

**Zeitschrift:** Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft  
**Herausgeber:** Schweizerische Astronomische Gesellschaft  
**Band:** 58 (2000)  
**Heft:** 300

## Heft

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 10.08.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



300



5 2000

Zeitschrift für  
Amateur-Astronomie  
Revue des  
astronomes amateurs  
Rivista degli  
astronomi amatori  
ISSN 0030-557 X

ORION



# MEADE

## 8" LX10

Das neu entwickelte LX10 Schmidt-Cassegrain Teleskop hat viele herausragende Merkmale, das auffälligste ist: **Großartige Optik zum kleinen Preis!**

**8" LX10:** Für den ambitionierten Amateur-Astronomen mit kleinem Geldbeutel ist dieses hochwertige Instrument die optimale Lösung. Durch das sensationelle Preis-Leistungsverhältnis und die hervorragende Ausbaufähigkeit erfüllt das LX10 alle Ansprüche der modernen Astronomie.

**Super-Hartvergütete Schmidt-Cassegrain Optik:** Dieses Teleskop hat exakt die gleiche EMC-Hartvergütung wie die teureren Meade 8" LX50 und LX200 Modelle. **Serie 4000 SP-26mm Okular:** Komplettiert die exzellente Optik des Meade 8" SC. **Äquatoriale Montierung:** Relativ leicht, aber dennoch sehr stabil, die LX10 Montierung schafft die Voraussetzungen für leichtgängigen und exakten Betrieb des Teleskops, auch für Astrofotografie und CCD-Applikationen. **Kabelloses elektronisches Antriebssystem:** Mit elektronisch geregelter Nachführsystem durch Gleichstrom-Motor; internes Batteriefach für vier AA-Batterien (nicht im Lieferumfang); die Batterien betreiben das Teleskop über 50 Stunden lang. **Schneckengetriebe:** Das 5,75" große Schneckengetriebe im LX10 sorgt für hohe Laufruhe und exakten Betrieb in RA, nahezu ohne periodische Fehler — dies empfiehlt das LX10 besonders für Anwendungen zur Fotografie oder anderen CCD-Systemen. **Handsteuerung:** Die elektronische Handsteuerung ermöglicht eine präzise Nachführung z.B. bei Langzeitbelichtungen in RA bei 2-facher Geschwindigkeit. Mit dem optional erhältlichen Deklinationsmotor können Sie diese Anwendungen problemlos an beiden Achsen durchführen.

**AUSSTATTUNG: 8" LX10** — Inklusive 8" Schmidt-Cassegrain Optik mit EMC Super Hartvergütung (D = 203mm; F = 2000mm, f/10); Montierung mit Teilkreisen, manuell justierbar an beiden Achsen; 5,75" LX Schneckengetriebe; Elektronisch reguliertes Antriebssystem durch Gleichstrom-Motor; Elektronische Handsteuerung für 2-fache Geschwindigkeit und automatischer Nachführung in RA; Batteriefach für 4 AA Batterien (nicht im Lieferumfang); 7,5m langes Anschlusskabel 12V (PKW); 6 x 30mm Sucherfernrohr; Zenitprima (1 1/4"); SP 26mm multivergütetes Okular; äquatoriale Montierung mit 360° Teilkreisen, Feineinstellung und 360° Azimut-Kontrolle; Komplette deutsche Anleitung.

Meade 8" LX10 Schmidt-Cassegrain Teleskop

**NEU!**  
Jetzt mit einem  
26mm Super Plössl  
Okular schon in  
der Grundaus-  
stattung!



**Meade Instruments Europe**

D-46325 Borken, Siemensstraße 6 ■ Tel.: 0049 (28 61) 93 17 0  
Fax: 0049 (28 61) 22 94 ■ [www.meade.de](http://www.meade.de)

D-82166 Gräfelfing, Lochhamer Schlag 5 ■  
Tel.: 0049 (89) 898 896 00, Fax: 0049 (89) 898 896 01

© 2000





La lumière messagère de l'univers - 4



DANIEL BERNOULLIS Beiträge zur Astronomie - 25



Himmelsdrama in der Abenddämmerung - 43



Der Kleinplanet (15077) Edyalge - 45

**ORION 300 - Grusswort des Präsidenten** - DIETER SPÄNI 4

## Neues aus der Forschung - Nouvelles scientifiques

**La lumière messagère de l'univers pour l'ESO et l'ESA** - STÉPHANE BERTHET 4

**Schwarze Löcher werfen Licht auf die Galaxien-Bildungen** - HUGO JOST-HEDIGER 13

## Instrumententechnik - Techniques instrumentales

**Zu Besuch im Powell Observatorium in Kansas City** - HUGO JOST-HEDIGER 15

**Construction d'un télescope photographique de Houghton** - RENÉ DURUSSEL 17

**Utilisation des images de l'ère pré-électronique**  
 Première partie - RAOUL BEHREND 19

## Geschichte der Astronomie - Histoire de l'astronomie

**Le radiotélescope de Green Bank et son histoire** - PIERRE E. JACCARD 21

*Im Kindergarten des Sonnensystems*

**Vor 200 Jahren wurde der erste Asteroid entdeckt** - MARKUS GRIESSER 22

*Zum Gedenken an den Geburtstag von Daniel Bernoulli vor 300 Jahren*

**DANIEL BERNOULLIS Beiträge zur Astronomie** - ANDREAS VERDUN 25

## Diversa - Divers

*Les Potins d'Uranie*

**La Tour de 300 mètres... et la Coupole du 200 francs** - AL NATH 38

**Donation Pesek à l'Observatoire de Genève** - NOËL CRAMER 40

## Der aktuelle Sternenhimmel - Le ciel actuel

*Die zwei grossen Planeten kehren an den Abendhimmel zurück*

**Jupiter und Saturn beherrschen den Herbsthimmel** - THOMAS BAER 41

**Sternbedeckungen bei Hyaden-Durchgang** - THOMAS BAER 42

## Beobachtungen - Observations

*Desintegration des Kometen «Linear S4»*

**Himmelsdrama in der Abenddämmerung** - MARKUS GRIESSER 43

**Komet Linear 1999 S4** - URS STRAUMANN/ARMIN BEHREND 44

**Der Kleinplanet (15077) Edyalge** - STEFANO SPOSETTI 45

**Auffällige Erscheinung am Nachthimmel** - OTTO HEDINGER 46

## Weitere Rubriken - Autres rubriques

**An- und Verkauf - Achat et vente** 19

**Veranstaltungskalender - Calendrier des activités** 43

**Swiss Wolf Numbers 2000** - MARCEL BISSEGER 46

**Schweizerische Astronomische Gesellschaft** - Konferenz der Sektionsvertreter

**Société astronomique de suisse** - Conférence des représentant des sections 46

**Buchbesprechungen - Bibliographies** 47

**Impressum Orion** 47

**Inserenten / Annonceurs** 47

## Abonnemente / Abonnements

Zentralsekretariat SAG

Secrétariat central SAS

SUE KERNEN, Gristenbühl 13,  
 CH-9315 Neukirch (Egnach)

Tel. 071/477 17 43

E-mail: sue.kernen@bluewin.ch

## Titelbild / Photo couverture

*Les constellations d'Orion et du Grand Chien au-dessus du glacier d'Aletsch par lever de lune. Photo prise depuis l'Observatoire du Sphinx avec un grand-angulaire de 15mm sur Ektachrome 400 ASA.*

Photographie: NOËL CRAMER

**Redaktionsschluss / Délai rédactionnel** N° 301 - 6.10.2000 • N° 302 - 8.12.2000



## ORION 300 - Grusswort des Präsidenten

Liebe ORION - Leserinnen und Leser

■ Das vorliegende Heft ist die 300. Ausgabe der Zeitschrift ORION, herausgegeben von der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft. Es ist mir ein Anliegen, dieses Jubiläum zu würdigen und den Verantwortlichen im Namen unserer Gesellschaft zu danken. In mancher Hinsicht werden durch den ORION die statutarischen Zielsetzungen der SAG dokumentiert: die Mehrsprachigkeit widerspiegelt den gesamtschweizerischen Charakter der Gesellschaft, die Artikel berücksichtigen sowohl die Interessen des Amateurs wie auch die Arbeit und Forschung der Berufsastronomen. Das 1997 neukonzipierte Layout und die Intention, den Anteil an Farbseiten zu vergrössern, machen den ORION zu einer attraktiven, aktuellen und innovativen Fachzeitschrift.

Mein Dank gilt vorab den beiden leitenden Redaktoren, Dr. NOËL CRAMER und Dr. ANDREAS VERDUN, für ihren grossen Einsatz und ihr stetes Bemühen, das hohe Niveau der Zeitschrift zu bewahren. Mein Dank richtet sich auch an die ständigen redaktionellen Mitarbeiter wie auch an die weiteren Autoren, die wesentlich zum erfolgreichen Gelingen einer ORION- Ausgabe beitragen. Im weiteren danke ich der Druckerei Glasson in Bulle, vorab Herrn Sessa, für die reibungslose Zusammenarbeit mit der Redaktion.

Möge ORION auch weiterhin eine anspruchsvolle astronomische Zeitschrift bleiben, die bei den Mitgliedern der SAG auf reges Interesse stösst.

DIETER SPÄNI, Präsident SAG

### NEUES AUS DER FORSCHUNG NOUVELLES SCIENTIFIQUES

## La lumière messagère de l'univers pour l'ESO et l'ESA

STÉPHANE BERTHET

Depuis la nuit des temps, l'Homme a levé les yeux vers le ciel, fasciné par la voûte céleste. Grâce à son cerveau, il s'est posé des questions sur ce Tout auquel il appartient, sur le rôle qu'il y joue, et il a été capable d'inventer des moyens pour essayer de répondre à ces interrogations. Il a, par exemple, construit des télescopes ou des satellites, pour étendre sa vue dans l'espace.

L'Homme est curieux et l'observation du ciel, l'astronomie, n'a cessé d'alimenter cette curiosité vis-à-vis des questions fondamentales qu'il se pose.

Bien que la technologie du XX<sup>e</sup> siècle nous permette de faire quelques incursions dans l'espace, pour étudier et mieux comprendre notre univers, les astronomes n'ont à leur disposition qu'un peu de lumière, plus ou moins altérée par un long voyage. Avant le XVII<sup>e</sup> siècle, notre vision de l'Univers reposait sur des siècles d'observation à l'œil nu. C'est en 1610, lorsque GALILÉE observe pour la première fois le ciel avec une lunette (lentille de 2.5 cm), que celle-ci se précise. Dès lors, elle ne cessera de se modifier avec l'évolution de la physique et le développement d'une instrumentation toujours plus performante.

Mais avant d'aller plus loin dans la description de ces fameux instruments, essayons de définir ce qu'est la lumière.

### Qu'est-ce que la lumière?

Cette question intrigua l'Homme pendant des siècles. Elle préoccupa notamment les Grecs, qui arrivèrent à plusieurs conclusions. EMPÉDOCLE (philosophe grec, 450 av. JC) avait le premier formulé la thèse que la lumière était due une émanation des corps. ARISTOTE (~330 av. JC),

pensait que la lumière se déplaçait d'un mouvement semblable à celui des ondes. Avec EUCLIDE (300 av. JC) l'œil voyait «en jetant des regards», il avait la faculté d'aller voir les objets grâce à l'émission d'un rayon mystérieux. Quant à l'école pythagoricienne, elle supposa que tout objet visible émet un flot continu de particules.

L'on voit donc déjà apparaître le caractère onde ou corpuscule de la lumière. Si ces théories furent modifiées au cours des siècles, cette polémique onde-corpuscule lancée par les Grecs perdura encore quelque 2000 ans. L'étude de la lumière est née de celle de la vision et même si quelques règles d'optique furent découvertes par les Grecs, les grands travaux scientifiques sur la lumière commencèrent réellement au XVII<sup>e</sup> siècle, car à cette époque on se posait toujours la question: qu'est-ce que la lumière?

Ainsi, en 1621, le mathématicien hollandais SNELL explique le phénomène de réfraction (changement de direction de la lumière lorsqu'elle passe d'un milieu à un autre). Le pourquoi de ce phénomène est décrit par un autre Hollandais, HUYGENS en 1678. Plus l'indice de réfraction est grand, plus lente est la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu considéré. Cela permit de comprendre et de perfectionner bon nombre d'instruments d'optique encore rudimentaires, comme la lunette par exemple. La première lunette fut d'ailleurs inventée vers 1600 par un polisseur de lentilles hollandais LIPPERSHEY. Bien que cet instrument ait été développé postérieurement par Galilée et d'autres, il faut attendre les travaux de SNELL et HUYGENS pour en saisir complètement le principe. Un autre phénomène, en relation avec la réfraction,

est encore mis en évidence. On observe que la déviation de la lumière dépend non seulement de la substance traversée mais aussi de la couleur de la lumière. Ainsi, la lumière bleue n'est pas déviée de la même façon que la lumière rouge par exemple. Puis en 1669, NEWTON découvre une autre propriété fondamentale de la lumière. Il démontre que la lumière blanche contient différentes couleurs (expérience des deux prismes successifs). C'est ce que nous appelons le spectre. En 1704, dans la première édition de son *Optique*, il expose la théorie de la nature corpusculaire de la lumière. Il suppose que cette dernière est formée de petites particules matérielles qui se déplacent en ligne droite jusqu'à un obstacle.

Néanmoins au début du XIX<sup>e</sup> siècle, il faut renoncer à l'hypothèse corpusculaire de Newton et considérer la lumière sous son aspect ondulatoire, afin d'interpréter les phénomènes d'interférences (expérience de YOUNG 1802, découverte des franges d'interférences). Puis, en 1808, la découverte de la polarisation (les ondes lumineuses vibrent dans les 3 dimensions) par le physicien français MALUS est une nouvelle preuve en faveur de la nature ondulatoire de la lumière. Pour FRESNEL, en 1819, la lumière est formée par des vibrations transversales. Il s'agit d'ondes élastiques qui se propagent dans un milieu mystérieux, l'éther. Sa théorie explique brillamment les interférences, la diffraction et la polarisation.

Vers le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les chercheurs ont découvert les lois physiques de la propagation de la lumière et en ont établi le caractère ondulatoire. Mais ils n'ont toujours pas répondu à la question: qu'est-ce que la lumière? C'est le physicien anglais MAXWELL qui, en 1873, identifie la lumière comme une partie de l'immense spectre continu des radiations électromagnétiques, à laquelle notre œil est sensible. C'est le triomphe de la théorie ondulatoire et la théorie de FRESNEL est abandonnée au profit de la théorie



électromagnétique de MAXWELL. Cette dernière, où la lumière est due à la propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui vibrent transversalement, explique pratiquement tous les phénomènes observés.

Mais en 1905, pour expliquer des phénomènes nouveaux inconciliables avec la théorie ondulatoire, comme par exemple l'effet photo-électrique, EINSTEIN émet l'hypothèse des quantas de lumière, qui s'appelleront plus tard photons. Cette résurgence de la dualité onde-corpuscule de la lumière, vieille de 2000 ans, amène les physiciens du début du XX<sup>e</sup> siècle à reconsidérer les concepts fondamentaux de la science afin de trouver une réponse acceptable. Et chose curieuse, les deux théories, ondulatoire et corpusculaire, se révèlent exactes. En 1923, de BROGLIE a l'idée d'associer une onde à toute particule. C'est le point de départ d'un immense effort qui aboutit, grâce aux plus grands physiciens modernes comme PLANCK, BOHR, DE BROGLIE, HEISENBERG, SCHRÖDINGER, PAULI, DIRAC et bien d'autres, à une admirable synthèse: la mécanique quantique. D'une manière générale, cette théorie montre comment une radiation électromagnétique peut posséder des caractéristiques à la fois ondulatoire et corpusculaire.

Ainsi la lumière, cette chose à la fois banale et mystérieuse, n'est qu'une faible portion du spectre électromagnétique. Ses qualités ondulatoire et corpusculaire sont des aspects complémentaires d'une seule réalité. Lorsque l'on parle de lumière, de longueur d'onde, de fréquence, ou d'énergie d'un photon, il s'agit d'expressions synonymes pour désigner le même fait physique. Et la couleur de la lumière n'est qu'un concept qui exprime les différences de longueur d'ondes auxquelles notre œil est sensible.

C'est donc grâce à cette énergie, à ces ondes électromagnétiques, que les beautés et les secrets de l'Univers nous sont transmises.

### La coopération européenne en astronomie

Au fil des siècles, les instruments d'observation mis au point pour collecter et analyser cette lumière porteuse de précieuses informations, sont devenus toujours plus sophistiqués et plus puissants. Actuellement, ils permettent aux astronomes d'affiner l'histoire du système solaire et l'histoire de l'univers, jusqu'aux toutes premières secondes après le Big Bang, lorsque l'univers était considérablement plus dense et chaud.

Dans cette quête du savoir, animée par un esprit de compétition très vif au niveau mondial, la coopération internationale s'est très vite imposée comme indispensable pour développer des infras-

tructures toujours plus performantes et coûteuses. En Europe, grâce à la création d'entités gouvernementales telles que l'Organisation européenne pour la recherche en astronomie (ESO – *European Southern Observatory*) et l'Agence spatiale européenne (ESA – *European Space Agency*), les Etats membres ont la possibilité de concentrer leurs moyens dans des entreprises communes dont l'ampleur et la qualité dépassent considérablement ce que chacun pourrait atteindre à titre individuel.

Notre pays – conscient que la collaboration internationale est indispensable pour asseoir une recherche compétitive et de haut niveau – a adhéré à ces organisations. Il est à souligner que, les instituts astronomiques suisses (Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich), ont su développer entre eux, avec un souci de cohérence, une recherche astrophysique de qualité en exploitant au mieux notre participation à l'ESO et à l'ESA. L'excellence de cette recherche est aujourd'hui pleinement reconnue sur la scène internationale. Les travaux suisses couvrent un large domaine de l'astrophysique. Cela va de la détection de planètes extra-solaires, à l'évolution des étoiles, des galaxies et de notre Univers.

Avec ces organisations européennes, la communauté astronomique européenne dispose d'une palette d'instruments terrestres et spatiaux de tout premier ordre pour capter et analyser le rayonnement électromagnétique émis par toutes les composantes de notre univers (nuages de matière interstellaire, étoiles, galaxies), et cela dans différentes longueurs d'ondes, du rayonnement gamma aux ondes radios.

Je vous propose donc de faire connaissance avec ces organisations en faisant un tour d'horizon de quelques un des instruments de pointe qu'elles ont permis ou qu'elles envisagent de développer dans le cadre de la recherche européenne en astronomie.

### L'ESO (<http://www.eso.org>)

Fondée en 1962, l'ESO est constituée de 8 Etats membres (Allemagne, Belgique, Danemark, France, Italie, Pays-Bas,

VLT



Suède et Suisse). En janvier 2001, le Portugal deviendra le 9<sup>e</sup> membre de l'organisation, dont le siège est à Garching près de Munich. Grâce à l'ESO, les chercheurs des Etats membres disposent d'une large palette d'instruments de pointe situés sur le flanc des Andes au Chili, à La Silla (600 km au nord de Santiago) et maintenant à Paranal (1300 km au nord de Santiago). L'hémisphère sud offre un champ d'activité beaucoup plus intéressant pour la recherche astronomique que l'hémisphère nord. Les galaxies les plus proches ainsi que le centre de notre Galaxie ne peuvent, par exemple, être observés que depuis l'hémisphère sud. De plus, au Chili, l'ESO dispose de sites exceptionnels du point de vue de la transparence atmosphérique. L'absorption spectrale, l'effet de turbulence atmosphérique, la couverture nuageuse et la pollution lumineuse y sont minimales. L'instrument phare de l'organisation est le *Very Large Telescope* – VLT; c'est ce qui se fait de mieux à ce jour dans le domaine de l'astronomie au sol.



VLT

### Le Very Large Telescope – VLT

L'histoire du VLT commence réellement en décembre 1987, lorsque l'ESO prend la décision de le construire. L'objectif est alors ambitieux car il s'agit de faire plus qu'un simple pas en avant: l'ESO s'engage en effet à offrir à la communauté scientifique européenne un type de télescope totalement nouveau constituant une véritable révolution technologique dans l'astronomie moderne.

Le concept retenu est un ensemble de quatre télescopes identiques munis de miroirs de 8,2 m de diamètre. Cette combinaison est équivalente à un miroir de 16 m de diamètre, avec la possibilité d'utiliser chaque télescope de manière indépendante. De plus, une des caractéristiques uniques du VLT est son mode interférométrique. Ce mode d'observation, combinant de manière cohérente la lumière des quatre télescopes, représente un potentiel scientifique spectaculaire puisque l'on atteint une résolution angulaire aussi fine que celle d'un télescope unique de 130 m de diamètre. Cela signifie que l'on pourrait distinguer deux astronautes espacés de 2 m sur la Lune. Si l'on complète cette configuration par trois télescopes auxiliaires (1.8 m), le



système fournit alors une puissance de reconstitution d'image d'une sensibilité sans précédent et comparable à un télescope de 200 m de diamètre (résolution angulaire 0.0005°)!

A cette époque, personne n'avait réalisé des miroirs monolithiques de 8 m et plus. En optant pour ce concept, l'ESO fait construire des miroirs fins – 17 cm d'épaisseur – et développe une nouvelle technique : l'optique active. En effet, habituellement, c'est l'épaisseur du miroir qui lui confère sa rigidité et par conséquent un profil optimum. Cependant, avec les techniques traditionnelles, plus on augmente la taille du miroir, plus celui-ci doit être épais et plus sa masse est importante. Avec des miroirs de 8 m, cela n'est pas envisageable; l'épaisseur et la masse (plusieurs centaines de tonnes) d'un tel miroir poserait des problèmes insurmontables au niveau des structures et du mouvement du télescope. Avec un miroir fin et donc léger on s'affranchit de ce problème structurel. Cependant, la souplesse du miroir impose que sa forme soit contrôlée en permanence. Cette prouesse technologique a été réalisée par l'ESO pour le VLT. Ainsi, chacun des miroirs de 8,2 m est supporté par 150 vérins qui optimisent en continu leur forme: c'est l'optique active. De plus, un autre développement très prometteur est réalisé: c'est l'optique adaptative. La résolution angulaire dépend de la taille du miroir, mais sur Terre l'atmosphère perturbe les images et donc définit une limite au-delà de laquelle on ne peut aller. Avec l'optique adaptative on est aujourd'hui capable de corriger le front d'onde perturbé. Un analyseur d'image rapide mesure la qualité de l'image et des corrections sont ensuite envoyées 100 fois par seconde à un miroir déformable qui se trouve sur le chemin optique du télescope. On obtient ainsi des images d'une qualité proche de celles que l'on a au-delà de notre atmosphère.

Trois des quatre télescopes du VLT sont opérationnels. Ils donnent des images d'une qualité exceptionnelle. En mai 2000, on a obtenu des images avec une résolution angulaire de 0.19 seconde d'arc. Cela revient à pouvoir séparer les feux d'une voiture à une distance d'environ 1750 km! Une telle finesse d'observation n'avait encore jamais été obtenue par les plus grands télescopes optiques terrestres. Début 2001, les quatre télescopes géants seront en service. Quant à la partie interférométrique (VLTI), elle sera complètement opérationnelle en 2003.

Les objectifs scientifiques qui ont justifié la construction du VLT sont les suivants: mesure des paramètres fondamentaux de l'univers; observation des premières étoiles et galaxies; détection et étude des galaxies en formation; évolu-

tion et morphologie des galaxies; cartographie de l'émergence et de la croissance des structures à grande échelle dans l'Univers; nature de la masse manquante; est-ce que toutes les galaxies contiennent un trou noir super massif en leur centre?; étude de systèmes proto-planétaires et formation stellaire à partir du milieu interstellaire; évolution stellaire; recherche de systèmes planétaires autour d'autres étoiles; accroissement de nos connaissances sur les corps du système solaire.

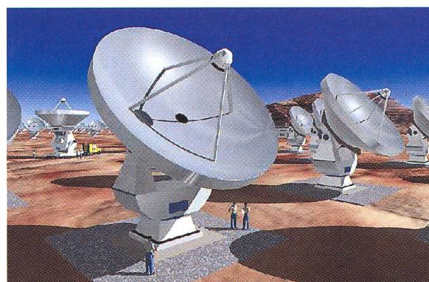
La plupart des instruments présentés dans les lignes suivantes partagent une bonne partie de ces objectifs scientifiques, mais dans des longueurs d'onde différentes. C'est cette observation des différentes composantes de l'univers étendue à tout le spectre électromagnétique qui permet de toujours mieux comprendre notre univers.

En cette fin de siècle, l'ESO se place, à la pointe de l'astronomie, avec son VLT, et est, plus que jamais, le pilier principal de la recherche astronomique européenne. Mais le rôle de cette organisation n'est pas seulement de mettre à disposition de la communauté astronomique européenne les installations les plus performantes qui soient, il vise aussi à explorer et à planifier l'avenir astronomique européen. Si le VLT marque un tournant de l'astronomie européenne, l'ESO se doit de continuer sur son élan et élaborer l'après VLT. C'est dans ce contexte-là que ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*, réseau de radiotélescopes) et OWL (*OverWhelmingly Large telescope*) sont à l'étude.

#### *Atacama Large Millimeter Array – ALMA*

ALMA est l'un des plus grands projets astronomiques au sol de la prochaine décennie après le VLT. Il sera une installation majeure pour l'astronomie mondiale. Ce projet est l'équivalent du VLT ou du *Hubble Space Telescope*, mais dans le domaine des ondes millimétriques. Il s'agit d'un ensemble de 64 antennes de 12 m de diamètre constituant une surface collectrice de 7000 m<sup>2</sup>. L'enjeu scientifique d'un tel instrument est important. Il constituera une avancée majeure dans différents domaines de l'astronomie. Ce réseau de ra-

ALMA



diotélescopes sera installé au Chili sur le plateau de Chajnantor à 5200 m d'altitude, l'un des meilleurs sites de la planète pour l'astronomie millimétrique et particulièrement intéressant pour l'ESO vu la proximité du VLT.

ALMA est le résultat de la fusion de deux grands projets: le *Large Southern Array* européen (ESO) et le *Millimeter Array* des USA. L'actuelle phase de conception et de développement est le fruit d'une collaboration Europe-USA, mais le Japon pourrait bien rejoindre un jour le consortium, faisant ainsi d'ALMA le premier grand projet global de l'astronomie. Sa construction devrait débuter en 2002.

ALMA donnera une image de l'Univers – sa composante froide – avec une sensibilité et une finesse sans précédent dans le domaine millimétrique (longueurs d'onde comprises entre le domaine de l'infrarouge et radio). Il étudiera la structure de l'Univers jeune ainsi que l'évolution des galaxies, recueillera des données cruciales sur la formation stellaire, les disques proto-planétaires et les planètes, et offrira un regard nouveau sur les objets familiers de notre propre système solaire.

#### *OverWhelmingly Large telescope – OWL*

Avec OWL, il s'agit d'un projet de télescope de 100 mètres de diamètre! Il couvrira un domaine spectral allant de 0.32 à 2.5  $\mu$ m et rassemblera les derniers développements technologiques en matière d'optique et de matériaux. La résolution angulaire devrait être inférieure à 0.001 seconde d'arc. Pour l'instant, il s'agit d'études très préliminaires, la première lumière de ce monstre est prévue 12 ans après que son financement ait été assuré. Ce projet ne sera donc pas pleinement opérationnel avant 2020-2025.

Avec les nouveaux développements technologiques en matière d'optique, on peut aujourd'hui envisager des instruments terrestres capables d'atteindre la limite de diffraction rendant ainsi presque inutile la construction de télescopes optiques spatiaux dans le futur.

#### *L'Agence spatiale européenne (ESA)* (<http://www.esrin.esa.it>)

Quittons maintenant la Terre pour se rendre dans sa proche banlieue et faire connaissance avec d'autres instruments non moins impressionnants qui scrutent notre univers. Mais d'abord, quel est l'intérêt d'aller dans l'espace pour l'astronomie? Les phénomènes de turbulences de notre atmosphère perturbent grandement les images collectées par les plus puissants télescopes terrestres. En orbite la qualité des images et le pouvoir de résolution – soit la faculté de séparer deux objets très proches – sont inégalables pour



l'instant. En plus des perturbations, notre atmosphère constitue à la fois un absorbant pour les rayons gamma, X, UV (partiellement) et IR (partiellement), et un miroir vis-à-vis de la lumière provenant de l'espace. D'autre part, le pouvoir diffuseur des molécules qui s'y trouvent la rend toujours plus ou moins lumineuse. Par conséquent dans l'espace on s'ouvre de nouvelles fenêtres (spectrales) sur l'univers tout en s'affranchissant des phénomènes qui troublent l'information lumineuse qui nous vient de l'univers. Des sources lumineuses plus faibles peuvent être vues sur un fond parfaitement noir. Les astronomes peuvent ainsi sonder plus profondément l'univers et donc remonter le temps. Ceci en vertu du principe selon lequel la vitesse de la lumière est finie et par conséquent l'image reçue d'un objet est celle de l'état de cet objet au moment où les rayons lumineux ont été émis.

En Europe, l'astronomie spatiale s'est essentiellement développée dans le cadre de l'Agence spatiale européenne (ESA). Créée en 1975, elle a pour mission «d'assurer et de développer, à des fins exclusivement pacifiques, la coopération entre Etats européens dans les domaines de la recherche et de la technologie spatiales et de leurs applications spatiales, en vue de leur utilisation à des fins scientifiques et pour des systèmes spatiaux opérationnels d'applications». Aujourd'hui, l'ESA compte 15 Etats membres : Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Irlande, Italie, Norvège, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni, Suède, Suisse. Le Canada est associé à divers projets par un accord de coopération.

En dehors de son siège à Paris, qui abrite la direction générale, certaines directions de programmes et les services administratifs, l'ESA dispose d'établissements spécialisés: l'ESTEC, le Centre européen de recherche et de technologie spatiales à Noordwijk (NL); l'ESOC, le Centre européen d'opérations spatiales à Darmstadt (D); l'ESRIN, le Centre d'information scientifique et technique à Frascati (I); l'EAC, le Centre européen des astronautes à Cologne (D); le Centre spatial de Kourou (Guyane française) d'où sont lancées les fusées Ariane.

Les activités de l'ESA se décomposent en deux catégories: les programmes obligatoires et les programmes facultatifs. Les programmes conduits dans le cadre du budget général (notamment étude des projets futurs, recherche technologique et programme de formation) et du budget du programme scientifique sont obligatoires. Tous les Etats membres y contribuent sur la base de leur revenu national. Pour d'autres programmes, dits facultatifs, les Etats membres fixent li-

brement leur niveau de participation. Les domaines facultatifs englobent les activités d'observation de la Terre, de recherche en microgravité, de télécommunications, de navigation par satellite, de développement de systèmes de transport spatial et de stations orbitales.

Depuis les années 60, notre connaissance de l'Univers a effectué des avancées fantastiques grâce à l'exploration spatiale. L'Europe, avec le programme scientifique de l'ESA, a acquis une position de pointe dans les domaines de l'astronomie, de l'astrophysique et de l'exploration du système solaire. Avec son programme Horizons 2000, l'ESA s'est doté d'une planification à long terme (1999-2010) dans le domaine des sciences spatiales de l'univers afin d'y maintenir et d'y renforcer le rôle clé de l'Europe.

Les missions du programme scientifique sont organisées selon 4 thèmes:

- Les relations Terre-Soleil et l'étude du Soleil;
- Exploration du système solaire;
- Origine et évolution stellaire et d'autres systèmes planétaires, et détection de planètes extra-solaires;

- Origine, évolution et structure de l'Univers, vérification des lois de la physique fondamentale.

L'ESA développe les véhicules spatiaux, se charge du lancement et des opérations des missions. Par contre, les instruments scientifiques embarqués sont à la charge des instituts de recherche et/ou des agences spatiales nationales. Ainsi, la communauté scientifique et l'industrie suisses ont contribué très étroitement à la réalisation des différentes missions du programme. En effet, notre pays dispose, dans le cadre du programme scientifique de l'ESA, d'un potentiel remarquablement étendu et diversifié. Des groupes de chercheurs des universités de Bâle, Berne, Genève, Lausanne et Zurich, des deux EPF, de l'Institut PAUL SCHERRER de Villigen, des Observatoires de Davos et de Neuchâtel participent activement aux projets du programme scientifique de l'ESA, ainsi qu'à d'autres missions en collaboration avec les USA, la Russie et d'autres partenaires européens. Les domaines de recherche vont de l'astronomie dans toutes les longueurs d'onde à l'étude des comètes, du soleil et du mi-

## Missions ESA par thèmes

■ En italique missions potentielles devant encore faire l'objet d'une décision de l'ESA en octobre 2000; entre parenthèses la date de lancement prévue; \*Coopération ESA-NASA

### Le Soleil et les relations Terre-Soleil

Environnement héliosphérique, passages aux pôles solaires et observatoire solaire: ULYSSES\* (1990) et SOHO\* (1995); Magnétosphère et relation Terre-Soleil: CLUSTER II (2000);

Observation du Soleil: Solar Orbiter (2008-2009?); Tempête magnétosphérique: Storms (2008-2009?).

### Exploration du système solaire

Exploration de Titan (satellite de Saturne) en 2004 et exobiologie: HUYGENS\* (1997); Démonstration de la propulsion hélioelectrique (mission lunaire): SMART-1 (2001); Exploration de Mars: MARS-EXPRESS (2003); Rencontre et analyse in-situ de la comète Wirtanen en 2011: ROSETTA (2003);

Etude de Mercure: Bepi-COLOMBO (2008-2010?); Mars-Astéroïdes: Master (2008-2009?); Réseau de modules d'analyse de Mars: Netlander (2005?).

### Origine et évolution stellaire et d'autres systèmes planétaires, et détection de planètes extra-solaires

Télescope spatial: HST\* (1990); Observatoires astronomiques gamma, IR lointain, X et de rayonnement de fond cosmique: INTEGRAL (2002), FIRST (2007), XMM (1999) et PLANCK (2007);

Nouvelle génération de télescope spatial: NGST\* (2008); Astrométrie et détection de planètes extra-solaires: GAIA (2009); Détection et caractérisation de planètes extra-solaires et détection de signe de vie possible: DARWIN (2013); Physique stellaire et exo-planètes: Eddington(2008-2009?); Convection, rotation et transit planétaire: Corot (2003?).

### Origine, évolution et structure de l'Univers, vérification des lois de la physique fondamentale

Télescope spatial: HST\* (1990);

Nouvelle génération de télescope spatial: NGST\* (2008); Vérification des fondements de la gravité: STEP\* (2004?); Détection d'ondes gravitationnelles de trous noirs massifs et de galaxies binaires: LISA (2009?), Interférométrie atomique: Hyper (2008-2009?); Principe d'équivalence: Microscope (2008-2009?).



lieu interplanétaire. Les domaines d'excellence de l'industrie suisse intègrent aussi remarquablement bien les multiples technologies utilisées dans la conception et réalisation des nombreux satellites scientifiques de l'ESA.

Les missions mises au point par la communauté scientifique européenne, avec l'aide de l'industrie, ont permis de réaliser une moisson de résultats d'une grande richesse, allant bien au-delà de ce que l'on pouvait attendre. Découvrons les diverses missions d'astronomie réalisées, ou en préparation, par l'ESA.

### IUE (International Ultraviolet Explorer)

*Lancement: 26 janvier 1978 de Cape Canaveral (Floride); Fin de mission: 30 septembre 1996; Lanceur: Delta (USA); Orbite: 25669 x 45887 km, 28.6°, 23.9h*

Conçu pour durer 2 ans, IUE effectua une mission de 18 ans, battant ainsi le record de longévité des satellites d'astronomie. Ses 104470 observations de 9600 sources astronomiques différentes sur un domaine spectral allant de 1150 à 3350 Å permirent de constituer des archives extrêmement précieuses. Parmi les grandes découvertes d'IUE on peut citer notamment: la détection des aurores de Jupiter; la découverte de sulfure dans une comète; la première détermination quantitative de la perte d'eau dans une comète (10 tonnes/seconde); la découverte de vents stellaires à haute vitesse dans des étoiles autres que le Soleil; la mise en évidence de l'effet de l'abondance chimique sur le taux de perte de masse des étoiles; la première détermination du gradient de densité et de température dans la couronne d'étoiles autres que le Soleil; la première identification du progéniteur de la supernova SN 1987A dans le Grand Nuage de Magellan et finalement les observations d'éruptions dans de lointains quasars et galaxies. Les archives d'IUE constituent toujours un outil précieux pour les chercheurs actuels.

### EXOSAT (ESA's X-ray Observatory Satellite)

*Lancement: 26 mai 1983 de Vandenberg (Californie); Fin de mission: 6 mai 1986; Lanceur: Delta (USA); Orbite: 2919 x 189000 km, 71.4°*

Ce premier observatoire spatial d'astronomie X de l'ESA a, en 1780 observations, étudié la plupart des types d'objets astronomiques (noyaux de galaxies actifs, naines blanches, étoiles, résidus de supernovas, amas de galaxies etc.). Il a notamment permis la première observation d'un couple d'étoiles très compactes. Il s'agissait d'une étoile à neutrons (taille de l'Everest avec une densité telle

que 500 millions de tonnes de sa matière tiendraient dans une cuillère à café!) en train de «dévorer» une naine blanche (étoile d'une taille similaire à la Terre). L'immense champ gravitationnel de l'étoile à neutrons attire la matière de la naine blanche. Celle-ci est portée à une température de plusieurs millions de degrés avant d'être absorbée dans le corps de l'étoile à neutrons. Les émissions X qui en résultent sont 10 milliards de fois plus intenses que celles de notre Soleil. Cette mission nous a ainsi permis de mieux comprendre certains événements violents de notre univers tout en développant en Europe l'astronomie X qui bénéficie aujourd'hui du télescope XMM-NEWTON.

### HIPPARCOS (High Precision Parallax Collecting Satellite)

*Lancement: 8 août 1989 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Fin de mission: 15 août 1995; Lanceur: Ariane 4; Orbite: 526 x 35900 km, 6.9°*

Ce satellite a mesuré avec une précision inégalée de 2 millièmes de seconde d'arc la position, la parallaxe et le mouvement propre de 118218 étoiles. Cela a permis une cartographie tridimensionnelle précise du voisinage solaire. Celle-ci est essentielle pour construire un modèle dynamique cohérent de notre Galaxie. HIPPARCOS a mesuré avec une très grande précision les distances de nombreuses étoiles et notamment celles qui servent de référence pour déterminer la distance des galaxies et l'échelle de l'univers. En 1997, HIPPARCOS fait la une des journaux lorsqu'on s'aperçoit que le principal étalon de mesure de l'univers, les Céphéides, présentait un défaut. En effet, il révéla que ces étoiles étaient situées plus loin qu'on ne le supposait. L'âge de l'Univers s'en trouva alors aug-

menté d'environ 10%. D'autre part, les corrections apportées par HIPPARCOS sur les distances des étoiles les plus vieilles que l'on connaisse, celles du halo de notre galaxie, ont eu pour effet de les rajeunir de quelques milliards d'années. Un casse-tête pénible pour les cosmologistes fut ainsi résolu, puisqu'avant HIPPARCOS ces étoiles apparaissaient plus vieilles que l'univers!

