Waarom ruimteschepen met moeite afkoelen

De ruimte is ijskoud, dus waarom koelen ruimteschepen maar met moeite af? En waarom is het überhaupt belangrijk dat ruimteschepen hun temperatuur reguleren? Een kijkje in warmteregulering in de ruimte.

Hoe koud is de ruimte?

De gemiddelde achtergrondtemperatuur van de ruimte is ongeveer 2,7 graden boven het absolute nulpunt, oftewel –270,4 °C. Die temperatuur is afkomstig van de kosmische achtergrondstraling, de oudste straling die we kunnen meten in het heelal. Alles met een temperatuur boven het absolute nulpunt zendt straling uit; hoe warmer iets is, hoe meer straling het uitzendt én hoe korter de golflengtes van deze straling zijn. De microgolven in de achtergrondstraling komen met bijna precies dezelfde intensiteit uit alle richtingen in het heelal, en het spectrum van deze straling komt overeen met dat van een zwarte straler van 2,7 Kelvin.

De ruimte kent natuurlijk ook heel veel andere bronnen van straling. Binnen het zonnestelsel domineert de straling afkomstig van de zon. Ruimteschepen, planeten zonder beschermende atmosfeer en andere ruimtestenen ervaren hierdoor extreme verschillen in temperatuur aan hun zon- en schaduwzijde. Mercurius ervaart bijvoorbeeld dagtemperaturen tot 430 °C, terwijl de nachtzijde kan afkoelen tot –180 °C, en temperaturen op de maan schommelen tussen 121 °C en –133 °C.

Video 1. De zon is de grootste stralingsbron in het zonnestelsel.De video toont het Solar Orbiter ruimteschip in zijn baan om de zon. Bron: ESA/MediaLab.

De temperatuurverschillen in de ruimte zijn niet alleen groot, ze kunnen ook heel abrupt zijn. Denk bijvoorbeeld aan een ruimteschip dat om een planeet heen draait. Wanneer het ruimteschip uit de schaduw van de planeet beweegt, ontvangt het opeens een volle lading

zonnestraling. Onderdelen van het ruimtevaartuig kunnen door deze snelle temperatuurstijging uitzetten, barsten, verdraaien of loskomen. Daarbij komt kijken dat elektronische en mechanische systemen alleen functioneren bij bepaalde temperaturen. Het selecteren van de juiste materialen en een goed structureel ontwerp zijn dus essentieel.

De rare werking van warmte in de ruimte

Dat de temperatuurverschillen in de ruimte zo extreem kunnen zijn, komt doordat warmte in de ruimte zich niet kan verplaatsen zoals we op aarde gewend zijn. Neem bijvoorbeeld een hete kop thee. Naast het uitzenden van warmtestraling heeft de kop thee op aarde maar liefst drie andere manieren om af te koelen: warmtegeleiding, verdamping, en convectie.

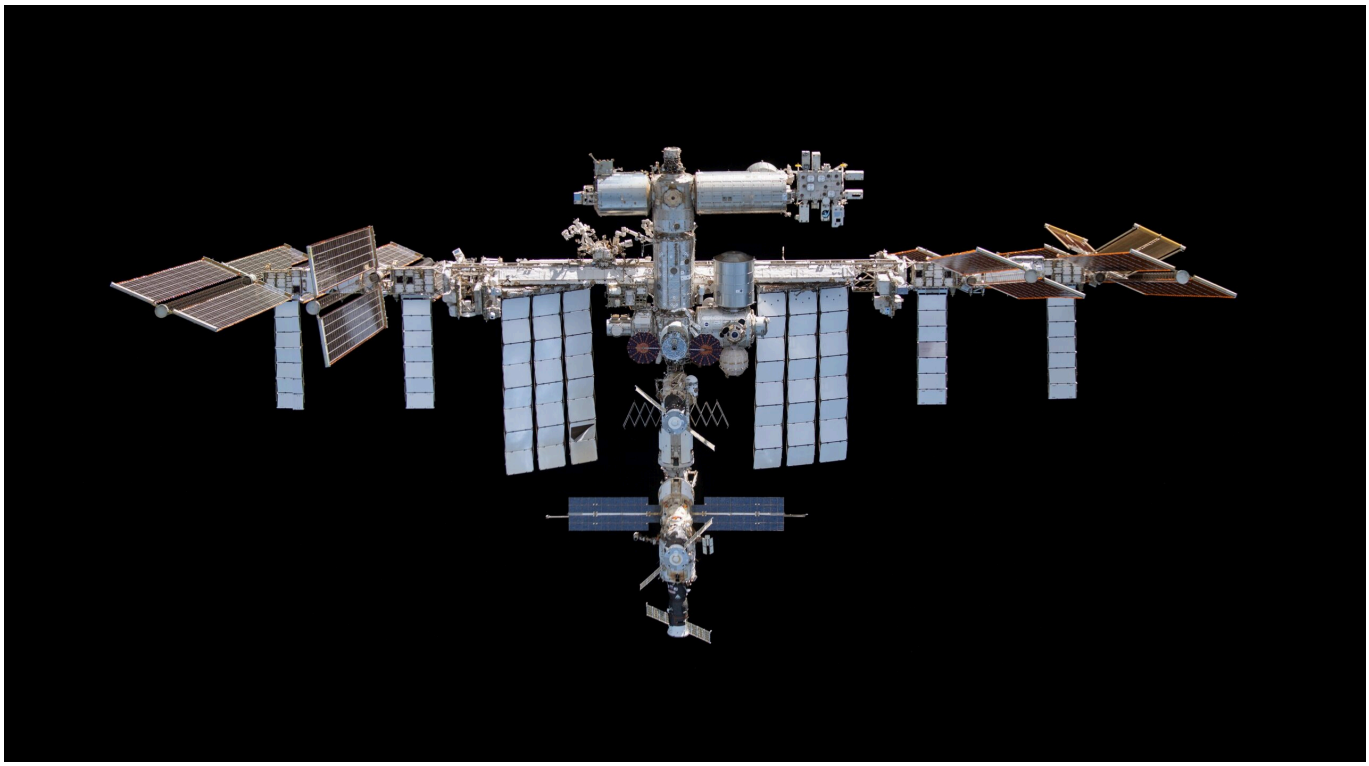
Warmte verplaatst zich het snelst via warmtegeleiding: de overdracht van hitte via direct contact tussen twee materialen. Zo warmt het hete theewater de mok op, maar ook het oppervlak waar de mok op staat en de moleculen in de lucht eromheen. Het theewater kan ook verdampen, waarbij de snelste (en dus warmste) watermoleculen als gas van het wateroppervlak loskomen en zo warmte met zich meenemen. Dankzij convectie stijgen warme vloeistoffen en gassen, zodat er water- en luchtstromen ontstaan. Dit zorgt ervoor dat het heetste theewater dicht bij het oppervlak blijft, waar het makkelijk kan verdampen, en dat deze damp omhoogvliegt waardoor nieuwe damp makkelijker ontstaat.

