

**BROCHURES**

**Nº. 5821**

F

KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK



0570 4413

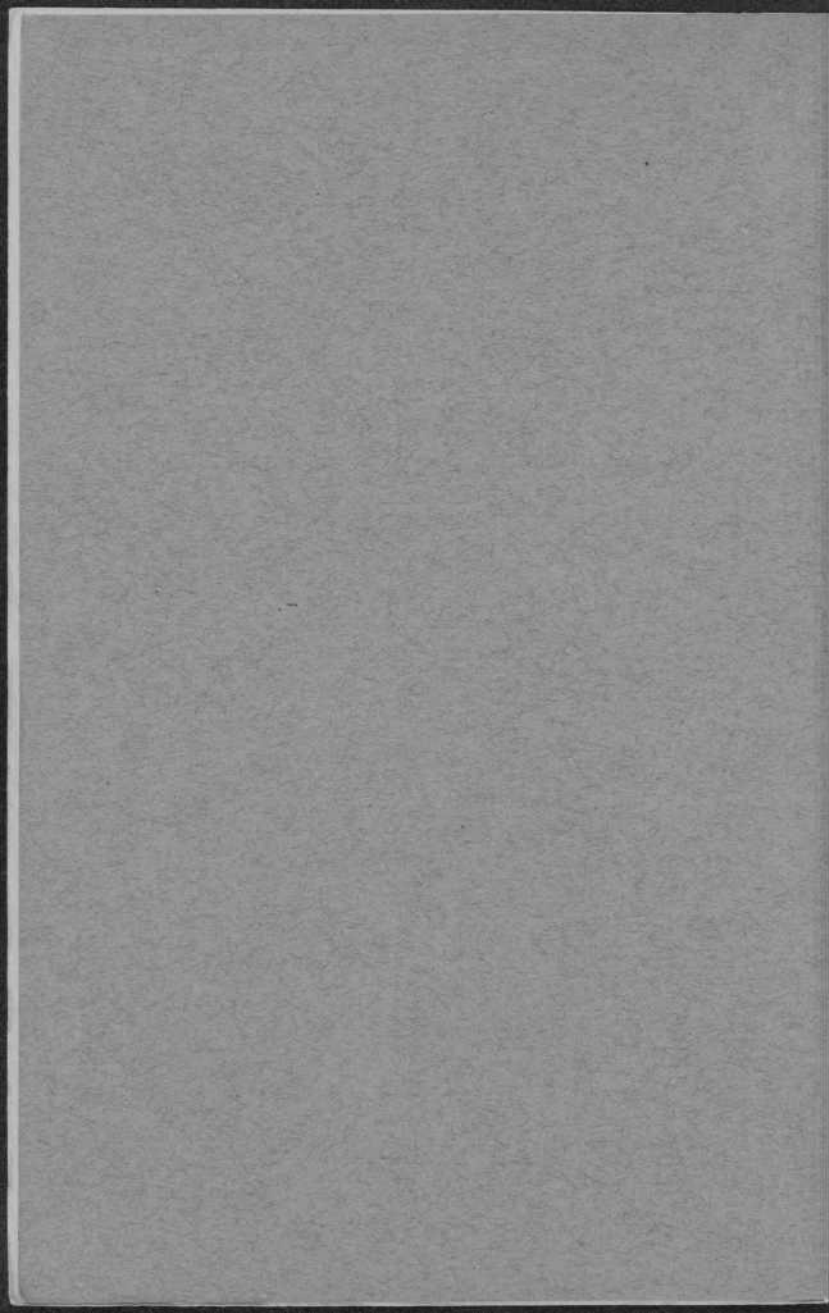
Br

2 December 1925 ma

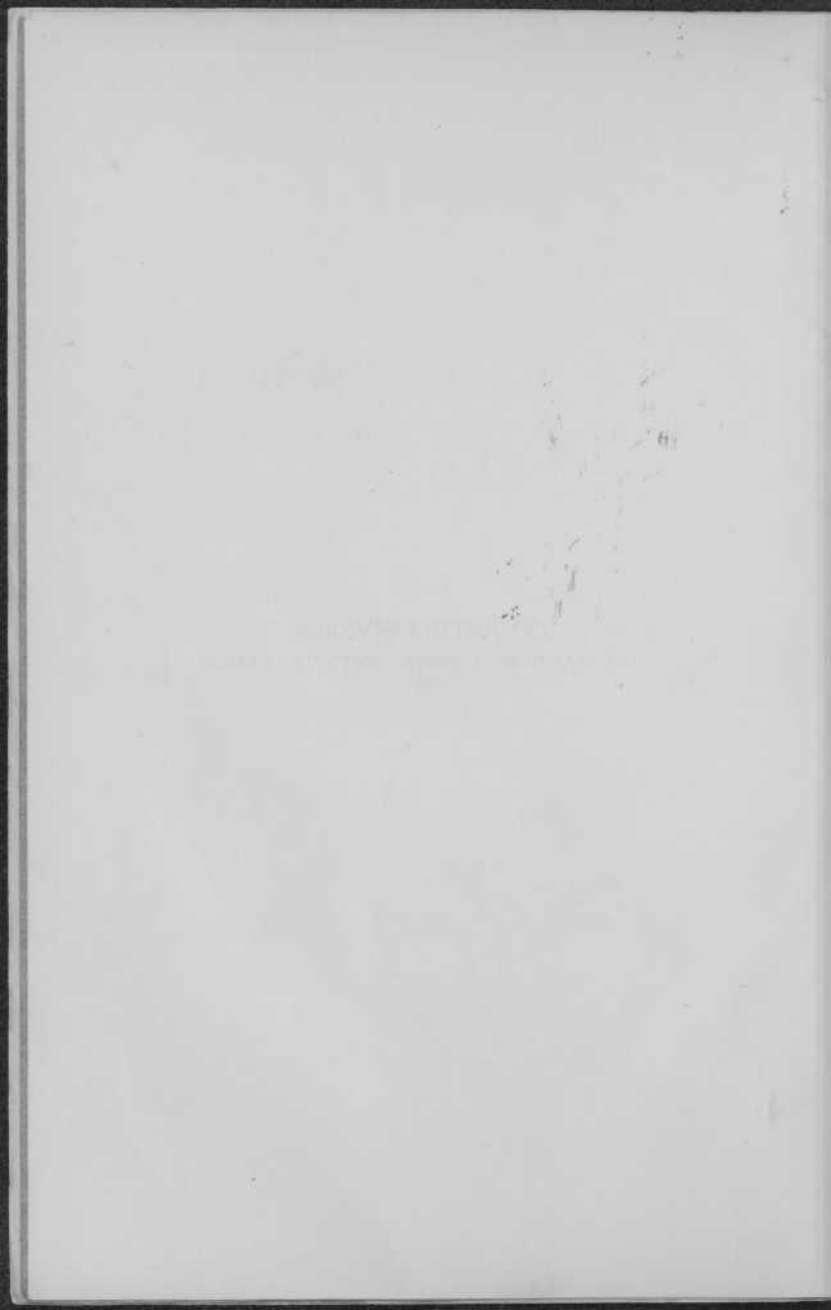
DE ASTROPHYSICA  
EN HARE MODERNE ONTWIKKELING

