

Practicum water verwarmen

- ◆ Schenk koud leidingwater in een bekerglas (voor 70% vullen).
- ◆ Verhit het water met een teclubrander.
- ◆ Houd de temperatuur van het water in de gaten met een thermometer.
- ◆ Noteer alle verschijnselen die je bij het verwarmingsproces waarneemt.
- ◆ Vul de onderstaande tabel in.

	Waargenomen Verschijnsel	Temperatuur	Verklaring voor het verschijnsel
1	Condensvorming (zeer kleine waterdruppeltjes) aan de buitenkant van het bekerglas.	Vanaf het begin tot 30 °C	Bij de verbranding van het aardgas ontstaat waterdamp. Deze condenseert bij het koude glas.
2	Luchtbelletjes aan de binnenwand van het bekerglas die langzaam aangroeien (en na enige tijd opstijgen).	23 °C en hoger	In warm water kan minder lucht opgelost zijn dan in koud water.
3	Beroering van het water (te vergelijken met de "trillingen" van de lucht boven een warm wegdek).	35 °C en hoger	Dichtheidsverschillen van het water.
4	Damp boven het wateroppervlak.	85 °C en hoger	Het water verdampt aan het oppervlak. In de lucht boven het wateroppervlak condenseert het water weer en ontstaan er zeer kleine (zwevende) waterdruppeltjes. Deze druppeltjes neem je waar.
5	Dampbellen op de bodem van het bekerglas die bij het opstijgen verdwijnen.	96 °C tot vlak onder de 100 °C	Water bij de bodem verdampt. Hierdoor ontstaan dampbellen. Hoger in het water is de temperatuur lager en condenseert de damp weer.
6	"Razen" of "zingen". Beter in een fluitketel te horen dan in een bekerglas.	96 °C tot vlak onder de 100 °C	Het dichtklappen (door condensatie) van de dampbellen tijdens het opstijgen.
7	Dampbellen in de gehele vloeistof	100 °C	De temperatuur in de vloeistof is overal gelijk aan het kookpunt. De damp in de bellen condenseert dan niet meer.
8	De temperatuur van het water stijgt niet verder.	100 °C	Alle warmte van de brander wordt besteed aan het laten verdampen van het water.

Practicum water verwarmen

- ◆ Schenk koud leidingwater in een bekeerglas (voor 70% vullen).
- ◆ Verhit het water met een teclubrande.
- ◆ Houd de temperatuur van het water in de gaten met een thermometer.
- ◆ Noteer alle verschijnselen die je bij het verwarmingsproces waarneemt.
- ◆ Vul de onderstaande tabel in.

Waargenomen Verschijnsel	Tempe- ratuur	Verklaring voor het verschijnsel

Naam: _____ Klas: _____

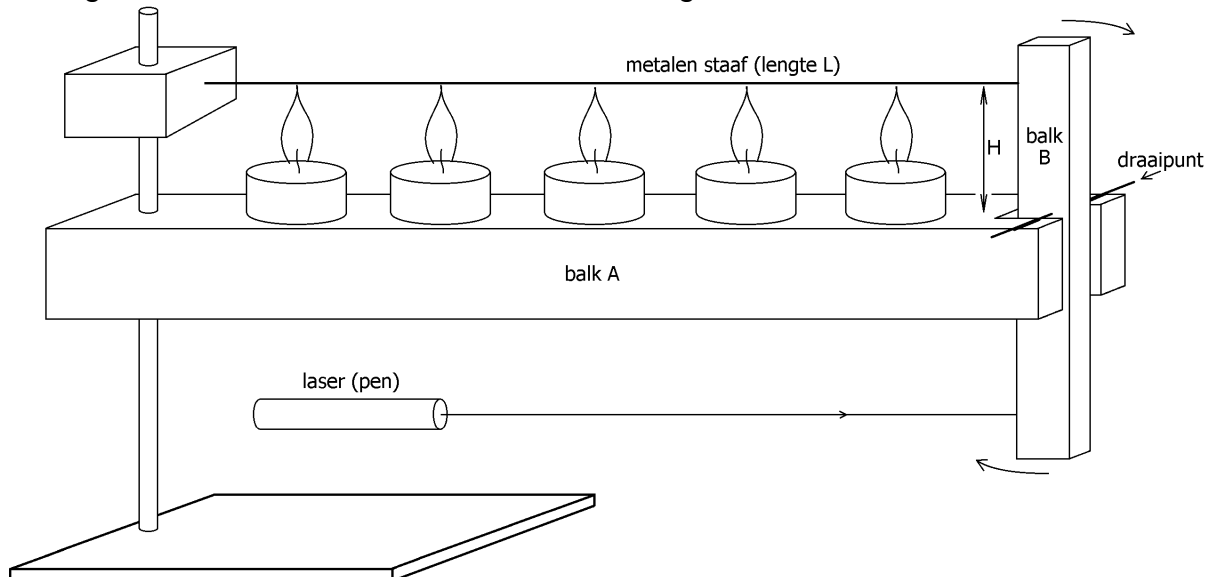
Practicum: Uitzetting van een ijzeren staaf

