



**WETENSKAPLIKE BYDRAES VAN DIE PU VIR CHO**

Reeks H: Intreerede nr. 114

## **ASTROFISIKA EN WAARNEMING**

**B.C. Raubenheimer**

Intreerede op 4 Maart 1988

**Departement Sentrale Publikasies**

Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys

Potchefstroom

1988

Die Universiteit is nie aanspreeklik vir menings in die publikasies uit gesprek nie.

Navrae in verband met die *Wetenskaplike Bydraes* moet gerig word aan

**Die Direkteur  
Departement Sentrale Publikasies  
Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys  
2520 POTCHEFSTROOM Suid-Afrika**

© 1988

**ISBN 0 86990 945 2**

# **INHOUDSOPGAWE**

1	Inleiding	1
2	Die klassieke waarnemingstegniek	2
3	Moderne waarnemingstegnieke	5
4	Die atmosferiese Cerenkovtegniek	7
5	Enkele Resultate	11
6	Perspektief	13

# ASTROFISIKA EN WAARNEMING

## 1 INLEIDING

Daar is geen toneel wat meer aangrypend en ontroerend is as die sterreheemel op 'n wintersnag in die Karoo nie. Dit is seker die mees verhewe, onaantasbare en onveranderlike deel van die skepping. Tog voel 'n mens intiem verbonde aan hierdie geheimnisvolle verskynsel en word jy weer klein voor jou Skepper as jy besef watter onbeduidende spikkel jy in die groot heelal is. Maar God het in sy ondeurgrondelike almag die hemelruim met 'n doel geskep, soos in Gen 1:14 staan:

Laat daar ligte wees aan die hemelgewelf om dag en nag van mekaar te skei. Hulle moet ook as tekens dien om seisoene, dae en jare aan te dui.

Die sterreheemel, soos met die blote oog waarneembaar, is bepalend vir die menslike lewenspatroon en beïnvloed ook talle biologiese verskynsels. Reeds sedert die vroegste tye is hierdie reëlmatighede opgemerk en noukeurig ondersoek. Die Inkabeskawing kon byvoorbeeld reeds 7 000 jaar gelede 'n landboukalender opstel op grond van sulke waarnemings. Die kalender was uiters akkuraat en kan goed met die huidige kalenderstelsel vergelyk word. Die Inkas, sowel as ander vroeë beskawings soos die Sjinese, Babiloniërs en Egiptenare, het die waarneming van sterre as van hulle belangrikste take beskou. Daarom kon in elke vorstehuis aangestelde astronome gevind word, wat sonder uitsondering geraadpleeg is by die neem van belangrike besluite. Die sterrebeelde, son, planete en komete is ook gemitologiseer en aanbid. So bestaan daar nog verskeie voorbeelde van prehistoriese klipsirkels in Brittanje, wat as tempels gebruik is (en vandag nog word). In die landbou vind ons dat die stand van hemelliggame (en veral die maan) 'n invloed uitoefen op die keuse van die aanplanttyd van gewasse. Die populêre astrologie beleef vandag steeds 'n bloeitydperk in dié sin dat feitlik elke koerant of tydskrif sy rubriek "Die sterre voorspel" het — 'n uitbuiting van die mens se hunkering na vastigheid en voorspelbaarheid van 'n onsekere toekoms. Bostaande gelowe en mites is gebaseer op grondige en merkwaardig akkurate waarnemings wat gemotiveer is deur die mens se nuuskierigheid oor die geheime van die sterreheemel. Tereg sê die psalmis in Ps. 19:1:

Die hemel getuig van die mag van God, die uitspannel maak die werk van sy hande bekend.

So ontstaan dan die oudste wetenskap, genoem Astronomie, waarin die mens die verborgene in die hemelruim probeer naspour. Vroeg in die ontwikkeling van die Astronomie is reeds hulpmiddels ontwikkel om waarnemings te vereenvoudig en akkurater te maak. Aanvullend tot die meganiese instrumentasie gebruik die astronoom ook wiskunde om sy waarnemings te verwerk en voorspellings te doen.

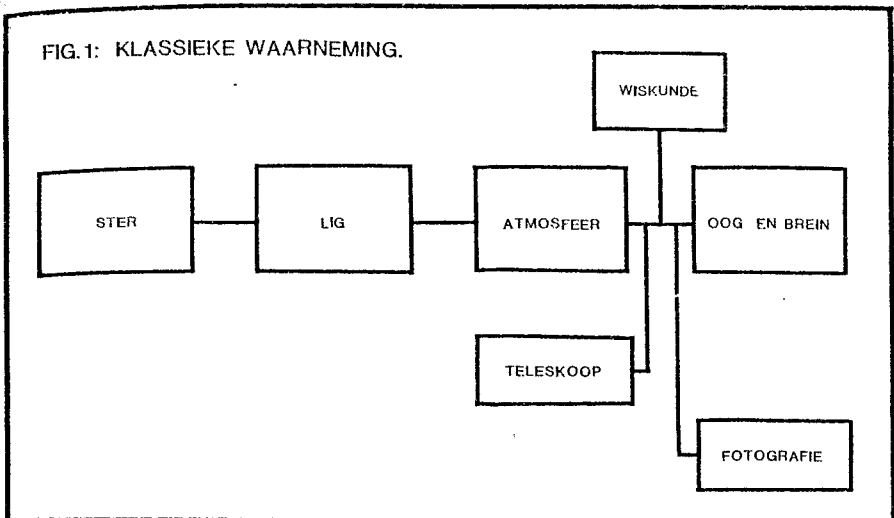
Astronomie as wetenskap is in baie opsigte uniek:

