

## Die Welt der kleinen Planeten

Von S. MAUDERLI, Bern

Die Welt der kleinen Planeten ist außer in Fachkreisen wenig bekannt, trotzdem über ihren inneren Aufbau und die in ihr herrschenden Bewegungsverhältnisse und sonstigen bemerkenswerten Einzelheiten heute schon eine überaus reiche Literatur besteht und fast täglich neue Kleinplaneten oder Planetoiden, wie die einzelnen Mitglieder der Welt gewöhnlich auch genannt werden, entdeckt werden. Entdeckungen dieser Art werden gewöhnlich auch nicht in der Tagespresse bekanntgegeben, handelt es sich doch bei diesem Zwergvolk unseres Planetensystems fast ausnahmslos um äußerst lichtschwache Objekte, die nur in besonders lichtstarken Teleskopen und auch nur zeitweise, etwa wenn sie der Erde zur Zeit einer günstigen Opposition nahekommen, mit Erfolg beobachtet werden können. Ihre Stellungen am Himmel werden darum auch nicht, wie etwa ihre von bloßem Auge sichtbaren großen Geschwister *Merkur*, *Venus*, *Mars*, *Jupiter* und sogar *Saturn* in einigen unserer Hauskalender, bekanntgegeben.

Und doch handelt es sich auch hier um eine Welt, die seit der Entdeckung des ersten Kleinplaneten vor 145 Jahren viel und berechtigtes Aufsehen erregt hat und wesentlich zur Vervollständigung unserer Kenntnisse über unser Sonnensystem als Ganzes und gar darüber hinaus beitrug.

Der Bezeichnung nach handelt es sich also auch bei diesen Kleinplaneten um Wandelsterne, im Gegensatz zu den Fixsternen, und damit um Himmelskörper, die, wie unsere Erde und alle übrigen Großplaneten mit ihren Trabanten, zu unserem Planetensystem und somit auch, wie die Kometen und ungezählte weitere Kleinkörper aller Art, zum Sonnensystem als größere Einheit gehören. Damit gehorchen auch sie denselben Bewegungsgesetzen, die KEPLER (1571–1630) zuerst empirisch unter Benützung der von TYCHO BRAHE (1546–1601) gewonnenen Beobachtungen, besonders über den Planeten Mars, und dann NEWTON (1643 bis 1727) auch theoretisch auf Grund des von ihm entdeckten Gravitationsgesetzes aufgestellt hatten und das moderne astronomische Weltbild aufbauten, in welchem sich die Planeten nicht, wie KOPERNIKUS (1473–1543) noch glaubte annehmen zu müssen, in Kreisen, sondern in Ellipsen um die Sonne bewegen, so zwar, daß die Sonne stets in einem ihrer Brennpunkte liegt.

Über dieses Gemeinsame hinaus zeigt aber die Welt der Kleinplaneten besonders gegenüber den großen Planeten auffallende Verschiedenheiten, die namentlich in himmelsmechanischer Hinsicht zu einer Fülle neuartiger Untersuchungen Veranlassung gaben. Schon mit der Gegenüberstellung «Klein- und Großplaneten» ist auf den Größenunterschied dieser Himmelskörper

hingewiesen, aber was die erwähnten Untersuchungen betrifft, so handelt es sich bei dieser Gegenüberstellung vor allem um *Massenunterschiede*, die für die Bewegungsverhältnisse in unserem Sonnensystem und im besonderen in der Welt der Kleinplaneten von grundlegender Bedeutung sind.

Weitere Verschiedenheiten zeigen sich aber besonders auch hinsichtlich der *Verteilung* der Kleinplaneten. Während sich ihre großen Geschwisterplaneten Merkur bis Pluto auf den ersten Blick ziemlich gleichmäßig über das Sonnensystem von rund 50–6000 Millionen km Sonnenentfernung verteilen, ist der Welt der Kleinplaneten, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nur der verhältnismäßig enge Raum zwischen Mars und Jupiter von 228–778 Millionen km zugewiesen. Das ist aber doch derselbe Raum, in welchem der junge KEPLER schon 200 Jahre vor der Entdeckung des ersten Planetoiden einen Planeten vermutete, wenn er in seinem 1596 im Druck erschienenen *Mysterium Cosmographicum* schreibt: «Da ich also auf dem begangenen Weg nicht ans Ziel kam, versuchte ich einen erstaunlich kühnen Ausweg. Ich schob zwischen Mars und Jupiter sowie zwischen Merkur und Venus zwei neue Planeten ein, die beide wegen ihrer Kleinheit unsichtbar sein mögen, und schrieb ihnen ihre Umlaufzeiten zu»; und es ist auch derselbe Raum, in dem sich mit Hilfe der berühmten und viel zitierten TITIUS (1729–1796)-BODEschen (1747–1826) Formel

$$r_n = 0,4 + 2^n \cdot 0,3 \quad \text{für } n = 3$$

sogar die mittlere Entfernung des hypothetischen Planeten von der Sonne in astronomischen Einheiten zu rund 149,5 Millionen km ergibt. Nun, der Raum, oder, wie er häufiger genannt wird, die Lücke zwischen Mars und Jupiter ist bis heute durch die Welt der Kleinplaneten reichlich ausgefüllt, nicht durch einen, sondern durch ungezählte Kleinplaneten, von denen bis heute allein schon rund 5000 wenigstens in einer Erscheinung beobachtet wurden.