Le trésor de mesures accumulé par HIPPARCOS, loin d'être épuisé, ouvre aux astronomes du monde entier de nouvelles perspectives. Puisqu'aux 118218 étoiles du catalogue HIPPARCOS, s'ajoute le catalogue Tycho qui rassemble les mesures de position et de magnitude de 1058332 étoiles, effectuées pendant la même mission mais avec une précision une peu moins bonne (2 centièmes de secondes d'arc).

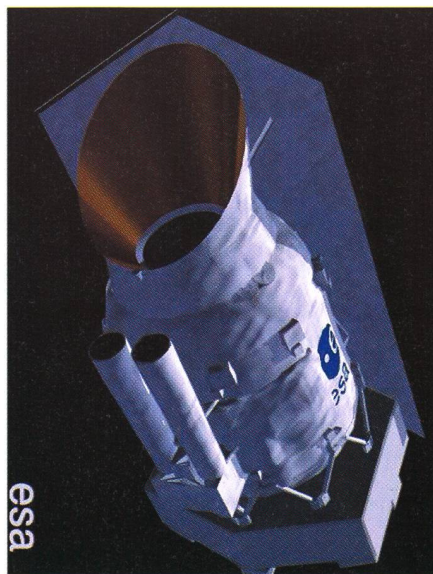
### ISO (Infrared Space Observatory)

*Lancement: 19 novembre 1995 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Fin de mission: 10 mai 1998; Lanceur: Ariane 4; Orbite: 1038 x 70578 km, 5.2°, 24h*

Ce télescope spatial a été un moyen d'exploration de l'univers d'une sensibilité encore jamais atteinte. Sensible à l'infrarouge (2 à 240 µm), il a observé toutes sortes d'objets astronomiques, depuis les planètes et les comètes de notre système solaire jusqu'aux sources extragalactiques les plus éloignées. Les résultats des mesures d'ISO ont fourni aux astronomes une image nouvelle de notre univers: son aspect froid et caché. Avec sa sensibilité aux radiations thermiques et sa qualité d'image, ce télescope infrarouge était capable de détecter le rayonnement d'un objet aussi froid qu'un morceau de glace de la taille d'un homme à une distance de 100 km. Néanmoins, le télescope lui-même, comme tout autre objet, émet dans l'infrarouge (IR). C'est pourquoi ISO était refroidi en permanence par un procédé cryogénique, à quelques degrés au-dessus du zéro absolu, afin d'éviter que son propre rayonnement thermique masque les faibles murmures de l'espace. Ainsi, ISO fut conçu comme une véritable bouteille thermos de 2286 litres d'hélium liquide assurant le maintien des détecteurs à environ 3°K (-270°C). La lente évaporation de cet hélium était par conséquent l'un des paramètres déterminants pour la durée de vie de la mission (28 mois au lieu de 18 mois).

ISO s'est distingué par l'excellence de son fonctionnement et la grande richesse de données astronomiques obtenues. Il a notamment constaté plusieurs accidents de trafic cosmique ayant provoqué la collision de galaxies. Ces événements, parmi les plus gigantesques depuis l'origine de

ISO





l'univers, semblent être bien répandus et jouent un rôle majeur dans l'évolution des galaxies. Ces collisions fantastiques stimulent la formation d'étoiles (*starburst*). Les astronomes ont pu ainsi montrer que le taux de formation stellaire, des 5 derniers milliards d'années, est bien plus élevé que nous le pensions.

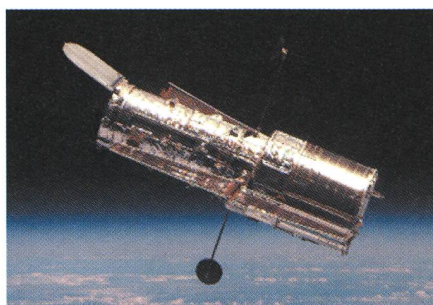
Cachés dans les profondeurs des nuages de gaz et de poussière dense et opaque à la lumière visible, les cocons des étoiles ont échappé au regard des astronomes jusqu'au jour de l'astronomie IR. ISO a permis d'observer aussi bien les stades initiaux que les stades ultimes de la vie des étoiles où le matériel stellaire – enrichi en éléments plus complexes que l'hydrogène et l'hélium – est rendu au milieu interstellaire pour constituer, à son tour, la base de futures générations d'étoiles. Le Soleil, les planètes, la Terre, notre corps et tout ce qui existe sur Terre, est constitué d'atomes synthétisés par le processus incessant de naissance, de mort et de renaissance des générations d'étoiles antérieures à notre Soleil.

Dans les nuages de gaz où naissent les étoiles, ISO a identifié, par leur signature infrarouge, du monoxyde de carbone, de l'eau sous forme de vapeur ou glace, des composants riches en carbone et dernièrement des traces de fluor et un large éventail de molécules comme les précurseurs des molécules organiques complexes (diacétylène et triacétylène). En fait, ce télescope spatial a détecté la présence de la molécule d'eau – glacée ou vaporisée – partout dans l'Univers, des planètes géantes de notre système aux galaxies les plus lointaines. Par exemple, proche de la nébuleuse d'Orion, il a observé un nuage de gaz interstellaire qui sembla être une gigantesque usine chimique générant, par jour, suffisamment de molécules d'eau pour remplir 60 fois les océans de la Terre! Cette vapeur d'eau va sans doute se refroidir et geler pour former de petites particules de glace. Il est dès lors plausible que la plupart de l'eau présente dans le système solaire ait été produite de cette manière. Ces observations permettent ainsi de mieux comprendre comment la vie est apparue sur Terre et soutiennent l'hypothèse qu'il pourrait y avoir d'autres formes de vie ailleurs. ISO fut un instrument unique qui marqua une étape importante dans notre connaissance de l'Univers.

### HST (Hubble Space Telescope)

*Lancement: 24 avril 1990 de Cape Canaveral (Floride); Durée de la mission: environ 20 ans; Lanceur: Navette spatiale; Orbite: 600 km, 28.5°*

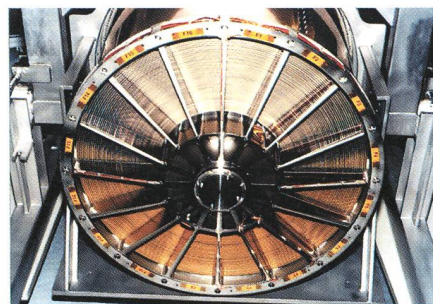
Le HST, fruit d'une coopération internationale entre la NASA et l'ESA, a marqué l'astronomie des années 90. Cet ob-



HST

servatoire spatial de 11 tonnes et 13 m, muni d'un miroir principal de 2.4 m, est conçu pour recevoir régulièrement des missions de maintenance (~tous les 3 ans, 1993, 1997, 1999) pour une période d'exploitation de 20 ans. Il est unique dans son genre. La qualité des images et son pouvoir de résolution sont encore inégalables. Il peut distinguer distinctement les deux feux avant d'une voiture à une distance d'environ 3500 km! Il fournit des images remarquables sur les planètes de notre système solaire, les étoiles jeunes et vieilles, et les galaxies proches et lointaines. Hubble a notamment permis de faire de grandes avancées dans la cosmologie observationnelle. Récemment, l'observation de supernovae, distantes de plusieurs milliards d'années, a montré avec surprise que l'expansion de notre univers est en train de s'accélérer. Cela semble dû à une mystérieuse propriété de l'espace lui-même que l'on nomme l'énergie du vide! Avec le fameux *Hubble Deep Field*, les astronomes ont une vision des premiers instants de formation des galaxies, il y a de cela plus de 10 milliards d'années, où les galaxies les plus lointaines semblent plus petites et plus irrégulières que les galaxies proches. Il a aussi largement contribué à préciser l'âge de notre Univers estimé aujourd'hui à environ 15 milliards d'années. Le télescope spatial nous a donné une meilleure compréhension de la naissance, de la vie et de la mort des étoiles en produisant des instantanés remarquables de ces différents stades évolutifs. Avec le *Hubble Space Telescope*, on a pu étudier les jets et disques de matière entourant des trous noirs. Il a d'ailleurs trouvé au centre de quelques

Miroirs XMM



galaxies des trous noirs 3 milliards de fois plus massifs que notre Soleil et apporté de fortes évidences sur l'existence de trous noirs dans presque toutes les galaxies. Grâce au HST, on a mis en évidence la signature de l'hélium primordial dans l'Univers. Ce fut une mesure importante qui vint appuyer la théorie du Big-Bang. Finalement, par l'observation de lentilles gravitationnelles, *Hubble* contribue aussi beaucoup à notre compréhension de la masse sombre qui semble constituer le 95% de la masse de l'Univers!

Grâce à cet instrument, les astronomes obtiennent de précieuses informations sur l'ensemble des composantes de notre univers et améliorent ainsi continuellement notre vision globale de celui-ci.

### XMM-NEWTON (X-ray Multi-mirror Mission).

*Lancement: 10 novembre 1999 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 2 à 10 ans; Lanceur: Ariane 5; Orbite: 7000 x 114 000 km, 40°, 48h*



XMM

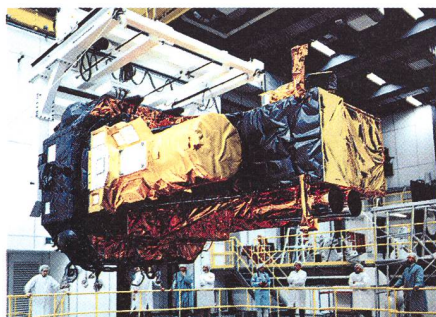
Si les rayons X permettent aux médecins de déceler d'éventuelles fractures, les astronomes observent, grâce à eux, les événements très violents de l'Univers, comme par exemple un trou noir en train d'avaler une étoile de son voisinage. Les émissions X sont caractéristiques de matières portées à des températures de  $10^6$  à  $10^8$  °K, elles proviennent donc d'objets célestes hors du commun. Pour capter ce rayonnement, dangereux pour la vie, il nous faut nous affranchir du bouclier que constitue notre atmosphère. C'est pourquoi, l'ESA a lancé le satellite XMM-NEWTON le 10 décembre 1999. Ce satellite est un gros cylindre, de la taille d'un grand autobus, équipé de 3 télescopes d'un type très spécial. Les rayons X échappent aux miroirs et lentilles ordinaires. Pour les focaliser, il faut des miroirs en forme de tonneaux, façonnés avec une extrême précision. XMM-NEWTON est constitué de trois télescopes, chacun équipé de 58 miroirs concentriques de 60 cm de long fonctionnant en parfait synchronisme pour focaliser les rayons X sur le plan focal, là où se trou-



vent les instruments de mesure. XMM-NEWTON observera – sur une bande spectrale allant de 1 à 100 Å – les innombrables sources de rayonnement X de notre univers afin de percer leur secret: les petits trous noirs laissés par des étoiles ayant explosé, ainsi que les trous noirs géants qui guettent leurs proies au cœur de certaines galaxies; les restes de supernovae, ces étoiles qui explosent au terme de leur vie; les étoiles X qui, caractérisées par une force de gravitation exceptionnelle, aspirent le gaz de leurs compagnons en le portant aux températures d'émission du rayonnement X; les nuages de gaz laissés par les comètes qui, lorsqu'ils entrent en collision avec le vent solaire, produisent des rayons X; les émissions X des gaz contenus dans les amas de galaxies qui trahissent l'effet de la matière noire, invisible, sur le façonnement de l'univers; et enfin les émissions X des galaxies lointaines afin de percer les secrets du lointain passé de l'univers.

### INTEGRAL (International Gamma Ray Astrophysics Laboratory)

*Lancement: avril 2002 du port spatial de Baikonur (Kazakhstan); Durée de la mission: 2 à 5 ans minimum; Lanceur: Proton; Orbite: 10000 x 153000 km, 51.6°, 72h*



Integral

Le rayonnement gamma, encore plus énergétique que le rayonnement X, est la signature d'événements physiques extrêmement violents, il prend naissance dans les puissants mouvements de matière associés aux trous noirs, aux noyaux actifs de galaxies, aux supernovae et aux étoiles à neutrons. Les rayons gamma les plus énergétiques se manifestent de façon sporadique. Les instruments doivent donc rester pointés plusieurs jours d'affilée sur la même cible pour capter suffisamment de quanta. Les flash gamma révèlent l'existence d'explosions inexpliquées aux confins de l'univers. L'étude détaillée de ce rayonnement gamma (0.015 à 10 MeV) permettra de mieux comprendre les caractéristiques physiques de ces phénomènes. Avec sa sensibilité et sa résolution

spectrale inégalées, INTEGRAL va révolutionner l'astronomie gamma. Il plongera son regard au cœur des cataclysmes les plus violents de l'univers et l'on pourra entre autre, pour la première fois, observer la signature des émanations radioactives des explosions d'étoiles ( $\text{Ni}^{56}$ ,  $\text{Al}^{26}$ ,  $\text{Ti}^{44}$ ,  $\text{Fe}^{60}$ ) qui contribuent à enrichir le milieu interstellaire en éléments lourds (plus complexes que l'hélium). D'autre part, notre Galaxie abrite des sources de rayonnements gamma en son centre et INTEGRAL permettra peut-être enfin de savoir si celui-ci contient un trou noir géant?

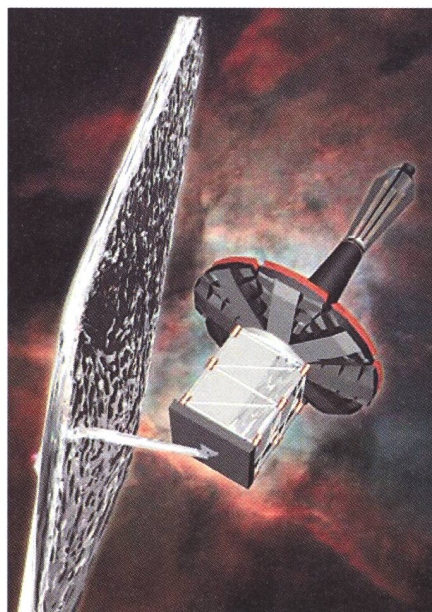
Les rayons gamma ne pouvant être défléchis par une lentille ou réfléchis par un miroir, les instruments d'INTEGRAL utilisent la technique du masque codé. Ce masque, en tungstène de 3 cm d'épaisseur, va créer une ombre de l'objet observé sur les détecteurs au germanium. Ainsi l'analyse de cette ombre, connaissant la codification du masque, permettra de reconstituer l'image et la direction des sources observées.

### NGST (New Generation Space Telescope)

*Lancement: 2007 (à confirmer) du Cape Canaveral (Floride); Durée de la mission: 5 à 10 ans; Lanceur: navette spatiale; Orbite: en halo au point de Lagrange L2*

Le HST, continue de fournir des données de haute valeur scientifique mais il n'est pas éternel et la NASA a, depuis plus de deux ans, commencé l'étude et la définition d'un télescope spatial de 4 à 8 m de diamètre pour l'infrarouge proche (1 mm à 5 mm, voire 0.5 mm à 30 mm, à définir), le NGST. Du côté européen, l'ESA a été invitée officiellement à participer à cette mission.

NGST



Aujourd'hui, on maîtrise des technologies qui permettent d'envisager des télescopes de 25, 50 et voire même de 100 m de diamètre (projet OWL). En 2008, on estime que la génération des télescopes terrestres de la classe du VLT auront délivré le meilleur de leurs performances et les nouvelles percées scientifiques nécessiteront des instruments tels que le NGST, ALMA ou OWL. Grâce aux observations dans différentes longueurs d'ondes, nous progressons toujours plus dans notre compréhension de l'Univers tel qu'il nous apparaît aujourd'hui et tel qu'il était il y a environ 10 milliards d'années. Nous savons à quoi il ressemblait quand il était très jeune, c'est-à-dire avant qu'il ne soit âgé de quelques millions d'années, grâce à l'observation du rayonnement de fonds micro-ondes et à la physique des particules de hautes énergies. Mais entre ces deux périodes nous n'avons aucune observation, c'est ce que l'on nomme la «Dark zone». C'est donc jusque dans les profondeurs de cette «Dark zone», qui représente une étape importante dans l'évolution de notre Univers, puisque l'on passe d'un univers «simple» (sans galaxies) à un univers complexe (ensemble de galaxies), que le NGST se propose de plonger son regard et ainsi d'apporter des contraintes observationnelles aux modèles cosmologiques théoriques existants.

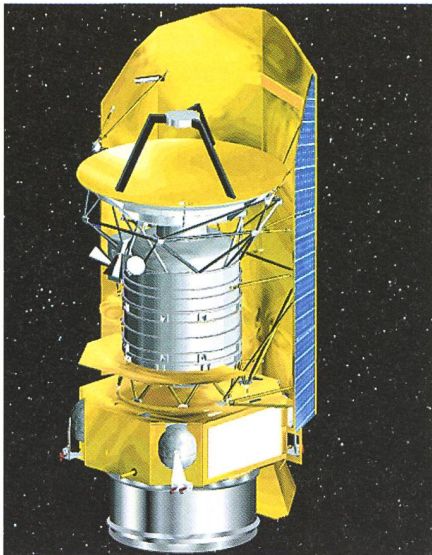
Le NGST sera une formidable machine à remonter le temps qui devrait nous offrir le spectacle de la naissance des premières étoiles ainsi que la détection des premières supernovae. Il nous livrera des informations précieuses sur le taux de formation et d'extinction stellaire. Il devra aussi réaliser une cartographie de l'univers à différentes époques afin de nous permettre de comprendre la formation et l'évolution des structures à grande échelle (groupement de galaxies) que l'on observe et donc la distribution de masse dans l'univers. Mais, avec sa grande ouverture (télescope de 4 à 8 m de diamètre) et sa grande sensibilité à l'infrarouge proche, le NGST offrira aussi une opportunité unique d'étudier plus en profondeur, dans un voisinage plus proche, les régions de formation stellaire et de détecter des planètes autour d'étoiles proches.

### FIRST (Far Infrared and Submillimetre Telescope)

*Lancement: 2007 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 3 ans minimum; Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2*

Avec son télescope équipé d'un miroir de 3.5 m de diamètre et, au plan focal, 3 instruments (un spectromètre à





ISO

haute résolution, une camera et un photomètre) refroidi à  $-271^{\circ}\text{C}$ , FIRST sera le premier observatoire spatial à couvrir la bande spectrale qui s'étend de l'infrarouge lointain au submillimétrique (80 à 670 microns). Il ouvrira une fenêtre nouvelle, inexplorée et qui ne peut être ouverte depuis le sol. Les questions clés qu'il tentera de résoudre sont essentiellement liées à la formation des galaxies dans l'univers, à celle des étoiles tout au long de l'histoire de l'univers et à la relation qu'il existe entre ce deux événements.

FIRST permettra de déterminer le taux de formation stellaire dans des galaxies lointaines (environ 10 milliards d'années lumière) et avec des études spectroscopiques on pourra sans doute mieux comprendre les processus physiques et les mécanismes de production d'énergie dans les galaxies. L'étude détaillée de la physique et de la chimie du milieu interstellaire dans notre Galaxie comme dans d'autres galaxies proches et lointaines permettra de mieux comprendre comment se forment les étoiles à partir des nuages moléculaires. Dans notre système solaire, FIRST s'intéressera à la chimie moléculaire des atmosphères de comètes, de satellites et planètes. Au lancement, FIRST sera couplé à un autre satellite de l'ESA, PLANCK, destiné à mesurer les fluctuations du rayonnement de fond micro-onde.

### PLANCK

*Lancement: 2007 du port spatial européen de Kourou (Guyane); Durée de la mission: 3 ans minimum; Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2*

Le rayonnement de fond cosmique micro-onde représente le 99% du contenu électromagnétique de l'Univers. Il a été généré à une époque où l'Univers était

presque uniforme. Aux premiers instants de l'Univers, il n'y avait qu'un gaz très chaud de particules élémentaires baigné de photons. Photons et électrons interagissaient sans cesse, interdisant la formation de toute matière. Puis l'univers en expansion s'est refroidi et les électrons purent se combiner avec des noyaux, libérant les photons. Libre de toute interaction ce rayonnement a été préservé jusqu'à nos jours. Ce rayonnement fossile montre que l'univers entier a un jour été plus chaud que les centres des étoiles. C'est cette époque primitive de notre Univers que l'on souhaite observer avec PLANCK. L'objectif est de cartographier, avec une sensibilité et une résolution angulaire sans précédent, les fluctuations de ce rayonnement de fond cosmique. Celles-ci représentent les traces des fluctuations primordiales de densité qui donnèrent naissance aux galaxies lors de l'évolution de notre univers. On connaîtra ainsi mieux l'ère prégalactique et surtout les informations collectées permettront de contraindre les modèles du Big-Bang, d'extraire une mesure de la constante de Hubble avec une précision de quelques %, ainsi que de la densité moyenne de l'univers. PLANCK livrera 9 cartes du ciel dans la bande de fréquence allant de 30 GHz à 900 GHz, avec une résolution angulaire de 30 à 4,5 secondes d'arc. C'est une précision 10 fois supérieure à celle fournie par le satellite américain COBE au début des années 90. Une telle mission devrait faire avancer grandement les théories sur l'âge et l'origine de l'univers.

### GAIA

*Lancement: 2009 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2*

L'objectif de cette mission est de clarifier l'origine et l'histoire de notre galaxie en réalisant une cartographie 3D d'une très grande précision (10 micro-secondes d'arc ce qui revient à mesurer le

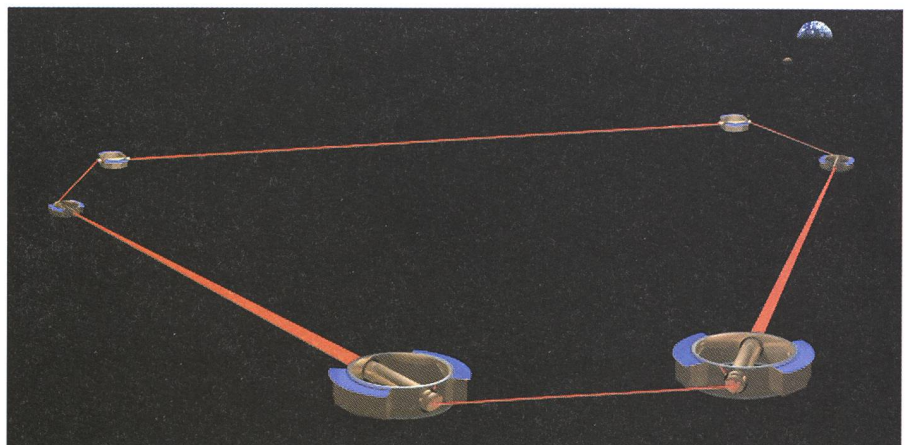
diamètre d'un cheveu à une distance de 1000 km!) de plus d'un milliard d'étoiles. GAIA effectuera des mesures astrométriques, photométriques et de vitesses radiales. Les résultats de GAIA permettront notamment d'obtenir: une image sans précédent des étoiles en mouvement dans notre galaxie; une estimation de la distribution de la matière sombre; des contraintes sur l'âge, la structure interne et l'évolution de tous les types d'étoiles; et de vérifier la présence de planètes autour de centaines de milliers d'étoiles. Au niveau du système solaire, GAIA détectera des dizaines de milliers de nouveaux petits corps célestes (planètes mineures), voire même des objets trans-neptuniens. Cette mission de l'ESA fera l'objet d'une décision en octobre 2000. Elle est pour l'instant en compétition avec une autre mission de l'ESA qui a pour objectif l'exploration de la planète Mercure (Bepi-Colombo).

### LISA (Laser Interferometer Space Antenna)

*Lancement: 2009-2010 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: orbite héliocentrique à 150 millions de kilomètres du Soleil*

Avec LISA, l'objectif est la détection des ondes gravitationnelles. Celles-ci sont prédites par la Relativité générale, elles sont partout dans l'espace et transportent des quantités énormes d'énergie, mais elles n'ont encore jamais été observées. À l'image des ondes produites à la surface de l'eau lorsque l'on jette une pierre, les ondes gravitationnelles correspondent à la vibration de l'espace temps. Elles sont produites par des corps en mouvement accéléré. Ces signaux sont détectables seulement dans le cas de corps célestes très compacts comme deux étoiles à neutrons ou trous noirs en orbite l'un autour de l'autre, ou une étoile à neutrons tombant sur un trou noir, ou encore la fusion de deux trous noirs. Bien que la force de

LISA





gravitation domine tous les systèmes astronomiques, son interaction est faible et la partie dynamique de son champ n'a donc pas encore été mesurée. L'observation de ce phénomène permettra notamment de mieux connaître la nature des trous noirs et de la masse manquante de l'Univers. Au sol, les instruments ne peuvent être sensibles qu'à des fréquences  $>1$  Hz à cause d'un bruit de fond relativement important («bruit gravitationnel» de la Terre), à ces fréquences les événements sont rares. Alors que dans l'espace, on peut avoir accès aux domaines des fréquences  $<1$  Hz et les sources potentielles sont alors plus nombreuses.

LISA pourra observer toutes sortes d'objets compacts et sera aussi capable de chercher le rayonnement de fond cosmologique gravitationnel. Si l'observation du rayonnement de fond micro-ondes, objet de la mission PLANCK, nous donnera une image de l'Univers à l'âge de 300 000 ans, les ondes gravitationnelles nous permettront de voir le Big Bang!

LISA, conçu comme un interféromètre de Michelson, est composé de 3 satellites disposés selon un triangle équilatéral de 5 millions de kilomètres de côté, l'ensemble est incliné de  $60^\circ$  par rapport à l'écliptique. Chaque satellite comprend 2 lasers, 2 télescopes de 30 cm et 2 masses test (alliage or/platine 80/20 insensible au champ magnétique). La liaison entre les satellites est réalisée par faisceaux laser. Les ondes gravitationnelles vont simplement modifier les distances entre les satellites. C'est la mesure – par interférométrie – de ces petites variations qui permettra de les caractériser.

## DARWIN

*Lancement: ~2013 (à confirmer) du port spatial européen de Kourou (Guyane); Lanceur: Ariane 5; Orbite: en halo au point de Lagrange L2*

L'existence de planètes hors de notre système solaire, et d'une vie intelligente ou primitive ailleurs que sur la Terre, quelle part dans l'Univers sont des questions scientifiques et philosophiques que l'Homme se pose depuis la nuit des temps. Aujourd'hui, bien que nous ayons répondu seulement à la première question, depuis la découverte de la première planète extra-solaire en 1995 (Mayor et Queloz, Observatoire de Genève), nous avons les moyens d'aborder la deuxième question d'une manière rigoureuse et scientifique. La recherche de planètes extra-solaires du type terrestre et leur analyse spectroscopique est ainsi devenu l'un des buts scientifiques majeurs du prochain millénaire. La mission DARWIN s'est fixé cet objectif scientifique en utilisant une méthode interférométrique. L'observation directe de planètes extra-

solaires est essentiellement une question de contraste. Dans le visible le contraste entre l'étoile et ces planètes est tel que ces dernières ne peuvent être détectées. Par contre dans l'infrarouge proche ce contraste est réduit rendant la détection de planètes possible si l'on dispose d'un instrument suffisamment puissant comme DARWIN. L'infrarouge proche est aussi une plage spectrale très intéressante où l'on peut trouver des raies d'ozone comme signature d'une atmosphère similaire à celle de la Terre, riche en oxygène. En plus de cette chasse aux planètes, DARWIN sera capable de fournir des images de l'Univers dans la bande spectrale allant de 4 à 30  $\mu\text{m}$  d'une qualité supérieure à celles qui auront été produites par le NGST.

## XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy mission)

*Lancement: 2010-2020? Lanceur: Ariane 5 (à confirmer); Durée de la mission: ~25 ans; Orbite: 600 km*



XEUS

Ce projet d'observatoire X (0.5 à 200 Å) permanent, sera une installation majeure de l'astrophysique des hautes énergies sur la station spatiale internationale. Il aura l'ouverture des plus grands télescopes terrestres.

Basé sur le même principe d'assemblage de miroirs qu'XMM-NEWTON, XEUS sera constitué de 300 miroirs concentriques de 1 m de long pour un diamètre total de 4.5 m. Ce télescope X sera composé de deux parties: le module contenant les miroirs et, sur la même orbite mais 50 m plus loin, un autre module équipé des détecteurs. Après 4 à 5 ans d'opération ce télescope sera arrimé à la Station Spatiale Internationale pour une opération qui verra le nombre de miroirs passer à 500 et le diamètre totale du télescope atteindre 10 m. L'objectif scientifique principal de XEUS sera l'observation de la lueur de fond de rayonnement X qui semble remplir le ciel entier. Cette lueur pourrait provenir du *Dark Age* (époque sans étoile où le jeune Univers était encore en gestation des galaxies). Au-delà de ce *Dark Age*, à la limite de l'univers observable se trouve le rayonnement de fond micro-onde, émis lorsque rien n'existait d'autre

qu'une grande masse de matière sombre non identifiée ainsi que de grands nuages d'hydrogène et d'hélium. XEUS va ouvrir une fenêtre sur l'aspect chaud ( $>10^6$  °C) de notre jeune Univers. Les conditions dans l'Univers primordial étaient assez différentes de celles que l'on observe aujourd'hui dans notre Galaxie par exemple. On suppose que de grands nuages ont formé par leur effondrement gravitationnel des trous noirs géants qui ont du être parmi les premiers objets créés dans l'Univers. Le rayonnement X produit dans le voisinage de ces objets pourrait expliquer le rayonnement de fond cosmique X. Ces trous noirs des premiers âges sont supposés survivre aujourd'hui au cœur des galaxies. En comparant des galaxies proches et lointaines, les mesures du rayonnement X pourront clarifier la croissance et l'évolution de ces trous noirs des premiers âges et les éruptions qu'ils génèrent à travers l'histoire des galaxies. Cet instrument ambitieux nous offrira une fenêtre sur une époque où les galaxies n'étaient pas formées, sur l'histoire de l'univers chaud. Ces précieuses informations viendront ainsi compléter celles provenant de l'univers froid fournies par NGST, FIRST ou encore ALMA.

## En quête d'autres réponses

À l'approche du XXI<sup>e</sup> siècle, l'astronomie repousse les frontières de la connaissance et de la compréhension de notre univers. Avec les instruments terrestres et spatiaux modernes, des portes s'ouvrent sur de nouveaux horizons, sur des recherches interdites il y a encore quelques années. Ils apporteront, si ce n'est une réponse, tout au moins des éléments de réponse aux questions fondamentales que nous nous posons: Quel âge à notre univers? Comment est-il né? Y aura-t-il une fin? À quoi ressemblent les autres systèmes planétaires (observations directes)? Qu'est-ce que la matière (masse manquante)? Qu'est-ce que le temps? Pourquoi l'univers est tel qu'il est?

*Et tout cela grâce à cette fameuse lumière.*

Dans un avenir relativement proche, avant 2050, de nouveaux instruments verront encore le jour. On pourrait assister à la construction d'observatoires géants dans l'espace ou sur la face cachée de la Lune. La sensibilité et la résolution de ces télescopes surpasseront de beaucoup celles de n'importe quel instrument actuel et l'Homme pourra peut-être alors réaliser un grand rêve à savoir connaître l'origine de toute chose!

DR. STÉPHANE BERTHET

Délégation suisse à l'ESO et l'ESA

OFES - Office fédéral

de l'éducation et de la science

Hallwylstr. 4, case postale, CH-3003 Berne



# Schwarze Löcher werfen Licht auf die Galaxien-Bildungen

HUGO JOST-HEDIGER

Astronomen haben entdeckt, dass die monströsen Schwarzen Löcher nicht einfach in ihrer vollen Grösse «geboren» wurden. Statt dessen wuchsen sie mit einer Diät aus Gas und Sternen, welche sie ihren jeweiligen Heimat-Galaxien, welche in der Frühzeit des Universums geformt wurden, entnahmen.

Dieses Resultat basiert auf Messungen, welche mit dem Hubble-Teleskop an mehr als 30 Galaxien mit ihren grossen «Schwarzen Löchern» vorgenommen wurden. Die Aufnahmen mit dem Hubble-Spektrographen zeigen ein breites Bild der Evolution von Galaxien und ihrer langen und intimen Beziehung mit den in ihrem Zentrum liegenden Schwarzen Löchern.

Es bleibt aber noch sehr viel Analysearbeit zu tun. Ein erster Augenschein scheint die Idee zu bevorzugen, dass die gigantischen Schwarzen Löcher nicht die Vorläufer der Galaxien sind. Vielmehr scheinen sie mit den Galaxien einer gemeinsamen Evolution zu unterliegen. Die Schwarzen Löcher besitzen dabei überraschenderweise immer ungefähr den gleichen Prozentanteil (0,2%) der Masse des Bulges der Galaxie.

Dies bedeutet, dass Schwarze Löcher in kleinen Galaxien relativ unterernährt sind und nur einige Millionen Sonnenmassen wiegen. Die grössten Schwarze Löcher in Riesengalaxien wiegen dagegen Milliarden Sonnenmassen. Sie werden mit einfallendem Gas so überfüttert, dass sie später als Quasare, den hellsten Objekten im Universum, aufleuchten können.

Die Schlussfolgerung der Astronomen ist die, dass die Masse der Quasare nicht von Anfang an vorgegeben ist. Vielmehr wird die Masse während des Prozesses der Bildung der jeweiligen Galaxie bestimmt.

«Dies unterstützt die ursprüngliche Theorie, weshalb Schwarze Löcher so wichtig sind und woher sie ihre Masse haben.» Ich vermute, dass das Ereignis, welches die Bildung einer Galaxie verursacht und dasjenige, welches das Schwarze Loch zum Quasar-Leuchten bringt, dasselbe ist», sagt JOHN KORMENDY von der Universität Texas in Austin. «Diese Resultate sind ein Katalysator, welcher uns helfen kann, die vielen anderen Beobachtungsrichtungen über die Bildung der Galaxien zu einem glaubhafteren und vollständigeren Bild zusammenzufügen.

Diese geheimnisvolle Beziehung zwischen Schwarzen Löchern und ihren Heimatgalaxien wurde in den vergangenen Jahren bereits vermutet. Diese Vermutung wird durch Hubbles Entdeckung von 10 supermassiven Schwarzen Löchern unterstützt. Heute stehen für die Untersuchungen mehr als 30 Schwarze Löcher zur Verfügung. «Zum ersten Mal können wir die starke Beziehung zwischen der Entwicklung und dem Wachstum der Galaxien und der Entwicklung und dem Wachstum der Schwarzen Löcher untersuchen», sagt KORMENDY.

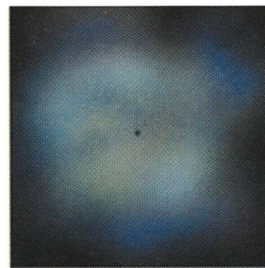
Die Resultate zeigen nun eine enge Beziehung zwischen der Masse des Schwarzen Loches und den Sternen, welche eine elliptische Galaxie oder der zentrale Bulge einer Spiralgalaxie enthält. Aber überraschenderweise wurden noch engere Beziehungen gefunden. «Andere Beobachtungen der stellaren Gesamtmasse des Bulges zeigen eine sehr enge Beziehung zwischen dem Schwarzen Loch und der Tiefe des Gravitationspotentials. Dies lässt den Schluss zu, dass die Massenbeziehung real ist», sagt GEBHARDT.

In den meisten Fällen wächst das Schwarze Loch nicht einfach durch das aufsammeln von Gas in seiner alleinstehenden Heimatgalaxie. Oft entsteht durch das Verschmelzen von zwei Galaxien mit je einem Schwarzen Loch ein kombiniertes grösseres Schwarzes Loch.

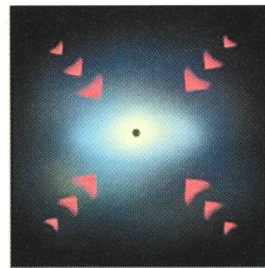
## Three Ways to Grow a Black Hole

### Primordial collapse of a bulge

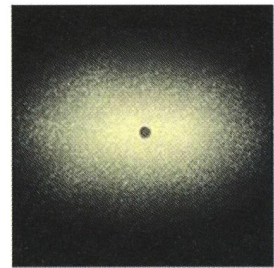
1. Primordial hydrogen cloud collapses around small 'seed' black hole.



2. Infalling gas feeds the hole with more mass and forms stars.



3. Collapse yields a giant elliptical galaxy. Black hole growth stops.



### Galaxy collisions

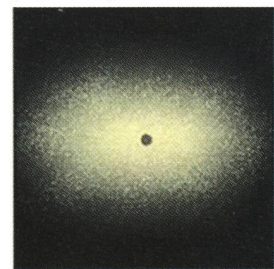
1. Two disk galaxies with central black holes fall toward each other.



2. The galaxies collide, and their cores begin to merge along with their black holes.



3. The merger yields a giant elliptical galaxy with a central black hole that has grown proportionally more massive.

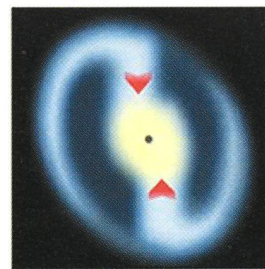


### Pseudo bulge

1. Pure disk galaxy forms with, at most, a seed black hole.



2. Disk gas falls into center of galaxy and grows a pseudo bulge which looks like a primordial bulge but really is part of the disk.



