

VAN ATOOM TOT KOSMOS

Wie het kleine niet eert ...

Piet Mulders

pjg.mulders@gmail.com

<https://www.nat.vu.nl/~mulders>



European Research Council



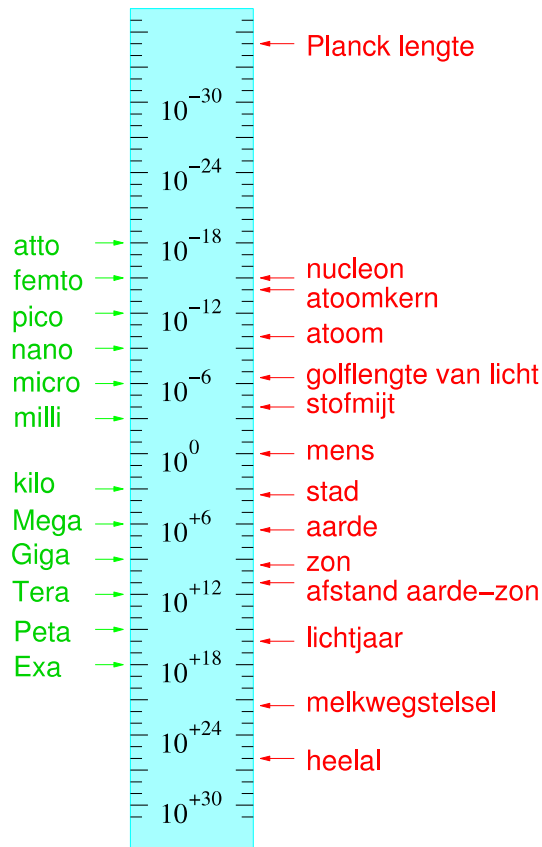
Hoofdstuk 1

Inleiding

INLEIDING

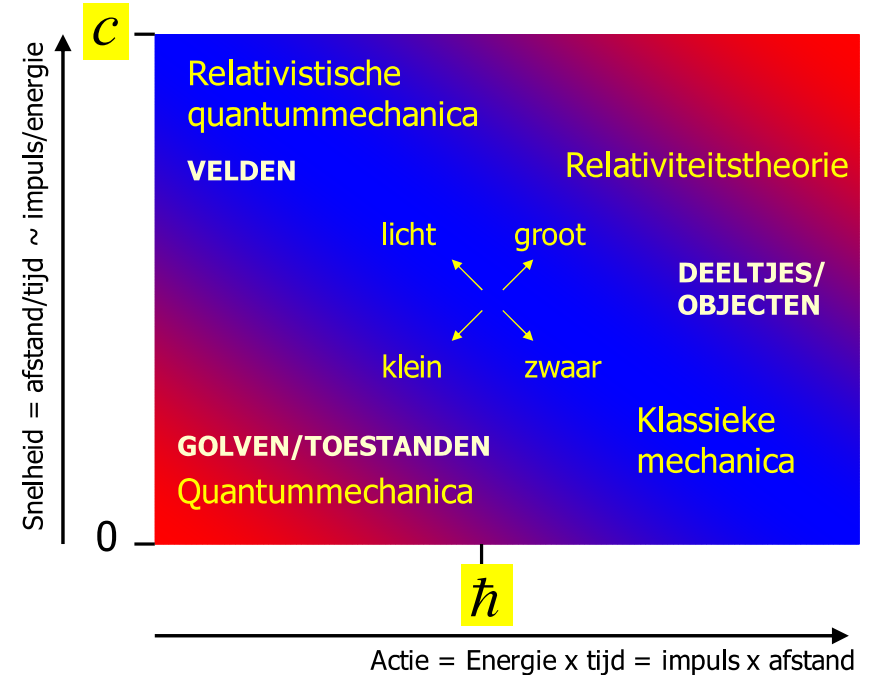
- Kwantum en relativiteit als norm
 - tijd --- frequentie --- energie
 - ruimte --- golflengte --- impuls

