

Kosmologi Opgavesvar

Holger Nielsen

Udforsk Universet!, 2017

Opgavesvar til "Kosmologi"

Opgave 1, side 12

Soldøgn og stjernedøgn

$P_* = 23 \text{ h } 56 \text{ m } 4.09 \text{ s}$ med de forelagte tal
365.24 soldøgn: 8765.76 timer
366.24 stjernedøgn: 8765.76 timer

Opgave 2, side 14

Vinkelmål

$12^\circ 20' 44.16''$

Opgave 3, side 15

Jordens bane

$D_{\text{aphel}} = 39.8 \text{ mm}$
 $D_{\text{perihel}} = 41.3 \text{ mm}$
 $f = 0.9637$
 $e = 0.0185$
 $a_{\text{aphel}} = 152 \text{ millioner km}$
 $a_{\text{perihel}} = 147 \text{ millioner km}$

Opgave 4, side 18

Månens bane

$D_{\text{apogæum}} = 38.0 \text{ mm}$
 $D_{\text{perigæum}} = 43.5 \text{ mm}$
 $e = 0.0675$
 $a_{\text{apogæum}} = 410341 \text{ km}$
 $a_{\text{perigæum}} = 358459 \text{ km}$
 $a_{\text{JT}} = 4671 \text{ km}$

Opgave 5, side 21

Sol- og måneformørkelser

2) Cirka 19 år.

Opgave 6, side 34

Isdværge

$a_{\text{CT}} = 2124 \text{ km}$
 $a_{\text{PT}} = 17447 \text{ km}$
 $m_{\text{E}} + m_{\text{D}} = 1.66 \cdot 10^{22} \text{ kg}$

Opgave 7, side 38

Absolutte størrelsesklasser

Solen	4.83
Betelgeuse, max	-6.26
Betelgeuse, min	-5.26
Rigel	-6.99
Sirius	1.42

Sirius B	11.19
a Cen A	4.37
a Cen B	5.71
Proxima	9.78
Barnards stjerne	13.22

Opgave 8, side 43

Stjerners levetid på hovedserien

0.1 M_{Sol} :	$3.16 \cdot 10^{12}$ år
1 M_{Sol} :	$1.00 \cdot 10^{10}$ år
10 M_{Sol} :	$3.16 \cdot 10^7$ år
50 M_{Sol} :	$5.66 \cdot 10^5$ år

Opgave 9, side 48

Afstand til en supernova

"Benyt formel (6) side 36..."
 $d = 802 \text{ pc} = 2.61 \text{ Mla}$

Opgave 10, side 52

Andromedagalaksens udstrækning

$D = 220 \text{ kla}$, $d = 2540 \text{ kla}$: $\alpha = 5.0^\circ$. Montage herunder fra *Astronomy Picture of the Day*, 2013 08 01.



Opgave 11, side 61

Marsskivens størrelse

$$x = 0.027 \text{ mm} = 27 \mu\text{m}$$

Opgave 12, side 66

Forholdet mellem Solens og Månens afstande

$$d_{\text{Solen}}/d_{\text{Månen}} = 1/\cos(87^\circ) = 19.1$$
$$d_{\text{Solen}} = 149600000 \text{ km}; d_{\text{Månen}} = 384400 \text{ km}; \alpha = \arccos(d_{\text{Månen}}/d_{\text{Solen}}) = 89.85^\circ$$

Opgave 13, side 68 **Jordens størrelse bestemt af Eratosthenes**

Attisk fod: $d = 5000$ stadier 882.3 km
 Dorisk fod: $d = 5000$ stadier 980.7 km
 Ionisk fod: $d = 5000$ stadier 1046.1 km
 $1^\circ \sim d/7.2$
 $360^\circ \sim 360 \cdot d/7.2$
 Attisk fod: $O = 44115$ km, $R = 7021$ km
 Dorisk fod: $O = 49035$ km, $R = 7804$ km
 Ionisk fod: $O = 52305$ km, $R = 8325$ km
 $R_{\text{Jorden}} = 6371$ km

