Halley se komeet

Gawie Cillié & Walter Wargau

Gabriel Gideon Cillié is in 1910 op Stellenbosch gebore, waar hy sy skool- en universiteitsopleiding ontvang het. Ná die verwerwing van die M. Sc.-graad in Wiskunde en Teoretiese Fisika is hy met 'n Rhodes-beurs na Oxford, waar hy sy doktorsgraad in die Astrofisika behaal het in 1933. Met 'n verdere beurs doen hy vir nog twee jaar navorsing in die Sterrekunde aan die Harvard College Observatory in die V S A. Gedurende sy loopbaan as wiskundedosent vir 40 jaar beywer hy hom daarvoor om belangstelling in die sterrekunde by Afrikaanssprekendes te wek deur middel van talle artikels en enkele boeke.

Walter Friedrich Wargau is gebore in München, Wes-Duitsland in 1948. Hy behaal in 1975 sy magister in Kernfisika. Sy doktorsgraad in Astrofisika kry hy in 1980 aan die Erlangen-Nuremberg-universiteit met 'n verhandeling wat handel oor kataklismiese veranderlikes. Sedert November 1983 is hy senior lektor in die departement Wiskunde/Toegepaste Wiskunde/Sterrekunde aan die Universiteit van Suid-Afrika. Vir sy navorsing besoek hy 'n hele aantal universiteite en ander wetenskaplike inrigtings oor die wêreld, byvoorbeeld die Europese Suidelike Sterrewag in Chili Suid-Amerika, en die Universiteit van Tel Aviv in Israel.

STOFOMSLAG – *Hoe gaan Halley se komeet lyk wanneer hy die eerste keer gesien sal word? Hierdie vraag sal met die verskyning van hierdie boek vir die leek nog nie beantwoord wees nie. Dié treffende kleurfoto van die komeet Ikeya-Seki gee egter 'n goeie aanduiding van die skouspel wat aardbewoners te wagte kan wees.*

MISCELLANEA 53
UNISA 1985

Halley se Komeet

1985/6

GAWIE CILLIÉ
WALTER WARGAU

UNIVERSITEIT VAN SUID-AFRIKA
PRETORIA

Halley se Komeet

1985/6

GAWIE CILLIÉ
WALTER WARGAU

UNIVERSITEIT VAN SUID-AFRIKA
PRETORIA

©Universiteit van Suid-Afrika
Alle regte voorbehou

ISBN 0 86981 374 9

Geset deur
Transferset (Pty) Ltd
Johannesburg

Gedruk deur
Sigma Press (Pty) Ltd
Pretoria

Uitgegee deur die
Universiteit van Suid-Afrika
Muckleneuk, Pretoria

Opgedra aan

Hettie
en Gertraud

'n Woord vooraf

Ek beskou dit as 'n eer dat ek versoek is om die "Woord Vooraf" te skrywe vir dié boek van professor Cillié en dr Wargau, wat op 'n baie geskikte tyd sal verskyn: te midde van die voorbereidings vir die tweede koms van Halley se komeet tydens die huidige eeu.

Daar is nog nie baie populêre sterrekundige boeke van 'n hoë gehalte in Suid-Afrika gepubliseer nie. Hierdie publikasie is des te meer welkom aangesien dit nie net aan die genoemde kriterium voldoen nie, maar ook antwoorde gee op al die vrae oor komete wat tans op almal se lippe is.

Daar het onlangs heelwat boeke van alle soorte in Engels beskikbaar geword oor komete in die algemeen en Halley s'n in die besonder, en nou het ons 'n uitstekende boek in Afrikaans oor die onderwerp. Die skrywers en uitgewers moet geluk gewens word omdat hulle aan 'n werklike behoefte voldoen.

J.C. BENNETT
PRETORIA
JULIE 1985

Inhoud

Voorwoord **ix**

Inleiding **1**

1 Komete maak mense bang **3**

2 Edmond Halley (1656-1742): die man met baie talente **15**

3 Halley en sy komeet **23**

4 Halley se komeet in 1835 en 1910 **31**

5 Komete en hul bane in die ruimte **42**

6 Waarvan is komete gemaak? **47**

7 Waar kom komete vandaan? **58**

8 Besondere komete van die verlede **63**

a) Die ster van Betlehem **67**
b) Encke se komeet **69**
c) Donati se komeet (1858 VI) **70**

d) Tebbutt se komeet (1861 II) **70**
e) Komeet Arend-Roland (1957 III) **71**
f) Komeet Ikeya-Seki (1965 VIII) **71**
g) Komeet Kohoutek (1973 XII) **74**
h) Bennett se komeet (1970 II) **75**

9 Wat kan ons van Halley se komeet in 1986 verwag? **80**

BYVOEGSELS

1 a) Keëlsneë en hul eksentrisiteite **90**
b) Kepler se drie wette van die planete se bewegings **99**

2 Die elemente van 'n baan en iets oor die baansnelheid van Halley se komeet **101**

3 Marsden se lys van komete **107**

4 Iets oor stergroottes **110**

Indeks **114**

Voorwoord

Hoewel Halley se komeet tydens sy komende besoek aan die nadere omgewing van die son en die aarde volgens verwagting nie so indrukwekkend sal vertoon soos in die verlede somtyds die geval was nie, sal die hele wêreld "die ster met die stert" tussen die duisende ander sterre kan sien. Die verskyning van komete het in die verlede vrees ingeboesem by die mensdom, wat hulle as die voorlopers van rampe beskou het. Halley se ontdekking dat die komeet wat na hom heet 'n lid van die sonnestelsel is, 'n komeet wat met min of meer gereelde tussenposes terugkeer, het veel gedoen om hierdie bygeloof die nek in te slaan.

Die afgelope drie eeue het wetenskaplikes, en veral sterrekundiges, hul bes probeer om die geheime van komete te ontrafel; komete is baie anders as enige ander liggame in die sonnestelsel in gedrag en in voorkoms. Groot vordering in hierdie rigting is reeds gemaak, maar baie vrae bly onbeantwoord. Dis met komete nes met so baie ander verskynsels: die natuur gee sy geheime nie maklik weg nie, en wetenskaplikes moet hard en lank swoeg om dié raaisels op te los.

Vir die eerste keer sal ruimte-eeu-metodes gebruik word vir navorsing in verband met Halley se komeet. Wetenskaplikes en die algemene publiek koester groot verwagtings van die resultate.

Naas 'n hele aantal boeke oor Halley se komeet wat al reeds in ander tale verskyn het, bied die skrywers hierdie publikasie aan vir die Afrikaanslesende publiek. "Halley se Komeet 1985/86" is nie 'n handboek vir die sterrekundige spesialis nie. Die skrywers

het wel die res van die spektrum van lesers in gedagte gehad toe hulle die boek saamgestel het. Hulle het probeer om al die vrae wat mense oor die komeet vra, en in die komende maande nog sal vra, te beantwoord.

Die skrywers wil graag die volgende persone en instansies bedank:

Die Publikasiekomitee van Unisa en veral sy voorsitter, prof HSP Grässer, wat hierdie projek as spoedeisend verklaar het, en op dié manier dit moontlik gemaak het om dit buitengewoon gou af te handel.

Mnr Jack Bennett, wêreldbekende komeetkenner van Pretoria, vir sy gewilligheid om die manuskrip sorgvuldig deur te lees, "'n Woord Vooraf" te skrywe, en deurgaans hulp te verleen, ook met die verkryging van foto's.

Prime Computers van Johannesburg en veral mnr Mike Emeny vir 'n aantal figure – party in kleur – wat hulle met hul programme en hul rekenaars aan ons verskaf het.

Aan mnr J Churms van die SAAO in Kaapstad en prof FL Whipple, SAO, Cambridge, Mass, VSA, wat goedgunstiglik foto's van Halley se komeet en ander komete verskaf het.

Mnr E van Heerden, waarnemende direkteur van die Departement Uitgewersdienste aan Unisa, en sy personeel vir simpatieke behandeling, die verkryging van kopieregte en die uitleg van die boek.

Mev AF Schrenk wat onder groot druk vir ons 'n deel van die manuskrip getik het.

Inleiding

Komete was lank gelede vanweë hul onvoorspelbaarheid en verrassende onderskeid, 'n bron van bygeloof. Sedert die dae van Newton en Halley drie eeue gelede, het hulle die voorwerpe van intensiewe wetenskaplike studie geword. Die vrae oor hulle oorsprong, ontwikkeling, samestelling en uiteinde is nog lank nie almal volledig en afdoende beantwoord nie. Ons wys in die hoofstukke wat volg op die reuse-vordering wat reeds gemaak is, en die belangrike rol wat Halley en sy komeet in hierdie opsig gespeel het.

Gelukkig hoef sterrekundiges nie elke keer nadat Halley se komeet weer verdwyn het vir 76 jaar lank te wag voordat hulle hul studies kan voortsit nie. Tussenin word daar talle komete ontdek en waargeneem, soms tot 'n tiental of meer per jaar. Die bestaan van verreweg die meeste van hulle is egter net aan sterrekundiges bekend, omdat hulle so dof is dat hulle slegs met teleskope waarneembaar is. Daar is maar enkeles wat helder genoeg word om die aandag van die publiek te trek.

In nege kort hoofstukke behandel ons 'n aantal helder komete in die geskiedenis, veral Halley s'n, die bane van komete, hulle samestelling, en hulle oorsprong. Ons sluit af met 'n voorskou van wat te wagte gaan wees vir

waarnemers in die Republiek wanneer Halley se komeet in Maart/April 1986 op sy beste geplaas sal wees.

Ons beoog om ons lesers met groter begrip te laat kyk na dié komeet en ook ander helder komete wat in die toekoms hulle verskyning sal maak.

Daar sal opgemerk word dat daar elke keer tussen die paar onlangse verskynings van Halley se komeet groot ontwikkelings plaasgevind het op die gebied van sterrekundige waarneming, byvoorbeeld die spektroskoop, die fotografiese proses en natuurlik, verbeterde teleskope. Sedert sy vorige verskyning in 1910 het teleskope weer eens groter geword, is die fotografiese proses verfyn en deur beeldversterking baie meer sensitief gemaak, en het die elektroniese rekenaar 'n kragtige hulpmiddel geword ook vir navorsing in die sterrekunde.

