DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Zehnter Jahrgang

10. November 1922.

Heft 45.

J. C. Kapteyn und sein astronomisches Werk.

Von A. Pannekoek, Amsterdam.

I.

Jacobus Cornelius Kapteyn wurde am 19. Januar 1851 im Dorfe Barneveld, wo sein Vater eine Schule besaß, geboren, der siebente unter 10 Brüdern und Schwestern. Er studierte Mathematik und Physik in Utrecht, und nichts ließ damals ahnen, daß einst die Astronomie sein Arbeitsfeld sein sollte; seine Doktordissertation handelte über einen physischen Gegenstand, die Vibration ebener Membrane. Nur durch Zufall geriet er in das Gebiet der Astronomie hinein. Nach vollendetem Studium suchte er eine wissenschaftliche Stellung; er wollte in irgendeiner Wissenschaft als Forscher tätig sein, ohne im voraus zu wissen in welcher. So bewarb er sich damals um den Posten eines Meteorologen in Batavia, der aber gerade besetzt war; auch trat er in Unterhandlung über einen Posten in China. Als dann an der Leidener Sternwarte durch die Berufung Valentiners nach Mannheim die Stelle eines Observators offen kam, trat er dort 1875 ein. An dieser Sternwarte, wo seit kurzem Van de Sande Bakhuyzen als junger Nachfolger Kaisers dessen Werk fortführte, nahm er sofort an den Beobachtungen und Rechnungen teil. Große Beobachtungsreihen konnte er nicht anstellen; der Meridiankreis wurde eben, nach Vollendung der Zonenbeobachtungen, in Reparatur gegeben und Kapteyn machte währenddessen Studien mit dem Universalinstrument. 1877 beteiligte er sich an den Beobachtungen von Mars und seiner Vergleichssterne zwecks der Bestimmung der Sonnenparallaxe (wobei die Leidener Beobachtungen sich durch Genauigkeit auszeichneten); auch machte er den Anfang der Beobachtungen der Polsterne über 80° Deklination mit. Im nächsten Jahre, 1878, siedelte er als Professor der Astronomie nach Groningen über, wo er bis zu seinem Rücktritt 1921 geblieben ist.

Mit seinen Leidener Übungen am Universalinstrument stand seine erste astronomische Arbeit im Zusammenhang. In einem Aufsatz, den er 1884 in der Zeitschrift „Copernicus“ veröffentlichte, „Über eine Methode, die Polhöhe möglichst frei von systematischen Fehlern zu bestimmen“, machte er den Vorschlag, Altazimutbeobachtungen zur Verbesserung der Fundamentalbeobachtungen zu verwenden. Darin zeigt sich schon als wichtiger Zug sein freier Blick und sein selbständiges Urteil gegenüber der überkommenen Tradition astronomischer Methoden. Zum

Teil war dabei wohl der Umstand wesentlich, daß er nicht als Astronom in der Schule einer Sternwarte erzogen war — ähnlich wie gerade in der Astronomie so viele der hervorragendsten Forscher —, sondern als gereifter junger Wissenschaftler von außen hereinkam. Die kurze Leidener Zeit hat dann ausgereicht, ihn nicht nur mit Theorie und Handhabung der Instrumente völlig vertraut zu machen, sondern ihm auch die Mängel, die den Fundamentalbeobachtungen anhaften, klar vor Augen zu führen und auf Mittel der Abhilfe zu sinnen. Das gilt namentlich für die Deklinationen; die großen systematischen Differenzen zwischen den Katalogen der besten Sternwarten weisen auf die Möglichkeit großer systematischer Fehler hin trotz der Genauigkeit in bezug auf die zufälligen Fehler; und die Hauptursache liegt zweifellos in dem unbekannten, an jedem Ort abweichenden Gesetz, nach dem die Refraktion sich mit der Zenitdistanz des Gestirns ändert. Kapteyn entwickelt daher eine Methode, die Polhöhe frei von den Fehlern der Deklinationen und von den Fehlern in dem angenommenen Gesetz der Refraktion zu finden. Der Grundgedanke ist dieser: von einer Anzahl gleichmäßig auf dem Parallel verteilter Sterne mit einer mittleren Deklination von nahezu $2\varphi - 90^\circ$ werden die Zeitdistanzunterschiede gegen einige Polsterne sowohl in oberer als in unterer Kulmination, also im Mittel gegen den Pol selbst, gemessen (z. B. mit Zenitteleskop oder sonst mit dem Höhenkreis); dann werden die Azimuthe dieser Sterne im O und W gemessen, aus denen auf die Meridianzenitdistanz im Süden geschlossen werden kann; beide zusammen geben also die Zenitdistanz des Pols, ohne absolute Höhenmessungen oder Deklinationen zu benutzen. Soviel wir wissen, ist diese Methode nur einmal, von Courvoisier mit dem Straßburger Altazimut (in seiner Doktordissertation 1901), praktisch erprobt worden.

Die Überzeugung, daß die Fundamental-kataloge viel größere und systematische Unsicherheiten in sich bergen, als mancher Astronom sich denkt, ist Kapteyn während seines ganzen Lebens geblieben. Denn jedesmal stieß er in seinen Untersuchungen darauf, daß in den von ihm benutzten Eigenbewegungen (des großen „Preliminary General Catalogue“ von Boss) noch systematische Fehler steckten. Bisweilen konnte er sie selbst bestimmen, indem er von dem Prinzip ausging, daß die Gesetzmäßigkeiten in der E. B. (durch Sonnenbewegung, Strombewegung) die großen und die kleinen E. B. verschieden, die

systematischen Katalogfehler dagegen sie in gleicher Weise affizieren. Aber immer betonte er die Notwendigkeit, die allgemein adoptierten Fundamentalsysteme durch besondere Untersuchungen zu kontrollieren und zu verbessern, und oft suchte er solche Beobachtungsreihen anzuregen. Noch in dem letzten Jahre, als er die Leitung der Meridianabteilung der Leidener Sternwarte auf sich genommen hatte, beschäftigte er sich mit dieser Frage. Auf seinen Vorschlag sollen die Gelder einer Stiftung in Leiden dazu bestimmt werden, systematische Beobachtungen im Sinne seines früheren Vorschlages anzustellen. Und seine letzte Arbeit, einige Monate vor seinem Tode vollendet und in dem Bulletin der holländischen astronomischen Institute im März dieses Jahres veröffentlicht, ist wieder diesem Problem gewidmet. Da schreibt er:

„Ich weiß nichts so Niederdrückendes in der ganzen Astronomie als von der Betrachtung der zufälligen Fehler unserer Sternörter zu deren systematischen Fehlern überzugehen. Während viele unserer Meridianinstrumente so vollkommen sind, daß sie durch eine einzige Beobachtung den Sternort bis auf $0'',2$ oder $0'',3$ bestimmen, mag dennoch das beste Resultat aus tausend Beobachtungen aller unserer besten Sternwarten einen wirklichen Fehler größer als eine halbe Sekunde haben. . . . Für die Deklination sind diese Fehler viel schwerwiegender, und es scheint mir, daß unsere heutigen Methoden keine Lösung versprechen. Es war schon lange meine Überzeugung, daß solch eine Lösung nur erfolgreich sein kann durch die Benutzung von Methoden, bei denen die Refraktion keine oder nur eine sekundäre Rolle spielt. Persönlich bin ich überzeugt, daß die Frage der gründlichen Bestimmung der systematischen Fehler unseres Deklinationssystems die dringendste aller Fragen der Fundamentastronomie ist.“

Dann schlägt er vor, diese Frage zu lösen durch eine Wiederholung von ein paar Hundert photographischen Platten, die zur Parallaxebestimmung der *Boss*-Sterne gedient haben. Diese Wiederholung wird gestatten — durch Vergleichung mit den alten Platten —, die Eigenbewegung der kleinen Sterne verschiedener Größe relativ zum Zentralstern in allen Teilen des Himmels genau zu bestimmen, also ihre Eigenbewegung im *Boss*-System; unsere theoretischen Kenntnisse der geringen Eigenbewegungen solcher Sterne werden dann gestatten, die systematischen Fehler dieses Systems zu ermitteln.

II.

Eine zweite Frucht der ersten Groninger Jahre war die Methode zur *Bestimmung von Sternparallaxen durch Registrierbeobachtungen am Meridiankreis*. Bis dahin war der Meridiankreis zwar bisweilen zur Messung der Parallaxen in Deklination verwendet worden (trotzdem für niedere Deklinationen der Einfluß der Parallaxe

auf die Deklination erheblich verringert wird), aber die Rektaszensionen wurden als zu ungenau betrachtet, namentlich verglichen mit der hohen Genauigkeit von Mikrometer- und Heliometerbeobachtungen. Nun zeigten jedoch die mit diesen Mitteln gewonnenen Parallaxen so große Differenzen, daß offenbar die zufälligen Fehler eine unbedeutende Rolle gegenüber den systematischen Fehlern spielten. Daher glaubte *Kapteyn*, daß die feste Aufstellung des Meridianfernrohrs und die Einfachheit der Beobachtung, die eine große Sicherheit gegen systematische Fehler versprachen, die Methode der Messung von Rektaszensionsdifferenzen doch konkurrenzfähig machen könnten. Der zufällige Fehler war bei der Registriermethode nicht gar groß und konnte durch die kurze Zeit der Beobachtung aufgewogen werden (ein Stern mit zwei Vergleichssterne kostete nur 15 Minuten), falls man durch ein längeres Programm vieler einander folgender Sterne diesen Vorteil ausnutzte. Zur praktischen Erprobung der Methode konnte er den Leidener Meridiankreis benutzen. Da er dabei auf die Ferienzeiten angewiesen war, mußte er sein Programm dementsprechend auswählen. In den Weihnachtsferien 1885—86 und 1886—87 und den Osterferien 1885 und 1887 arbeitete er, durch schlechtes Wetter außerordentlich gehemmt, ein Programm von 15 Parallaxestern (dritter bis achter Größe) und 30 Vergleichssterne durch. Der wichtigste systematische Fehler, der daraus entsteht, daß Sterne verschiedener Helligkeit in verschiedenem Maße zu spät registriert werden, wurde unschädlich gemacht, durch Anwendung verschiedener Objektivgitter, die die hellen Parallaxesterne zu der mittleren Helligkeit der Vergleichssterne abschwächten. In einer außerordentlich sorgfältig durchgeführten Diskussion (im 7. Band der *Annalen der Leidener Sternwarte* 1891 veröffentlicht) konnte *Kapteyn* nachweisen, daß der wahrscheinliche Fehler des Resultats einer Beobachtung ($0'',13$) ein sehr nahe richtiges Maß der wirklich erreichten Genauigkeit abgab, und daß kaum erhebliche systematische Fehler mehr darin stecken könnten. Da bei den Parallaxebestimmungen mit dem Heliometer, von denen eben eine schöne reichhaltige Reihe von *Gill* und *Elkin* an der Kapsternwarte angestellt war, eine Beobachtung einen wahrscheinlichen Fehler von $0'',075$ hatte, dafür aber auch viermal längere Zeit in Anspruch nahm, war der Schluß berechtigt, daß die *Kapteynsche* Methode neben der heliometrischen ihren Platz einzunehmen verdient.