Opgave 14 **Hipparchos' kordetabel**

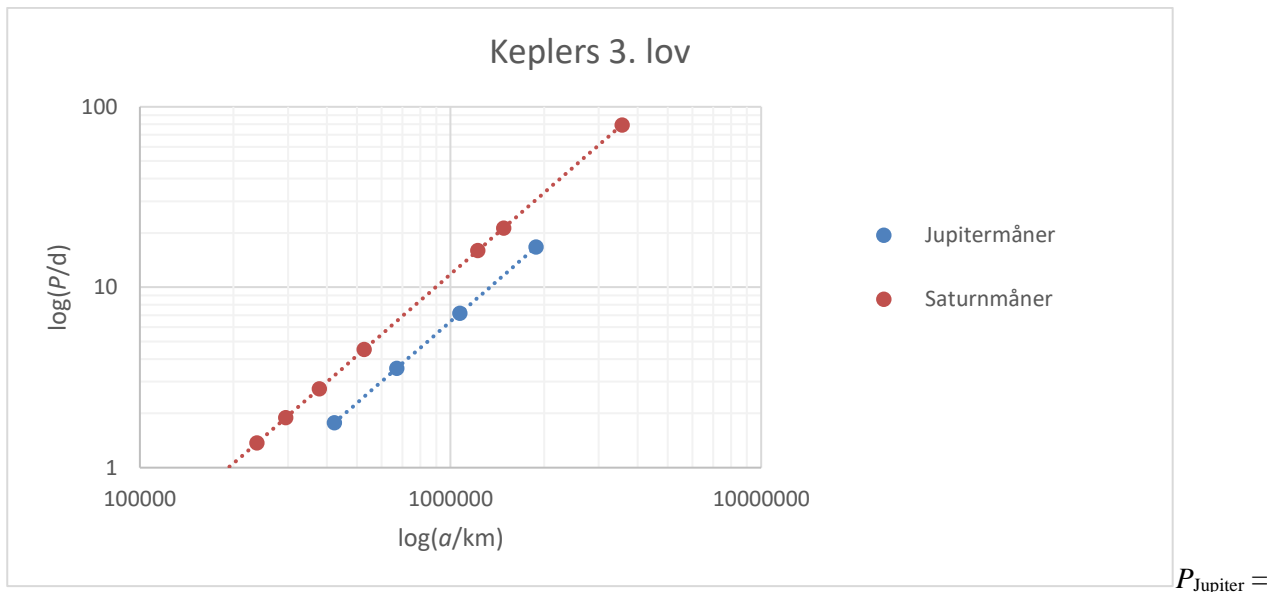
ν	k
0.0	0
7.5	0.130806258
15.0	0.261052384
...	...
172.5	1.995717846
180.0	2

Opgave 15, side 76 **Baneradier for Venus og Merkur**

$\sin(\varphi_{\text{max}}) = a/1$ au
 Venus: $\varphi_{\text{max}} = 47^\circ$ $a = 0.731$ au
 Merkur: $\varphi_{\text{min}} = 18^\circ$ $d_{\text{min}} = 0.309$ au
 $\varphi_{\text{max}} = 28^\circ$ $d_{\text{max}} = 0.469$ au
 $f \equiv d_{\text{min}}/d_{\text{max}} = 0.658$
 $e = 0.206$
 $a = 0.389$ au

Opgave 16, side 82 **Ellipser og Keplers love**

11.86 a
 $a_{\text{Jupiter}} = 5.201$ au
 Data kan hentes i *Planetary Fact Sheets*, <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/planetfact.html>.
Graf på næste side.



Opgave 17, side 85 **Venus' faseskift**

Kun den heliocentriske model giver de korrekte faseskift.

Opgave 18, side 89 **Tyngdekrafter på Månen**

Objekt	Masse m/kg	Afstand d/m	F_{grav}/N	F/F_{Jorden}
Månen	$7.3459 \cdot 10^{22}$			
Jorden	$5.97226 \cdot 10^{24}$	384400000	$1.982 \cdot 10^{20}$	1
Jupiter	$1.89815 \cdot 10^{27}$	$6.288 \cdot 10^{11}$	$2.354 \cdot 10^{16}$	0.00012
Solen	$1.98844 \cdot 10^{30}$	$1.496 \cdot 10^{11}$	$4.356 \cdot 10^{20}$	2.20
Venus	$4.86738 \cdot 10^{24}$	$4.144 \cdot 10^{10}$	$1.390 \cdot 10^{16}$	0.00007

Månens bevægelse gennem rummet kan bedst beskrives ved en ellipse med Solen i det ene brændpunkt, stærkt påvirket af Jorden.

