Astronomische Constanten

v.20220422

EENHEDEN

De eenheden meter (m), seconde (s) en kilogram (kg) en zijn de eenheden van lengte, tijd en massa in het Internationale Systeem van Eenheden (SI) (ref.[1]).
De astronomische eenheden van lengte, tijd en massa zijn (ref.[11]):

A = astronomische eenheid van lengte; ongeveer gelijk aan de straal van de aardbaan.
D = astronomische eenheid van tijd, gelijk aan één dag van 86.400 SI seconden.
S = astronomische eenheid van massa, gelijk aan de massa van de zon.

IAU STANDAARDEN

De Internationale Astronomische Unie onderhoudt een systeem van definities en best bepaalde waarden van astronomische constanten. Zie de Transactions (ref.[2]) en Resolutions (ref.[3]). Hieronder volgt een selectie van de beste waarden zoals die eind 2018 bekend waren (ref.[4]). Voor astrofysisch gebruik zijn vaste afgeronde nominale waarden vastgesteld (ref.[5]). In de getallen zijn decimale komma's, en punten voor duizendtallen gebruikt, en '·' (hoge punt) betekent 'maal'.

1.1. Gedefinieerde natuurlijke constante

lichtsnelheid	$c = 299.792.458$ m/s	[6]

1.2. Gedefinieerde hulpconstanten

astronomische eenheid	au = A = 149.597.870.700 m	[7a,b]
rotatiehoek aarde voor J2000,0 UT1	$\theta_0 = 0{,}779\ 057\ 273\ 2640$ rev.	
verandering in rotatiehoek aarde:		
	$d\theta/dUT1 = 1{,}002\ 737\ 811\ 911\ 354\ 48$ rev./UT1-dag	[8b],[9]

2.1 Meetbare natuurlijke constanten

Newtons gravitatieconstante	$G = 6{,}674\ 28\ (\pm 67)\cdot 10^{-11}$ m^3/kg/s^2	[10a]
nieuwere waarde uit CODATA 2018:	$6{,}674\ 30\ (\pm 15)\cdot 10^{-11}$ m^3/kg/s^2	[10]

2.3 Hemellichaam constanten

heliocentrische gravitatieconstante GM_S

TDB compatibele waarde: $= A^3k^2/D^2 = 1{,}327\ 124\ 400\ 41\cdot 10^{20}$ m^3/s^2

equatoriale straal van de aarde	$a_e = 6.378.136{,}6$ m	
dynamische vormfactor van de aarde ("zero-frequency tide model"):		
	$J_2 = 0{,}001\ 082\ 6359$	
langdurige verandering in J_2 per eeuw	$dJ_2 = -3{,}0\cdot 10^{-9}$/cy	
geocentrische gravitatieconstante GM_E		
TT compatibele waarde:	$= 3{,}986\ 004\ 415\cdot 10^{14}$ m^3/s^2	
TDB compatibele waarde:	$= 3{,}986\ 004\ 356\cdot 10^{14}$ m^3/s^2	
geopotentiaal op de geoïde	$W_0 = 62.636.856{,}0$ J/kg = m^2/s^2	
nominale gemiddelde hoeksnelheid van de aardrotatie		
TT compatibele waarde:	$\omega = 7{,}292\ 115\cdot 10^{-5}$ rad/s	
verhouding van de massa van de maan tot de massa van de aarde:		
	$\mu = M_M/M_E = 0{,}012\ 300\ 0371$	[7a]

Afgeleide en oudere constanten

gravitatieconstante van Gauss $k = 0{,}017\ 202\ 098\ 95$ [11a],[12a]
lichttijd voor een afstand van 1 astronomische eenheid $\tau_A = A/c = 499{,}004\ 783\ 84$ s
verhouding zonsmassa tot de aardmassa $(GM_S)/(GM_E) = S/E = 332.946{,}0487$
verhouding van de massa van de aarde tot de massa van de maan:
$M_E/M_M = 1/\mu = 81{,}300\ 5678$
verhouding zonsmassa tot de totale massa van aarde+maan:
$(S/E)/(1+\mu) = 328.900{,}5596$
massa van de zon $(GM_S)/G = S = 1{,}9884 \cdot 10^{30}$ kg
massa van de aarde $(GM_E)/G = E = 5{,}9722 \cdot 10^{24}$ kg
standaard zwaartekrachtversnelling $g_n = (GM_E)/(R_E^2) = 9{,}806\ 65$ m/s^2 [14]
zonneparallax $\arcsin(a_e/A) = \pi = 8{,}794\ 143''$
aberratieconstante voor de epoche J2000,0 $\kappa = 20{,}495\ 52''$ [11c],[12b]
afplattingsfactor van de aarde ("*zero-frequency tide model*"):
$f = 0{,}003\ 352\ 8197 = 1/298{,}256\ 42$ [16],[17a]