Die Erstentdeckung eines derselben gelang bekanntlich in der Neujahrsnacht 1801 dem Astronomen PIAZZI (1746–1826) in Palermo bei der Anfertigung eines Sternverzeichnisses, auf welchem ein Sternchen von einem Abend zum andern eine merkliche Eigenbewegung von etwa 13 Bogenminuten zeigte, also wohl ein Planet sein mußte. PIAZZI und seine Zeit waren zwar noch mißtrauisch; denn das Sternchen war auch gar zu schwach und unscheinbar, als daß es sich um den erhofften Planeten hätte handeln können. Dann aber zeigten weitere Beobachtungen und vor allem die darauf gestützten Berechnungen, daß die *Ceres*, wie der neue Stern in der Folge getauft wurde, sich doch sehr wohl in die Lücke einfügte, und daß vor allem die mitt-

lere tägliche Bewegung mit der mittleren Entfernung 2,8 astronomische Einheiten von der Sonne aus der obigen Formel für  $r_n$  befriedigend übereinstimme.

Die letzten Zweifel wurden aber vollends behoben, als schon am 28. März des folgenden Jahres der Bremer Arzt **OLBERS** (1758–1840) einen weiteren Kleinplaneten, die *Pallas*, entdeckte, dessen Bahn ebenfalls zwischen Mars und Jupiter gelegen war.

Nun begann ein eifriges und planmäßiges Suchen; denn die Vermutung lag nahe, daß es sich an Stelle des einen großen Planeten um einen Schwarm kleinerer handeln könnte, die möglicherweise als Stücke einer einst größeren Masse aufzufassen wären; eine Ansicht übrigens, die auch heute noch zahlreiche Anhänger hat. Tatsächlich wurden bis 1807 noch zwei weitere Mitglieder dieses mutmaßlichen Schwarmes entdeckt, nämlich am 1. September 1804 die *Juno* von **HARDING** und am 29. März 1807 die *Vesta*, ebenfalls von **OLBERS**.

Nun trat allerdings wegen des Fehlens guter und vor allem genügend weitreichender Sternkarten ein Stillstand von nahezu vier Jahrzehnten ein, und erst am 8. September 1845 glückte dem Postmeister **HENKE** die Entdeckung der *Asträa*, und damit erwachte das Interesse aufs neue, und es begann eine förmliche Jagd nach weiteren Mitgliedern des vermuteten Schwarmes. Zahlreiche astronomische Liebhaber waren dabei besonders erfolgreich, aber besonders glückliche Entdecker waren indessen die Astronomen **PETERS** in Amerika mit 48 und **PALISA** in Wien mit über 100 Entdeckungen. So wurden bis 1890 rund 300 Kleinplaneten entdeckt, und der Schwarm wurde mehr und mehr zu einer ganzen Welt.

Aber das ist ja erst der Anfang; denn ein ganz neuer Zeitabschnitt mit einer kaum geahnten Zunahme von Neubürgern derselben begann erst mit der Anwendung der Himmelsphotographie. Hier ist 1891 der berühmte Astronom der Heidelberger Sternwarte, Professor **MAX WOLF** bahnbrechend vorangegangen, und dank der von ihm begründeten Methoden steigerte sich die Zunahme der Entdeckungen nun ganz gewaltig, belief sich die Zahl derselben doch schon um die Jahrhundertwende bereits auf nahe 500, dann 10 Jahre später auf 700, und heute, d. h. nach dem 1944 zuletzt erschienenen Planetenheft des internationalen Recheninstituts in Berlin-Dahlem, rund 1600, von denen an die 500 allein Herrn Prof. **WOLF** gutgeschrieben werden müssen. Die Zahl der Entdeckungen überhaupt kann aber, wie schon an anderer Stelle mitgeteilt wurde, heute sehr wohl schon mehr als 5000 betragen, und immer ist noch kein Ende abzusehen.

Die im Planetenheft 1944 aufgeführten 1560 Nummern betreffen aber von all den geglückten Entdeckungen nur diejenigen Kleinplaneten, die während der Entdeckungszeit und darauffolgenden Oppositionen genügend oft und genau genug beobachtet werden konnten, um aus den erhaltenen Beobachtun-

gen für jeden derselben eine möglichst gesicherte Bahn berechnen zu können, d. h. eine Bahn, aus welcher nach Jahr und Tag und überhaupt für jeden beliebigen Zeitpunkt der Ort des in ihr laufenden Planeten an der Sphäre angegeben werden kann.

Es versteht sich, daß mit diesen Entdeckungen den Astronomen, zu den vielen anderen neuen Problemen, die um dieselbe Zeit auch von der Sternphysik hergestellt wurden, eine gewaltige Mehrarbeit erwuchs. Denn bei der Entdeckung eines neuen Planetoiden handelt es sich doch mehr als z. B. bei den rechnerisch sorgfältig vorbereiteten Entdeckungen von **NEPTUN** (1846) und **PLUTO** (1930) um eine reine Zufallssache, und die rechnerische Bearbeitung der während der oft nur kurz bemessenen Entdeckungszeit erhaltenen Beobachtungen zur Bestimmung der Bahn, deren möglichst genaue Kenntnisse für die folgende Überwachung unerläßlich ist, muß der Entdeckung möglichst unmittelbar folgen, wenn anders der neue Himmelskörper nicht wieder verlorengehen soll.

Damit aber stellte sich den Astronomen schon anläßlich der Ceres die bis dahin nicht einwandfrei gelöste Aufgabe der Bestimmung einer elliptischen Bahn schon aus einer geringen Zahl und unter besonderen Umständen auch nur für kurze Zeit sich erstreckenden Beobachtungen.

