**Condensatiewarmte in infrarood**

[onderwerpsymbool ME]

[B]

Tijd

10 - 30 minuten

Bereik

Bovenbouw

[inleidend kader]

In deze demonstratie maak je op eenvoudige wijze een proces op nanoschaal zichtbaar. Water in een beker heeft zelfs na uren verblijf in kamertemperatuur een lagere temperatuur door het continue verdampen van het water. We volgen de temperatuur van een vel papier als verdampt water erop condenseert. Met de gemeten temperatuurstijging maken we een schatting van het aantal (lagen) watermoleculen dat voor deze stijging nodig is.

[eind kader]

[NV20\_figuur 1]

*Figuur 1. FLIR C5 camera aangesloten op een computer. Ingeklemd in een statiefklem, loodrecht op het schaaltje onder het papier.*

[NV20\_figuur 2]

*Figuur 2a. Het oppervlak van het papier waarop water is gecondenseerd is duidelijk zichtbaar. Op de rand van her papier zie je twee waterdruppels, waar het water verdampt en een lagere temperatuur veroorzaakt. Figuur 2b. Afkoelen van het papier na omdraaien.*

**Nodig**

Infraroodcamera (Flir C5); (rond) schaaltje (bijvoorbeeld een petrischaaltje); een paar vellen (print-)papier.

**Voorbereiding**

Plaats de infraroodcamera in een standaard zodat deze van boven op de opstelling gericht is. Plaats het schaaltje met water onder de camera. Zet de camera aan met streaming modus ingeschakeld en sluit hem aan op je computer. Open een camera app op de computer en laat deze het beeld van de infraroodcamera weergeven. Stel de afstand (op touchscreen) van de infraroodcamera op de juiste waarde in. Vul de emissiegraad van papier (+/- 0,70) in op de infraroodcamera.

**Uitvoering**

Leerlingen hebben al kennis van molecuultheorie en faseovergangen.

1. Zet de opstelling klaar en leg de leerlingen uit wat ze zien. Vertel dat je het vel papier op het schaaltje water gaat leggen. De infraroodcamera kan de temperatuur meten.
2. *Wat gebeurt er met de temperatuur van het papier boven het water?*
3. blijft gelijk;
4. wordt lager;
5. wordt hoger.
6. Voer de meting uit. Lees de temperatuur van het papier boven het water uit en ook van het papier dat over en naast het schaaltje valt. Gebruik de beweegbare temperatuurspot op het touchscreen om de temperatuur van deze delen van het papier te meten.
7. Nu vertel je dat je het papier van het schaaltje haalt en snel omdraait. Meet de temperatuur van het onderoppervlak van het papiertje.
8. *Wat gebeurt er met de temperatuur van het deel van het papier dat zich boven het schaaltje met water bevond?*
9. blijft gelijk;
10. wordt lager;
11. wordt hoger.
12. Vertel over het condenseren en verdampen van water en hoe daar energie voor nodig is respectievelijk bij vrijkomt.
13. Controlevraag: *Waarom blaas je over een bord met soep om het af te laten koelen?*
14. *Controlevraag: Een plas van regenwater verdampt ook als het buiten geen honderd graden Celsius. Wat kun je vertellen over de temperatuur van de plas met water vergeleken met de omgevingstemperatuur?*
15. Voer de berekening van het aantal lagen watermoleculen op het papier uit. Zie natuurkundige achtergrond.

**Natuurkundige achtergrond**

Deze demonstratie is uitvoerig beschreven door Xie & Hazzard (2011). Het stijgen van de temperatuur van het papier wordt veroorzaakt door de condensatie van waterdamp uit het schaaltje op de onderkant van het papier. Wanneer de watermoleculen in de damp condenseren, geven zij warmte af. De warmte geleidt door het dunne papier en zorgt voor een temperatuurstijging. De hoeveelheid watermoleculen die op het papier condenseert is zo klein dat je nauwelijks vocht voelt als je het papier aanraakt, maar het is genoeg om een temperatuurstijging te veroorzaken die door de ir-camera wordt gemeten.

Dit verwarmingsmechanisme kan worden bevestigd door het papier een minuut boven de beker te laten, totdat het een thermisch evenwicht met de omgeving heeft bereikt en het papier dan te verwijderen. Ir-beelden van het papier tonen aan dat de temperatuur van de oorspronkelijk verwarmde cirkelvormige zone onmiddellijk na de verwijdering daalt tot onder de omgevingstemperatuur. Dit kun verklaren doordat de watermoleculen die aan de onderkant van het papier gecondenseerd waren, beginnen te verdampen, wat resulteert in een snelle afkoeling van het papier.

De op het papier gecondenseerde watermoleculen zijn kennelijk niet in staat zijn om door het papier heen te dringen, anders zou je aan de andere zijde van het papier verdampingsafkoeling hebben waargenomen met de infraroodcamera.

*Hoe dik was de gecondenseerde waterlaag ongeveer?*

Voor onze proef met een schaaltje met een diameter van 10,5 cm hebben we het volgende gemeten en opgezocht:

Δ*Τ* ≈ 1,0 ºC, *ρ*papier = 80 g/m2, *c*papier = 1,4·103 J/kg·K, *L*water = 2,26·103 J/g, *M*water = 18 g/mol

De energie die op het papier wordt afgegeven is:

De massa van het water dat op het papier is gecondenseerd:

Bij kamertemperatuur heeft 1 g water een volume van 1 cm3. Voor het cirkelvormige deel van het papier betekent dit, dat een watervolume van 4,29·10-4 cm3 over een cilindervormig oppervlak van het papier wordt verdeeld.

De hoogte (*h*) van deze cilinder met water is dan:

De waterlaag aan de onderzijde van het papier is dus ongeveer 50 nm dik.

Het gemiddelde volume van een watermolecuul schatten we met de molaire massa die we schrijven als een soort “molaire dichtheid” (*MV*=18 cm3/mol) en het aantal moleculen in een mol (*N*A). Met dit volume berekenen we de één dimensionale afmeting van een watermolecuul:

Het aantal lagen (*n*) watermoleculen is dan uit te rekenen met:

Als je bedenkt dat niet alle warmte in één keer vrijkomt, is de snelheid van waterdampdepositie waarschijnlijk een paar nanometer per seconde. We bestuderen dus een proces op nanoschaal.

**Tips**

Plaats de opstelling goed zichtbaar op het bureau. 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 de te meten plek te richten.

Een waterdruppel op de rand van het papier zal ook goed te zien met een lagere temperatuur als gevolg van verdamping (zie figuur 2a).

Als je na een paar uur de opstelling opnieuw bekijkt heeft het papiertje juist een lagere temperatuur. Papier is poreus en de watermoleculen verdampen dan weer aan het oppervlak van het papiertje. Houd het papiertje ook eens verticaal boven het schaaltje.

**Literatuur**

Xie, C & Hazzard, E. (2011) *Infrared imaging for inquiry based learning*, The Physics teacher Vol. 49 September 2011

Xie, C (2012) [*http://molecularworkbench.blogspot.com/2012/10/think-molecularly-infrared-imaging.html*](http://molecularworkbench.blogspot.com/2012/10/think-molecularly-infrared-imaging.html)*,* 20-08-2012. Geraadpleegd januari 2023