- De maat der dingen
 - Machten van 10



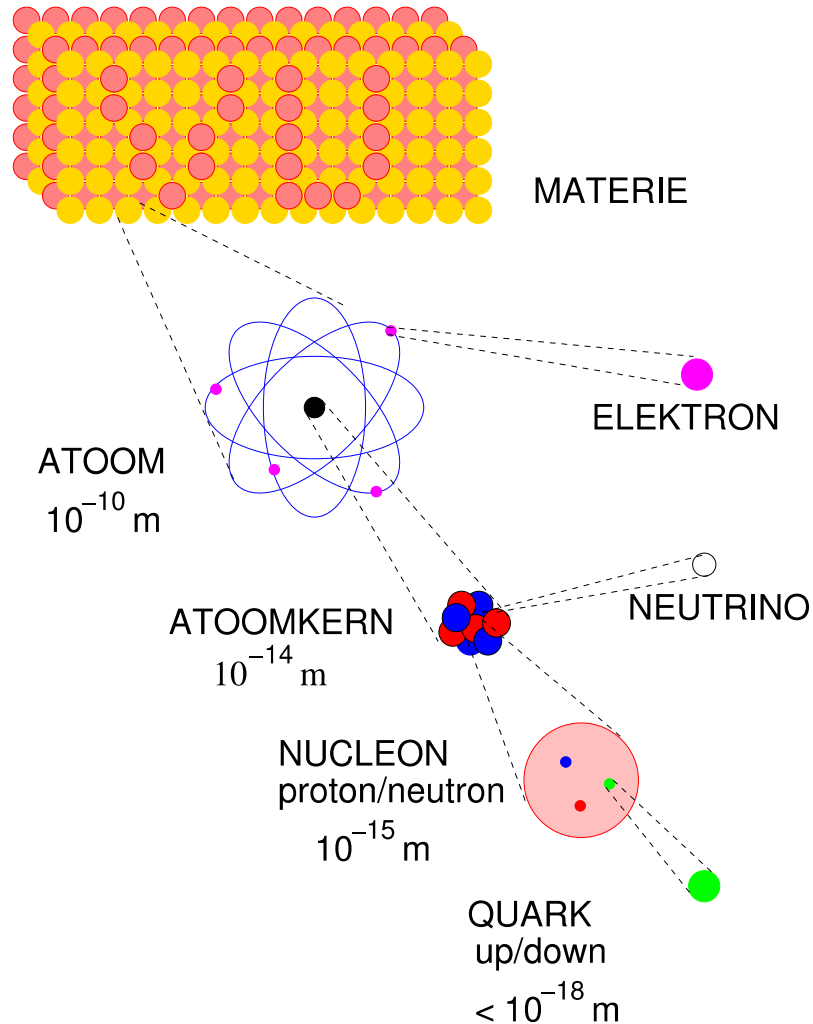
$$h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