An sich bietet die Ermittlung der Bahn eines Planeten keine theoretischen Schwierigkeiten, und zwar vor allem dann nicht, wenn wie bei den großen Planeten zahlreiche und womöglich über die ganze Bahn verteilte Beobachtungen vorliegen. In diesem Sinne geht denn auch die erste zuverlässige Bahnrechnung schon auf **KEPLER** zurück.

Nach **NEWTON** war dann das Problem der Bahnbestimmung im wesentlichen das der Bestimmung einer parabolischen Bahn, also ein Kometenproblem, das besonders durch den bereits erwähnten Bremer Arzt **JOH. HEINRICH OLBERS** in einer Weise gefördert wurde, daß seine Methode auch heute noch beinahe unverändert im Gebrauch steht.

Auch für das Problem der Bahnbestimmung, ohne jede Voraussetzung über die Form der Bahn, gaben **EULER** (1707–1783), **LAGRANGE** (1736–1813) und **LAPLACE** (1749–1827) schon 20 Jahre früher elegante analytische Lösungen, die jedoch für die astronomische Praxis nur geringe Bedeutung erlangten und daher schon bald in Vergessenheit gerieten, so daß dann zur Zeit der Entdeckung der Ceres, die zum Teil wegen Erkrankung des Entdeckers nur wenige Wochen beobachtet werden konnte, die ernste Gefahr bestand, daß der Planet wieder verlorengehen könnte.

So war es dann schon ein besonderer Glücksfall, daß gerade zur rechten Zeit der junge und schon in aller Welt bestens bekannte Mathematiker **KARL FRIEDRICH GAUSS** (1777–1855) mit einer Methode hervortrat, die nicht nur mathematisch klassisch, sondern auch rechnungstechnisch derart beschaffen war, daß

sie auch heute noch fast unverändert in vielleicht 80 bis 90% aller Entdeckungen zur Berechnung der Bahn der Kleinplaneten verwendet wird. Die aus den wenigen Beobachtungen der Ceres von GAUSS berechnete Bahn ermöglichte aber nicht nur die Wiederauffindung dieses ersten Kleinplaneten, sondern auch die fernere Sicherung und damit dann auch die Sicherung der Welt der Kleinplaneten überhaupt.

Für die Himmelsmechanik aber bedeutete es den Anbruch eines neuen Zeitalters, als es GAUSS möglich wurde, aus nur drei vollständigen Beobachtungen die sechs sogenannten *Bahnelemente* zu berechnen.

Diese geben dann erschöpfenden Aufschluß über die *Größe* und *Form* der Bahn, über deren *Lage im Raum*, z. B. in bezug auf die Lage der Erdbahnebene und über den *Planetenort* auf ihr und am Himmel zu irgendeinem Zeitpunkt, kurz über alles, was zur Wiederauffindung des in Frage stehenden Planetoiden erforderlich ist.

Die ersten 400 Kleinplaneten, wie auch die große Mehrzahl der später entdeckten, liefen in kreisähnlichen, wenig gegen die Ekliptik geneigten Bahnen zwischen Mars und Jupiter, und es war daher bei der Gleichartigkeit derselben und der gewaltigen Inanspruchnahme der beteiligten Sternwarten wie auch der Rechner sehr wohl zu verstehen, daß bald einmal die Meinung aufkommen konnte, daß sich die weitere Verfolgung dieser Kleinkörper nicht mehr lohne und sich die Astronomen doch besser den interessanteren neuen Problemen der Sternphysik zuwenden würden, die sich dank der Verwendung der Himmelsphotographie und der Spektralanalyse mehr und mehr zu einer vielversprechenden Wissenschaft entwickelt hatte. Dem damaligen Direktor des astronomischen Recheninstituts in Berlin ist es indessen zu verdanken, daß entgegen dieser Ansicht die Arbeit nicht nur unentwegt weitergeführt, sondern daß vielmehr Ende der neunziger Jahre von dieser Zentralstelle aus eine straffe Organisation geschaffen wurde, unter deren Oberleitung alle auf diese Welt bezüglichen Arbeiten von ihren Mitarbeitern ausgeführt werden.

Nach dieser Organisation, die sich, von einigen Verzögerungen und Unterbrüchen namentlich während der beiden Weltkriege abgesehen, bis heute halten konnte und überaus wertvolle Arbeit leistete, dürfte auch dem Fernstehenden klar sein: mit der Entdeckung eines Planetoiden beginnt erst die Arbeit. Die Beobachter müssen dafür besorgt sein, daß möglichst zahlreiche und genaue Planetenörter ermittelt werden. Die so gewonnenen Daten gelangen dann an die Zentralstelle und von hier nach sorgfältiger Sichtung an irgendeinen Mitarbeiter, der mit der *Bahnbestimmung* betraut wird.

Und wieder gelangen die berechneten Bahnelemente an die Zentralstelle, die je nach Befund der Resultate den Planeten «numeriert» oder die beteiligten und nach der geographischen Lage und instrumentellen Ausrüstung geeigneten Sternwarten mittels Zirkular

auffordert, den Planeten weiterzubeobachten. Diesem Zwecke dienen auch die jährlich im erwähnten Planetenheft veröffentlichten sogenannten *Oppositionsephemeriden*, die alle Planeten umfassen, welche im laufenden Jahr in Erdnähe gelangen, und dann auch die je nach Bedürfnis ebenfalls von der Zentralstelle herausgegebenen und demselben Zwecke dienenden Beobachtungs- und R.J.-Zirkulare.

So stießen Rechner und Beobachter durch Vermittlung des astronomischen Recheninstituts in Berlin über Kontinente und Weltmeere hinweg in beständigem brieflichen und in besonders dringlichen Fällen sogar in telegraphischem Kontakt.

