Oort 92

Getallen, formules over
heelal en elementaire deeltjes

$g = 6.67 \times 10^{-8}$ ——— in cgs eenheden

$h = 6.63 \times 10^{-27}$

1 jaar $= 3.16 \times 10^{7}$ s

$M_\odot = 1.99 \times 10^{33}$ gram

$\mathcal{L}_\odot = 3.90 \times 10^{33}$ erg s$^{-1}$

1 eV $= 1.60 \times 10^{-12}$ erg $= 1.78 \times 10^{-33}$ g.

$m_p = 1.67 \times 10^{-24}$ g

$m_p c^2 = 938$ MeV

$m_e = 0.911 \times 10^{-27}$ g

$m_e c^2 = 0.511$ MeV

Lyα 1215 Å

~~$T = 10^{15}$ GeV~~

$10 \times 10^{-24}$ g cm$^{-3}$ $= 0.148\ M_\odot / pc^3$ $\quad T(°K) = 10^{13} T(\mathrm{GeV})$

Crit. dichtheid bij $H_0 = 50$ is $6.93 \times 10^{10} M_\odot$ Mpc$^{-3}$

Om een massa $\sim 10^{15} M_\odot$ te hebben moet in een bol met $R = 15.10^6$ pc [illegible]

Voor onderzoek van theoretische kwesties zie C. 't Hooft in Akademisch-voordracht 28 mei '84, te verkrijgen

$\Delta v = \frac{\Delta z}{1+z}$ c km/s. Voor $z = 2$ is $\Delta v = 100\,000\,\Delta z$ km/s
te $\Delta z = 385 \Delta z$ Mpc

Voor $z = 2.5$ $\Delta v = 86\,000\,\Delta z$ km/s
$\Delta z = 2630 z$ Mpc

1 eV $= 1.602 \times 10^{-12}$ erg $\rightsquigarrow \lambda = 12430$ Å, overeenkomt met $T = 11\,605$°

Spectrale sprong van H 13.6 eV.
Lyα 1216 Å Ly limit 912 Å
He II 304 Å

Expansie heelal

Als $\rho < \rho_c$

$t = H_0^{-1} \Omega (1-\Omega)$

$x = \sqrt{\Omega}$

Als $H_0 = 50$ km/s Mpc

in vm $\Omega = 0.1$
$\Omega = 0.2$
.. $\Omega = 0.5$

Tussen $x$ en sin.

Als $\rho = \rho_c$

$t = \frac{2}{3} H_0^{-1} (R/R$

Voor $H_0 = 50$: $R/R_0 = 0.1805$
$\Leftrightarrow$ # afstand

Leeftijd heelal
zijn omgekeerd

| z | $\Omega = 0$ | $\Omega =$ |
|---|---|---|
| 0 | 19.56 | 17. |
| 0.1 | 17.78 | 15. |
| 0.3 | 15.84 | 13. |
| 0.5 | 13.84 | 11. |
| 0.8 | | |
| 1 | 9.78 | 7. |
| 1.5 | | |
| 2 | 6.52 | 4. |
| 2.5 | | |
| 3 | 4.89 | 3 |
| 3.5 | | |
| 4 | 3.91 | 2 |
| 4.5 | | |
| 5 | 3.26 | 2 |
| 10 | 1.78 | |
| 1000 | $2.0 \times 10^{-2}$ | |

de getallen in S
die in $\Omega = 0.$

Als $H_0 = 50$ km s$^{-1}$ M

De kritische dichth

In heelal met crit. dichtheid
massa van $10^{15} M_\odot$ en straal

Bij heel klein z (K

Bij kleine z is

Oort 92

b) as (a),
Include
c) Notebo
d) Hardco
e) As (a), (
f) As (a), 1
g) As (a), 1

1

Expansie heelal

Als $\varrho < \varrho_c$

$t = H_0^{-1}\,\Omega\,(1-\Omega)^{-3/2}\,(x\sqrt{1+x^2} - \sinh^{-1}x)$

$x = \sqrt{\Omega^{-1}-1} \times \sqrt{R/R_0}$

Als $H_0$ = 50 km/s/Mpc = 0.05112 in eenheden van kpc en $10^9$ j:

in vm $\Omega = 0.1$ $t = 2.291\,(x\sqrt{1+x^2} - \sinh^{-1}x)$
$\Omega = 0.2$ $t = 5.468\,($ " $)$
" $\Omega = 0.5$ $t = 27.66\,($ " $)$

ruwsel $x$ resp. $3\sqrt{R/R_0}$ en $\sqrt{R/R_0}$ van de twee gevallen, nl. $\Omega = 0.1$ en $0.5$ resp.

Als $\varrho = \varrho_c$

$t = \frac{2}{3} H_0^{-1} (R/R_0)^{3/2}$ en $H = (R_0/R)^{3/2} H_0 = \frac{2}{3} t^{-1}$

Voor $H_0 = 50$: $R/R_0 = 0.1805\, t^{2/3}$ en $t = 13.04\,(R/R_0)^{3/2}$

$\Leftarrow$ $\neq$ als $t$ in eenh. van $10^9$ j.