Overige Constanten en Formules

In onderstaande formules geldt: T = tijdverloop in juliaanse eeuwen van 36.525 dagen vanaf J2000,0 (= JD 2.451.545,0 TDB)

Precessie

Bron: [19a],[20],[21]
jaarlijkse algemene precessie $p_A = 50{,}287\ 961\ 95'' + 0{,}022\ 108\ 696'' \cdot T$
jaarlijkse precessie in rechte klimming $m = 3{,}074\ 773\ 605s + 0{,}001\ 855\ 4463s \cdot T$
jaarlijkse precessie in declinatie $n = 20{,}041\ 919\ 03'' - 0{,}008\ 589\ 868'' \cdot T$
helling van de ecliptica $\varepsilon_A = 84.381{,}406'' - 46{,}836\ 769'' \cdot T$

Gemiddelde perioden

Bron: [18a]
middelbare zonnedag in middelbare sterrentijd:
$1{,}002\ 737\ 909\ 344\ 99d + 59{,}0107d \cdot 10^{-12} \cdot T = 24h03m56{,}555\ 367s + 0{,}000\ 0510s \cdot T$
middelbare sterrendag in middelbare zonnetijd:
$0{,}997\ 269\ 566\ 334\ 86d - 58{,}6888d \cdot 10^{-12} \cdot T = 23h56m04{,}090\ 531s - 0{,}000\ 0507s \cdot T$
siderische rotatieperiode van de aarde in middelbare zonnetijd:
$dUT1/d\theta = 0{,}997\ 269\ 663\ 237\ 157d = 23h56m04{,}098\ 904s$

Bron: [36a]
siderische maand (van vaste ster naar dezelfde vaste ster):
$27{,}321\ 661\ 554d + 0{,}000\ 000\ 216d \cdot T = 27d07h43m11{,}558s + 0{,}019s \cdot T$
anomalistische maand (van perigeum naar perigeum):
$27{,}554\ 549\ 886d - 0{,}000\ 001\ 007d \cdot T = 27d13h18m33{,}110s - 0{,}087s \cdot T$
tropische maand (van equinox naar dezelfde equinox):
$27{,}321\ 582\ 252d + 0{,}000\ 000\ 182d \cdot T = 27d07h43m04{,}707s + 0{,}016s \cdot T$
draconitische maand (van knoop naar dezelfde knoop):
$27{,}212\ 220\ 815d + 0{,}000\ 000\ 414d \cdot T = 27d05h05m35{,}878s + 0{,}036s \cdot T$
synodische maand (nieuwe maan tot nieuwe maan):
$29{,}530\ 588\ 861d + 0{,}000\ 000\ 252d \cdot T = 29d12h44m02{,}878s + 0{,}022s \cdot T$

Juliaans jaar: j = 365,25d = 365d06h00m00,000s
siderisch jaar (van vaste ster naar dezelfde vaste ster):
365,256 362 95d + 0,000 000 11d·T = 365d06h09m09,759s + 0,010s·T
anomalistisch jaar (van perihelium naar perihelium):
365,259 635 77d + 0,000 003 12d·T = 365d06h13m52,531s + 0,270s·T
tropisch jaar (gemiddeld, van equinox naar dezelfde equinox):
365,242 190 42d − 0,000 006 15d·T = 365d05h48m45,252s − 0,531s·T
ecliptisch jaar (van maan-knoop naar dezelfde maan-knoop):
346,620 074 49d + 0,000 032 38d·T = 346d14h52m54,436s + 2,798s·T

periode van knoop maanbaan: 6.793,476 501d + 0,012 400d·T = 18,600j
periode van perigeum maanbaan: 3.233,605 425d + 0,016 894d·T = 8,853j

"*Full Moon Cycle*" (FMC):
zweving van anomalistische en synodische maand = 411,78443d [49]
14 synodische = 15 anomalistische maanden = 413,4 d
saros cyclus: 223 synodische = 242 draconitische = 239 anomalistische maanden = 16 FMC
= 6585,3d = 118j + 11d
Cyclus van Meton: 235 synodische maanden = 19 jaren = 6939,7d
Chaldeeuwse maancyclus: 251 synodische = 269 anomalistische maanden = 18 FMC [50]
= 7412.2d = 20j + 107d

