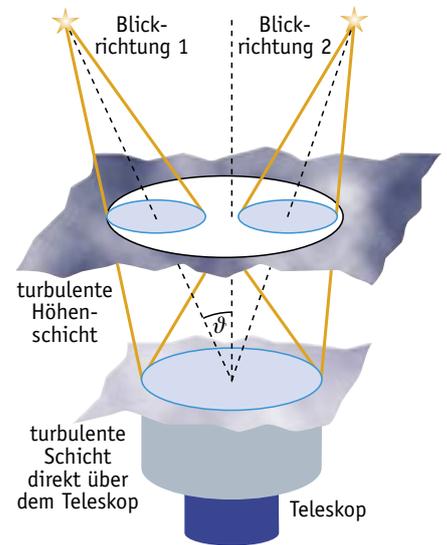


Multikonjugierte Adaptive Optik



Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. April** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: (+49)0 6221-528-246.

- ▶ Vision der europäischen Studie Owl für ein 100-m-Teleskop.
- ▶ Sehstrahlgeometrie bei Multikonjugierter Adaptiver Optik mit Laserleitsternen.



Zukünftige erdgebundene Teleskope mit Öffnungen von 30 bis 100 Metern müssen im Routinebetrieb – so die Meinung der meisten Astronomen – mit Multikonjugierter Adaptiver Optik und Laserleitsternen arbeiten. Anders lässt sich die gewünschte Auflösung solcher Riesenteleskope nicht erreichen. Wenn es gelingt, können gerade auch kosmologische Beobachtungsprogramme mit möglichst großen Feldern effizient und vor allem konkurrenzfähig zu Beobachtungen mit Weltraumteleskopen durchgeführt werden.

Welche technischen Voraussetzungen dazu nötig sind und welche offenen Fragen noch beantwortet werden müssen, bevor konkrete Teleskopdesigns erstellt werden können, ist im Artikel »Künstliche Sterne

und große Gesichtsfelder« auf den Seiten 34 bis 45 in diesem Heft nachzulesen.

Aber selbst ein rein Seeing-begrenztes 50-m-Teleskop hat seine optischen Tücken, wenn man etwa versucht, eine Seescheibe von 0,4 Halbwertsbreite (FWHM, full width half maximum) auf zwei quadratische Detektorpixel mit den heutzutage üblichen Pixelgrößen von 20 µm Kantenlänge abzubilden. Dazu benötigt man ein effektives Öffnungsverhältnis von $f/0.41$. Ein derart großes Öffnungsverhältnis herzustellen ist keine leichte Aufgabe.

Im oben erwähnten Beitrag wird gezeigt, dass mit mehreren deformierbaren Spiegeln und geeigneter Multikonjugierter Adaptiver Optik ein deutlich größeres

Beobachtungsfeld korrigiert werden kann als mit herkömmlicher Adaptiver Optik. Dabei wird davon ausgegangen, dass beispielsweise ein deformierbarer Spiegel eine dünne turbulente atmosphärische Schicht in 10 km Höhe korrigiert und ein weiterer deformierbarer Spiegel für eine zweite at-

Lösung der Aufgabe aus dem Februar-Heft 2005

Aufgabe 1: Der Drehimpulserhaltungssatz liefert die Gleichung:

$$L_\infty = v_\infty S_{\max} = v_R R = L_R.$$

Dies lässt sich umstellen zu:

$$\left(\frac{S_{\max}}{R}\right)^2 = \left(\frac{v_R}{v_\infty}\right)^2 \quad (1)$$