- Eerstens kan dit nie in 'n laboratorium onder gekontroleerde omstandighede beoefen word nie.
- Tweedens kan waarnemings van spesifieke gebeurtenisse nie herhaal word nie.
- Derdens, vanweë die eindige snelheid van lig kyk astronome letterlik in die verre verlede van die heelal in. Tewens, alle gebeurtenisse wat waargeneem word, het reeds lank gelede plaasgevind.
- Vierdens bestudeer dit materie by temperature en digthede wat nie in die laboratorium nageboots kan word nie.
- En laastens bied astronomie 'n ideale geleentheid om die swakste van alle natuurkragte, naamlik swaartekrag, te ondersoek.

Veral laasgenoemde twee feite het fisici se belangstelling reeds vroeg geprikkel en het aanleiding gegee tot die ontstaan van Astrofisika as 'n onafhanklike navorsingsterrein. Terwyl die Astronomie hoofsaaklik 'n fenomenologiese, beskrywende wetenskap is, vorm dit die vertrekpunt vir Astrofisika, wat poog om aan die hand van bestaande natuurwette en teorieë in die Fisika, die waarnemings te verklaar. Daar bestaan egter geen skerp afbakening tussen die twee vakgebiede nie, en hulle mag selfs as twee onderafdelings van dieselfde navorsingsterrein beskou word.

## **2 DIE KLASSIEKE WAARNEMINGSTEGNIEK**

Astronomie is by uitstek op waarnemings gebou wat aanvanklik met die



blote oog gedoen is. Algaande is 'n aantal hulpmiddels ingevoer om die waarnemings te verbeter (Fig. 1). Hierdie klassieke waarnemingstegniek bestaan basies uit vier elemente, naamlik die sterre wat lig uitstraal, wat dan deur die atmosfeer beweeg, om finaal deur die oog waargeneem te word:

- Eerstens is daar die *sterreheemel* wat bestaan uit 'n groot verskeidenheid sterre wat saamgegroeppeer is in sterrestelsels of galaksies met gebiede daartussen waarin konsentrasies van stof voorkom — wat die geboorteplek van nuwe sterre, maar terselfdertyd die begraafplaas van vergane sterre is. Die ruimtelike rangskikking is kompleks, en variasies vind orals met verloop van tyd plaas.
- Tweedens is daar die *lig* waarsonder ons nie eers bewus sou wees van die bestaan van die sterre nie. Die lig is niks anders nie as 'n stroom van energiepakkettes wat deur die bron uitgestraal word.
- Die *atmosfeer* is 'n steuringsfaktor wat nie net van die energiepakkettes kan absorbeer nie maar ook hulle bewegingsrigting kan verander. Dit is 'n komplekse en dinamiese sisteem wat egter vandag goed ver-

staan word, sodat die nodige korreksies daarvoor aangebring kan word.

- Die menslike oog vorm saam met die brein 'n uitstekende sensor van die energiepakkies. Hierdie merkwaardige orgaan is seker een van die veelsydigste in die menslike liggaam. Dit is ook, wat die Astronomie betref, een van die betroubaarste meetinstrumente. Ongelukkig het dit ook 'n aantal beperkings. Die gemoedstoestand, uitputting en ander fisiologiese sowel as psigologiese faktore veroorsaak 'n mate van subjektiwiteit by die waarnemings. Verder sal die oog op 'n tydskaal van millisekondes nuwe prikkels vorm indien dit voortdurend met lig bestral word; dus kan die oog nie gebruik word as 'n opgaarder van die energiepakkies wat eers na verloop van ure afgelees kan word nie. Hierdie beperkte retensievermoë is veral by die waarneming van swak ligbronne 'n nadeel. Ook kan die oog doelbewus of andersins mislei word of 'n vals interpretasie van 'n beeld gee.

Soos reeds gesê, vorm die Wiskunde sedert die vroegste jare 'n integrale deel van Astronomie. Kepler het tewens uit sy studie van die planeetbewegings oortuig geraak dat Wiskunde 'n integrale deel van die skepping is en nie net 'n mensgemaakte hulp nie.

