

456

Hugo von Seeligers wissenschaftliches Werk

Festrede

gehalten in der öffentlichen Sitzung
der B. Akademie der Wissenschaften
zur Feier des 168. Stiftungstages

am 20. Juli 1927

von

Alexander Wilkens

o. Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung

München 1927

Verlag der Bayer. Akademie der Wissenschaften
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München

Hugo von Seeligers wissenschaftliches Werk

Festrede

gehalten in der öffentlichen Sitzung
der B. Akademie der Wissenschaften
zur Feier des 168. Stiftungsfestes

am 20. Juli 1927

von

Alexander Wilkens

o. Mitglied der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung

München 1927

Verlag der Bayer. Akademie der Wissenschaften
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München

Hochansehnliche Festversammlung!

Hugo von Seeliger, dessen edle Züge mit den klaren und gütigen wasserblauen Augen auf dem von Alfred Schwarzschild modellierten Bildnis wir vor uns sehen, ist eine der größten Zierden der Bayerischen Akademie der Wissenschaften gewesen. Während 42 Jahren war er ihr Mitglied, 5 Jahre lang ihr Präsident. Der gegenwärtige Präsident der Akademie, Herr Geheimrat von Gruber, hat Seeliger als seinem Vorgänger auf der Festsitzung des Jahres 1925 einen von höchster Wärme und Verehrung getragenen Nachruf in Bezug auf die geistige Gesamtpersönlichkeit Seeligers gewidmet, sodaß es sich hier völlig erübrigt, in dieser Richtung irgend etwas hinzuzufügen. Aber die Akademie hat den Wunsch gehabt, daß von Seeligers astronomischem Amtsnachfolger dargelegt werden möge, was der große Tote für seine Wissenschaft, die Himmelsforschung, bedeutet und wodurch er sich im besonderen einen unvergänglichen Ruhm gesichert hat.

Im Zusammenhang mit der Darstellung der wissenschaftlichen Gesamtleistung Seeligers dürfte es für das Verständnis seines Werkes angebracht sein, zunächst noch einmal in aller Kürze seine äußeren Lebensschicksale zu fixieren. S. wurde am 23. Sept. 1849 zu Bielitz bei Biala in Oesterreichisch-Schlesien als Sohn angesehener und wohlhabender Eltern geboren, die selbst mit Veranlagungen edelster Art und hoher Geisteskultur gesegnet waren, die sie als kostbares Erbgut mittels einer gediegenen Erziehung auf den Sohn zu übertragen verstanden; es war eine glückliche Schicksalsfügung, daß S.'s ausgesprochene Anlagen und Fähigkeiten sich im Schoße einer solchen Familie aufs ungestörteste entfalten konnten. Im Jahre 1867 bezog S. nach Erlangung des Reifezeugnisses am Teschener Gymnasium zuerst die

Heidelberger, dann die Leipziger Universität, auf der er auch im Jahre 1872 mit einer astronomischen Dissertation zum Doktor der Philosophie promovierte. Alsdann war S. von 1873—1878 unter Argelander Observator der Sternwarte in Bonn, inzwischen, im Jahre 1874, war er mit der Leitung der nach den Aucklandsinseln vom Deutschen Reich ausgesandten Expedition zur Beobachtung des Vorüberganges des Planeten Venus vor der Sonnenscheibe zwecks moderner Bestimmung der Entfernung der Erde von der Sonne bestellt. Im Jahre 1877 wurde S. an der Universität Bonn als Privatdozent aufgenommen, in welcher Eigenschaft er 1878 nach Leipzig übersiedelte, um sich hier unbehindert durch dienstliche Verpflichtungen, ganz der theoretischen Astronomie widmen zu können, da S., wie seine Werke zeigen, für die Theorie eine angeborene Anlage besaß. Von 1881 bis 1882 war S. alsdann Direktor der Herzoglichen Sternwarte in Gotha als Nachfolger des damals berühmtesten deutschen astronomischen Theoretikers Peter Andreas Hansen. Aber bereits im Jahre 1882 wurde S. von Gotha aus als Nachfolger Lamonts als ordentlicher Professor an der Universität und Direktor der Sternwarte nach München berufen. Im gleichen Jahre wurde S., 33 Jahre alt, auch zum ordentlichen Mitgliede der bayer. Akademie der Wissenschaften gewählt. Dieser neuen Wirkungsstätte ist S. alsdann bis zu seinem Lebensende treu geblieben; Berufungen an die Universitäten und Sternwarten in Prag, Straßburg, Potsdam und Wien hat er abgelehnt. Vom Jahre 1896 bis 1921, also 25 Jahre lang, war S. die hohe Ehre beschieden, Präsident der internationalen astronomischen Gesellschaft zu sein, die bis zum Weltkriege die Astronomen der ganzen Welt international vereinigte, und schließlich war S. von 1919 bis 1924 Präsident der bayer. Akademie der Wissenschaften. Als Zeichen der äußeren Anerkennung für seine wissenschaftlichen Leistungen besaß S. den höchsten preußischen Orden Pour le Mérite und den bayerischen Maximiliansorden für Wissenschaft und Kunst. Nach einem glänzenden äußeren Lebenslaufe und erfolgreichster wissenschaftlicher Arbeit ist S., körperlich schwer leidend und niedergebrosen vom deutschen Schicksal nach dem unglücklichen Ausgang

des Weltkrieges, wie es Herr Präsident von Gruber in seinem Nachrufe so ergreifend dargestellt hat, am 2. Dez. 1924 sanft verschieden.

Das Geheimnis von S.'s wissenschaftlichem Erfolge war in einer stark entwickelten und angeborenen mathematisch-physikalischen Anlage, unterstützt durch die glückliche Harmonie eines scharfen Verstandes und rastlosen Fleißes, begründet. Für die ungehemmte Entwicklung, gerade solcher Anlagen in jungen Jahren kam noch das für diesen Fall besonders große und unschätzbare Glück materieller Unabhängigkeit hinzu. Wie S. seine wissenschaftlichen Ziele und Probleme stets so hoch als nur irgend möglich steckte, so studierte er als Lernender vorzugsweise die anerkanntesten Klassiker seiner Wissenschaft wie Gauß, Jacobi, Lagrange und Laplace, dessen berühmte «*Mécanique céleste*» er besonders in Bonn, sogar in den Pausen zwischen den nächtlichen Beobachtungsreihen zu den Zonenbeobachtungen am Meridiankreise, zu durchdringen sich bemühte. Außer dießen großen Forschern machten den nachhaltigsten Eindruck auf seine Gedankenwelt der schon genannte Theoretiker P. A. Hansen in Gotha und in Leipzig der erste deutsche Professor für Astrophysik Friedrich Zöllner, der als der Begründer der modernen Photometrie des Himmels zu betrachten ist und auf dessen Grundlagen S. sein eigenes photometrisches Werk aufgebaut hat. Wohl errichtete S. sein wissenschaftliches Werk auf festem und wohlbegründetem historischem Boden, aber doch galt sein Streben immer neuen und eigenen Problemen, wobei er möglichst neue Ideen nach neuen Methoden zu bearbeiten suchte. Sein Ehrgeiz und sein Drang nach Selbständigkeit waren derartig stark entwickelt, daß er an den großen Problemen anderer lebender Forscher nicht immer direkten, aktiven Anteil zu nehmen vermochte; nur selbsterkannten Problemen galt seine intensive Arbeit. Das ist der Grund seiner Nichtbeteiligung an den Ideen von Gylden, Bruns und Poincaré, die das Problem der allgemeinen Anziehung der Materie nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz mit äußerst allgemeinen und wertvollen Theoremen bereichern konnten, während S. selbst in ganz anderer Richtung forschte. Andererseits war S. niemals ein wirklichkeitsfremder Theore-

tiker, sondern gerade er war es, der Jahrzehnte hindurch gezeigt hat, wie man erfolgreich und wirklich praktisch theoretische Astronomie treiben kann und zu treiben hat. Zwei Assistentenjahre in Leipzig und 5 Jahre als Observator in Bonn haben ihm nebenher die grundlegende praktische Schulung zu kritischer Beurteilung der Beziehungen zwischen praktischer und theoretischer Astronomie verliehen. Ein wie großes praktisches Geschick S. zur kritischen Bearbeitung von Messungen und Beobachtungsergebnissen überhaupt besaß, welch größten Wert er auf die strenge Behandlung solcher Reihen nach einer einwandfreien Gauß'schen Ausgleichung unter möglichster Elimination aller systematischen Fehler legte, geht aus allen seinen Arbeiten hervor, in denen unmittelbare Beobachtungsergebnisse die Grundlage der theoretischen Verarbeitung bildeten. In einer leider nur kurzen und flüchtigen Stunde kann es sich nur um das Aufzeigen der bedeutendsten und prinzipiellen Arbeiten S.'s handeln und auch nur insoweit, als dieselben ein allgemeines Interesse zu bieten vermögen. Die Zahl der Schriften S.'s beträgt nämlich über hundert, worunter sich umfangreiche Arbeiten befinden, an denen S. Jahrzehnte lang gefeilt hat. Alle anderen Arbeiten an Bedeutung überragend, stehen an erster Stelle die Untersuchungen zur Stellar-Astronomie, ihnen folgen die photometrischen Untersuchungen und diejenigen zur Mechanik des Himmels. In allen Problemen erkannte S. stets mit auffallend klarem Blicke die prinzipielle Seite und behandelte auch stets nur diese in seinen deshalb auch häufig nur kurzen Arbeiten.