Aber auch mit der Entdeckung und der nachfolgenden Bahnbestimmung irgendeines Kleinplaneten geht die Sorge um denselben weiter; denn selbstverständlich zieht auch er wie jeder andere und wie alle übrigen Glieder des Sonnensystems seine Bahn nicht bloß unter Einwirkung der Schwerkraft der Sonne. Die Gravitationswirkungen der großen Planeten mischen sich ein, und auch die beste erste Bahnbestimmung kann nicht endgültig sein. Wie bei den großen Planeten werden auch die Bahnelemente der Planetoiden ständige Änderungen erfahren, die wohl anfänglich nur klein sein mögen, nach längeren Zeiten aber je nach der Form der Bahn und ihrer Lage in bezug auf die störenden Körper derart stark anwachsen können, daß sie berücksichtigt werden müssen, wenn anders der neue Planet nicht doch noch verlorengehen soll.

Den stärksten störenden Einfluß unter den großen Planeten übt wegen seiner großen Masse und seiner relativ günstigen Lage zum System der kleinen Planeten naturgemäß Jupiter (Masse Jupiters = rund  $\frac{1}{1000}$  Sonnenmasse) aus, einen weniger starken Saturn und einen sehr geringen im allgemeinen alle übrigen Planeten. Die Massen der kleinen Planeten selbst sind aber so klein – vielleicht alle zusammen kaum größer als die Masse unseres Mondes –, daß ihre störenden Wirkungen als unmerklich immer vernachlässigt werden können.

Das ist, worauf schon einleitend hingewiesen wurde, ein besonders wichtiger Unterschied zwischen den Groß- und Kleinplaneten, ohne den eine einigermaßen befriedigende Lösung des Bewegungsproblems schon allein innerhalb der Welt dieser Kleinplaneten nicht zu denken wäre, geschweige denn im Zusammenhang mit allen übrigen Körpern, welche als Ganzes das Sonnensystem bedeuten.

Jeder Bahnbestimmung aus den Beobachtungen der Entdeckungszeit mußte also je nach der Orientierung der Bahn und der Beschaffenheit ihrer Elemente früher oder später eine Störungsrechnung folgen, die, je nach der Bedeutung des einen oder andern Kleinplaneten für besondere Zwecke, an Zeit im allgemeinen das Mehr- oder Vielfache der Bahnbestimmung beanspruchen wird und nicht selten über Jahre und sogar

Jahrzehnte ausgedehnt werden muß. Dabei kann die Störungsrechnung nach zwei grundsätzlich verschiedenen Methoden erfolgen. Bei der einen werden die Störungen, ähnlich wie bei den Großplaneten, aus nach Potenzen der Zeit geordneten Reihenentwicklungen berechnet. Hier erhält man *allgemeine* Störungen. Bei der anderen geht man von einem Zeitpunkt aus, an welchem Ort und Geschwindigkeit in der gestörten und ungestörten Bewegung identisch sind, und man berechnet sogenannte *spezielle* Störungen in den rechtwinkligen Koordinaten  $x, y, z$  oder in den sechs Bahnelementen, wie solche seit Jahrzehnten für zahlreiche Kleinplaneten, u. a. auch am Astronomischen Institut der Universität Bern, berechnet wurden. Aus alledem – es kann sich hier nur um Andeutungen handeln – ist wohl ersichtlich, daß die Aufgabe, welche die Astronomen allein schon mit der rechnerischen Überwachung der an Zahl ständig zunehmenden Neuentdeckungen solcher Kleinplaneten übernommen haben, nach und nach zu einer Überbelastung führen mußte, die angesichts der Gleichartigkeit der zu bewältigenden Arbeit auf die Dauer nicht mehr zu rechtfertigen war, und zwar um so weniger, als ja mit der Rechnung auch die Beobachtung Hand in Hand gehen mußte, die wieder nur durch ohnehin schon stark beanspruchte Sternwarten geleistet werden konnte.

Die erwähnte straffe Organisation mußte also auch hier eingreifen und Mittel und Wege suchen, um diesen Schwierigkeiten Herr zu werden. Dies geschah einerseits durch Schaffung vereinfachter Rechenmethoden und vor allem durch Beschränkung der ständigen Überwachung auf die besonders wichtigen Mitglieder dieser Welt und andererseits durch Gewinnung eines möglichst über den ganzen Erdball verbreiteten Mitarbeiterstabes. Von diesen Maßnahmen bot naturgemäß die letztere nicht geringe Schwierigkeiten.

Einmal können vor allem geeignete Rechner nicht aus dem Nichts geschaffen werden; denn die astronomische Rechenkunst, wie sie uns von GAUSS geschenkt wurde, ist eine hohe Kunst, und dann mag es für den einzelnen, der sich schon für astronomische Probleme interessiert, reizvoller sein, sich den mehr physikalisch orientierten «neuen» Problemen der Sternphysik hinzugeben, weil er den unmittelbaren Erfolg seiner Bemühungen leichter sieht, als wenn er einsam an seinem Rechentisch oder nicht minder einsam in den stillen Räumen seiner Sternwarte einem Kleinplaneten auf die Spur zu kommen sucht; aber man mag es mir glauben: auch das hat seinen Reiz, handelt es sich doch auch hier nicht um ein geisttötendes, ermüdendes Operieren mit an sich toten Zahlen, sondern unser Gegenstand lebt und bewegt sich, entfernt sich, kommt uns näher, vielleicht sogar gefährlich nahe, und das alles zeigt uns die Rechnung, und wir leben mit unserem Gegenstand und begleiten ihn in Gedanken bis zu dem Zeitpunkt, da er nach Jahr und Tag von einem lichtstarken Fernrohr an der von uns für die

Beobachtung geeignet bezeichneten Stelle des Himmels, mitten unter einem Heer von Sternen, als feines, matt leuchtendes Scheibchen oder Lichtpünktchen eingefangen wird.

