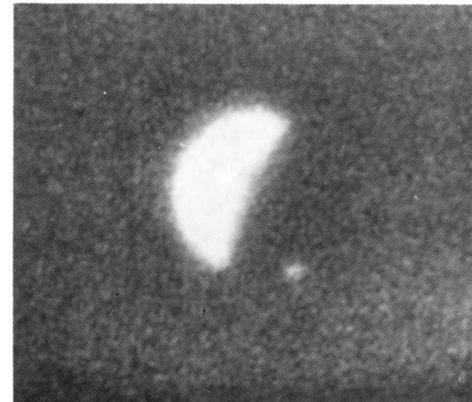


STERBEDEKKINGEN DOOR PLANETEN



Opname, genomen kort voor de bedekking van Regulus door Venus op 7 juli 1959 (O. Gingrich, S&T sept. 1959).

Op 17 november 1981 zal Venus een heldere ster bedekken, en dit zal zichtbaar zijn in Europa. Omdat dergelijke verschijnselen de reputatie hebben zeer zeldzaam te zijn, is hier uitgezocht wanneer dit nog meer zal gebeuren en gebeurd is. Hierbij bleek dat de aanstaande bedekking min of meer een afsluiting vormt van een periode waarin bedekkingen van heldere sterren (d.w.z. helderder dan magnitude 3,5) door planeten toevalligerwijze betrekkelijk vaak voorkwamen. Na het volgende geval, in 1984, volgt namelijk een periode van meer dan 50 jaar waarin vanaf geen enkele plaats op Aarde een sterbedekking door een planeet te zien zal zijn. Voor Nederland treedt deze pauze al met ingang van 17 november a.s op en zij zal tot na 2100 duren.

G. P. Können en J. van Maanen

Het onderzoek van planeten door middel van sterbedekkingen behoort tot een tak van de klassieke sterrenkunde die tot op de dag van vandaag in de belangstelling staat. Als zich zo'n bedekking voordoet kan men uit het helderheidsverloop bij het begin en einde ervan, en uit de tijdsduur van de bedekking, allerlei informatie over de planeet verkrijgen die men anders maar moeilijk aan de weet komt. Zo verschafft een nauwkeurige waarneming van de tijdsduur informatie over de diameter en de positie van de planeet, terwijl men uit de verwakking van het sterlicht inzicht kan krijgen in de opbouw van de planetaire atmosfeer. Het is natuurlijk wel zo, dat planeten die reeds door ruimtevaartuigen bezocht zijn zo goed bekend zijn, dat sterbedekkingen hier nauwelijks iets aan kunnen toevoegen. Er blijven echter altijd nog genoeg planeten over waarbij dit anders ligt. Vooral bij de verre buitenplaneten kijkt men dus altijd weer reikhalzend naar de volgende bedekking uit.

Onverwachte waarnemingsresultaten

In de afgelopen jaren zijn er in een aantal gevallen heldere sterren door planeten bedekt. Het meest vers in het geheugen liggen hierbij de Venus-Regulusbedekking van 1959, de Jupiter- β Sco bedekking van 1971 en de Mars- ϵ Gem bedekking van 1976. Maar inmiddels zijn er ook een aantal bedekkingen van zwakkere sterren waargenomen. Bij dit alles is gebleken dat deze verschijnselen soms zeer merkwaardige en onverwachte resultaten kunnen opleveren. Zo werd tijdens de Mars- ϵ Gem bedekking in 1976 ontdekt dat de Mars-atmosfeer een sterke optische lenswerking vertoont, waardoor deze sterk oplicht als de ster, de planeet en de waarnemer zich precies op één lijn bevinden. Men zag dus in het midden van de centrale bedekking een plotselinge helderheidstoename, die door de ontdekkers de 'central flash' werd gedoopt. Spectaculairder nog

waren evenwel de uitkomsten van een bedekking van een zwakke ster door Uranus in 1977, waarbij het bestaan van zijn ringenstelsel aan het licht kwam. Inmiddels is zelfs het Pluto-Charon systeem door middel van een sterbedekking onderzocht, waaruit al weer blijkt dat deze vorm van klassieke sterrenkunde nog steeds springlevend is.