Es handelte sich dabei weniger um die 15 Parallaxen, die als Resultat der Beobachtungen herauskamen (so wertvoll und gut sie an sich waren), als um die Feststellung der Bedeutung und der Aussichten der Methode. *Kapteyn* entwarf dabei sofort einen allgemeinen Plan zu *Massenbestimmungen von Parallaxen*. „Es erscheint nämlich eine umfangreiche Kenntnis von

Fixsternparallaxen so dringend erwünscht für die Entwicklung der Stellarastronomie, daß man das einigermaßen Erreichbare auch gewiß zu erreichen suchen wird.“ Die Fragen, wie groß der mittlere Wert der Parallaxe von Sternen 1., 2., 3. Größe ist, in welcher Beziehung die Parallaxen zu Größe und Eigenbewegung stehen, und welche Fixsterne der Sonne am nächsten stehen, können nur durch sehr viele Bestimmungen gelöst werden. Während für die schwächsten Klassen die Photographie am meisten verspricht, wird man für die 1000 Sterne bis zur fünften Größe am besten die Registriermethode benutzen. Zuerst wird für diese eine globale Bestimmung aus acht Beobachtungen (w. F. 0",05) gemacht, die ausreicht für die statistischen Fragen; die gefundenen Parallaxen über 0",05 (etwa 400) werden dann durch weitere Messungen auf ihre Realität untersucht und genauer bestimmt. Eine solche Arbeit wäre von zwei Sternwarten, auf jeder Halbkugel einer, in acht Jahren zu vollenden.

Dazu ist es nun nicht gekommen. Die Registriermethode ist aber in längeren Beobachtungsreihen von *Flint* auf der Washburnsternwarte, von *Jost* in Heidelberg und *Großmann* in München angewandt worden, und hat bedeutende Beiträge zur Kenntnis der Fixsternparallaxen geliefert. Erst im neuen Jahrhundert ist sie durch die äußerst genauen photographischen Bestimmungen mit den amerikanischen Riesenfernrohren aus dem Felde gedrängt worden.

III.

In Groningen stand *Kapteyn* alsbald nach den ersten Anfangsjahren der Lehrtätigkeit vor der Frage, wie er sich an der astronomischen Forschungsarbeit beteiligen könnte. Eine Sternwarte war nicht vorhanden; als ein Student sich praktisch üben wollte, wurde ein dazu gekauftes kleines Universalinstrument im Garten des Professors aufgestellt. Seine ersten Bemühungen galten nun der Beschaffung einer Sternwarte; denn damals galt noch das Axiom, daß zur praktischen Astronomie in erster Linie Instrumente zur Beobachtung des Himmels nötig seien. Zuerst schien die Regierung auch, um den Anfang der 80er Jahre, willig zu sein, für Groningen eine Sternwarte mit photographischem Fernrohr, damals noch eine Neuigkeit, einzurichten; aber die Sache zerschlug sich aus finanziellen Gründen und später hat Leiden das photographische Fernrohr bekommen. So bedauerlich dies damals erschien, so glücklich hat sich diese Entscheidung für die Zukunft erwiesen. Denn sie drängte *Kapteyn* in eine Richtung, in der er Pionier werden sollte.

Angeregt durch den Sternreichtum gelegentlich von einem Amateur aufgenommenen Platten, faßte *David Gill*, der Direktor der Kapsternwarte, den Entschluß, eine photographische Himmelskarte herzustellen. Mit einem Dallmeyerobjektiv fing er 1885 an,

eine Reihe von Aufnahmen zu machen, die den südlichen Himmel (von 18° Deklination an) doppelt überdecken sollten. Sie zeigten die Sterne bis zur 10. Größe und konnten daher für diese Gegenden die Stelle der großen Bonner Atlanten von *Argelander* und *Schönfeld* ausfüllen. Aber diese Atlanten beruhten auf Sternkatalogen (Bonner Durchmusterung), die als das unmittelbare Resultat der Beobachtungen Größe und Ort jedes Sterns in Zahlen angaben, und noch viel öfter benutzt wurden und wertvoller waren als die Karten. Sollte aus den südlichen Himmelsaufnahmen ein solcher Katalog aufgestellt werden, so war eine lange Arbeit des Ausmessens und Rechnens nötig; und dazu war an der Kapsternwarte mit ihren vielen wichtigen Arbeiten kein Personal da. In dieser Lage erbot sich *Kapteyn*, der mit *Gill* in Briefwechsel stand, diesen Teil der Arbeit zu übernehmen. Obgleich seine holländischen Kollegen ihn nicht gerade ermutigten und ihm die Schwierigkeit einer eintönigen langweiligen Arbeit vorführten, war seine Begeisterung, wie er *Gill* schrieb, groß genug für sechs oder sieben Jahre solcher Arbeit. Ein finanzieller Zuschuß seitens der Regierung sicherte ihm die Hilfe eines ständigen Personals für die Arbeit der Ausmessung und Berechnung. Weil er selbst keine Arbeitsräume besaß, wurde ihm von seinem Kollegen *Huizinga* ein Raum im Kellergeschoß des physiologischen Laboratoriums überlassen. Aus dem alten Universalinstrument baute er mit Hilfe eines Schmiedes seinen „parallaktischen Meßapparat“, der die Frage der Ausmessung und Berechnung in ganz einfacher Weise löste.

Meistenfalls werden auf einer photographischen Platte rechtwinklige Koordinaten der Sterne gemessen, weil dies am einfachsten und naheliegendsten ist. Die nachherige Umrechnung dieser Koordinaten auf die übliche Rektaszension und Deklination erfordert dann aber eine große Arbeit nach ziemlich verwickelten Formeln, auch wenn diese durch Tabellen noch so sehr vereinfacht wird. *Kapteyn* umging durch seinen Apparat diese ganze Umrechnung. Wenn die Platte aus einer Entfernung gleich der Fokaldistanz des zur Aufnahme verwandten Fernrohrs betrachtet wird, muß sie, was die Lage der Sternbilder anbetrifft, genau so aussehen wie der Himmel selbst; ihre Sterne könnten die Sterne am Himmel genau verdecken. Stellt man daher ein Universalinstrument in dieser Entfernung auf, mit der Vertikalachse zum Pol gerichtet, und richtet man das Fernrohr auf einen Stern der Platte, so kann man auf den Kreisen des Instrumentes seine Rektaszension und Deklination (bei gehöriger Wahl der Nullpunkte) direkt ablesen. Die Ausführung wird am einfachsten, wenn man die Himmelskugel so stellt, wie sie am Äquator erscheint, also die Polachse horizontal legt, und wenn man die Sterne im Horizont beobachtet denkt, also die Platte in der richtigen

horizontalen Entfernung vom Instrument vertikal aufstellt.

Als 1889 der erste Kongreß für die internationale photographische Himmelskarte in Paris zusammentrat, hat *Kapteyn* dort für die Vermessung der vielen Tausende Platten seinen parallaktischen Apparat empfohlen und im Bulletin der Himmelskarte beschrieben. Bekanntlich hat man trotz der ungeheuren Mehrarbeit des Rechnens doch die rechtwinklige Methode gewählt, mit der fast jedermann vertraut war und deren hohe Genauigkeit bekannt war; ein parallaktisches Instrument war in den nötigen größeren Dimensionen noch nicht konstruiert worden, und es erschien zweifelhaft, ob durch Kreisablesungen die erwünschte mikrometrische Genauigkeit zu erzielen sei. Auch für die Kapplatten war zuerst die Rede davon, daß durch finanzielle Hilfe der „Royal Society“ in London ein parallaktischer Apparat höchster Genauigkeit für deren Vermessung gebaut werden sollte, so daß die Ortsbestimmungen den hohen Anforderungen moderner Sternkataloge entsprechen würden. Als dann aber der Plan der großen internationalen Himmelskarte aufkam, erachtete man in England die Aufnahme und die Vermessung der Kapplatten nicht mehr nötig und die finanziellen Zusagen wurden zurückgezogen. *Gill* und *Kapteyn* waren anderer Meinung und setzten ihre Absicht durch — jetzt, da die internationale Himmelskarte, 30 Jahre später, kaum zur Hälfte vollendet ist, während der Kapitalkatalog schon 20 Jahre lang den Astronomen seine großen Dienste beweist, sehen wir, wie vollkommen sie Recht hatten. Aber sie waren jetzt gezwungen, sich mit der geringeren Durchmusterungsgenauigkeit zu begnügen, die mit dem selbstgefertigten Apparat *Kapteyns* zu erzielen war.

Diese Genauigkeit war allerdings bedeutend größer als bei den visuellen Durchmusterungen, namentlich weil die Messungen sich in größerer Ruhe machen ließen. Gegen Verwechslungen mit zufälligen Fleckchen der Platte schützte man sich dadurch, daß zwei Platten derselben Gegend hintereinander gestellt wurden, so daß jeder Stern doppelt erschien. Die Sterngrößen konnten durch Messung und Schätzung der Durchmesser genauer gefunden werden als bei visueller Beobachtung; dem stand der Nachteil gegenüber, daß eine Umwandlung der Durchmesserskala in eine Skala der Größenklassen nötig war, die durch Vermittlung der in *Goulds* Meridianbeobachtungen enthaltenen Sterne stattfinden mußte, und die daher nur einen vorläufigen Charakter tragen konnte. 10 Jahre hat in Groningen die Arbeit der Herstellung des Katalogs gedauert, und erst in den Jahren 1896 bis 1900 erschienen die drei Bände der „*Capé Photographic Durchmusterung*“, des ersten auf photographischem Wege gewonnenen großen Sternkatalogs. Er umfaßt den südlichen Himmel von

18° südl. Dekl. bis zum Südpol und enthält in diesem Raum 454 875 Sterne. Die „Royal Astronomical Society“ in London würdigte die Vollenendung dieses Werkes (zugleich mit den anderen noch zu behandelnden Untersuchungen), indem sie *Kapteyn* ihre goldene Medaille für das Jahr 1902 zuerkannte.

IV.

Jedoch eine solche bloße Katalogarbeit, wie nützlich auch, konnte den Geist *Kapteyns* nicht befriedigen. Seine Ziele hatte er weiter gesteckt: der *Bau des Weltalls* war der Gegenstand, der seinen Geist erfüllte. Später hat er sich einmal einem Freunde gegenüber in diesem Sinne geäußert: „Als ich meine Entwürfe zur Erforschung der Struktur des Sternsystems machte, wußte ich, daß dabei das Resultat einer ganzen Lebensarbeit nihil sein könnte; daher wurde ich Mitarbeiter *Gills*, um wenigstens etwas Positives geleistet zu haben“. Der Gedanke, diese Weltstruktur zu erforschen, trat schon bei seinen Parallaxebestimmungen hervor. In den 90er Jahren (seit 1892—93) erschienen dann als die ersten Versuche in dieser Richtung eine Anzahl Aufsätze, zuerst in den Berichten der Amsterdamer Akademie, nachher zusammenfassend mitunter in den Astronomischen Nachrichten.

