



WB143 Is er een maximum temperatuur?

Opdracht gemaakt door Eric-Wubbo Lameijer

Studentenversie

Inleiding

De temperatuur van een stof heeft te maken met de snelheid van de deeltjes van die stof. Bij -273.15°C staan alle deeltjes stil, wetenschappers noemen dat dan ook het absolute nulpunt. Kouder kan het niet zijn. Bij kamertemperatuur zoeven de zuurstof- en stikstofmoleculen in de lucht met snelheden van honderden meters per seconde door de atmosfeer. En hoe heter het is, des te sneller de moleculen bewegen. Maar is er ook een maximale temperatuur?

Vroeger leerde je dat temperatuur wel een minimum heeft, maar geen maximum. Warmer kan altijd, omdat sneller bewegen ook altijd kan. Maar dat is eigenlijk helemaal niet zo. Sneller dan de lichtsnelheid kan niet. Niets kan sneller dan het licht. Nooit en te nimmer.

Toch is een beetje onduidelijk of er een maximum temperatuur is. Maar zeker is dat wanneer het warmer wordt dan 10^{32} graden er vreemde dingen gaan gebeuren. Zo vreemd dat warmer dan 10^{32} graden misschien helemaal niet kan. Maar dat is dan ook wel erg warm – een miljoen keer een miljoen keer een miljoen keer een miljoen keer een miljoen keer honderd graden

Leerdoelen:

1. Het verklaren dat temperatuur te maken heeft met de snelheid van de deeltjes in een stof
2. Het beredeneren van het verband tussen snelheid van deeltjes, temperatuur, en overgangen zoals het smelten, verdampen en ontleden van stoffen.

voor de hogere klassen

3. Het verklaren dat de temperatuur van een stof weliswaar te maken heeft met de snelheid van de deeltjes, maar eigenlijk wordt bepaald door de kinetische energie van de deeltjes.
4. Het kunnen beredeneren dat het bestaan van een maximumsnelheid, de lichtsnelheid, niet per definitie betekent dat er een maximum temperatuur is, wegens relativistische massa. begrijpen dat het bestaan van een maximumsnelheid, de lichtsnelheid, niet per definitie betekent dat er een maximum temperatuur is, wegens relativistische massa.

Opdrachten

De klas bekijkt het wisebits filmpje. De leraar bespreekt vervolgens met de klas de relatie tussen temperatuur en de snelheid van de deeltjes en het absolute nulpunt. Daarna richt hij de les op de vraag of er al dan niet een maximale temperatuur van deeltjes bestaan. Hierna werken de leerlingen de opdrachten uit.

1a. Als de atomen niet bewegen, hoe kan ijzer dan warmer worden? En als ze wel bewegen, waarom verdampt ijzer dan niet bij kamertemperatuur

Moleculen gaan sneller als hun temperatuur toeneemt. Een ijzeratoom zou bij kamertemperatuur waarschijnlijk nog steeds tientallen meters per seconde reizen. Toch zal een blok ijzer niet uit zichzelf door de klas stuiten, en ook niet verdampen. Het ijzer heeft wel een temperatuur, en kan warmer en kouder worden. Als de atomen niet bewegen, hoe kan ijzer dan warmer worden? En als ze wel bewegen, waarom verdampt ijzer dan niet bij kamertemperatuur?

1b. Ontleden en verhitting

Water kookt bij 100 graden Celsius. Rond de 1000 graden Celsius ontleedt het in waterstofatomen en zuurstofatomen. Als de temperatuur nog hoger wordt (bijvoorbeeld in de zon) komen ook de elektronen los van de atoomkernen, en krijg je een fase die 'plasma' genoemd wordt. Wat voor patroon zie je hierin? Zou je met meer verhitting ook een plasma nog kunnen omzetten in iets anders? En wat heeft dit te maken met wat er gebeurt als je je vinger brandt? Discussieer in een groepje.

Voor 5/6 VWO

2. Relativistische effecten, kinetische energie en temperatuur

Volgens Newton is de kinetische energie van een stof $0,5mv^2$.

De relativiteitstheorie van Einstein produceert echter een andere formule: $E_{\text{kinetisch}} = (\gamma - 1) \cdot mc^2$, waarbij $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ is, oftewel 1 gedeeld door de wortel van $1-(v^2/c^2)$. Dit lijkt weinig met Newton's formule te maken te hebben, totdat je hem met wiskundige trucs omschrijft in een oneindige reeks die luidt:

$E_{\text{kinetisch}}(\text{Einstein}) = 0,5mv^2 + \frac{3}{8}mv^4/c^2 + \frac{5}{16}mv^6/c^4 + \dots$ waarbij bij lage snelheden (v is veel kleiner dan de lichtsnelheid c) alle termen behalve de eerste verwaarloosbaar zijn.

Oude cyclotrons konden protonen versnellen tot ongeveer 15 MeV, het CERN kan tegenwoordig protonen een energie geven van 3,5 TeV.

2a. Voor het proton

Een proton weegt $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg, $1 \text{ eV} = 1,60 \cdot 10^{-19}$ J, de lichtsnelheid $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s.

Wat is de snelheid van een proton met een kinetische energie van 15 MeV? En een proton van 3,5 TeV? Wat zouden de snelheden van de twee protonen zijn als ze berekend zou worden volgens de formule van Newton?

2b. Voor het stikstofmolecule

Volgens Boltzmann is de kinetische energie van een in drie dimensies bewegend deeltje gelijk aan $1,5kT$ ($E_{\text{kinetisch}} = 1,5kT$), waarbij k de Boltzmann-constante is, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K. Stikstofmoleculen op kamertemperatuur ($T = 298$ K) gaan met snelheden van rond de 515 m/s, N_2 , heeft een massa van $28 \text{ amu} = 28 \times 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg, de kinetische energie van een stikstofmolecuul bij kamertemperatuur zou dus $0,5mv^2$ zijn, ofwel $0,5 \times (4,65 \cdot 10^{-26}) \times (515^2) = 6,16 \cdot 10^{-21}$ J, Boltzmann geeft $1,5kT$ ofwel $6,17 \cdot 10^{-21}$ J, wat goed klopt.

Wat zou volgens Boltzmann de temperatuur van een 15 MeV proton zijn? En van een 3.5 TeV proton?