De situatie is heel anders voor een ruimteschip in de ruimte. Ten eerste is de ruimte heel erg leeg. In dit vacuüm heeft het schip geen omliggend gas of andere materie om warmte aan over te dragen, dus warmtegeleiding werkt niet. En zelfs al bevat het ruimteschip een vloeistof: zonder zwaartekracht is er geen reden voor convectie, want welke richting moeten warmere (en daardoor lichtere) vloeistoffen op bewegen? Verdamping werkt nog wel, en zonder omliggende luchtdruk gaat dat zelfs makkelijker dan op het aardoppervlak. Een kop thee zou in de ruimte razendsnel verdampen, maar een ruimteschip – gemaakt van vaste stoffen – kan niet zomaar verdampen.

Verkoelende radiatoren en elektrische verwarming

Een ruimteschip als geheel kan eigenlijk alléén afkoelen door infrarode warmtestraling uit te zenden. Vrijwel alle ruimteschepen zijn daarom voorzien van radiatoren. Dit zijn platen met een groot oppervlak om zo efficiënt mogelijk warmtestraling uit te zenden. Deze kunnen

werken met een warmtepomp, of geheel passief. Een deel van hun efficiëntie komt door het slim plaatsen van de radiatoren. Het Mars Express ruimteschip, dat onderzoek doet naar de Rode Planeet, heeft bijvoorbeeld radiatoren die altijd aan de schaduwzijde van het schip zitten.



Afbeelding 2. De ISS heeft grote witte radiatorpanelen. Credit: NASA.