Doel

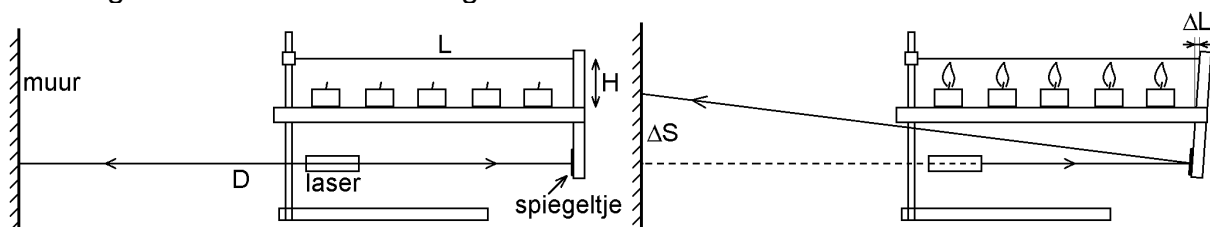
In dit practicum wordt onderzocht hoeveel een ijzeren staaf bij verhitting met een aantal kaarsjes langer wordt. Hierbij wordt een laserstraal gebruikt die terugkaatst tegen een spiegel waarvan de stand verandert ten gevolge van de uitzetting van de staaf. Tenslotte wordt berekend wat de temperatuur van de verhitte staaf is geweest.

Opstelling

In de onderstaande figuur staat de opstelling getekend. Een aantal waxinelichtjes bevindt zich op balk A. Als deze worden aangestoken, verhitten zij de staaf. Omdat de staaf daardoor langer wordt, duwt hij de bovenkant van balk B iets naar rechts. Balk B kan draaien rond een draaipunt. Door de lengtetoeename van de staaf ondergaat balk B dus een kleine hoekverdraaiing.



De hoekverdraaiing van balk B kan met behulp van laserlicht goed worden waargenomen. Daarom is op balk B een spiegel aangebracht. Een laserstraal wordt op het spiegel tje gericht en de teruggekaatste straal wordt opgevangen op een muur. Doordat balk B een klein beetje draait, beweegt de lichtvlek op de muur omhoog. Zie de onderstaande figuren.



De ijzeren staaf heeft lengte L . Door verhitting neemt deze lengte toe met ΔL . De afstand tussen de staaf en het scharnierpunt van balk B wordt met H aangegeven. De afstand tussen het spiegel tje op balk B en de muur is met D aangeduid. Tijdens het verhitten van de staaf verplaatst de lichtvlek op de muur zich over afstand ΔS omhoog.

De laatste figuren zijn niet op schaal getekend. Van de ijzeren staaf is de lengtetoeename ΔL in verhouding tot de lengte L veel te groot getekend. Bovendien moet, om het practicum zinvol te laten zijn, afstand D minstens 20 keer groter zijn als afstand H .

Metingen

Bouw de bovengetekende opstelling.

Schrijf hieronder de gemeten afstanden in het juiste aantal significante cijfers op.

Meet de afstand H (= afstand tussen staaf en scharnierpunt): _____.

Meet de afstand D (= afstand tussen spiegel en muur): _____.

Verhit de ijzeren staaf. Zorg er hierbij voor dat de ijzeren staaf zich IN de vlammetjes bevindt.