Andererseits liefert der Energieerhaltungssatz $E_{\text{kin},\infty} + E_{\text{pot},\infty} = E_{\text{kin},R} + E_{\text{pot},R}$ mit $E_{\text{kin},\infty} = \frac{1}{2} m v_\infty^2$, $E_{\text{pot},\infty} = 0$, $E_{\text{kin},R} = \frac{1}{2} m v_R^2$, $E_{\text{pot},R} = -G m M/R$:

$$v_R^2 - v_\infty^2 = 2 G M/R. \quad (2)$$

Daraus folgt die gesuchte Beziehung:

$$\frac{S_{\max}}{R} = \sqrt{1 + 2 \frac{G M}{R v_\infty^2}}. \quad (3)$$

Gl. (3) verrät, dass für sehr hohe Relativgeschwindigkeiten die Sammelfläche auf den Planetenquerschnitt begrenzt ist. Aber sie steigt mit sinkender Relativgeschwindigkeit und wachsender Planetenmasse.

Aufgabe 2: Bildet man mit $v(r) = (G M_\odot / r)^{1/2}$ die Differenz $v_\infty = v(r) - v(r + \Delta r)$,

und verwendet (unter Berücksichtigung des verlorengegangenen Faktors $\frac{1}{2}$) die Näherung $r^{-1/2} - (r + \Delta r)^{-1/2} \approx \frac{1}{2} \Delta r / r^{3/2}$, so folgt mit $\Delta r = S_H$ zunächst:

$$v_\infty^2 = \frac{1}{4} G M_\odot S_H^2 / r^3 \quad (4)$$

Setzt man dies in Gleichung (3) ein, und verwendet die Abkürzungen $S_{HR} = S_H/R$, $\mu = M/M_\odot$ sowie $q = r/R$, so ergibt sich:

$$S_{HR}^2 = 1 + 8 \mu q^3 / S_{HR}^2.$$

Auflösen der biquadratischen Gleichung führt schließlich zu:

$$S_H/R = S_{HR} = [\frac{1}{2} + (\frac{1}{4} + 8 \mu q^3)^{1/2}]^{1/2}.$$

Diese leicht herzuleitende Gleichung ist eine einfache Form für den Einzugsbereich eines Planeten auf seiner Umlaufbahn um die Sonne und von der Größenordnung her vergleichbar mit der Hill-Sphäre. Sowohl für die Erde, als auch für Jupiter gilt: $\mu q^3 \gg 1$. Deshalb darf in solchen Fällen gesetzt werden:

$$S_H/R = S_{HR} = (8 \mu q^3)^{1/4}$$

Bei der Erde erhält man so mit den zuge-

hörigen Werten: $S_{HR,Erde} = S_{H,Erde}/R \approx 133$. Bei Jupiter ergibt sich: $S_{HR,Jupiter} = S_{H,Jupiter}/R \approx 316$.

Aufgabe 3: Mit den Angaben über die Flächendichte (bei der Erde: $\sigma_E = 3200 \text{ g/cm}^2$, am Ort des Jupiter: 120 bis 2400 g/cm^2 – in Heft 2/2005 war σ leider falsch mit g/cm^3 bezeichnet – sowie $r_E = 1 \text{ AE}$, $r_J = 5.2 \text{ AE}$, $1 \text{ AE} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ km}$, $R_E = 6378 \text{ km}$, $R_J = 71492 \text{ km}$) im frühen Sonnensystem, und $F = 4 \pi r S_H$ für die Fläche des Kreisrings um die Sonne zwischen $r - S_H$ und $r + S_H$, folgen die Massen von Erde und Jupiter unter Verwendung der heutigen Einflusssphären (Aufgabe 2):

$$M_{Erde} = F_E \sigma_E \approx 5 \cdot 10^{25} \text{ kg}.$$

Dies ist nur um etwa eine Größenordnung höher als der tatsächliche Wert. Für Jupiter ergibt sich etwa ein Siebtel bis zum Dreifachen des tatsächlichen Wertes – angesichts der primitiven Betrachtung ein erstaunlich präzises Ergebnis! AMQ

Richtige Lösungen sandten ein:

Barbara Gutowski, D-19057 Schwerin; Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Saher, D-40629 Düss-

mosphärische Schicht in 500 m Höhe arbeitet.

