

S T E R N F R E U N D E - S E M I N A R  
im Wiener Planetarium, März bis Juni 1982

D I E K L E I N P L A N E T E N  
=====

Als Kurs-Adskript herausgegeben vom Astronomischen Verein zur Förderung der Amateurastronomie in Österreich (Astro-Verein), A-1090 Wien, Seegasse 8.- Jegliche Wiedergabe, auch von Teilen, ist nicht gestattet.

- 1 Titelblatt und Inhaltsverzeichnis (10.Sternfreunde-Seminar!).
- 2-10 Kleinplaneten-Forschungsgeschichte (Wolfgang Valentin, Wien).
- 11-15 Tables of Minor Planets, von J.Meeus - F.Pilcher.
- 16-19 Ephemeriden Kleiner Planeten (Alexander Probst, Wien).
- 20 Minor Planet Circulars - Minor Planets and Comets.
- 21-23 Asteroids, von T.Gehrels und Mitarbeitern.
- 24 Auswahl von Hilfsliteratur zur Kleinplaneten-Amateurastronomie (Mit Ausstellung und Möglichkeit zum Durchblättern fast aller, auch in den vorgenannten Referaten behandelten Werke).
- 25-29 Die Beobachtung kleiner Planeten, ein Schlüssel zur Erforschung der Frühzeit des Sonnensystems (Univ.-Prof.Dr.Hermann Haupt, Vorstand des Instituts für Astronomie der Universität Graz).
- 30-36 Ausführung astrometrischer Kleinplaneten-Beobachtungen (Ing. Erich Meyer, Linz; selbstgebauter Meßapparat ausgestellt).
- 37-45 Bahnbestimmung nach dem Prinzip von Gauss, Methode von Veithen-Merton (Robert Weber, Wien).
- 46-51 Der kleinste Abstand zweier elliptischer Bahnen (Jean Meeus, Erps-Kwerps, Belgien).
- 52-60 Die Bahnen der Kleinplaneten (Univ.-Dozent Dr.Rudolf Dvorak, Institut für Astronomie der Universität Graz; mit Film).
- 61-68 Die Natur der Asteroiden (Univ.-Dozent Dr.H.J.Schober, Institut für Astronomie der Universität Graz).
- 69-72 Die polarimetrische Bestimmung der Durchmesser Kleiner Planeten (Hofrat Univ.-Dozent Dr.Thomas Widorn, Wien).
- 73-77 Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern aus Sternbedeckungen (Renate Birnkraut, Wien; mit Bedeckungs-Vorschau aus AJ 86,6).
- 78-80 Interferometrische Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern (Michael Pietschnig, Wien; mit optischen Experimenten).
- 81-84 Massen und Dichten von Kleinplaneten (Beate Hirn, Wien).
- 85-94 Begleiter Kleiner Planeten (Alexander Pikhard, Wien).
- 95-99 Kleinplaneten vom Typ Amor, Apollo und Aten (Dr.Norbert Giesinger, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Wien).
- 100-102 Preisgünstige Optiken heimischer Produktion für Kleinplaneten-Photographie (Martin Adamiker, Optische Geräte, Brunn NÖ).
- 103 Einladung zum "Beobachtungsprogramm Kleinplaneten".

Veranstalter: Wiener Planetarium / Urania und Astro-Verein. Gefördert vom Institut für Astronomie der Universität Graz.- Leitung: H.Mucke.

Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.

"INTER IOVEM ET MARTEM INTERPOSUI PLANETAM" (Kepler).

### Voraussetzungen

Die Kleinplaneten sind als lichtschwache Objekte dem freien Auge nicht zugänglich und entgingen auch nach der Erfindung des Fernrohrs längere Zeit der Entdeckung - boten doch zunächst die helleren, auffallenderen Objekte ausreichend Forschungsmöglichkeit. Gedanken über die Existenz nicht freisichtiger Wandelgestirne gab es schon im alten Griechenland (Artemidoros von Ephesos; Demokrit von Abdera). Kepler, auf der Suche nach der wunderbaren Ordnung der ruhenden und bewegten Welt, findet laut eigenem Bericht die "Lösung des Weltgeheimnisses": Kugelflächen (Sphären) können um bzw. in oder zwischen die fünf regulären Körper gelegt werden, die den fünf damals bekannten Planetenbahnen entsprechen. In seinem "Mysterium Cosmographicum", erschienen 1596 in Tübingen, schreibt er:

"Die Erde ist das Maß für alle anderen Bahnen. Ihr umschreibe ein Dodekaeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Mars. Der Marsbahn umschreibe ein Tetraeder; die dieses umspannende Sphäre ist der Jupiter. Der Jupiterbahn umschreibe einen Würfel; die diesen umspannende Sphäre ist der Saturn. Nun lege in die Erdbahn ein Ikosaeder; die diesem einbeschriebene Sphäre ist die Venus. In die Venusbahn lege ein Oktaeder; die diesem einbeschriebene Sphäre ist der Merkur". Kepler bemerkt die sonderbare Leere, die in diesem Modell zwischen Mars und Jupiter auftritt und meint an anderer Stelle sogar "... es scheint nicht zu genügen, in diese Lücke einen einzigen Planeten einzuschieben ...", hält aber in seinen Veröffentlichungen an der Sechszahl der Planeten fest.

1766 gelingt es Titius, eine einfache Gesetzmäßigkeit zu finden, aus der sich die mittleren Entfernungen der Planeten von der Sonne in AE ergeben und aus der auf einen fehlenden Planeten bei 2,8 AE Sonnenabstand geschlossen werden kann; bemerkenswert ist die Übereinstimmung mit den Kepler'schen Werten.

Diese 1772 formulierte "Titius-Bode'sche Regel" lautet folgendermaßen:

Mittlerer Sonnenabstand =  $0,4 + (0,3 \cdot 2^n)$ , worin

$n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$

## Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.

<u>Planet</u>	<u>Kepler</u>	<u>Titius-Bode</u>	<u>Wirklichkeit</u>
Merkur	0,43	0,40	0,39
Venus	0,76	0,70	0,72
Erde	1,00	1,00	1,00
Mars	1,44	1,60	1,52
		2,80	
Jupiter	5,26	5,20	5,20
Saturn	9,16	10,00	9,54
Uranus		19,60	19,18
Neptun		38,80	30,06
Pluto		77,20	39,44

Die Entdeckung des Uranus 1781 durch W.Herschel war auch deshalb eine Sensation, weil sich dieser Planet der Titius-Bode-Regel einfügte; nun war man überzeugt, daß es an der "leeren" Stelle auch einen Planeten geben müsse. Die Suche nach ihm wurde organisiert (Zach, 1796).

### Erste Entdeckungen

Das 19. Jahrhundert, das "Centennarium der Erfindungen und Entdeckungen" schlechthin, hätte nicht spektakulärer beginnen können als mit dem Fund des ersten Kleinplaneten (1. Januar 1801, Piazzi), der den vollen, stolzen Namen "Ceres Ferdinandaea" (Ceres = Göttin der Pflanzen, Schutzgöttin Siziliens; Ferdinand IV. = König von Neapel und Sizilien) erhielt.

Aus der Veröffentlichung von Piazzi's Berichten in der "Monatlichen Correspondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde" (herausgegeben seit 1800 von Zach) erfuhr C.F.Gauß vom anstehenden Problem der Bahnberechnung aus nur wenigen Beobachtungsdaten. Nach der von ihm entwickelten Methode, die er später (1809) in seiner "Theoria Motus Corporum Coelestium" darlegte, fand man genau ein Jahr nach der Entdeckung den verlorengegangenen Kleinplaneten wieder. 1802 wurde der zweite Kleinplanet, Pallas, sowie einige Jahre später Juno und Vesta entdeckt. Nach der Auffindung von Astraea (1845) und Hebe (1847) begann eine richtige Jagd nach diesen Objekten: Trotz guter Instrumente und verbesserter Sternkarten war die Suche sehr mühevoll, denn die Auffindung eines Kleinplaneten konnte nur durch dessen geringer Ortsänderung gegenüber dem Fixsternhintergrund gelingen - was gute Beobachtungsgabe erforderte. Rekord: J.Palisa in Wien, 121 Objekte!

Einen großen Fortschritt brachte die Einführung der Himmelsphotographie in die Kleinplanetenforschung. Ihr Pionier, M.Wolf in Heidelberg, arbeitete zunächst mit einer kurzbrennweitigen Kamera und baute später einen Astrographen, mit dem er 1891 den ersten Kleinplaneten auf photographischem Weg entdeckte: (323) Brucia. Seine Gesamtausbeute: 233 Objekte, nur noch überboten von seinem Nachfolger,

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.  
Reinmuth, mit deren 262.

### Nomenklatur

Die Bezeichnung der Kleinplaneten richtet sich nach der Konvention von 1851 (Gould, R.Wolf). Die Kleinplaneten werden danach durch eine in Klammer gesetzte Nummer bezeichnet und die ursprünglichen Symbole werden nicht weiter verwendet. 1925 wurde festgelegt, einen beobachteten, aber noch nicht bahndefinierten Kleinplaneten mit der Jahreszahl unter Beifügung zweier Buchstaben (für Monatshälfte und Reihenfolge) zu markieren. Erst nach der Nummernzuteilung kann die Namensgebung durch (nicht nach) den Entdecker erfolgen. Als die traditionell weiblichen Namen der Mythologie erschöpft waren, folgten Städtenamen, alltägliche weibliche Vornamen oder auch phantasievolle Benennungen, an die sich manche Anekdote knüpft.

### Bestandsaufnahme um 1900

Ende des 19. Jahrhunderts glaubte man, diese Objekte ausreichend zu kennen: Die bekannten Bahnen bewegten sich im Abstand von 2 bis 4 AE mit durchschnittlichen Exzentrizitäten von 0,1 und ebenso durchschnittlichen Neigungen von  $10^\circ$  - nur Pallas machte mit  $35^\circ$  eine Ausnahme. Die bekannten Kleinplaneten bewegten sich rechtläufig mit Umlaufzeiten von 3 bis 6 Jahren hauptsächlich in der Zone zwischen Mars und Jupiter, zeigten aber schon damals keine gleichförmige Verteilung (Kirkwood, 1866). Dort, wo Umlaufzeiten in einem ganzzahligen Verhältnis zur Jupiterumlaufzeit stehen, gibt es Resonanzlücken: So die Hestia-Lücke bei 3:1 oder die Hecuba-Lücke bei 2:1. Auch die ersten Vorstellungen über ihre Durchmesser lagen vor, nach Mikrometermessungen um 1890. Die Entstehung der Kleinplaneten wurde immer noch gerne auf einen geborstenen großen Planeten zurückgeführt, obgleich sich ihre Bahnen nicht aus einer gemeinsamen Ursprungsbahn rechnerisch herleiten ließen.

Das allgemeine Interesse an diesen Kleinkörpern begann sich zu verflachen, ein spektakulärer größerer Planet war nicht gefunden worden und auch nicht zu erwarten und die neueren Erkenntnisse waren mangels ausreichend entwickelter physikalischer Methoden noch nicht in Aussicht. Rund 400 Asteroide waren bekannt und einige Astronomen waren der Meinung, daß eine wesentliche Steigerung auch nicht mehr zu erwarten sei. Etwa ein halbes Jahrhundert herrschte diese Meinung vor und viele große Observatorien beschäftigten sich kaum mit diesem "Ungeziefer des Weltalls".

### Ungewöhnliche Bahnen

Jene aber, welche die Kleinplanetenarbeit fortführten, lieferten

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.

immer wieder neue Überraschungen: Es wurden nach und nach Kleinplaneten mit ungewöhnlichen Bahnen entdeckt. Als äußeres Zeichen dieses ihres besonderen Verhaltens erhielten sie männliche Namen und können entweder der Erde nahe kommen (a) oder fern von ihr verbleiben (b).

- a) Amor-Asteroiden (Delporte 1932) kreuzen die Marsbahn, z.B. Eros (Witt 1898); Apollo-Asteroiden (Reinmuth 1932) schneiden die Erdbahn, allenfalls auch Venus- und Merkurbahn, z.B. Toro (1948), Icarus (1949), Hermes (1937); Aten-Asteroiden (Helin, 1976) mit großer Halbachse kleiner 1 und Apheldistanz größer 0,983 AE.
- b) Trojaner, deren erster, Achilles, schon 1906 von M. Wolf entdeckt wurde und die himmelsmechanische Voraussage librierender Kleinkörper im System Sonne-Jupiter erfüllte (Sonderfall des 3-Körper-Problems, Bewegung um die  $60^\circ$  Jupiter auf dessen Bahn vorauslaufenden und folgenden Librationspunkte); Hidalgo zwischen Mars und Saturn (Baade 1920); Chiron zwischen Saturn und Uranus (Kowal 1977).

### Kleinplaneten-Evidenz

Dank der immer ausgedehnteren Verwendung der stets leistungsfähiger werdenden Photographie nahmen Neuentdeckungen auch "gewöhnlicher" Kleinplaneten rapid zu. Die Überwachung, Bahnbestimmung und Ephemeridenrechnung lag bis in die Jahre um 1940 hauptsächlich beim Astronomischen Recheninstitut in Berlin-Dahlem (nach dem 2. Weltkrieg nach Heidelberg verlegt). Zum Teil wegen nicht ausreichender Beobachtungen mußte alljährlich ein gewisser Prozentsatz von Kleinplaneten als verloren gemeldet werden. Bei der Bahnberechnung, Ephemeridenrechnung und Identifizierung arbeiteten sehr erfolgreich auch Astronomen mit, die nicht als solche hauptberuflich tätig waren - wie etwa seit 1931 K. Mayrhofer (Linz) oder ab 1940 Kippes (Würzburg). Über die Herrn Mayrhofer zuteil gewordene Anerkennung seiner Leistungen auf diesem Gebiet (1980 erhielt der Kleinplanet 1948 VB die Bezeichnung "1690 Mayrhofer") dürfen wir uns besonders freuen!

Seit der Gründung des "Minor Planet Center" in Cincinnati nach dem 2. Weltkrieg (1978 verlegt nach Cambridge, Mass.) und dem Einsatz leistungsfähiger elektronischer Rechenanlagen besserte sich die Lage und von den rund 2300 nummerierten Objekten müssen nur mehr etwa 100 einer "kritischen Liste" zugereicht werden, für die aber zu mehr als 90% die Wiederauffindung gesichert scheint.

Nach 1950 verstärkte sich die Forschungstätigkeit auf dem Gebiet der Kleinplaneten beträchtlich. Die Evidenz der Kleinplaneten in Datenzentren erfolgt nicht nur zum Zweck der Objektsuche und Klassifizierung, sondern auch für die Verfolgung eventueller Veränderungen, wie

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung. Bahnverbesserung, Durchmesser- und Massenbestimmungen, aber auch, um Unterlagen für weltraumtechnische Aktivitäten zu geben.

### Neuere Aktivitäten

Zwei besonders große Suchprogramme wurden in jüngerer Vergangenheit durchgeführt: 1950/52 das Yerkes-McDonald-Programm und 1960 das Palomar-Leiden-Programm. Mit kurbrennweitiger Optik wurde der Ekliptikgürtel von  $+20^\circ$  bis  $-20^\circ$  ekliptikaler Breite zweimal komplett auf 2400 Platten  $20 \times 25 \text{cm}$  ( $6,5^\circ \times 8,1^\circ$ ) bzw. ein kleines Feld von  $12^\circ$  in ekliptikaler Breite und  $18^\circ$  in ekliptikaler Länge (bis  $+20^{\text{mag}}$ , mit dem 122cm-Schmidt) aufgenommen. Die statistische Auswertung ergab rund 500.000 Kleinplaneten heller als  $21,2^{\text{mag}}$  und 40.000 bis 50.000 heller als

Die neuen physikalischen Beobachtungsmethoden - wie lichtelektrische Photometrie mit Farbenindex-Bestimmung, Infrarotphotometrie und Polarimetrie, Spektralphotometrie und schließlich Radar liefern Ergebnisse über Größe, Form, Beschaffenheit, Rotationsverhältnisse, Temperaturen und Massen. Damit wurden auch die Beziehungen der Kleinplaneten zu Meteoriten und Kometen faßbar.

Die Nahaufnahmen der Marsmonde Phobos und Deimos durch die Mariner-Sonden (1972) und Viking-Sonden (1976) zeigten erstmals das für Kleinplaneten typische Bild: Unregelmäßige Form und Staubbekleidung der Oberfläche.

### Ursprung

Führte Olbers die Kleinplaneten auf einen zerfallenen Mutterplaneten von 3000km Durchmesser und  $1/15$  Erdmasse zurück - übrigens legte 1972 Ovenden Modellrechnungen vor, die auf einen solchen von 90 Erdmassen deuten - so ergab sich aus Untersuchungen Kuipers (1958), Hirayamas (1918), Alfvéns (1964) sowie aus Rückschlüssen von Mondbodenproben die Kleinplanetenentstehung vermutlich durch:

- a) Verhinderung der Kondensation von Urkörpern (Planetesimals) zu einem Großkörper infolge Planetenstörungen; oder
- b) Kollision größerer Kleinplaneten; oder
- c) Bruch- oder Zerfall größerer Kleinplaneten oder kleinerer Großplaneten; oder, in Sonderfällen
- d) Kometen, die ihren Gasanteil verloren haben.

Jeder Kleinplanet stellt mit seinen speziellen Eigenschaften einen Einzelfall dar; es gibt jedoch Gruppen und familienartige Gemeinsamkeiten. Aus den Größenverhältnissen Merkur:Jupiter = 1:30 und Ceres: Merkur = 1:7 ist zu erkennen, daß es fließende Übergänge zwischen

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplanetenforschung.  
großen und kleinen Planeten bestehen.

### Ausblick

Für die nähere Zukunft liegen faszinierende, sensationelle Ideen und Projekte vor: Weitere Erforschung mit Hilfe der Raumfahrt (vor allem durch ESA); künstliche Veränderung von Bahnen mit dem Ziel, die Objekte in große Erdnähen zu bringen; Rohstoffgewinnung aus Kleinplaneten. Das Gebiet der Kleinplaneten läßt in Zukunft größere Aktivitäten und auch überraschende Ergebnisse erwarten.

### Zeittafel

- Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts: Spekulative Vermutungen über die Existenz eines oder mehrerer nicht freisichtiger Planeten.
- 1766 Titius formuliert eine geometrische Reihe, deren Glieder mittleren Sonnenabstand der Planeten recht gut wiedergeben; in dieser später "Titius-Bode'sche Regel" genannten Beziehung kann ein Platz nicht besetzt werden.
- 1781 Der von W.Herschel gefundene Uranus ist zwar nicht dieser "vermißte" Planet, paßt aber in die Titius-Bode'sche Regel.
- 1785 Zach stellt Berechnungen über den fehlenden Planeten bei 2,8 AE Sonnenabstand an. Bildet mit Schröter, Olbers u.a. eine Gruppe zur systematischen Suche nach diesem Himmelskörper.
- 1794 Chladni erkennt erstmals, daß Meteorite außerirdischen Ursprungs sind und nur fallweise in die Lufthülle der Erde gelangen.
- 1800 Hegel spricht sich entschieden gegen das Vorhandensein eines Planeten zwischen Mars und Jupiter aus und "beweist" in einer philosophischen Dissertation, daß das Sonnensystem nicht über mehr als 7 Planeten verfügen könne.
- 1801 Entdeckung des 1. Kleinplaneten am 1. Januar durch Piazzi in Palermo: (1) Ceres. Sie geht jedoch bald verloren. Gauß berechnet nach dem von ihm entwickelten Verfahren ihre Bahn, was zur Wiederauffindung genau ein Jahr später durch Zach führt.
- 1802 Olbers findet (2) Pallas.
- 1804 Harding entdeckt (3) Juno.
- 1807 Olbers gelingt eine weitere Entdeckung: (4) Vesta.
- 1809 Gauß veröffentlicht seine "Theoria Motus Corporum Coelestium".
- 1845 Nach langjähriger Suche findet Hencke (5) Astraea.
- 1851 Ab nun zahlreiche Neuentdeckungen; nach Vorschlag von Gould und R.Wolf Benennung durch fortlaufende Nummer in Klammer.
- 1866 Kirkwood zeigt, daß die Verteilung der Kleinplaneten vor allem durch Jupiter gestört ist: "Kirkwood"- oder Resonanzlücken.

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplanetenforschung.

- 1877 Hall entdeckt die Marsmonde Phobos und Deimos; Vermutung, daß sie eingefangene Kleinplaneten sind.
- 1880 Berufs- und Amateurastronomen entdecken zahlreiche Kleinplaneten; Rekordhalter ist aber Palisa (Marinesternwarte Pola und vor allem Universitäts-Sternwarte Wien): Nur durch visuelle Beobachtung, durch Vergleich von Sternkarten mit dem Himmel, findet er insgesamt 121 neue Kleinplaneten.
- 1890 Es sind 300 Kleinplaneten bekannt. Barnard gelingt die erste mikrometrische Durchmesserbestimmung eines Kleinplaneten.
- 1891 M. Wolf setzt in Heidelberg die Photographie zur Suche und Überwachung der Kleinplaneten ein. (323) Brucia ist der erste photographisch entdeckte Kleinplanet. Zusammenarbeit mit Palisa (Palisa-Wolf-Sternkarten).
- 1898 Witt entdeckt (433) Eros; außer den "normalen" Kleinplaneten werden nun mehr und mehr solche mit ungewöhnlichen Bahnen gefunden.
- 1900 Gründung von Datenzentren für Kleinplaneten in Berlin und Kiel; das Berliner Institut wird nach dem 2. Weltkrieg nach Heidelberg verlegt. Weiteres Zentrum nach 1945 in Cincinnati, 1978 verlegt nach Cambridge (Mass.). Die Ephemeriden der Kleinplaneten werden später vom Institut für Theoretische Astronomie in Leningrad herausgegeben.
- 1901 E. v. Oppolzer schließt aus den beobachteten Schwankungen der Helligkeit von (433) Eros, daß dieser unregelmäßig geformt sein muß.
- 1902 Sternlexikon Palisa's erscheint (von Dekl.  $-1^{\circ}$  bis  $+19^{\circ}$ ).
- 1906 Der erste "Trojaner" wird von M. Wolf gefunden. Die Trojaner librieren um die  $60^{\circ}$  Jupiter auf dessen Bahn vorangehenden und nachlaufenden Librationspunkte - theoretische Untersuchung des "Dreikörperproblems" von Lagrange (1772) glanzvoll durch (588) Achilles illustriert.
- 1918 Aus dem Vergleich von Bahnelementen stellt Hirayama "Familien" von Kleinplaneten fest, deren Mitglieder durch Zusammenstöße größerer Brocken entstanden sein könnten.
- 1920 Baade findet (944) Hidalgo, der eine Umlaufszeit von fast 14 Jahren hat: Perihel zwischen Mars und Jupiter, Aphel nahe der Saturnbahn.
- 1923 Prior verfaßt den ersten Meteoritenkatalog.
- 1925 Übereinkunft, einen beobachteten, aber noch nicht bahnmäßig erfaßten Kleinplaneten vorläufig mit Jahreszahl und zwei Buchstaben (ohne I und Z) als Symbol für Monatshälfte und Bezeich-



Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.

zu markieren.

- 1932 Reinmuth entdeckt (1862) Apollo, den ersten einer Gruppe von Kleinplaneten, deren Bahnen zwischen 1,0 und 1,017 AE liegen.
- 1940 und in den Folgejahren Bemühungen, verloren gegangene Kleinplaneten wieder aufzufinden (Kippes).
- 1944 Kleinplaneten verdanken ihre Entstehung Jupiterstörungen, die eine Zusammenballung von Urkörpern zu einem größeren Planeten bei 2,8 AE Sonnenabstand verhinderten (Schmidt).
- 1948 Wirtanen entdeckt (1685) Toro.
- 1949 Baade findet (1566) Icarus. Kuiper initiiert spezielle Beobachtungsprogramme (Yerkes-McDonald, Palomar-Leiden), die dann 1950 bzw. 1960 zur Durchführung kommen.
- 1950 Kleinplaneten-Statistik von Kuiper begonnen. Whipple charakterisiert Kometenkern als "schmutzigen Schneeball".
- 1951 Altersbestimmungen an Meteoriten nach der Kalium-Argon-Methode (Gerling, Pavlova).
- 1952 Die Ephemeriden der Kleinplaneten werden nunmehr vom Institut für Theoretische Astronomie in Leningrad herausgegeben.
- 1953 Untersuchungen über die Zusammenstöße von Kleinplaneten (Piotrowsky).
- 1958 Aussagen über die Entstehung von Kleinplaneten (Kuiper, aus statistischen Beziehungen zwischen Helligkeiten und Objektzahl.
- 1961 Durchmesser von (2) Pallas aus Sternbedeckung: 430 km.
- 1964 Theorie über die Entstehung von Meteoriten aus Kleinplaneten (Anders). Erklärung des Vorkommens relativ großer Heliummengen als aus dem Sonnenwind stammend (Wanke). Nachweis für das Entstehen von Meteoriten aus größeren Asteroiden (Wood, aus der Abkühlgeschwindigkeit von Eisenmeteoriten).
- 1966 Hertz bestimmt die Masse von (4) Vesta.
- 1967 Widorn veröffentlicht die Methode zur polarimetrischen Durchmesserbestimmung kleiner Planeten. Abhandlung über Beschleunigungsvorgänge, die Meteoriten veranlassen, den Kleinplanetengürtel zu verlassen (Wetherill). Lichtelektrische Untersuchung der Rotation von (4) Vesta: Rückschlüsse auf die Struktur und Oberflächenbeschaffenheit möglich (Gehrels).
- 1968 (1566) Icarus mit Radar beobachtet.
- 1969 Spektralphotometrie von Körpern des Sonnensystems (McCord, Chapman).
- 1970 Masse von (1) Ceres zu  $1/55$  der Mondmasse bestimmt (Schubart). Durchmesserbestimmung von Kleinplaneten aus polarimetrischen und Infrarot-Beobachtungen (Veverka, Zellner, Allen).

Fortsetzung Referat: Aus der Geschichte der Kleinplaneten-Forschung.

- 1971 Ideen zur wirtschaftlichen Nutzung der Kleinplaneten als Rohstofflieferanten. "Physical Studies of Minor Planets" (Gehrels).
- 1972 Internationale Koordinierung von Kleinplanetenbeobachtungen, z.B. für (1685) Toro und (433) Eros. Computermodell eines Mutterplaneten, zerfallen vor 16 Millionen Jahren (Ovenden).
- 1975 UBV-Photometrie der Kleinplaneten in großem Maßstab (Bowell). Klassifikationsschema auf physikalischer Grundlage: C,S-Typen. Index "Austrian Papers on Asteroids" (APA's) beginnt (Institut für Astronomie der Universität Graz).
- 1976 Helin entdeckt ersten Aten-Asteroiden; sie laufen nahe der Erde.
- 1977 Kowal findet (2060) Chiron (zwischen Saturn und Uranus).
- 1978 Christy entdeckt einen Mond Plutos. Nunmehr bessere Durchmesserbestimmung Plutos möglich: Pluto ist viel kleiner als bisher angenommen, nämlich 2400km. Theorie: Pluto Mitglied einer Kleinplaneten-Familie zwischen Saturn und Uranus, zu der auch (2060) Chiron gehört.
- Aus einer Sternbedeckung folgt, daß (532) Herculina aus mindestens zwei Komponenten besteht. Paarbildung bei Kleinplaneten nicht selten?
- 1979 TRIAD (Tucson Revised Index of Asteroid Data) erscheint und enthält alle Parameter der Kleinplaneten. Er wird laufend auf neuestem Stand gehalten. Umfassendes Werk über Kleinplaneten: "Asteroids" (Gehrels) erscheint.
- 1982 Für dieses Jahr nennt das Jahrbuch der Kleinplaneten "Ephemeriden der Kleinen Planeten" (Institut für Theoretische Astronomie, Leningrad) 2297 Bahnelementensätze von Kleinplaneten.

Wolfgang Valentin  
Argentinierstraße 35  
A-1041 Wien

Referat: "Tables of Minor Planets" von J.Meeus - F.Pilcher.

1973 im Eigenverlag der Autoren erschienen und in den USA gedruckt (Library of Congress Catalog Card Number 73-80379; Frederick Pilcher, Jacksonville, Illinois, USA und Jean Meeus, Vereiniging voor Sterrenkunde, B-3071 Erps-Kwerps, Belgien), gibt dieses Werk einen trotz des fast 10 Jahre zurückliegenden Erscheinungsdatums wertvollen tabellarischen Überblick über Kleinplaneten.

Bahnelemente (1950,0; geordnet nach Nummern).

Nummer und Name /  $d$  Durchmesser in km /  $a$  Große Halbachse /  $e$  Numerische Exzentrizität / Heliozentrische Länge des Perihels,  $\varpi$  /  $q$  Perihel-,  $Q$  Apheldistanz in AE /  $i$  Bahnneigung /  $\Omega$  Heliozentrische Länge des aufsteigenden Knotens /  $\omega$  Argument des Perihels /  $P$  Umlaufszeit in Jahren /  $T$  Datum des der Epoche der Bahnelemente zunächst liegenden Periheldurchdanges /  $F$  Nummer der Familie, der er angehört /  $m_q$  Scheinbare B-Helligkeit bei Opposition im Perihel, ausgenommen Kleinplaneten mit  $q$  kleiner 1,0, dann gilt sie eher für Erdnähe; ferner  $m_Q$  Scheinbare B-Helligkeit bei Opposition im Aphel; beide mit Phasenwinkeleinfluß. V-Helligkeiten liegen um etwa 0,7 bis 0,9<sup>mag</sup> heller und 3 Monate vor oder nach der Opposition ist der Kleinplanet in der Regel 1,0<sup>mag</sup> schwächer als bei Opposition.

Liste der Kleinplaneten-Entdeckungen (geordnet nach Nummern).

Nummer und Name / Vorläufige Bezeichnung / Entdeckungsdatum / Entdecker / Angabe, der wievielte Fund dieses Entdeckers es war / Entdeckungsort. Ferner Liste jener Entdecker, die 10 oder mehr Kleinplaneten entdeckten, geordnet nach der Zahl ihrer Entdeckungen.

Alphabetische Liste der Kleinplaneten-Namen: Nummer und Name.

Gruppen von Kleinplaneten.

Trojaner-, Hilda- und Hungariagruppe; Kleinplaneten mit  $d \geq 80\text{km}$ ,  $a \geq 3,45\text{AE}$ ,  $a < 2,19\text{AE}$ ,  $e \geq 0,30$ ,  $e < 0,03$ ,  $i \geq 24,0^\circ$ ,  $i < 1,2^\circ$ ,  $e \geq 0,30$  und  $i \geq 22,0^\circ$ ,  $e < 0,05$  und  $i < 2,0^\circ$ ,  $q < 1,65\text{AE}$ ,  $Q \geq 4,00\text{AE}$ . Dazu Angehörige.

Familien von Kleinplaneten: Name, Anzahl, Charakteristika, Angehörige.

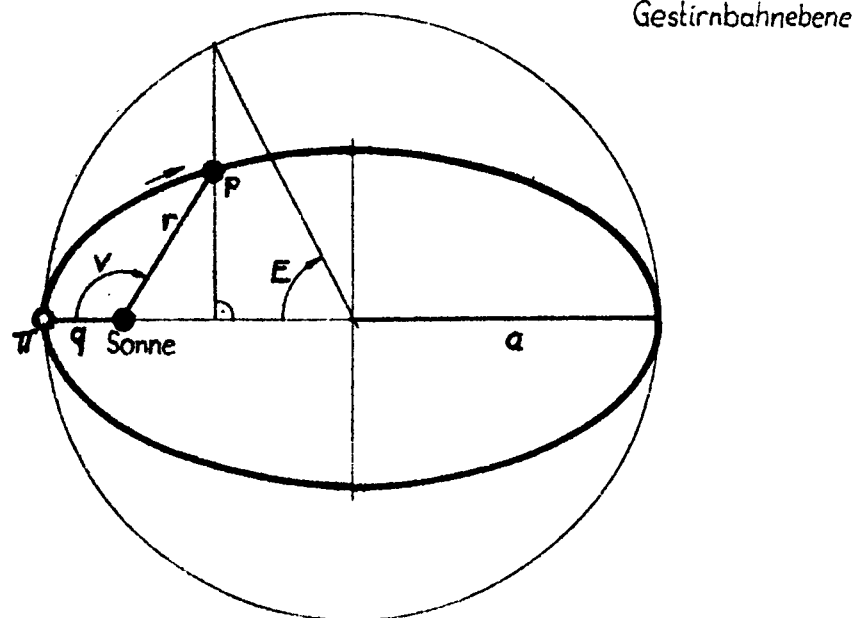
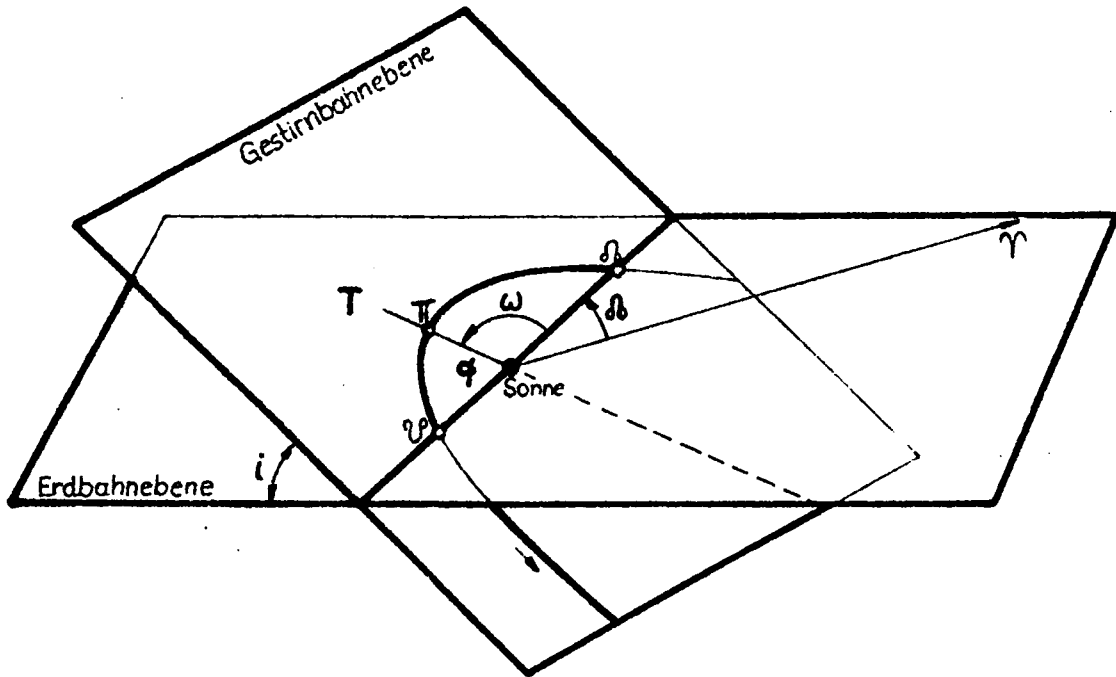
Kleinplaneten, in Perihelopposition heller als  $B = 12,0^{\text{mag}}$ .

Zusätzlich bedeutet  $S$  die mittlere synodische Periode in Tagen und  $D$  das Datum einer Perihel-Opposition in Länge, auf 1 Tag genau.

Oppositionen von Ceres, Pallas, Juno und Vesta (in Länge bis +2000).

Datum /  $m_V$  und  $m_B$  Scheinbare visuelle und blaue Helligkeit in Größenklassen bei Opposition /  $\delta$  Deklination und  $D_{\min}$  geringster Erdbstand des Kleinplaneten in AE bei Opposition.

Absolute Helligkeiten, Rotationsperioden, Amplitude (nach Nummern).



