

# Das Universum in Zahlen

## Naturkonstanten

1. Gravitationskonstante ( $G, \gamma$ ) [ $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{s}^{-2}$ ] .....  $6,67 \cdot 10^{-11}$
2. Lichtgeschwindigkeit ( $c$ ) [ $\text{m s}^{-1}$ ] .....  $3,00 \cdot 10^8$
3. Planckzahl ( $h$ ) [J s] .....  $6,63 \cdot 10^{-34}$
4. Boltzmannkonstante ( $k_B$ ) [ $\text{J K}^{-1}$ ] .....  $1,38 \cdot 10^{-23}$
5. Stefan-Boltzmann-Konstante ( $\sigma$ ) [ $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$ ] ...  $5,67 \cdot 10^{-8}$

## Atomkern

1. Protonengröße [m] .....  $0,8 \cdot 10^{-15}$
2. Protonenmasse [kg] .....  $1,67 \cdot 10^{-27}$
3. Protonenladung [C] .....  $1,60 \cdot 10^{-19}$
4. mittlere Dichte des Kerns [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $2 \cdot 10^{17}$
5. typische Bindungsenergie pro Nukleon [J] .....  $10^{-12}$   
[MeV] ..... 7–8
6. Protonenmasse zu Elektronenmasse ..... 1836
7. atomare Masseneinheit ( $^{12}\text{C}$ -Masse  $\cdot \frac{1}{12}$ ) =  
amu oder u [kg] .....  $1,66 \cdot 10^{-27}$
8. Ruheenergie einer atomaren Masseneinh. [MeV] ..... 931
9. Ruheenergie des Elektrons [MeV] ..... 0,511

## Atome und Photonen

1. Erster Bohrscher Radius [m] .....  $5 \cdot 10^{-11}$   
[Å] ..... 0,5
2. typische Wellenlänge sichtbaren Lichts [m] .....  $5 \cdot 10^{-7}$
3. Ionisationsenergie des atomaren  
Wasserstoffgrundzustandes [eV] ..... 13,6
4. Ionisationsenergien verschiedener Atome [eV] ..... 5–20

## Mensch und Menschheit

1. typische lineare Größe eines Menschen [m] ..... 1
2. typische Masse eines Menschen [kg] .....  $10^2$
3. typische Lebensdauer eines Menschen [s] .....  $10^9$
4. Dichte des menschlichen Körpers [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 1000
5. Massenanteile des menschlichen Körpers:  
Sauerstoff ..... 65 %  
Kohlenstoff ..... 18 %  
Wasserstoff ..... 17 %  
sonstige Elemente ..... < 1 %
6. spezif. Energieproduktionsrate [ $\text{J kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ] ..... 1
7. Auflösungsvermögen der Sinne für Massen [g] ..... 0,1  
Zeit [s] ..... 0,1
8. lineare Auflösung des menschlichen Auges [mm] ..... 0,1
9. Winkelauflösung des menschlichen Auges  
[', arcmin, Bogenminuten] ..... 1
10. Zahl der Menschen auf der Erde .....  $7 \cdot 10^9$
11. Zahl der Astronomen .....  $10^4$

## Umwelt

1. Dichte der Luft (Normalbedingungen) [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 1,3
2. Zahl der Moleküle pro Kubikzentimeter Luft:  
Loschmidtzahl .....  $3 \cdot 10^{19}$
3. Molare Masse von Luft [ $\text{g mol}^{-1}$ ] ..... 29
4. thermische Geschwindigkeit von „Luftmolekülen“  
[ $\text{m s}^{-1}$ ] ..... 500
5. thermische Energie von Luftmolekülen [eV] ..... 0,025
6. Umgebungstemperatur [K] ..... 300
7. Dichten [ $10^3 \text{kg m}^{-3}$ ]: Wasser ..... 1,0  
Eisen ..... 7,8  
Quecksilber ..... 13,6
8. barometrische Skalenhöhe der Erdatmosphäre [km] ..... 8