Leeftijd heelal bij verschillende $z$ (voor $H_0 = 50$; de leeftijden zijn omgekeerd evenredig met $H_0$); eenheid $10^9$ j.

| $z$ | $\Omega=0$ | $\Omega=0.1$ | $\Omega=0.2$ | $\Omega=0.5$ | $\Omega=1$ | $t-t_0$ ("look-back time") $\Omega=0$ | $\Omega=0.1$ | $\Omega=1$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19.56 | 17.57 | 16.56 | 14.74 | 13.04 | | | |
| 0.1 | 17.78 | 15.79 | | | 11.30 | 1.78 | 1.78 | 1.74 |
| 0.3 | | | | 8.54 | 7.10 | | | |
| 0.5 | 13.04 | 11.72 | | | | 6.52 | 6.45 | 5.94 |
| 0.8 | | | | | 5.40 | | | |
| 1 | 9.78 | 7.97 | | 5.74 | 4.68 | 9.78 | 9.60 | 8.43 |
| 1.5 | | | | | 3.30 | | | |
| 2 | 6.52 | 4.92 | | 3.25 | 2.51 | | | |
| 2.5 | | | | | 1.99 | | | |
| 3 | 4.89 | 3.45 | | 2.15 | 1.63 | | | 11.41 |
| 3.5 | | | | | 1.37 | | | |
| 4 | 3.91 | 2.62 | | 1.56 | 1.17 | | | |
| 4.5 | | | | | 1.01 | | | |
| 5 | 3.26 | 2.07 | | 1.19 | 0.887 | | | |
| 10 | 1.78 | 0.93 | | 0.49 | 0.357 | | | |
| 1000 | $2.0\times10^{-2}$ | $1.1\times10^{-2}$ | | | $4.12\times10^{-4}$ | | | |

de getallen van $\Omega=0$ en $\Omega=1$ zijn volledig gemarkeerd, die van $\Omega=0.1$ en $\Omega=0.5$ zwevend.

Als $H_0 = 50\ \mathrm{km\,s^{-1}\,Mpc^{-1}}$ is $1/H_0 = 6.17\times10^{17}\,s = 19.56\times10^9$ j.

De kritische dichtheid $\varrho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 4.70\times10^{-30}\ \mathrm{g\,cm^{-3}}$
$= 69.3\ M_\odot\ \mathrm{kpc^{-3}} = 6.93\times10^{10}\ M_\odot\ \mathrm{Mpc^{-3}}$

In bolvormige sterrenhopen met een massa van $10^5 M_\odot$ en straal van 15.10 Mpc.

Bij heel klein $z$ ($\ll 0.1$) is de "look-back time" $= 19.56\,z$.

Bij kleine $z$ is $z = 6000\,z$ Mpc.

Sam.dekapt.jo in — volume w.i. bij $R/R_0 = 1/1000$
een relatief dichtheid gecees $\eta$ was boven de crit. dichtheid:
$T = 1.94 \times 10^{-3} (1+\eta) \eta^{-3/2} \times 10^9$ j. ($m H_0 = 50$)
Voor $\eta = 0.01$ wordt dit $1.94 \times 10^9$ j., corresp. met $z = 2.56$;
de max. straal waarbij bereikt bij $z = 4.65$.

Als $\Omega = 0.1$ is bij $R/R_0 = 0.001$ $\rho = 0.99 \rho_c$ —
moet dus aan een collaps nabijheid gedacht
bij als in — bolvol met $\Omega = 1$ de waarden
$\eta$ 0.009 hoger genomen worden.

Als z de afstand in Mpc is dan is $\Delta z = \frac{c}{H_0} (1+z)^{-5/2} \Delta z$;
van $z = 2$ wordt dit $385 \Delta z$; van $z = 2.5$ $283 \Delta z$ Mpc.

Vgl. Schmidt & Green in "volume-element" ($m H_0 = 50$):

$$\frac{dV}{dz} = 2709 \frac{A^2}{(1+z)^2 \{A^2(1-2q_0)+(1+z)^2\}^{1/2}} \left[ \frac{1}{q_0} + (1-\frac{1}{q_0})(1+2q_0 z)^{-1/2} - \frac{A}{1+z} \right]$$

w.i. A, de "h.h. afstand", gegeven is door $A(z) = z \frac{1+z(1-q_0)}{\sqrt{1+2q_0 z} + 1 + q_0 z}$

Hoek (ingeaden) waaronder men een bij z bevindende lengte van L Mpc (loodrecht op de gezichtslijn waarnemen:

$\theta = 57.3 (1+z) L/R$ Zie p.4 van tabel van $\theta(z)$

$R = c H_0^{-1} q_0^{-2} (1+z)^{-2} \{ 1 - q_0 + q_0 z + (q_0 - 1)(2q_0 z + 1)^{1/2} \}$

... als $H_0$ in km s$^{-1}$ Mpc$^{-1}$ (dan is R dan in Mpc); ($c H_0^{-1} = 6000$)

Bij $z \ll 1$ wordt $R = 6000 z$, gelijk aan de afstand z ($m H_0 = 50$).

Voor $H_0 = 50$, $q_0 = 0.5$ wordt $R = 12000 \{ (1+z)^{-1} - (1+z)^{-3/2} \}$.

~~Bij deze afstanden is $z = 6000 z$ Mpc ($m H_0 = 50$)~~

Voor $H_0 = 50$, $q_0 = 0.1$ wordt $R = 60000 \frac{9+z-9\sqrt{1+0.2z}}{(1+z)^2}$.

Hyperbolische functies:

$\sinh z = \frac{e^z - e^{-z}}{2}$ $\quad z = x + iy$

$\cosh z = \frac{e^z + e^{-z}}{2}$

$\operatorname{cosech} z = 1/\sinh z$

$\operatorname{cosech}^{-1} z = \sinh^{-1} \operatorname{cosech} z$

Verband tussen de hyperbolische en gewone trig. functies.