Das charakteristische Merkmal der Forschungsmethode, die in seinen Händen so große Erfolge lieferte, war die *statistische Behandlungsweise*. Die Größen, die die Data für einen Stern bestimmen, sind so klein, daß sie sich aus der Beobachtung nur mit großen Fehlern behaftet ergeben, oft in dem Maße, daß das Resultat für den Stern völlig illusorisch wird, wie z. B. negative Parallaxen, aus denen gar keine Entfernung gefunden werden kann. Daher wird man mit Durchschnittswerten arbeiten müssen. Aber dabei ist dann die strengste Vorsicht nötig, damit die Zufälligkeit der Fehlerverteilung ganz zu ihrem Rechte kommt. Wenn man z. B. die negativen Parallaxen als unmöglich oder unreal ausschließt und nur die positiven berücksichtigt, wird man für die mittlere Parallaxe einer Gruppe von Sternen sicher einen zu großen Wert bekommen. So sind auch manche Resultate früherer Forscher für die Geschwindigkeit von Sterngruppen durch bestimmte Auswahl der Data systematisch gefälscht. Reihen von Parallaxebestimmungen, die dieser Bedingung der strengen Auswahllosigkeit genügen, gab es nun damals nicht viele; selbst im Jahre 1901 konnte *Kapteyn* nur eine Liste von 58 Parallaxen verwenden. Da nun aber doch die Kenntnis der mittleren Entfernung bestimmter Sterngruppen die Grundlage aller weiteren Forschungen bildet, mußte er sie in irgendeiner anderen Weise finden. Eigenbewegung und Helligkeit geben zwar beide einen Maßstab für die Entfernung ab, aber, wie sich leicht zeigen läßt, einen falschen. Denn in den Sternen einer helleren Klasse hat man nicht nur

die näher stehenden, sondern auch die tatsächlich absolut helleren ausgewählt; zu den scheinbar schwachen Sternen gehören nicht nur die entfernteren, sondern auch die absolut kleineren; ihre mittlere Entfernung und Parallaxe sind also weniger verschieden als nach der Helligkeit zu erwarten war. Ähnlich bestehen die Sterne mit großen Eigenbewegungen nicht nur aus uns benachbarten, sondern auch aus entfernten rasch dahinfliegenden Sternen.

Einen richtigen Maßstab fand *Kapteyn* nun in der parallaktischen Verschiebung der Sterne. Infolge der Bewegung des Sonnensystems durch den Raum scheint jeder Stern die entgegengesetzte Bewegung zu haben, vom Apex der Sonnenbewegung weg, die im Bogenmaß um so kleiner ist, je weiter der Stern entfernt ist. Zwar wird für jeden einzelnen Stern diese parallaktische Bewegung mit der wirklich eigenen Bewegung des Sterns, der „pekuliären Bewegung“, die völlig unbekannt ist, zusammengesetzt; daher sind sie in der beobachteten Eigenbewegung nicht zu trennen. Aber was für den Einzelstern unmöglich ist, ist es nicht für eine größere Gruppe; denn in der Voraussetzung, daß die wirklichen Bewegungen *alle* Richtungen haben können und sich nach den Gesetzen des Zufalls verteilen, verschwinden sie *im Mittel* und kann man für die *Gruppe* die parallaktische Bewegung finden. Mit Hilfe der aus spektrographischen Messungen bekannten Geschwindigkeit des Sonnensystems in km ergibt sich dann die mittlere Parallaxe der Sterngruppe. In solcher Weise fand *Kapteyn* (in einem Aufsatz 1898 in den *Astronomischen Nachrichten*) für Sterne von der Größe

	0 — 3,5	3,6 — 4,5	4,6 — 5,5	5,6 — 6,5	6,6 — 7,5
mit der					
mittl. Gr.	2,94	4,14	5,07	6,01	6,93
die mittl.					
Parallaxe	0'',0423	0'',0227	0'',0162	0'',0143	0'',0099

Für den ersten Typus sind die Zahlen alle kleiner, für den zweiten Typus alle größer, und zwar 2,3mal größer als beim ersten Typus; also sind die Sterne des 1. Typus bei gleicher scheinbarer Größe 2,3mal weiter entfernt, haben also fünfmal größere Leuchtkraft als die des zweiten Typus.

Die Werte nehmen pro Größenklasse nicht im Verhältnis $\sqrt{2,50} = 1,58$ ab (wie es sein sollte, wenn die Verschiedenheit in Größe nur eine Wirkung der Entfernung wäre), sondern im Verhältnis $1,4 = \text{ungefähr } \sqrt{2}$. Diese Differenz ist eine Wirkung der Streuung der absoluten Helligkeit der Sterne und umgekehrt muß sich aus ihr diese Streuung finden lassen. Diese Aufgabe wurde als Teil eines viel größeren allgemeineren Problems gelöst.

Das erste Ziel der Forschungen über den Bau des Weltalls besteht in der Ableitung der *drei wichtigen allgemeinen Verteilungsgesetze*,

die *Kapteyn* 1895 in dem Anfang seines Aufsatzes über „Die Verteilung der kosmischen Geschwindigkeiten“ formulierte:

1. das Gesetz, nach welchem die absoluten Geschwindigkeiten der Sterne verteilt sind;
2. das Gesetz, nach welchem die Anzahl der Sterne pro Volumeneinheit (Sterndichte) sich mit dem Abstand von der Sonne ändert;
3. das Gesetz der Verteilung der absoluten Helligkeit.

Bei der Erforschung der Struktur des Weltalls handelt es sich nicht um Lage und Eigenschaften der einzelnen Sterne. Welche Leuchtkraft, Spektrum, Geschwindigkeit bei jedem Stern zusammen vorkommen, kümmert uns dabei nicht, sondern es handelt sich darum, wieviel Sterne an diesem oder jenem Ort stehen, wieviel Sterne eine solche bestimmte Eigenschaft in verschiedenen Grade besitzen. Wir kümmern uns dabei nur um die Frage, wie die Geschwindigkeiten der Sterne verschiedener Leuchtkraft oder verschiedenen Spektrums verteilt sind. Der Einzelstern gilt nur als Glied der Masse gleichartiger und der größeren Masse verschiedenartiger Sterne. Man kann hier gleichsam von einer *statistischen Astronomie* reden, die als solche durch die Arbeiten *Kapteyns* gegründet wurde und deren Ziel in dem Auffinden der fundamentalen Verteilungsgesetze besteht. Voraussetzung ist dabei, daß solche allgemeine Gesetze tatsächlich bestehen; sollten das Geschwindigkeitsgesetz oder das Gesetz der Häufigkeit der absoluten Helligkeiten sich verschieden für verschiedene Teile der Welt erweisen, so bildet das eine Frage der Verfeinerung, die in zweiter Instanz als weitere Annäherung zu untersuchen ist.

Den ersten großen Erfolg auf diesem Gebiet erzielte *Kapteyn* 1901 mit der *Ableitung des Häufigkeitsgesetzes der absoluten Helligkeiten* oder des Gesetzes der Leuchtkraft. Die absolute Helligkeit wird, ähnlich wie die scheinbaren Helligkeiten, in Größenklassen ausgedrückt; meist wird dafür die Größe angesetzt, die der Stern in einer Entfernung von 10 Parsek (Parallaxe 0'',1) zeigen würde. Da die absolute Größe unserer Sonne 5,5 ist, bedeutet die absolute Größe 4,5, 3,5, 2,5, 1,5, 0,5, daß der Stern eine 2,5-, 6-, 15-, 40-, 100mal größere absolute Helligkeit als die Sonne hat. Das Häufigkeitsgesetz soll die Frage beantworten, wieviel z. B. unter einer Million Sterne eine Helligkeit zwischen 1- und 2,5-, zwischen 2,5- und 6mal der Helligkeit der Sonne usw. und ähnlich nach unten zählend, zwischen 1- und 0,4-, 0,4- und 0,16mal der Helligkeit der Sonne usw. besitzen.

Der Weg, den *Kapteyn* dabei einschlug, ist folgender. Oben wurde die mittlere Parallaxe für die Sterne 2., 3., 4. usw. Größe abgeleitet. Für jeden einzelnen Stern kann die Parallaxe davon noch erheblich abweichen. Nun ist die Eigenbewegung ein noch besseres Kriterium der Entfernung als

die Größe, und wenn man Eigenbewegung und Größe beide benutzt, so ist der Fehler noch geringer. Aus dem ganzen Material der gemessenen und der aus parallaktischer Bewegung gefundenen Parallaxen leitete *Kapteyn* eine Formel ab, wie die mittlere Parallaxe π aus Größe m und Eigenbewegung μ zu berechnen sei. Diese Formel lautet:

$$\pi_{\mu,m} = (0,905)^{m-5,5} (0,0387 \mu)^{1/1,405}$$

oder auch $\log \pi_{\mu,m} = -0,766 - 0,43 m + 0,712 \log \mu$. Sie besagt, daß für jede Größenklasse, die ein Stern heller ist, bei gleicher Eigenbewegung, die Parallaxe $1/0,905 = 1,105$ mal größer wird, während jede Verdoppelung der Eigenbewegung bei gleicher Helligkeit die Parallaxe 1,64mal größer macht. Solche Formeln wurden noch getrennt für den 1. und den 2. Spektraltypus abgeleitet. Aus einer Abzählung der Eigenbewegungen bei Sternen verschiedener Größe in dem Auwers-Bradley-Katalog und einigen anderen Quellen wurde abgeleitet, wieviel Sterne zwischen den Größen 1,5—2,5, 2,5—3,5, . . . , 8,5—9,5 am ganzen Himmel jährliche Eigenbewegungen von 0",005, 0",015, . . . , 0",095 (d. h. eingeschlossen zwischen 0",00 und 0",01, 0",01 und 0",02, . . . , 0",09 und 0",10), 0",125 (0",10—0",15), 0",175 (0",15—0",20), 0",25 (0",20—0",30) usw. haben. Für jede dieser Gruppen konnte nun aus der obenstehenden Formel die mittlere Parallaxe berechnet werden. Diese wurde aber nun nicht allen Sternen einer solchen Gruppe zuerkannt, denn nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeit muß ein Teil größere, ein anderer Teil kleinere Parallaxen haben. Es wurde angenommen, daß die Logarithmen der wirklichen Parallaxen (weil die äußersten Grenzen der Parallaxen null und unendlich sind) nach dem Fehlergesetz verteilt sind; die Abweichungen der beobachteten Parallaxen von der Formel führten auf einen wahrscheinlichen Fehler dieser Größe 0,19, d. h. daß die Hälfte aller wirklichen Parallaxen zwischen 0,52- und 1,25mal der mittleren Parallaxe liegt. Damit ließ sich berechnen, welche Bruchteile aller Sterne einer Gruppe wirkliche Parallaxen zwischen bestimmten Grenzen haben; jede Gruppe wurde also dem Gesetz der zufälligen Fehlerverteilung gemäß über die verschiedenen Parallaxefächer ausgestreut. Die Grenzen der Fächer wurden so gewählt, daß sie im Verhältnis 1,58 abnahmen; sie entsprechen also Kugelflächen in wachsender Entfernung um die Sonne derart, daß der nämliche Stern auf jeder folgenden Kugelfläche eine Größenklasse schwächer erscheinen würde. Die Sterne jeder Gruppe werden nach diesem Verfahren über die verschiedenen Kugelschalen verteilt; in jeder Schale findet man so die Anzahl Sterne von jeder jeweils um eine Größenklasse verschiedenen scheinbaren Helligkeit, also auch von einer um jedesmal eine Größenklasse abnehmenden absoluten Größe. Für die nächste Schale gilt dasselbe, nur daß alle absoluten Größen um eins größer sind; in jeder folgenden Schale entsprechen denselben schein-

baren Größen um eins höhere absolute Größen. In jeder Schale erhält man nun die Sterne in Gruppen nach der absoluten Größe abgezählt; aus jeder läßt sich also das Häufigkeitsgesetz innerhalb eines beschränkten Bereichs und die totale Anzahl in der Schale ableiten, aus allen zusammen also das Häufigkeitsgesetz über einen ziemlich weiten Bereich und die Änderung der Raumdichte der Sterne mit dem Abstand von der Sonne.

