

# Literaturhinweise

Für den interessierten Leser habe ich im Folgenden einige der Artikel, Bücher und Webseiten aufgeführt, die ich genutzt habe, um die Informationen in *Kosmos xxxtrem!* zu sammeln, oder die meines Erachtens einen hilfreichen Überblick über ein bestimmtes Gebiet geben. Kostenlose Vorabversionen der meisten Astronomieartikel findet man auf <arXiv.org>

## Höllengefeuer und Eiseskälte: Extreme der Temperatur

Der heißeste Weiße Zwerg im Inneren des Red-Spider-Nebels: Pottasch, S. & Bernard-Salas, J. (2010) Planetary nebulae abundances and stellar evolution II. *Astronomy & Astrophysics*, 517:95.

Der Bumerang-Nebel: Sahai, R. & Nyman, L. (1997) The Boomerang Nebula: The coldest region of the Universe? *The Astrophysical Journal*, 487:L155.

## Hell und dunkel: Extreme der Helligkeit

Um zu berechnen, wie die Sterne am Himmel schrittweise verschwinden, wenn wir von einer Dunkelwolke umhüllt werden, habe ich die Ergebnisse der folgenden beiden Artikel herangezogen: Alves, J. et al. (2001) Internal structure of a cold dark molecular cloud inferred from the extinction of background starlight. *Nature*, 409:159, und Román-Zúñiga, C. et al. (2007) The infrared extinction law at extreme depth in a dark cloud core. *The Astrophysical Journal*, 664:357.

GRB 080219B, der Gammablitz vom 19. März 2008, der mit bloßem Auge zu sehen war: Bloom, J. et al. (2009) Observations of the naked-eye GRB 080319B: Implications of nature's brightest explosion. *The Astrophysical Journal*, 691:723.

## In alle Ewigkeit: Extreme der Zeit

SDSS J102915+172927, der Stern mit der niedrigsten Metallizität: Caffau, E. et al. (2011) An extremely primitive star in the Galactic halo. *Nature*, 477:67

PSR J1748-2446ad, der am schnellsten rotierende Stern: Hessels, J. et al. (2006) A radio pulsar spinning at 716 Hz. *Science*, 311:1901. Eine Internetsuche wird Geschichten und Links zu einem Objekt namens "XTE J1739-285" liefern, das sich laut Angaben von Astronomen aus dem Jahr 2007 1122 Mal pro Sekunde dreht und damit noch

schneller als PSR J1748-2446ad (siehe <[www.esa.int/esa/SC/SEMPADBE8YE\\_index\\_0.html](http://www.esa.int/esa/SC/SEMPADBE8YE_index_0.html)>). Die Daten, die zu dieser Entdeckung führten, sind jedoch seither nochmals von anderen Astronomen analysiert worden, wobei die ursprünglichen Ergebnisse nicht bestätigt werden konnten.

PSR J1909-3744, dessen Umlaufbahn die perfekte bekannte Kreisform hat: Jacoby, B. et al. (2005) The mass of a millisecond pulsar. *The Astrophysical Journal*, 629:L113.

## Zwerg und Riesen: Extreme der Größe

Mira und die Spur aus Gas, die sie hinterlässt: Martin, D. et al. (2007) A turbulent wake as a tracer of 30,000 years of Mira's mass loss history. *Nature*, 448:780.

UY Scuti, der größte bekannte Stern: Arroyo-Torres, B. et al. (2013) The atmospheric structure and fundamental parameters of the red supergiants AH Scorpii, UY Scuti, and KW Sagittarii. *Astronomy & Astrophysics*, 554:A76.

IC 1101, die größte bekannte Galaxie: Uson, J. et al. (1990) The central galaxy in Abell 2029 – An old supergiant. *Science*, 250:539.

LQG U1.27, die größte bekannte Struktur im Universum: Clowes, R. et al. (2013) A structure in the early Universe at  $z \sim 1.3$  that exceeds the homogeneity scale of the R-W concordance cosmology. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 429:2910.

