$  te bepalen berust op de volgende (vereenvoudigde) overweging. De maan, de waarnemer **W** en de ster worden geprojecteerd op een vlak dat loodrecht staat op de verbindinglijn tussen de ster en

het middelpunt van de aarde (fig.5). De ster wordt in het middelpunt **M** geprojecteerd en de waarnemer in **W**'. De projectie van de bolvormig veronderstelde maan is dan een cirkel. Op het tijdstip van de bedekking ziet de waarnemer de ster juist op de rand van de maan. Het punt **W**' zal dan eveneens op de rand van de maanprojectie liggen, die dezelfde straal heeft als de maan zelf. De ster wordt immers op een oneindig grote afstand verondersteld vergeleken met de afstand aarde-maan. Op het projectievlak kunnen we – in een  $x,y$ -coördinatenstelsel – de afstand tussen het punt **W**' en het midden van de maanprojectie bepalen. Op het ogenblik van de bedekking is die afstand gelijk aan de maanstraal  $r$ , zodat :

$$(x - x_w)^2 + (y - y_w)^2 = r^2 \quad (1)$$

Hierin zijn  $x_w$  en  $y_w$  de coördinaten van **W**' en  $x$  en  $y$  die van het middelpunt van de maanprojectie.

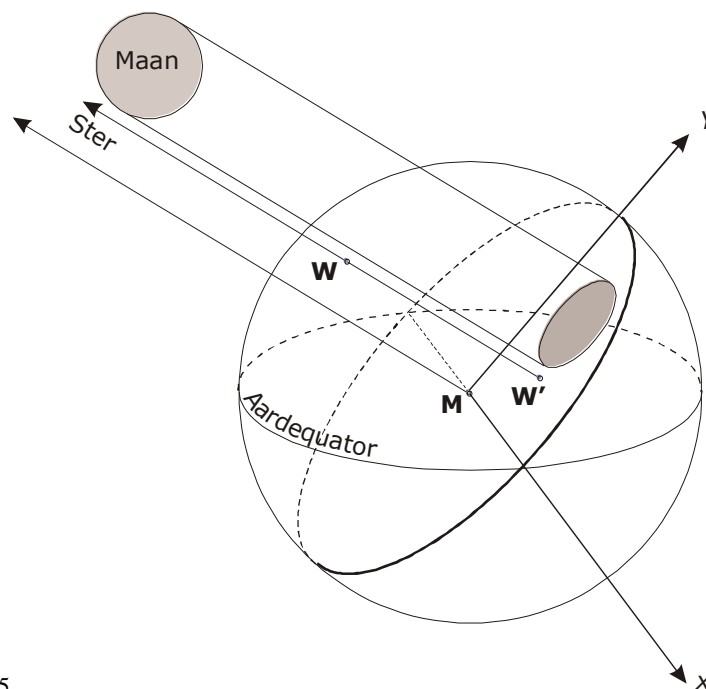


Fig.5

Volgende notaties worden ingevoerd :

$R$  = afstand waarnemer tot aardmiddelpunt.

$\varphi$  = geocentrische breedte van de waarnemer.

$H$  = de uurhoek van de ster op het ogenblik van de bedekking.

$\alpha, \delta$  = rechte klimming en declinatie van het maanmiddelpunt op het ogenblik van de bedekking.

$\alpha_s, \delta_s$  = rechte klimming en declinatie van de ster.

Uit figuur 6 volgt voor de coördinaten van de waarnemer :

$$\begin{aligned} x_w &= R \cos \varphi \sin H \\ y_w &= R (\sin \varphi \cos \delta_s - \cos \varphi \sin \delta_s \cos H) \end{aligned} \quad (2)$$