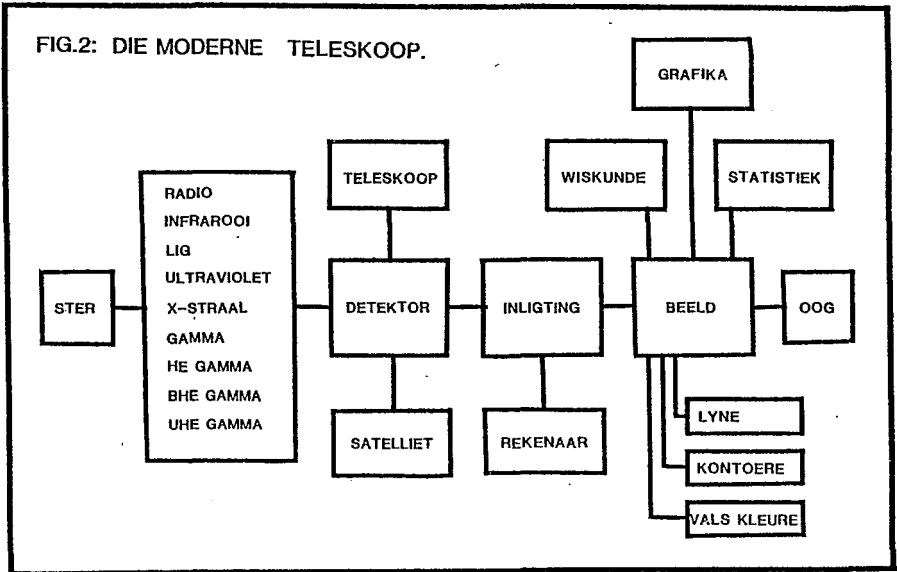
Gedurende die 16de eeu het hierdie klassieke waarnemingstegniek 'n groot voorwaartse stap gedoen met die ontwikkeling van die lens-teleskoop deur Galileo en mede-wetenskaplikes. Die voordele van 'n teleskoop is tweërlei: Eerstens het dit 'n klein sigveld wat die waarnemer se aandag slegs op daardie gebied bepaal. Verder word 'n vergrote beeld van die voorwerp gevorm, sodat meer besonderhede sigbaar is. Vinnige ontwikkelings op die terrein van die optika en die tegnologie het aanleiding gegee tot al hoe groter en kompleksere teleskope.

Nieteenstaande hierdie ontwikkelings bly die menslike oog steeds die finale sensor. Die fotografie wat in die middel van die 19de eeu ontwikkel is, het hierdie situasie radikaal verander. 'n Fotografiese plaat kan ure lank aan dieselfde gebied in die ruimte blootgestel word en sodoende kan die sensitiwiteit van die teleskoop met ordes verbeter word. Dit is ook 'n objektiewe en herhaalbare tegniek, en die oog hoef nou slegs gebruik te word om die metings te interpreteer en te evalueer. Hierdie klassieke waarnemingstegniek is vandag nog steeds een van die steunpilare van die Astronomie en is ook die "teleskoop" soos Jan Alleman

dit ken.

### 3 MODERNE WAARNEMINGSTEGNIEKE

Die tegniek wat hierbo bespreek is, is slegs een van baie wat tans gebruik word. Apparate wat glad nie soos 'n teleskoop lyk nie en ook anders funksioneer, is vandag algemeen. Alhoewel die basiese elemente van die klassieke teleskoop vandag nog steeds aanwesig is, word van spesiale detektors en hulpmiddels soos rekenaars en beeldverwerkers gebruik gemaak (Fig. 2). Vroeg in hierdie eeu is gevind dat lig maar een lid van 'n familie van golwe, genoem elektromagnetiese golwe, is. Ander voorbeelde is radio-, infrarooi-, ultraviolet-, X- en gammastraling. Daar is ook aangetoon dat die samestelling van sterre sodanig is dat al hierdie tipes straling by die meeste sterre kan voorkom. Aangesien die oog nie hierdie straling kan waarneem nie, moes spesiale detektors daarvoor ontwikkel word. In sommige gevalle absorbeer die atmosfeer al die straling en moet daar van ruimtetuie gebruik gemaak word om die straling te kan waarneem. Die inligting wat met sodanige detektors ingewin word, kan meestal nie gebruik word om 'n konvensionele beeld te vorm nie. Dit word dus eers in rekenaars geberg en op 'n later stadium met behulp van wiskundige en statistiese tegnieke tot visueel





interpreteerbare beelde verwerk.

Alhoewel sulke beelde direk deur die oog interpreteerbaar is, moet ont-hou word dat die programmatuur wat daarvoor ingespan word, gelaai is met teorieë uit verskeie dissiplines en dat daar maklik bevooroor-deelde beelde geproduseer kan word. Onderliggend aan al hierdie elemente is die moderne elektronika. Nie net vorm dit 'n inherente deel van enige detektor en rekenaar nie, maar dit integreer ook al die ver-skillende elemente tot 'n geheel.

Dit is dus duidelik dat die moderne teleskoop 'n komplekse, multidis-iplinêre apparaat is. Elke element daarvan is die produk van 'n onaf-hanklike vakgebied wat op sy eie teorieë bou, en die integrasie van al die elemente vorm dan ook 'n studiegebied op sigself. Die finale doel is egter steeds om 'n objektiewe "beeld" te produseer wat maklik deur die oog geabsorbeer en deur die brein geëvalueer kan word. Daarom word moderne teleskope deur 'n groep vakspecialiste ontwerp en bedryf, om te verseker dat die apparaat 'n goeie meetinstrument sal wees.