Das Resultat dieser Rechnung ist enthalten in einer kleinen Tabelle, die die Logarithmen der Anzahl Sterne für jede absolute Größenklasse pro tausend Kubikparsek gibt. *Kapteyn* illustriert den Charakter des Häufigkeitsgesetzes durch die Angabe, daß in einem bestimmten Raum gemischt vorhanden sind: 1 Stern gleich 100 000mal die Sonne, 38 Sterne gleich 10 000mal die Sonne, 1800 Sterne gleich 1000mal, 36 000 Sterne gleich 100mal, 440 000 Sterne gleich 10mal die Sonne, 2 Millionen gleich der Sonne, 5 Millionen gleich $1/10$ und $7\frac{1}{2}$ Millionen gleich $1/100$ der Sonne. Selbstverständlich beruhen die äußersten Zahlen auf Extrapolation. Die Anzahl nimmt also für die kleineren Sterne stark zu; sie scheint sich aber für diese schwächste Sorte einem Maximum zu nähern. Bald nachher wurde von verschiedenen Seiten bemerkt, daß die gefundenen Sternzahlen einem einfachen mathematischen Gesetz gehorchen: die Logarithmen genügen einer quadratischen Formel, mit einem Maximum für die absolute Größe 9 (3,5 Größe schwächer als die Sonne), also die Anzahlen selbst folgen dem Wahrscheinlichkeitsgesetz, der Gaußschen Fehlerkurve $e^{-h(M-M_0)^2}$. Allerdings zeigte das Erfahrungsmaterial nur einen Ast der Kurve, die hellen Sterne; die wieder abnehmende Häufigkeit der noch kleineren Sterne zu zeigen, dazu reichten die Beobachtungsdaten noch nicht.

Mit der Bestimmung dieses Häufigkeitsgesetzes war die Bahn frei für die Erforschung des zweiten Gesetzes, das die Dichtigkeit der Sterne in verschiedener Entfernung von der Sonne betrifft. Auf diesem Gebiete war *Seeliger* schon mit bedeutenden Arbeiten vorangegangen und hatte aus den Sternzählungen der Durchmusterungen und der beiden *Herschels* soviel abgeleitet, als sich ohne Kenntnis des Häufigkeitsgesetzes ableiten ließ. Die Bedeutung des neuen Gesetzes hat bald *Schwarzschild* erkannt, der eine elegante analytische Methode ausarbeitete, die Dichtigkeitsverteilung zu finden, wenn sie ähnlich wie das Häufigkeitsgesetz selbst durch eine Wahrscheinlichkeitskurve darzustellen ist. *Kapteyn* lag eine andere Arbeitsmethode näher, die, elastischer als die analytische, wo der Mensch gleichsam zum Sklaven seiner Formeln wird, immerfort der Verschiedenartigkeit des Ausgangsmaterials Rechnung zu tragen gestattet und die den Zusammenhang zwischen Beobachtungsdaten und Ergebnissen stets klar erkennen läßt (ähnlich wie bei der Ableitung des Häufigkeitsgesetzes). Später hat er allerdings auch die Formeln

Schwarzschild's mit Nutzen angewandt. Da bei der Ermittlung der Dichtigkeitsabnahme mit der Entfernung eine Absorption im Weltenraum eine bedeutende Rolle spielen würde, hat er dieser Frage wiederholt Untersuchungen gewidmet. Das Resultat war allerdings negativ; eine merkliche Absorption ließ sich nicht mit Sicherheit nachweisen, so daß ihr Einfluß bei den weiteren Untersuchungen auszuschalten war.

Zuerst war es nun nötig, die Anzahl Sterne verschiedener Größenklassen, namentlich auch in bezug auf die Lage zur Milchstraße genau zu bestimmen. Die Schwierigkeit lag hauptsächlich in der Feststellung einer genauen photometrischen Skala für die schwächsten Sterne zwischen 10. und 15. Größe, wobei dann zugleich die Grenzhelligkeit für die Herschelschen Sterneichungen bekannt werden mußte. Durch eine geschickte und vorsichtige Verbindung der photometrischen Messungen *Pickerings* und *Parkhursts* mit Abzählungen auf photographischen Sternkarten gelang es *Kapteyn* in einer 1908 publizierten Abhandlung, die Skala und damit die Sternzahl für diese schwächsten Klassen ziemlich zuverlässig festzulegen. Indem er sie mit den Ergebnissen der Durchmusterungen und mit den photometrischen Katalogen der helleren Sterne vereinigte, konnte er als Resultat eine Tabelle geben, die die Anzahl Sterne pro Quadratgrad des Himmels für jede galaktische Breite und bis zu jeder Grenzgröße von der ersten bis zur 15. (extrapoliert bis zur 20.) Größe enthielt.

Mit diesem Material hat er dann im selben Jahre das *Dichtigkeitsgesetz* abgeleitet, wieder ohne im voraus irgendeine Funktionsform anzunehmen. Er hat einfach empirisch die Dichtigkeit in verschiedenen Entfernungen 100, 300, 500, 1000 Parsek berechnet (wofür er 0,97, 0,46, 0,131, 0,125 fand), sowie die Grenze 10 000 Parsek, bis wohin die Dichtigkeit dann regelmäßig abnimmt. Diese Dichtigkeitsfunktion ist immerhin nur ein Rechenresultat, da das Weltall nicht kuglig um die Sonne angeordnet ist; will man eine der Wirklichkeit mehr entsprechende Verteilung der Sterne im Weltenraum ableiten, so darf man die Milchstraße nicht außer acht lassen.

V.

Die schönen Erfolge der Arbeiten *Kapteyns* an der Herstellung der „Cape Photographic Durchmusterung“ führten zur Gründung des „*Astronomischen Laboratoriums*“ in Groningen. Im Grunde hatte das Laboratorium, als es 1896 als solches eröffnet wurde, schon zehn Jahre bestanden in der Form der beiden Kellerräume, wo die Kapplatten vermessen wurden. Aber jetzt trat es in die offizielle Öffentlichkeit, indem die Regierung ihm ein eigenes Gebäude (sei es auch ein vorläufiges und mit beschränktem Raum) mit eigenem Etat für weitere Untersuchungen und deren Publikation zur Verfügung stellte. Nach einigen Umsiedlungen hat jetzt das Astronomische

Laboratorium endgültig dasselbe Gebäude zugewiesen bekommen, wo es in der Vorzeit als Gast im Kellergeschoß wohnte.

Der Name „Astronomisches Laboratorium“, die Verbindung zweier Worte, die sonst nie zusammenstehen, macht schon klar, daß eine Umwälzung der astronomischen Praxis stattgefunden hatte. Eine Sternwarte, wo man den Himmel nicht sehen kann, mag dem Laien auf den ersten Blick ein innerer Widerspruch erscheinen; sie ist aber nur eine Konsequenz der Arbeitsteilung, die durch die Entwicklung der Photographie notwendig eintreten mußte. Denn diese Entwicklung macht es möglich, rasch eine ungeheure Fülle von Beobachtungsmaterialien anzusammeln, rascher als sie am Orte verarbeitet werden können. Neben dem Fernrohr, womit des Nachts die Platten aufgenommen werden, tritt der Meßapparat, womit am Tage die Platten bearbeitet werden, und diese beiden brauchen nicht in demselben Gebäude, nicht einmal am selben Ort oder in derselben Hemisphäre zu liegen. Allerdings wird in der Regel der Forscher, der die Platten mit bestimmten Absichten nimmt, sie auch weiter verarbeiten wollen; daher sind meist die Laboratoriumsräume den Sternwarten angegliedert. Solche allein stehende Laboratorien, wie das in Groningen, sind trotz der modernen Entwicklung der Photographie dennoch selten geblieben, weil die Arbeitsteilung auch ihre Schwierigkeiten und Nachteile hat; und daß sie sich in diesem Fall so wenig fühlbar machten, war vor allem auch dem Wesen und dem Charakter *Kapteyns* zuzuschreiben. Die Zusammenarbeit zweier Institute und zweier Astronomen in einem solchen Fall erfordert ein hohes Maß von Selbstlosigkeit und Nachgiebigkeit auf beiden Seiten; der Laboratoriumsastronom ist für sein Material immer abhängig von dem guten Willen des Kollegen, der über Notwendigkeiten und Methoden seine eigenen Anschauungen hat und oft seine Zeit für eigene Forschungen braucht. *Kapteyn* war aber gerade der richtige Mann für diese Stellung; sein hoher vorzüglicher Charakter, seine anspruchslose Liebenswürdigkeit, seine selbstlose Liebe zur Wissenschaft, die ihm überall Freunde warben, seine ruhige unverdrossene Ausdauer in der Darlegung seiner Absichten und Ziele machten, daß er nur selten in der Mitarbeit, die er von anderen Astronomen brauchte, enttäuscht wurde. So wie seine langjährige Zusammenarbeit mit *Gill* für beide Männer der Ursprung einer tiefen Freundschaft geworden ist, so ging es nachher mit allen, mit denen er wegen Mitarbeit in engere Beziehung trat.

Die Arbeiten des Groninger Laboratoriums sind zweierlei Art gewesen. Erstens die theoretischen Arbeiten und Rechnungen über die Struktur des Weltalls, über die oben schon gehandelt wurde; die Abhandlungen über mittlere Parallaxe, über die Leuchtkraft der Sterne, und über die Anzahl Sterne verschiedener Größenklassen sind als Nr. 8, Nr. 11 und Nr. 18 der

„Publications of the Astronomical Laboratory at Groningen“ veröffentlicht worden. Zweitens die praktischen Arbeiten: die Untersuchung und Diskussion photographischer Aufnahmen, die in engem Zusammenhang mit den Forschungen über den Bau des Sternsystems standen.