De Aarde (WGS-1984/EGM-1996 [16],[22b])

equatoriale straal $a = 6.378.137$ m
nominaal $R^N_{eE} = 6{,}3781\cdot10^6$ m [5b]
equatoriale omtrek $2\pi a = 40\ 075\ 017$ m
afplatting $f = 1/298{,}257\ 223\ 563$
polaire straal $b = (1-f)\cdot a = 6.356.752{,}31$ m
nominaal $R^N_{pE} = 6{,}3568\ \cdot10^6$ m [5b]
polaire omtrek $\pi\cdot\{3(a+b)-\sqrt{[(3a+b)\cdot(a+3b)]}\} = 40\ 007\ 862$ m [51]
volume $\pi\cdot4/3\cdot(a^2b) = 1{,}0832\cdot10^{21}$ m^3 [52]
geocentrische gravitatieconstante $GM = 3.986.004{,}418\ (\pm8)\cdot10^8$ m^3/s^2
nominaal $(GM)^N_E = 3.986.004\ \cdot10^8$ m^3/s^2 [5b]
oorspronkelijk (voor GPS): $3.986.005\ \cdot10^8$ m^3/s^2
hoeksnelheid $\omega = 7\ 292\ 115.10^{-11}$ rad/s
geopotentiaal coëfficiënt ($C_{2,0}$) (afgeleid) $-484{,}166\ 774\ 985\cdot10^{-6}$
oorspronkelijk (definiërend): $-484{,}166\ 85\ \cdot10^{-6}$
dynamische vormfactor (J_2) - uit GRS80: $108\ 263\cdot10^{-8}$
ontsnappingssnelheid $\sqrt{(2GM/a)} = 11{,}18$ km/s
gravitatieversnelling (in mgal = 10^{-5} m/s^2):

$$g(\varphi) = 978.032{,}677\ 14 + 5.185{,}960\cdot\sin^2(\varphi) - 5{,}736\cdot\sin^2(2\varphi) - 0{,}3086\cdot h \quad [22a]$$

waarin: φ, λ = geodetische breedte en lengte op de WGS-84 ellipsoïde; h = hoogte t.o.v. de ellipsoïde in meters

De Maan

Baan (gemiddelden op J2000,0):
gemiddelde equatoriale horizontale parallax $\pi = 3.422{,}608'' = 0{,}950\ 7244°$ [25b]
→ gemiddelde afstand (voor a_e = 6.378,140 km [11b]) $a_e / \sin(\pi) = 384.399{,}7$ km
Keplerse baanas $a_M = 384.747{,}964$ km [36b]
gemiddelde hoeksnelheid (afgeleid) $2{,}661\ 699\ 473\ 2866\cdot10^{-6}$ rad/s [36a]
gemiddelde baansnelheid (afgeleid) 1.024 m/s

tijdgemiddelde baanparameters (ELP: refs.[31],[32],[33],[34],[36]):

afstand	r_M = 385.500,560 km	[34a],[36c]
excentriciteit (uit constante E)	e = 0,054 9006	
baanhelling op ecliptica (uit constante Γ)	i = 5,145 35°	

gemiddelde osculerende baanparameters (ref.[35]):

baanas	<a> = 383.397,7725 km	
excentriciteit	<e> = 0,055 545 526	
inclinatie op ecliptica	<i> = 5,156 689 83°	

Rotatie:

gemiddelde helling equator op ecliptica	I = 1°32'32,7" = 1,542 24°	[11d,24a,25a]
gemiddelde helling equator op baanvlak	I' = 6°41'16" = 6,6878° ?	[?]
rotatiesnelheid	13,176 358 15 °/d	[26b]

Fysisch:

gemiddelde straal	R_M = 1.737,4 km	[26d]
gemiddelde straal in Watts' profielen	1.738,065 km	[11e]
nominale straal in aardstralen (voor berekening verduisteringen)	k = 0,272 5076 a_e	[23]
	0,272 5076 · 6.378,140 = 1.738,092 km	[23],[11b]
schijnbare diameter op gemiddelde afstand	2·arcsin(R_M/r_M) = 0,516 45° = 30'59,2"	
selenocentrische gravitatieconstante	$GM_M = \mu \cdot GM_E$ = 4,902 800 2·10^{12} m^3/s^2	
massa	$(GM_M)/G$ = 73,458·10^{21} kg	
gemiddelde dichtheid	3.344 kg/m^3	
zwaartekracht aan oppervlak	$(GM_M)/(R_M)^2$ = 1,624 m/s^2 = 0,166·g_n	
ontsnappingssnelheid	√(2GM_M/R_M) = 2,38 km/s	
magnitude van volle maan op gemiddelde afstand	V_O = −12,74	[27a]
	= −12,72	[28]
magnitude op 1 AE bij fasehoek 0	$V_{(1,0)}$ = +0,21	[27a]
	= +0,23	[28]
kleurindex	(B−V) = +0,85	[28]
geometrisch albedo	11,5%	[27a]
	11,3%	[28]
Bond albedo	6,7%	[27a]
	6,9%	[28]