Faktisk krummer Månens bane altid ind mod Solen, alle øvrige månens baner krummer skiftevis ind mod og væk fra Solen.

Opgave 19, side 90 **Månens acceleration**

$$1/(1/P_{\text{synodisk}} + 1/P_{\text{jorden}}) = 27.322 \text{ d}$$

$$v = 1023 \text{ m/s} = 1.023 \text{ km/s}$$

$$t = 3397 \text{ s} = 56.62 \text{ minutter}$$

$$a_{\text{kin}} = 0.002723 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{grav}} = 0.002722 \text{ m/s}^2$$

Overbevisende overensstemmelse.

Opgave 20, side 90 **Newtons skøn over afstanden til Sirius**

$$m_* = -1.47, m_{\odot} = -26.74$$

$$d_* / d_{\odot} = 10^{(m_* - m_{\odot})/5} = 10^{5.054} = 11324$$

$$d_* = 11324 \text{ au}$$

$$d_{\text{Sirius}} = 8.60 \text{ la} = 543873 \text{ au}$$

Sirius er faktisk 23 gange mere lysstærk end Solen.

Opgave 21, side 92 **Lysets fart c**

$$1 \text{ mile} = 1609 \text{ m}$$

$$c_{\text{Bradley}} = 183000 \text{ mi/s} = 294447000 \text{ m/s}$$

$$c = 299792458 \text{ m/s}$$

Opgave 22, side 92 **Gennemsnitsafstand mellem stjerner i Solens omegn**

$$\rho = 0.0045 \text{ pc}^{-3}$$

$$V_* = 222 \text{ pc}^3$$

$$d = 12.1 \text{ pc}$$

Opgave 23, side 107 **Vinkelsum i trekant**

540 ° er øvre grænse.

Meget lille sfærisk trekant; sfærisk trekant med vinkelspidser nær ækvator og på samme side af ækvator.

Sfærisk trekant med vinkelspidser meget langt fra hinanden; meget lille sfærisk trekant.

Opgave 24, side 111 **Addition af hastigheder**

$$v = u = 0.99 c :$$

$$w = 0.999949 c$$

$$u = c :$$

$$w = c$$

$$v = u = c :$$

$$w = c$$

Opgave 25, side 115 **Omløbstider for retningen til periheliet**

Planet	"/100 år	°/år	360 °
Merkur	574.10	$1.5947 \cdot 10^{-3}$	0.2257 Ma
Venus	8.6247	$2.39575 \cdot 10^{-5}$	15.03 Ma
Jorden	3.8387	$1.06631 \cdot 10^{-5}$	33.76 Ma

Opgave 26, side 116 **Lysets afbøjning ved nær passage af et tungt himmellegeme**

Afbøjningsvinkel	Radianer	Buesekunder	Grader
ν_{Solen}	$8.486 \cdot 10^{-6}$	1.750	
ν_{Jorden}	$2.772 \cdot 10^{-9}$	0.00057	
$\nu_{\text{hvid dværg}}$	$3.938 \cdot 10^{-4}$	81.2	
$\nu_{\text{neutronstjerne}}$	$4.922 \cdot 10^{-1}$	101525	0.49

Opgave 27, side 118 **Schwarzschild-radier**

Objekt	Masse kg	R_{Sch} m	R_{Sch} km	R_{Sch} månebaneradier
Solen	$1.988 \cdot 10^{30}$	$2.953 \cdot 10^3$	2.953	
Jorden	$5.972 \cdot 10^{24}$	$8.870 \cdot 10^{-3}$		
Sort hul	$8.153 \cdot 10^{36}$	$1.211 \cdot 10^{10}$	$1.211 \cdot 10^7$	31.5

Opgave 28, side 120 **Planck-størrelser**

Ifølge https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_radioactive_isotopes_by_half-life er den kortest målte halveringstid 23 ys ($23 \cdot 10^{-24}$ s) for nuklidet hydrogen-7.

$$T_{1/2}/t_P = 4.27 \cdot 10^{20}$$

$$d_{\text{proton}} = 1.70 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

$$d_{\text{proton}}/l_P = 1.05 \cdot 10^{20}$$

Åbent spørgsmål: Sker der noget interessant i de 20 størrelsesordener mellem "kendt fysik" og Planck-skalaerne?