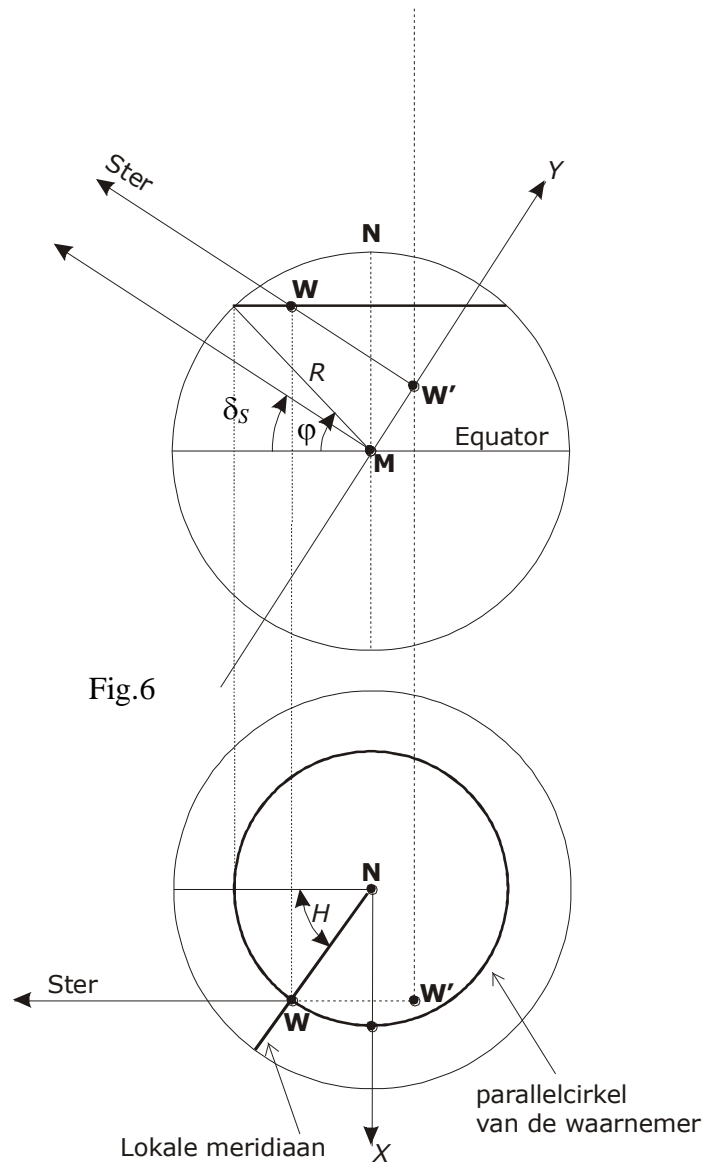


Fig.6

Voor het middelpunt van de maanprojectie gelden dezelfde formules, mits volgende substituties :

$R$  wordt  $d$  (afstand van de maan)  
 $\varphi$  wordt  $\delta$   
 $H$  wordt  $\alpha - \alpha_s$

De coördinaten van het maanmiddelpunt worden dan :

$$\begin{aligned} x &= d \cos \delta \sin(\alpha - \alpha_s) \\ y &= d (\sin \delta \cos \delta_s - \cos \delta \sin \delta_s \cos(\alpha - \alpha_s)) \end{aligned} \quad (3)$$

De afstand van de maan  $d$  moet nog vervangen worden door de gemakkelijker te bepalen equatoriale horizontaalparallax van de maan  $\pi$ . Dat is de hoek waaronder een waarnemer op de maan de equatorstraal van de aarde zou zien als de maan op dat ogenblik voor een



waarnemer op de aardevenaar in de horizon staat. Met de equatorstraal van de aarde als eenheid geldt :

$$\sin \pi = \frac{1}{d}$$

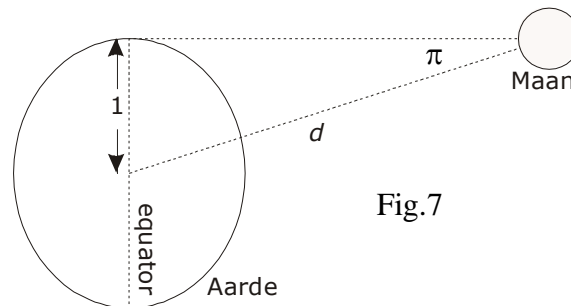


Fig.7

De coördinaten van het maanmiddelpunt worden dan :

$$x = \frac{\cos \delta \cos(\alpha - \alpha_s)}{\sin \pi} \quad (4)$$

$$y = \frac{\sin \delta \cos \delta_s - \cos \delta \sin \delta_s \cos(\alpha - \alpha_s)}{\sin \pi}$$

De jaarboeken leveren voor de maan  $\alpha$ ,  $\delta$  en  $\pi$  voor elk uur efemeridetijd. Voor de ster is nog de schijnbare positie nodig op het ogenblik van de bedekking. Deze kan berekend worden met de methode uitgelegd in 'The explanatory supplement to the astronomical ephemeris'.

Bij de waarneming wordt een UT-tijdstip bepaald. De jaarboeken geven de positie en de horizontaalparallax van de maan voor elk uur efemeridetijd. Door een goede keuze van  $\Delta t$  kunnen  $\alpha$ ,  $\delta$  en  $\pi$  zó bepaald worden dat de vergelijking (1) voldaan is. Deze bewerking heet de reductie van de waarneming. Een gemiddelde waarde voor  $\Delta t$  verkregen uit zo veel mogelijk waarnemingen van op zoveel mogelijk verschillende plaatsen op aarde, geeft dan een goed idee van het verschil tussen universele tijd en efemeridetijd. Het reliëf aan de maanrand is verantwoordelijk voor een zekere spreiding rond dit gemiddelde.