Aufgabe 1: Wie groß muss an einem Teleskop mit Spiegeldurchmesser $D = 8$ m und einem Beobachtungsfeld von $\varrho = 1$ Bogenminute Radius der projizierte Durchmesser P eines deformierbaren Spiegels in einer Höhe von $h = 10$ km sein, um die dortigen Turbulenzen zu korrigieren?

Aufgabe 2: Wie groß sind in einer Höhe von 10 km über dem Teleskop die Durchmesser der projizierten Kegelschnitte von Laserleitsternen, die in einer Höhe von **a)** 90 km (Natrium-Laserleitstern) und **b)** 15 km (Rayleigh-Laserleitstern) zentral über einem 8-m-Teleskop erzeugt werden?

Aufgabe 3: Wieviele Natrium-Laserleitsterne in 90 km Höhe werden wenigstens benötigt, um eine dünne turbulente Schicht in 10 km Höhe **a)** an einem 50-m-Teleskop und **b)** an einem 100-m-Teleskop möglichst vollständig, also optimal auszuleuchten? In beiden Fällen soll das Beobachtungsfeld der Teleskope 2 Bogenminuten Radius betragen.

Aufgabe 4: Ähnlich wie in Aufgabe 3 bestimme man diesmal die Zahl der Rayleigh-Laserleitsterne, die mindestens benötigt werden, und in 25 km Höhe leuchten. **STEFAN HIPPLER**

seldorf; M. Baldus, D-59519 Möhnesee; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; R.-R. Conrad, D-31275 Lehrte; A. Dannhauer, D-38871 Ilsenburg; H. Duran, CH-5300 Turgi; R. Fischer, D-50858 Köln; A. Forkl, D-73230 Kirchheim / Teck; G. Forster, D-69120 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; R. Guse, D-31228 Peine; J. Haller, D-51379 Leverkusen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; H. Hauser, D-89275 Elchingen; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; H.-O. Hoppe, D-48455 Bad Bentheim; A. Huss, D-70599 Stuttgart; B. Hüßl, A-4553 Schlierbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; G. Junge, D-04600 Altenburg; F.-G. Knell, D-63457 Hanau; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; M. Leinweber, D-35435 Wettenberg; B. Leps, D-13507 Berlin; R. Lüthmann, D-78476 Alvensbach; W. Mahl, D-71254 Ditzingen; P. Matzlik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; K. Motl, D-82538 Geretsried; Chr. Netzel, D-52080 Aachen; J. Nußbaum, D-80689 München; W. Oldekop, D-38116 Braunschweig; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; G. Portisch, D-75015 Bretten; R. Prager, A-2230 Gänserndorf; H. Prange, D-57250 Netphen; K. Rohe, D-85625 Glonn; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; R. H. Schertler, A-5280 Braunau am Inn; B. Schmalfeldt, D-21521 Aumühle; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; M. Senkel, D-85614 Kirchseon; A. Trutschel-Stefan, D-83714 Miesbach; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; H. Wember, D-22525 Hamburg; A. Wendt, D-69488 Birkenau; B. Wichert, D-21629 Neu Wulmstorf; G. Woysch, D-70435 Stuttgart; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf.