Opgave 29, side 125 **Afstanden til spiraltågen M 33**

Årlig vinkelforskydning: $0.02'' = 9.69626 \cdot 10^{-8} \text{ rad}$
 Tangentialfart: 200 km/s
 Årlig forskydning: $6.31 \cdot 10^9 \text{ km} = 2.05 \cdot 10^{-4} \text{ pc}$
 Afstand: 2109 pc

Opgave 30, side 127 **Afstanden til M 31 bestemt ved cepheidemetoden**

Periode P døgn	$m_{V,\text{max}}$	$M_{V,\text{max}}$	d kpc
50.1	18.4	-5.75	676
44.7	18.2	-5.63	584
40.7	18.6	-5.53	670
38.0	18.3	-5.46	565
31.6	18.2	-5.26	493
21.9	19.0	-4.88	596
21.4	18.8	-4.85	538

20.0	18.5	-4.78	453
19.1	18.6	-4.73	464
18.6	18.9	-4.70	526

Middelafstand til M31: 557 kpc
 Vinkeludstrækning af M31: 2°
 Diameter af M31: 19.4 kpc

Opgave 31, side 128 **Solsystemets omløbstid**

$r = 8 \text{ kpc} = 2.46854 \cdot 10^{20} \text{ m}$
 $v = 220 \text{ km/s} = 220000 \text{ m/s}$
 $T = 7.0501 \cdot 10^{15} \text{ s} = 223405445 \text{ a} = 223 \text{ Ma}$
 $T_{\text{Solsystem}} = 4500 \text{ Ma}$
 Antal omløb: 20.1

Opgave 32, side 130 **Galaksen UGC 2936**

$\lambda_0 = 656.28 \text{ nm}$
 $i = 78^\circ$; $\cos(i) = 0.2079$; $\sin(i) = 0.9781$
 Af figuren aflæses:
 $\lambda_{\text{centrum}} = 664.5 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{fjern arm}} = 664.9 \text{ nm}$
 $\lambda_{\text{nær arm}} = 664.1 \text{ nm}$
 $\Delta\lambda = 8.22 \text{ nm}$
 $v_{\text{radial}} = 3755 \text{ km/s}$
 Forskydningen af spektrallinjen er næsten konstant, når man er et stykke fra centrum.
 Projiceret radialhastighed: $v_{\text{proj}} = 180 \text{ km/s}$
 Rotationshastighed: $v_{\text{rot}} = 184 \text{ km/s}$

Opgave 33, side 134 **Hubbles værdi for Hubble-konstanten**

Figur 141 øverst: $H_0 = 518 \text{ km/s/Mpc}$
 Figur 141 nederst: $H_0 = 544 \text{ km/s/Mpc}$
 Figur 142: $H_0 = 64 \text{ km/s/Mpc}$

Tidobling af afstand formindsker alder med en faktor ti.

Opgave 34, side 138 **Hubble-tiden og Universets alder**

$H_0 = 518 \text{ km/s/Mpc} = 518000 \text{ m/s/Mpc} = 1.68 \cdot 10^{-17} \text{ m/s/m} = 1.68 \cdot 10^{-17} \text{ s}^{-1}$
 $t_{\text{Hubble}} = 5.96 \cdot 10^{16} \text{ s} = 1.89 \cdot 10^9 \text{ a} = 1.89 \text{ Ga}$
 $d_{\text{Hubble}} = 1.79 \cdot 10^{25} \text{ m} = 1.89 \text{ Gla}$