S.'s stellar-astronomische Untersuchungen wurzeln historisch in den Arbeiten Herschels, dessen Beobachtungsergebnisse und Ideen darin gipfelten, daß alle auch in den größten Fernrohren noch sichtbaren Sterne räumlich in einer abgeflachten und endlichen Linie gelegen sind. Herschels Voraussetzung für seine Betrachtungen war die zunächst primitive, aber naheliegende Annahme einer räumlich gleichförmigen Verteilung der Sterne und ihrer absoluten Helligkeit. S. war der erste, der beinahe ein Jahrhundert nach Herschel die mathematisch-physikalische Durchdringung des von Herschel und anderen Forschern wie

Celoria und Argelander gesammelten Beobachtungsmaterials mit mathematischer Strenge durchzuführen sich bemühte. Nach einer statistischen Untersuchung der scheinbaren Verteilung der Sterne auf der nördlichen Halbkugel nach der Bonner Durchmusterung Argelanders, ferner der südlichen Halbkugel nach Schönfelds Durchmusterung während der Jahre 1884 bis 1893 erschien 1895 zunächst in den «Astronomischen Nachrichten» die erste vorläufige Mitteilung über die Verteilung der Sterne im Raum und im Jahre 1898 alsdann in den Abhandlungen unserer Akademie die erste ausführliche Untersuchung unter dem Titel: «Betrachtungen über die räumliche Verteilung der Fixsterne»; 11 Jahre später im Jahre 1909 folgte eine zweite Abhandlung unter dem gleichen Titel. Das von S. aufgeworfene Problem ist die Frage nach der räumlichen Erschließung der Sternverteilung aus der scheinbaren Verteilung an der Himmelskugel und die hierauf basierende strenge Ableitung der geometrischen Form der Grenzfigur, in die alle sichtbaren Sterne eingeschlossen sind. Wären die Entfernungen aller Sterne bekannt, so wäre das Problem gelöst und die räumliche Dichte sofort gegeben, ebenso in Verbindung mit der beobachteten scheinbaren Helligkeit auch die absolute, für eine bestimmte Entfernungseinheit gültige Helligkeit jedes Sternes und damit auch die prozentuale Verteilung der absoluten Leuchtkräfte auf die Einheit eines beliebig gewählten Volumens. Bei der Unkenntnis der Entfernungen aber, deren Bestimmung auch heute noch in den Kinderschuhen steckt, war das grundlegende und die Lösung erleichternde Argument ausgeschaltet und blieb durch indirekte Argumente oder plausible Hypothesen zu ersetzen; beide Möglichkeiten haben aber darüber hinaus noch mathematische Schwierigkeiten unangenehmster Art in jedem Falle zur Folge, weil sogenannte Integralgleichungen erhalten werden, die die mathematische Forschung in Bezug auf Strenge und Eindeutigkeit der Lösung auch heute noch nicht direkt zu meistern vermag, sodaß langwierige Näherungsverfahren zur Lösung aufgewendet werden müssen. Ein erstes anschauliches Hilfsmittel bietet nun aber der äußere Anblick des gestirnten Himmels bei Fixierung der Milchstraße, die als schmales, den Himmel sehr nahe in zwei

symmetrische Hälften aufteilendes Band erscheint, in Wirklichkeit aber, wie aus der Fernrohrbeobachtung folgt, eine Ansammlung von Millionen schwacher und schwächster Sterne bedeutet. Kant und der Engländer Wright hatten bereits im 18. Jahrhundert unabhängig von einander weittragende Ideen und Folgerungen hinsichtlich einer kardinalen Bedeutung der Milchstraße für das Sternsystem entwickelt, und Herschel hatte einen ersten Anhalt durch umfassende Beobachtungsreihen an seinen Riesenfernrohren zu erlangen gesucht, indem er die Zahl der Sterne, die im Gesichtsfeld seines Fernrohres sichtbar waren, exakt abzuzählen sich bemühte und zwar an dreitausend vierhundert Stellen der Sphäre; sein Sohn John Herschel führte eine entsprechende Eichung auf der südlichen Halbkugel durch Beobachtungen am Kap der guten Hoffnung aus. Auf Grund der Herschelschen Voraussetzungen der gleichmäßigen Verteilung und der absolut gleichen Leuchtkraft aller Sterne mußte die Erstreckung des Sternsystems in jeder Richtung proportional der 3. Wurzel aus der in jeder Richtung erhaltenen Sternzahl sein, sodaß also die Entfernung des Sternsystems in der Richtung eines jeden einzelnen Areal in einfachster Weise durch die Sternzählung gegeben war. Als anschauliches Resultat ergab sich auf diesem elementaren Wege als Modell des Sternsystems eine stark abgeflachte Linse mit der Milchstraße als Symmetrie-Ebene. Nach Herschel hatten W. Struve und andere mehr oder weniger phantastisch anzuspreekende neue Formulierungen gebracht, die deshalb aber auch erfolglos waren. Fast ein ganzes Jahrhundert ruhte das große und der allgemeinen Untersuchung wertvolle Problem der räumlichen Verteilung der Sterne, bis S. es vom Jahre 1884 ab wieder aufnahm und nach den vorbereitenden Untersuchungen im Jahre 1898 in der genannten Abhandlung zum ersten Mal im Gewande von Integralgleichungen streng mathematisch zuerst formulierte. Die Anzahl der Sterne von den hellsten herab bis zu einer bestimmten vorgelegten Helligkeit einerseits und die mittleren Entfernungen der verschiedenen Helligkeitsklassen andererseits sind mit den zu ermittelnden Gesetzen der räumlichen Dichtigkeits- und Häufigkeitsverteilung der stellaren Leuchtkräfte

in den Grundgleichungen miteinander verbunden; diese Gleichungen sind der Definition nach nichts anderes als der Ausdruck für die Sternzahl in einem beliebigen Raumteil, in Abhängigkeit von der örtlichen Dichte der Sterne und von der Häufigkeit der verschiedenen Helligkeiten, und sie bleiben auch die Grundlage für alle Untersuchungen zur räumlichen Verteilung der Sterne, wenn noch eine etwaige interstellare Absorption des Lichtes angenommen werden müßte. Dabei sind die Voraussetzungen der Grundgleichungen ganz allgemeine, indem von vornweg eine von Ort zu Ort wechselnde räumliche Dichte der Sterne und allgemein eine ungleiche Leuchtkraft derselben angenommen ist; ebenso wird an jeder Stelle des Raumes, zunächst wenigstens, eine prozentual ungleiche Anzahl von Sternen derselben Leuchtkraft im Einheitsvolumen vorausgesetzt. Ebenso erfolgt eine Berücksichtigung der Absorption des Fixsternlichtes in allgemeinsten Weise. Die Anzahl der Sterne von den hellsten bis herab zu denen der Größe m werden durch die Beobachtungen geliefert und zwar abgezählt auf demselben gleich großen, aber in beliebiger Richtung nach der scheinbaren Himmelskugel gelegenen Flächenteil. Für den überhaupt möglichen Helligkeitsbereich der Sterne muß die Annahme eines endlichen Wertes gemacht werden, aber seine Höchstgrenze bleibt abzuleiten; daß die absoluten Helligkeiten der Sterne nur zwischen begrenzten Werten gelegen sind, ist die Bedingung der Existenz von mittleren Parallaxen der verschiedenen scheinbaren Größenklassen überhaupt. Unendlich große Intensitäten sind auch physikalisch unmöglich und ebenso ist die äußere Grenze des Systems als endlich anzunehmen, um das Problem nicht von vornweg in unzulässiger Weise zu spezialisieren, wobei aber diese Grenze nicht etwa klein zu sein braucht und ihr numerischer Wert zu bestimmen bleibt. Bei einer ersten Vernachlässigung einer allgemeinen Absorption im Raum ergibt sich dann aus den Integralgleichungen, daß die Sternzahlen bis zu einer Größe m sich wie eine bestimmte, aber nicht rationale Potenz der Wurzelgröße aus der Helligkeit und ferner die mittleren Parallaxen wie diese Wurzelgrößen selbst verhalten; würden die Sternzahlen und mittleren Paral-