De Zon

equatoriale straal	R_S = 696.000 km	[26c]
nominale straal	$R^N_\odot$ = 695.7·10^6 m	[5b]
schijnbare diameter op 1 AE	2·arcsin(R_S/A) = 0,533 14° = 31'59,3"	
schijnbare diameter fotosfeer op 1 AE	2·959,176" = 0,532 876° = 31'58,35"	[30]
nominale massaparameter van de Zon	$(GM)^N_\odot$ = 1,327 124 4·10^{20} m^3/s^2	[5b]
gemiddelde dichtheid	1.408 kg/m^3	
zwaartekracht aan oppervlak	$(GM_S)/(R_S)^2$ = 274 m/s^2 = 27,9 g_n	
ontsnappingssnelheid	617,54 km/s	
siderische rotatieduur (conventioneel volgens Carrington, bepaald rond B = ±26°)	25,38d	[26a]
synodische rotatieperiode	= 1 / (1/25,38 − 1/365,256 36) = 27,2752 d	
helling equator op ecliptica (afgeleid)	7,252°	[26a]
lengte klimmende knoop equator voor equinox en ecliptica van datum (afgeleid):	75,766° + 1,397°·T	
nominale zonneconstante (gemiddeld in 11-j cyclus)	$S^N_\odot$ = 1.361 W/m^2	[29],[5b]
nominale lichtkracht	$L^N_\odot = 4\pi A^2 \cdot S^N_\odot$ = 3,828·10^{26} W	
nominale effectieve oppervlaktetemperatuur uit $T^4 = L^N_\odot/\sigma\, 4\pi(R^N_\odot)^2$ →	$T^N_{eff\odot}$ = 5.772 K	[5b]
schijnbare magnitude	$V_{(1,0)}$ = −26,71	[30]
absolute magnitude	M_V = +4,862	[30]

absolute bolometrische magnitude	(definiërend) $M_{Bol\odot} \equiv +4{,}74$	[5a]
	(ouder) $M_{bol} = +4{,}7554$	[30]
schijnbare bolometrische magnitude (op 1 AE)	$m_{bol\odot} \equiv -26{,}832$	[5a]
kleurindex	$(B-V) = +0{,}653$	[30]
spectraaltype	G2V	[30]
leeftijd zonnestelsel	$4572\ (\pm 4)\cdot 10^6$ j	[30]

Lengte-eenheden

lichtjaar 1 lj = j·D·c = $9{,}4607\cdot 10^{12}$ km = 63.241 AE = 0,306 60 pc
parsec 1 pc = A/tan(1") = 206 265 AE = $30{,}857\cdot 10^{12}$ km = 3,2616 lj

Het melkwegstelsel

pool galactisch grondvlak (J2000,0)	α = 12h51m26,28s; δ = +27°07'41,7"	[37],[38]
nulrichting galactische lengte (J2000,0) (afgeleid)	α = 17h45m37,20s; δ = −28°56'10,2"	
positie melkwegcentrum Sgr A* (epoch 2006, J2000,0):		
	α = 17h45m40,0360s; δ = −29°00'28,170"	[46a]
in galactische coördinaten (afgeleid)	l = 359,9442°; b = −0,0462°	[46b]
afstand van de zon tot het centrum	$7{,}86 \pm 0{,}14$ kpc = $25{,}6\cdot 10^3$ lj	[46c]
afstand van de zon tot het galactisch vlak	8 pc = 26 lj	[?]
baansnelheid zon	225 ±9 km/s	[39]
omlooptijd zon (afgeleid)	$202\ (\pm 10)\cdot 10^6$ jr	[39]
beweging zon t.o.v. "Local Standard of Rest" (richting apex); ref.[39]:		
U0 =	7,5 ±1,0 km/s	
V0 =	13,5 ±0,3 km/s	
W0 =	6,8 ±0,1 km/s	
totaal	16,9 ±1,0 km/s	
apex zon (afgeleid)	l = 61° ; b = +24°	
	α = 18h05m ; δ = +35°	

Het heelal

Hubble constante	Cepheïden	$H_0 = 73{,}04\ (\pm 1{,}04)$ km/s/Mpc	[48b]
	kosmologisch	$H_0 = 67{,}4\ (\pm 0{,}5)$ km/s/Mpc	[47b]
straal zichtbare heelal (Hubble lengte)		$c/H_0 = 4{,}45$ Gpc = $14{,}5\cdot 10^9$ lj	
leeftijd		$13{,}80\ (\pm 0{,}04)\cdot 10^9$ j	[44a]
temperatuur		$2{,}72548\ (\pm 0{,}00057)$ K	[40]
dichtheid		$9{,}9\cdot 10^{-30}$ g/cm^3 = $9{,}9\cdot 10^{-27}$ kg/m^3	[43d]
baryonische massa fractie		$\Omega_b = 4{,}95\ (\pm 0{,}03)\%$	[47b]
waarvan oorspronkelijke Helium fractie		$25{,}34\ (\pm 0{,}83)\%$	[41]
koude donkere massa fractie		$\Omega_c = 26{,}6\ (\pm 0{,}3)\%$	[47b]
donkere energie fractie		$\Omega_\Lambda = 68{,}5\ (\pm 0{,}5)\%$	[47b]

Zie ook de oudere resultaten van WMAP(2012) [43a,b,c,d], Planck(2013) [44a,b,c], Planck(2015) [45a,b].