3. As pseudo bulge grows, a black hole is created and its mass increases with that of the pseudo bulge.

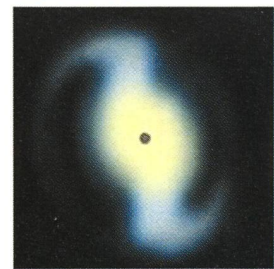


Fig. 1: Drei Wege zur Entstehung eines Schwarzen Loches. Oberste Serie: Das Schwarze Loch entsteht vor der Galaxien-Bildung. Mittlere Serie: Verschmelzung von zwei Galaxien mit je einem Schwarzen Loch. Untere Serie: Pseudo-Bulge

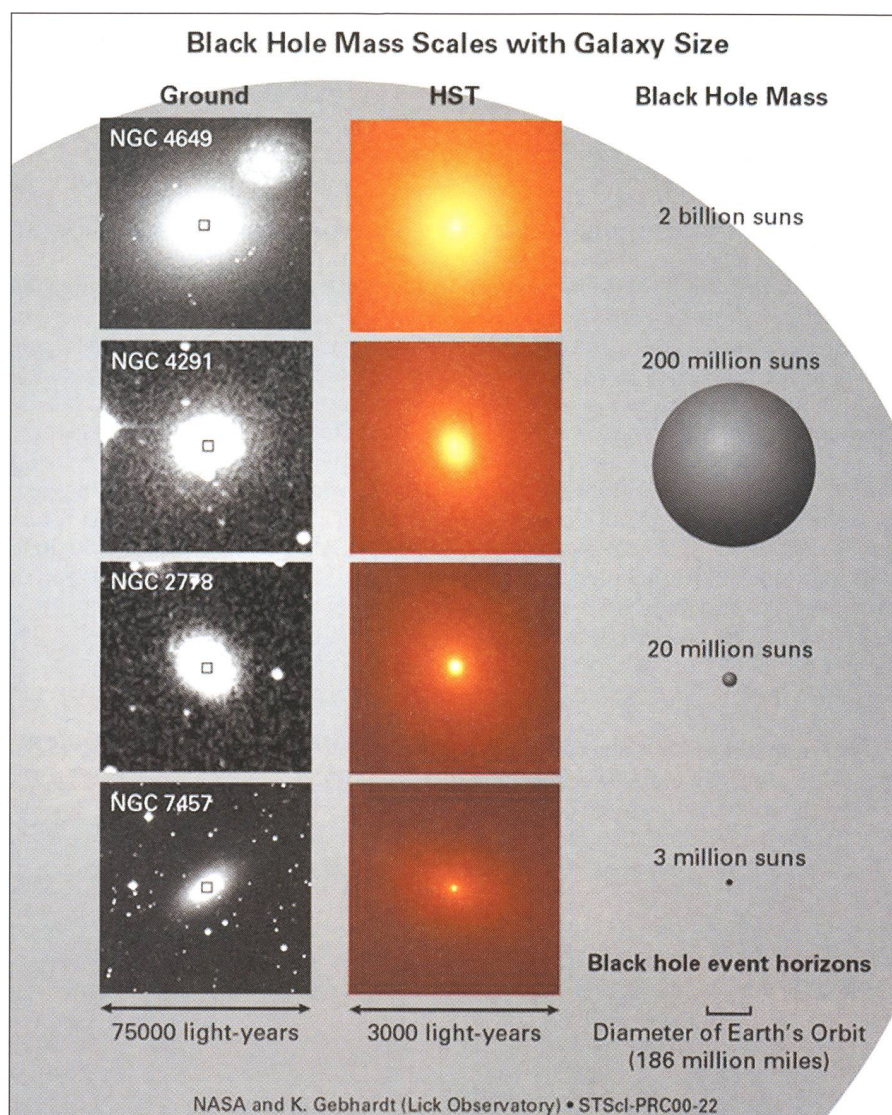


Fig. 2: Masse Schwarzer Löcher und  
Galaxiengrösse

Das Resultat erklärt ebenfalls, weshalb Galaxien mit kleinem Bulge, wie unsere Milchstrasse, nur ein kleines Schwarzes Loch mit der Masse von einigen Millionen Sonnen, dagegen die gigantischen elliptischen Galaxien Schwarze Löcher mit der Masse von einigen Milliarden Sonnen haben. Scheiben-Galaxien ohne zentralen Bulge (wie zum Beispiel unsere Nachbargalaxie M33) beherbergen entweder kein Schwarzes Loch oder aber dann ein so kleines Schwarzes Loch, dass es noch unter der Nachweisgrenze für das Hubble-Teleskop liegt.

Eine alternative, aber weniger bevorzugte Idee ist, dass die Schwarzen Löcher zuerst mit einer Standard-Masse von 0,2% der ersten Galaxien-Fragmente entstanden. Danach erzeugte die Verschmelzung von Galaxienfragmenten grössere Galaxien. Bei diesem Prozess würde das Verhältnis von 0,2% Masse der Schwarzen Löcher erhalten bleiben, da sie in gleichem Masse wie die Galaxien verschmelzen würden. Diese Idee wird jedoch durch die neuesten Beobachtungsergebnisse nicht gestützt.

Die neusten Ergebnisse werfen noch kein Licht auf die Frage, welches denn die Samenkörner der Schwarzen Löcher sein könnten. Sie werden einfach in einem frühen Stadium der Galaxien-Entstehung benötigt, damit sie später wachsen und als Quasare aufleuchten können. Ebenso wenig haben die Astronomen eine Idee, weshalb während der Entstehung der Galaxien eine so präzise Korrelation zwischen der Masse des Bulges (oder der Galaxie) und dem



Schwarzen Loch entsteht. Es ist offensichtlich, dass der Prozess, welcher entscheidet, wieviel Masse an ein Schwarzes Loch verfüttert wird, immer

dasselbe Resultat erzielt. Er ist weitgehend unabhängig von den Details der Galaxien-Entstehung.

Die am AAS-Meeting präsentierten Ergebnisse basieren auf zwei verschiedenen Beobachtungsarten.

Verschiedene Teams massen die Geschwindigkeit von Gasmassen, welche im Gravitationsstrudel der Schwarzen Löcher eingefangen wurden und wie ein Wasserstrudel im Ausfluss der Badewanne um das Schwarze Loch rasten.

Andere Teams massen die Bewegung von Sternen, welche den Bulge der Galaxien wie Bienen umschwirren. Je grösser der Bulge, desto rascher die Bewegungen der Sterne.

Die Spekulationen bezüglich grosser Schwarzer Löcher in den Galaxien begannen mit der Entdeckung von Quasaren in den sechziger Jahren. Rasch rea-

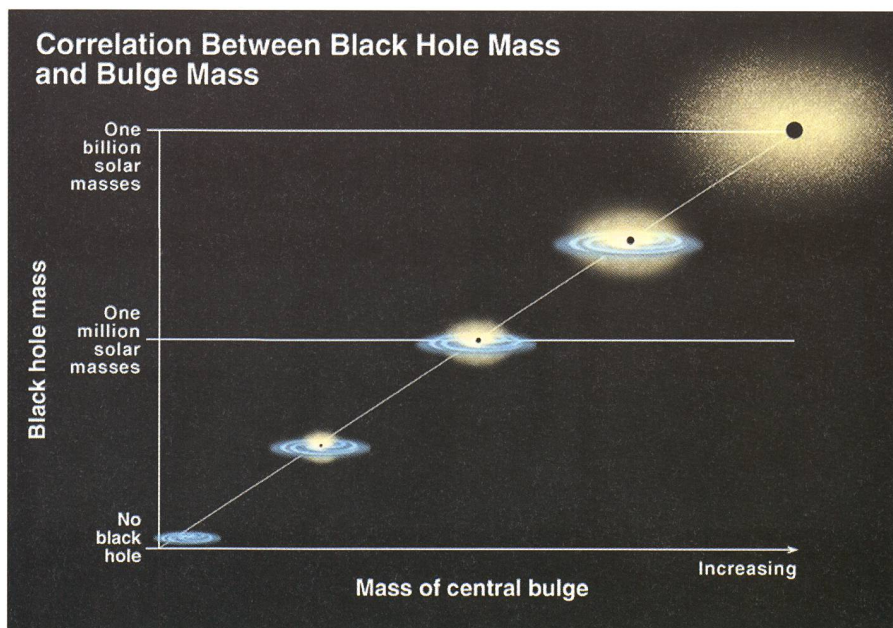


Fig. 3: Korrelation zwischen Bulge-Masse (horizontale Achse) und Masse des Schwarzen Loches (vertikale Achse)



lisierten die Astronomen, dass das ausserordentlich starke Schwerefeld von grossen Schwarzen Löchern die Maschine zur Produktion der enormen Energie, welche Quasare in den Raum schleudern, sind.

Die Astronomen realisierten jedoch, dass das Licht eines Quasars nur 1/10 der enormen Masse, welche das

Schwarze Loch verschlungen hat, darstellt. Woher kam diese enorme Energie? Ebenso benötigen die in den siebziger Jahren entdeckten aktiven Galaxienkerne einen Prozess, welcher die Schwarzen Löcher bereits in frühen Phasen der Galaxienentstehung füttern konnten. Dies bedeutet, dass die Entstehung von Schwarzen Löchern in Ga-

laxien nicht ein Unfall, sondern der Normalfall im Leben der Galaxien ist.

HUGO JOST-HEDIGER  
Jurasternwarte Grenchen

## Bibliographie

STSci Press release 00/22, 5. Juni 2000

# Zu Besuch im Powell Observatorium in Kansas City

H. JOST-HEDIGER

Im Sommer 1999 reiste unsere Tochter für ein halbes Jahr nach Kansas City, USA. Eine gute Gelegenheit, wieder einmal den Sprung über den grossen Teich zu wagen und Sie zu besuchen. Im Herbst 99 war es so weit und wir reisten für gut zwei Wochen nach Kansas City, um die zwei Staaten Kansas und Missouri näher kennen zu lernen.

Da BARBARA meine Interessen kennt organisiert Sie für uns selbstverständlich einen Besuch im Observatorium von Kansas City.

Um 18:00 Uhr treffen wir die Tochter des Leiters der Sternwarte mit ihrem Mann und dem zweijährigen Kind. Da die Sternwarte sozusagen gerade um die nächste Ecke liegt, gehen wir erst mal gemeinsam zu einem gemütlichen Nachtessen. So gegen 20:00 Uhr, draussen ist es zu dieser Zeit schon finster (stockfinster wird es bei dieser Amerikanischen Manie für Beleuchtungen eh nie), werden wir langsam unruhig und erkundigen uns, wann wir denn wohl fahren werden. «Nur keine Eile, es ist nicht weit», werden wir beruhigt. Nun denn, wir werden ja sehen.

Endlich fahren wir los. Da wir sieben Personen sind, werden nach amerikanischer Rechnung drei Autos benötigt. Selbstverständlich möglichst grosse, damit man von der Fahrt auch etwas hat. «Please follow me» hören wir noch, und dann geht es los. THERESE fährt und achtet auf den Verkehr, ich und Barbara versuchen, den vor uns liegenden Wagen nicht aus den Augen zu verlieren und uns die Route für den Rückweg einzuprägen.

Zuerst geht's durch die Aussenquartiere der Stadt und dann ab auf die Autobahn Richtung Süden. Da wird's uns dann zum ersten Mal ein bisschen komisch. Auf dieser Route liegt das nächste «Town», ein kleines Nest, in rund 80 Kilometern Entfernung, und bis zur nächsten grösseren Stadt, Wichita, sind

es so an die 350 Kilometer. Wo die uns wohl hinführen? Zum denken bleibt aber keine Zeit. Der Verkehr ist dicht, dauernd wird die Spur gewechselt, und langsam wechselt die Nacht von finster zu stockfinster. Auf dem Land wird das fahren langsam ungemütlich.

Nach einem Katzensprung von mickrigen 80 Kilometern erreichen wir endlich die Ausfahrt von Louisburg, unserem Ziel. Wir fahren auf den riesigen leeren Parkplatz eines Shopping Centers und werden vom Leiter der Sternwarte und seiner Frau erwartet. Da wir

Fig. 1: Newton Spiegelteleskop 75 cm.

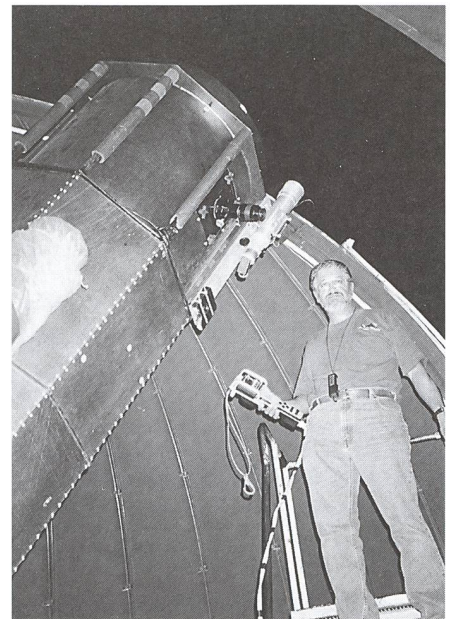
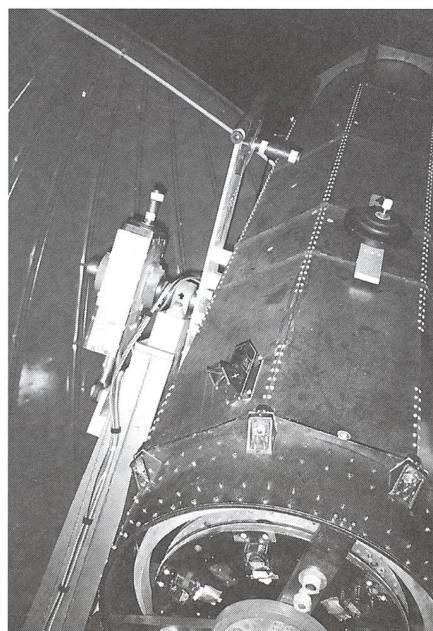


Fig. 2: Tom auf der Leiter mit der Handsteuerung des Instrumentes.

nun 9 Personen sind, braucht's 4 Autos. Weiter geht's in einer kleinen Kolonne über stockdunkle Felder, um stockdunkle Kurven und durch noch stockdunklere Waldstücke, bis wir endlich plötzlich vor uns im Dunkeln das Observatorium erahnen. Juhui! wir sind am Ziel. Tatsächlich: verglichen mit den übrigen Distanzen im Mittleren Westen ein Katzensprung.

Nun geht es daran, die Sternwarte zu besichtigen und wenn möglich auch mit den Instrumenten zu beobachten.

Wir betreten eine typisch amerikanische Einrichtung. Zuerst ein grosser Aufenthaltsraum mit Kühlschrank für das obligatorische Coke und ein Fernsehapparat! Der wird durch einen unserer Begleiter gleich mal eingeschaltet, und dann schaut er sich für den Rest des Abends ein Footballspiel an, trotz der sternklaren Nacht.

Die Grosse Kuppel des Observatoriums hat es in sich. Sie beherbergt ein riesiges 30 Zoll (75 cm) Newton-Spiegelteleskop. Alles im Eigenbau (Spiegel



inkl. Montierung) durch den begabten Leiter der Sternwarte, TOM MARTINEZ, hergestellt. Die riesige Kuppel muss erst mühsam von Hand gedreht werden. Dann wird der PC eingeschaltet, das Instrument synchronisiert und nun geht's an's Beobachten. Der Okulareinblick befindet sich ca. 4 Meter über dem Boden, und man muss sich erst daran gewöhnen, im Dunkeln die Leiter hochzusteigen. Wie einfach haben wir es doch bei uns in der Jurasternwarte, wo höchstens zwei bis drei Stufen bis zum Okular zu bewältigen sind.

Die kurze Mühe lohnt sich aber. Der Anblick von M13, Nebeln und anderen Objekten ist schlichtweg überwältigend. Die Objekte sind zum greifen nahe, und ich beneide Tom echt, ein solch hervorragendes Instrument zu besitzen. Stundenlang könnte man beobachten, sich in den Tiefen des Alls verlieren und darob die schnell fortschreitende Zeit völlig vergessen. Eh wir uns recht versehen, ist es nahezu Mitternacht und doch langsam Zeit, Schluss zu machen.

Vor dem «Nach Hause fahren» will mir aber Tom noch die Spezialeinrichtung des Observatoriums zeigen. In einem speziellen Holzgebäude werden mit modernster Technik (12 Zoll Meade Spiegelteleskop mit vollautomatischer

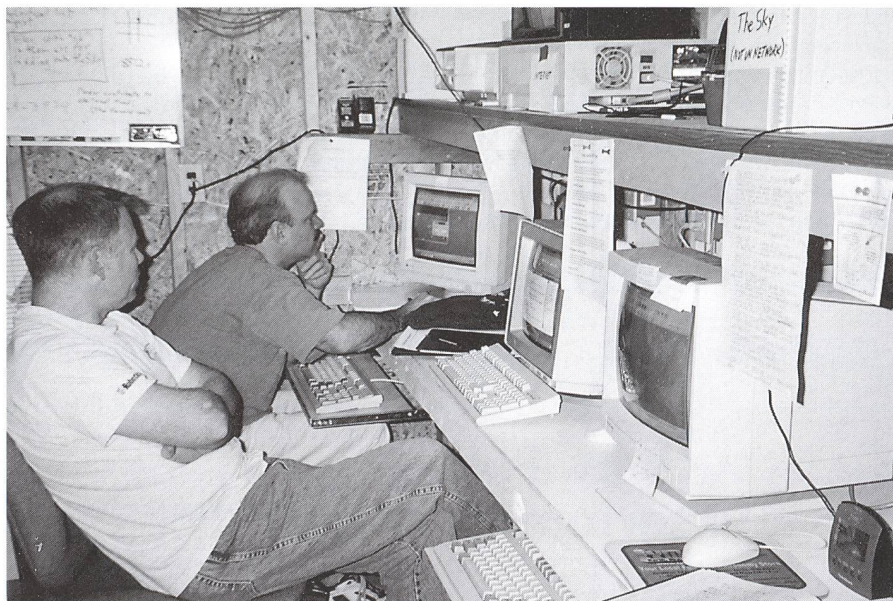


Fig. 3: Die Asteroidenjäger an der Arbeit

Computersteuerung und ST7 CCD-Kamera) Kleinplaneten aufgespürt und die Positionen vermessen. Der ganze Raum ist vollgestopft mit Computern. Alle gängigen Beobachtungsprogramme inkl. Bildverarbeitungssoftware und Internetanschluss sind vorhanden. Drei Mann sind intensiv am Arbeiten, und die Enge des Raumes sowie das rote Licht erinnern an den Kommandoraum eines U-Bootes. Alles in allem eine beeindruck-

kende Einrichtung, und auch die Beobachtungsergebnisse dürfen sich sehen lassen.

Nun ist aber endgültig Feierabend und wir machen uns auf die kurze (ca. 1 Autostunde) Rückreise nach Hause. Ein interessanter Abend ist zu Ende und wir werden mit Sicherheit über Internet in Verbindung bleiben.

H. JOST-HEDIGER  
Jurasternwarte, CH-2540 Grenchen

## Ihr Partner für Teleskope und Zubehör



Grosse Auswahl  
Zubehör, Okulare, Filter

Telrad-Sucher  
Astro-CCD-Kameras  
Astro-Software

Sternatlanten  
Sternkarten  
Astronomische Literatur

Beratung, Service  
Günstige Preise

Ausstellungsraum



Tel. 031/311 21 13 Fax 031/312 27 14

Internet <http://www.zumstein-foto.ch>

**CELESTRON®**

**Tele Vue**

 **Meade**

**ANDRES**

**AOK**

 **LEICA**

**Kowa**

 **FUJINON**

**STARLIGHT EXPRESS**  
ASTRONOMICAL AND INDUSTRIAL CCD CAMERAS

**Alleinvertrieb für die Schweiz: PENTAX®**

e-mail: [zumstein-foto@datacomm.ch](mailto:zumstein-foto@datacomm.ch)



# Construction d'un télescope photographique de Houghton

RENÉ DURUSSEL

## 1. Introduction

Dans le numéro 283 de la revue Orion (décembre 1997, pages 21 et 22), nous avons relaté la construction d'un télescope de Houghton-Lurie de 130/150/500, et mentionné la mise en chantier d'un instrument plus grand. Ce télescope photographique est maintenant en service.

## 2. Formule optique du télescope photographique de 200/250/900

Renvoyant le lecteur à notre premier article et à l'ouvrage de RUTTEN & VENROOIJ (réf 2), nous rappelons que le télescope de Houghton rappelle, par sa disposition générale, le télescope de Newton. Mais son miroir principal reste sphérique. Les principales aberrations sont éliminées par un correcteur composé de deux lentilles taillées dans le même verre et dont les faces peuvent être complémentaires deux à deux, ce qui facilite beaucoup le travail de l'opticien.

L'analyse effectuée au moyen d'un logiciel de calcul d'optique (Beam Two) confirme les indications des ouvrages de référence: pour un rapport d'ouverture modéré ( $f/D = 3,5$  à  $4,5$ ), la correction optique du système peut être poussée très loin; cette combinaison est plus intéressante que les autres formules concurrentes: Schmidt-Newton, Maksutov-Newton ou Wright, tout en présentant moins de difficultés d'exécution. En l'occurrence, pour les longueurs d'onde comprises entre le rouge et le violet, le disque de diffraction théorique reste inférieur à la limite d'Airy dans un champ de 1 degré, soit linéairement 16 mm environ: ce serait donc, pour une utilisation visuelle, un excellent télescope à champ riche.

Photographiquement, les images d'étoiles les plus fines restent en dessous de la limite de 0,025 mm à l'intérieur d'un champ de 3 degrés, soit environ 47 mm; on peut donc couvrir un format 6 x 6 de manière satisfaisante.

Suite à un échange de correspondance avec notre collègue GERHART KLAUS, nous avons renoncé à la variante de Houghton-Lurie, qui est la plus intéressante pour un petit télescope à usages multiples, au profit d'une formule également envisagée par RUTTEN & VENROOIJ (page 348), laquelle accepte une légère courbure de champ (en l'occurrence son rayon est de 1725 mm). G. KLAUS a rele-

vé l'intérêt que présente cette courbure de champ *convexe* face à la lumière incidente: sur un support légèrement convexe (comme dans une chambre de Schmidt), la tenue du film est meilleure que sur un support plan. Nous remercions notre collègue de ses précieux conseils.

## 3. Travail de l'optique

Le seul inconvénient de la formule de Houghton est qu'il faut, outre le miroir, tailler deux lentilles de grande dimension. L'opération reste cependant accessible à un amateur, car les cinq faces optiques sont sphériques et les tolérances, en particulier sur les épaisseurs des lentilles, sont assez larges. Inutile de dire qu'il ne faut pas être pressé... Pour les lentilles dont le diamètre brut est de 205 mm, nous avons commandé chez Schott/Mainz deux disques de borosilicate crown BK7. Soit dit en passant, en discutant avec le fournisseur, nous nous sommes aperçus que des disques de diamètre inférieur à 20 cm nous auraient coûté nettement plus cher. Allez savoir pourquoi!

Si l'on en croit d'autres opticiens amateurs, on peut sans inconvénient, dans le cas d'un instrument photographique, limiter la dépense en prenant pour les lentilles des disques de verre à glace à l'épaisseur voulue.

Au polissage, nous avons contrôlé les trois surfaces concaves à l'appareil de Foucault. Comme dans le cas du premier instrument, nous avons renoncé à tout contrôle des faces convexes, laissant celles-ci à la grâce du Ciel.

Une fois le polissage des lentilles achevé (environ 8 heures de travail effectif par face!), nous avons monté le correctif par dans son barillet tourné par le Centre Professionnel du Nord Vaudois. Soit dit en passant, de telles commandes sont plutôt bienvenues dans les écoles professionnelles tout en restant économiques pour l'utilisateur.

Pour le contrôle final, nous avons adopté la stratégie suivante: une première série d'essais, sur le ciel, de l'instrument monté et collimaté devait décider de la suite des opérations. Si les tests de Ronchi et de Foucault sur une étoile brillante donnaient des résultats satisfaisants, on utiliserait l'instrument tel quel. Dans le cas contraire, on procéderait à des retouches sur une des faces du correcteur en guidant le travail au moyen de contrôles en atelier (par auto-

collimation, en utilisant comme pièce de référence un bon télescope de Newton).

Un réseau de Ronchi de 10 traits au millimètre nous a montré dès le premier essai des franges bien droites, sans bord rabattu. Observation confirmée par le test de Foucault et par l'observation d'étoiles au moyen d'un oculaire à courte focale: les images sont bien piquées, le passage de la position intrafocale à la position extrafocale, via le foyer, ne révèle rien d'anormal.

Cela peut paraître trop beau pour être vrai. Il ne faut cependant pas oublier qu'une pièce optique travaillant par réfraction tolère des défauts *quatre fois plus grands* qu'un miroir: c'est probablement la clé du mystère. Or la taille du miroir sphérique est, pour un opticien exercé, un travail de routine.

## Un mot sur la dimension des miroirs

Si l'on veut éviter un vignettage excessif sur le film photographique, il faut dimensionner judicieusement les miroirs. Nous avons donné au miroir principal un diamètre de 255 mm. Le petit axe du miroir secondaire est de 77,5 mm, correspondant à un champ de pleine lumière de 3 degrés.

Cette dernière cote peut paraître étonnamment petite, puisque l'obstruction centrale due au miroir secondaire ne dépasse pas celle d'un Schmidt-Cassegrain destiné à l'observation visuelle. Cet avantage a été acquis, il faut bien le dire, au prix de sérieuses contraintes dans le montage de l'instrument:

- une section du tube réduite au minimum à la hauteur de la platine photographique, d'où son allure de fusée à plusieurs étages;
- une platine photographique très plate.

## Un mot sur le montage de l'instrument

Notre stratégie de contrôle de l'optique impliquait que l'instrument complet soit monté déjà au moment du polissage des pièces optiques. Dès lors, le problème de la conception et du positionnement des éléments mécaniques: tube, barillet du miroir, barillet du correcteur, araignée et porte-plaque, se posait pratiquement dès le départ. Cet aspect du problème est, à mon avis, nettement plus difficile à maîtriser que la seule taille des optiques. L'expérience acquise grâce à des instruments antérieurs est, pour ce genre de travail, très précieuse. S'ajoutait, dans notre cas, l'exigence supplémentaire d'un transport aisé sur la plate-forme d'observation, car nous n'avons pas d'installation à poste fixe.



D'où l'emploi de contre-plaqué minces enduits de résine à deux composants, le tube étant renforcé par plusieurs diaphragmes intérieurs. Cette contrainte explique aussi que nous ayons renoncé à la solution, élégante en elle-même, consistant à faire porter le miroir secondaire par une des lentilles du correcteur, lequel doit alors être percé. Dans notre instrument, le précieux barillet contenant le correcteur est installé en dernier, lorsque la collimation des miroirs a été effectuée.

### La platine photographique

C'est la pièce qui a exigé le plus d'études et d'essais. Notre platine répond à un cahier des charges ambitieux, mais le plaisir était à ce prix.

Mise au point et réglage d'assiette du plan du film.

Choix du format du film. En plus du film 6 x 6 en bobines sur lequel nous obtenons une image circulaire au diamètre de 55mm, un réducteur permet l'usage de film 24 x 36. Le support convexe du film a été obtenu par moulage (sciure de bois + colle époxy) sur une pièce optique dont on verra l'utilité plus bas.

Recherche d'une étoile guide par rotation de l'oculaire de guidage autour du champ photographié. Sur ce point, une heureuse surprise qui confirme la haute qualité de la formule optique: l'image d'une étoile guide «cueillie» en marge du champ photographié de diamètre 55mm n'est pas plus déformée par l'astigmatisme qu'elle l'est en bordure d'un cliché de 24 x 36 dans un télescope à miroir parabolique muni d'un correcteur de champ.

Amplification de l'image destinée au guidage, en utilisant la partie optique d'un oculaire de 16 mm placé après les deux prismes de renvoi (pour des raisons de dimensions, la solution d'une lentille de Barlow n'était pas possible dans ce cas).

Masquage du champ photographique possible grâce à un obturateur mécanique qui simplifie beaucoup les opérations.

### Collimation, réglage d'assiette et mise au point

Dans ce tube léger quoique solidement construit, un transport sur une courte distance n'altère pas beaucoup la collimation des éléments optiques; le contrôle est une opération de routine qui ne prend que quelques minutes.

Nous utilisons pour la mise au point la méthode la plus précise: le test de Foucault à l'aide d'une étoile de magnitude 1 ou 2.

En règle générale, lorsqu'on monte un boîtier 24 x 36 à la sortie d'un télescope, on règle par construction le problè-



M8 et M20, avec le télescope de Houghton 200/250/900. Chandolin, 31.7.2000, 22 h 50, 40 min sur Pro Gold GPY, 400 ASA.

me de la perpendicularité du plan du film par rapport à l'axe optique, et ça joue à moins qu'on ait été mauvais mécanicien. Mais dès qu'on a un champ plus grand, le problème du *réglage d'assiette* se pose inévitablement; il suffit d'examiner les clichés à la loupe binoculaire pour s'en convaincre. Solution: le test de Foucault non seulement sur le centre, mais aussi sur les bords du champ, au droit des vis de réglage en profondeur de la platine. Mais à ce stade, on ne peut pas ignorer la courbure de champ du télescope. Nous avons donc taillé et poli un verre de mise au point dont la face convexe a le rayon de courbure adéquat. Sur cette platine convexe qui matérialise exactement le plan du film, le plus simple est de dessiner au feutre noir trois couteaux de Foucault sur le pourtour du champ, plus un au centre. La solution parfaite est de faire aluminer ces couteaux en même temps que le miroir, mais il faut livrer à la maison chargée de l'aluminure un chablon à appliquer sur le verre. Cette méthode permet une mise au point précise sur l'ensemble du champ, sa pratique est aisée avec un peu d'entraînement.

### Premiers essais

Visuellement, en raison du fait que le plan focal est très près de la paroi du tube, on ne peut utiliser que certains

oculaires (Clavé 25 et 16 mm), d'autres se révélant trop rentrants.

Mais si on consent à se coller le nez contre le tube, on découvre des images d'un excellent piqué sur un champ étendu. L'observation confirme donc l'analyse du «design optique» et les premiers tests sur le ciel: la caméra de Houghton n'est pas une combinaison exclusivement photographique, donc inutilisable visuellement en raison du flou artistique des images.

Le guidage avec l'oculaire latéral donne pleine satisfaction, le grossissement est suffisant, compte tenu du piqué convenable de l'image extra-axiale.

Les premiers clichés ont montré qu'à l'image du ciel se superposaient des reflets assez larges, mais gênants: le correcteur compte quatre surfaces air-verre. Il est donc nécessaire d'appliquer aux lentilles correctrices un traitement anti-reflet. Cette opération est malheureusement assez coûteuse. Un amateur au budget limité agit sagement s'il se contente d'un simple Newton de 20 cm ouvert à 4,5, instrument excellent si l'on se limite à un champ de 24 x 36 qui suffit pour l'immense majorité des objets célestes. En outre, toutes les pièces métalliques du porte-film ont subi un éloxage noir mat.

Nos clichés les plus récents, tirés lors de deux excellentes nuits en fin



juillet 2000, illustrent de façon convaincante la qualité de cet instrument: les étoiles les plus fines sont parfaitement piquées jusqu'à l'extrême bord d'un champ de presque 3 degrés et demi.

RENÉ DURUSSEL

Rue des Communaux 19, CH-1800 Vevey

## Bibliographie

Nous renvoyons le lecteur à la bibliographie de notre article d'Orion 283. Signalons, en complément:

R. N. WILSON; *Reflecting Telescope Optics 1*, Springer Verlag, 1996. ISBN 3-540-58964-3. Cet ouvrage de 543 pages, richement illustré, constitue une référence comparable, par son ampleur (y compris l'étude historique), à ce que fut autrefois «Lunettes et Télescopes» de DANJON et COUDER.

## AN- UND VERKAUF / ACHAT ET VENTE

### • Zu Verkaufen

Wegen Systemwechsel, **Meade Bobson 10"**, wenig gebraucht, 1 Jahr.  
NP: Fr. 2280.- VP: Fr. 1550.-  
Tel. P: 031/711 18 03. Tel. G: 031/997 44 13.

• *Ausrüstung für Astrofotografie zu verkaufen*  
**Newton 250/1500** 1:6 Lichtenknecker Refraktor für manuelle Nachführ-Korrektur, Nachführsteuerung und Koordinatenauto-mat. Montierung AOK Swiss inkl. Winkel-encoder. Optionen: Anschluss für CCD-Tracking, Schnittstelle zu PC (The Sky oder Guide). Einstellung von Objekten via PC. Eingehendere Unterlagen bei 031/921 76 56 (tagsüber).  
OTTO HEDINGER, Postfach, 3063 Ittigen.

### • Sehr günstig abzugeben

**1 Okular Celestron**; 1 1/4-Zoll; Brennweite 7mm; Ortho Fully-Coated.

**1 Okular** No Name; 1 1/4-Zoll; Brennweite nicht genau bekannt (ca. 20mm); Austrittsdurchmesser 11mm. Beide neuwertig! Preis nach Vereinbarung, jedoch sehr günstig.  
ROLF KELLER, Gartenweg 1, 7402 Bonaduz, Tel. P: 081/641 33 70 - Tel. G: 081/660 63 51.  
Email: P: mailto:gaby-rolf@bluewin.ch  
Email: G: mailto:rkeller@hamilton-medical.ch

### • Zu Verkaufen

Wegen zunehmender Luftverschmutzung an meinem Wohnort verkaufe ich meine **Maksutow-Kamera 146/200/350 mm** mit zugehörigem Film-Stanzgerät. Die Kamera befindet sich in sehr gutem Zustand. Preis nach Vereinbarung.  
H. STRÜBIN, Route des Préalpes 98, 1723 Marly.  
Tel. G 031/324 35 06, P 026/436 33 59

# Utilisation des images de l'ère pré-électronique

## Première partie

RAOUL BEHREND

La baisse des prix des caméras électroniques et des ordinateurs ainsi que l'accroissement simultané de leurs capacités font que peu d'amateurs se lancent aujourd'hui dans l'astrophotographie classique (argentique), préférant acquérir une caméra électronique, avec tous les avantages que cela comporte.

Avant de faire ce saut, de nombreux astronomes ont constitué des collections extrêmement importantes de bons clichés du ciel. Ces trésors ne demandent qu'à être utilisés, car ils contiennent de nombreuses données concernant les comètes, astéroïdes et autres objets variables.

Pour tirer le meilleur parti d'un ancien cliché, une numérisation s'impose. Ensuite de quoi la parole est à l'ordinateur. Parmi les traitements possibles, on peut distinguer deux grandes classes:

- l'esthétique: rehausser les contrastes et les couleurs afin que l'image possède une bonne allure. Des logiciels ou partagiciels du style PainShopPro permettent des choses très intéressantes.
- la torture: on cherche à faire «parler» l'image, afin de nous fournir des positions et éclats pour les astres intéressants. Pour cela, un logiciel un peu plus sophistiqué est nécessaire. Nous reviendrons sur ce point plus bas.

### Numérisation

Comme dans toutes courses, la première étape compte autant que les suivantes; il s'agit donc de ne pas la rater. On trouve dans le commerce des numériseurs (scanners) pour pellicule et pour tirage. Les premiers sont généralement chers (un millier de francs), tandis que les seconds sont très abordables

(une centaine de francs). Si les premiers viennent lire directement sur le négatif l'information, les seconds ont besoin d'une transformation de l'information supplémentaire (le tirage sur papier) et sont donc moins précis quant au rendu des vraies observables.

### Quelques conseils:

- 1) numériser avec la résolution optique maximale (300 ou 400 points par pouce, habituellement). Faire un agrandissement numérique (par interpolation jusqu'à 9600ppp) n'apporte non seulement rien en ce qui concerne l'information, mais détruit en plus des données par ajout de données extérieures (la procédure d'interpolation). Sauver cette image intermédiaire dans un format courant qui conserve toute l'information (typiquement *bmp/tiff* pour un scanner à 8 binons, *tiff* pour un à 10 ou 12 binons); éviter absolument le *jpeg*, car il enlève ce qui n'est pas ou peu visible à l'oeil mais qui est très utile au traiteur d'image.

- 2) numériser les clichés noir-blanc en couleur, puis avec un logiciel intelligent, recombinaison des couleurs pour en faire une échelle de gris. On gagne ainsi pratiquement un binon !
- 3) combiner les pixels afin de réduire la taille de l'image tout en augmentant encore la «profondeur» de l'information. L'optimal est d'avoir environ trois pixels pour former les plus petits détails physiques sur le cliché (c'est-à-dire la taille de la tache de diffraction). Sauvegarder cette image dans un format lisible par les logiciels astronomiques courants, comme le *fits*.
- 4) on évitera de numériser les négatifs dans un scanner pour image. En effet, la lumière passe deux fois à travers le film, ce qui rend le contraste beaucoup trop fort (que l'on peut corriger partiellement en prenant la racine carrée de l'opacité mesurée). De plus, la résolution optique n'est généralement pas suffisante.

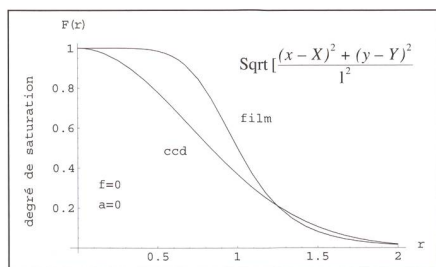
Les deux opérations sous 2) et 3) demandent de manipuler des données de 16 binons au moins. Peu de logiciels graphiques le fait correctement, et on est pratiquement contraint d'écrire soi-même son propre programme !

### Astrométrie et photométrie

On considère souvent ces deux sujets comme découplés. Or il n'en est rien. Ces deux techniques concernent en effet la mesure de la tache sur l'image laissée par les objets. La première se concentre sur la localisation précise de l'image sur le cliché, et la seconde s'intéresse à son volume dans un espace coordonnées x amplitude.

Les méthodes de réduction les plus performantes sont celles où l'on estime simultanément la position, l'amplitude et la forme de la tache stellaire. Pour





cela, on construit une fonction mathématique que l'on vient ajuster sur les valeurs observées pour chaque pixel dans le voisinage de l'objet à mesurer. Cet ajustement se fait en modifiant les paramètres de la fonction, tels que coordonnées du photocentre, valeurs du fond et de l'amplitude de la tache ainsi que sa largeur. En imagerie cécédé, on utilise volontiers des gaussiennes

$$F_{ccd}(x,y;X,Y,f,a,l) = f + a \cdot \exp\left(-\frac{(x-X)^2 + (y-Y)^2}{l^2}\right)$$

pour modéliser les sources ponctuelles. La pellicule argentique n'est pas aussi linéaire qu'un capteur cécédé, et surtout ne possède pas une grande dynamique. Il vaut mieux utiliser une fonction aplatie en son centre, afin de simuler une saturation. Après quelques tâtonnements et essais, on trouve que la fonction

$$F_{film}(x,y;X,Y,f,a,l) = f + a \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{(x-X)^2 + (y-Y)^2}{l^2}\right)^{n/2}}$$

avec  $n=6$  possède de bonnes propriétés.

Je ne décrirai pas ici les détails des calculs des ajustements; en effet ils font un usage intensif de la méthode des moindres carrés sous forme matricielle. L'astrométriste se contentera d'utiliser les coordonnées du photocentre, le photométriste s'occupera essentiellement du «volume»  $\pi \cdot a \cdot l^2$  (à un facteur proche de 1 près).

Il ne faut pas oublier, que les tirages sur papier ont été mouillés (et donc déformés) lors du développement, et qu'ils réagissent fortement à l'humidité. Un ajustement de degrés deux ou trois est souvent nécessaire. Avant de faire la numérisation, il convient de laisser reposer un petit moment la photo à l'air libre ou dans le scanner pour qu'elle se stabilise.

### Application

Essayons la méthode sur le cliché. Numérisation avec un scanner couleur à plat, en 300ppp et une image en *tiff*, regroupement des pixels en mode 2x2 et création d'une image en *fits* avec un logiciel personnel (bifs). Si l'on n'est pas convaincu de la présence d'une comète sur le cliché, une simple modification de



La photo OMG1147 a été prise par Armin Behrend, le 20 juillet 1990. Elle contient une trace de la région proche du noyau de la comète 1990 K1 Levy (point légèrement flou, au centre du cliché).

l'histogramme de l'image en révèle merveilleusement la tête et des poussières... non-cométaires qui étaient presque invisibles sur le cliché original. C'est la partie cosmétique du traitement.

Passons à la torture. A l'époque, seul le catalogue SAO permettait de faire des réductions astrométriques plus ou moins convenables, c'est à dire à environ 1" près. Ce catalogue ayant une densité très faible sur le ciel, quatre étoiles seulement figurent sur le cliché; ce n'était pas assez pour faire quelque chose de correct. Actuellement, les catalogues d'étoiles modernes sont de bonne qualité et de densité suffisante pour faire de l'astrométrie à 0.1" près.