Schon 1889 entwickelte *Kapteyn* den Plan, durch photographische Aufnahmen die Parallaxen schwacher Sterne massenhaft zu bestimmen; es sollte dabei kein Unterschied zwischen Parallaxesternen und Vergleichssterne gemacht werden, sondern von allen beobachteten Sternen sollte die Parallaxe relativ zum Durchschnitt gefunden werden. 1891 besprach er in einer Konferenz der Himmelskarte in Paris diesen Plan mit *Donner*, dem Direktor der Sternwarte in Helsingfors, der sofort bereit war, die nötigen Platten aufzunehmen. Das Besondere des Vorschlages bestand darin, daß alle zur Bestimmung nötigen Expositionen, ein halbes Jahr nacheinander, wenn der Stern durch den Einfluß der Parallaxe am meisten nach Osten und nach Westen von dem normalen Ort abweicht, auf derselben Platte gemacht werden sollten, die dazu ein halbes Jahr unentwickelt aufbewahrt wird. Zur Elimination der Eigenbewegungen wird dieser Zeitraum auf ein Jahr ausgedehnt, damit zum Schluß der Stern wieder in der ersten Parallaxenlage aufgenommen wird. Die Ausführung war derart, daß zuerst drei Bilder in einer kleinen Entfernung vertikal übereinander genommen wurden, ein halbes Jahr später eine zweite Reihe solcher Bilder neben den vorigen, dann sofort eine dritte Reihe daneben, und wieder ein halbes Jahr später eine vierte Reihe von drei Bildern, alle Reihen in gleicher horizontaler Entfernung. Durch die Parallaxe werden die Bilder der beiden mittleren Reihen relativ zu den äußeren verschoben; die Messung der Parallaxe beschränkt sich auf die Messung der relativen Lage benachbarter Bilder, bei der viele systematische Fehler, wie die der Schichtverzerrung, verschwinden und die zufälligen Messungsfehler viel geringer werden als bei der gesonderten Messung verschiedener Platten. In dieser Weise wurden 1891—93 eine Anzahl Platten einiger ausgesuchter Gegenden (der Umgebung der Wolf Rayet-Sterne im Schwan, die beiden Perseushaufen, 61 Cygni u. a.) aufgenommen und 1901—05 eine neue Anzahl; die Vermessung und die gründliche Diskussion finden sich in Nr. 1, 10, 20 der Groninger Publikationen. Es zeigte sich dabei, daß in der Tat die Messungsgenauigkeit eine sehr hohe war: der wahrscheinliche Fehler einer Distanzmessung betrug nur 0",065, der wahrscheinliche Fehler einer Parallaxenbestimmung aus einer Platte betrug nur 0",03. Aber zugleich zeigten sich bedeutende systematische, von der Helligkeit abhängige Fehler, die hauptsächlich dadurch entstanden waren, daß die Aufnahmen, um die günstigsten Parallaxefaktoren zu erzielen, das eine Mal weit westlich, ein halbes Jahr später weit östlich von dem Meri-

dian gemacht waren. Es erwies sich daher für künftige Parallaxebestimmungen auf photographischem Wege als absolut notwendig, die Aufnahmen alle in demselben Stundenwinkel, am besten in dem Meridian zu machen.

Im Anschluß an diese Ergebnisse entwickelte *Kapteyn* sofort, im Jahre 1900, den Plan zu einer allgemeinen Durchmusterung von Parallaxen durch photographische Aufnahmen. Um für 800 000 Sterne (bis zur 10. Größe) die Parallaxen mit einem wahrscheinlichen Fehler von 0",025 zu erhalten, würde, wie er nachwies, keine größere Arbeit nötig sein als für die Katalogplatten der internationalen Himmelskarte. Er beschränkte sich jedoch auf den Nachweis der Ausführbarkeit der Arbeit; in der Einleitung erklärt er, er sei zu der Ansicht gekommen, daß durch ein anderes Programm — das er noch nicht näher andeutet — den Bedürfnissen der Wissenschaft besser gedient werden wird.

Den gleichen Grundgedanken wie bei den Parallaxen suchte *Kapteyn* auch bei der Bestimmung der Eigenbewegungen anzuwenden. Indem auf derselben Platte zwei Aufnahmen einer Gegend mit einer großen Anzahl Jahre Zwischenzeit gemacht werden, kann die Bewegung der Sterne in dieser Zwischenzeit durch die hohe Genauigkeit der differentiellen Messungen so genau gefunden werden, daß daraus zuverlässige Werte der Eigenbewegung hervorgehen. Damit wäre eins der lästigsten Hemmnisse bei allen Untersuchungen über den Bau des Weltalls aufgehoben: der Mangel an zuverlässigen Eigenbewegungen für schwache Sterne. Bei der bisherigen Methode, der Vergleichung absoluter Ortsbestimmungen in früherer und in neuerer Zeit, war immer der Übelstand, daß in früheren Zeiten die schwächsten Sterne entweder nicht oder nur sehr ungenau beobachtet worden sind. Man konnte allerdings daran gehen, jetzt den Ort solcher Sterne genau zu bestimmen; aber das würde nur der Nachkommenschaft nach einem halben Jahrhundert zu Eigenbewegungen verhelfen, und für jetzt wäre uns damit nicht geholfen. Die Frage ist nun bloß, ob sich mit der Methode *Kapteyns* eine genügende Genauigkeit erzielen läßt. Wieder war es *Donner*, der in Helsingfors die Platten nahm, die zur Prüfung der Methode dienen sollten: um, nach den Worten *Kapteyns*, „zu untersuchen, ob die Methode nicht eine Bestimmung im Großen von genauen Eigenbewegungen gestatten würde und welche Bedingungen erforderlich sein würden, um die reichste Ernte an Ergebnissen in kurzer Zeit und mit dem geringsten Arbeitsaufwand zu erzielen“. Aus Furcht, daß die Platten sich nicht länger halten möchten, wurden die zweiten Aufnahmen schon vier und fünf Jahre (1896—1901) nach den ersten gemacht; es zeigte sich aber, daß, gehörig in verlöteten Kästen vor Feuchtigkeit geschützt, die Platten viel längere Zeit gut bleiben würden. Trotzdem wurden mittels dieser Platten (wofür

die Hyaden ausgewählt waren, um unter den schwachen Sternen die Mitglieder des Hyadenhaufens durch die Bewegung zu erkennen) die Eigenbewegungen mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur wenig über $0'',01$ pro Jahr gefunden; es zeigte sich, daß bei einem Zeitintervall von 10 Jahren eine einzige Platte schon gerade so genaue Eigenbewegungen geben kann, wie der Katalog Auwers-Bradley sie für die helleren Sterne bis zur 6. Größe gab. Die Zweckmäßigkeit der Methode war damit erwiesen, und für verschiedene andere besonders auserwählte Gegenden des Himmels wurde in dieser Weise in Groningen die Bewegung der schwächsten Sternklassen bestimmt.

VI.

Die berühmteste unter allen Nummern der Groninger Publikationen, sagt *Eddington* in einem *Kapteyn* gewidmeten Nachruf, ist wohl Nr. 6 — deshalb, weil sie nie geschrieben und herausgegeben ist. Alle anderen, von 1 bis 5 und von 7 bis 31 stehen in der Reihe, aber diese fehlt und wird bleibend fehlen. Damit hängt eine der wichtigsten Entdeckungen *Kapteyns* zusammen.

Als er sein Studium der Struktur des Sternsystems aufnahm, hatte er einen anderen Weg im Kopfe als er schließlich einschlug. Wohl von der Tatsache ausgehend, daß die Eigenbewegungen ein besseres Maß für die Entfernung abgeben als die scheinbaren Helligkeiten, daß also die Geschwindigkeiten nicht so enorm auseinandergehen wie die absoluten Helligkeiten, wollte er jene zur Auffindung der Dichtigkeitsverteilung benutzen. Sein erstes Ziel war also, das erste statistische Gesetz abzuleiten, das Gesetz, nach welchem die Geschwindigkeiten verteilt sind. Zwar wurden die Eigenbewegungen durch den Einfluß der Sonnenbewegung gefälscht; aber in der Querbewegung, der Komponente der Eigenbewegung senkrecht zur Sonnenbewegung, war dieser Einfluß nicht vorhanden. Er entwickelte daher die Theorie und leitete die Formeln ab, mittels deren — unter der Voraussetzung, daß die eigenen pekuliären Bewegungen der Sterne nach dem Zufall verteilt sind und keine Richtung bevorzugen — aus der scheinbaren Verteilung der Querbewegungen das wirkliche Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten gefunden werden konnte. Diese Formeln finden sich in Nr. 5 der Groninger Publikationen, die den Titel trägt: „Über die Verteilung der kosmischen Geschwindigkeiten. Teil I. Theorie“ (1900). Der Anwendung der Formeln auf die Auwers-Bradley-Eigenbewegungen sollte die nächste Nummer gewidmet sein. Aber schon vorher war er auf Schwierigkeiten gestoßen, die er bereits 1895 in einer ersten Mitteilung der wichtigsten Formeln erwähnt und dann 1897 näher nachweist. Zuerst glaubte er die Ursache in fehlerhaften Annahmen über *den Apex der Sonnenbewegung* finden zu können; neue gründliche Untersuchungen über die verschiedenen Me-

thoden der Apexbestimmung und eine sorgfältige Neubestimmung seiner Position (im Jahre 1901 in den *Astronomischen Nachrichten*) ergaben jedoch eine so geringe Abweichung gegenüber der alten Annahme, daß dieser Verdacht sich als unbegründet erwies. Es mußte also *eine Anomalie in den Sternbewegungen* selbst stecken. Die Tatsachen wollten sich den Formeln nicht fügen; die Ableitung des Geschwindigkeitsgesetzes konnte nicht durchgeführt werden; Nr. 6 blieb ungeschrieben. Der Weg, den er zur Erforschung der Verteilung der Sterne im Weltraum hatte einschlagen wollen, schien blockiert zu sein. Daher entschloß er sich 1900, einen andern Weg einzuschlagen: er ging nun daran, mittels des anderen statistischen Gesetzes, des Häufigkeitsgesetzes der Leuchtkraft, die räumliche Dichtigkeit zu erforschen; und auf diesem Wege erzielte er dann, wie wir oben sahen, einen vollen Erfolg.

Aber die Erforschung des sonderbaren Verhaltens der Eigenbewegungen ließ ihn nicht los. Da die Anomalie sich in regelmäßiger und deutlicher Weise mit dem Ort am Himmel änderte, war es zweifellos, daß sie irgendeinem allgemeinen einfachen Gesetz folgen mußte. Eine eingehendere Untersuchung führte ihn 1902 auf die Ursache, und nach noch einigen Prüfungen gab er die Hauptsache seiner Resultate zuerst 1904 in Amerika auf einer Astronomenversammlung in St. Louis bekannt. Im nächsten Jahre fuhr er nach Südafrika, wo er in einem Vortrag „*Sternströme*“ die neue Entdeckung vor der Versammlung der „British Association“ auseinandersetzte.