REFERENTIES

[1] BIPM: *The International System of Units*:
https://www.bipm.org/en/measurement-units/
[2] IAU Transactions: https://www.iau.org/publications/iau/transactions_a/
[3] IAU Resolutions: http://www.iau.org/administration/resolutions/general_assemblies/
[4] IAU *Current Best Estimates*:
[4a] Luzum B. e.a. (2011): The IAU 2009 system of astronomical constants: the report of the IAU working group on numerical standards for Fundamental Astronomy. *Celest.Mech.Dyn.Astron.* **110**(4), pp.239..304; DOI: 10.1007/s10569-011-9352-4;
http://adsabs.harvard.edu/abs/2011CeMDA.110..293L ;
http:/www.sai.msu.ru/neb/rw/CelMech110.pdf ;
[http://maia.usno.navy.mil/NSFA/IAU2009_consts.html verdwenen]
[4b] [http://maia.usno.navy.mil/NSFA/NSFA_cbe.html verdwenen]
[4c] http://asa.hmnao.com/SecK/Section_K.html ;
[http://asa.usno.navy.mil/SecK/Constants.html verdwenen]
[5] IAU Resolutions 2015: http://www.iau.org/static/resolutions/IAU2015_English.pdf
[5a] IAU Inter-Division A-G Working Group on Nominal Units for Stellar and Planetary Astronomy: IAU 2015 Resolution B2 on Recommended Zero Points for the Absolute and Apparent Bolometric Magnitude Scales.
http://arxiv.org/abs/1510.06262
[5b] IAU Inter-Division A-G Working Group on Nominal Units for Stellar and Planetary Astronomy: IAU 2015 Resolution B3 on Recommended Nominal Conversion Constants for Selected Solar and Planetary Properties.
http://arxiv.org/abs/1510.07674
[6] 17e Conférence Générale des Poids et Mesures 1983, Resolution 1.
Zie: Bureau International des Poids et Mesures: The International System of Units (SI), 8th ed. 2006, p.112;
http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/17/1/
[7] Definitie van de Astronomische Eenheid:
[7a] Pitjeva E.V, Standish E.M (2009): Proposals for the masses of the of the three largest asteroids, the Moon-Earth mass ratio and the astronomical unit. *Celest.Mech.Dyn.Astron.* **103**, pp.365..372; DOI: 10.1007/s10569-009-9203-8 . Zie:
http://adsabs.harvard.edu/abs/2009CeMDA.103..365P
[7b] IAU (2012) 28th General Assembly, Resolution B2:
http://www.iau.org/static/resolutions/IAU2012_English.pdf
[8] IAU (2000) XXIVth General Assembly.
https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2000_French.pdf
[8a] *ibidem*, Resolution No. B1.6: IAU precession-nutation model 2000 .
[8b] ibidem, Resolution No. B1.8: Definition and use of the celestial and terrestial ephemeris origins.
[9] p.403 vgl.(22) in: Capitaine N., Guinot B., McCarthy D.D. (2000): Definition of the Celestial Ephemeris Origin and of UT in the International Celestial Reference Frame. *Astron.&Astrophys.* **355**, pp.398..405 . Zie:
http://adsabs.harvard.edu/abs/2000A%26A...355..398C
[10] CODATA: http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html
[10a] Mohr P.J., Taylor B.N., Newell D.B. (2008): CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006 . *Rev.Mod.Phys.* **80**: pp.633..730; DOI: 10.1103/RevModPhys.80.633;
http://arxiv.org/pdf/0801.0028v1.pdf