Un autre logiciel personnel (photo) est chargé d'aller faire l'analyse des taches pour l'astrométrie et la photométrie. Les 23 étoiles du catalogue GSC qui sont automatiquement mesurées et non-rejetées présentent des résidus de 0.23" dans chaque axe de l'image. C'est bien meilleur que la précision initialement

prévue (environ 1.5") qui inclut les incertitudes du catalogue SAO et des moyens de mesure des positions dont je disposais à l'époque. Ainsi, ce cliché ressorti des archives permet de contraindre les éléments orbitaux de la comète comme  $(1.5/0.23)^2 \approx 40$  clichés réduits avec les moyens de l'époque! Résultats très légèrement meilleurs avec les douze étoiles du catalogue Tycho-2: 0.20". Les résidus sont ici entièrement imputables à la photo. La différence entre les valeurs reportées de position, environ 0.3", est principalement due aux erreurs systématiques du catalogue GSC 1.1. Donc, la position publiable est celle utilisant le Tycho-2: 23h55m02.67s, +29°42'49.1" (J2000) pour le 1990-07-20.08767TU à l'OMG (code 575).

La photométrie dans ce domaine de réponse non-linéaire de la pellicule et du tirage fera l'objet d'un prochain article.

RAOUL BEHREND

Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny  
<http://obswww.unige.ch/~behrend>

Fragment de la grande image, avant et après adaptation de l'histogramme.





# Le radiotélescope de Green Bank et son histoire

PIERRE E. JACCARD

Le 25 août 2000 a été inauguré le radiotélescope de Green Bank en Virginie occidentale (USA). Cet instrument est l'aboutissement d'une passionnante aventure qu'il vaut la peine de rappeler.

Au début des années trente, KARL JANSKY, jeune physicien travaillant aux laboratoires de la Bell Telephone étudiait les bruits atmosphériques perturbant les communications maritimes. Disposant d'une grande antenne rotative, il cherchait à déterminer la direction d'un sifflement gênant sur certaines fréquences et il avait conclu que la source de l'interférence était d'origine extra-terrestre, provenant du centre de notre galaxie, dans la constellation du Sagittaire.

Cette découverte fit l'objet, le 5 mai 1933, d'un article en première page du *New York Times* et fut suivie d'autres publications dans des revues tant astronomiques que techniques. Mais elles ne suscitèrent aucun intérêt, les astronomes ne comprenant rien à la radio, leur préoccupation étant concentrée sur la construction de miroirs optiques géants (Mt Wilson par exemple) tandis que les ingénieurs et techniciens radio se vouaient au développement de la radio-diffusion grand public.

La situation était d'ailleurs telle que les autorités gouvernementales laissaient à des amateurs la liberté d'émettre et de recevoir sur toutes les longueurs d'ondes en dessous de 200 mètres, ces ondes étant considérées comme économiquement inintéressantes!

Mais parmi ces pionniers radioamateurs, un certain GROTE REBER, dans l'Illinois, après avoir contacté d'autres amateurs dans plus de 60 pays, cherchait à faire mieux encore. Il voulait «conquérir de nouveaux mondes». Ayant lu les articles de JANSKY, il sut que c'était le défi qu'il cherchait: les ondes extra-terrestres. Il pressentait que JANSKY avait fait une découverte fondamentale alors qu'il était quasiment tombé dans l'oubli et il voulait résoudre deux problèmes: 1° comment, à une fréquence donnée, le bruit cosmique changeait-il de direc-

tion? et 2° comment, une fois la source du bruit localisée, son intensité variait-elle en fonction de la fréquence? Il se mit donc à construire des appareils radio de plus en plus sensibles sur ondes courtes.

Mais la vraie difficulté, c'était la construction d'une antenne parabolique orientable. Comme il ne disposait pas des ressources d'un grand laboratoire, il acheta, pour 1300 dollars, des planches, des tubes métalliques, des plaquettes de fer galvanisé et des vis en laiton. Durant deux ans, avec l'aide d'amis, il assembla sa parabole de 10 mètres de diamètre, orientable sur un seul axe, la hauteur. Grâce au mouvement de rotation de la Terre, il pouvait en continu balayer le ciel de l'horizon au pôle et noter tous les mouvements de l'aiguille d'un microampèremètre enregistrant les variations d'intensité des signaux reçus par l'antenne. La qualité de son travail fut telle que sa parabole avait une précision de 3 mm, malgré le diamètre impressionnant. Par chance il n'eut pas à se plaindre des récriminations de ses voisins qui croyaient que sa parabole était un pluviomètre et non un appareil de radio.

REBER effectua ses observations durant trois ans, sur des longueurs d'onde très courtes, de 9 à 30 cm, mais il n'eut absolument aucun résultat. Ce n'est qu'en 1941, après avoir patiemment amélioré son équipement et décidé de surveiller des ondes plus longues (2 m) qu'il réussit à recevoir des signaux de notre galaxie. En 1944, puis en 1948, il put enfin communiquer dans l'*Astrophysical Journal* les cartes célestes des émissions radio et donner également des indications nouvelles sur le flux électromagnétique provenant des éruptions de la couronne solaire.

L'antenne de REBER a été conservée; elle est maintenant propriété du NRAO, *National Radio Astronomy Observatory*, à Green Bank, précisément à l'endroit où est édifié aujourd'hui le plus grand radiotélescope du monde, selon cette institution.

D'une dimension de 100 m sur 110 m avec une surface de 8000 m<sup>2</sup>, la nouvelle parabole est constituée de 2004 réflecteurs en aluminium extrêmement précis (0.25 mm), chacune de ces plaques pouvant être réglée par des micro-moteurs commandés par rayon laser. Le gain de cette antenne est si important qu'avec un signal de 7 watts à son foyer, la puissance irradiée par la parabole dépasse le million de watts. Cela donnera aux radioastronomes actuels la possibilité de recherches, en particulier sur le gaz d'hydrogène, grâce à l'étendue de la gamme des fréquences utilisables par ce nouvel engin.

Mais qu'est devenu GROTE REBER? Il s'est retiré en Tasmanie et continue ses recherches, en particulier sur la propagation, à travers la couche d'ozone, des ondes radio beaucoup plus longues. En effet, on admet que les ondes inférieures à 2 MHz (150 m) sont absorbées par cet obstacle. Le 15 août 1985, les astronautes d'une mission Challenger survolant l'Australie ont enclenché leurs rétrofusées pour créer un trou dans la couche d'ozone et ont fait, avec Grote Reber, des essais de transmission sur 1.7 MHz, soit presque dans la bande des ondes moyennes. Et cela a réussi; les gaz des fusées ayant réagi avec le plasma ionosphérique, les ions se sont changés en particules neutres et ont ainsi créé un trou dans l'ozone.

Telle fut l'histoire extraordinaire du radioamateur REBER, W9GFZ, ouvrant, par son sens de la réalisation et sa persévérance, la voie vers des recherches plus poussées qui seront effectuées avec le nouveau radiotélescope de Green Bank.

PIERRE E. JACCARD

Membre SAHL, radioamateur HB 9 NN

CH-1604 Puidoux

Des détails sur le radiotélescope se trouvent sur  
**[www.nrao.edu/news/gbtdedication.shtml](http://www.nrao.edu/news/gbtdedication.shtml)**

et sur

**[www.nrao.edu/news/fastfacts.shtml](http://www.nrao.edu/news/fastfacts.shtml)**

## ASTRO-LESEMAPPE DER SAG

Die Lesemappe der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft ist die ideale Ergänzung zum ORION. Sie finden darin die bedeutendsten international anerkannten Fachzeitschriften:

**Sterne und Weltraum**  
**Sonne**  
**Ciel et Espace**  
**Galaxie**  
**Sky and Telescope**  
**Astronomy**

Kosten: nur 30 Franken im Jahr!

**Rufen Sie an: 071/841 84 41**

HANS WITTWER, Seeblick 6, 9327 Tübach



## Im Kindergarten des Sonnensystems

# Vor 200 Jahren wurde der erste Asteroid entdeckt

MARKUS GRIESSER

«Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unsere neun Planeten.» – Mit diesem leicht dämmlichen Sätzchen merken sich Kinder die Namen der Planeten in der richtigen Reihenfolge. Jeweils der erste Buchstabe steht für einen Planeten: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto. Mit grosser Verwunderung erfahren die Kids dann auf der Sternwarte, dass es neben diesen planetaren Hauptkörpern eine Vielzahl von kleinen Planeten gibt. Aber da sie noch nie etwas gehört haben von einer «Ceres», einer «Flora» oder gar einer «Appenzella», reagieren sie jeweils reichlich skeptisch auf diesen Hinweis. Die unterschiedlichen Bezeichnungen – im englischen Sprachraum ist stets von «Asteroids» oder von «Minor Planets» die Rede, während das Deutsche die Termini «Planetoiden» oder «Kleinplaneten» bevorzugt – hilft auch nicht gerade.

### Da muss doch noch was sein

Der Entdeckung des ersten Kleinplaneten ging eine Vermutung voraus, mit der sich die Gelehrten schon im Altertum auseinandergesetzt hatten. Und das Christentum legt schon in der biblischen Schöpfungsgeschichte den Grundgedanken, das Weltall sei nach einem durchschaubaren göttlichen Plan organisiert. Die Idee, das Weltganze, aber ganz besonders die uns nahestehenden Körpern des Sonnensystems, hätten in ihrem Aufbau ein erkennbares Muster, bewegte über Jahrhunderte die Köpfe der Gelehrten. In seinem Werk «*Harmonices Mundi*» (Harmonische Welt) verfolgte auch der grosse Astronomie-Theoretiker Johannes Kepler den Gedanken, die Bahnen des Hauptplaneten seien nach einem übernatürlichen Prinzip strukturiert. Kepler glaubte nach langen Studien, die Weltformel gefunden zu haben. Nach seiner Ansicht lässt sich nämlich in jeden der damals bekannten Planetenbahn ein Platonischer Körper, also ein regelmässiger Vielflächer nach der Definition der Stereometrie, einfügen. Im einzelnen

zwischen Saturn und Jupiter: der Würfel (6-Flächen)

zwischen Jupiter und Mars: der Tetraeder (4-Flächen)

zwischen Mars und Erde: der Dodekaeder (12-Flächen)

zwischen Erde und Venus: der Ikosaeder (20-Flächen)

zwischen Venus und Merkur: der Oktaeder (8-Flächen)

### Zahlenspielerien

Die Idee von Kepler mag denn auch der sogenannten Titius-Bodeschen Regel zugrunde liegen. Sie geht auf die beiden deutschen Astronomen JOHANNES



Er fand den ersten Kleinplaneten in der Neujahrsnacht 1800/1801: GIUSEPPE PIAZZI

DANIEL TITUS (1729-1709) und JOHANN ELERT BODE (1747-1826) zurück, denen diese höchst eigenartige Zahlenreihe im Sonnensystem auffiel. Seltsamerweise passte in die Zahlenabfolge der sogenannten TITUS-BODSCHEN REGEL sogar

(AE = Astronomische Einheit = Distanz von der Erde zur Sonne = 149,6 Mio km)

| Planet      | Entfernung nach Titius-Bode | wahre Entfernung |
|-------------|-----------------------------|------------------|
| Merkur      | 0,4 + 0 x 0,3 = 0,4 AE      | 0,39 AE          |
| Venus       | 0,4 + 1 x 0,3 = 0,7 AE      | 0,72 AE          |
| Erde        | 0,4 + 2 x 0,3 = 1,0 AE      | 1,00 AE          |
| Mars        | 0,4 + 4 x 0,3 = 1,6 AE      | 1,52 AE          |
| Planetoiden | 0,4 + 8 x 0,3 = 2,8 AE      | ~2,90 AE         |
| Jupiter     | 0,4 + 16 x 0,3 = 5,2 AE     | 5,20 AE          |
| Saturn      | 0,4 + 32 x 0,3 = 10,0 AE    | 9,55 AE          |
| Uranus      | 0,4 + 64 x 0,3 = 19,6 AE    | 19,20 AE         |
| Neptun      | 0,4 + 128 x 0,3 = 38,8 AE   | <=!=> 30,10 AE   |

noch der Planet Uranus; erst der 1846 entdeckte Neptun und auch der 1930 gefundene Pluto fallen dann aus diesem Zahlenraster. Die folgende tabellarische Darstellung zeigt diese merkwürdige Regelmässigkeit, die einer mathematischen Reihe folgt:

In dieser Zahlfolge fällt nun sofort die hier bereits mit dem Begriff „Planetoiden“ gefüllte Lücke zwischen Mars und Jupiter auf. Eigentlich sollte doch hier auch ein Planet zu beobachten sein. Die Frage war einfach, wo man diesen mutmasslichen Himmelskörper wohl am besten suchen sollte.

### Gemeinsam geht's leichter

Diesem Problem widmete sich ab 1787 der in Ungarn geborene Astronom Baron FRANZ XAVER VON ZACH (1754-1832), der nach Aufhalten in England als Direktor auf die neuerbaute und instrumentell hervorragend ausgestatteten herzoglichen Sternwarte auf dem Seeburg bei Gotha in Sachsen berufen wurde. Mit den relativ kleinen Fernrohren seiner vor allem für Messungen geeigneten Positionskreise fertigte er einen Sternkatalog an, den er ganz bewusst und gezielt auf den Tierkreis beschränkte. Ihm war klar, dass man den neuen Planeten am besten in diesem relativ schmalen Himmelsstreifen zu suchen hatte, und gleichzeitig kam er zur Überzeugung, dass man die Suche nach dem noch unbekannten Himmelskörper wohl am besten mit vereinten Kräften an die Hand nehmen sollte.

1798 organisierte Zach auf seiner Sternwarte einen international besetzten Astronomenkongress – übrigens das erste grenzüberschreitende Forscher-treffen in der Wissenschaftsgeschichte. An ihm nahm auch der berühmte französische Astronom JÉRÔME DE LALANDE (1732-1807) teil, was derart kurz nach der französischen Revolution etliche Staatsoberhäupter in Zentraleuropa beunruhigte. Mancher Landesfürst befürchtete, dass der «Bürger Lalande»



mehr politische denn wissenschaftliche Revolutionen aus seinem aufgewühlten Heimatland exportieren könnte und verbot kurzerhand dem eigenen Astronomen die Teilnahme am Meeting. Die Angst vor dem Neuen und Ungewohnten war wohl auch der Grund, dass die damals an sich dringend nötigen europäischen Harmoniebestrebungen in der Zeit- und Längenmessung nicht zum Erfolg kamen. Doch mit diesem ersten Wissenschafterkongress wurden gleichwohl erste länderübergreifende Kontakte geknüpft und auch die Idee der teamorientierten Zusammenarbeit wenigstens im Ansatz gelegt.

ZACH brach nur wenige Monate nach seinem erfolgreichen Kongress zu einer Reise nach Norddeutschland auf, um im Rahmen einer eigens dafür geschaffenen Organisation die Suche nach dem vermissten Planeten zwischen Mars und Jupiter zu systematisieren und die zeitraubende Recherche zugleich auf mehrere Beobachter zu verteilen.

### Europäische Himmels-Detektive

Am 21. September 1800 gründete der Seeburger Astronom mit fünf Kollegen in der Sternwarte des «Oberamtmannes» (Regierungsbeamten) JOHANNES HIERONYMUS SCHRÖDER in Lilienthal bei Bremen die «Vereinigte Astronomische Gesellschaft». Insgesamt 24 Himmelsforscher aus ganz Europa wurden von den sechs Initianten auserwählt, dem erlauchten Zirkel dieser «Himmelsdetektive» anzugehören. Den Hauptzweck dieser Vereinigung schilderte ZACH ein Jahr später in seiner eigenen, übrigens der ersten regelmässig erschienenen Astronomie-Zeitschrift «Monatliche Korrespondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde» mit folgenden Worten:

*«Der Plan der Societät war, nebst mehreren anderen Vorschlägen, den ganzen Thierkreis unter die 24 Mitglieder derselben zu vertheilen. Jeder sollte eine, durch Verloosung ihm zugefallene Zone von 15° in der Länge, und 7 bis 8° nördlicher und südlicher Breite zur Inspection bekommen, und seiner besonders wachsamten Aufsicht empfohlen werden. (...) Durch eine solche streng organisirte, in 24 Departements abgetheilte Himmels-Polizey hofften wir endlich, diesem, unsern Blicken sich so lange entzogenen Planeten, wenn er anders existirt und sich sichtbar zeigt, auf die Spuhr zu kommen.»*

ZACH lag mit seinem Vorgehen richtig: Die klug gewählte Arbeitsteilung hätte ganz sicher und zwangsläufig zum

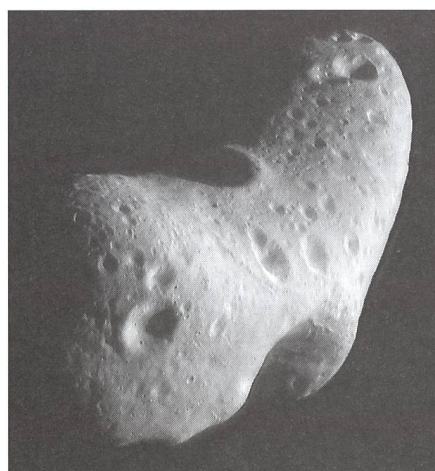
Erfolg geführt. Doch der Zufall kam der Erstsichtung des ersten Kleinplaneten zu Hilfe.

### Zufallsentdeckung in Palermo

Unter den 24 für diese grossangelegte Planetenhatz auserwählten europäischen Astronomen war auch GUISEPPE PIAZZI (1746 – 1826), Dominikaner-Pater in Palermo. Die Ernennungsurkunde zum europäischen Himmelspolizisten war beim naturbegeisterten sizilianischen Geistlichen noch nicht eingetroffen, als er in der Neujahrsnacht 1800/1801 (streng genommen in der ersten Nacht des neuen Jahrhunderts!) im Sternbild Stier auf einen kleinen Stern stiess, der sich bewegte. PIAZZI verfolgte den bewegten Stern in den folgenden Nächten weiter, glaubte einen Kometen gefunden zu haben, erkrankte aber danach und schickte so erst mit erheblicher Verzögerung die Entdeckungsmeldung auf die Reise in den Norden. Bei den damaligen noch sehr langen Postwegen brauchte die Nachricht über den spektakulären Neufund – von PIAZZI noch als Komet deklariert – zusätzlich viel Zeit, bis sie endlich, am 20. März 1801, BODE in Berlin erreichte – zu spät, um den agilen Körper wiederzufinden.

PIAZZI taufte das neue Gestirn auf den Namen der sizilianischen Schutzgöttin «Ceres» und erweiterte für sich persönlich und zu Ehren seines Königs FERDINAND IV. den Namen zu «Ceres Ferdinandianus».

*Der Kleinplanet (433) Eros war der erste erdnahe Asteroid, der entdeckt worden ist, ein sogenanntes Amor-Objekt. Er wurde 1898 vom Amateurastronomen GUSTAV WITT mit einer kleinen Kamera auf einem 4-Zoll-Refraktor auf der Volkssternwarte Urania in Berlin gefunden. Seit diesem Frühling kreist die US-Sonde NEAR-Shoemaker um diesen Minikörper und funkt laufend Detailbilder zur Erde: Unregelmässige Form sowie eine kraterzerarbte Oberfläche scheint viele Kleinplaneten zu kennzeichnen. (Bild: jpl)*



dae». Nur: Ausser PIAZZI hatte bis dahin noch niemand das neue Gestirn gesehen, die wenigen Positionen ermöglichten den damaligen Fachleuten noch keine Bestimmung von Ephemeriden, geschweige denn eine auch nur annähernde Bestimmung der Bahnelemente.

### Ein Fall für das Rechengenie

Es war der damals erst 24jährige Mathematiker CARL FRIEDRICH GAUSS (1777–1855), der sich mit einer völlig neuen Rechenmethode dieses Problems annahm. Genau ein Jahr nach der Erstsichtung gelangen dem Bremer Arzt und Astronomen WILHELM OLBERS (1758–1840) und ZACH aufgrund der von GAUSS gerechneten Ephemeriden die Wiederfindung des verschollenen Sonnenstrahlanten. Pikantes Detail: Es ist bis heute nicht geklärt, mit welcher Methode GAUSS eigentlich die Ephemeriden rechnete. Seine erst Jahre später publizierte Anleitung jedenfalls war damals noch bei weitem nicht ausgereift. Es muss deshalb auch offen bleiben, inwieweit dem jugendlichen Rechenkünstler aus Deutschland hier nicht auch eine gehörige Portion Intuition zur Seite gestanden hatte.

Als OLBERS vier Monate die Ceres weiterverfolgte, stolperte er im Gesichtsfeld seines Fernröhrchens über einen weiteren bewegten Lichtpunkt, den GAUSS wiederum rechnerisch in den Griff nahm. Als er auch für diesen später «Pallas» genannten Asteroiden eine ähnliche Bahn zwischen Mars und Jupiter ermittelte, herrschte vorerst mal Verwirrung: Gesucht war ein fehlender Planet, und nun waren's plötzlich zwei? – Doch 1804 kam es noch dicker: KARL LUDWIG HARDING, einem weiteren «Himmelspolizisten» aus dem AG-Gründungsjahr 1800, gelang die Entdeckung der Juno. 1807 steuerte nochmals OLBERS die Vesta bei. Und bei diesen vier Kleinplaneten blieb es dann auch 38 lange Jahre. Erst 1845 fand der Amateurastronom KARL LUDWIG HENCKE, Postmeister in Driesen (dem heute polnische Drezenko), die Astrae. Ihr schob der gleiche glückliche Beobachter zwei Jahre später noch die Hebe nach. Dass sich damals das Aufspüren neuer Himmelskörper auch materiell lohnen konnte, wurde in diesem Fall offensichtlich: HENCKE erhielt vom preussischen König persönlich eine lebenslange Rente von 1200 Goldmark zugesprochen, gewissermassen eine «himmlische AHV»-Rente ...

Die weiteren Entdeckungen von Kleinplaneten folgten danach in rascher Folge. Ein Kuriosum in der Zeit der visu-



ellen Asteroiden-Funde bildete zweifellos jene des in Paris wirkenden, deutschen Historienmalers HERMANN GOLDSCHMIDT, eines weiteren klassischen Amateurs also. Von der Fensterbank in seinem Maleratelier/Wohnzimmer im sechsten Geschoss eines Gebäudes mit in der Grosstadt gelang ihm mit einem einfachen Refraktor die Entdeckung von insgesamt 14 Kleinplaneten! (48) Doris und (49) Pales fand er dabei sogar in der gleichen Nacht, am 19. September 1857.

### MAX WOLF und die Fotografie

Neuen Schwung erhielt die Asteroidenforschung dann gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Massgeblich dazu beigetragen hat MAX WOLF (1863 – 1932), der auf der Sternwarte auf dem Königstuhl bei Heidelberg mit Hilfe der neu eingeführten Fotografie hunderte neuer Kleinplaneten fand. Im half dabei das von einer reichen Amerikanerin mit 10000 Dollar finanzierte «Bruce»-Teleskop, ein 40cm f/5-Doppelastrograph, der sich mit seinem weiten Gesichtsfeld für die Asteroidenjagd als äusserst effizient und erfolgreich erwies. Das noch heute in der Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl existierende Instrument wurde genau vor hundert Jahren, anlässlich der Jahresversammlung der Astronomische Gesellschaft, auf einer von WOLF eigenhändig unter grosser Zeitnot zusammengebauten Zweisäulen-Montierung englischen Typs in Betrieb genommen.

Während der damals noch notwendigen, sehr langen Belichtungszeiten verrieten sich Kleinplaneten jeweils durch kurze Strichspuren in der Filmschicht. Nachgeführt wurde ausschliesslich am Leitrefraktor, was besonders in klaren Winternächten eine recht strapaziöse Angelegenheit sein konnte. MAX WOLF entwickelte dazu eine Methode, mit der er auch erheblich schwächere Asteroiden, zumindest solche aus dem Hauptgürtel, auffinden konnte: Er simulierte ganz einfach deren mutmassliche Bewegung vor dem Himmelshintergrund. So zogen sich die Hintergrundsterne zu Strichspuren auseinander, während sich die schwachen Lichtpünktchen der Asteroiden im aufaddierten Licht besser verrieten. Eine ähnliche Technik wenden übrigens heutige Kometenbeobachter an, in dem sie mit einem indirekten Tracking die Bewegung des Schweifsterns aufheben. Da WOLF stets zwei Fotoplatten belichtete, liessen sich die praktisch immer vorhandenen, oft auch punktförmigen Plattenfehler klar von den realen Lichtpunkten der Asteroiden unterscheiden.

Insgesamt entdeckte WOLF 228 Kleinplaneten, und er war dazu mit Institutsmitarbeitern an 20 weiteren Erstsichtungen beteiligt. Sein Nachfolger wurde dann KARL REINMUTH (1892 – 1979), der als Hauptobservator an der Königstuhl-Sternwarte die fotografische Planetoidenjagd in einsame Höhen steigerte. Mit über 392 nummerierten Kleinplaneten führt er über Jahre hinweg die Bestenliste der Planetenerstsichtungen an.

Unter den deutschen Astronomen der dreissiger Jahre ging der Spruch, nur ein bedeckter Himmel könne «König Karl» an der Entdeckung eines neuen Planetoiden hindern. Insgesamt veröffentlichte REINMUTH rund 12500 genaue Positionsmessungen aus meist langbelichteten Himmelsfotografien.

### Asteroidenforschung heute

In den achtziger und neunziger Jahren begann die CCD-Kamera ihren Siegeszug. Mit ihrer Hilfe hat sich die Entdeckungsrate an Kleinplaneten in einsame Höhen gesteigert. Die Listen der provisorischen Bahnen erreichen bald die Hunderttausendergrenze. Nummeriert sind zurzeit über 16000 Objekte; es ist abzusehen, dass wahrscheinlich noch im laufenden Jahr die magische 20'000 überschritten wird.

Massgeblich zu diesem exponentiellen Anstieg an bekannten Kleinplaneten haben vor allem die sogenannten Surveys beigetragen. Hauptsächlich in den USA scannen roboterisierte Spezialteleskope den Himmel Nacht für Nacht nach erdnahen Objekten ab und finden dabei dutzende neue Objekte. Auch in Japan und China sind solche Surveys in der fortgeschrittenen Planung, so dass sich die Zahl bekannter Asteroiden in den nächsten Jahren weiter steigern dürfte.

Adresse des Autors:

MARKUS GRIESSER

Leiter der Sternwarte Eschenberg  
Breitenstrasse 2, CH-8542 Wiesendangen  
E-Mail: griesser@spectraweb.ch

## Feriensternwarte – Osservatorio – CALINA Programm 2000

### 2.-7. Oktober

*Elementarer Einführungskurs in die Astronomie.* Mit praktischen Übungen am Instrument in der Sternwarte.

Leitung: HANS BODMER, Gossau / ZH

### 9.-14. Oktober

*Aufbaukurs; 2. Teil des Elementaren Einführungskurses in die Astronomie.* (Die Sonne und ihre Planeten) mit praktischen Übungen am Instrument in der Sternwarte. Leitung: HANS BODMER, Gossau / ZH

### 16.-21. Oktober

*Sonnenuhren kennen- und verstehen lernen.* Leitung: HERBERT SCHMUCKI, Wattwil

*Anmeldungen für alle Kurse und Veranstaltungen bei der Kursadministration:*

Hans Bodmer, Schlottenbühlstrasse 9b, CH-8625 Gossau / ZH, Tel. 01/936 18 30 abends. Für alle Kurse kann ein Stoffprogramm bei obiger Adresse angefordert werden.

### Unterkunft:

Im zur Sternwarte gehörenden Ferienhaus stehen Ein- und Mehrbettzimmer mit Küchenanteil oder eigener Küche zur Verfügung. In Carona sind gute Gaststätten und Einkaufsmöglichkeiten vorhanden.

### Hausverwalterin und Zimmerbestellung Calina:

Ferien-Sternwarte Calina - Osservatorio Calina, Frau Brigitte Nicoli, Postfach 8, CH-6914 Carona TI, Tel. 091/649 52 22 oder Feriensternwarte Calina: Tel. 091/649 83 47.

Alle Kurse und Veranstaltungen finden unter dem Patronat der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft SAG statt.



## Zum Gedenken an den Geburtstag von DANIEL BERNOULLI vor 300 Jahren

# DANIEL BERNOULLIS Beiträge zur Astronomie

ANDREAS VERDUN

Im Mai dieses Jahres fanden in Basel die Feierlichkeiten anlässlich der 300sten Jährung des Geburtstages von DANIEL BERNOULLI (1700 – 1782) statt. In zahlreichen Vorträgen und einer Ausstellung wurden die Leistungen dieses berühmten Basler Gelehrten gewürdigt. Wir setzen diese Würdigung hier durch die Vorstellung seiner wichtigsten Beiträge zur Astronomie fort. Sie behandeln aktuelle Probleme seiner Zeit und geben Einblick in die astronomische Forschung der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts.

### Zusammenfassung

DANIEL BERNOULLI löste ein altes Problem aus der sphärischen Astronomie. Es handelt sich darum, wie aus drei aufeinanderfolgenden Beobachtungen eines Sterns, dessen Koordinaten unbekannt sind, die geographische Breite bestimmt werden kann. Er benutzte eine stereometrische Methode, mit der er das Problem auf die Ebene Trigonometrie zurückführen konnte. Ein weiterer Beitrag widmete er dem Problem der Bahnneigungen der Planeten und Kometen. Darin entwickelte BERNOULLI eine Theorie, mit der er erklären konnte, weshalb sich die Planetenbahnen etwa in derselben Ebene befinden, die Neigungen der Kometenbahnen dagegen fast beliebig sind. Er erkannte, dass nach seiner Theorie das Planetensystem himmelsmechanischen Entwicklungen unterworfen sein muss, die in sehr grossen Zeitskalen ablaufen. Damit begründete er als einer der ersten die Wissen-

### Leben und Werk: Eine kurze Übersicht

DANIEL BERNOULLI wurde am 8. Februar 1700 in Groningen (Holland) geboren. Sein Vater war der berühmte Mathematiker JOHANN BERNOULLI (Figur 1). Seine Mutter, DOROTHEA FALKNER, war die Tochter eines bekannten Basler Patriziers. Unter den Geschwistern von DANIEL sind der ältere und jüngere Bruder, NIKLAUS und JOHANN, zu erwähnen. Diese waren, wie DANIEL, wie ihr Vater JOHANN und ihr Onkel JAKOB, auf dem Gebiet der exakten Wissenschaften tätig, doch gelangten sie nie zu vergleichbar hohem Ansehen. Der Stammbaum der Mathematiker, Physiker und Astronomen BERNOULLI ist in Figur 2 dargestellt. Im Jahre 1705

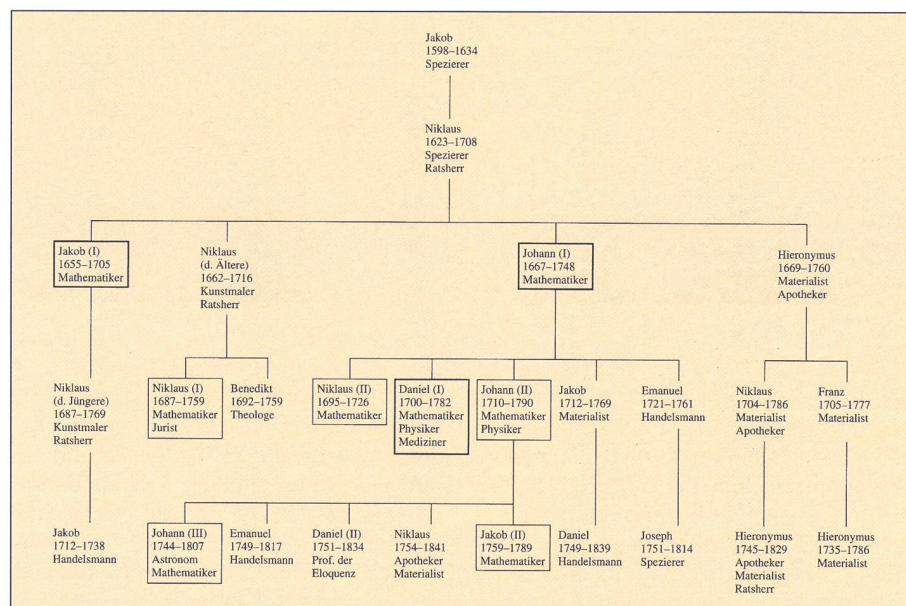


Fig. 2: Der Stammbaum der Mathematiker, Physiker und Astronomen BERNOULLI. Um die Gleichnamigen voneinander unterscheiden zu können, wurden deren Vornamen mit römischen Ziffern nummeriert.



Fig. 1: JOHANN I BERNOULLI (1667 – 1748), der Vater von DANIEL BERNOULLI.

schaft der Kosmogonie. Für diese Arbeit erhielt er den ersten Preis der Pariser Akademie. Schliesslich versuchte BERNOULLI, die «Grosse Ungleichung» zwischen Jupiter und Saturn durch numerische Integration zu erklären. Leider wählte er die Anfangs- und Randbedingungen unglücklich, so dass er zu keinem befriedigenden Resultat kam. Dennoch erhielt er für diese Arbeit die Anerkennung der Pariser Akademie. Insbesondere könnte sie CLAIRAUT dazu angeregt haben, die Periheldurchgangszeit des Halleyschen Kometen für das Jahr 1759 ebenfalls mit numerischer Integration zu berechnen.

kam JOHANNs Familie nach Basel, wo DANIEL 1713 seine Studien in Philosophie und Logik begann, die er mit den üblichen akademischen Graden 1715 bzw. 1716 abschloss. Während dieser Zeit wurde er durch seinen Vater und seinen älteren Bruder in die Mathematik eingeführt. Zusätzlich studierte er Medizin, zuerst in Basel, dann in Heidelberg und später in Strassburg. 1720 kam er nach Basel zurück und doktorierte 1721 mit einer *Dissertatio Inauguralis Physico-Medica De respiratione*. Aus dieser Zeit stammt auch das in Figur 3 wiedergegebene Portrait. 1723 reiste er nach Venedig, wo er ein Jahr später seine *Exercitationes quaedam mathematicae* veröffentlichte. Aufgrund dieser Arbeit erhielt er eine Berufung an die neu gegründete Petersburger Akademie der Wissenschaften. 1725 trat er die Mathe-





Fig. 3: DANIEL BERNOULLI im Alter von etwa 20 Jahren.

matikprofessur in St. Petersburg an. In der russischen Metropole begann seine fruchtbarste Zeit, die bis 1733 dauern sollte. Mit seinem Freund LEONHARD EULER (1707 – 1783), mit dem er gemeinsam die Zeit zwischen 1727 und 1733 in St. Petersburg verbrachte, pflegte er einen für die Wissenschaft äusserst fruchtbaren Briefwechsel (Figur 4). Es war vor allem DANIEL BERNOULLI, der EULER immer wieder mit genialen Ideen «belieferte», die diesen zur Abfassung von bedeutenden Werken anregte. DANIEL BERNOULLI folgte 1733 einem Ruf an den Lehrstuhl für Anatomie und Botanik nach Basel. Er verliess seine Heimatstadt bis zu seinem Tode am 17. März 1782 nicht mehr. Figur 5 zeigt die Titelseite des Nekrologes, den CONDORCET 1782 verfasst und DANIELS Neffe DANIEL II BERNOULLI 1787 ins Deutsche übersetzt hat.

DANIEL BERNOULLI erlangte internationalen Ruhm auf den Gebieten der Mathematik und Physik und gewann bzw. teilte zehn Akademiepreise. Im erwähnten Nekrolog ist eine bezeichnende Anekdote überliefert. Als die beiden Brüder DANIEL und JOHANN BERNOULLI sich im Jahre 1733 auf der Rückreise von St. Pe-

tersburg über Paris nach Basel befanden, reiste zufällig ein Gelehrter und Adjunkt der königlichen Akademie der Wissenschaften zu Paris mit. Als die Reisegefährten sich vorstellten, sagte DANIEL: «Ich heisse Bernoulli». Der Franzose, der anscheinend grossen Respekt vor diesem Namen hatte, wollte den vermeintlichen Scherz mit einem ähnlichen



Fig. 4: LEONHARD EULER (1707 – 1783), der Freund von DANIEL BERNOULLI.

bezahlen und erwiderte: «Und ich heisse Newton». BERNOULLI konnte ihn schliesslich überzeugen, dass er keineswegs scherzte. Diese Geschichte belegt die schon früh erfolgte Anerkennung der wissenschaftlichen Leistungen von DANIEL BERNOULLI. Sein berühmtestes Werk ist die *Hydrodynamica* (ein Begriff, den er geprägt hat), die 1738 in Strassburg erschien (Figur 6). Weniger bekannt dagegen sind seine astronomischen Werke, auf die wir jetzt näher eingehen wollen.

### Ein Problem aus der sphärischen Astronomie

Für Luft- und Seefahrt sind genaue Positionsbestimmungen von entscheidender Bedeutung. Im Gegensatz zur heutigen Navigation mit Satelliten beruhten im frühen 18. Jahrhundert die Methoden zur Orts- und Zeitbestimmung ausnahmslos auf astronomischen Beobachtungen. Die Messungen waren mit grossen Problemen behaftet, ihre Auswertung mit mühsamer Rechenarbeit verbunden. Besonders schwierig war die Bestimmung der geographischen Länge (Zeitbestimmung). Dieses Problem konnte erst mit der Entwicklung der Marine-Chronometer von JOHN HARRISON in den 1730er Jahren allmählich besser gelöst werden. Dennoch wurde noch lange Zeit die Länge auf hoher See mit Hilfe der Bewegung des Mondes bestimmt. Man mass die Positionen unseres Erdrabanten bezüglich jener Sterne, deren Koordinaten bekannt waren, und verglich die resultierenden Mondpositionen mit den vorausgerechneten Ephemeriden. Im Gegensatz zu den teuren, aber genauen Schiffschronometern von HARRISON war die Methode mit Hilfe des Mondes im Prinzip einfach und billig. Ihr Problem bestand (abgesehen vom Wetter und der Genauigkeit der Mondtafeln) allerdings darin, dass auf einem schwankenden Schiff angestellte Beobachtungen nicht sehr genau sein konnten. Dies galt für jede astronomische Beobachtung auf hoher See, insbesondere auch für die Messungen zur Ermittlung der geographischen Breite. Es galt deshalb, einfache und genaue Methoden zur astronomischen Ortsbestimmung zu Land und auf See zu entwickeln. Am 13. April 1727 publizierte die Académie des Sciences in Paris ihre jährliche Preisausschreibung für das Jahr 1729. Sie war dem Problem der Breitenbestimmung gewidmet und lautete: «*Quelle est la meilleure Méthode d'observer les hauteurs (d.h. die Polhöhen) sur Mer, par le Soleil & par les Etoiles, soit par des instrumens déjà connus, soit par des instrumens de nouvelle Invention?*». Es war eigent-



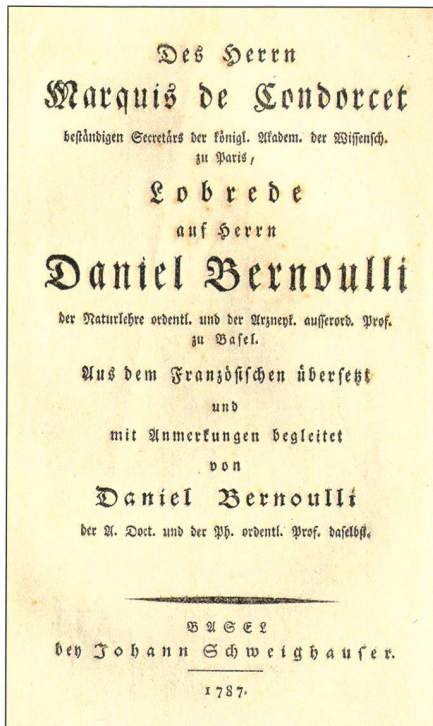


Fig. 5: Titelseite des Nekrologes auf DANIEL BERNOULLI, den CONDORCET 1782 verfasst und den DANIELS Neffe DANIEL II BERNOULLI 1787 ins Deutsche übersetzt hat.