REDE, UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN BUITENGEWOON  
HOOGLEERAAR AAN DE UNIVERSITEIT  
VAN AMSTERDAM OP MAANDAG  
2 NOVEMBER 1925 DOOR  
Dr. A. PANNEKOEK

DRUKKERIJ EN UITGEVERIJ  
J. H. DE BUSSY  
AMSTERDAM  
1925



DE ASTROPHYSICA  
EN HARE MODERNE ONTWIKKELING



421059

# DE ASTROPHYSICA EN HARE MODERNE ONTWIKKELING

REDE, UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN BUITENGEWOON  
HOOGLEERAAR AAN DE UNIVERSITEIT  
VAN AMSTERDAM OP MAANDAG  
2 NOVEMBER 1925 DOOR  
Dr. A. PANNEKOEK



DRUKKERIJ EN UITGEVERIJ  
J. H. DE BUSSY  
AMSTERDAM  
1925

DE ASTROPHYSICA  
EN HET MODERNE ONTWIKKELING

WET. INDE WISSENSCH. ENDE LETTERKUNDE  
VAN HET LAND NEDERLAND  
VERZAMELT EN UITGEEVEN  
DOOR HET KONINKRIJK  
NEDERLAND





MIJNE HEEREN GEMEENTEBESTUURDERS, CURATOREN,  
PROFESSOREN EN LECTOREN, DAMES EN HEEREN  
STUDENTEN, EN GIJ ALLEN, DIE DOOR UWE TEGEN-  
WOORDIGHEID UWE BELANGSTELLING TOONT.

GEACHTE TOEHOORDERS.

Het is nu nauwlijks een eeuw geleden, dat een der meest vooraanstaande sterrekundigen het doel der sterrekunde omschreef als onderzoek naar en kennis van de beweging der hemellichamen. De natuurlijke gesteldheid der hemellichamen werd niet als onderwerp van ernstige wetenschap, hoogstens als voorwerp van interessante spekulatie beschouwd. Het was de tijd, dat men met de naam *physische* astronomie de leer van de aantrekkingskracht en de storingen der loopbanen bedoelde, en dat men zich de zon als een donkere, misschien wel bewoonbare bol met een lichtgevend omhulsel voorstelde. Van een *astrophysica*, een *physica* der hemellichamen, kon reeds daarom geen sprake zijn, omdat de *physica* zelf noch theoretisch noch practisch zoo ver was, dat zij op de hemellichamen toegepast kon worden.

De 19<sup>de</sup> eeuw, die de astronomie tot de wereld der vaste sterren uitbreidde, heeft ook, speciaal in haar

tweede helft, de astrophysica tot een gelijkwaardig deel van de sterrekunde gemaakt. Wanneer wij van astrophysica als leer van de natuur der hemellichamen spreken, behoort daartoe natuurlijk ook al wat wij van de op onze aarde gelijkende bollen, de maan en de planeten, eenvoudig door de oude methode van kijken en teekenen te weten kwamen. Maar toch denken wij daarbij altijd in de eerste plaats aan die andere, van de aarde zoo verschillende lichamen, de bronnen van licht en warmte, de zon en de vaste sterren; zij vooral zijn het voorwerp van de nieuwe onderzoekings-methoden en de nieuwe inzichten, die de astrophysica tot een der belangrijkste gebieden der sterrekunde hebben gemaakt.

Twee groote ontdekkingen hebben de weg voor deze nieuwe wetenschap gebaad, de een theoretisch, de ander praktisch. De eerste was de opstelling van de wet tot behoud der energie door Robert Mayer, waaraan naderhand aansloot de tweede hoofdwet der warmtetheorie, de wet der entropie, die het principe van een ontwikkelingsrichting formuleerde.

De energiewet heeft in het midden der 19<sup>de</sup> eeuw het vraagstuk opgesteld van het ontstaan en het behoud der zonnwarmte. De verklaring van Helmholtz: door samentrekking van een uitgestrekte gasbol tot steeds kleiner volume, werd algemeen aanvaard. Zij heeft de stoot gegeven tot de belangrijke theoretische afleidingen van J. H. Lane over de ontwikkelingstrappen van een ster, in een opstijgende en daarna een dalende temperatuurlijn, die eerst in veel latere tijden een practische bevestiging zouden vinden.

De praktische ontdekking, die de stoot gaf tot de opkomst der astrophysica, was die der spectraalanalyse door Kirchhof en Bunsen in 1860. Door het licht te ontleden, door alle verschillende lichtsoorten, onderscheiden naar kleur en trillingstijd, die zich anders vermengen, naast elkaar in een spectrum uit te spreiden, zijn zij ieder afzonderlijk te onderzoeken, en kan men zien welke van hen aanwezig zijn, of welke ontbreken en donkere lijnen in de continue kleurenband geven. Wij moeten de geschriften uit die tijd ter hand nemen om ons bewust te worden, wat een wonderbare ontdekking dit was. Daar ieder element zijn eigen speciale emissies en absorpties van bepaalde trillingstijd had, was het mogelijk, door eenvoudig het uitgestraalde licht te onderzoeken, de scheikundige samenstelling van een stof te bepalen. En daar dit licht de eindelooze ruimte onveranderd doorloopt, was deze scheikundige analyse op de verste hemellichamen toe te passen, op de zon, op de vaste sterren. Die verste nauwlijks zichtbare hemellichten, waarvan het licht eeuwen noodig heeft om tot ons te komen, men behoeft slechts een lichtstraal van hen op te vangen, het eenige waardoor wij met hen in verbinding staan, en men leest daaruit af welke soorten van atomen in hun dampkring vibreeren.

Het is dan ook niet te verwonderen, dat deze nieuwe methode van onderzoek dadelijk geestdriftige beoefenaars vond. Dat er niet nog meer waren, lag aan de moeilijkheid van de praktijk; het licht der sterren is zoo zwak, dat het nauwlijks voldoende is om

bij spectrale uitspreiding nog duidelijk zichtbaar te zijn of een indruk op de fotografische plaat te maken. Maar langzamerhand werden de instrumenten lichtsterker; steeds grootere reuzenkijkers werden in dienst van de astrofysica gesteld, steeds betere methoden van onderzoek gebruikt. En zoo hoopte zich in het einde van de 19<sup>de</sup> en het begin van de 20<sup>ste</sup> eeuw een steeds grooter feitenmateriaal van kennis omtrent de natuur der sterren op. Laten wij de hoofdpunten, die het aspect van de astrofysica bepalen, aan ons oog voorbij laten gaan.