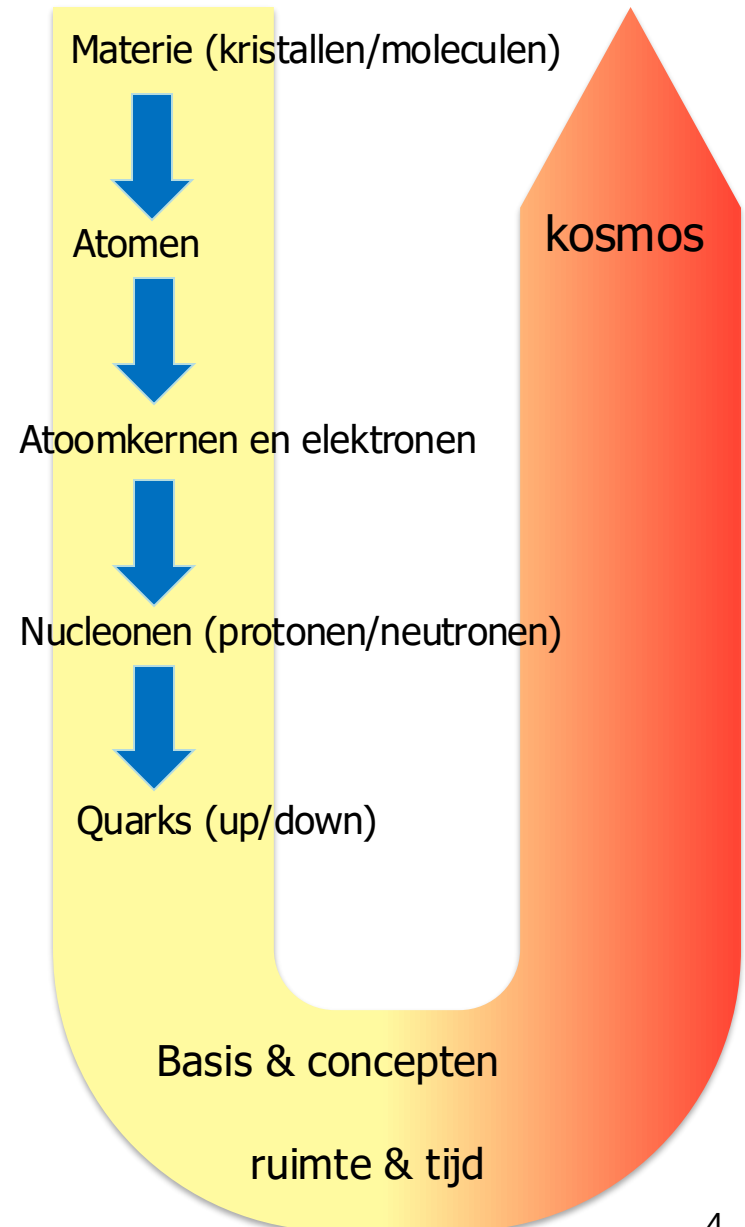


INLEIDING

■ Plan van aanpak



■ Materie & krachten, theoretische basis & concepten



Inleiding

Kwantum en relativiteit als norm

■ Physica betekent waarnemen

- Licht (**golflengte** λ & **frequentie** f)
- Maar ook deeltjes (**energie** E en **impuls** p)
- Licht is deeltje (foton) met $E = pc$

$$f = c/\lambda$$

$$E = hf \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

■ Samenhang via natuurconstanten

- **lichtsnelheid** c
- **constante van Plank** h

$$h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

■ Golven of golffuncties

- $1 \rightarrow e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$
- Fase φ
- Trillingstijd of golflengte



$$\text{tijd : } \varphi = 2\pi \frac{t}{T} = 2\pi f t = \omega t \quad \text{met } f = \frac{1}{T} \text{ en } \omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\text{plaats : } \varphi = 2\pi \frac{x}{\lambda} = k x \quad \text{met } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

$$E = \hbar \omega$$

$$p = \hbar k$$

■ Getallen (en eenheden)

$\mathbb{N}$ (natuurlijke getallen)	1, 2, 3, ...	optellen/vermenigvuldigen
$\mathbb{Z}$ (gehele getallen)	..., -2, -1, 0, 1, 2, ...	afrekken
$\mathbb{Q}$ (rationale getallen)	voorbeelden: $1/2$ of $\frac{1}{2}$, $2/3$, $-5/4$	delen
$\mathbb{R}$ (reële getallen)	voorbeeld $\pi = 3,141\,592\dots$	

■ Operaties:

- Machtverheffen, bijvoorbeeld $2 \times 2 = 2^2 = 4$ of $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$
- Wortel nemen, bijvoorbeeld $\sqrt{4} = 2$ of $4^{1/2} = 2$ of $\sqrt{2} = 1,414\dots$

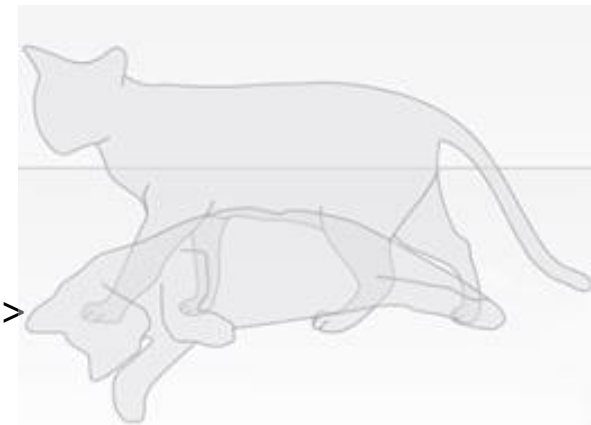
■ Volgorde:

- MVDWOA (maar dit dateert van voor 'rekenapparaten', haakjes gaan altijd voor!)
- commutator: $[a,b] = ab - ba$ bijv: rotaties
- associator: $[a,b,c] = (ab)c - a(bc)$

■ Combineren: $1 + 1 = 2$, 1 appel + 2 appels = 3 appels

maar ook: 1 peer + 1 banaan = 'mijn fruithap'

of Schrödinger's quantum kat: $|\text{kat}\rangle = |\text{kat levend}\rangle + |\text{kat dood}\rangle$
 $|\text{elektron}\rangle = |e \uparrow\rangle + |e \downarrow\rangle$



Quiz

1 miljard = 1 000 000 000 = 10^9

1 duizendste = 0.001 = 10^{-3}

■ Hoeveel seconden heeft 1 jaar?