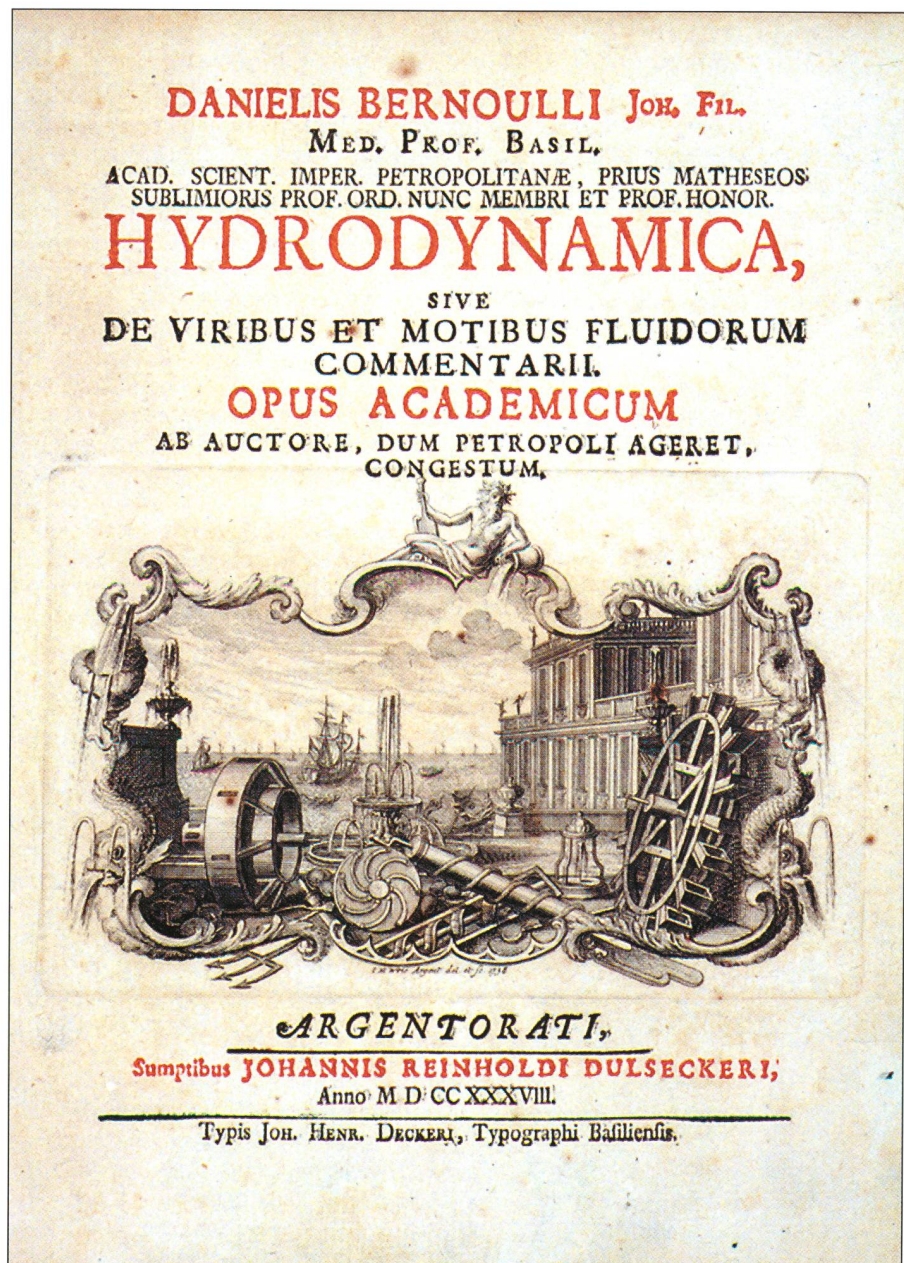
lich nur eine Teilaufgabe der bereits im Jahre 1720 zum ersten Mal gestellten Preisfrage. Sie geht auf ein Legat von J.-B. ROUILLE DE MESLAY zurück, der in seinem Testament verfügte: «Item, je donne et lègue à l'Académie des sciences de Paris la rente de mille livres, ... à condition que Messieurs de l'Académie proposeront tous les ans un prix de la moitié de ladite rente, pour être par eux donné tous les ans à celui qui aura le mieux réussi en une méthode courte et facile pour prendre plus exactement les hauteurs et degrés de longitude en mer et en les découvertes utiles à la navigation et grands voyages». Das Problem der Längenbestimmung auf See wurde noch in verschiedenen weiteren Preisaufgaben bis 1793 gestellt. Da die Preisaufgaben jeweils gut dotiert waren, reichten stets zahlreiche Bewerber ihre Lösungen ein. So auch für den Preis von 1729. Unter ihnen befanden sich DANIEL BERNOULLI und PIERRE BOUGUER, der schliesslich den Preis für seine Arbeit *De la Méthode d'observer exactement sur Mer la hauteur des astres* (gedruckt 1752 in Paris) erhielt.

Die Lösung von DANIEL BERNOULLI wurde im Band IV (für das Jahr 1729) der *Commentarii academiae scientiarum imperialis Petropolitanae* (Figur 7) im Jahre 1735 unter dem Titel *Problema astronomicum inveniendi altitudinem Poli una cum declinatione*

*Stellae ejusdemque culminatione ex tribus altitudinibus Stellae et duobus temporum intervallis brevi calculo solutum* veröffentlicht (Figur 8). Anschliessend an diese Abhandlung folgen vier weitere Arbeiten von JACOB HERMANN, LEONHARD EULER, FRIEDRICH CHRISTOPH MAYER und GEORG WOLFGANG KRAFFT zum selben Thema, wie das Inhaltsverzeichnis des vierten Bandes der Petersburger Kommentare in Figur 9 zeigt. Damit hat es eine ganz besondere Bewandnis, die auch mit den «Zänkereyen» um die Priorität von DANIEL BERNOULLIS vorgeschlagener Methode zu tun hat und auf die wir hier nicht eingehen wollen. Seine Methode besteht darin, die Polhöhe aus drei aufeinanderfolgenden Höhenmessungen (bzw. Zenitdi-

stanzen) ein und desselben Sternes, dessen Koordinaten nicht bekannt sein müssen, sowie aus den korrespondierenden Zeitintervallen zu bestimmen. In seinem ersten Entwurf *Discours sur la question des hauteurs* von 1728 nannte er dieses Problem «*Problema astronomicum trium altitudinum*». Es ist eigentlich eine Modifikation des schon im 15. Jahrhundert aufgetauchten Problems, aus *zwei Höhen und ihrer Zwischenzeit* die Polhöhe zu bestimmen. Dieses Problem aus der sphärischen Astronomie wurde immer wieder variiert und verschiedene (exakte und genäherete) Lösungen entwickelt, u.a. von REGIOMONTAN (1472), WILHELM IV. Landgraf von Hessen (1566) und TYCHO DE BRAHE (1573), später dann von DOUWES (1754)

Fig. 6: Titelseite der «Hydrodynamica», des Meisterwerkes von DANIEL BERNOULLI.





oder GAUSS (1808). Aber auch DANIELS Onkel JAKOB BERNOULLI erwähnte in seiner Dissertation von 1687 einen Spezialfall dieses Problems. Es ist daher nicht ausgeschlossen, dass DANIEL BERNOULLIS Methode schon früher formuliert, deren Lösung jedoch noch nicht erbracht wurde. Seine Neuerung bestünde folglich in der mathematischen Lösung sowie dem Vorteil, dass mit drei Höhenmessungen mögliche Unbestimmtheiten in der Lösung verhindert werden können, obwohl mit drei Höhen und zwei Zeitintervallen das Problem eigentlich überbestimmt ist. Zur Lösung des Problems drängten sich damals drei Methoden auf:

1. Lösung mit Hilfe der sphärischen Trigonometrie (intrinsische Methode)
2. Lösung mit Hilfe geometrischer Streckenverhältnisse in einer Halbebene der Sphäre, z.B. der Meridianebene (stereometrische Methode)
3. Lösung mit Hilfe der in eine Ebene, z. B. die Äquatorebene, stereographisch projizierten sphärischen Dreiecke, die dann als ebene Dreiecke behandelt werden können (stereographische Methode).

Während EULER, MAYER und KRAFFT das Problem nach der intrinsischen Methode angingen, wählten DANIEL BERNOULLI und HERMANN den stereometrischen Zugang. Die mathematischen Ausführungen innerhalb einer eingeschlagenen Methode weichen jedoch

deutlich voneinander ab. EULER veröffentlichte 1777 noch eine sehr elegante und allgemein gültige Lösung, in der er wenige Gleichungen aus der sphärischen Trigonometrie verwendete. Der Vorteil seiner Lösung besteht darin, dass die Beobachtungen auf dem Deklinationkreis fast beliebig verteilt sein und permutiert werden können. DANIEL BERNOULLI projiziert die drei gemessenen Sternhöhen  $p, q, r$  in die Meridianebene  $aioc$  (Figur 10) sowie in die Ebene des Deklinationkreises  $ipqro$  und bestimmt die entstehenden Sehnen und Strecken in diesen Flächen mittels ebener Trigonometrie. Figur 11 zeigt die Ebene des Deklinationkreises  $ORI$ , auf dem sich die beobachteten Sternhöhen  $P, Q, R$  befinden.  $IVO$  ist die Meridianebene,  $V$  das Zentrum des Deklinationkreises. Die Trigonometrie dieser Figur liefert die Formeln zur Berechnung der Stundenwinkel. Insbesondere sind die Stundenwinkel  $ZVI, QVP$  und  $RVP$  aus den gegebenen Streckenverhältnissen von Figur 11 zu bestimmen. Mit Hilfe dieser Winkel lässt sich die Aufgabe in der Meridianebene leicht lösen. Aus den Stundenwinkeln und den in der Meridianebene gebildeten Dreiecks- und Streckenverhältnisse können die Zenitdistanzen der oberen und unteren Kulmination bestimmt und daraus die Polhöhe ermittelt werden.

DANIEL BERNOULLI beschreibt in einem Kapitel *De tubis communicantibus* seines *Discours* von 1728 ebenfalls ein Instrument, mit dessen Hilfe man auf einem schwankenden Schiff Höhenmessungen durchführen kann. Es besteht im wesentlichen aus kommunizierenden Röhren, auf denen Teilungen angebracht sind, sowie einer mit Quecksilber gefüllten Wanne, die als künstlicher Horizont dienen soll. Offenbar hatte er damit auch Versuchsmessungen auf See durchgeführt, denn er schreibt: «Pour moi j'ai fait des experiences avec de simples tuyaux que je maniois à la main et allant à Voile j'ai pris des hauteurs jusqu'à dix degrez et sans prendre toutes les precautions je pouvois m'assurer d'une justesse à vingt au trente minutes près; mais je crois qu'en prenant toutes les mesures possibles, un homme bien exercé à faire ces experiences pourra répondre de 3 à 4 minutes dans ses observations, laquelle exactitude est plus que suffisante sur mer». Diese Experimente schien er fortgesetzt zu haben, berichtete er doch am 22. September 1733 in einem Brief an EULER, dass er zur See einige hübsche Beobachtungen angestellt und dabei bemerkt habe, dass seine angegebene Maschine zur Beobachtung der Sternhöhen sich als recht effizient erwiesen habe.

Fig. 7: Titelseite des vierten Bandes der Petersburger Kommentare für das Jahr 1729, gedruckt 1735.

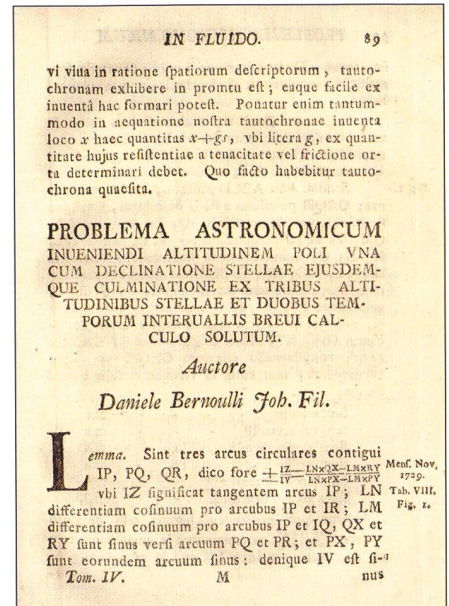
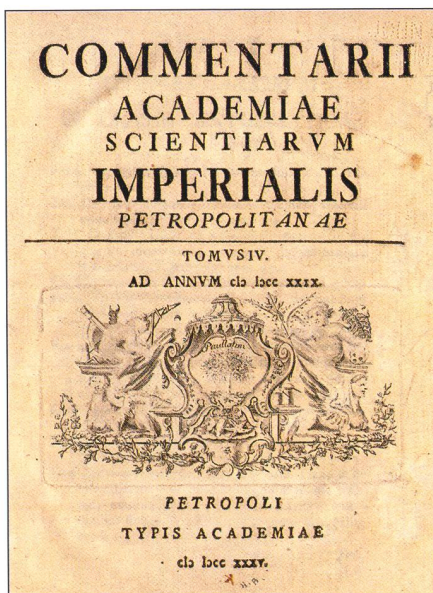


Fig. 8: Titelseite der Abhandlung von DANIEL BERNOULLI zur Bestimmung der Polhöhe, aus dem vierten Band der Petersburger Kommentare.

Abgesehen von den Beobachtungsfehlern bleibt ein Problem unberücksichtigt. Damit die Polhöhe mit dieser Methode gut bestimmt werden kann, sollten die Höhenmessungen zeitlich möglichst weit auseinander liegen. Während des Zeitintervalles der Messungen kann ein Schiff den Standort jedoch erheblich ändern. Ob DANIEL BERNOULLI diesen Aspekt ebenfalls in Erwägung zog, ist uns nicht bekannt. Als Ergänzung sei noch erwähnt, dass DANIEL BERNOULLI zwei weitere Arbeiten zum Thema Orts- und Zeitbestimmung auf See als Preisschriften für die Jahre 1745-47 einreichte, die 1750 publiziert wurden. Es sind dies die unter dem Titel *Recherches Mécaniques et Astronomiques* zusammengefassten Abhandlungen *La meilleure maniere de trouver l'heure en Mer, par observations, soit dans la jour, soit dans les crépuscules, & sur-tout la nuit, quand on ne voit pas l'horison* sowie ...*Qui tend principalement à fournir aux Navigateurs les moyens Mécaniques les plus sûres pour faire en Mer, malgré l'agitation du vaisseau, les observations dont on peut conclurre l'heure*. Unveröffentlicht blieben die Werke *Discours sur la cause et la nature de la pesanteur* sowie der bereits erwähnte Entwurf *Discours sur la question de 1729, quelle est la meilleure methode d'observer les hauteurs sur mer par le soleil et par les etoiles soit par des instrumens deja connus soit par des instrumens de nouvelle invention?*



INDEX  
COMMENTARIORVM  
IN CLASSE MATHEMATICA.

*Frid. Cristoph. Maier* de Orbita solis definienda pag. 3.  
*Iac. Hermann* de Locis solidis ad mentem Cartesii concinne construendis. pag. 15.  
*Frid. Cristoph. Maier* de Aequinoctiorum et Solstitiorum momentis, nec non de Obliquitate Eclipticae, observandis. pag. 25.  
*Ejusdem* Problema Trigonometrico-sphaericum. p. 31.  
*Iac. Hermann* Consideratio Curvarum in punctum positione datum projectarum, et de affectionibus earum inde pendens. pag. 37.  
*Ejusdem* de Elliptici Conica, cuius axis alteruter datus est, angulo positione et magnitudine dato ita inscribenda, ut centrum eius intra datum angulum sit etiam positione datum. pag. 46.  
*Leonb. Euler* de innumerabilibus Curvis tautochronis in vacuo. pag. 49.  
*Ejusdem* Curva tautochrone in fluido resistentiam faciente secundum quadrata celeritatum. p. 67.  
*Dan. Bernoulli* Problema astronomicum inveniendi altitudinem poli, vna cum declinatione stellae, eiusdemque culminatione ex tribus altitudinibus stellae et duobus temporum intervallis breui calculo solum. pag. 89.

Iac.

*Iac. Hermann* Problema ex observatis tribus altitudinibus alicuius stellae immutabilem habentis declinationem, et intervallis temporis inter primam et secundam observationem, et inter secundam et tertiam, invenire altitudinem poli et declinationem stellae. pag. 94.  
*Leonb. Euler* Solutio problematis astronomici ex datis tribus stellae fixae altitudinibus, et temporum differentiis invenire elevationem poli, et declinationem stellae. pag. 98.  
*Frid. Cristoph. Maier* Problema Sphaerico-astronomicum. pag. 102.  
*Georg. Wolffg. Krafft* Solutiones quorundam problematum astronomicorum. p. 110.

IN CLASSE PHYSICA.

*Frid. Cristoph. Maier* de Luce boreali. pag. 121.  
*Iob. Georg. Duvernoi* de Sinibus cerebri. pag. 130.  
*Dan. Bernoulli* Theorema de motu curvilineo corporum, quae resistentiam patiuntur velocitatis suae quadrato proportionalem, vna cum solutione problematis in Act. Lips. M. Nou. 1728. propositi. pag. 136.  
*Georg. Bernb. Bullfinger* Solutio Problematis de vi centrifuga corporis sphaerici in vortice sphaerico gyrantis. pag. 144.  
*Iob. Georg. Duvernoi* de Liene. pag. 156.  
*Georg. Bernb. Bullfinger* de Solidorum resistentia Specimen. pag. 164.  
*Eiusdem* de Tracheis plantarum ex Melone observatio. pag. 182.  
*Eiusdem* de Ventriculo et intestinis. pag. 187.

Dan.

Fig. 9: Inhaltsverzeichnis des vierten Bandes der Petersburger Kommentare mit den Titeln der fünf Abhandlungen von BERNOULLI, HERMANN, EULER, MAYER und KRAFFT.

## Das Problem der Bahnneigungen der Planeten

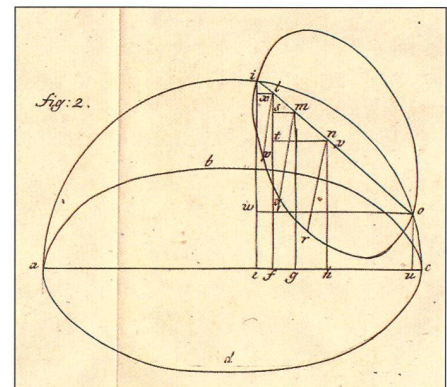
APIAN stellte in der ersten Hälfte des 16. Jahrhunderts die merkwürdige Eigenschaft fest, dass Kometenschweife stets von der Sonne wegweisen und somit irgend ein Zusammenhang zwischen ihrer Bahn und der Sonne bestehen muss. In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts erkannte man die wahre Natur der Kometenbahnen. Es war lange nicht klar, ob ein Komet vor und nach dem Periheldurchgang überhaupt ein und dasselbe Objekt ist und was bei einem «Periheldurchgang» eigentlich geschieht. Wenn es sich jeweils um die Bahn ein und desselben Objektes handelt, musste gezeigt werden, ob sich das Perihel seiner Bahn «hinter» der Sonne oder zwischen Sonne und Erde befindet. Aufgrund zahlreicher Beobachtungen vermutete DÖRFFEL bereits in den frühen 1670er Jahren, dass sich Kometen tatsächlich um die Sonne bewegen. NEWTON und anderen gelang es, die Bahnformen der Planeten und Kometen aus dem Gravitationsgesetz abzuleiten. Dies eröffnete HALLEY die Möglichkeit, Bahnelemente von Kometenbahnen aus alten Beobachtungen zu bestimmen. In seiner *Astronomiae cometicae synopsis* von 1705 veröffentlichte er Bahnelemente von 24 Kometen, die zwischen 1337 und 1698 beobachtet wurden (Figur 12). Obwohl HALLEY für seine Berechnungen stets von parabolischen Bahnen ausging, erkannte er später, dass sich gewisse Bahnelemente von scheinbar un-

terschiedlichen Kometenerscheinungen gleichen. Dies führte ihn zur Vermutung, dass auch unter den Kometen elliptische Bahnen und somit periodische Erscheinungen möglich sind. Nicht nur HALLEY war mittlerweile aufgefallen, dass die Kometenbahnen offenbar beliebige Bahnneigungen haben können. Diese Erkenntnis kontrastierte mit der Tatsache, dass sich die Bahnneigungen der Planeten nicht stark unterscheiden und dass sich alle Planeten etwa in der Ekliptikebene bewegen. Erklärungen für diese beiden Phänomene wurden gesucht. Bereits zum zweiten Mal stellte die Académie Royale des Science von Paris für das Jahr 1734 die Preisfrage: «*Quelles est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'Équateur de la revolution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons de ces Orbites sont différentes entre elles*».

Dass man in dieser Frage die Bahnebenen der Planeten auf die Äquatorebene der Sonne bezog, hatte einen sehr gewichtigen Grund, der mit den damaligen beiden Theorien zur Erklärung der Planetenbewegungen zusammenhängt. Seit der Entdeckung der Sonnenflecken und ihrer regelmässigen Beobachtung wusste man, dass sich die Sonne um ihre eigene Achse dreht und dass diese nicht senkrecht auf der Ekliptik steht. Unabhängig davon entwickelte DESCARTES in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts eine Theorie, welche die Ursache der Planetenbewegung erklären sollte.

Seine «Wirbeltheorie» bestand darin, dass die Planeten von einem das ganze Weltall füllenden Medium in einer Wirbelbewegung um die Sonne getrieben werden. Diese Theorie stand anfangs in krassem Gegensatz zur «Gravitationstheorie», die eine Wechselwirkung der Himmelskörper im leeren Raum postulierte. Die Ansicht, dass Himmelskörper über eine Entfernung aufeinander wirken können, ohne die Wirkung über ein dazwischenliegendes Medium zu übertragen, war für das damalige mechanistisch geprägte «cartesische Weltbild» vieler Kontinentaleuropäer absurd. Die Auseinandersetzungen zwischen «Newtonianern» und «Cartesianern» um die Ursache der Gravitation dauerten bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts, obwohl es Bestrebungen gab, beide Theorien zu vereinen. Angeheizt wurde die Diskussion durch Probleme, die auch mit der Gravitationstheorie scheinbar nicht befriedigend gelöst bzw. erklärt werden konnten. Sie betrafen vor allem die Figur der Erde, die Grosse Ungleichung von Jupiter und Saturn, die scheinbare säkulare Beschleunigung des Mondes sowie, als «pièce de résistance», die Ap-sidendrehung des Mondes. Diese Phänomene bildeten Prüfsteine für und wider eine Theorie der Fern- oder Nahwirkung. In diesem Kontext ist die Preisfrage zu verstehen. Es war naheliegend, die beiden Aspekte «Rotation der Sonne» und «Bahnneigung der Planeten» bereits in der Preisfrage mit der Wirbeltheorie in einen Zusammenhang zu bringen. Die Pariser Akademie stand in den 1730er Jahren deutlich auf der Seite der Cartesianer und erhoffte sich mit der Lösung klare Argumente für die Wirbeltheorie. Insbesondere schien eine Lösung im «Cartesischen System»

Fig. 10: Zweite Figur zu DANIEL BERNOULLI'S Abhandlung über die Polhöhenbestimmung. Die Kreise abcd und ipqro stellen den Horizont sowie einen Deklinationskreis dar, der Halbkreis aioc ist der Ortsmeridian. p, q und r sind die gemessenen Sternhöhen.

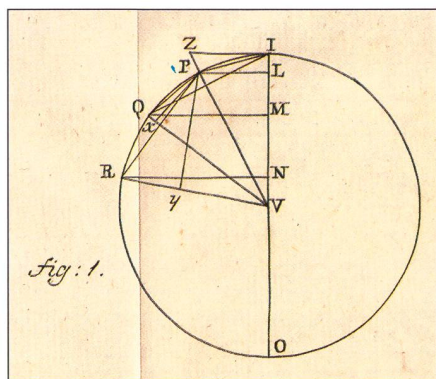




weniger problematisch zu sein als im «Newtonschen System», wonach die fernwirkende Gravitation keine Bahnebene bevorzugt und daher alle möglichen Bahnneigungen zulässt.

Der Preis wurde geteilt und ging an DANIEL BERNOULLI und seinen Vater JOHANN. Ihre Abhandlungen wurden 1735 publiziert (Figur 13). Die Arbeiten von DUCLOS und BOUGUER erhielten Anerkennung. Figur 14 zeigt die Titelseite der von JOHANN BERNOULLI eingereichten Abhandlung, Figur 15 jene der ursprünglich in lateinischer Sprache verfassten Abhandlung von DANIEL BERNOULLI. Der Titel der französischen Übersetzung der Preisschrift von DANIEL BERNOULLI lautet: *Recherches physiques et astronomiques sur le probleme proposé pour la seconde fois par l'Académie Royale des Sciences de Paris. Quelle est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites des Planetes par rapport au plan de l'Équateur de la revolution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les inclinaisons de ces Orbites sont differentes entre elles* (Figur 16). DANIEL BERNOULLI bemerkt gleich zu Beginn, dass die beiden Fragen nicht unabhängig voneinander beantwortet werden können, und unterstreicht ihre Berechtigung angesichts der verschwindend kleinen Wahrscheinlichkeit, dass eine vergleichbare Situation überhaupt eintreten könne. Dafür müsse es eine physikalische Ursache geben. Er berechnet die Wahrscheinlichkeit dafür, dass alle 5 Bahnneigungen innerhalb jener des Merkur von  $6^{\circ}54'$  liegen, als  $1$  zu  $17^5 - 1$  bzw.  $1$  zu  $1'419'856$ , da die von der Merkurbahn an der Himmelsphäre beanspruchte Zone  $1/17$  der gesamten Fläche der Sphäre ausmache. Bezüglich des Sonnenäquators, der nach CASSINI im Jahre 1701 eine Neigung von  $7^{\circ}30'$  gegenüber der Ekliptik aufwies, betrage

Fig. 11: Erste Figur zu DANIEL BERNOULLIS Abhandlung über die Polhöhenbestimmung. Sie zeigt den Deklinationskreis IRO sowie die gemessenen Sternpositionen P, Q und R.



| MOTUUM COMETARUM IN ORBE PARABOLICO<br>ELEMENTARIA ASTRONOMICA. |               |    |    |                 |    |       |             |    |       |                                   |                                                 |                                       |                       |                |       |                  |         |         |  |
|-----------------------------------------------------------------|---------------|----|----|-----------------|----|-------|-------------|----|-------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----------------|-------|------------------|---------|---------|--|
| Cometa<br>Anni.                                                 | Nodus Ascend. |    |    | Inclin. Orbitæ. |    |       | Perihelion. |    |       | Distantia<br>Perihelia<br>à Sole. | Logarithmus<br>Distantiæ Pe-<br>rihelii à Sole. | Logarithmus<br>Medii Motus<br>Diurni. | Temp. Equat. Perihel. |                |       | Perihel. à Nudo. |         |         |  |
|                                                                 | °             | '  | "  | °               | '  | "     | °           | '  | "     |                                   |                                                 |                                       | D.                    | H.             | '     | °                | '       | "       |  |
| 1337                                                            | II            | 24 | 21 | 32              | 11 | 0     | ♄           | 7  | 59    | 0                                 | 40666                                           | 9 609236                              | 0 546274              | Junii 2 6 25   | 46    | 22               | 0       | Retrog. |  |
| 1472                                                            | VS            | 11 | 46 | 20              | 5  | 20    | ♄           | 15 | 33    | 30                                | 54273                                           | 9 734584                              | 0 538252              | Feb. 28 22 23  | 123   | 47               | 10      | Retrog. |  |
| 1531                                                            | ♄             | 19 | 25 | 0               | 17 | 56    | ♄           | 1  | 39    | 0                                 | 56700                                           | 9 753583                              | 0 329754              | Aug. 24 21 18  | 107   | 46               | 0       | Retrog. |  |
| 1532                                                            | II            | 20 | 27 | 0               | 32 | 36    | ♄           | 21 | 7     | 0                                 | 50910                                           | 9 706803                              | 0 399924              | Oct. 19 22 12  | 30    | 40               | 0       | Direct. |  |
| 1556                                                            | ♄             | 25 | 42 | 0               | 32 | 6 30  | VS          | 8  | 50    | 0                                 | 46390                                           | 9 666424                              | 0 460492              | Apr. 21 20 3   | 103   | 8                | 0       | Direct. |  |
| 1577                                                            | VS            | 25 | 52 | 0               | 74 | 32 45 | ♄           | 9  | 22    | 0                                 | 18342                                           | 9 263447                              | 1 064958              | Feb. 26 18 45  | 103   | 30               | 0       | Retrog. |  |
| 1580                                                            | VS            | 18 | 57 | 20              | 64 | 40    | ♄           | 19 | 5 50  | 0                                 | 95628                                           | 9 269953                              | 0 906933              | Nov. 28 15 0   | 90    | 8 30             | 0       | Direct. |  |
| 1585                                                            | ♄             | 7  | 42 | 30              | 6  | 4     | VS          | 8  | 51    | 0                                 | 109358                                          | 0 038850                              | 9 901853              | Sept. 27 19 20 | 28    | 51               | 30      | Direct. |  |
| 1590                                                            | ♄             | 15 | 30 | 40              | 29 | 40 40 | ♄           | 6  | 54    | 30                                | 57661                                           | 9 760882                              | 0 318805              | Jan. 29 3 45   | 51    | 23               | 50      | Retrog. |  |
| 1596                                                            | ♄             | 12 | 12 | 30              | 55 | 12    | ♄           | 18 | 16    | 0                                 | 51293                                           | 9 710058                              | 0 395401              | Julii 31 19 55 | 83    | 56               | 30      | Retrog. |  |
| 1607                                                            | ♄             | 20 | 21 | 0               | 17 | 2     | ♄           | 2  | 16    | 0                                 | 58680                                           | 9 768490                              | 0 307393              | Oct. 16 3 50   | 108   | 5                | 0       | Retrog. |  |
| 1618                                                            | II            | 16 | 1  | 0               | 37 | 34    | VS          | 2  | 14    | 0                                 | 37975                                           | 9 579498                              | 0 590881              | Oct. 29 12 23  | 73    | 47               | 0       | Direct. |  |
| 1652                                                            | II            | 28 | 10 | 0               | 79 | 28    | VS          | 28 | 18    | 40                                | 84750                                           | 9 928140                              | 0 067918              | Nov. 2 15 40   | 59    | 51               | 20      | Direct. |  |
| 1661                                                            | II            | 22 | 30 | 30              | 32 | 35 50 | ♄           | 25 | 58    | 40                                | 44851                                           | 9 651772                              | 0 482470              | Jan. 16 23 41  | 33    | 28               | 10      | Direct. |  |
| 1664                                                            | ♄             | 21 | 14 | 0               | 21 | 18 30 | ♄           | 10 | 41 25 | 105755                            | 0 011044                                        | 9 943562                              | Nov. 24 11 52         | 49             | 27 25 | 0                | Retrog. |         |  |
| 1665                                                            | ♄             | 18 | 2  | 0               | 76 | 5     | II          | 11 | 54    | 30                                | 10649                                           | 9 027309                              | 1 419164              | Apr. 14 5 15   | 156   | 7 30             | 0       | Retrog. |  |
| 1672                                                            | VS            | 27 | 30 | 30              | 83 | 22 10 | ♄           | 16 | 59    | 30                                | 69739                                           | 9 843476                              | 0 194914              | Feb. 20 8 37   | 109   | 29               | 0       | Direct. |  |
| 1677                                                            | ♄             | 26 | 49 | 10              | 79 | 3 15  | VS          | 17 | 37 5  | 28059                             | 9 448072                                        | 0 778020                              | Apr. 26 0 37          | 99             | 12 5  | 0                | Retrog. |         |  |
| 1680                                                            | VS            | 2  | 2  | 0               | 60 | 56    | ♄           | 22 | 39 30 | 006124                            | 7 787106                                        | 3 289469                              | Dec. 8 0 6            | 9              | 22    | 30               | Direct. |         |  |
| 1682                                                            | ♄             | 21 | 16 | 30              | 17 | 56    | ♄           | 2  | 52 45 | 58328                             | 9 765877                                        | 0 311313                              | Sept. 4 7 39          | 108            | 23 45 | 0                | Retrog. |         |  |
| 1683                                                            | ♄             | 23 | 23 | 0               | 83 | 11    | II          | 25 | 29 30 | 56020                             | 9 748343                                        | 0 337614                              | Julii 3 2 50          | 87             | 53    | 30               | Retrog. |         |  |
| 1684                                                            | ♄             | 28 | 15 | 0               | 65 | 48    | ♄           | 28 | 52    | 0                                 | 60601                                           | 9 982339                              | 9 986620              | Maii 29 10 16  | 29    | 23               | 0       | Direct. |  |
| 1686                                                            | ♄             | 20 | 34 | 40              | 31 | 21 40 | II          | 17 | 0     | 30                                | 32500                                           | 9 511883                              | 0 962304              | Sept. 6 14 33  | 86    | 25 50            | 0       | Direct. |  |
| 1698                                                            | ♄             | 27 | 44 | 15              | 11 | 46    | VS          | 0  | 51 15 | 69129                             | 9 839660                                        | 0 200638                              | Oct. 8 16 57          | 3              | 7     | 0                | Retrog. |         |  |

Fig. 12: HALLEYS Kometentafel aus seinem Werk «Astronomiae cometicae synopsis» von 1705.

die maximale Überdeckung  $1/12$  der Himmelsphäre. Die Wahrscheinlichkeit, dass alle 6 Planetenbahnen innerhalb dieses Gürtels liegen, sei also  $1 \text{ zu } m^6 - 1$  bzw.  $1 \text{ zu } 2'985'983$ , mit  $m = 12$ . Damit hat er vermeintlich gezeigt, dass die Bahnneigungen der Planeten nicht zufällig sind. Für die weiteren Überlegungen nimmt DANIEL BERNOULLI aufgrund der Beobachtungen an, dass die mittlere Bahnebene der Planeten mit der Ebene des Sonnenäquators zusammenfällt, was ihm aus physikalischen Gründen plausibel erscheint und wovon gemäss der Preisaufgabe auch ausgegangen werden soll. Es gehe nur darum zu zeigen, weshalb diese beiden Ebenen zusammenfallen und weshalb dennoch einige Planetenbahnen ein wenig davon abweichen würden.

DANIEL BERNOULLI sieht die Lösung dieser Probleme in der Existenz einer bis über die Saturnbahn reichenden, ausgedehnten Sonnenatmosphäre, deren Eigenschaften er aus den Charakteristiken der irdischen Atmosphäre ableitet, im wesentlichen aus der barometrischen Höhenformel. Dies glaubt er tun zu dürfen, weil alle Himmelskörper (so auch der Mond!) Atmosphären mit vergleichbaren Eigenschaften besäßen. Die Sonnenatmosphäre besteht nach seiner Vorstellung aus einem sehr subtilen, elastischen Fluidum (vergleichbar mit der irdischen Luft), das sich mit der Sonne einmal in  $25\frac{1}{2}$  Tagen um ihre Achse dreht. Die Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenatmosphäre wachse im wesentlichen proportional mit der Di-

stanz von der Sonne, nehme aber durch den Reibungswiderstand an der Atmosphären­grenze mit der Entfernung von der Sonne leicht ab. Die Reibung werde durch eine an unsere Sonnenatmosphäre angrenzende, unbekannte Atmosphäre verursacht. Die resultierende «differentielle Rotation» der Sonnenatmosphäre entspreche aber nicht den Rotationen jener «Cartesischen» Wirbel, die nach dem dritten Keplerschen Gesetz die Planeten um die Sonne herum tragen, wie dies sein Vater in seiner Preisschrift von 1730 gezeigt habe (Figur 17). Im Gegenteil: die Rotationsgeschwindigkeit der angenommenen Sonnenatmosphäre übertreffe an den jeweiligen Bahnradien der Planeten jene der Wirbel: *«Enfin, la remarque la plus essentielle pour notre dessein est, que ce fluide solaire doit necessairement faire ses révolutions autour de l'axe du Soleil, & même que toutes ses parties ne man­queroient pas de faire le tour ensemble avec le Soleil dans 25½ jours de temps, si le mouvement n'étoit pas empêché dans les limites de l'atmosphère; cet empêchement fera que les temps périodiques de la matiere croîtront vers les limites. Je présume pourtant que malgré cette diminution de mouvement, les vitesses (qui sans cela suivroient la proportion des distances de l'axe du Soleil) ne laissent pas d'être plus grandes, quand les distances dudit axe sont plus grandes»*. Damit versuchte DANIEL BERNOULLI zwei Effekte zu erklären. Einerseits bewirke die höhere Geschwindigkeit des Fluidums auf den sonnenab-



gewandten Seiten der Planeten, dass ihre Rotations- und Revolutionsbewegungen gleichsinnig erfolgen. Andererseits erzeuge der Geschwindigkeitsüberschuss des Fluidums gegenüber den Planetenbewegungen, dass deren Bahnneigungen langsam in die Ebene des Sonnenäquators gedrückt und ihre elliptischen Bahnen immer kreisförmiger würden. Betrachten wir diese Theorie etwas genauer.