Fortsetzung Referat: "Tables of Minor Planets" von J.Meeus - F.Pilcher

No	Name	d	a	e	$\bar{\omega}$	q	Q	i	$\Omega$	$\omega$	P	T	P	$m_V$	$m_B$
1	Ceres	770	2.7663	.07863	150.182	2.5488	2.9838	10.604	80.420	69.762	4.6012	67 Aug 25	67	7.3	8.1
2	Pallas	480	2.7687	.23662	122.912	2.1136	3.4238	34.848	172.802	310.110	4.6069	67 Oct 18	28	7.5	10.0
3	Juno	190	2.6680	.25695	57.109	1.9825	3.3535	13.000	170.023	247.086	4.3579	66 Jul 21		8.1	11.1
4	Vesta	480	2.3619	.08851	253.563	2.1528	2.5710	7.137	103.631	149.932	3.6301	67 Jul 16		6.4	7.4
5	Astraea	100	2.5779	.18695	137.611	2.0960	3.0598	5.338	141.460	356.151	4.1391	62 Apr 22		9.8	12.0
6	Hebe	185	2.4258	.20280	16.854	1.9338	2.9178	14.770	138.740	238.114	3.7783	61 Sep 29		8.3	10.6
7	Iris	175	2.3861	.23032	43.617	1.8365	2.9357	5.502	259.604	144.013	3.6860	62 Aug 1		7.8	10.6
8	Flora	125	2.2018	.15609	35.196	1.8581	2.5455	5.887	110.703	284.493	3.2672	62 Jan 6	8	8.7	10.6
9	Metis	140	2.3855	.12334	73.958	2.0913	2.6797	5.583	68.766	5.192	3.6845	61 Mar 4		9.1	10.6
10	Hygiea	190	3.1508	.09964	235.640	2.8369	3.4647	3.813	285.376	310.264	5.5930	50 Mar 5		10.2	11.3
11	Parthenope	110	2.4525	.10211	318.774	2.2021	2.7029	4.629	125.208	193.566	3.8407	62 Jul 21	76	9.9	11.1
12	Victoria	70	2.3350	.21877	304.017	1.8242	2.8458	8.372	235.414	68.603	3.5682	64 Jun 29	77	9.9	12.5
13	Egeria	100	2.5763	.08526	120.907	2.3566	2.7960	16.530	43.500	77.407	4.1353	46 Nov 2		10.8	11.6
14	Irene	135	2.5878	.16443	182.220	2.1623	3.0133	9.129	86.561	95.659	4.1630	50 Oct 16		9.6	11.5
15	Eunomia	220	2.6424	.18834	30.123	2.1447	3.1401	11.734	293.336	96.787	4.2954	64 May 2		8.5	10.4
16	Psyche	170	2.9228	.13531	15.788	2.5273	3.3183	3.088	150.424	225.364	4.9970	50 Apr 28	13	9.9	11.3
17	Thetis	73	2.4692	.13779	262.004	2.1290	2.8094	5.593	125.186	136.818	3.8802	57 Nov 4	25	10.7	12.3
18	Melpomene	110	2.2958	.21777	17.291	1.7958	2.7958	10.142	150.282	227.009	3.4787	64 Jul 21		8.9	11.4
19	Fortuna	84	2.4418	.15760	32.719	2.0570	2.8266	1.556	211.955	180.764	3.8156	52 May 9	82	10.1	12.0
20	Marsalia	125	2.4082	.14466	102.092	2.0598	2.7566	0.699	206.277	255.815	3.7372	62 Jan 7		9.2	10.9
21	Lutetia	73	2.4349	.16207	329.046	2.0403	2.8295	3.076	80.704	248.342	3.7994	62 Jun 14	82	10.5	12.3
22	Kalliope	125	2.9092	.10337	60.370	2.6085	3.2099	13.724	66.507	353.863	4.9620	47 Feb 1		10.6	11.8
23	Thalia	88	2.6247	.23579	125.576	2.0058	3.2436	10.165	67.285	58.291	4.2523	55 Sep 8		10.1	12.6
24	Themis	92	3.1380	.12083	148.381	2.7588	3.5172	0.768	36.259	112.122	5.5589	58 Jul 13	1	11.8	12.9
25	Phocaea	60	2.4007	.25561	303.912	1.7871	3.0143	21.571	214.415	89.497	3.7197	35 Sep 20	5	10.3	13.3
26	Proserpina	77	2.6556	.08864	238.493	2.4202	2.8910	3.562	45.481	193.012	4.3276	53 Feb 13	83	11.3	12.3
27	Euterpe	77	2.3472	.27194	89.614	1.9436	2.7508	1.587	94.448	355.166	3.5960	40 Jun 11		9.9	12.0
28	Bellona	92	2.7761	.15303	125.193	2.3513	3.2009	9.407	144.437	340.756	4.6254	60 Mar 12	66	10.8	12.5
29	Amphitrite	140	2.5544	.07360	59.089	2.3664	2.7242	6.085	356.409	62.680	4.0826	50 Oct 7		10.0	10.8
30	Urania	70	2.3652	.12714	33.629	2.0645	2.6659	2.099	307.766	85.863	3.6374	64 Jun 8		10.6	12.1

CERES

DATE	$m_V$	$m_B$	$\delta$	$D_{min}$
10 May 1982	6.8	7.5	- 9	1.69
14 Aug 1983	7.3	8.0	-28	1.98
10 Nov 1984	7.0	7.7	+ 9	1.83
27 Feb 1986	6.6	7.3	+24	1.59
20 Jun 1987	7.1	7.8	-26	1.83
17 Sep 1988	7.3	8.0	-17	1.99
20 Dec 1989	6.7	7.4	+26	1.67
17 Apr 1991	6.7	7.4	+ 3	1.65
25 Jul 1992	7.3	8.0	-30	1.95
22 Oct 1993	7.1	7.8	- 1	1.89
3 Feb 1995	6.6	7.3	+30	1.60
29 May 1996	6.9	7.6	-18	1.76
30 Aug 1997	7.4	8.1	-24	2.00
28 Nov 1998	6.8	7.5	+17	1.76

PALLAS

DATE	$m_V$	$m_B$	$\delta$	$D_{min}$
1 Apr 1982	7.5	8.2	+15	1.48
8 Jul 1983	9.5	10.2	+22	2.55
6 Sep 1984	8.8	9.5	+ 2	2.20
22 Dec 1985	7.5	8.2	-33	1.48
13 May 1987	8.7	9.4	+25	2.07
2 Aug 1988	9.4	10.1	+16	2.54
30 Sep 1989	8.3	9.0	-11	1.89
6 Mar 1991	6.8	7.5	- 3	1.24
18 Jun 1992	9.3	10.0	+25	2.46
25 Aug 1993	9.0	9.7	+ 8	2.36
8 Nov 1994	7.9	8.6	-28	1.64
18 Apr 1996	8.1	8.8	+21	1.73
19 Jul 1997	9.4	10.1	+20	2.57
16 Sep 1998	8.5	9.2	- 3	2.08

JUNO

DATE	$m_V$	$m_B$	$\delta$	$D_{min}$
24 Jun 1982	9.9	10.7	- 5	2.18
24 Oct 1983	7.3	8.1	- 4	1.05
25 Mar 1985	9.4	10.2	+ 3	1.96
30 May 1986	10.2	11.0	- 4	2.35
23 Aug 1987	8.4	9.2	- 4	1.44
21 Feb 1989	8.6	9.4	+ 5	1.55
8 May 1990	10.2	11.0	- 2	2.36
16 Jul 1991	9.4	10.2	- 5	1.91
28 Dec 1992	7.6	8.4	+ 0	1.13
15 Apr 1994	9.9	10.7	+ 1	2.20
18 Jun 1995	10.0	10.8	- 5	2.24
4 Oct 1996	7.5	8.3	- 4	1.11
19 Mar 1998	9.2	10.0	+ 4	1.87
25 May 1999	10.2	11.0	- 3	2.37

VESTA

DATE	$m_V$	$m_B$	$\delta$	$D_{min}$
10 Aug 1982	5.9	6.6	-23	1.24
13 Dec 1983	6.6	7.3	+19	1.59
18 Apr 1985	5.8	6.5	+ 1	1.21
3 Oct 1986	6.4	7.1	- 7	1.45
22 Jan 1988	6.4	7.1	+23	1.51
26 Jun 1989	5.6	6.3	-21	1.14
15 Nov 1990	6.7	7.4	+10	1.58
9 Mar 1992	6.1	6.8	+15	1.34
28 Aug 1993	6.1	6.8	-19	1.31
25 Dec 1994	6.6	7.3	+21	1.58
8 May 1996	5.7	6.4	- 7	1.17
17 Oct 1997	6.5	7.2	- 2	1.50
4 Feb 1999	6.4	7.1	+22	1.46

KLEINPLANETEN, IN PERIHEL-OPPOSITION HELLER ALS  $B = 12,0^{mag}$

No	Name	$m_q$	$m_Q$	S	D	No	Name	$m_q$	$m_Q$	S	D
4	Vesta	6.4	7.4	504.1	5 Jun	37	Fides	10.7	12.6	476.1	2 Dec
1	Ceres	7.3	8.1	466.7	18 Feb	144	Vibilia	10.7	13.4	475.1	3 Oct
2	Pallas	7.5	10.0	466.5	28 Jan	344	Desiderata	10.7	14.1	480.0	4 Jul
7	Iris	7.8	10.6	501.2	7 Nov	747	Winchester	10.7	14.3	452.6	8 Nov
3	Juno	8.1	11.1	474.0	20 Nov	13	Egeria	10.8	11.6	481.8	21 Jan
6	Hebe	8.3	10.6	496.7	11 Oct	51	Nemausa	10.8	11.6	503.7	18 Mar
433	Eros	8.3	13.2	845.4	23 Jan	28	Bellona	10.8	12.5	466.0	26 Jan
15	Eunomia	8.5	10.4	476.1	24 Oct	68	Leto	10.8	12.8	465.4	11 Sep
8	Flora	8.7	10.6	526.4	29 Oct	79	Eurynome	10.8	13.1	494.7	10 Nov
18	Melpomene	8.9	11.4	512.6	12 Oct	393	Lampetia	10.8	14.4	465.7	26 Jul
9	Metis	9.1	10.6	501.3	7 Dec	1036	Ganymed	10.8	16.6	474.8	5 Sep
20	Massalia	9.2	10.9	498.7	3 Jan	1627	Ivar	10.8	17.3	601.6	23 Jul
324	Bamberga	9.2	13.1	472.6	3 Oct	54	Alexandra	10.9	13.0	470.9	20 Jul
192	Nausikaa	9.4	12.3	499.3	6 Oct	78	Diana	10.9	13.3	478.1	24 Jan
14	Irene	9.6	11.5	480.7	23 Mar	654	Zelinda	10.9	13.6	512.5	2 Feb
44	Nysa	9.7	11.5	497.2	14 Jan	230	Athamantis	11.0	11.6	501.6	11 Oct
471	Papagena	9.7	12.8	458.8	31 Oct	704	Interamnia	11.0	12.5	449.3	9 Oct
5	Astraea	9.8	12.0	481.6	6 Feb	31	Euphrosyne	11.0	13.2	444.6	24 Dec
11	Parthenope	9.9	11.1	493.8	11 Aug	387	Aquitania	11.0	13.7	468.5	5 Jul
16	Psyche	9.9	11.3	456.6	9 Oct	419	Aurelia	11.0	14.0	480.1	24 Jun
27	Euterpe	9.9	12.0	506.0	22 Dec	33	Polyhymnia	11.0	15.0	460.3	7 Sep
12	Victoria	9.9	12.5	507.5	27 Jul	52	Europa	11.1	12.3	447.4	10 Jan
216	Kleopatra	9.9	12.8	464.8	28 Oct	554	Peraga	11.1	12.9	502.5	25 Nov
29	Amphitrite	10.0	10.8	483.7	21 Nov	46	Hestia	11.1	13.1	486.5	19 Sep
19	Fortuna	10.1	12.0	495.0	27 Oct	182	Elsa	11.1	13.7	497.8	19 Nov
23	Thalia	10.1	12.6	477.6	25 Jan	405	Thia	11.1	14.1	481.1	13 Apr
10	Hygiea	10.2	11.3	444.8	17 May	75	Eurydike	11.1	14.7	473.7	31 Aug
63	Ausonia	10.2	11.6	500.2	24 Jun	409	Aspasia	11.2	12.1	481.9	15 May
43	Ariadne	10.2	12.2	526.1	2 Jul	85	Io	11.2	13.2	475.1	20 Aug
42	Isis	10.2	12.8	495.1	14 Aug	130	Elektra	11.2	13.3	446.4	19 Oct
39	Laetitia	10.3	11.5	466.5	28 Sep	674	Rachele	11.2	13.3	456.8	30 Dec
89	Julia	10.3	12.3	483.9	18 Sep	198	Ampella	11.2	13.8	493.1	20 Sep
41	Daphne	10.3	13.2	467.0	2 May	258	Tyche	11.2	13.8	478.4	25 Sep
25	Phocaea	10.3	13.3	499.6	27 Jul	356	Liguria	11.2	13.8	467.3	4 Dec
354	Eleonora	10.4	11.7	464.7	15 Feb	584	Semiramis	11.2	14.0	502.8	29 Sep
129	Antigone	10.4	12.6	459.6	26 May	84	Klio	11.2	14.1	504.1	4 Sep
40	Harmonia	10.5	11.1	516.6	27 Sep	679	Pax	11.2	14.1	480.8	12 Oct
21	Lutetia	10.5	12.3	495.7	22 Aug	516	Amherstia	11.2	14.2	473.2	6 May
511	Davida	10.5	12.3	443.0	12 Dec	26	Proserpina	11.3	12.3	475.0	20 May
80	Sappho	10.5	12.8	512.5	19 Sep	32	Pomona	11.3	12.3	480.7	7 Apr
135	Hertha	10.5	13.0	496.5	15 Aug	64	Angelina	11.3	12.7	472.9	28 Jan
97	Klotho	10.5	13.4	474.0	30 Nov	71	Niobe	11.3	13.0	467.4	3 May
349	Dembowska	10.6	11.5	456.5	12 Oct	69	Hesperia	11.3	13.1	453.4	14 Jan
22	Kalliope	10.6	11.8	457.4	23 Nov	270	Anahita	11.3	13.1	526.9	27 Aug
30	Urania	10.6	12.1	503.7	27 Oct	386	Siegena	11.3	13.1	458.2	21 Oct
115	Thyra	10.6	12.9	502.0	8 Nov	313	Chaldaea	11.3	13.4	502.4	2 Feb
194	Prokne	10.6	13.3	478.3	12 Aug	234	Barbara	11.3	14.3	501.3	30 Aug
17	Thetis	10.7	12.3	492.1	14 Jun	164	Eva	11.3	14.8	476.9	25 Sep
88	Thisbe	10.7	12.5	466.6	4 Aug	59	Elpis	11.4	12.7	470.5	14 Oct
532	Herculina	10.7	12.5	466.2	23 Mar	185	Eunike	11.4	12.7	468.8	13 Oct

Fortsetzung Referat: "Tables of Minor Planets" von J.Meeus - F.Pilcher

No	Name	$m_q$	$m_Q$	S	D	No	Name	$m_q$	$m_Q$	S	D
173	Ino	11.4	13.6	468.0	10 Oct	50	Virginia	11.6	15.0	475.5	6 Oct
712	Boliviana	11.4	13.6	481.7	13 Nov	925	Alphonsina	11.7	12.6	471.5	7 Feb
49	Pales	11.4	13.9	447.2	29 Oct	61	Danaë	11.7	13.5	452.9	7 Sep
156	Xanthippe	11.4	14.2	469.4	30 Apr	105	Artemis	11.7	13.5	502.7	24 May
410	Chloris	11.4	14.2	469.6	21 Jun	118	Peitho	11.7	13.6	495.4	11 Dec
103	Hera	11.5	12.3	471.5	17 Aug	139	Juewa	11.7	13.6	465.5	9 Mar
45	Eugenia	11.5	12.4	469.9	15 May	980	Anacostia	11.7	13.7	468.6	17 Sep
172	Baucis	11.5	12.8	502.0	24 Aug	335	Roberta	11.7	13.8	491.7	10 Jul
116	Sirona	11.5	13.0	466.6	24 Feb	53	Kalypso	11.7	14.0	478.2	28 Dec
145	Adeona	11.5	13.0	473.6	21 Jan	240	Vanadis	11.7	14.1	474.2	17 Nov
93	Minerva	11.5	13.1	467.5	30 Jun	498	Tokio	11.7	14.4	475.5	30 Aug
101	Helena	11.5	13.1	481.2	23 Aug	521	Brixia	11.7	14.8	468.5	8 Nov
70	Panopaea	11.5	13.4	478.4	24 Jul	196	Philomela	11.8	12.0	446.6	31 Jul
148	Gallia	11.5	13.5	466.4	29 Oct	124	Alkestes	11.8	12.7	477.1	30 May
60	Echo	11.5	13.6	500.4	2 Jan	24	Themis	11.8	12.9	445.4	17 Feb
56	Melete	11.5	13.8	479.9	20 Jul	65	Cybele	11.8	13.2	433.7	19 Jun
675	Ludmilla	11.5	13.8	466.3	17 Nov	385	Ilmatar	11.8	13.2	461.4	13 Mar
82	Alkmene	11.5	13.9	466.9	4 Feb	306	Unitas	11.8	13.4	504.6	1 Aug
140	Siwa	11.5	13.9	469.1	25 Jul	776	Berbericia	11.8	13.7	456.0	19 Oct
187	Lamberta	11.5	14.0	469.0	27 Apr	444	Gyptis	11.8	13.8	466.5	11 Sep
247	Eukrate	11.5	14.0	468.5	15 Nov	141	Lumen	11.8	14.1	474.2	8 Oct
372	Palma	11.5	14.0	444.3	20 Dec	505	Caia	11.8	14.6	472.6	29 Nov
416	Vaticana	11.5	14.0	465.1	27 May	48	Doris	11.9	12.7	446.5	12 Dec
563	Suleika	11.5	14.1	470.6	23 Nov	451	Patientia	11.9	12.8	449.1	3 Dec
737	Arequipa	11.5	14.2	480.5	11 Aug	113	Amalthea	11.9	12.9	502.4	11 Apr
455	Bruchsalia	11.5	14.8	474.7	11 Sep	337	Devosa	11.9	13.4	501.6	26 Dec
109	Felicitas	11.5	14.9	471.7	21 Nov	114	Kassandra	11.9	13.5	473.4	25 Feb
599	Luisa	11.5	15.1	466.1	31 Aug	106	Dione	11.9	13.8	444.3	30 Oct
694	Ekard	11.5	15.2	473.9	4 Sep	376	Geometria	11.9	14.0	513.6	9 Jun
796	Sarita	11.5	15.2	476.6	27 Sep	163	Erigone	11.9	14.1	503.5	29 Dec
110	Lydia	11.6	12.5	469.1	31 Aug	626	Notburga	11.9	14.5	481.9	14 Oct
111	Ate	11.6	12.8	480.3	13 Jan	1021	Flammario	11.9	15.0	468.7	4 Nov
128	Nemesis	11.6	13.0	467.7	12 Oct	132	Aethra	11.9	15.4	478.6	23 Feb
55	Pandora	11.6	13.2	467.1	6 Oct						
432	Pythia	11.6	13.3	503.3	14 Jun						
67	Asia	11.6	13.6	497.2	1 Aug						
201	Penelope	11.6	13.7	473.2	30 Aug						
219	Thusnelda	11.6	14.2	505.1	5 Sep						
779	Nina	11.6	14.2	474.3	24 Aug						
36	Atalante	11.6	15.0	467.9	5 Nov						

TROJANS EAST OF JUPITER

588 Achilles	659 Nestor	1404 Ajax	1647 Menelaus
624 Hektor	911 Agamemnon	1437 Diomedes	1749 Telamon
	1143 Odysseus	1583 Antilochus	

TROJANS WEST OF JUPITER

617 Patroclus	1173 Anchises
884 Priamus	1208 Troilus
1172 Aneas	

THE HILDA-TYPE MINOR PLANETS, . . . .

Referat: "Ephemeriden Kleiner Planeten, 1982".

Dieses Jahrbuch der Kleinplaneten wird vom Institut für Theoretische Astronomie in Leningrad (ITA) im Auftrag der Akademie der Wissenschaften der UdSSR herausgegeben und bietet:

Bahnelemente (1982 insgesamt 2297)

Oskulierende Elemente, jeweils für eine im Jahr liegende Epoche (1982 ist es der 19. August,  $O^hET$ ) berechnet unter Berücksichtigung der Störungen mittels numerischer Integration: Nummer und Name / Mittlere scheinbare Oppositionshelligkeit  $B(a,0)$  für Sonnenabstand gleich der großen Halbachse  $a$  und Erdbabstand  $a-1$ , bei Phasenwinkel  $0^\circ$  / Absolute Helligkeit  $B(1,0)$ , d.h. scheinbare Helligkeit im Abstand 1 AE von Erde und Sonne, bei Phasenwinkel  $0^\circ$  (UBV-System) /  $M$  Mittlere Anomalie /  $\omega$  Argument des Perihels /  $\Omega$  Heliozentrische Länge des aufsteigenden Knotens /  $i$  Bahnneigung /  $e$  Numerische Exzentrizität /  $\mu$  Mittlere tägliche Bewegung /  $a$  Große Halbachse (AE).

Daten der Oppositionen

Oppositionsdatum und dann eintretende scheinbare  $B$ -Helligkeit, ohne Phaseneinfluß.

Ephemeriden ( $O^hET$ , 1950,0)

Nummer und Name, scheinbare  $B$ -Helligkeit ohne Phaseneinfluß für den 4. Ephemeridentag sowie Jahr der letzten Beobachtung / 8 Geozentrische, äquatorale Örter / Für den 4. Ephemeridentag Mittlere Anomalie, Radiusvektor, Änderung der Deklination und der Rektaszension für  $1^\circ$  Anomalieänderung; Verhältnis dieser beiden Größen; Abstand von der Erde (AE). Ephemeriden mit  $x$  bedürfen und solche mit  $xx$  bedürfen sehr (Genauigkeit nur  $10'$ ) Verbesserung durch Beobachtungen. Ansonsten sind die Ephemeriden genauer als  $5'$ .

Ephemeriden heller Kleinplaneten (mit  $B(a,0) \leq 12,5^{mag}$ )

Astrometrische Positionen für  $O^hET$  und 1950,0, mit Sonnenabstand  $r$  und Erdbabstand  $\Delta$  in AE sowie scheinbarer  $B$ -Helligkeit mit Einfluß des Phasenwinkels  $\beta$  und des Oppositionseffektes. Der Phasenkoeffizient ist mit 0,023 angesetzt.

Ephemeriden einiger ungewöhnlicher Kleinplaneten

$\psi$  bedeutet hier zusätzlich die Elongation Sonne-Kleinplanet /  $+45^\circ$ ,  $+34^\circ$  und  $-26^\circ$  sind jene geographischen Breiten, für welche die angegebenen Maximalhöhen des Kleinplaneten während der Dunkelheit gegeben sind.

Liste von Kleinplaneten, deren Beobachtung besonders erwünscht ist (wenige oder weiter zurückliegende Beobachtungen).



Fortsetzung Referat: "Ephemeriden Kleiner Planeten, 1982"

ЭЛЕМЕНТЫ  
ЭКЛИПТИКА И РАВНОДЕНСТВИЕ 1950.0  
ЭПОХА 1982 АВГУСТ 19.0 ЭФЕМЕРИДНОГО ВРЕМЕНИ

Планета	$B(a, 0)$	$B(1, 0)$	$M$	$\omega$	$\Omega$	$i$	$e$	$\mu$	$a$
1 Ceres	7.9	4.5	88.02054	73.54463	80.05061	10.60449	0.0783000	0.21408042	2.7674817
2 Pallas	8.5	5.0	78.08595	310.04449	172.71233	34.79425	0.2326381	0.21336512	2.7736635
3 Juno	9.8	6.5	247.17947	247.02474	169.89801	13.00210	0.2572735	0.22609426	2.6685562
4 Vesta	6.8	4.3	57.11282	150.13334	103.44248	7.14284	0.0891718	0.27164503	2.3612114
5 Astraea	11.2	8.1	328.65427	355.81838	141.24916	5.34842	0.1881679	0.23825589	2.5769557
6 Hebe	9.7	7.0	191.06076	238.21912	138.50462	14.78026	0.2020099	0.26082012	2.4260997
7 Iris	9.4	6.8	157.56822	144.45186	259.40837	5.50304	0.2289039	0.26711595	2.3878268
8 Flora	9.8	7.7	112.00774	284.58858	110.55420	5.88708	0.1568181	0.30182100	2.2010829
9 Metis	10.4	7.8	296.25230	4.82834	68.57362	5.58739	0.1234946	0.26737599	2.3862784
10 Hygiea	10.6	6.5	289.67440	317.98789	283.12445	3.83635	0.1195659	0.17751886	3.1354969
11 Parthenope	10.6	7.8	81.88725	194.28086	125.08823	4.62420	0.1000526	0.25661780	2.4525142
12 Victoria	10.8	8.4	30.76849	68.84618	235.18058	8.37863	0.2196604	0.27639215	2.3340971
13 Egeria	11.2	8.1	234.20218	79.94192	42.89013	16.50567	0.0885345	0.23843200	2.5756866
14 Irene	10.6	7.5	233.15602	94.50133	86.35336	9.12112	0.1628521	0.23659801	2.5889798
15 Eunomia	9.6	6.4	92.28902	97.14572	292.98122	11.75729	0.1874598	0.22947764	2.6422615
16 Psyche	10.6	6.9	167.56526	226.15124	150.12277	3.09218	0.1370024	0.19729753	2.9222786
17 Thetis	11.9	9.1	140.87214	136.21464	125.05901	5.58907	0.1367790	0.25396537	2.4695607
18 Melpomene	10.1	7.7	70.64250	227.37497	150.12300	10.13648	0.2189778	0.28345488	2.2951624
19 Fortuna	11.2	8.4	336.07295	182.08575	211.05434	1.57308	0.1592294	0.25834905	2.4415454
20 Massalia	10.4	7.7	186.18938	255.31246	206.20211	0.70439	0.1456848	0.26384933	2.4074949
21 Lutetia	11.3	8.6	109.91528	249.68355	80.46786	3.07032	0.1616451	0.25929790	2.4355855
22 Kalliope	11.0	7.3	58.22443	353.89927	65.99932	13.72855	0.1016850	0.19870739	2.9084424
23 Thalia	11.4	8.2	115.88255	59.74356	66.69710	10.15322	0.2305328	0.23118579	2.6292303
24 Themis	12.4	8.3	125.92927	111.32979	35.69154	0.75889	0.1345099	0.17822000	3.1272679
25 Phocaea	11.9	9.3	220.90872	90.40431	213.74087	21.59469	0.2546764	0.26505648	2.4001797
26 Proserpina	12.0	8.8	292.80429	194.59754	45.61454	3.56649	0.0897652	0.22786803	2.6546898
27 Euterpe	10.9	8.4	263.09766	355.68214	94.37607	1.58602	0.1730668	0.27419041	2.3465755
28 Bellona	11.6	8.2	303.83913	341.13262	144.12235	9.39583	0.1502838	0.21282600	2.7783456
29 Amphitrite	10.1	7.1	289.37236	63.66385	355.98940	6.10641	0.0736287	0.24148839	2.5539078
30 Urania	11.4	8.8	0.25202	86.26999	307.35878	2.09235	0.1281131	0.27088409	2.3656313

ДАТЫ ОПОЗИЦИЙ

№	1982	$B$	TE	№	1982	$B$	TE	№	1982	$B$	TE
1	V 12	7.8	1975	56	IV 30	12.0	1973	111	V 28	12.5	1979
2	IV 9	7.8	1975	57	VIII 29	12.4	1964	112	I 27	14.1	1979
3	VI 24	10.7	1975	58	XI 13	13.4	1980	113	IX 8	12.8	1978
4	VIII 12	6.5	1975	59	—	—	1979	114	—	—	1964
5	—	—	1973	60	VIII 20	13.2	1964	115	—	—	1979
6	III 22	10.7	1975	61	III 17	13.6	1981	116	X 29	12.7	1979
7	III 20	10.2	1975	62	XII 11	13.0	1981	117	I 24	13.1	1981
8	—	—	1973	63	—	—	1964	118	I 16	11.9	1981
9	X 6	10.0	1973	64	XI 5	12.0	1964	119	—	—	1977
10	I 21	10.9	1974	65	IV 28	12.2	1975	120	III 14	12.6	1980
11	XII 14	10.8	1975	66	IV 30	14.6	1974	121	VIII 5	12.5	1981
12	IX 27	9.9	1973	67	VIII 21	11.1	1977	122	IX 13	13.7	1977
13	IX 28	11.5	1974	68	V 25	11.8	1977	123	VI 23	14.0	1963
14	XI 24	11.0	1974	69	IX 17	12.3	1978	124	IV 28	12.1	1979
15	—	—	1972	70	—	—	1964	125	XII 17	13.6	1974

Fortsetzung Referat: "Ephemeriden Kleiner Planeten, 1982"

ЭФЕМЕРИДЫ

1982	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$M$ r Bap. $\Delta$	1982	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$M$ r Bap. $\Delta$
<b>×1651 Bebrons</b>				<b>1128 Astrid</b>			
		15 <sup>m</sup> 0	1972			15 <sup>m</sup> 4	1980
VIII	19	0 37.8	3.3	+ 6 11	39	19736	
	29	0 34.5	6.0	+ 5 32	60	2.318	
IX	8	0 28.5	8.1	+ 4 32	77		
	18	0 20.4	8.2	+ 3 15	87	+ 29'	
	28	0 11.2	9.3	+ 4 48	86	- 5 <sup>m</sup> 9	
X	8	0 02.1	7.7	+ 0 22	77	+ 5.0	
	18	23 54.4	5.4	- 0 55	60		
	28	23 49.0		- 1 55		1.325	
<b>664 Judith</b>				<b>940 Kordula</b>			
		15 <sup>m</sup> 3	1976			13 <sup>m</sup> 9	1980
VIII	19	0 34.8	3.6	+ 3 38	48	7159	
	29	0 31.2	5.3	+ 2 50	60	3.122	
IX	8	0 25.9	6.4	+ 1 50	68		
	18	0 19.5	7.0	+ 0 42	70	+ 23'	
	28	0 12.5	6.8	- 0 28	67	+ 5 <sup>m</sup> 7	
X	8	0 05.7	5.8	- 1 35	58	+ 4.0	
	18	23 59.8	4.4	- 2 33	45		
	28	23 55.4		- 3 18		2.428	
<b>2295 1977 QD<sub>1</sub></b>				<b>1262 Sniadeckia</b>			
		16 <sup>m</sup> 2	1977			15 <sup>m</sup> 7	1976
VIII	19	0 36.1	3.0	+ 6 29	5	34159	
	29	0 33.1	5.3	+ 6 24	19	2.644	
IX	8	0 27.8	7.0	+ 6 05	33		
	18	0 20.8	7.8	+ 5 32	43	+ 48'	
	28	0 12.9	7.8	+ 4 49	46	+ 7 <sup>m</sup> 0	
X	8	0 05.1	6.0	+ 4 03	43	+ 7.0	
	18	23 58.2	5.0	+ 3 20	35		
	28	23 53.2		+ 2 45		1.655	
<b>12 Victoria</b>				<b>519 Sylvania</b>			
		9 <sup>m</sup> 9	1978			12 <sup>m</sup> 7	1977
VIII	19	0 36.6	1.8	+ 17 59	8	3984	
	29	0 34.8	4.8	+ 18 05	27	1.994	
IX	8	0 30.0	7.2	+ 17 38	61		
	18	0 22.8	8.4	+ 16 37	01	+ 40'	
	28	0 14.4	8.0	+ 15 06	109	+ 10 <sup>m</sup> 2	
X	8	0 06.4	6.3	+ 13 17	113	+ 4.1	
	18	0 00.1	3.8	+ 11 24	104		
	28	23 56.5		+ 9 40		1.026	
<b>1416 Renauxa</b>				<b>208 Lacrimosa</b>			
		15 <sup>m</sup> 1	1980			14 <sup>m</sup> 2	1980
VIII	19	0 40.5	3.7	+ 5 21	14	31653	
	29	0 36.8	6.0	+ 5 35	3	2.795	
IX	8	0 30.8	7.6	+ 5 38	7		
	18	0 23.2	8.0	+ 5 30	16	+ 59'	
	28	0 14.6	8.7	+ 5 14	20	+ 6 <sup>m</sup> 1	
X	8	0 05.9	7.8	+ 4 54	19	+ 9.8	
	18	23 58.1	6.1	+ 4 35	18		
	28	23 52.0		+ 4 21		1.808	
<b>13 Egeria</b>				<b>577 Rhea</b>			
		11 <sup>m</sup> 5	1980			14 <sup>m</sup> 6	1977
VIII	29	0 42.7	7.4	- 16 34	44	24398	
	8	0 35.3	9.3	- 17 18	35	2.692	
IX	18	0 26.0	10.2	- 17 53	20		
	28	0 15.8	10.2	- 18 13	1	+ 49'	
X	8	0 05.6	9.0	- 18 12	24	+ 4 <sup>m</sup> 0	
	18	23 56.6	7.0	- 17 48	46	+ 10.1	
	28	23 49.6	4.5	- 17 02	65		
XI	7	23 45.1		- 15 57		1.728	
				<b>208 Lacrimosa</b>			
						14 <sup>m</sup> 2	1980
VIII	29	0 39.3	5.4	+ 3 58	29	24690	
	8	0 33.9	6.8	+ 3 29	26	2.912	
IX	18	0 27.0	7.6	+ 2 50	44		
	28	0 19.2	7.9	+ 2 06	45	+ 38'	
X	8	0 11.3	7.1	+ 1 24	41	+ 5 <sup>m</sup> 5	
	18	0 04.2	5.6	+ 0 40	31	+ 7.1	
	28	23 58.6	3.5	+ 0 09	18		
XI	7	23 55.1		- 0 09		1.910	
				<b>577 Rhea</b>			
						14 <sup>m</sup> 6	1977
VIII	29	0 39.8	5.5	+ 8 30	11	5483	
	8	0 34.3	7.0	+ 8 19	23	2.918	
IX	18	0 27.3	7.8	+ 7 56	33		
	28	0 19.5	7.8	+ 7 23	39	+ 48'	
X	8	0 11.7	7.0	+ 6 44	38	+ 6 <sup>m</sup> 2	
	18	0 04.7	5.4	+ 6 06	33	+ 7.7	
	28	23 59.3	3.3	+ 5 33	24		
XI	7	23 56.0		+ 5 09		1.919	

Fortsetzung Referat: "Ephemeriden Kleiner Planeten, 1982"

ЭФЕМЕРИДЫ ЯРКИХ ПЛАНЕТ  
EPHEMERIDES OF BRIGHT PLANETS

1981/82	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$r$	$\Delta$	$B$	$\beta$	1981/82	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$r$	$\Delta$	$B$	$\beta$		
103 Hera							♄ III 31		37 Fides						
♄ III 31							♄ IV 9		80 Sappho						
XII	22	12 35.10	- 0 34.4	2.895	2.875	13.9	19.6	I	11	13 34.32	- 9 40.8	2.779	2.693	13.3	20.6
I	1	12 43.61	- 1 08.5	2.891	2.731	13.8	19.9		21	13 41.67	-10 30.1	2.796	2.569	13.2	20.6
	11	12 50.68	- 1 31.0	2.887	2.586	13.7	19.7		31	13 47.21	-11 09.1	2.812	2.445	13.1	20.1
	21	12 56.08	- 1 40.6	2.883	2.444	13.5	19.1	II	10	13 50.66	-11 37.0	2.828	2.325	13.0	19.1
	31	12 59.52	- 1 35.9	2.879	2.308	13.4	17.9		20	13 51.81	-11 52.8	2.844	2.213	12.8	17.5
II	10	13 00.80	- 1 16.1	2.874	2.183	13.2	16.2	III	2	13 50.47	-11 55.7	2.859	2.112	12.7	15.2
	20	12 59.76	- 0 41.3	2.869	2.072	13.0	13.8		12	13 46.67	-11 45.4	2.874	2.028	12.5	12.4
III	2	12 56.40	+ 0 07.5	2.864	1.979	12.9	10.8		22	13 40.63	-11 22.6	2.889	1.965	12.4	9.0
	12	12 50.94	+ 1 07.1	2.858	1.910	12.7	7.3	IV	1	13 32.85	-10 49.0	2.903	1.926	12.2	5.1
	22	12 43.88	+ 2 12.6	2.853	1.868	12.5	3.7		11	13 24.10	-10 08.0	2.917	1.916	12.0	1.1
IV	1	12 35.94	+ 3 17.9	2.847	1.853	12.4	2.6		21	13 15.28	- 9 24.5	2.930	1.934	12.1	3.2
	11	12 28.03	+ 4 16.1	2.841	1.867	12.6	5.9	V	1	13 07.31	- 8 43.5	2.943	1.980	12.4	7.1
	21	12 21.01	+ 5 01.8	2.834	1.908	12.7	9.6		11	13 00.90	- 8 09.8	2.956	2.053	12.6	10.6
V	1	12 15.58	+ 5 31.3	2.828	1.973	12.9	12.9		21	12 56.50	- 7 46.6	2.968	2.148	12.8	13.5
	11	12 12.22	+ 5 43.1	2.821	2.057	13.0	15.8		31	12 54.32	- 7 35.8	2.979	2.261	12.9	15.8
	21	12 11.08	+ 5 37.7	2.814	2.157	13.2	18.0	VI	10	12 54.36	- 7 37.7	2.990	2.388	13.1	17.6
	31	12 12.18	+ 5 16.3	2.807	2.269	13.3	19.6		20	12 56.47	- 7 51.9	3.001	2.525	13.3	18.8
VI	10	12 15.38	+ 4 41.0	2.800	2.388	13.4	20.7		30	13 00.47	- 8 17.2	3.011	2.669	13.4	19.4
	20	12 20.46	+ 3 53.7	2.793	2.511	13.6	21.2	VII	10	13 06.13	- 8 52.2	3.021	2.816	13.5	19.7
	30	12 27.22	+ 2 56.3	2.786	2.636	13.7	21.4		20	13 13.23	- 9 35.4	3.030	2.963	13.6	19.5

ЭФЕМЕРИДЫ НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННЫХ ПЛАНЕТ  
EPHEMERIDES OF SOME UNUSUAL PLANETS

1982	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$r$	$\Delta$	$B$	$\beta$	$\psi$	+45°	+34°	-26°
------	-----------------	-----------------	-----	----------	-----	---------	--------	------	------	------

433 Eros

III	12	6 7.10	+10 44.4	1.157	0.435	12.2	57.5	101 E	56	67	53
	22	6 42.22	+ 7 42.5	1.175	0.474	12.4	56.7	100 E	53	64	56
IV	1	7 16.41	+ 4 58.3	1.196	0.518	12.6	55.6	99 E	50*	61*	59
	11	7 49.66	+ 2 28.4	1.220	0.567	12.9	54.4	98 E	47*	58*	62
	21	8 21.96	+ 0 10.5	1.247	0.622	13.1	53.1	97 E	44*	55*	64
V	1	8 53.44	- 1 58.6	1.276	0.682	13.3	51.7	96 E	40*	52*	66
	11	9 24.09	- 4 1.5	1.307	0.747	13.5	50.3	95 E	36*	49*	68
	21	9 53.96	- 5 59.5	1.339	0.817	13.7	49.0	93 E	32*	45*	70
	31	10 23.14	- 7 54.1	1.371	0.893	13.9	47.7	92 E	28*	42*	72
VI	10	10 51.65	- 9 46.0	1.403	0.973	14.1	46.3	90 E	24*	38*	74
	20	11 19.56	-11 35.0	1.436	1.059	14.3	45.0	88 E	21*	35*	75*
	30	11 46.98	-13 21.4	1.468	1.149	14.5	43.6	85 E	18*	31*	76*
VII	10	12 13.96	-15 4.4	1.499	1.242	14.7	42.3	82 E	15*	28*	75*
	20	12 40.59	-16 43.4	1.529	1.340	14.9	40.8	80 E	13*	26*	73*

STERNFREUNDE-SEMINAR, WIENER PLANETARIUM, 1982 / Mucke

Referat: "Minor Planet Circulars / Minor Planets and Comets".

M. P. C. 6573

1982 FEB. 8

```

=====
The MINOR PLANET CIRCULARS/MINOR PLANETS AND COMETS are published, on behalf
of Commission 20 of the International Astronomical Union, usually in batches
on the date of each full moon, by:
    Minor Planet Center
    Smithsonian Astrophysical Observatory
    Cambridge, MA 02138, U.S.A.
TWX 710-320-6842 ASTROGRAM CAM **          Brian G. Marsden, Director
Telephone 617-864-5758          **      Conrad M. Bardwell, Associate Director
=====
    
```

Object	Date	UT	R. A. (1950)	Decl.	Mag.	N	Obs.
Periodic Comet Schwassmann-Wachmann 1							
/1974 II	1978	10 31.08472	07 32 07.47	+27 00 45.3	17.5T	1	010
Periodic Comet Smirnova-Chernykh							
/1975 VII	1981	11 26.14321	03 34 30.31	+16 13 06.7			801
/1975 VII	1981	11 29.14353	03 32 32.15	+16 09 25.4			801
/1975 VII	1981	12 30.17113	03 17 00.52	+15 51 05.0			801

OBSERVATIONS MADE AT ZIMMERWALD BY P. WILD.

Object	Date	UT	R. A. (1950)	Decl.	Mag.	N	Obs.
1981 RG1	1981	11 01.89861	01 36 45.59	+16 44 11.5	16.5		026
1981 RG1	1981	11 02.93611	01 35 45.41	+16 42 51.9			026
1981 RG1	1981	11 07.03125	01 32 04.75	+16 37 35.8			026
1981 RG1	1981	11 16.77465	01 25 25.07	+16 26 21.8		1	026

Note 1: observation doubtful.

ORBITAL ELEMENTS BY C. M. BARDWELL, SMITHSONIAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY.

The identifications are by C. M. Bardwell unless otherwise stated.

(2545)\* 1933 BB = 1948 RP = 1948 TA = 1953 DB = 1968 QO = 1973 AS4  
 = 1973 CF = 1973 EG = 1978 SY2

Discovered 1933 Jan. 26 by E. Delporte at Uccle. The double designation 1948 RP = 1948 TA is by O. Kippes (NAZ 12, 22). The identification 1943 BB = 1948 RP = 1948 TA was published on JC 178.