■ 3×10^7 s

■ Wat is de snelheid van het licht?

■ $300\,000\text{ km/s} = 3 \times 10^8\text{ m/s}$
(dus 1 lichtjaar $\sim 10^{16}$ m)

■ Hoe groot is het heelal?

■ 15 miljard lichtjaar $\sim 1,5 \times 10^{26}$ m



Quiz

1 miljard = 1 000 000 000 = 10^9

1 duizendste = 0.001 = 10^{-3}

■ Hoeveel moleculen H_2O zitten er in een borrel?

■ $N_{\text{avogadro}} \sim 6 \times 10^{23}$

■ Hoe leeg is het heelal?

■ minder dan 1 atoom/ m^3
(in schijf van melkweg $5/cm^3$)

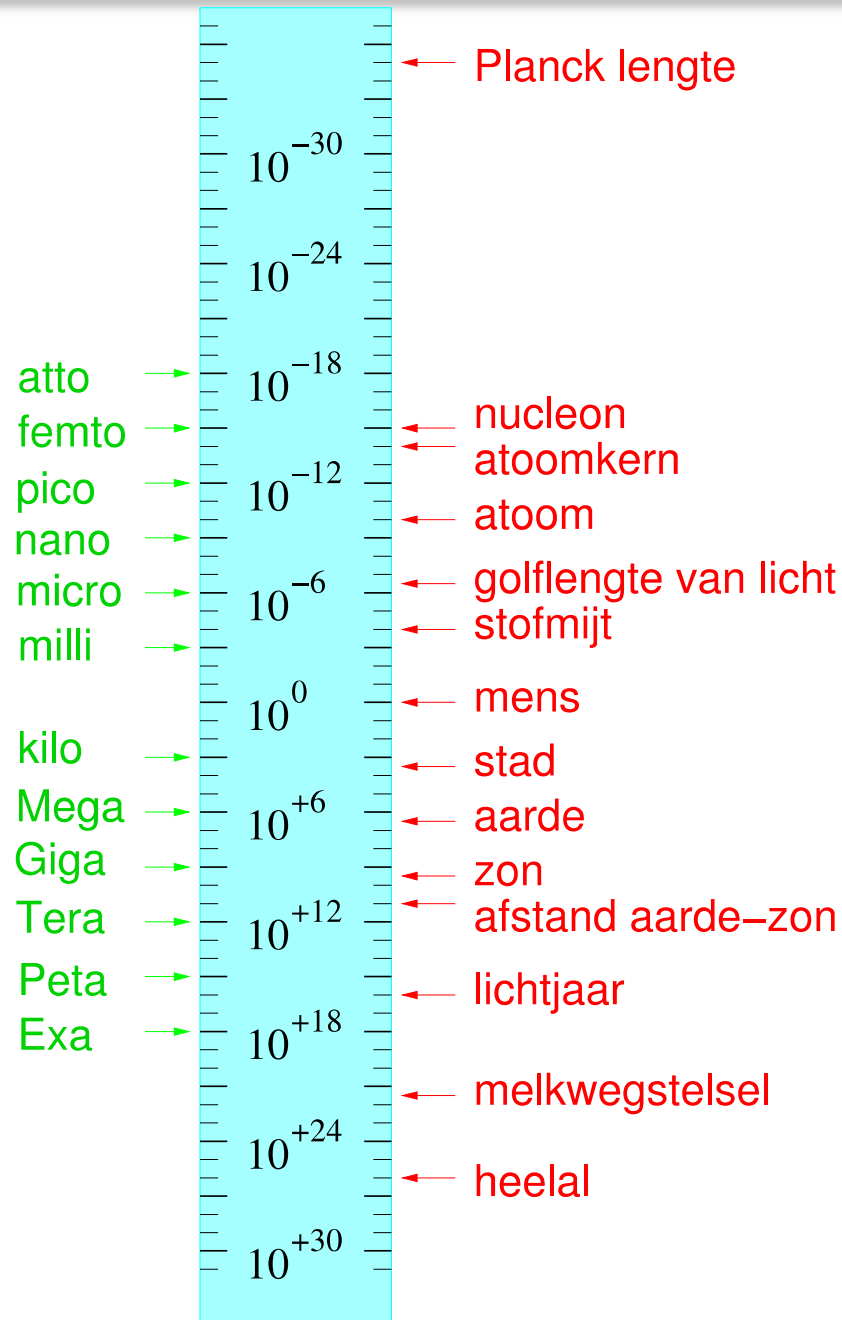
■ Hoeveel atomen bevat het heelal?