Alhoewel hierdie tegnieke uiters gesofistikeerd is, is die waarnemings wat gemaak word, passief in dié sin dat die voorwerp van ondersoek nie versteur kan word nie. Dit is in teenstelling met ander wetenskappe waar 'n voorwerp onder laboratoriumtoestande ondersoek word. In die uiterste geval moet die voorwerp selfs voor of tydens die ondersoek vernietig word (soos bv. in die fisika van elementêre deeltjies en die biologiese wetenskappe). Die Astrofisikus is egter verseker dat wat hy meet, direk met die werklikheid verband hou. Moeilike ekstrapolاسies van laboratoriumtoestande na die werklikheid is daarom onnodig. Maar hierdie tegniek maak die interpretasie van metings ook moeiliker, want die sisteme moet in hulle geheel bestudeer word. Ook moet inligting uit verskeie subdissiplines geïntegreer word om die verlangde resultaat te verkry.

Sulke ingewikkelde apparate is produkte van die moderne tegnologie. Tegnologie is egter 'n uitvloeisel van basiese natuurkundige navorsing en dus 'n skepping van die menslike rede. Die rede is dus die kern van so 'n apparaat, en as sodanig is dit belaaï met lewens- en wêreldbeskou-lyke beginsels. Net so bly die rede die finale evalueerder van resultate. Daar kan aangesluit word by 'n stelling van Ouweneel gedurende sy onlangse besoek:

Uiteindelik moet de wetenskap terugvalle op zijn geloof, dat *niet* een soort bolwerk teen de aanvallen van de rede is, maar dat integendeel die enige *bron* is waaruit die rede self gevoed kan worden.

Die geloof vorm die uitgangspunt van enige navorsingsproses en beklemtoon die rol van die mens in die wetenskap. Verder is die geloof rigtinggewend, soos Einstein tereg gesê het:

Wetenskap sonder godsdiens is blind.

Hierdie wisselwerking tussen geloof en wetenskap is belangrik — daarsonder ontaard die wetenskap in 'n materialistiese struktuur wat probeer om ten alle koste die kennis tot voordeel van die mens aan te wend. Hierdie geloof behels onder andere:

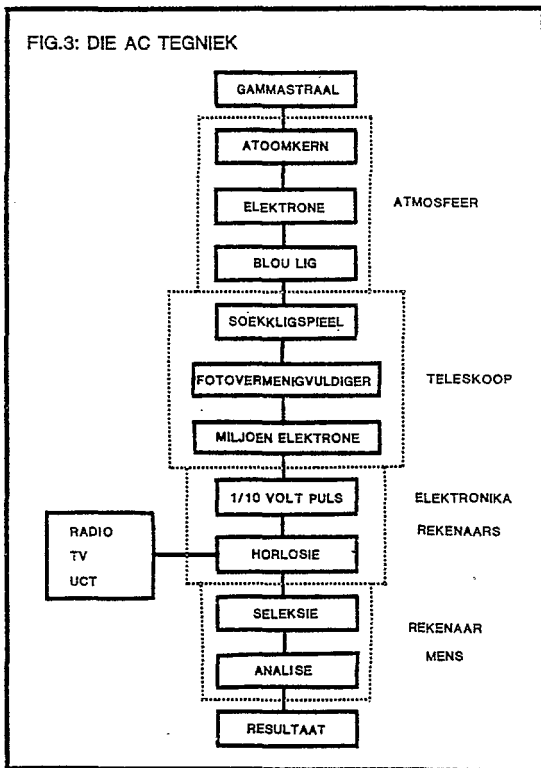
- dat die skepping georden is;
- dat God aan die mens die vermoë gegee het om die skepping te ondersoek;
- dat die vakwetenskaplike teorieë aanvaarbaar is;
- dat die resultate 'n betroubare weerspieëling van die werklikheid is.

Sonder hierdie aannames kan geen wetenskaplike met vertroue 'n navorsingsprojek aanpak nie.

#### **4 DIE ATMOSFERIESE CERENKOVTEGNIK**

Om die nie-konvensionele waarnemingsmetodes toe te lig wil ek die baie hoogenegieke of BHE-gammastraalastronomie as voorbeeld gebruik. Alhoewel die gepaardgaande waarnemingstegniek reeds in die vyftigerjare ontwikkel is, is die eerste bron eers in die laat sewentigerjare ontdek. Dit is een van die "babas" van die Astronomie, en die Navorsingseenheid vir Kosmiese Strale hou hom sedert 1981 daarmee besig.

'n BHE-gammastraal is 'n elektromagnetiese golf waarvan die individuele energiepakke 'n biljoen keer meer energie besit as dié van sigbare lig. Sulke strale is nog nooit in die laboratorium gemaak nie, maar volgens bestaande teorieë kan sekere kategorieë van sterre moont-



lik in staat wees om hulle te produseer. Dit is tans ook die hoofdoel van BHE-gammastraalastronomie om bronne van hierdie straling te ontdek. Positiewe resultate sal dan help met die normale ontwikkeling van ons kennis op hierdie gebied en is noodsaaklik vir die wisselwerking tussen teorie en eksperiment.