Epoch 1982 Aug. 19.0 ET = JDE 2445200.5

M	(1950.0)	P	Q
5.28342			
n 0.29610739	Peri. 105.24335	+0.37755745	-0.92381130
a 2.2293070	Node 322.37680	+0.80465561	+0.36121281
e 0.1261184	Incl. 5.96381	+0.45823544	+0.12687783
P 3.33	B(1,0) 14.0		

Residuals in seconds of arc (or two decimals in units of degrees)

330126	012	3.1-	1.0-	480909	690	0.6-	0.7+	730307	029	1.5-	0.7-
330127	012	(3.7+	2.8+)	481008	062	0.3+	0.7-	730309	029	1.0-	0.8-
330203	012	(0.05-	0.05+)	481008	062	0.0	1.2+	780926	095	0.3-	1.7+
330215	012	0.1+	0.5+	530219	760	6.9-	1.3-	781002	095	1.5-	1.4+
330216	012	0.4+	0.3+	530219	760	4.0-	3.0+	781005	095	0.3-	0.5-
330218	012	4.1+	2.2+	680827	095	0.6+	7.5-	781008	095	0.4+	0.2-
330220	012	5.5+	6.6+	730103	095	4.9+	4.6-	810803	801	2.0-	1.5+
480907	690	(8.4-	1.1-)	730203	095	1.2+	3.6-	810804	688	0.7+	0.2-
480908	690	1.7+	2.9+	730307	029	0.1+	0.3-	810804	688	0.8+	0.4+



ASTEROID RADIOMETRY <i>D. Morrison and L. A. Lebofsky</i>	184
RADAR OBSERVATIONS OF ASTEROIDS <i>G. H. Pettengill and R. F. Jurgens</i>	206
RADIO OBSERVATIONS OF ASTEROIDS: RESULTS AND PROSPECTS <i>J. R. Dickel</i>	212
EXPLORATION AND 1994 EXPLOITATION OF GEOGRAPHS <i>S. Herrick</i>	222
FUTURE EXPLORATION OF ASTEROIDS <i>D. Morrison and J. Niehoff</i>	227

### Part III – INTERRELATION

EARTH-CROSSING ASTEROIDS: ORBITAL CLASSES, COLLISION RATES WITH EARTH, AND ORIGIN <i>E. M. Shoemaker, J. G. Williams, E. F. Helin, and R. F. Wolfe</i>	253
CHAOTIC ORBITS IN THE SOLAR SYSTEM <i>E. Everhart</i>	283
DYNAMICAL INTERRELATIONS AMONG COMETS AND ASTEROIDS <i>Ľ. Krásák</i>	289
RESONANCES IN THE ASTEROID BELT <i>R. Greenberg and H. Scholl</i>	310
THE DYNAMICAL EVOLUTION OF THE HIRAYAMA FAMILY <i>Y. Kozai</i>	334
FAMILIES OF MINOR PLANETS <i>J. C. Gradie, C. R. Chapman, and J. G. Williams</i>	359
NUMERICAL SIMULATIONS OF CLOSE ENCOUNTERS BETWEEN JUPITER AND MINOR BODIES <i>A. Carusi and G. B. Valsecchi</i>	391
DISTANT ASTEROIDS AND OUTER JOVIAN SATELLITES <i>J. Degewij and C. J. van Houten</i>	417
CHIRON <i>C. T. Kowal</i>	436

### Part IV – CONFIGURATION

SATELLITES OF ASTEROIDS <i>T. C. Van Flandern, E. F. Tedesco, and R. P. Binzel</i>	443
DIVERSE PUZZLING ASTEROIDS AND A POSSIBLE UNIFIED EXPLANATION <i>W. K. Hartmann</i>	466
POLE ORIENTATIONS OF ASTEROIDS <i>R. C. Taylor</i>	480
ASTEROID LIGHTCURVES: RESULTS FOR ROTATIONS AND SHAPES <i>J. A. Burns and E. F. Tedesco</i>	494
COLLISIONAL EVOLUTION OF ASTEROIDS: POPULATIONS, ROTATIONS, AND VELOCITIES <i>D. R. Davis, C. R. Chapman, R. Greenberg, S. J. Weidenschilling, and A. W. Harris</i>	528
CHRONOLOGY OF ASTEROID COLLISIONS AS RECORDED IN METEORITES <i>D. D. Bogard</i>	558
THE NATURE AND EFFECTS OF IMPACT CRATERING ON SMALL BODIES <i>M. J. Cintala, J. W. Head, and L. Wilson</i>	579
REGOLITH DEVELOPMENT AND EVOLUTION ON ASTEROIDS AND THE MOON <i>K. R. Housen, L. L. Wilkening, C. R. Chapman, and R. J. Greenberg</i>	601
PHOBOS AND DEIMOS: A PREVIEW OF WHAT ASTEROIDS ARE LIKE? <i>J. Veverka and P. Thomas</i>	628

### Part V – COMPOSITION

REFLECTANCE SPECTRA FOR 277 ASTEROIDS <i>C. R. Chapin and M. J. Gaffey</i>	655
MINERALOGICAL AND PETROLOGICAL CHARACTERIZATIONS OF ASTEROID SURFACE MATERIALS <i>M. J. Gaffey and T. B. McCord</i>	688
INFRARED SPECTRAL REFLECTANCES OF ASTEROID SURFACES <i>H. P. Larson and G. J. Veeder</i>	724

AQUEOUS ACTIVITY ON ASTEROIDS: EVIDENCE FROM CARBONACEOUS METEORITES <i>J. F. Kerridge and T. E. Bunch</i>	745
--	-----

GEOCHEMICAL EVOLUTION OF THE EUCRITE PARENT BODY: POSSIBLE NATURE AND EVOLUTION OF ASTEROID 4 VESTA? <i>M. J. Drake</i>	765
--	-----

ASTEROID TAXONOMY AND THE DISTRIBUTION OF THE COMPOSITIONAL TYPES <i>B. Zellner</i>	783
---	-----

### Part VI – EVOLUTION

NON-EQUILIBRIUM EFFECTS ON THE CHEMISTRY OF NEBULAR CONDENSATES: IMPLICATIONS FOR THE PLANETS AND ASTEROIDS <i>M. Blander</i>	809
--	-----

PRIMORDIAL HEATING OF ASTEROID PARENT BODIES <i>C. P. Sonett and R. T. Reynolds</i>	822
--	-----

REVIEW OF THE METALLOGRAPHIC COOLING RATES OF METEORITES AND A NEW MODEL FOR THE PLANETESIMALS IN WHICH THEY FORMED <i>J. A. Wood</i>	849
--	-----

ORIGIN OF IRON METEORITES <i>E. R. D. Scott</i>	892
--	-----

DYNAMICAL, CHEMICAL AND ISOTOPIC EVIDENCE REGARDING THE FORMATION LOCATIONS OF ASTEROIDS AND METEORITES <i>J. T. Wasson and G. W. Wetherill</i>	926
--	-----

ON THE ORIGIN OF ASTEROIDS <i>V. S. Safronov</i>	975
---	-----

ON THE ORIGIN OF ASTEROIDS <i>A. G. W. Cameron</i>	992
---	-----

### Part VII – TABULATION

I. THE TUCSON REVISED INDEX OF ASTEROID DATA <i>B. Zellner</i>	1011
---	------

II. OSCULATING ORBITAL ELEMENTS OF THE ASTEROIDS <i>D. F. Bender</i>	1014
---	------

III. PROPER ORBITAL ELEMENTS AND FAMILY MEMBERSHIPS OF THE ASTEROIDS <i>J. G. Williams</i>	1040
--	------

IV. SPECTRAL REFLECTANCES OF THE ASTEROIDS <i>C. R. Chapman and M. J. Gaffey</i>	1064
---	------

V. POLARIMETRY AND RADIOMETRY OF THE ASTEROIDS <i>D. Morrison and B. Zellner</i>	1090
---	------

VI. LIGHTCURVE PARAMETERS OF ASTEROIDS <i>E. F. Tedesco</i>	1098
--	------

VII. MAGNITUDES, COLORS, TYPES, AND ADOPTED DIAMETERS OF THE ASTEROIDS <i>E. Bowell, T. Gehrels, and B. Zellner</i>	1108
---	------

VIII. DISCOVERY CIRCUMSTANCES OF THE MINOR PLANETS <i>F. Pilcher</i>	1130
--	------

### GLOSSARY, ACKNOWLEDGMENTS, AND INDEX

GLOSSARY	1157
LIST OF PARTICIPANTS	1171
INDEX	1177

Fortsetzung Referat: "Asteroids" von T. Gehrels und Mitarbeitern.

Übersicht: Auswahl von Hilfsliteratur für die Kleinplaneten-Amateurastronomie.

Die folgende kleine Auswahl soll es dem Amateurastronomen erleichtern, sich in die Kleinplaneten-Arbeit hineinzufinden.

Instrumente und Beobachtung

G.Roth und Mitarbeiter, Handbuch für Sternfreunde. 3.Auflage, Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin, 1981.

T.Rackham, Astronomical Photography at the Telescope. 3.Auflage. Faber and Faber Ltd., London 1972.

F.Wood, Photoelectric Astronomy for Amateurs. The Macmillan Company, New York 1963.

A.Ingalls, Amateur Telescope Making. Vol.1,2,3. Scientific American, New York 1970.

Himmelsatlanten, Sternatlanten und Sternkataloge

W.Tirion, Sky Atlas 2000,0. Sky Publishing Company und Cambridge University Press, Cambridge, Mass., USA. 1981.  
(Katalog dazu in Vorbereitung).

H.Vehrenberg, Falkauer Atlas. Nord- und Südteil, insgesamt 3 Teile. Mit Gradnetzschaablonen und Übergangstafeln für andere Epochen. Grenzgröße bei  $B = 13^{\text{mag}}$ . Ausgabe A (weißer Grund, schwarze Sterne), Ausgabe B (schwarzer Grund, weiße Sterne). Treugesell Verlag, Düsseldorf, 1970

H.Vehrenberg, Atlas Stellarum 1950,0. Nord- und Südteil, insgesamt 3 Teile. Mit Gradnetzschaablonen und Übergangstafeln für andere Epochen. Grenzgröße bei  $+15^{\text{mag}}$ . Treugesell Verlag, Düsseldorf, 1975.

H.Vehrenberg, A.Brun, Atlas der Kapteyn'schen Eichfelder (Selected Areas). Treugesell Verlag, Düsseldorf 1965.

SAO Staff, Star Catalog. Positions and Proper Motions of 258.887 Stars for Epoch and Equinox of 1950,0. Vol.1-4. SAO, Washington D.C., USA, 1971.

O.Heckmann, W.Dieckvoss, AGK 3. Star Catalogue, Proper Motions 1950,0, North of  $-2,5^{\circ}$  Declination. Vo.1-8. Hamburg-Bergedorf, 1975.

Bahnbestimmung

C.Gauß, Theory of the Motion of the Heavenly Bodies. Übersetzung der "Theoria Motus Corporum Coelestium". Dover, New York 1963.

G.Stracke, Bahnbestimmung der Planeten und Kometen. Springer-Verlag, Berlin 1929.



Gastvortrag: Die Beobachtung Kleiner Planeten - ein Schlüssel zur Erforschung der Frühzeit des Sonnensystems.

Disposition

- I. Problemstellung
- II. Beobachtungen
  1. Aufsuchungsschwierigkeiten
  2. Beobachtungsgrößen
  3. Beobachtungstechnik
- III. Synthese astrometrischer und physikalischer Beobachtungen: Problemlösung?

I. Problemstellung

Vor fast 200 Jahren kam man auf die Frage der Existenz der Kleinen Planeten durch die Auswertung der Reihe von Bode-Titius: Die Planetenabstände von der Sonne ergeben aufgetragen eine Reihe, die zunächst interpolatorisch die Existenz eines planetaren Körpers zwischen Mars und Jupiter erfordert. Als dann am 1. Januar 1801 der später Ceres genannte Körper in der richtigen Entfernung gefunden wurde, schien das Problem zunächst erledigt. Als aber allmählich immer mehr solcher Körper entdeckt wurden, begann alsbald die Kleinplanetenforschung, über deren Geschichte Sie ja schon informiert sind. Heute ist sicher, daß es sich hier um keinen genuinen Planeten gehandelt hat, der etwa durch eine Explosion in tausende Trümmer zerrissen wurde; dazu ist die Gesamtmasse aller Planetoiden viel zu gering; sie beträgt ja weniger als ein Tausendstel der Erdmasse. Es ist vielmehr so, daß einige Mutterplanetoiden aus der Entstehungszeit überlebt haben, während andere durch gegenseitige Zusammenstöße weiter verkleinert und aufgerieben wurden. Auf jeden Fall handelt es sich um Materie aus der Ursprungszeit des Sonnensystems, die sich in hohem Maße unverändert bis in die Gegenwart erhalten hat.

Heute ist man ja auf der Suche nach der ältesten Materie: Während das Sonnensystem als ganzes rund 4,5 Milliarden Jahre alt ist, weisen die ältesten Proben von Meteoriten und Mondgestein nur rund 3,5 Milliarden Jahre auf. Die großen Planeten und ihre Monde sind seit ihrer Entstehung keinesfalls unverändert geblieben (Vulkanismus auf dem Jupitermond Io, z.B.), während die Kleinplaneten - sieht man von Kollisionen ab - von Verwitterung, Sedimentation, Sonnenwind und dgl. nicht wesentlich beeinflußt wurden und daher (gemeinsam mit den Kernen nichtperiodischer und sehr langperiodischer Kometen) als das älteste Material angesprochen werden dürfen. Darum ist man in den

Fortsetzung Gastvortrag: Die Beobachtung Kleiner Planeten - ein Schlüssel zur Erforschung der Frühgeschichte des Sonnensystems.

letzten Jahren auch intensiv bemüht, ihre Erforschung von der Erde und vom Weltraum aus voranzutreiben. In diese Forschung ist das Institut für Astronomie der Universität Graz seit 10 Jahren eingeschaltet und hat darin bemerkenswerte Erfolge erzielt.

## II. Die Beobachtungen

### 1. Aufsuchungsschwierigkeiten

Noch vor der Fertigstellung der B.D. haben Wiener Forscher 1863 vorgeschlagen, Kleine Planeten als wandernde Helligkeitsstandards zu benutzen und das Helligkeitssystem durch sie wenigstens in die ekliptiknahen Breiten hinaustragen zu lassen. Die Erfahrungen der neueren Zeit lehren uns das Gegenteil: Kleine Planeten sind wandernde Veränderliche und dementsprechend schwer ist ihre Aufsuchung und Verfolgung.

Die jährlich in Leningrad herausgegebenen Ephemeriden geben zwar stets die neuesten Elemente und für die Oppositionszeit in 10-tägigen Intervallen die Positionen am Himmel, die vorausberechnete Helligkeit, die Distanzen von Sonne und Erde, für einige auch die Elongationen und die Phasenwinkel an, trotzdem ist es nicht immer einfach, sie aufzufinden. Weil sie meist nahe oder unter der Grenzhelligkeit der Bonner Durchmusterung liegen, braucht man für die schwachen mindestens den Vehrenberg-Atlas oder sogar den Mount Palomar Survey. Besonders in sternreichen Gegenden ist die Identifizierung aber trotzdem schwierig und wenn man das gesuchte Objekt nicht als überzähligen Sternpunkt oder etwa an der Farbe erkennt, so bleibt nichts übrig als eine Aufnahme zu machen oder zu warten, bis die Bewegung unter den Sternen den gesuchten Körper verrät. Sinnvoll ist die Suche längs der Bahn vorzunehmen, nicht etwa senkrecht dazu, weil eine Änderung der mittleren Anomalie im allgemeinen den Ort nur längs der Bahn verschiebt. Zu achten ist auf das System der Helligkeitsangaben für Sterne und Asteroiden, das in den letzten Jahren stark verbessert wurde: Die Größenklassen der Sternkarte, des Katalogs und der Ephemeriden sollten demselben Helligkeitssystem angehören. Für ernstlich Interessierte gibt es eine Stelle, nämlich Dr.E.Bowell, Lowell Observatory, Flagstaff 86002 Arizona, USA, wo auf Ersuchen tagesgenaue Ephemeriden mit allen relevanten Größen ausgedruckt und die Bahnen unter den nummerierten Sternen des SAO-Kataloges im Maßstab des Palomar Atlas mit einem Plotter verzeichnet werden.

Fortsetzung Gastvortrag: Die Beobachtung Kleiner Planeten - ein Schlüssel zur Erforschung der Frühgeschichte des Sonnensystems.

## 2. Beobachtungsgrößen

Als Beobachtungsgrößen, die uns später bei unserer Zusammenschau helfen sollen, gelten einerseits astrometrische und andererseits astrophysikalische Daten. Insbesondere haben sich eine Reihe von Kleinplaneten durch ihre Bahneigenschaften (Gastvortrag Univ.Dozent Dr.R. Dvorak) als Angehörige von Familien herausgestellt, das sind Gruppen, die ähnliche Elemente (Exzentrizität, Neigung, Knoten, ...) besitzen. Für diesen Problemkreis sind photographische Aufnahmen mit möglichst großer Brennweite und gut nachgeführten Sternbildchen nötig, wie wir sie im Kleinplaneten-Programm, das im "Sternenboten" mehrfach vorgestellt wurde, erbitten. Die Ausmessung von solchen Aufnahmen mit automatischem Zugriff auf AGK 3 - Positionen könnte am Observatorium Lustbühel in Graz gemacht werden.

Auf der anderen Seite wollen wir die physikalische Struktur und Beschaffenheit der Körper studieren (Gastvortrag Univ.-Dozent Dr.H. Schober). Dies bedingt eine Beobachtung in allen nur möglichen Wellenlängen vom Ultraviolett bis zum Infrerot, sowie Polarimetrie, wozu geeignete Instrumente und große Fernrohre nötig sind. Wir gehen derzeit etwa dreimal im Jahr an das Observatoire de Haute Provence in Frankreich und ein- bis zweimal zum European Souther Observatory nach Chile, um dort hochwertiges Beobachtungsmaterial zu gewinnen.

## 3. Die Beobachtungstechnik

Die Kleinen Planeten zeigen Helligkeitsänderungen aus den verschiedensten Gründen, nämlich in Abhängigkeit ihrer Entfernung von der Sonne und der Erde ( $r, \Delta$ ), von der Lichtphase ( $\alpha$ ) und ihrem Rotationsverhalten  $R$ , das wieder durch die Form ( $F$ ), Albedo ( $A$ ) und den Aspekt (Länge  $\lambda$  und Breite  $\beta$ ) bestimmt wird:

$$m = f [r, \Delta, \alpha, R (F, A, \lambda, \beta)]$$

Es gilt jetzt die Beobachtungen so anzulegen, daß geeignete Phasen erfaßt werden (wobei der Phasenwinkel  $\alpha$  im ebenen Dreieck Sonne-Erde-Planet beim Planeten liegt) und ihre Beziehungen zu allen möglichen physikalischen Größen untersucht werden. So kennen wir die  $m, \alpha$ -Beziehung. Wir nennen ihren Verlauf die Phasenkurve und ermitteln aus ihrem linearen Teil den Phasenkoeffizienten, das ist der Abfall in Größenklassen, wenn der Phasenwinkel um ein Grad zunimmt.- Wir haben die  $f, \alpha$ -Beziehung, die zeigt, daß die Farben mit zunehmender

Fortsetzung Gastvortrag: Die Beobachtung Kleiner Planeten - ein Schlüssel zur Erforschung der Frühzeit des Sonnensystems.

Phase röter werden.- Eine wichtige Relation ist die  $p, \alpha$ - Beziehung, die das Verhalten der Polarisation wiedergibt. Die erstere Beziehung hat schon seit langem, die letztgenannte erst seit einer Entdeckung durch Hofrat Univ.-Dozent Dr.T.Widorn aus Wien (Gastvortrag) die Möglichkeit geboten, über die diffuse Reflexion (Albedo A) die Durchmesser der Kleinplaneten abzuleiten.

Alle diese Messungen sind aber deshalb sehr schwierig, weil die Planetoiden mit wenigen Ausnahmen ziemlich rasch rotieren und aus Gründen ihrer unregelmäßigen Form und wegen Albedounterschieden über ihre Oberfläche einen Lichtwechsel mit relativ großen Amplituden aufweisen. Sinnvolle Beobachtungen werden also besondere Phasen auswählen und in den entsprechenden Nächten möglichst dichte Helligkeitsbeobachtungen anstellen, wobei man zweckmäßigerweise einen möglichst nahen Vergleichssterne ähnlicher Helligkeit und Farbe benützt. Es empfiehlt sich eine Zeiterfassung auf Minuten genau. Nun sollen wohl über diese rasch aufeinander folgenden differentiellen Messungen hinaus auch Absolutanschlüsse (Extinktionsprobleme!) an das UBV-System gemacht werden, aber zu große Pausen in der Lichtkurve sind zu vermeiden.

Eine wesentliche Größe für Kleinplaneten muß noch besprochen werden, der Durchmesser, der im Zusammenhang mit der Bahnbestimmung (Masse) zu Dichteangaben führt. In der Vergangenheit wurden direkte Bestimmungen mit dem Mikrometer und Interferometer, neuerdings mit dem Speckle-Interferometer und Scanner versucht. Alle diese haben ihre Schwierigkeiten mit dem geringen scheinbaren Durchmesser, der meist kleiner als das Beugungsscheibchen ist. Das Gros der bekannten Planetoidendurchmesser resultiert aus Helligkeits- und Polarisations-messungen, wobei besonders letztere zu einem recht genauen Instrument entwickelt wurden. Die beste Methode ist aber wohl die der Sternbedeckungen durch Kleinplaneten, die in zunehmenden Maße angewandt wird. Ihre Problematik liegt in der genauen Voraussage des Ereignisses, das präzise Sternpositionen und exakte Bahnbestimmung voraussetzt. Eben deswegen muß eine Reihe von möglichst mobilen Beobachtern den Bedeckungsstreifen oder besser eine noch größere Zone besetzen und die genauen Zeitintervalle der Bedeckung festhalten. Das ermöglicht dann die Konstruktion eines recht genauen Profils mit geringen Fehlern und ist die direkteste Kontrolle aller anderen Durchmesserbestimmungen.

Fortsetzung Gastvortrag: Die Beobachtung Kleiner Planeten - ein Schlüssel zur Erforschung der Frühzeit des Sonnensystems.

III. Synthese astrometrischer und astrophysikalischer Beobachtungen:  
Problemlösung?

Wenn jetzt auch die Natur der Asteroiden erhärtet ist, worüber in diesem Seminar noch näher berichtet wird, dann können wir uns fragen, ob durch die Synthese der astrometrischen und astrophysikalischen Beobachtungen wirklich unser Problem gelöst ist: Wo und wie sind im Sonnennebel die Kleinen Planeten entstanden? Die Kleinkörper im inneren Gürtel sind wahrscheinlich durch Zusammenstöße entstandene Bruchstücke von Mutterplanetoiden, die große Helligkeitsamplituden aufweisen. Größere (Ceres, Pallas, Vesta) und die weiter außen befindlichen Trojaner sind mehr oder weniger sphärisch geblieben mit einer kleinen Amplitude des Lichtwechsels; es ist Material, das im Sonnennebel fest geworden und durch Anlagerung (Accretion) vergrößert worden ist. Ein weites Feld von Hypothesen und Spekulationen bildet die Frage, wie weit es sich hier um die Mutterkörper (parent bodies) von Meteoriten handelt, die ja zu einem Teil aus dem Planetoidensystem stammen.

Wesentlich weitgehendere Aussagen, die dann kaum mehr der Vermutung unterliegen, könnten wir erhalten, wenn wir eine Raummission zu einem Kleinplaneten unternähmen. Durch geeignete Wahl der Anfangsparameter wäre es wohl möglich, an mehreren Asteroiden vorbeizufliegen, wie es das französische Projekt ASTERIX beabsichtigt hat. Eine Landung oder Probenentnahme wird da aber kaum möglich sein. Andererseits sind ernste Bestrebungen da, einen dieser Kleinplaneten (z.B. 1943 Anteros) einzufangen und irgendwie auf der Erde zu landen, sodaß er dann untersucht und eventuell als Rohstoffquelle nutzbar gemacht werden kann.

Univ.-Prof.Dr.Hermann Haupt,  
Vorstand des Instituts für  
Astronomie der Universität  
Graz.

Universitätsplatz 5,  
A-8010 Graz.

Referat: Ausführung astrometrischer Kleinplaneten-Beobachtungen.

Diese Zusammenfassung möge als Einführung in das überaus fruchtbare und interessante Gebiet der astrometrischen Kleinplaneten-Beobachtung, durchgeführt auf photographischem Wege, dienen.

1. Vorbereitung

1.1. Auswahl des Kleinplaneten

1.1.1. Nach Lage des Kleinplaneten

Zu späterer Auswertung des Negatives sind mindestens drei Anschlußsterne nötig; ihre genauen Koordinaten werden dem SAO- oder AGK 3-Katalog entnommen.

Bei Fernrohren mit 0,5m bis 1m Brennweite ist meist eine genügende Zahl von Anschlußsternen in gleichmäßiger Verteilung vorhanden, aber ab 1m Brennweite kann - bei Bildformat 24x36mm - obige Bedingung manchmal zum Problem werden. Abhilfe: An diesem Abend nicht photographieren oder Umgebungsfeld zusätzlich mit kürzerer Brennweite aufnehmen. Siehe auch "Sternenbote", Heft 1/1980, p.5.

Bei lichtschwachen Kleinplaneten sollten geringe Höhen wegen der dann stärkeren Hintergrundhelligkeit vermieden werden.

1.1.2. Nach der Schnelligkeit des Kleinplaneten

Rasche geozentrische Bewegung des Kleinplaneten ergibt mangelnde Abbildung am Negativ (kaum erkennbare Striche, besonders bei lichtschwachen Kleinplaneten), was allerdings nur bei relativ nahen Oppositionen oder Vorübergängen des Kleinplaneten an der Erde eintritt. Sehr langsame geozentrische Bewegung des Kleinplaneten (nahe den Stationärpunkten der scheinbaren Bahn) schaffen Probleme bei der späteren Identifikation der Aufnahme, wie unter 3.1. beschrieben. Durchschnittlich kann man mit etwa 30"/Stunde rechnen.

1.1.3. Nach der scheinbaren Helligkeit des Kleinplaneten

Jede scheinbare Helligkeit eines Kleinplaneten erfordert eine gewisse Belichtungszeit, damit er sich sicher abbildet. Zu lange Belichtungszeiten ergeben zu große Sternscheibchen (Überstrahlung!), was die Meßgenauigkeit beeinträchtigt. Die Grenze der Belichtungsdauer bei lichtschwachen Kleinplaneten bestimmen der Himmelshintergrund und besonders die geozentrische Bewegung des Kleinplaneten (lange Belichtungszeiten ergeben Strichspuren und sind, wie gesagt, unerwünscht).

1.2. Umgebungsfeld

Eine Kopie des entsprechenden Himmelsfeldes (z.B. aus dem "Falkauer Atlas" von Vehrenberg) mit eingetragenen Anschlußsternen und Ephe-

## Fortsetzung Referat: Ausführung astrometr. Kleinplanetenbeobachtungen.

meridenort des Kleinplaneten sowie Rand des Aufnahmefeldes erleichtern das Auffinden am Fernrohr und die spätere Auswertung.

### 2. Photographie

#### 2.1. Wahl des Instrumentes

Brennweite: 0,5m bis 1,0m, darüber hinaus entstehen durch das kleinere abgebildete Himmelsfeld manchmal Probleme (siehe 1.1.1.).

Öffnung: Bei Newton-Teleskopen nicht lichtstärker als 1:5, weil sonst die Koma die spätere Ausmessung erschwert.

#### 2.2. Filmwahl

Die meisten Kleinplaneten reflektieren das Sonnenlicht in gelbem bis rotem Licht, daher sollten etwas rotempfindliche Filme, möglichst ohne Schwarzschildeffekt und mit nicht zu grobem Korn, verwendet werden. Sehr gut geeignet: Kodak 103aE.

#### 2.3. Belichtungszeit

Diese ist abhängig von der scheinbaren Helligkeit und der geozentrischen Bewegung des Kleinplaneten. Als Richtwert für die Belichtungszeit möge die Formel dienen, in welcher R die erzielbare Grenzhelligkeit in Größenklassen,  $m_0$  die Filmkonstante, je nach Film 6-7 Größenklassen, D den Durchmesser der Öffnung der Optik in cm und t die Belichtungsdauer in Zeitminuten bedeutet:

$$R = m_0 + 5 \cdot \log(D) + 2,2 \cdot \log(t)$$

Die maximal erlaubte Länge der Strichspur des Kleinplaneten am Negativ kann mit  $a = 0,04\text{mm}$  angegeben werden. Beispielsweise ergibt sich bei einer geozentrischen Bewegung des Kleinplaneten von  $30''/\text{h}$ , Brennweite  $f = 1000\text{mm}$  und einer scheinbaren Helligkeit des Kleinplaneten von  $+14^{\text{mag}}$  die Strichspurlänge  $s$  in Bogensekunden

$$s = (a \cdot 57,3 \cdot 3600) / f = 8,3''$$

und führt uns mit der geozentrischen Bewegung von  $30''/\text{h}$  auf  $s / 30 = 0,27504$  Stunden oder 16,5 Minuten maximal erlaubte Belichtungszeit. Andererseits ergäbe sich etwa mit  $D = 15\text{cm}$  und  $m_0 = 6.5$  für  $R = +15^{\text{mag}}$ , der Kleinplanet mit  $+14^{\text{mag}}$  wäre also unter diesen Umständen photographierbar.

Zur späteren Identifikation des Kleinplaneten am Negativ sind zwei zeitlich versetzte Aufnahmen (die eine Verschiebung des Kleinplaneten durch seine geozentrische Bewegung vor dem Himmelshintergrund liefern) notwendig. Etwa  $0,12\text{mm}$  Ortsunterschied des Kleinplaneten zwischen den beiden Aufnahmen genügen zur Auffindung. Im obigen Beispiel ergäbe das einen notwendigen Zeitunterschied von 50 Minuten. Die Aufnahmezeiten müssen mindestens minutengenau festgehalten werden.

#### 2.4. Scharfstellen

Sehr wichtig wegen der möglichst punktförmigen Abbildung der Sterne. Am effektivsten und raschesten geschieht dies mittels der "Messerschneidemethode".

Anstelle der Kamera wird eine einfache Einrichtung (Ring) gesetzt, welche eine schmale, dünne Aluminium- oder Messingfolie (Messerschneide) genau in die spätere Filmebene bringt (Abstand Kamera-gewindeanschlag zu Filmebene = Anschlagfläche des Ringes zu Folien-ebene). Bei Einstellen eines hellen Sterns und Verdecken desselben durch die Folie (wird durch Bewegen des Fernrohrs bewerkstelligt) sieht man gewissermaßen den Schatten über den Hauptspiegel wandern. Steht die Folie exakt im Brennpunkt, so wechselt der Spiegel schlagartig von hell auf dunkel.

#### 2.5. Auffinden des Kleinplaneten am Fernrohr

Ein direktes, visuelles Auffinden des Kleinplaneten am Fernrohr ist nur bei den hellsten möglich; es gibt elegante indirekte Auffindemethoden:

##### 2.5.1. Einstellen ohne Leitfernrohr

Mittels Teilkreisen absolut oder mittels Koordinatendifferenz im Anschluß an einen hellen, dem Kleinplaneten nahe stehenden Stern. Dafür sind in beiden Fällen genaue Teilkreise Voraussetzung.

##### 2.5.2. Einstellen mittels beweglichem Leitrohr

Ein geringfügig zur optischen Achse der Kamera in Rektaszension und Deklination bewegliches Leitfernrohr ist sehr zweckmäßig. Es wird um die Koordinatendifferenz des Kleinplaneten zu einem hellen Leitstern verschwenkt. Wird danach das Leitrohr auf den Leitstern eingestellt, steht der Kleinplanet automatisch in der Feldmitte der Kamera. Am Leitstern kann vorzüglich nachgeführt werden.

#### 2.6. Die Nachführung

Neben der Scharfstellung ist die Nachführung der wichtigste Vorgang für einwandfreie Kleinplaneten-Aufnahmen.

##### 2.6.1. Mittels Leitrohr

Das unter 2.5.2. beschriebene bewegliche Leitrohr erlaubt die Nachführungskontrolle an einem hellen Leitstern, der mit hoher Vergrößerung im Fadenkreuz gehalten wird. Die Abweichungen des Leitsterns vom Fadenkreuz sollten stets nur einige Bogensekunden betragen.

##### 2.6.2. Off-Axis-Methode

Ein während der Belichtung mögliches Auseinanderlaufen der optischen Achsen von Leitrohr und Kamera infolge differentieller Durchbiegungen



Fortsetzung Referat: Ausführung astrometr. Kleinplanetenbeobachtungen.

der Rohre oder der Montierung braucht hier nicht befürchtet werden, weil vom Hauptstrahlengang "Licht abgezweigt" wird; jegliche Änderung, ob mechanisch oder optisch, wird sofort erkannt.

### 2.6.3. Spezialverfahren

Ein solches schaltet z.B. die geozentrische Bewegung des Kleinplaneten auf dem Film aus, denn bei langbelichteten Aufnahmen erschwert sie durch Strichbildung die Auswertung erheblich. Bei diesem Verfahren wird das Fadenkreuz so eingestellt, daß der eine Faden genau parallel zur geozentrischen Bewegungsrichtung des Kleinplaneten steht. Der Leitstern wird nun genau dem Faden entlang geführt, entsprechend dem Maß der geozentrischen Bewegung. Dadurch wird der Kleinplanet punktförmig abgebildet und alle Sterne hinterlassen kleine Strichspuren. Das Ausmessen der Anschlußsternstriche, die ja hell sind, macht im allgemeinen keine Schwierigkeiten. Obendrein ist der Kleinplanet leicht aufzufinden.

## 3. Auswertung der Aufnahme

### 3.1. Auffinden des Kleinplaneten am Negativ

#### 3.1.1. Mittels Blinkkomparator

Dies ist die eleganteste Methode zur Auffindung des Kleinplaneten. Die Hintergrundsterne werden zur Deckung gebracht und der Kleinplanet "springt" beim wechselweisen Beleuchten der beiden Aufnahmen.

#### 3.1.2. Durch Projektion des Negatives

Entweder mit Dunkelkammer- oder Diaprojektor Negative auf DIN A4-Blatt projizieren und Sternpunkte abzeichnen. Zweite Aufnahme wird durch Projektion mit der Skizze auf dem Zeichenblatt zur Deckung gebracht. Der Kleinplanet verrät sich sofort durch den geringfügigen Abstand der beiden Punkte.

#### 3.1.3. Doppelbelichtung

Durch Doppelbelichtung (geringe Verschiebung in Deklination vor der zweiten Aufnahme) läßt sich der Kleinplanet leicht auffinden. Die Auswertung ist schwieriger, da Verwechslung der Sternpaare möglich ist. Bei etwa notwendigen langen Belichtungen wegen der Hintergrundaufhellung nicht immer durchführbar.

### 3.2. Ausmessung

Zur Bestimmung von Rektaszension  $\alpha$  und Deklination  $\delta$  des Kleinplaneten im Anschluß an  $n$  Sterne mit jeweils bekanntem (aus dem SAO- oder AGK 3-Katalog entnommenem) Ort  $\alpha_i, \delta_i$  ( $i = 4 \dots n$ ) wird das Negativ in rechtwinkligen Meßkoordinaten ausgemessen. Für den Kleinplaneten ergibt sich  $x, y$  und für die Sterne ergeben sich  $x_i, y_i$ .

Dazu dient ein Meßapparat. Meiner, den ich im Wiener Planetarium ausstelle, besteht aus einem schweren Metall-Tischfuß, auf dem zwei senkrecht zu einander stehende und in Schwalbenschwanzführungen gelagerte Schlitten montiert sind. Die Bewegung der Schlitten und die Messung erfolgt durch käufliche Präzisions-Einbaumikrometer. Der obere Schlitten trägt ein käufliches Einbaumikroskop mit 50facher Vergrößerung und Fadenkreuz. Im Fuß befinden sich zwei Glasplatten, zwischen denen das Negativ völlig plan eingespannt, von oben betrachtet und von unten durchleuchtet werden kann. Wegen des begrenzten Verstellbereichs der eingebauten Mikrometer kann ich nur Negative bis zum Format 24x36 mm vermessen.

### 3.3. Reduktion

#### 3.3.1. Sphärische Koordinaten und Tangentialkoordinaten

Weil die Abbildung auf einer Ebene, der Filmebene, erfolgt, gehen die sphärischen Koordinaten  $\alpha, \delta$  und  $\alpha_i, \delta_i$  in die zugehörigen Tangentialkoordinaten  $X, Y$  und  $X_i, Y_i$  über. Die Rektaszension und Deklination der Aufnahmefeldmitte ist  $A, D$ . Den Übergang von sphärischen in tangentielle Koordinaten und umgekehrt vermitteln ganz allgemein:

$$\begin{aligned} X &= \tan(\alpha - A) \cdot \cos p / \cos(p - D) \quad \text{und} \\ Y &= \tan(p - D); \quad p \text{ folgt aus} & (a) \\ \tan p &= \tan \delta / \cos(\alpha - A). \end{aligned}$$

Die Umkehrung lautet:

$$\begin{aligned} \tan(\alpha - A) &= X \cdot \cos(q - D) / \cos q \quad \text{und} \\ \tan \delta &= \tan q \cdot \cos(\alpha - A); \quad q \text{ folgt aus} & (b) \\ q &= D + \arctan Y. \end{aligned}$$

#### 3.3.2. Plattenkonstanten

Das System der Tangentialkoordinaten hat gegenüber jenem der Meßkoordinaten einen anderen Ursprung, andere Achsrichtungen und andere Maßstäbe. Um das eine in das andere und umgekehrt überzuführen, muß eine Schiebung, Drehung und Streckung durch folgendes Formelsystem vorgenommen werden, in dem die 6 Konstanten  $a, b, c, d, e, f$ , die Plattenkonstanten, auftreten. Sie werden bestimmt aus den Gleichungen

$$\begin{aligned} X_i - x_i &= l_i = a \cdot x_i + b \cdot y_i + c \\ Y_i - y_i &= l'_i = d \cdot x_i + e \cdot y_i + f \end{aligned} \quad \begin{array}{l} i = 1 \dots n \\ r = 23 \end{array}$$

Dazu werden die Neunerdeterminante  $D$  und die Zählerdeterminanten  $D_a, D_b, D_c, D_d, D_e, D_f$  berechnet:

## Fortsetzung Referat: Ausführung von astrometr. Kleinplanetenbeobachtungen.

Neunerdeterminante (für z ist 1 zu setzen):

$$D = \begin{vmatrix} [xx] & [xy] & [xz] \\ [yx] & [yy] & [yz] \\ [zx] & [zy] & [zz] \end{vmatrix}$$

In Gauß'scher Schreibweise:

$$[xy] = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i = x_1 \cdot y_1 + \dots + x_n \cdot y_n$$

Zählerdeterminanten (für z ist 1 zu setzen):

$$D_a = \begin{vmatrix} [xl] & [xy] & [xz] \\ [yl] & [yy] & [yz] \\ [zl] & [zy] & [zz] \end{vmatrix}$$

$$D_b = \begin{vmatrix} [xx] & [xl] & [xz] \\ [yx] & [yl] & [yz] \\ [zx] & [zl] & [zz] \end{vmatrix}$$

$$D_c = \begin{vmatrix} [xx] & [xy] & [xl] \\ [yx] & [yy] & [yl] \\ [zx] & [zy] & [zl] \end{vmatrix}$$

$$D_d = \begin{vmatrix} [xl] & [xy] & [xz] \\ [yl] & [yy] & [yz] \\ [zl] & [zy] & [zz] \end{vmatrix}$$

$$D_e = \begin{vmatrix} [xx] & xl] & [xz] \\ [yx] & yl] & [yz] \\ [zx] & zl] & [zz] \end{vmatrix}$$

$$D_f = \begin{vmatrix} [xx] & [xy] & [xl] \\ [yx] & [yy] & [yl] \\ [zx] & [zy] & [zl] \end{vmatrix}$$

Diese dreizeiligen Determinanten werden nach der Regel von Sarrus berechnet.