De klassificatie der vaste sterren naar hun spectra, door Secchi, Vogel en Pickering toont ons een veelheid van vormen, die in een doorlopende reeks te rangschikken zijn en waaronder onze zon ook een bepaalde plaats inneemt. De regelmatige verandering van de kleur, als men deze reeks van spectraalklassen doorloopt, toont, dat men hier met een reeks van afdalende temperaturen te doen heeft. Waarom bij de hoogste temperatuur, in de z.g. B sterren vooral helium, daarna in de A sterren waterstof, en later in de F en G sterren de groote menigte van metalen optreedt, en of er dus naast of tengevolge van de temperatuurverschillen ook verschillen in samenstelling voorkwamen, moest vooreerst in het midden gelaten worden. Meer dan 99 procent van alle sterren liet zich in deze reeks rangschikken. Maar bij minutieus onderzoek traden toch nog variaties op. Het is vooral de verdienste van Lockyer geweest, op de belangrijkheid van de onderscheiding van vonkenlijnen en booglijnen te

hebben gewezen en op de beteekenis van secundaire intensiteitsverschillen van deze lijnen, waardoor sterren, die op dezelfde plaats in de temperatuurreeks staan, zich nog onderling onderscheiden. Al bleek zijn hypothese van de proto-elementen niet houdbaar, zoo trad toch de waarde van zijn onderscheiding naderhand des te sterker in het licht.

Bij de opeenvolgende spectraalreeks van de witte naar de gele en roode sterren was reeds dikwijls en onwillekeurig aan een ontwikkelingsreeks gedacht, waarbij een ster door daling van haar temperatuur alle spectraalklassen achtereenvolgens doorliep. Er was hier een konflikt met de theorie, die, zooals wij reeds vermeldde, een opstijgende en een dalende temperatuurreeks verwachtte. Dit konflikt werd opgelost, toen Russell de sterren naar hun lichtkracht en hun spectraalklasse in een diagram rangschikte en bemerkte, dat zij twee reeksen vormden, de reeks der dwergsterren, waar het licht vanaf de witte naar de roode steeds zwakker wordt, en de reeks van de reuzensterren, die voor alle kleuren een zelfde groote helderheid vertoont, meer dan 100 maal grooter dan de zon. De verklaring als ontwikkelingsreeks lag voor de hand en werd algemeen aanvaard: een uitgestrekte, rood licht uitstralende gasbol trekt zich samen onder temperatuurverhooging, wordt dus een gele en een witte ster, waarbij de vermindering in grootte gecompenseerd wordt door toenemend lichtuitstralend vermogen; wordt het gas te sterk gecompriëerd om nog veel te kunnen inkrimpen, dan daalt

de temperatuur regelmatig, de ster wordt van wit eerst geel, dan rood, onder gelijktijdige sterke afname van de lichtkracht.

In dezelfde tijdsruimte had zich ook de fysieke zijde van de spectraal-analyse, de studie der aardse spectra door laboratoriumwerk ontwikkeld. Voor de astronomie kon zij niet meer doen dan nauwkeurige golflengten van elk element leveren, om de astronomische spectraallijnen te herkennen. Op haar eigen gebied was de belangrijkste aanwinst de ordening van de lijnen der elementen in harmonisch gebouwde reeksen, door Balmer, door Kayser en Runge, en door Rydberg, een regelmaat, waar nog geen mechanisme aan vast te knopen was, of, volgens een bekend gezegde, een antwoord waar men de vraag niet op wist.

Zoo was de toestand van de astrofysica een tiental jaren geleden: een kolossaal feitenmateriaal met tal van hoogst belangrijke uitkomsten en inzichten, maar toch, alles empirisch. De theorie, die kon zeggen, waarom een spectrum er zoo en zoo moest uitzien, een theorie, die dus kon veroorloven met zekerheid buiten de ervaring te gaan, ontbrak. En zulk een theorie was toch noodig, wilde men uit de aardse proefnemingen met hun beperkt gebied van temperatuur en druk, juiste gevolgtrekkingen kunnen afleiden voor die geheel andere gebieden van temperatuur, die men in de sterren aantreft. Het afgelopen decennium heeft hierin een algeheele verandering gebracht; het heeft het empiristische tijdvak der astrofysica af-

gesloten en aan onze kennis van de natuur der sterren een vaste theoretische basis gegeven.

De grondslag voor deze ontwikkeling is gelegd door de atoomtheorie van Bohr, die leerde hoe de vragen gesteld moesten worden, waar de spectraalreeksen antwoord op geven. Door het mechanisme van negatief geladen electronen, die zich in gesloten banen om een positief geladen kern bewegen, te verbinden met de quantentheorie van Planck, werd de voorstelling verkregen van stationaire banen met bepaalde constante energie-waarde, waarin de electronen zich moeten bewegen en waartusschen zij sprongsgewijze heen en weer kunnen gaan. Neemt een atoom energie op uit een opvallende lichtbundel, dan gaat het buitenste electron van een lager naar een hooger energie-niveau over; valt het weer terug op de baan met het vorige lagere energie-bedrag, dan zendt het het overschot aan energie als lichttrilling uit, waarvan de trillingstijd door dit energie-verschil wordt bepaald. In normale toestand, waarmee wij bedoelen aardsch normaal, bij lage temperatuur, is het de kleinste stationaire baan, die met het laagste energie-bedrag, waarvan het electron telkens bij energie-opname als van een grondbaan uitgeslingerd wordt, en waarop het steeds weer terug valt. Wordt de straling sterker of de temperatuur hooger, dan kan het ook energie opnemen, terwijl het zich nog in de tweede baan bevindt; dan treden als absorptie-lijnen een nieuwe reeks lijnen op, waarvan de trillingstijd door het energie-verschil tusschen de 2<sup>de</sup> en de hoogere banen wordt bepaald. Naarmate

de temperatuur stijgt, wordt het percentage, dat in de 2<sup>de</sup> baan alweer naar boven gejaagd wordt, vóór het tijd vindt naar de laagste baan terug te vallen, steeds grooter, en worden de hieruit ontstane lijnen steeds duidelijker. Een mooi voorbeeld daarvoor is het waterstofspectrum: laat men licht door waterstofgas vallen, dan bemerkt men niets van de bekende Balmerreeks van waterstoflijnen, die in de zon en vooral in de witte sterren zoo sterk is; deze reeks ontstaat dan ook niet door sprongen van uit de grondbaan, maar van uit de tweede baan, en is dus voor zijn optreden aan hooge temperatuur gebonden. Een ander voorbeeld van astrofysisch belang levert het helium; absorptielijnen van helium zijn in het zonnenspectrum niet te zien, hoewel wij weten, dat helium in de zonsatmosfeer voorkomt. Eerst bij een oppervlakte-temperatuur boven 10,000°, dus eerst bij de B sterren, daarom ook heliumsterren genoemd, treden zij op, alweer omdat zij van een hooger niveau uitgaan. Hier hebben wij dus reeds een paar voorbeelden, hoe de moderne atoomtheorie weet te verklaren, wat te voren een onbegrepen empirisch feit der astrofysica was; hoe een enkel verschil in temperatuur veranderingen in de spectra teweegbrengt, die den indruk van verschillende stoffelijke samenstelling maken.