## Eile und Weile: Extreme der Geschwindigkeit

WASP-12b, ein schnell umlaufender Planet: Hebb, L. et al. (2009) WASP-12b: The hottest transiting extrasolar planet yet discovered. *The Astrophysical Journal*, 693:1920.

Ich habe die Geschwindigkeiten dieses und aller anderen zurzeit bekannten Exoplaneten unter Zuhilfenahme des Katalogs auf [exoplanets.org](http://exoplanets.org) (von mir am 27. Oktober 2013 aufgerufen) berechnet.

Umlaufbahn der Sonne um das Zentrum der Milchstraße: Reid, M. et al. (2009) Trigonometric parallaxes of massive star-forming regions. VI. Galactic structure, fundamental parameters, and noncircular motions. *The Astrophysical Journal*, 700:137.

SDSS J090745.0+024507, der schnellste Hyperschnellläufer: Brown, W. et al. (2005) Discovery of an unbound hypervelocity star in the Milky Way halo. *The Astrophysical Journal*, 622:L33.

PSR B2224+65, der schnellste bekannte Neutronenstern: Harrison, P. et al. (1993) New determinations of the proper motions of 44 pulsars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 261:113.

Das Oh-My-God-Teilchen, das Teilchen der kosmischen Strahlung mit der höchsten Geschwindigkeit: Bird, D. et al. (1995) Detection of a cosmic ray with measured energy well beyond the expected spectral cutoff due to cosmic microwave radiation. *The Astrophysical Journal*, 441:144.

## Dick und dünn: Extreme der Masse

GJ 1245C, der leichteste bekannte Stern: Henry, T. et al. (1999) The optical massluminosity relation at the end of the main sequence. *The Astrophysical Journal*, 512:864. Ich gebe zu bedenken, dass es schwer ist, diese Frage definitiv zu beantworten und dass es andere Kandidaten für diesen Titel gibt. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Belege und der Qualität der Daten hielt ich GJ 1245C jedoch für den wahrscheinlichsten Halter dieses Rekords.

A1, der schwerste bekannte Stern in der Milchstraße: Schnurr, O. et al. (2008) The very massive binary NGC 3603-A1. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 389:L38. Es ist von schwereren Sternen berichtet worden, doch deren Massen wurden indirekt oder näherungsweise bestimmt. A1 ist der schwerste Stern, für den es eine genaue und zuverlässige Massenbestimmung gibt (was gewöhnlich erfordert, dass der Stern Teil eines Doppelsternsystems ist).

WR 102 ka, der Stern in der Milchstraße mit der größten anfänglichen Masse: Barniske, A. et al. (2008) Two extremely luminous WN stars in the Galactic center with circumstellar emission from dust and gas. *Astronomy & Astrophysics*, 971:984.

S5 0014+813, ein supermassereiches Schwarzes Loch: Ghisellini, G. et al. (2009) The blazar S5 0014+813: A real or apparent monster? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399:L24.

Akkurate Messungen der Massen von supermassereichen Schwarzen Löchern sind sehr schwierig, sodass es schwer ist, das schwerste Schwarze Loch mit absoluter Bestimmtheit anzugeben, aber S5 0014+813 scheint das Schwarze Loch mit der höchsten zuverlässigen Messung zu sein.

Abell 2163, der schwerste bekannte Galaxienhaufen: Holz, D. & Perlmutter, S. (2012) The most massive objects in the Universe. *The Astrophysical Journal*, 755:L36.

## Sphärenklänge: Extreme des Schalls

Abell 426, die Quelle des tiefsten Tons im Universum: Fabian, A. et al. (2003) A deep Chandra observation of the Perseus cluster: Shocks and ripples. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 344:L43.

Die ersten Geräusche im Universum: alle Berechnungen habe ich selbst durchgeführt, aber ich fand die folgenden drei Informationsquellen besonders nützlich:

Rich, James (2010) *Fundamentals of Cosmology* (2. Aufl.). Springer, Berlin.

Cramer, John (2010) The sound of the Big Bang, <faculty.washington.edu/jcramer/BBSound.html> (aufgerufen am 30.3.2013).