laxen anders als nach diesen Gesetzen verlaufen, so müßten Absorptionen vorhanden sein. Ist die abgeleitete Formel ferner nur näherungsweise erfüllt, so ist zwar auch bei Vernachlässigung der Absorption eine erzwungene Darstellung der mittleren Parallaxen zu erreichen, aber nur in einem gewissen für die Sternzahlen bedingten Spielraum. Wesentlich ist ferner, daß S. zeigen konnte, daß Dichte und Absorption nicht etwa so von einander getrennt werden können, daß beide Größen aus der scheinbaren Verteilung allein bestimmt werden können. Die Beschaffung der hauptsächlichlichen Grundlage der Feststellung der Sternzahlen ist nun keine so einfache Aufgabe. Eine Reihe von Vorarbeiten, sechs an Zahl, waren von S. zur eingehenden Bearbeitung der Abzählungsergebnisse der Bonner Durchmusterung, der Sterneichungen der beiden Herschel und der von Celoria durchzuführen. Das ganze Material wurde in Mittelzahlen für neun nach der Milchstraße orientierte Zonen zusammengefaßt. Diese Zonen 1 bis 9 umfassen also je 20 Grad galaktischer Breite, vom Nordpol der Milchstraße bis zu ihrem Südpol, sodaß die Mitte von Zone fünf mit der Mittellinie der Milchstraße zusammenfällt. Der Verlauf der Sternzahlen von den Polen der Milchstraße bis zu ihrer äquatorialen Mittelebene führt dann, wenn man die räumliche Verteilung zu einer gleichförmigen, wie Herschel sie angenommen hatte, in Beziehung setzt, zu dem ersten S.'schen Gesetz, gültig für die hellsten Sterne bis zu denen der 9. Größe; »Die Anzahl der Sterne nimmt beträchtlich langsamer mit der Sterngröße zu als es bei gleichförmiger Verteilung und gleicher mittlerer Leuchtkraft der Fall sein würde«. Ferner folgt aus dem Verlauf der Sternzahlen für die Sterne 6.—9. Größe weiter sofort ein zweites Gesetz: »Die Zahl der Sterne nimmt mit der Sterngröße umso stärker zu, je näher die betrachtete Himmelsgegend der Milchstraße liegt«, ein Gesetz, das aber für die hellsten Sterne bis zu den visuell gerade noch sichtbaren Sternen 6. Größe nicht erfüllt ist, wenn auch der bloße Anblick der Milchstraße scheinbar zeigt, daß ihr Band mit den allerdings wenigen, aber gerade allerhellsten Sternen bekränzt erscheint. Die Verteilung der noch schwächeren Sterne untersuchte S. mittels der Eichungen

von Celoria, die zwischen dem Äquator und dem Parallelkreis $+6^\circ$ ausgeführt worden sind und bis zur Größe 11,5 reichen, und ferner mittels der Abzählungen der beiden Herschel, bei denen die Grenzhelligkeit 13,5 beträgt. Die Anzahl der Sterne pro Quadratgrad wurde mit der Anzahl der bis 9,2 reichenden Sterne der Bonner Durchmusterung verglichen. Bei den Sternen bis 11,5 ergibt sich dann dasselbe Verteilungsgesetz wie für die Bonner Sterne der Größen 6 bis 9, in Bezug auf die schwächeren Sterne folgt aber das dritte S.'sche Gesetz: «Die Anzahl der schwächeren Sterne wächst in Regionen fern von der Milchstraße sehr langsam mit der Sterngröße und in einem überaus viel langsameren Verhältnis wie dies bei den helleren Sternen der Fall ist». Mit diesen Sätzen hat S. das Material der Durchmusterungen in Bezug auf die Frage der scheinbaren Verteilung prinzipiell erschöpft. Erst nach Abschluß der noch im Gange befindlichen internationalen photographischen Himmelskarte sind vielleicht erweiterte Resultate zu erwarten, aber in der Ableitung der photographischen Größe der schwächsten Sterne der Platten liegen hier noch ganz wesentliche und unüberbrückbare Schwierigkeiten vor.

Will man nun aus den Sternzahlen die in den S.'schen Integralgleichungen steckenden und uns besonders interessierenden Gesetze der räumlichen Sterndichte und der Verteilung der Leuchtkräfte ableiten, so ist dies nur auf einem beschwerlichen Näherungswege möglich, weil die Hilfsmittel der mathematischen Forschung zu einer direkten Auflösung der Gleichungen, wie schon erwähnt, nicht hinreichen. Die Dichte erhält in erster Näherung einen algebraischen Ausdruck, indem sie umgekehrt proportional einer irrationalen Potenz der Entfernung wird, während die Häufigkeit der Leuchtkräfte einem transzendenten logarithmischen Ausdruck in Abhängigkeit von der Leuchtkraft allein genügt. Als ein wesentliches Kriterium der Tragweite der Lösung ist es zu betrachten, daß man, wie S. meint, die Sternzahlen bis zur 18. Größenklasse so berechnen kann, als ob die ermittelte Näherungsform für die Leuchtkraftverteilung eine unbegrenzte Gültigkeit hätte, ohne einen merklichen Fehler zu begehen. In Bezug auf die mittleren

Parallaxen, wie sie sich nach S.'s Theorie mit mathematischer Konsequenz auf Grund der die Sternzahlen betreffenden Formeln ergeben, kann man einen Vergleich mit den von Kapteyn in Groningen abgeleiteten sogenannten Säkularparallaxen vornehmen, d. h. mit Parallaxen, die aus den Eigenbewegungen der Sterne, wenn sie als Folge der Bewegung der Sonne durch den Weltraum aufgefaßt werden, abgeleitet wurden. Der Vergleich ist schon von S. selbst als kein befriedigender erkannt worden; eine Vereinigung der S.'schen und Kapteyn'schen Werte ist nur möglich, wenn man eine starke Absorption des Lichtes im Raume annimmt oder die Sternzahlen und die Leuchtkraftfunktion abändert. Bis zur 12. Größe sind die Sternzahlen nun aber sehr nahe richtig, also auch S.'s Parallaxen als mathematische Folge der Sternzahlen und es bleibt also nichts anderes übrig, als entweder die Kapteyn'schen Parallaxen als nicht richtig zu betrachten oder eine starke Absorption anzunehmen. Die Unrichtigkeit der Kapteyn'schen Parallaxen ist möglich, weil sie auf der Annahme einer vollständigen Kompensation aller systematischen Eigenbewegungen beruhen, was bestimmt nicht richtig ist, weil bei den schwächeren Sternen noch viel zu wenig über die systematischen Eigenbewegungen bekannt ist. Was andererseits die Annahme einer bedeutenden Absorption betrifft, so wäre sie mit verhängnisvollen Konsequenzen verbunden, besonders wenn es sich um eine allgemein wirkende Absorption handeln sollte, die andererseits bis heute nicht aufgefunden worden ist. Bei merklicher Absorption folgt nämlich aus S.'s Formeln, daß alsdann die räumliche Dichte, also die Zahl der Sterne pro Volumeneinheit, gegen die Grenzen des Sternsystems sehr stark anwachsen müßte, was höchst unwahrscheinlich ist. S.'s Argumentierung hat also die größere Wahrscheinlichkeit. Das Endergebnis von S.'s Untersuchung der Integralgleichungen der Stellarstatistik unter sorgfältiger und ungezwungener Benutzung der Beobachtungsergebnisse gipfelt darnach schließlich in der Tatsache, daß alle überhaupt sichtbaren Sterne zu einem, nämlich dem Milchstraßensystem gehören, dessen geometrische Grenzform die einer flachen Linse ist, deren in der Milchstraße gelegene äusserste Grenzentfernung rund