$e^{i\theta} = \cos\theta + i \sin\theta$

---

$1 eV = 1.60 \times 10^{-12}$ erg $= 1.8 \times$
$= 10^4 K$
1 GeV of $1.1 m_p$. Schwarzschild
$M_\odot = 2 \times 10^{54}$ erg 1 p
Jeans lengte =

Jeans massa =

Lorentz factor

De Thomson door

$\Theta_c = 2.08 \times 10^{-}$

Inverse-tijd $= 5.2 \times$

$t_{cool} = 3 \times 10^5 T$
of $3 \times 10^{11} T$

$m_p = 1.66 \times 10^{-24}$ g

Een massa in de
$\Theta_c = 0.0656$

$1 M_\odot / pc^3 = 6.8 \times$

Hebben beide
wij bewegende

Voor $\alpha = 0$ en

$1 + z = \left( \frac{1+v/c}{1-v/c} \right)^{1/2}$

| $z = \Delta\lambda/\lambda$ | $v/c$ |
|---|---|
| 0.5 | 0.40 |
| 1.0 | 0.60 |
| 1.5 | 0.72 |
| 2.0 | 0.80 |
| 3.0 | 0.88 |

$R/R_0 = 1/1000$
over de crit. dichtheid:
$\cdot 2 \times 10^9$ j. ($\omega_m H_0 = 50$)
$\times 10^9$ j., corresp. met $z = 2{,}56$;
T.

$\rho = 0.99\,\rho_c$ —
— q dwingt
de wereld in
n.

$(1+z)^{-5/2}\Delta z =$
$283\,\Delta z$ Mpc.

$_0 = 50$):
$(1+2q_0z)^{-1/2} - \frac{A}{1+z}\Big]$
)
$= 1 + q_0 z$
Mpc
$\Delta$ Entfernung q =

m tabel v. $\theta(z)$
$q_0 z + 1)^{1/2}\}$
$H_0^{-1} = 6000$)
de afstand z ($\omega_m H_0 = 50$).
$z)^{-3/2}\}$.
$= 50$)
$+ 0.2z$
2 .

ij. junctie.



$1\,eV = 1.60 \times 10^{-12}$ erg $= 1.8 \times 10^{-33}$ g $\quad 10^6$ eV ↔ temp. $10^{10}$ K ↔ 1 MeV
$= 10^4$ K $= 10^{-9} m_p$
15 eV ↔ 1,1 $m_p$. Schwarzschild straal $z_s = 2GM_p/c^2 \sim 3 \times 10^{-7} M/M_\odot$ cm.
$M_\odot = 2 \times 10^{54}$ erg $\quad 1$ pc $= 3.26$ l.j.

Jeans length $= 0.69 \times 10^4 c_s = 0.62\, T^{1/2} \rho^{-1/2} \times 10^8$ cm
[$c_s$ = geluidsnelh. $= (kT/m)^{1/2}$
$k = 1.38 \times 10^{-16}$]
$= 0.91 \times 10^4 T^{1/2}$ cm/s

Jeans mass $= 1.02 \times 10^{24} T^{3/2} \rho^{-1/2}$ gram

Lorentz factor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ $\quad \gamma = 2$ $\beta = v/c = .866$
$4$ $.968$

De Thomson doorsnede van een electron $\sigma_T = 0.665 \times 10^{-24}$ cm$^2$
(Weinberg p. 568)

$\Theta_c = 2.08 \times 10^{-3} \sqrt{M/R}$ km s$^{-1}$ als $M$ in $M_\odot$ en $R$ in kpc

Inverse-tijd $= \frac{5.2 \times 10^7}{\sqrt{n}}$ /jaar $= 6.7 \times 10^{-5}/\sqrt{\rho}$ /jaar
als $n$ in H-at./cm$^3$ en $\rho$ in g/cm$^3$

$t_{cool} = 3 \times 10^5\, T^{3/2} n^{-1}$ s $= 0.010\, T^{3/2} n^{-1}$ jaar als $T \leq 3 \times 10^5$
of $3 \times 10^{11}\, T^{1/2} n^{-1}$ s $= 10000\, T^{1/2} n^{-1}$ jaar als $T \geq 3 \times 10^5$

$m_p = 1.66 \times 10^{-24}$ gm , $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ gm

Een massa in de zonnemaat gesteld op afst. R pc van ons heelal
$\Theta_c = 0.0656 \sqrt{M/R}$ km s$^{-1}$.

$1\,M_\odot/\text{pc}^3 = 6.8 \times 10^{-23}$ g/cm$^3$

Hulde Leidse radiobronnen: Een der eigenschappen van kosmische radiobronnen is dat ze vaak een langgerekte jet hebben: $F = \left(\frac{1 + \frac{v}{c}\cos\theta}{1 - \frac{v}{c}\cos\theta}\right)^{2-\alpha}$.
Voor $\alpha = 0$ en $v/c = 0.9$ wordt dit bijv. $1.8 \times 10^5$ bij $\theta = 6°$
en 19 „ „ 45°.

| $z = \Delta\lambda/\lambda$ | $v/c$ |
|---|---|
| 0.5 | 0.40 |
| 1.0 | 0.60 |
| 1.5 | 0.72 |
| 2.0 | 0.80 |
| 3.0 | 0.88 |

$1 + z = \left(\frac{1 + v/c}{1 - v/c}\right)^{1/2}$

Oort 92

$R = 6000\, q_0^{-2}(1+z)^{-1}\{1 - q_0 + q_0 z - (1-q_0)\sqrt{1+2q_0 z}\}$

1 Hoek waaronder een lengte $L = 100$ Mpc gezien wordt

$\theta = \frac{5.73}{6} q_0^2 (1+z)^2 \{\ \}^{-1}$ graden (om $H_0 = 50$)