Und was die erste Maßnahme, Vereinfachung der Rechenmethoden und Beschränkung der ständigen Überwachung auf die besonders wichtigen Kleinplaneten betrifft, so zeigte hier die Welt derselben selbst den zu beschreitenden Weg, unterscheidet sie doch selbst deutlich *zwei* Gruppen. Weitaus die große Mehrzahl aller bis heute entdeckten Planetoiden läuft in kreisähnlichen Bahnen um die Sonne. Ihre Bahnen sind also wenig exzentrisch und verlaufen vollständig zwischen der Mars- und Jupiterbahn. Für diese kommen somit in der Hauptsache nur Jupiterstörungen in Betracht, für deren Berechnung denn auch das Recheninstitut rechtzeitig vereinfachte Rechenmethoden schuf, die zur Sicherung dieser Himmelskörper für längere Zeit sehr wohl hinreichen. Man spricht dann bei dieser Gruppe von der Berechnung *genäherter Jupiterstörungen*.

Eine zweite Gruppe umfaßt dann die *Ausnahmen* von der Regel, die für den Forscher besonders wichtig sind. Das Besondere besteht für diese vor allem darin, daß ihre Bahnen nur zum Teil in der ihnen wohl von Anfang an zugewiesenen Zone verlaufen, zum andern Teil aber wie die Kometen auch die Bahnen der großen Planeten, insbesondere diejenige von Mars nach *innen* und diejenige von Jupiter nach *außen* hin, durchkreuzen.

Der erste Planet dieser Art, *Eros*, wurde am 13. August 1898 von Prof. G. WITT auf der Uraniasternwarte in Berlin entdeckt, und das Erstaunen in der Fachwelt darüber, daß Eros die Marsbahn kreuzt und sich der Erde im günstigsten Fall bis auf 18 Millionen km nähern kann, war groß und allgemein. Aber es sollte ja auch hier nicht bei dieser einen Entdeckung eines solchen Ausreißers bleiben. Bald folgten weitere sieben, von denen einige der Erde noch näher kommen als Eros, so namentlich die letztentdeckten *Amor*, *Apollo*, *Adonis* und *Hermes*, die zum Teil nicht nur die Marsbahn, sondern sogar die Erdbahn und die Venusbahn kreuzen und damit gar der Sonne näher kommen als die Venus oder gar Merkur.

Besonders ungewöhnliche Vertreter dieser Planetengruppe sind die drei letztgenannten und unter diesen der ungewöhnlichste *Hermes*, welcher sich zwischen dem 30. und 31. Oktober 1937 der Erde bis auf rund 420 000 km nähern konnte. Das ist wenig mehr als die mittlere Entfernung unseres Mondes und daher sowohl für den fremden Planeten als auch für unsere Erde unter Umständen schon eine nicht ganz ungefährliche Nähe. Auf der Entdeckungsaufnahme hinterließ *Hermes* eine Strichspur von 27 mm, wie solche sich etwa zufällig auf photographischen Aufnahmen des Sternenhimmels als Spuren von Meteoriten zeigen. War vielleicht *Hermes* selbst ein solches?

Nach außen hin wird aber auch die Jupiterbahn durch-

brochen, und zwar von *Hidalgo*, dessen größte Entfernung von der Sonne mit 1400 Millionen km nahe an diejenige von Saturn heranreicht, während seine kleinste Entfernung 300 Millionen km beträgt, in welcher er zu gewissen Zeiten auch die Marsbahn kreuzt.

Selbstverständlich erleiden die Bahnen von Kleinplaneten, die sich wie die eben genannten nahe an ihre großen Geschwister heranwagen, auch entsprechend größere Störungen als alle übrigen, was wiederum die Überwachung, namentlich von seiten des Rechners, wesentlich schwieriger gestaltet. Aber Schwierigkeiten sind da, um überwunden zu werden, und gerade darin besteht ja auch immer der Reiz, neue Wege zu suchen. – In dieser Hinsicht hat denn auch besonders die Mechanik unseres Planetensystems aus der Welt der Kleinplaneten manche überaus wertvolle Bereicherung erfahren dürfen.

So führten z. B. gerade die Annäherungen der Kleinplaneten *Hidalgo*, *Sirene* und *Valentine* an die Planeten Saturn, Mars und Jupiter zu Neubestimmungen der Massen dieser Großplaneten, und dann auch die Annäherung des Kleinplaneten *Eros* an die Erde in den Jahren 1930–1931 zu einer Neubestimmung der *Sonnenparallaxe* und damit der mittleren Entfernung Erde–Sonne, welche bekanntlich als die *astronomische Einheit* für die Weltraummessung von besonderer Bedeutung ist.

Schon diese bloßen Hinweise verraten dem Eingeweihten eine gewaltige Arbeitsleistung, und die Ergebnisse? Ich möchte nur bezüglich der Sonnenparallaxe einige Zahlen nennen.

