

## Totaal aantal ooit uitgezonden fotonen in het heelal

Uitgangspunt: De zon is een gemiddelde ster.  
Dit is conform astronomische waarnemingen.

veronderstelde gemiddelde

$$\text{fotongolflengte: } \lambda_F \approx 500 \quad \text{nm} = 500 \times 10^{-9} \quad \text{m}$$

*zonnestralingsintensiteit op aarde*

$$= \text{zonneconstante: } I_{ZA} = 1367 \quad \text{W/m}^2 \quad (\text{buiten de atmosfeer})$$

$$\text{afstand zon-aarde: } r_{ZA} = 149.6 \times 10^9 \quad \text{m}$$

$$\text{zonsmassa: } m_Z = 1.989 \times 10^{30} \quad \text{kg}$$

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

$$\text{constante van Planck: } h = 6.626 \times 10^{-34} \quad \text{J}\cdot\text{s}$$

$$\text{ouderdom heelal: } t_{BB} \approx 13.8 \quad \text{Ga} = 4.355 \times 10^{17} \quad \text{s}$$

$$\text{huidige grootte heelal: } r_U \approx 46.5 \quad \text{Gly} \quad (\text{diam.} \approx 93 \text{ mld. lichtjaar})$$

$$\text{sterren in heelal: } N_{ZU} \approx 10^{22} \quad (10^{11} \text{ gal.} \times 10^{11} \text{ sterren/gal.})$$

$$\text{volume heelal: } V_U \approx \frac{4}{3} \pi r_U^3 \approx 3.57 \times 10^{80} \quad \text{m}^3$$

$$\text{zonsvermogen: } P_Z = I_{ZA} \times 4\pi r_{AZ}^2 = 3.845 \times 10^{26} \quad \text{W}$$

$$\text{energie per foton: } E_F = h \cdot c \div \lambda_F = 3.973 \times 10^{-19} \quad \text{J}$$

$$\text{zonsfotonproductie: } \varphi_Z = P_Z \div E_F = 9.677 \times 10^{44} \quad /\text{s}$$

$$\text{fotonprod. universum: } \varphi_U = N_{ZU} \times \varphi_Z \approx 10^{67} \quad /\text{s}$$

**totaal aantal ooit door sterren**

$$\text{uitgezonden fotonen: } N_{FU} = \varphi_U \times t_{BB} \approx 4.4 \times 10^{84}$$

Als we mogen veronderstellen dat verreweg de meeste hiervan nog steeds geen doel hebben getroffen is dat dus gewoon het *aantal fotonen die momenteel door het heelal vliegen*:

$$\text{fotondichtheid: } \rho_F = N_{FU} / V_U \approx 12\,338 \quad /\text{m}^3$$

$$\text{fotonenergie in univ.: } E_{FU} = N_{FU} \times E_F \approx 1.75 \times 10^{66} \quad \text{J}$$

$$\text{fotonenergiedichtheid: } = E_{FU} / V_U \approx 4.90 \times 10^{-15} \quad \text{J/m}^3 \text{ (Pa)}$$

$$\text{overeenk. fotonmassa: } m_{FU} = E_{FU} \div c^2 \approx 1.95 \times 10^{49} \quad \text{kg}$$

$$\text{bijbehorende dichtheid: } \rho_{FU} = m_{FU} / V_U \approx 5.46 \times 10^{-32} \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{massa sterren in univ.: } m_{ZU} = N_{ZU} \times m_Z \approx 2 \times 10^{52} \quad \text{kg}$$

$$\text{fotonfractie: } m_{FU} : m_{ZU} \approx 1 : 1\,000 = 1 \text{ ‰}$$

$m_{ZU}$  is gebaseerd op  $N_{ZU}$ , het aantal sterren (zonnen) in het universum. Er is echter ook heel veel interstellair (intragalactisch) en intergalactisch gas en stof. Daardoor is de massa in het universum 10 keer zo groot. En dat betreft dan slechts de zichtbare materie die slechts 4% van het heelal uitmaakt. De z.g. *donkere materie* (22%) en *donkere energie* (74%) laat ik hier buiten beschouwing. Derhalve:

*totale hoeveelheid gewone*

$$\text{materie in het universum: } m_{MU} \approx 2 \times 10^{53} \quad \text{kg} \quad (\text{200 octiljard kilogram})$$

$$\text{fotonfractie: } m_{FU} : m_{MU} \approx 1 : 10\,000 = 1 \text{ ‰}$$

## Totaal aantal ooit uitgezonden fotonen in het heelal

Op [https://nl.wikipedia.org/wiki/Lux\\_\(eenheid\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lux_(eenheid)) staat:

- Nieuwe maan zonder wolken: 0.001 lux (1 mlx);
- Zonlicht: 100 000 - 130 000 lux (100 - 130 klx),

en op <https://en.wikipedia.org/wiki/Lux> vinden we:

- Moonless, overcast night sky (starlight): 0.0001 lux;
- Direct sunlight: 100 000 lux.

Voor sterrenlicht neem ik het meetkundig gemiddelde (wortel uit product) van deze waardes: 0.0003 lx

Op websites over zonnepanelen kun je vinden:

totale invallende zonnestringsenergieflux: ca. 1000 W/m<sup>2</sup>

en dat is dus pakweg: 100 000 lx

Derhalve komt 100 lux overeen met 1 W/m<sup>2</sup>, dus: 1 lx  $\hat{=}$  0.01 W/m<sup>2</sup>

Sterrenlicht geeft dus een instraling van: 3  $\mu$ W/m<sup>2</sup>

En met de energie per foton:  $E_f = 3.973 \times 10^{-19}$  J

betekent dit een sterrenlichtfotonenflux van:  $7.6 \times 10^{12}$  fot/s/m<sup>2</sup>

Dat delen we door de lichtsnelheid en we vinden: 25 187 fot/m<sup>3</sup>

Dat is intragalactisch (binnen de melkweg).

Voor intergalactisch (tussen de sterrenstelsels) was het: 12 338 fot/m<sup>3</sup>.

Dat is daar dus pakweg de helft van. Mooi. Dan zouden mijn berekeningen dus wel eens kunnen kloppen...

Op <http://hypertextbook.com/facts/2004/HeatherFriedberg.shtml> staat het volgende over de kosmische microgolfachtergrondstraling (CMB, Cosmic Microwave Background, de nagalm van de oerknal):

- fotondichtheid:  $412^{\pm 1} / \text{cm}^3 = 412 \times 10^6 / \text{m}^3$ ,
- energiedichtheid:  $\rho = 0.261^{\pm 0.001} \text{ eV/cm}^3 = 4.182 \times 10^{-14} \text{ J/m}^3$   
 $\hat{=} \rho = 4.66 \times 10^{-31} \text{ kg/m}^3$ .

De oerknal zelf heeft dus grofweg 10 keer zoveel energie uitgestraald als alle sterren bij elkaar sindsdien. De fotondichtheid is veel groter dan wat ik hierboven heb berekend voor het sterrenlicht, maar de golflengte is in de orde van 1 mm, dus de energie per foton is veel minder. Verder heb ik deze roodverschuiving (golflengtevergroting) die de sterrenlichtfotonen hebben ondergaan als gevolg van de uitdijing van het heelal buiten beschouwing gelaten. Als een lichtgolf wordt uitgerekt is er, bij grotere golflengte, minder energie per foton. Dankzij de wet van behoud van energie moet dus het aantal fotonen toenemen. Bedenk dat een foton een energiepakketje is dat vooral relevant is bij overdracht (emissie en absorptie) van licht, niet zozeer bij transport.