Whittle, Mark (2010), Big Bang acoustics, <www.astro.virginia.edu/~dmw8f/BBA\_web/index\_frames.html>, (aufgerufen am 17.1.2014).

## Dynamos im All: Extreme des Elektromagnetismus

YZ Canis Minoris, ein spektakulärer Flare- oder Flackerstern, der durch Magnetismus angetrieben wird: Kowalski, A. et al. (2010) A white light megaf flare on the dM4.5e Star YZ Cmi. *The Astrophysical Journal*, 714:L98.

HD 215441, der magnetischste bekannte Ap-Stern: Babcock, HW. (1960) The 34-kilogauss magnetic field of HD 215441. *The Astrophysical Journal*, 132:521.

PG 1031+234, der magnetischste Weiße Zwerg: Latter, W. et al. (1987) The rotationally modulated Zeeman spectrum at nearly 109 gauss of the white dwarf PG 1031+234. *The Astrophysical Journal*, 320:308. Aufgrund der Schwierigkeit dieser Messungen ist es schwer, Aussagen mit absoluter Bestimmtheit zu treffen; ein Überblick über die Situation findet sich bei Jordan, S. (2009) Magnetic fields in white dwarfs and their direct progenitors. *IAU Symposium*, 259:369.

SGR 1806-20, der magnetischste Magnetar: Kouveliotou, C. et al. (1998) An X-ray pulsar with a superstrong magnetic field in the soft gamma-ray repeater SGR 1806-20. *Nature*, 393:235.

Der riesige Strahlungsausbruch von SGR 1806-20 im Dezember 2004: Gaensler, B. et al. (2005) An expanding radio nebula produced by a giant flare from the magnetar SGR 1806-20. *Nature*, 434:1104.

PSR J0537-6910, der Neutronenstern mit der höchsten elektrischen Spannung: meine eigenen Berechnungen unter Nutzung der Daten in Marshall, F. et al. (1998) Discovery of an ultrafast X-ray pulsar in the supernova remnant N157B. *The Astrophysical Journal*, 499:L179.

Die Hochspannung in der Umgebung supermassereicher Schwarzer Löcher: Straumann, N. (2008) Energy extraction from black holes. *AIP Conference Proceedings*, 977:75.

Extragalaktische Jets: Kronberg, P. et al. (2011) Measurement of the electric current in a kpc-scale jet. *The Astrophysical Journal*, 741:L5.

## Leichtgewichte und Schwergewichte: Extreme der Schwerkraft

GRO J0422+32, das Schwarze Loch mit der stärksten Schwerkraft: Gelino, F. & Harrison, T. (2003) GRO J0422+32: The lowest mass black hole? *The Astrophysical Journal*, 599:1254. Es wurde die Entdeckung eines noch kleineren Schwarzen Lochs, XTE J1650-500, behauptet (siehe [www.nasa.http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2008/smallest\\_blackhole.html](http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2008/smallest_blackhole.html) (Zuletzt aufgerufen am 17.1.2014)). Die Entdecker dieses Ergebnis überprüften jedoch später ihre Berechnungen und zogen ihre Behauptung zurück – siehe Shaposhnikov, S. & Titarchuk, L. (2009) Determination of black hole masses in galactic black hole binaries using scaling of spectral and variability characteristics. *The Astrophysical Journal*, 699:453.

Die schwache Schwerkraft zwischen der Milchstraße und Andromeda: van der Marel, R. & Guhathakurta, P. (2008) M31 transverse velocity and local group mass from satellite kinematics. *The Astrophysical Journal*, 678:187.

Das zukünftige Schicksal von Milchstraße und Andromeda: Cox, T. & Loeb, A. (2008) The collision between the Milky Way and Andromeda. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 386:461.

Die Umlaufbahn mit der schwächsten Gravitation, zwischen SDSS J113342.7+482005 und SDSS J113403.9+482837: meine eigenen Berechnungen mit Hilfe der Daten in Karachentsev, I. & Makarov, D. (2008) Binary galaxies in the local supercluster and its neighborhood. *Astrophysical Bulletin*, 63:299.