Die Verteilung der Sternbewegungen läßt sich am besten veranschaulichen, wenn man alle Sterne eines begrenzten Gebietes in einem Punkte zusammengedrängt denkt und von diesem Punkte aus ihre allseitig gerichteten Eigenbewegungen durch Pfeile darstellt. Wären die pekuliären Bewegungen regellos verteilt und käme nur der Einfluß der Bewegung des Sonnensystems hinzu, so müßten die Pfeile sich in der Richtung zum Antiapex zusammendrängen, in der Richtung zum Apex hin am seltensten und am kürzesten sein, im übrigen aber symmetrisch zu beiden Seiten der Richtung zum Apex verteilt sein. In Wirklichkeit zeigten die Bewegungen in den meisten Gebieten eine viel unregelmäßigere Verteilung; es war nicht *eine* Vorzugsrichtung zum Antiapex vorhanden, sondern es zeigten sich *zwei Vorzugsrichtungen* schief zueinander. Zeichnete man auf die Himmelskugel diese Vorzugsrichtungen für jede Stelle des Himmels ein, so ergab sich, daß sie nach zwei Konvergenzpunkten gerichtet waren, deren einer im Sternbilde Orion, der andere im Schützen lag. Während man vorher nur eine (scheinbare) Strömung der Sterne zum Antiapex annahm, zeigten sich in der Praxis zwei Strömungen. Wenn aber die Sterne in zwei Ströme zerfallen, müssen die Strombewegungen in bezug auf den Schwerpunkt des ganzen Systems ein-

ander entgegengesetzt sein, da die relative Bewegung der beiden Ströme das einzig Wirkliche ist. Nur weil unser Sonnensystem sich auch in bezug auf diesen Schwerpunkt bewegt, erscheinen die Ströme in bezug auf uns nicht entgegengesetzt und ihre Konvergenzpunkte (von *Kapteyn* „vertices“ genannt) 140° statt 180° voneinander entfernt. Man kann also aus den scheinbaren Konvergenzpunkten sowohl die Sonnenbewegung wie auch die wirkliche Stromrichtung und die wirklichen Vertices finden; für letztere ergab sich RA 91° Decl. $+13^\circ$ und der dem gegenüberliegende Punkt des Himmels RA 271° Decl. -13° .

Diese Entdeckung, die *Eddington* neulich unter den sechs wichtigsten Fortschritten der Astronomie seit einem Jahrhundert aufzählte, löste mit einem Schlage die vielen Schwierigkeiten und Widersprüche, die früher bei dem Studium der Eigenbewegungen und der Sonnenbewegung hervorgetreten waren. Die Tatsache selbst, das Vorherrschen zweier bestimmter Stromrichtungen, war, einmal erkannt, leicht überall wiederzufinden. Bald wurde sie von *Eddington* und *Dyson* 1907–1911 in einer Reihe schöner Untersuchungen an anderen Beobachtungsmaterialien, namentlich schwacher Sterne, bestätigt. *Schwarzschild* wies 1907 nach, daß man die Bevorzugung zweier Bewegungsrichtungen gleich gut durch eine ellipsoidische Verteilung der Geschwindigkeiten oder durch zwei unabhängige Ströme darstellen könne. *Kapteyn* hielt aber an dem Gedanken zweier Ströme fest und arbeitete die Hypothese aus, daß durch die gegenseitige Durchdringung zweier ursprünglich getrennter Haufen unser Sternsystem entstanden sei. Da sowohl die Vertextrichtung wie die Bewegungsrichtung kleinerer sich zusammenbewegender Haufen (Sterntriften, wie die Bärensterne, die Hyaden, die Perseusgruppe) alle in der Ebene der Milchstraße liegen, sprach er die Vermutung aus, daß die Ausbreitung unseres Sternsystems in der galaktischen Ebene in diesen Stromrichtungen ihre Ursache findet.

Mit dieser Entdeckung der Sternströme waren nun die Geheimnisse der Sternbewegungen keineswegs gelöst; im Gegenteil, die Erscheinung zeigte sich allmählich verwickelter, als anfangs gedacht war, und neue Probleme tauchten auf. Die verschiedenen Spektraltypen verteilten sich ungleichmäßig auf die beiden Ströme: der zweite Strom enthält relativ weniger Sterne des ersten Typus und fast keine Heliumsterne. Die Zielpunkte, die Vertices, sind für die verschiedenen Spektralklassen etwas verschieden; ihre galaktische Länge ist um so größer, um so jünger der Typus. Und schließlich zeigte sich, daß die zufälligen pekuliären Bewegungen, die nach Abzug der Strombewegung übrigbleiben, um so kleiner werden, um so jünger der Typus. Für Heliumsterne sind die Abweichungen von einer wirklichen Parallelität der Bewegung schon sehr gering. *Kapteyn* benutzte 1916–1917 diese Eigen-

schaft (in ähnlicher Weise, wie es bei den Sterntriften schon oft geschehen war), um mittels der radialen Geschwindigkeit die individuellen Parallaxen der Heliumsterne (um $0'',008$) und des damit zusammenhängenden Orionnebels zu bestimmen. Er wies darauf hin, daß eine Berechnung der Entfernung mittels der Annahme, daß die ganze beobachtete Bewegung Strombewegung sei, zwar keine genau richtigen, aber doch angenäherte Parallaxen gibt, deren Fehler sogar bei den anderen Sterntypen noch gering genug sind, um für manche Untersuchungen brauchbar zu sein.

VII.

Bei jeder seiner Untersuchungen bestand die Arbeitsweise *Kapteyns* darin, bei der Anwendung einer von ihm erdachten Methode das vorhandene Material bis zum Äußersten auszunutzen, aber dadurch zugleich die Mangelhaftigkeit dieses Materials nachzuweisen und die Notwendigkeit seiner Erweiterung durch neue Beobachtungen zu zeigen. So bei den Parallaxen, den Eigenbewegungen, den Sternzählungen. Bisweilen machte er auch Vorschläge zu Beobachtungsprogrammen, die zwar nicht die Kräfte der damaligen Astronomie überstiegen, aber doch zu umfangreich waren, um die meist mit eigenen Arbeiten beschäftigten Astronomen zur Ausführung zu reizen. Die Schwierigkeit lag vor allem in der gewaltigen Zunahme der zu beobachtenden Objekte, sobald man zu schwächeren Sternen übergeht. Von 800 000 Sternen bis zur 9. oder 10. Größe waren der ungefähre Ort und die ungefähre Größe bekannt; ihre Eigenbewegung, Parallaxe, Spektrum, radiale Geschwindigkeit zu bestimmen, würde die Kräfte einer Anzahl Sternwarten mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen. Und dann war man bloß bis zur 10. Größe gekommen; wie sollte es erst werden, wenn man die 10 Millionen Sterne bis zur 14. Größe in dieser Weise behandeln wollte? Beschränkung war daher notwendig. Es war auch keineswegs nötig, alle 10 Millionen zu untersuchen; hätte man die Data für ein Hundertstel dieser Zahl, so wäre uns genau so gut geholfen. Eine Auswahl mußte also getroffen werden; aber bei einer Auswahl war immer die Gefahr, daß das beschränkte Material durch die Art der Wahl nicht völlig mit der Gesamtmasse übereinstimmte. Eine Auswahl war nötig, die keine Auswahl war und völlig den Zufall walten ließ; dem konnte dadurch genügt werden, daß statt des ganzen Himmels eine Anzahl kleiner Gebiete untersucht würden, die geometrisch-regelmäßig verteilt sind.

Dieser Plan wuchs zuerst auf als Programm für die Arbeiten des Groninger Laboratoriums, als Programm für die Aufnahmen, die von anderen Sternwarten erbeten und in Groningen vermessen werden sollten, um als Material zum Studium der Weltstruktur zu dienen. Aber indem das Programm mit seinen Zielen wuchs,

zeigte sich immer deutlicher, daß es für ein einziges Institut zu umfangreich wurde; Mitarbeit verschiedenster Art von seiten anderer Astronomen war notwendig. *Kapteyn* sprach dann dieses Programm mit verschiedenen Kollegen durch; auf der Fahrt nach Südafrika 1905 bildete es einen Hauptgegenstand der Beratungen der „Astronomical Society of the Atlantic“, die an Bord für die Zeit der Seereise gegründet wurde. Nachdem er die Zustimmung und die Zusage der Mitarbeit von verschiedenen Astronomen erhalten hatte, und als nach vielen Korrespondenzen die Einzelheiten geregelt waren, veröffentlichte er 1906 seine kleine Schrift „*Plan of selected Areas*“, die die Taktik dieses Generalangriffs auf das Problem der Struktur des Sternsystems in allen Punkten auseinandersetzte.

Für 206 Gebiete, regelmäßig über die Parallelkreise 0° , 15° , 30° usw. von Pol zu Pol verteilt, ungefähr ein Quadratgrad groß, sollten alle wichtigen astronomischen Daten bis zu der tiefstmöglichen Grenze bestimmt werden: für alle Sterne (ungefähr 200 000 an Zahl) die genaue, visuelle und photographische Größe; für eine kleinere Zahl, gleichmäßig über alle Größen verteilt, die Eigenbewegung und Parallaxe; für so viele, als mit den vorhandenen Hilfsmitteln erreichbar waren, Spektrum und visuelle Geschwindigkeit. Es werden also planmäßig Stichproben des Weltalls gemacht; in 206 Richtungen werden, bis in die fernsten Tiefen des Sternsystems reichend, schmale Schächte gebohrt und der Bestand gründlich untersucht; die übrigen $199/200$ des Raumes werden unbeachtet gelassen. Während so die Durchschnittswerte und die statistischen Verteilungsgesetze gut herauskommen werden, können besonders interessante Gegenden, wo sich besondere Anhäufungen oder Leeren vorfinden, zufällig unbeachtet bleiben. Deshalb wurde, vor allem auf Veranlassung *Pickering's*, ein Plan von 46 speziellen Gebieten hinzugefügt, meist in der Milchstraße, die auffallende Abweichungen von der mittleren Struktur zeigen. Methoden und Ausichten wurden in der Schrift ausführlich diskutiert. Mitarbeit wurde von verschiedenen Seiten zugesagt; die Harvard-Sternwarte in Cambridge mit ihrer Filiale in Arequipa (Peru) sorgte für die Durchmusterungsaufnahmen und für die Spektre; an der Kap-Sternwarte wurden Parallaxe- und Eigenbewegungsaufnahmen für den südlichen, in Oxford und auf der Yerkessternwarte für den nördlichen Himmel gemacht; die Arbeit der Vermessung aller dieser Platten, zu groß für Groningen allein, wurde zum Teil von Kopenhagen, Columbia College und Vassar College übernommen. Mount Wilson sucht mit seinen Riesinstrumenten die Data auf noch schwächere Sternklassen auszudehnen. Allerdings blieb es schwierig, überall den hohen Anforderungen mit den vorhandenen Hilfsmitteln zu genügen; einige Teile des Programms sind noch

kaum in Angriff genommen. Aber auch ohne daß alles wie am Schnürchen läuft, ist mit dem „*Plan of Selected Areas*“ viel gewonnen. Jeder Astronom, der auf irgendeinem Gebiete Beobachtungen schwacher Sterne machen will und unter der unmöglichen Masse einen Teil auswählen muß, wird seine Wahl jetzt auf die *Selected Areas* richten, weil dabei die besten Erfolge sicher sind; die Auswahl ist ein für allemal gemacht und durch die höchste Autorität gestützt.