Die 6 Plattenkonstanten ergeben sich wie folgt:

$$a = D_a/D, \quad b = D_b/D, \quad c = D_c/D, \quad d = D_d/D, \quad e = D_e/D, \quad f = D_f/D$$

### 3.3.3. Sphärischer Ort des Kleinplaneten

Mit den 6 Plattenkonstanten und den Meßkoordinaten des Kleinplaneten werden nach 3.3.2. seine Tangentialkoordinaten und aus diesen nach 3.3.1. (b) seine Rektaszension und Deklination berechnet. Sie sind auf jene Epoche bezogen, auf der auch die Koordinaten der Anhaltsterne stehen. Das Verfahren erfaßt alle Einflüsse, die eine über das photographierte Sehfeld weg linear wirkende Verschiebung der Sternörter mit sich bringen. In der Praxis benützt man gern 6 Anschlußsterne; noch mehr ergeben zwar höhere Genauigkeit, bringen aber auch mehr Rechenaufwand mit sich. Zweckmäßigerweise wird man die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadratsumme (Gauß) vornehmen. Ein programmierbarer Taschenrechner erleichtert die umfangreiche Rechenarbeit erheblich.

### Beispiel

Als Beispiel gebe ich hier die Vermessung des Siebengestirns, M45, nach einer mit meinem Newton-Spiegelteleskop 11,4/90cm gewonnenen Aufnahme vom 1977 12 04, 22<sup>h</sup>12 bis 22<sup>h</sup>17 MEZ, am Beobachtungsort 14°16'36"E / 48°17'47"N. Die Vermessung der sechs Anschlußsterne und des zu bestimmenden Sterns mit meinem Meßapparat ergab die folgenden

Fortsetzung Referat: Ausführung astrometr. Kleinplanetenbeobachtungen.

Meßkoordinaten x,y:

Stern	x (mm)	y (mm)
21 Tau	+0,2635	+5,9728
19 Tau	+3,0284	+5,0444
16 Tau	+4,9788	+2,5004
17 Tau	+5,2083	-0,3122
23 Tau	+0,4620	-3,8332
25 Tau	-4,1518	-2,0994
Zu bestimmender Stern:		
20 Tau	+1,0813	+3,0870

Diese Meßkoordinaten sind aus je fünf einzelnen Ablesungen gemittelt und auf die geringe Abweichung der beiden Meßschlitten von der Normalen verbessert. Bei Aufnahmen, die mit mehr als 100cm Brennweite gewonnen werden, kann der Einfluß der differentiellen Präzession und Refraktion wegen der Kleinheit des Feldes vernachlässigt werden; die Eigenbewegung muß aber mitgenommen werden. Dessenungeachtet habe ich die Reduktion ein zweites Mal unter strenger Berücksichtigung der hier vernachlässigten Größen geführt und Ortsunterschiede erhalten, die kaum 1/10 des Gesamtfehlers ausmachten. In der folgenden Tabelle ergeben sich dRekt und dDekl durch Rückrechnung der x,y in  $\alpha, \delta$  und Vergleich mit den auf Eigenbewegung MP verbesserten Katalogwerten. Diese "Anpassungsfehler" (Beob.-Rechn.) geben Aufschluß über die in der Positionsbestimmung zu erwartenden Fehler.

Stern	Rekt. 50,0	MP/J	Rekt. Rechn.	Rekt. Beob.	dRekt
21 Tau	3 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 55,4 <sup>s</sup>	+0,001 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 55,43 <sup>s</sup>	3 <sup>h</sup> 42 <sup>m</sup> 55,49 <sup>s</sup>	+0,9"
19 Tau	3 42 13,6	+0,002	3 42 13,65	3 42 13,51	-2,1
16 Tau	3 41 49,5	+0,001	3 41 49,53	3 41 49,57	+0,6
17 Tau	3 41 54,1	+0,002	3 41 54,15	3 41 54,24	+1,4
23 Tau	3 43 21,2	+0,002	3 43 21,25	3 43 21,16	-1,4
25 Tau	3 44 30,4	+0,002	3 44 30,45	3 44 30,50	+0,8
<u>(20 Tau)</u>	<u>3 42 50,8</u>	<u>+0,002</u>	<u>3 42 50,85</u>	<u>3 42 50,79</u>	<u>-0,9)</u>
Stern	Dekl. 50,0	MP/J	Dekl. Rechn.	Dekl. Beob.	dDekl
21 Tau	+24 <sup>o</sup> 24'00"	-0,04"	+24 <sup>o</sup> 23'58,9"	+24 <sup>o</sup> 23'59,3"	+0,4"
19 Tau	+24 18 43	-0,04	+24 18 41,9	+24 18 42,0	+0,1
16 Tau	+24 08 01	-0,04	+24 07 59,9	+24 07 59,3	-0,6
17 Tau	+23 57 28	-0,04	+23 57 26,9	+23 57 27,0	+0,1
23 Tau	+23 47 39	-0,04	+23 47 37,9	+23 47 38,4	+0,5
25 Tau	+23 57 08	-0,04	+23 57 06,9	+23 57 06,5	-0,4
<u>(20 Tau)</u>	<u>+24 12 47</u>	<u>-0,04</u>	<u>+24 12 45,9</u>	<u>+24 12 47,0</u>	<u>+1,1)</u>

Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS, Methode von VEITHEN - MERTON

Problem

Aus der beobachteten scheinbaren Bahn ist die räumliche Bahn des Himmelskörpers unter Zugrundelegung eines bestimmten Bewegungsmodells zu bestimmen. Dieses Bewegungsmodell wird hier folgendermaßen charakterisiert: Die Bahn des Himmelskörpers ist eine Kegelschnittslinie, in deren (einem) Brennpunkt die Sonne steht - die Bewegung erfolgt nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz. Die Ableitung der geometrischen und physikalischen Kenngrößen der Raumbahn, der Bahnelemente, erfolgt über die heliozentrischen Koordinaten des Himmelskörpers. Deren Berechnung geschieht durch zweckmäßige Variation der numerischen Werte der Verhältnisse der Dreiecksflächen mit Hilfe des Verhältnisses Sektor zu Dreieck. Sind die geometrischen und dynamischen Bahnbedingungen erfüllt, so gilt das Problem als gelöst. Störungen also unberücksichtigt!

Lösung

1. Reduktion der Beobachtungen

Es sind mindestens drei Positionen samt zugehörigen Terminen erforderlich.

1.1. Die Ausgangsdaten seien sphärische Koordinaten  $\alpha_i, \delta_i$  ( $i=1-3$ ) bezogen auf ein mittleres Normaläquinoktium (1950.0) oder auf den Jahresanfang. Es sind an die beobachteten Örter also Präzessions- und Aberrationskorrekturen (siehe Sternfreunde-seminare 1976 und 1977) anzubringen.

1.2. Die drei Termine seien in Ephemeridenzeit (ET) ausgedrückt.  
 $ET = UT + \Delta T$

1.3. Lichtzeit

Die Lichtzeit  $\Delta t_i$  (in mittleren Tagen) =  $0.00577 \Delta_i$  wird im Verbesserungsverfahren mit der Kenntnis der genäherten geozentrischen Distanzen  $\Delta_i$  (in AE) angebracht.

1.4. Tägliche Parallaxe

Der parallaktische Effekt wird dadurch eliminiert, daß man die geozentrischen Sonnenkoordinaten  $(X', Y', Z')$  aufs Topozentrum korrigiert.

$$\begin{aligned} \Delta X &= - \varrho_0 \pi \sin 1'' \cos \vartheta \cos \theta & X &= X' + \Delta X \\ \Delta Y &= - \varrho_0 \pi \sin 1'' \cos \vartheta \sin \theta & Y &= Y' + \Delta Y \\ \Delta Z &= - \varrho_0 \pi \sin 1'' \sin \vartheta & Z &= Z' + \Delta Z \end{aligned} \quad (1)$$

$\varphi_0$  Geozentrische Mittelpunktsabstand des Beobachtungsortes

$\pi$  Äquatoreal-Horizontalparallaxe der Sonne (8,8")

$$\varphi_0 = 0.99832 + 0.0016835 \cos 2\gamma$$

## 2. Die Methode von VEITHEM - MERTON

### 2.1. Grundlagen

Sind  $\alpha_i, \delta_i$  ( $i=1,2,3$ ) die reduzierten Beobachtungen und  $X_i, Y_i, Z_i$  die auf dasselbe Äquinoktium bezogenen rechtwinkligen Sonnenkoordinaten, so erhält man die Komponenten des Richtungsvektors mittels der Beziehungen

$$\begin{aligned} a_i &= \cos \delta_i \cos \alpha_i \\ b_i &= \cos \delta_i \sin \alpha_i \\ c_i &= \sin \delta_i \end{aligned} \quad (2)$$

sowie die Distanzen Erde-Sonne aus

$$R_i^2 = X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2 \quad (3)$$

Aus der Gleichung

$$R_i \cos \nu_i = -(a_i X_i + b_i Y_i + c_i Z_i) \quad (4)$$

ergibt sich  $\nu_i$  als der äußere Winkel an der Erde im Dreieck Sonne-Erde-Planet.

### 2.2. Die erste Näherung

Mittels der drei Beobachtungstermine werden die Zwischenzeiten  $\tau_i$  wie folgt berechnet

$$\tau_1 = k(t_3 - t_2) \quad \tau_2 = k(t_3 - t_1) \quad \tau_3 = k(t_2 - t_1) \quad (5)$$

$$k = 0.0172021$$

Für die Verhältnisse der doppelten Dreiecksflächen  $n_1, n_3$  (Sonne-Erde-Planet) lassen sich folgende Reihenentwicklungen in den  $\tau_i$  und  $r_2$  aufstellen.

$$\begin{aligned} n_1 &= \frac{\tau_1}{\tau_2} + \frac{1}{6} \tau_1 \tau_3 \frac{1 + \frac{\tau_1}{\tau_2}}{r_2^3} + \dots \\ n_3 &= \frac{\tau_3}{\tau_2} + \frac{1}{6} \tau_1 \tau_3 \frac{1 + \frac{\tau_3}{\tau_2}}{r_2^3} + \dots \end{aligned}$$

$$\text{Setzt man nun } n_1^0 = \frac{\tau_1}{\tau_2}, \quad n_3^0 = \frac{\tau_3}{\tau_2} \quad \text{und} \quad (6)$$

$$v_1 = \frac{1}{6} \tau_1 \tau_3 (1 + n_1^0) \quad v_3 = \frac{1}{6} \tau_1 \tau_3 (1 + n_3^0) \quad (7)$$

Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

so mangelt es noch an der Kenntnis des mittleren Radiusvektors  $r_2$  zur Ermittlung von genäherten Werten für  $n_1, n_3$ .

Zur Bestimmung von  $r_2$  sowie der geozentrischen Distanz  $\Delta_2$  des Planeten gestalten sich die beiden notwendigen Gleichungen wie folgt.

a) 
$$\Delta_2 = k - \frac{1}{r_2^3} \quad \text{wobei gilt} \quad (8)$$

$$k = \frac{d_1 n_1^0 - d_2 + d_3 n_3^0}{D} \quad l = - \frac{d_1 v_1 + d_3 v_3}{D}$$

$$d_1 = X_1(b_1 c_3 - b_3 c_1) - Y_1(a_1 c_3 - a_3 c_1) + Z_1(a_1 b_3 - a_3 b_1)$$

$$D = a_1(b_2 c_3 - b_3 c_2) - a_2(b_1 c_3 - b_3 c_1) + a_3(b_1 c_2 - b_2 c_1)$$

b) Die geometrische Bedingung im Dreieck Sonne-Erde-Planet

$$r_2^2 = R_2^2 + 2 R_2 \Delta_2 \cos \nu_2 + \Delta_2^2 \quad (9)$$

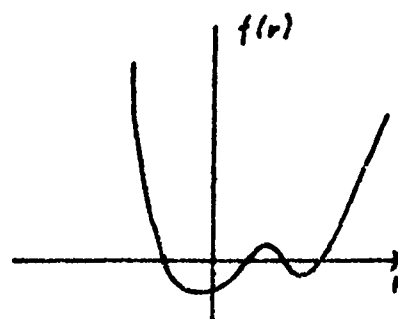
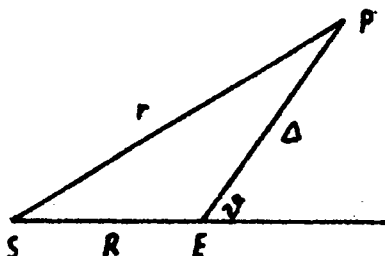
stellt die 2. Gleichung in den Unbekannten  $r_2, \Delta_2$  dar.

Gleichung (8) eingesetzt in (9) ergibt eine Gleichung 8. Grades in  $r$ , genannt die

2.3. Lagrange'sche Schlüsselgleichung (10)

$$r_2^8 - (R_2^2 + 2R_2 \cos \nu_2 k + k^2) r_2^6 + (2R_2 \cos \nu_2 l + 2kl) r_2^3 - l^2 = 0$$

Diese Gleichung wird am besten mit Hilfe eines programmierbaren Taschenrechners gelöst; sie besitzt 4 reelle Wurzeln. Davon ist eine Lösung negativ und somit, da  $r$  als Entfernung immer positiv sein muß, unbrauchbar. Es verbleiben 3 Lösungen von denen eine,  $r=1$ , die Erdbahnlösung darstellt. Ist  $r=1$  die mittlere Lösung, so läßt sich die Entscheidung treffen: Ist  $\nu < \frac{\pi}{2}$  so ist  $r > R$  (dies ist bei den kleinen Planeten im allgemeinen der Fall), ist  $\nu > \frac{\pi}{2}$  so gilt meist  $r < R$ . Sind beide nicht trivialen Lösungen größer oder kleiner als 1, so kann erst durch eine weitere Beobachtung, die dann durch die unzutreffenden Bahnelemente nicht dargestellt wird, die wahre Lösung ermittelt werden.



## Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

Mit den bekannten Größen  $r_2, \Delta_2$  ergeben sich:

$$n_i = n_i^0 + \frac{v_i}{r_2} \quad (i=1,3) \quad (11)$$

und die restlichen geozentrischen Distanzen  $\Delta_1, \Delta_3$  aus den Gleichungen

$$\begin{aligned} a_1 n_1 \Delta_1 + a_3 n_3 \Delta_3 &= a_2 \Delta_2 + n_1 X_1 - X_2 + n_3 X_3 \\ c_1 n_1 \Delta_1 + c_3 n_3 \Delta_3 &= c_2 \Delta_2 + n_1 Z_1 - Z_2 + n_3 Z_3 \end{aligned} \quad (12)$$

wobei die rechten Seiten bekannt sind.

$$r_i^2 = R_i^2 + 2R_i \cos \nu_i \Delta_i + \Delta_i^2 \quad (i=1,3) \quad (13)$$

Zuletzt folgen die ersten Näherungswerte für die rechtwinkligen heliozentrischen Koordinaten der Planetenörter.

$$\begin{aligned} x_i &= a_i \Delta_i - X_i \\ y_i &= b_i \Delta_i - Y_i \\ z_i &= c_i \Delta_i - Z_i \end{aligned} \quad (i=1,2,3) \quad (14)$$

### 3. Das Verbesserungsverfahren

#### 3.1. Terminverbesserung

Unter Berücksichtigung der Lichtzeit ergeben sich die verbesserten Termine  $t_1^V, t_2^V, t_3^V$  in mittleren Tagen zu

$$t_i^V = t_i - A \Delta_i \quad A = 0.00577 \quad (i=1,2,3)$$

und die damit verbundenen Größen

$$\tau_1 = k(t_3^V - t_2^V) \quad \tau_2 = k(t_3^V - t_1^V) \quad \tau_3 = k(t_2^V - t_1^V)$$

sowie

$$n_1^0 = \frac{\tau_1^0}{\tau_2^0} \quad n_3^0 = \frac{\tau_3^0}{\tau_2^0}$$

#### 3.2. Das Verhältnis Sektor / Dreieck $\bar{y}_i$

Die Größen  $\bar{y}_i$  geben das Verhältnis der in der Zwischenzeit  $\tau_i$  aufgespannten Sektorfläche zur zugehörigen Dreiecksfläche. Mittels der Hilfsgrößen  $x_i$  und  $h_i$  ( $i=1,2,3$ )

$$\begin{aligned} x_1^2 &= r_2 r_3 + x_2 x_3 + y_2 y_3 + z_2 z_3 \\ x_2^2 &= r_1 r_3 + x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3 \\ x_3^2 &= r_1 r_2 + x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2 \end{aligned} \quad (15)$$



$$h_1 = \frac{\tau_1^2}{\kappa_1^2 (B\kappa_1 + r_2 + r_3)} \quad B = \frac{2\sqrt{2}}{3} \quad (16)$$

Für  $h_2$  bzw.  $h_3$  sind die Indices zyklisch zu vertauschen.

- ergeben sich die  $\bar{y}_i$  zu

$$\bar{y}_i = 1 + \frac{10}{11} \frac{\frac{11}{9} h_i}{1 + \frac{11}{9} h_i} \quad (17)$$

$$\frac{\frac{11}{9} h_i}{1 + \frac{11}{9} h_i}$$

..... (Hansen'sche Kettenbruch)

Aus dem zweiten Kepler'schen Gesetz folgt

$$n_1 = n_1^0 \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} \quad n_3 = n_3^0 \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_3} \quad (18)$$

Stimmen die so erhaltenen Werte  $n_1, n_3$  mit den aus Gleichung (11) erhaltenen überein, so kann man sofort mit der Ableitung der Elemente beginnen. Ist dies nicht der Fall, ist das Formelsystem (8) bis (19) mit den Werten  $n_1^0, n_3^0$  und

$$v_1 = n_1^0 \left( \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_1} - 1 \right) r_2^3 \quad v_3 = n_3^0 \left( \frac{\bar{y}_2}{\bar{y}_3} - 1 \right) r_2^3 \quad (19)$$

erneut durchzurechnen.

#### 4. Die Ableitung der Bahnelemente

Man berechnet zunächst die Hilfsgrößen

$$\sigma = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2 + z_1 z_2}{r_1^2}$$

$$x^0 = x_3 - \sigma x_1$$

$$y^0 = y_3 - \sigma y_1$$

$$z^0 = z_3 - \sigma z_1$$

$$r^{02} = x^{02} + y^{02} + z^{02} \quad (20)$$

Die wahren Anomalien  $V_1, V_3$  sowie der Parameter  $p$  und die Exzentrizität  $e$  folgen dann aus

$$\sin(V_3 - V_1) = \frac{r^0}{r_3} \quad \cos(V_3 - V_1) = \frac{\sigma r_1}{r_3}$$

$$\sqrt{p} = \frac{r_1 r^0}{\tau_1} \bar{y}_2 \quad q_1 = \frac{p}{r_1} - 1 = e \cos V_1 \quad q_3 = \frac{p}{r_3} - 1 \quad (21)$$

$$e \sin V_1 = \frac{q_1 \cos(V_3 - V_1) - q_3}{\sin(V_3 - V_1)} \quad V_3 = V_1 + (V_3 - V_1)$$

Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

Mit diesen Größen erhält man sofort die große Halbachse  $a$ , sowie die beiden exzentrischen Anomalien  $E_i$

$$a = \frac{p}{(1-e)(1+e)} \quad \tan \frac{1}{2} E_i = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \tan \frac{1}{2} V_i \quad (i=1,3) \quad (22)$$

Die mittleren Anomalien  $M_i$  folgen aus der Keplergleichung, die tägliche Bewegung  $\mu$  aus der zugehörigen Zwischenzeit.

$$M_i = E_i - e(180/\pi) \sin E_i \quad (i=1,3) \quad \mu = \frac{M_3 - M_1}{t_3^v - t_1^v} \quad (23)$$

Die Berechnung der Bahnneigung  $i$ , des Perihelarguments  $\omega$  und der Länge des aufsteigenden Knotens  $\mathcal{A}$  erfolgt zielführend über die Hilfsgrößen  $P_x, P_y, P_z, Q_x, Q_y, Q_z$ .

$$\begin{aligned} P_x &= x_1 \frac{\cos v_1}{r_1} - x^0 \frac{\sin v_1}{r^0} & Q_x &= x_1 \frac{\sin v_1}{r_1} + x^0 \frac{\cos v_1}{r^0} \\ P_y &= y_1 \frac{\cos v_1}{r_1} - y^0 \frac{\sin v_1}{r^0} & Q_y &= y_1 \frac{\sin v_1}{r_1} + y^0 \frac{\cos v_1}{r^0} \\ P_z &= z_1 \frac{\cos v}{r_1} - z^0 \frac{\sin v}{r^0} & Q_z &= z_1 \frac{\sin v}{r_1} + z^0 \frac{\cos v}{r^0} \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \sin i \sin \omega &= P_z \cos \mathcal{A} - P_y \sin \mathcal{A} \\ \sin i \cos \omega &= Q_z \cos \mathcal{A} - Q_y \sin \mathcal{A} \\ \cos \mathcal{A} &= P_x \cos \omega - Q_x \sin \omega \end{aligned} \quad (25)$$

Ekliptikschiefe 1950.0  $\epsilon = 23.4457889^\circ$

### 5. Anhang (Ephemeridenrechnung)

Die Berechnung einer Ephemeride mittels gegebener Bahnelemente kann folgendermaßen geschehen. Gegeben sei: die Größen  $T_0$  (ET),  $M_0$ , (Mittlere Anomalie),  $a, e, i, \omega, \mathcal{A}$  und  $\mu$ , sowie die rechtwinkligen Sonnenkoordinaten  $X, Y, Z$  bezogen auf das gleiche Äquinoktium. Die Ephemeride gelte für den Zeitpunkt  $T_1$ . Es ergibt so  $M_1$  aus der Beziehung

$$M = \mu (T_1 - T_0) + M_0 \quad (26)$$

Aus den Gleichungen (22) und (23) erhält man  $E$  und  $V$ , sowie  $r$  aus der Gleichung

$$r = a (1 - e \cos E) \quad (27)$$

Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

Es folgt die Berechnung der Hilfsgrößen

$$\begin{aligned}
 F &= \cos \delta & P &= -\sin \delta \cos i \\
 G &= \sin \delta \cos \epsilon & Q &= \cos \delta \cos i \cos \epsilon - \sin i \sin \epsilon \\
 H &= \sin \delta \sin \epsilon & R &= \cos \delta \cos i \sin \epsilon + \sin i \cos \epsilon \\
 \tan A &= \frac{F}{P} & a^2 &= F^2 + P^2 \\
 \tan B &= \frac{G}{Q} & b^2 &= G^2 + Q^2 \\
 \tan C &= \frac{H}{R} & c^2 &= H^2 + R^2
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

wobei für die Vorzeichen gilt:

$$\begin{aligned}
 \text{SIGN}(\sin A) &= \text{SIGN}(\cos \delta) \\
 \text{SIGN}(\sin B, \sin C) &= \text{SIGN}(\sin \delta)
 \end{aligned}$$

Für die rechtwinkligen heliozentrischen Gestirnskoordinaten gilt sodann

$$\begin{aligned}
 x &= r a \sin(A + \omega + V) \\
 y &= r b \sin(B + \omega + V) \\
 z &= r c \sin(C + \omega + V)
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

In recht einfacher Weise erhält man zuletzt die sphärischen Koordinaten  $\alpha$ ,  $\delta$  und die geozentrische Distanz  $\Delta$  aus

$$\begin{aligned}
 \tan \alpha &= \frac{Y + y}{X + x} & \Delta^2 &= (X+x)^2 + (Y+y)^2 + (Z+z)^2 \\
 \sin \delta &= \frac{Z + z}{\Delta}
 \end{aligned}
 \tag{30}$$

## 6. Beispiele

Kleinplanet 486 Cremona

Beobachtungen: Ing. Erich Meyer, Davidschlag OÖ

1981 ET

I	März	27.86865	10 <sup>h</sup> 54 <sup>m</sup> 56,73 <sup>s</sup>	+27° 36' 30.4"	
I I	März	29.84226	10 <sup>h</sup> 53 <sup>m</sup> 38.99 <sup>s</sup>	+27° 36' 54.4"	
I I I	April	3.86873	10 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup> 51.37 <sup>s</sup>	+27° 31' 33.1"	
		X	Y	Z	R
I		+0.991 3936	+0.106 3062	+0.046 0898	0.998 1415
I I		+0.987 4458	+0.137 2923	+0.059 5244	0.998 7200
I I I		+0.972 2344	+0.215 4305	+0.093 4017	0.000 1869

$$D = 0.000\ 008837 \quad k = 0.017\ 2021$$

$$\begin{aligned}
 \tau_1 &= 0.086\ 4658 & \tau_2 &= 0.120\ 4161 & \tau_3 &= 0.033\ 9502 \\
 n_1^0 &= 0.718\ 0589 & n_3^0 &= 0.281\ 9411 & v_1 &= 0.000\ 8406 & v_3 &= 0.000\ 6272
 \end{aligned}$$

Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

$$\begin{array}{lll} r_1 = 2.08074 & \Delta_1 = 1.19592 & \\ r_2 = 2.07797 & \Delta_2 = 1.20444 & \longrightarrow \text{Lösung der Gl. (10)} \\ r_3 = 2.07103 & \Delta_3 = 1.22912 & \end{array}$$

$$n_1 = 0.7181526 \quad n_3 = 0.2820110$$

genäherte heliozentrische Koordinaten

$$\begin{array}{lll} x_1 = -2.008\ 7329 & y_1 = 0.190\ 4837 & z_1 = 0.508\ 1314 \\ x_2 = -2.010\ 2644 & y_2 = 0.167\ 3810 & z_2 = 0.498\ 7694 \\ x_3 = -2.012\ 9902 & y_3 = 0.108\ 4490 & z_3 = 0.474\ 6348 \end{array}$$

Verbesserungsverfahren

$$t_1^o = 27.86175 \quad t_2^v = 29.83531 \quad t_3^v = 3.86164$$

$$n_1^o = 0.718\ 0584 \quad n_2^o = 0.281\ 9416$$

$$\bar{y}_1 = 1.000\ 13958 \quad \bar{y}_2 = 1.000\ 27020 \quad \bar{y}_3 = 1.000\ 02137$$

$$\begin{array}{lll} n_1 = 0.718\ 1522 & n_3 = 0.282\ 0117 & \text{weiterer Iterationsschritt} \\ v_1 = 0.000\ 8416 & v_3 = 0.000\ 6295 & \text{notwendig} \end{array}$$

$$n_1 = 0.718\ 1523 \quad n_3 = 0.282\ 0118$$

endgültige heliozentrische Koordinaten

$$\begin{array}{lll} x_1 = -2.008\ 3671 & y_1 = 0.190\ 3770 & z_1 = 0.507\ 9321 \\ x_2 = -2.009\ 8993 & y_2 = 0.167\ 2723 & z_2 = 0.498\ 5700 \\ x_3 = -2.012\ 6345 & y_3 = 0.108\ 3384 & z_3 = 0.474\ 4407 \end{array}$$

$$\bar{y}_1 = 1.000\ 1397 \quad \bar{y}_2 = 1.000\ 2704 \quad \bar{y}_3 = 1.000\ 2138$$

$$n_1 = 0.718\ 1523 \quad n_3 = 0.282\ 0178 \quad \text{Differenz} = 0$$

Elemente

$$\begin{array}{lll} p = 2.310\ 4497 & e = 0.166\ 7839 & = 9.60\ 088^\circ \\ v_1 = 311.54707^\circ & v_3 = 313.97967^\circ & a = 2.37655\ \text{AE} \end{array}$$

$$E_1 = 318.36130^\circ \quad E_3 = 320.51587^\circ$$

$$M_1 = 324.71062^\circ \quad M_3 = 326.59220^\circ \quad \mu = 0.268802^\circ$$

$$\underline{i = 11.14261^\circ} \quad \underline{\omega = 124.54922^\circ} \quad \underline{\Lambda = 93.53159^\circ}$$

$$\underline{M_0 = 354.04720^\circ} \quad \underline{T_0 = 1981.07.15}$$

Gegenüberstellung der Bahnelemente aus dem Jahrbuch kleiner Planeten:

$$M_0 \dots \text{mittlere Anomalie zu } T_0 \quad 354.51454^\circ$$

Fortsetzung Referat: Bahnbestimmung nach dem Prinzip von GAUSS ...

w	Perihelargument	123.95952°	(1950.0)
♁	Knotenlänge	93.90662°	(1950.0)
i	Bahnneigung	11.08813°	(1950.0)
e	Num. Exzentrizität	0.1630800	
a	Halbachse	2.35239 AE	
μ	mittl. tägl. Bewegung	0.27317°	

Mit den aus dem Beispiel hervorgegangenen Elementen wurden zwei weitere Beobachtungen nachgerechnet.

1) t = April 3.85059 ET 1981

$$\begin{array}{lll} \alpha_g = 10^h 50^m 52.27^s & \alpha_b = 10^h 50^m 51.96^s & \cos \delta \cdot \Delta \alpha = 0.27^s \\ \delta_g = 27^\circ 31' 35.7'' & \delta_b = 27^\circ 31' 35.8'' & \Delta \delta = 0.1'' \end{array}$$

2) t = Jänner 29.97564 ET 1981

$$\begin{array}{lll} \alpha_g = 11^h 34^m 26.06^s & \alpha_b = 11^h 34^m 24.77^s & \cos \delta \cdot \Delta \alpha = 0.3' \\ \delta_g = 19^\circ 42' 49.3'' & \delta_b = 19^\circ 38' 02.5'' & \Delta \delta = 4.7' \end{array}$$

g... gerechnet b... beobachtet

Der Vergleich zeigt, daß die gewonnenen Elemente (ohne jegliche Störungsrechnung) das Auffinden des Kleinplaneten auch nach Monaten gestatten.

Kleinplanet 13 Egeria (s. Referat "Ephemeriden Kleiner Planeten"):

Berechnung einer Ephemeride nach Kapitel 5 für den Termin

$$t_1 = 1982 \text{ 09 } 18.0$$

Die benötigten Bahnelemente lauten:

$$\begin{array}{lll} T_0 = 1982 \text{ 08 } 19.0 & M_0 = 234.20218^\circ & X = -0.999 \text{ 9479} \\ w = 79.94192^\circ & \mathcal{A} = 42.89013^\circ & Y = 0.091 \text{ 4512} \\ i = 16.50567^\circ & e = 0.0885345 & Z = 0.039 \text{ 6644} \\ \mu = 0.238432^\circ & a = 2.5756866 \text{ AE} & \end{array}$$

Es ergeben sich die Größen zu

$$\begin{array}{lll} M_1 = 241.35514^\circ & x = 2.636 \text{ 6989} & \alpha = 0^h 26.1^m \\ E_1 = 237.09622^\circ & y = 0.095 \text{ 4700} & \delta = -17^\circ 53' \\ V_1 = 232.93116^\circ & z = -0.571 \text{ 2659} & \Delta = 1.73104 \text{ AE} \\ r = 2.69956 \text{ AE} & & \end{array}$$

Die zugehörigen Jahrbuchswerte lauten  $\alpha = 0^h 26.0^m$   $\delta = -17^\circ 53'$

Literatur G.Stracke, Bahnbestimmung d. Planeten u. Kometen 1929  
J.Meeus, Astronomical Formulae for Calculators 1978

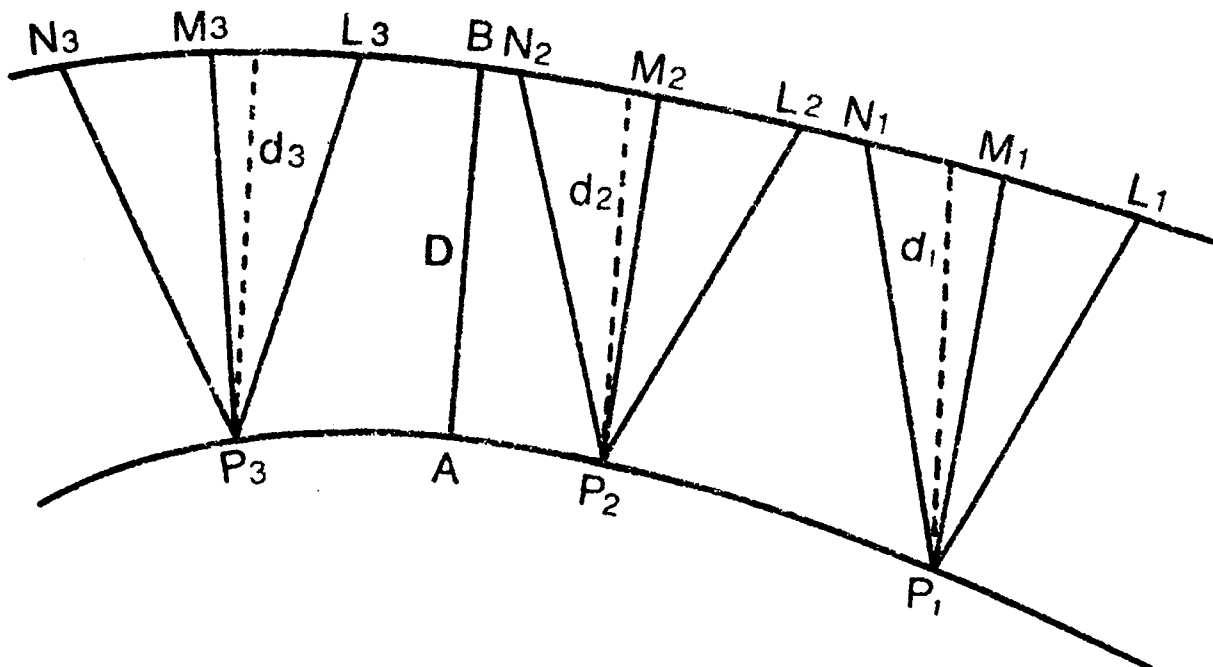
Gastvortrag: Der kleinste Abstand zweier elliptischer Bahnen.

Problemstellung und Lösungsweg

Es sind die Elemente zweier elliptischer Bahnen gegeben, und zwar  $(a, e, i, \Omega, \omega)$  und  $(a', e', i', \Omega', \omega')$ . Zu ermitteln ist das Minimum bzw. die Minima des Abstandes zwischen den beiden Bahnen. Es handelt sich um ein raumgeometrisches Problem.

Die nun zu beschreibende Methode gibt in allen Fällen genaue Ergebnisse, auch wenn es sich um kleine oder große Bahnexzentrizitäten und Bahnneigungen handelt. Das Verfahren ist indirekt, das Resultat ergibt sich durch Iterationen; die Rechnung muß für jedes Abstandsminimum einzeln durchgeführt werden - denn es kann, je nach den Elementen, entweder zwei Minima (wie etwa bei Erde und Apollo), oder auch nur eines (wie etwa bei Erde und Eros) geben.

In der Abbildung seien  $P_1P_3$  und  $L_1N_3$  die Bahnen zweier Planeten in der Nachbarschaft ihres (unbekannten) geringsten Abstandes  $D$ . Auf der ersten Bahn nehmen wir einen beliebigen Punkt  $P_1$  an, auf der zweiten drei ebenso beliebige, aber äquidistante Punkte  $L_1, M_1, N_1$  an. "Äquidistant" bedeutet hier, daß die drei Punkte um gleiche Unterschiede in Länge von einander abstehen, beispielsweise um  $2^\circ$ . Nun berechnen wir die Abstände  $P_1L_1, P_1M_1, P_1N_1$ . Wurden die Punkte  $L_1, M_1, N_1$  richtig gewählt, muß die Entfernung  $P_1M_1$  kleiner sein als die von  $P_1L_1$  und  $P_1N_1$ ; das bedeutet aber, daß der Abstand zwischen  $P_1$  und der zweiten Bahn im Intervall zwischen  $L_1$  und  $N_1$  ein Minimum erreichen muß.



Fortsetzung Gastvortrag: Abstandsminimum zweier elliptischer Bahnen.

Berechnung

Bedeutet  $\lambda$  die Länge eines Planeten in der Bahn - der kleine Unterschied gegenüber der ekliptikalischen Länge ist hier nicht wichtig - findet man den zugehörigen Radiusvektor  $r$  aus der Beziehung

$$r = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{1 + e \cdot \cos(\lambda - \Omega - \omega)}$$

und die heliozentrischen, ekliptikalischen, rechtwinkligen Koordinaten aus

$$\begin{aligned} x &= r \cdot (\cos \Omega \cdot \cos u - \sin \Omega \cdot \sin u \cdot \cos i) \\ y &= r \cdot (\sin \Omega \cdot \cos u + \cos \Omega \cdot \sin u \cdot \cos i) \\ z &= r \cdot \sin u \cdot \sin i \end{aligned} \quad (1)$$

worin  $u = \lambda - \Omega$  ist.

Sind  $x, y, z$  die rechtwinkligen Koordinaten für  $L_1$  und  $X, Y, Z$  jene für  $P_1$ , so ergibt sich der Abstand  $P_1 L_1$  aus der wohlbekannten Formel

$$\Delta_1 = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2 + (Z - z)^2} \quad (2)$$

Ähnlich finden wir die Abstände  $P_1 M_1 = \Delta_2$  und  $P_1 N_1 = \Delta_3$ . Natürlich brauchen wir  $X, Y, Z$  für  $P_1$  nur einmal zu berechnen. Der kleinste Abstand  $d_1$ , den der Punkt  $P_1$  von der zweiten Bahn hat, ist dann gegeben durch

$$d_1 = \Delta_2 - \frac{(\Delta_3 - \Delta_1)^2}{8 \cdot (\Delta_3 - 2 \cdot \Delta_2 + \Delta_1)} \quad (3)$$

Die drei Punkte  $L_1, M_1, N_1$  sind richtig gewählt worden, wenn  $d_1$  zwischen  $L_1$  und  $N_1$  fällt, das heißt,

$$\frac{\Delta_3 - \Delta_1}{2 \cdot (\Delta_3 - 2 \cdot \Delta_2 + \Delta_1)} \text{ liegt zwischen } -1 \text{ und } +1.$$

Nun betrachten wir den zweiten Punkt auf der ersten Bahn,  $P_2$ .

Nach der gleichen Methode berechnen wir mit den auf der zweiten Bahn gewählten Punkten  $L_2, M_2, N_2$  den kürzersten Abstand  $d_2$ , den  $P_2$  von dieser Bahn hat.

## Fortsetzung Gastvortrag: Abstandsminimum zweier elliptischer Bahnen.

Schließlich wählen wir einen dritten Punkt auf der ersten Bahn,  $P_3$ , in solcher Art, daß  $P_1, P_2, P_3$  in heliozentrischer Länge äquidistant sind. Wir berechnen den kürzesten Abstand  $d_3$ , den  $P_3$  von der zweiten Bahn hat, ganz wie beschrieben.

Wenn wir  $P_1, P_2, P_3$  auf der ersten Bahn richtig gewählt haben, wird  $d_2$  kleiner als  $d_1$  und kleiner als  $d_3$  sein. Wie oben erläutert, berechnen wir das Abstandsminimum  $D$  nach

$$D = d_2 - \frac{(d_3 - d_1)^2}{8 \cdot (d_3 - 2 \cdot d_2 + d_1)}$$

Wenn allerdings  $P_1, P_2, P_3$  zu weit auseinanderliegen - und das kann bei der ersten Näherung immerhin passieren - muß die ganze Rechnung mit enger gewählten Punkten wiederholt werden. Das kann besonders bei kleinem  $D$  eintreten.