5000 Parsek und senkrecht dazu nach den Polen rund 3000 Parsek beträgt, sodaß das Licht also 16000 resp. 10000 Jahre benötigt, um von der Mitte des Systems an die Grenzen zu gelangen; aus der Ferne gesehen erscheint das System als ein stark abgeplatteter Sternhaufen mit nach außen stark abnehmender Dichte. Die Leuchtkraftverteilung ist überall im Raume sehr nahe die gleiche, d. h., das Mischungsverhältnis der verschiedenen Lichtintensitäten ist überall dasselbe, während die räumliche Dichte in der Weise von innen nach außen stark abnimmt, daß sie an der Grenze des Systems der Milchstraße nur noch $1/20$ der zentralen Dichte beträgt. Zufällig befindet sich das Sonnensystem nur wenig exzentrisch in der Nähe des Mittelpunktes des Systems, worauf bei der Ableitung der Verteilungsgesetze von S. Rücksicht genommen worden ist. Das S.'sche Resultat bringt also eine vollständige Lösung des Problems der räumlichen Verteilung der Sterne, insofern die Form, die Dimensionen und Dichteverhältnisse des alle sichtbaren Sterne enthaltenden Raumes mit mathematischer Strenge im Anschluß an die Abzählung der Sterne abgeleitet worden sind. Dieses typische System wurde unter äußerster Ausnutzung der zur Zeit vorhandenen Beobachtungstatsachen in Strenge erfaßt, wenn auch durch die Mittelbildungen nach den neun vom Nord- bis zum Südpol der Milchstraße gewählten Zonen die mancherlei Abweichungen von der wahren Struktur im einzelnen weggeglättet worden sind und deshalb nur ein mittleres, typisches Bild übrig geblieben ist. Die Detailforschung der Abweichungen von diesem typischen System und die in dieser Beziehung vorzunehmende Vervollständigung des S.'schen Systems ist Aufgabe der künftigen Forschung. Im Hinblick auf die sonstigen Forschungen im Fixsternsystem bedeutet die S.'sche Lösung den ersten mehr geometrischen Teil der Frage nach dem Bau des Universums, denn es finden bekanntlich im Weltall große kosmische Bewegungen statt, bis zu 40 Kilometer bei den Sternen, bis zu Hunderten von Kilometern pro Sekunde bei einzelnen Schnellläufern und bis zu 3000 km bei den Spiralnebeln, deren allerdings ungeheure Bewegung bis heute ein ungeklärtes Rätsel ist. Von S.'s geometrischem Weltbilde ist der Über-

gang zum dynamischen System zu erstreben, indem das geometrische Bild durch Bewegung seiner Glieder Leben erhalten muß, wozu die Messung der linearen Geschwindigkeit der Sterne auf spektroskopischen Wege und andererseits die senkrecht zur Gesichtslinie erfolgenden sogenannten Eigenbewegungen an der Sphäre die Handhabe bieten. Man hat auf Grund der Analyse dieser Bewegungen eine erste Entwirrung der bisher als regellos betrachteten Bewegungen der Sterne vornehmen können, indem man die Sterne im wesentlichen in zwei auf getrennten Wegen marschierende Heerscharen mit einer bisher kleinen Reihe von Nebenströmen hat aufteilen können, wobei sich aber im ganzen bei Bezugnahme auf S.'s typisches System die charakteristische Tatsache ergeben hat, daß die Bewegungen aller Sterne im wesentlichen, abgesehen von den wenigen Sonderströmen, parallel zur Symmetrieebene des S.'schen Systems, also der Milchstraße, gerichtet sind. Deshalb bleibt die geometrische Form der S.'schen Linse von den Bewegungen der Sterne zunächst unberührt, zumal wegen der ungeheuren Dimensionen des Sternsystems und andererseits wegen der riesigen Abstände der Sterne untereinander, sodaß man sie bei Herstellung eines Modells als ein System von etwa 5 Milliarden Stecknadelknöpfen in je 100 km Abstand und minimaler Ortsveränderung betrachten müßte, sodaß deshalb die Form der S.'schen Linse für ungezählte Millionen von Jahren keine wesentliche Änderung erfahren kann. Auch die Auswirkung der gegenseitigen Gravitation aller Sterne vermag bei den vorhandenen Dimensionen und Maßen des Milchstraßensystems ebenfalls auf lange Zeiträume hinaus keinen einschneidenden Einfluß auszuüben. Vor ungezählten Millionen von Jahren konstituierte sich das Milchstraßensystem aus Sternhaufen oder Spiralnebeln, in ebenso vielen Jahren kann dieser riesige Sternhaufen sich, wenn überhaupt, durch die Anziehungswirkung von außerhalb des Milchstraßensystems gelegenen Massen erst wieder auflösen. Da die Untersuchungen über die Radial- und Eigenbewegungen der Sterne noch zu jungen Datums und mit vielerlei systematischen Fehlern behaftet sind, deren einwandfreie Elimination erst zu erwarten steht, so kann die Ablösung des S.'schen Systems durch ein

anderes exakteres oder vollständigeres auch erst in ganz ferner Zukunft geschehen. Wohl hat man den Versuch gemacht, das endliche S.'sche System durch ein unendlich ausgedehntes zu ersetzen, aber ohne strenge Analyse, nämlich nur auf Grund von formalen Interpolationsformeln, die aber mit der allgemeinen strengen Formulierung und Behandlung S.'s nicht konkurrieren können und deshalb qualitativ aus den Beobachtungstatsachen auch weniger als S.'s Formeln herauszuholen vermögen. Auch in der Frage der interstellaren Absorption, die uns ein endliches Sternsystem vortäuschen könnte, hat S. bis heute recht behalten: wohl gibt es überall in den Himmelsräumen verstreute Ansammlungen von kosmischem Staube, der lokale Absorptionen verursachen kann, aber eine allgemeine Absorption hat sich nicht nachweisen lassen. Wäre andererseits der Exponent der Absorption nur $1/500$, so findet, wenn die Dichte in der Sonnennähe gleich 1 gesetzt wird, mit der Entfernung von uns schon im Abstände von 500 Parsek eine Abnahme der Dichte bis zu einem Minimum von $1/5$ statt, dann aber müßte sie bis zur Grenze des Systems, die infolge der Absorption nunmehr bei 3400 Parsek Entfernung stattfände, wieder stetig bis auf $6/10$ anwachsen, d. h., es würde in den äußersten Regionen des Systems wieder eine enorme Anhäufung der Sterne eintreten, was zu Bedenken anregen muß. — Insgesamt muß man es andererseits als auffallend bezeichnen, daß die Verteilung der Sterne im Raum, bisher jedenfalls, nicht so einfachen Gesetzen zu gehorchen scheint, wie etwa im Mikrokosmos die Verteilung der Elektronen im Modell des modernen Atoms; auffallend ist auch das Fehlen ebenso einfacher Gesetze der Verteilung der Körper wie im Sonnensystem, wo die Planeten nach dem Bodeschen Gesetze angeordnet sind, d. h. nach einer einfachen Formel ganzer Zahlen, wie es auch beim Atom zutrifft.