■ ca 10^{79} atomen



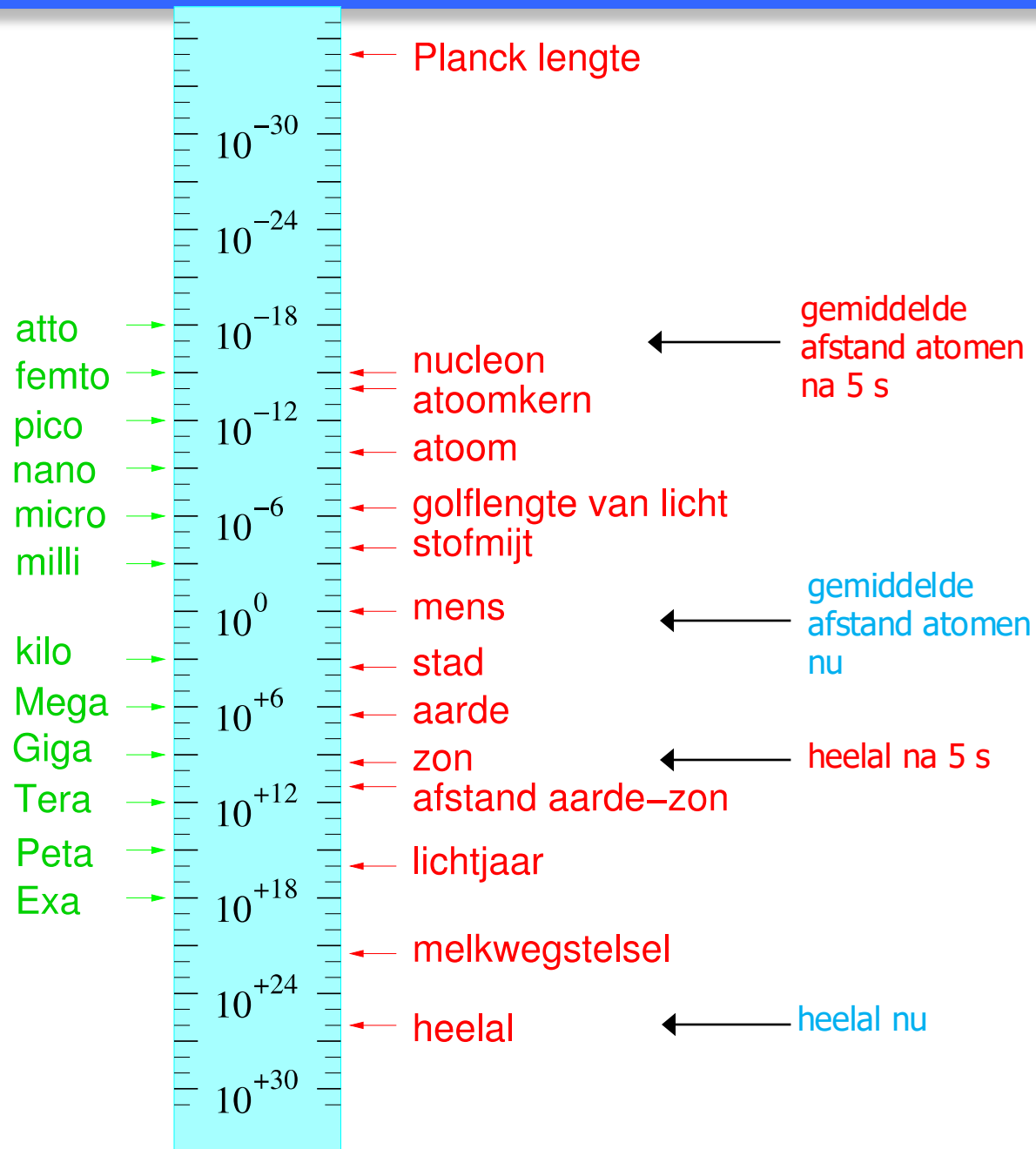
Afmetingen

NU



afmetingen

5 seconden
na de Big Bang

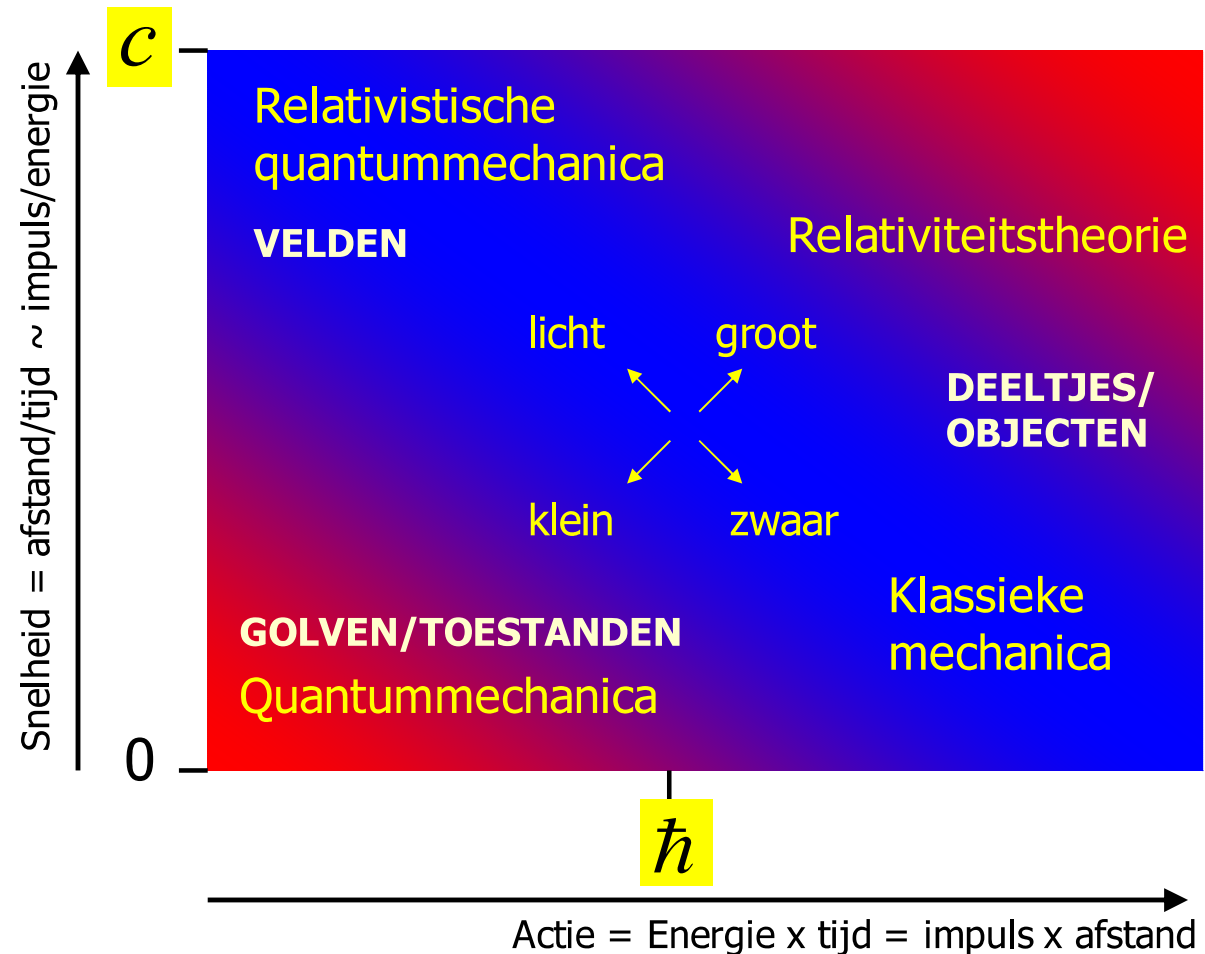


Schaal en afmetingen

■ Natuurconstanten h en c

$$h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$



■ h en c worden tegenwoordig gebruikt om eenheden vast te leggen

■ seconde $\rightarrow$ meter (via c): $[c] = \text{m/s} \rightarrow \text{lengte} = c \times \text{tijd}$ (bv. 1 lichtjaar)

■ seconde $\rightarrow$ kg (via h): $[h] = \text{kg m}^2/\text{s}$

Vragen