

Seebeben

Am 26. Dezember 2004, 0:58:53 UT, ereignete sich ein Erdbeben der seismischen Magnitude $M_W = 9.0$, dessen Epizentrum in etwa 10 km Tiefe und 80 km südwestlich der Küste von Indonesien lag [1,2]. Durch das unterseeische Beben wurde ein Tsunami induziert, dessen zerstörerische Gewalt auch weit entfernte Küstenregionen quer über den Indischen Ozean bis hin nach Südafrika in 7800 km Distanz erreichte. Die schrecklichen Folgen des Tsunami sind niemandem auf der Welt entgangen.

Bei dem Beben verschob sich innerhalb kurzer Zeit $\Delta t = 1$ Minute über eine Länge von etwa $L = 100$ km entlang des Sunda-grabens die Indische Kontinentalplatte um bis zu 20 m unter die Birmaplatte. Letztere wurde dabei um etwa $\Delta h = 5$ m angehoben. Die Lage der Nachbeben zeigt, dass sich die aufgebauten Spannungen über eine Gesamtstrecke von 1200 km entladen haben. Dabei wurde eine große Energiemenge freigesetzt und an den darüberliegenden Wasserkörper übertragen. Der Sundagraben besitzt Tiefen zwischen 5000 und bis zu 7500 m.

Aufgabe 1: Man schätze den Potentialgewinn E_p des verschobenen Wasserkörpers, der zu dem desaströsen Tsunami führte. Dabei sei angenommen, dass das Wasser-

volumen die Länge L , die mittlere vertikale Ausdehnung $T = 6$ km und die Breite $B = 10$ km besessen habe. Die Wasserdichte sei $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Im Gegensatz zu gewöhnlichen Wasserwellen, wie man sie in Gewässern ständig beobachten kann, und die aufgrund ihrer Dispersionseigenschaften auseinanderlaufen und somit verschwinden, handelt es sich bei Tsunamis um solitonische Wasserwellen, die nur im Flachwasser auftreten können. Bei diesen ist die Wellenlänge größer als die Wassertiefe und sie laufen nicht auseinander. In manchen Eigenschaften ähneln diese solitonischen Wellen eher einem Teilchen als einer Welle und sie spielen in vielen Gebieten der modernen Physik eine Rolle, insbesondere etwa in der Elementarteilchenphysik.

Aufgabe 2: Man zeige, dass der Tsunami des Seebebens vom 26.12.2004 eine Flachwasserwelle war und es sich bei ihm somit um eine solitonische Welle handelte. Bei Flachwasserwellen ist das Verhältnis von Wassertiefe zu Wellenlänge kleiner als Eins. Die Wellenlänge λ dieser Tsunami sei zu $\lambda = 175$ km angenommen.

Der Indische Ozean bildet für die Tsunamis demnach ein Flachwasserbecken und dies bedeutet physikalisch, dass bei Tsunamis der gesamte Wasserkörper des

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

Ozeans von seiner Oberfläche bis zum Meeresgrund mitschwingt. Daher wird die Ausbreitung von Tsunamis auch durch unterseeische Gebirge und andere topographische Unebenheiten beeinflusst.

Aufgabe 3: Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v der Tsunami lässt sich **a)** aus seiner Wellenlänge λ und Periode P bestimmen:

$$v = \lambda/P. \quad (1)$$

In Aceh, der nördlichsten Provinz von Sumatra, wurden je fünfzehn Minuten zwischen der ersten, zweiten und dritten Welle beobachtet: $P = 15$ Minuten. Welche Geschwindigkeit hatte der Tsunami vor Sumatra? **b)** Eine weitere Möglichkeit, die Geschwindigkeit u der Welle – präziser: die Phasengeschwindigkeit – zu bestimmen ergibt sich aus:

$$u = (gT)^{1/2}. \quad (2)$$

Dabei ist g die Erdbeschleunigung mit $g = 10 \text{ m/s}^2$. Man ermittle die Geschwindigkeit auch mit Hilfe von (2).

Aufgabe 3: Durch die enorme Massenverlagerung bei dem Beben hat sich die (siderische) Tageslänge $d_{\text{alt}} = 86164.091$ s der Erde um $\Delta d = 2.68 \mu\text{s}$ verkürzt. **a)** Unter der Annahme, dass das Trägheits-

Lösung der Aufgabe aus dem Januar-Heft 2004

Aufgabe 1: Durch Gleichsetzen von Zentrifugalkraft $F_Z = m v^2/r$ und Gravitationskraft $F_G = G m M/r^2$ ergibt sich:

$$F_Z = m v^2/r = G m M/r^2 = F_G.$$

Nach Elimination von m folgt daraus direkt:

$$M = v^2 r/G \quad (1)$$

Dies ist die eingeschlossene Masse, also derjenigen Materie, die innerhalb der Sternbahn liegt und somit das Gravitationspotential für diese Bahn festlegt.