Opgave 35, side 138 **Hvad skal vi forstå ved ”i dag”?**

Hubble-parameter	Hubble-tid	Tidsforskel
$H_0 = 67.7 \text{ km/s/Mpc}$	$t_0 = 14.44332545 \text{ Ga}$	
$H = 67.2 \text{ km/s/Mpc}$	$t = 14.55079067 \text{ Ga}$	$\Delta t = 107 \text{ Ma}$
$H = 67.6 \text{ km/s/Mpc}$	$t = 14.46469132 \text{ Ga}$	$\Delta t = 21 \text{ Ma}$

Alternativt med formler:

$$t - t_0 = \frac{1}{H} - \frac{1}{H_0} = \frac{H_0 - H}{H \cdot H_0} = \frac{\Delta H}{H} \cdot \frac{1}{H_0} = \frac{0.5}{67.2} \cdot 14.443 \text{ Ga} = \boxed{107 \text{ Ma}}$$

$$t - t_0 = \frac{0.1}{67.6} \cdot 14.443 \text{ Ga} = \boxed{21 \text{ Ma}}$$

Opgave 36, side 140 **Sidespring med rosinbrød og ballon**

Se f. eks. <https://www.dk-kogebogen.dk/opskrifter/visopskrift.php?id=17068>

Opgave 37, side 140 **Skalafaktoren udledt ud fra Hubbles lov**

Vi betegner afstanden til tiden t_0 for d_0 og får ved integration ved separation, at

$$v(t) = H(t) \cdot d(t) \Leftrightarrow \frac{dd}{dt} = H(t) \cdot d(t) \Rightarrow \frac{1}{d(t)} \cdot dd = H(t) \cdot dt \Rightarrow$$

$$\ln(d(t)) - \ln(d_0) = \int_{t_0}^t H(t) dt \Rightarrow \frac{d(t)}{d_0} = \exp\left(\int_{t_0}^t H(t) dt\right) \Rightarrow$$

$$\boxed{d(t) = S(t) \cdot d_0} \quad \text{hvor} \quad S(t) \equiv \exp\left(\int_{t_0}^t H(t) dt\right)$$

Opgave 38, side 141 **Den kritiske tæthed**

Vi definerer $a \equiv 100 \text{ km/s/Mpc} = 3.24078 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$

Heraf fås

$$3 \cdot a^2 / (8 \cdot \pi \cdot G) = 1.8784 \cdot 10^{-26} \text{ kg/m}^3 \text{ (Bogens værdi er forkert)}$$

$$1 \text{ kg/m}^3 = 1.4775 \cdot 10^{37} \text{ M}_\odot/\text{Mpc}^3$$

Derfor bliver

$$3 \cdot a^2 / (8 \cdot \pi \cdot G) = 2.7754 \cdot 10^{11} \text{ M}_\odot/\text{Mpc}^3 \text{ (Bogens værdi er forkert)}$$

$$m_H = 1.67353 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$H_0 = 67.74 \text{ km/s/Mpc}$$

$$h_0 = 0.6774$$

$$\rho_{\text{krit}} = 8.6193 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3 = 1.2735 \cdot 10^{15} \text{ M}_\odot/\text{Mpc}^3$$

$$V = m_H / \rho_{\text{krit}} = 0.194 \text{ m}^3 \text{ svarende til en middelf afstand på } a = 384400 \text{ km}$$

$$V = 5.68002 \cdot 10^{25} \text{ m}^3$$

$$m = 0.490 \text{ kg svarende til to pakker smør}$$

Opgave 39, side 149 **Fordobling af afstande i Universet**

$$M_1 + 5 \cdot \log\left(\frac{d_1}{10 \text{ pc}}\right) = m = M_2 + 5 \cdot \log\left(\frac{d_2}{10 \text{ pc}}\right) \Rightarrow M_2 - M_1 = -5 \cdot \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) \Rightarrow \frac{d_2}{d_1} = 10^{-(M_2 - M_1)/5}$$

$$M_2 - M_1 = -1.5 \Rightarrow \frac{d_2}{d_1} = 10^{+0.3} \approx 1.995 \approx \boxed{2}$$