Voor $q_0 = 1/2$ 0.2388 en waarden van R in Mpc (om $z \ll 1$ is $R = 6000z$)

| z | $\Omega = 0.001$ R | θ | $\Omega = 0.1$ R | θ | $\Omega = 0.5$ R | θ | $\Omega = q_0$ R | θ | $\Omega = 1$ R | θ | $\Omega = 1.1$ R | θ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.05 | | | 292.5 | 20.57 | 291.0 | 20.68 | | | | 20.83 | | |
| 0.1 | | | 571 ✓ | 11.05 | 565.4 | 11.15 | | | | 11.30 ✓ | | |
| 0.2 | | | | | | | | | | 6.57 | | |
| 0.5 | | | 2463 ✓ | 3.49 | 2334 | 3.68 | | | | 3.90 | | |
| 1 | 4499 | 2.55 | 4358 ✓ | 2.63 | 3909 | 2.93 | 2226 | 3.86 | 2179 | 3.94 | | |
| 2 | | | 7462 | 2.30 | 6059 | 2.84 | 3583 | 3.20 | 3450 | 3.32 ✓ | | |
| 3 | 11232 | 2.04 | 10100 ✓ | 2.27 ✓ | 7540 | 3.04 | 5231 | 3.29 | 5926 | 3.49 | | |
| 2.5 | | | | | | | 6238 | 3.67 | 5786 | 3.96 | | |
| 4 | | | | | | | | | | 3.59 | | |
| 6 | | | | | | | | | | 4.32 | | |
| 1000 (1 Mpc) | | | | | | | | | | 5.37 VV | | |
| | | | | | | | | | | 4.94 V | | |

0.578

Voor $z = 1000$ en $\Omega_0 = 1$ wordt de hoek waaronder 1 Mpc gezien wordt ~~5.84~~ 4.94.

Een stelsel van $10^{11} M_\odot$ zou dan onder een hoek van 0.4' gezien worden; $10^{14} M_\odot$ 4.1'.

Een groot cluster, met massa $10^{16} M_\odot$, zou een diam. van ~~19.2~~ 22.8 hebben (straal 0.035 Mpc).

Men kan gegroepeerde sch. in ~~verre~~ kleinen, meestal in $10^{15} M_\odot$, met diam. van 8.9.

In Ruiken met $\Omega = 0.1$ wordt 1 Mpc bij $z = 1000$ gezien onder hoek van 0.578

en onder de hoeken van 8.5 meest kleinen; een $10^{16} M_\odot$ sch. zou dan een diam. van 2.25 hebben; een $10^{15} M_\odot$ sch. 1.04.

Conclusie: van metingen van fluctuaties in de achtergrondstraling moeten we dus rekenen op openingen van 1' à 10'.

Ook: Schramm, Physics Today April 1983, p. 27. Geeft ook aan: gemeten dat $\Omega$ precies 1 moet zijn.

Phase-overgang 65 TeV $10^{15}$ GeV.

Zie ook Barrow & Tu Nature 298, 801 vm ... Belangrijke perioden in ... (met Vn Hove in ...

Planck tijd $t_p = 0.5 \times 10^{-4}$

Tijd $t = 10^{-9}$ en $\approx 10^{-}$ van de stelsels waargenomen

$5 \times 10^{14}$ GeV/gelijk wordt $\alpha_s$ en $\alpha$ (EWT).

tot $t = 10^{-6}$ $T = 1$ GeV (gl ... in Kernsint ... Bij $t = 10^{-6}$ ...

$T \propto t^{-1/2}$

$t = 10^{-3}$ $\approx 10^{-3}$ s ... (T = 30 MeV) $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ ... gl $T \approx 3 \times 10^{11}$ K

$\approx 10^{-9} \times$ ... Tussen $10^{-}$ ...

Bij $t = 10^{-3}$ ...

$t = 1^s$ (T ≈ 1 MeV) $10^{10}$ K ... Bij ...

Temp. uit ...

Bij $t = 180$ s (T ≈ 0.1 MeV ≈ $10^9$ K ... vorming in ...

neutrino decoupling gebeurt bij kT ≈ 2 MeV ($3kT_\nu \approx m_p c^2$)

Fermi Lab heeft een ... tot 1 TeV (1000 GeV) ... in 1985 ...

Vlgs de ENT (electronuclear ... moet er monopolen geweest ... die vlgs p. 79 "absolutely ...

Het tijdstip van de grand unification, ... wisselwerking gelijk worden, is ... Dit komt als tijd $10^{-}$ ... overeen ... Redelijke waarden $\leq 300$ km/s ...

In het vroege heelal was de ... de neutrino-temp. ...

Proton-lifetime geeft ... $= 13$

* Bij $T = 1.3 \times 10^{\text{"}}$ "K ...

andere deeltjes

CERN hoopt in '82 proton- ... gevonden (de heetste ... en 94 GeV

Eind mei (juni '84) gedicteerd ... collis

Oort 92



Notebook w
dynamical pr



a) Hardcover
comments,
b) as (a), 01-1
Includes co
c) Notebook:
d) Hardcover n
e) As (a), 01-0
f) As (a), 1971-
g) As (a), 1975-

Ook: Schramm, Physics Today April 1983, p. 27. Geeft korte argumenten dat $\Omega$ precies 1 moet zijn.

Phase-overgang bij $T \approx 10^{15}$ GeV.

Zie ook Barrow & Turner "The Inflationary Universe ..." Nature 298, 801 vrij uitgebreid overzicht.

Belangrijke perioden in het expanderend heelal

(uit Van Hove in Evolution in the Universe, ESO)

Planck-tijd $t_p = 0.5 \times 10^{-43}$ s

Tijd $t = 10^{-9}$ en $\approx 10^{-34}$ daalt de coupling constante $\alpha_3$ van de sterke wisselwerking (QCD) zo sterk dat bij $\approx 10^{-34}$ (T $\approx 5 \times 10^{14}$ GeV) gelijk wordt aan $\alpha_1$ en $\alpha_2$ van de electrozwakke interactie (EWT).

tot $t = 10^{-6}$ $T = 1$ GeV ($\hat{=} 10^{13}$ K) is een quarks-gluon plasma, in thermisch evenwicht met fotonen + leptons

Bij $t = 10^{-6}$ is een plasma-overgang naar het

$T \propto t^{-1/2}$ $t = 10^{-3}$ $\hat{=} 10^{-3}$ s overwegend gas van $e^-$, $e^+$, $\gamma$,

($T = 30$ MeV) $\nu_e$ en $\nu_\mu$ plus een gas van nucleonen met of $T \approx 3 \times 10^{11}$ K

$\approx 10^{-9} \times$ de dichtheid van de electronen-neutrino's

Tussen $10^{-6}$ en $10^{-5}$ is het hadron tijdperk.

