

Rumford en de mechanische aard van warmte

Het is algemeen bekend dat er warmte ontstaat wanneer je twee verschillende voorwerpen over elkaar heen wrijft. Maar waar komt die warmte vandaan en wat is warmte eigenlijk? Soortgelijke vragen stelde graaf Rumford al aan het einde van de 18e eeuw, wat uiteindelijk leidde tot een reeks proeven waarmee hij de vloeistoftheorie van warmte wist te weerleggen.

Een van de belangrijkste natuurwetenschappelijke ontwikkelingen uit de 19e eeuw is de introductie van het energiebegrip en de daarmee verbonden wet van behoud van energie. Hierbij wordt James Prescott Joule terecht gezien als een van de grondleggers van deze behoudswet. Hoewel het Joule lukte om de omzetting van mechanische energie naar warmte te kwantificeren was hij echter niet de eerste die zich met deze energieomzetting bezighield. Tientallen jaren voor Joule wist graaf Rumford (1753 -1814) al door te dringen tot de ware aard van de warmte en maakte hierdoor de weg naar het energiebegrip vrij. Om dit te begrijpen moeten we beseffen dat veel natuurwetenschappers in de tijd van Rumford warmte beschouwden als een onweegbare vloeistof die van een voorwerp met hoge temperatuur naar een voorwerp met lagere temperatuur stroomt. Deze vloeistof kon niet gecreëerd of vernietigd worden maar kon zich alleen verplaatsen. Voordat het energiebegrip tot ontwikkeling kon komen moest dit denkbeeld drastisch worden gewijzigd. We zullen in dit



Figuur 1. Portret van Rumford uit 1792. Foto: Wikipedia

artikel kort bekijken hoe Rumford dit voor elkaar kreeg en hoe we zijn proef vandaag de dag nog kunnen inzetten in het onderwijs.

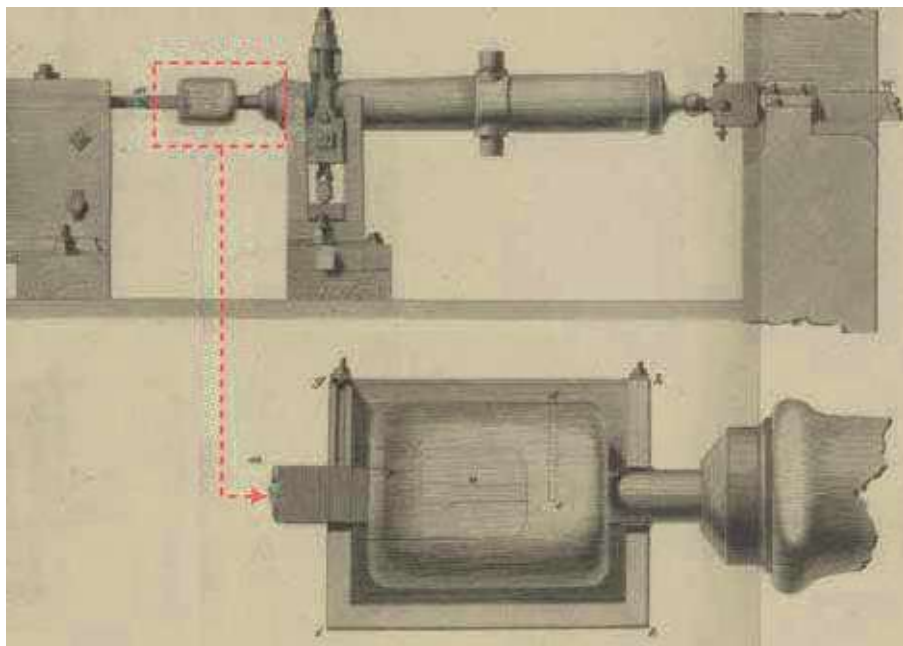
Rumfords experimenten

Graaf Rumford (geboren als Benjamin Thompson) was medeoprichter van de Royal Institution in Londen en was daarnaast ook direct betrokken bij de vervaardiging van kanonnen. Tijdens het uitboren van een kanon merkte Rumford op dat zowel het kanon als de metaalsnippers die bij het uitboren loskwamen erg heet werden. Er was geen warmtebron aanwezig, waardoor warmte

aan het metaal kon worden toegevoerd; dus waarom steeg dan toch de temperatuur van het metaal? De meest gangbare verklaring in die tijd was dat de soortelijke warmte van het metaal door de wrijving zou afnemen. Aangezien er nog evenveel warmte vloeistof in het metaal aanwezig was (er werd immers geen warmte door een warmtebron toegevoerd) betekende dit dat de temperatuur van het metaal wel moest stijgen. Niet overtuigd door deze verklaring bepaalde Rumford de soortelijke warmte van de metaalsnippers direct na uitboren. Hij stelde vast dat de soortelijke warmte van het ijzer onveranderd bleef. De klassieke verklaring voor dit verschijnsel bleek dus niet in overeenstemming te zijn met de bevindingen van Rumford (Thompson, 1798). Aangemoedigd door zijn bevindingen ging Rumford nog een stap verder. Hij liet een metalen as (bestaande uit een kanon) contact maken met een metalen blok (figuur 2). De plek waar beide stukken metaal elkaar raakten verpakte hij in een houten kist welke hij liet vullen met water. De as werd in draaiing gebracht door een stel paarden die in een carroussel met constante snelheid rondliepen. De as werd met een constante kracht tegen het metalen blok gedrukt en draaide met een constante snelheid van 32 omwentelin-