Unter Annahme der Gültigkeit des Gravitationsgesetzes leitet BERNOULLI eine «barometrische Höhenformel» her, mit der er die Druckverteilung der Sonnenatmosphäre in Abhängigkeit von der Sonnenentfernung berechnen kann. Würden die Parameter so gesetzt, dass das Maximum der Druckverteilung sich im Abstand der Marsbahn befindet, erhalte er folgende Zahlenwerte: Druck an der Oberfläche der Sonne = 1, bei Merkur = 4170, Venus = 8910, Erde = 12300, Mars = 14400, Jupiter = 1310 und Saturn = 15. Diese Druckverteilung erachte er als plausibel. DANIEL BERNOULLI betont ausdrücklich, dass die rotierende Sonnenatmosphäre nicht mit den «Cartesischen Wirbeln» identifiziert werden dürfe, weil sie nicht die den Wirbeln zugeschriebenen Eigenschaften erfüllen könne, insbesondere nicht mit jener, welche die Planeten in ihren Bahnen halte. Als Gründe führt er u.a. das dritte Keplersche Gesetz an, wonach die Umlaufzeit eines (fiktiven) Planeten dicht an der Sonnenoberfläche nur 3 Stunden betragen würde, während die Atmosphäre, welche die Sonnenoberfläche berührt, für einen Umlauf  $25\frac{1}{2}$  Tage benötige. Er zweifelt, ob die Wirbel den Zentrifugalkräften entgegenwirken bzw. diesen die Waage halten können. Es müsse deshalb noch einen anderen Grund dafür geben, dass die Planeten auf ihren Bahnen gehalten werden, nämlich die Schwerkraft der Sonne. BERNOULLI nennt sie «*pesanteur solaire, qui contrebalance la force centrifuge, & qui pousse continuellement les Planetes & la Terre vers le centre du Soleil*». Wie diese Schwerkraft zustande kommt, lässt er offen, bekräftigt jedoch, «*que tous les Physiciens sont en ces temps-ci d'accord, que toutes les Planetes ont une pesanteur mutuelle qui pousse l'une vers l'autre*». Wir erkennen in seinen Aussagen erste Ansätze einer Abkehr von den nahwirkenden Wirbeln und eine Zuwendung zur fernwirkenden Gravitation. Mit dieser Ansicht schien er damals, nach seiner eigenen Meinung, nicht der einzige gewesen zu sein. Dennoch ist er vorsichtig und zeigt sich vorerst davon überzeugt, dass in irgend einem subtilen Medium bzw. «*un grand nombre de Tourbillons d'une matiere*

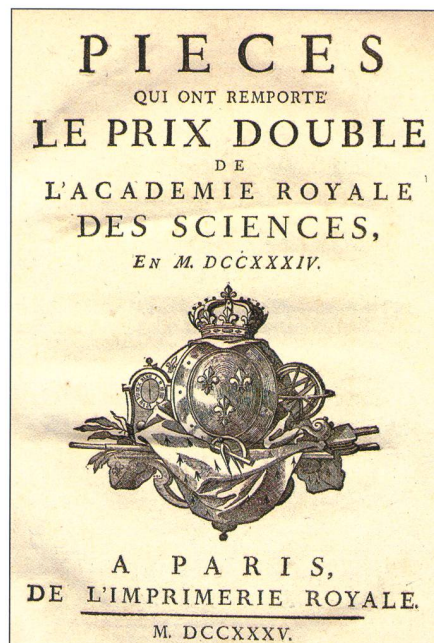


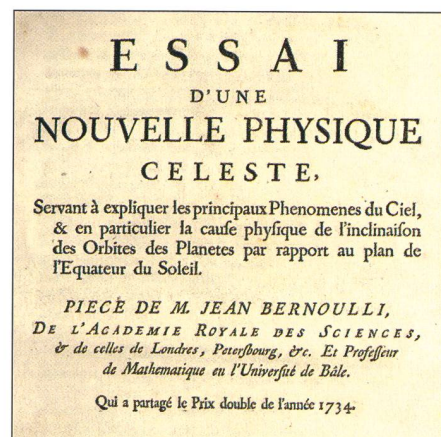
Fig. 13: Titelseite der Preisschriften der Pariser Akademie für 1734, gedruckt 1735.

*subtile gravifique, se traversant librement & sur differens axes, qui passent tous par le centre du Soleil*» die Ursache für die Schwere zu suchen sei. Als Argument nennt er die Theorie des Lichtes, welche die Existenz eines subtilen Mediums erfordere. Somit seien zwei Effekte zur Erklärung der Planetenbewegungen zu berücksichtigen: 1) die rotierende Sonnenatmosphäre, die bewirke, dass die Bahnneigungen langsam aber stetig abnehmen und sich der Äquatorebene der Sonne (oder einer Ebene parallel dazu) nähern, und 2) die Schwerkraft der Sonne, die den Zentrifugalkräften entgegenwirke, sie ausgleiche und damit bewirke, dass sich die Planeten stets in Ebenen bewegen würden, die durch das Zentrum der Sonne gehen.

BERNOULLI beschreibt nun seine Grundidee, wie der aus dem Zusammenspiel dieser beiden Effekte entstehende Mechanismus eine Verringerung der Bahnneigungen hervorrufen kann. Dazu führt er die *noeuds solaires* als Knotenpunkte zwischen den Planetenbahnebenen und der Äquatorebene der Sonne ein und betrachtet einen Planeten in einem dieser Knoten. Das Fluidum der schneller rotierenden Sonnenatmosphäre erteile ihm eine kleine Bewegung parallel zur Äquatorebene der Sonne, was ein stetes Vorwärtsdrehen der Knoten- und Apsidenlinien zur Folge habe. Da die Planetenbahn an dieser Stelle gegenüber dem Sonnenäquator am stärksten geneigt sei, resultiere eine Bewegung in Richtung der Äquatorebene der Sonne.

Dasselbe geschehe im anderen Knoten. Dagegen erfolge in den Punkten  $90^\circ$  zu den Knoten keine Wirkung, weil dort die Planetenbewegung parallel zur Rotationsbewegung der Sonnenatmosphäre verlief. BERNOULLI bemerkt, dass derselbe Mechanismus auch dann noch wirksam bleibe, wenn die Rotationsgeschwindigkeit der Sonnenatmosphäre kleiner ist als die Bahngeschwindigkeit des betrachteten Planeten. BERNOULLI scheint mit seiner Theorie nicht nur zeigen zu können, dass die Exzentrizitäten der Planetenbahnen langsam abnehmen müssen, sondern auch, weshalb Kometenbahnen sehr grosse Exzentrizitäten erreichen können. Er schliesst aus seinen Überlegungen, dass die Bahnneigungen der Planeten vor sehr langer Zeit wesentlich grösser gewesen sein müssen und sich sukzessive auf den beobachteten Wert verkleinert hätten. Je nach Dichte der Sonnenatmosphäre und Bewegungszustand der Planeten verlaufe dieser Prozess unterschiedlich schnell. Nach langer Zeit würden jedoch alle Bahnebenen mit der Ebene des Sonnenäquators zusammenfallen. Aus der Tatsache, dass man seit der Antike keine messbare Änderung festgestellt habe, schliesst er, dass die Sonnenatmosphäre aus einem äusserst subtilen Medium bestehen müsse und dass somit die Abnahme der Bahnneigungen nur sehr langsam fortschreiten könne. Angesichts der kleinen Bahnneigungen der Planeten folge, dass die Welt vor sehr langer Zeit entstanden sein müsse und daher einem Entwicklungsprozess unterworfen sei: «*...je ne crois pas qu'il y ait personne, qui soutienne encore les corps célestes n'être sujets à aucuns changements; car le monde n'est pas depuis l'éternité, ni ne durera éternellement, ni ne demeurera enfin toujours dans le même état, tant qu'il dure*».

Fig. 14: Titelseite der Preisschrift von JOHANN I. BERNOULLI.





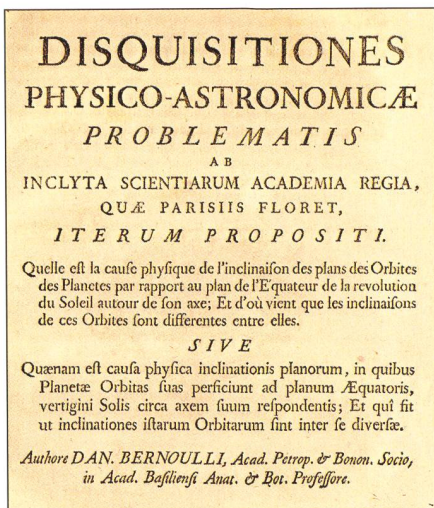


Fig. 15: Titelseite der lateinischen Version der Preisschrift von DANIEL BERNOULLI.

Im folgenden versucht BERNOULLI, seine Theorie anhand der beobachteten Bahnneigungen der Planeten, Satelliten und Kometen, teils mit physikalischen (nach seiner Theorie), teils mit statistischen Überlegungen, noch einmal zu bekräftigen. Er bemerkt zwar, dass nach seiner Theorie die Knoten- und Apsidenlinien bezüglich der Ebene des Sonnenäquators vorwärts (!) schreiten sollten, genau diesen Sachverhalt verifiziert er aber nicht anhand der Beobachtungen. Er hätte sonst feststellen können, dass die Bahnknoten der Planeten (ausser für Jupiter) eine *retrograde* Bewegung von etwa  $5'' - 20''$  / Jahr aufweisen: ein Resultat, das EULER 15 Jahre später aus theoretischen Überlegungen herleiten konnte. DANIEL BERNOULLI bestimmt eine mittlere Bahnneigung der Planeten bezüglich der Ebene des Sonnenäquators zu  $5^\circ 11'$ . Da er diesen Wert als unsicher erachtet, berechnet er die Neigung des Sonnenäquators bezüglich der Ekliptik derart, dass die Abweichungen der Bahnneigungen aller anderen Planeten von dieser Ebene minimal wird und erhält dafür einen Wert von  $3^\circ 22'$ . Unter der Annahme, dass der Sonnenäquator mit der Ekliptik diesen Winkel von  $3^\circ 22'$  bildet (übrigens ein Wert, der nach BERNOULLIS verwendeten Keplerschen Tafeln zufälligerweise (?) mit der Bahnneigung der Venus gegenüber der Ekliptik übereinstimmt), berechnet er die Bahnneigungen der Planeten bezüglich dieser Äquatorebene der Sonne und findet für Saturn  $1^\circ 51'$ , für Jupiter  $2^\circ 7'$ , für Mars  $2^\circ 4'$ , für die Erde  $3^\circ 22'$ , für Venus  $0^\circ 20'$  und für Merkur  $4^\circ 34'$ . Er findet eine Bestätigung seiner Theorie in der Tatsache, dass die mittlere Bahnneigung der Planeten bezüglich dieser Äquatorebene der Sonne nur  $2^\circ 23'$  be-

trage, während sich die mittlere Bahnneigung der Kometen gemäss HALLEYS Angaben (siehe Figur 12) zu  $43^\circ 39'$  ergibt. Er interpretiert diese Resultate dahin, dass die Neigungen der elliptischen Planetenbahnen periodisch über sehr lange Zeit ein wenig verkleinert wurden. Den Grund für die irreguläre Verteilung der als parabolisch oder hyperbolisch angenommenen Kometenbahnen sieht er in der kleinen Dichte der Sonnenatmosphäre, in der sich die Kometen vorwiegend aufhalten. Daher ergebe sich ein Mittelwert nahe dem «Erwartungswert einer isotropen Verteilung» von  $45^\circ$  (de facto beträgt dieser  $57^\circ 18'$ ), wie wir heute sagen würden. Eine weitere Bestätigung findet er in der Tatsache, dass die Bahnneigungen und Exzentrizitäten der Planetenbahnen entsprechend seiner Theorie korreliert zu sein scheinen. Bahnneigung und Exzentrizität seien bei der Venus sehr klein, während sie bei Merkur grosse Werte hätten. Dies ist übrigens eine Feststellung, die EULER offenbar mit dem (berechtigten) Hinweis kritisierte, dass diese scheinbare Korrelation stark von der Wahl der mittleren Bahnebene abhängt (siehe die Klammer-Bemerkung zur Bahnneigung von Venus), wie aus der Reaktion BERNOULLIS in einem späteren Brief vom 25. Januar 1737 an EULER hervorgeht. Darin wirft er EULER vor, dass er sein *Mémoire* offenbar nur oberflächlich und in höchster Eile gelesen haben könne. Es sei ihm niemals in den Sinn gekommen, die Ebene des Sonnenäquators so abzuändern, dass die Inklinationen in der Ordnung der Exzentrizitäten fortschreiten. Er habe nur angemerkt, dass – weil diese Äquatorebene noch nicht feststehe – man durchaus untersuchen könne, wie diese zu platzieren sei, damit das arithmetische Mittel aller Inklinationen minimal sei. Dies habe er getan, ohne es zu bereuen. Im folgenden Brief vom 16. März 1737 gibt BERNOULLI noch einmal sein Unverständnis gegenüber dem Vorwurf EULERS zum Ausdruck, er hätte die Äquatorebene der Sonne derart verändert, um den Exzentrizitäten Genüge zu tun. Seine Theorie trage doch in sich, dass keinerlei Beziehung zwischen den Exzentrizitäten und den Inklinationen vermutet werden könne und müsse. Seine Bemerkungen bestünden nur darin, dass, wenn man die Äquatorebene auf die von ihm angegebene Art ändern würde, die Summe der Inklinationen minimal würde.

Offenbar war sich DANIEL BERNOULLI bewusst, dass seine Hypothese mit den Beobachtungen nur schwer zu untermauern ist. Einige Jahre später, in einem Brief vom 4. September 1743, schrieb er an EULER, er habe im 7. Band der (Peters-

burger) Kommentare verschiedene Abhandlungen von EULER über die Planetenbahnen gesehen. Darin habe EULER viele alte astronomische Beobachtungen durchgerechnet und diese mit dem heutigen Stand der Bahnen verglichen. Er möchte nun von EULER wissen, ob dieser nicht gefunden habe, dass die Exzentrizitäten wie auch die Schiefe der Bahnen bezüglich einer gewissen mittleren Ebene nach und nach ein wenig abnehmen. Seine Vermutung darüber, warum die Planeten nahezu in Kreisbahnen und die Kometen etwa in parabolischen Bahnen laufen und die ersteren ungefähr in derselben Ebene, die letzteren jedoch in allen möglichen Bahnneigungen vorkommen, dünke ihn noch immer bei weitem die wahrscheinlichste unter allen Hypothesen zu sein. Es scheint, als habe BERNOULLI seinerseits EULERS Abhandlungen nur flüchtig gelesen. In *De motu planetarum et orbitarum determinatione* entwickelte EULER ein Näherungsverfahren zur analytischen Lösung der Keplergleichung und bestimmte die wahren Anomalien des Mars. Weiter leitete er Gleichungen her zur Bestimmung der Form und Lage der Bahnellipse eines Planeten bei gegebener Umlaufzeit und drei beobachteten heliozentrischen Örtern und berechnete die Apsidenlinie und Exzentrizität der Erdbahn aus Beobachtungen von 1716. In der Abhandlung *Orbitae solaris determinatio*, die sich inhaltlich an die vorige anschliesst, bestimmte EULER die Erdbahn aus drei beobachteten Sonnenörtern nebst den Zwischenzeiten nach der in der vorigen Abhandlung gegebenen Methode. Er verwendete dazu Beobachtungen von FLAMSTEED aus dem Jahre 1690 und bestimmte damit die mittleren Sonnenörter, die «grösste Gleichung» sowie die mittlere und wahre Anomalie der Erdbahn. In der dritten Abhandlung *Solutio problematum quorundam astronomicorum* des angesprochenen Bandes handelt es sich um praktische Regeln zur vereinfachten Berechnung der Exzentrizität sowie der mittleren Anomalie. Diese Arbeiten EULERS bezeugen zwar seine meisterhafte Beherrschung des Zweikörper-Problems, sie enthalten jedoch nicht die von DANIEL BERNOULLI erhofften Resultate. Im Zusammenhang mit dem Problem des Prinzips der kleinsten Wirkung und dem Grund für die Kegelschnitte als Bahnformen weist DANIEL BERNOULLI in einem Brief an EULER vom 25. Dezember 1743 noch einmal auf ein mögliches Missverständnis seiner Theorie hin. Dass die Umlaufbahnen der Planeten mehr und mehr kreisförmig würden, die Kometenbahnen nahezu parabolisch, habe er nicht aus den widerstehenden Mitteln (dem Fluidum der



# RECHERCHES PHYSIQUES ET ASTRONOMIQUES

SUR LE PROBLEME PROPOSE  
POUR LA SECONDE FOIS

Par l'Académie Royale des Sciences de Paris.

*Quelle est la cause physique de l'inclinaison des Plans des Orbites  
des Planetes par rapport au plan de l'Equateur de la revo-  
lution du Soleil autour de son axe; Et d'où vient que les  
inclinaisons de ces Orbites sont différentes entre elles.*

PIECE DE M. DANIEL BERNOULLI,  
DES ACADEMIES DE PETERSBOURG, DE BOLOGNE, &c.  
& Professeur d'ANATOMIE & de BOTANIQUE  
en l'Université de Bâle.

Qui a partagé le Prix double de l'année 1734.

Traduite en François par son Auteur.

Fig. 16: Titelseite der korrigierten  
französischen Version der Preisschrift von  
DANIEL BERNOULLI.

Sonnenatmosphäre) deduziert, sondern aus quasi hinführenden, indem er diese Mittel nicht im Ruhezustand, sondern als sehr schnell um die Sonne bewegt betrachtete. Seine Erklärungen würden ihm noch immer sehr gut gefallen, ohne glauben zu müssen, dies sei durch Eigenliebe beeinflusst.

Zusammenfassend erwähnen wir drei wichtige Aspekte dieser Abhandlung: 1) DANIEL BERNOULLI verwendete statistische Argumente, was eigentlich nicht verwundert, war doch sein Onkel JAKOB mit der 1713 publizierten *Ars conjectandi* ein Mitbegründer der Statistik. 2) Als eine Folgerung aus seiner Theorie vermutete DANIEL BERNOULLI, dass unser Sonnensystem einerseits himmelsmechanischen Entwicklungsprozessen unterworfen sein muss, und andererseits, dass diese in Zeitskalen ablaufen müssen, die wesentlich grösser sind als das damals immer noch akzeptierte biblische Weltalter von etwa 5000 Jahren. Damit begründete er die Wissenschaft der Kosmogonie, die im Laufe des 18. Jahrhunderts von LAMBERT, KANT und LAPLACE weiterentwickelt wurde. 3) Aus DANIEL BERNOULLIS Theorie folgt, dass die Bahnelemente der Planeten über grosse Zeitskalen säkularen Änderungen unterworfen sein müssen. Damit nahm er eine Erkenntnis vorweg, die erst 15 Jahre später, zumindest was langperiodische Änderungen anbelangt, ihre himmelsmechanische Rechtfertigung durch die grundlegenden Arbeiten EULERS finden sollte. Nach dem Urteil seiner Korrespondenten wird die Abhandlung von DANIEL BERNOULLI als einer seiner besten Beiträge zur Astronomie bezeichnet. Offensichtlich war er ebenfalls stolz auf seine Arbeit.

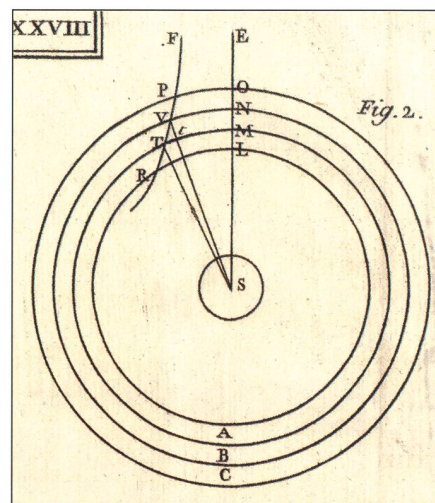
## Die Grosse Ungleichung von Jupiter und Saturn

Schon KEPLER bemerkte 1625 eine scheinbare Anomalie in den mittleren Bewegungen von Jupiter und Saturn. Der Grund dieser Anomalie liegt in den gegenseitigen Störungen dieser Planeten, die jeweils zur Zeit ihrer Konjunktionen besonders ausgeprägt sind. Diese Annäherungen führen zu kurz- und langperiodischen Störungen in den mittleren Bewegungen. Die Konjunktionen zwischen Jupiter und Saturn treten alle 19.86 Jahre auf. Die mittlere Bewegung des Jupiter beträgt  $30.35^\circ$  pro Jahr, jene des Saturn  $12.22^\circ$  pro Jahr. In der Zeit zwischen zwei Konjunktionen bewegt sich Saturn daher um  $242.70^\circ$ . Wäre dieser Wert exakt  $240^\circ$ , dann würden sich alle Konjunktionen stets an drei gleichen Stellen im Zodiak ereignen, jeweils um  $120^\circ$  voneinander getrennt. Die Konjunktionsstellen würden somit ein gleichseitiges Dreieck bilden. Der «Überschuss» von  $2.70^\circ$  bewirkt, dass die Konjunktionen nach jeweils  $3 \cdot 19.86 = 59.58$  Jahren um  $3 \cdot 2.70^\circ = 8.1^\circ$  weiter östlich im Tierkreis stattfinden. Das Dreieck dreht somit in  $120^\circ \cdot 59.58 / 8.1^\circ = 882.7$  Jahren um  $120^\circ$ . Diese Periode

nennt man die *Grosse Ungleichung*. Das Problem bestand nun darin, die Grosse Ungleichung aus den gegenseitigen Störungen in den Bewegungen von Jupiter und Saturn aufgrund des Gravitationsgesetzes herzuleiten. Es beschäftigte die besten Mathematiker des 18. Jahrhunderts, unter ihnen D'ALEMBERT, CLAIRAUT, EULER, LAGRANGE und LAPLACE. Die Académie Royale des Sciences de Paris stellte dieses Problem als Preisaufgabe für die Jahre 1748, 1750 und 1752. Für 1750 wurde kein Preis zugesprochen. Die anderen beiden Preise gingen an EULER, wobei zu bemerken ist, dass er mit seinen Arbeiten zu diesem Thema die planetare Störungstheorie begründete. Das Problem blieb jedoch lange ungelöst. Erst im Jahre 1785 konnte LAPLACE die Lösung bekanntgeben.

Auch DANIEL BERNOULLI beteiligte sich an den Preisausschreiben für 1748 und 1752 und erhielt für ersteres das Prädikat *proxime accessit*, was dem zweiten Preis entspricht. Leider wurde seine Arbeit nie publiziert. Man weiss aber, dass seine Abhandlung CLAIRAUT, der in der Preiskommission vertreten war, sehr beeinflusst hat. Wie aus der von EULER eingereichten Preisschrift hervorgeht, ging es bei der Preisaufgabe um «*Une Théorie de Saturne et de Jupiter, par laquelle on puisse expliquer les inégalités que ces deux Planetes paroissent se causer mutuellement, principalement vers le tems de leur conjunction*». Es war aus verschiedenen Gründen eine äusserst anspruchsvolle Aufgabe. Gegenüber der Mondtheorie, an der ebenfalls seit Mitte der 1740er Jahre insbesondere von CLAIRAUT gearbeitet wurde, handelt es sich hier um eine himmelsmechanisch völlig neue Situation. Während beim Dreikörper-Problem Erde – Mond – Sonne die Störkräfte der Sonne auf den Mond wegen seiner Entfernung zur Sonne immer etwa gleich gross bleiben, können sich die Abstände zwischen Jupiter und Saturn im Laufe ihrer Bewegung um die Sonne (von Opposition zu Konjunktion) um einen Faktor 3 und die Störkräfte von Jupiter auf Saturn bei Konjunktion (aufgrund der unterschiedlichen Exzentrizitäten) um einen Faktor 1.6 ändern. Was die Sache nicht einfacher machte, war der Umstand, dass zu dieser Zeit an der exakten Gültigkeit des Gravitationsgesetzes gezweifelt wurde. Neben der scheinbaren säkularen Beschleunigung des Mondes konnte vor allem seine Apsidendrehung vorerst nicht aus dem  $1/r^2$ -Gesetz hergeleitet werden. Es wurden daher gleichzeitig alternative Kraftgesetze diskutiert. Letztlich ging es der Akademie darum, mit ihrer Preisaufgabe auch hinsichtlich dieses Problems Klarheit zu

Fig. 17: Die «Cartesische» Wirbeltheorie nach JOHANN I BERNOULLI. S stellt die Sonne dar. Die um S konzentrischen Kreise L, M, N, O stellen Grenzlinien der Wirbel A, B, C dar. Der Abstand der Grenzlinien voneinander wird als differentiell klein (Strecke t) betrachtet. Diese Wirbel bewegen sich nicht mit derselben Winkelgeschwindigkeit um S, sondern vollführen eine differentielle Rotation. Die Kurve RTVPF ist der geometrische Ort aller Wirbelpartikel, die sich vor einer bestimmten Zeit auf der Linie ES befunden haben. Die differentielle Rotation erfolgt nach dem dritten Keplerschen Gesetz.





schaffen, wie sich aus den Arbeiten EULERS folgern lässt. Insbesondere hoffte man, dass mit den Lösungen vielleicht etwas Licht in die Streitfrage um die Ursache der Gravitation als Nah- oder Fernwirkungsprinzip gebracht werden könnte.

Die Schwierigkeiten des Problems kommen in der von DANIEL BERNOULLI am 6. Juli 1747 eingereichten Arbeit sowie in den Briefen an EULER deutlich zum Ausdruck. Aus einem Brief vom 21. Januar 1747 an EULER wird ersichtlich, dass sich BERNOULLI bereits zu Beginn dieses Jahres mit dem Problem beschäftigt haben muss. Die Idee zu dessen Lösung kam ihm vermutlich im Zusammenhang mit der Absicht, die Bewegung des Mondapogäums zu bestimmen, um damit verbesserte Mondtafeln herstellen zu können. Wie er EULER mitteilte, bestehe sein Lösungsansatz darin, dass man die Ungleichheiten in der Bewegung des Saturn auf eine und dieselbe natürliche, nicht gestörte Umlaufbahn beziehen solle. Er nannte sie in der Folge die *natürliche Bahn* und meinte damit jene Ellipse, die entstehen würde, wenn sämtliche Störkräfte verschwinden würden. Dafür hat sich später der Begriff der «oskulierenden Bahn» etabliert. Leider ging er in seinem Mémoire von zwei falschen Annahmen aus, die sich als verhängnisvoll erweisen sollten und deren Folgen im Briefwechsel mit EULER in tragischer Weise sichtbar werden. Einerseits setzte er voraus, dass die Sonne unbeweglich sei, andererseits betrachtete er die ungestörten Bahnen von Jupiter und Saturn als kreisförmig und konzentrisch zur Sonne. Die Sonne als stillstehend zu betrachten, rechtfertigte er im erwähnten Brief damit, dass dies die Störungen des Saturn seiner Definition gemäss nicht ändern könne, wenn gleich auch die Sonne eine kleine Bahn um den gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben würde. Letzteres brachte ihn zur Ansicht, dass die natürliche Umlaufbahn des Saturn (von jeder Wirkung Jupiters auf den Saturn abgesehen) keine Ellipse mehr wäre, wie sie von den Astronomen definiert werde, weder bezüglich des Sonnenzentrums noch des gemeinsamen Schwerpunktes. Saturns und Jupiters natürliche Bahnen als Kreisbahnen anzunehmen, bedeutete aber eine schwerwiegende Einschränkung, die letztlich nur mit der mathematischen Vereinfachung des Problems begründet werden kann. Dazu veranlasst wurde BERNOULLI möglicherweise durch das Verfahren, mit dem er das Problem zu bewältigen erhoffte. Es gleicht einer numerischen Integration, bei der gewisse Randbedingungen erfüllt sein müssen, die BERNOULLI zur Vereinfachung des

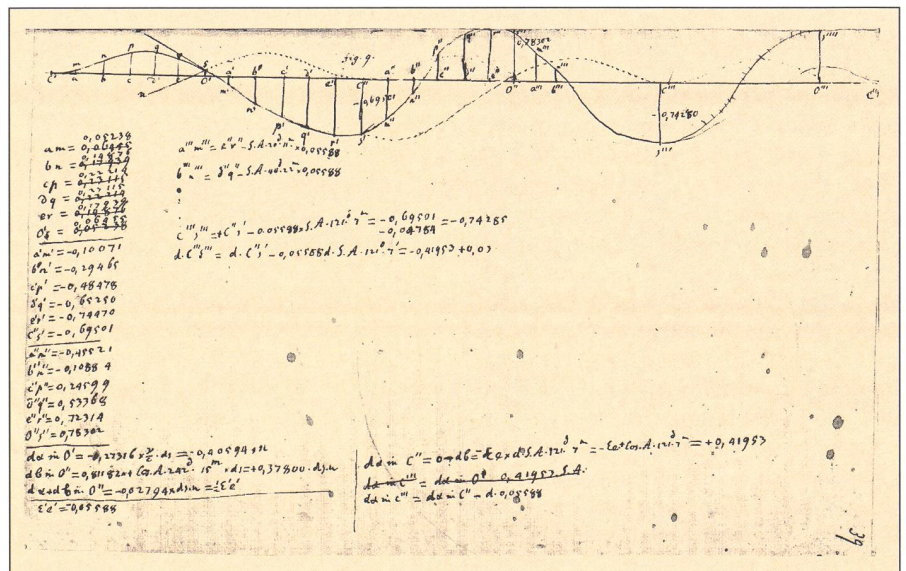
Problems setzte. Wie aus dem Brief hervorgeht, schien er erste Ergebnisse mit jenen EULERS verglichen und erhebliche Abweichungen festgestellt zu haben. Das ist nicht weiter erstaunlich, wählte EULER doch einen grundlegend anderen und wesentlich allgemeineren Zugang.

BERNOULLI scheint das knifflige Problem in seiner ganzen Tragweite (vielleicht inspiriert durch EULER) erkannt zu haben. Etwas resigniert schrieb er am 29. April 1747 an EULER, dass ihm die Theorie des Saturn sehr verleidet sei, weil sie so penibel (empfindlich) und letzten Endes noch immer vielen Zweifeln unterworfen sei. Wenn das Zentrum der Sonne nicht als fest betrachtet werden könne, dann genüge es nicht, die Wirkung des Jupiter auf die Sonne von derjenigen auf den Saturn abzuziehen oder sie zu addieren (wie EULER dies in seiner Theorie tut), sondern man müsse – um eine wahre Theorie des Saturn aufstellen zu können – die wahre und vollständige Theorie der Sonnenbewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt kennen. Wollte man die Exzentrizitäten der Bahnen des Saturn und des Jupiter gemäss genuinen Gesetzen betrachten, so erfordere diese Untersuchung wieder unüberwindliche Mühe. Die damit verbundenen Approximationsrechnungen seien sehr heikel. Zudem könne man – weil die Örter der Aphelien bezüglich der Konjunktionsörter veränderlich seien – keine fortlaufenden Tafeln anfertigen. BERNOULLI nahm an, dass auch andere sich in dieser scheinbar ausweglosen Situation befanden und war deshalb gespannt zu wissen, wie EULER wohl das Problem angepackt hatte. Aus dem nur

lückenhaft überlieferten Briefwechsel der beiden Freunde (viele Briefe von EULER an BERNOULLI gingen verloren) wird nicht klar, wie ausführlich EULER seine Theorie darlegte, oder ob er lediglich Ergebnisse bekannt gab. BERNOULLI erwähnte in seinem Antwortbrief vom 16. August 1747 nur, dass sein eigenes Mémoire lange nicht so ausgearbeitet sei wie es EULER von dem seinigen melde. Er war aber in der Lage, seine Resultate mit den Werten von EULER zu vergleichen.

Tatsächlich war EULERS Theorie wesentlich allgemeiner und stellte sich wegen der eingeführten neuen Methoden für die weitere Entwicklung der Störungstheorie als überaus fruchtbar heraus. Ausgehend von den in drei Dimensionen formulierten Bewegungsgleichungen leitete EULER in einer vorgängigen Arbeit Störungsgleichungen für den Radiusvektor, die wahre Anomalie, die Knotenlänge sowie die Bahnneigung des Saturn her, die er dann in seinem Mémoire integrierte, indem er vereinfachende Einschränkungen bzgl. Bahnformen und Neigungen der beiden Planeten schrittweise lockerte. Es ist anzunehmen, dass BERNOULLI die EULERSche Theorie in groben Zügen kannte, denn er schrieb im erwähnten Brief, dass sich in allen seinen (eigenen) Berechnungen gewisse Verschlingungen und Wahrheitsmerkmale zeigten, die ihn auf einen guten Fortschritt hoffen liessen, wenn er nicht wüsste, dass EULER die Sache ganz anders befunden habe. Nicht nur, weil BERNOULLI bis dato noch keine Empfangsbestätigung für sein eigenes Mémoire erhielt, sondern vor allem auch

Fig. 18: Originalseite aus dem Manuskript über die «Grosse Ungleichung», das DANIEL BERNOULLI als Preisschrift für das Jahr 1749 der Académie Royale des Sciences de Paris einreichte und wofür er den zweiten Preis erhielt.





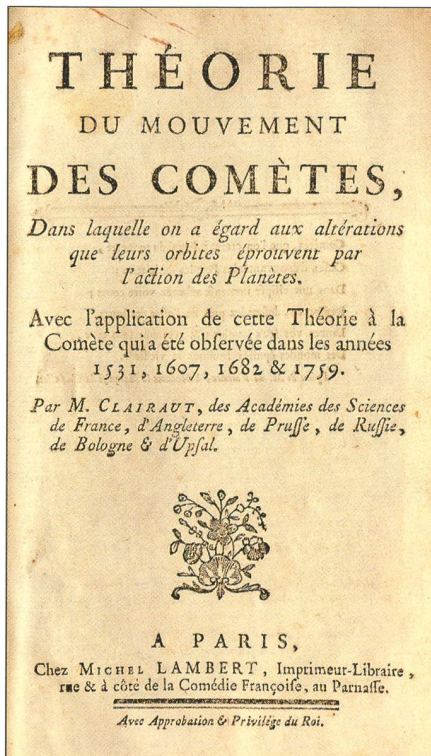


Fig. 19: Titelseite von CLAIRAUTS Arbeit zur numerischen Berechnung der Periheldurchgangszeit des Kometen Halley.

deshalb, weil er von EULERS glänzender Theorie beeindruckt gewesen sein musste, schrieb er im selbigen Brief etwas vergrämt, dass ihn der mutmassliche Verlust seines Mémoires nicht besonders gereue. EULER könne also diesmal doppelt sicher sein, den Preis nicht mit ihm teilen zu müssen. Es sollte sich erweisen, dass dies nicht der Grund war, weshalb EULER den Preis erhielt. BERNOULLIS Mémoire traf vor jenem EULERS in Paris ein und wurde unter der Nummer 1 kotiert. Nachdem BERNOULLI seine Abhandlung abgeschickt hatte, schilderte er EULER in den folgenden Briefen ausführlich seine Theorie und seine Resultate. Wir fassen seine Abhandlung sowie die relevanten Textstellen aus seinen Briefen an EULER zusammen.

Überzeugt davon, dass sein Mémoire verschiedene gute Teilstücke enthalte, legte DANIEL BERNOULLI im Brief an EULER vom 16. August noch einmal seine Ausgangslage dar. Nach reiflicher Erwägung aller Umstände halte er sich an die Hypothese, dass die Sonne in einem Punkt fixiert sei, gleich wie wenn ihre Masse eine unendliche Trägheit hätte. Danach betrachte er eine gewisse Konjunktion zwischen Sonne, Jupiter und Saturn, die er *erste Konjunktion* nenne. Für diese Konjunktion betrachte er die Geschwindigkeit des Saturn, dessen Ab-

stand von der Sonne und den Winkel zwischen der Tangente und dem Radiusvektor (das sind die sog. Anfangsbedingungen). Dann nenne er *natürliche Bahn* diejenige Bahn, welche Saturn gemäss der Keplerschen Hypothese ohne eine Einwirkung des Jupiters beschreiben würde. Auf diese natürliche Bahn beziehe er alle Störungen. (Man beachte, dass dies nicht mit der Voraussetzung in seinem Mémoire übereinstimmt, wo er die natürliche Bahn als kreisförmig und konzentrisch zur Sonne annahm.) Wären die Umlaufzeiten von Saturn und Jupiter genau im Verhältnis 5:2, so zeige er, dass nach drei aufeinanderfolgenden Konjunktionen die früheren Störungen wieder beginnen würden, und deshalb habe er seine Tafeln von der ersten bis zur vierten Konjunktion ausgedehnt. Nach dieser Periode würden sich die Exzentrizität, das Aphel und alles Übrige wieder herstellen. BERNOULLI leitet in seinem Mémoire zuerst eine Differentialgleichung zweiter Ordnung für die radiale Abweichung  $\alpha$  Saturns von seiner Kreisbahn her. Er nennt sie im Brief *numerische Fundamentalgleichung*. Diese Gleichung ist unter den getroffenen Annahmen nur näherungsweise gültig. Als unabhängige Variable führt er den heliozentrischen Winkel  $\sigma$  zwischen den beiden Planeten ein. Die Gleichung enthält aber auch die lineare Distanz  $z$  zwischen Jupiter und Saturn in der Form  $1/z$  und  $1/z^3$ . Nun beginnen die mathematischen bzw. numerischen Schwierigkeiten. Um diese Faktoren in Funktion von  $\sigma$  ausdrücken zu können, berechnet er zuerst die numerischen Werte von  $1/z$  und  $1/z^3$  in Intervallen zu  $10^\circ$ , ausgehend von der Konjunktion bis zur Opposition. Dann leitet er Interpolationsformeln her zur Bestimmung der dazwischenliegenden Werte in Potenzen von  $\sigma$  für die sechs  $30^\circ$ -Intervalle zwischen Konjunktion und Opposition. Dies führt ihn auf sechs Differentialgleichungen für  $\alpha$ , die er mit der Methode der unbestimmten Koeffizienten löst. Als Resultat erhält er Polynomausdrücke in  $\alpha$  als Funktion von Potenzen in  $\sigma$  und multipliziert mit numerischen Koeffizienten für jedes der sechs Intervalle. Jeder Fehler wirkt sich kumulativ aus, weil die Genauigkeit eines Ausdruckes für ein  $30^\circ$ -Intervall vom vorhergehenden abhängt. BERNOULLI bemerkt in seinem Brief an EULER, dass er gesehen habe, wie gefährlich es wäre, die Integration von Grad zu Grad auszuführen, da sich die Fehler masslos aufsummieren würden. Dies zeigt sich bereits bei der Elongation von  $180^\circ$ . An dieser Stelle bewegt sich Saturn (gemäss Rechnung) noch von der Sonne weg und die erste Ableitung  $d\alpha$  von  $\alpha$  ist

nicht Null. Trotzdem müssen die umfangreichen Rechnungen fortgesetzt werden, da noch kein Anzeichen irgend einer Periodizität erkennbar ist. Obwohl DANIEL BERNOULLI diese mühsame Arbeit am liebsten aufgegeben hätte, führt er sie dennoch zu Ende. Glücklicherweise fällt ihm ein Trick ein, mit dem er den Rechenaufwand verringern kann. Er wählt die Steigung  $d\alpha/d\sigma$  nach der  $180^\circ$ -Elongation derart, dass die radialen Abweichungen  $\alpha$  symmetrisch zu den vorhergehenden zu liegen kommen (das sind die sog. Randbedingungen). In seinem Brief schrieb BERNOULLI jedoch, er habe seine Fundamentalgleichung von  $30$  zu  $30$  Grad durch Approximation integriert und es so eingerichtet, dass die  $d\alpha/d\sigma$  vom Ende der vorangehenden Integration bis zum Anfang der nachfolgenden unter sich gleich seien. Tatsächlich bedeutet diese Massnahme nichts anderes, als dass Saturns Bahnkreis in eine exzentrische Lage bezüglich der Sonne verschoben wird. Dies hat jedoch zur Folge, dass er die dadurch entstandenen Änderungen im Bahnradius wieder berücksichtigen muss. Damit kann er aber die Werte von  $\alpha$  für die folgenden Intervalle einfacher berechnen. Figur 18 zeigt den Graphen von  $\alpha$  von der ersten Konjunktion ( $C'$ ) bis zur vierten ( $C''''$ ). Zur Interpretation der in die Figur eingetragenen numerischen Werte von  $\alpha$  ist anzumerken, dass BERNOULLI den Wert von  $1$  zu  $211$  für das Verhältnis der Kraft von Jupiter auf Saturn bezüglich jener der Sonne auf Saturn aus der zweiten Ausgabe von NEWTONS *Principia* entnahm. Die angegebenen Werte von  $\alpha$  sind, wenn durch  $211$  dividiert, in Bruchteilen des ursprünglich für Saturn angenommenen Kreisradius zu verstehen. Die gestrichelte Linie repräsentiert die als Folge der geforderten Randbedingungen stetige Fortsetzung der Abweichungen. In der vierten Konjunktion, etwa  $59$  bis  $60$  Jahre nach der ersten, sind sowohl  $\alpha$  als auch  $d\alpha$  fast Null. BERNOULLI glaubt daher, eine fundamentale Periode gefunden zu haben. Mit bekanntem  $\alpha$  kann er nun Saturns Bahngeschwindigkeit und somit die Positionen bezüglich des Jupiter berechnen.