Als weitere allgemein interessierende Leistung S.'s, gleichzeitig aber auch im Hinblick auf ihre theoretisch wie praktisch wissenschaftliche Fruchtbarkeit sind seine Untersuchungen zur Photometrie der Himmelskörper zu nennen. S.'s erste Gedankengänge in dieser Richtung reichen hier noch in seine Erstlingszeiten zurück, wo er in Leipzig

durch den Astrophysiker Friedrich Zöllner die wertvollsten Anregungen erhielt, zumal Zöllner als einer der genialsten und geistreichsten Naturforscher des 19. Jahrhunderts zu betrachten ist. Anschließend an Zöllners photometrische Untersuchungen zum Lambertschen nicht allgemein gültigen photometrischen Beleuchtungsgesetz zur Frage nach dem Verhältnis der von einem Körper reflektierten Lichtmenge im Verhältnis zu der von einem anderen Körper empfangenen Lichtmenge hat S. die Frage nach der Form eines allgemeineren Gesetzes der diffusen Beleuchtung in seiner Abhängigkeit vom Einfallswinkel und Emanationswinkel des Lichtes untersucht, und zwar nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch, indem er die Reflexionsfähigkeit verschiedener zerstreut reflektierender Substanzen mit einem selbstkonstruierten Photometer prüfte, mit dem Ergebnis, daß das Lambertsche Gesetz, so einfach es mathematisch ist und so plausibel seine Form in Abhängigkeit von den genannten Winkeln erscheint, nicht allgemein gültig sein kann. S. ersetzte das Lambertsche Gesetz durch das nach ihm und dem Münchener Physiker Lommel benannte Lommel-Seeligersche Beleuchtungsgesetz, das eine wesentlich andere Abhängigkeit des reflektierten Lichtes von den genannten Winkeln und einer Konstanten, welche die Reflexionsfähigkeit der Substanz zum Ausdruck bringt, erfordert. Diese Untersuchungen waren das Vorstudium zur Theorie der Beleuchtung der großen Planeten, speziell dem Saturn und seinem Ring, da gerade das auf das Saturnsystem bezügliche, ungelöste und komplizierte Problem der Beleuchtung für S. besonders reizvoll war. S. studierte zuerst die Beleuchtungsverhältnisse und Reflexion eines ellipsoidischen Planeten, dann die gegenseitige Beschattung des Saturnkörpers und seines Ringes, und schließlich die Beleuchtung des Ringes allein und zwar mit Rücksicht auf den Einfluß der Struktur des Ringes auf die einfallende wie auf die reflektierende Lichtmenge; umgekehrt sollte damit nämlich die Möglichkeit gewonnen werden, aus dem Vergleich der photometrischen Beobachtung der Helligkeitsschwankungen des Saturn mit der Theorie auf die bisher immer noch geheimnisvolle Konstitution des Saturnringes schließen zu können, zumal bei der Merk-

würdigkeit, daß sich ein solcher Ring um einen Himmelskörper nur dieses eine Mal im ganzen Universum vorfindet. Der berühmte englische Physiker Maxwell hatte bereits in den sechziger Jahren des 19. Jahrhunderts die aus mechanischen Stabilitätsbetrachtungen hervorgehende Behauptung aufgestellt, daß der Saturnring, wenn er nicht zerreißen oder auf den Saturn fallen solle, nur aus getrennten, nach den Keplerschen Gesetzen den Saturn umkreisenden kleinsten Monden oder, wie S. sie nennt, aus kosmischen Staubmassen zusammengesetzt sein könne. Da die den Ring beleuchtende Sonne bald über, bald unter der Ringebene stehen kann, so finden vielfache mit dem Sonnenstand wechselnde Beschattungen der kleinen Monde statt, und für den Beobachter auf der Erde kommen außerdem noch vielfache Bedeckungen beleuchteter Ringteilchen hinzu, sodaß für die Ermittlung der auf der Erde beobachteten Lichtmenge im Vergleich zu der vom Saturnsystem durch die Sonnenbeleuchtung erhaltenen Lichtmenge ein sehr verwickeltes Beleuchtungsproblem vorliegt, dessen Lösung S. aber bei seiner spielenden Handhabung der mathematischen Hilfsmittel mit einem außerordentlich überraschenden Erfolge gelungen ist. Die Theorie ergibt nämlich, daß bei staubförmiger Struktur des Saturnringes im Momente der Opposition, wenn also die Erde genau in der Verbindungslinie zwischen Sonne und Saturn gelegen ist, die größte Helligkeit des Saturnringes für den Erdbeobachter stattfinden muß, daß aber kurze Zeit vor und nach der Opposition sehr plötzlich ein jäher Abfall der Helligkeit des Ringes eintreten muß, die sich in der beobachteten Gesamtintensität des Saturn und seines Ringes zeigen muß. Müller in Potsdam und Guthnick in Babelsberg haben tatsächlich die von S. theoretisch vorausgesagten Helligkeitsänderungen exakt photometrisch feststellen können, sodaß damit die staubförmige Konstitution des Saturnringes erwiesen und S.'s Theorie der Beleuchtung kosmischer Staubmassen aufs großartigste bestätigt worden ist. Der Amerikaner Keeler hat später durch spektroskopische Beobachtungen auf der Lick-Sternwarte eine weitere Bestätigung geliefert, indem er zeigen konnte, daß die Geschwindigkeiten des Saturnringes innen und außen den Kepler-

schen Gesetzen folgen, woraus allerdings allein noch nicht die staubförmige Struktur des Ringes, sondern nur der Nachweis der Keplerbewegung für einzelne als Teilringe gedachte Partien des Ringsystems gefolgert werden konnte, während S.'s photometrische Theorie durch den Vergleich mit der Beobachtung in Strenge die Staubbörmigkeit des Ringsystems nach sich zieht und damit ein Jahrhunderte altes Rätsel seit der Entdeckung des Fernrohres zur Lösung bringt. Ferner ist noch zu Gunsten von S.'s Auffassung zu bemerken, daß Maxwells Stabilitätsuntersuchungen nicht ganz einwandfrei sind, sodaß sie nicht den Anspruch erheben können, zuerst den exakten Nachweis der Staubbörmigkeit des Saturnringes geliefert zu haben.

Weiterhin hat S. seine photometrischen Theorien auch auf das Zodiakallicht angewandt, das im Frühjahr und Herbst nach Sonnenuntergang resp. vor Sonnenaufgang als schimmernde Lichtpyramide von doppelt so großer Flächenhelligkeit wie die Milchstraße im Westen resp. Osten steil und hoch emporsteigt und das in Bezug auf seine Konstitution von S. als kosmische Staubmasse betrachtet wird, die sich in stark abgeplatteter Scheibe um die Sonne als Mittelpunkt bis über die Erdbahn hinaus ausbreitet. S. untersuchte die Frage, ob das Zodiakallicht als die Ursache der von Le Verrier und neuerdings von dem Amerikaner Newcomb festgestellten empirischen Abweichungen, die in der gravitations-theoretischen Darstellung der Bewegungen der vier großen inneren Planeten Merkur, Venus, Erde und Mars beim Vergleich mit den Beobachtungen übrig bleiben, betrachtet werden kann. Der Erfolg dieser Fragestellung soll aber erst später bei der Behandlung der Arbeiten S.'s zur Mechanik des Himmels gezeigt werden. Im Zusammenhang mit der Beleuchtungstheorie der großen Planeten steht unmittelbar auch die Frage nach dem Schattenwurf der Planeten, die S. ebenfalls mit umfassenden, nicht leichten Untersuchungen über die Schattenfigur ellipsoidischer Himmelskörper beantwortet hat, ebenso wie die Frage der Verfinsterung der Monde der großen Planeten, besonders bei Saturn, Jupiter und Erde. In dieser Beziehung sei nur das allgemeiner interessierende Phänomen der bisher unaufgeklärten

Vergrößerung des Erdschattens erwähnt, bekanntlich darin bestehend, daß der Erdmond bei Mondfinsternissen stets länger im Schatten verbleibt als nach der Theorie möglich ist, indem die Verlängerung der Verfinsterung nach der Beobachtung $1/50$ beträgt. Früher hatte man geglaubt, daß die Ursache darin liege, daß die von der Sonne kommenden die Atmosphäre der Erde ringförmig streifenden Strahlen zum Teil an der unmittelbaren Erdoberfläche durch die Atmosphäre absorbiert würden und dadurch der Kernschatten der Erde vergrößert erscheinen müßte. S. wies aber auf Grund der Theorie der Strahlenbrechung nach, daß diese Vorstellung falsch ist, auch wenn die Atmosphäre der Erde noch viel dichter wäre, und daß es sich hier nur um eine physiologisch-optische Täuschung als Folge einer Kontrasterscheinung handelt, und zwar dadurch hervorgerufen, daß die Grenze zwischen dem Kern- und dem sich an ihn unmittelbar anschließenden Halbschatten geometrisch natürlich völlig scharf ist, daß aber Halb- und Kernschatten photometrisch doch nur kontinuierlich, nicht plötzlich ineinander übergehen. In diesem Falle hat S. seine Theorie auch in ausgedehnter Weise mit Experimenten belegt.

