

Thomson se 1860. vratio u London kako bi konstruirao novi suhi dok s izmjenjivim sekcijama koje se mogu lako transportirati brodom i ponovno izgraditi. Dok je izgrađen, ali je potonuo zbog neproverene opreme za pumpanje. No zato su se sljedeća dva doka u potpunosti dokazala pri prvim uporabama.

Zbog pogoršanog zdravlja Thomson se 1865. vratio u Škotsku, gdje je živio u Edinburghu i nastavio razvijati inovacije, ponajprije vezane uz uporabu snage pare u transportu te gumene pneumatike za teške terete.

Godine 1865. Thomson je uspio prodati jedan od parnih traktora indijskoj vladi. Traktor je imao pneumatike od tvrde gume i to je danas priznato kao prvi uspješan pokušaj primjene gumenih pneumatika za teške strojeve. Sedamdesetih godina XIX. stoljeća Thomsonovi gumeni pneumatici za parne traktore bili su poznati diljem Europe (slika 3). On je nastavio svoj rad pa je 1867. patentirao poboljšanu izvedbu kotača za parna vozila koji su se mogli koristiti na tada uobičajenim cestama. To poboljšanje omogućavalo je parnim vozilima vožnju po lošim putovima s manje snage, a pri kretanju po oranicama vozila su mnogo manje tonula u tlo.

Novine iz tog doba opisuju stroj koji vuče četiri natovarena vagona mase četiri tone od Dalkeitha do Edinburgha uz znatna nagibanja. Lokalna policija zadržavala je znatizeljnu gomilu. *Nema sumnje da je ovaj pronalazak primjene gume velik korak u primjeni parnih vozila.*

To je navelo britansku vladu da provede niz ispitivanja Thomsonovih parnih vozila za potrebe vojnog transporta. Ispitivanja na određenim plažama nisu ostavila nikakve sumnje u prikladnost vozila, ali je bilo sumnji da je zaključak donesen pod *dojmom škotske gostoljubivosti*. Naknadna, još stroža ispitivanja, potvrdila su prvobitnu pozitivnu ocjenu. U zaključku izvještaja navodi se da *ovo označava kraj uporabe konja kao transportnog sredstva u vojsci.*



SLIKA 3 – Parni traktor s Thomsonovim gumenim pneumaticima

Iako ga je bolest vezala uz krevet, Thomson je nastavio kontakte i raspravu s konstruktorima pa je pozvan da postane članom *Kraljevskog društva* u Edinburghu. Jedna od njegovih posljednjih aktivnosti je prikaz radova u *Kraljevskom društvu: Nastajanje ugljena i Promjene izazvane u sastavu slojeva djelovanjem vode koja sporo prodire kroz Zemljinu koru tijekom dugih razdoblja geološkog vremena.*

R. Thomson umro je 1873. u Edinburghu, a nekoliko mjeseci nakon toga njegova je udovica predala njegov konačni patent za elastična sjedala i jastuke.

Na osnovi njegova života moguće je zaključiti: imate li ideju, patentirajte je! Drugo, još važnije, ne odustajte od svojih ideja nakon prvih neuspjeha. Sjetite se da su gumenim pneumaticima trebale 43 godine da se prošire cestama.

Temperatura ispod apsolutne nule*

Privedila: Đurđica ŠPANIČEK

A temperature below absolute zero

A temperature below absolute zero was impossible so far. The physicists at Ludwig-Maximilian University, Munich, and Max Planck Institute of Quantum Optics in Garching have created an atomic gas in the laboratory that nonetheless has negative Kelvin values. These negative absolute temperatures have several apparently absurd consequences: postulated for dark energy in cosmology. Supposedly impossible heat engines such as a combustion engine with thermodynamic efficiency of over 100% can also be realised with the help of negative absolute temperatures.

Fizičari iz *Instituta za kvantnu optiku Max Planck (Max Planck Institute of Quantum Optics)*, Garching, i *Sveučilišta Ludwig-Maximilian* iz Münchena objavili su 3. siječnja 2013. ono što se do sada smatralo nemogućim: postignuta je temperatura ispod apsolutne nule.

Ono što je za većinu ljudi normalno zimi, a to su negativne temperature, u fizici je do sada bilo nezamislivo. Na skali apsolutne temperature, koju rabe fizičari, nemoguće je ići ispod apsolutne nule, barem ne u smislu

hladnijeg od 0 K. Fizičko značenje temperature određeno je kaotičnim gibanjem čestica plinova; što je plin hladniji, to je gibanje njegovih čestica slabije. Pri 0 K (−273,15 °C) nema više gibanja čestica. Prema tome, ništa ne može biti hladnije od apsolutne nule na Kelvinovoj skali.