[10b] Mohr P.J., Taylor B.N., Newell D.B. (2012): CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2010 . *Rev.Mod.Phys.* **84**: pp.1527..1605 (2012); DOI: 10.1103/RevModPhys.84.1527;
http://arxiv.org/pdf/1203.5425v1.pdf
[10c] Mohr P.J., Newell D.B., Taylor B.N. (2015): CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014 .
http://arxiv.org/pdf/1507.07956.pdf
[11] p.31, pp.52..67 in: IAU (1976): Proceedings of the 16th General Assembly, *Transactions of the IAU* **XVI B**, West R.M. (ed.), D.Reidel, Dordrecht 1977 ;
http://www.iau.org/static/resolutions/IAU1976_French.pdf , http://books.google.nl/books?id=4GbhAz0T2OsC&pg=PA58&lpg=PA58&dq=IAU+1976+system+of+astronomical+constants&source=bl&ots=wNt9cPG0lz&sig=ta3H5Mct_jY9QA5F-VRAiAWUh4g&hl=nl&sa=X&ei=BYcnUfTnMIXjtQagn4F4&ved=0CHYQ6AEwCA#v=onepage&q=IAU%201976%20system%20of%20astronomical%20constants&f=false
[11a] *ibidem* p.58 constante 1
[11b] *ibidem* p.58 constante 4
[11c] *ibidem* p.59 constante 14
[11d] *ibidem* p.60
[11e] *ibidem* p.66
[12] Seidelmann, P.K (1977): Numerical values of the constants of the Joint Report of the Working Groups of IAU Commission 4 . *Celest.Mech.* **16**, pp.165..177; DOI: 10.1007/BF01228598;
http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1977CeMec..16..165S&link_type=ARTICLE
[12a] *ibidem* p.165
[12b] *ibidem* p.168
[13] Lederle, T. (1980): The IAU (1976) System of Astronomical Constants. *Mitt.Astron.Ges.* **48**, 59..65;
http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1980MitAG..48...59L&link_type=ARTICLE
[14] 3e Conférence Générale des Poids et Mesures 1901, Resolution 70 . Zie: Bureau International des Poids et Mesures: The International System of Units (SI), 8th ed. 2006, p.143;
http://www.bipm.org/fr/CGPM/db/3/2/
[15] Groten, E. (2000): Parameters of Common Relevance of Astronomy, Geodesy, and Geodynamics. *J.Geod.* **74**, pp.134..140 .
Zie ook: Geodesist's Handbook 2000, part 4:
http://www.gfy.ku.dk/~iag/HB2000/part4/groten.htm
[16a] Groten, E. (2004): Fundamental parameters and current (2004) best estimates of the parameters of common relevance to astronomy, geodesy, and geodynamics. *J.Geod.* **77**(10..11), pp.724..731; DOI: 10.1007/s00190-003-0373-y ;
http://www.gfy.ku.dk/~iag/HB2004/part5/51-groten.pdf
[16b] Zie ook: IAG: Geodesist's Handbook - 2004 , part 5.1 . *J.Geod.* **78**(9..12);
http://www.iag-aig.org/attach/e354a3264d1e420ea0a9920fe762f2a0/51-groten.pdf
[17] Petit G., Luzum B. (2010): IERS Conventions 2010. *IERS Technical Note* No. **36**;
http://www.iers.org/TN36/
[17a] *ibidem* p.18
[18] Capitaine N., Wallace P.T., McCarthy D.D. (2003): Expressions to implement the IAU definition of UT1 . *Astron.&Astrophys.* **406**, pp.1135..1149; DOI: 10.1051/0004-6361:20030817;
http://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2003/30/aa3487.pdf
[18a] *ibidem*, afgeleid uit vgl.B1,B2 op p.1149
[19] Capitaine N., Wallace P.T., Chapront J. (2003): Expressions for IAU 2000 precession quantities. *Astron.&Astrophys.* **412**, pp.567..586; DOI: 10.1051/0004-6361:20031539;