Meet de verschuiving ΔS (van de stip op de muur): _____.

Laat dit controleren voordat je verder gaat.



Verwerking van de meetresultaten

De lengtetoeename ΔL van de staaf volgt uit afstand H , afstand D en verschuiving ΔS volgens de volgende formule.

$$\Delta L = 0,5 \cdot \frac{H}{D} \cdot \Delta S.$$

De factor 0,5 in de formule heeft te maken met het feit dat de hoekverdraaiing van de teruggekaatste laserstraal twee keer zo groot is als de hoekverdraaiing van balk B. Leg dit laatste (over de hoekverdraaiing) uit.

Bereken de lengtetoeename ΔL van de ijzeren staaf.

Laat dit controleren voordat je verder gaat.



Meet de lengte L van de staaf op. _____

Door het verwarmen van de ijzeren staaf stijgt zijn temperatuur. De temperatuurstijging ΔT van de staaf kan met de volgende formule berekend worden.

$$\Delta T = \frac{\Delta L}{\alpha \cdot L}.$$

Hierin is α de lineaire uitzettingscoëfficiënt. Voor ijzer geldt: $\alpha = 0,000117$ per graad Celsius.

Bereken met de bovenstaande formule de temperatuur van de ijzeren staaf bij verhitting. Stel daarbij de kamertemperatuur op $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Laat dit controleren voordat je verder gaat.



Nabeschuwing

Tijdens dit practicum moeten wat afstanden gemeten worden. Ten gevolge van meetonauwkeurigheden kan de temperatuur van de staaf tijdens het verhitten niet exact bepaald worden. Als je de temperatuur van de ijzeren staaf nauwkeuriger wilt weten, kun je bijvoorbeeld de volgende twee aanpassingen aanbrengen.

- 1) Vergroting van de afstand D;
- 2) Verkleining van de afstand H.

Leg van beide aanpassingen uit wat de voordelen en/of nadelen zijn voor de nauwkeurigheid van de bepaling van de temperatuur.

Laat dit controleren.



Naam: _____ Klas: _____

Practicum:

Bepaling van de constante van Boltzmann aan de hand van de Brownse beweging

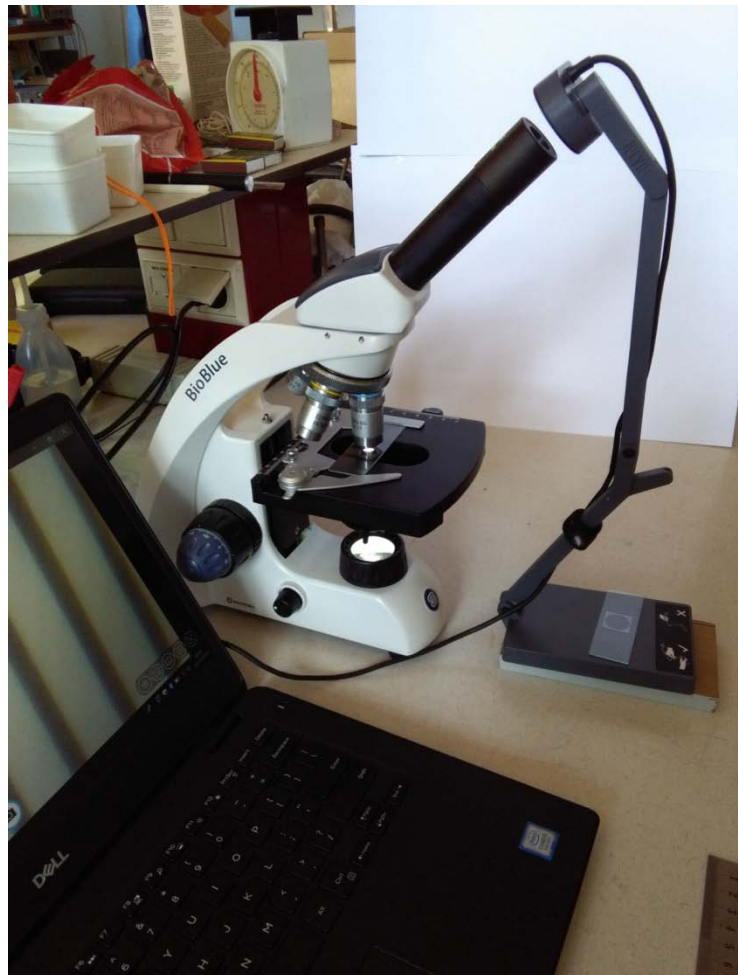
Inleiding

Microscopisch kleine deeltjes in een gas (zoals rookdeeltjes in lucht) of in een vloeistof (zoals stuifmeelkorrels in water) staan niet stil maar bewegen een heel klein beetje heen en weer. Dit komt omdat ze worden omringd door lucht- of vloeistofmoleculen die hier tegenaan botsen. Het gevolg van deze botsingen is dat de deeltjes een soort zigzagbeweging uitvoeren. We noemen deze beweging de Brownse beweging.

In dit practicum wordt de Brownse beweging van polystyreenbolletjes met een diameter van 1 micrometer in water bestudeerd. Om deze deeltjes zichtbaar te maken, gebruiken we een microscoop (vergroting 400x) en een 'document camera'. Het door de microscoop gevormde beeld wordt door de document camera opgevangen en op het beeldscherm afgebeeld. Zie de figuur hiernaast.

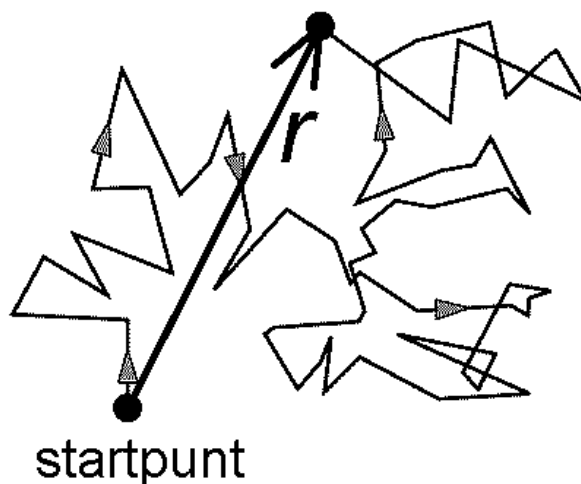
In dit practicum wordt de gemiddelde verplaatsing van de deeltjes ten gevolge van de Brownse beweging onderzocht. Er wordt nagegaan of dit overeenkomt met de theorie. Vervolgens wordt aan de hand van de metingen een schatting van de constante van Boltzmann gemaakt.

Dit practicum kan uitgevoerd worden met twee of drie personen.



Theorie

In de figuur hiernaast is de projectie van de Brownse beweging van een klein deeltje op het platte vlak getekend. Het startpunt is de plaats van het deeltje op tijdstip $t = 0$. In de figuur is de afgelegde weg getekend tussen tijdstip 0 en tijdstip t . De afstand tussen de plaats van het deeltje op $t = 0$ (startpunt) en op tijdstip t wordt met r aangeduid. Gemiddeld genomen wordt r groter bij toenemende t .



In dit practicum beperken we ons tot bolvormige deeltjes met straal R . In dat geval bestaat er het volgende verband tussen de gemiddelde waarde van het kwadraat van afstand r en tijd t .

$$E(r^2) = \frac{2kT}{3\pi\eta R} t$$

Hierbij is $E(r^2)$ de zogenoemde verwachtingswaarde van r^2 . Deze waarde vind je door een deeltje met straal R oneindig vaak gedurende tijdsduur t een Brownse beweging te laten uitvoeren en vervolgens alle (oneindig veel) uitkomsten van r^2 te middelen. In de formule komen verder de volgende symbolen voor.

k = de constante van Boltzmann;

T = de absolute temperatuur;

η = de dynamische viscositeit van het medium waar het bolletje zich in bevindt.