Hoe helderder de ster, des te aantrekkelijker is de bedekking. Als een ster flink helder is kunnen bovendien amateurs van het schouwspel genieten, zoals op 17 november a.s. Het leek ons daarom de moeite waard eens uit te zoeken wanneer de volgende en vorige bedekkingen van heldere sterren door planeten gebeuren; hierbij zijn – met behulp van de computer – alle sterren onder de loep genomen die helderder zijn dan magnitude 3,5. Er blijken 22 van deze sterren te zijn die door planeten bedekt kunnen worden; voor deze sterren is de periode 1900-2100 onderzocht. Drie van deze sterren zijn van de eerste grootte, te weten Regulus, Spica en Antares. Voor deze sterren is een veel langere periode (1000-3000) in beschouwing genomen, om zo een idee te krijgen van de omstandigheden van, en de kansen op dit soort sterbedekkingen. Behalve in dit artikel, zijn de resultaten in een enigszins andere vorm gepubliceerd in het februarinummer (1981) van het *Journal of the British Astronomical Association*.

Welke sterren komen in aanmerking?

Juist zoals de Maan bevinden ook de planeten zich altijd op betrekkelijk kleine afstand van de ecliptica. De planeet die zich hier nog het verst van kan verwijderen (Pluto buiten beschouwing gelaten) is Venus: onder gunstige omstandigheden kan hij een breedte van $+8,6^\circ$ of $-8,6^\circ$ bereiken. Dit betekent dus dat alle sterren die zich dichter bij de ecliptica bevinden kandidaten kunnen zijn voor sterbedekkingen. Totaal blijken er 32 van deze sterren te zijn die helderder zijn dan magnitude 3,5. Vijf hiervan zijn van de eerste grootte (Aldebaran, Pollux, Regulus, Spica en Antares); drie zijn van de tweede grootte (β Tau, γ Gem en σ Sgr) en de rest is dus van derde grootte. Toch kunnen lang niet al deze sterren ook werkelijk door planeten bedekt worden. De reden hiervoor is, dat bijvoorbeeld Venus alleen onder zeer bijzondere omstandigheden ver van de ecliptica kan komen, namelijk alleen nabij zijn benedenconjunctie met de zon, en deze moet dan ergens in maart of september plaatsvinden. Onder alle andere omstandigheden staat de planeet dichter bij de ecliptica. In feite bestaat er dus voor iedere planeet een band aan de hemel waar hij nooit buiten komt; de breedte van deze band wisselt van plaats tot plaats. Voor binnенplaneten geldt dat de gehele ecliptica zich in deze band bevindt, en de planeet dus de ecliptica op iedere plaats kan snijden. Bij buitenplaneten is dit niet het geval en zijn er stukken van de ecliptica waar de planeet nooit doorheen kan gaan.

In tabel 1 zijn alle sterren helderder dan magnitude 3,5 opgenomen die door de heldere planeten bedekt kunnen worden. Er blijven er dus maar 22 over, waarvan er drie van de eerste grootte zijn en één van de tweede grootte is. De binnенplaneten kunnen de meeste sterren bedekken; bij de buitenplaneten zijn het er duidelijk minder. Als men deze tabel zou uitbreiden tot Uranus en Neptunus, dan blijkt er nog maar één combinatie bij te komen, namelijk Uranus- α Lib. Neptunus kan dus helemaal geen heldere sterren bedekken. Nu is het wel zo dat de lijst van te bedekken sterren zich langzaam wijzigt in de tijd. Dit vindt zijn oorzaak in de langzame veranderingen van de elementen van de planeetbanen, en in de eigenbewegingen van de sterren. Zo is bijvoorbeeld de combinatie Mercurius- ϵ Gem slechts mogelijk tot 1980, en daarna gedurende zo'n 20.000 jaar niet meer. Anderzijds zal over twee of drie eeuwen de combinatie Neptunus-Regulus aan de lijst toegevoegd moeten worden, terwijl rond 2500 hetzelfde gebeurt met de combinatie Venus- φ Sgr.