Weil die fortwährende Leitung und Überwachung eines solchen Unternehmens eine zu schwierige Aufgabe für eine Person war, und sei es auch *Kapteyn*, bildete sich dazu eine Kommission, in die neben ihm *Pickering*, *Gill*, *Hale*, *Küstner*, *Schwarzschild*, *Adams* und *Dyson* eintraten. Zweimal ist sie zusammengetreten und hat einen Bericht über die Fortschritte erstattet. Dann brach der Weltkrieg aus und hat die Bande internationaler Geistesarbeit zerrissen. Nichts hat *Kapteyn* in seinen letzten Lebensjahren so niedergedrückt als die Tatsache, daß so viele Naturforscher die Wissenschaft ihrer nationalen Politik opferten und damit die internationale Zusammenarbeit auf Jahre hinaus unmöglich machten. Gerade für ihn, dessen Lebensarbeit die Organisation astronomischer Forschungstätigkeit über die ganze Welt auf einer gemeinsamen Linie war, war es wie ein Riß, zwar nicht durch sein Werk — die Einzelforschungen, die er veranlaßt hat, gingen doch weiter —, aber durch die geistige Atmosphäre, in der es eingebettet war.

Auch noch in anderer Weise hat der Weltkrieg seine Arbeit auf internationalem Gebiet beeinträchtigt. Als im Jahre 1905 das *Sonnenobservatorium auf Mount Wilson* gegründet worden war, und dort (trotz des Namens) viele Untersuchungen über Stellarastronomie in Angriff genommen wurden, hatte der Direktor *Hale* dafür auch die ständige Mitarbeit *Kapteyn's* gewonnen, und zwar in der Form, daß *Kapteyn* zum „*Research Associate*“ des Observatoriums ernannt wurde. Er zog nun seit 1907 jedes Jahr einige Sommermonate mit seiner Frau nach Mount Wilson. (Sein Haushalt war der einzige, der oben auf dem Berge sein durfte; alle Astronomen hatten sonst ihre Familie unten in der Stadt.) Dort wurde dann gearbeitet, beobachtet, diskutiert, experimentiert; und durch den Reiz seiner heiteren glücklichen Natur und seiner ewig jungen Begeisterung sowie durch seine Sachkenntnis war er dann in den Fragen der Stellarastronomie das geistige Haupt der kleinen Astronomengemeinschaft dort oben. Dort hatte er, um neue Gedanken zu erproben und neue Materialien zu beschaffen, das bestausgestattete Observatorium mit einem Stab geübter Astronomen unmittelbar zu seiner Verfügung und konnte im täglichen freundschaftlichen Verkehr ihre wichtigen Arbeiten ratgebend beeinflussen. Eine ganze Anzahl Verhandlungen sind von ihm in den „*Contributions*“

of Mount Wilson Observatory“ erschienen. Siebenmal bis zuletzt 1914 ist er hinüber gefahren; dann hat der Krieg auch hier störend eingegriffen. Er hatte die Absicht, nach der Beendigung seiner Lehrtätigkeit in Groningen noch einmal hinzugehen; aber er ist nicht mehr dazu gekommen.

VIII.

Das letzte Jahrzehnt hat die ersten Früchte seiner Organisationstätigkeit reifen sehen. Was er früher an ungenügendem Material erprobt, konnte jetzt mit den inzwischen mächtig angewachsenen Beobachtungsdaten, von denen ein Teil durch die Groninger Messungen selbst geliefert wurde, auf sicheren Boden gestellt werden.

Am ersten fertig von dem „Plan of Selected Areas“ waren die Durchmusterungsplatten, die in Harvard aufgenommen waren und alle in Groningen vermessen wurden; die Größenskala war durch besondere Aufnahmen zusammen mit der Harvard Normalreihe von Polsternen festgelegt worden. So lieferte jedes Gebiet (Quadrat von 80, 60 oder 40 Minuten Seite je nach der geringeren oder größeren Fülle der Sterne) einen Sternkatalog mit genauen photographischen Größen, bis zu einer Grenzhelligkeit in der Nähe der 15. Größe. Damit war es seinem Schüler (und jetzigem Nachfolger) *van Rhyn* im Jahre 1917 möglich, die Anzahl der Sterne der verschiedenen Größenklassen in der photographischen Skala bis zur 15. oder 16. Größe in ihrer Abhängigkeit von der galaktischen Breite mit einer viel größeren Genauigkeit zu bestimmen, als es früher mit der visuellen Skala möglich gewesen war.

Die Vermessung einer Anzahl Eigenbewegungsplatten aus Helsingfors und Kapstadt wurde in einer Neubestimmung des Häufigkeitsgesetzes der Leuchtkraft verwertet. Das kolossal angewachsene Material an gemessenen Parallaxen wurde durch eine neue Ableitung der parallaktischen Bewegung für die schwächsten Klassen ergänzt; während aus Sternkatalogen Werte bis zur 9. Größe abgeleitet wurden, gestatteten die photographischen Vermessungen diese bis zur 12. Größe auszudehnen. Auch die Verteilung der Sterne bis zu sehr schwachen Klassen über verschiedene Werte der Eigenbewegung und über verschiedene Spektralklassen wurde neu bestimmt (in Nr. 29 und 30 der Groninger Publikationen). So ungeheuer war das Material angewachsen, daß die Daten, auf denen die alte Ableitung des Häufigkeitsgesetzes beruhte, fast wie ein Nichts erschienen. Mußte damals die Kunst Bewunderung wecken, aus wie schwachem Material durch geschickte Handhabung ein völlig unbekanntes und unvermutetes Gesetz in bedeutender Annäherung gefunden wurde, so jetzt die Fähigkeit, womit ein reiches, fast bis zur Unübersichtlichkeit verschiedenartiges Material einheitlich modelliert, zurechtgefeilt und zusammengeschmiedet wurde. Das Resultat für die *Häufigkeitskurve* war im Jahre 1920 eine viel genauere Bestimmung ihrer Gestalt

als früher möglich gewesen war. Die früher gefundene Gestalt wurde bestätigt; aber jetzt war es möglich, ihren Bereich nach beiden Seiten auszudehnen, und zwar bis über das Maximum hinaus auf den absteigenden Ast, wo für schwächere Sterne die Anzahl wieder abnimmt. Von einer absoluten Größe -5 bis $+13$ (also von Sternen 16 000mal heller bis 1000mal schwächer als die Sonne) schmiegen sich die beobachteten Werte so genau der quadratischen Formel des Gaußschen Fehlergesetzes an, daß *Kapteyn* erklären konnte, nirgends in dem Gebiete der Naturwissenschaft sei eine so vollkommene Übereinstimmung mit dem Wahrscheinlichkeitsgesetz über einen so weiten Bereich (10mal die „wahrscheinliche“ Abweichung) zu verzeichnen. Das Maximum der Häufigkeit findet für die absolute Größe 7,69 statt (2,2 Größen schwächer als die Sonne); der Genauigkeitsmodul ist $0,2818^2$, d. h. für Sterne $1/0,2818 = 3,55$ Größen heller oder schwächer als das Maximum sinkt die Anzahl auf $1/e$. Die allgemeine Formel lautet:

$\log \Phi(M) = -2,394 + 0,1858 M - 0,03450 M^2$
wo $\Phi(M)$ die Anzahl Sterne pro Kubikparsek in der Umgebung der Sonne ist, M die absolute Größe, wie wir sie früher definierten, um fünf verringert, also gültig für ein Parsek Entfernung.

Zugleich mit der Häufigkeitskurve wird (wie oben schon dargelegt) durch die von *Kapteyn* angewandte Methode auch das *Dichtigkeitsgesetz* gefunden: im Durchschnitt war die Dichtigkeit in einer Entfernung von 100 Parsek auf 0,7, von 500 Parsek auf 0,2, von 1000 Parsek auf 0,05 der zentralen Dichtigkeit gesunken. Genauer läßt sich diese Abnahme berechnen, wenn man aus den Sternzählungen das empirische Gesetz der Sternzahl als Funktion der beobachteten Grenzgröße hinzuzieht, wobei zugleich die Abhängigkeit von der galaktischen Breite scharf herauskommt. Durch Benutzung der *Schwarzschild'schen* Formeln für die größeren Distanzen, anschließend an die direkten Ergebnisse für die Umgebung der Sonne, wurde die Sterndichtigkeit als Funktion der Entfernung und der galaktischen Breite zusammen abgeleitet. Die Dichtigkeit 0,40 findet sich für die Breite 0° , 30° , 90° auf 910, 320, 250 Parsek Entfernung; die Dichtigkeit 0,063 auf 3500, 1300, 660 Parsek, die Dichtigkeit 0,01 auf 8900, 3300, 1200 Parsek. Diese Zahlen gestatten durch das Sternsystem einen Meridianschnitt zu legen, in welchem die Linien gleicher Dichtigkeit wie stark abgeplattete Ellipsen, an den Polen etwas eingedrückt, erscheinen. Das Sternsystem wird damit als eine *abgeplattete Rotationsfigur* gegeben, in der die Dichtigkeit von innen nach außen abnimmt; die einander umschließenden Flächen gleicher Dichtigkeit ähneln abgeplatteten Rotationsellipsoiden. Das bedeutet nicht, daß damit die Gestalt als eine Rotationsfigur gefunden ist; indem von vornherein nur eine Abhängigkeit von Distanz und galaktischer Breite angenommen war,

war die Rotationsfigur vorausgesetzt und konnte nichts anderes herauskommen. *Kapteyn* hat bei allen seinen Untersuchungen von den Unterschieden nach galaktischer Länge abgesehen und sich absichtlich auf das beschränkt, was er am Schluß dieser Abhandlung die zweite Annäherung nennt; die Unregelmäßigkeiten nach der Länge und nach den besonderen Milchstraßengebilden zu studieren, hat er seinen Nachfolgern überlassen.

War damit also das erste Ziel, die Struktur des Sternsystems in seinen Hauptzügen, erreicht, so gab *Kapteyn* sich damit nicht zufrieden. In seiner letzten großen Arbeit, im Jahre 1921, macht er einen ersten Versuch, von dieser geometrischen Anordnung zu einer *dynamischen Theorie des Sternsystems* aufzusteigen. Nachdem er erforscht hatte, wie das System aufgebaut war, stellte er die Frage, weshalb, durch welche Kräfte, durch welche Bewegungen das System eine solche Struktur haben müsse und in Gleichgewicht bleiben könne. Um die Anziehungskräfte leicht berechnen zu können, nimmt er für die Flächen gleicher Dichtigkeit zehn gleichförmige Rotationsellipsoide an, deren galaktische Äquatorachsen 5,1mal die Polachsen sind, zwischen denen sich Schalen abnehmender bekannter Sterndichte befinden. Eine solche abgeplattete Figur kann nur in Gleichgewicht sein, wenn sie um die Polachse rotiert. In der Richtung des Pols hat die Rotation keinen Einfluß und wirkt nur die Anziehung; *Kapteyn* führt dafür nun die Hypothese durch, daß die Abnahme der Dichtigkeit vom Zentrum nach außen ein Gleichgewichtszustand ist, vergleichbar mit der Abnahme der Dichtigkeit einer Atmosphäre nach oben unter dem Einfluß der Schwere. Der Gedanke, ein Sternsystem mit einer Gasmasse und die Einzelsterne mit den Molekeln zu vergleichen, ist schon öfters angewandt worden; man muß dann zum Vergleich ein Gas in äußerst verdünntem Zustande nehmen, wobei Zusammenstöße äußerst selten sind. Die Anwendung der bekannten Gleichgewichtsformeln der Atmosphäre liefert eine Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit der Sterne und ihrer Anziehungskraft, d. h. (da ihre Anzahl bekannt ist) ihrer mittleren Masse; das Resultat für die mittlere Masse: 2,2—1,4 Sonnenmasse stimmt so gut überein mit dem, was aus Doppelsternbahnen bekannt ist, daß man sagen kann, die Dichtigkeitsverteilung der Polachse entlang ist gerade so wie sie sich als Gleichgewichtszustand unter der Wirkung der Attraktion des Sternsystems selbst einstellen muß.