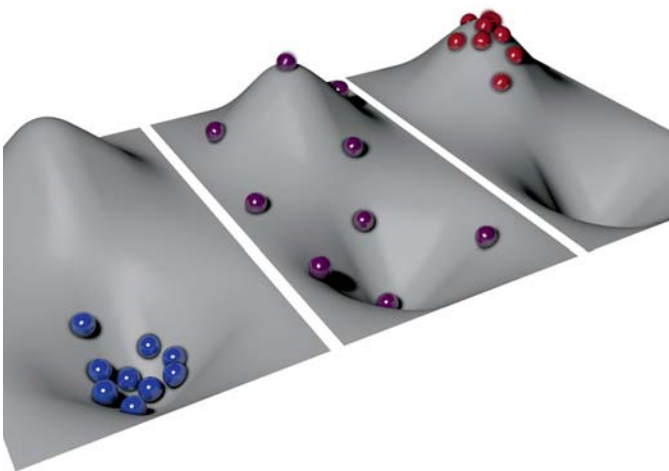
No fizičari iz navedenih ustanova U. Schneider i I. Bloch sa suradnicima kreirali su atomski plin koji pokazuje negativnu vrijednost po Kelvinu. Ta negativna apsolutna temperatura ima nekoliko naizgled apsurdnih posljedica. Atomi u plinu međusobno se privlače i time omogućuju porast negativnog tlaka (trodimenzionalno), plin se ne raspada, već se ponaša kao crna energija poznata iz kozmologije. Dosad neostvariv toplinski stroj na izgaranje s termodinamičkim učinkom višim od 100 %, sada bi bio ostvariv uz pomoć negativne apsolutne temperature.

Dovođenjem toplinske energije moguće je zagrijati vodu do vrenja. Pri zagrijavanju, zagrijavane molekule vode povećavaju svoju kinetičku energiju i sve se brže kreću. Ipak, pojedine molekule posjeduju različitu kinetičku energiju, od vrlo male do vrlo velike. Niže energijsko stanje češće je od višega, tj. samo se neke čestice kreću veoma brzo. U fizici se ta raspodjela naziva Boltzmannova raspodjela. U. Schneider i I. Bloch sa suradnicima ostvarili su plin u kojem je raspodjela obrnuta; većina čestica ima veću energiju. Inverzna raspodjela energije znači da čestice imaju negativnu apsolutnu temperaturu i upravo je to postignuto. Pri tome plin nije hladniji od 0 K, već topliji. Čak je topliji nego pri pozitivnoj

* *The Alchemist Newsletter*, www.mpg.de/6776082/negative_apsolute_temperature, 11. 1. 2013.

apsolutnoj temperaturi i smatra se da temperaturna skala ne završava u beskonačnosti, već skače prema negativnim vrijednostima. U. Schneider smatra da je upravo inverzna Boltzmannova raspodjela temeljna karakteristika negativne apsolutne temperature. Negativna se temperatura može postići s gornjom granicom energije.

Značenje negativne apsolutne temperature moguće je objasniti rotirajućom kuglom u brežuljkastoj okolini, gdje doline predstavljaju područja niske potencijalne energije, a brežuljci područja visoke potencijalne energije. Što se kugla kreće brže, to je veća kinetička energija. Povišenjem ukupne energije zagrijavanjem kugla će se podignuti u područje veće energije. Ako bi bilo moguće zagrijati kuglu do beskonačne temperature, postojala bi podjednaka vjerojatnost bilo kojeg položaja u okolini, ovisno o potencijalnoj energiji. Daljnjim dodavanjem energije kugla bi postigla još više energijsko stanje i bila bi toplija nego pri beskonačnoj temperaturi. Na taj se način postiže inverzija Boltzmannove raspodjele i temperatura postaje negativna. Na prvi pogled zvuči neobično da je negativna apsolutna temperatura toplija od pozitivne. To je jednostavno posljedica povijesne definicije apsolutne temperature; da je definicija drukčija, ne bi bilo te kontradikcije.



SLIKA 1 – Igra s pikulama

Autori to objašnjavaju *igrom s pikulama* (špekulama); Boltzmannova raspodjela određuje energiju pikula, tj. čestica. Pri pozitivnoj temperaturi (slika 1, lijevo) većina čestica, kao što je uobičajeno u svakidašnjici, leži u dolini jer posjeduju minimalnu kinetičku energiju i jedva se kreću. Prema Boltzmannovoj raspodjeli takvom položaju odgovara pretežno stanje niske ukupne energije. Pri beskonačnoj temperaturi (srednji dio slike) čestice su ravnomjerno raspoređene po područjima niske i visoke energije jer su sva energijska stanja jednako vjerojatna. Pri negativnim temperaturama (slika 1, desno) većina čestica je na vrhu brijega, na gornjoj granici potencijalne energije. Njihova kinetička energija također je maksimalna. Energijsko stanje s visokom ukupnom energijom pojavljuje se češće negoli ono s niskom ukupnom energijom, što upućuje na inverziju Boltzmannove raspodjele.