Bedeckingsomstandigheden

Voor iedere planeet-ster combinatie bestaan er slechts twee lijnen die door de ster gaan en zowel de baan van de aarde als die van de planeet snijden; in dit artikel noemen wij deze lijnen de *knopen* voor bedekkingen. Alleen als zowel de Aarde als de planeet zich dicht bij

Tabel 1

ster	magnitude	Merc.	Venus	Mars	Jup.	Sat.
η Tau	3.0	—	+	—	—	—
ξ Tau	3.0	+	+	—	—	—
η Gem	3.2-4.0	+	+	—	—	+
μ Gem	3.2	+	+	—	—	+
ϵ Gem	3.2	(+)	+	+	—	—
α Leo	1.3	+	+	—	—	—
γ Vir	2.9	—	—	+	—	—
α Vir	1.2	+	+	—	—	—
α Lib	2.9	+	+	+	—	—
π Sco	3.0	—	+	—	—	—
δ Sco	2.5	+	+	+	—	—
β Sco	2.9	+	+	+	+	—
σ Sco	3.1	—	+	—	—	—
α Sco	1.2	—	+	—	—	—
θ Oph	3.4	+	+	+	—	—
λ Sgr	2.9	+	+	+	—	—
φ Sgr	3.3	—	—	+	—	—
σ Sgr	2.1	—	+	+	—	—
τ Sgr	3.4	—	—	+	—	—
π Sgr	3.0	+	+	—	—	—
β Cap	3.2	—	+	—	—	—
δ Cap	3.0	—	—	+	—	—

Tabel 1. Lijst van sterren helderder dan magnitude 3,5 waarvoor sterbedekkingen kunnen optreden. Plustekens geven aan voor welke planeten deze mogelijkheid bestaat. Mercurius kan ϵ Gem alleen maar voor 1980 bedekken; dit is aangegeven met (+).

zo'n knoop bevindt kan er een bedekking plaatsvinden. Dit betekent dat de bedekkingsomstandigheden aan een bepaalde knoop vrijwel vastleggen, omdat zowel de positie van de Aarde als die van de planeet hierbij vaststaat. Zo gebeurt een bedekking bij een bepaalde knoop altijd rond dezelfde datum en op een gegeven afstand tot de zon, terwijl de fase en de schijnbare diameter van de planeet altijd hetzelfde zijn. Tevens ligt de bewegingsrichting van de planeet tussen de sterren vast. Aan de andere knoop liggen deze omstandigheden eveneens vast, maar zij verschillen doorgaans geheel van die bij de eerstgenoemde knoop. Deze bedekkingsomstandigheden worden slechts beïnvloed door de baanveranderingen van de planeten en door de eigenbewegingen van de sterren; zij veranderen dus maar zeer langzaam in de tijd. Alleen de datums verlopen wat sneller (ca één dag per eeuw) ten gevolge van de precessie van de Aarde, en zij vertonen natuurlijk een sprong bij de overgang van de Juliaanse naar de Gregoriaanse kalender. Verder is het zo dat de planeet aan de ene knoop een noordwaartse, en aan de andere knoop een zuidwaartse bewegingscomponent heeft. Om deze te onderscheiden noemen wij deze respectievelijk de *stijgende* en de *dalende* knoop.

Tijdsduur van bedekkingen

Het is gemakkelijk in te zien dat de tijdsduur van een sterbedekking door een planeet van geval tot geval sterk kan verschillen. In tegenstelling tot bij de Maan, waarbij de schijnbare diameter en de bewegingssnelheid min of meer onveranderlijk zijn, kunnen deze twee grootheden bij planeten soms enorm variëren. Zo is de schijnbare diameter van Venus bij een benedenconjunctie niet minder dan zes keer zo groot als bij zijn bovenconjunctie, terwijl zijn snelheid tussen de sterren in het eerste geval twee keer zo klein is (de planeet beweegt zich dan teruglopend). Een bedekking bij een benedenconjunctie duurt dus gemiddeld ongeveer twaalf keer zo lang als bij een bovenconjunctie; is de planeet nabij zijn stationaire punt, dan kan deze tijdsduur zelfs nog veel groter zijn.