http://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2003/48/aa4068.pdf
[19a] *ibidem* p.581 vergelijking (39)
[20] Hilton J.A. e.a. (2006): Report of the International Astronomical Union Division I Working Group on Precession and the Ecliptic. *Celest.Mech.Dyn.Astron.* **94**, pp.351..367 . DOI 10.1007/s10569-006-0001-2; https://ui.adsabs.harvard.edu//#abs/2006CeMDA..94..351H/abstract.
[21] IAU (2006) XXVIth General Assembly. Resolution No. B1: Adoption of the P03 Precession Theory and Definition of the Ecliptic. https://www.iau.org/static/resolutions/IAU2006_Resol1.pdf.
[22a] afgeleid; zie ook p.3-23 vgl. 3-63 en 3-64, en p.3-47 tabel 3.8 in: Defense Mapping Agency: Technical Report 3850.2, 1e ed. (1984): DoD World Geodetic System 1984, Hst.3; http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr8350.2-a/Chapter%203.pdf
[22b] National Imagery and Mapping Agency: Technical Report 3850.2, 3e ed. (1997): DoD World Geodetic System 1984; http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf
[23] Resolution C 10, p.51 in: IAU (1982): Proceedings of the 18th General Assembly, *Transactions of the IAU* **XVIII B**, West R.M. (ed.), D.Reidel, Dordrecht 1983; http://www.iau.org/static/resolutions/IAU1982_French.pdf
[24] The Improved IAU System. Astronomical Almanac 1984, pp. S5..S39
[24a] *ibidem* p.S8
[25] Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac. Seidelmann P.K. (ed.), USNO, University Science Books 1992.
[25a] *ibidem* p.400 en p.697
[25b] *ibidem* tabel 5.4 p.701
[26] Archinal B.A. e.a. (2011): Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2009. *Celest.Mech.Dyn.Astron.* **109**(2), pp.101..135; DOI: 10.1007/s10569-010-9320-4; http://adsabs.harvard.edu/abs/2011CeMDA.109..101A , http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10569-010-9320-4 , http://astropedia.astrogeology.usgs.gov/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/28fd9e81-1964-44d6-a58b-fbbf61e64e15/WGCCRE2009reprint.pdf
[26a] *ibidem* tabel 1 p.###
[26b] *ibidem* tabel 2 p.###
[26c] *ibidem* tabel 4 p.###
[26d] *ibidem* tabel 5 p.###
[27] Kuiper G.P., Middlehurst B.M. (eds.): The Solar System. **Vol.III** Planets & Satellites. Univ. Of Chicago Press, 1961.
[27a] *ibidem*, Ch.8 p.289: Harris D.L.: Photometry and Colorimetry of Planets and Satellites.
[28] Lane A.P., Irvine W.M. (1973): Monochromatic phase curves and albedos for the lunar disk. *Astron.J.* **78**(3), pp.267..277; http://adsabs.harvard.edu/abs/1973AJ.....78..267L ; http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1973AJ.....78..267L&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINTER&filetype=.pdf
[29] Kopp K., Lean J.L. (2010): A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. Geophys.Res.Lett. 38, L01706; DOI: 10.1029/2010GL045777; http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010GL045777/pdf
[30] [https://sites.google.com/site/mamajeksstarnotes/basic-astronomical-data-for-the-sun ontoegankelijk]
[31] Chapront-Touzé M., Chapront J. (1983): The lunar ephemeris ELP 2000 . *Astron.&Astrophys.* **124**, pp.50..62; http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1983A%26A...124...50C&link_type=ARTICLE

[31a] *ibidem*, p.51 tabel 1 en p.54 tabel 9 en text.
[32] Chapront-Touzé M., Chapront J. (1988): ELP 2000-85 - A semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times. *Astron.&Astrophys.* **190**(1-2), pp.342..352; http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1988A%26A...190..342C&link_type=ARTICLE
[32a] *ibidem* p.351 tabel 9
[33] Chapront-Touzé, M; Chapront, J.: Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000. Willmann-Bell, Richmond, VA, USA 1991 . ISBN 0943396336 http://www.willbell.com/math/mc9.htm
[34] Chapront J., Chapront-Touzé M., Francou G. (Dec.1997): Nouvelles expressions des termes seculaires dans Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000 . *Notes Scientifiques et Technologiques du Bureau des Longitudes* **S055**, ISSN 1243-4272, ISBN 2-910015-15-7
[34a] *ibidem* par. 3.3 p.8
[35] Simon J.L. e.a. (1994): Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets. *Astron.&Astrophys.* **282**(2), pp.663..683; http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-data_query?bibcode=1994A%26A...282..663S&link_type=ARTICLE
[36] Chapront J., Chapront-Touzé M., Francou F. (2002): A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR parameters. *Astron.&Astrophys.* **387**(2), pp.700..709; DOI: 10.1051/0004-6361:20020420; http://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2002/20/aa2201.pdf
[36a] *ibidem*, afgeleid uit tabel 4 op p.704
[36b] *ibidem*, uit siderische beweging n uit W1 in tabel 4 p.704 volgens $a^3 = GME\cdot(1+\mu) / n^2$
[36c] *ibidem*, constante waarde in tabel 9 op p.351 van ref.[32] geschaald met correcties uit tabel 2 p.703 en tabel 4 p.704 uit ref.[36] op parameters uit tabel 1 p.51 en tabel 9 p.54 uit ref.[31]
[37] Blaauw A., Gum C.S., Pawsey J.L., Westerhout G. (1960): Report of I.A.U. Sub-Commission 33b: The new I.A.U. system of galactic coordinates (1958 revision). *Mon.Not.R.Astron.Soc.* **121**(2), pp.123..131; http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1960MNRAS.121..123B&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&filetype=.pdf
[38] p.329 in: Murray C.A. (1989): The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0, and the principal galactic axes referred to J2000.0 . *Astron.Astrophys.* **218**, pp.325..329; http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1989A%26A...218..325M&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&filetype=.pdf
[39] Francis C., Anderson E. (2009): Calculation of the Local Standard of Rest from 20 574 Local Stars in the New Hipparcos Reduction with Known Radial Velocities. *New Astronomy* **14**(7), pp.615..629; DOI: 10.1016/j.newastr.2009.03.004; http://adsabs.harvard.edu/abs/2009NewA...14..615F ; http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0812/0812.4032.pdf
[40] Fixen D.J. (2009): The temperature of the cosmic microwave background. *Astrophys.J.* **707**(2), pp.916..920 ; DOI: 10.1088/0004-637X/707/2/916 ; http://iopscience.iop.org/0004-637X/707/2/916/pdf/apj_707_2_916.pdf
[41] Aver E., Olive K.A., Skillman E.D. (2012): An MCM determination of primordial helium abundance. *J.CAP* **1204**, pp.004.. ; http://arxiv.org/abs/1112.3713
[42] Efstathiou, G. (2014): H0 revisited. *MNRAS* **440**, 1138 ; http://arxiv.org/abs/1311.3461v2
[43] WMAP (2012):
[43a] WMAP beste schatting Hubble constante, zie: http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_expansion.html