Insgesamt 59 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE

Vater der Wasserstoff-bombe	Planetoid, Mond	▼	Einsteins Geburtsstadt	↻ 10	Planeta-rischer Nebel in M 15 (...1)	US-Satellit (Wetter- u. Ozean-forschung)	▼	Mars-becken	▼	Maß für Teleskop-öffnungen	Abk. am Blattende
↻ 4	↻ 2		2002 entd. Komet (1. Wort)		Linse zur Brennwei-tenverlän-gerung				↻ 14		
Überrest e. Supernova im Stern-bild Vela		1893 von Charlois entd. Planetoid	↻ 6					engl. für Himmels-durchmus-terung			franz. Be-deutung von Mid.
					engl. Phy-siker und Astronom (Vorname)	↻ 11		Lachs, Neben-fluß der Mosel	↻ 3		
Begleiter der Milch-straße (3. Wort)	↻ 12	Io-Vulkan			Galaxien-haufen (Pavo-...)	↻ 13				↻ 9	edge-...
			↻ 15					chem. Symbol für Ein-steinium		↻ 7	Algol-Veränder-licher (... And)
1980 entd. Saturn-satellit	Kfz.-Kenn-zeichen f. Bergheim				chem. Symbol für Pro-taktinium			Teil eines Schwarzen Lochs (1. engl. W.)	↻ 16		↻ 8
Veränderl. d. Monats Februar (... Aur)				astron. Längen-einheit		↻ 1					Spektral-klasse
Stern nahe der Androme-galaxie				↻ 5				erster chine-sischer Astronaut (... Liwei)			

Lösung des Kreuzwort-rätsels aus SuW 2/2004

A S T B V
 F L A T V I S U E L L
 M A A Z T G R U S
 A R E G O R A
 C C D N W O S T O K
 H E L I X H O S O
 L T E S L A C N
 L A T N A I R A K
 D I A B L O N E B R A
 N Y U N G S C V



Kreuzworträtsel. Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. März** auf einer Postkarte an die Redaktion einsenden, verlosen wir den Meade Refraktor NG-60 im Wert von 99 € mit großzügigem Sortiment an Zubehörteilen. Alustativ, Zenitspiegel, Zubehörablage und Sucherfernrohr sind enthalten. Gestiftet von Meade Instruments Europe. *Viel Spaß beim Knobeln!*

Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 2/2005 lautet: **Umlaufbahn**. Die glückliche Gewinnerin des Meade Refraktors NG-60 (bei 95 richtigen, 2 falschen, 1 inakzeptablen und 6 zu spät eingegangenen Einsendungen) ist: **Fine Bruchmüller**, D-30952 Ronnenberg. *Herzlichen Glückwunsch! Red.*

»Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich das aktuelle »Zum Nachdenken« auf der Homepage von SuW www.suw-online.de als PDF finden. Ältere Fassungen → SuW-Archiv → Zurückliegende Ausgaben.

Einsendungen

- Lösungen werden nur auf Papier – Brief oder Fax – akzeptiert, auf keinen Fall jedoch per E-Mail.
- Die Redaktion empfiehlt, Namen und Anschrift immer auf dem Lösungsblatt zu notieren.
- Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden.

Die 24. Runde

Mit der Aufgabe im Juni-Heft 2004 begann die 24. Runde *Zum Nachdenken*. Alle Löser mit wenigstens neun richtigen Einsendungen aus den zwölf bis einschließlich Mai 2005 erscheinenden »Zum Nachdenken« werden bei der Verlosung im Sommer 2005 berücksichtigt. Zu gewinnen gibt es u.a. Freiabos und als attraktiven Hauptpreis ein Meade DS-2070AT im Wert von 299 €, gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe. Viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen!

AMQ

Hauptpreise

Einsteiger- und Reise-teleskop **Meade DS-2214 ATS** mit Stativ, Montierung und Auto-Computer Controller sowie Okularen. Öffnung: 114 mm, Brennweite: 1000 mm. Gestiftet von Meade Instruments Europe. www.meade.de



Diascanner **Workscan 3600 pro** mit 3600 dpi Auflösung und Softwae (Photoshop Elements sowie Silverfast Ai 6.0), gestiftet von MediAx.



Edelsteinglobus mit 33 cm Durchmesser und ca. 8 kg Masse. Die hochglänzende Oberfläche mit präziser Verarbeitung besteht aus (Halb-) Edelsteinen wie Jade, Jaspis u.a. und bietet bemerkenswerte Farbspiele. Gestiftet von MediAx. www.mediAx.de