DANIEL BERNOULLI war sich sehr wohl bewusst, dass die Annahme von Kreisbahnen in seinem Mémoire falsch war, glaubte jedoch, dass der Dissens zwischen seinen und EULERS Werten von den verschiedenen Methoden komme, den Übergang von einer Integration zur nächsten in Teilschritten zu vollziehen. Er erkannte nicht, dass unter der Voraussetzung von exzentrischen Kreisbahnen seine vermeintlich gefundene Periode verschwindet, obwohl ihn EULER vermutlich darauf aufmerksam gemacht



haben musste. Im nächsten Brief vom 22. September 1747 an EULER rechtfertigte sich BERNOULLI damit, dass er die Periode der Ungleichheiten nach drei aufeinanderfolgenden Konjunktionen, die EULER angreife, erst kürzlich in der Neuausgabe der *Institutions astronomiques* von LE MONNIER gelesen habe als etwas, das man aus Beobachtungen abgeleitet habe. In diesem Brief schien sich BERNOULLI der Unzulänglichkeiten seines Mémoires bewusst zu werden, insbesondere von der Annahme der Kreisbahnen. Dennoch: er fange an, von seiner Methode eine gute Meinung zu bekommen. Hätte er sich dazu entschliessen können, die Exzentrizitäten zu betrachten und die Approximationen näher auszugestalten, sei er sicher, dass er eine exakte Theorie gefunden haben würde. BERNOULLI glaubte, EULERS Einwand entkräften zu können, indem er ihn noch einmal darauf aufmerksam machte, dass sich die Störungen des Saturn (und daher BERNOULLIS vermeintlich gefundene Periode) nach seiner Theorie von einer Konjunktion zur nächsten auf die jeweilige natürliche Bahn bezögen. Bei seiner Theorie sei somit zu beachten, dass seine Gleichungen nicht so zu verstehen seien, als müssten oder könnten sie auf die bis heute herausgegebenen astronomischen Tafeln angewandt werden, da deren Grundannahmen nicht mit der Bewegung, die er die natürliche nenne, übereinstimmen würden. Denn zuerst müsse man die natürliche Bewegung berechnen, was man – wie er zeige – tun könne mittels mehrerer Beobachtungen, deren Zeiten man zuerst korrigieren müsse. Nachher müsse man Tafeln dieser natürlichen Bewegung konstruieren und dazu seine Gleichungen verwenden. Ob BERNOULLI nach diesem umständlichen Vorgehen seine Periode in LEMONNIERS *Institutions* auch wirklich bestätigt fand, bleibt dahingestellt. In einem Punkte hatte BERNOULLI allerdings völlig recht. Während er das Dreikörper-Problem rein numerisch zu lösen versuchte, strebte EULER, soweit es ging, stets eine analytische Lösung an. Diesen Zugang hielt BERNOULLI für problematisch, denn wollte man die Sonne als beweglich betrachten, so halte er die gewöhnliche (analytische) Methode für etwas schlüpfrig und er glaube fast, dass die ganze Mathematik in der Welt nicht ausreiche, um alle Ungleichheiten genau zu berechnen, weil es nicht erlaubt sei, die Theorien der Himmelskörper von einander zu trennen und es gleichsam unmöglich sei, die Ungleichheiten im ganzen gleichzeitig betrachteten System zu bestimmen. Was BERNOULLI hier vermutete, ist jedoch nicht die Tatsache, dass das Dreikörper-Problem



Fig. 20: DANIEL BERNOULLI zur Zeit des Erscheinens des Kometen Halley.

analytisch überhaupt nicht exakt lösbar ist, sondern er brachte damit zum Ausdruck, dass das Problem seine Fähigkeiten überstieg. Ein «Unmöglichkeitsbeweis» wurde erst viel später erbracht. BERNOULLI musste die Mängel in seinem Mémoire erkannt haben, denn im folgenden Brief vom 9. März 1748 an EULER gestand er, dass ihm die Theorie des Saturn noch viel zu schaffen mache. Er könne nicht begreifen, wie EULER mit der Annahme einer festen Sonne eine Gleichung von nur 9' finden könne, wo er auf etwas mehr als 30' komme. Wäre ihm EULERS Tiefgang nicht so gut bekannt, so würde er meinen, EULER hätte seine Integrationsmethode nicht den Umständen angepasst. Er sei neugierig darauf, wo er einen Fehler gemacht habe, und er wünsche, dass sein Mémoire anonym gedruckt würde, damit ihn EULER korrigieren könne. Noch einmal versuchte BERNOULLI in einem Brief vom Juli 1748 EULER von den Vorteilen

seiner Theorie zu überzeugen. Mit der Hypothese, dass die Sonne vollkommen still steht und also eine gleichsam unendliche Trägheit hat, berechnete er eine Tafel, die Korrekturterme in Abhängigkeit von den Elongationen zwischen Jupiter und Saturn enthält. Die aufgeführten zeitlichen Terme entsprechen Korrekturen in der mittleren Bewegung des Saturn, die bezüglich einer beliebig wählbaren ersten Konjunktion angebracht werden müssen. BERNOULLI beklagte sich in diesem Brief, dass er seine Theorie mangels Beobachtungen nicht mit der tatsächlichen Bewegung des Saturn vergleichen konnte. Wie er im nächsten Brief an EULER vom 3. September 1748 berichtete, habe man ihn sehr ermutigt, zu seinem Mémoire über den Saturn noch einen Kommentar zu verfassen, doch könne er sich nicht dazu entschliessen. Um eine sichere Theorie bilden zu können, sollte man viele Irregularitäten aus Beobachtungen



bestimmt haben, um sehen zu können, ob die Theorie damit übereinstimmen würde, da doch die Astronomen von diesen Ungleichheiten nur vage reden würden. Käme es nur auf die rein mathematischen Berechnungen an, würde er sich schon zutrauen, nach verschiedenen Hypothesen alles auszurechnen und zu ermitteln, welche Hypothese mit der Natur übereinstimme.

Vielleicht beabsichtigte er sogar, diese Arbeit unter realistischeren Annahmen zu wiederholen. In einem im Jahre 1749 verfassten Brief an EULER schrieb er jedoch entmutigt, dass er viel weniger Hoffnung habe denn je, die Irregularitäten des Saturn mittels mechanischer Prinzipien eruieren zu können. Er könne aber EULER versichern, dass er genügend Einsicht in diese Materie habe, um die Hoffnung zu hegen, mit gleicher Mühe ebensoviel wie Andere herausbringen zu können. Eine exakte Lösung sei unmöglich, und alle Approximationen seien so gefährlich, dass es unüberwindliche Anstrengungen erforderte, die Irregularitäten mit hinreichender Genauigkeit und Gewissheit bestimmen zu können. Er wundere sich sogar (zu Recht!) über EULER, dessen Autorität er sonst sehr respektiere, dass EULER mit so grossem Vertrauen beanspruche, dieses Problem mit äusserster Präzision gelöst zu haben. Im Brief vom 26. Januar 1750 kritisierte BERNOULLI EULERS Preisschrift und liess gleichzeitig die Enttäuschung über sein eigenes Scheitern deutlich erkennen. Der Brief gibt Zeugnis eines sehr unzufriedenen DANIEL BERNOULLI, der sich als Rechtfertigung seines Scheiterns dazu verleiten liess, EULERS Arbeit – nicht immer zu Recht – zu disqualifizieren. Er habe EULERS Mémoire über den Saturn gesehen und es flüchtig gelesen. Dieser Gegenstand würde ihm schier zum Hals heraushängen, sonst hätte er es mit aller Aufmerksamkeit gelesen. Er hätte darin viel vortreffliche Kunstfertigkeit bemerkt, doch im Wesentlichen glaube er, dass notwendigerweise Fehlschlüsse darin versteckt sein müssten. Unter der Hypothese der Nichtexzentrizität halte er es für gewiss, dass die Ungleichheiten nicht von der einfachen Elongation abhängen noch nach den einzelnen Konjunktionen wiederkehren würden. Wäre dies der Fall, so wäre seine Arbeit zu 90% leichter geworden. Doch es sei gewiss nicht so, sondern die Periode der Ungleichheiten betrage drei Konjunktionen, und auch dann nur in Näherung. Auch seien die Ungleichheiten unter dieser Hypothese sicher viel grösser als EULER meinte. Ferner sei es unbegreiflich, dass die Exzentrizität eine so grosse Wirkung zeitigen könne – die blossе Vorstellung sei

schockierend. In Paris gestehe man nun ein, dass sich seine Theorie besser halten liesse als jene von EULER, und seine Freunde hätten alles versucht, damit er wieder konkurreiere, doch die mühseligen Arbeiten seien nichts für ihn. Er glaube nun einmal, dass es nicht möglich sei, dem Problem anders als schrittweise (d.h. durch numerische Integration) gerecht zu werden, weil die Ungleichheiten von den von beiden Planeten beschriebenen Bogen und allen Bahnelementen dieser zwei durchlaufenden Bogen abhängen würden. Wollte man eine allgemeine Reihe bilden (wie EULER dies zu bevorzugen pflegte), so müsste diese durch alle Dimensionen von beiden Bogen und nicht eines einzigen allein laufen. Er glaube noch immer, dass etwas in EULERS Approximationen stecke, das nicht richtig sei. EULER solle alles nochmals mit grösster Aufmerksamkeit und Skepsis untersuchen, denn niemand in der Welt könne dies tun ausser EULER selbst. Für seine eigene Arbeit könne BERNOULLI nicht garantieren, da er eine Methode verwendet habe, wo ein einziger numerischer Fehler alles zunichte machen würde, aber diese seine Methode halte er für unfehlbar. Er hätte auch die Rückwirkung auf die Sonne nicht vernachlässigen dürfen, wie er es getan habe, bloss um seine bereits ausgeführten Rechnungen nicht wiederholen zu müssen. Schliesslich solle EULER ihm nicht übel nehmen, dass er so frei rede und sich diesmal so viel herausnehme. Das geschehe gewiss, ohne die Verehrung zu verletzen, die er für EULERS Verdienste – besonders in der reinen Mathematik – habe.

Beide Abhandlungen, jene von DANIEL BERNOULLI wie auch jene von LEONHARD EULER, haben ihre Mängel, enthalten aber auch fruchtbare Ideen. Beide mussten mit Näherungen und Vereinfachungen arbeiten, um das Problem meistern zu können. Während die Approximationen bei EULER in seinen Reihenentwicklungen zu suchen sind, liegen sie bei BERNOULLI in seinen unglücklich gewählten Anfangs- sowie in den Tücken und Folgen seiner Randbedingungen. Während EULER in seiner Arbeit geniale mathematische Methoden entwickelte, erkannte BERNOULLI die Bedeutung der numerischen Integration. Beides sollte sich für die künftige Himmelsmechanik in der allgemeinen und speziellen Störungsrechnung als äusserst fruchtbar erweisen. Wie bereits erwähnt, war CLAIRAUT nicht umsonst beeindruckt von BERNOULLIS Preisschrift. Vermutlich nahm CLAIRAUT aufgrund dieser Arbeit die Idee auf, mit Hilfe der numerischen Integration die im März 1759 erwartete Periheldurchgangszeit des Halleyschen

Kometen zu berechnen. Er führte zusammen mit LALANDE und Madame LEPAUTE die erste umfangreiche numerische Integration durch und konnte die Periheldurchgangszeit auf einen Monat genau bestimmen. Dass zu jenen Zeiten eine numerische Integration (trotz bescheidener Genauigkeit) mit immenser Rechenarbeit verbunden war, belegt nicht nur DANIEL BERNOULLIS Versuch, sondern auch die Tatsache, dass CLAIRAUT seine Resultate erst nach mehrjähriger Rechenzeit im Jahre 1761 publizieren konnte, zwei Jahre nach Erscheinen des Kometen (Figur 19). Der von DANIEL BERNOULLI (Figur 20) gewählte Zugang sollte sich jedoch im Kindergarten des Sonnensystems erst mit der Erfindung der Rechenmaschinen für die Himmelsmechanik als äusserst nützlich und effizient erweisen.

Der Vollständigkeit halber erwähnen wir noch jene Arbeiten von DANIEL BERNOULLI, die ebenfalls dem Gebiet der Himmelsmechanik zugeordnet werden können. Es sind dies die in Paris im Jahre 1741 gedruckte Preisschrift *Traité sur le Flux et Reflux de la Mer* für das Jahr 1740 sowie die für den Preis des Jahres 1728 eingereichte, aber unveröffentlichte Abhandlung *Discours sur la cause et la nature de la pesanteur*.

### Verdankung

Der Verfasser dankt den Herren Prof. Dr. PAUL WILD und Prof. Dr. GERHARD BEUTLER vom Astronomischen Institut der Universität Bern sowie Dr. EMIL A. FELLMANN vom Euler-Archiv in Basel für die Durchsicht des Manuskriptes und speziell dem Letztgenannten für die Erlaubnis, dass Inhalte und paraphrastische Übersetzungen aus dem Briefwechsel zwischen LEONHARD EULER und DANIEL BERNOULLI verwendet werden durften. Dieser Briefwechsel wird zur Zeit von E. A. FELLMANN und G. K. MIKHAILOV bearbeitet und in den sämtlichen Werken EULERS (*Leonhardi Euleri Opera Omnia*, Vol. IV A 3) herausgegeben.

DR. ANDREAS VERDUN

Astronomisches Institut, Universität Bern  
Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern

### Bibliographie

- STRAUB, H.: *Bernoulli, Daniel*. In: Gillispie, C. C. (ed.): *Dictionary of Scientific Biography*. New York, Scribner's Sons 1970, Vol. 2, p. 36–46.  
SPEISER, D. et al.: *Die gesammelten Werke der Mathematiker und Physiker der Familie Bernoulli*. Die Werke von Daniel Bernoulli. Band 1. Basel / Boston / Berlin, Birkhäuser Verlag 1996.  
WILSON, C.: *The problem of perturbation analytically treated: EULER, CLAIRAUT, D'ALEMBERT*. In: TATON, R. / WILSON, C.: *The General History of Astronomy*. Cambridge, Cambridge University Press 1995, Vol. 2B, S. 89 – 107.



## Les Potins d'Uranie

La Tour de 300 mètres...  
et la Coupole du 200 francs

AL NATH

Au cours de mes multiples pérégrinations de par le monde, et parfois dans des endroits peu fréquentés par des étrangers, un nom s'est imposé comme celui d'un homme, ou plutôt d'une entreprise, ayant laissé une marque durable, en tout cas remarquable pour son époque, de par la diversité des ouvrages d'art construits.

Beaucoup de ceux-ci sont encore parfaitement opérationnels de nos jours en différents points du globe.

A votre avis, qui proposait à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle des ponts et des églises métalliques sur catalogue et les envoyait en kits montables aux divers coins de la planète (Pérou, Philippines, Mexique, etc.)? On retrouve notamment l'une de ces égli-

ses à Arica à la frontière nord du Chili<sup>1</sup>. La douane et le môle du port d'Arica furent aussi du même constructeur.

On doit aussi à la même entreprise un certain nombre d'usines à gaz (dont celle de La Paz en Bolivie [1873-74]), de gares (dont celle de Pest en Hongrie [1875-77]), ou encore celles de San Sebastian et de Santander en Espagne [1879-80]), de marchés couverts (comme celui des Capucins à Bordeaux [1882]), de halls d'accueil (comme celui de l'Exposition Universelle de Paris en 1878 ou celui du Crédit Lyonnais à Paris [1881]).

*Vous ne voyez toujours pas?*

Si on y ajoute la construction d'une statue offerte par la France aux Etats-Unis d'Amérique et d'une tour que notre homme appelait «de 300 mètres» de haut pour l'Exposition Universelle de Paris en 1889, vous aurez probablement deviné maintenant qu'il s'agit de GUSTAVE EIFFEL (1832-1923) et de son entreprise, devenue à sa mort les Ateliers de Levallois-Perret. La statue en question est celle de la «Liberté éclairant le monde» se trouvant actuellement en rade de New York et construite en 1881-1886. Le montage de la Tour s'étala de 1884 à 1889 et valut à Eiffel son surnom de «magicien du fer».

D'innombrables ponts se retrouvent en France évidemment, mais aussi en Espagne, au Portugal, en Amérique du Sud, au Tonkin, aux Philippines, etc. Les plus célèbres de ses ponts – et remarquables pour leur élégance aérée – sont probablement le Viaduc de Garabit<sup>2</sup> (France, 1879-80) et le Pont Maria Pia sur le Douro au Portugal (1875-1877).

La diversité des réalisations peut aussi s'illustrer par le port de Djemma (Algérie, 1979-80), les portes des écluses du projet français du Canal de Panama<sup>3</sup> (1887), un projet de Tunnel sous la Manche (1890) et un prototype d'avion métallique (1917).

Eiffel s'intéressa beaucoup à l'aérodynamique sur la fin de sa vie. En 1912, il créa à cet effet un laboratoire qu'il légua à l'état en 1921.

GUSTAVE EIFFEL descendait d'un émigré rhénan établi à Paris vers 1710, du nom de Boenickhausen auquel il avait adjoint celui de Eiffel, plus facile à pro-

La Plaza Colón et l'église San Marcos d'Arica (Chili) en 1980. L'église métallique est due à GUSTAVE EIFFEL.



<sup>1</sup> Au Pérou lors de son érection en 1872-73, la Guerre du Pacifique de 1879 venant ensuite chambouler les frontières dans la région.

<sup>2</sup> Longtemps le pont le plus élevé du monde, à 120 mètres au-dessus de la rivière.

<sup>3</sup> Abandonné et terminé en désastre financier et humain. Les états-Unis reprirent ultérieurement l'initiative avec succès.



noncer et qui rappelait sa région d'origine<sup>4</sup>. Ce nom additionnel ne devint le seul patronyme légal de la famille qu'en 1879.

Passons sur les détails de la vie personnelle d'Eiffel et arrêtons-nous un peu sur son aspect professionnel. Son entreprise, toute impressionnante qu'elle ait été, ne fut jamais la plus importante du pays. Elle resta aux environs du septième rang.

Mais ce qui distingua Eiffel, ce furent sa capacité supérieure d'innovation, sa faculté de s'entourer de collaborateurs de premier ordre, son sens aiguisé des relations commerciales, l'art de soigner sa propre publicité et, *last but not least*, ses extraordinaires qualités d'organisateur et de gestionnaire. En d'autres termes, il fut un homme d'affaires au sens moderne du terme, un digne meneur de talents et un meneur d'hommes.

A noter que l'innovation d'Eiffel se révéla surtout lors des grands concours ou dans des circonstances exceptionnelles. Les produits de routine étaient conçus et montés de façon très classique, tout en assurant des rentrées régulières et assurées pour l'entreprise.

*Pourquoi parler d'Eiffel dans une revue astronomique?*

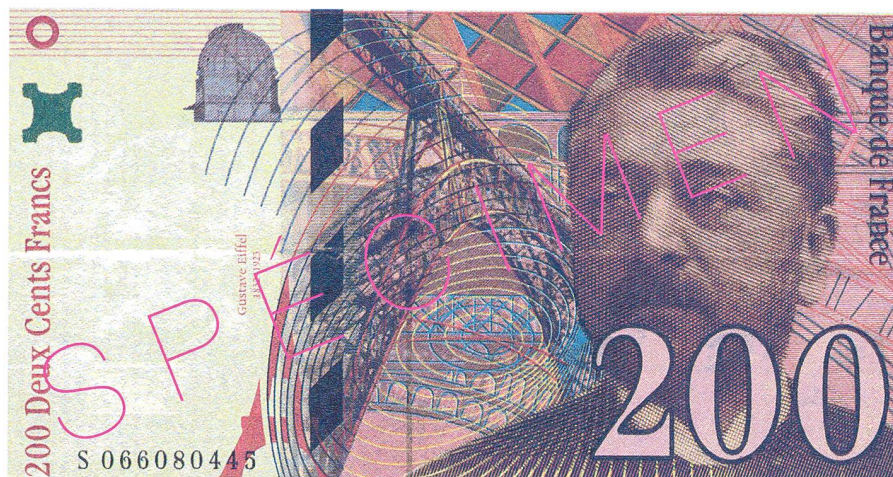
Et bien, parce que, comme évoqué sur le billet de 200 francs français consacré à l'entrepreneur, il construisit également une coupole astronomique, et pas n'importe laquelle puisqu'il s'agit de celle de l'Observatoire de Nice sur le Mont Gros.

L'histoire de cette coupole remonte à RAPHAËL BISCHOFFSHEIM (1823-1906), un banquier fortuné d'origine hollandaise. Mécène de l'astronomie, il avait déjà fait don à l'Observatoire de Paris d'un cercle méridien et d'un équatorial. En 1879, il exprima le souhait d'élever à la science française un monument durable et digne d'elle.

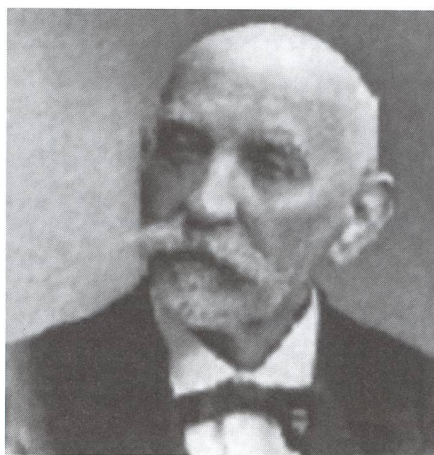
Il pensait à une coupole de plus de vingt mètres de diamètre, pesant une centaine de tonnes et abritant la plus grande lunette à monture équatoriale de l'époque.

Le Mont Gros, aux abords immédiats de Nice fut retenu dès 1881 pour la qualité de son ciel.

Bischoffsheim dota le projet d'une riche bibliothèque et s'entoura de personnes compétentes: pour ce qui est du bâtiment, il s'adressa à CHARLES GARNIER (1825-1898) à qui l'on doit divers édifices, dont l'Opéra de Paris. A son tour, Garnier se tourna vers Eiffel pour la coiffe (montée en 1885-86).



Le billet de 200 francs français avec l'évocation de GUSTAVE EIFFEL (1832-1923), du Viaduc de Garabit et de la coupole de l'Observatoire de Nice.



RAPHAËL BISCHOFFSHEIM (1823-1906), mécène de l'Observatoire de Nice.

Pour une étude antérieure dont il s'était vu refuser l'adjudication de justesse, Eiffel avait déjà fait breveter un concept novateur: faire flotter une coupole sur une solution incongelable (eau additionnée de chlorure de magnésium) au lieu de la faire pivoter sur des roues ou des galets. C'est ce qu'il utilisa pour cette coupole de 22,40 m de diamètre de l'Observatoire de Nice qui héberge une lunette de 76 cm d'ouverture et d'une longueur sur équatorial de 18 m.

Elle inspira à CAMILLE FLAMMARION l'une de ses envolées dont il était coutumier (*L'Astronomie*, 6 juin 1885): «Cet-te merveille flottante surpasse de 2 mètres celle du Panthéon. La main d'une Parisienne peut la faire tourner à l'aide d'un petit treuil.».

Il existe sur Eiffel et sur son entreprise une volumineuse, mais très inégale, littérature.

Beaucoup d'ouvrages sont évidemment centrés sur sa construction de la Tour Eiffel de Paris et accessoirement sur celle de la Statue de la Liberté de New York.

La plupart des auteurs parlent peu de l'entrepreneur et du contexte général de ses activités.

Voici pourtant une bonne recommandation de lecture complémentaire qu'il vous faudra trouver dans une bibliothèque bien fournie car l'ouvrage est depuis longtemps épuisé dans le commerce: *Gustave Eiffel*, par BERTRAND LEMOINE, publié chez Fernand Hazan à Paris en 1984.

Les 138 pages sont richement illustrées (en noir et blanc) et comportent plusieurs tableaux récapitulatifs (chronologie de la vie d'Eiffel, liste de ses réalisations, etc.), ainsi qu'une bibliographie complémentaire.

AL NATH

## ICSO 2000

### Colloque International sur l'Optique Spatiale

Centre de Congrès Diagona  
Toulouse Labège - France

5-6-7 décembre 2000

*L'Annonce et Appel à Communications*

Une mise à jour des informations  
concernant le colloque est accessible  
sur Internet à l'adresse suivante:

<http://www.cnes.fr/colloque>

<sup>4</sup> Limitrophe de la Belgique et en fait orthographiée Eiffel.



## Donation Pesek à l'Observatoire de Genève

NOËL CRAMER

Nous avons parlé dans les deux premiers numéros 2000 de notre revue (296, février et 297, avril) du décès et de l'œuvre du peintre LUDEK PESEK dont les tableaux de caractère astronomique ont acquis une célébrité mondiale.

Parmi ses innombrables représentations quasi-photographiques et d'un réalisme savamment interprété de paysages qui nous sont encore inaccessibles sur les autres mondes du système solaire, se distinguent celles de la surface martienne (voir **ORION** 257, 1993). L'artiste a consacré de nombreux tableaux à cette planète voisine au cours de sa carrière, mais la culmination de son talent d'illustrateur s'exprime dans une série d'une trentaine d'huiles sur panneau exécutées sur mandat du *National Geographic Magazine* et de la *Smithsonian Institution* – *National Air and Space Museum* à Washington vers la fin des années 1970. La planète venait d'être visitée par la sonde orbitale Mariner 9 et les deux missions combinées Viking 1 et Viking 2. Les paysages martiens peints par LUDEK PESEK à cette occasion tiennent méticuleusement compte des connaissances acquises par ces missions spatiales et sont encore considérées comme étant les représentations artistiques les plus précises et, surtout, esthétiquement les plus belles de la surface martienne.

Peu avant sa mort en décembre 1999, l'artiste avait proposé en donation 21 des œuvres précitées à la *Smithsonian Institution*. Ces tableaux se trou-



*Vestiges de rivages d'un bassin fluvial ou lacustre. Les sondes orbitales des années 1970 ont révélé de telles formations en terrasses. Les images plus récentes et bien plus détaillées faites par Mars Global Surveyor montrent que ces structures topographiques sont moins prononcées que sur cette illustration.*

vent maintenant à Washington où ils seront bientôt exposés de manière permanente dans leur contexte et pourront être contemplés par le public qui s'intéresse à l'histoire de la découverte du système solaire.

La veuve de l'artiste, BEATRICE PESEK, soucieuse de perpétuer le souvenir de son mari en s'assurant que ses œuvres encore disponibles soient conservées en des lieux où elles seront appréciées et mises en valeur, vient de faire donation de deux des tableaux restants de la série martienne à *L'Observatoire de Genève*. Ces deux œuvres, reproduites ici, illustrent la vision que l'on avait acquis de la

planète Mars grâce à l'imagerie des missions de la NASA dans les années 1970 : d'occasionnelles grandes tempêtes de poussière se propageant sur des centaines de kilomètres, déversant sur leur front des nuages en forme d'entonnoir – d'importants réseaux de canyons bien plus profonds que sur Terre – des vestiges de ce qui ressemble à des bassins océaniques et des cours d'eau – d'immenses volcans – des calottes polaires finement structurées.

Les deux tableaux offerts par Mme PESEK ont une valeur inestimable en vertu de leur étroite association avec l'histoire de l'exploration de la planète Mars par des sondes automatiques. Ils seront ainsi enfin exposés en un site bien approprié où ils pourront être admirés par les quelque 2000 personnes qui visitent l'Observatoire chaque année.

NOËL CRAMER

Observatoire de Genève

Ch. des Maillettes 51, CH-1290 Sauvigny



*Arrivée du front d'une tempête de poussière sur un canyon martien. La morphologie dramatique, inquiétante, des nuages précurseurs correspond bien à ce qui a été observé par les sondes orbitales.*



## Die zwei grossen Planeten kehren an den Abendhimmel zurück

# Jupiter und Saturn beherrschen den Herbsthimmel

THOMAS BAER

Jupiter und Saturn bauen ihre Abendsichtbarkeit im letzten Jahresviertel deutlich aus. Musste man im Sommer noch früh aufstehen, um das Planetenpaar zu beobachten, so verlagern sich die Aufgangszeiten im Herbst langsam in die Abendstunden hinein. Die Oppositionen der zwei Gasriesen stehen unmittelbar bevor, was ein Ende der langen «planetenlosen» Phase einleitet. Auch Venus – wenngleich noch nicht sonderlich auffällig – setzt sich im Oktober 2000 gemächlich am Abendhimmel durch und erreicht Ende Monat eine Helligkeit von –4 mag.

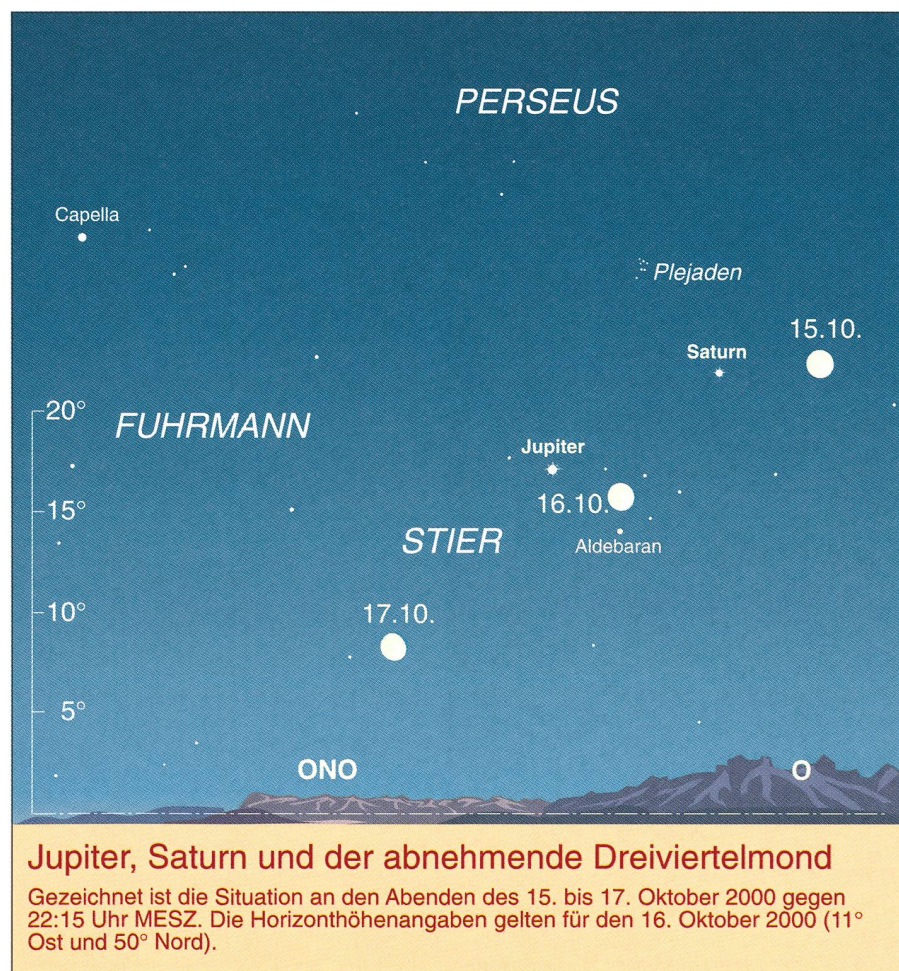
Das legendäre Königsgestirn **Jupiter** und **Saturn** – unlängst hätte man eine weitere Auflage des «Sterns von Bethlehem» verfolgen können – hält sich noch immer im Bereich des Sternbildes Stier auf. Jupiter verzögerte seine rechtläufige Bewegung bereits im letzten September-Drittel und setzte ab dem 29. zur Oppositionsschleife an. Bereits am 7. September 2000 passierte der –2.6 mag helle Planet in 5° nördli-

chem Abstand den rötlich funkelnden Aldebaran, dem er auch auf seiner rückläufigen Fahrt vor dem Sternenhintergrund im letzten Oktober-Drittel noch einmal begegnet. Dass die Opposition nicht mehr fern ist, äussert sich durch den weiteren Helligkeitsanstieg des Planeten, womit Jupiter neben der längst untergegangenen Venus den herbstlichen Nachthimmel dominiert. Von Oktober bis Anfang Dezember

2000 verfrühen sich die Aufgänge Jupiters stetig. Geht er am 1. Oktober 2000 noch um 21:39 Uhr MESZ auf, erscheint er am 1. November 2000 bereits gegen 18:32 Uhr MEZ und einen Monat später schon um 16:21 Uhr MEZ. In der Nacht vom 16. auf den 17. Oktober 2000 wandert der abnehmende Dreiviertelmond zum wiederholten Male mitten durch die Hyadensterngruppe und stattet damit dem Planetenpaar einen weiteren Besuch ab (vgl. Figur 1). Im November 2000 beschleunigt Jupiter seine rückläufige Bewegung merklich, strebt abermals auf das Goldene Tor der Ekliptik zu und gelangt am 28. November 2000 in den Gegenschein der Sonne. Am Tag seiner Opposition geht der –2.9 mag helle Planet um 16:34 Uhr MEZ auf, kulminiert um 00:10 Uhr MEZ in einer Höhe von 63,2° und geht am darauffolgenden Morgen um 07:50 Uhr MEZ im Westnordwesten wieder unter.

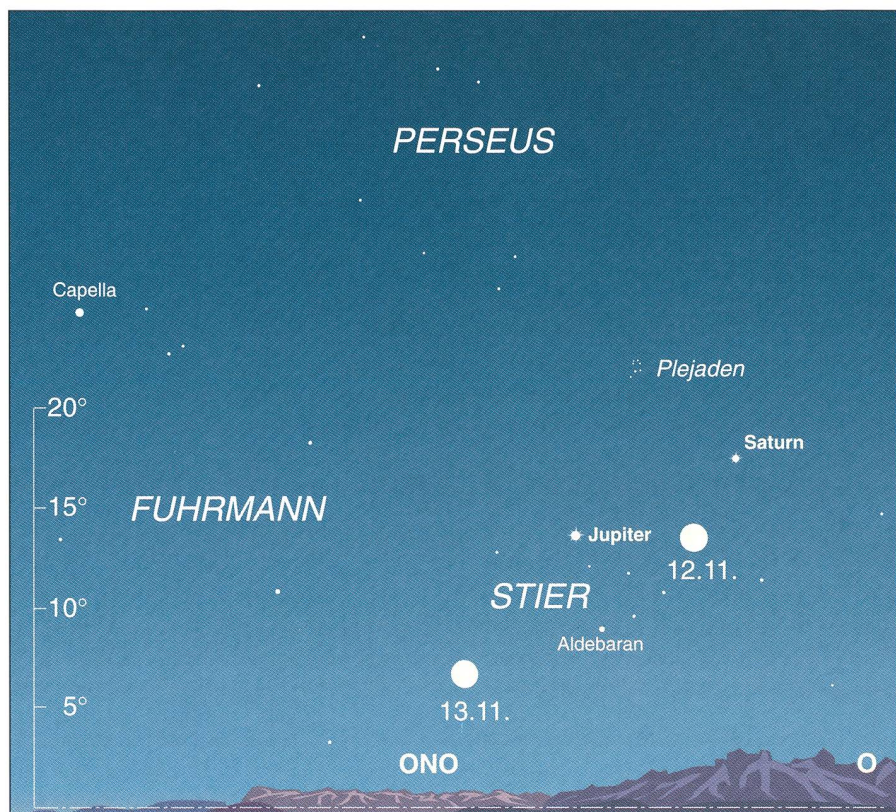
Fast synchron folgt Saturn seinem leuchtkräftigeren Nachbarn. Auch er beginnt im Oktober rückläufig durch den Stier zu wandern, allerdings weiter westlich als Jupiter. Der Ringplanet steigert in dieser Phase ebenfalls seine Helligkeit, die Ende Monat bereits –0.3 mag erreicht. Damit ist Saturn nach Venus, Jupiter und Sirius im Grossen Hund das vierthellste Gestirn am Nachthimmel. Er geht früher auf als Jupiter und zwar gegen 21:13 Uhr MESZ am 1. Oktober 2000, um 18:06 Uhr MEZ am 1. November 2000 und bereits um 15:57 Uhr MEZ am 1. Dezember 2000. Saturns Opposition fällt dieses Jahr auf den 19. November. An diesem Tag sehen wir ihn südlich der Plejaden, gewissermassen an der Schwelle zum Goldenen Tor der Ekliptik. Zur Opposition steigert Saturn seine Helligkeit auf –0.4 mag, was auf die schon relativ grosse Ringöffnung von 24° zurückzuführen ist. Nicht immer erscheint der Ringplanet derart hell.

**Venus** tut sich in den Herbstmonaten nach wie vor schwer, sich leuchtkräftig am Abendhimmel durchzusetzen. Schuld an der Situation sind einerseits die in dieser Jahreszeit sehr flach über den Horizont verlaufende «Abend»-Ekliptik und die südliche Deklination des Planeten. Unser innere Nachbarplanet hält sich nämlich in den



Jupiter und Saturn bilden ein fotogenes Planetenpaar. In einer sternreichen Gegend, zwischen den beiden offenen Sternhaufen Plejaden und Hyaden, zeichnen sie ihre Bahnen an den Himmel. Vom 15. bis 17. Oktober 2000 ist auch unser Mond in diesen Gefilden zu sehen.  
(Grafik: THOMAS BAER)





### Jupiter, Saturn und der noch fast volle Mond

Gezeichnet ist die Situation an den Abenden des 12. und 13. November 2000 gegen 19:00 Uhr MEZ. Die Horizonthöhenangaben gelten für den 12. November 2000 (11° Ost und 50° Nord).

Einmal hat der Mond die Erde umkreist, denn er taucht wieder im Sternbild Stier auf. Dieses Mal ist er allerdings noch fast voll beleuchtet, weshalb man die lichtschwächeren Hyaden- und Plejadensterne auf den ersten Blick wohl kaum sieht. Jupiter und Saturn streben ihren Oppositionsterminen entgegen und strahlen daher in vollem Glanze.