Die moontlikheid om die sterre van buite die atmosfeer waar te neem, het navorsingsmoontlikhede ontsaglik uitgebrei. Omrede daar deur die Europese gemeenskap, die Japanners en die Russe, almal afsonderlik, in 1986 direkte aanslae op die geheime van Halley se komeet met behulp van ruimtetuie gedoen gaan word, kan interessante resultate verwag word.

Ons het probeer om wiskunde en formules in ons hoofstukke te vermy, en het heelwat kennis deur middel van foto's en tekeninge oorgedra. Vir diegene wat nie deur wiskunde en formules afgeskrik word nie, byvoorbeeld diegene wat bekend is met hoërskoolwiskunde asook studente in die sterrekunde aan 'n universiteit, het ons vier byvoegsels aan die einde van die publikasie geplaas om sake verder te verduidelik.

Ons maak in die teks gebruik van drie lengtemate:

(i) die bekende *kilometer,* kortweg km;
(ii) die sogenoemde *astronomiese eenheid,* kortweg geskrywe AE. Dit is die gemiddelde afstand tussen die son en die aarde en ongeveer 150 miljoen ($1,5 \times 10^8$)km; dis 'n handige eenheid om te gebruik as 'n mens te doen het met afstande binne die sonnestelsel – die kilometer is hiervoor te kort;
(iii) die *ligjaar*: dis die afstand wat lig in die loop van een jaar aflê teen 'n spoed van byna 300 000 km/s, en is 'n getal met 13 syfers.
Die verband tussen die drie eenhede is soos volg:
1 ligjaar is ongeveer 63 240 AE en ongeveer $9,46 \times 10^{12}$ km of byna $9^1/_2$ biljoen km.

Aan die einde van die boek is daar 'n handige indeks.

HOOFSTUK EEN

Komete maak mense bang

Van die vroegste tye af het mense baie bang geword as hulle 'n komeet, 'n ster met 'n stert of roei, aan die hemel sien. Niemand het vooraf geweet wanneer en op watter plek onder die sterre een sou verskyn nie, en mense het vas geglo dat 'n komeet die voorspooksel was van die een of ander ramp.

Die woord "komeet" is afgelei van die Grieks "kometes aster", wat eintlik beteken "ster met hare", 'n mens kan maar sê "langhaarster", wat 'n beskrywing is van die lang stert van 'n helder komeet.

Daar is egter ook na 'n komeet verwys as "dis aster" wat weer beteken "kwade" of "duiwelse" ster. (Vergelyk die Engelse woord "disaster" = "ramp".) Vir baie mense het 'n komeet gelyk na 'n vlammende swaard aan die sterrehemel wat die voorloper van 'n ramp sou wees, of 'n teken van die gramskap van die gode.

In I Kron. 21 lees ons dat koning Dawid, aangehits deur Satan, die volk Israel laat tel het. As straf vir hierdie sonde het die Here vir die koning die keuse gegee tussen drie strawwe: drie jaar hongersnood, drie maande se vlug voor die vyand, of drie dae "waarin die swaard van die Here self en die pes in die land is en die engel van die Here dwarsoor die Israelitiese gebied verderf saai".

Dawid het die laaste een gekies, maar nadat 70 000 Israeliete afgemaai is deur die pes, het die Here vir die verderf-engel gesê: "Dit is genoeg! Trek jou hand terug". Die engel was toe by die dorsvloer van Arauna die Jebusiet. Verder staan daar in I Kron. 21:16:

> Toe Dawid opkyk en die engel van die Here tussen hemel en aarde sien staan met sy ontblote swaard in die hand en oor Jerusalem uitgestrek, val Dawid en die leiers met rouklere aan op hul knieë neer.

Daar is mense wat reken dat die swaard oor Jerusalem wat Dawid in die hand van die verderf-engel "tussen hemel en aarde" gesien het, die helder stert of roei van 'n komeet was, en dat dit moontlik verwys na die verskyning van Halley se komeet in die jaar 622 v.C. Die feit dat Dawid egter die komeet ("swaard") in volle daglig gesien het, maak dit onwaarskynlik, want Halley se komeet sou nie helder genoeg gewees het hiervoor nie. Die feit dat 'n komeet te midde van 'n groot ramp gesien is, kon aanleiding daartoe gegee het dat mense ook in later tye die verskyning van komete aan die hemel so gevrees het.

In 1577 het 'n geleerde Franse dokter van die komeet van daardie jaar geskrywe: "Hierdie komeet is so skrikwekkend en vreesaanjaend, en het so 'n skrik onder die bevolking veroorsaak dat sommige gesterf het van vrese en ander siek geword het. Dit was verskriklik lank, met die kleur van bloed; bo-aan was die beeld van 'n geboë arm sigbaar, wat 'n groot swaard vashou, asof dit net reg was om te slaan. Op die punt van die swaard was daar drie sterre. Aan die twee kante van die strale van die komeet was daar 'n groot aantal byle, messe en bebloede swaarde, en tussen hulle baie aaklige menslike gesigte met baarde en hare wat regop staan".

Selfs nog in die vroeë dae aan die Kaap is die verskyning van 'n helder komeet aan die hemel as 'n teken van die Here se gramskap beskou.

Vóór die koms van die eerste permanente leraar, Johannes van Arckel, wat in 1665 na die Kaap gekom het, is die sielesorg van die bevolking toevertrou aan sieketroosters, wat ook "dominees" genoem is. Die eerste twee, Wylant en Van der Stael, het groot bevrediging aan die mense gegee. Die derde een, Ernestus Back, 'n man van Duitse afkoms, het sy taak goed begin. Hy het byvoorbeeld die eerste skool aan die Kaap vir jong kinders – Blank en nie-Blank – gestig.

Ongelukkig het "dominee" Back die fout gehad dat hy baie lief was vir sterk drank. Dikwels, as hy die daaglikse godsdiens in die Kasteel moes lei, of op Sondae die preek in die eredienste moes lees, was hy besope, en dan moes die Fiskaal sy plek inneem. Die mense het hulle geskaam vir sulke growwe oneerbiedigheid, en die gemeente het hulle vervies "om dagelijcx te moeten sien en hooren dat de name

des alderhoochsten in't midden onder dese noch soo woeste en ongeschaefde toehoorders door soo een onbesuijst mensch schandelijk onteerdt en gelastert worden".

Kommandeur Wagenaar, wat Van Riebeeck opgevolg het, het Back aangespreek oor sy swak gedrag. Hy het gevrees dat die handelswyse van hul geestelike leier daartoe sou bydra dat God sy woede oor die hele gemeenskap sou uitstort. Sy vrees is versterk toe God vir twee maande lank elke nag vir hulle met "een ijzelicken staert sterre aan den hemel is comen te dreijgen".

Kommandeur Wagenaar het besluit om "dominee" Back en sy huisgesin sonder seremonie op 'n skip ("jag") na Batavië te stuur.

Voordat Halley in die jaar 1705 voorspel het dat die komeet wat na hom heet gereeld elke driekwart eeu sy herverskyning sou maak, het mense geglo hulle sien elke keer 'n ander of nuwe komeet. In tabel 1 word die datums sedert 240 v C gegee waarop Halley se komeet – volgens berekening – sy naaste punt aan die son in sy baan of perihelion bereik het. Dit was die vroegste jaartal waarvan ons met sekerheid weet dat die komeet gesien is. Sedertdien is dit met tussenposes van ongeveer 76 jaar elke keer waargeneem, met die moontlike uitsondering van dié van 164 v C.

In 87 v C het die bekende Romeinse keiser, Julius Caesar, die komeet ook gesien. Die verskyning van die komeet in 12 v C was 'n bietjie te vroeg om saam te val met die geboorte van Jesus Christus, en tog is daar mense wat dit dwarsdeur die eeue verbind het met die Ster van Betlehem. Ons bespreek dié saak later. Hier wys ons net daarop dat die komeet by hierdie geleentheid deur die Sjinese baie noukeurig vir twee maande gevolg is soos dit deur verskillende sterrebeelde beweeg het. Ook 'n Romeinse geskiedkundige vermeld dat daar in daardie jaar 'n komeet "oor die stad, Rome, gehang het".

In die jaar 66 was Halley se komeet 'n slegte voorteken vir die Jode. Die Romeine het hulle stad Jerusalem aangeval en verwoes. Die geskiedskrywer, Flavius Josephus, praat by dié geleentheid van die gelykenis tussen die komeet en 'n breë swaard.

Met die koms van die komeet in 451 was die Hunne onder hulle aanvoerder Attila besig om die hele Europa te verower, en het reeds tot in Frankryk gevorder. Gelukkig kon die Romeinse generaal, Aetius, hulle stuit, sodat die komeet in hierdie geval seker as 'n goeie voorteken beskou is.

TABEL 1 — BESOEKE VAN HALLEY SE KOMEET

	PERIHELION			EERSTE GESIEN	LAASTE GESIEN
	JAARTAL	MAAND	DAG		
v C	1059	—	—	—	—
	622	—	—	—	—
	467	—	—	—	—
	240	Mei	25	—	—
	164	Nov	12	—	—
	87	Aug	06	Aug	Aug
	12	Okt	10	Aug 26	Okt 20
n C	66	Jan	25	Jan 31	Apr 11
	141	Mrt	22	Mrt 26	Mei
	218	Mei	17	Apr	Mei
	295	Apr	20	—	Mei
	374	Feb	16	Mrt 03	Mei
	451	Jun	28	Jun 10	Aug 16
	530	Sept	27	Aug 28	Sept 27
	607	Mrt	15	Apr 18	Jul
	684	Okt	02	Sept 06	Okt 24
	760	Mei	20	Mei 16	Jul
	837	Feb	28	Mrt 22	Apr 28
	912	Jul	18	Jul 19	Jul 28
	989	Sept	05	Aug 11	Sept 11
	1066	Mrt	20	Apr 01	Jun 07
	1145	Apr	18	Apr 26	Jul 09
	1222	Sept	28	Sept 03	Okt 23
	1301	Okt	25	Sept 15	Okt 31
	1378	Nov	10	Sept 26	Nov 10
	1456	Jun	09	Mei 26	Jul 08
	1531	Aug	26	Aug 01	Sept 08
	1607	Okt	27	Sept 21	Okt 02
	1682	Sept	15	Aug 24	Sept 22
	1759	Mrt	13	Des 25, 1758	Jun 22
	1835	Nov	16	Aug 05	Mei 19, 1836
	1910	Apr	20	Aug 25, 1909	Jun 16, 1911
	1986	Feb	09	Okt 16, 1982	?