In het grote scala van mogelijkheden dat aldus ontstaat zit echter toch een verrassende systematiek. Men kan namelijk aantonen dat bij een gegeven planeet-ster combinatie de gemiddelde tijd dat de ster schuil gaat achter de planeet (uitgedrukt in bijv. minuten per eeuw), voor *beide* knopen hetzelfde moet zijn. Als dus aan de ene knoop de gemiddelde tijdsduur van een bedekking twee keer zo kort is als aan de andere knoop, gebeuren er aan de eerstgenoemde knoop gemiddeld twee keer zoveel bedekkingen! Voor de Venus-

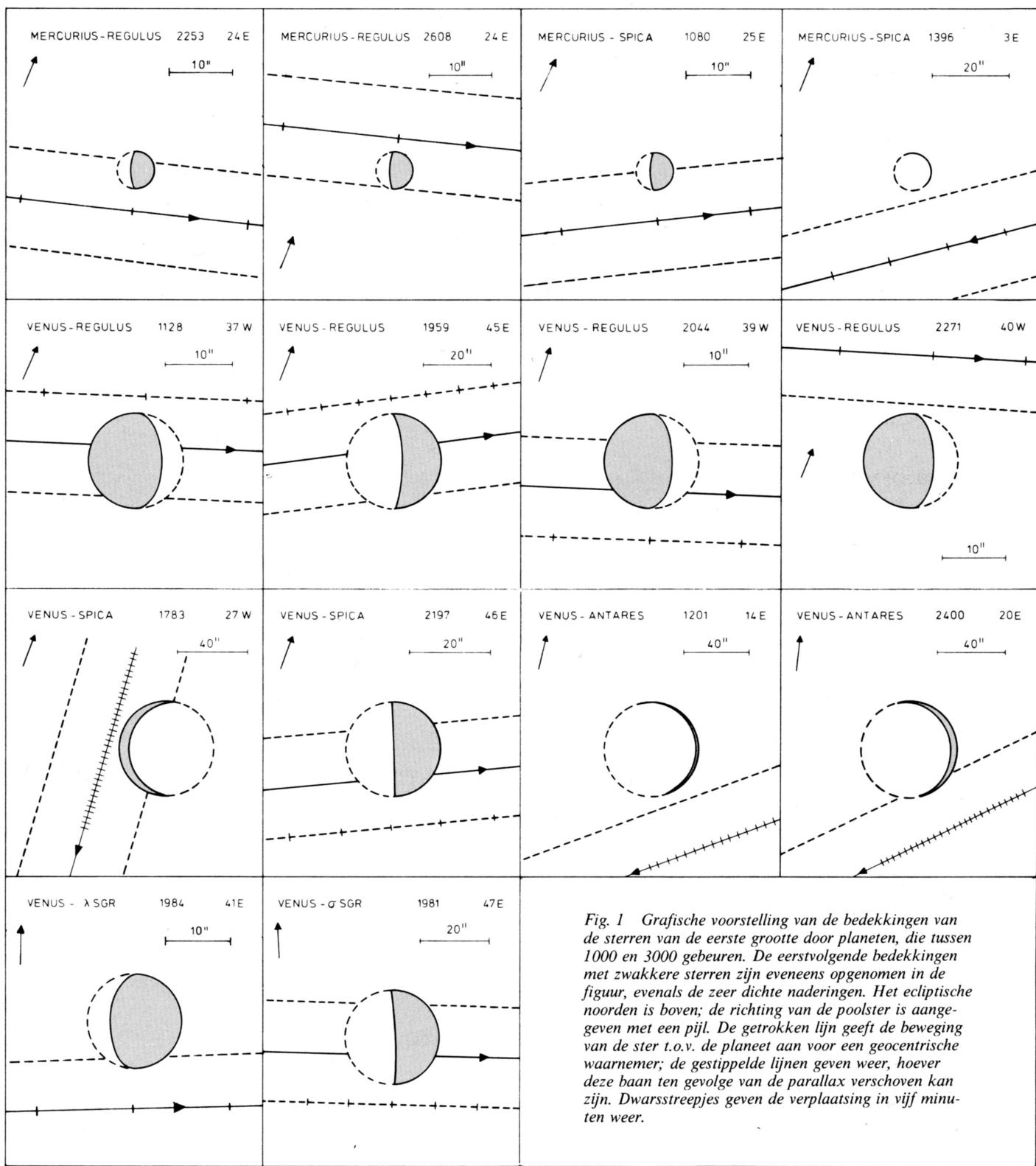


Fig. 1 Grafische voorstelling van de bedekkingen van de sterren van de eerste grootte door planeten, die tussen 1000 en 3000 gebeuren. De eerstvolgende bedekkingen met zwakkere sterren zijn eveneens opgenomen in de figuur, evenals de zeer dichte naderingen. Het ecliptische noorden is boven; de richting van de poolster is aangegeven met een pijl. De getrokken lijn geeft de beweging van de ster t.o.v. de planeet aan voor een geocentrische waarnemer; de gestippelde lijnen geven weer, hoever deze baan ten gevolge van de parallax verschoven kan zijn. Dwarsstreepjes geven de verplaatsing in vijf minuten weer.

Regulus combinatie kan men uit fig. 1 aflezen dat een centrale bedekking aan de ene knoop 5 minuten duurt, en aan de ander knoop ongeveer 14 minuten, terwijl de gemiddelde kans op zo'n bedekking resp. één in de 700 jaar en één in de 2100 jaar is.

Een systematiek als deze komt men overigens wel meer tegen, zoals bijvoorbeeld op een snelweg waar het in beide rijrichtingen even druk is. Als men hier goed oplet, dan zal men op een bepaald traject opmerken dat de totale tijdsduur dat men een stuk auto precies terzijde van zich ziet exact gelijk is voor de meeligers en voor de tegenliggers: deze totale tijdsduur hangt namelijk alleen af van de drukte op de rijbanen. Alleen is bij tegenliggers deze tijdsduur verdeeld over een groot aantal kortdurende passages, en bij meeligers over een veel kleiner aantal passages die aanzienlijk langer