In der galaktischen Ebene sowie in den mittleren Breiten kommt nun die Rotation hinzu; ähnlich wie in einer abgeplatteten rotierenden Flüssigkeitsmasse steht nicht die Anziehung, sondern die Resultante von Anziehung und Zentrifugalkraft senkrecht zu den Ellipsoidflächen, und die durch die Zentrifugalkraft verringerte Anziehung bewirkt die sehr langsame Abnahme der Dichtigkeit mit der Entfernung

in der Milchstraßenebene. Allerdings fehlt für eine Rotation des Systems als Ganzes jede experimentelle Grundlage; jeder Versuch, sie nachzuweisen, ist bisher gescheitert. Aber der gleiche Effekt auf die Gestalt wird erreicht, wenn die Sterne in zwei entgegengesetzten Richtungen rotieren; da Zusammenstöße keine Rolle spielen, stören diese Bewegungen einander nicht. Damit hat *Kapteyn* einen Gedanken von *Schwarzschild*, das Phänomen der Sternströmungen durch entgegengesetzte Rotationsbewegungen zu erklären, wieder aufgenommen. Er konnte aus den Gleichgewichtsbedingungen und der Gestalt die Rotationsgeschwindigkeiten berechnen: während die Rotationszeiten von der Ordnung 100 Million Jahre sind, nehmen von dem Zentrum ab die Geschwindigkeiten erst regelmäßig zu, erreichen bei 1000 Parsek den Betrag von 13 km, und bleiben dann für größere Entfernungen als 2000 Parsek ziemlich konstant, zwischen 20 und 18 km. Da nun bekannt ist, daß die relative Geschwindigkeit der beiden Sternströme 40 km ist, findet sich hier in der Tat eine ungezwungene und einfache Erklärung der Sternströme. Wir müssen dann annehmen, daß die Sonne sich ein gutes Stück außerhalb des Zentrums des Systems befindet, damit in ihrer nächsten Umgebung eine Strömung dieses Betrages möglich ist. Auf Grund der beobachteten mittleren Dichtigkeiten in verschiedener Entfernung von der Sonne einerseits, die eine zu große Entfernung ausschließen, der beobachteten Stromgeschwindigkeit andererseits, die eine zu kleine Entfernung ausschließt, kommt *Kapteyn* zu der Schätzung von 650 Parsek für die Distanz der Sonne vom Zentrum des Systems. Die Richtung nach diesem Zentrum muß senkrecht zu der Stromrichtung, also 90° von den Vertices entfernt liegen, entweder auf 77° Länge in Cassiopeia (AR. $23^h 10^m$ Decl. $+57^\circ$) oder demgegenüber auf 257° im Schiff. *Kapteyn* erachtet den ersteren Wert als den wahrscheinlichsten, da mehrere Forscher den Schwerpunkt des Systems in jener Gegend gefunden haben.

Mit dieser Theorie war zum erstenmal das Sternsystem als ein Organismus dargestellt, indem ein Zusammenhang zwischen dem geometrischen Element der äußeren Struktur, dem kinetischen Element der Bewegungsgesetze und dem dynamischen Element der Massen und ihrer Anziehung hergestellt wurde. Sie bildet den Abschluß seiner Arbeiten über die Struktur des Weltalls, indem sie mit diesem ersten Versuch an einem vereinfachten schematischen System schon einen Fuß in das Gebiet der Zukunftsforschung setzt. *Kapteyn* hat diese Theorie 1921 in der Potsdamer Versammlung der Astronomischen Gesellschaft und in der Edinburger Versammlung der British Association auseinandergesetzt und mit verschiedenen Kollegen besprochen. Sie ist in der Mainnummer 1922 des *Astrophysical Journal* unter der Überschrift „The sidereal system“ veröffentlicht worden.

IX.

Als *Kapteyn* diese Theorie ausarbeitete, war er noch voll der kräftigsten Schaffenslust. Er zog, als er wegen der erreichten siebenzig Jahre sein Lehramt in Groningen niederlegen mußte, nach Leiden, um bei der Reorganisation der Sternwarte Mithilfe zu leisten. Da plante er neue Untersuchungen, besonders zur Prüfung des Fundamentalsystems der Sternörter, während er zugleich die Ableitung der Endergebnisse aus den älteren Leidener Beobachtungen beaufsichtigte. Aber im nächsten Frühjahr zeigten sich immer stärker die Symptome einer unheilbaren Krankheit, und am 18. Juni verschied er.

Ein Forscherleben ist abgeschlossen so reich an Ergebnissen wie nur selten eins. Es war ganz dem Studium der Struktur des Sternsystems gewidmet; und seit den *Herschels* hat wohl keiner auf diesem Gebiet so Großes geleistet wie er. Er wird auch darin dem älteren *Herschel* verglichen, daß durch seine Arbeit die Wissenschaft der Fixsternwelt so völlig umgewandelt und erneuert ist, daß sie wie neugeschaffen erscheint. Glück und Genialität mußten dazu zusammenkommen. Er hatte das Glück, schon als junger Mann frei und selbständig seinen eigenen Weg wählen zu dürfen und, ohne durch überkommene Pflichten der Direktion eines bestehenden Instituts in Anspruch genommen zu werden, seine ganze Tätigkeit den eigen gewählten Forschungsobjekten widmen zu können. Worin seine Genialität lag, beschreibt sein Schüler *de Sitter* in der Weise: Es gibt Gelehrte, deren Veranlagung sie zum Beherrschen der großen Probleme, zum Sammeln der vielen Tatsachen zu einem Ganzen befähigt. Es gibt andere, die zum Ausarbeiten der Einzelheiten, zur ausdauernden Überwindung der Schwierigkeiten der Praxis geeignet sind. Bei *Kapteyn* waren beide Veranlagungen in seltener Weise in einer Person vereinigt. Er überblickte das Ganze und konnte zu jedem Detail Anweisungen geben oder nahm es selbst zur Hand. Wenn nötig, scheute er keine Mühe, eine Nebenfrage bis zum Äußersten zu klären, aber nie ließ er sich dazu hinreißen, sie weiter zu verfolgen als zum Ganzen nötig war. Und *Eddington* sagt von ihm: „Seine mathematische Begabung war effektiv, aber nicht übermäßig; in der Beobachtung wurde er gehemmt durch die geringen Hilfsmittel des Groninger Laboratoriums. Aber irgendwie in dem Gebiete zwischen Beobachtung und Theorie fand er eine Sphäre, wo ihm so gut wie keiner ebenbürtig war. Ein Instinkt im Erkennen der Richtungen, in denen ein Fortschritt möglich und dringend war, ein offener Geist und eine Phantasie, die einen halbverborgenen Schlüssel zu ergreifen wußte, klare Einsicht in die vorliegenden Probleme, und eine Ausdauer, die durch keine Hindernisse zu entmutigen war — das alles hat mitgeholfen. Wenn wir aber darüber nachdenken, was *Kapteyn* für die Astronomie geleistet hat, müssen wir, glaube ich, zu dem alten Wort

zurückgreifen, das da besagt, daß eine Form des Genies in einer grenzenlosen Fähigkeit, sich Mühe zu geben, besteht.“ Dabei muß noch sein starker Sinn für Realität genannt werden, wodurch er immer die Materie beherrschte, nie von ihr beherrscht und in Seitenwege gedrängt wurde. Nie opferte er der Form das Wesen auf; formelle Schönheitsfehler beschwerten ihn nicht; oft kommt in seinen Schriften die Fußnote vor: „diese Zahl ist durch einen Rechenfehler entstellt, aber der Unterschied ist zu gering, um eine Wiederholung der weiteren Rechnung lohnend zu machen“. Bei allen neuen Resultaten vergaß er nie, streng kritisch die Fehler und Unsicherheitsgrenzen abzuwägen. — Was ihn aber zum Führer in der Wissenschaft machte, war die anziehende Kombination von Geistes- und Charaktereigenschaften. Die Organisation der Forschung, die er schuf, war nicht eine, die auf der Machtvollkommenheit eines Leiters, auch nicht eine, die auf der Beratung und dem gemeinsamen Beschluß eines Kongresses beruht, sondern eine freiwillige Kooperation, durch seine hervorragende und gewinnende Persönlichkeit angeregt und geleitet. Die völlige Beherrschung aller Probleme und Möglichkeiten, die seinen Vorschlägen und Anregungen stets Beachtung seitens der praktischen Astronomen sicherte, war gepaart mit einer Selbstlosigkeit, die Andern immer die volle Ehre gab und nie einen Mißton in der Zusammenarbeit aufkommen ließ. Die Welt der Astronomen hat in ihm nicht nur einen ihrer Größten, sondern zugleich einen ihrer Besten verloren.

Zuschriften und vorläufige Mitteilungen.

Der Streit um das Elektron.

Bemerkung zu den Aufsätzen des Herrn R. Bär¹⁾.

Der Versuch, die von mir beobachteten Unterschreitungen der elektrischen Ladung des Elektrons an einzelnen kleinen Probekörpern durch eine Unterschreitung der Massendichte der Probekörper zu erklären, stammt schon von *J. Perrin* (1911). Dieser Autor brachte als erster die Hypothese der „schwammartigen Struktur“ solcher kleiner Probekörper auf, nachdem ich bereits bemerkt hatte, daß kleine Goldkugeln die Dichte $\frac{1}{2}$ haben müßten, wenn man annehmen wollte, daß sie mit der Elektronenladung geladen wären. Vor etwa zwei Jahren schien es, als ob diese Hypothese durch eine andere das gleiche Ziel verfolgende Hypothese *Regeners* verdrängt werden sollte, welcher die Unterschreitungen der Elektronenladung durch die „Adsorption einer Gasschicht“ an den Partikeln erklären wollte. Diese Hypothese scheint nunmehr erledigt zu sein. Ich lasse zu diesem Punkte Herrn *Bär* selbst das Wort ergreifen: „Wenn diese Hypothese (*Regeners*) allgemein zutreffend wäre, müßte man oberhalb einer gewissen Grenze des Teilchenradius immer das richtige Elementarquantum erhalten. Tatsächlich hat man aber an Edelmetallpartikeln, die durch Zerstäubung im elektrischen Bogen oder Funken hergestellt wurden, . . . überhaupt

¹⁾ Naturw. 10, 1922, 14/15. Vgl. auch Ann. d. Phys. 67, 1922, S. 157.