Weitgehende photometrisch-theoretische Betrachtungen liegen auch der S.'schen Theorie der Erscheinung der neuen Sterne zu Grunde, die plötzlich mit riesig ansteigender Lichtintensität unter Begleitung von Farbenänderungen am Himmel aufleuchten und nach einer Reihe von Tagen meist schnell abklingen, aber erst in Monaten oder Jahren zu einer allgemein geringen und konstanten Lichtintensität herabzusinken pflegen. Gegenüber den früheren Hypothesen zur Erklärung des alten Rätsels der Entstehung der neuen Sterne, vor allem der von Zöllner, derzufolge die Lichtausbrüche auf Eruptionen aus dem Innern der Sterne entstanden sein sollen, erklärt S. die neuen Sterne durch das Eindringen von Sternen in kosmische Staubmassen, die, wie schon erwähnt und bekannt ist, sich an vielen Stellen des Raumes befinden. Dann aber muß bei den neuen Sternen dieselbe Wirkung wie beim Eindringen von Meteoriten in die Erdatmosphäre eintreten. Die Geschwindigkeit der Sternschnuppe wird also durch den Wider-

stand der Atmosphäre gedrosselt und der Verlust an lebendiger Kraft in Wärme umgesetzt, sodaß eine starke Erhitzung eintritt und beim Eindringen in eine ganze Staubmasse von Meteoren die Oberfläche des Sterns in erhöhte Glut versetzt wird; dabei können natürlich außerdem noch Gasausbrüche, wie nach der Auffassung von Zöllner, in Erscheinung treten. S. hat durch eine entsprechende mathematische Untersuchung über die Art des Eindringens von Weltkörpern in Staubmassen gezeigt, wie sich auf Grund dieser Annahme der typische Helligkeitsverlauf bei den neuen Sternen erklärt, sowohl in Bezug auf das erste Aufflammen des neuen Sterns beim Eindringen in die Staubmasse, wie auch das mehr oder weniger langsame Nachlassen der Helligkeit beim Austritt aus der Staubmasse. Auch die wechselnde Helligkeit der neuen Sterne hat S. ungezwungen und zwar durch eine wechselnde Dichte der Staubmasse erklären können, wobei allerdings auch eine Rotation des Sternes als Ursache eines periodischen Helligkeitswechsels betrachtet werden kann, indem die Hitze- und Helligkeitsentwicklung an verschiedenen Stellen der Oberfläche des Sterns in verschiedenem Grade vor sich gehen kann. Die S.'sche Theorie steht im übrigen den Erklärungsversuchen für das den neuen Sternen spezielle typische Spektrum nicht im Wege, insoferne dessen Anomalien durch Druck oder Dispersionswirkungen oder auch durch radiale Bewegungen erklärt werden können. Besonders die Erscheinung der Nebel um die Nova Persä vom Jahre 1901 brachte eine ausgezeichnete Bestätigung der S.'schen Auffassung, indem um diesen neuen Stern herum alsbald nach seinem Aufleuchten Nebelgebilde entdeckt wurden, die photographisch auf der Platte fixiert werden konnten, sodaß einmal eine neue und schöne Anwendung der Theorie der Beleuchtung kosmischer Staubmassen von der Natur dargeboten war und andererseits die Theorie die Feuerprobe hat bestehen können; denn S. konnte theoretisch quantitativ zeigen, daß die um den neuen Stern schon vor dem Aufleuchten vorhanden gewesenen dunklen Nebel durch die Reflexion des von dem neuen Stern ausgestrahlten starken Lichtes erst jetzt für den Beobachter auf der Erde sichtbar werden konnten. Wohl haben

auch Kapteyn und Wilson den Gedanken der Reflexion gleichzeitig und unabhängig von S. publiziert, aber die ausschlaggebende theoretische Diskussion und der Nachweis, daß die beleuchteten Nebel auch eine zur photographischen Aufnahme hinreichende Helligkeit besaßen, rührt allein von S. her. Mit der wiederholten Diskussion und Betonung des Zusammenhanges des Phänomens der neuen Sterne mit den im Raum verstreuten kosmischen Staubmassen dürfte S. das Problem an der Wurzel gefaßt haben, auch wenn die Zukunft etwaige Modifikationen seiner Auffassung sollte vornehmen müssen.

Im Anschluß an S.'s photometrisch-optische Untersuchungen möge noch auf eine ganz andere optische Frage, die S. in seiner Abhandlung über den Einfluß dioptrischer Fehler des Auges auf das Resultat astronomischer Messungen zuerst aufgeworfen hat, hingewiesen sein, denn S. war bemerkenswerterweise auch auf dem Gebiete der physiologischen Optik zu Hause. Unter den Fehlern des dioptrischen Apparates des Auges untersuchte S. speziell den als Astigmatismus bezeichneten Fehler, dessen Ursache darin besteht, daß der Glaskörper des Auges nicht kugelförmig ist und deshalb ein Punkt nicht wieder als Punkt auf der Netzhaut abgebildet wird, sondern in erster Näherung als Strich oder strenger, wie S. gezeigt hat, als kleine langgestreckte Ellipse. S. entwickelte mittels der Formeln der geometrischen Optik die Grundlage der Theorie der Abbildung eines Punktes durch ein astigmatisches Auge und machte dann die Anwendung auf die Vermessung von Gegenständen im Mikroskop; der Fall des Astigmatismus ist bekanntlich ein häufiger, und deshalb auch eine Untersuchung und eine auf ihr fußende Eliminationsmethode der aus ihm erwachsenden physiologischen Fehlerquellen bei der Bearbeitung exakter Messungen dringend notwendig; den meisten Menschen erscheint der Astigmatismus im gewöhnlichen Leben unmerklich, aber bei exakten Messungen ist er merklich und fälscht bei Nichtelimination die Ergebnisse. Handelt es sich z. B. um die Messungen des Abstandes zweier Punkte in der Brennebene eines Fernrohres oder Mikroskops, so ist die fehlerfreie Abstandsbestimmung der Mittelpunkte zweier astigmatischer Zer-

streuungsellipsen, die meist auch noch von verschiedener Helligkeit sind, physiologisch eine komplizierte Aufgabe, zumal noch die Rad-drehung des Auges hinzukommt, verursacht durch die Drehung des Kopfes und der Augen aus der Normalstellung nach einem nicht horizontal, sondern im ungünstigsten Falle zenital gelegenen Objekte, wobei die Oberfläche des lichtbrechenden Mittels des Auges noch ganz besonders deformiert wird. Der dann begangene Beobachtungsfehler ist auch noch abhängig von der Neigung der Verbindungslinie der beiden zu vermessenden und verschieden hellen Punkte gegen eine feste Richtung z. B. die Horizontale. Bei den Doppelsternen hat bereits O. Struve den von der Lage der Verbindungslinie der Punkte gegen die Horizontalrichtung abhängigen Fehler erkannt. S. selbst hat aber als erster als das beste Mittel, die genannten Fehler wirklich zu erkennen und ihre Gesetzmäßigkeit zu verfolgen, schon 1884 bei seinen Untersuchungen über den Durchmesser des Uranus, die Anwendung des reflektierenden auf das Okular aufzusetzenden sogenannten Reversionsprismas angegeben, das bei Drehung um 90° im Fernrohr oder im Mikroskop scheinbar die Lage oben mit unten und links mit rechts und umgekehrt vertauscht, sodaß im Mittel der nach diesem Verfahren vorgenommenen vollständigen Messungen eine Ausschaltung des physiologischen Fehlers eintritt, während die halbe Differenz der Messungen den Fehler selbst ergibt.