(alleen te vernietigen. *

Bij $t = 10^{-3}$ hyperonen, mesonen, baryonen

$e^-$ en $e^+$ vernietigen elkaar

$t = 1^s$ ($T \approx 1$ MeV, $10^{10}$ K) De verhouding neutron / proton is bij deze temp. uit evenwicht tot verhouding 1:5

neutrino decoupling gebeurt bij $kT \approx 2$ MeV ($3kT_\nu \approx m_\nu c^2$)

Bij $t = 180$ s ($T \approx 0.1$ MeV, $\approx 10^9$ K) begint de kernsynthese, dus vorming van deuterium - Helium.

Vgl de ENT (electronuclear theory, ook wel grand unification theory) met een massa $\approx 10^{16}$ GeV ($\approx 10^{-2}$ $m_p$).

die vgl p. 79 "absolutely stable" zouden moeten zijn.

Het begin van de grand unification, waar sterke, zwakke en electromagn. wisselwerking gelijk worden, is bij $t = 10^{-34}$ of $10^{-35}$ s, bij $T = \approx 10^{14}$ GeV.

Dit komt ook de tijd overeen waarop de monopolen gevormd zijn. Hun huidige snelheden zouden $\leq 300$ km/s zijn.

In het vroege heelal was de photon-temp $1.40 \times$ hoger dan de neutrino-temp. ($= (11/4)^{1/3}$)

Proton-lifetime geschat op $\approx 10^{31}$ j.

* Bij $T = 1.3 \times 10^{11}$ °K $= 13$ MeV, $t = 5 \times 10^{-3}$ s ontkoppelden de neutrino's zich van de andere deeltjes

CERN kwam in '82 proton-antiproton botsingen tot 270 GeV waarbij in p. W $\approx 2$ °kans gevonden (de Tevatron bij Fermilab kwam in juni '84 gedicteerd over "colliders" in 40 TeV

CERN denkt een hadron-collider met 10 TeV in de toekomst

Fermilab hoopt tot 1000 GeV (1 TeV) mogelijkheden te onderzoeken

$q_0 z$ }

Mpc gezien wordt

$c$ (voor $z \ll 1$ is $R = 6000z$)

$\Omega = 1$ $\quad \Omega = 1.1$

$\frac{\Omega}{R} = \frac{a_9}{\theta}$ $\quad R \quad \theta$

20.83

6.57 11.30 v

3.90

2226 3.86 2179 3.94

3.26

3583 3.20 3450 3.32 v

3.39 v

5231 3.29 3926 3.49

3.82

6238 3.67 5786 3.96

3.59

4.32

5.37 vv

4.94 v

Mpc gezien wordt ~~4.94~~ 4.1

gezien wordt; $10^{14} M_\odot$

19.2

(stond 0.0345 Mpc).

$M_\odot$, met diam. ~~8.9~~.

gezien onder hoek = 0.578

$M_\odot$ zal zou dan een diam. van

ingevuld stelling moeten

Oort 92

Energie-dichtheid van cosmische achtergrondstraling is
$6.05 \times 10^{-13}$ erg/cm$^3$, of $6.7 \times 10^{-34}$ g/cm$^3$.

Oort 92

Fermions : deeltjes met half-integer spins (electron, proton, neutrino, quarks

Bosons : deeltjes met integer spins (neutrino, photon

Leptons: ~~e~~ electron en zijn neutrino, muon en $\tau$ lepton (elk met bijbehorende neutrino's)
(Beide met spin 1/2)

Pauli's exclusion principle geldt voor fermions.

$n, l, m_s, m_l$ ($n$ = hoofdquantumgetal, $l$ kan elk van de waarden $n-1, n-2 \ldots 0$ zijn)

$\hbar = h/2\pi$

$m_s = s\hbar$

$m_s$ = hoekmoment v/h deeltje. $s$ is ~~half of~~ het getal dat afhangt van het deeltje dat we beschouwen [$s = 1/2$ voor een electron, $s = 1$ voor photon ($m_s = -1$ of $+1$, corresp. met polarisatie die van een stilstaande combinatie van twee circulair gepolariseerde fotonen).

moment v/d beweging van photon $p = h/\lambda$ (want $E = h\nu = hc/\lambda$ en $E = pc$)

Volgens de Broglie is de omtrek van een Bohr'se baan $2\pi r$ = integer $\times \lambda_e$, waar $\lambda_e$ de golflengte v/h electron is. Dan is gegeven dat $h/p_e$ (uit $p = h/\lambda$ hierboven) en $p_e = m_e v$, met $v^2/r = K/m = \frac{e^2}{m r^2}$ of $v = \frac{e}{\sqrt{mr}}$

We vinden zo $r = \hbar^2/(m_e e^2)$.

Deeltjes-versneller geeft binnenkort het in 600 GeV ($\approx 10^{16}$ °K). In CERN bevestigde in 1982/3 bestaan deeltjes en W bosons. Theoretische verwachtingen gaan nu tot $\approx 10^{15}$ GeV. Deze kunnen slechts in het vroege heelal geteste worden.

Er is een phase-overgang bij $t \approx 10^{-6}$ s, $T_c \approx 200$ MeV

In juli '89 komt de nieuwe CERN versneller klaar. Energie zal opgevoerd worden tot $2 \times 10^{11}$ eV (LEP) (electron-positron)
Met Hadron colliders zelfs tot botsingsenergie van 20 TeV ($2 \times 10^{13}$ eV) kunnen bereikt (o.a. Higgs deeltjes).