[43b] WMAP beste schatting leeftijd Heelal, zie:
http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_age.html
[43c] WMAP temperatuur achtergrondstraling, zie:
http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_tests_cmb.html ;
http://map.gsfc.nasa.gov/media/ContentMedia/990015b.jpg
[43d] WMAP gemiddelde dichtheid Heelal, zie:
http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_matter.html
[44] Planck 2013:
[44a] Planck Collaboration (2013): Planck 2013 results. I. Overview of products and scientific results. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: 10.1051/0004-6361/201321529 ;
http://arxiv.org/abs/1303.5062v2
[44b] Planck Collaboration (2013): Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: 10.1051/0004-6361/201321591 ;
http://arxiv.org/abs/1303.5076v3
[44c] zie ook:
http://scienceblogs.com/startswithabang/2013/03/21/what-the-entire-universe-is-made-of-thanks-to-planck/
[45] Planck 2015:
[45a] Planck Collaboration (2015): Planck 2015 results. I. Overview of products and scientific results. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: ? ;
http://arxiv.org/abs/1502.01582v2 ; p.27 Table 9
[45b] Planck Collaboration (2015): Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: ? ;
http://arxiv.org/abs/1502.01589v2 ;
p.31 Table 4 column TT+lowP+lensing
[46] Melkwegcentrum:
[46a] Petrov, L. e.a. (2011): The Very Long Baseline Array galactic plane survey - VGaPS. *Astron.J.* **142**(2), pp.35..?
http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/142/2/35
http://iopscience.iop.org/1538-3881/142/2/35/suppdata/aj392443t9_mrt.txt
[46b] http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=Sgr+A%2A
[46c] Boehle, A. e.a. (2016): An Improved Distance and Mass Estimate for Sgr A* from a Multistar Orbit Analysis. *Astrophys.J.* vol.**830**:17, pp.?..? ; DOI: 10.3847/0004-637X/830/1/17 ;
https://arxiv.org/abs/1607.05726
http://iopscience.iop.org/article/10.3847/0004-637X/830/1/17/pdf
[46d] Gillessen, S. *e.a.* (2016): An Update on Monitoring Stellar Orbits in the Galactic Center. *Astrophys.J.* vol.**?**:?, pp.?..? ; DOI: 10.3847/1538-4357/aa5c41 ;
https://arxiv.org/abs/1611.09144
[47a] Planck Collaboration (2018): Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: ? ;
https://arxiv.org/abs/1807.06205
[47] Planck 2018:
[47b] Planck Collaboration (2018): Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters. *Astron.&Astrophys.* vol.?, pp.?..? ; DOI: ? ;
https://arxiv.org/abs/1807.06209 ; p.15 Table 2 TT,TE,EE+lowE+lensing
[47c] https://wiki.cosmos.esa.int/planck-legacy-archive/index.php/Cosmological_Parameters
[48] SH0ES team:
[48a] Riess A.G. e.a. (2018): Milky Way Cepheid Standards for Measuring Cosmic Distances and Application to Gaia DR2: Implications for the Hubble Constant. Astrophys.J. ? ;
https://arxiv.org/abs/1804.10655 p.15

[48b] Riess A.G. *e.a.* (2021): A Comprehensive Measurement of the Local Value of the Hubble Constant with 1 km/s/Mpc Uncertainty from the Hubble Space Telescope and the SH0ES Team. *Astrophys.J.* ? ;
https://arxiv.org/abs/2112.04510
[49] Full Moon Cycle: http://arpeters.net/English_pages/Full_moon_cycle.htm
[50] Chaldeeuwse maancyclus: zie Claudius Ptolemaeus, Almagest IV 2 H272 . p.176 in: G.J. Toomer: "Ptolemy's Almagest", G. Duckworth & Co., London 1984 . ISBN 0-7156-1588-2
[51] https://www.mathsisfun.com/geometry/ellipse-perimeter.html
[52] https://en.wikipedia.org/wiki/Ellipsoid#Volume