

Wallenbergs fysikpris experimentfinal

21 mars 2019

Uppgift 1: Boltzmanns konstant



Inom fysiken finns ett antal naturkonstanter, exempelvis elektronens laddning, gravitationskonstanten, Plancks konstant och Boltzmanns konstant. Det är givetvis viktigt att bestämma noggranna värden på dessa konstanter. Boltzmanns konstant knyter ihop det makroskopiska i form av temperaturen med det mikroskopiska i form av medelvärdet av molekylernas rörelseenergi. Genom att studera diffusion av en gas genom ett membran kan ett värde på Boltzmanns konstant erhållas.

Teori: Om en gas förekommer i olika höga koncentration på olika sidor av ett poröst membran kommer gasen diffundera från hög till låg koncentration för att jämna ut koncentrationsskillnaden. I den här uppgiften finns koldioxid i högre koncentration i en behållare än i den omgivande luften. Koldioxid kommer att diffundera ut ur behållaren genom ett membran och koncentrationen av koldioxid i behållaren varierar då i tid enligt

$$c(t) = c_{\text{luft}} + (c(0) - c_{\text{luft}})e^{-\frac{t}{\tau}},$$

där c_{luft} är koldioxidkoncentrationen i luft, $c(0)$ är den initiala koldioxidkoncentrationen i behållaren och τ är en tidskonstant för förloppet. Tidskonstanten τ ges av

$$\tau = \frac{hV}{DpA},$$

där h är längden av kanalerna i det porösa membranet, V är behållarens volym, A är membranets area och p är porositeten. Porositeten är ett mått på den effektiva andelen av membranets tvärsnittsarea. Diffusionskoefficienten D ges av $\frac{1}{3}v_{\text{termisk}}d$, där d är diametern på kanalerna i det porösa membranet och v_{termisk} är ett mått på hastigheten på den termiska rörelsen hos molekylerna i gasen given av

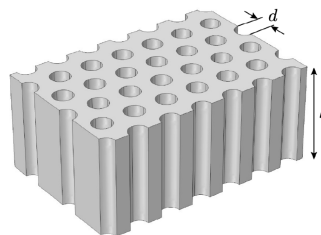
$$v_{\text{termisk}} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m_{\text{CO}_2}}},$$

där T är temperaturen, m_{CO_2} är massan för en koldioxidmolekyl och k_B är Boltzmanns konstant.

Uppgift: I denna uppgift ska du mäta Boltzmanns konstant genom att studera diffusion av koldioxid ut ur en behållare genom ett poröst membran. Den genomskinliga behållaren har inbyggd mätutrustning som mäter koldioxidhalten i behållaren. Inför lämplig mängd koldioxid i behållaren genom att blåsa lätt i en av slangarna och mät hur koldioxidhalten varierar med tiden. Beräkna sedan ett värde på Boltzmanns konstant med hjälp av dina mätdata. Ange även tänkbara felkällor som kan påverka mätningen.

Några användbara värden:

$$\begin{aligned} V &= 215 \text{ cm}^3 \\ h &= 74,6 \text{ } \mu\text{m} \\ d &= 6 \text{ nm} \\ A &= 1,33 \text{ cm}^2 \\ m_{\text{CO}_2} &= 7,3 \cdot 10^{-26} \text{ kg} \\ c_{\text{luft}} &= 0,06 \% \end{aligned}$$



Figur 1: Schematisk bild på det porösa membranet.

Värdet på p varierar mellan uppställningarna och finns angivet på behållaren.