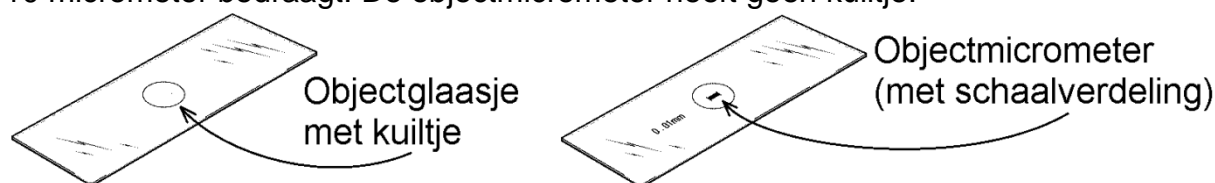
Werkwijze in het practicum

In dit practicum wordt een aantal keer (zeg 30 keer) de beweging van een polystyreen bolletje gevolgd. Bij elk bolletje wordt op vaste tijdstippen ($t = 0$ s, $t = 5$ s, $t = 10$ s enzovoort tot bijvoorbeeld $t = 30$ s) de verplaatsing r (gerekend ten opzichte van het startpunt) gemeten. Zodoende ontstaan er een aantal (30) meetseries. Vervolgens wordt bij elk tijdstip het gemiddelde van het kwadraat van de verplaatsingen berekend. Dit is een schatting voor $E(r^2)$ in de bovenstaande vergelijking. Vervolgens wordt in een diagram het gemiddelde van het kwadraat van de verplaatsingen uitgezet tegen de tijd. Volgens de theorie (zie de bovenstaande vergelijking) is het verband tussen $E(r^2)$ en t evenredig. Uit de steilheid van de grafiek volgt de constante van Boltzmann.

Objectglaasje en objectmicrometer

Om in dit practicum verwarring tussen een objectglaasje en de objectmicrometer te voorkomen, zijn beiden hieronder afgebeeld. Het objectglaasje is een rechthoekig stukje glas waar het te bestuderen object op gelegd kan worden. In dit practicum gebruiken we een objectglaasje met een ondiep kuiltje. Het kuiltje wordt gevuld met water met de polystyreen bolletjes en het kuiltje wordt afgesloten met een (zeer dun) dekglasje.

De objectmicrometer lijkt op het oog op een objectglaasje maar is totaal wat anders. Het bevat namelijk een schaalverdeling waarbij de afstand tussen de streepjes 10 micrometer bedraagt. De objectmicrometer heeft geen kuiltje.



Opdrachten

1)

Breng een klein aantal druppels water met in suspensie polystyreen bolletjes (diameter 1 μm) op een objectglaasje met een ondiep kuiltje (bolvormige uitholling). Schuif er een dekglasje overheen en zorg ervoor dat er zich geen luchtbelletjes onder het dekglasje bevinden. Haal de overtollige vloeistof met een tissue weg. Vanaf opdracht 5) wordt dit objectglaasje gebruikt.

Het is zeer belangrijk dat het objectglaasje vetvrij is. Het kan zonodig met afwasmiddel schoongemaakt worden. Daarnaast mag de concentratie polystyreen bolletjes in water niet te groot zijn. Anders wordt het volgen van één bolletje tijdens zijn Brownse beweging namelijk moeilijk.

2)

Stel de microscoop in op een vergroting van 400x (objectief 40x, oculair 10x). Leg een objectmicrometer met een 10 μm -schaalverdeling op de 'tafel' van de microscoop. Stel het beeld met het oog scherp. Om de schaalverdeling van de objectmicrometer in beeld te krijgen kan het handig zijn om te beginnen met een kleinere vergroting (bijvoorbeeld objectief 5x, oculair 10x).

3)

Plaats boven het oculair van de microscoop de opnamelens van de document camera. Voor optimale resultaten moet de opnamelens zich bij de uittreepupil van de microscoop bevinden. Bij de uittreepupil is de diameter van de uit het oculair komende lichtbundel het kleinst en heeft een scherpe begrenzing. De plaats van de uittreepupil kan met een plaatje matglas bepaald worden.

4)

Stel het beeld op het beeldscherm scherp met de regelknop op de microscoop (waarmee de afstand tussen object en objectief gevarieerd kan worden). Uiteraard mag het beeldscherm het beeld niet in één richting uitrekken (bijvoorbeeld mag een vierkant geen rechthoek worden).

Laat met behulp van het stuurprogramma 10 μm (afstand tussen twee streepjes) precies overeenkomen met 5,0 cm op het beeldscherm.