Planck tijd $t_p$ ~~$10^{-43}$~~ $0.5 \times 10^{-43}$ sec. Planck massa $m_p = (hc/G)^{1/2} = 5.46 \times 10^{-5}$ gram. Levensduur v/e proton $\approx 10^{31}$ j. Bij $10^{-43}$ sec had horizon diam. $\approx 10^{-33}$ cm. Alle massa binnen een huidige horizon lag toen in bol met straal $\approx 10\mu$. Planck lengte $10^{-33}$ cm.

Vrij neutron heeft levensduur van $\approx 10$ min. waarna een d quark uiteenvalt in $e^-$ en $\bar{\nu}$ en een u quark, en dan een proton ontstaat.

Gluons "mediëren" de sterke kracht tussen quarks. Ze hebben geen massa.

Bazyons : proton, neutron, etc. (quarks)
Hadrons : deeltjes onderworpen aan sterke wisselwerking, in tegenstelling tot leptons, die geen sterke wisselwerking ondergaan.
~~Quarks~~ Quarks : Hiervan zijn er ook zes, elk met spin 1/2 en barygetal 1/3; de up quarks hebben el. lading +2/3, (p.103 e.v.) de down quarks -1/3. Een proton heeft uud, een neutron udd.

Mesons: zijn quark-antiquark paren en hebben massa's tussen baryons - leptons. $\pi$-Mesons zijn combinaties van quarks met antiquarks; er zijn er 3 $u\bar{u}$ en $d\bar{d}$, $u\bar{d}$ en $\bar{u}d$ ($\pi^0$, $\pi^+$, $\pi^-$); ze hebben geen spin en zijn dus bosons. Zij zijn mediator. van de sterke wisselwerkingen.

Oort 92

$\frac{dr}{dt} = 2Sct$ $\qquad \hbar = h/2\pi$

muon mass $105\,\mathrm{GeV} = \frac{1}{9} m_p$

pion $140 = \frac{1}{7} m_p$

Electric [illegible] the gravitational is $\frac{e^2}{Gm^2}(1+V/c) \times$ gravitational. Thus if all the [illegible]

$S_n = \frac{3H_0^2}{8\pi\delta}$ $\qquad H_0 = 50\ \mathrm{km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}}$ $\qquad \delta = 6.7\times10^{-8}$

$1\,\mathrm{Mpc} = 3.1\times10^{21}\,\mathrm{km}$ $\qquad 1\,\mathrm{pc} = 3.084\times10^{18}\,\mathrm{cm}$

$1\,\mathrm{Mpc} = 3.1\times10^{24}\,\mathrm{cm} = 3.1\times10^{19}\,\mathrm{km}$

$H_0 = \frac{50}{3.1\times10^{19}}\,\mathrm{s^{-1}}$ $\qquad H_0^2 = \frac{2.5\times10^{3}}{9.5\times10^{38}} = 2.6\times10^{-36}$

$\frac{4}{3}\pi = 4.2$ $\qquad \frac{8\pi}{3} = 8.4$ $\qquad \times\delta = 5.6\times10^{-7}$ $\qquad \rho_u = \frac{2.6\times10^{-37}}{5.6\times10^{-7}} = 5\times10^{-31}$

$\frac{v^2}{2} = \frac{e^2}{2^2}$ $\qquad v = e/\sqrt{2}$ $\qquad F = e^2/2^2 = ma$

$a = \frac{e^2}{m2^2} = \frac{v^2}{2}$ $\qquad$ thus $v^2 = e^2/(m2)$ $\qquad m_e v = e\sqrt{m}/\sqrt{2}$

$\lambda_e = 2\pi 2 = h/(m_e v) = \frac{h\sqrt{m2}}{e}$ $\qquad 2 = \frac{\hbar}{e}\sqrt{m2/m}$

$= \frac{h}{e}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{m}}$ $\qquad 2^{1/2} = \frac{\hbar}{e\sqrt{m}}\sqrt{2}$ $\qquad 2 = \frac{\hbar^2}{me^2}m$

$H = v/2$ $\qquad \frac{dx}{dt} \times 2^{-1}$ $\qquad \frac{1}{a}\frac{da}{dr}$

Per $10^{-9}$ cm dia. $1.7\times10^{-24}$ g

Oort 92

X = ± 17,4 Y = + 7,2 = + 7 km/sec
Π = ± 10,5, ⊙ = + 15,4 Z = + 7,1

Als $H_0 = 75$ km/sec.Mpc is $\varrho_{crit} = 1.06 \times 10^{-29}$; voor andere $H_0$ is $\varrho_{crit} = 4.7 \times 10^{-30} (H_0/75)^2$

Als $H_0 = 50$ is $\varrho_{crit} = 2 \times 10^{-29}$ g/cm³

Schwarzschildstraal = $3 \times 10^{11}$ cm/$10^6 M_\odot$

Ne II fijnstructuur bij 12.8 μ

CO bij 2.6 μ mm straal gelijk $1.2 \times 10^{11}$ cm

1 joule = $10^7$ erg
1 watt = $10^7$ erg/sec
1 erg = $2.3 \times 10^{-8}$ cal.
1 dyne = $\frac{1}{980}$ gram

Massa electron = $9.106 \times 10^{-28}$
proton = $1.674 \times 10^{-24}$

$h = 6.624 \times 10^{-27}$; $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.054 \times 10^{-27}$

R = Rydb. const. = $\frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} = 3.29 \times 10^{15}$ *)