duren. Inderdaad is dus ook hier het aantal passages dat men ervaart omgekeerd evenredig met de tijdsduur per geval. Bij sterbedekkingen door planeten ziet men precies hetzelfde gebeuren, omdat de kans dat de ster bedekt is niet afhangt van de baansnelheden van de planeten, maar alleen van hun baanelementen. Dit leidt dan tot het bovenstaande regeltje, en dus tot een zekere systematiek in sterbedekkingen.

Bedeckingen van sterren van de eerste grootte

In figuur 1 zijn alle bedekkingen van de sterren van de eerste

grootte afgebeeld die wij tussen de jaren 1000 en 3000 gevonden hebben. Hierbij zijn ook enkele bijna-bedeckingen aangegeven, omdat binnen de nauwkeurigheid van de gebruikte formules niet altijd uitgesloten kan worden dat er toch een bedekking heeft plaatsgevonden. De getrokken lijnen in de afbeeldingen geven de baan van de ster weer ten opzichte van de planeet voor een geocentrische waarnemer (d.w.z. in het middelpunt van de aarde); de gestippelde lijnen geven de maximale verplaatsing van deze baan ten gevolge van de parallax aan. Op de lijnen is door dwarsstreeppjes de verplaatsing in 5 minuten weergegeven; met ziet hieruit in één oogopslag dat de bedekkingsduur enorm kan variëren. In de figuur zijn ook de eerstvolgende bedekkingen met zwakkere sterren opgenomen; deze worden verderop besproken. In de nu volgende besprekking van de bedekkingen van de heldere sterren worden eveneens alle nauwe conjuncties (afstand kleiner dan 3 boogminuten) tot het jaar 2010 genoemd.

Mercurius - Regulus. Twee bedekkingen, beide bij de klimmende knoop, op 1 aug 2253 en op 6 aug 2608. Bedekkingen aan de andere knoop zouden rond 11 sep moeten gebeuren op 18° ten westen van de zon. Op 29 juli 1990 en 10 sep 2004 nadert de planeet tot resp. $2'$ en $3'$ van de ster.