Wordt de straling, die op een atoom valt, steeds intenser en de temperatuur hooger, dan kan het daaruit zoo groote energie-bedragen opsorpen, dat het electron niet slechts naar een hoogere baan wordt opgeheven, maar geheel buiten de aantrekking van de



kern wordt weggeslingerd. Het loopt dan verder als vrij man tusschen het volk der atomen rond, als het ware tot den rang van een klein atoompje verheven, hoewel door zijn negatieve lading wat bijzonder, botsend met anderen en deelnemend in de onderlinge energie-uitwisseling bij deze ontmoetingen. Het verminkte achtergebleven atoom is nu een ander soort atoom geworden, met andere eigenschappen, die in vele opzichten moeten overeenstemmen met een atoom van een element van één rangnummer lager, dat in normale toestand één electron minder heeft; maar het onderscheidt zich daarvan, doordat het door storing van zijn electriche evenwichtstoestand een positieve lading bezit. Het wordt, naar de analogie van de electrolyse, een ion genoemd, en dit proces, de afsplitsing van een elektron, heet de ionisatie van een atoom. In het geioniseerde atoom zijn nu weer buitenste elektronen, die energie kunnen opnemen door in hogere banen op te springen, en deze weer uitstralen door terug te vallen; de lijnenreeksen, die daarbij ontstaan, gelijken in hun structuur op die van het normale atoom van het naast lagere element. Zoo vertoont het spectrum van geioniseerd helium, dat van zijn 2 electronen er een heeft verloren, dezelfde eenvoudig regelmatige bouw als dat van waterstof, waarvan het atoom uit één electron met een kern bestaat. Natuurlijk kan dit proces, bij nog intensiever toevoer van energie, zich herhalen, en dan ontstaan dubbel en driemaal geioniseerde atomen.

De spectra, door geioniseerde atomen geabsorbeerd

of uitgezonden, spelen in de sterren een belangrijke rol. Zij zijn niet anders dan wat Lockyer vonkenlijnen noemde en die hij terecht aan andere atoomsoorten toeschreef dan het gewone boogspectrum. In de z.g. O sterren, die zich aan het begin der reeks van spectraalklassen vóór de heliumsterren voegen, werd door Pickering de harmonisch gebouwde reeks van geïoniseerd helium gevonden, die men eerst voor een modificatie van waterstof hield, totdat Bohr uit zijn theorie de ware betekenis van deze reeks afleidde. Onder de minder heete sterren, die evenals de zon talloze lijnen van ijzer, titanium, calcium, magnesium, chroom en andere metalen vertoont, vonkenlijnen zoowel als booglijnen, treedt het verschijnsel op, dat in de reuzensterren de vonkenlijnen sterker, de booglijnen relatief zwakker zijn dan in de dwergsterren. Deze eigenschap, die op Mount Wilson gebruikt werd om uit de lijnintensiteiten de absolute helderheid en daaruit de afstand en parallaxe van een ster te vinden, laat zich nu uit de atoomtheorie eenvoudig verklaren.

Wij spraken van de uitwerping der electronen door opname van energie uit de opvallende straling. Dit proces wordt echter tegengewerkt door een tegengesteld proces. De vrij rondlopende electronen en de ionen hebben een negatieve en een positieve lading; ontmoeten zij elkaar dan zal het dikwijls gebeuren, dat zij zich weer vereenigen, dat het electron vastgehouden wordt en het atoom tot een normaal neutraal atoom maakt. Er vormt zich tenslotte een evenwichtstoestand,

waarbij de beide processen elkaar juist compenseeren. Wordt de temperatuur hooger, dan worden de splitsingen talrijker en het evenwicht wordt eerst weer hersteld bij een grooter percentage geïoniseerde atomen; wordt de spanning en de dichtheid van het gas grooter, dan is er minder ruimte voor ontwijken, het aantal ontmoetingen en vereenigingen wordt grooter en het evenwicht treedt op bij een lager graad van ionisatie. Nu is in de reuzensterren met hun kolossaal volume de dichtheid veel geringer, dan in een sterk geconcentreerde dwergster; dus is het begrijpelijk, dat daar de vonkenlijnen relatief sterker zijn en de booglijnen zwakker dan in een dwergster.

Deze beschouwingen over het ionisatie-evenwicht kunnen een kwalitatieve verklaring van de verschijnselen geven. Maar om ze ook kwantitatief, in getal en maat, te verklaren, is een meer exacte theorie noodig. Het is wel een vermeldenswaardig bewijs, hoe innig de verschillende wetenschappen, ondanks hun steeds verder uiteenloopen, toch telkens weer samenhangen en elkaar noodig hebben, dat de astrofysica deze theorie heeft kunnen ontleenen aan de scheikunde. De algemeene thermodynamische formules voor chemisch evenwicht, opgesteld door Van 't Hoff, toegepast op het geval van gasmengsels, daarna aangevuld door theoretische berekeningen van de daarin voorkomende chemische constanten, vormden de algemeene theorie. Door deze theorie toe te passen op het mengsel van atomen, ionen en electronen, dat de atmosfeer van een ster vormt, leidde de Ben-

gaalsche physicus Megh Nad Saha, uit de school van Nernst, een formule af, die ons in staat stelt het ionisatie-percentages in zulk een atmosfeer te berekenen, als de temperatuur en druk bekend zijn. Zij is naderhand nog verbeterd en op de nog steviger grondslag der statistische mechanica opgebouwd door drie jonge Engelsche geleerden, Darwin, Fowler en Milne. Deze theorie van het ionisatie-evenwicht maakt eerst een volledige verklaring van de spectra der hemellichamen mogelijk. Het blijkt daarbij, dat de lijnen van een element meestal slechts over een beperkt temperatuurgebied zullen optreden: eerst komen de reeksen, die uit de grondbaan ontstaan; bij stijgende temperatuur treden die uit hogere banen op, maar bij nog verdere stijging worden de atomen weldra geïoniseerd, de lijnen verdwijnen en worden vervangen door het spectrum van de enkel geïoniseerde atomen. Nog hooger temperatuur doet ook deze verdwijnen en vervangt ze door meervoudig geïoniseerde atomen. Deze spectra volgen elkaar op en verdwijnen al naar het bedrag van de energie, die noodig is voor het ontleden van zulk een atoom of ion. Inderdaad blijkt, dat een rangschikking van de atomen naar hun ionisatie-energie tegelijk de volgorde is, waarin zij in de reeks der spectraalklassen optreden: eerst de gewone metalen; verdwijnen deze en hun geïoniseerde atomen, dan treedt de waterstofreeks steeds sterker op, tot ook zij boven  $10,000^{\circ}$  door toenemende ionisatie meer en meer verdwijnt; dan verschijnt helium met de opeenvolgende steeds

moelijker te ontleden atomen van enkel en meervoudig geioniseerde stikstof, koolstof en zuurstof, en eindelijk treedt bij temperaturen tusschen 20,000 en 30,000 graden geioniseerd helium op. Door vergelijking van de theoretische berekening met de verschijnselen der spectraaltypen kon men niet slechts de temperaturen en drukkingen in deze steratmosfeeren berekenen, maar ook omgekeerd uit de sterspectra de ionisatie-energie van atoomsoorten afleiden, waarvoor directe physische gegevens niet te krijgen waren.