Opgave 40, side 150 **Steady State teorien og løbende skabelse af stof i Universet**

$$H_0 = 2.1953 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

$$\rho_{\text{krit}} = 8.6193 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 5.6766 \cdot 10^{-44} \text{ kg/m}^3/\text{s} = 1.7914 \cdot 10^{-36} \text{ kg/m}^3/\text{a}$$

$$m_{\text{neutron}} = 1.67493 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$V = 9.3498 \cdot 10^8 \text{ m}^3 \quad L \equiv 2 \cdot V^{1/3} = 1956 \text{ m}$$

Opgave 41, side 158 **Kvasaren 3C 273**

Balmer-linje	λ_0	λ_{obs}	z
H α	656.3	752.2	0.146
H β	486.1	559.0	0.150
H γ	434.1	499.2	0.150
H δ	410.0	472.7	0.153

Midlet rødforskydning:	$z = 0.150$
Radialhastighed:	$v = 44896 \text{ km/s}$
Hubble-konstant:	$H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$
Afstand:	$d = 641 \text{ Mpc}$
Absolut størrelsesklasse:	$M = -26.7$
Tilsyneladende størrelsesklasse:	$m = -26.74$
Tilhørende afstand:	$d = 9.8 \text{ pc}$

Opgave 42, side 158 **Energiproduktion i kvasarer**

$$M_{\text{Solen}} = 4.83; m = 18; d = 2000 \text{ Mpc}; M = -24$$

$$L/L_{\odot} = 2.2 \cdot 10^{11}$$

$$L = 8.3 \cdot 10^{37} \text{ W}$$

$$r = 0.5 \text{ lysuge} = 9.06572 \cdot 10^{13} \text{ m} = 606 \text{ au}$$

$$V = 3.12102 \cdot 10^{42} \text{ m}^3 = 932223056 \text{ au}^3$$

$$L/V = 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^3 = 8.9 \cdot 10^{28} \text{ W/au}^3$$

Opgave 43, side 175 **Solsystemets bevægelse**

Figur 180: $T = 2.278 \text{ K}$ og $\Delta T = 3.353 \text{ mK}$

Pekuliarhastighed: $v = 441 \text{ km/s}$

Opgave 44, side 185

Baryon-foton forholdet η

Baryonmasseenergi:	$E_{\text{bary}} = 939 \text{ MeV} = 1.50444 \cdot 10^{-10} \text{ J}$
Kritisk tæthed:	$\rho_{\text{krit},0} = 8.6193 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$
Kritisk tæthed:	$\epsilon_{\text{krit},0} = 7.7466 \cdot 10^{-10} \text{ J/m}^3 = 4835 \text{ MeV/m}^3$
Massetæthed, baryoner:	$\rho_{\text{bary},0} = 4.1888 \cdot 10^{-28} \text{ kg/m}^3$
Energitæthed, baryoner:	$\epsilon_{\text{bary},0} = 3.7647 \cdot 10^{-11} \text{ J/m}^3 = 235 \text{ MeV/m}^3$
Antalstæthed, baryoner:	$n_{\text{bary},0} = 0.250 \text{ m}^{-3}$
Energitæthed, stråling:	$\epsilon_{\text{str},0} = 4.175 \cdot 10^{-14} \text{ J/m}^3 = 0.261 \text{ MeV/m}^3$
Antalstæthed, stråling:	$n_{\text{str},0} = 4.107 \cdot 10^8 \text{ m}^{-3}$
Energiforhold:	$\epsilon_{\text{b},0}/\epsilon_{\text{str},0} = 902$
Baryon-fotonforhold:	$\eta = 6.093 \cdot 10^{-10}$

Opgave 45, side 188

Monopoler i det tidlige univers

$m_{\text{monopol}} = 10^{24} \text{ eV}$
$n_{\text{monopol}} = 10^{82} \text{ m}^{-3}$
$T_{\text{GUT}} = 10^{28} \text{ K}$
$m_{\text{monopol}} = 1.78 \cdot 10^{-12} \text{ kg}$
$\epsilon_{\text{monopol}} = 1.60 \cdot 10^{87} \text{ J/m}^3$
$\epsilon_{\text{foton}} = 7.57 \cdot 10^{96} \text{ J/m}^3$