Stralingsdichtheid = $B(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$

Voor lange golflengten $u(\nu)$ en $\nu^2 T$

Bij kleine opt. dikte is het aantal H-atomen per cm² per cm/sec:
$N(V) = 1.835 \times 10^{12} T_b$

rotatie meas. = $8.1 \times 10^8$ cm/sec, 1 atm. ca $10^6$ dynes/cm²

lading = $-4.80 \times 10^{-10}$ e.s.e.
$e^2 = 2.306 \times 10^{-19}$
proton : electron = 1837
$h/k = 4.799 \times 10^{-11}$

k = const. v. Boltzmann = $1.3803 \times 10^{-16}$
R = gasconstante = $\frac{k}{m_H} = 8.26 \times 10^7$ cgs

w.i. $\frac{8\pi k}{c^3} = 6.10 \times 10^{-57}$

$\lambda_{max} = 0.289/T$ (Wien). $\frac{h\nu}{kT} = 5.0 \times \frac{\lambda_{max}}{\lambda}$

Leeftijd heelal

$\pi a^2 = 0.89 \times 10^{-16}$

Straal eerste Bohrse baan bij H: $a = 0.532 \times 10^{-8}$ cm. Balmer limiet $\lambda = 3647$ Å ($h\nu = 0.54 \times 10^{-11}$ erg)

Ionisatie-spanning van H = 13.53 eV = $2.154 \times 10^{-11}$ erg → $v_{el.} = 2.187 \times 10^8$ (= snelh. in eerste Bohrse baan) → λ = 911.5 Å.

5 eV → λ = 2480 Å → 58 000 °K → $v_{el.} = 1.329 \times 10^8$
10 keV → λ = 1.24 Å → $v_{proton} = 1.38 \times 10^8$

8.01 $\times 10^{-12}$ erg → $5.5 \times 10^{-13}$ eV = $7.60^2 \times 10^{-12}$ erg = 9100 °K.

Gemiddelde totale kin. energie v/e deeltje = $\frac{3}{2} kT = 2.06 \times 10^{-16} T$

Maxwell: $4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{1}{2}mv^2/kT}$

Bij T = 10 000° is de lineaire gem. snelh. van een electron 623 km/sec (= 1.10 eV), van H-atoom 14.5, van Ca atoom 2.4 km/sec. (Om $\overline{v^2}$ te krijgen moeten we nemen $\frac{3\pi}{8} \overline{v}^2 = 1.18 \overline{v}^2$).

Geluidsnelh. in H bij T = 10 000° 11.8 km/sec.

Aantal mol. per cm³ bij T = 273° en $p = 10^6$ dyne/cm² = $2.67 \times 10^{19}$ (Loschmidt's getal)

" " in een grammolecule = $6.06 \times 10^{23}$ (getal van Avogadro)

1 eV = $1.602 \times 10^{-12}$ erg = $1.782 \times 10^{-33}$ g.

Er zijn een miljard fotonen per kerndeeltje.

Verstrooiing per electron = $k = 6.57 \times 10^{-25}$

Heelal temp. 3000° opgewekt 15 miljard j. gelaakt, bij z = 1000, en tot 1 miljoen j.

Energie-dichth. magn. veld = $H^2/8\pi = .0398 H^2$

$1 + z = \left(\frac{1 + v/c}{1 - v/c}\right)^{1/2}$

| dλ/λ | v/c | dλ/λ | v/c |
|---|---|---|---|
| 0.5 | 0.40 | 1.5 | 0.72 |
| 1.0 | 0.60 | 2.0 | 0.80 |

Als H = 50 is z = 6000 v/c Mpc.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 6548 | [N II] | $H_\alpha$ | λ 6563 | K | 3933 |
| 6584 | | | | H | 3968 |
| 4686 | He II | $H_\beta$ | λ 4861.5 | | |
| 4363 | [O III] | $H_\gamma$ | λ 4340.6 | D | 5876 |
| | | $H_\delta$ | λ 4101.7 | | 5896 |
| 3968 | [Ne III] | $H_\varepsilon$ | λ 3970.1 | $N_1$ | 4959.5 |
| 3869 | | $H_8$ | λ 3889.0 | $N_2$ | 5007.6 |
| 1216 | $L_\alpha$ | Lim. | λ 3646 | | |

Ionisatie-potentialen

| | | I | II | III | IV | V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | H | 13.53 | | | | |
| 2 | He | 24.47 | 54.14 | | | |
| 6 | C | 11.26 | 24.38 | 47.87 | 64.48 | 392 |
| 7 | N | 14.54 | 29.47 | 47.60 | 77.4 | 97.9 |
| 8 | O | 13.55 | 34.93 | 54.87 | 77.4 | 114 |
| 10 | Ne | 21.47 | 40.89 | 63.2 | 97 | 126 |
| 11 | Na | 5.12 | 47.02 | 71.4 | | |
| 20 | Ca | 6.09 | 11.82 | 51.0 | 67 | |

*) $R = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3}$ **) $p = \frac{RpT}{\mu} = nkT$ (μ = gem. mol. gew. van alle voorkomende soorten; n = aantal deeltjes per cm³)

$(\nu = c/\lambda)$ $\left(h\nu = \frac{1.10^5 \times 10^{-8}}{\lambda \text{ in } \text{Å}}\right)$ $(h\nu/kT = 1.43 \times 10^8 / T \times \lambda \text{ in Å})$

Oort 9

$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-h^2x^2}dx = \frac{\sqrt{\pi}}{h}$ ; $\int_0^{\infty} x e^{-h^2x^2}dx = \frac{1}{2h^2}$ ; $\int_0^{\infty} x^3 e^{-h^2x^2}dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4h^3}$ $\sqrt{\pi} = 1.772$ $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$

$\varepsilon = \frac{1}{h\sqrt{2}} = \frac{0.707}{h}$ $\eta = \frac{1}{h\sqrt{\pi}} = \frac{0.564}{h}$ $\tau = \frac{0.477}{h}$

| a/c | 1 | 2 | 5 | 10 | ∞ |
|---|---|---|---|---|---|
| aant. kr. sfer. | 1.00 | 1.42 | 1.65 | 2.08 | 2.36 $\frac{M}{a^2}$ |