Daar is onsekerheid of die eerste drie datums in die tabel – en die vyfde een – werklik op Halley se komeet betrekking het. Die komeet was nie met elke verskyning ewe gunstig geplaas vir waarneming nie. Vandaar, onder andere, die verskil in die tydperke waartydens dit waargeneem is. Na 1610, toe Galileo die teleskoop uitgevind het, en veral vanaf 1759, kry ons 'n dramatiese toename in die tydperke van sigbaarheid.

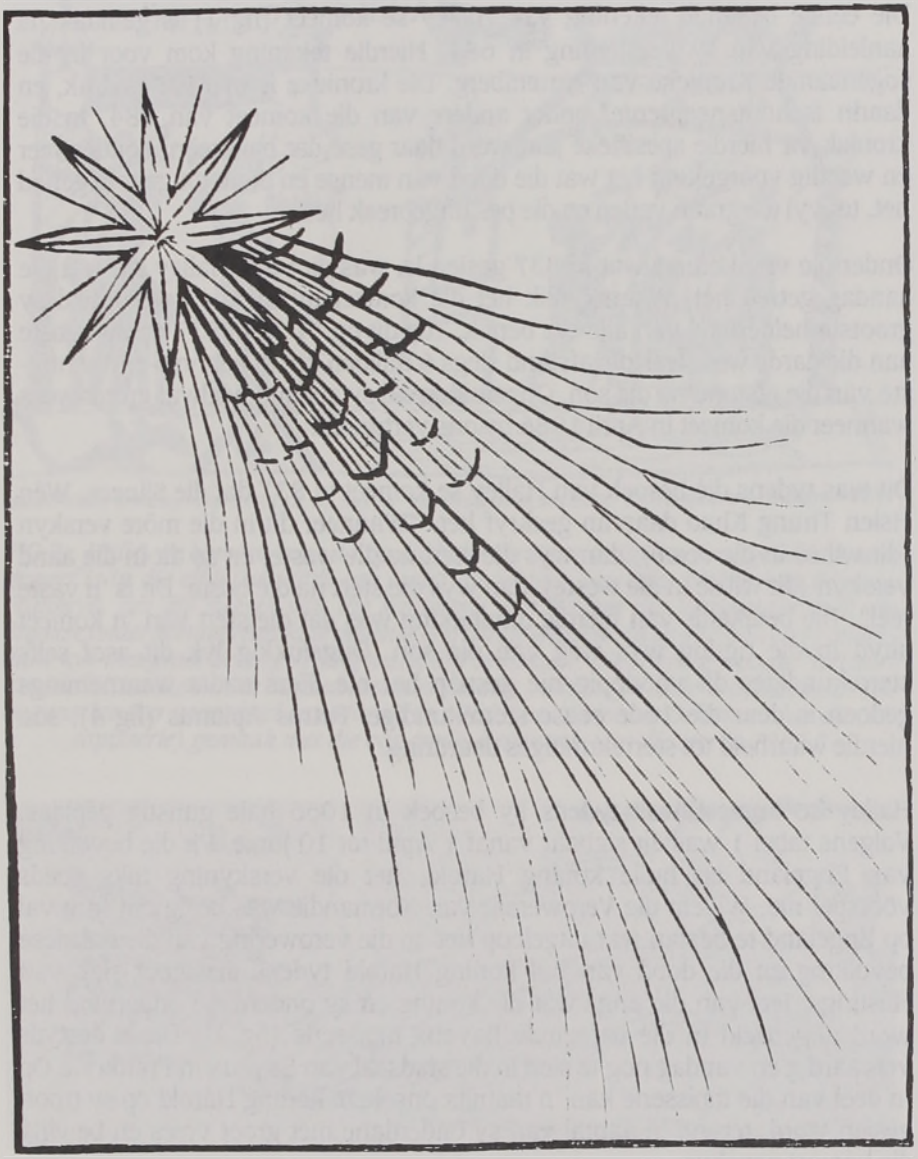

FIG 1: *Die verskyning van Halley se komeet in 684, soos dit in die Nurembergkronieke (1493) verskyn het.*

Die eerste bekende tekening van Halley se komeet (fig 1) is gemaak na aanleiding van sy verskyning in 684. Hierdie tekening kom voor in die sogenaamde Kronieke van Nuremberg. Die kronieke is in 1493 gedruk, en daarin is houtsneeprente, onder andere van die komeet van 684. In die kroniek vir hierdie spesifieke jaar word daar gesê dat baie reën, donderweer en weerlig voorgekom het wat die dood van mense en diere tot gevolg gehad het, terwyl die graan verlep en die pes uitgebreek het.

Onder die vier komete wat in 837 gesien is, was dit veral Halley s'n wat die aandag getrek het. Waarskynlik het die komeet by hierdie geleentheid sy grootste helderheid van alle tye bereik. Toe dit op 11 April 837 op sy naaste aan die aarde was, was die afstand slegs 6 miljoen km of een vyf-en-twintigste van die afstand na die son. Ongelukkig sal sy afstand heelwat groter wees wanneer die komeet in April 1986 by ons verbytrek.

Dit was tydens dié besoek van Halley se komeet in 837 dat die Sjinees, Wên Hsien Thung Khao daarvan geskryf het: "Wanneer dit in die môre verskyn (dit wil sê in die ooste), dan wys die stert na die weste; en as dit in die aand verskyn (dit wil sê in die weste), dan wys die stert na die ooste. Dit is 'n vaste reël". Die betekenis van hierdie ontdekking was dat die stert van 'n komeet altyd in die rigting wys weg van die son. Ongelukkig lyk dit asof selfs sterrekundiges dit voorlopig nie gesnap het nie. Eers nadat waarnemings gedoen is deur die 16de eeuse sterrekundige, Petrus Apianus (fig 4), sou hierdie waarheid tot sterrekundiges deurdring.

Halley se komeet was tydens sy besoek in 1066 baie gunstig geplaas. Volgens tabel 1 was dit sigbaar vanaf 1 April tot 10 Junie. Vir die bevolking van Engeland en hulle koning Harold, het die verskyning niks goeds voorspel nie. Willem die Veroweraar van Normandië was besig om 'n inval op Engeland te beplan wat uitgeloop het op die verowering van die Saksiese bevolking en die dood van hul koning Harold tydens die groot slag van Hastings. Iets van die angs wat die koning en sy onderdane ondervind het word uitgebeeld in die beroemde Bayeux-tapisserie (fig 2). Dit is destyds vervaardig en vandag nog te sien in die stadsaal van Bayeux in Frankryk. Op 'n deel van die tapisserie kan 'n taamlik onsekere koning Harold op sy troon gesien word, terwyl 'n aantal van sy onderdane met groot vrees en bewing die komeet aanskou.

Terwyl die Engelse die komeet as die bringer van slegte tyding beskou het, was die boodskap van die komeet vir Willem die Veroweraar: "Engeland is 'n koninkryk wat wag op 'n koning". Ongetwyfeld het dit by hom moed ingeboesem.

FIG 2: *Halley se komeet, soos dit op die bekende Bayeux-tapisserie afgebeeld is wat geweef is in die elfde/twaalfde eeu onder die leiding van Odo, biskop van Bayeux, Frankryk, om die sukses van die kampanje van Willem die Veroweraar teen die Engelse onder koning Harold te gedenk. Harold sit wankelend op sy troon en sy onderdane kyk met groot belangstelling na Halley se komeet. Die Latynse woorde "Isti mirant stellā" beteken: "Die mense bewonder die ster." Die Latyn onderaan beteken: "Die ongunstige ster voorgestel aan Harold in 1066," en "Delphine Delsemme het dit (die tapisserie) gemaak met die oog op die herrysenis van die ster in 1986."*

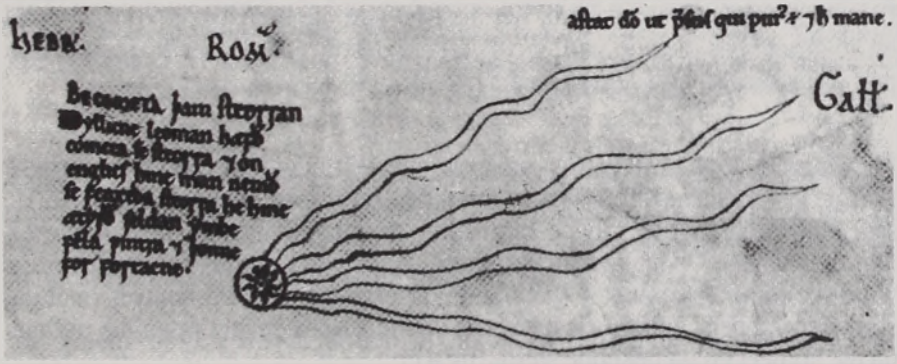

FIG 3: *Eadwine se psalter: Die monnik Eadwine het 'n kopie van die vroeëre Utrechtse psalmboek gemaak kort na 1145. Onderaan die bladsy waarop hy Psalm 5 afgeskryf het, is daar 'n afbeelding van 'n komeet of "harige ster". Daarby staan geskryf dat komete maar selde verskyn en onheilspellende voortekens is. Die tekening is moontlik geïnspireer deur die verskyning van Halley se komeet in 1145.*

Tydens sy besoek in 1145 het Halley se komeet 'n lang stert gehad, en volgens Sjinese rekords was die kleur blou. Ons sal later sien dat die kleur van die gasstert van 'n komeet soms aangedui word as blou. Daar bestaan 'n ou Psalmboek wat die monnik Eadwine gemaak het kort ná 1145. Dit was 'n kopie van die vroeëre Utrechtse Psalmboek, en onderaan die bladsy waarop Psalm 5 voorkom, is daar 'n afbeelding van 'n komeet of "harige ster" (fig 3). Die byskrif meld dat komete selde verskyn en dan onheilspellende voortekens is. Moontlik is die tekening op daardie plek geïnspireer deur die verskying van Halley se komeet in 1145.