Dieselbe betrug nach früheren Bestimmungen, bei welchen mit Vorteil außer *Eros* (1900/1901) auch schon früher die Kleinplaneten *Iris*, *Viktoria* und *Sappho* Verwendung fanden, zuletzt 8",80, und heute, d. h. nach Abschluß der Neubestimmung, 8",79. Die Änderung, die also heute am bisherigen Standardwert angebracht werden muß, ist wohl lächerlich klein, und die Frage Uneingeweihter, ob denn dieser Abstrich von nur 0",01 die dafür aufgewendete Mühe und Zeit rechtfertige, war durchaus verständlich. Und doch bewirkt diese kleine Änderung allerlei: so wird damit die Sonnenentfernung, die bislang zu 149 500 000 km angegeben wurde, um 170 000 km auf 149 670 000 km vergrößert. Aber auch der Mond ist dadurch um  $22800 \cdot 10^{12} = 22800$  Billionen Tonnen schwerer geworden, und die Masse der Sonne muß jetzt zu  $1,993 \cdot 10^{33}$  g statt wie bisher zu  $1,985 \cdot 10^{33}$  g angenommen werden, was also einer Zunahme von  $8 \cdot 10^{24}$  Tonnen entspricht. Aber noch eine ganze Reihe anderer «Konstanten» des Sonnensystems hat durch den Abstrich der Sonnenparallaxe um 0",01 bedeutsame Änderungen erfahren, die bei zukünftigen Berechnungen berücksichtigt werden müssen, so zum Beispiel:

$$\frac{\text{Mondmasse}}{\text{Erdmasse}} = \frac{1}{81,28} \text{ statt } \frac{1}{81,53}.$$

Augenfällig erkennt aber zweifellos auch der Fernstehende aus diesen Beispielen das mit unerhörtem Arbeitsaufwand geführte unermüdliche Ringen um höchste Genauigkeit.

24 über den ganzen Sichtbarkeitsbereich des *Eros* verteilte Sternwarten, unterstützt durch eine von Professor GUSTAV STRACKE vom astronomischen Recheninstitut unter Einbezug der Störungen von seiten aller Großplaneten durchgeführte genaueste Bahnrechnung, haben das fast Übermenschliche zustande gebracht und dann das reiche Beobachtungsmaterial dem derzeitigen Direktor der Sternwarte zu Greenwich, SPENCER JONES<sup>1</sup>, Astronom Royal und Präsident der «Solar Parallaxe Commission, J.A.U.», zur Bearbeitung überlassen, der dann auch die Resultate seiner eigenen, mehrjährigen Bemühungen unter dem Titel «The Solar Parallaxe and the Mass of the Moon from Observations of *Eros* at the Opposition of 1931» 1942 in den *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 101, Nr. 8, veröffentlichte.

Außer den bisher erwähnten Ausnahmeplaneten, deren erster *Eros* war, gibt es nun noch zwölf Kleinplaneten, die alle sehr nahe in der Bahn des Jupiter selbst laufen, und zwar gehen ihm sieben derselben um nahe 60° voraus, während die fünf anderen um ebensoviel gegen ihn zurückbleiben und infolgedessen mit der Sonne und dem Großplaneten Jupiter in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen. Es sind dies die in der neueren Himmelsmechanik besonders vielgenannten 12 *Trojaner*, von denen der erste, *Achilles* (1906), und der bis heute letzte, *Diomedes* (1937), wie übrigens auch alle anderen, auf der badischen Landessternwarte Königstuhl-Heidelberg von Prof. MAX WOLF und seinen Mitarbeitern und Schülern entdeckt wurden<sup>2</sup>.

Wie diese zwölf sonderbaren «Apostel» in diese sonderbare Lage geraten sind, ist wohl kaum mehr festzustellen, aber ans Wunderbare grenzt es schon, wenn man weiß, daß der große französische Mathematiker LAGRANGE schon 1772, also 134 Jahre vor der Entdeckung des ersten derselben, gezeigt hat, daß drei einander anziehende Massen aufeinander keine Störungen ausüben, wenn sie in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks liegen.

Sicher hat sich LAGRANGE nicht träumen lassen, daß dieser merkwürdige Sonderfall des Dreikörperproblems im Weltall verwirklicht sein könnte, und daß es gerade zwölf Kleinplaneten sein würden, welche sich das Kunststück dieses Spezialfalls leisten. Für die Welt der Kleinplaneten und für das Planetensystem überhaupt knüpfen sich aber an diese Trojaner

<sup>1</sup> SPENCER JONES fand nach der Veröffentlichung in den «Monthly Notices»:  $\pi_0 = 8",790 \pm 0",001$ , womit 1 astronomische Einheit =  $149\,670\,000 \text{ km} \pm$  mittlerer Fehler 17 000 km.

<sup>2</sup> 508, *Achilles* 1906 (+); 617, *Patroklos* 1906 (–); 624, *Hektor* 1907 (+); 659, *Nestor* 1908 (+); 884, *Priamus* 1917 (–); 911, *Agamemnon* 1919 (+); 1143, *Odysseus* 1930 (+); 1172, *Aeneas* 1930 (–); 1173, *Anchyses* 1930 (–); 1208, *Troilus* 1931 (–); 1404, *Ajax* 1936 (+); 1437, *Diomedes* 1937 (+).

+ = 60° voraus; – = 60° nach.

eine Reihe bemerkenswerter Erkenntnisse, auf welche indessen im Rahmen dieser Betrachtung nicht näher eingegangen werden kann. Immerhin kann man verstehen, daß diese Planetengruppe als einzigartiges Phänomen nicht nur innerhalb der Welt der Kleinplaneten, sondern überhaupt im Sonnensystem und nach unserem heutigen Wissen auch darüber hinaus im weiten Universum, nicht nur in Astronomen-, sondern auch in Mathematikerkreisen allergrößtem Interesse begegnen mußte, und daß schon allein die Entdeckungen der beiden ersten Trojaner, Achilles und Patroklos, welche kurz nacheinander im Jahre 1906 erfolgten, die seinerzeitige Anregung des Direktors des Berliner astronomischen Recheninstituts hätte rechtfertigen müssen.