Opgave 46, side 188

Helium

$m_{\text{person}} = 65 \text{ kg}$	
$V_{\text{lunger}} = 6 \text{ L}$	
$\rho_{\text{helium}} = 0.1786 \text{ kg/m}^3$	
He-fyldt lunge:	0.0010716 kg
He-andel i luft:	0.000524 %
He-andel i lunger:	0.00003144 L
He-andel i lunger:	$5.62 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$
$Y_{\text{He i lunger}} = 1.65 \cdot 10^{-5}$	
$Y_{\text{atm. luft i lunger}} = 8.64 \cdot 10^{-11}$	

Opgave 47, side 189

Temperaturer i det tidlige univers

t	T
1 s	$1.34 \cdot 10^{10} \text{ K}$
10 s	$4.23 \cdot 10^9 \text{ K}$
100 s	$1.34 \cdot 10^9 \text{ K}$

Opgave 48, side 190

Forholdet mellem antallet af neutroner og protoner i det tidlige univers

Se regnearket "Neutron-proton-forhold.xlsx" fra <http://www.udforskuniverset.dk/dokumenter.html>.
Faneblad "n-p-forhold".

Opgave 49, side 192 **Overslag over mængden af kosmologisk dannet helium**

Se regnearket "Neutron-proton-forhold.xlsx" fra <http://www.udforskuniverset.dk/dokumenter.html>.
Faneblad "Helium".

Opgave 50, side 196 **Universets udvidelse under inflationsperioden**

$$\begin{aligned}H_{\text{infl}} &= 1.00 \cdot 10^{36} \text{ s}^{-1} \\ \Lambda_{\text{infl}} &= 3.00 \cdot 10^{72} \text{ s}^{-2} \\ S(t_2)/S(t_1) &= 9.89 \cdot 10^{42} \\ d_1 &= 6.00 \cdot 10^{-26} \text{ m} \\ d_2 &= 5.93 \cdot 10^{17} \text{ m} \\ v &= 5.99 \cdot 10^{51} \text{ m/s} \\ v/c &= 2.00 \cdot 10^{43} !\end{aligned}$$

Opgave 51, side 197 **Løsningen på monopolproblemet**

Volumen vokser med tredje potens af skalafaktoren S .

$$\begin{aligned}n(t_2) &= 1.03 \cdot 10^{-47} \text{ m}^{-3} \\ n(t_2) &= 304 \text{ pc}^{-3} \\ n(t_0) &= 8.27 \cdot 10^{-128} \text{ m}^{-3} \\ n(t_0) &= 2.43 \cdot 10^{-78} \text{ pc}^{-3}\end{aligned}$$

Monopoler er højst til stede i sub-homøopatisk koncentration ☺.

Opgave 52, side 199 **Kvantefluktuationer**

$$\begin{aligned}\Delta t_{e\&anti-e} &= 3.22 \cdot 10^{-22} \text{ s} \\ \Delta t_{p\&anti-p} &= 1.75 \cdot 10^{-25} \text{ s} \\ d_e &= 9.65 \cdot 10^{-14} \text{ m} \\ d_p &= 5.26 \cdot 10^{-17} \text{ m}\end{aligned}$$

Opgave 53, side 221 **Planck-tiden**

Planck-tid:	$5.391 \cdot 10^{-44} \text{ s}$
Planck-længde:	$1.616 \cdot 10^{-35} \text{ m}$
Planck-temperatur:	$1.417 \cdot 10^{32} \text{ K}$
Planck-masse:	$2.176 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$
Planck-energi:	$1.956 \cdot 10^9 \text{ J}$
Planck-densitet:	$5.155 \cdot 10^{96} \text{ kg/m}^3$

Opgave 54, side 223 **Tærskeltemperaturer**

$$\begin{aligned}1 \text{ u} &= 1.661 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ T_u &= 2.16 \cdot 10^{13} \text{ K} \\ T_{p\&anti-p} &= 2.18 \cdot 10^{13} \text{ K} \\ T_{e\&anti-e} &= 1.19 \cdot 10^{10} \text{ K}\end{aligned}$$