## Vakuum und Schwarze Löcher: Extreme der Dichte

Die kristalline Struktur Weißer Zwerge: Metcalfe, T. et al. (2004) Testing white dwarf crystallization theory with asteroseismology of the massive pulsating DA Star BPM 37093. *The Astrophysical Journal*, 605:L133.

Lange Ketten von Atomen auf der Oberfläche eines Neutronensterns: Salpeter, E. (1988) Hydrogen in strong magnetic fields in neutron star surfaces. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 10:11285.

Die extreme Festigkeit der Kruste eines Neutronensterns: Horowitz, C. & Kadau, K. (2009) Breaking strain of neutron star crust and gravitational waves. *Physical Review Letters*, 102, id 191102.

Nukleare Pasta im Innern eines Neutronensterns: Ein guter Überblick findet sich in Lamb, F. (1991) Neutron stars and black holes, in D. Lambert (Hrsg.) *Frontiers of Stellar Evolution*, 20:299 (veröffentlicht von der Astronomical Society of the Pacific).

Kosmische Leeren, Gegenden der geringsten Dichten im Universum: Hoyle, F. & Vogeley, M. (2004) Voids in the two-degree field galaxy redshift survey. *The Astrophysical Journal*, 607:751.

# Sachverzeichnis

2MASS J06303279+2940202  
97, 99, 101  
61 Cygni 127  
2008 TS 26 94  
2008 TS26 93, 94, 121

## A

A1 133, 136  
Abell 426 154, 155, 156, 157,  
159, 163, 165, 191, 238  
Abell 2163 143  
Acetaldehyd 38  
Aceton 38  
Achernar 77  
AGB *Siehe* Asymptotischer  
Riesenast 81  
Aldebaran 80  
Alnilam 131  
Andromedagalaxie 85, 207,  
208–211

Antares 83  
Antimaterie 23  
Anzahldichte 232–234  
Apollo 10 96, 100, 112

Ap-Stern 177  
Archäologie, galaktische 55  
Arktur 80  
Asteroid 39, 92–94, 121  
Asymptotischer Riesenast  
(AGB) 81  
Augers 118

## B

Babcocks Stern 177, 178, 180  
Barnard 68 34  
Beteigeuze/Betelgeuse 14, 63,  
64, 83  
Blauer Nachzügler 42  
Blitz 149, 169, 187, 188, 190  
Bow Shock 113  
Brauner Zwerg 128, 129  
Bumerangnebel 28–30, 178,  
238

## C

Canopus 130, 131  
cD-Galaxie 86  
Centaurus A 192

Chandra Röntgenteleskop 155  
 CMB (*cosmic microwave background*) 27

## D

Dezibel 151, 152, 156, 161, 165  
 Dichte, äquivalente 229, 231, 232  
 Distickstoffmonoxid 38  
 Donner 149  
 Doppelsternsystem 41, 42, 72, 105, 123–125, 127, 129, 133, 136, 202  
 Doppler-Effekt 100, 107, 125  
 Dunkelwolke 34, 36, 37–39, 49, 123, 132, 136, 233

## E

Eigenbewegung 111  
 Eisen 17, 21, 50, 54, 56, 57, 59, 60  
 Elektromagnetismus 170  
 Elektronen 19, 22, 27, 163, 170–172, 175, 192, 217, 218, 219, 221, 223, 226  
 Energie, dunkle 238  
 Erde 11, 45, 54, 71, 75, 76, 77, 96, 174–176, 190, 191, 193–196, 198, 199, 206, 214  
 Ereignishorizont 200, 201, 203, 228–230, 231