Wir wollen uns gut merken, daß es sich um ein rein geometrisches Problem handelt: Wir berechnen das Abstandsminimum oder die Abstandsminima zwischen zwei elliptischen Bahnen im Raum, nicht jenes zwischen zwei auf diesen laufenden Planeten. Diese würden ihren geringstmöglichen Abstand nur erreichen, wenn sie zugleich in den Punkten A und B stünden.

### Beispiel

Als Beispiel wollen wir die Minimalabstände zwischen den Bahnen von 1863 Antinous und Mars berechnen. Die Elemente von 1863 Antinous finden wir auf Seite 47 der "Ephemeriden der Kleinen Planeten für 1982", Leningrad, 1981 (siehe diesbezügliches Referat):

$$\begin{aligned} a &= 2,259\ 7040\ \text{AE} \\ e &= 0,606\ 5779 \\ i &= 18,418\ 51^\circ \\ \Omega &= 346,999\ 17^\circ \\ \omega &= 266,829\ 47^\circ \end{aligned}$$

Diese Elemente gelten bekanntlich nur für die Epoche 1982 Aug.19,0; sie verändern sich langsam unter dem gravitationellen Störeinfluß der Planeten und deshalb wird die gefundene Minimaldistanz  $D$  auch nur für August 1982 gelten. Die angularen Elemente  $i, \Omega, \omega$  sind in Graden ausgedrückt und auf das Standardäquinoktium 1950,0 bezogen.

Um diese Bahn mit jener des Mars vergleichen zu können, müssen die Marselemente auch auf das Äquinoktium 1950,0 bezogen sein, nicht



Fortsetzung Gastvortrag: Abstandsminimum zweier elliptischer Bahnen.

etwa auf das mittlere Äquinoktium des Datums, wie gewöhnlich in den astronomischen Lehrbüchern angegeben wird. Ich gebe diese auf 1950,0 bezogenen Elemente für Merkur bis Mars in der Tabelle am Ende an. Für unser Beispiel, mit der Epoche 1982 Aug.19,0 = 1982,63 und daher  $T = +0,8262$  (hohe Genauigkeit ist hier nicht nötig) erhalten wir für Mars:

$$\begin{aligned} a' &= 1,523\ 6884\ \text{AE} \\ e' &= 0,093\ 388\ 92 \\ i' &= 1,847\ 335^\circ \\ \Omega' &= 49,075\ 799^\circ \\ \omega' &= 286,207\ 790^\circ \end{aligned}$$

Aus einer groben Skizze finden wir, daß es zwei Minimalabstände zwischen den Bahnen von Mars und 1863 Antinous geben muß und daß diese nahe den Längen  $150^\circ$  und  $340^\circ$  liegen müssen. Auch ohne Skizze können wir diese genäherten Längen finden, wenn wir auf jeder Bahn Punkte mit der gleichen Länge in der Bahn betrachten und deren rechtwinkelige Koordinaten nach Formel (1) und ihre Abstände von einander nach Formel (2) berechnen. Nun wiederholen wir das mit anderen Längen in der Bahn, etwa in Schritten von  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  oder  $20^\circ$  rund um die beiden Bahnen herum und erhalten in unserem Fall:

Gemeinsame Länge in der Bahn	Abstand (AE)
$0^\circ$	0,359
10	0,598
.	.
.	.
.	.
$140^\circ$	0,307
$150^\circ$	<u>0,104</u>
$160^\circ$	0,178
$170^\circ$	0,326
.	.
.	.
.	.
$330^\circ$	0,158
$340^\circ$	<u>0,017</u>
$350^\circ$	0,157
$360^\circ$	0,359

Wählen wir nun Längen des Mars ( $\lambda_1$ ) und des Antinous ( $\lambda_2$ ) im Abstand von  $1^\circ$  in der Nachbarschaft von  $340^\circ$ , so folgen die Abstände:

Fortsetzung Gastvortrag: Abstandsminimum zweier elliptischer Bahnen.

$\lambda_1$	$\lambda_2 = 339^\circ$	$340^\circ$	$341^\circ$	$342^\circ$
$338^\circ$	0,044339			
$339^\circ$	0,030946	0,035394		
$340^\circ$	0,033085	0,016898	0,031927	
$341^\circ$		0,021783	0,009605	0,035937
$342^\circ$			0,018231	0,020084
$343^\circ$				0,026340

Der Abstand zwischen einem Punkt der Länge  $\lambda_1$  auf der ersten Bahn und einem Punkt der Länge  $\lambda_2$  auf der zweiten Bahn ist in der Tat eine Funktion dieser beiden Variablen  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$ , die von einander unabhängig sind. Um den Minimalabstand der beiden Bahnen zu finden, müssen wir das Minimum der Funktion  $D(\lambda_1, \lambda_2)$  berechnen. Die Berechnung vereinfacht sich auf die Suche nach dem Minimum einer Funktion von nur einer Variablen, wenn wir zunächst  $\lambda_2 = \text{konstant}$  setzen. Mit Formel (3) erhalten wir

für $\lambda_2 = 339^\circ$ ,	Minimum = 0,029927
$340^\circ$	0,015908
$341^\circ$	0,008847
$342^\circ$	0,019563

Offensichtlich liegt das Minimum nahe  $\lambda_2 = 341^\circ$ . Da es ein ziemlich scharfes Minimum ist, müssen wir die Rechnung um die Länge  $341^\circ$  mit einem viel kleineren Intervall wiederholen. Jetzt nehmen wir das Intervall  $0,1^\circ$  und erhalten folgende Tabelle:

$\lambda_1$	$\lambda_2 = 340,8^\circ$	$340,9^\circ$	$341,0^\circ$
$340,9^\circ$	0,007871	0,009451	0,011509
$341,0^\circ$	0,006646	0,007768	0,009605
$341,1^\circ$	0,006168	0,006559	0,007983
$341,2^\circ$	0,006600	0,006113	0,006847
$341,3^\circ$		0,006586	0,006458
$341,4^\circ$			0,006943

Verwenden wir wieder Formel (3), erhalten wir:

für $\lambda_2 = 340,8^\circ$ ,	Minimum = 0,006168
$340,9^\circ$	0,006113
$341,0^\circ$	0,006457

und aus den letzten drei Werten das Minimum Minimum 0,006087 AE oder 911 00 km. Zur Übung könnten wir das andere Minimum bei  $150^\circ$  berechnen!

TABELLE

Mittlere Elemente der Planeten Merkur bis Mars, 1950,0

Die Elemente  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$  sind auf das Standard-Äquinoktium 1950,0 bezogen und in Graden ausgedrückt. T bedeutet die Zeit, gemessen in Julianischen Jahrhunderten von 1900 Januar 0,5 ET = JD 2 415 020,0.

Merkur

$$\begin{aligned} a &= 0,387\ 098\ 6 \\ e &= 0,205\ 614\ 21 + 0,000\ 020\ 46 \cdot T - 0,000\ 000\ 030 \cdot T^2 \\ i &= 7,006\ 790 - 0,005\ 967\ 1 \cdot T + 0,000\ 000\ 70 \cdot T^2 \\ \Omega &= 47,801\ 352 - 0,125\ 504\ 1 \cdot T - 0,000\ 088\ 63 \cdot T^2 \\ \omega &= 28,796\ 761 + 0,284\ 309\ 9 \cdot T + 0,000\ 074\ 64 \cdot T^2 \end{aligned}$$

Venus

$$\begin{aligned} a &= 0,723\ 331\ 6 \\ e &= 0,006\ 820\ 69 - 0,000\ 047\ 74 \cdot T + 0,000\ 000\ 091 \cdot T^2 \\ i &= 3,394\ 552 - 0,000\ 822\ 6 \cdot T - 0,000\ 032\ 51 \cdot T^2 \\ \Omega &= 76,368\ 593 - 0,277\ 713\ 9 \cdot T - 0,000\ 140\ 39 \cdot T^2 \\ \omega &= 54,493\ 527 + 0,289\ 324\ 9 \cdot T - 0,001\ 144\ 35 \cdot T^2 \end{aligned}$$

Erde

$$\begin{aligned} a &= 1,000\ 000\ 2 \\ e &= 0,016\ 751\ 04 - 0,000\ 041\ 8 \cdot T - 0,000\ 000\ 126 \cdot T^2 \\ i &= -0,006\ 540 + 0,013\ 0855 \cdot T - 0,000\ 009\ 33 \cdot T^2 \\ \Omega &= 174,528\ 170 - 0,241\ 573\ 5 \cdot T + 0,000\ 007\ 94 \cdot T^2 \\ \omega &= 287,390\ 758 + 0,564\ 707\ 3 \cdot T + 0,000\ 136\ 10 \cdot T^2 \end{aligned}$$

Mars

$$\begin{aligned} a &= 1,523\ 688\ 4 \\ e &= 0,093\ 312\ 90 + 0,000\ 092\ 064 \cdot T - 0,000\ 000\ 077 \cdot T^2 \\ i &= 1,854\ 113 - 0,008\ 183\ 9 \cdot T - 0,000\ 023\ 05 \cdot T^2 \\ \Omega &= 49,319\ 212 - 0,294\ 049\ 7 \cdot T - 0,000\ 644\ 35 \cdot T^2 \\ \omega &= 285,597\ 172 + 0,738\ 593\ 4 \cdot T + 0,000\ 466\ 47 \cdot T^2 \end{aligned}$$

Jean Meeus  
Heuvestraat 31  
B-3071 Erps-Kwerps  
Belgien

Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten.

Es ist vielfach bekannt, daß sich die Mehrzahl der Asteroiden in einem breiten Gürtel zwischen Mars und Jupiter in beinahe kreisförmigen Bahnen mit eher geringen Neigungen um die Sonne bewegt. Diese grobe Betrachtungsweise ist weitestgehend irreführend; die sehr komplizierte Aufspaltung in verschiedene Typen, das Auftreten von Familien und extremen Einzelobjekten sowie die Gruppierung zu Familien außerhalb des Gürtels und das Auftreten von Lücken innerhalb des Gürtels sind die Faktoren, die erst ein komplettes Bild der Bewegungsform im Asteroidengürtel adäquat zu beschreiben vermögen. In Tabelle 1 sind einige typische Bahnen aufgelistet. Interessant sind etwa jene mit großen Neigungen wie Pallas und Tantalus, weiters die Apolloasteroiden, die die Erdbahn kreuzen, die Hilda- und Thulefamilie und Chiron, der zwischen Saturn und Uranus als exotischer Asteroid eine planetenähnliche Bahn hat.

Nach dieser kurzen Einführung soll der weitere Überblick über die Bahnen der Kleinen Planeten folgendermaßen gegliedert werden.

1. die Planetenfamilien werden besprochen
2. es wird auf das Auftreten der Lücken näher eingegangen
3. wird die diesbezügliche Forschungsarbeit am Grazer Astronomischen Institut kurz beschrieben.

Die Einteilung in Planetenfamilien ist mehr oder weniger willkürlich und erfolgt aufgrund von ähnlichen Bahneigenschaften, wobei der Name der Familie entsprechend dem Hauptvertreter bzw. dem erstentdeckten Planetoiden gegeben wurde. Schon am Beginn des 20. Jahrhunderts fand Hirayama 7 Familien im Asteroidengürtel: 1 Ceres, 6 Hebe, 17 Thetis, 31 Euphrosyne, 41 Daphne, 49 Pales, 56 Melete, wobei Flora mit 256 Mitgliedern die populationsreichste und die Pallasfamilien mit nur 8 die schwächste Gruppe darstellen. Die von mir übernommene Einteilung in 72 Familien im "main belt" ist auf Kozai (1978) zurückzuführen, andere Astronomen zählen sogar über 100 Familien, wobei zum Teil die großen Gruppierungen noch weiter unterteilt worden sind.

Hirayama verwendet als Kriterien die Halbachse (die der totalen Energie entspricht), die Neigung und auch die Exzentrizität, die die spezifischen Gruppeneigenschaften einer Familie darstellen. Tabelle 2 zeigt die komplette Liste der 72 Familien mit den typischen Eigenschaften und der Gesamtzahl der Mitglieder.

# Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

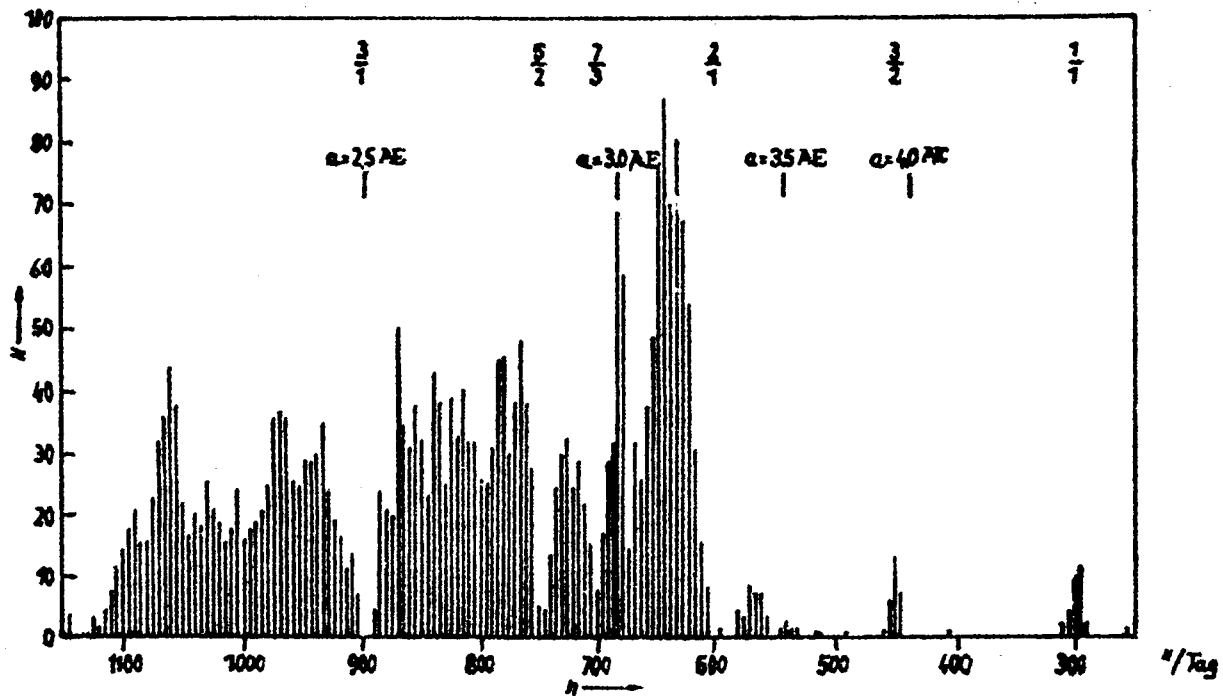


Abb.1: Häufigkeitsverteilung von 3100 Asteroiden nach der mittleren täglichen Bewegung

In einem Diagramm (Abb.1) lassen sich die Familien gut erkennen; charakteristisch ist aber ebenso das Auftreten von Lücken im Gürtel der Planetoiden; bei gewissen Halbachsen  $a$  (entspricht der mittleren Bewegung  $n$  nach dem 3. Keplergesetz  $\kappa^2 = n^2 a^3$ ) treten keine oder fast keine Kleinplaneten auf. Die über 3000 in dem Diagramm verwendeten Kleinplaneten zeigen neben den Lücken bei gewissen Kommensurabilitäten zusätzliche Familien außerhalb des Hauptgürtels der Asteroiden. Kommensurabel ist das Verhältnis der mittleren Bewegung des Jupiter  $n$  zur mittleren Bewegung des Kleinplaneten  $n'$  wenn es in kleinen ganzen Zahlen ausdrückbar ist; man spricht auch von Resonanz der Bewegungen. Das Nebeneinander von Lücken und Familien ist ein überraschender Befund, wenn man die Methode der allgemeinen Störungstheorie anwendet, die gerade bei solchen Kommensurabilitäten auf große Störungen der Bahnelemente hinweist. Kurz rekapituliert läßt sich dies so darstellen, daß ein Element  $\sigma$  ( $\sigma = a, e, i, \Omega, \omega, M$ ) als

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_1 t + \sum_{j, k \neq 0} \frac{A_{jk}^\sigma}{jn + kn'} \cos \left[ (jn + kn') \cdot t + D_{jn} \right]$$

darstellbar ist. Durch das Auftreten von  $jn + kn'$  im Nenner kann es zu großen periodischen Störungen des jeweiligen Elementes kommen. Sind die Summationsindizes  $j$  und  $k$  gerade gleich dem umgekehrten negativen Verhältnis von  $n$  zu  $n'$

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

$(\frac{n'}{n} = -\frac{j}{k})$ , so ist der Nenner annähernd 0 und die Amplitude bzw. die Störung sehr groß. Die wohl bekannteste Erscheinung dieser Art ist die große Ungleichheit, jene mit einer 880jährigen Periode auftretende Störung der Bahnelemente des Jupiter und Saturn infolge ihrer kommensurablen Bewegung ( $n_1 = 0.08309/\text{Tag}$ ,  $n_2 = 0.03346$ ;  $n_1:n_2 \sim 5:2$ ). Aufgrund der Störungen im Resonanzfall mit Jupiter läßt sich theoretisch recht gut das Auftreten der Lücken im Asteroidengürtel verstehen. Dies war auch schon die Theorie von Kirkwood in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, mit der er die 3:1, 5:2, 7:3 und 2:1 Lücken im Hauptgürtel der Asteroiden zu erklären wußte. Wie steht es aber dann mit den Gruppen bei den Resonanzen 3:2 (Hildagruppe), 4:3 (Thulegruppe) und 1:1 (Gruppe der Trojaner)? Hier versagt also die Theorie! Insgesamt kann gesagt werden, daß alle vier nun folgenden "Erklärungen" mehr oder weniger in der Luft hängen und eine wissenschaftlich einwandfreie Theorie für das Auftreten von Lücken und Familien nebeneinander noch nicht vorliegt.

1. Die Gravitationshypothese ist nichts anderes als die ursprünglich von Kirkwood vorgelegte Theorie der großen Störungen im Kommensurabilitätsfall. Dagegen sprechen nicht nur die Existenz oben erwähnter Familien, sondern auch die numerischen Resultate: beim numerischen integrieren von vielen anfangs gleich verteilten Bahnen (Halbachsen zwischen zwei Astronomischen Einheiten und vier Astronomischen Einheiten) erscheinen diese Lücken auch bei Langzeitintegrationen nicht.
2. Die Kosmogonische Theorie postuliert, daß in den Lücken aufgrund der Störungen von Jupiter keine "planetisimals" entstehen können. Planetisimals sind kleine Urplaneten, aus denen sich durch Zusammenstoß und Konglomeration die späteren Asteroiden bzw. Planeten bilden. Gegen obige These spricht der lange Entwicklungszeitraum von 4,5 Mrd. Jahren, in denen eine weitestgehende Vermischung des ursprünglichen Zustandes hätte stattfinden müssen.
3. Versucht man das Phänomen statistisch zu erklären, indem man starke periodische Störungen der Halbachsen  $a$  durch Jupiter mit nur kurzen Verweilzeiten im Bereich in der Lücke (= bestimmter Halbachsenwert) annimmt, sodaß der Planetoid kaum beobachtbar ist.
4. Sollen Zusammenstöße durch stark exzentrische Bahnen der ursprünglich in der Lücke befindlichen Asteroiden mit den Nachbarobjekten für deren Auftreten verantwortlich sein.

Auch gegen die letzten beiden Erklärungsversuche sprechen die numerischen Resultate, die von verschiedenen Wissenschaftlern durchgeführt worden sind. Dazu ist aber zu bemerken, daß durchgehend nur mit vereinfachten Modellen gerechnet

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

wurde und auch die Integrationen über  $10^5$  Jahre im Vergleich zum Alter des Planetoidengürtels von  $10^9$  Jahren sicherlich zu kurz sind. Somit sind wir von der Lösung des Problems des Auftretens der Kirkwoodlücken einerseits und dem Erscheinen der Familien andererseits weiter entfernt denn je.

Auf spezielle Objekte wie den kometenähnlichen Chiron und die die Erdbahn kreuzenden Apolloasteroiden, wie etwa Icarus, ist schon in der Tabelle 1 verwiesen worden.

Eine sehr interessante Familie ist die der Trojaner, die bei der 1:1 Resonanz mit Jupiter beobachtbar ist. Sie sammeln sich in zwei Gruppen um die Lagrangepunkte  $L_4$ , der dem Jupiter vorausläuft und dem Lagrangepunkt  $L_5$ , der spiegelbildlich zu  $L_4$  dem Jupiter nachläuft. In den Namen dieser Gruppierung sind die Helden des Trojanischen Krieges verewigt, wobei die beiden feindlichen Lager in  $L_4$  und  $L_5$  getrennt sind. Nach der Theorie der allgemeinen Störungsrechnung sollten, wie vorhin sehr summarisch dargestellt wurde, beide Gruppen starken Störungen unterliegen. Bei der Betrachtungsweise im vereinfachten Modell des eingeschränkten Dreikörperproblems, in dem Jupiter eine Kreisbahn um die Sonne beschreibt und der Asteroid als masseloser Körper sich in die Nähe von  $L_4$  bzw.  $L_5$  bewegt, sind die Trojanerbahnen aber stabil.

Die bei den Trojanern auftretenden sogenannten Librationsbahnen sind Gegenstand intensiver Forschungen unseres Institutes in Graz, womit ich nun zuletzt auf zum Teil eigene wissenschaftliche Arbeiten zu sprechen komme. Unsere Beschäftigung mit den Bewegungen der Kleinplaneten ist vielfach:

1. Ein Teil ist der Theorie der Bewegung der Asteroiden gewidmet, die wir im elliptischen Dreikörperproblem studieren, in dem Jupiter eine Ellipsenbahn um die Sonne beschreibt. In einem vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützten Projekt wird das genannte Modell theoretisch und auch in der Anwendung auf Trojanerbahnen untersucht. Hiezu ist eine Vielzahl von Bahnen von Pseudotrojanern integriert und gleichzeitig der Versuch unternommen worden, mit Reihenentwicklungen Aussagen über die zukünftigen Bahnen und deren qualitativen Weiterentwicklung zu treffen. Unsere derzeit noch vorläufigen Resultate scheinen im elliptischen Modell auf starke Störungen der Bewegung hinzuweisen, wie sie auch aus der allgemeinen Störungsrechnung abzuleiten sind.

2. Am Observatorium Lustbühel haben wir die Möglichkeit, mit einer Satellitenkamera von Zeiss Planetenpositionen zu bestimmen, die dann zur Bahnverbesserung

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

herangezogen werden können. Die Bahnverbesserung wird von uns in zwei Richtungen hin durchgeführt:

a) nach einer klassischen Methode der differentiellen Korrektur von Schrutka-Rechtenstamm, die am Beispiel des Adonis sehr gute Resultate gebracht hat. Der 1936 entdeckte Kleinplanet konnte 1977 wieder beobachtet werden, doch gelang es vorher durch eine definitive Bahnbestimmung nicht, diese beiden Beobachtungsreihen in befriedigender Weise darzustellen. Mit obiger erwähnter Methode waren wir in der Lage mit einem relativ kleinen mittleren Restfehler für die Einzelbeobachtung von 1 Bogensekunde eine definitive Bahn zu bestimmen.

b) verwenden wir eine statistische "Filtermethode" gemeinsam mit französischen Kollegen, die hervorragend geeignet ist, sofort jede neue Beobachtung mit vollem Gewicht in einer Bahnverbesserung zu verwerten. Am Testfall des Kleinplaneten Vesta konnten wir die Effizienz des "Filters" zeigen, der bereits in ähnlicher Weise bei künstlichen Erdsatelliten zur Bahnbestimmung und nachheriger Bahnkorrektur verwendet wird.

3. arbeiten wir an einer neuen numerischen Integrationsmethode von Bahnen (und allgemein von Differentialgleichungssystemen) mit Hilfe von Lie-Reihen, wobei wir bisher sehr ermutigende Ergebnisse erzielen konnten. Durch Adaption an das Modell für Kleinplaneten (elliptisch eingeschränktes Dreikörperproblem) wollen wir große Zeiträume damit integrieren, was durch automatische Anpassung der Schrittweite möglich sein wird. Besonders gut geeignet ist die erwähnte Methode auch für Kleinrechner, wobei vor allem die übersichtliche Programmgestaltung und der schnelle Programmablauf ein wesentlicher Vorteil sind.

Abschließend möchte ich den aktuellen Wissensstand über die Bewegungen der Planetoiden noch einmal zusammenfassen. Die oskulierenden Bahnelemente der über 2000 nummerierten Kleinplaneten können als sehr gut gesichert angesehen werden, sodaß sich daraus die Bahnen für die nahe Zukunft mit numerischen Integrationsverfahren gut bestimmen lassen. Von den restlichen über 18000 bekannten Objekten fehlen uns genügend genaue Beobachtungen um gute Bahnelemente, also die sogenannte definitive Bahn, ableiten zu können; im allgemeinen ist dies aus nur einer Erscheinung des Asteroiden nicht möglich. Die modernen Methoden der Bahnbestimmung sind also genauso wie die vorhin erwähnte Ephemeridenrechnung mit den heutigen elektronischen Rechnern im wesentlichen kein Problem und rasch lösbar. Schwierig ist es aber mit dem Verständnis des allgemeinen Erscheinungsbildes der sehr unterschiedlichen Bahnen der Asteroiden; hier stehen wir trotz intensiver Forschungen noch am Anfang eines weiten und interessanten Betätigungsfeldes.



# Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

Tabelle 1

## Ausgewählte Kleinplaneten

		Perihel- abstand	Knoten	Neigung	Exzentrizität	mittlere Be- wegung in $^{\circ}$ /Tag	Halbachse in AE	Bemerkungen
1	Ceres	73 $^{\circ}$ .54	80 $^{\circ}$ .05	10 $^{\circ}$ .60	0.0783	0.2140	2.76	die "großen" Kleinplaneten
2	Pallas	310.04	172.71	34.79	0.2326	0.2133	2.77	
3	Juno	247.02	169.88	13.00	0.2572	0.2260	2.66	
4	Vesta	150.13	103.44	7.14	0.0891	0.2716	2.36	
153	Hilda	45.07	227.92	7.84	0.1454	0.1239	3.98	in 3:2 Resonanz
279	Thule	131.55	73.25	2.34	0.0072	0.1099	4.31	in 4:3 Resonanz
588	Achilles	131.31	315.88	10.33	0.1476	0.0836	5.17	in 1:1 Resonanz; L <sub>4</sub> Trojaner
617	Patroclus	306.16	43.74	22.04	0.1387	0.0823	5.23	in 1:1 Resonanz; L <sub>5</sub> Trojaner
944	Hidalgo	57.34	20.95	42.36	0.6551	0.0696	5.85	erreicht Saturnbahn
1221	Amor	26.17	170.90	11.89	0.4345	0.3703	1.92	große Exzentrizität
1373	Cincinnati	100.02	297.17	38.94	0.3276	0.1572	3.39	große Neigung
1566	Icarus	31.12	87.54	22.91	0.8266	0.8806	1.07	extrem kleine Periheldistanz
1862	Apollo	285.43	35.42	6.35	0.5597	0.5524	1.47	kreuzt Erdbahn
2060	Chiron	339.73	208.76	6.95	0.3822	0.0195	13.62	größte bekannte Halbachse, Komet
2062	Aten	147.84	108.05	18.93	0.1825	1.0373	0.96	kleine Halbachse
2102	Tantalus	61.65	93.72	64.01	0.2983	0.6726	1.29	große Neigung

Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

Tabelle 2

Die 72 Planetenfamilien

Nr.	Name	Halbachse	Anzahl	Neigung
1	8 Flora	2.229	259	4.62
2	80 Sappho	2.289	8	8.87
3	428 Monachia	2.316	7	6.17
4	12 Victoria	2.334	8	7.80
5	261 Prynno	2.363	13	3.10
6	25 Phocaea	2.367	34	21.80
7	51 Nemausa	2.367	5	10.16
8	84 Klio	2.369	16	10.06
9	4 Vesta	2.372	40	6.20
10	30 Urania	2.379	4	2.61
11	6 Hebe	2.408	8	13.45
12	343 Ostara	2.417	4	3.41
13	470 Kilia	2.426	6	7.83
14	42 Isis	2.435	16	7.56
15	11 Parthenope	2.445	68	3.89
16	421 Zähringia	2.542	12	7.02
17	170 Maria	2.547	25	14.80
18	29 Amphitrite	2.552	21	4.87
19	5 Astraea	2.554	7	5.73
20	101 Helena	2.575	13	11.66
21	14 Irene	2.577	16	8.53
22	686 Gersuind	2.580	3	16.33
23	119 Althaea	2.593	19	7.90
24	258 Tyche	2.604	6	13.18
25	15 Eunomia	2.542	61	12.07
26	78 Diana	2.648	11	8.44
27	3 Juno	2.670	18	13.47
28	123 Brunhild	2.689	7	7.26
29	869 Mellena	2.691	11	6.94
30	26 Proserpina	2.718	103	4.14
31	2 Pallas	2.723	8	28.92
32	146 Lucina	2.725	5	12.00
33	156 Xanthippe	2.730	6	8.91
34	54 Alexandra	2.753	17	13.15
35	387 Aquitania	2.753	7	15.13
36	1 Ceres	2.763	72	8.21

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Bahnen der Kleinplaneten

Nr.	Name	Halbachse	Anzahl	Neigung
37	82 Alkmene	2.765	5	3 <sup>o</sup> .98
38	143 Adria	2.778	8	12.91
39	139 Juewa	2.780	9	8.57
40	174 Phaedra	2.860	10	11.63
41	158 Koronis	2.873	53	2.24
42	293 Brasilia	2.878	6	14.25
43	22 Kalliope	2.911	12	11.59
44	280 Philia	2.918	13	6.92
45	16 Psyche	2.924	6	2.61
46	179 Klytaemnestra	2.992	8	8.54
47	117 Lomia	2.997	9	14.04
48	150 Nuwa	3.010	20	4.90
49	221 Eos	3.015	94	10.08
50	69 Hesperia	3.028	20	10.03
51	133 Cyrene	3.057	5	8.37
52	399 Persephone	3.059	6	13.25
53	1383 Limburgia	3.066	4	1.59
54	137 Meliboea	3.121	25	14.47
55	181 Eucharis	3.122	11	17.64
56	24 Themis	3.139	79	1.71
57	250 Bettina	3.139	22	13.45
58	130 Elektra	3.148	7	19.64
59	886 Washingtonia	3.148	6	15.47
60	10 Hygiea	3.149	56	4.29
61	152 Atala	3.152	47	10.70
62	227 Philosophia	3.158	3	9.39
63	48 Doris	3.160	56	8.28
64	154 Bertha	3.187	12	18.46
65	199 Byblis	3.189	6	13.48
66	445 Edna	3.192	5	21.90
67	57 Mnemosyne	3.197	15	16.30
68	300 Geraldina	3.198	7	1.59
69	777 Gutemberga	3.211	6	13.56
70	581 Tautonia	3.226	4	21.11
71	168 Sibylla	3.405	5	6.53
72	65 Cybele	3.409	8	3.14

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Böhnen der Kleinplaneten

### Literatur:

Chapman, C.R., Williams, J.G., Hartmann, W.K., 1978, The Asteroids,  
Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 16.

Froeschle, C., Scholl, H., 1979, New Numerical Experiments to Delete the  
Outer Part of the Asteroidal Belt, Astron. Astrophys. 72, 246-255.

Greenberg, R., Scholl, H., Resonances in the Asteroid Belt, in Asteroids,  
Editor T. Gehrels, 310-333.

Kozai, Y., The Dynamical Evolution of the Hirayama Family, in Asteroids,  
Editor T. Gehrels, 334-358.

Schubart, J., Small bodies in the solar system, Landoldt-Börnsten,  
Astronomy and Astrophysics, Group VI, Vol. 2, Subvol. a.

Univ.-Dozent Dr. Rudolf Dvorak  
Institut für Astronomie  
der Universität Graz  
Universitätsplatz 5  
A-8010 Graz

Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

1. Einleitung

Speziell in den letzten 10 Jahren ist es gelungen, eine Reihe von Aussagen über die Physik der Asteroiden und des Asteroidengürtels allgemein treffen zu können. Zu diesen physikalischen Parametern gehören etwa: spektrale Reflexion, allgemeines Albedo, Rotationseigenschaften und Achsenlagen im Raum. Abgeleitet wurden diese Werte im wesentlichen aus den Beobachtungen aus den Bereichen der Spektralphotometrie, der Polarimetrie, der Infrarot-Radiometrie und vor allem der UBV-Photometrie.

Basierend auf beobachtbaren Parametern wurde auch eine Klassifikation (Taxonomie) der Asteroiden möglich, sowie ein Vergleich zur Mineralogie der Meteoriten angestrebt. Darüber hinaus sind es vor allem auch genaue photoelektrische Messungen, die eine detaillierte Aussage über die Struktur der Oberfläche und über die Gestalt eines bestimmten Asteroiden zulassen. Im Folgenden soll eine kurze Darstellung der bekannten Asteroideneigenschaften gegeben werden.

2. Formation und Entwicklung der Asteroiden

Man sollte eigentlich damit beginnen, daß wir es heute nicht mehr als unmöglich ansehen, in naher Zukunft eine direkte Weltraummission zu einem Asteroiden zu unternehmen und diesen im Detail zu untersuchen und zwar zunächst im Rahmen eines Vorbeifluges. Darüber hinaus denkt man auch daran, ein solches Objekt, etwa im Durchmesserbereich von einigen Kilometern, hier sind vor allem die erdnahen Asteroiden von Interesse, auch "bergbautechnisch" zu nützen. Aus dieser Sicht und auch in Hinblick auf unsere heutige Ansicht, daß Asteroiden ein Meßinstrument für die Entstehung und Entwicklung unseres Sonnensystems darstellen, ist es wirklich interessant, ob ein Asteroid etwa aus reinem Nickel(eisen) besteht oder ob es sich nur um poröses Material und Felsgestein handelt, mit einer Oberfläche die aus einer sehr guten Staubschicht besteht.

Die Bestimmung der Massen von Asteroiden ist bei weitem auch heute noch nicht gut genug ausgeführt, um genaue Dichten für einen Asteroiden angeben zu können. Als Beispiel seien die Werte für Ceres, Pallas und Vesta angeführt, deren Massen aufgrund von Störungsrechnungen relativ gut bekannt sind:

Asteroid	Typ	Durchmesser	Sonnenmassen	Dichte g/cm <sup>3</sup>
1 Ceres	C	1025 km	$5.9 \times 10^{-8} M_{\odot}$	$2.3 \pm 1.1$
2 Pallas	U	583	1.08	$2.6 \pm 0.9$
4 Vesta	U	555	1.38	$3.3 \pm 1.5$

Wir sehen daraus, daß sich für die das Material bestimmende Dichten immerhin noch ein Unsicherheitsfaktor von etwa 50 % ergibt, also von einer reinen Massenbestimmung noch nicht sicher auf die chemische Zusammensetzung eines Asteroiden geschlossen werden kann.

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

Von einem Asteroiden erhalten wir als Information im wesentlichen nur das reflektierte Sonnenlicht, natürlich geändert durch die reflektierende Oberfläche. Über die Entwicklung von Asteroiden ist wenig bekannt; wir konnten jedoch in letzter Zeit ein anschauliches Bild entwickeln, das den heutigen Beobachtungstatsachen auch Rechnung trägt: Aus dem primitiven Sonnennebel

hat sich zur gleichen Zeit wie zur Bildung des Sonnensystems im Bereich der Asteroidenzone eine Objektansammlung von Asteroiden von primitiver Natur in der Größenordnung von einigen 100 km gebildet - entweder durch direkte Kondensation oder durch Ansammeln von Material auf Kernen. Ohne daß eine chemische Entwicklung stattfand, sollte ein derartiges Objekt nur durch Kraterprozesse, nämlich Einschlagen von kleineren Objekten auf dessen Oberfläche, verändert werden. Als Ergebnis stellt sich das ursprüngliche Objekt dar, dessen Oberfläche nun mit Kratern versehen ist, und dadurch die Möglichkeit gibt, einen Durchblick auf tiefere Schichten zuzulassen (typisches C-Objekt, z.B.). Durch einen Zusammenstoß katastrophentypischer Natur könnte es sich auch ereignen, daß ein Asteroid in mehrere kleinere aufgespalten wird, ein Vorgang, der sich etwa in der Bildung einer "phyikalischen" Familie auswirkt.

Sind dagegen die Temperaturen hoch genug, so erfolgt sicherlich ein vorübergehend sich abwechselnder Prozess des Aufschmelzens und Abkühlens, eine Differentiation, die sich in der Folge dadurch bemerkbar macht, daß sich Schichten verschiedener Dichte auch örtlich trennen: etwa durch die Ausbildung eines dichteren Kernes und einer stabilen Oberflächenkruste (typisches S-Objekt?). Auch hier können natürlich Kraterprozesse einsetzen, eventuell auch ein Aufbrechen des Asteroiden, und wir erhalten wiederum die Möglichkeit durch die Oberfläche hindurch auf tiefere Schichten zu sehen, vor allem wenn wir einen bestimmten Asteroiden während seiner Rotation messen.

### 3. Spektrophotometrie der Oberfläche

Unter Spektrophotometrie verstehen wir die relative oder absolute Intensitätsmessung einer Strahlungsquelle, möglichst über einen weiten Spektralbereich. Schon 1929 stellte Bobrovnikoff visuell fest, daß Pallas eine stärkere Blaufärbung zeigte als die sonst etwas rötlicheren Asteroiden. Die besten Studien im Detail wurden in den letzten Jahren in einem 25-Filterssystem erhalten, das das optische Spektrum im Bereich von 3000 - 11000 Å überdeckt und die Reflexionsintensitäten quantitativ meßbar zugänglich machte. Hier zeigt es sich, daß zunächst 4 Vesta ein spezielles - fast nicht klassifizierbares Objekt unter den Asteroiden darstellt, mit einem tiefen Absorptionsband bei 9500 Å, welches dem Mineral Olivin-Pyroxen entspricht.

Ein Vergleich mit den Reflexionsspektren von meteoritischen Proben sowie mit einem Pulvergemisch von Olivin, Pyroxen, Nickeleisen wurde mit verschiedenen Prozentsätzen ebenfalls durchgeführt. Von jedem hellen Asteroiden wurde eine derartige Spektralkurve erhalten, aus der Statistik wurden anschließend spektralphotometrische Parameter definiert und eine Klassifikation erst ermöglicht.

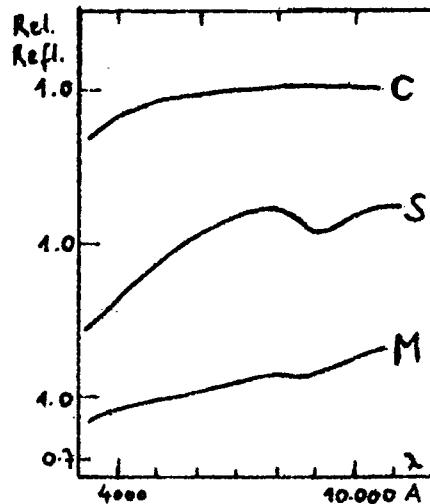
## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

Eine Untersuchung von 277 Asteroiden ergab folgende prinzipielle Hauptklassen unter der Definition mittlerer Klasseneigenschaften:

Type C: dunkel, flaches Spektrum, Silikate und undurchsichtige Karbonate

Type S: hell, steiles Spektrum, Absorptionsband bei 9500 Å bei Olivin-Pyroxen, Silikate und Metalle

Type M: hell, metallische Eigenschaften, vielleicht dichter?