Ook het verschil tusschen reuzensterren en dwergsterren werd nu voor theoretische behandeling toegankelijk. In het zichtbare spectrum spelen alleen de buitenste lagen van de ster een rol, daar in deze half doorschijnende materie de blik slechts tot een bepaalde diepte kan doordringen. Al deze buitenlagen, die van buiten naar binnen snel in temperatuur en drukking toenemen, werken mede in de vorming van het uitgestraalde licht, waarvan wij de aard in het spectrum onderzoeken. De opbouw van deze buitenlagen wordt beheerscht door twee factoren, de zwaartekracht aan het oppervlak van de ster en de temperatuur; dus zullen deze beiden de aard van het spectrum bepalen. Omdat bij de reuzensterren door hun groot volume de zwaartekracht gering is, dus de oppervlaktelagen naar beneden uiterst langzaam in dichtheid toenemen, daarom bemerken wij zulk een hooge graad van ionisatie, dus zoo groote sterkte der vonkenlijnen in hun spectrum. Daaruit volgt het merkwaardige resultaat, dat wij uit het spectrum niet

slechts de soorten der elementen en de temperatuur op een ster, maar ook de zwaartekracht aan haar oppervlakte kunnen aflezen. En daar de zwaartekracht door de massa bepaald wordt, geeft dit de mogelijkheid, om dat moeilijk bepaalbare en toch zoo belangrijke element, de massa, ook van enkelvoudige sterren te vinden, waar tot nog toe deze grootheid enkel uit de wederzijdsche inwerking van twee sterren, bij dubbelsterren dus, was af te leiden.

Zoo opent de opstelling van een theoretische basis voor de leer der spectra nieuwe mogelijkheden van onderzoek. Maar haar beteekenis kunnen wij nog algemeener aangeven. Zij verschaft voor het eerst de mogelijkheid om de intensiteiten der spectraallijnen aan berekening te onderwerpen, in getal en maat uit te drukken. In vroegere tijden werd op deze intensiteiten niet veel acht geslagen; men gaf ze bij de nauwkeurige metingen van golflengten in ruwe cijfers aan om sterke en zwakke lijnen niet met elkaar te laten verwisselen. Men kon er niets mee doen, dus had het geen zin, daar veel moeite op te besteden. Nu is dit anders geworden, en nu ontstaat dus de behoefte en de noodzakelijkheid om praktisch deze intensiteiten te kunnen meten. De practische astrophysica wordt nu, op het punt van de sterkte van lijnen, een nauwkeurigheidswetenschap. Reeds is er op sommige punten een begin gemaakt; ook van het Sterrekundig Instituut van deze Universiteit zijn reeds enkele onderzoekingen in deze richting uitgegaan. Reeds worden instrumenten voor het nauwkeurig meten van zulke intensiteiten, berustende op het gebruik

van de photocel van Koch of de uiterst gevoelige thermoziil-inrichting van Moll, hier en daar gebouwd en gebruikt. Een nieuw, haast onafzienbaar veld van praktisch astrophysisch onderzoek ligt hier voor ons open; en wij behoeven er niet aan te twifelen, dat nauwkeurige kwantitatieve intensiteits-bepalingen in de spectra van alle hemellichten nieuwe en belangrijke uitkomsten zullen opleveren.

Bij al wat wij tot nog toe over astrophysica gezegd hebben, ging het over wat wij kunnen zien, de zichtbare spectra, het licht, dat ons door de buitenlagen der sterren wordt toegestraald. Maar daartoe is haar gebied niet beperkt. Willen wij de natuur der hemellichamen kennen, dan moeten wij ook weten hoe zij van binnen uit opgebouwd zijn. Wij kunnen er wel niet binnen in kijken, maar wij weten toch eenige grootheden, die van dezen opbouw afhangen: massa, kleur, lichtkracht. Hier moet de theorie helpen om met haar licht het onzichtbare binnenste der sterren te verlichten — vergeeft deze beeldspraak, die zeker nergens zoo onpassend is als hier, daar toch de gloed binnen in een ster de zonnegloed aan haar oppervlak nog in onvoorstelbare mate overtreft. En inderdaad heeft de theorie geholpen; door de theoretische onderzoekingen van Eddington, die zich vanaf 1916 tot in de laatste jaren voortzetten, zijn wij voor het eerst tot een werkelijke kennis van het binnenste van een ster gekomen.

Het uitgangspunt was een idee van Schwarzschild, de geniale uitstrooier van nieuwe ideeën; het denk-

beeld nl. van het stralingsevenwicht, door hemzelf opgesteld om de opbouw van de steratmosferen te verklaren, en door Eddington op het binnenste van de sterren toegepast. Straling is het groote mechanisme, dat voor uitwisseling van energie dient. Terwijl in het dagelijksch leven en in onze laboratoriumproeven andere vormen van warmte overbrenging: geleiding en convectie, onmiddellijk tusschen de moleculen werken, neemt bij hogere temperatuur de straling steeds meer de overhand. Dat wordt begrijpelijk, als men bedenkt, dat bij tienmaal hogere temperatuur alles wat de moleculen of atomen doen, tienmaal intenser wordt, maar hun straling tienduizend maal intenser. In het gloeiende gas binnen in het sterlichaam stralen alle atomen, de ruimte is dicht opgevuld met trillings-energie, die zich naar alle zijden met de snelheid van het licht uitbreidt. Daarbij valt die straling voortdurend op de atomen, die de energie opvangen, opnemen en haar weer in den vorm van eigen straling uitzenden. Zoo is er een voortdurende uitwisseling van warmte, waarbij elk deeltje zich aan de omgeving aanpast; zoo sijpelt de energie uit het binnenste van de ster, naar buiten van atoom tot atoom doorgezonden, totdat zij eindelijk de oppervlakte, d.w.z. de ijle buitenlagen bereikt, vanwaar ze in de wereldruimte uitstraalt. De temperatuur neemt daarbij ook van binnen naar buiten af; in het middelpunt bedraagt zij bij een gewone gemiddelde reuzenster ongeveer 6 miljoen graden; binnen een bol, die twee derde van de stermiddellijn meet, ligt overal de temperatuur boven een miljoen graden, en in de



daaromheen liggende lagen, die slechts 3 procent van de geheele materie bevatten, daalt zij dan totdat aan de oppervlakte de temperatuur b.v. slechts 6000 graden bedraagt. Wij krijgen alleen straling te zien van deze koude buitenlaag; dat daarbinnen een zoo ongelooflijk geconcentreerde hitte heerscht, kan alleen de theoretische beschouwing leeren, die nagaat hoe zulk een lichaam in evenwicht kan blijven bestaan. En dat deze reusachtige energie-massa in die kleine sterruimte als het ware opgesloten zit en slechts in zoo matig bedrag, als wij waarnemen, naar buiten druppelt, is alleen mogelijk door aan te nemen, dat het heete stergas uiterst ondoorzichtig is en reeds op de kleine afstand van eenige millimeters alle straling absorbeert, die er door heen wil dringen.