Ethanol 38  
 Exoplanet 97–102

## F

Fall, freier 195  
 Flackerstern 177  
 Fly's Eye 116  
 Frequenz 147, 153, 156

## G

Galaxie  
   elliptische 86, 123, 210  
   lokale Gruppe 207  
   Spiralgalaxie 84–86, 207  
 Galaxienhaufen 141–143, 153, 158, 159  
 Gammastrahlen 51, 181  
 Gammastrahlenausbruch 51, 52, 62, 184  
 Gas  
   intergalaktisches 142, 192, 234  
   interstellares 43, 50, 113, 150  
 Gewicht 119, 120, 194, 196  
 GJ 1245C 129, 130  
 Graviation, Siehe Schwerkraft  
 GRB 080319B 52  
 GRO J0422+32 203, 230  
 GRO J0422+32 202, 229  
 Große Magellansche Wolke 181

**H**

- Hauptreihe 19, 78–80
- HD 215441, Siehe Babcocks Stern
- Heißer Jupiter 97, 101, 102, 112
- Helium 14, 17, 18–20, 56, 57, 59, 60, 79, 80, 81
- Holifield Radioactive Ion Beam Facility 186
- Horizontalast 20, 81
- Hubble 35
- Hubble-Weltraumteleskop 16, 63, 102, 129
- Hyperschnellläufer 104–110, 112, 157

**I**

- IC 1101 86, 141
- Internationale Raumstation 95, 195

**K**

- Kepler-37b 92
- Keplers Supernova 47, 49
- Kernfusion 18, 19, 21, 56, 65, 79, 80, 127, 128, 179
- Kernkraft, starke 226
- Kohlenmonoxid 38
- Kohlensack 33, 34
- Kristall 217
- Kugelsternhaufen 39, 41–44, 46, 70, 206

**L**

- Large Hadron Collider 117
- Leere, kosmische 88, 234, 235, 239
- Leo Ring 238
- Lichtgeschwindigkeit 61, 114–116, 118, 191
- Lichtjahr 15

**M**

- Magellansche Wolke 181
- Magnetar 180, 182–185, 188
- Magnetfeld 170, 175, 176–182, 185, 187, 188, 190
- Masse 119–122, 255
- Materie, dunkle 141, 238
- MC-1 178, 179
- Merkur 96, 97, 121
- Messier 31, Siehe Andromedagalaxie
- Messier 81 52
- Metallizität 57–59, 135
- Migration, planetare 102
- Mikrowellen 26
- Mikrowellenhintergrund, kosmischer 27, 30, 163
- Milchstraße 33, 34, 44, 45, 47, 55, 56, 58, 60, 62, 65, 84–86, 103, 105, 106, 107, 108, 109, 126, 127, 132–136, 137, 141, 206–210

- Milkomeda 210  
 Mira 78–83  
 Moleküle 12, 36, 38  
 Molekülwolke, Siehe Dunkelwolke  
 Moment, magnetisches 173–175  
 Multi-Shot Magnet 178
- N**
- Nebel, planetarischer 14–17, 20, 28, 29, 63, 179  
 Neutronenstern 21, 67, 68, 70, 72, 73, 92, 110–114, 179, 180, 182, 185, 188, 199, 202, 220–224, 226, 227  
 Neutronenstern, Siehe auch Pulsar  
 NGC 1275 157, 158  
 3603 133  
 6537, Siehe Red-Spider-Nebel  
 Nullpunkt, absoluter 25, 28
- O**
- Oh-My-God-Teilchen 117, 118  
 Omega Centauri 39, 40
- P**
- Pasta, nukleare 226, 227  
 Pauli-Prinzip 218, 219, 221, 223, 224  
 Perseushaufen 154  
 PG 1031+234 179, 180  
 Pierre-Auger-Observatorium 118  
 Plancksches Gesetz der Schwarzkörperstrahlung 14–16, 26  
 Polarlicht 176, 190, 191  
 Population-I-Sterne 60  
 Population-II-Sterne 60  
 Population-III-Sterne 60–62, 135, 136  
 Prä-Rekombinationsära 162  
 Proxima Centauri 65  
 PSR  
 B2224+65 111, 112  
 J0537-6910 188, 191  
 J1024-0719 3, 5  
 J1748-2446ad 69, 73, 188  
 J1847-0130 180  
 J1909-3744 71
- Q**
- Quantenmechanik 217  
 Quarks 23
- R**
- Radioaktivität 114, 115  
 Radiogalaxie 192  
 Radiowellen 26, 67, 180, 192  
 Red-Spider-Nebel 15, 16, 20