Met sy koms in 1301 het Halley se komeet weer pragtig en helder vertoon, met 'n lang en breë stert. Dit is waargeneem oor 'n wye gebied wat gestrek het van Europa tot in Sjina. Die Italiaanse skilder, Giotto di Bondone, het 'n baie beroemde muurskildery nagelaat in 'n private kapel in Padua waarop die komeet voorkom – ons bespreek dit verder in hoofstuk 8 by die ster van Betlehem.

Met die koms van Halley se komeet in 1456 was omstandighede gunstig vir 'n helder vertoning. Dit is egter soos gewoonlik as 'n voorbode beskou. Die Turke, wat besig was met 'n veroweringstog in Europa, is daardeur grootliks in die war gebring. Vir sekere Christene in die Weste het die feit dat die stert van die komeet baie soos 'n swaard gelyk het en boonop vanuit die weste beweeg het, aansienlike moed gegee.

Die Italianer, Paolo Toscanelli, het die kop van die komeet beskryf as "rond en so groot soos die oog van 'n os", en die stert vergelyk met die stert van 'n pou wat strek oor een derde van die hemel.

Die waarnemings wat Petrus Apianus, sterrekundige van die Oostenrykse Keiser, in Ingoldstadt in Beiere van Halley se komeet gemaak het in 1531, sou later 'n belangrike rol speel in Halley se ontdekking van die periodisiteit van die komeet. Op die afdruk van 'n houtsnee van Apianus se waarnemings word die bane van die son (met 'n mensgesig) en van die komeet (met die stert) weergegee. Apianus is besig om die hoeke te bepaal tussen die rigtings na die komeet en na bekende sterre (fig 4).

'n Baie belangrike feit wat op die afdruk verduidelik word is dat die stert van 'n komeet altyd in die rigting weg van die son wys, iets wat reeds 700 jaar tevore in Sjina ontdek is. Die komeet beweeg bokant die horison van regs na

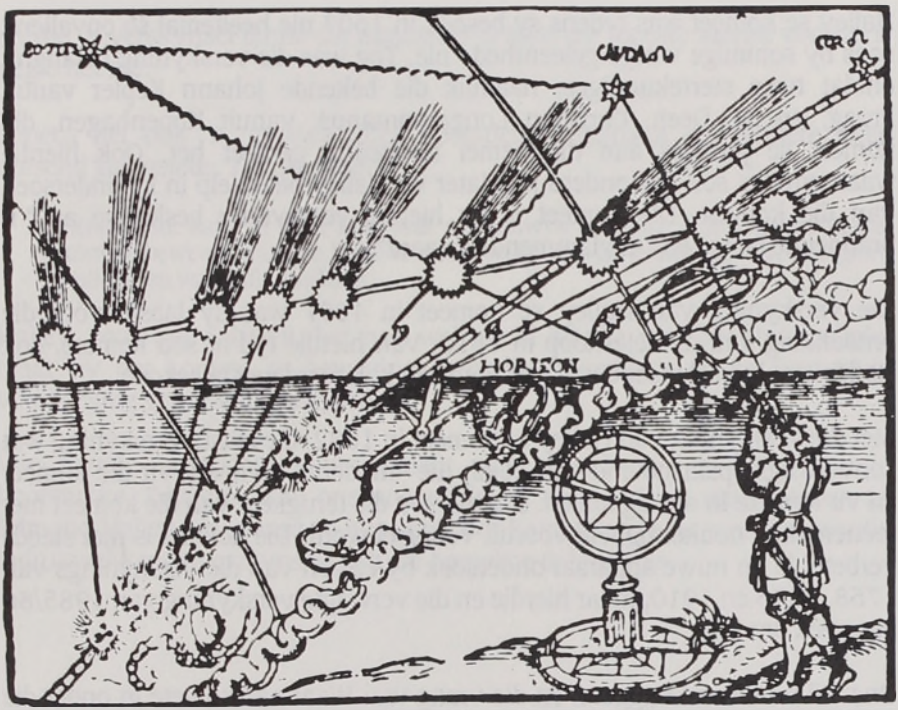

FIG 4: *Petrus Apianus se waarnemings van Halley se komeet in 1531 (houtsnee). Volgens die skematiese tekening het die komeet (met die stert) gedurende Augustus 1531 van regs na links bo die horison beweeg, terwyl die son (met die gesig) agter die horison skuins na onder beweeg het. Apianus demonstreer sy ontdekking – wat eintlik 700 jaar tevore in China gemaak is – dat die stert van 'n komeet altyd weg van die son wys langs die lyn wat die son met die komeet se kop verbind.*

links, terwyl die son – wat agter die horison sit, anders sou ons die komeet nie kon sien nie vanweë die baie lig – skuins afwaarts beweeg. Die verlengings van die lyne wat die gelyktydige posisies van die son en van die komeet verbind, gee dan die rigting waarin die stert wys.

Dit gebeur uiters selde dat die son en 'n komeet gelyktydig sigbaar is. In sulke seldsame gevalle praat ons van 'n "dagligkomeet". In verreweg die meeste gevalle is die son agter die horison wanneer ons 'n komeet bekyk. As ons die lyn langs die stert, deur die kop verleng, moet die lyn deur die posisie van die onsigbare son loop. Hierdie resultaat word mooi deur die houtsnee van Apianus se waarnemings van Halley se komeet getoon.

Halley se komeet was tydens sy besoek in 1607 nie heeltemal so opvallend soos by sommige vorige geleenthede nie. Tog was die verskyning belangrik omdat twee sterrekundiges, naamlik die bekende Johann Kepler vanuit Praag, en die Deen, Christian Longomontanus, vanuit Kopenhagen, die komeet se posisies aan die hemel noukeurig gemeet het. Ook hierdie waarnemings sou 'n honderd jaar later vir Halley baie help in sy ondersoek van die komeet. Die komeet is by hierdie verskyning beskrywe as "'n brandende lamp" en "'n vlammende swaard".

Die verskyning van Halley se komeet in 1607 was sy laaste vóór die ontdekking van die teleskoop in 1610. Van hierdie tyd af sou komete, ook Halley s'n, in veel meer detail waargeneem kon word met teleskope.

Met die verskyning van Halley se komeet in 1682, die laaste verskyning wat "onverwags" plaasgevind het, begin die "moderne" tydperk vir die komeet en vir komete in die algemeen. Daarná sou die terugkeer van die komeet met toenemende noukeurigheid vooruit voorspel word. Die komeet is met steeds verbeterde en nuwe apparaat ondersoek by elkeen van die verskynings van 1758, 1835 en 1910, maar hierdie en die verwagte verskyning van 1985/86 bespreek ons later.

Ons wil nou eers teruggaan en die vraag vra: Waar pas komete in onder die ander hemelliggame soos die sterre, planete, die maan en meteore? Dis 'n vraag wat reeds van die vroegste tye af gevra is.

Lank gelede het die bekende Griekse filosoof, Aristoteles (4de eeu vC), beweer dat komete verskynsels in ons atmosfeer is. Hy het van hulle gepraat as "asemtogte van die buitenste dele van die aarde se dampkring". Ptolemaios, die groot outoriteit op die gebied van die sterrekunde, wie se idees omtrent die heelal dwarsdeur die middeleeue aanvaar is, het met Aristoteles saamgestem.

Die Romeinse skrywer en filosoof, Lucius Annaeus Seneca (4 vC – 65 nC), het weer gemeen dat komete ware "hemelliggame" is wat langs uitgestrekte bane deur die ruimte beweeg.

Dit was natuurlik alles vermoedens totdat die Deense sterrekundige, Tycho Brahé (1546-1601), probeer het om die afstand vanaf die aarde na die komeet van 1577 te bepaal. Hy kon bewys dat die komeet, toe hy dit waargeneem het, minstens vier maal so ver as die maan was. Daarmee het hy afdoende bewys gelewer dat die komeet ver buite ons dampkring beweeg

en nie 'n verskynsel binne die atmosfeer is soos die meeste mense voorheen geglo het nie.

Seneca het ook 'n merkwaardige voorspelling gemaak oor komete twee duisend jaar gelede. Hy het gesê:

> Eendag sal daar 'n man kom wat sal aanwys in welke dele van die hemel komete beweeg; waarom hulle so ver beweeg van die ander planete, hoe groot hulle is; en wat hulle eintlik is.

Halley, soos ons sal sien, het nou wel nie al hierdie vrae beantwoord nie, maar hy het komete se bewegings grootliks opgeklaar en so Seneca se voorspelling gedeeltelik bewaarheid.

Wie hierdie besondere mens Halley was, vertel ons in die volgende hoofstukke. Een ding kan ons nou reeds sê: niemand het meer gedoen as Edmond Halley om mense se bygelowe oor komete en hulle vrees vir hierdie indrukwekkende verskynsels aan die hemel op te klaar nie.

FIG 5 : *Onder hierdie skets van Edmond Halley (1656 - 1742) is naas die Latynse vorm van Halley se naam ook die belangrikste poste genoem wat hy gedurende sy leeftyd beklee het, nl RSS = sekretaris van die Koninklike Vereniging; Astronomus Regius = koninklike sterrekundige (te Greenwich); Geometriae Professor Savilianus = professor in Meetkunde in die Saviliaanse leerstoel (aan die Universiteit van Oxford).*

HOOFSTUK TWEE

Edmond Halley (1656-1742), die man met baie talente

Edmond Halley, wat later sy naam sou gee aan die beroemdste van alle komete, is gebore naby Londen in Engeland in 1656, dit wil sê ongeveer vier jaar ná die koms van Van Riebeeck na die Kaap. Edmond was die oudste van drie kinders. Sy vader, ook Edmond Halley, het die beroep van seepkoker in Londen beoefen, en het as gevolg van sy beroep daarin geslaag om welgesteld te word. Op 'n stadium het hy 'n goeie inkomste ontvang uit die huurgeld van sy huurhuise in die stad. Die groot vuur van 1666, wat dele van Londen verwoes het, het ook vir Halley se vader 'n groot finansiële terugslag tot gevolg gehad. Ten spyte daarvan het hy sy seun 'n goeie opvoeding laat kry, eers aan die St. Paulusskool in Londen en daarna aan die Queens-kollege in Oxford.