Aufgabe 2: Die beobachteten Rotationskurven der Galaxien zeigen in Abweichung von der durch ihre Lichtverteilung erwarteten Materieverteilung eine nach ihren äußeren Bereichen hin flache Rotationskurve. Aus Gleichung (1) lässt sich für konstante Geschwindigkeit v ableiten:

$$M \propto r.$$

Die Masse M wächst demnach linear mit

zunehmender Entfernung r vom Zentrum an.

Aufgabe 3: Mit $r = 100000$ Lj und der Länge des Lichtjahrs, $1 \text{ Lj} = c \cdot a \approx 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ s} = 3 \pi \cdot 10^{12} \text{ km}$ (Fehler $< 1\%$), folgt mit hinreichender Präzision in Einheiten der Sonnenmasse $M_\odot = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ **a)** die Galaxienmasse M_b aus der berechneten Rotationskurve zu:

$$M_b = v_b^2 r/G \\ = 1.6 \cdot 10^9 M_\odot$$

und **b)** die Galaxienmasse M_g aus der gemessenen Rotationskurve zu:

$$M_g = v_g^2 r/G \\ = 3.6 \cdot 10^{11} M_\odot.$$

Der Anteil an Dunkler Materie ist dann für unser Beispiel:

$$(M_g - M_b)/M_g = 1 - M_b/M_g \\ = 1 - (v_b/v_g)^2 \\ \approx 99.5 \text{ Prozent.}$$

Das ist erstaunlich viel, und entspricht

von der Größenordnung her den Literaturangaben. **AMQ**

Richtige Lösungen sandten ein:

Barbara Gutowski, D-19057 Schwerin; Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Saher, D-40629 Düsseldorf; Katrin Stauch, D-01640 Coswig; Sieglinde Übermayer, A-2253 Weikendorf; M. Baldus, D-59519 Möhnesee; R. Bertram, D-26441 Jever; G. Beyvers, D-85058 Ergoldsbach; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; A. Bortz, D-21521 Aumühle; G. Breitkopf, D-13156 Berlin; Chr. Butenweg, D-22763 Hamburg; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; R.-R. Conrad, D-31275 Lehrte; A. Dannhauer, D-38871 Ilseburg; J. Döblitz, D-70619 Stuttgart; A. M. Duffer, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; H. Eggers, D-31311 Uetze; R. Fischer, D-50858 Köln; A. Forkl, D-73230 Kirchheim / Teck; G. Forster, D-69120 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; J. Glattkowski, D-76571 Gaggenau; H. Göbel, D-79540 Lörrach; S. Gritschacher, A-9753 Kleblach / Lind; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; A. Güth, D-73119 Zell u. A.; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; H. Hauser, D-89275 Elchingen; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; W.-P. Hirlinger, D-89522 Heidenheim; F. Hofmann, D-09456 Annaberg-Buchholz; H.-O. Hoppe, D-48455 Bad Bentheim; A. Huss, D-70599 Stuttgart; B. Hußl, A-4553 Schlierbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; K. Jentsch, D-01640 Coswig; G. Junge, D-04600 Altenburg; H. Kamper, D-89520 Heidenheim; Th. Kattermann, D-

moment der Erde $I = \kappa M_{\oplus} R_{\oplus}^2$, $\kappa = 0.3306$, durch das Beben unverändert blieb (was natürlich nicht sein kann), berechne man die Zunahme der Rotationsenergie $E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$ der Erde. Man verwende $M_{\oplus} R_{\oplus}^2 = 2.431 \cdot 10^{38} \text{ kg m}^2$. **b)** Unter der Annahme, dass die Rotationsenergie der Erde unverändert blieb und etwa Gezeitenreibung durch den Mond keine Rolle spielte, und auch der Radius keine Änderung erfahren hat, berechne man die Änderung des Formfaktors κ .