## Erde und Mond

1. Erdradius [km] ..... 6400
2. Erdmasse ( $M_{\oplus}$ ) [kg] .....  $6 \cdot 10^{24}$

3. mittlere Dichte der Erde [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 5500
4. irdische Fluchtgeschwindigkeit [ $\text{m s}^{-1}$ ] ..... 11 200
5. Rotationsgeschwindigkeit der Erde am Äquator  
[ $\text{m s}^{-1}$ ] ..... 500
6. Oberflächengravitation der Erde [ $\text{m s}^{-2}$ ] ..... 9,8
7. Erdmagnetfeld [Tesla, T] .....  $5 \cdot 10^{-5}$
8. Alter der Erde [Jahre, a, yr, y] .....  $4,4 \cdot 10^9$
9. Alter des Lebens auf der Erde [a] .....  $3,5 \cdot 10^9$
10. Zahl der Sekunden pro Tag ..... 86 400
11. Zahl der Sekunden pro Jahr .....  $3 \cdot 10^7$
12. scheinbare Helligkeit des Vollmondes [mag] ..... -13
13. Entfernung zum Mond [km] ..... 400 000  
[au, siehe unten] ..... 1/400  
[ls, Lichtsekunden] ..... 1,3
14. Mondmasse [Erdmassen] ..... 1/81
15. Oberflächengravitation des Mondes [ $\text{m s}^{-2}$ ] ..... 1,6
16. Mondfluchtgeschwindigkeit [ $\text{m s}^{-1}$ ] ..... 2400
17. synodischer Monat [Tage, d] ..... 29,5
18. siderischer Monat [d] ..... 27,1

## Sonnensystem

1. Astronomische Einheit (au) [m] .....  $1,5 \cdot 10^{11}$   
[ls] ..... 500
2. Bahngeschwindigkeit der Erde [ $\text{km s}^{-1}$ ] ..... 30
3. Größe des Sonnensystems (einschließlich Kuipergürtel)  
[au] ..... 50  
[m] .....  $8 \cdot 10^{12}$   
[Lichtstunden] ..... 7  
[Sonnenradien,  $R_{\odot}$ ] .....  $10^4$
4. Pluto: Umlaufdauer [a] ..... 250  
große Halbachse [au] ..... 5  
mittlere Dichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 1300  
Masse ( $M_{\text{Jup}}$ ) [Sonnenmassen,  $M_{\odot}$ ] ..... 0,001  
Masse [Erdmassen,  $M_{\oplus}$ ] ..... 300  
Rotationsdauer [h] ..... 10
5. Jupiter: Umlaufdauer [a] ..... 12  
große Halbachse [au] ..... 5  
mittlere Dichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 1300  
Masse ( $M_{\text{Jup}}$ ) [Sonnenmassen,  $M_{\odot}$ ] ..... 0,001  
Masse [Erdmassen,  $M_{\oplus}$ ] ..... 300  
Rotationsdauer [h] ..... 10
6. Alle Planeten laufen **gegen** den Uhrzeigersinn um die Sonne  
(bei Draufsicht auf den Nordpol)

## Die Sonne

1. Masse ( $M_{\odot}$ ) [kg] .....  $2 \cdot 10^{30}$
2. Leuchtkraft ( $L_{\odot}$ ) [W] .....  $4 \cdot 10^{26}$
3. Radius ( $R_{\odot}$ ) [km] ..... 700 000
4. mittlere Dichte [ $\text{kg m}^{-3}$ ] ..... 1400
5. Fluchtgeschwindigkeit [ $\text{km s}^{-1}$ ] ..... 600
6. Rotationsdauer am Äquator [d]: synodisch ..... 27  
siderisch ..... 25
7. „Oberflächen“gravitation [ $\text{m s}^{-2}$ ] .....  $3 \cdot 10^2$   
[ $\text{cm s}^{-2}$ ] .....  $3 \cdot 10^4$
8. im Zentrum der sichtbaren Sonnenscheibe: ...  $1'' \hat{=} 750 \text{ km}$

## Die Sonne als Stern

1. absolute Helligkeit (V-Band, optisch) [mag] ..... 4,8
2. scheinbare Helligkeit im V-Band [mag] ..... -26,7  
bolometrisch [mag] ..... -26,8
3. B–V-Farbindex [mag] ..... 0,65
4. Spektraltyp und Leuchtkraftklasse ..... G2 V
5. „Oberflächen“temperatur [K] ..... 5800
6. Temperatur der Sonnenkorona [K] .....  $10^6$
7. Magnetfeld der Sonnenflecken [T] ..... 0,1–0,4
8. Massenanteile der Sonnenatmosphäre:  
Wasserstoff ..... 70 %  
Helium ..... 27 %  
sonstige Elemente ..... 3 %