Die jong Edmond was gelukkig in dié sin dat die hoof van sy skool, dr. Thomas Gale, 'n goeie natuurwetenskaplike was wat die jong Halley aangemoedig het. Op 15 jaar was Edmond kaptein van sy skool (by ons sou hy hoofseun gewees het), en voordat hy na die Universiteit van Oxford gegaan het op 16-jarige ouderdom, het hy reeds geleer hoe om sekere sterrekundige waarnemings te doen.

Op Oxford het Edmond hom toegelê op die studie van Wiskunde en Ster-

rekunde, en vóór sy twintigste jaar het hy in die vernaamste wetenskaplike tydskrif van sy tyd 'n stuk in Latyn geskryf oor die bane van planete.

Teen hierdie tyd, 1676, was die jong man reeds vasbeslote om sterrekundige te word, en het die idee om waarnemings in die suidelike halfrond te gaan doen hom gelok. Al die sterrewagte was destyds nog in die noordelike halfrond, van waar die sterre in die omgewing van die hemelse suidpool nie waargeneem kon word nie. Dit het 'n groot leemte gelaat in die kennis van die sterrehemel as geheel.

Halley het verskillende persone geraadpleeg in verband met waar hy sy tydelike suidelike sterrewag sou gaan oprig. Mense het hom aangeraai om óf na Rio de Janeiro in Suid-Amerika, óf na die Kaap te gaan. Omdat albei egter in die hande van "vreemde" moondhede was, het hy op die eiland St. Helena besluit, wat die verste suid gelê het van al die destydse Britse besittings.

Met die seën van die Britse koning, Karel II, en van vooraanstaande wetenskaplikes, en met die geldelike steun van sy vader, is Halley en sy assistent, ene Clerke, in November 1676 uit Engeland weg met al die instrumente wat hulle vir hulle waarnemings nodig sou kry.

Omstandighede op die afgeleë en eensame St. Helena was maar baie primitief in 1677, en 'n mens staan vandag verstom om te dink wat Halley en sy assistent alles daar reggekry het. Bowendien was die eiland met sy baie reën en wolke nie juis 'n sterrekundige se paradys nie. Klare hemel het selde langer as 'n uur geduur, waarná dit vir dae aaneen kon reën. Die wind het ook gedurig erg gewaai.

Halley en Clerke het elke geskikte oomblik vir hulle waarnemings gebruik, en toe hulle vroeg in 1678 terug is na Engeland, het hulle genoeg gegewens gehad sodat Halley 'n lys van die posisies aan die hemel van byna 350 van die voorheen onbekende suidelike sterre kon opstel.

Halley se besoek aan St. Helena het die afgeleë eiland in die Suid-Atlantiese Oseaan onder die aandag van natuurwetenskaplikes gebring. Omtrent 140 jaar later, gedurende die tydperk 1815–1821, was die eiland weer in die nuus toe Napoleon Bonaparte daarheen verban is en daar gesterf het. Sedertdien het dit nogeens onder die aandag gekom toe duisende Boerekrygsgevangenes gedurende die Anglo-Boereoorlog (1899–1902) daarheen gestuur is.

Terwyl hy op St. Helena was, het Halley 'n briljante ingewing gekry vir 'n

metode om die afstand van die son – die son se parallaks – te bepaal. Veel later, in 1716, skryf hy dat terwyl hy 40 jaar tevore op die eiland besig was met sy waarnemings van die sterre om die hemelse suidpool, hy gesien het hoe die planeet Mercurius as 'n donker kolletjie oor die skyf van die son beweeg. Hierdie verskynsel word "'n oorgang van Mercurius" genoem. Hy merk toe dat hy baie noukeurig die tyd kon meet wat die planeet binne die sonskyf vertoef.

Die sterrekundige, Johan Kepler, het in 1618 ontdek dat daar 'n verband is tussen die afmetings van die bane van die planete en hul omloopstye of periodes. As die gemiddelde afstand van die planeet van die son a is, en sy periode P, het Kepler gevind dat die verhouding van die derde mag van a (a^3) tot die kwadraat of tweede mag van P(P^2) dieselfde is vir al die planete (byvoegsel 1(b)). Hierdie wet is van die grootste belang vir sterrekundiges as hulle afstande binne die sonnestelsel wil bepaal.

Dit was in die verlede makliker om tyd-intervalle as afstande te meet, omdat ons in die sterrekunde met sulke groot afstande te doen kry. As 'n mens die periodes van die planete ken, en jy slaag daarin om net een van die planete se afstand van die son te meet, kan jy – gewapen met Kepler se "derde" wet – al die ander planete se afstande bereken.

Halley het gou besef dat die planeet Mercurius nie vir hierdie doel sou deug nie, omdat dit te naby aan die son beweeg; Venus sou 'n veel beter kandidaat wees. Al wat nodig was, was om die tydsduur van Venus se oorgange vanuit twee goed voorafgekose plekke op die aardbol noukeurig te meet.

Aangesien die aarde en Venus in verskillende baanvlakke om die son beweeg, kan Venus presies tussen ons en die son kom net naby die datums waarop Venus die aarde se baanvlak of ekliptika kruis, naamlik 7 Junie en 9 Desember. In die bygaande tabel word die datums van die oorgange van Venus oor die son se skyf gegee vir die tydperk 1639–2012.

TABEL 2 – DATUMS VAN OORGANGE VAN VENUS

JAARTAL	*DATUM*
1639	4 Des
1761	5 Jun
1769	3 Jun
1874	8 Des
1882	6 Des
2004	7 Jun
2012	5 Jun

Soos blyk uit hierdie tabel, vind oorgange van Venus elke keer net 'n bietjie langer as 'n eeu ná die vorige oorgang plaas, en dan is daar gewoonlik twee oorgange, agt jaar na mekaar.

Halley was ongelukkig te laat vir die oorgang van 1639 om sy metode van afstandsbepaling van die son op die proef te stel. Hy sou ook nie kon leef tot 1761 nie – hy is in 1656 gebore. Sy metode is ná sy dood met sukses gebruik deur sterrekundiges en dit het vir 'n geruime tyd vir hulle die noukeurigste waarde van die sonafstand gelewer. In 1882 het die Amerikaanse sterrekundige, Simon Newcomb, sy teleskoop vir dié doel kom oprig in die gronde van die Hugenote-kollege op Wellington naby die Kaap. Sedert daardie tyd is daar beter metodes gevind om hierdie uiters belangrike bepaling te doen.

Ná die publikasie van sy sterrekundige waarnemings op St. Helena, het die jong Halley 'n bekende onder Britse wetenskaplikes en sterrekundiges op die Vasteland geword. Hy het meer as een reis gemaak om kollegas te besoek. Tydens 'n bootreis oor die Engelse kanaal in 1680 het hy vir die eerste maal die groot komeet van daardie jaar gesien.

In 1682 het hy waarnemings gemaak van die komeet wat hy self later so beroemd sou maak. In April van dieselfde jaar is hy met Mary Tooke getroud en hulle het vir 55 jaar gelukkig saam geleef. Spoedig ná hul troue het die jong egpaar in Londen gaan woon sodat Halley met groter gerief hom kon toewy aan sy wetenskaplike ondersoeke.

Vir Halley was die jaar 1684 een van groot droefheid omdat hy in dié jaar sy vader en sy enigste broer moes afgee aan die dood. Dit was egter ook vir hom 'n jaar wat beslissend was vir sy wetenskaplike ontplooiing, omdat hy vir die eerste maal na Cambridge gegaan het om die vermaarde Isaac Newton te ontmoet.

Na Newton word soms verwys as die grootste natuurwetenskaplike van alle tye. Hy is op 25 Desember 1642 gebore op 'n plekkie, Woolsthorpe, op die Engelse platteland. Hy was 'n uiters swak baba by geboorte en het net-net aan die lewe gebly. Hy was 'n enigste kind, en sy vader is oorlede vóór sy geboorte. Van jongs af het hy verskynsels om hom waargeneem en ondersoek, en daar is 'n verhaal dat hy op vierjarige ouderdom daarin geslaag het om dié probleem op te los: hoe om die som van die honderd getalle

$$1 + 2 + 3 + \ldots\ldots\ldots + 98 + 99 + 100$$

te bereken sonder om deur middel van die lang metode hulle een vir een op te tel. Tot die teleurstelling van sy familie het hy nie belanggestel in boerdery nie.

Vir Newton was dit die vervulling van 'n ideaal toe hy in 1661 na die Universiteit van Cambridge kon gaan. Sy rekord daar was nie juis opspraakwekkend nie. Nadat hy sy graad in 1665 behaal het, het die groot pesplaag Cambridge getref. Al die studente is huis toe gestuur, en die Universiteit is vir twee jaar gesluit. Newton het teruggegaan na die familieplaas te Woolsthorpe, en van sy briljantste ingewings in verband met die bewegings van die hemelliggame het hy juis gedurende hierdie twee jaar van verpligte vakansie gekry.

Die verhaal dat die val van 'n appel grond toe vir Newton in hierdie tyd gelei het tot die ontdekking van die wette van die aantrekkingskrag tussen hemelliggame, kan ten minste gedeeltelik waar wees. Die groot sterrekundiges vóór hom, Copernicus en Kepler, het aangetoon dat die planete nie in reguit lyne beweeg nie, maar in bane om die son. Net so beweeg die maan om die aarde. Hulle is dus gedurig besig om na die son en na die aarde te "val". Op dieselfde wyse val die appel na die aarde. Daar moet dus kragte wees wat uitgaan van die son en van die aarde. Die vraag waarmee Newton geworstel het was: hoe ver strek die krag van so 'n liggaam en hoe sterk is dit?

Newton het vermoed dat die aantrekkingskrag wat die aarde uitoefen eintlik nêrens ophou nie; dit verswak net met afstand volgens die sogenaamde "omgekeerde kwadraatwet". Hiervolgens verminder die krag na een kwart van sy waarde as die afstand verdubbel. Hy het ook vermoed dat die krag wat 'n liggaam uitoefen eweredig is met sy massa. Sy volgende vermoede was dat alle liggame in die heelal mekaar volgens hierdie wet aantrek, met ander woorde dat dit 'n universele wet is (byvoegsel 1 (b)).

