



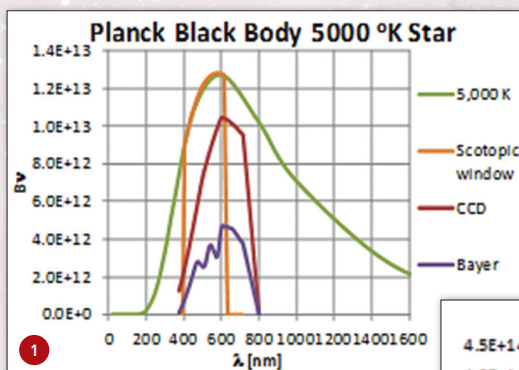
elukkig weten astronomen hoe sterren stralen en weten we dat het waterstofbommen zijn die (nog) niet exploderen omdat de materie bijeen gehouden wordt door de gravitatiekracht.

Het uitgezonden spectrum van een ster komt over het algemeen goed overeen met dat van een zogenaamde 'zwarte straler'. De energie van de uitge-

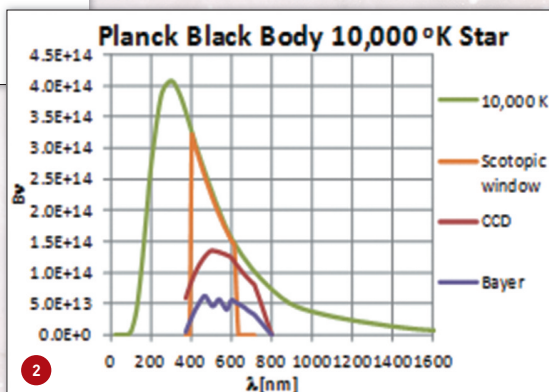
Hoeveel fotonen komen er op mijn CCD?

door Johan van Dorp

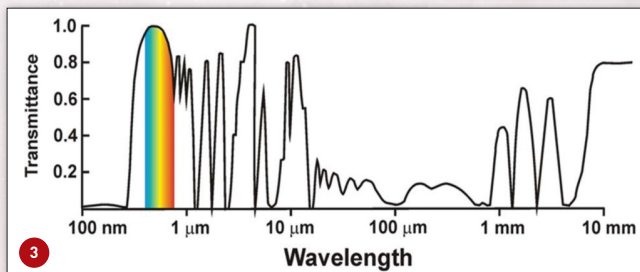
Dit artikel sluit aan bij Johans vorige artikel op pagina 39.



De groene curve in de grafieken in afbeelding 1 en 2 tonen energiespectra van sterren met een oppervlaktetemperatuur van 5000° K en van 10.000° K. In het sterspectrum is ook het ultraviolet en X-ray gebied (golflengte $\leftarrow 375$ nm) en het



straalde fotonen is voornamelijk afhankelijk van de oppervlaktetemperatuur van de ster (bij de Zon is deze temperatuur 5700° Kelvin).

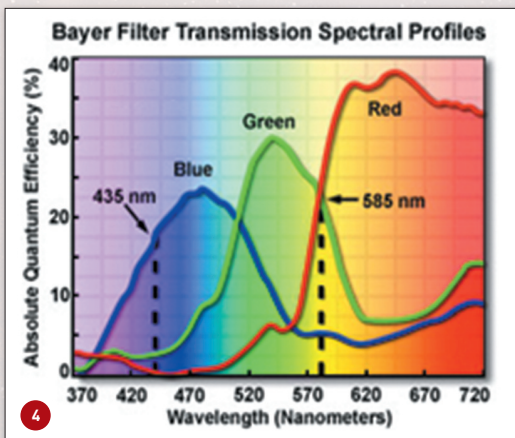


verre infrarood en radiostraling (golflengte $\rightarrow$ 1000 nm) sterk vertegenwoordigd. Een groot aantal van deze fotonen komt echter niet door de aardatmosfeer. Afbeelding 3 toont de

transmissie van de dampkring voor elektromagnetische straling (let op: logarithmische golflengteschaal).

De meeste sterren in ons en andere melkwegstelsel(s) hebben een oppervlakte temperatuur tussen de 5000°K en $10,000^{\circ}\text{K}$. We kunnen uitrekenen dat een ster van magnitude 5 met een temperatuur van 5000°K een flux van ongeveer 200.000 fotonen per cm^2 en per seconde levert op aarde (boven de dampkring). Bij een even heldere ster, maar met een oppervlakte temperatuur van $10.000^{\circ}\text{Kelvin}$, is dit 70.000 fotonen per cm^2 en per seconde. Voor elke 5 magnituden zwakker moet dit resultaat door honderd worden gedeeld. Een goede vuistregel is dat een gemiddelde ster van magnitude 5 een flux van ongeveer 100.000 fotonen per cm^2 per seconde levert.