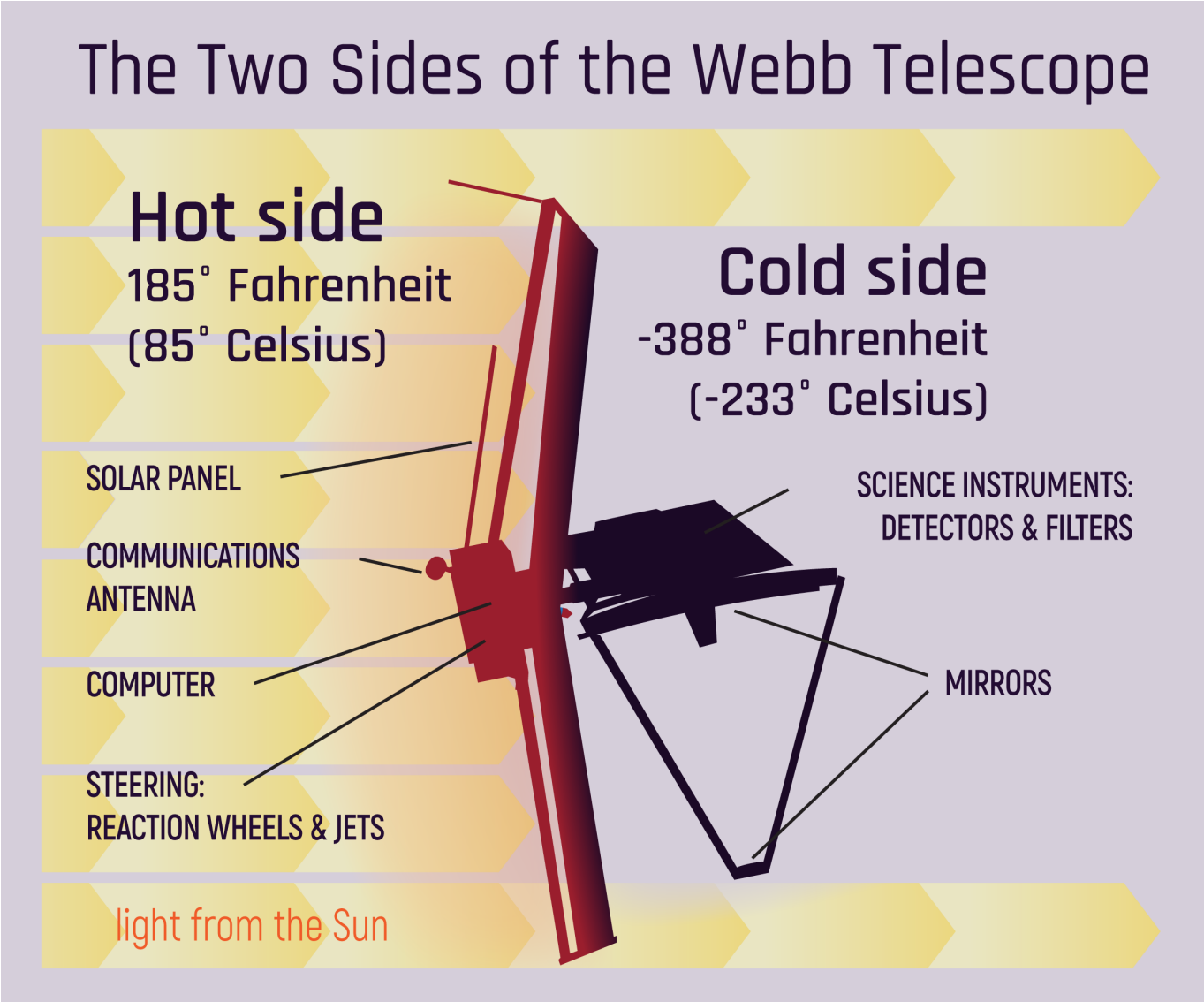
Het actief opwarmen van een ruimteschip gaat daarentegen wél gemakkelijk. Ruimteschepen hebben namelijk zonnepanelen en batterijen aan boord, zodat ze altijd voorzien zijn van elektriciteit. Met elektrische weerstand is het makkelijk om warmte te creëren, net als een elektrische kookplaat dat doet. Niet alleen elektrische verwarmingscomponenten warmen zo op, maar eigenlijk alle componenten die stroom gebruiken. Het aanzetten van de radiozender van Mars Express om te communiceren met de aarde warmt de zijkant van het ruimteschip bijvoorbeeld op van –12 naar +16 °C. De warmte afkomstig van elektrische componenten moet efficiënt worden weggeleid om oververhitting te voorkomen.

Welke temperatuur is ideaal?

Alle ruimteschepen zijn ontworpen met slimme manieren om hun temperatuur te reguleren. Maar welke temperatuur ideaal is, hangt af van het doel waarmee het schip gebouwd is. Bemande ruimteschepen worden van binnen natuurlijk op een draaglijke temperatuur

gehouden, meestal niet te ver van kamertemperatuur. In de ISS is het bijvoorbeeld 18–27 °C. Voor onbemande ruimteschepen hoeft dit niet, maar ingenieurs zijn van oudsher gewend om systemen te bouwen die werken bij ‘redelijke’ temperaturen die we ook op aarde kennen. Vrijwel ieder ruimteschip dat ooit is gebouwd, is gewikkeld in een speciaal zilver- of goudkleurig isolatiefolie om de interne temperatuur stabiel te houden, meestal binnen 50 graden van het vriespunt.

Het kan ook extremer. Een boegbeeld hiervan is de James Webb ruimtetelescoop. Deze telescoop heeft een gigantisch zonnescherm, zo groot als een tennisbaan, om straling van de zon en de aarde weg te houden van zijn gevoelige infrarood-detectoren. Het ruimteschip heeft daardoor een warme, zonovergoten zijde van 85 °C, en een koude schaduwzijde van –233 °C. De zonzijde bevat natuurlijk de zonnepanelen, maar ook de computer, communicatiesystemen en het stuursysteem. Zo kunnen de detectoren aan de schaduwzijde zo koud mogelijk blijven. En als kers op de taart: de koudste detector, MIRI, wordt extra gekoeld tot zo’n –266 °C, door een speciale helium-warmtepomp die warmte verplaatst naar de zonzijde.



Afbeelding 3. De twee zijdes van de James Webb ruimtetelescoop. Credit: NASA, ESA, CSA, STScI.