Materiel

- Behållare med ett poröst membran.
- Koldioxidmätare
- Powerbank för strömförsörjning till koldioxidmätaren
- Två fläktar monterade inuti respektive utanpå behållaren, med tillhörande batterier

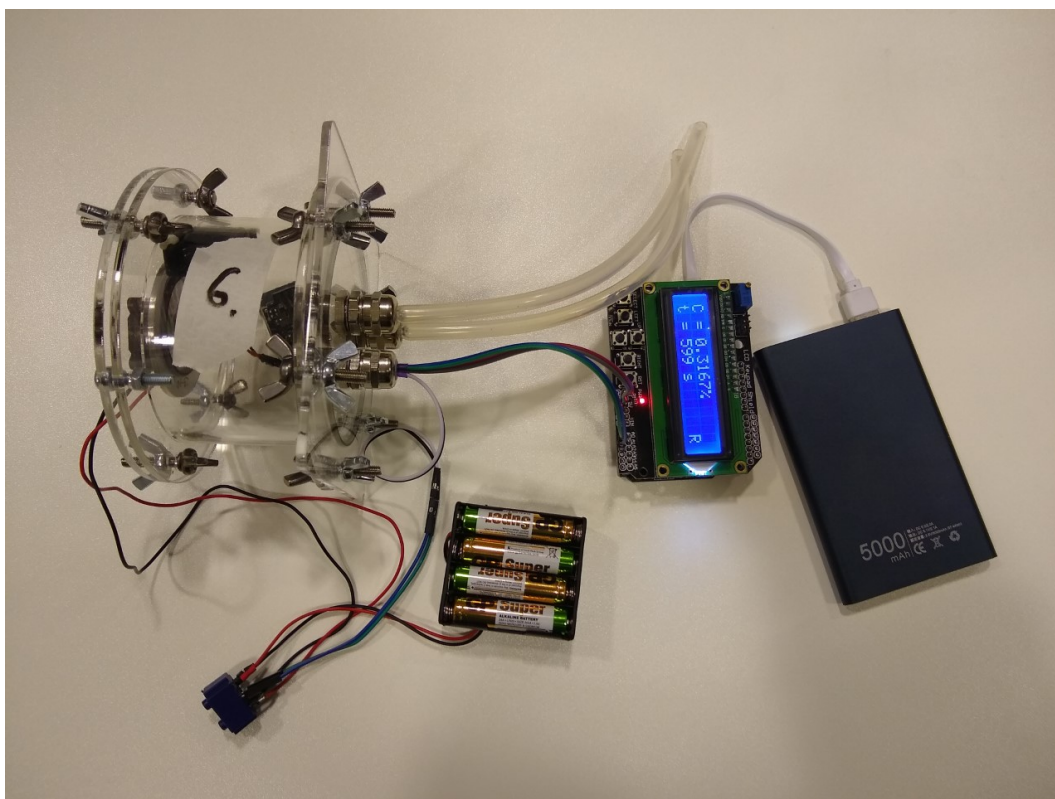
Instruktion till koldioxidmätare

Anslut koldioxidmätaren till din powerbank för att aktivera den. Det tar någon minut för den att starta. Mätaren har två lägen; ett mätläge och ett historikläge. I mätläget räknar mätaren tiden efter start och visar koldioxidhalten i behållaren i %, och visar ett "R" på skärmen. Var 20:e sekund sparas ett mätvärde automatiskt när du är i mätläge, och alla sparade mätvärden kan visas genom att trycka "SELECT" och sedan bläddra mellan dem med knapparna "UP" och "DOWN". I detta läge visas ett "D". OBS! Nya mätningar läggs endast till om du är i mätläge (R), men klockan fortsätter att räkna! Knapparna "LEFT" och "RIGHT" behöver ej användas. Om du vill starta om mätningen använder du knappen "RST". Då kommer all historik att raderas och klockan börjar om från noll. Sätt i det lösa batteriet för att starta den yttre och inre fläkten.

Tips: Genom att blåsa eller suga i slangarna kan du justera mängden koldioxid i behållaren. Gör detta mycket försiktigt, annars är det väldigt lätt hänt att nå halter över 0,5 %. Tänk på att det tar en liten stund för koldioxiden att fördela sig jämnt i behållaren.

Viktigt!

- Mätaren kan ej mäta koldioxidhalter över 0,5 %.
- Om mätaren förlorar strömförsörjning kommer alla mätvärden att raderas.
- Rör aldrig membranet! Sätt varsamt tillbaka den yttre fläkten om den skulle lossna.



Figur 2: Bild på experimentuppställningen.