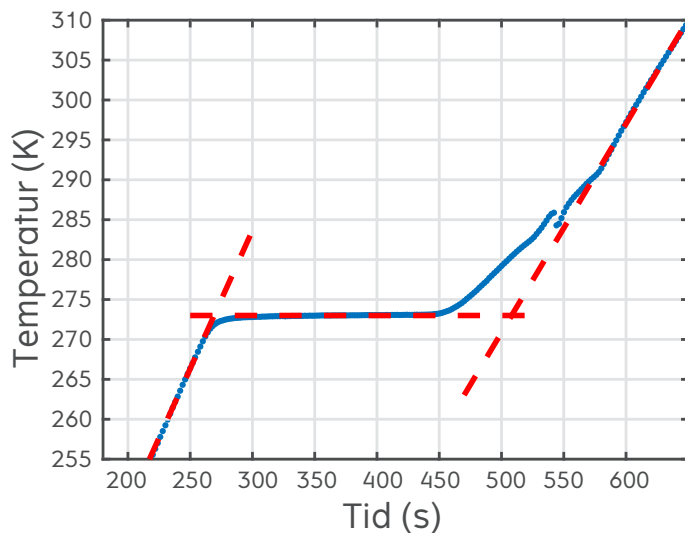


# Bestem varmekapacitet og smeltevarme med data fra eksperiment og simulation

I eksperimentet i videoen frøs Tina en lille mængde vand (1 g) ved at sænke målebægeret ned i flydende nitrogen (temperatur: 77 K). Dernæst blev bægeret sat i en flamingokasse og opvarmningen blev startet. Kurven nedenfor viser prøvens temperatur som funktion af tiden.



## Oplyste størrelser

$m_{\text{vand}} = 1 \text{ g}$ ,  $m_{\text{kop}} = 1 \text{ g}$ ,  $m_{\text{prop}} = 1,7 \text{ g}$ ,  $c_{\text{kop}} = 0,91 \text{ J/gK}$ ,  $c_{\text{prop}} = 1,5 \text{ J/gK}$ ,  $P_{\text{varmetråd}} = 1,85 \text{ W}$ .

- Aflæs faseovergangstemperaturen på opvarmningskurven. Hvordan passer den aflæste temperatur med tabelværdien for vand?
- Beregn ud fra kurven og effekten af varmetråden, hvor meget varmeenergi (målt i J) der er tilført is + holder for at få temperaturen til at stige fra 260 K til 270 K.
- Det er kun en del af den tilførte varme, der optages af isen. Hvor meget er det?
- Beregn varmekapaciteten for is fra eksperimentet.
- Beregn varmekapaciteten for vand fra eksperimentet (brug data over 290 K).
- Beregn smeltevarmen for isen i eksperimentet.
- Vurder usikkerheden på dine estimater for varmekapaciteter og smeltevarme fx ved at vælge nogle andre intervaller at bestemme varmekapaciteten for is i. Hvor mange betydende cifre kan vi bestemme varmekapaciteten for is og vand med i dette eksperiment? Hvor godt stemmer resultaterne overens med tabelværdier?

## Udarbejdet af:



**Ulf Rørbæk Pedersen**  
Lektor i fysik  
Roskilde Universitet

Bruger computerbaserede modeller til at udvikle og teste teorier for materials egenskaber.



**Tina Hecksher**  
Lektor i fysik  
Roskilde Universitet

Måler - og udvikler eksperimentelle metoder til måling af frekvensafhængige mekaniske, termiske og elektriske egenskaber af underafkølede væsker tæt på glasovergangen.