Let daarbij op de volgende zaken die de instelling van de document camera betreffen.

- Kies voor de hoogste of een na hoogste resolutie.
- Stel in op handmatige focus (geen autofocus!).

Zorg ervoor dat de instelling van de document camera **HIERNA ONVERANDERD** blijft. Ook hierna vindt de scherpstelling van het beeld plaats met de regelknop op de microscoop.

5)

Haal de document camera weg van de microscoop.

Vervang de objectmicrometer door een objectglasje met polystyreen bolletjes.

Omdat het objectglasje met dekglasje waarschijnlijk iets dikker is dan de objectmicrometer, zal de afstand tussen objectief en microscooptafel mogelijk iets groter gemaakt moeten worden. Stel het beeld vervolgens met het oog scherp.

Plaats vervolgens de opnamelens van de document camera weer boven het oculair.

Stel het beeld op het beeldscherm scherp met de (fijn)regelknop op de microscoop.

Als het goed is, hebben de scherp gestelde polystyreen bolletjes op het beeldscherm een diameter van 5,0 mm.

6)

Volg tenminste 30 keer de weg van een bolletje op het beeldscherm. Meet elke keer om de 5 s de afstand tot de oorspronkelijke plaats. Meet tenminste tot 30 s.

Als het bolletje uit het focusvlak beweegt, kan het bolletje op het beeldscherm vaag of zelfs onzichtbaar worden. Dit kan worden voorkomen door het focusvlak met het bolletje mee te laten bewegen. Hiervoor kan de (fijn)regelknop van de microscoop gebruikt worden.

Het kan voorkomen dat twee bolletjes zo dicht bij elkaar in de buurt komen, dat verwisseling van de bolletjes mogelijk is. Dit is niet erg zolang de bolletjes dezelfde straal hebben.

Een interval timer kan om de 5 seconde een geluidssignaal afgeven.

De taakverdeling binnen het team kan als volgt zijn.

Persoon 1 verschuift het focusvlak met het bolletje mee zodat het bolletje scherp op het beeldscherm afgebeeld blijft.

Persoon 2 meet met een rolmaat of geodriehoek de afstand tussen de oorspronkelijke plaats van het bolletje en zijn nieuwe plaats.

Persoon 3 noteert de gemeten afstanden.

In het geval dat er slechts twee personen binnen het team zijn, kan een geluidsopname de door persoon 2 uitgesproken afstanden vastleggen.

7)

Controleer of de diameter van de polystyreenbolletjes inderdaad 1,0 μm is. Doe dat door de vergroting op het beeldscherm zo groot mogelijk te maken en het beeld scherp te stellen op een bolletje. Kies bij voorkeur een bolletje dat stilstaat, bijvoorbeeld omdat het aan het glas geplakt is.

8)

Uitwerking van de meetgegevens

Zet de meetwaarden in een spreadsheetprogramma (bijvoorbeeld excel). Laat de volgende stappen door het spreadsheetprogramma uitvoeren.

Reken de op het beeldscherm gemeten afstanden om naar verplaatsingen van de bolletjes.

Bereken bij elk tijdstip ($t=0$ s, $t=5$ s, $t=10$ s enzovoort) het gemiddelde van het kwadraat van de verplaatsingen. Als n het aantal meetseries is en Σ het sommatieteken, kan dit gemiddelde worden genoteerd als:

$$\frac{1}{n} \sum r^2$$

Als het aantal meetseries (n) voldoende groot is, geldt bij benadering:

$$E(r^2) = \frac{1}{n} \sum r^2$$

Zet in een diagram het gemiddelde uit tegen de tijd t .

9)

Conclusies

Ga na of het gemiddelde van het kwadraat van de verplaatsingen evenredig is met de tijd.

Bepaal uit het diagram de constante van Boltzmann. Ga hierbij uit van een watertemperatuur van bijvoorbeeld 25 $^{\circ}\text{C}$. De dynamische viscositeit van water is sterk temperatuurafhankelijk. Zo is deze bij 20 $^{\circ}\text{C}$, 25 $^{\circ}\text{C}$ en 30 $^{\circ}\text{C}$ respectievelijk 1,0 mPas, 0,89 mPas en 0,80 mPas.