Om vas te stel of sy vermoedens oor die aantrekkingskragte van die hemelliggame klop met die praktyk, moes hy berekenings doen, waarvan sommige heeltemal ingewikkeld was. Trouens, hy moes 'n hele nuwe afdeling wiskunde, die sogenaamde "differensiaalrekening", ontwerp om die gevolge van sy universele wet van die aantrekking op die bewegings van die liggame af te lei. Hy is op een stadium byna van die spoor gebring deurdat hy eers 'n ou en verkeerde waarde van die aarde se deursnee gebruik het.

Halley het in 1684 na Cambridge gegaan om by Newton te verneem wat hy alles vasgestel het oor die bewegings van planete.

Kepler het 60 jaar tevore ontdek dat die planete elliptiese bane om die son beskrywe. Halley moes egter nou by Newton hoor dat hy bewys het dat hierdie feit maar net die gevolg was van die universele wet van aantrekkingskrag.

PHILOSOPHIÆ

NATURALIS

PRINCIPIA

MATHEMATICA.

Autore *JS. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheſeos Profeſſore *Lucaſiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.

S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.

Julii 5. 1686.

LONDINI,

Juſſu *Societatis Regiæ* ac Typis *Joſephi Streater*. Proſtat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

FIG 6: *Die voorbeeld van die eerste uitgawe van Newton se* Principia Mathematica. *Die outeur word aangedui as JS Newton (in daardie dae was daar nog nie so 'n verskil tussen die I en die J nie). Hy word genoem lid ("fellow") van Trinity-kollege in Cambridge, Lucasianus-professor van Wiskunde, en lid van die Koninklike Vereniging. Die opdrag dat die boek gedruk moes word, is gegee op 5 Julie 1686 deur die voorsitter van die Koninklike Vereniging, Samuel Pepys, die bekende Engelse skrywer. Onderaan staan geskrywe dat die boek in Londen in 1687 verskyn het.*

Halley het dadelik besef dat hierdie ontdekking van Newton van die allergrootste belang vir die sterrekunde was, en het die meester herhaaldelik gaan besoek in Cambridge om hom aan te spoor om sy afleidings en bewyse sistematies neer te skrywe. In 1686 is die meesterwerk oor die beginsels van beweging in die natuur voltooi.

Newton het sy werk in Latyn geskrywe, die taal van die geleerdes van daardie dae. Die verkorte titel daarvan was "Principia Mathematica", wat "Wiskundige Beginsels" beteken. In die geskiedenis van die natuurwetenskap word Newton se "Principia" beskou as een van die belangrikste boeke wat ooit gepubliseer is (fig 6).

Die Koninklike Vereniging van Londen, aan wie Halley Newton se manuskrip voorgelê het, het besluit dat dit in druk moes verskyn; maar hulle het geen geld gehad om dit te publiseer nie. Hulle het voorgestel dat Halley dit uit sy eie sak moet betaal. Dit was nie so 'n maklike opdrag om uit te voer nie, aangesien Halley op daardie stadium nie juis 'n welgestelde man was nie. Hy was egter bewus daarvan dat Newton se ontdekkings die mens se kennis geweldig sou verryk. Ons kan vandag sê dat al het Halley in sy hele lewe niks meer gedoen as om die teruggetrokke Newton so ver te kry om sy gedagtes op skrif te stel en om hom te oorreed om sy resultate in druk te laat verskyn nie, sou eersgenoemde nogtans vir altyd beroemd gewees het.

Halley het self na Newton se Principia verwys as 'n "goddelike geskrif", en na die skrywer as die "voortreflikste meetkundige van alle tye". Op 'n ander plek het hy gesê: "nog nooit is daar deur die vermoëns en die toewyding van 'n enkele persoon soveel wetenskaplike waarhede ontdek en bo alle twyfel gestel nie". Later sou iemand tereg beweer dat Newton met sy een boek sterrekundiges vir 'n eeu lank aan die werk gehou het.

Halley was 'n man met baie talente en sy bydraes tot die natuurwetenskap was baie uiteenlopend. Ons vind byvoorbeeld dat hy een van die eerste persone was wat probeer vasstel het wat mense se gemiddelde leeftye is, iets wat vandag baie belangrik is vir die lewensversekeraar. Hy het ook 'n studie van die getye in die oseaan gemaak, en het meer as een reis as aanvoerder van 'n klein skippie onderneem om die kompasrigtings in verskillende gebiede van die Atlantiese Oseaan vas te stel. Dit was aan die anderkant van groot belang vir die seevaart.

In 1703 is die professor in Wiskunde aan die Universiteit van Oxford oorlede, en Halley is in sy pos aangestel. Hierdie aanstelling het daartoe gelei dat hy

belangrike boeke oor die meetkunde vertaal het – boeke wat eeue tevore deur Grieke geskrywe is maar toe nog net in Arabies bestaan het. Hierdie werk het hy gedoen ten spyte daarvan dat hy geen vroeëre kennis van Arabies gehad het nie.

Terwyl Halley wiskundeprofessor aan Oxford was, het hy voortgegaan met sy studies in die sterrekunde. Die belangrikste werk wat hy gedoen het was sekerlik sy studie oor die bane van komete wat hy in 1705 gepubliseer het en waaroor ons meer sal uitbrei in die volgende hoofstukke.

In April 1715 was daar 'n algehele sonsverduistering sigbaar in Londen en in die suide van Engeland, die eerste een ná ongeveer 500 jaar in daardie streek. Aangesien so 'n groot aantal mense dit sou sien, het dit baie opspraak verwek, en Halley se berekenings en waarnemings van die verskynsel het baie aandag getrek.

Halley se ontdekking in 1718 van die sogenaamde "eie beweging" van enkele van die helderste sterre was van groot sterrekundige belang. Hy het die posisies van enkele sterre aan die hemel soos hulle in sy tyd voorgekom het versigtig vergelyk met die posisies wat aangegee is in die katalogusse van Griekse sterrekundiges wat ongeveer 18 eeue vroeër opgestel is. Aangesien daar tot in Halley se tyd vas geglo is dat die sterre hulle presiese posisies behou, met ander woorde "vas" aan die gewelf van die hemel sit, was Halley se ontdekking van die verskuiwings van die sterre 'n groot verrassing. Hierdie ontdekking sou mettertyd gebruik word om te bewys dat alle sterre deur die ruimte beweeg en dat die son, vergesel van sy planetefamilie, ook deur die ruimte beweeg. Ons weet vandag dat die son en die sterre teen 'n aansienlike spoed deur die ruimte voortsnel. Vir die son is dit ongeveer 20 km/s met betrekking tot die nabygeleë sterre. Die feit dat ons sterrebeelde soos Orion en die Sewe Susters vandag nog feitlik net so daar uitsien soos hulle in Job se tyd gelyk het, kan daaraan toegeskryf word dat die sterre so ontsaglik ver van ons is. Dit neem baie eeue voordat 'n mens enige verskuiwings van die sterre met die blote oog kan waarneem.

Op soveel gebiede in die wetenskap en veral in die sterrekunde het Halley baanbrekerswerk gedoen, dat 'n Engelse geleerde eenmaal met reg gesê het dat, hoewel Newton as 'n groter natuurwetenskaplike beskou moet word, Halley 'n seldsamer verskynsel was.

HOOFSTUK DRIE

Halley en sy komeet

Newton het nie aantrekkingskrag of gravitasie ontdek soos mense soms sê nie. Die aarde het nog altyd goed aangetrek, soos vrugte wat van bome val of enigiets wat afkom nadat dit in die lug opgegooi is, en alle mense was bewus daarvan. Wat Newton wel ontdek het, soos ons in hoofstuk 2 gesien het, is dat dieselfde krag 'n appel van 'n boom laat val as wat die maan in sy baan om die aarde hou. So het hy op die gedagte gekom dat alle liggame in die heelal mekaar aantrek – hoe groter die massa van die liggaam, hoe groter die aantrekkingskrag wat dit uitoefen. Hy het ook ontdek dat die aantrekkingskrag van 'n liggaam verminder met afstand volgens die omgekeerde kwadraatwet. Met behulp van hierdie wet en met die gebruik van die "differensiaalrekene" wat hy in die eerste plek vir hierdie doel ontwerp het, kon Newton aflei dat hemelliggame nie net in sirkels of ellipse beweeg nie. Onder besondere omstandighede kan die bane die vorms van parabole of van hiperbole aanneem.

Die vier soorte kurwes waarvan hier sprake is, naamlik die sirkel, die ellips, die parabool en die hiperbool, kan almal verkry word deur snitte te maak van die liggaam bekend as die regte sirkelvormige keël. Baie mense noem dit eenvoudig die keël. Die vier soorte kurwes heet keëlsneë. Die Grieke het al 'n

studie van hierdie kurwes gemaak, en die ontdekkings van Newton het hulle meteens weer baie belangrik laat word (byvoegsel 1(a)).

'n Hemelliggaam wat langs 'n sirkel of 'n elliptiese baan beweeg, kom met gereelde tussenposes terug na sy vorige posisies. Ons praat dan van die beweging as periodies en van die baan as geslote. Sou 'n hemelliggaam om die een of ander rede langs 'n parabool of 'n hiperbool beweeg, kom hy nooit weer terug na sy vorige posisies nie; hy beweeg naderhand al verder en verder. Sulke bane staan bekend as "oop" bane.

'n Elliptiese baan kan baie na aan sirkelvormig wees, soos byvoorbeeld die baan van die planeet Venus om die son. Ellipse kan ook meer of minder langwerpig wees; so is die baan van die planeet Mercurius om die son baie meer langwerpig as dié van Venus of van die aarde.

Die punt in die baan wat enige liggaam om die son deurloop waar hy op sy naaste aan die son is, word genoem die *perihelion*, van die Grieks: *peri* = naby, en *helios* = son. As die liggaam in 'n ellips om die son beweeg, dan is daar ook 'n punt waar hy die verste afstand van die son bereik. Dit word genoem die *aphelion*, van die Grieks: *apo* = weg van, en *helios* = son. Let op dat die perihelion en aphelion altyd op die langas van die elliptiese baan lê.