Mercurius - Spica. Eveneens twee gevallen, voor iedere knoop één. Het geval op 27 sep 1396 is eigenlijk een misser; deze gebeurde vlak voor een benedenconjunctie met de zon, op slechts enkele graden er vandaan. Het andere geval gebeurde op 9 sep 1080. Tot 2010 nadert Mercurius nooit tot op $3'$ van de ster; de nauwste conjunctie ($5'$) gebeurt op 22 sep 2007 bij de dalende knoop.

Venus - Regulus. Vier gevallen, waarvan één net mis is. Volgens andere berekeningen zal deze conjunctie echter toch tot een bedekking leiden, die dan vanuit een klein gebied op het zuidelijk half-rond te zien is. De datums van deze bedekkingen zijn resp. 11 sep 1128, 7 jul 1959, 1 okt 2044 en 6 okt 2271, waarbij de laatste dus het dubieuze geval is. De bedekking in 1959 is vanuit veel plaatsen in Europa en Amerika waargenomen. De dichtste nadering in de komende tijd (tot 2010) zal op 3 okt 2004 plaatsvinden ($9'$). Acht jaar later komt de planeet echter nog dichter bij de ster, en dit gaat zo door tot de volgende bedekking na 5 maal 8 jaar in 2044 volgt.

Venus - Spica. Twee gevallen, voor iedere knoop één. Die op 10 nov 1783 was zichtbaar vanaf de oostkust van Amerika, maar is (voor zover wij weten) door niemand gezien. Deze bedekking was wel zeer uitzonderlijk, omdat Venus bijna stationair was in lengte. Een bedekking aan deze knoop duurt ongeveer negen keer zo lang als aan de andere knoop: maximaal $1\frac{1}{2}$ uur tegen 10 minuten. De volgende bedekking zal op 2 sep 2197 plaatsvinden. In de naaste toekomst zal Venus altijd ver van Spica verwijderd blijven.

Venus - Antares. Eén geval op 17 nov 2400 en een zeer dichte nadering op 30 okt 1201, waarvoor alweer geldt dat het best mogelijk is dat hier toch een bedekking is gebeurd. Beide gevallen gebeuren aan de klimmende knoop, en Venus beweegt hier teruglopend. Merk op dat Venus zich na 1200 jaar iets anders ten opzichte van de ster beweegt, en zich klaarblijkelijk dichter bij zijn stationaire punt bevindt. Dit is het gevolg van de langzame veranderingen in de baanelementen van de planeten. Doordat Venus zich hier nogal dicht bij de Aarde bevindt zijn de omstandigheden voor bedekkingen vrij gevoelig voor dit soort veranderingen. De andere knoop zou bedekkingen rond 17 okt moeten opleveren, op 44° ten oosten van de zon; hier is Venus rechtlappend. De kans op bedekkingen aan deze knoop is veel groter, maar in het onderzochte tijdsinterval treedt er toch geen enkele op. Voorlopig gebeurt er ook geen nauwe conjunctie: tot 2010 blijft Venus ver van Antares verwijderd.

De andere sterren

In tabel 2 zijn alle bedekkingen opgenomen van sterren die helderder zijn dan magnitude 3,5 voor de periode 1900-2100. Enkele opmerkingen:

Venus - β Sco 1906. Vanuit Nieuw Zeeland en Australië zijn enkele pogingen ondernomen om deze bedekking te zien, maar deze zijn alle mislukt door de bewolking.

Tabel 2

	Datum	tijd (ET)	elongatie
Venus - β Sco	9.12.1906	18 ^h	15W
Venus - η Gem	27.07.1910	3 ^h	31W
Merc. - ϵ Gem	10.06.1940	2 ^h	20E
Venus - α Lib	25.10.1947	2 ^h	14E
Merc. - ϵ Gem	11.06.1953	11 ^h	19E
Venus - α Leo	7.07.1959	14 ^h	45E
Jup - β Sco	13.05.1971	19 ^h	170W
Mars - ϵ Gem	8.04.1976	1 ^h	81E
Venus - σ Sgr	17.11.1981	16 ^h	47E
Venus - λ Sgr	19.11.1984	2 ^h	39E
Venus - π Sgr	17.02.2035	15 ^h	42W
Venus - α Leo	1.10.2044	22 ^h	39W
Merc. - α Lib	10.11.2052	7 ^h	3W
Mars - θ Oph	3.10.2078	22 ^h	71E

Tabel 2. Lijst van alle sterbedekkingen door planeten die tussen 1900-2100 gevonden zijn, waarbij alleen maar sterren in beschouwing zijn genomen die helderder zijn dan magnitude 3,5.