### 4. Reflexionsvermögen (Albedo) und Durchmesser: Polarimetrie, Infrarot-Radiometrie und UVV-Photometrie

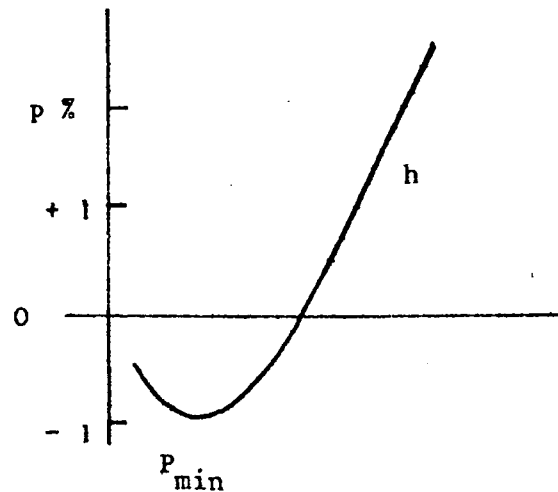
Licht, das von einer Oberfläche reflektiert wird, erfährt ganz allgemein bei der Reflexion eine Änderung insofern, daß u.a. eine teilweise Polarisation erfolgt, d.h. die elektromagnetische Welle bevorzugt bestimmte Schwingungselemente. Bei Asteroiden beträgt dieser Polarisationsgrad nur wenige Prozent, ist sehr schwierig zu messen, und ist in seinem Absolutbetrag abhängig von dem Phasenwinkel zwischen Erde-Asteroid-Sonne. Die Polarisationsmessung ist deshalb ein hervorragendes Mittel, um Oberflächen genau zu untersuchen - leider allerdings auch beschränkt in ihrer Anwendung auf nur wenige helle Objekte.

Die folgende Beziehung läßt zunächst die Albedobestimmung  $p$  (in einem bestimmten Spektralbereich, z.B.  $V, p_V$ ) zu:

$$\log p = -C_1 \log h + C_2$$

wobei  $C_1$  und  $C_2$  als Konstanten zunächst geeicht werden müssen, und  $h$  die Steigung im linearen Teil der Polarisationskurve darstellt.

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden



Aus dem Albedo wird anschließend der Durchmesser bestimmt mit:

$$2 \log D = 6.244 - 0.4 V(1,0) - \log p_v$$

wobei  $V(1,0)$  die auf Einheitsentfernung von Sonne und Erde reduzierte Helligkeit des Asteroiden bei dem Phasenwinkel 0 darstellt. Diese Methode der Durchmesser- und Albedobestimmung von Asteroiden ist der alten Methode bei weitem überlegen, da früher nur ein allgemeines Reflexionsvermögen als Mittel angenommen wurde und die Durchmesser anschließend aus den Helligkeiten, die zumeist auch nur photographisch bestimmt waren, abgeschätzt werden konnten.

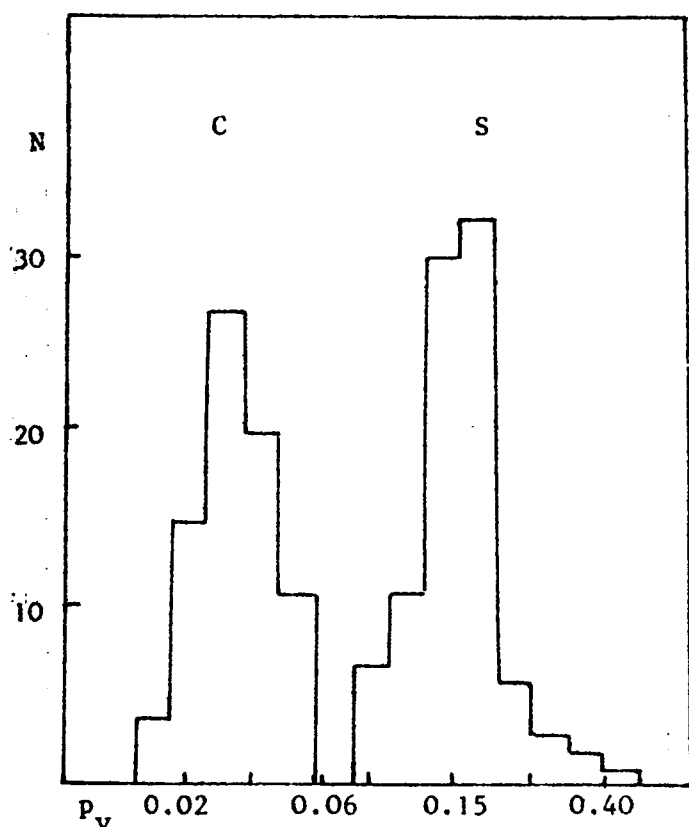
Ergänzt wird diese Methode durch eine weitere: Im Infrarotbereich wird bei 10 und 20 m die thermische Emission eines Asteroiden, also sein Eigenstrahlungsvermögen auch im unbeleuchteten Teil, gemessen, wobei sich aus dem Strahlungsfluß über die gesamte projizierte Fläche radiometrische Albeden und Durchmesser bisher für etwa 200 Asteroiden ableiten ließen. Die daraus gewonnenen Werte stimmen innerhalb von ca. 10 % mit den polarimetrischen Durchmessern sowie mit den hier nicht zu behandelnden aus Sternbedeckungen gewonnenen Durchmessern überein.

Betrachtet man das statistische Material in Bezug auf das Reflexionsvermögen, so ergibt sich plötzlich ganz unerwartet eine bimodale Verteilung der Asteroiden mit einer deutlichen Lücke zwischen den beiden auftretenden Gruppen. Die dunklen C-Asteroiden weisen typische Reflexionswerte zwischen 0.035 und 0.04, aber kleiner als 0.065 auf, während die zweite Gruppe der sehr hellen S-Asteroiden Reflexionswerte zwischen 0.065 und 0.23 mit einem typischen Wert von 0.14 (= 14 %) zeigt. Diese Zweiteilung ist gesichert, drückt sich auch in anderen Meßparametern aus, und scheint ganz typisch für den gesamten Asteroidengürtel - soweit er uns überhaupt bekannt ist - zu sein.

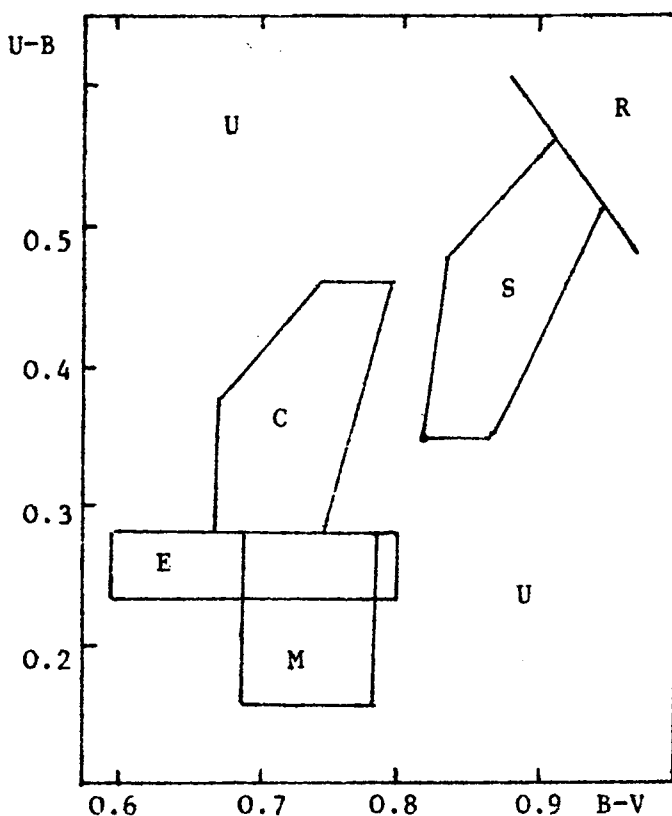
Eine weitere sehr umfangreiche Arbeit, und hier sollte der Name E. Bowell (Flagstaff, Arizona) erwähnt werden, wurde dadurch vollendet, daß ca. 750 Asteroiden, also mehr als 1/3 aller bekannten, im breitbandigen photometrischen UBV-System photoelektrisch genau gemessen wurden. Daraus folgte unter Einbeziehung etwa der Spektralphotometrie die Möglichkeit, Asteroiden zu klassifizieren, d.h. typische Gruppen mit ihren Parametern zu definieren. Am besten wird dies in einem Farbdiagramm B-V und U-B (U = ultraviolett, B = blau, V = visuell-gelb) gezeigt, bei dem das Auftreten in Gruppen deutlich wird.



# Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden



vis. Albedo, Bimodalität



Vereinfachte Typeneinteilung in einem Zweifarbendiagramm

Die statistische Verteilung in Bezug auf die Gruppenzugehörigkeit ergibt sich dann aufgrund des Beobachtungsmaterials mit folgenden Werten:

- 75 % dunkle C-Asteroiden
- 15 % helle S-Asteroiden
- 10 % helle M-Asteroiden sowie E, R und U (Unklassifizierbare)

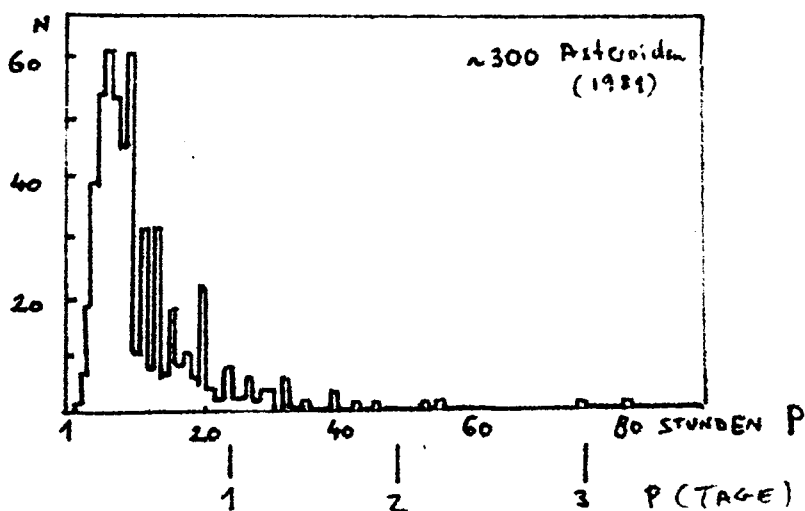
Name	D(km)	Type	Name	D(km)	Type
1 Ceres	1003	C	3 Juno	247	S
2 Pallas	609	U	324 Bamberga	246	C
4 Vesta	538	U	24 Themis	234	C
10 Hygiea	450	C	95 Arethusa	230	C
31 Euphrosyne	370	C	45 Eugenia	226	C
704 Interamnia	350	C	13 Egeria	224	C
511 Davida	323	C	19 Fortuna	215	C
65 Cybele	309	C	107 Camilla	211	C
52 Europa	289	C	88 Thisbe	210	C
451 Patientia	276	C	7 Iris	209	S
15 Eunomia	272	S	747 Winchester	205	C
16 Psyche	250	M	41 Daphne	204	C
48 Doris	250	C	6 Hebe	201	S
92 Undina	250	C	241 Germania	200	C

Bei der Durchmesserbestimmung ergibt sich für die 28 "größten Kleinplaneten" das in der Tabelle angeführte Bild, wobei wir eine Zweiteilung in eine Gruppe mit einem Durchmesser größer als 250 km und eine solche zwischen 200 und 250 km vorgenommen haben. Es ist auffallend, daß unter diesen großen Asteroiden ein überwiegender Anteil von dunklen C-Objekten vorkommt. Die scheinbaren Durch-

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

Die Form der Lichtkurve ist dabei zumeist nicht konstant, sondern ändert sich im allgemeinen im Laufe der Zeit, von Opposition zu Opposition, abhängig von der relativen Position des Asteroiden und dessen Rotationsachse in Bezug auf die Ekliptik und auf den Beobachter auf der Erde. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei auch noch die Bahnneigung des Asteroiden selbst, da sich bei hohen Bahnneigungswerten nicht selten ein ganz verschiedener Anblick des Asteroiden - einmal auf den "Südpol" ein andermal auf den "Nordpol" des Objektes - ergibt. Auf einer genauen Zeitmessung von bestimmten Extremwerten in den Lichtkurven lassen sich auch die Achsenlage im Raum und, allerdings selten, der Rotationssinn von Asteroiden feststellen.

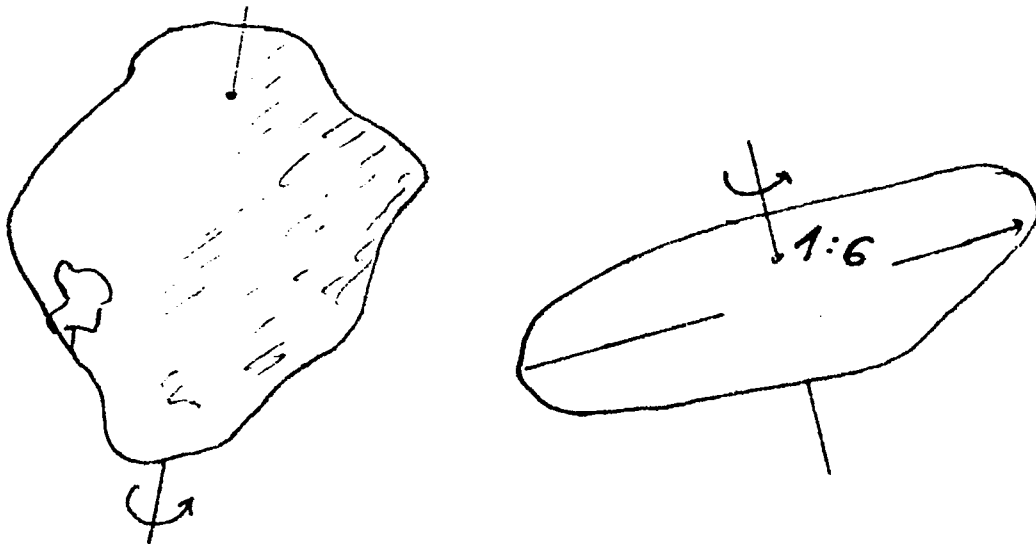
Werden Teile einer Lichtkurve, oder die gesamte Lichtkurve, mehrmals hintereinander in verschiedenen Nächten erfolgreich beobachtet, so läßt sich im allgemeinen ein sehr genauer Wert der Rotationsperiode festlegen. In der Abbildung ist ein Histogramm gezeigt, das aufgrund von ca. 300 Asteroidenrotationen erhalten wurde. Hier ist zu bemerken, daß die Verteilung der Rotationsperioden ein Maximum etwa im Bereich zwischen 5 bis 11 Stunden aufweist, wobei die kürzeste Periode für 1566 Icarus mit  $2^h.27$  und die längste mit  $80^h.00$  für 182 Elsa gemessen wurde. Interessant ist dabei, daß gerade die größten Asteroiden Rotationszeiten schnellerer Natur bevorzugen (ca. 8 - 10 Stunden) und daß kleine Objekte, die an und für sich prädestiniert für schnelle Rotationen wären, langsam rotieren. Auffallend ist, daß wir unsere Kenntnis in den letzten Jahren seit dem Jahre 1975 bis 1981 um einen Faktor 5 verbessern konnten, wobei wir einen wesentlichen Anteil liefern konnten, und daß in der letzten Zeit zusehens mehr Asteroiden mit langen Rotationsperioden entdecken konnten. Im Jahre 1974 war die oberste Grenze noch bei ca. 20 Stunden, also knapp weniger als einem Tag festgelegt.



Für einige wenige ausgewählte Asteroiden möchte ich auch noch die heute bekannten Daten für die Rotationsperioden und Lichtkurven angeben, wobei die großen Asteroiden - nahezu sphärisch - angeführt sind, weiters 337 Devosa wegen der unüblichen Lichtkurve und 532 Herculina welcher vielleicht einen Satelliten besitzt, sowie 624 Hector, sehr irregulär und möglicherweise ein Doppelasteroid.

## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

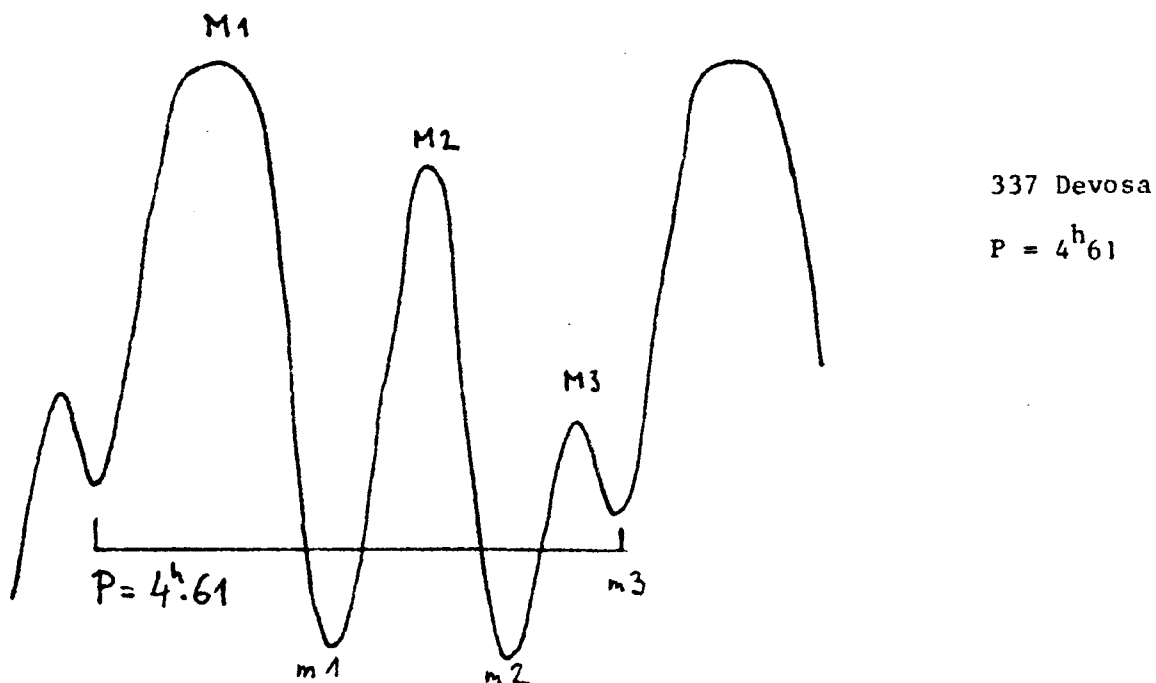
messer am Himmel liegen alle unter 0.7 Bogensekunden (1 Ceres), meist bei 0.1 Bogensekunden, also weit unter dem direkten Meßbereich.



### 5. Rotation und Lichtkurven

Ein Asteroid ist im allgemeinen kein regelmäßig geformter Körper, sondern besitzt zumeist eine sehr irreguläre Form, die von kleinen Oberflächendetails ausgehen bis zu einem Achsenverhältnis von 1:6 (Zigarre) gehen kann. Ein anschauliches Bild, wie Asteroiden aussehen können, ist in der Abbildung für zwei Objekte gezeigt.

Wird ein Asteroid photoelektrisch im Hinblick auf seine Helligkeit durch längere Zeit systematisch und genau gemessen, so entdeckt man, daß sich zumeist seine Helligkeit verändert, und zwar offensichtlich nach der Größe der projizierten Oberfläche, die zum Beobachter hinweist. Aus diesem Verhalten resultiert eine sogenannte Lichtkurve, die ähnlich aussieht wie solche von veränderlichen Sternen, speziell bedeckungsveränderlichen Doppelsternen, nur daß ihr Aussehen wesentlich komplizierter ist. Zumeist treten Doppelwellenkurven auf mit zwei Maximal- und zwei Minimalwerten, sehr häufig ergeben sich noch weitere Komplikationen durch das Auftreten von weiteren Extremwerten, wie etwa in einem typischen Beispiel für den 55 km großen S-Asteroiden 337 Devosa gezeigt wird ( $P = 4^h 61$ ).



## Fortsetzung Gastvortrag: Die Natur der Asteroiden

	D(km)	Type	Albedo %	P <sup>h</sup>	Amplitude
1 Ceres	1003	C	5.4	9.08	0 <sup>m</sup> .04
2 Pallas	609	U	7.4	7.88	0.12 - 0.15
3 Juno	247	S	15.1	7.21	0.15
4 Vesta	538	U	22.9	5.30	0.10 - 0.14
337 Devosa	55	S	14.0	4.61	0.19
532 Herculina	150	S	10.0	9.41	0.08 - 0.18
624 Hector	40x110	U	28.0	6.92	0.10 - 1.10

### 6. Ausklang

Ich habe versprochen, etwas über die Natur der Asteroiden zu sagen, doch geht sicher aus meinen Ausführungen hervor, daß wir in den letzten Jahren nur mühsam einige wenige physikalische Parameter von Asteroiden gewinnen konnten. Wir kennen nur von ca. 10 bis 20 % aller Asteroiden, deren Bahnen bekannt sind, die Größe und vielleicht auch noch die Oberflächeneigenschaften, wissen aber nur sehr wenig von ihrem inneren Aufbau und von den mineralogischen Bestandteilen, die einen Asteroiden wirklich bilden.

Trotz aller Bemühungen sind wir auch noch nicht soweit gelangt, sicher sagen zu können, wie die Asteroiden oder Asteroidengürtel als Ganzes entstanden sind; wir sind lediglich auf dem Wege dazu, den heutigen Zustand endlich aufgrund moderner astronomischer Meßverfahren festlegen zu können und Modelle entwickeln zu können, was die Asteroiden im Laufe ihrer Geschichte verändert haben könnte.

Kaum berücksichtigt ist aber die Unzahl von kleineren Asteroiden, oder solchen, die zu weit weg oder einfach zu dunkel sind. Gibt es vielleicht, und diese Frage ist gerade nach der Entdeckung von 2062 Aten innerhalb der Erdbahn und von 2060 Chiron bei einer Halbachse von 13.70 weit außerhalb von Jupiter sicher aktuell; noch weitere Asteroidengürtel außer dem, der zwischen Mars und Jupiter liegt?

Wir sind heute mit vielen Problemen beschäftigt, die sicher dazu beitragen können, die Kenntnis über unser eigenes Sonnensystem aufgrund der physikalischen Eigenschaften der kleinen Bestandteile des Systems zu vermehren, vor allem liegt aber auch das Interesse für das Studium am Einzelobjekt vor. Ein Hinweis auf folgende aktuelle Gebiete sei noch gestattet: Statistik der physikalischen Eigenschaften - Doppelasteroiden - Satelliten von Asteroiden - Oberflächenstudien und Farbänderungen während der Rotationen, um nur einige zu nennen.

Bis zur tatsächlichen Kenntnis der Natur und der Entstehung und Entwicklung der Asteroiden wird sicher noch ein weiter Weg zu gehen sein - zum Einschlagen dieses Weges haben sicherlich auch wir einen wichtigen Beitrag geliefert.

Univ.-Dozent Dr.H.J.Schober  
Institut für Astronomie  
der Universität Graz  
Universitätsplatz 5  
A-8010 Graz

Gastvortrag: Die polarimetrische Bestimmung der Durchmesser  
Kleiner Planeten.

Nur die größten der Planetoiden besitzen Kugelgestalt, die übrigen sind unregelmäßig geformte Brocken oder bestehen aus mehreren Stücken. Man kann theoretisch zeigen, daß die Kugelgestalt von der Schwerkraft, der Gravitation, nur dann erzwungen werden kann, wenn die Gravitationsenergie größer als die Bindungsenergie der Moleküle des Körpers ist. Die Rechnung führt zu Durchmessern größer als etwa 300 km.

Durchmesser

Unter dem Durchmesser eines Kleinen Planeten versteht man einen Mittelwert: Es wird der Durchmesser einer Kreisfläche sein, die mit dem Querschnitt des Planetoiden gleichen Flächeninhalt aufweist. Die Helligkeitsverteilung über die Querschnittsfläche ist nach theoretischen Überlegungen und photometrischen Erfahrungen bei rauhen Körpern, wie beim Mond, ziemlich gleichmäßig.

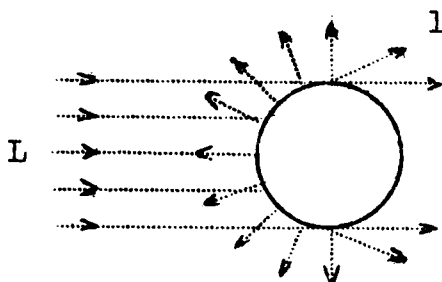
Bei den punktförmig erscheinenden Planetoiden sind nun die mikrometrischen Verfahren zur Bestimmung - zunächst der Winkeldurchmesser, wie bei den anderen Planeten - nicht möglich.

Auch die interferometrische Methode und das seltene Vorkommen von Bedeckungen von Fixsternen scheiden im allgemeinen aus, so daß zur Durchmesserbestimmung nur die photometrischen Verfahren übrig bleiben, die sich auf die Albedo gründen.

Albedo, Helligkeit und Durchmesser

Heute werden zwei Albedo-Begriffe verwendet:

- 1) Bond'sche oder sphärische Albedo  $A$ ; sie ist das Verhältnis der von einem Körper nach allen Seiten ausgestrahlten Lichtmenge  $l$  zu der von der Sonne erhaltenen Lichtmenge  $L$ :



$$A = l/L = p \cdot q$$

Abb. 1  
Albedo

$A = 1$  bedeutet daher: Alles Licht wird reflektiert;  $A = 0$  bedeutet: Alles Licht wird absorbiert.  $A$  wird gewöhnlich in zwei Faktoren zerlegt,  $p$  und  $q$ ;  $q$  ist das Phasenintegral und  $p$  die geometrische Albedo.

Fortsetzung Gastvortrag: Polarimetrische Bestimmung des Durchmessers  
Kleiner Planeten.

2) Geometrische Albedo  $p$ ; sie ist sozusagen jener Anteil des reflektierten Lichtes, der in Richtung Sonne (Phasenwinkel  $\alpha = 0$ ) geworfen wird.

Die Helligkeit  $m$  eines von der Sonne beleuchteten Körpers hängt von verschiedenen Größen ab; außer von der Helligkeit der Sonne selbst, zunächst von den für einen Planetoiden festen Werten:

$d$  Durchmesser,  
 $p$  Geometrische Albedo, Reflexionsvermögen  
seiner Oberfläche

und dann von den sich beständig ändernden Größen:

$r$  Entfernung von der Sonne,  
 $\Delta$  Entfernung von der Erde,  
 $\alpha$  Phasenwinkel (Winkel zwischen  $r$  und  $\Delta$ ),  
 $R$  Rotationsphase,  
 $\varphi$  Kippung der Rotationsachse,

so daß man schreiben kann:

$$m = m(d, p, r, \Delta, \alpha, R, \varphi)$$

Um die Messungen untereinander vergleichen zu können, werden sie auf  $\Delta = 1$  und  $r = 1$  (1 Astronomische Einheit) umgerechnet und man erhält damit die absolute Helligkeit  $g$

$$g = m(d, p, 1, 1, 0, \bar{R}, \bar{\varphi})$$

worin  $\alpha = 0$  und  $\bar{R}, \bar{\varphi}$  Mittelwerte sind.  $g$  hängt dann nur noch von  $r$  und  $\Delta$  ab. Zwischen diesen Größen besteht nun der folgende einfache Zusammenhang

$$\log d_{\text{km}} = 3,114 - 0,5 \cdot \log p - 0,2 \cdot g,$$

wobei das V-Helligkeitssystem verwendet wird.

Zur Berechnung des Durchmessers ist also neben  $g$  der Betrag der geometrischen Albedo  $p$  nötig. In früheren Zeiten wurde dazu willkürlich die Mond- oder Mars-Albedo angenommen. Auch hat man versucht, aus der photometrischen Phasenkurve, d.h. aus dem Abfall der Helligkeit mit dem Phasenwinkel  $\alpha$  einen Wert für die Albedo zu erhalten. Wesentlich genauere und verlässlichere Werte für die Albedo erhält man jedoch mit dem von mir entwickelten Verfahren mittels der polarimetrischen Phasenkurve, aber auch die radiometrische Methode führt zu verlässlichen Werten für die Albedo.

Fortsetzung Gastvortrag: Polarimetrische Bestimmung des Durchmessers  
Kleiner Planeten.

Polarimetrischer Phasenkoeffizient und geometrische Albedo

Bei der Bearbeitung polarimetrischer Messungen an ausgewählten Stellen der Mondoberfläche und an Planeten fand ich eine Beziehung zwischen dem polarimetrischen Phasenkoeffizient  $\Gamma$  und der geometrischen Albedo  $p$ . Die Polarimetrie ist ein wichtiges Verfahren zur Erforschung von Planetenoberflächen. Bei natürlichem Licht, wie es etwa von einer Glühlampe, einer Kerze oder von der Sonne ausgeht, sind die Schwingungsebenen um den Strahl gleichmäßig verteilt; bei linear polarisiertem Licht ist nur eine Schwingungsebene vorhanden. Reflektiertes Licht ist nun immer teilweise polarisiert. Hält man ein Polaroidfilter vor eine natürliche Lichtquelle und dreht das Filter um den Lichtstrahl als Achse, sieht man keine Helligkeitsänderung. Macht man aber das gleiche bei einem vollständig polarisierten Lichtstrahl, verlöscht bei einer Drehung um  $90^\circ$  die Quelle vollständig.

Bezeichnen wir nun die größte Helligkeit mit  $L_{\max}$  und die kleinste Helligkeit mit  $L_{\min}$ , so ist der Polarisationsgrad  $P$  gegeben durch:

$$P = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

$P = 0$  bedeutet natürliches Licht,  $P = 1$  ist vollständig linear polarisiertes Licht. Der Polarisationsgrad kann also durch photometrische Messungen bestimmt werden. Er hängt ab von der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers und dem Einfallswinkel und Ausfallswinkel der Strahlen.

Seit Jahren werden polarimetrische Messungen an Planeten, Planetoiden und Monden an verschiedenen Sternwarten durchgeführt. Wird nun der Polarisationsgrad  $P$  in Abhängigkeit vom Phasenwinkel  $\alpha$  aufgetragen, so erhält man die Polarisationskurve. Bei atmosphärelosen Weltkörpern hat sie etwa das Aussehen, wie es die Abb.2 zeigt.

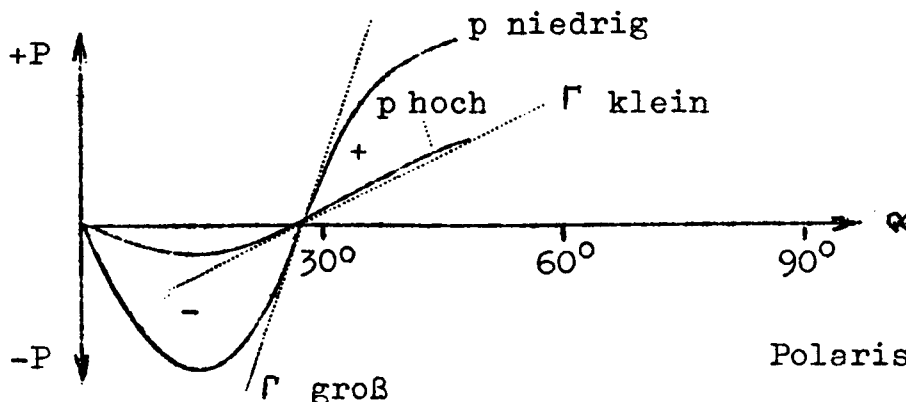


Abb.2  
Polarisationskurven

Fortsetzung Gastvortrag: Polarimetrische Bestimmung des Durchmessers  
Kleiner Planeten.

Der Abstieg der jeweiligen Kurven ist der polarimetrische Phasenkoeffizient  $\Gamma$ . Die Polarisationskurve zeigt einen negativen und einen positiven Ast. Negatives  $\Gamma$  heißt: Der elektrische Lichtvektor schwingt in der Ebene Sonne-Erde-Planetoid, positives  $\Gamma$  heißt, er schwingt in der Ebene senkrecht dazu. Der Inversionspunkt liegt dabei bei einem Phasenwinkel zwischen  $15^\circ$  und  $30^\circ$ . Wie Abb. 2 zeigt, hängt nun die Form der Polarisationskurve wesentlich von der Albedo  $p$  ab. Hohe Albedo ergibt eine flache Kurve, niedrige eine steile. Ich erhielt seinerzeit aus einem noch bescheidenen Beobachtungsmaterial die folgende Beziehung zwischen der geometrischen Albedo  $p$  und dem polarimetrischen Phasenkoeffizienten  $\Gamma$ :

$$\log p = -c_1 \cdot \log \Gamma - c_2$$

Heute hat man wesentlich genauere Daten zur Verfügung.

Um mit Hilfe der Polarimetrie den Durchmesser von Planetoiden zu bestimmen, müssen laufend Messungen des Polarisationsgrades durchgeführt werden. Aus der Polarisationskurve entnimmt man dann den Koeffizienten  $\Gamma$  und erhält dann  $p$  und schließlich aus  $p$  und  $g$  den Durchmesser  $d$  des Planetoiden.

Bis heute sind von etwa 50 Asteroiden die Durchmesser polarimetrisch bestimmt worden. Einige Ergebnisse enthält folgende Liste, nach B.Zellner und anderen:

	$\emptyset$		$\emptyset$
1 Ceres	1016 km	6 Hebe	205 km
2 Pallas	692	7 Iris	236
3 Juno	252	8 Flora	156
4 Vesta	579	9 Metis	165
5 Astraea	110		

Hofrat Univ.-Dozent Dr. Thomas Widorn  
Grinzinger Straße 93  
A-1190 Wien



Referat: Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern aus Sternbedeckungen

Einleitung

So wie alle Wandelgestirne können auch Kleinplaneten auf ihrem Weg vor dem Sternenhintergrund manchmal einen Stern bedecken. Die Beobachtung solcher Ereignisse bietet die Möglichkeit direkter Größenbestimmung von der Erde aus. Dabei kann eine sehr große Genauigkeit erzielt werden - im Fall der Pallas etwa 2%. Durch ein Netz von mobilen, mit lichtelektrischen Photometern ausgerüsteter Stationen wäre eine große Zahl solcher Sternbedeckungen beobachtbar.

Besonders gute Ergebnisse sind bei Körpern von regelmäßiger Gestalt und großem Winkeldurchmesser möglich. Diese Methode ist auch insofern von Bedeutung, da fast alle Kleinplaneten kleiner als ihr Beugungsscheibchen erscheinen und deshalb nicht mehr mikrometrisch vermessen werden können.

Häufigkeit

Die Zahl der Sternbedeckungen pro Kleinplanet hängt ab von:

Scheinbarem Durchmesser,  
Horizontalparallaxe,  
Mittlerer Bewegung,  
Sterndichte.

Als Grenze für die Beobachtbarkeit wird angenommen, daß sich die Gesamthelligkeit Stern + Kleinplanet um mindestens 5% während der Bedeckung ändern muß.

Für die ganze Erde ergeben sich - betrachtet man nur die 13 hellsten Kleinplaneten - rund 166 Bedeckungen im Jahr. Allerdings gestaltet sich die Berechnung des Sichtbarkeitsgebietes ziemlich schwierig.

Vorausberechnung

Mögliche Kandidaten für Sternbedeckungen können durch Vergleich von Kleinplaneten-Ephemeriden und Katalog-Sternörter gewonnen werden. G.E.Taylor hat auf diese Weise die meisten der bis jetzt beobachteten Bedeckungen als erster vorausberechnet. Nachteilig ist die geringe Reichweite der Kataloge (Grenzgröße SAO ca. +9<sup>mag</sup>, AGK3 ca. +11<sup>mag</sup>). E.Bowell und L.H.Wasserman schlugen deshalb vor, durch Ausmessen von photographischen Platten, auf denen der Kleinplanet und der Stern gemeinsam zu finden ist, Vorausdaten zu ermitteln. So fanden sie 3 Bedeckungen durch Ceres in den Jahren 1980/1981, von denen 2 weder aus dem SAO- oder AGK3-Katalog hervorgegangen wären.

Genauere Daten können in jedem Fall erst kurz vor dem Ereignis berechnet werden. Ein Fehler von nur 0,2" in der Ephemeride eines Kleinpla-

## Fortsetzung Referat: Kleinplanetendurchmesser aus Sternbedeckungen.

neten in der typischen Entfernung von 2 AE hat einen Fehler von 300 km auf der Erdoberfläche zur Folge. Neben Fehlern in den Ephemeriden treten aber auch noch Fehler in den Sternörterern auf, so daß eine genauere Vorausrechnung oft unmöglich ist, bevor die beiden Objekte so nahe stehen, daß sie gemeinsam vermessen werden können.

### Ausrüstung

Die instrumentellen Voraussetzungen sind nicht groß; benötigt wird ein transportables Fernrohr mit lichtelektrischer Ausrüstung. Auch visuell wurde schon beobachtet, doch soll dann der Stern mindestens so hell wie der Kleinplanet sein und der Beobachter muß große Erfahrung haben. Wegen der oft sehr geringen Helligkeitsänderung und der Möglichkeit, die Uhrzeit genau bestimmen zu können, sind die meisten Bedeckungen nur lichtelektrisch mit Erfolg beobachtbar; auch erhält man auf diesem Weg den ganzen Verlauf der Lichtkurve.

### Auswertung

Die Auswertung der Beobachtungen erfolgt durch Berechnung des Schattenweges auf der Bessel'schen Fundamentalebene, die normal auf die Richtung zum Stern steht und durch den Erdmittelpunkt geht. In ihr wird folgendes rechtwinkelige Koordinatensystem definiert:

Ursprung: Erdmitte

x-Achse: Positiv nach Osten

y-Achse: Positiv nach Norden

z-Achse: Positiv zum Stern

Längeneinheit: Äquator-Erdhalbmesser

Die xy-Ebene ist also die Bessel'sche Fundamentalebene (siehe Sternfreunde-Seminar 1979 "Astronomische Finsternisse"), auf ihr hat der Schatten des bedeckenden Körpers die gleiche Form und Größe wie am Himmel. Bedeuten  $\alpha_a$ ,  $\delta_a$  bzw.  $\alpha_*$ ,  $\delta_*$  Rektaszension, Deklination des Kleinplaneten bzw. des Sterns und  $\Delta$  die Entfernung des Kleinplaneten von der Erde, so sind die Koordinaten des Schattenmittelpunktes  $x, y$  auf der Fundamentalebene gegeben durch:

$$x = \Delta (\cos \delta_a \cdot \sin (\alpha_a - \alpha_*))$$

$$y = \Delta (\sin \delta_a \cdot \cos \delta_* - \cos \delta_a \cdot \sin \delta_* \cdot \cos (\alpha_a - \alpha_*))$$

Bedeutet ferner  $\rho$  den Abstand des Beobachters von der Erdmitte,  $\varphi'$  die geozentrische Breite des Beobachters,  $H$  den Stundenwinkel des Sterns, so ergeben sich die Koordinaten des Beobachters auf der Fundamentalebene  $\xi, \eta$  zu

Fortsetzung Referat: Kleinplanetendurchmesser aus Sternbedeckungen.

$$\xi = \rho \cdot \cos \varphi' \cdot \sin H$$

$$\eta = \rho ( \cos \delta_* \cdot \sin \varphi' - \sin \delta_* \cdot \cos \varphi' \cdot \cos H )$$

Werden die Koordinaten nun so transformiert, daß die Schattenmitte Ursprung des neuen Systems wird, so ergeben sich die neuen Koordinaten des Beobachters mit Bezug auf die Schattenmitte zu  $\xi', \eta'$  :

$$\begin{aligned} \xi' &= \xi - x \\ \eta' &= \eta - y \end{aligned}$$

Daraus erkennt man sofort, daß das Randprofil des Kleinplaneten umso genauer bestimmt werden kann, je mehr Stationen Beobachtungen liefern. Meist legt man dann nach der Methode der kleinsten Quadrate eine elliptische oder auch kreisförmige Kleinplanetenscheibe durch die so erhaltenen Punkte. Man erhält also die Form und Größe des Schattens auf der Fundamentalebene, welche der Ansicht des Kleinplanetenkörpers am Himmel entspricht.