Onze ogen zijn 's nachts gevoelig in een smalle band van het elektromagnetisch spectrum: de golflengte van deze scoptische band ligt tussen 40 nm en 625 nm (de gele curve in afbeelding 1 en 2). Als we een monochroom CCD gebruiken met een infrarood filter of een camera met een Bayer-matrix, wordt ook maar een beperkt deel van het spectrum geregistreerd.

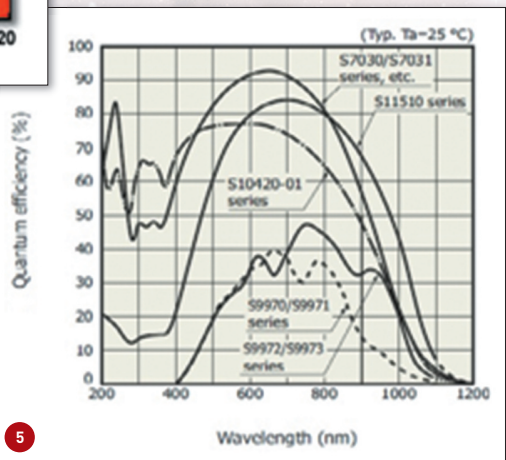


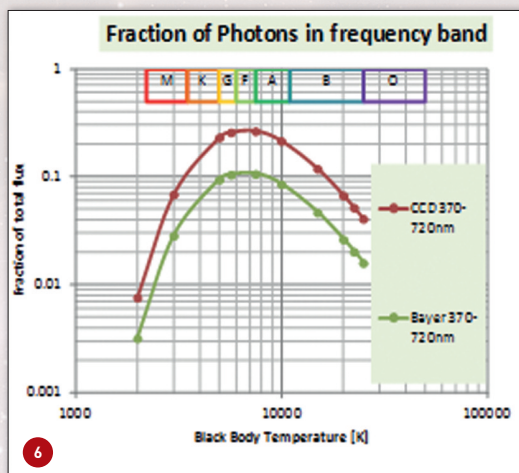
Nu is de Quantum Efficiency (QE) van een CCD- of CMOS-detector kleiner dan 100% en eventuele filters in de stralengang beperken de transmissie van fotonen.

Afbeeldingen 4 en 5 geven als voorbeeld curven voor een Bayer-filter en een monochroom CCD. De hoge QE van een back-illuminated monochrome sensor geldt slechts

in een smal golflengte-interval. Vaak plaatsen we nog een IR cut-off filter in de stralengang van de CCD om alles boven 900 nm of 1000 nm weg te filteren. IR licht wordt niet goed gefocuseerd door de optiek van de lens of teleskoop die is geoptimaliseerd voor zichtbaar licht.

We kunnen nu uitrekenen hoeveel van de invallende fotonen de





samen met de helderheid van de ster, hoeveel fotonen er binnenvallen. De transmissie en QE bepalen hoeveel van deze fotonen worden omgezet in foto-elektronen in de pixel(s) van de chip. De elektronen in de pixel worden uiteindelijk uitgelezen door de camera.



detector bereiken (de rode en paarse curve in afbeelding 1 en 2). We doen dit voor de gemiddelde ster met een oppervlaktetemperatuur tussen de 5000°K en 10.000°K . Afbeelding 6 laat zien dat voor een monochroom CCD/CMOS dit ongeveer 25% is en voor een camera met een Bayer-filter 10%. Met deze informatie kunnen we schatten welke sterren we nog kunnen detecteren met ons instrument. De oppervlakte van het objectief van de telescoop bepaalt,

Deze twee opnamen van NGC 891 door Albert van Duin tonen goed het belang van een donkere hemelachtergrond en de invloed op de signaal-ruisverhouding. De foto's zijn gemaakt met zijn 40 cm f/d 4,5 Newton en een gekoelde QSI583 camera op 'high gain' en een belichtingstijd van 10 min. De eerste opname is gemaakt in november 2013 vanuit Beilen (SQM 20,4) en de tweede in november 2017 vanuit het Duitse Berlage (SQM 21,4). De berekende S/N-ratio's voor de helderste delen en de lichtzwakke delen van NGC 891 zijn als volgt. Beilen: 121 en 5,7; Berlage: 129 en 9,3. Bijna een verdubbeling van de S/N-ratio voor de lichtzwakke delen die nét boven de hemelachtergrond uitkomen. Om deze in Beilen even goed te krijgen als in Berlage, zou 3x tot 4x langer moeten worden belicht. **AB**