**Afkoelen metalen bollen**

[onderwerpsymbool ME]

[B]

Tijd

20-30 minuten

Bereik

Bovenbouw

[inleidend kader]

Om leerlingen het proces van afkoelen van vaste voorwerpen te laten ervaren kijken we naar het afkoelen van ijzeren bollen met verschillende diameter met behulp van een FLIR camera (C5). Duidelijk is te zien dat de kleinste bol sneller afkoelt dan de grotere bollen. Een experiment dat ook in de 18e eeuw is gedaan door George-Louis Leclerc om de leeftijd van de aarde te bepalen.

[eind kader]

[NV03\_figuur1]

*Figuur 1. De opstelling met een plastic reageerbuisrek om de ballen op te leggen.*

[NV03\_figuur2]

*Figuur 2. Screenschot van de meting van de FLIR C5. Het temperatuurbereik is handmatig ingesteld.*

[NV03\_figuur3]

*Figuur 3. De beste resultaten krijg je als de bollen dicht bij de camera liggen.*

**Nodig**

Opstelling met statief en klem of een fototoestel statief; ir-camera; niet-geleidende constructie om de metalen bollen op te leggen (plastic reageerbuisrek); aantal metalen bollen (van hetzelfde materiaal) die in diameter van elkaar verschillen; waterkoker; pollepel en theedoek.

Deze beschrijving maakt gebruik van Coach 7 als meetprogramma. Het benodigde Coach 7 bestand staat op de website.

**Voorbereiding**

Maak een meetopstelling zoals in figuur 1 en 3. Stel de ir-camera in op zowel de juiste ir-afstand als visuele afstand. Stel een meting met een meetspot in of desgewenst een meting met een ‘heetste spot rechthoek’ (sleep deze op het touchscreen naar de gewenste grootte). Stel de emissiviteit in op rond 0,95 (voor ijzer), zoek de waarde van deze emissiviteit op voor andere metalen als er bollen van andere materialen worden gebruikt.

Bij gebruik van Coach 7 stel je ‘meten met een gesynchroniseerde weergave’ in. Je kunt de opstelling ook filmen met iedere willekeurige camera-app op je device, kies dan de FLIR C5 als camera.

**Uitvoering**

1. Toon de bollen aan de leerlingen en geef ze de diameters van de bollen. Laat ze de massa uitrekenen met de dichtheid van het materiaal.
2. Laat de leerlingen uitrekenen hoeveel thermische energie een bol bezit als deze opwarmt van kamertemperatuur naar een bepaalde temperatuur (bijvoorbeeld 60°C). Ze zoeken de soortelijke warmte van het materiaal op in Binas.
3. *Is de temperatuur van bollen bij de start van de proef gelijk of verschillend?*
4. *Wat verwacht je dat er gaat gebeuren?*
5. De grootste bol zal het snelste afkoelen.
6. De kleinste bol zal het snelste afkoelen.
7. Afkoelen gaat bij beide bollen even snel.

Laat ze bij voorkeur hun keuze opschrijven en er een uitleg bij bedenken.

1. Kook wat water in de waterkoker, houd het deksel van de waterkoker open en plaats de bollen in een pollepel in de waterkoker. Wacht even tot de metalen bollen opgewarmd zijn. Neem de pollepel uit de waterkoker en leg ze op een theedoek, de bollen maak je hier snel droog. Leg de bollen daarna op de gewenste plek in je meetconstructie.
2. Voer de meting uit. Plaats de bollen na opwarmen in de kokend water snel in de opstelling. Start de meting met de FLIR IR camera.
3. Bespreek de resultaten. *Welke uitleg past daar het best bij?*
4. Eventueel: Vertel over George-Louis Leclerc en zijn bepaling van de leeftijd van de aarde (zie website).
5. Controlevraag: *Kun je met deze methode de leeftijd van de aarde bepalen?*

**Natuurkundige achtergrond**

Een kleinere bol heeft een relatief groter oppervlak waardoor de bol energie aan de omgeving kan afstaan (*A*/*V* = 3/*r* voor een bol). Een kleinere straal zal een sneller energieverlies aan de omgeving tot gevolg hebben. Uitgebreidere uitleg: zie website.

In dit experiment kijken we naar de warmte-uitwisseling door metalen (ijzeren) bollen. Zij verschillen alleen in diameter van elkaar.

Objecten bevatten thermische energie. Als een object een hogere temperatuur heeft dan de omgevingstemperatuur bezit het meer thermische energie. Als het object daarna afkoelt dan zal het deze thermische energie verliezen door, in dit geval, IR-straling.

De bollen geven energie af aan de omgeving volgens:

.

De bollen bezitten een energie: *Q = m·c·*Δ*Τ -> dQ/dt = m·c·*Δ*Τ/dt*

Dan is de energiebalans voor een afkoelende bol:

Dit geeft na integreren:

De term in de exponent bepaalt het tempo van afkoelen. Dus als we de bollen willen vergelijken moeten we deze term voor de bollen met elkaar vergelijken. Geef een grote bol een straal R en een kleine bol een straal r.

Kleine bol:

Voor de grote bol vinden we:

De verhouding van het energieverlies wordt dan: klein/groot =

R/r is groter dan 1 dus het energieverlies van de kleine bol gaat sneller.

**Tips**

* Projecteer de meting via de computer op een scherm of digibord. Zorg dat de temperatuur goed te volgen is. Door bijvoorbeeld een temperatuurspot van de camera op een bol te richten. De FLIR C5 camera is ook in een handmatig temperatuurbereik in te stellen, zodat de kamertemperatuur niet zichtbaar is (zie figuur 2).
* Plaats de bollen op een oppervlak van bijvoorbeeld repen chocolade, zodat na afloop de hoeveelheid thermische energie per bol zichtbaar is door de hoeveelheid chocolade die is gesmolten.
* Plaats de bollen in een oven om een hogere temperatuur te bereiken. Let dan extra op met het hanteren van de bollen.

**Verder onderzoek**

Gebruik een temperatuursensor die je vastmaakt aan de grote en een iets kleinere bol, doe de meting in Coach 7. Hoe zinnig is de meting zo? Hoe snel koelen beiden af?

Welke invloed heeft de temperatuursensor zelf? De sensor moet ook opwarmen, bij een te kleine bol zal dat veel thermische energie van de bol kosten en dus zal deze nog sneller afkoelen.