Mercurius - ϵ Gem 1953. Deze bedekking is op klaarlichte dag met een 1 m telescoop vanuit Zuid Afrika waargenomen. Het is de enige sterbedekking door Mercurius die tot nu toe is gezien; doordat de planeet zich altijd zo dicht bij de zon bevindt is dit ook zeer moeilijk. Het bedekkingsgeval in 1953 was overigens de laatste gelegenheid om ϵ Gem achter Mercurius te zien verdwijnen: na 1980 bestaat er zelfs geen enkele configuratie van de Aarde en Mercurius meer waarbij deze ster zich achter de laatstgenoemde bevindt.

Jupiter - β Sco 1971. Deze bedekking is vanaf vele plaatsen waargenomen, maar was niet in Nederland zichtbaar. Beide componenten van deze dubbelster werden door Jupiter bedekt, terwijl de zwakste (magnitude 5) bij dezelfde gelegenheid door Io werd bedekt. Naar wij hebben horen verluiden was dit overigens niet de eerste keer dat er een sterbedekking door een Jupitermaan is gezien; eerder schijnt er een sterbedekking door Ganymedes te hebben plaatsgevonden.

Mars - ϵ Gem 1976. Dit verschijnsel was onder andere in de Verenigde Staten zichtbaar en is daar op grote schaal waargenomen. Tijdens deze bedekking werd de eerder vermelde 'central flash' voor het eerst gezien en geregistreerd.

Venus - σ Sgr 1981. Zie de Sterrendags 1981.

Venus - λ Sgr 1984. Dit laatste geval van de 20e eeuw zal in een klein gedeelte van Noord Amerika zichtbaar zijn.

In de 21e eeuw zullen er slechts vier sterbedekkingen door planeten optreden, waarvan er één zo dicht bij de zon gebeurt dat hij niet waarneembaar zal zijn. Geen van deze vier is vanuit Nederland zichtbaar. Al met al is de situatie dus voor de komende 120 jaar veel ongunstiger dan zij in de afgelopen 80 jaar is geweest. Dit zal zeker een goede reden zijn de komende σ Sgr-bedekking door Venus met extra aandacht te beschouwen.

Tot slot is het misschien interessant een kort woord te wijden aan een vergelijkbaar verschijnsel, namelijk een bedekking van een planeet door een andere planeet. Tot nu toe is een dergelijke onderlinge planeetbedekking slechts éénmaal waargenomen, namelijk in 1737 door John Bevis in Engeland. Het betrof hier een bedekking van Mercurius door Venus, en zelfs deze waarneming was onvolledig: de in- en uitrede werden door bewolking gemist. Lang heeft de indruk bestaan dat onderlinge planeetbedekkingen tot de extreme zeldzaamheden behoren, maar dit blijkt bij nadere beschouwing niet waar te zijn. Gemiddeld moet er namelijk eens in de veertig jaar zoiets gebeuren tussen twee van de heldere planeten, terwijl een bedekking van een ster van de eerste grootte door een planeet gemiddeld maar eens in de 200 jaar moet optreden. Toevalligerwijze leven wij echter thans in een periode waarin er geen enkele onderlinge planeetbedekking optreedt: na het laatste geval in 1818 (dat dus door niemand is gezien) duurt het tot 2065 voor er weer eenmaal zal plaatsvinden. Waarschijnlijk heeft deze lange pauze ervoor gezorgd dat onderlinge planeetbedekkingen ten onrechte hun reputatie van grote zeldzaamheid hebben opgelopen.