Waren nur 2 Beobachter beteiligt, kann man nur eine Kreisscheibe festlegen; für eine Ellipse braucht man mindestens 3 Beobachter. Da aber die meisten Kleinplaneten in hohem Maße unregelmäßige Formen haben, sind bis zu 8 Beobachter nötig. Berücksichtigt man weiter die Tatsache, daß die Gebiete, auf denen beobachtet werden kann, extrem schwierig zu bestimmen sind und in vielen Fällen statt einer Bedeckung nur eine enge Begegnung zu sehen ist, so braucht man bereits bis zu 50 (!) Beobachter, um ein brauchbares Resultat zu erhalten - wenn Stern und Kleinplanet einander bis auf 0,5" nahe kommen.

#### Bedeckungen durch den Mond

D.W.Dunham versuchte 1974, eine Bedeckung der Ceres durch den Mond zu beobachten. Leider beobachtete er nur visuell, so daß seine Ergebnisse zu ungenau wurden.

Gerade bei solchen Ereignissen gibt es leider wesentliche Einschränkungen:

Gestalt und Größe sollten schon ungefähr bekannt sein und die scheinbare Helligkeit sollte möglichst groß sein. Leider werden aber Kleinplaneten, wenn sie hinsichtlich scheinbarer Größe und Helligkeit ideale Bedingungen bieten - also zur Zeit um die Opposition - nur durch den fast vollen Mond bedeckt, was die Beobachtung sehr schwierig gestaltet.

#### Resultate

1962 wurden von G.E.Taylor zum ersten Mal Sternbedeckungen durch 3 Juno und 2 Pallas beobachtet. Durch die visuelle Beobachtung erhielt man untere Grenzen für ihre Durchmesser.

## Fortsetzung Referat: Kleinplanetendurchmesser aus Sternbedeckungen.

Ab 1975 ging man daran, diese Ereignisse genau zu beobachten. In diesem Jahr kam der Kleinplanet 433 Eros der Erde auf 0,15 AE nahe und hatte einen Durchmesser von 0,2". Eine Bedeckung des Stern Gem A konnte von 8 Beobachtungsstationen, aber leider nur visuell, erfaßt werden.

1977 konnte eine Bedeckung durch 6 Hebe beobachtet werden. Bisheriger Höhepunkt aber war die Beobachtung der Bedeckung des Sterns SAO 85009 durch 2 Pallas. L.H.Wasserman und seine Mitarbeiter konnten durch Beobachtungen von 7 lichtelektrisch ausgerüsteten Stationen das elliptische Scheibchen erfassen und den Planetoidendurchmesser zu  $538 \pm 12$  km vermessen, was einer Genauigkeit von 2% entspricht. Die verbleibende Ungenauigkeit kommt daher, daß man nicht genau weiß, welcher Anteil der Helligkeitsschwankung durch die Bedeckung und welcher durch Albedoschwankungen zustande kommt. Aus diesen Beobachtungen folgt für 2 Pallas eine Dichte von  $2,6 \text{ g/cm}^3$ .

1978 konnten 3 weitere Bedeckungen durch Kleinplaneten beobachtet werden, bei 2 Bedeckungen stellte man interessante Lichtkurven fest. Bei der Bedeckung des Sterns SAO 120774 durch 532 Herculina und bei jener des Sterns SAO 114159 durch 18 Melpomene ergab die Auswertung, daß diese Kleinplaneten möglicherweise von Monden umkreist werden. Allerdings wurden beide Bedeckungen unter eher schwierigen Bedingungen beobachtet.

### Literatur

T.Gehrels et al., Asteroids. The University of Arizona Press, 1979.  
Sternfreunde-Seminar 1979, Astronomische Finsternisse. Astronomischer Verein, Wien.

Renate Birnkraut  
Zanaschkagasse 12/15/20  
A-1120 Wien

STERNBEDECKUNGEN DURCH DIE VIER GRÖSSTEN KLEINPLANETEN, 1981-1989

G.E.Taylor, The Astronomical Journal, Vol.86, No.6, June 1981

TABLE I. Ceres (adopted diameter 1020 km).

Date	Minor planet magnitudes		Star No.	Star		Spectrum	Magnitude change at occultation		Maximum duration (s)	Possible area of visibility
	$m_v$	$m_{ph}$		$m_v$	$m_{ph}$		$v$	$ph$		
1981 Apr 21.28	8.4	9.1	AGK3+30°0836	8.5	9.5	G5	0.7	0.6	47	(1) Mid-Pacific
1983 Feb 12.88	8.8	9.5	SAO 188703	8.9	9.9	G5	0.7	0.6	23	(2) Ocean southwest of Australia
1986 Feb 26.42	6.6	7.3	AGK3+23°1144	9.0	9.8	G0	0.1	0.1	95	(3) S.W. Pacific
1986 Apr 26.69	7.4	8.1	AGK3+23°1108	9.0	9.6	F5	0.2	0.2	153	(4) New Siberia, Kazakstan, W. China, India, Indian Ocean
1986 Jul 15.60	8.3	9.0	AGK3+10°1472	9.6	10.3	F8	0.3	0.3	31	(5) Indian Ocean

TABLE II. Pallas (adopted diameter 540 km).

Date	Minor planet magnitudes		Star No.	Star		Spectrum	Magnitude change at occultation		Maximum duration (s)	Possible area of visibility
	$m_v$	$m_{ph}$		$m_v$	$m_{ph}$		$v$	$ph$		
1981 Apr 7.68	9.0	9.6	SAO 130921	8.7	9.9	K0	0.9	0.6	13	Arctic
1981 May 10.94	8.7	9.4	AGK3-2°0118	6.7	7.1	G5	2.2	2.4	11	N. Brazil
1982 Mar 21.64	7.5	8.2	AGK3+10°1623	10.5	10.9	F0	0.1	0.1	31	Pacific
1983 Mar 28.70	10.0	10.7	AGK3+12°2061	9.4	9.5	A2	1.1	1.5	23	S.E. Australia
1983 May 4.96	9.8	10.5	AGK3+18°1844	8.4	9.2	G0	1.7	1.6	40	Indian Ocean, Iran, western U.S.S.R., Scandinavia
1983 May 29.20	9.6	10.3	1 Vulpeculae	4.7	4.5	B5	4.9	5.8	46	Southern U.S.A.
1986 Mar 21.33	8.1	8.8	SAO 132993	8.7	9.9	K0	0.5	0.3	21	Pacific
1986 Apr 28.89	8.5	9.2	AGK3+1°0867	9.1	9.1	A0	0.5	0.8	16	E. Brazil, Atlantic
1988 Feb 10.86	10.4	11.1	AGK3+4°2522	8.8	8.7	B8	1.8	2.5	13	N.W. Australia
1988 Mar 10.82	10.4	11.1	AGK3+7°2808	9.0	9.0	B9	1.7	2.2	16	N. Australia
1988 Apr 2.58	10.4	11.0	AGK3+9°2741	9.5	9.6	A2	1.3	1.7	20	Central Pacific
1988 May 25.75	10.0	10.6	AGK3+16°2270	8.1	8.6	F2	2.1	2.2	58	(graze, in daylight)
1988 Oct 23.28	10.1	10.8	AGK3+1°2384	10.0	10.7	F8	0.8	0.8	27	S. Pacific
1989 May 8.03	10.2	10.9	AGK3+3°3050	7.0	8.2	K0	3.3	2.8	16	E. Tanzania (low), Indian Ocean

TABLE III. Vesta (adopted diameter 550 km).

Date	Minor planet magnitudes		Star No.	Star		Spectrum	Magnitude change at occultation		Maximum duration (s)	Possible area of visibility
	$m_v$	$m_{ph}$		$m_v$	$m_{ph}$		$v$	$ph$		
1981 Aug 9.59	8.0	8.7	AGK3+4°1605	9.5	10.0	F2	0.2	0.3	14	Indian Ocean
1984 Jan 7.94	7.0	7.8	AGK3+19°0410	9.3	10.5	K0	0.1	0.1	61	S. Africa, Brazil
1984 Jun 2.58	8.4	9.2	AGK3+23°0799	7.9	8.6	F8	1.0	1.1	13	S.W. Indian Ocean
1985 Apr 23.14	5.8	6.6	AGK3+1°1597	8.4	9.6	K0	0.1	0.1	61	Extreme south of S. America
1985 May 16.27	6.1	6.9	AGK3+1°1574	10.5	10.3	B5	0.0	0.0	93	West Indies, Mexico, Pacific
1985 Jul 28.28	7.3	8.1	SAO 139767	9.0	10.3	K2	0.2	0.1	28	N.E. Pacific
1985 Sep 12.93	7.7	8.5	SAO 159188	7.5	8.7	K0	0.9	0.7	16	S. Atlantic
1986 Mar 20.58	8.0	8.8	SAO 164868	6.6	6.6	A0	1.7	2.3	12	S. Pacific
1986 Jul 11.67	7.5	8.3	AGK3-1°0088	8.5	9.2	F8	0.4	0.4	39	Extreme east of U.S.S.R.
1987 Jul 16.11	8.5	9.3	AGK3+21°0581	8.8	9.4	F5	0.6	0.7	12	N.E. Africa
1988 Mar 1.11	7.0	7.8	AGK3+26°0863	8.4	9.4	G5	0.3	0.2	146	Mediterranean, France, Spain, Britain, Iceland
1988 Aug 6.90	8.1	8.9	AGK3+11°1279	6.0	6.6	F5	2.2	2.4	12	Atlantic
1989 Jan 14.70	7.8	8.6	SAO 159716	8.7	9.3	F5	0.4	0.5	14	New Zealand
1989 Jul 12.89	5.8	6.6	SAO 186209	9.3	9.3	B9	0.0	0.1	75	Central U.S.S.R., southeastern Europe, N. Africa, Atlantic
1989 Aug 19.17	6.6	7.4	SAO 185928	6.1	5.9	B2	1.0	1.7	123	Eastern N. Pacific, northern S. America

TABLE IV. Hygiea (adopted diameter 450 km).

Date	Minor planet magnitudes		Star No.	Star		Spectrum	Magnitude change at occultation		Maximum duration (s)	Possible area of visibility
	$m_v$	$m_{ph}$		$m_v$	$m_{ph}$		$v$	$ph$		
1982 Dec 6.11	11.1	11.8	SAO 139019	9.1	9.7	F5	2.2	2.2	13	Africa
1983 Aug 8.27	10.8	11.5	SAO 158213	9.2	9.9	F8	1.8	1.8	18	S. Pacific
1983 Oct 8.40	11.0	11.7	SAO 183401	8.0	10.0	M2	3.1	1.9	11	Ocean south of Australasia
1984 Mar 26.97	11.0	11.7	SAO 163443	8.9	9.7	G0	2.2	2.2	15	India
1985 Jul 21.71	11.3	12.0	AGK3+14°0146	9.4	10.2	G0	2.1	2.0	31	Indonesia, N. Pacific
1988 Mar 8.03	9.9	10.6	AGK3+6°1290	10.5	10.7	A5	0.5	0.7	37	Saudia Arabia, Mediterranean, Iberia, Labrador

Referat: Interferometrische Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern

Ein Fernrohr von 5 m Durchmesser hat ein theoretisches Auflösungsvermögen von  $0.02''$ . Ein Kleinplanet im Asteroidengürtel mit diesem Winkeldurchmesser hat einen linearen Durchmesser von etwa 30 km. Leider befinden sich so große Fernrohre noch nicht im Weltraum, wo dieses theoretische Auflösungsvermögen auch erreicht würde, sondern auf der Erdoberfläche am Grunde des riesigen Luftozeans der Erdatmosphäre. Diese Lufthülle mit ihren kleinen Turbulenzzellen bewirkt, daß der Lichtweg gestört wird - riesige Fernrohre liefern die gleiche Auflösung wie ein Fernrohr von nur 10 cm Durchmesser, welche bei etwa  $1''$  liegt. Die größten Winkeldurchmesser von Kleinplaneten liegen bei etwa  $0,7''$ , sodaß eine direkte Messung der Durchmesser unter diesen Umständen nicht möglich ist. Es liegt also nahe, indirekte Methoden anzuwenden, um so kleine Durchmesser zu bestimmen. Eine solche indirekte Methode ist die interferometrische.

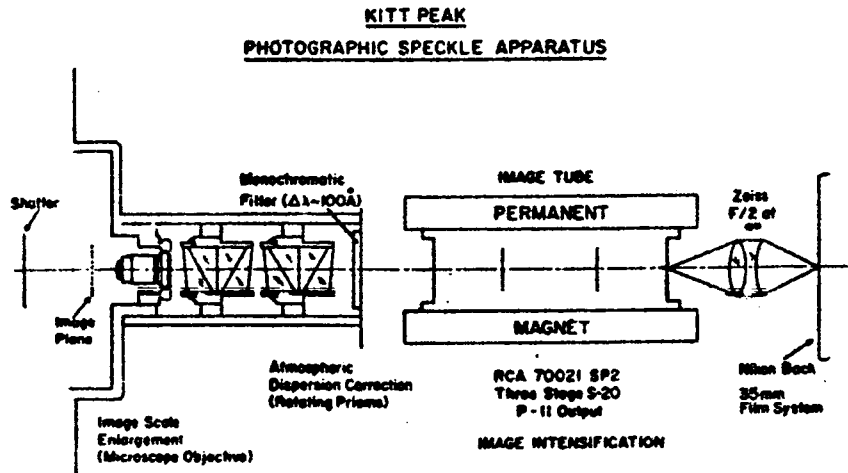
Beim Michelson-Interferometer (Michelson, 1920) wird vor das Fernrohrobjektiv eine Blende mit zwei Öffnungen angebracht. Die Durchmesser dieser Öffnungen sind kleiner als die kritischen 10 cm, sodaß die Einflüsse der Lufthülle vernachlässigbar werden. Die Lichtwellen des beobachteten Objekts werden an diesen Öffnungen gebeugt und interferieren im Brennpunkt. Aus der Breite der entstehenden Interferenzlinien kann man den Durchmesser des beobachteten Objekts bestimmen. Verändert man den Abstand der Öffnungen und deren Lage vor dem Objektiv, so kann man vollständige Angaben über Größe und Form des beobachteten Kleinplaneten machen.

In der Praxis werden viele Öffnungen in der Blende verwendet und die entstehenden Interferenzbilder von vielen hochempfindlichen Empfängern gleichzeitig abgetastet.

Bei der Speckle-Interferometrie wird die Erdatmosphäre mit ihrer Eigenschaft, das einfallende Lichtbündel in etwa 10 cm große Teile gleichen Schwingungszustandes zu zerlegen, als "Blende" verwendet. Labeyrie hat 1970 gezeigt, daß man durch ausreichend kurze Beobachtungszeiten (etwa 0.01 s) die Turbulenz in der Erdatmosphäre "einfrieren" kann. Einige dieser 10 cm durchmessenden Turbulenzzellen wirken durch Interferenz so zusammen, daß man aus der Intensitätsverteilung des im Brennpunkt entstehenden "Flecks" auf den Durchmesser des Objekts schließen kann. Die derart erzielbare Auflösung kommt an die theoretische Auflösungs-fähigkeit des Fernrohres heran.

## Fortsetzung Referat: Interferometrische Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern

Um ein brauchbares Fleckenmuster zu erhalten, muß man bei der Aufnahme mit einem engen Filter (Bandbreite etwa 10 - 20 nm) und rotierenden Prismen zur Kompensation der atmosphärischen Dispersion arbeiten.



Die photographische Aufzeichnung von solchen Speckles über eine Bildverstärkerröhre erlaubt Beobachtungen von Objekten bis etwa  $+7^m$  scheinbare Helligkeit. Die für Kleinplanetenbeobachtungen erforderliche höhere Empfindlichkeit erzielt man in letzter Zeit durch Verwendung von höchstempfindlichen TV-Systemen (CID = Charge Injected Device), die bereits das Eintreffen von wenigen Photonen in der Beobachtungszeit von etwa  $0.02^s$  registrieren können. Die prinzipielle Grenze liegt bei etwa  $+16^m$  bei den derzeit größten Fernrohren, was dem Eintreffen von 2 Photonen am Empfänger(!) in etwa  $0.02^s$  entspricht. Dieses System wurde bereits bei den Saturnmonden Rhea ( $9.5^m$ ) und Japetus ( $10.5^m$ ) erprobt; die Fehler der Durchmesserbestimmungen liegen bei etwa 5 - 10 %. Auch eine Relativmessung der Kleinplaneten 511 Davida ( $11.5^m$ ) und 40 Harmonia ( $12^m$ ) erbrachte für deren Durchmesser Verhältnis den Wert von 3, in Übereinstimmung mit anderen Beobachtungsergebnissen.

Bei der Auswertung der Specklebildchen müssen die restlichen Einflüsse der Luftunruhe eliminiert werden, um eine exakte Durchmesserbestimmung zu ermöglichen. Dazu vergleicht man mittels mathematischen Methoden (Fouriertransformation) die Specklemuster mehrerer Aufnahmen untereinander und bildet ihren Durchschnitt. Nachdem sich die Einflüsse der Luftunruhe auf jedes Specklebildchen anders auswirken, kann man annehmen, daß durch diese Durchschnittsbildung die Einflüsse der Luftunruhe eliminiert werden. Kann man auf derselben Aufnahme einen punktförmigen Stern gleichzeitig mit dem Kleinplaneten abbilden, so daß die beiden Objekte nicht weiter als etwa  $5''$  voneinander abstehen (isoplanatische

## Fortsetzung Referat: Interferometrische Bestimmung von Kleinplanetendurchmessern

Erfordernis = die Lichtwellen beider Objekte müssen durch dieselben Luftturbulenzzellen gehen), dann ist es möglich, die Intensitätsverteilung des Sterns von der Intensitätsverteilung des Kleinplaneten mittels Fouriertransformation zu "subtrahieren". Dadurch können alle Einflüsse der Luftunruhe und alle Teleskopfehler eliminiert werden.

Hierbei sind Genauigkeiten erreichbar, die das Auflösungsvermögen des Fernrohres deutlich übersteigen.

Leider enthalten die so erhaltenen Daten keinerlei Hinweis auf die Form oder auf Unterschiede in der Albedo an verschiedenen Stellen des Kleinplaneten.

Daher geben die solcherart erhaltenen Werte nur die Durchmesser für ein kugelförmiges Objekt mit gleichförmiger Albedo und ohne Randverdunkelung wieder. Um die Fehler, die durch diese Annahme entstehen können, voll abschätzen zu können, wären einige höchstauflösende Bilder von Kleinplaneten erforderlich.

Einige in Entwicklung befindliche Methoden (Bates, 1978; Fienup, 1978) könnten die Möglichkeit eröffnen, durch iterative Anpassungsversuche die Parameter wie Form und Randverdunkelung zu ermitteln. Bei diesen Methoden werden diese Parameter so lange verändert, bis das mit ihnen berechnete Erscheinungsbild mit dem tatsächlich beobachteten übereinstimmt. Erste Versuche in dieser Richtung sind ermutigend verlaufen und rechtfertigen eine weitere Verfeinerung dieser Auswertetechnik. (Worden et al., 1977)

Literatur: Tom Gehrels, Asteroids; The University of Arizona Press, S. 199 ff.  
Mitteilungen der Astronomischen Gesellschaft Nr. 40, S. 23 ff.  
Schreiner, Physik 2, S. 101 ff.  
Sky and Telescope, 3/1975; S. 164 ff.  
Sky and Telescope, 5/1977; S. 346 ff.  
Sky and Telescope, 4/1982; S. 334 ff.

Michael Pietschnig  
Pannaschgasse 7  
A-1050 Wien



Referat: Massen und Dichten von Kleinplaneten.

Mit der Entwicklung neuer und genauerer Methoden zur Untersuchung der Kleinplaneten wurde auch die Frage nach deren Massen und Dichten aktuell. Die exakte Bestimmung ist allerdings bis jetzt noch nicht möglich, weil jede Untersuchung schwierig und mit erheblichen Fehlerquellen behaftet ist. Obwohl bis jetzt schon beachtliche Erfolge erreicht wurden, stellt gerade dieses Kapitel der Himmelskunde doch große Anforderungen an Forscher und Gerät und kann noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden.

A) Massen

Enge Begegnungen von Kleinplaneten lenken diese oft merklich aus ihrer berechneten Bahn ab, besonders dann, wenn die Relativgeschwindigkeiten klein sind und die Störung lange wirken kann. Fayet begann 1949 mit der Suche nach engen Begegnungen zweier Asteroiden und fand unter anderem eine Begegnung zwischen (4) Vesta und (197) Arete. Hertz machte 1966 die ersten Angaben über Massen von Kleinplaneten und wies 1968 nach, daß Vesta-Arete-Begegnungen alle 18 Jahre stattfinden. Die Masse der Vesta konnte er aus ihrem Störeinfluß auf Arete errechnen.

Schubart (1971) fand meßbare Auswirkungen der Anziehungskräfte zwischen Ceres und Pallas, deren Relativgeschwindigkeiten klein sind und daher Kumulationen der Kräfte erlauben. Auch zwischen Ceres und Vesta gibt es kleine, aber meßbare Anziehungskräfte. Die neuerliche Berechnung der Vesta-Masse durch Schubart brachte trotz Einbeziehung der Ceres keine neuen Ergebnisse. Dennoch mußten diese Werte um 15% erhöht werden - wegen besserer Sternpositionen aus dem FK 4 und Hinzunahme von Beobachtungen zwischen 1907 und 1962. Die Werte finden sich in Tabelle 1.

Davis und Bender (1977) sowie Bowell begannen nach Begegnungen von Asteroiden mit möglichst kleinen Relativgeschwindigkeiten zu suchen, die sich zwischen einem sehr kleinen und einem der zehn größten Kleinplaneten abspielen sollten: Beispiele in Tabelle 2. Leider finden die meisten dieser Ereignisse viel seltener statt als bei Vesta-Arete.

Versuche zur Abschätzung der Gesamtmasse der Asteroiden führten durch Morrison (1977) zu  $3,1 \times 10^{24}$ g für Körper zwischen 20 und 700km Durchmesser, basierend auf einer Dichte von  $3 \text{ g/cm}^3$  (die eher zu hoch sein dürfte), durch Kresák zu  $3,0 \times 10^{24}$ g für alle Asteroiden einschließlich der Trojaner, bei verschiedenen Dichten für C- und S-Asteroiden.

## B) Größen

Die Bestimmung der Durchmesser der Asteroiden gestaltet sich sehr schwierig und ist oft auch nicht sehr genau möglich, worauf bereits in einigen Vorträgen hingewiesen wurde, siehe Tabelle 3. Wie unterschiedlich die Ergebnisse sein können, zeigt Tabelle 4. Einige Autoren verwendeten daher Durchschnittswerte verschiedener Messungen - Tabelle 5 - und zogen, wie Schubart und Matson polarimetrische und radiometrische Messungen heran.

## C) Dichten

Schon in der Massenbestimmung, viel mehr aber noch in der Volumensbestimmung der Kleinplaneten stecken große Fehlerquellen. Bei vielen Kleinplaneten ist die Form noch nicht genügend genau bekannt, wodurch die Volumensbestimmung unsicher ist; auch Albedo-unterschiede spielen hier eine große Rolle.

Pallas wurde von Schubart und Matson in dieser Rechnung als Kugel mit demselben Volumen wie das von Wasserman (1979) berechnete "Pallas-Ellipsoid" angenommen; möglicherweise hat sie eine sehr unregelmäßige Form. Veverka (1978) gibt in Analogie zum Marsmond Deimos 10% Unsicherheit an. Der formale Fehler der Durchmesserbestimmung ergibt zwar nur eine Ungenauigkeit von 7%; Form-, Albedo- und Rotationsunsicherheiten vergrößern den möglichen Fehler aber auf 30%!

Obwohl Ceres und Vesta wegen sehr kleiner Lichtkurvenamplituden als Kugeln gelten können, sind die Messungen nicht exakt genug, um ein Ellipsoid mit einem Achsenverhältnis von 1 : 1,2 ausschließen zu können. Unsicherheiten in der radiometrischen und polarimetrischen Messung führen zu möglichen Fehlern bis zu 45%! Die Fehler im Durchmesser dürfen hier bis zu 15% betragen, siehe Tabelle 5. Die aus diesen Werten errechneten Dichten sind in Tabelle 6 zu finden.

Schubart und Matson erhofften sich von der Errechnung von Verhältnissen der Durchmesser das Wegfallen systematischer Fehler und geben das Verhältnis der Dichten von Vesta:Ceres =  $1,33 \pm 0,17$  an. Leider kann dieses Verfahren weder Absolutwerte geben noch die Fehler aus der Unregelmäßigkeit dieser Körper ausschließen.

Bessere Werte erwartet man aus Gravitationsmessungen von Marssonden, aus Sternbedeckungsbeobachtungen und aus Beobachtungen vom Weltraum aus. Auch Kleinplanetensonden werden diskutiert.

Fortsetzung Referat: Massen und Dichten von Kleinplaneten.

Tabelle 1 (Massen von Kleinplaneten)

Name	$10^{-10}$ Sonnenmassen	Anmerkung
(1) Ceres	5,9 ± 0,3	Fehler sind größer angegeben als errechnet, um Systemfehler sicher zu enthalten.
(2) Pallas	1,08 ± 0,22	
(4) Vesta	1,38 ± 0,12	

Tabelle 2 (Begegnungen von Kleinplaneten)

Begegnende Asteroide	Distanz	Relativgeschw.	Jahr
(1) Ceres - (534) Nassovia	0,022 AE	2,8 km/s	1975
(4) Vesta - (197) Arete	0,04	2,1	1976
(65) Cybele - (609) Fulvia	?	0,8	1970

Tabelle 3 (Methoden der Durchmesserbestimmung an Kleinplaneten)

Methode	Entwickelt	Anwendung auf	Jahr	Sem.-Referent
(Geschichte)	-	-		W.Valentin
Sternbedeckungen	Taylor	Juno, Pallas	1962	R.Birnkrant
Lichtkurven	Bowell, Wasserman	Ceres, Pallas	1977	
Polarimetrie	Widorn	Ceres u.a.	1967	UD.Dr.Widorn
Spektralphotometrie	Mc Cord, Chapman	Ceres, Vesta	1969	W.Valentin
UBV-Photometrie	Bowell	Pallas u.a.	1975	UD.Dr.Schober
Infrarot-	Allen	Vesta, Eros	1970/71	"
radiometrie	Matson	Pallas		"
Speckle-Inter-	Worden	Vesta	1977	M.Pietschnig
ferometrie	Stein	Pallas		"

Tabelle 4 (Durchmesserbestimmungen an Kleinplaneten)

Methode	Ceres km	Pallas km	Vesta km	Jahr	Gemessen von
Fadenmikrometer	781±87	490±118	391±46	1895	Barnard
Interferometer	-	-	390	1899	Hamy
Fadenmikrometer	706±84	-	347±70	1900	Barnard
Polarimetrie	850	500	390	1967	Widorn
Radiometrie	1160±80	-	570±10	1971	Allen
Radiometrie	1000±100	530±175	600±60	1971	Matson
Polarimetrie	-	-	515±95	1971	Veverka
Polarimetrie	1220±240	660±110	580±90	1973	Veverka

Fortsetzung Referat: Massen und Dichten der Kleinplaneten.

Tabelle 4 (Fortsetzung: Durchmesserbestimmungen an Kleinplaneten)

Methode	Ceres km	Pallas km	Vesta km	Jahr	Gemessen von
Polarimetrie	1050	560	515	1974	Chapman, Morrison
Radiometrie	1000	530	530	1974	Chapman, Morrison
Speckle-Interf.	-	-	513±51	1977	Worden et al.
Speckle-Interf.	-	673±55	550±23	1979	Worden, Stein
Sternbedeckung, Lichtkurve	-	538±12	-	1978/9	Wasserman, Elliot

Tabelle 5 (Kleinplanetendurchmesser nach verschiedenen Autoren)

Methode	Ceres km	Pallas km	Vesta km	Autor
Gewichtetes Mittel: Fadenmikrometer	769	490	385	Barnard
Gewichtetes Mittel; Polar., Radiom.	955	-	-	Chapman
Gewichtetes Mittel; Polar., Radiom.	1003	608	538	Morrison
TRIAD	1018	629	548	Morrison
Sternbedeckung, Lichtkurve	-	538±12	-	Wasserman
Sternbedeckung, Lichtkurve	987 ±150	538 ±50	544 ±80	Schubart, Matson

Tabelle 6 (Dichten von Kleinplaneten)

Ceres g/cm <sup>3</sup>	Pallas g/cm <sup>3</sup>	Vesta g/cm <sup>3</sup>	Quelle
-	-	8	Hertz 1968
5 ± 1	-	5	Schubart 1971
1,6 ± 0,7	-	2,5 ± 0,7	D.Allen 1971
2,1 ± 0,3	2,8 ± 0,9	3,1 ± 0,5	Morrison 1974
2,1 ± 1,0	-	3,0 ± 1,5	Matson et al. 1976
2,2	1,9	2,9	Chapman et al. 1978
-	2,8 ± 0,5	-	Wasserman et al. 1979
2,3 ± 1,1	2,6 ± 0,9	3,3 ± 1,5	Schubart, Matson 1979

Literatur: T.Gehrels, Asteroids: J.Schubart and D.L.Matson,  
Masses and Densities of Asteroids. Tucson, Uni-  
versity of Arizona Press, 1979.

Beate Hirn  
Wallensteinstr.29/15  
A-1200 Wien

Referat: Begleiter kleiner Planeten

1. Ergebnisse aus Sternbedeckungen durch kleine Planeten

Erste Anzeichen für einen Begleiter eines Kleinplaneten fand man bei der Bedeckung des Sterns  $\gamma$  Cet durch (6) Hebe am 5. 3. 1977 (Maley beobachtete in Texas eine Bedeckung, obwohl die Totalitätszone 900km südlicher durch Mexico verlief). Schluß auf Begleiter mit etwa 20km Durchmesser.

Ein Jahr später, am 7. 6. 1978, bedeckt (532) Herculina den Stern SAO 120774. McMahon beobachtet nicht nur die Hauptbedeckung (20,6sec), sondern auch 6 weitere Verfinsterungen des Sterns um ca. 3,6<sup>m</sup> zwischen 0,5 und 4 Sekunden Dauer.

Eine dieser weiteren Bedeckungen konnte auch lichtelektrisch am Lowell-Observatorium beobachtet werden. Man schloß daraus auf einen 50km großen Begleiter der 220km großen Herculina, in etwa 1000km Entfernung von ihr. Leider wurde die Beobachtung unter sehr schlechten Bedingungen (2° Höhe) gewonnen.

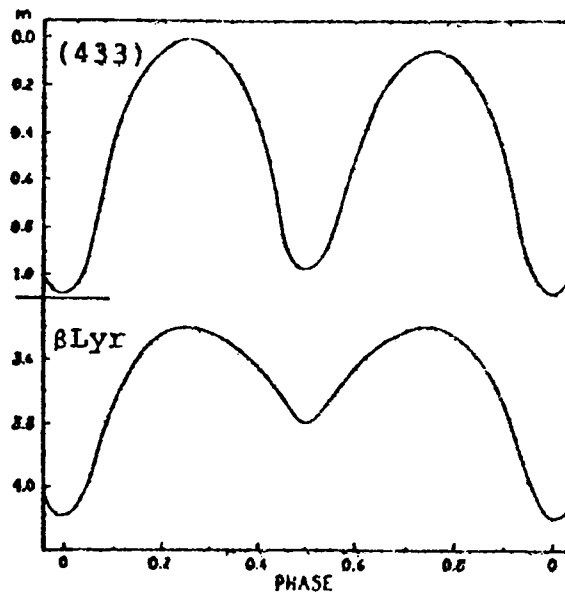
Für die nächste Bedeckung eines Sterns durch einen Kleinplaneten, nämlich (18) Melpomene am 11. 12. 1978, wurde erstmals eine systematische Suche nach einem Begleiter vorbereitet. Visuelle und lichtelektrische Beobachtungen lieferten für Melpomene einen Durchmesser von 130km. Vier Beobachter berichteten über je eine weitere Verfinsterung, diese Beobachtungen konnten jedoch nicht eindeutig einem Begleiter zugeschrieben werden.

Untersuchungen früherer Beobachtungen von Sternbedeckungen durch kleine Planeten zeigten, daß auch bei (2) Pallas, (1977 und 1978), (129) Antigone (1978) und (433) Eros (1976) ähnliche Erscheinungen beobachtet worden waren.

Bereits 1926 entdeckten Bos und Finsen bei einer systematischen Suche nach Doppelsternen in der Cape Photographic Durchmusterung ein doppelsternförmiges Objekt, das sich später als (2) Pallas herausstellte. Da Bos und Finsen eine ähnliche Erscheinung auch bei Titan festgestellt hatten, kann diese auch durch Oberflächenstrukturen gedeutet werden.

## 2. Lichtkurvenuntersuchungen

1901 entdeckt v. Oppolzer Lichtschwankungen an Eros. Andre entdeckt die Ähnlichkeit dieser Helligkeitsänderungen mit jenen von  $\beta$  Lyr - Sternen:



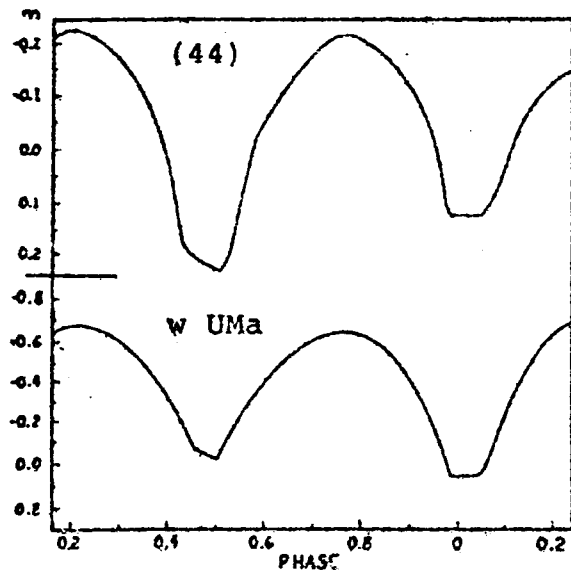
Bos und Finsen beschreiben 1931 Eros als "unaufgelösten Doppelstern, Distanz der Komponenten  $0,18''$ , Helligkeitsdifferenz  $0,2^m$ ". Radarbeobachtungen an Eros zeigten eine längliche Gestalt ( $12 \times 12 \times 31 \text{ km}$ ), aber asymmetrische Rotation. Die Oberfläche des Eros erschien in den beobachteten Wellenlängen rauher als die der erdähnlichen Planeten.

Auch Herculina zeigt einen Lichtwechsel ähnlich einem  $\beta$  Lyr-Stern, mit einer Amplitude von ca.  $0,2^m$  (Chang und Ching, 1963). 1961 beschreibt Cook Hektor als doppelt, 1978 beschreiben Hartmann und Cruikshank Hektor als hantelförmig. 1979 untersuchen Tedesco und Zappalà die sog. LALA - Gruppe (large amplitude lightcurve asteriods). Sie zeigen, daß sich die Lichtkurven dieser Objekte am besten so deuten ließen, daß ein (ehemaliger) Begleiter auf den Kleinplaneten gestürzt ist und so ein mehr oder weniger hantelförmiges Gebilde entstanden ist.

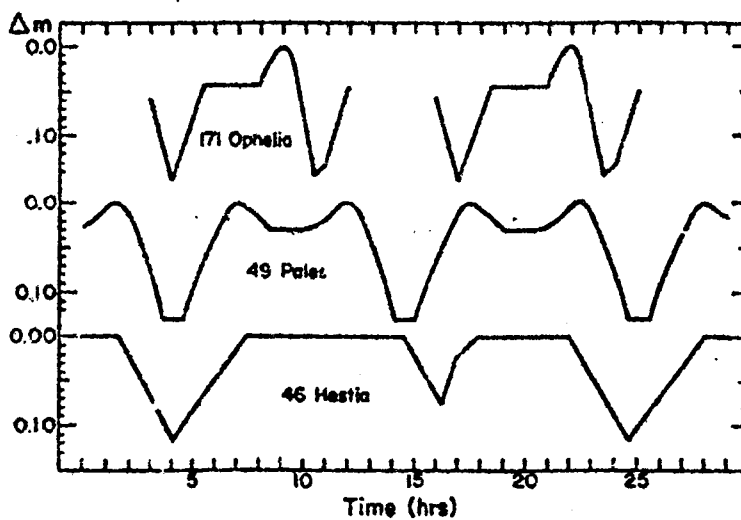
Berührende Körper wie in diesem Fall könnten auch die Beobachtungen an Eros erklären. Geographos, ebenfalls ein länglicher Körper, könnte sogar eine Kette aus kleineren Körpern darstellen. Auf Grund ihrer geringen Größe könnten Eros und Geographos aber auch Trümmer eines größeren Körpers sein. Dagegen spricht die sehr geringe Anzahl

Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten  
von Beobachtungen länglicher Körper.

(44) Nysa und (511) Davida zeigen Lichtkurven vom Typ w UMa. Diese Lichtkurven können nicht mehr durch Oberflächenstrukturen und die Form des Kleinplaneten erklärt werden.



(46) Hestia, (49) Pales und (171) Ophelia zeigen Lichtkurven vom Typ B Per.



Bei Pales und Ophelia konnten außerdem bei Sternbedeckungen zusätzliche Verfinsterungen beobachtet werden.

Satelliten von Kleinplaneten können bei geeigneter Bahnlage die vier bekannten Erscheinungen zeigen: Bedeckungen, Durchgänge, Verfinsterungen und Schattenvorübergänge.

## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

In der Lichtkurve von Ophelia konnten alle vier dieser Erscheinungen nachgewiesen werden.

Ein typischer Doppelkleinplanet verhält sich wie ein photometrischer Doppelstern. Kleine Begleiter in größerer Distanz tendieren zu flachen Maxima und Minima, größere und nähere Satelliten zeigen stärkere Extrema. Flache Extrema wurden bei (44) Nysa beobachtet. Natürlich kommen Lichtunterschiede auch durch die Topographie des Hauptkörpers zustande. Begleiter, die etwa 10% der Größe des Hauptkörpers haben, müssten Lichtveränderungen von  $0,01^m$  bis  $0,04^m$  hervorrufen. Diese Schwankungen müssten zusätzlich zu Rotationserscheinungen des Zentralkörpers beobachtet werden können. Tatsächlich konnte Schober (1979) diese geringen Schwankungen isolieren.

Durch Gezeitenwirkungen laufen Begleiter oft in synchronen Bahnen, Umlauf des Begleiters und Rotation des Zentralkörpers sind dann nicht zu unterscheiden.

Um die genauen Umlaufzeiten der Begleiter zu bestimmen, müssen Kleinplaneten praktisch rund um die Uhr, also von mindestens zwei Stationen auf gegenüberliegenden Seiten der Erde, lichtelektrisch beobachtet werden.

