



INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

THERMODYNAMICS OF MICROSCOPIC ENVIRONMENTS  
FROM ANOMALOUS DIFFUSION TO HEAT ENGINES

**Aykut Argun**  
Institutionen för Fysik  
Göteborgs Universitet

Akademisk avhandling för filosofie doktorsexamen i fysik, som med tillstånd från Naturvetenskapliga fakulteten kommer att offentligt försvaras måndagen den 14.06.2021 kl. 14 i PJ-salen, institutionen för fysik, Fysikgården 2b, Göteborg.

ISBN: 978-91-8009-384-2 (tryckt version)  
ISBN: 978-91-8009-385-9 (elektronisk version)  
Tillgänglig via <http://hdl.handle.net/2077/68298>

# THERMODYNAMICS OF MICROSCOPIC ENVIRONMENTS

## FROM ANOMALOUS DIFFUSION TO HEAT ENGINES

Aykut Argun  
Institutionen för Fysik  
Göteborgs Universitet

### Sammanfattning

Till skillnad från deras makroskopiska motsvarigheter utvecklas inte mikroskopiska system deterministiskt på grund av inverkan från termiskt brus. Sådana system är föremål för fluktuationer som endast kan studeras inom ramen för stokastisk termodynamik. Under de senaste decennierna har utvecklingen av stokastisk termodynamik lett till mikroskopiska värmemotorer, icke-jämviktsförhållanden, studien av avvikande diffusion och aktiv Brownsk-rörelse.

I denna avhandling visar jag experimentellt att icke-Boltzmann-statistik dyker upp i system som är kopplade till ett aktivt bad. Denna icke-Boltzmann-statistik som härrör från korrelerat aktivt brus stör också icke jämviktsförhållandena. Ändå visar jag att dessa relationer kan återställas med en effektiv potential metod. Därefter demonstrerar jag en experimentell implementation av en mikroskopisk värmemotor. Denna motor, som kallas för den Brownska-gyratorn, är kopplad till två olika värmebad längs vinkelräta riktningar. Jag visar att när den är innesluten i en elliptisk fälla som inte är anpassad till temperaturanisotropin, är den Brownska partikeln utsatt för ett vridmoment på grund av symmetribrottet. Detta vridmoment skapar en autonom motor vars riktning och amplitud kan kontrolleras genom att justera orienteringen på den elliptiska fällan. Sedan visar jag att de kraftfält som verkar på Brownska partiklar kan kalibreras med en datadriven metod som överträffar de befintliga kalibreringsmetoderna. Än viktigare, jag visar att den här metoden, med namnet DeepCalib, kan kalibrera icke-konservativa och tidsvarierande kraftfält för vilka det saknas standardiserade kalibreringsmetoder. Slutligen visar jag att en liknande metod baserad på maskininlärning kan användas för att karakterisera avvikande diffusion från enkla banor. Denna metod, kallad RANDI, är mycket mångsidig och fungerar bra i olika uppgifter inklusive klassificering, skattning och segmentering av avvikande diffusion.

Arbetet som presenteras i denna avhandling presenterar nya experiment som främjar mikroskopisk termodynamik samt nyutvecklade metoder vilka öppnar upp nya möjligheter att analysera stokastiska banor. Dessa resultat har ökat den vetenskapliga kunskapen i sambanden mellan mikroskopisk termodynamik, avvikande diffusion, aktiv materia och maskininlärning.

---

**Nyckelord:** avvikande diffusion, mikroskopisk termodynamik, värmemotorer, djupinlärning, dataanalys, aktiv materia