ROGER RIKKEN is lerarenopleider natuurkunde aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen en de auteur/programmeur van SimuFysica. <https://nl.linkedin.com/in/roger-rikken-a5946b10b>



Figuur 2. Tekeningen van het experiment van Rumford uit zijn eigen artikel (Thompson, 1798). In de bovenste tekening verdwijnt de as aan het kanon aan de rechterzijde in een ruimte waar paarden het in beweging zetten. Onder: uitvergroete weergave van de houten kist waarin een metalen as op een metalen blok wrijft.



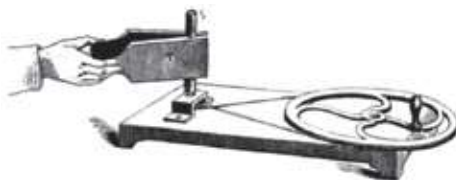
Figuur 4. Experiment met een metalen rietje en een boormachine. Zie de QR-code voor een filmpje van de proef.

gen per minuut. Rumford merkte op dat de temperatuur van het water lineair steeg met de verstreken tijd, totdat na 2,5 uur het water begon te koken. (Schubert, 2019; Thompson, 1798). Rumford was in extase en het experiment bleek de genadeklap te zijn voor de vloeistoftheorie van de warmte. Warmte was blijkbaar iets wat continu uit beweging kon worden verkregen. Deze bevinding maakte de weg vrij voor de ontwikkeling van het energiebegrip en de eerste hoofdwet van de thermodynamica. Joule heeft veertig jaar later nog gerekend aan de data van Rumford waarbij hij tot de conclusie kwam dat de resultaten van Rumford niet wezenlijk afweken van zijn eigen experimenten (Schubert, 2019).

Tyndalls didactisering

De proef van Rumford is van de ontwikkeling van het energiebegrip van ontzettend groot belang geweest en werd daarom in lezingen over warmte regelmatig aangehaald. Rumfords proef bleek echter te groot en te tijdrovend om voor een zaal toehoorders live uit te voeren. Zo'n zestig jaar na Rumfords oorspronkelijke proef wist John Tyndall het experiment te didactiseren waardoor het verschijnsel niet alleen gemakkelijk maar ook snel kon worden getoond (figuur 3). In Tyndalls versie wordt een smal buisje aan het draaien gebracht door aan een groot wiel te draaien. Het buisje is gevuld met water en afgesloten met een kurk. Met een houten wig wordt er over de buis gewreven terwijl de buis

blijft draaien. Door de wrijving stijgt in korte tijd de temperatuur van het water tot aan het kookpunt waarna de kurk met een pop uit de buis wordt geschoten (Tyndall, 1868).



Figuur 3. De opstelling van Tyndall waarmee hij de proef van Rumford toelichtte. Figuur uit Tyndall (1868).

Rumfords proef vandaag de dag

Rumfords proef is in het Nederlands onderwijs relatief onbekend. Dat is op zich erg jammer aangezien Tyndalls variant met eenvoudig verkrijgbare materialen snel en gemakkelijk kan worden uitgevoerd. Ik toon de proef elk jaar aan mijn studenten en hanter daarbij de volgende werkwijze: sluit een dunne metalen buis (metalen rietje) aan één zijde af met een passende bout waarvan je de kop hebt afgezaagd. De bout bedek je met wat dikke lijm (of kit) om de onderzijde van de buis water- en luchtdicht te krijgen. Na drogen plaats je het buisje met de gesloten zijde in een boormachine en vul je het buisje vervolgens met water. Sluit het buisje af met een kurkje (of epje die de rol van het kurkje vervult). Schuif nu een wig, gemaakt van twee houten plankjes, om het buisje en knijp deze een beetje dicht (figuur 4). Als je de boormachine nu aanzet en met de wig over

het buisje wrijft dan duurt het zo'n 30 seconden voordat het water kookt en het epje met een pop uit het buisje springt. Hiermee laat je snel en eenvoudig zien dat het mogelijk is om water aan de kook te krijgen door enkel arbeid te verrichten.

Tot slot

De proef van Rumford is nog altijd een mooie demonstratieproef bij het behandelen van de eerste hoofdwet van de thermodynamica. We laten hiermee zien dat we de temperatuur van het water niet alleen kunnen laten stijgen door het toevoeren van warmte maar ook door enkel arbeid te verrichten. Daarnaast is de proef van historisch belang, aangezien het een verandering in ons denken over warmte heeft veroorzaakt. Genoeg redenen om deze proef weer in te zetten in het onderwijs! ●

BRONNEN

- Schubert, F.E. (2019). Rumford's Experimental Challenge to Caloric Theory: "Big Science". 18th-Century Style with Important Results for Chemistry and Physics. *Journal of Chemical Education*, 96(9), 1955-1960. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00039>
- Thompson, B. (1798). "An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 88, 80-102. <https://doi.org/10.1098/rstl.1798.0006>
- Tyndall, J. (1868). *Heat: a mode of motion* (3th edition). Longmans, Green and Co.