Ein drittes Ruhmesblatt in S.'s Lebenswerk basiert auf seinen Arbeiten zur Mechanik des Himmels, dem ältesten und umfangreichsten Gebiete der theoretischen Astronomie, deren Aufgabe in der Erklärung und Darstellung aller himmlischen Bewegungen durch das Newtonsche Gravitationsgesetz besteht. Bei S.'s Vorliebe für alle klassischen Arbeiten und Resultate der Mechanik des Himmels, repräsentiert besonders durch die Arbeiten von Newton, Lagrange, Laplace und Gauß ist es nicht verwunderlich, wenn S.'s erste Arbeiten in dieser Richtung ganz auf den Pfaden der Klassiker einhergingen; sie bezogen sich auf die von Gauß herrührende, von ihm aber nur angedeutete Methode der Ermittlung der Säkularstörungen, d. h. der mit der Zeit fortschreitenden

Änderungen der Planetenbahnen, wobei der Gaußsche Grundgedanke darauf beruht, daß man die Theorie dieser Störungen auf den Fall zurückführen kann, wo die Masse des störenden Planeten ringförmig über seine ganze elliptische Bahn verteilt gedacht wird. S. zeigte, wie sich der Beweis des Gaußschen Gedankens auf analytischem Wege mit bekannten Hilfsmitteln durchführen läßt, nachdem er vorher eine geometrische Veranschaulichung der auftretenden Verhältnisse geboten hatte. Ferner zeigte S. bei der Theorie der sogenannten Säkulargleichung auf analytischem Wege für den Fall der Anziehung von 3 Körpern, also Sonne und 2 Planeten, daß die drei die Lösung charakterisierenden Wurzeln der Säkulargleichung bei positiven Massen, wie im Sonnensystem stets alle drei voneinander verschieden sind, sodaß, was uns interessiert, die Säkularstörungen der Planetenbahnen tatsächlich nur der Zeit proportional, also immer einseitig größer werdend, vor sich gehen können, nicht aber in gemischt-säkularer Form, d. h. unter gleichzeitiger periodischer Veränderung der Koeffizienten der Zeit. Während S. sich hier noch wesentlich an die Klassiker und ihre Ergebnisse angelehnt hatte, wählte er sich in der Durchforschung des dreifachen Sternsystems ζ Cancri ein eigenes Problem, das er während seines ganzen Lebens zeitweilig immer wieder aufgegriffen und mit bemerkenswerten und interessanten Ergebnissen, besonders in umfangreichen Abhandlungen aus den Jahren 1881 und 1888 bearbeitet hat. Der Stern ζ im Krebs besteht aus zwei beinahe gleich hellen Sternen A und B im Abstände von nur rund $1''$ und in 60 Jahren in elliptischer Bahn umeinanderlaufend, während ein dritter, schwächerer Stern in einem Abstände von $5\frac{1}{2}''$ von der Mitte von A und B entfernt ist und sich um das engere Paar AB in 700 Jahren herumbewegt. Die sorgfältige Bearbeitung jahrzehntelanger Beobachtungen ergab nun, daß der dritte Stern C in 18 Jahren eine Kreisbahn von nur $0''.2$ Radius um eine mittlere Lage beschreibt, was O. Struve schon bemerkt hatte und durch einen für uns unsichtbaren Begleiter von C, der mit diesem um den gemeinsamen Schwerpunkt beider bewegt wird, vermutungsweise glaubte erklären zu können. Während Struve das Problem aber nicht mathe-

matisch behandeln und lösen konnte, war S. der geeignete Forscher zur theoretischen Behandlung des hier vorliegenden Anziehungsproblems der vier Körper, von dem nur drei Massen sichtbar waren und die vierte theoretisch zu entdecken war; es handelte sich also um eine Aufgabe der sogenannten «Astronomie des Unsichtbaren», die ihren großartigsten Triumph bisher in der berühmten Entdeckung des großen Planeten Neptun im Jahre 1846 durch Le Verrier und Galle auf Grund der von Neptun auf den Planeten Uranus ausgeübten und bis dahin unerklärbar gewesenen Gravitationswirkungen gefeiert hatte. S. konnte die auffallend wenig gestörte Bewegung des Paares AB trotz der Anziehung von C, und andererseits die periodische Bewegung von C auf Grund störungstheoretischer Untersuchungen einwandfrei aufklären. Auf Grund sehr weitläufiger und umfassender Untersuchungen ist es S. beschieden gewesen, die tatsächliche Existenz eines 4. Körpers im System ζ Cancri überzeugend darzutun; trotzdem fand er doch noch Widersacher, wie in dem bekannten amerikanischen Doppelsternforscher Burnham, der in der periodischen Sonderbewegung der Komponente C immer noch systematische Beobachtungsfehler glaubte verteidigen zu müssen. Aber S.'s Ergebnis ist anerkannt und die Mechanik des Himmels ist um einen ganz außerordentlich interessanten Fall des Vielkörper-Problems bereichert worden, dessen Untersuchung unter Benutzung des gesamten Beobachtungsmaterials von 1830—1913 auf Anregung S.'s neuerdings nochmals von einem seiner Schüler mit dem Ergebnis der sicheren Bestätigung von S.'s Resultaten durchgeführt worden ist.

Hier ist auch die geeignete Gelegenheit, zu erwähnen, daß S.'s erste wissenschaftliche Arbeit, seine Leipziger Doktor-Dissertation, sich ebenfalls auf die Bewegungstheorie der Doppelsterne bezieht, indem S. 1872 als erster eine rein analytische Methode der Bahnbestimmung eines um seinen Hauptstern laufenden Begleiters entwickelt hat. Der Grundgedanke ist der, daß man die scheinbare Bahn des Begleiters um den Hauptstern an der Himmelskugel als Projektion der wahren räumlichen elliptischen Bahn auf die Tangentialebene an der Sphäre betrachten kann, und zwar derart, daß die scheinbare und die wahre

Ellipse die Schnittkurven mit demselben geraden, zur Sphäre senkrechten elliptischen Zylinder, mit der scheinbaren Bahnellipse als Basis, bedeuten. Kennt man aus den Beobachtungen die scheinbare Bahn, also die Projektionsellipse, in der Form einer allgemeinen Gleichung zweiten Grades, so kann man ihre Koeffizienten durch die Koeffizienten der wahren Ellipse d. h. durch die Bahnelemente ausdrücken und umgekehrt, wodurch eine analytisch sehr elegante Methode der Bahnbestimmung erhalten wird.

Dasjenige Problem der Himmelsmechanik, dem S. sich in den letzten 20 Jahren seines Lebens ganz besonders gewidmet hat, und das zu prinzipiellen Erörterungen Anlaß gegeben hat, bezieht sich, wie schon vorher angedeutet worden ist, auf das Zodiakallicht, dessen Existenz S. auf fein zerstreute Materie d. h. auf kosmische Staubmassen in der Umgebung der Sonne und von der geometrischen Form eines stark abgeplatteten, bis über die Erdbahn hinausreichenden Ellipsoides zurückgeführt wissen wollte. Über die Dichtigkeitsverteilung war z. Zt. keine genaue Angabe möglich, aber S. konnte die Flächen gleicher Dichte als scheibenförmige Rotationsflächen und die Dichte selbst als mit der Entfernung von der Sonne abnehmend betrachten. Während früher die Mittelebene der Flächen gleicher Dichte als nahezu in der Erdbahn liegend angenommen wurde, wird neuerdings im Anschluß an die modernen Beobachtungen vorgezogen, den Äquator des Zodiakallichtes mit dem Sonnenäquator zusammenfallen zu lassen. Daß die Masse des Zodiakallichtes sich symmetrisch um eine Ebene gruppiert, darf nach der Beobachtung mit Sicherheit behauptet werden. S.'s theoretische Konsequenz bestand dann darin, die Anziehung der Masse des Zodiakallichtes zu den bisher noch unaufgeklärt gewesenen empirischen Abweichungen der beobachteten planetaren Bewegungen gegen die theoretische Darstellung nach dem Gravitationsgesetz in Beziehung zu setzen. Unter diesen Abweichungen spielt die anomale, säkulare Merkursbewegung, in einem Vorrücken der Perihelrichtung um $40''$ pro Jahrhundert gegenüber der Theorie bestehend, eine ganz besonders hervorragende Rolle; daneben kommen auch noch analoge, wenn auch