- Rekombination 27, 163–166  
 Relativitätstheorie, spezielle  
     114  
 Röntgenstrahlen 15, 26, 101,  
     155  
 Roter Riese 20, 80, 81, 215,  
     216  
 Roter Überriese 83, 84  
 Roter Zwerg 65, 66, 127–129,  
     176  
 Rotverschiebung 89
- S**
- S 5 0014+813 200  
 S5 0014+813 138, 141, 201,  
     231  
 Sagittarius A\* 104–109, 136,  
     137, 138, 157, 230, 231  
 Sagittarius-Zwerggalaxie, ellip-  
     tische 85  
 Schallgeschwindigkeit 148,  
     150, 154, 156, 163  
 Schallwellen 147, 148, 149,  
     151, 153, 154, 156, 160,  
     163, 166  
 Schwarzes Loch 158, 189  
     primordiales 204  
     stellares 202, 203, 228, 230,  
     231  
     supermassereiches 105, 106,  
     137–140, 142, 157–159,  
     188, 189, 191, 230, 231,  
     232
- Schwarzkörperstrahlung  
     14–16, 26  
 Schwerebeschleunigung 199,  
     200, 208  
 Schwerelosigkeit 196  
 Schwerkraft 20, 41, 42, 56, 70,  
     80, 83, 86, 102, 105,  
     108, 119–123, 133, 139,  
     142, 160, 161, 172,  
     189, 193–212, 216, 217,  
     219–221, 223, 224, 228,  
     229, 238, 258
- SDSS
- J090745.0+024507 107,  
     108, 112  
 J113342.7+482004.9 211  
 J113403.9+482837.4 211
- SGR
- 0526–66 184  
 1806–20 182, 183, 185  
 1900+14 184
- Singularität 228
- Sirius 14, 16, 61, 130
- Sonne 13, 14, 17–21, 31, 35,  
     44–46, 54, 57, 58, 60,  
     63, 65, 76, 77, 80, 82,  
     91, 92, 103, 121, 126,  
     127, 176, 179, 190, 206,  
     210, 215
- Sonneneruption 176
- Spannung 171, 172, 186–189
- Spektroskopie 59
- Spektrum, elektromagnetisches  
     16, 26, 51

- Staub 35, 37, 56, 102, 133,  
134, 136, 233
- Stern, periodisch veränderlicher  
78
- Sternwind 29, 132, 135
- Strahlen, kosmische 114–116
- Strom 171, 173, 187, 190–192
- Supernova 21, 47, 48–51,  
66–68, 92, 109, 110,  
112, 133, 147, 150, 152,  
159, 165, 179, 202, 221
- Supernovaüberrest 148
- T**
- Temperatur 11–13, 21–26, 28,  
30, 82, 127, 132, 134,  
143, 155, 163, 164, 251
- Tesla Hybrid Magnet 177
- Thorne-Żytkow-Objekt 42
- Transitmethode 98, 99, 125
- U**
- Überschallknall 147, 149, 150,  
152
- Unipolarmaschine 187
- Urknall 159, 160, 161, 164,  
204
- UY Scuti 84, 86
- V**
- Vesta 93, 121
- Virgo-Galaxienhaufen 142
- W**
- WASP-12b 97, 99–101
- Wasserstoff 17–19, 27, 37, 38,  
50, 56, 57, 60, 63, 65,  
79, 81, 83, 216, 234
- Weißer Zwerg 14–17, 20, 26,  
91, 179, 199, 216–219
- Wellen, stehende 160, 161
- Wolf-Rayet-Stern 132–136
- WR 102ka 134
- Y**
- YZ Canis Minoris 176
- Z**
- z8\_GND\_5296 238
- Z-Maschine 190, 191
- Zwergplanet 92