Maar hoe word hierdie straling waargeneem? Kortliks soos volg (Kyk Fig. 3): Die gammastraal word in die atmosfeer in sigbare lig verander, waarna dit deur 'n teleskoop en die nodige elektronika geregistreer word. Eerstens is dit belangrik om te weet dat hierdie BHE-gammastrale, net soos X-strale, deur die atmosfeer geabsorbeer word. In hierdie proses gebruik 'n BHE-gammastraal egter sy energie om 'n lugatoom te verpletter. Die brokstukke kan op hulle beurt weer ander atome vernietig.

Gedurende die proses word 'n groot aantal elektrone uit lugatome vrygestel en wat feitlik met ligsnelheid deur die atmosfeer beweeg. In 1937 het Cerenkov en Vavilov ontdek dat sulke vinnig bewegende elektrone sigbare lig met 'n diepblou kleur uitstraal sodra hulle in lug of water inbeweeg. Die vrygestelde elektrone in die atmosfeer straal nou sigbare lig uit, wat soos die ligbundel van 'n flitslig uitbrei en na die grondoppervlak beweeg waar dit met gewone optiese teleskope waargeneem kan word. Op Nooitgedacht gebruik ons vier teleskoopeenhede (Fig. 4). In totaal is daar 12 sferiese spieëls wat elk met 'n sensitiewe detektor toegerus is om die Cerenkovlig te kan waarneem. Die lig vanaf enige Cerenkovgebeurtenis wat binne 'n gebied van 90 000 m<sup>2</sup> om die teleskoop plaasvind, word dan deur die spieëls tot in hulle brandpunte weerkaats. In die brandpunt van elke spieël is 'n sensitiewe fotovermenigvuldiger waarin die energie van die invallende lig gebruik word om enkele elektrone vry te stel, wat op hulle beurt in 'n sogenaamde kaskadeproses tot 'n miljoen elektrone vermeerder word — genoeg om 'n meetbare elektriese pulsie te vorm. Die pulsie is van korte duur ('n tienmiljardste van 'n sekonde) maar is met moderne elektroniese aparatuur, wat hier plaaslik ontwikkel is, meetbaar — trouens, ons gebruik juis hierdie kort duur om die Cerenkovligflits te onderskei van gewone sterlig wat natuurlik voortdurend op die detektor inval.

Aangesien die meerderheid van die voorwerpe wat bestudeer word die een of ander periodiese struktuur in hulle stralingspatroon mag hê, is dit belangrik om die aankomstyd van die Cerenkovligflits akkuraat te meet. Deur middel van radio en televisie is ons teleskoop met die internasionale tydnetwerk gekoppel en kan ons met verfynde elektronika enige tydstip tot een tienmiljoenste van 'n sekonde akkuraat meet. Hierdie aankomstydstippe word dan met behulp van 'n rekenaar op magneetstryke geberg vir latere verwerking en interpretasie.

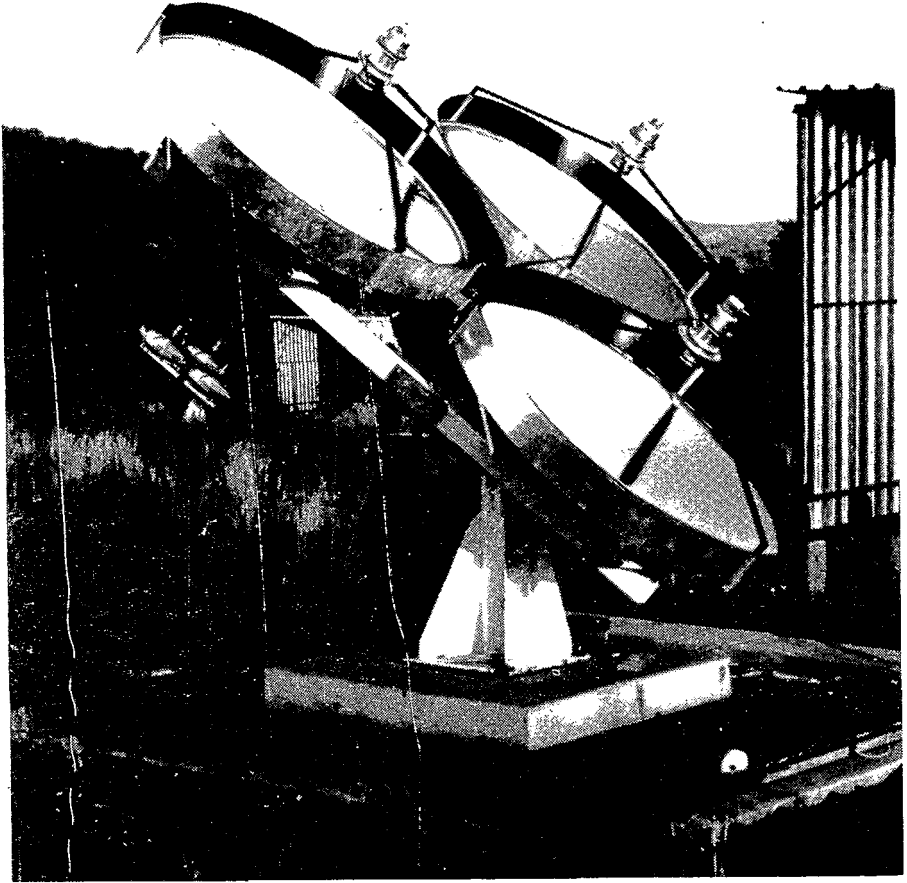
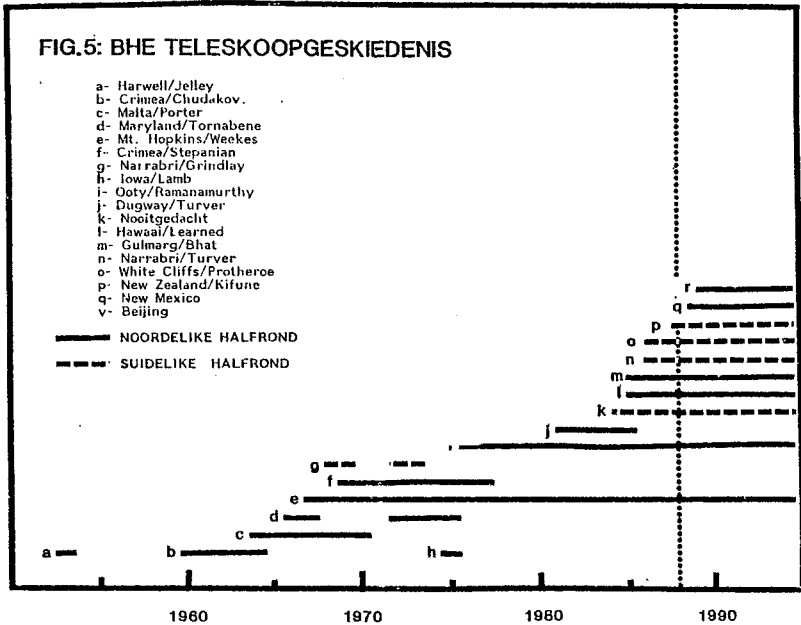