Door deze voorstelling van de innerlijke bouw van de sterren uit te werken, vond Eddington dat, zoolang het volume van de ster zoo groot is, dat de atomen elkaar niet hinderen, dus het gas zich als een volkomen gas gedraagt, de totale uitstraling van energie onveranderd blijft, wanneer de ster inkrimpt onder temperatuur-verhooging. Dit stemt dus overeen met het ervaringsfeit, dat reuzensterren van verschillende kleur en temperatuur even helder zijn. Hoe groot die uitstraling is, hangt van de massa af; hoe grooter de massa is, des te grooter in nog veel sterker mate is de uitstraling. Wordt bij de inkrimping het volume echter zooveel kleiner, dat de atomen een merkbaar deel van de vrije bewegingsruimte gaan vullen, dan neemt de lichtkracht af, terwijl de kleur weer rooder wordt. Zoo bevestigde

Eddington's theorie de leer van de ontwikkeling der sterren, die uit Russell's diagram met zijn reuzen- en dwergentak afgeleid was.

Wij spraken daar van temperaturen van millioenen graden, waarbij drukkingen van honderdduizenden atmosferen behooren. Het is zoo eenvoudig zulke buitensporige getallen als rekenuitkomsten te krijgen, en men spreekt de getallen zoo gelaten uit; maar eerst langzamerhand wordt het bewust, wat zij beteekenen en welke geheel nieuwe toestanden van de materie daaraan beantwoorden. Wij zagen reeds, hoe door een sterke opvallende straling de electronen in een atoom naar de buitenbanen van hoogere energie springen en ten slotte geheel uitgeworpen worden — waarbij steeds het tegengestelde proces behoort, dat onder terugkeer naar den eersten toestand de opgenomen energie weer uitgestraald wordt. Dat gaat alles zoo gemoedelijk onder de zachte inwerking van stralingen, die wij aan het oppervlak der sterren kennen, bij temperaturen van 5,000 of 10,000 graden. Maar onder de felle stralingen binnen in een ster wordt het eene electron na het andere uitgeworpen; geheele schillen van electronen worden na elkaar afgerukt, tot alleen dezulke overblijven, die zoo vast zitten, dat hun losrukken een arbeid kost, vergelijkbaar met de kolossale energiemassa's, die voortdurend op het atoom neerhagelen. Dit zijn dan de kritische electronen, die beurtelings uitgedreven worden onder opslorping van energie en dan weer door opname van een der talloze vrij rondvliegende exemplaren

onder uitzending van straling aangevuld worden. Het atoom stelt zich als 't ware vanzelf op die sensible toestand in, waarin zijn vermogen om energie te verzwelgen en weer door te geven zich juist aan de intensiteit van de straling aanpast.

Hier ontmoet de astrophysica de moderne ontwikkeling van de kennis der X-stralen. Deze worden uitgezonden door verstoringen van evenwicht in dezelfde dieper liggende electronenlagen, die in de sterren de werkzame buitenste zijn geworden. De energie van deze diepliggende electronenschillen, die in de Röntgenspectra met groote scherpte gemeten kan worden, is dezelfde, die bij de absorptie van straling in een ster een rol speelt. De vatbaarheid van de atomen om in die sterk afgestroopte toestand energie op te nemen en af te staan, bepaalt de snelheid, waarmee de energie door het sterlichaam naar buiten diffundeert, dus de lichtkracht van de ster. Zoo hangen de waarneembare maten van een ster, lichtkracht in verband met oppervlaktetemperatuur en massa, ten nauwste samen met atoomeigenschappen, die uit physische metingen en theorieën zijn af te leiden. Omgekeerd was het Eddington mogelijk bij zijn eerste berekeningen over de stellaire absorptiecoëfficiënt de afmetingen van de atoomkernen uit de lichtkracht der reuzensterren af te leiden. En niet zoozeer het feit, dat dit met andere afleidingen ongeveer uitkomt, als wel het feit, dat het niet precies uitkomt en dat het verschil tusschen Eddington's uitkomst uit de sterren en Kramers' berekening uit

de physische theorie aanleiding gaf tot tal van onderzoekingen over de oorzaak van het niet precies uitkomen — dat teekent op hoe vaste bodem wij hier gaan, en wat een reusachtige stap voorwaarts hier de wetenschap in de laatste tien jaren heeft gedaan.

Toen Eddington de afhankelijkheid tusschen lichtkracht en massa, die uit zijn theorie der reuzensterren volgde, op de proef stelde voor dat kleine aantal sterren, waar beide goed bekend zijn, bleek hem tot zijn verwondering, dat juist die sterren, waarvan men het niet verwachtte, de dicht samengeperste dwergsterren, er goed aan voldeden. De verwondering duurde niet lang; de voorafgaande beschouwingen over de bijzondere toestand der atomen binnen in de sterren boden onmiddellijk een verklaring. Door het afstroopen van een aantal buitenste elektronenschillen wordt de ruimte, die een atoom inneemt, uiterst klein, duizenden malen minder dan de ruimte, die het gewoonlijk in beslag neemt. Dus hinderen zij elkaar zoo weinig, dat zelfs in een lichaam als onze zon, met een dichtheid grooter dan water, overvloed van vrije ruimte is, en de atomen zich gedragen als een volkomen gas. Zoo was het begrijpelijk, dat ook de dwergsterren zich gedroegen op de wijze als voor de reuzensterren berekend was. En dit nieuwe inzicht bood meteen een verklaring voor een der vreemdste raadselen, waarmee de sterrekunde al sinds jaren gekweld werd: het raadsel der witte dwergen. Sterren als de begeleider van Sirius toonen door hun witgekleurde straling hun hooge temperatuur; hun uiterst zwakke lichtkracht, tien-

duizend maal zwakker dan de hoofdster toont, dat ze een zeer klein volume moeten hebben; terwijl dan hun massa, die weinig kleiner is dan die van de hoofdster, een dichtheid eischt, die niet alleen de hoofdster, maar ook al onze aardsche stoffen duizenden malen overtreft. Men achtte zulk een soort van materie met een soortelijk gewicht ver boven 1000 onmogelijk; nu bleek aan Eddington, dat die onvoorstelbare toestand heel eenvoudig verklaarbaar was. Want zijn de atomen van hun buitenschillen van elektronen beroofd, dan kunnen zij zoo dicht op elkaar gepakt worden, dat er in een zelfde volume duizenden malen meer gaan, dan in onze dichtst samengepakte, zwaarste stoffen.