Toe Halley met behulp van Newton se metodes die bane van komete bepaal het, was niemand seker of enige komeet 'n geslote baan (ellips) om die son volg nie, want niemand het geweet of komete wat hulle draaie by die son gemaak het nie miskien vantevore ook daar was nie. Halley het geweet dat, indien komete in ellipse beweeg die ellipse baie langwerpig moet wees. Aangesien sulke ellipse gedeeltelik ooreenkom met 'n deel van 'n parabool, het Halley die bane van 'n aantal helder komete volgens Newton se metodes bepaal met die veronderstelling dat hulle in paraboliese bane beweeg. Dit was ingewikkelde berekenings waarmee Halley oor 'n lang tydperk geworstel het.

Hierdie baanbrekerswerk van Halley is in 1705 wêreldkundig gemaak onder die Latynse titel *Synopsis Astronomiae Cometicae*, en het hom meer beroemd gemaak as enigiets anders wat hy gedoen het. Hy het in die boek die bane om die son van 24 komete so noukeurig bereken as wat hy kon. Sy gedagte was dat, indien daar in die toekoms weer 'n komeet sou verskyn, sterrekundiges die nuwe baan sou kon vergelyk met enige een van die 24 bane, om dan só vas te stel of dit nie dalk 'n "ou bekende" is wat sy herverskyning maak nie.

Cometarum Omnium hactenus rite Obſervatorum, Motuum in Orbe Parabolico Elementa Aſtronomica.

Cometæ Anni.	Nodus Aſcend.	Inclin. Orbitæ.	Perihelium in Orbe.	Perihelium in Ecliptica	Latitudo Perihelii	Diſtantia à Perihelia à Sole.	Log. diſt. Perihelia à Sole	Temp. æquat. Perihelii Londini.
	gr. ' "	gr. ' "	gr. ' "	gr. ' "	gr. ' "			die. h. '
1337	♊ 24. 21. 0	32. 11. 0	♉ 7. 59. 0	♉ 12. 45. 15	22. 40. 30 B	40000	9. 609230	Januii 2. 6. 25
1472	♍ 11. 46. 20	5. 20. 0	♉ 15. 33. 30	♉ 15. 40. 20	4. 25. 50 A	54273	9. 734584	Feb. 28. 22. 23
1531	♉ 19. 25. 0	17. 56. 0	♎ 1. 39. 0	♎ 0. 48. 15	17. 3. 05 B	56700	9. 753583	Aug. 24. 21. 18½
1532	♊ 20. 27. 0	32. 36. 0	♋ 21. 7. 0	♋ 16. 59. 40	15. 57. 00 B	50910	9. 706803	Oct. 19. 22. 12
1556	♏ 25. 42. 0	32. 6. 30	♍ 8. 50. 0	♍ 11. 0. 00	31. 10. 20 B	46390	9. 666424	Apr. 21. 20. 3
1577	♈ 25. 52. 0	74. 32. 45	♌ 9. 22. 0	♏ 7. 53. 00	69. 35. 20 A	18342	9. 263447	Oct. 26. 18. 45
1580	♈ 18. 57. 20	64. 40. 0	♋ 19. 5. 50	♋ 19. 17. 10	64. 40. 0 B	59928	9. 775450	Nov. 28. 15. 00
1585	♉ 7. 42. 30	6. 4. 0	♈ 8. 51. 0	♈ 8. 59. 10	2. 55. 25 A	109358	0. 038850	Sept. 27. 19. 20
1590	♏ 15. 30. 40	29. 40. 40	♏ 6. 54. 30	♏ 2. 55. 50	22. 45. 50 A	51061	9. 700802	Jan. 29. 3. 45
1596	♒ 12. 12. 30	55. 12. 0	♏ 18. 16. 0	♏ 22. 44. 35	54. 44. 30 B	51293	9. 710058	Julii 31. 19. 55
1607	♉ 20. 21. 0	17. 2. 0	♎ 2. 16. 0	♎ 1. 29. 40	16. 10. 5 B	58080	9. 768490	Oct. 16. 3. 50
1618	♊ 16. 1. 0	33. 34. 0	♈ 1. 14. 0	♈ 6. 10. 00	35. 52. 0 A	37975	9. 579492	Oct. 29. 12. 23
1652	♊ 28. 10. 0	79. 28. 0	♈ 28. 18. 40	♏ 10. 41. 35	58. 14. 0 A	84750	9. 928140	Nov. 2. 15. 40
1661	♊ 22. 30. 30	32. 35. 50	♋ 25. 58. 40	♍ 21. 37. 30	17. 17. 0 B	44851	9. 651772	Jan. 16. 23. 41
1664	♊ 21. 14. 0	21. 18. 30	♌ 10. 41. 25	♌ 8. 40. 35	16. 1. 52 A	102575½	9. 011044	Nov. 24. 11. 52
1665	♏ 18. 02. 0	76. 05. 0	♏ 11. 54. 30	♉ 24. 6. 35	23. 8. 0 B	10649	9. 027309	Apr. 14. 5. 15½
1672	♍ 27. 30. 30	83. 22. 10	♉ 16. 59. 30	♍ 9. 26. 00	69. 27. 42 B	69739	9. 843470	Feb. 20. 8. 37
1677	♏ 26. 49. 10	79. 03. 15	♌ 17. 37. 5	♍ 16. 21. 05	75. 44. 10 B	28059	9. 448072	Apr. 26. 00. 37½
1680	♍ 2. 2. 0	60. 56. 0	♑ 22. 39. 30	♐ 27. 26. 50	8. 11. 10 A	00612½	7. 787106	Dec. 8. 00. 6
1682	♓ 21. 16. 30	17. 56. 0	♎ 2. 52. 45	♎ 2. 0. 30	16. 59. 20 B	58328	9. 765877	Sept. 4. 07. 39
1683	♏ 23. 23. 0	83. 11. 0	♊ 25. 29. 30	♍ 10. 36. 55	82. 52. 00 B	56020	9. 748343	Julii 3. 2. 50
1684	♑ 28. 15. 0	65. 48. 40	♏ 28. 52. 0	♐ 15. 15. 25	26. 35. 20 A	96015	9. 982339	Maii 29. 10. 16
1686	♓ 20. 34. 40	31. 21. 40	♊ 17. 00. 30	♊ 16. 24. 00	31. 17. 35 B	32500	9. 511883	Sept. 6. 14. 33
1698	♑ 27. 43. 15	11. 46. 0	♍ 00. 51. 15	♍ 0. 47. 20	0. 38. 10 A	69129	9. 839660	Oct. 8. 16. 57

Hæc Tabula vix indiget explicatione, cum ex titulis ſatis pateat quid ſibi velint Numeri. Diſtantiæ autem periheliæ æſtimantur in ejuſmodi partibus quales media diſtantia Terræ à Sole habet centies millenas.

Tabula

TABEL 3 – HALLEY SE TABEL

'n Afdruk van Halley se oorspronklike tabel van die bane van 24 komete soos hy dit gepubliseer het in sy boek Synopsis Astronomiae Cometicae *in 1705. Hy het aangeneem dat al die bane parabole is, wat in ieder geval 'n goeie benadering was.*

Halley se oorspronklike tabel met die gegewens van die 24 komete se bane verskyn as tabel 3. Die verskillende kolomme gee die sogenaamde elemente van die paraboliese bane wat hy vir hulle aangeneem het (byvoegsel 1(a)). Kom ons vergelyk die drie gevalle van komete uit die jare 1531, 1607 en 1682 (1ste kolom). Die baan vir die komeet van 1531 is bereken volgens die waarnemings van Petrus Apianus, dié van 1607 volgens die waarnemings van Johann Kepler en Christian Longomontanus, en dié van 1682 volgens Halley se eie waarnemings.

Neem byvoorbeeld die drie waardes wat hy vir die gevalle in die derde kolom gee onder die opskrif "Inclin. Orbitae". Dis die hoeke tussen die vlakke waarin die aarde beweeg en dié waarin die komete beweeg het, of

inklinasiehoeke, i (byvoegsel 1(a)). Die waardes volgens die tabel is respektiewelik

17° 56′, 17° 02′ en 17° 56′,

wat nie juis baie verskil nie; trouens twee van hulle is presies gelyk.

Nog 'n belangrike element van die baan van 'n liggaam wat om die son beweeg, is die "lengtegraad van die stygende nodus" (sien byvoegsel 2). Dit dui die posisie aan van die punt in die baanvlak van die aarde (ekliptika) waar die komeet van onder na bo deur die vlak beweeg, en word aangedui met die simbool Ω. In Halley se tabel word dié betrokke waardes gegee in die tweede kolom onder die hoof "Nodus Ascend". Die drie waardes vir 1531, 1607 en 1682 is respektiewelik

19° 25′, 20° 21′ en 21° 16′,

weer verstommend naby aan mekaar.

In die sewende kolom gee Halley die afstande vanaf die son na die perihelionpunte – dis die toppunte van die parabole – in die drie gevalle. Halley noem hulle "Distantia Perihelia à Sole", en die syfers is respektiewelik

0,56700 en 0,58680 en 0,58328,

wat weer verbasend naby aan mekaar is. Halley gee hierdie afstande in terme van die aarde se gemiddelde afstand van die son as eenheid, AE (lees Inleiding).

Die ooreenstemming tussen die drie bane van 1531, 1607 en 1682 is verrassend, volgens die waardes in die genoemde drie kolomme en ook in die ander kolomme. Halley het hieruit afgelei dat hierdie drie komete in min of meer dieselfde vlak in die ruimte beweeg in bane wat opvallend eners is.

Aangesien hy aangeneem het dat die bane parabole is, kon hy hom nie oor moontlike periodes vir die komete uitlaat nie. Hy het egter opgelet dat die drie komete mekaar met periodes van ongeveer 76 jaar opgevolg het. 'n Toets om vas te stel of dit moontlik een en dieselfde komeet was en nie drie afsonderlike komete nie, sou wees om te kyk of daar nie dalk in periodes van 76, en 2 × 76 jaar, ensovoorts, vóór 1531 helder komete gesien is nie. Die betrokke jare is 1455, 1379 en 1303. Halley het kennis gedra van helder komete wat in 1456 en 1301 gesien is, en dit was genoeg om hom te oortuig dat die komeet wat hy in 1682 self waargeneem het nie 'n eenmalige verskynsel was nie. Hy het geweet dat dié komeet egter verskeie vroeëre verskynings gemaak het, in 'n elliptiese baan om die son beweeg het met 'n periode van ongeveer 76 jaar, en dat dit weer, ná sy dood, sou verskyn.