## Sterne und substellare Objekte

### Planeten

1. Massen [ $M_{\text{Jup}}$ ] ..... < 13
2. große Bahnhalbachsen [au] ..... 0,01–100
3. Bahnexzentrizitäten ..... 0 bis  $\approx 0,97$

### Braune Zwerge

1. Massenbereich [ $M_{\text{Jup}}$ ] ..... 13–80

### Normale Sterne

1. Massen [ $M_{\odot}$ ] ..... 0,08–100
2. Radien [ $R_{\odot}$ ]: Hauptreihe ..... 0,1–25  
Rote Riesen und Überriesen ..... 10–1000
3. Leuchtkräfte [ $L_{\odot}$ ] .....  $10^{-4}$ – $10^6$
4. spezif. Energieproduktionsraten [ $\text{J kg}^{-1} \text{s}^{-1}$ ] .....  $10^{-5}$ – $0,1$
5. mittlere Dichten [ $\text{kg m}^{-3}$ ]:  
Hauptreihe .....  $10$ – $10^5$   
Rote Riesen und Superriesen .....  $10^{-4}$ – $10$
6. „Oberflächen“temperaturen [K] ..... 3000–50 000

### Weißer Zwerge

1. Massen [ $M_{\odot}$ ] ..... < 1,4
2. Radien [ $R_{\odot}$ ] .....  $\sim 0,01$   
[ $R_{\oplus}$ ] .....  $\sim 1$
3. mittlere Dichten [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^8$ – $10^{10}$
4. Magnetfelder [T] .....  $\leq 10^2$ – $10^4$

### Neutronensterne

1. Massen [ $M_{\odot}$ ] ..... < 2–3
2. Radien [km] ..... 10–15
3. mittlere Dichten [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^{16}$ – $10^{17}$
4. Magnetfelder [T] .....  $10^{10}$
5. Rotationsdauern [s] ..... 0,001–10

### Milchstraße

1. Einh. interstellarer Abstände: 1 pc (Parallaxensekunde) =  
[au] .....  $\frac{1}{\tan 1''} = 206\,265$   
[Lichtjahre, ly] ..... 3,26  
[m] .....  $3 \cdot 10^{16}$
2. Geschwindigkeit der stellaren Astronomie: 1 au/a =  
[ $\text{km s}^{-1}$ ] ..... 4,74
3. Durchmesser der Scheibe [kpc] ..... 30
4. vertikale Dicke der Scheibe [kpc] ..... 2
5. Masse [ $M_{\odot}$ ] .....  $10^{11}$ – $10^{12}$
6. Masse des zentralen schwarzen Lochs [ $M_{\odot}$ ] .....  $4 \cdot 10^6$
7. Anzahl der Sterne .....  $10^{11}$
8. Hubbleklasse ..... Sbc oder SBbc
9. absolute Helligkeit (V-Band) [mag] ..... –20,5
10. Abstand d. Sonne vom Zentrum der Galaxis [kpc] ..... 8,5
11. Umlaufgeschwindigkeit der Sonne  
um das galaktische Zentrum [ $\text{km s}^{-1}$ ] ..... 220
12. galaktisches Jahr (GY) [a] .....  $225 \cdot 10^6$
13. Entfernung der Sonne zu  $\alpha$  Centauri [pc] ..... 1,3  
[ly] ..... 4,3
14. Relativgeschwindigkeit der Sonne  
bzgl. lokalem Standardruhepunkt [ $\text{km s}^{-1}$ ] ..... 20
15. Maximale beobachtete Eigenbewegung (Barnardstern)  
[ $'' \text{a}^{-1}$ ] ..... 10
16. Dichte in der Sonnenumgebung (inkl. Sternmaterie)  
[ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^{-20}$   
[ $M_{\odot} \text{pc}^{-3}$ ] ..... 0,1  
[Protonen/ $\text{m}^3$ ] .....  $10^7$
17. Kugelsternhaufen: geschätzte Zahl in Galaxis .....  $\sim 200$   
Anzahl der Sterne pro Haufen ..  $10^5$ – $10^6$