Und nun sind ja den zwei ersten Entdeckungen bis zum Jahre 1937 noch zehn weitere gefolgt, im Jahre 1930 sogar deren drei, nämlich die Entdeckungen der Planeten Odysseus, Äneas und Anchyses. Und der Himmelsmechanik sind allein durch diese Trojaner völlig neue Wege gewiesen worden, die unerschöpflich scheinen und die vor allem durch die Mathematiker H. POINCARÉ und JACOBI und den Astronomen ELIS STRÖMGREEN und seine Schüler angeregt und gefördert wurden.

Aber zu guter Letzt hat auch die Welt der kleinen Planeten als *Ganzes* betrachtet noch ihre besonderen Probleme. So hat schon ein gewisser KIRKWOOD in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, also schon zu einer Zeit, da noch kaum hundert Kleinplaneten entdeckt waren, darauf hingewiesen, daß ihre Anordnung zwischen den erwähnten Grenzen nicht, wie man aus Wahrscheinlichkeitsgründen schließen könnte, eine stetig von Anfang an gegen die Mitte hin ansteigende und dann gegen das Ende zu wieder abnehmende ist, sondern, wie eine nach den Umlaufzeiten geordnete Übersicht es nachweist, zeigen sich an vielen Stellen Anhäufungen, an andern wieder Lücken oder von Planeten fast leere Orte. Lücken, das sind Stellen, an denen die Zahl der Planeten ganz plötzlich von einer größeren auf eine äußerst geringe herabsinkt, treten besonders auffallend hervor zwischen den Umlaufzeiten 3,90–4,00 und 5,80–6,00 Jahren. Vergleicht man diese Zahlen mit der Umlaufzeit des Jupiter, die 11,86 Jahre beträgt, so zeigt sich, daß sie einem Bruchteil, nämlich  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{1}{2}$  derselben, gleich sind. Weitere, wohl weniger deutlich ausgesprochene Lücken finden sich außerdem noch an den Umlaufzeiten 3,40–3,50 vor, dann 4,70–4,80, 5,00–5,10 und endlich 6,60–7,00, entsprechend den Bruchteilen  $\frac{2}{7}$ ,  $\frac{2}{5}$ ,  $\frac{3}{7}$  und  $\frac{4}{7}$  von 11,86, also mit 3,389, 4,745, 5,084 und 6,778 Jahren. Drei dieser Lücken, welche insbesondere den Bruchteilen  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  und  $\frac{2}{7}$  entsprechen, tragen auch nach den drei Planeten Hekuba (108), Hestia (96) und Flora (8) die Namen *Hekuba*-, *Hestia*- und *Floralücke*, welchen auch besondere Untersuchungen gewidmet wurden.

Aus der erwähnten Übersicht<sup>1</sup> geht klar hervor, daß jene Stellen, deren nach dem dritten KEPLERschen Gesetz berechnete Umlaufzeiten zu der des Jupiter in einem rationalen Zahlenverhältnis stehen, keine oder nur sehr wenig Planeten enthalten. Diese gruppieren sich vielmehr in größerer Häufigkeit um jene Orte, deren entsprechende Umlaufzeiten zu der des Jupiter *inkommensurabel* sind.

Diese Feststellung, nach welcher Jupiter offenbar die kleinen Planeten aus den kommensurablen Stellen ausscheidet und sie andererseits an den inkommensurablen Stellen anhäuft, ist um so bemerkenswerter, als ja auch im Saturnsystem der erste und der zweite Mond desselben, Mimas und Enceladus, in der Lagerung der kleinen Monde, die als Doppelring den Saturn umschweben, die gleiche Rolle spielen, und als andererseits die Umlaufzeiten der großen Planeten keine Kommensurabilitätsstellen aufweisen. Es darf darum nicht verwundern, daß die von KIRKWOOD erkannten Verhältnisse in der Welt der kleinen Planeten neuerdings zu wichtigen Untersuchungen über die *Stabilitätsverhältnisse* in unserem Sonnensystem im allgemeinen und besonderen anregten, nachdem doch LAPLACE die Inkommensurabilität der zu seiner Zeit bekannten Großplaneten (bis Uranus) als besonders wichtiges Kriterium für den dauernden Bestand des Planetensystems erkannt hatte. Zu besonderen Untersuchungen gab in der Folge naturgemäß auch das Problem der Trojaner Veranlassung. Diese stellen doch wohl einerseits eine Anhäufung dar, laufen aber andererseits sogar in Bahnen mit dem Kommensurabilitätsverhältnis nahe 1:1, also an einer Stelle, die nach KIRKWOOD «verboten» sein müßte. Daß aber gerade hier das Verbot nicht zu gelten scheint, mag als Beweis dafür gelten, daß die LAPLACESche Hypothese zu einfach ist und in ihrer Einfachheit nicht hinreicht, den ganzen Komplex merkwürdiger Beziehungen und interessanter Eigentümlichkeiten zu erklären, die in unserem Sonnensystem auftreten. Auch diese Erkenntnis verdanken wir der Welt der kleinen Planeten.

Weitere Fragen beschäftigen sich auch mit der Form und Größe der Kleinplaneten und endlich aber nicht zuletzt auch mit den in neuester Zeit vermuteten und nicht ganz unwahrscheinlichen Zusammenhängen zwischen Kleinplaneten und Kometen, Meteoren und sogar des Zodiakallichtes.