### Voorbeeld van een reductie

Op 19 maart 1972 werd de ster ZC537 bedekt. Op de sterrenwacht te Hove werd UT = 19<sup>h</sup>09<sup>m</sup>41.8<sup>s</sup> genoteerd. De ster had op dat ogenblik een schijnbare rechte klimming  $\alpha_s = 3^{\text{h}}43^{\text{m}}13.4^{\text{s}}$  en een schijnbare declinatie  $\delta_s = 24^{\text{h}}01^{\text{m}}44.8^{\text{s}}$ . De uurhoek ervan op het ogenblik van de waarneming is dan :

$$H = t_s - \alpha_s - \lambda + 1.0027379 \cdot t \quad (5)$$

Hierin is  $t_s$  de sterrentijd te Greenwich om 0<sup>h</sup> UT en  $\lambda$  de geografische lengte van de waarnemer (voor Hove : -4°28'02"). Het resultaat in graden is :

$$H = 53^{\circ}30'18.0''$$

Voor de sterrenwacht te Hove geldt bovendien

$$R \sin \varphi = 0.775111$$

$$R \cos \varphi = 0.628621$$

zodat

$$x_w = 0.505354$$

$$y_w = 0.555697$$

Een eerste schatting is  $\Delta t = 41.0^s$ . Het jaarboek (The Astronomical Ephemeris) geeft dan :

$$\alpha - \alpha_s = 0^\circ 16' 09.7''$$

$$\delta = 24^\circ 30' 01.17''$$

$$\pi = 59' 49.73''$$

De formules (4) leveren dan

$$x = 0.245820$$

$$y = 0.472816$$

Zodat

$$(x_w - x)^2 + (y_w - y)^2 = 0.074227 = (0.272447)^2 = r_1^2$$

De werkelijke waarde voor de maanstraal is echter  $r = 0.272496$ , zodat de schatting voor  $\Delta t$  te groot is. Een tweede schatting is bijvoorbeeld  $\Delta t = 40.0^s$ , met als gevolg :

$$\alpha - \alpha_s = 0^\circ 16' 09.1''$$

$$\delta = 24^\circ 30' 01.06''$$

$$\pi = 59' 49.73''$$

En dus

$$x = 0.245656$$

$$y = 0.472785$$

Zodat

$$(x_w - x)^2 + (y_w - y)^2 = 0.074317 = (0.272612)^2 = r_2^2$$

Dit levert dan weer voor  $r$  een te grote waarde, zodat de keuze voor  $\Delta t$  nu te klein is. Interpolatie leert dat  $\Delta t = 40.7$

## De afstand van de maan berekend uit een sterbedekking

Alhoewel de bepaling van  $\Delta t$  de voornaamste reden is voor het waarnemen van sterbedekkingen, is het even amusant als leerzaam andere toepassingsmogelijkheden te kennen. Bij de reductie van vorige paragraaf wordt de werkelijke diameter van de maan gekend verondersteld en dus ook haar afstand. Het is echter mogelijk door middel van sterbedekkingen de afstand van de maan (op het waarnemingsogenblik) te bepalen, door

tijdens de waarneming ook de schijnbare diameter  $2\rho$  te meten. Wordt deze in radiaal uitgedrukt, dan geldt voor de straal van de maan :

$$r = \rho d$$

Waarin  $d$  de afstand is van de maan tot het centrum van de aarde. De basisvergelijking voor de sterbedekkingen wordt dan :

$$(x_w - x)^2 + (y_w - y)^2 = \rho^2 d^2 \quad (6)$$

Door gebruik van de formules (4) i.p.v. de formules (3), wordt (6) een vierkantsvergelijking in  $d$ .

Stel dat tijdens dezelfde waarneming van in vorige paragraaf een schijnbare straal van de maan werd gemeten van  $16'18''$  of 0.004741 radiaal, dan levert dat met de reeds gevonden waarde voor  $\Delta t$  :

$$x = 0.004281d$$

$$y = 0.008229d$$

Vergelijking (6) wordt:

$$64d^2 - 13479d + 564182 = 0$$

Deze heeft twee oplossingen uitgedrukt in de equatorstraal van de aarde. De zinvolle oplossingen moeten voldoen aan  $56,97 \leq d \leq 63,58$ . Dat zijn de peri- en apogeumafstanden van de maan uitgedrukt in equatorstralen van de aarde.

Slechts één van de oplossingen voldoet aan deze beperkingen :  $d = 57.62$ . Vermits de equatorstraal van de aarde 6378 km bedraagt, geeft dat een afstand van  $d = 367940$  km. De maan bevond zich op het waarnemingsogenblik dus vrij dicht bij haar perigeum.

Let wel ! Bij het bepalen van  $\Delta t$  (reductie) wordt de reële doormeter van de maan bekend verondersteld. Dat veronderstelt de kennis van de afstand van de maan. Om deze afstand te bepalen d.m.v sterbedekkingen is echter de waarde van  $\Delta t$  nodig. Een van beide grootheden moet dus bekend zijn om de andere te bepalen en moet dus op een andere wijze bekomen worden.

## Referenties

Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris

G.D. Roth : Handbuch für Sternfreunde

O. Zimmermann : Astronomisches Praktikum (B.I.Mannheim)

J. Meeus : Ciel et Terre 1962 nrs 3-4

Ciel et Terre 1965 nrs 1-2

De Meteor 1961 en 1962