- Dette opgavesæt løses bedst, når du har læst artiklen "Flydende eller fast?" og set filmen af samme navn. Begge findes på [www.ruc.dk/undervisningspakke-tilstandsformer](http://www.ruc.dk/undervisningspakke-tilstandsformer)
- Læs mere om materialeforskning på Roskilde Universitet på [www.ruc.dk/glas-og-tid](http://www.ruc.dk/glas-og-tid)
- Lær mere om dine karrieremuligheder inden for fysik ved at se filmen om Ditte Gundermann, kandidat fra RUC, som arbejder med materialefysik i virkeligheden. Se [www.ruc.dk/karriereprofiler](http://www.ruc.dk/karriereprofiler)



EKSTRA OPGAVE TIL EKSPERIMENTET:

Ved udførelsen af eksperimentet sås en uventet opførsel mellem 273 og 277 K, og gentagne målinger viste stort set samme opførsel: Temperaturen flader ud igen efter faseovergangen ved 276-277 K (området i den stiplede cirkel på figuren).

**Hvad kan forklare denne opførsel?**

(Tip: Termoføleren sidder inde i prøven som vist på figuren, og vi målte forskellige temperaturforløb afængigt af termofølerens højde i prøven. Den orange og røde linje er således målt i samme højde, og den blå i en anden højde i prøven).

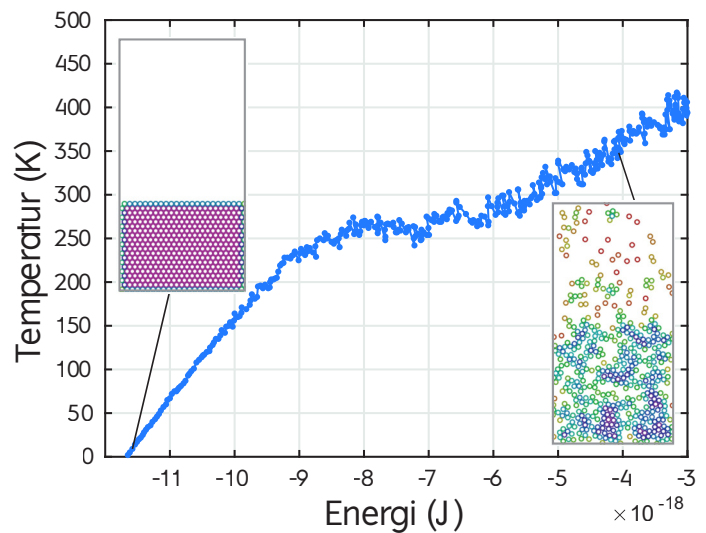
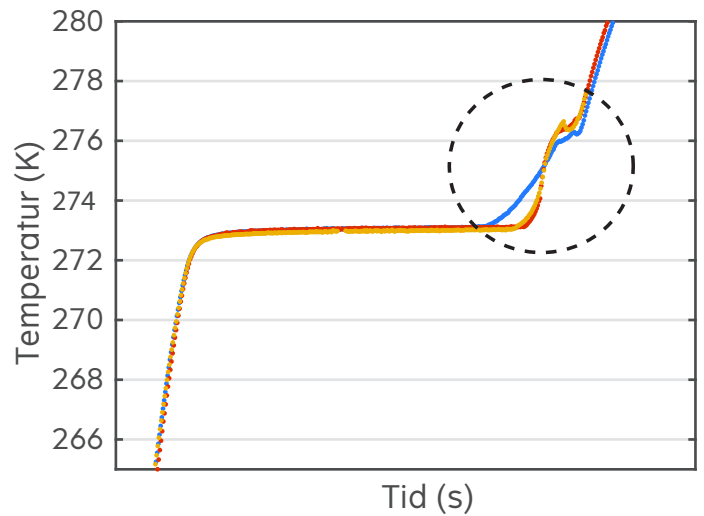
**Simulationen**

Nu skal du selv i gang med at simulere vandmolekyler med en simpel Lennard-Jones model.

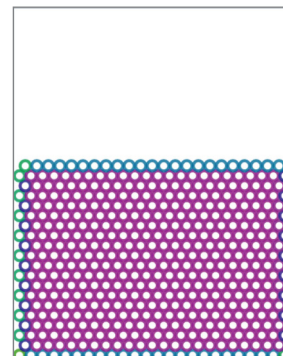
Lav en simuleret opvarmningskurve (gå til [www.urp.dk/heat](http://www.urp.dk/heat)) af den simple LJ-model. Når temperaturen når 400 K, tryk "stop" og download data. Tryk IKKE "clear".