Aber Fragen sind immer leichter gestellt als beantwortet, und außerdem: wenn man bedenkt, daß von der gewaltigen Schar dieses Kleinvolks nur Ceres und Vesta gelegentlich dem unbewaffneten Auge eben noch sichtbar werden, so darf man sich nicht wundern, wenn die mehr physikalische Erforschung der Kleinplaneten noch kaum im Anfangsstadium sich befindet

<sup>1</sup> Die Übersicht befindet sich in meiner umfangreichen Veröffentlichung über das Thema «Untersuchungen über Stabilität dynamischer Systeme in der Mechanik des Himmels» und kann hier nicht reproduziert werden.



und daß z. B. eine direkte Durchmesserbestimmung nur bei den vier größten möglich war, bei denen Werte zwischen 200 und 800 km gefunden wurden. Photometrische Methoden aber zeigen, daß wohl die große Mehrzahl dieser Zwergplaneten Durchmesser von weit weniger als 100 km besitzt. Für *Hermes* werden z. B. Werte von nur 500–800 m angegeben, so daß die Vermutung, es könnte sich bei diesem Kleinplaneten um ein Riesenmeteor gehandelt haben, nicht ganz abwegig ist.

Statistische Untersuchungen sind zurzeit noch im Fluß. Es betrifft dies vor allem die Verteilung der Bahnelemente im Raum und nicht zuletzt auch die immer wieder gestellte Frage nach der Herkunft dieser vermutlichen Weltensplitter. Unabgeklärt ist dann auch immer noch die Frage nach dem zehnten Großplaneten, den der junge KEPLER vor 350 Jahren zwischen Merkur und Venus «einschieben» mußte und der immer noch nicht entdeckt wurde, obgleich es an zahlreichen Versuchen nicht fehlte.

Neben alledem hat aber die Himmelsforschung allen Grund, denen dankbar zu sein, die vor einem halben Jahrhundert dafür gesorgt haben, daß dieses lohnende Feld der Sternkunde nicht vernachlässigt, sondern immer mit Hilfe tüchtiger und vor allem auch begeisterter Kräfte neu beackert und gefördert wurde.

#### Summary

After a historical survey on the discovery of the small planets and the international organization of the calculation of orbits the importance of the divergences from the ordinary orbits between Mars and Jupiter is discussed. On the one side those small planets which approach Mars, Jupiter, even Earth and Saturn, in strongly excentric orbits offer new methods for the mass determination of the large planets; e.g. the perigee of Eros made possible a new determination of the parallax of the sun (8'', 79). On the other side the group of the Trojans e.g. gives new aspects for the problem of the three bodies. In the breaches of commensurability the statistical distribution of the orbits of the small planets hints to the problem of the stability of the planetary system.

## Water Relations of Insects

By V. B. WIGGLESWORTH, Cambridge

It is very largely true to say that the physiology of insects is the story of their water relations. Small terrestrial animals, with a surface area great in proportion to their volume, they are hard put to it to maintain the normal water content of their tissues. An incessant struggle for water is reflected in every aspect of their organization.

As in other terrestrial animals, the demand for oxygen must be reconciled with the need for retaining water. Insects breathe through tracheæ, the external openings of which are closed by muscular sphincters, held firmly occluded most of the time and opened only enough to let in the needed oxygen<sup>1,2</sup>. If the spiracles are kept permanently open, as happens during exposure in an atmosphere containing 5 per cent of carbon dioxide, the insect soon dries up and dies<sup>3,4</sup>.

Excepting such species as live in moist environments or which take abundant liquid in their food, insects conserve water with great care during digestion and excretion. They eliminate nitrogen mainly as uric acid, which is deposited in solid form. And insects from dry environments have the rectal portion of their aliment-

ary tract furnished with a high columnar epithelium or with distinct "rectal glands" which reabsorb water from the excrement before it is discharged. Indeed, in insects like the clothes moth larva *Tineola*, or the mealworm *Tenebrio*, every trace of water is removed from the faecal residue and this appears in the form of dry pellets<sup>1</sup>.

A few insects, notably the eggs of certain Collembola and the eggs of some grasshoppers, can withstand the drying of the tissues. Eggs of the South African locust *Locusta pardalina* have been kept in this desiccated state for three and a half years; they hatch within two weeks if they are moistened. But in most insects the normal water content of the tissues is much the same as in other animals, and they cannot tolerate any great reduction below this level.

These physiological mechanisms for retaining water during respiration or reabsorbing it during excretion will be effective only if the insect has a body covering impervious to water loss. The insect cuticle is indeed specially adapted to this end. The cuticle is rigid, flexible or elastic according to the mechanical needs of the system; but it remains extraordinarily impermeable to water. It has been recognized for many years that it is the very thin outermost layer, the epicuticle, that is responsible for this impermeability, and that

<sup>1</sup> E. H. HAZELHOFF, *Regeling der Ademhaling bij Insecten en Spinnen*, Thesis, Utrecht 1926.

<sup>2</sup> V. B. WIGGLESWORTH, *Proc. Roy. Soc. B.* 118, 397–419 (1935).

<sup>3</sup> K. MELLANBY, *Proc. Roy. Soc. B.* 116, 139–149 (1934).

<sup>4</sup> V. B. WIGGLESWORTH and J. D. GILLET, *Proc. Roy. ent. Soc. Lond. A.* 11, 104–107 (1936).

<sup>1</sup> V. B. WIGGLESWORTH, *Quart. J. micr. Sci.* 75, 131–150 (1932).