(Grafik: THOMAS BAER)

tergang sehen. Im November verlässt sie den Schlangenträger und wechselt in den Schützen, wobei sie am 23. etwa 1° nördlich am Stern  $\sigma$  Sagittarii (Nunki) vorbeiwandert. Ein besonders reizvoller Anblick bietet der Abend des 29. November 2000, wenn die junge Mondsichel auf Venus trifft.

Der rote Planet **Mars** bleibt auch in den Berichtmonaten ein eher unauffälliges Objekt, obwohl er im November seine Helligkeit minim steigert. Er ist am Morgenhimmel aufzufinden, und zwar im Sternbild der Jungfrau.

Ebenfalls am November-Morgenhimmel können wir den flinken Sonnenbegleiter **Mercur** beobachten. Ab dem 5. beginnt seine diesjährig beste Morgensichtbarkeit, welche bis in den Dezember hinein dauert. Bereits am 8. kann man mit Aussicht auf Erfolg nach dem Planeten Ausschau halten. Seine Helligkeitskurve sinkt in negative Werte ab (-0.5 respektive -0.7 mag), was Mercur hilft, sich gegen die horizontnahen Dunst- oder Nebelschichten durchzusetzen.

THOMAS BAER

Astronomische Gesellschaft  
Zürcher Unterland  
CH-8424 Embrach

Sternbildern Waage, Skorpion und Schlangenträger auf, was ihm kaum einen Höhengewinn über dem Südwesthorizont einbringt. So ist es weiter nicht erstaunlich, dass die Venusuntergänge relativ früh erfolgen. Am 1. Oktober 2000 verschwindet der -4.0 mag helle

Glanzpunkt bereits um 20:04 Uhr MESZ, am 1. November um 18:45 Uhr MEZ und am 1. Dezember 2000 gegen 19:27 Uhr MEZ. Da in derselben Periode aber auch die Dämmerung immer früher einsetzt, kann man Venus immerhin etwa zweieinhalb Stunden lang nach Sonnenun-

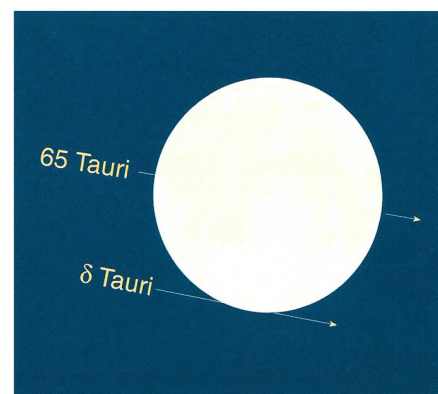
## Sternbedeckungen bei Hyaden-Durchgang

THOMAS BAER

In der Nacht vom 12. auf den 13. November 2000 bedeckt der noch fast volle Mond die beiden Sterne  $\delta$  und 68 Tauri. Diese Objekte befinden sich in der Hyaden-Sterngruppe, die der Mond auf seinem monatlichen Lauf um die Erde abermals trifft. Da wir nur zwei Tage nach Vollmond stehen, dürften die Bedeckungen nur teleskopisch zu beobachten sein.  $\delta$  Tauri (3.9 mag hell) wird um 03:33.2 Uhr MEZ vom hellen Mondrand im südlichen Bereich bei Pw = 148° erfasst. Der Austritt am sehr schmalen dunklen Rand erfolgt nur 22 Minuten später um 03:54.8 Uhr MEZ. 68

Tauri, ein Stern 4. Grössenklasse, gerät um 04:36.0 Uhr MEZ hinter die Mondscheibe, um gegen 05:41.4 Uhr MEZ wieder unversehrt am anderen Mondrand auszutreten.

Am 15. November 2000 um 22:49.1 Uhr MEZ wird auch noch Zwillingstern  $\delta$  Geminorum (Wasat) vom Trabanten bedeckt. Entlang einer nördlichen Grenzlinie Karlsruhe – Plauen – Dresden verläuft die Bedeckung bei Pw. 356° streifend. In Zürich hingegen kommt es zu einer vollen Bedeckung, die allerdings nur kurz, nämlich bis 23:09.8 Uhr MEZ, währt. Die nächste Bedeckung



dieses Sterns werden wir dann am Abend der totalen Mondfinsternis am 9. Januar 2001 mitverfolgen können.

THOMAS BAER

Astronomische Gesellschaft Zürcher Unterland  
CH-8424 Embrach



## Desintegration des Kometen «Linear S4»

Himmelsdrama in der  
Abenddämmerung

MARKUS GRIESSER

Dramatische Entwicklung am hochsommerlichen Dämmerungshimmel: Am Mittwochabend, 26. Juli 2000, beobachteten die an diesem prächtigen Ferienabend anwesenden zahlreichen Gäste der Winterthurer Sternwarte Eschenberg neben anderen Himmelserscheinungen der Saison auch den über die regionalen Medien vorangekündigten Kometen C/1999 «Linear S4». Zum ausserordentlichen Beobachtungsangebot gehörte auf dem Winterthurer Hausberg ausnahmsweise eine Präsentation des Himmelsva- gabunden samt seiner Bewegung vor dem Sternhintergrund in fortlaufend live abgespeicherten elektronischen Aufnahmen direkt am Computer-Monitor. Was die Winterthurer Sterngucker und ihre Gäste zu diesem Zeitpunkt aber noch nicht wussten: Mit grosser Wahrscheinlichkeit sahen sie einen sterbenden Kometen!

Auflösung des Kometenkerns Astro- nomen des Instituto de Astrofisica de Canarias in der Nähe von Las Palmas (Kanarische Inseln, Spanien) haben nämlich kurz am Vorabend mit dem 1-Meter-«Jacobus Kapteyn» – Telescope

einen dramatischen Helligkeitsrück- gang und zugleich eine ungewöhnliche Verformung des Kometenkopfes regi- striert. Im Gegensatz zum Kometen Shoemaker-Levy 9, der 1994 auf Jupiter abgestürzt ist, scheint aber der Komet Linear S4 nicht in einzelne Fragmente zerbrochen zu sein. Die ersten Beobach- tungen deuteten vielmehr darauf hin, dass der Komet im sonnenächsten Punkt, den er am Sonntag, 22. Juli, durchlaufen hat, mit seiner kompletten

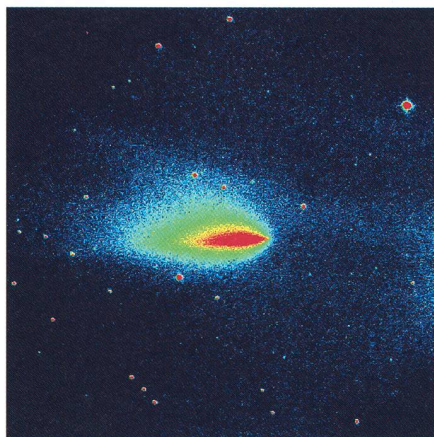
Auflösung begonnen hat. Die auch in den Aufnahmen der Winterthurer Stern- warte Eschenberg erkennbare Tränen- form wurde jedenfalls vom Fachastro- nomen und Entdecker DR. MARK KIDGER mit dem Beginn seiner Desintegration gedeutet.

Männiglich war natürlich gespannt, wie sich diese nun plötzlich dramati- sche Kometengeschichte weiter entwik- keln würde. Leider war aber für uns die Zeitspanne, um «Linear» am Abendhim- mel weiter zu verfolgen, sehr begrenzt.

Immerhin gelang in Winterthur am 30. Juli noch ein Abschiedsfoto des ster- benden Kometen; am Abend des 1. Au- gust wurde dann das leider schon in die Dämmerung eingerückte Himmels- schauspiel durch überreichliche irdi- sche Konkurrenz ersetzt...

MARKUS GRIESSER

Leiter der Sternwarte Eschenberg,  
Winterthur  
Breitenstrasse 2, CH-8542 Wiesendangen  
griesser@spectraweb.ch



Der Komet C/1999 «Linear S4», fotografiert am 30. Juli 2000 um 20.32 Uhr UT auf der Sternwarte Eschenberg in Winterthur mit dem 25cm f/8-«Friedrich-Meier»-Teleskop und einer CCD-Kamera Apogee AP-7. Belichtungszeit: 60 Sekunden bei -38 Grad Chip-Temperatur. Der Kopf erscheint langgezogen, und der Kontrast zum Himmelshintergrund ist stark eingebrochen. (Aufnahme und Nachbearbeitung: mgrl Sternwarte Eschenberg Winterthur)

## VERANSTALTUNGSKALENDER / CALENDRIER DES ACTIVITÉS

## Oktober 2000

- 2. bis 7. Oktober 2000  
Elementarer Einführungskurs in die Astronomie. Leitung: HANS BODMER, Gossau/ZH. Info und An- meldung: HANS BODMER, Schlottenbühlstr. 9b, 8625. Gossau/ZH, Tel. 01/936 18 30. Ort: Feriensternwar- te Calina, 6914 Carona/TI.
- 7. Oktober 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Wie uns der Mond umkreist. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 9. bis 14. Oktober 2000  
Aufbaukurs: Die Sonne und ihre Planeten. Teil 2 des Elementaren Einführungskurses in die Astronomie. Leitung: HANS BODMER, Gossau/ZH. Info und An- meldung: HANS BODMER, Schlottenbühlstr. 9b, 8625. Gossau/ZH, Tel. 01/936 18 30. Ort: Feriensternwar- te Calina, 6914 Carona/TI.
- 14. Oktober 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Orion für Frühaufsteher. Se- rie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 16. bis 20. Oktober 2000  
Woche des offenen Daches. der Sternwarte Bülach. Ort: Eschenmosen bei Bülach. Veranstalter: Astro- nomische Gesellschaft Zürcher Unterland (AGZU).
- 16. bis 21. Oktober 2000  
Sonnenuhren kennen- und verstehen lernen. Leitung: HERBERT SCHMUCKI, Wattwil. Info und An-

meldung: HANS BODMER, Schlottenbühlstr. 9b, 8625. Gossau/ZH, Tel. 01/936 18 30. Ort: Feriensternwarte Calina, 6914 Carona/TI.

- 21. Oktober 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Jupiter - Ende der Sommerzeit. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 28. Oktober 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Verfälschte Zeit - Venus trifft Mars. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.

## November 2000

- 4. November 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Wie sieht man die Bewegung der Gestirne? Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 11. November 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Saturn. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 18. November 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Gibt's Leben nur auf der Erde? Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 25. November 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Nahe Planeten - ferne Sterne. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.

## Dezember 2000

- 2. Dezember 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Gestirne, die zusammenge- hören. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 9. Dezember 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Flug der Erde - Flug der Zeit. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 16. Dezember 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Winter-Sonnenwende. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 23. Dezember 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Weihnachts-«Stern» - Wo sind wir? Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.
- 30. Dezember 2000  
11.50 bis 12.00 Uhr. Sonnensystem = Gegenwart - Sterne = Vergangenheit. Serie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.

## Januar 2001

- 6. Januar 2001  
11.50 bis 12.00 Uhr. Der Mond begleitet uns. Se- rie Raumschiff Erde von SFDRS. Kanal: SF1.

astro!info-Veranstaltungskalender  
HANS MARTIN SENN - Tel. 01/312 37 75  
astro!info-Homepage: <http://www.astroinfo.ch/>  
E-Mail: [senn@astroinfo.ch](mailto:senn@astroinfo.ch)



## Komet Linear 1999 S4



In unsere Gegend gab es nur eine günstige Nacht für Astrofotographie. Der Komet mit einer Helligkeit von ca. 5 Magnituden war mit einem 7x50 Feldstecher kaum sichtbar. Koordinaten des Kometen: RA 9h38.1, Dekl. 56°40'. Foto: Teleobjektiv 180 mm f/2.8. Film EliteChrom 400. Belichtung 2 min. Datum: 21. Juli 2000 22h15 U.T.

URS STRAUMANN, Oscar Frey-Strasse 6, CH-4059 Basel



La comète Linear S4 le 21 juillet 2000  
30 minutes de pose avec un petit télescope de 10 cm de diamètre.

ARMIN BEHREND

Les Parcs, CH-2127 Les Bayards/NE



BUSINESS TRAVEL  
INTERNATIONAL  
BTI Kuoni Event Solutions

### Totale Sonnenfinsternis vom 21. Juni 2001, Reise ins Südliche Afrika



Am Donnerstag, den 21. Juni 2001, wird sich über dem Südlichen Afrika eines der grossartigsten aller Naturphänomene abspielen – eine totale Sonnenfinsternis. Erleben Sie dieses grosse Ereignis in Zambia und geniessen Sie anschliessend während einer Woche die Höhepunkte Südafrikas.



**Das Kuoni Spezialangebot:**  
Reise ins Südliche Afrika 19.-30. Juni 2001  
**ca. Fr. 7000.-**



Weitere Informationen und Buchungen:

**BTI Kuoni Event Solutions,**

Spezialreisen & Incentives, Kuoni Reisen AG, Neue Hard 7, 8010 Zürich,  
Tel. 01/277 46 45, Fax 01/277 47 02 oder per e-mail: myriam.schweitzer@kuoni.ch

The Kuoni Travel Group



## Sonnenfinsternis 21. Juni 2001

- Möchten Sie das faszinierende Naturschauspiel verbunden mit einer Camping-Tour miterleben?  
**Zambia** ab 4 Teilnehmer oder **Zimbabwe** ab 10 Teilnehmer

Das Detailprogramm erhalten Sie bei:

**HANSJÜRG BREFIN, Kirchbergstrasse 5, 3421 Lyssach. Tel. 034/445 16 69 - Fax 034/445 91 02**



# Der Kleinplanet (15077) Edygalge

STEFANO SPOSETTI

Mit Zirkular No. 41035 des Minor Planet Center wird dem Kleinplaneten (15077) mit dem folgenden Zitat der Name Edygalge erteilt:

## (15077) Edygalge = 1999 CA

Discovered Feb. 2, 1999, by Stefano Sposetti at Gnosca, Switzerland.

Named in honor of the Swiss amateur astronomer EDY ALGE, born in Widnau (Switzerland) in 1934. He built many homemade telescopes of various sizes and spent most of his time lavishing enthusiasm for the science of astronomy.

Am 2. Februar 1999, in der Entdeckungsnacht, befand sich dieser Kleinplanet im Sternbild der Zwillinge. Sein Licht entsprach der Grössenklasse mag.17. Er bewegte sich langsam mit einigen Bogensekunden pro Minute von Osten nach Westen.

Jene Nacht war nicht die erste, in der Edygalge beobachtet wurde. Der Kleinplanet war schon 1992 für eine kurze Zeit gesehen worden. In der Folge war er nicht mehr gefunden worden und galt als verloren. Am 2. Februar 1999 konnte er in zwei aufeinander folgende Nächten vom Observatorium Gnosca Ti beobachtet werden und hat daraufhin den provisorischen Namen 1999CA erhalten. Einige Zeit später gelang es dem Minor Planet Center die im Jahre 1992 gemachten Beobachtungen zu korrelieren. Es bestätigte, dass es sich um das gleiche Objekt handelte. Die Priorität der Entdeckung jedoch wurde dem Observatorium von Gnosca zugeschrieben.

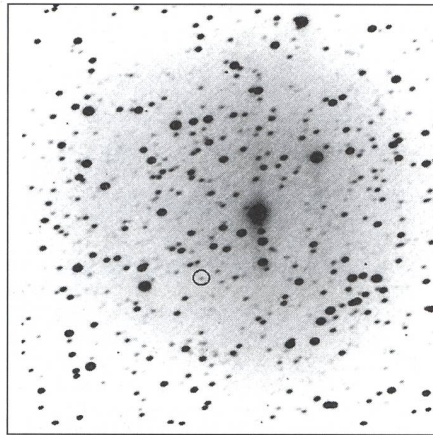
Nach 107 Positions-Messungen an diesem Objekt in 5 Oppositionen entschied das Minor Planet Center, dem Kleinplaneten die definitive Nummer 15077 zuzuweisen.

Der Kleinplanet Edygalge ist mit einem Celestron 20cm Teleskop unter Verwendung einer CCD-Kamera entdeckt

worden. Heute verfügt das Observatorium von Gnosca über ein Teleskop mit 40 cm Öffnung. Ein grosser Teil der Arbeit für die Realisierung dieser neuen Instrumentierung wurde von EDY ALGE, einem lebenslange passionierten Teleskopbauer, ausgeführt. Mit dem neuen Teleskop sind inzwischen weitere Kleinplaneten entdeckt worden.

Unter Anleitung von EDY ALGE haben im Jahre 1975 die jungen Studenten RETO PEZZOLI und STEFANO SPOSETTI den Selbstschliff eines Newton 15 cm Teleskopspiegel realisiert, sie entdeckten dabei ihre Passion für die Astronomie.

Bild von EDY ALGE am 2. Februar 1999 (die Nacht der Entdeckung).



Die orbitalen Parameter von Edygalge sind die folgenden:

| Epoch 2000 Sept. 13.0 TT = JDT 2451800.5 Williams |            |                |             |             |
|---------------------------------------------------|------------|----------------|-------------|-------------|
| M                                                 | 100.28100  | (2000.0)       | P           | Q           |
| n                                                 | 0.19495546 | Peri. 82.36288 | -0.70329237 | -0.70985601 |
| a                                                 | 2.9456362  | Node 52.40379  | +0.63156816 | -0.64876884 |
| e                                                 | 0.0448403  | Incl. 2.78706  | +0.32634569 | -0.27423243 |
| P                                                 | 5.06       | H 12.9         | G 0.15      | U 1         |

From 107 observations at 5 oppositions, 1992-2000, mean residual 0".70.

Die Verleihung seines Names an einen Himmelskörper ist eine Anerkennung für die Bereitschaft, welche er generell für die Entwicklung der Amateur-Astronomie und im Besonderen für den Bau der neuen Instrumente des Observatoriums Gnosca geleistet hat.

*Danke Edy*

*Es lebe die Astronomie,  
Es lebe die Astrometrie,  
Es lebe Edygalge.*

STEFANO SPOSETTI  
CH- 6525 Gnosca

EDY ALGE an der Arbeit.



# ASTRO

## MATERIALZENTRALE

P.O.Box 715  
CH-8212 Neuhausen a/Rhf  
+41(0)52-672 38 69  
email: astroswiss@hotmail.com

### Ihr Spezialist für Selbstbau und Astronomie

- *Spiegelschleifgarnituren*, Schleifpulver, Polierpech.
- *Astro-Mechanik* wie Fangspiegelzellen, Stunden-, Deklinationskreise, Okularschlitten, Sucher, Adapter usw.
- *Qualitäts-Astro-Optik* wie Spectros-Schweiz und andere Marken: Helioskop, Achromate, Okulare, Filter, Fangspiegel, bel./unbel. Fadenkreuzokulare, Sucher, Messokulare, Zenitprisma, Parabolspiegel  $\phi$  bis 30 cm, Schmidt-Cassegrain, Newton-Teleskope, Refraktoren usw.
- **MEADE-Händler**: Sie erhalten bei uns sämtliche Produkte aus dem MEADE-Katalog.

**Alles Weitere im SAG Rabatt-Katalog «Saturn»**

4 internationale Antwortscheine (Post) oder CHF 4.50 in Briefmarken zusenden.

**Attraktiver SAG-Barzahlungs-Rabatt**

**Schweizerische Astronomische Gesellschaft**



# Auffällige Erscheinung am Nachthimmel

OTTO HEDINGER

Am Donnerstag abend, 10.08.2000, hatten sich einige Astronomie-Interessierte für das Beobachten verschiedener Himmelserscheinungen, insbesondere des Mondes, zusammengefunden. Zwischen 2230 und 2300 Uhr hinterliess ein **Meteorit** eine sehr auffällige **etwa 15 lange Leuchtspur** auf etwa 30° Höhe in **Richtung Südosten**. Das Nachleuchten der Erscheinung dauerte etwa 10 Sekunden und wurde auch von Personen festgestellt, die den Niedergang des Meteoriten nicht direkt beobachtet hatten. Der Standort dieser Beobachtung befindet sich an der Chasseralstrasse in Ittigen bei Bern. Das Ereignis wurde von mindestens vier Personen vor Ort gesehen. Es wurden keine akustischen Begleitererscheinungen wahrgenommen. Das Bild zeigt die **Szene zum Beobachtungszeitpunkt** wie sie sich dem Beobachter in Richtung Süd-Südosten zeigt. Die Zeitverschiebung (Sommerzeit) ist berücksichtigt. Rechts, beinahe im Süden, ist der Mond oberhalb des Sternbilds Sagittarius ersichtlich. Die gesichtete Leuchtspur ist in der Nähe des Sternbilds Delphin lokalisiert.

## Weitere Beobachtungen

Ein Meteorit ist ein Körper, welcher beim Eintauchen in die Erdatmosphäre bei sehr hoher Geschwindigkeit dermassen erhitzt wird, dass er normalerweise verglüht. Im Volksmund werden solcherart beobachtete Phänomene **Sternschnuppen** genannt. Nur selten ist auch ein Nachleuchten zu beobachten. Das Nachleuchten deutet darauf hin, dass es sich um einen eher grossen Meteoriten handelte. Am erwähnten Donnerstag

Abend wurde im Fernsehen auf Sternschnuppen hingewiesen. Im Astronomischen Jahrbuch *Der Sternenhimmel* wird am 10.08.2000 darauf aufmerksam gemacht, dass die **Perseiden-Meteore** bis am 14.08.2000 **sehr zahlreich** seien. Hier wird auch auf das Maximum des Perseiden-Meteorstroms in der Nacht vom

12.08.2000 hingewiesen. Falls **weitere Beobachtungen** der oben beschriebenen Erscheinung **von andern Orten aus** gemacht wurden, kann auf die tatsächliche Position des Meteoriten beim Aufleuchten geschlossen werden. Der Autor bittet deshalb um Angaben, falls jemand diese aussergewöhnliche Erscheinung beobachtet hat und / oder ob aufgrund des Nachleuchtens auf die Grösse des Himmelskörpers geschlossen werden könne.

OTTO HEDINGER

Postfach, CH-3063 Ittigen

## Schweizerische Astronomische Gesellschaft Société astronomique de suisse

### Einladung zur Konferenz der Sektionsvertreter

Sehr geehrte Damen und Herren  
Im Namen des Zentralvorstandes freue ich mich, Sie zur diesjährigen Konferenz der Sektionsvertreter einladen zu dürfen. Die Teilnahme an der Konferenz steht allen Mitgliedern der SAG offen. Folgender Ablauf ist vorgesehen:

Datum: **Samstag, 18. November 2000**. Ort: Hotel Olten, Bahnhofstrasse 5, 4600 Olten.

Vorprogramm: 11.15 Uhr: Apéro, offeriert von der SAG; 12.00 Uhr: Gemeinsames Mittagessen  
Ich bitte Sie, Frau Sue Kernen (071 477 17 43) Ihre Teilnahme am Apéro und/oder am Mittagessen bis Dienstag, 14.11.00, zu melden.

Konferenz: 14.00 - 17.00 Uhr

Neben der Orientierung über die GV 2001 und den Mitteilungen des Zentralvorstandes sind Kurzvorträge vorgesehen. Beiträge sind herzlich willkommen, ja geradezu erwünscht – ich bitte in diesem Fall lediglich um eine kurze Information zusammen mit der Anmeldung oder an der Konferenz selbst. Hellraumprojektor, Diaprojektion und Video (VHS) sind verfügbar. Ich freue mich auf eine rege Teilnahme.

Mit freundlichen Grüssen, der Präsident der SAG.

### Invitation à la conférence des représentants des sections

Mesdames, Messieurs

Par la présente j'ai le plaisir de vous inviter à la conférence annuelle des représentants des sections. La participation est ouverte à tous les membres de la SAS. La conférence se déroulera comme suit:

Date: **le samedi 18 novembre 2000**. Lieu: Hotel Olten, Bahnhofstrasse 5, 4600 Olten.

Avant-programme: 11 h 15 h apéritif, offert par la SAS; 12 h 00 repas en commun. Ayez l'amabilité d'informer jusqu'au mardi 14/11/00 M<sup>me</sup> Sue Kernen (071/477 17 43) du nombre de participants de votre section à l'apéritif et/ou au repas.

Conférence: 14 h 00-17 h 00

A part l'information concernant AS 2001 et les communications du comité central nous avons prévu des exposés. Chaque contribution de votre part est bienvenue – en ce cas je vous prie pour une petite information. Overhead, projecteur et video sont à disposition. Nous comptons sur votre participation bien nombreuse.

Avec mes meilleures salutations, le président de la SAS.

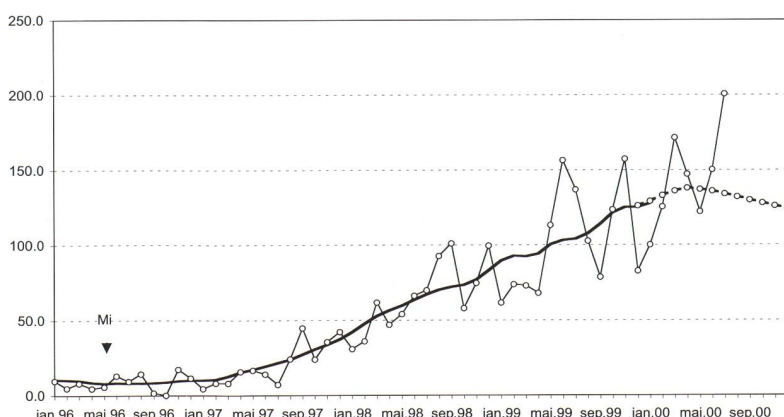
DIETER SPÄNI

Bachmattstrasse 9, CH-8618 Oetwil am See; Tel. 01/929 11 27

E-mail: d.spaeni@bluewin.ch

## Swiss Wolf Numbers 2000

MARCEL BISSEGGER, Gasse 52, CH-2553 Safnern



Mai 2000

Mittel: 135,6

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 107 | 105 | 85  | 62  | 44  | 23  | 40  | 53  | 86  | 121 |
| 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 136 | 176 | 178 | 199 | 221 | 217 | 182 | 170 | 171 | 177 |
| 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  |
| 193 | 151 | 155 | 146 | 126 | 138 | 126 | 128 | 127 | 95  |

Juni 2000

Mittel: 150,4

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 95  | 103 | 85  | 120 | 108 | 138 | 134 | 140 | 127 | 135 |
| 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  |
| 169 | 176 | 195 | 199 | 195 | 159 | 166 | 164 | 173 | 174 |
| 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  |
| 164 | 140 | 162 | 142 | 154 | 162 | 167 | 157 | 154 | 147 |



## BUCHBESPRECHUNGEN BIBLIOGRAPHIES

**SCHMADEL, L. D.: *Dictionary of Minor Planet Names*.** 4th revised and enlarged edition. With a CD-Rom of the Catalogue of Minor Planet Names and Discovery Circumstances. Berlin/Heidelberg, Springer Verlag 1999. XV, (1), 1319 pp., 1 Frontisp. ISBN 3-540-66292-8, Hardbound. DM 249.-.

Floods of automatized CCD exposures down to very faint magnitudes have brought it about that the number of well observed minor planets is growing almost exponentially with time. The 10000 th was numbered in March 1999, and now, fifteen months later, there are already 15000!

We are grateful to Dr. SCHMADEL for having again excellently updated his great dictionary. It is quite indispensable for everybody working in this field, but also rousing much interest far beyond the ranks of astronomers. When a minor planet is officially numbered (after 4 or 5 well observed oppositions), its discoverer may propose a name for it, to be discussed (and hopefully accepted) by the Minor Bodies Naming Committee of the IAU. Through the last century, mythological names only were considered, later also familiar feminine Christian names (many without explicit reference to a certain person). Nowadays most any designation can be accepted, which is not in bad taste and not likely to be confused with already existing ones.

Quite naturally, most discoverers have honored some of their relatives, teachers, colleagues and friends, disclosing a lot of interesting connections otherwise unknown. History and geography of many countries are well represented – and likewise fauna and flora, since some of the most prolific discoverers had to have recourse to the great variety of animal and plant species. Numerous citations of poets, composers, artists, and of the leading figures in their works, are tempting the reader to renew long-forgotten knowledge. Some names are connected with each other, e.g. through the numbers of their objects, or in more fanciful or just accidental ways.

There is very much to muse upon in the great abundance and diversity of informations spread throughout this dictionary. Browsing in it is a great pleasure.

PAUL WILD

## Impressum Orion

### Leitende Redaktoren/Rédacteurs en chef:

**DR. NOËL CRAMER**, Observatoire de Genève,  
Ch. des Maillettes 51, CH-1290 Sauverny  
Tél. 022/755 26 11  
e-mail: noel.cramer@obs.unige.ch

**DR. ANDREAS VERDUN**, Astronomisches Institut,  
Universität Bern, Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern  
Tél. 031/631 85 95

e-mail: andreas.verdun@aiub.unibe.ch  
Manuskripte, Illustrationen und Berichte sind an obenstehende Adressen zu senden. Die Verantwortung für die in dieser Zeitschrift publizierten Artikel tragen die Autoren. *Les manuscrits, illustrations et rapports doivent être envoyés aux adresses ci-dessus. Les auteurs sont responsables des articles publiés dans cette revue.*

### Auflage/Tirage:

2800 Exemplare, 2800 exemplaires.  
Erscheint 6 x im Jahr in den Monaten Februar, April, Juni, August, Oktober und Dezember. *Paraît 6 fois par année, en février, avril, juin, août, octobre et décembre.*

### Copyright/Copyright:

SAG. Alle Rechte vorbehalten.  
SAS. Tous droits réservés.

### Druck/Impression:

Imprimerie Glasson SA, CP352, CH-1630 Bulle 1  
e-mail: michel.sessa@lagruyere.ch

**Anfragen, Anmeldungen, Adressänderungen sowie Austritte und Kündigungen des Abonnements auf ORION** (letzteres nur auf Jahresende) sind zu richten an: Für Sektionsmitglieder an die Sektionen. Für Einzelmitglieder an das Zentralsekretariat der SAG:

**Informations, demandes d'admission, changements d'adresse et démissions** (ces dernières seulement pour la fin de l'année) sont à adresser: à leur section, pour les membres des sections; au secrétariat central, pour les membres individuels.

**SUE KERNEN**, Gristenbühl 13, CH-9315 Neukirch.  
Tél. 071/477 17 43, E-mail: sue.kernen@bluewin.ch

**Mitgliederbeitrag SAG** (inkl. Abonnement ORION) Schweiz: SFr. 52.-, Ausland: SFr. 60.-, Jungmitglieder (nur in der Schweiz): SFr. 25.- Mitgliederbeiträge sind erst nach Rechnungsstellung zu begleichen.

### Cotisation annuelle SAS

(y compris l'abonnement à ORION)

Suisse: Frs. 52.-, étranger: Frs. 60.-.

Membres juniors (uniquement en Suisse): Frs. 25.-. Le versement de la cotisation n'est à effectuer qu'après réception de la facture.

### Zentralkassier/Trésorier central:

**URS STAMPFLI**, Däleweidweg 11, (Bramberg)

CH-3176 Neuenegg,

Postcheck-Konto SAG: 82-158 Schaffhausen.

**Einzelhefte** sind für SFr. 10.- zuzüglich Porto und Verpackung beim Zentralsekretär erhältlich.

**Des numéros isolés** peuvent être obtenus auprès du secrétariat central pour le prix de Frs. 10.- plus port et emballage.

### Aktivitäten der SAG/Activités de la SAS:

http://www.astroinfo.ch

ISSN 0030-557 X

### Ständige Redaktionsmitarbeiter/ Collaborateurs permanents de la rédaction

**THOMAS BAER**, Bankstrasse 22,  
CH-8424 Embrach

**DR. FABIO BARBLAN**, 6A, route de l'Etraz,  
CH-1239 Collex/GE  
e-mail: fabio.barblan@obs.unige.ch

**ARMIN BEHREND**, Les Parcs,  
CH-2127 Les Bayards /NE

**JEAN-GABRIEL BOSCH**,  
90, allée des Résidences du Salève,  
F-74160 Collonges S/Salève

**HUGO JOST-HEDIGER**, Lingeriz 89,  
CH-2540 Grenchen  
e-mail: hugo.jost@infrasy.com.ch

**STEFAN MEISTER**, Vogelsangstrasse 9,  
CH-8180 Bülach  
e-mail: stefan.meister@astroinfo.ch

**HANS MARTIN SENN**, Friedheimstrasse 33,  
CH-8057 Zürich  
e-Mail: senn@astroinfo.ch

### Übersetzungen/Traductions:

**DR. H. R. MÜLLER**,  
Oescherstrasse 12,  
CH-8702 Zollikon

### Korrektor/Correcteur:

**DR. ANDREAS VERDUN**,  
Astronomisches Institut, Universität Bern,  
Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern  
e-mail: verdun@aiub.unibe.ch

### Inserate/Annonces:

**DR. FABIO BARBLAN**,  
Observatoire de Genève,  
CH-1290 Sauverny/GE  
Tél. 022/755 26 11  
Fax 022/755 39 83  
Tél. 022/774 11 87 (privé/privat)  
e-mail: fabio.barblan@obs.unige.ch

### Redaktion ORION-Zirkular/ Rédaction de la circulaire ORION

**MICHAEL KOHL**,  
Im Brand 8, CH-8637 Laupen  
e-mail: mkohl@webshuttle.ch

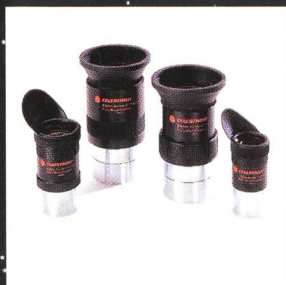
### Astro-Lesemappe der SAG:

**HANS WITTWER**,  
Seeblick 6,  
CH-9372 Tübach

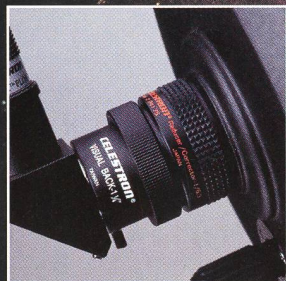
## Inserenten / Annonceurs

• **AN- UND VERKAUF/ACHAT ET VENTE**, Seite/page 19; • **ASTROCOM GMBH**, D-Gräfelfing, Seite/page 2; • **ASTRO-LESEMAPPE**, Seite/page 21; • **ASTRO-MATERIAL**, Seite/page 45; • **BTI KUONI EVENT SOLUTIONS**, Zürich, Seite/page 44; • **CALINA-FERIENSTERNWARTER**, Seite/page 24; • **ICSO 2000**, Toulouse/France, Seite/page 39; • **Sonnenfinsternis 2001**, Seite/page 44; • **WYSS FOTO**, Zürich, Seite/page 48; • **ZUMSTEIN FOTO-VIDEO**, Bern, Seite/page 16.





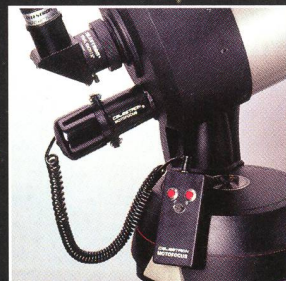
**NEU:** Celestron Axiom-Weitwinkel-Okulare mit 70° Eigengesichtsfeld



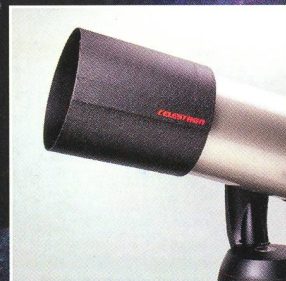
f 6.3 Telekompressor – verwandelt das Celestron in ein Rich-Field-Teleskop mit riesigem Gesichtsfeld



BAADER AstroSolar™ Sonnenfilter – fertig gefärbt, direkt von Celestron!



Fokussiermotor mit variabler Geschwindigkeit – macht Scharfstellen zum Kinderspiel.



**NEU:** Celestron Lens-Shade, platzsparende, zusammenlegbare Taukappe.



# NexStar<sup>™</sup> 5 & 8

**DIE TELESKOP-GENERATION DES NEUEN JAHRTAUSEND.**  
Die jüngsten Fortschritte in der Elektronik und CNC-Steuerungstechnik ermöglichen es erstmals vollautomatische Fernrohre anzubieten, die sich selbst einnorden und Ihnen alles was es am Himmel zu entdecken gibt „vor Augen führen“ – und das zu sagenhaft günstigen Preisen!

5" & 8" Schmidt-Cassegrain (SC) Optik: Weltraumgetestet und von überragender Qualität (siehe Interferometer Optiktast S.u.W. 4/2000)

● **Auto-Align-Funktion:** Das Teleskop nordet sich selbst ein, mittels einprogrammiertem Leitstern-Katalog.

● **18.473 Objekte im Festspeicher:** Die riesige Datenbank enthält die Position und genaue Einzelinformation zu Objekten aus allen wichtigen Sternkatalogen: NGC/Messier/Caldwell, alle Planeten, ausgewählte SAO-Sterne und 25 benutzerdefinierbare Objekte (z.B. Kleinplaneten/Kometen o.ä.).

● **Tour-Funktion:** Für jede Nacht des Jahres werden Ihnen die eindrucksvollsten Objekte des Nachthimmels zur Beobachtung vorgeschlagen und auf Wunsch automatisch angefahren. Selbstverständlich können Sie auch eigene Touren programmieren!

● **Robotic-Telescope:** Mit eingebauter RS 232 Schnittstelle. Mit geeigneter Software (TheSky/Guide) erhalten Sie ein unschlagbares preiswertes „Arbeitspferd“ für automatisierte Beobachtungsprogramme: Veränderlichen-Beobachtung, Kleinplaneten-Durchmusterung, Supernova-Suche, Spektroskopie u.v.m..

● **Vielseitigkeit:** Alles nur erdenkliche Zubehör ist an NexStar™ SC-Teleskope anschließbar – nicht zuletzt wegen des durchdachten neuartigen Montierungskonzepts und des riesengroßen Schärfbereichs durch den beweglichen Hauptspiegel.

● **Mechanik:** Die Celestron NexStar™ Technologie bietet hochwertige Antriebstechnik aus modernstem Maschinenbau. Gabelarm und Stundenantriebsblock sind extrem massiv gefertigt. Die Getriebe bei allen Servomotoren und Encodern bestehen ausschließlich aus Stahl und Sinterbronze – im ganzen Antrieb werden nirgendwo Kunststoffzahnräder o.ä. Verschleißteile verwendet.

**NexStar™ 5**

**NexStar™ 8**

Das NexStar™ 5-Steuergerät läßt sich bequem in der Hand halten oder im Gabelarm verstauen. Tasten und Anzeigefeld leuchten angenehm rot, um die Dunkeladaptation des Auges nicht zu behindern.

proastro

Celestron-  
Generalimporteur:

P. WYSS PHOTO-VIDEO EN GROS

Dufourstrasse 124 · 8034 Zürich · Tel.: 01 383 01 08 · Fax: 01 383 00 94

Deutschland: BAADER PLANETARIUM GmbH · Zur Sternwarte · 82291 Mammendorf · Tel.: 0049 8145 88 02 · Fax: 0049 8145 88 05