$1.483\tau$ $1.183\tau$ $0.845\eta$

$1.253\eta$ $0.799\varepsilon$ $0.674\varepsilon$

Gemiddelde transv. vnh. $= \frac{\sqrt{\pi}}{2h} = 1.571\,\bar{v}$

Gemiddelde mom.-vnh. $= \frac{2}{h\sqrt{\pi}} = 2\,\bar{v}$

als $\bar{v}$ de gemiddelde vnh. in één comp. is

De helft van de halfwaarde-breedte is bij Gauss. verd. $x_{1/2} = 1.48\eta_c$ ($\eta = 0.677\,x_{1/2}$).
$= 1.18\varepsilon_c$

De o.g. van de gem.-fout $= \frac{0.51}{\sqrt{n}}\eta$ ; van de middelb.-fout $\frac{0.48}{\sqrt{n}}\varepsilon$

$3.07\frac{\varepsilon}{\sqrt{n}}$ $1.34$

Precessie in $\alpha$ $\begin{cases} 46''.09 + 20''.05 \sin\alpha\,\tfrac{\sin\delta}{\cos\delta} \\ \delta \quad +20''.05\cos\alpha \end{cases}$ (1900)

Nieuwgel. met $12^h 19^m + 27°.4$ (1950)

$= 1.822\times10^{18}\int T_b\,dV$ (Verschuur)

$W = 2.36\,\sigma$

$N_H = 1.95\times10^{18} W T_b = 4.60\times10^{18}\sigma T_b$ (Wen Gin-kum/HC)

Massa per $\square$ pc $= 2.45\times10^{-18} N_H z^2 M_\odot$ ($z$ in kpc)

Samenklapt.tijd in gas met $n$ H-at./cm³ $= 52\,n^{-1/2}$ miljoen j.

Afstand M31 670 kpc.

$3C273$ $z = 0.158 \Rightarrow r = 1000$ Mpc M31 670 000 pc

$1\,nm = 10\,Å$

$\log e = \text{Mod} = 0.4343$ $\ln 10 = 1/\text{Mod} = 2.303$ $e = 2.718$

1 ster. $= 11.8\times10^{4}$ vierk. graden $= 3284^{\square}$

boloppervlak $= 41\,253^{\square}$ ($\log = 4.6155$)

oppervl. bolkap met straal $\theta = 2\pi(1-\cos\theta)$

$\ln a = \frac{1}{\text{Mod}}\log a$ $\ln a = 2.303\log_{10} a$ $\log_{10} a = 0.434\ln a$

Cirkelsnelh. op afst. $R$ pc van massa $M(\odot) = 0.0656\sqrt{M/R}$ km/sec

$g = 6.668\times10^{-8}$

$1+z = \left(\frac{1+v/c}{1-v/c}\right)^{1/2}$

$c = 2.998\times10^{10}$ ($2.9979$ Bomstonecheck. in wet van den 10-de cent. dec.)

$1\,cm = 6.68\times10^{-14}$ A.E.

By 1420 MHz is 1 km/sec $= 4.735$ kc/s; 1 kc/s $= 0.211$ km/sec

1 A.E. $= 1.4958\times10^{8}$ km

1 A.E.² $= 2.23\times10^{26}$ cm²

gem. snelh. in aardbaan $= 29.8$ km/sec.

$1\,ps = 3.0857\times10^{18}$ cm $= 206\,265$ A.E. $= 3.26$ l.j.

$1\,l.j. = 9.461\times10^{17}$ cm $= 63\,000$ A.E.

$1\,ps^2 = 9.521\times10^{36}$ cm²

$1\,ps^3 = 2.938\times10^{55}$ cm³

$\gamma = 1.022^{5}$ rad./$10^9$ j.

Als $dk$ in $\odot$ en $R$ in kpc is $\odot_c^2 = 4.33\times10^{-6}\,dk/R$(km/sec)²

1 jaar $= 3.1557\times10^{7}$ sec

1 dag $= 8.64\times10^{4}$ sec

1 ps/j. $= 0.978\times10^{6}$ km/sec

1 km/sec $= 1.022^{5}$ ps in milleniumjaar

1 km/sec.kps $= 3.24\times10^{-17}$ rad./sec

1 A.E./j. $= 4.737$ km/sec

1 km/sec $= 0.2111$ A.E./j.

Massa $\odot = 1.989\times10^{33}$ g straal $\odot = 1.326\times10^{26}$

Massa Aarde $= 5.975\times10^{27}$ g

$\odot/pc^3 = 0.676\times10^{-22}$ g/cm³ $= 40.44$ atomen (40.4)

$10^{-24}$ g/cm³ $= 1.48\times10^{-2}\,\odot/ps^3$

versn. door $\odot$ op 1 pc $= 1.403\times10^{-11}$ cm/sec²

op 1 A.E. $= 0.597$ cm/sec²

$\sqrt{}$ van $\odot$ op 1 pc $= 0.0927$ km/sec

Als $z$ in ps, is totale massa binnen $z = 0.163\,z^2 N_H\,\odot$

$= 3.6$ H atomen per cm³

abs. magn. $\odot = (+4.84)$ ; pg $(+5.26)$ $+5.37$ (Stebbins & Kron. Ap. J. 126, 266).

$\odot = 3.78\times10^{33}$ erg/sec per cm² opp.vlak $6.24\times10^{10}$ erg/sec

$= 0.93\times10^{33}$

$R_\odot = 8200$ ps $A = 15$ $dw/dR = -2A/R_\odot = -3.66$

$\odot = 216$ km/sec $B = -13$ $\omega_c = 26.4$ $T = 240$ $\times10^{6}$