Opgave 55, side 223 **Kosmologiske neutrinoer**

$$n_\nu = 336 \text{ cm}^{-3} = 336000000 \text{ m}^{-3}$$

$$\Omega_{\text{ms}} = 0.26$$

$$\rho_{\text{krit}} = 8.619 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

$$m_{\text{person}} = 65 \text{ kg}$$

$$\rho_{\text{person}} = 985 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{person}} = 0.0660 \text{ m}^3$$

$$n_{\text{person}} = 2.22 \cdot 10^7 \text{ neutrinoer}$$

$$m_\nu = 6.67 \cdot 10^{-36} \text{ kg}$$

$$m_{\nu, \text{eksperiment}} = 0.43 \text{ eV (øvre grænse)}$$

$$m_{\nu, \text{eksperiment}} = 7.67 \cdot 10^{-37} \text{ kg}$$

Ergo: Neutrinoer er ikke tunge nok til at udgøre det mørke stof!

Opgave 56, side 226 **Universets temperatur ved rekombinationen**

$$T = 157821 \text{ K} = 158 \text{ kK}$$

Opgave 57, side 238 **Planetesimaler**

$$m_{\text{planetesimal}} = 1.26 \cdot 10^{13} \text{ kg}$$

$$m_{\text{Jorden}} = 5.972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

$$\text{Antal planetesimaler} : 4.75 \cdot 10^{11} = 475 \text{ milliarder}$$

Opgave 58, side 243 **Resonanser i Solsystemet**

$$a_{\text{Jupiter}} = 1.5 \text{ au}$$

$$P_{\text{Jupiter}} = 1.84 \text{ a (jfr. opgave 16)}$$

$$P_{\text{Saturn}} = 2.76 \text{ a}$$

$$a_{\text{Saturn}} = 1.97 \text{ au}$$

$$P_{\text{Jupiter},0} = 11.8618 \text{ a}$$

$$5 \cdot P_{\text{jupiter},0} = 59.309 \text{ a}$$

$$P_{\text{Saturn},0} = 29.4571 \text{ a}$$

$$2 \cdot P_{\text{saturn},0} = 58.914 \text{ a}$$

$$P_{\text{synodisk}} = 19.8584 \text{ a}$$

Planeterne mødes igen efter ca. 20 år, dvs. næste gang omkring 1960.

Opgave 59, side 246 **Månens voksende afstand**

$$\Delta a = 15200 \text{ km}$$

$$a_{\text{devon}} = 369200 \text{ km}$$

$$\text{Døgnlængde i devon: } 21.9 \text{ h}$$

$$\text{Vinkeldiameter i devon: } 1.56^\circ$$

$$\text{Højde af tidevand: } 47 \text{ m}$$

Opgave 60, side 251 **Nedbrydning af metan**

$$\Delta H_{\text{bind}} = 6.84 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4.27 \text{ eV}$$

$$\lambda = 2.90 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 290 \text{ nm}$$

Ultraviolet lys (UVB) er tilstrækkeligt.

Opgave 61, side 254 **Energi frigjort ved kridt-palæogen nedslaget**

$$m = 1.47 \cdot 10^{15} \text{ kg}$$

$$E_{\text{kin}} = 6.60 \cdot 10^{23} \text{ J} = 1.58 \cdot 10^{14} \text{ bomber}$$

Opgave 62, side 256 **Den sidste totale solformørkelse**

$$d_{\text{skygge}} = 380464 \text{ km}$$

$$d_{\text{min}} = 386835 \text{ km}$$

$$a = 409306 \text{ km}$$

$$\Delta t = 655409974 \text{ a} = 655 \text{ Ma}$$

Herefter kun ringformede og partielle formørkelser.

Totale måneformørkelser ender også, men det vil tage betydeligt længere tid og forudsætter at Jorden og Månen fortsat eksisterer.

Opgave 63, side 262 **Sammenstød med Andromedagalaksen**

$$t = 2.00 \cdot 10^{17} \text{ s} = 6.35 \text{ Ga}$$

Tiltrækning afkorter tidslængden.

Opgave 64, side 262 **Hickson Compact Group 90**

$$D = 30.8 \text{ kla.}$$