Fig. 4



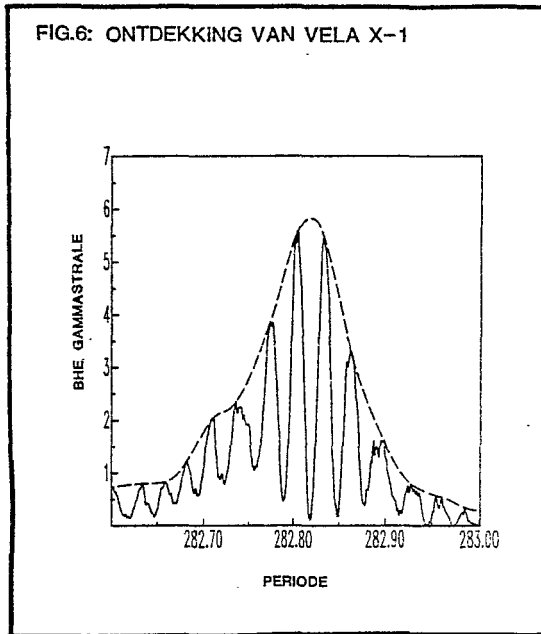
## 5 ENKELE RESULTATE

Kortliks 'n paar woorde oor die resultate wat reeds hier plaaslik en elders verkry is, en die moontlikhede wat hierdie onderafdeling van Astrofisika vir die toekoms bied. Die ontwikkeling van hierdie navorsingsterrein word in Fig. 5 uitgebeeld: Gedurende die eerste twee dekades was die meeste van die teleskope van 'n eksperimentele aard en kon slegs een bron gevind word. Die meerderheid van die nuwe teleskope is egter opgerig met die uitsluitlike doel om langtermynwaarnemings te doen. Hierdie klemverskuiwing het plaasgevind ná die ontdekking van 'n aantal nuwe bronne in die vroeg-tagtigerjare. Vandag is daar reeds twaalf bronne bekend waarvan drie hier plaaslik ontdek is. Dit is ook duidelik dat daar redelik onlangs 'n nuwe belangstelling in die suidelike halfrond ontwikkel het. Die tendens word verwelkom, aangesien verifiëring van resultate op so 'n nuwe navorsingsgebied noodsaaklik is.

In Fig. 6 sien u die verwerkte resultaat van waarnemings, op grond waarvan ons die bron Vela X-1 kon identifiseer. Die aantal gammastrale toon

'n duidelike piekstruktuur by 'n periode van ongeveer 5 minute. Hierdie resultaat is tien dae later deur 'n Japannese X-straalsatelliet bevestig — 'n voorbeeld van die interafhanklikheid en samewerking wat vandag in die Astrofisika bestaan. Sonder die insette van verskeie subgebiede kan geen volledige beeld van 'n verskynsel verkry word nie.