geringere Abweichungen bei den Bahnelementen der Planeten Venus, Erde und Mars in Betracht. Die Zahl der Hypothesen zur Erklärung der speziellen Anomalie des Merkursperihels ist nicht gering. Besonders wurde die Hypothese Le Verriers, der das Planetensystem theoretisch am tiefsten durchdrungen und die Annahme eines oder mehrerer intramerkurieller Planeten gemacht hatte, bevorzugt; sie genügt den Anforderungen auch ziemlich befriedigend, wenn sie zugleich mit einer säkulären Drehung des in der Astronomie gebrauchten empirischen Koordinatensystems in Verbindung gesetzt wird. Die intramerkuriellen Körper hat aber noch niemand gesehen, sodaß die Le Verriersche Hypothese als sehr unwahrscheinlich fallen gelassen werden mußte. Ähnlich ging es anderen Hypothesen, vor allem denen, die eine Änderung des Newtonschen Gravitationsgesetzes durch eine kleine Änderung des Exponenten 2 anzustreben suchten. Abgesehen von der physikalischen Unzulässigkeit ergeben sich alsdann auch für die anderen Planeten als Merkur theoretische Abweichungen, die mit den Beobachtungen unvereinbar sind. So kam S. auf den Gedanken, zu versuchen, die empirischen Abweichungen durch die Anziehung der Masse des Zodiakallichtes zu erklären. Die Aufgabe bestand darin, die säkularen Störungen, die von einem stark abgeplatteten Rotationsellipsoide auf innere und äußere planetarisch bewegte Körper ausgeübt werden, zu ermitteln. Prinzipiell ist zu bemerken, daß zu einer befriedigenden Darstellung der empirischen Abweichungen noch die Einführung einer Drehung des in der Astronomie üblichen Bezugssystems, dessen Anfangspunkt an der Sphäre im Schnittpunkt von Äquator und Erdbahn, dem Frühlingspunkte, gelegen ist, gegen ein im Sinne der Mechanik sogenanntes absolutes System, das auch Inertialsystem genannt worden ist, notwendig ist. Auf Grund einer ausgedehnten kritischen Untersuchung ergab sich, daß die Massenverteilung im Zodiakallicht, wenn sie aus den Störungen des Zodiakallichtes abzuleiten ist, nur in ganz allgemeinen Umrissen bestimmt werden kann, sodaß es genügt, statt einer Zahl von Ellipsoiden mit veränderlicher Dichte, die natürlich nach außen abnehmen muß, nur 2 Ellipsoide mit konstanter Dichte zu wählen,

wobei das erste Ellipsoid in einem Abstände von $\frac{2}{3}$ der Merkurs-entfernung von der Sonne, das andere von hier bis zu $\frac{2}{10}$ astronomischer Einheit über die Erdbahn hinausgehend anzunehmen ist. Als Resultat der Untersuchung ergibt sich nach Behandlung des gesamten Beobachtungsmaterials nach einer Ausgleichungsrechnung, daß zunächst die Masse des Zodiakallichtes rund $\frac{1}{10}$ der Erdmasse beträgt. Selbst in den der Sonne nächsten Partien ist die Dichte der Masse ganz ausserordentlich klein und nimmt nach außen sehr rasch ab. In Bezug auf die Darstellung der empirischen Glieder durch die Resultate der Ausgleichungsrechnung ergibt sich, daß die Darstellung der Abweichungen eine geradezu verblüffende ist, sodaß der Erfolg kaum einem Zufall zuzuschreiben wäre. In Bezug auf die säkulare Drehung des empirischen Koordinatensystems gegen ein Inertialsystem ergibt sich ein Betrag von rund $6''$ pro Jahrhundert, der nicht im Widerspruch zu sonstigen astronomischen Beobachtungen steht. In Bestätigung des S.'schen Resultates im Sinne einer anschaulichen Deutung der Drehung hat man erst in allerneuester Zeit durch ein aus der Beobachtung wahrscheinlich gemachtes Resultat gefunden, daß das ganze galaktische Sternsystem eine gemeinsame Drehung vollführt, wenn dieses Ergebnis auch noch sehr der Bestätigung bedarf. Newcomb hat sich dahin geäußert, daß er S.'s Ellipsoid-Hypothese für wahrscheinlicher halte als seine eigene in Bezug auf einen Massenring zwischen Sonne und Merkur. Bedenken gegen S.'s Theorie können daraus entstehen, daß die innersten und wirksamsten Teile des Zodiakallichtes bisher nicht nachweisbar waren, indem man sie bei Sonnenfinsternissen noch nicht wahrnehmen können, erst in allerneuester Zeit sind Bestrebungen in dieser Richtung in Gang gekommen. Andererseits ist bemerkenswert, daß die Relativitätstheorie eine Erklärung der anomalen Perihelbewegung des Merkurs unter der Voraussetzung gegeben hat, daß diese Bewegung $43''$ pro Jahrhundert beträgt. Ist diese Merkursbewegung aber, wie aus der neueren Diskussion der Beobachtungen folgt, bedeutend kleiner, etwa nur $\frac{2}{3}$ des genannten Betrages, so versagt die Relativitätstheorie, während S.'s Hypothese

von dieser Änderung unberührt bleibt, indem die Massenverteilung des Zodiakallichtes entsprechend leicht abgeändert werden kann, weil diese Massenverteilung ohne Schaden für die Theorie und ihren Vergleich mit der Beobachtung in weiten Grenzen variierbar ist.

Im Anschluß an S.'s Arbeiten zur Mechanik des Himmels verdient endlich seine Auffassung über die allgemeine Gültigkeit des Newtonschen Gravitationsgesetzes unsere Aufmerksamkeit. S. ist der Auffassung, daß das Newtonsche Gesetz, dem zufolge die Materie sich umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung und direkt proportional den Massen anzieht, nur dann eine universelle Bedeutung haben kann, wenn das Gesetz bei Annahme einer unendlichen Masse des Weltalls an jeder Stelle des Raumes einem Grenzwert zustrebt. S. kommt bei Annahme einer unendlichen Masse, aber plausibler geometrischer Verteilung dieser Masse zwecks mathematisch leicht faßbarer Errechnung der Gravitationswirkung zu dem Resultat: «Ist die Gesamtmasse des Weltalls bei durchschnittlich endlicher Dichtigkeit unendlich groß, dann kann das Newtonsche Gesetz nicht als mathematisch genauer Ausdruck der herrschenden Anziehungskräfte gelten». Die von S. abgeleiteten mathematischen Bedingungen für eine absolute Gültigkeit des Newtonschen Gesetzes fordern, daß in beliebig großen Räumen die durchschnittliche Dichtigkeit der Materie unendlich klein werden muß. Daraus folgert S. für unser Weltall bei Annahme einer unendlichen Masse desselben, daß das Newtonsche Gesetz nur ein rein empirisches Gesetz sein kann, wenn es sich auch in den kleinen Dimensionen des Planetensystems aufs glänzendste bewährt hat und auch für Entfernungen gleicher Größenordnung im Fixsternsystem, wie bei den Doppelsternen, ebenfalls eine außerordentlich genäherte Geltung besitzt, da die Genauigkeit der Beobachtung der Doppelsterne relativ zum Planetensystem nur eine sehr geringe ist. Der gegenwärtige Stand der astronomischen Forschung würde überschätzt werden, wenn dem Newtonschen Gesetz eine größere Bedeutung zugeschrieben würde. Wäre aber das Newtonsche Gesetz in jedem Falle, also auch bei unendlicher Masse doch absolut richtig, und wollte man als-

dann sämtliche Beobachtungserscheinungen nach ihm erklären, so müßte man eine unter der Bezeichnung «Absorption» anzunehmende Änderung des Newtonschen Gesetzes vornehmen, zu der aber, auch aus physikalischen Gründen, zur Zeit keine Veranlassung vorliegt. Auch ist es astronomisch bis heute nicht gelungen, irgend eine tatsächliche Absorption nachzuweisen oder Abweichungen vom Newtonschen Gesetz zwangsweise durch eine Absorption erklären zu müssen.

Mit diesen Betrachtungen über die hauptsächlichen Arbeiten und Gedanken S.'s dürfte das Wesentliche seiner wissenschaftlichen Lebensarbeit getroffen sein. S. hat stets schwierige, umfassende und akute Probleme bearbeitet und besaß auch die wunderbare Gabe, stets das Wesentliche und Prinzipielle des Problems zu sehen; in seinen eigenen Arbeiten stellt er stets nur dieses dar und hat sich als Meister der Theorie bewährt, wozu ihm noch das Glück verhalf, absoluter Herrscher in der Handhabung des mathematischen Rüstzeuges zu sein. Auf wirklich unfruchtbare Probleme oder plötzlich verschlossene Wege konnte S. deshalb niemals geraten. Infolge des akuten Charakters und der Kühnheit seiner Probleme hat S. begreiflicherweise oft gegen Widersacher kämpfen müssen, um seine Ideen zu verteidigen und durchsetzen zu können; oft hat S. Widerspruch gefunden, schärfstens hat er dann aber mit dem ihm angeborenen Temperament mit Feuer-eifer für die Wahrheit gekämpft, sich dabei allerdings manchen, wider seinen Willen, indem er nur die Sache sah, zum Feinde gemacht. Schon in frühen Jahren war S. durch die Großartigkeit seiner wissenschaftlichen Arbeit eine internationale Berühmtheit geworden, und die deutsche, speziell die bayerische Wissenschaft kann stolz darauf sein, daß S. zu ihren höchsten Zierden gezählt hat.