Zooveel licht deze nieuwe voorstellingen op oude problemen wierpen, zooveel moeilijkheden traden nu anderzijds op. Want nu dwergsterren, theoretisch gesproken, niet meer bestaan, omdat zij zich moeten gedragen als reuzensterren, nu verviel de geheele verklaring van Russell's ontwikkelingsdiagram; en de reden, waarom de sterren zich praktisch in de beide door hem gevonden reeksen rangschikken, komt weer in het duister te liggen. In plaats van deze ontwikkelingsleer der sterren drong zich nu een andere op, die vooral door Jeans is uitgewerkt. Wanneer alle sterren zich langs een lijn laten rangschikken van dalende lichtkracht en gelijktijdig afnemende massa, is dat dan wellicht een ontwikkelingslijn? Volgens de relativiteitstheorie bezit de energie traagheid en beteekent verlies aan energie tegelijk verlies aan massa. De zon en de sterren stralen reusachtige hoeveelheden energie

in de ruimte uit; zij moeten dus een precies berekenbaar bedrag aan massa verliezen, dat b.v. voor de zon 4 miljoen tonnen per secunde bedraagt. Dit is veel te weinig om praktisch in eenig verschijnsel in afzienbare tijden merkbaar te worden; maar het is van de hoogste beteekenis voor de evolutie van het heelal. Deze evolutie bestaat dan in hoofdzaak in een langzaam opbranden en zich zelf verteren van de sterren, waarbij de massa langzaam afneemt, met de massa tegelijk de lichtkracht vele malen sterker vermindert, reuzensterren tot dwergsterren worden, en deze tenslotte uitdooven. De levensduur van een ster wordt daarbij veel grooter, dan men vroeger dacht; waren de astronomen langzamerhand, mede onder de pressie van de geologie, tot 1000 miljoen jaren geklommen, nu krijgen wij ineens tijdsruimten nog 1000 maal langer tot onze beschikking, een tijdsruimte, die overigens voor een goed begrip van de ontwikkeling der ster-systemen goed te pas komt.

Hiermee komen wij nu in aanraking met een ander probleem, dat ook reeds door Eddington in zijn eerste berekeningen werd aangeroerd. Eddington nam aan, volgens de ervaring, dat uit een ster een energiestroom van binnen naar buiten gaat; natuurlijk niet uit het middelpunt alleen, maar aanzwellend doordat alle lagen van de ster er toe bijdragen. In elk deel van het sterlichaam moet dus warmte-energie ontstaan. Voor de berekening komt het hoe er niet op aan; maar natuurlijk stellen wij de vraag: hoe en waaruit ontstaat die energie? Het is geen nieuw

probleem, dat wij aanroeren; het is natuurlijk het oude vraagstuk van de bron der zonnewarmte, dat Mayer en Helmholtz reeds bezighield, in nieuwere vorm. Men kan dan ook Eddington's theorie van de opbouw der sterren door stralingsevenwicht heel goed verbinden met Helmholtz' opvatting van het ontstaan der warmte-energie door contractie — maar dan is toch alles in te kleine stijl. Zijn er geen andere bronnen?

De ontdekking der radioactiviteit heeft ons met een energie-mijn bekend gemaakt van een rijkdom, als nooit te voren vermoed was; de vergelijking is reeds uit populaire werken bekend, dat de interatomaire energie, bevat in een paar gram waterstof, voldoende zou zijn om alle machines der aarde te drijven — als wij ze er maar uit wisten te halen. Wanneer dus in het binnenste der sterren zware, ingewikkeld gebouwde atomen uiteenvallen tot lichtere eenvoudiger gebouwde, dan staan haast onbegrensde hoeveelheden energie ter beschikking voor een levensduur van een ster, zoo lang men wil. Maar als deze gedachte waarheid bevat, dan is daarmee het probleem in kosmischen zin toch niet opgelost. Want wanneer inderdaad deze afbraak van zware atomen de bron van de warmte-energie in een ster, dus de bron van alle straling in het heelal is, dan dringt zich vanzelf de vraag op, hoe en waar die gecompliceerde zware atomen zich uit eenvoudiger bestanddeelen gevormd hebben, de vraag dus naar het omgekeerde proces, waarvoor evenveel energie noodig was, die weer van elders

moest komen. Deze oplossing is dus in den grond een verwijzing naar een ander probleem. Eddington heeft er omgekeerd op gewezen, dat bij het ontstaan van atoomkernen uit waterstofkernen of protonen, waarbij massa verdwijnt, ook zooveel energie moet ontstaan, dat daardoor de straling van een ster voor langen tijd gedekt kan worden.

Een andere weg ter verklaring biedt nu de theorie van Jeans. Dat door de uitstraling van een ster haar massa afneemt, beteekent niet anders, dan dat vernietiging der materie, b.v. door vereeniging en wederzijdsche opheffing van negatieve electronen en positieve protonen, de oorspronkelijke bron is van de warmte-energie in het heelal. De gedachte, dat de miljoenen jaren voortdurende straling der sterren gekocht moet worden door een geleidelijke zelfvernietiging van de materie, is misschien weinig troostrijk, zelfs al loopt dat eerst in tijdsruimten van millioen maal millioen jaren af. Maar ook daarbij dringt zich vanzelf de vraag op, of er dan niet elders het omgekeerde proces plaats vindt: ontstaan van materie. En die vraag moet ook gesteld worden, omdat de energie, die de sterren in de ruimte uitstralen, niet vernietigd wordt, maar in het heelal blijft en dus zeker weer uitgangspunt voor nieuwe ontwikkelingen moet zijn. Vergun mij echter hier niet op in te gaan, want hier geraken wij in speculaties, waar elke vaste grond van ervaring voorloopig nog ontbreekt.

Wij spreken hier over het grootste van alle kosmische vraagstukken: wij zien hier de wetenschap haar



weg zoeken naar de bron van alle warmte-energie, van alle leven in het heelal, niet slechts in de overdrachtelijke zin van de ontwikkelingsgeschiedenis der wereldbollen, maar ook in de letterlijke zin van het organische leven op aarde, ons eigen leven. Want wij weten, dat ons leven, dat alle leven op aarde slechts de zachte nawerking is van de geweldige processen in die saamgeperste vuurconcentraties, die wij sterren noemen. Het is dan ook geen wonder, dat elke stap, die hier in de richting van voortgaande kennis gedaan wordt, meer nieuwe vraagstukken stelt, dan oude oplost.