Kan ons enigiets verder leer uit die resultate wat met behulp van so 'n teleskoop verkry is, behalwe om nog nuwe bronne te identifiseer? Die antwoord is 'n besliste JA. Nie net kan tydstruktuuranalises ons meer van die bron vertel nie, maar die resultate stimuleer ook teoretiese werk oor die aard van 'n bron. Uit die bestaande inligting oor die bron Vela X-1 kan byvoorbeeld die volgende model reeds saamgestel word: Dit bestaan uit twee sterre wat nader aanmekaar is as die afstand tussen die aarde en Venus. Die een is 'n sogenaamde blou reus wat twintig keer swaarder as ons son is; die ander is so swaar soos ons eie son maar slegs 20 km in deursnit. Die klein ster staan bekend as 'n neutronster (en dit is waarskynlik op of naby hom waar die waargenome BHE-gammastrale geproduseer word). Hierdie merkwaardige ster is nie net klein nie maar tol elke 5 minute om sy as terwyl hy sy elliptiese baan om die blou reus binne nege dae voltooi. As gevolg van die nabyheid



van die twee sterre en die groot hoeveelheid massa teenwoordig, speel swaartekrag 'n oorheersende rol in hierdie sisteem. Die neutronster suig letterlik materie van die blou reus oor, en soos dit na die neutronster beweeg, word dit voortdurend versnel. By impak op die oppervlak kan tot 15% van die massa van die invallende materie in energie omgesit word. Die energie kan dan direk of indirek as BHE-gammastrale uitgestraal word. Hierdie omsettingsfaktor van 15% moet vergelyk word met 4% vir termokernreaksies wat die energiebron van gewone sterre soos ons son is (en waarvandaan die waterstofbom sy vernietigingskrag kry) en slegs 0,1% vir kernkragreaktors. Deur opvolgwaarnemings van die bron, en inligting vanuit ander astronomieë, mag ons uiteindelik die korrektheid van hierdie model bewys en ook 'n bydrae lewer tot die verfyning daarvan.

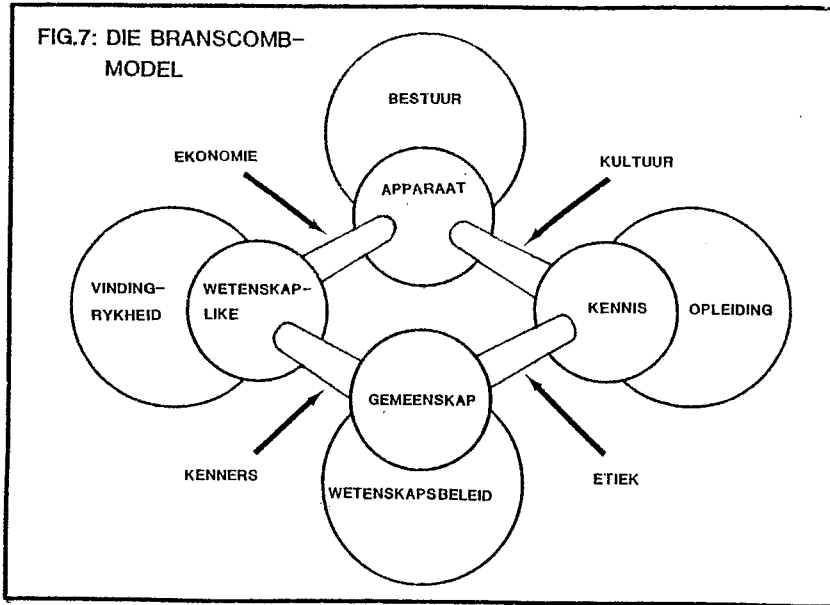
Sisteme waar sulke hoogenergieke prosesse plaasvind, is die ideale omgewing om sterontwikkeling te bestudeer, want alle prosesse vind hier vinniger plaas as by normale sterre. In hierdie navorsing speel BHE-gammastraalastronomie 'n belangrike rol, want dit help om sodanige gebiede te identifiseer. BHE-gammastraalastronomie staan egter nog in sy kinderskoene, en daar is nog baie ruimte vir nuwe insigte en ontwikkelings. Die gebied behoort dus gedurende die volgende dekades vinnig uit te brei.

Vela X-1 mag ook 'n moontlike verklaring bied vir 'n ander probleem: Kosmiese strale is gelaaide deeltjies met baie hoë energie wat voortdurend vanuit die heelal op die aarde inval. Die bron van hierdie straling is egter onbekend. Die BHE-gammastrale wat vanaf Vela X-1 (en ander soortgelyke bronne) waargeneem is, is 'n aanduiding dat sulke hoogenergieke prosesse wel op sterre kan plaasvind en dus moontlik die bron van kosmiese strale kan wees.

## **6 PERSPEKTIEF**

Na sewe jaar se betrokkenheid by hierdie navorsingsterrein wil 'n mens graag terugstaan en perspektief op die werk probeer kry. Gedurende hierdie tydperk is 'n teleskoop ontwerp, opgerig, bedryf, en verskeie opwindende resultate is verkry. Vir die volgende paar jaar kan die teleskoop nog in sy huidige vorm gebruik word, maar doenlikheidsstudies vir 'n meer gevorderde teleskoop is reeds geloods. Beantwoord hierdie eksperiment, wat groot klem plaas op waarneming, aan die doel van universeitsnavorsing, naamlik om hoëvlakmannekrag op te lei? Die ant-





woord is JA, want die student doen self die metings, analiseer die data en kan die resultate publiseer.