Woran kann man aus der Lichtkurve eines Kleinplaneten auf einen Begleiter schließen?

- (1) Die Maxima sind schärfer als die Minima (z.B. (129) Antigone), nicht durch topographische Struktur zu erklären.
- (2) Zu komplexe Lichtkurven, als daß man sie rein topographisch erklären könnte (z.B. (24) Themis, (29) Amphitrite und (51) Nemausa).
- (3) Ansteigen der Amplitude mit zunehmendem Phasenwinkel (z.B. (349) Dembowska, (354) Eleanora, (944) Hidalgo, (1580) Betulia).
- (4) Zwei Maxima und Minima bei einer Erscheinung, aber nur ein Maximum und ein Minimum bei einer anderen durch unterschiedliche Bahnlage (z.B. (532) Herculina).



## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

- (5) Dreifache Maxima und Minima durch Topographie und Begleiter (z.B. (1580) Betulia, Komet (!) P/d'Arrest).
- (6) Lichtkurve ähnlich der eines photometrischen Doppels (z.B. (44) Nysa).

### 3. Dynamische Überlegungen

#### 3.1. Gravitationelle Stabilität:

Der Radius der gravitationellen Einflußsphäre eines Körpers im inneren Sonnensystem, der nicht zu nahe einem Planeten steht, ist etwa sein 100facher Durchmesser. Für Herculina beträgt diese Entfernung etwa 30 000 km. Ein 1000km entfernter Begleiter ist also sehr stabil. Hat der Begleiter etwa 1/5 des Durchmessers von Herculina und etwa 1/125 ihrer Masse, so reicht seine gravitationelle Einflußsphäre etwa 200km weit.

#### 3.2. Wie wahrscheinlich sind Kollisionen zwischen Kleinplaneten ?

Ein Kleinplanet von 1km Durchmesser hat eine Querschnittsfläche von  $7,9 \cdot 10^9 \text{cm}^2$ . Er bewegt sich mit etwa  $5 \text{kms}^{-1}$  relativ zu benachbarten Kleinplaneten und überstreicht in einem Jahr ein Volumen von  $1,2 \cdot 10^{23} \text{cm}^3$ . Die Hälfte aller Kleinplaneten liegt in einer 0,42AE breiten Zone zwischen 2,2 und 3,3 AE Entfernung von der Sonne, diese Zone hat ein Volumen von ca.  $4,3 \cdot 10^{40} \text{cm}^3$ .

Modell 1: Es finden heute kaum mehr Kollisionen statt, die Anzahl der Kleinplaneten nimmt kaum mehr zu.

Die Anzahl der Kleinplaneten bis zur Masse  $m$  bzw. bis zum Durchmesser  $d$  beträgt dann (o.Bew.)

$$N(m) = 4,69 \cdot 10^{18} m^{-0,833} \quad \text{bzw.}$$

$$N(d) = 9,06 \cdot 10^5 d^{-2,5}$$

Die Anzahl der Kleinplaneten mit Masse von  $m$  bis  $m+dm$  ist dann

$$dN = -3,91 \cdot 10^{18} m^{-1,833} dm$$

Modell 2: Daten aus der Palomar-Leiden-Survey:

$$N(m) = 3,3 \cdot 10^{16} m^{-0,7}$$

$$N(d) = 6,83 \cdot 10^5 d^{-2,1}$$

$$dN = -2,31 \cdot 10^{16} m^{-1,7} dm$$

## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

Multipliziert man  $dN$  mit der durchschnittlichen Querschnittsfläche eines Kleinplaneten,  $0,52m^{2/3}$  und integriert man über alle Kleinplaneten, so erhält man die durchschnittliche Gesamtquerschnittsfläche aller Kleinplaneten,  $A$ , zu

$$A = 1,23 \cdot 10^{19} m^{-0,166} = 3,61 \cdot 10^{16} d^{-0,5} \quad (\text{Modell 1}) \text{ bzw.}$$

$$A = 3,63 \cdot 10^{17} m^{-0,033} = 1,13 \cdot 10^{17} d^{-0,1} \quad (\text{Modell 2})$$

Dividiert man das Gesamtvolumen, in dem sich 50% aller Kleinplaneten befinden, durch die Gesamtquerschnittsfläche von 50% aller Kleinplaneten, erhält man die mittlere freie Weglänge eines Kleinplaneten zu

$$2,38 \cdot 10^{24} d^{0,5} \quad (\text{Modell 1}) \text{ bzw. } 7,61 \cdot 10^{23} d^{0,1} \quad (\text{Modell 2})$$

Aus der mittleren relativen Bahngeschwindigkeit eines Kleinplaneten von  $5 \text{ km s}^{-1}$  ergibt sich die mittlere Zeit zwischen zwei Kollisionen zu

$$15,1 \cdot 10^{10} d^{0,5} \text{ Jahre (Mod. 1) bzw. } 4,8 \cdot 10^{10} d^{0,1} \text{ Jahre}$$

Die Bahngeschwindigkeit des Begleiters von Herculina beträgt ca.  $31 \text{ km s}^{-1}$ . Eine Kollision, die die Bahngeschwindigkeit eines Begleiters um mehr als  $\sqrt{2}$  vergrößert, reicht aus, den Begleiter aus seiner Umlaufbahn zu werfen. Man kann zeigen, daß ein Körper, der den Begleiter aus der Bahn werfen kann, eine Größe von ca.  $d_s \cdot 0,044 \cdot d^{1/3} \cdot n^{-1/6}$  haben muß, wobei  $d$  der Durchmesser des Kleinplaneten,  $d_s$  der Durchmesser des Begleiters und  $n$  dessen Distanz in Einheiten von  $d$  ist. Für den Begleiter der Herculina reicht ein Körper von 350m Durchmesser aus! Kollisionen von Körpern dieser Größenordnung finden nach obigen Überlegungen etwa alle  $5 \cdot 10^9$  Jahre statt, das ist aber das Alter des Sonnensystems.

### 3.3. Gezeitenwirkungen

Die Rotation des Kleinplaneten wird durch den Umlauf seines Begleiters beeinflusst. Wenn sich der Begleiter in der selben Richtung bewegt, wie der Zentralkörper rotiert, so sinkt seine Entfernung vom Zentralkörper und steigt die Rotationszeit des Hauptkörpers, wenn sich der Satellit innerhalb der synchronen Bahn bewegt (Phobos - Mars),

## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

und steigt die Entfernung des Begleiters und sinkt die Rotationsgeschwindigkeit des Zentralkörpers, wenn sich der Begleiter außerhalb der synchronen Bahn befindet (Erde - Mond).

Der Radius der synchronen Bahn ergibt sich aus der Umlaufzeit  $P$  zu

$$r_s = 1,87 \cdot P^{2/3}$$

Die Änderung  $P'$  der Umlaufzeit hängt von der Masse des Zentralkörpers,  $M$ , der Masse des Satelliten,  $m$ , der Rotationsgeschwindigkeit des Zentralkörpers,  $\omega_p$  und der Bahngeschwindigkeit des Begleiters,  $\omega_s$ , ab:

$$P' = 0,64 \cdot \sin 2(\omega_p - \omega_s) \cdot (M/m) \cdot n^{-5}$$

$n$  ist wieder der Abstand des Begleiters vom Zentralkörper in Einheiten des Durchmessers des Zentralkörpers.

$P/P'$  ist dann die Zeit, die der Begleiter benötigt, um entweder den Zentralkörper zu verlassen oder auf ihn zu stürzen, es sei denn, er befindet sich in der synchronen Bahn. Für den Begleiter von Herculina ist diese Zeit etwa  $1,5 \cdot 10^5$  Jahre. Kleiner Begleiter ( $M/m$  ca.  $10^6$ ) dürften in der Entwicklungszeit des Sonnensystems ( $4,5 \cdot 10^9$  Jahre) keine wesentlichen Bahnveränderungen erfahren haben.

#### 4. Ursprung der Begleiter

Kollidieren zwei Körper mit etwa  $5 \text{ km s}^{-1}$ , entweicht das meiste ausgeworfene Material dem System (Entweichgeschwindigkeit kleiner als  $100 \text{ m s}^{-1}$ ). Ein Teil dieses Materials kreist einige Zeit um den getroffenen Körper und fällt dann auf ihn zurück. Stabile Bahnen können so nicht erzielt werden. Kollisionen, bei denen ein Körper zerstört wird, führen zu einer Familie von Trümmern, die sich langsam von der Kollisionsstelle entfernen. Tatsächlich nimmt man bei der Themis-Familie an, daß ihre Mitglieder so entstanden sind. Themis ist mit 210 km Durchmesser das größte Mitglied dieser Familie, die aus einem 300 km großen Körper entstanden sein könnte. Bei (171) Ophelia wurden durch lichtepektische Beobachtungen komplizierte topographische Strukturen festgestellt, die sich als herabgestürzte Begleiter deuten lassen.

## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

Wiederholte Messungen der Helligkeit des Himmelshintergrundes, von Kleinplanet + Himmelshintergrund und Stern + Himmelshintergrund, mit einem ortsfesten Teleskop. Ein steiler Lichtabfall auf den Pegel Kleinplanet + Himmelshintergrund ist dann Anzeichen für eine Bedeckung. Leider ist die Differenz Himmelshintergrund - Kleinplanet+Hintergrund fast nicht meßbar.

Wichtig sind auch mehrfache lichtelektrische Beobachtungen. Am 28. 2. 1978 wurde eine Bedeckung durch (13) Egeria von drei Stationen, die im Abstand von je 6km entlang der vorausberechneten Zentrallinie angeordnet waren, beobachtet. Die meisten beobachteten Lichtabfälle mußten aber auf Nachführfehler zurückgeführt werden.

Auch Schwankungen in der Versorgungsspannung der Photometer können Ausfälle hervorrufen. Wichtig ist daher für getrennte Beobachter auch eine getrennte Stromversorgung der Photometer.

Am Lowell-Observatorium wurde untersucht, wie verschiedene Beobachter auf unvorhersehbare Helligkeitsabfälle reagieren. Die Testgruppe umfaßte 10 erfahrene und 4 unerfahrene Beobachter. Es wurden Bedeckungen in verschiedene Fernrohrlagen erzeugt, die Testpersonen mußten 5 bis 10 Minuten beobachten. Das Ergebnis zeigte, daß alle Beobachter mehr Verfinsterungen beobachtet hatten, als erzeugt worden waren. Die erfahrenen Beobachter machten weit weniger Fehler als die unerfahrenen, und es zeigte sich auch eine deutliche Korrelation zur Fernrohrlage. Visuelle Beobachtungen sind also zu unsicher, außer der Beobachter ist äußerst erfahren und der Stern ist zumindest so hell wie der Kleinplanet. Im Fall der Hercules waren beide Bedingungen erfüllt.

Es wurden aber auch diffuse, schwächere Nebenverfinsterungen beobachtet. Einige Beobachter bemerkten ein Ansteigen der Szintillation des Sterns knapp vor und nach der Bedeckung. Existiert um manche Kleinplaneten ein Ringsystem oder ein Halo aus Staub?

## Fortsetzung Referat: Begleiter kleiner Planeten

1978 und 1979 wurden bei vier weiteren Beobachtungen von Sternbedeckungen durch Herculina und Melpomene zusätzliche Verfinsterungen beobachtet.

Sind Begleiter bei kleinen Planeten alltäglich? Warum können die Beobachteten Verfinsterungen nicht andere Ursachen haben als Begleiter von kleinen Planeten?

- (1) Es wird nur ein Verschwinden des Sterns beobachtet, der Kleinplanet bleibt sichtbar.
- (2) Da es sich um Verfinsterungen um mehrere Größenklassen handelt, liefern geübte Beobachter sehr zuverlässige Bedeckungszeiten, die gut mit anderen Beobachtungen verglichen werden können.
- (3) Aus den Beobachtungen des Begleiters von Herculina ergab sich für diesen dieselbe Raumbahn wie für Herculina selbst.
- (4) Ausgedehnte Untersuchungen an ekliptiknahen Sternen ergaben, daß Lichtabfälle um einige Größenklassen nur dann stattfinden, wenn sich ein Kleinplanet in unmittelbarer Nähe befindet.
- (5) Bei Sternbedeckungen durch den Mond wurden keine derartigen Erscheinungen beobachtet.

Nebenverfinsterungen wurden äußerstenfalls vier Minuten vor bzw. nach der Hauptverfinsterung beobachtet.

Was spricht gegen diese Beobachtungen?

- (1) Visuelle Beobachter werden durch atmosphärische Turbulenzen leicht getäuscht (5 der 6 Beobachtungen von McMahon wurden von keinem anderen Beobachter bestätigt).
- (2) Auch bei lichtelektrischen Beobachtungen können Fehler durch Wolken, Vögel, Flugzeuge, etc. entstehen. Nachführfehler können ebenfalls zu Lichtausfällen führen, aber nicht zu schlagartigen, sondern zu allmählichen. Stöße gegen das Teleskop durch Wind oder unvorsichtige Beobachter können allerdings auch schlagartige Lichtabfälle hervorrufen.

Eine optimale lichtelektrische Beobachtung einer Sternbedeckung durch einen Kleinplaneten müßte daher etwa folgendermaßen ablaufen:

## 5. Modelle

Sehr große Begleiter müßten bereits alle entweder entwichen oder auf den Hauptkörper gefallen sein, oder sie laufen in synchronen Bahnen. Dies könnte die große Anzahl an Beobachtungen "hantelförmiger" Körper erklären.

Wie entwickelt sich ein System mit mehreren nahezu gleichen Massen? Bei der Kollision der ersten beiden Körper entsteht ein hantelförmiges Objekt. Die weiteren Begleiter tendieren zu den Enden dieser Hantel, sodaß eine Kette von kleinen Planeten entsteht. Nur diese Objekte könnten die auf Mond und Mars beobachteten Kraterketten bei einem Aufprall in geeignetem Winkel erzeugen.

Kleinere Satelliten befinden sich noch in ihrer Bahn, die nahezu kreisförmig und gegen den Äquator kaum geneigt ist. Bei geeigneten Dimensionen von Kleinplanet und Begleitern sind sogar Begleiter der Begleiter, ja ganze Begleiterwolken möglich, was Beobachtungen von Halos erklären würde. Kleinplanetenfamilien dürften mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit Reste von Kollisionen darstellen. Es könnten aber auch ehemalige Satellitenwolken von größeren Kleinplaneten sein, die bei einer engen Begegnung zweier Kleinplaneten losgerissen wurden. Die Mitglieder einer solchen Familie müßten dann alle kleiner als ca. 50km sein.

Nimmt man noch an, daß Kleinplaneten von einer Wolke aus Staub und Molekülen umgeben sind, dann wären sie in ihrem Erscheinungsbild den Kometen sehr ähnlich.

Haben auch Kometen Begleiter? Mehrere Kometen haben mehrfache Kerne, bei einigen Kometen wurde schon in sehr großer Sonnenentfernung eine Art Coma entdeckt, die dann wohl nur als Satellitenschwarm gedeutet werden kann!

Bei einigen Meteoren wurde bereits vor dem Verflühen eine Aufspaltung in zwei Teile beobachtet, manche Feuerkugeln haben nachweislich als Doppelobjekt die Erdatmosphäre erreicht. Mittels Radarmessungen konnten bei Feuerkugeln sogar Anzeichen einer Staubhülle beobachtet werden.

Sind also Begleiter im Sonnensystem eine Selbstverständlichkeit?

Alexander Pikhard

Pramergasse 25A

1090 Wien

Referat: Planetoiden vom Typ Amor, Apollo und Aten.

1. Definition

Die Einteilung der Objekte in die drei Gruppen erfolgt nach den Größen: Große Halbachse  $a$ , Periheldistanz  $q$  und Apheldistanz  $Q$ .

- a) Typ Amor:  $a > 1,00 \text{ AE}; \quad 1,017 \text{ AE} < q \leq 1,300 \text{ AE}$
- b) Typ Apollo:  $a \geq 1,00 \text{ AE}; \quad q \leq 1,017 \text{ AE}$
- c) Typ Aten:  $a < 1,00 \text{ AE} \quad Q > 0,983 \text{ AE}$

Die Typen b) und c) können die Erdbahn kreuzen. mit  $q > 1,300 \text{ AE}$  schließen sich an die Amor-Gruppe die "Marsbahnkreuzer" an. Planetoiden mit  $Q < 0,983 \text{ AE}$  sind sicherlich vorhanden, bisher wurden aber keine derartigen Objekte entdeckt. Spekuliert wird zudem über die Existenz von Planetoiden mit  $a < 0,307 \text{ AE}$  und  $Q < 0,307 \text{ AE}$ , also sogenannte "intramerkuriale Planetoiden" oder "Vulcanoide".

2. Die Erdbahn kreuzende Planetoiden

Zu diesen Objekten gehören alle Planetoiden auf Bahnen, die aufgrund säkularer Störungen die Erdbahn schneiden können. Öpik hat schon 1951 erkannt, daß ein Planetoid, dessen Bahn die Erdbahn überlappt, diese wegen des säkularen Vorwärtsschreitens der Knotenlinie schneiden kann.

Die Beziehungen zwischen sich überlappenden Bahnen sind als Funktion der Zeit sehr kompliziert, da sich nicht nur die Knotenlinie dreht. Es treten auch langperiodische Oszillationen der Bahnexzentrizität  $e$  und der Bahnneigung  $g$  gegen die invariable Ebene auf; dies gilt für die jeweils betrachtete Planetoidenbahn und für die Erdbahn. Diese Umstände führen zu sehr unterschiedlichen Häufigkeiten von Schnitten mit der Erdbahn für die verschiedenen Planetoiden. Erst um 1979 gelang es, die säkulare Änderung des Radius des aufsteigenden Knotens für Zeiträume von ca.  $10^5$  Jahren für die wichtigsten Erdbahnkreuzer genau genug zu berechnen.

Beispielsweise erreicht bei (2062) Aten  $r(\Omega)$  in etwa 22 000 Jahren den Wert  $1,00 \text{ AE}$ . Über einen Zeitraum von ca. 5 000 Jahren um dieses Datum herum liegt  $r(\Omega)$  zwischen der Perihel- und Apheldistanz der Erdbahn. Daraufhin ist  $r(\Omega)$  für etwa 20 000 Jahre größer als die Apheldistanz  $Q$  der Erdbahn; in diesem Zeitraum ist eine Kollision völlig unmöglich.

Ein anderes Verhalten zeigen erdbahnkreuzende Planetoiden, die eine 3:1 Kommensurabilität mit Jupiter aufweisen. Die durch diese Resonanz bedingte starke Störung verursacht eine rasche Oszillation in den Elementen  $a$  und  $e$ . Ein Planetoid mit diesem Bahntyp ist (1915)

## Fortsetzung Referat: Planetoiden vom Typ Amor, Apollo und Aten.

Quetzalcoatl, die "gefiederte Schlange". B.Marsden hat dessen Bahn für den Zeitraum von 1250 bis 2650 n.Chr. integriert. In diesem Zeitraum treten 4,5 Schwingungen von  $r(\Omega)$  um den Wert von 1,00 AE auf, derzeit ist  $r(\Omega) = 1,06$  AE. Obwohl sich  $r(\Omega)$  in diesen 1400 Jahren zu ca. 70% im Bereich zwischen dem Aphel und Perihel der Erdbahn befindet, tritt dennoch kein Zusammenstoß auf. Die Arbeit von Marsden zeigt, daß auch bei "günstigen Bedingungen" die Kollisionswahrscheinlichkeit sehr gering ist, wenn man historische Zeiträume in Betracht zieht.

### 3. Zahl der Planetoiden in den drei Gruppen; wichtige Mitglieder

#### a) Typ Aten.

Das erste Mitglied der derzeit 4 bekannten Objekte, (2062) Aten, wurde 1976 von E.Helin entdeckt. Die Gesamtzahl der Körper, welche die absolute Helligkeit von  $V(1,0) = 18^{\text{mag}}$  überschreiten oder erreichen, wurde zu etwa  $N = 100$  abgeschätzt. Der obigen Helligkeit entspricht im Durchschnitt ein Durchmesser von etwa 1 km. Das größte bisher bekannte Objekt ist (2100) Ra-Shalom mit 3-4 km Durchmesser.

#### b) Typ Apollo

Das erste Objekt der Gruppe, (1862) Apollo, fand K.Reinmuth im Jahre 1932. Für 22 Planetoiden sind die Bahnen gut bestimmt, die Gesamtzahl der Körper mit  $V(1,0) > 18^{\text{mag}}$  ergibt sich aus statistischen Überlegungen zu  $N = 700 \pm 300$ . Die hohe Zahl dieser km-großen Objekte wird manchen Teilnehmer des Seminars wohl überraschen.

Das größte bekannte Mitglied ist 1978 SB mit einem Durchmesser von 8-12 km. Mit  $q = 0,35$  AE hat dieser Körper die zweitkleinste Periheldistanz aller Planetoiden, lediglich (1566) Icarus kommt der Sonne mit  $q = 0,19$  AE noch wesentlich näher. Zu dieser Gruppe gehört auch (1685) Toro, der früher gelegentlich in populären Berichten fälschlicherweise als eine Art Nebenmond der Erde bezeichnet wurde. Das Mitglied (1620) Geographos fällt durch extreme Helligkeitsschwankungen auf; daraus wurde ein Achsenverhältnis von etwa 1:1:4 abgeleitet.

#### c) Typ Amor

Das 1932 von E.Delporte entdeckte Objekt (1221) Amor gab der Gruppe den Namen; ein viel bekannteres Mitglied ist aber wohl (433) Eros, das größte bekannte Mitglied der drei Gruppen. Ein großes Mitglied ist auch (2061) Anza mit etwa 10 km Durchmesser. Die Unterscheidung zwischen Amor- und Apollo-Typen ist etwas willkürlich, da viele Apollos im Lauf der Zeit zu Amors werden können, und vice versa.



## Fortsetzung Referat: Planetoiden vom Typ Amor, Apollo und Aten.

Für die Zahl der Amor-Objekte mit  $V(1,0) \geq 18^{\text{mag}}$  wird  $N = 1000$  bis 2000 angegeben.

### 4. Tabelle ausgewählter Objekte

Diese Zusammenstellung soll lediglich einen Überblick über typische Bahnen und Durchmesser geben, sie ist bei weitem nicht vollständig. Die Daten  $q$ ,  $Q$  gelten für 1979. Eine detaillierte Zusammenstellung der Bahnelemente ist in Lit.(1) zu finden. Die Tabelle ist nach zunehmender Periheldistanz  $q$  geordnet.

Bezeichnung	a	q	Q	i	2 R
	AE	AE	AE		km
1566 Icarus	1,08	0,19	1,97	23°	1
1978 SB	2,23	0,35	4,11	12	10
1974 MA	1,76	0,42	3,09	38	4
2101 Adonis	1,87	0,44	3,30	1	0,8
2100 Ra-Shalom	0,84	0,47	1,20	16	3
1976 UA	0,85	0,47	1,22	6	0,2
1864 Daedalus	1,46	0,56	2,36	22	2
1865 Cerberus	1,08	0,58	1,58	16	1
1862 Apollo	1,47	0,65	2,29	6	2
2063 Bacchus	1,08	0,70	1,45	9	1
1685 Toro	1,37	0,77	1,96	9	4
2062 Aten	0,966	0,79	1,14	19	1
1620 Geographos	1,25	0,83	1,66	13	2
1866 Sisyphus	1,90	0,87	2,92	41	5
1975 YA	1,30	0,91	1,69	61	1
2061 Anza	2,26	1,05	3,48	4	10
1627 Ivar	1,86	1,12	2,60	8	7
1580 Betulia	2,19	1,12	3,27	52	6
433 Eros	1,46	1,13	1,78	11	20

### 5. Kollisionswahrscheinlichkeit mit der Erde

Seit einigen Jahren gibt es ernstzunehmende Abschätzungen über die Häufigkeit von Kollisionen der Erdbahnkreuzer mit der Erde bzw. mit den anderen Planeten im inneren Sonnensystem. Da nun genügend derartige Objekte für eine statistische Abschätzung bekannt sind, ergeben sich für die einzelnen Gruppen und für Objekte mit Durchmessern über 1 km die Werte für Kollision mit der Erde:

Gruppe Aten	W etwa $9 \cdot 10^{-7}$ pro Jahr
Gruppe Apollo	W etwa $1,8 \cdot 10^{-6}$ pro Jahr



Fortsetzung Referat: Planetoiden vom Typ Amor, Apollo und Aten.

Aufbau ist noch viel weniger bekannt als bei den großen Planetoiden.

### 7. Zukünftige Forschungen

Neue und genauere Aussagen über Größe und Aufbau der Körper wird die Radioastronomie bringen. Aus einem guten Radar-Echo lassen sich Durchmesser, Oberflächenrauigkeit und die mittlere Dielektrizitätskonstante ermitteln. Damit ist eine Klassifizierung in metallarme und metallreiche Objekte sicher möglich. Photometrische Messungen bis in das ferne Infrarot (bis ca.  $100\mu$ ) mit den Satelliten IRAS und Space Telescope werden zur Erforschung dieser Kleinkörper ganz wesentlich beitragen.

Seit etwa 20 Jahren werden Flugbahnen zu Apollo- und Amor-Objekten berechnet. Ernsthafte Projekte für unbemannte oder gar bemannte Missionen gibt es aber bisher nicht, obwohl man durch allerlei publizierte Spekulationen einen anderen Eindruck gewinnen könnte. Von einigen Objekten könnten mit "relativ geringem Aufwand" kleine Materialproben (ca. 1 kg) zur Erde rückgeführt werden (Kosten 10 bis 20 Milliarden öS). Zumindest von Seiten der USA ist in den nächsten 20 Jahren keine derartige Mission zu erwarten. Die Rückführung ganzer Planetoiden von etwa 1 km Durchmesser in eine niedrige Umlaufbahn um die Erde liegt bei der Betrachtung der aufzuwendenden Impulse bzw. Treibstoffmassen etwa um einen Faktor  $10^6$  über den heutigen Möglichkeiten der Astronautik. Auch wenn ein derartiger Planetoid aus reinem Uran, Kupfer oder ähnlich wertvollen Materialien bestehen würde, wäre dennoch die Gewinnung der entsprechenden Mengen dieser Stoffe aus Meerwasser (in diesem kommen alle Elemente in gelöster Form vor) um Größenordnungen billiger als der Abbau eines Planetoiden.

Die Aten-, Apollo- und Amor-Planetoiden sind für viele Forschungsbereiche von hohem Interesse, aber nicht für die Weltwirtschaft.

### 8. Literatur

- (1) T.Gehrels, Ed., et al.: Asteroids. University of Arizona Press, 1979.
- (2) G.W.Wetherill: Apollo Objects. Scientific American, Vol.240, No.3, 1979.
- (3) H.O.Ruppe: Raumfahrt. Econ-Verlag, 1980.

Dr.Norbert Giesinger  
Atominstitut der Österreichischen Universitäten  
Privat: Gonzagagasse 12/3/16, A-1010 Wien.

Referat: Preisgünstige Optiken heimischer Produktion für Kleinplanetenphotographie.

Für Planetoidenphotographie kann ich folgende, von mir entworfene und gefertigte Optiken anbieten:

1) Schmidtkamera 120/600mm, F/5, Best.Nr.7120600

Bei herkömmlichen Schmidtkameras wird die Korrekptionsplatte im Krümmungsmittelpunkt eines sphärischen Spiegels angebracht. Daher ist die Baulänge doppelt so groß wie die Brennweite. Bei Verwendung eines asphärischen Spiegels gelingt es aber, die Baulänge auf die Hälfte zu reduzieren, wobei das Bildfeld sogar eben wird. Das brauchbare Bildfeld der hier vorgestellten Kamera mißt  $2,3^\circ \times 2,3^\circ$ , entsprechend  $24 \times 24\text{mm}$  (Abb.1).

Spotdiagramme (Abb.2):

Es wurden Bilder in 7 Wellenlängen zwischen  $404,7\text{nm}$  und  $706,5\text{nm}$  ohne Gewichtung, also in gleicher Intensität, überlagert; die Einzelstrahlen schneiden die Eintrittspupille in Zufallspunkten. Lieferumfang:

Schmidtplatte  $130\text{mm } \varnothing$ , Spiegel aus Zerodur, Filmkassette für quadratische Stücke Kleinbildfilm, direkt an der Schmidtplatte befestigt (daher keine Beugungserscheinungen durch Halterung). Preis einschließlich Mehrwertsteuer, ab Brunn NÖ: öS 5350.-.

2) Teleobjektiv 150/750mm, F/5, Best.Nr.7150750

Vierlinser mit Ebnungslinse, Bildfeld  $7^\circ \times 7^\circ$ , entsprechend  $9 \times 9\text{cm}$ . Modifiziertes Petzval-Objektiv mit asphärischer Frontlinse. Die Photoschicht liegt an der planen Seite der Ebnungslinse an (Abb.3). Spotdiagramme bei  $436\text{nm}$  Wellenlänge: Abb.4.

Lieferumfang:

Optik, herausnehmbare Fokussiereinheit mit Fokussier-Okular (Steinheil-Achromat,  $f=50\text{mm}$ ), komplett in Rohr  $20\text{cm } \varnothing$ .

Preis einschließlich Mehrwertsteuer, ab Brunn NÖ: öS 13550.-.

Die Bildfehler dieser beiden Systeme liegen, wie ersichtlich, weit unter denen einschlägiger Optiken und sind bis zum Bildfeldrand praktisch unmerklich; es kann daher ohne Bedenken mit höchstauflösenden Emulsionen, z.B. Kodak 2415, gearbeitet werden.

Die gewählten Brennweiten erfordern allerdings stabile Montierungen und gute Nachführungen.

Die erreichbare Grenzgröße liegt bei der Schmidtkamera um  $+16,5^{\text{mag}}$ , beim Teleobjektiv um  $+17^{\text{mag}}$ .

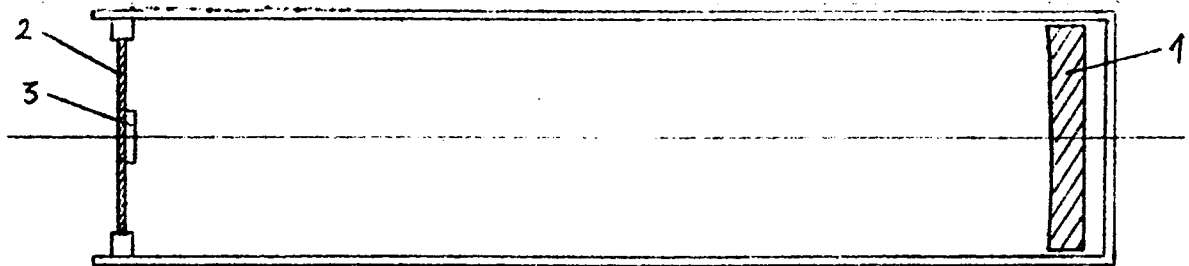
Fortsetzung Referat: Preisgünstige Optiken heimischer Produktion  
für Kleinplanetenphotographie.

**Abb.1** Spotdiagramme für Schmidt-Kamera 120/600mm  
Bildfeldwinkel:  $0^\circ$                        $0^\circ 48'$                        $1^\circ 36'$



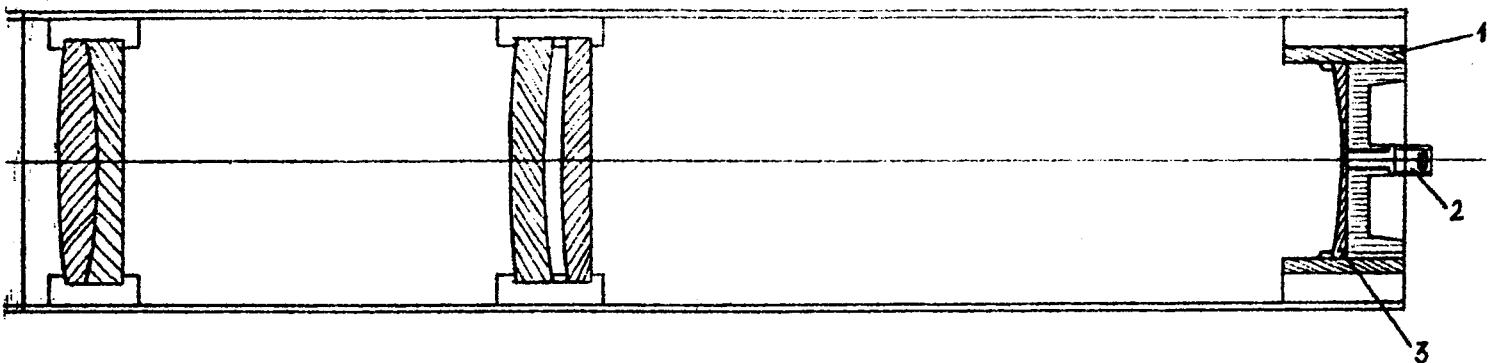
**Abb.2** Schema Schmidt-Kamera 120/600mm, Maßstab 1:5

- 1 Asphärischer Spiegel aus Zerodur
- 2 Schmidtplatte aus optischem Glas
- 3 Filmkassette

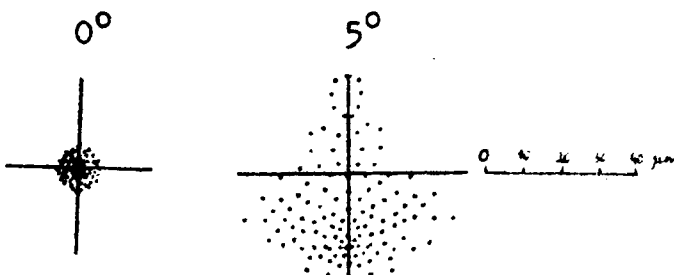


**Abb.3** Schema Teleobjektiv 150/750mm, Maßstab 1:5

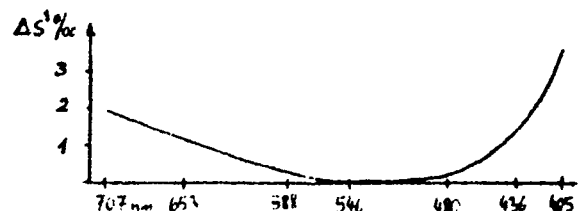
- 1 Fokussiereinheit, herausnehmbar
- 2 Fokussierokular, Steinheil-Achromat  $f=50\text{mm}$
- 3 Ebnungslinse aus optischem Glas, an Planseite liegt Film



**Abb.4** Spotdiagramme Teleobjektiv  
Bildfeldwinkel:



**Abb.5** Farbfehlerkurve  
der Objektive



Fortsetzung Referat: Preisgünstige Optiken heimischer Produktion für Kleinplanetenphotographie.

Außer diesen speziellen Angeboten für Amateure, die auf dem Gebiet der Kleinplaneten tätig sind oder werden wollen, bringe ich noch einen Auszug aus meiner Preisliste 1981/82. Es gelten die dort angeführten Lieferbedingungen; alle Preise verstehen sich einschließlich Mehrwertsteuer. Änderungen müssen vorbehalten bleiben.

Verkittete Halbapochromate  
in Fassung.

Best.Nr.	Ø	N	Preis öS
109010	90mm	10	3850.-
109015	90	15	3245.-
111010	110	10	5745.-
111015	110	15	4845.-
115015	150	15	8280.-
115020	150	20	7335.-

Fraunhofer-Objektive, jedoch  
halbapochromatisch, in Fassung.

Best.Nr.	Ø	N	Preis öS
211008	110mm	8	8350.-
211015	110	15	7660.-
212515	125	15	10220.-
215010	150	10	17170.-
215015	150	15	15980.-
215020	150	20	15190.-

Die Farbfehlerkurve der Fraunhofer-Objektive entspricht jener der verkitteten Halbapochromate, siehe Abb.5.

Parabolspiegel aus Duran 50

Best.Nr.	Ø	F	Preis öS
61550600	155mm	600mm	2430.-
61550900	155	900	1990.-
61551200	155	1200	1730.-
62051000	205	1000	3300.-
62051600	205	1600	2620.-
62552000	255	2000	4980.-
63051200	305	1200	13975.-
63051800	305	1800	10710.-
64062400	406	2400	27340.-

Standardgenauigkeit:  $\lambda/8$   
 Aufschläge für:  
 Zerodur 20%  
 $\lambda/12$  15%  
 $\lambda/16$  48%

Linsenoptiken, die nicht im Katalog enthalten sind, können auf Anfrage hergestellt werden; die Preise für diese Sonderanfertigungen lassen sich aus den Katalogpreisen errechnen, da für Einzelanfertigung kein Zuschlag berechnet wird. Grundsätzlich könnte ich Optiken (auch Schmidtplatten) bis zu 1m Durchmesser herstellen.

Nicht mehr aktiv!

Martin Adamiker  
Optische Geräte

Am Platengrund 8, A-2345 Brunn

# B E O B A C H T U N G S P R O G R A M M

## K L E I N P L A N E T E N

Unser Sternfreunde-Seminar "Kleinplaneten" hat gezeigt, wie wertvoll gute - und verhältnismäßig leicht auszuführende - Aufnahmen von bestimmten, bahnmäßig noch nicht genau genug erfaßten Kleinplaneten sein können.

Der ASTRO-VEREIN wendet sich daher an alle daran interessierten und entsprechend ausgerüsteten Amateure in Österreich mit der herzlichen Einladung zur Mitarbeit.

Das ASTRONOMISCHE INSTITUT DER UNIVERSITÄT GRAZ wird dieses Programm dankenswerter Weise dadurch fördern, daß es die einheitliche Vermessung und Reduktion der Aufnahmen ermöglicht.

### Instrument und Objekte:

Es soll eine Brennweite von mindestens 50cm besitzen und runde Sternbildchen bis mindestens  $+13^m$  zu erzielen gestatten.

Selbst im Zentrum Wiens sind mit einem gewöhnlichen Achromaten 75/760mm und Film von 21/10 DIN in 25 Minuten Sterne  $+14^m$  erreichbar! Die Objekte werden im "Sternenboten" mitgeteilt.

### Praxis:

Siehe Referat von Ing.E.Meyer: "Ausführung astrometrischer Kleinplaneten-Beobachtungen" sowie die in den Seminarpapieren genannten Karten und Kataloge. Wer noch unerfahren ist, dem seien vorerst Aufnahme- und Identifizierungsübungen an Kleinplaneten geraten, die helle Sterne passieren - Verzeichnis alljährlich im "Österreichischen Himmelskalender". Das Astronomische Büro stellt gern fallweise Identifizierungshilfen bei.

### Abwicklung:

Bitte, zwecks Zeit- und Kostenersparnis Sendungen standardisieren: Jedes Negativ in Klapprahmen legen und auf diesem Familiennamen des Beobachters, Datum und Nummer des Kleinplaneten anmerken. Je eine Vollbildvergrößerung oder Skizze mit Bezeichnung der 6 oder mehr identifizierten Anhaltsterne sowie des Kleinplaneten und Angabe "N" für Nord beifügen. Daten der Aufnahmen in einer Liste zusammenfassen (Ort, Beobachter, Gerät, Film, Sicht und besonders Objekt, Anfang und Ende der Belichtungszeit mit Datum und hms).

Die Einsendung wird direkt an das Astronomische Büro, Hasenwartgasse 32, A-1238 Wien, erbeten. Qualifizierte Ergebnisse werden namentlich veröffentlicht (Sternenbote, Minor Planet Circulars) und die Negative zurückgestellt. Wir erhoffen rege Teilnahme!