Kunnen wij nu zeggen, dat voor deze probleemstelling de empirische grondslagen reeds vast en onwrikbaar gelegd zijn? Ook dat niet. De betrekking tusschen lichtkracht en massa, door Eddington theoretisch afgeleid en praktisch bevestigd, staat wel als een groote aanwinst midden in deze ontwikkeling der wetenschap, maar het is twijfelachtig of zij de geheele waarheid weergeeft. Reeds zijn eenige uitzonderingen bekend; de verscheidenheid van kleur en oppervlaktetemperatuur der sterren speelt er geen rol in en is als niet bestaande; de practische ordening der sterren in de reeksen van Russell blijft onverklaard. Het is een te starre, simplistische, een te weinig soepele wet, waaraan Eddington de sterren wil onderwerpen; de werkelijkheid is ongetwijfeld ingewikkelder en rijker. Een poging om die meerdere soepelheid er in te brengen, is door Jeans gedaan, maar men kan niet zeggen, dat zij geheel geslaagd is. Een grooter

ervaringsmateriaal, vooral van massa's — en daarmee komen wij weer tot de zoo straks behandelde vraagstukken van practisch astrophysisch werk — zal noodig zijn, om de weg naar een beter en vollediger samenhang te banen.

Samenvattend kunnen wij zeggen, dat de moderne ontwikkeling der astrophysica, door een innige samenwerking van physica en astronomie, een algeheele omkeering in onze kennis van de natuur der sterren gebracht heeft. En dat niet eens zoozeer door de problemen, die zij oplost, als wel door de problemen, die zij stelt. Maar ligt niet juist in de problemen, die een wetenschap stelt, veel meer dan in de oplossingen, die zij gevonden heeft, de maatstaf voor de wijidheid van haar perspectieven, voor de grootschheid van haar wereldbeschouwing?

Misschien komt bij iemand de gedachte op: die problemen der astrophysica mogen zeer interessant zijn, maar wat hebben wij menschen ten slotte aan deze kennis omtrent de natuur der verre sterren? Kan deze wetenschap ooit eenig practisch nut hebben? Wij zullen ons van deze vraag niet afmaken door de lof van het abstracte weten te zingen; ook de wetenschap moet het leven dienen. Wij achten niet, zooals dat in vroegere jaren wel geschiedde, de practische nuttigheid van een lagere orde dan de zuivere wetenschap. Wij meenen, dat de wetenschap ten doel heeft het leven van de menschheid beter, gelukkiger, rijker te maken. Rijker ook in materiele zin, door haar een grootere overvloed van levensbenooidigheden te verschaffen, door volle-

diger heerschappij over de natuurkrachten, door ruimere beschikking over de energie-bronnen der natuur. On-eindig veel rijkere bronnen, dan onze techniek nu ten dienste staan, hebben wij in onze beschouwingen leeren kennen als werkzaam in de sterren. Zullen zij ons ooit technisch toegankelijk worden? Wij weten het niet; maar zal het mogelijk zijn, dan slechts zoo, dat wij eerst door voortgezet wetenschappelijk onderzoek de wetten trachten op te sporen, waardoor deze processen beheerscht worden, in de sterren, en op aarde. En het is niet uitgesloten, als men in komende tijden dit probleem heeft opgelost, dit voor de toekomstige menschheid boven alles belangrijke praktische probleem, dat bij een terugblik dan op de hedendaagsche astrophysica zal moeten worden gewezen, op het onderzoek der ster-spectra, als de eerste oorsprong van de inzichten, waaruit de oplossing zich heeft ontwikkeld.

Deze aanduiding beteekent niet, dat slechts door een verwijzing naar een denkbeeldige toekomst het bestaansrecht van deze wetenschap der sterren bepleit kan worden. Haar bestaansrecht, haar waarde ligt op ander terrein: als noodzakelijke schakel in het geheel der wetenschappen. Alle natuurwetenschap vormt een geheel, elk deel is met alle anderen verbonden door de ontwikkeling van de wetenschappelijke methoden, door de verruiming van het algemeen wereldinzicht, door de opbouw van een breede wereldopvatting, waartoe elk bijdraagt, en die elk op zijn beurt noodig heeft. Steeds nemen de wetenschappen van elkaar de werk- en denkmethoden over,

die ieder op haar terrein ontwikkelt, elk schoolt op haar wijze de menschelijke geest, om hem te maken tot een werktuig, zoo voortreffelijk mogelijk voor het onderzoeken der natuur. In dit geheel kan geen wetenschap gemist worden zonder ook de anderen te benadeelen. Dit is het wat wij verstaan onder de geestelijke waarde van alle zuivere wetenschap, die een onafscheidelijke voorwaarde is voor de onmiddellijke praktische diensten, die de een meer, de ander minder aan de menschheid bewijst. En daarin ligt de groote waarde, die de moderne vooruitgang der astrophysica, als elke groote aanwinst der wetenschap, voor de menschheid heeft.

MIJNE HEEREN CURATOREN EN LEDEN VAN HET  
GEMEENTEBESTUUR.

Historische omstandigheden hebben bewerkt, dat jaren lang de sterrekunde aan deze Universiteit niet de plaats innam, die haar aan andere universiteiten werd ingeruimd. Wij verheugen ons, dat het thans anders is geworden, omdat wij overtuigd zijn, dat zonder aanraking met de sterrekunde de opleiding in de verwante natuurwetenschappen iets mist; dat de sterrekunde aan de beoefenaars van deze vakken iets kan geven in werkmethoden en inzichten, wat zij elders niet vinden en wat toch van waarde is. Daarbij denk ik niet slechts aan de gelegenheid, die thans bestaat, de vraagstukken der astronomie op college te behandelen, maar vooral ook aan de

stichting van het Sterrekundig Instituut aan deze Universiteit, nu vier jaar geleden. Want slechts dat levende contact met de wetenschappelijke wereld, dat door deelneming aan het onderzoek der natuur — zij het ook met bescheiden hulpmiddelen — wordt bewerkt, kan aan het onderwijs het leven en de actualiteit geven, die juist voor academisch onderwijs noodig zijn. Daarom wil ik hier, de eerste maal dat mij dat in het openbaar mogelijk is, mijn warme dank uitspreken voor de bereidwilligheid, waarmee toen mijn voorstellen onmiddellijk door U zijn aanvaard; het geeft mij het vertrouwen, dat ik ook in het vervolg, als verbetering noodig blijkt, op Uwe welwillende overweging mag rekenen. Ik hoop, dat mijn werk, in onderwijs en onderzoek, zal mogen bijdragen tot den bloei van deze Universiteit.

MIJNE HEEREN HOOGLEERAREN EN LECTOREN  
VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUUR-  
KUNDE.

Van velen onder U heb ik reeds herhaaldelijk blijken van vriendschap en ondersteuning in mijn werk mogen ondervinden. Ik hoop, dat Gij mij deze ook bij onze verdere samenwerking zult willen schenken.

DAMES EN HEEREN STUDENTEN IN DE WIS- EN  
NATUURKUNDIGE VAKKEN.

Wij zijn geen onbekenden voor elkaar. Reeds eenige jaren had ik gelegenheid met U sterrekundige

onderwerpen te bespreken. De belangstelling, die ik daarbij bij U mocht ontmoeten, heeft voor mij dit onderwijs tot de aangenaamste herinnering van deze jaren gemaakt. Ik hoop, dat ik ook bij mijn toekomstig werk deze zelfde belangstelling zal vinden.

---