Geen navorsingspoging bestaan egter net uit waarneming en interpretasie nie. Die situasie is meer kompleks en word uitstekend deur die Branscombmodel beskryf (Fig. 7). In dié model moet die wetenskaplike met sy kennis en apparaat saam met die gemeenskap 'n hegte eenheid vorm en voortdurend in wisselwerking met mekaar tree. Verskeie eksterne faktore soos opleiding, bestuur en finansiering bepaal die geslaagdheid van die navorsing. Ek wil graag 'n paar elemente van hierdie model uitlig om die uniekheid van die navorser aan 'n Suid-Afrikaanse universiteit toe te lig:

- Eerstens, om die doel van universiteitsnavorsing so goed as moontlik te vervul moet daar hoofsaaklik op *basiese navorsing* gekonsentreer word. Verallyn van die rigtingverandering by die AEK en WNNR, met die gevolglike klemverskuiwing na tegnologies geörienteerde navorsing, is die universiteite feitlik die enigste instansies waar

sodanige werk nog gedoen kan word. Dit mag nie vervang word deur kontraknavorsing wat gewoonlik van beperkte omvang is maar vanweë 'n winsmotief aangemoedig word nie.

- Tweedens is die verskaffing van die nodige *infrastruktuur* (soos geboue, apparaat, vervoer en rekenaardienste), kommunikasiemiddele (telefoon, telex en telefaksimilee), studiemateriaal (biblioteekdienste) en ondersteuningsdienste deur die universiteite noodsaaklik. Daarsonder kan apparate nie effektief bedryf word nie. Die infrastruktuur moet ook aanpasbaar wees om te kan tred hou met die veranderende benodigdhede van die navorser.
- Derdens staan universiteite midde in 'n *rasionalisasieprogram* wat die reeds ondervergoede navorser se doseer- en administratiewe verpligtinge waarskynlik sal vermeerder. Die huidige doseerlas van Suid-Afrikaanse dosente is reeds baie hoër as dié van hulle eweknieë oorsee. Verdere belading sal dit vir die navorser onmoontlik maak om internasionaal te kan meeding.
- Vierdens word die navorser al hoe meer verplig om by buite-instansies om *finansiering* mee te ding. In die meeste gevalle is die geslaagtheid van so 'n versoek gekoppel aan die kwaliteit van die navorsing wat deur die aansoeker verrig word. Dit het tot gevolg dat jong navorsers slegs navorsing wil doen waarvan die resultate gewaarborg is. Omdat dit nie moontlik is nie, verlaat al hoe meer knap wetenskaplikes die universiteite. Hierdie probleem is so groot dat dit van regeringskant ernstige aandag verg, voordat daar te veel navorsers permanent verlore gaan vir die opleiding van die nodige mannekrag.
- Vyfdens die *mannekragituasie*: Geen navorsingsgroep op die platteland in 'n Afrikaanse milieu kan met Engelse universiteite in die stede meeding om mannekrag nie, veral nie ten opsigte van die beskikbare internasionale poel van uitstekende afgestudeerdes nie. Daar moet dus staat gemaak word op 'n beperkte aantal plaaslik opgeleide studente.
- Laastens, die wisselwerking van die wetenskaplike met die *gemeenskap*: Na die aanvanklike breuk tussen die Astronomie en die Kerk gedurende die 16de eeu (waartydens onder andere Giordano Bruno op die brandstapel gesterf het), het die kloof tussen die wetenskap en die gemeenskap steeds gegroei. As gevolg daarvan word die

wetenskaplike vandag vir allerlei negatiewe tegnologiese ontwikkelings verwyd. Dit is die wetenskaplike se plig om onbevange na die publiek te gaan en sy resultate (en moontlike gevolge daarvan) bekend te stel, in gesprek te tree oor die relevansie van sy werk, en om die jeug se belangstelling in navorsing te prikkel. Sonder hierdie tweegesprek sal die wetenskaplike nie daarin slaag om sy situasie aan die universiteit en in die samelewing te verbeter nie.

Nieteenstaande al hierdie probleme kan en moet die wetenskaplike die Branscombatroon aanvaar en daarna streef om effektief daarbinne te funksioneer. Hy mag egter nie die basiese eienskappe van 'n goeie navorser, soos durf en vindingrykheid, negeer nie en moet steeds die gevleuelde woorde van Goethe onthou:

Whenever you can do, or dream you can, do it.  
Boldness has genius, power and magic in it.

Om saam te vat: Enige navorser wat op al die volgende vrae JA kan antwoord, weet hy is op die regte pad:

- Is dit wat jy doen
- mooi
  - bruikbaar
  - moeilik
  - en 'n plesier?

Ek was (en is) bevoorreg om my navorsing in 'n Navorsingseenheid te doen waarvan die Direkteur en al my kollegas met JA op al hierdie vrae reageer en nie terugdeins vir die implikasies daarvan nie. My opregte dank aan hulle, die Instrumentmakery, die departement Elektroniese Dienste en Instandhouding vir hulle ondersteuning by die loodsing en bedryf van hierdie navorsingsprojek. Ook aan die Universiteit en die Stigting vir Navorsingsontwikkeling van die WNNR my dank vir die finansiële ondersteuning wat my in staat gestel het om hierdie uitdagende en opwindende terrein te betree.