Zusatzaufgabe: Eine weitere Folge des Bebens war die Verlagerung der Erdachse um etwa $s_p = 2.5 \text{ cm}$, was jedoch keine erkennbare Wirkung haben wird, da die Erdpole ohnehin eine veränderliche Bahn von ca. zehn Metern Radius beschreiben. Man versuche, die zur Verkipfung der Achse erforderliche Energie abzuschätzen. Man darf etwa annehmen, dass die Erde über den Zeitraum Δt des Bebens mit konstanter Winkelgeschwindigkeit um eine äquatoriale Achse – Formfaktor $\kappa_a = 0.3295$ – gekippt wurde. AXEL M. QUETZ

Literatur

- [1] **GeoForschungsZentrum Potsdam:** Informationen zum Sumatra-Beben vom 26.12.2004. <http://www.gfz-potsdam.de/news/cent/archive/20041226/index.html>.
 [2] **U.S. Geological Survey:** Earthquake Hazards Program. Magnitude 9.0 off the West Coast of Northern Sumatra. http://neic.usgs.gov/neis/bulletin/neic_slav.html.

09669 Frankenberg/Sa.; L. Kirschhock, D-92237 Sulzbach-Rosenberg; R. Klein, D-65817 Eppstein; F.-G. Knell, D-63457 Hanau; K.-M. Köppl, D-47805 Krefeld; H. Kuchler, A-8960 Öblarn; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; A. Lauterböck, A-1020 Wien; M. Leinweber, D-35435 Wetztenberg; B. Leps, D-13507 Berlin; A. Lichtfuß, D-93161 Sinsing; R. Lüthmann, D-78476 Allensbach; W. Mahl, D-71254 Ditzingen; M. Manz, D-76477 Illingen; P. Matzik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; K. Mischke, D-71116 Gärtringen; F. Moser, D-47167 Duisburg; K. Motl, D-82538 Geretsried; Chr. Netzel, D-52080 Aachen; J. Nußbaum, D-80689 München; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; J.-F. Pittet, D-88677 Markdorf; G. Portisch, D-75015 Bretten; R. Prager, A-2230 Gänserndorf; H. Prange, D-57250 Netphen; H. Preiß, D-08233 Treuen; K. Rechthaler, A-1222 Wien; K. Rohe, D-85625 Gloun ?; A. Schäfer, D-71711 Steinheim/Murr; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; R. H. Schertler, A-5280 Braunau am Inn; M. Schiffer, D-88662 Überlingen; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; M. Senkel, D-85614 Kirchseeon; R. Stahlbaum, D-38124 Braunschweig; K. Stampfer, D-86486 Bonstetten; H. Stöckert, D-82284 Grafath; P. Stoffer, CH-3507 Biglen; A. Trutschel-Stefan, D-83714 Miesbach; B. Wachow, D-50767 Köln; G. Wahl, D-88453 Erolzheim; 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; A. Zeh-Marschke, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf; Chr. Zorn, D-70825 Kornthal-Münchingen.

Insgesamt 99 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE

Stadt mit der Sternwarte »La Specolae«	uns naher roter Riesenstern	Teleskopwerkstoff	Neptun-satellit	sowj. Raketen-test-gelände (2. Wort)	günstige elektron. Kamera	Radio-teleskop mit 27 Antennen	erstmal interstellar von Iso gefunden
aktiver Galaxie-kern	Koordinaten am Firmament	Planet mit Rieskrater	Edelgas (Symbol)	dt. Astronom, entd. zahlreiche Asteroiden	persischer Astronom (1. Wort)	entdeckte die Atmosphäre von Titan	
ugs. für Neckerei, Scherz	erstes automat. Infrarot-Teleskop	Projekt z. Beobachtung v. Mikrolensing	Komet (C/2003 T3)	Teil eines Teleskops	Kfz.-Kennzeichen f. Koblenz		
Nachführsystem (Off-...)	Stern des Frühlingsdreiecks (Alpha ...)	Musiksaal Nachbar v. Cygnus (int. Abk.)			erstaunter Ausruf	enthält d. Riesenast (Abk.)	
Teil einer Galaxie			R-CrB-Veränderlicher (... Tauri)	Sternbild Schlangenträger (int. Abk.)			
			Hilfsfernrohr				
Art einer Finsternis	Sternbild mit NGC 247 (lat. Bez.)				deutscher Rundfunksender		

Lösung des Kreuzworträtsels aus SuW 12/2004

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



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!

Das Lösungswort des Kreuzworträtsels in Heft 1/2005 lautet: **Phoebe**. Der glückliche Gewinner des Zoomspektivs Bresser Spektr (bei 104 richtigen, 1 falschen, 1 inakzeptablen und 2 zu spät eingegangenen Einsendungen) ist: **Marcel Baumgruß**, D-30655 Hannover. Herzlichen Glückwunsch!

»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 Mai 2005 erscheinenden »Zum Nachdenken« werden bei der Verlosung im Sommer 2005 berücksichtigt. Zu gewinnen gibt es u.a. Freibios 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 Software (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