### Nebel und interstellares Medium (ISM)

1. Massenverhältnis von Gas zu Staub im ISM ..... 100:1

2. Sternenmasse in Galaxie zu Masse des ISM ..... 30
3. Temperaturbereich von interstellarem Gas [K] .....  $10^1$ – $10^7$
4. Teilchenzahldichten des ISM [ $\text{m}^{-3}$ ] .....  $10^3$ – $10^{14}$
5. mittlere Dichte des ISM [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^{-21}$
6. Magnetfelder [T] ..... (3 bis 5)  $10^{-10}$
7. Gasnebel: Teilchenzahldichten [ $\text{m}^{-3}$ ] .....  $10^8$ – $10^{10}$   
Temperatur [K] ..... 10 000

### Extragalaktische Astronomie und das Universum

1. Entfernung zur Großen Magellan'schen Wolke [kpc] ..... 55  
zum Andromedanebel [kpc] ..... 700  
zum Virgo-Galaxienhaufen [Mpc] ..... 20
2. Verhältnis aus mittlerem Galaxienabstand  
und mittlerer Galaxiengröße ..... 10–100
3. Hubblekonstante ( $H$ ) [ $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ ] ..... 50–100
4. Hubblezeit ( $1/H$ ) [a] .....  $10^{10}$
5. Hubbleldistanz ( $c/H$ ) [m] .....  $10^{26}$
6. Temperatur der kosmischen Hintergrundstrahlung [K] ... 2,7
7. kritische Dichte des Universums [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^{-26}$   
[Protonen/ $\text{m}^3$ ] ..... 6
8. mittlere Dichte der sichtbaren Materie  
im Universum [ $\text{kg m}^{-3}$ ] .....  $10^{-27}$
9. Alter des Universums [a] .....  $1,4 \cdot 10^{10}$

### Geschichte der Astronomie

- ca. 360 v. Chr. ARISTOTELES:  
geozentrisches Modell des Universums
2. Jhd. v. Chr. ARISTARCH V. SAMOS: erstes heliozentrisches  
Modell des Universums
- 240 v. Chr. ERATOSTHENES:  
erste Bestimmung des Erdradius
2. Jhd. v. Chr. HIPPARCH: Entdeckung der Präzession,  
Skala für Sternhelligkeiten, Sternkatalog
2. Jhd. n. Chr. PTOLOMÄUS: „Almagest“, Epizyklen
- 1543 KOPERNIKUS:  
„De revolutionibus orbium coelestium“  
(Vom Umlauf der Himmelskreise)
- 1610 GALILEI: erstmals Gebrauch von Teleskopen  
in der Astronomie
- 1610–1620 KEPLER: Gesetze der Planetenbewegung
- 1687 NEWTON:  
„Philosophiæ naturalis principia mathematica“  
(Mathematische Prinzipien d. Naturphilosophie)
- Ende 18. Jhd. HERSCHEL: Geburt der stellaren Astronomie
- 1859 KIRCHHOFF: Geburt der Spektralanalyse
- 1916 EINSTEIN: Allgemeine Relativitätstheorie
- 1918 SHAPLEY: galaktozentrischer Umlauf
- 1920er HUBBLE: extragalaktische Astronomie,  
Expansion des Universums
- 1933 JANSKY: Geburt der Radioastronomie
- 1939 BETHE, V. WEIZSÄCKER:  
Quellen der Sternenergie
- 1950er Sternentwicklung
- 1960er Quasare, kosm. Hintergrundstrahlung, Pulsare
- 1970er Röntgen- und Gammastrahlenastronomie
- 1980–1990er Infrarotastron., weltraumbasierte Astrometrie
- 1995 erste Entdeckung extrosolarer Planeten
- 2002 Massereiche Schwarze Löcher in Galaxienkernen
- 2016 Geburt der Gravitationswellenastronomie

#### Verfasser:

Prof. Dr. V.V. Ivanov, Uni Sankt-Petersburg (Idee, Originalversion)

Prof. Dr. A.V. Krivov, Uni Jena (Überarbeitung)

Dr. habil. T. Löhne, Uni Jena (Deutsche Übersetzung)