Plot af temperaturen som funktion af den indre energi og aflæs smeltetemperaturen.

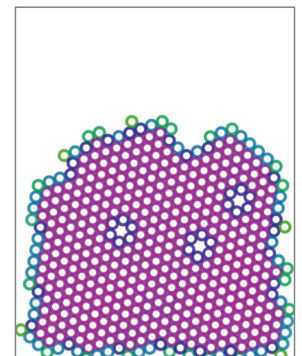
1. Bestem smeltevarmen for krystallen.
2. Beregn varmekapaciteterne (krystal og væske) for hele systemet ud fra simuleringens data.
3. Omregn til varmekapacitet pr. gram, hvis hver partikel i simuleringen er et vandmolekyle.
4. Hvor godt stemmer modellen overens med de eksperimentelle data? (Der forskes aktivt i modeller for vand - det er meget svært at få alting til at passe!).
5. Lav dernæst en kølekurve ved at sætte "Heat bath temperature" helt i bund og start simuleringen igen. Når temperaturen er omkring 5 K, stop igen og download data.
6. Beregn varmekapaciteter og smeltevarme ud fra kølekurven. Sammenlign med resultaterne fra opvarmningskurven.
7. Er den nye krystal fra kølesimuleringen "perfekt"? (Altså som start konfigurationen i simuleringen?) Hvorfor/hvorfor ikke? Hvad er energien af den kølede krystal sammenlignet med den "perfekte" krystal?
8. Hvad karakteriserer krystalfasen i forhold til væskefasen?



Kurven viser en opvarmningskurve fra simuleringssapp'en samt hvordan konfigurationen af partiklerne tager sig ud ved 0 K og ved 350 K. Antal partikler i simuleringen: 480.



En perfekt krystal, før smeltning



En krystal der er dannet efter nedkøling



## Du kan læse Fysik på Roskilde Universitet

### Sådan er studiet

På Roskilde Universitet er [Fysik](#) og [Physics](#) en del af den [Naturvidenskabelige Bachelor](#). Det første år bliver du trænet i centrale naturvidenskabelige teorier, metoder og modeller på højeste niveau. På andet og tredje år specialiserer du dig i to fag. Det giver dig et stærkt fundament og gør dig til en dygtig fysiker, der samtidig kan tænke på tværs af de naturvidenskabelige fag.

### Fysik eller Physics kan læses i kombination med ét af flg. fag:

#### Fysik

- Environmental Biology
- Filosofi og Videnskabsteori
- Kemi

Se mere om kombinationsmulighederne på [ruc.dk/bachelor/fysik](http://ruc.dk/bachelor/fysik)

#### Physics

- Chemistry
- Computer Science
- Datalogi
- Mathematics
- Molecular Biology

Se mere om kombinationsmulighederne på: [ruc.dk/bachelor/physics](http://ruc.dk/bachelor/physics)

På kandidatuddannelsen kan du læse [Physics and Scientific Modelling](#).

### Sådan er din hverdag

Fra start til slut i studiet er du tæt på forskerne. Gennem dine projekt- og kursusvalg arbejder du videnskabeligt og kan være med til at skabe innovative løsninger på virkelighedens problemer. Dit projektarbejde kan måske indgå som en del af et større forskningsprojekt, eller du kan samarbejde med eksterne virksomheder og organisationer, hvis du har lyst til det.

På hvert semester arbejder du halvdelen af tiden med kurser inden for det naturvidenskabelige område. Nogle kurser er obligatoriske og giver dig den nødvendige faglige ballast. Men der er også kurser, du selv vælger efter interesse. Den anden halvdel af tiden arbejder du med et projekt.

Projektarbejdsformen skærper din evne til at analysere og samarbejde, og du kan samtidig fordybe dig i det, du finder fagligt interessant. Karrieremæssigt lærer du således at mestre en række af de færdigheder, erhvervslivet efterspørger allermost; evnen til at projektlede, samarbejde, kommunikere, nytænke og løse komplekse problemer.

Kig



Lyt



Åbent Hus



Uddannelse



Karriere