Dit is interessant om hier Halley se eie woorde in verband met die belangrike ontdekking aan te haal. Hy skryf:

> Baie dinge laat my glo dat die komeet van 1531, waargeneem deur Apianus, dieselfde is as die een wat Kepler en Longomontanus beskrywe het in 1607, en wat ek self waargeneem het in 1682. Al die elemente kom ooreen, behalwe dat die periodes verskil. Maar dis nie so groot dat 'n mens dit nie sou kon verklaar as die gevolge van fisiese oorsake nie ... Ek kan dus met sekerheid die komeet se terugkeer in 1758 voorspel.

Die "fisiese oorsake" waarna Halley hier verwys is die aantrekkingskragte van die planete wat soms die terugkeer van die komeet vertraag en dit soms bespoedig. Halley was terdeë bewus van die belangrikheid van hierdie ontdekking, en het by geleentheid gesê dat hy baie trots is om te dink dat dit deur 'n Brit gemaak is.

Daar was tydgenote wat nie heeltemal oortuig was nie, en 'n bietjie gespot het deur daarop te wys dat dit maklik was vir Halley om so 'n voorspelling te waag, aangesien hy geweet het dat hy in 1758 reeds 102 jaar oud sou wees en in alle waarskynlikheid nie meer sou leef nie (hy is in 1742 oorlede).

Ten spyte van sulke ongelowige Thomasse het daar tog in sterrekundige kringe en onder die algemene publiek groot opgewondenheid geheers na mate die datum van die komeet se voorspelde terugkeer nader gekom het. Intussen is Halley se berekenings verfyn en daar is vasgestel dat, vanweë steurings in die komeet se baan deur die aantrekkingskragte van die planete, die terugkeer met enkele maande vertraag sou word,

Gedurende Kersnag van 1758 is die komeet deur 'n Duitse boer vir die eerste maal weer gesien, en daarna deur die sterrekundiges van daardie tyd en talle ander mense opgemerk.

Daar kon nou nie meer enige twyfel wees nie – Halley se voorspelling in verband met die terugkeer van die komeet was in die kol. Die talle ou bygelowe in verband met komete as die draers van slegte tyding is ook hiermee die nek ingeslaan. Dis g'n wonder dat mense begin praat het van hierdie besondere komeet as "Halley se komeet" nie, hoewel Halley die komeet nie self ontdek het nie. So sal dit egter in die geskiedenis bekend bly, en so sal Halley se nagedagtenis vir altyd geëer word.

In 1719 is John Flamsteed, die eerste van 'n lang reeks Koninklike Sterrekundiges van Engeland, by sy sterrewag te Greenwich oorlede. Spoedig daarná is

Halley in die pos aangestel en vanaf 1721 het hy sy intrek geneem te Greenwich (fig 7).

Die belangrikste rede vir die totstandkoming van die Koninklike Sterrewag te Greenwich, langs die Teemsrivier digby Londen, was om hulp te verleen aan Britse skepe op see. Vir die Britse handel en beskerming was die seevaart baie belangrik en moes skeepskapteins, veral op die oop see, oor 'n metode beskik om hulle posisies op die aardbol so noukeurig moontlik te bepaal. Daarvoor was nodig 'n katalogus van die presiese posisies van die helder sterre aan die hemel, en 'n tabel van die posisies van die maan.

Die metodes van berekening van die maan se bewegings was in die 17de en 18de eeue nog glad nie baie noukeurig nie. Eers in die huidige tyd van elektroniese rekenaars is die berekening vervolmaak. Die enigste metode wat in daardie tyd goeie resultate gelewer het, was om die maan se posisies tussen die sterre oor 'n periode van 18 jaar noukeurig te meet. Hierna is die posisies in 'n baie hoë mate herhaal. Halley, hoewel hy reeds 64 jaar oud was, het met sy gebruiklike ywer nie teruggedeins nie, en die taak met groot deursettingsvermoë feitlik eiehandig aangepak en deurgevoer.

Ongelukkig moet daar gesê word dat die gebruik van Halley se maantabelle, wat hy met soveel toewyding saamgestel het, nie gelei het tot baie akkurate bepalings van lengtegraad op see nie. Daarom is 'n groot deurbraak gemaak toe 'n timmerman van Yorkshire in Engeland, ene John Harrison, in 1759 daarin geslaag het om die eerste betroubare skeepschronometer te vervaardig. Hierdie chronometer het, ten spyte van die skommeling aan boord, die korrekte tyd aangedui. Harrison, of liewer sy weduwee, het hiervoor 'n prys van £20 000 van die Britse Admiraliteit ontvang. Laasgenoemde het jare tevore die prys vir hierdie doel uitgeloof en só lank gesloer met die uitbetaling, dat Harrison oorlede is voordat hy self die geld kon ontvang.

In 1739 het Halley se gesondheid begin agteruitgaan. Hy kon nog net met groot moeite sterrekundige waarnemings doen en op 25 Januarie 1742 is hy in Greenwich oorlede. Hy is in die klein kerkhoffie van die dorpie Lee ter ruste gelê langs sy vrou wat ses jaar voor hom oorlede is.

Watter tipe mens was Edmond Halley? Hy is beskryf as lank en skraal, en daarby aansienlik, altyd opgewek en welkom in enige geselskap. Hy was hartlik in die omgang, vol bruisende entoesiasme, maar nogtans iemand met 'n goeie oordeel, wat hy veral aangewend het in sy lewe as wetenskaplike. 'n Mens wonder hoe hy met sy sin vir humor en sy liefde vir grappe oor die weg

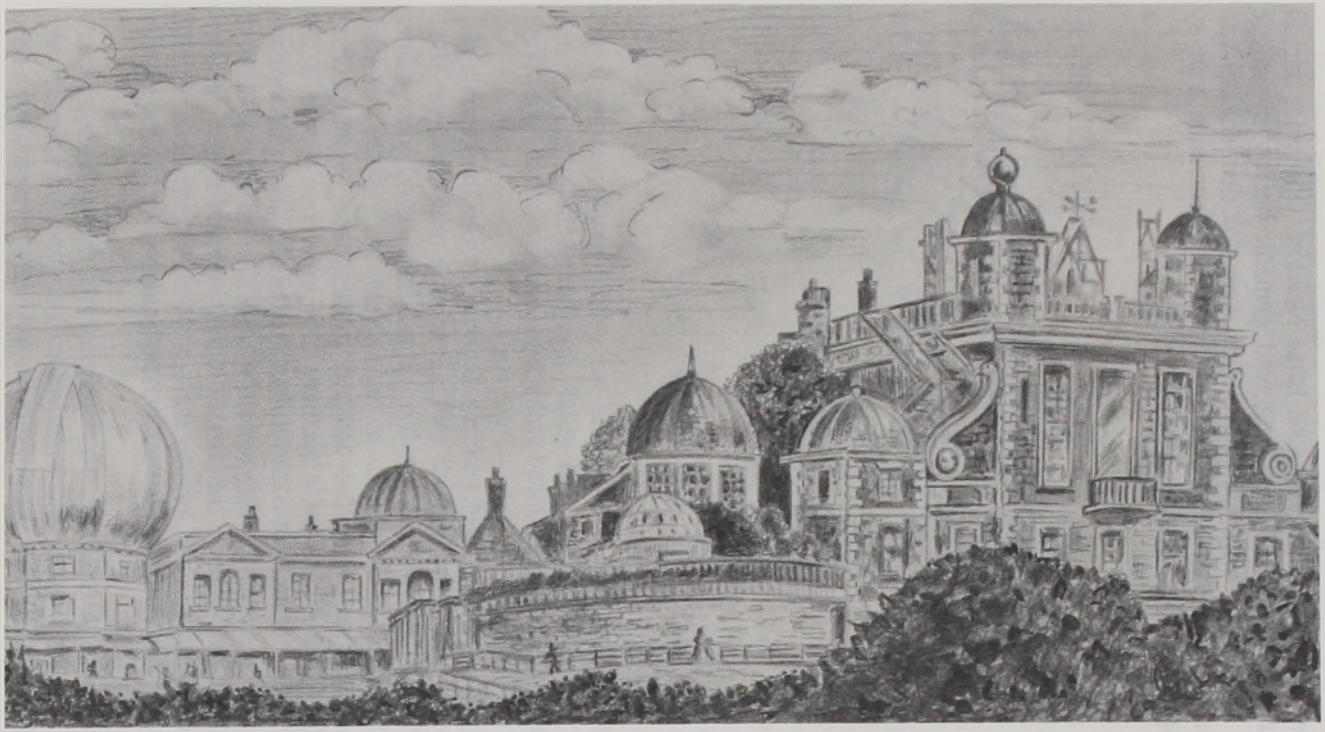

FIG 7: *So het Greenwich-sterrewag in die ou dae gelyk. Edmond Halley was die tweede hoof of "koninklike sterrekundige" van 1720 tot sy dood in 1742. Hy het John Flamsteed opgevolg, 'n man met wie hy eers baie goed bevriend was maar met wie hy later nie goed oor die weg kon kom nie. Die nul-meridiaanlyn loop deur Greenwich, en alle plekke op die aardbol word aangedui as oos of wes van hierdie lyn. Die ronde bol op een van die koepels regs was die sogenaamde "tydbal". Dit is daagliks opgehys tot bo en dan smiddae presies om 12h00 laat val. Seelui op hul skepe onder op die Teemsrivier het deur hul verkykers die presiese tyd waargeneem en hul skeepshorlosies, of chronometers, daarvolgens ingestel.*

gekom het met die uiters teruggetrokke Isaac Newton. Ons weet dat dit hierdie eienskappe was wat Halley ongewild gemaak het by sy stugge voorganger te Greenwich, John Flamsteed. Ons weet ook deur middel van etlike getuienisse dat Halley waardeer en vertrou is deur talle van sy medewetenskaplikes in Engeland en elders.