Različite raspodjele energije¹

Takva inverzija energijskog stanja nije moguća za vodu ili bilo koji drugi prirodni sustav plina jer bi on trebao apsorbirati beskonačnu količinu

energije, a to je nemoguće. Međutim ako čestice posjeduju gornju granicu svoje energije, kao one na vrhu brijega u prikazu krajolika potencijalne energije, situacija je potpuno drukčija. Istraživači I. Bloch i U. Schneider sa suradnicima ostvarili su sustav atomskog plina koji posjeduje gornju graničnu vrijednost energije slijedeći teorijske postavke A. Moska i A. Roska. Provodeći eksperiment, najprije su ohladili oko 100 000 atoma u podtlaknoj komori do pozitivne temperature od nekoliko milijarditih dijelova kelvina i uhvatili ih u laserski snop. Okolni ultravisoki podtlak jamči savršenu toplinsku izolaciju atoma. Laserski snop stvara tzv. optičku rešetku u kojoj su atomi pravilno raspoređeni. U toj se rešetki atomi mogu kretati od položaja do položaja s pomoću tunelskog efekta, pa je njihova kinetička energija na gornjoj granici i zato posjeduju traženu gornju energijsku granicu. Temperatura je povezana ne samo s kinetičkom energijom nego i s ukupnom energijom čestica, koja u ovom slučaju uključuje i međudjelovanja atoma i njihovu potencijalnu energiju. Opisani sustav posjeduje obje granice. Istraživači su tada snizili gornju granicu ukupne energije i postigli njihovu negativnu temperaturu od nekoliko milijarditih dijelova kelvina.

Ako kugla posjeduje pozitivnu temperaturu i leži u dolini s minimalnom potencijalnom energijom, stanje je stabilno i to je ono što je poznato u svakidašnjici. Ako je kugla smještena na vrhu brijega s maksimalnom potencijalnom energijom, ona će se spustiti niz brijeg, a time će potencijalna energija prijeći u kinetičku. Imaju li kugle negativnu energiju, njihova je kinetička energija tolika da se ne može više povećavati pa ostaju na vrhu brijega. Energijska granica čini sustav stabilnim. Negativno temperaturno stanje postignuto u ovom eksperimentu jednako je stabilno kao i pozitivno, što upućuje na to da je postignuto prvo stanje negativne apsolutne temperature.

Materija pri negativnoj apsolutnoj temperaturi pokazuje čitav niz nenadanih posljedica; tim stanjem postaje moguće kreirati toplinski stroj na izgaranje s učinkom većim od 100 %. To međutim ne znači da je prekršen zakon o očuvanju energije. Stroj ne samo da bi apsorbirao energiju od toplijeg medija, što mu omogućuje rad, već, suprotno od do sada uobičajenih slučajeva, i od hladnijeg medija.

Pri čisto pozitivnoj temperaturi hladniji se medij neizbježno zagrijava apsorpcijom dijela energije toplijeg medija i time ograničava svoj učinak. Ako topliji medij ima negativnu temperaturu, moguća je apsorpcija energije iz oba medija istodobno. Rad stroja zbog toga je veći nego u slučaju preuzimanja energije samo od toplijeg medija, pa je učinak veći od 100 %.

Postignuće minhenskih fizičara može biti vrlo zanimljivo za kozmologiju, jer termodinamičko ponašanje negativne apsolutne energije pokazuje sličnost s crnom energijom. Kozmološki postulat opisuje crnu energiju kao neuhvatljivu silu koja ubrzava širenje svemira, iako bi se svemir trebao smanjivati zbog gravitacijskog privlačenja masa. Sličan je fenomen u atomskom oblaku stvorenom u istraživačkom laboratoriju u Münchenu. Pokus se zasniva na činjenici da se atomi u plinu ne odbijaju kao u uobičajenim plinovima, nego se privlače. To znači da atomi stvaraju negativan umjesto pozitivan tlak. Kao posljedica toga atomski bi se oblak stisnuo i konačno bi došlo do raspada, kao što bi se dogodilo svemiru zbog djelovanja gravitacije. Ali zbog negativne apsolutne temperature to se ne događa; plin, kao i svemir, ne doživljava kolaps.