

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 11 (1983/1984)

Številka 1

Strani 34-39

Janez Strnad:

O MERJENJU TEMPERATURE IN TERMOMETRIH: Iz zgodovine fizike

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/11/639-Strnad.pdf>

© 1983 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.



O MERJENJU TEMPERATURE IN TERMOMETRIH

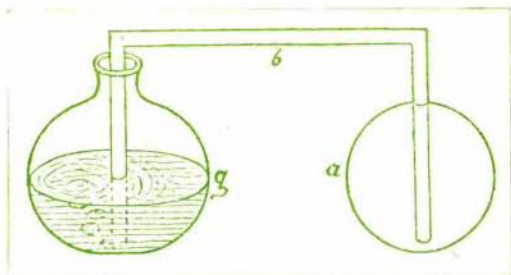
Iz zgodovine fizike

Dandanes nimamo težav, ko želimo v vsakdanjem življenju izmeriti temperaturo: stopimo v trgovino in kupimo termometer. Nekdaj pa ni bilo tako. Zanimivo si je ogledati, kako so zgradili prve termometre in vpeljali pojem temperature. To je dobrodošel zgled, ki pokaže, kako je razvoj fizike pogosto neločljivo povezan z razvojem merilne tehnike. Prve termometre so sestavili tedanji fiziki v svojih laboratorijih in preteči je moralo precej časa, preden so prevzele njihovo izdelavo tovarne. Enako se je godilo tudi drugim merilnim napravam v fiziki.

Dolgo časa so se ljudje zadovoljevali s površnim opisom občutka, da je neko telo bolj toplo kot drugo. Lahko so si celo sestavili nekakšno približno lestvico, v katero so razvrstili telesa glede na občutek, katero je bolj toplo. Mlačna voda je toplejša kot voda, v kateri plava led, vrela voda toplejša kot mlačna, ogenj toplejši kot vrela voda. Vendar nas občutek lahko vara.

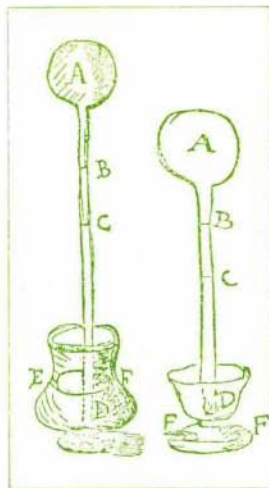
Ko so ljudje začeli podrobneje opazovati naravo in raziskovati povezave med pojavi, se niso mogli več zadovoljiti s tako približno lestvico. Med prvimi, ki si je prizadeval z merjenjem ugotoviti, kako toplo je kaj, je bil Galileo Galilei (okoli leta 1592). Ni presenetljivo, da se je tudi prvi pravi fizik ukvarjal s to zadevo (seveda je imel že predhodnike) (sl. 1). Galilei je stekleno posodo z ozko cevko z zrakom segrel in potopil cevko v vodo. Voda v cevki se je dvignila, ko se je zrak ohladil (sl. 2). Poslej je gladina kazala, kako topel je zrak v cevki: čim bolj se je segrel, tem nižje se je spustila. Pozneje je Galilei zavil cevko navzgor.

Galilei je lahko s svojim *termoskopom* primerjal, katero od dveh teles je toplejša, ne da bi se mu bilo treba sklicevati na občutke (sl. 3). Pri tem je izkoriščal lastnost zraka, da se mu poveča prostornina, ko ga segrejemo. To pa velja le, če se zunanji zračni tlak ne spremeni. Vi-



Sl. 1: Termoskop Filoña iz Bizanca iz 3. stoletja pred našim štetjem. Zrak v svinčeni posodi a se raztegne, ko ga segrejemo, in iz cevi b uhajajo skozi vodo v posodi g mehurčki.

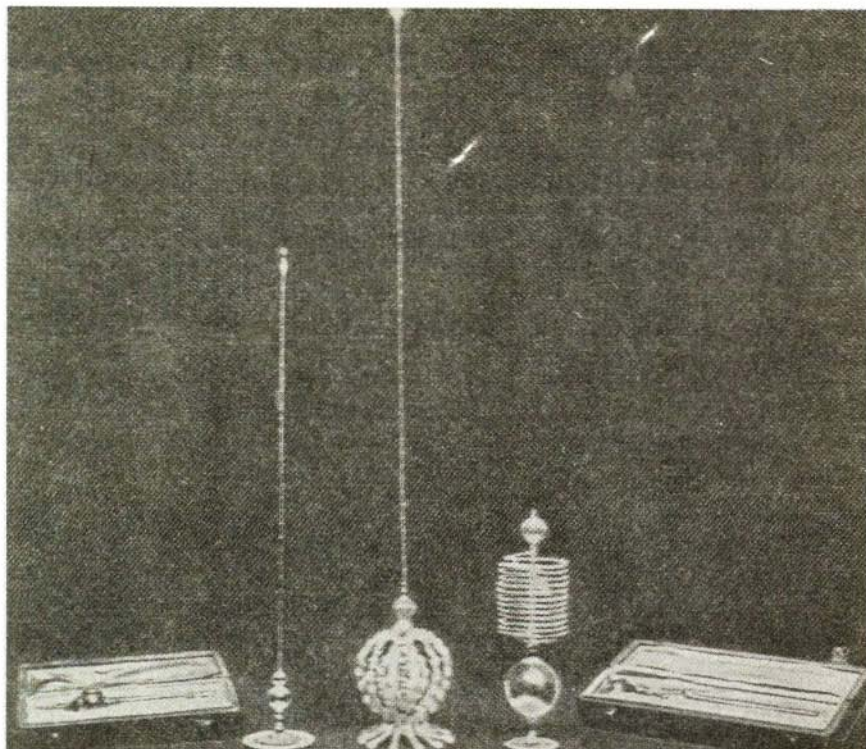
Sl. 2: Risba Galilejevega termoskopa iz Galilejevih zbranih del.



šina vodne gladine v termoskopu je torej odvisna od zunanjega zračnega tlaka, za katerega vemo, da se spreminja z vremenom. Kaže, da se Galilei te pomanjkljivosti ni zavedal.

Galilejevo delo so nadaljevali njegovi učenci in drugi člani *Akademije poskusov (Accademia del Cimento)*, ki jo je osnoval v Firenci (današnje Firencah) Leopold Medici leta 1657. Z njo sta sodelovala tudi Evangelista Torricelli, ki je prvi izmeril "težo zraka" ali po naše zračni tlak, in Leopoldov brat toskanski nadvojvoda Ferdinand II. Namesto zraka so uporabili alkohol ("špirit"). Steklena bučko, ki se je nadaljevala v navpično cevko s konstantnim presekom, so napolnili z alkoholom in jo segreli, da se je gladina dvignila čim više. Nato so cevko zatalili, tako da ni ostalo v njej nič zraka. Ko se je naprava ohladila, se je gladina znižala, nad njo pa je ostal "prazen prostor" z alkoholnimi parami. Taka naprava je izkoriščala lastnost alkohola, da se mu poveča prostornina, ko ga segrejemo. (Pravzaprav bi morali reči: da se mu poveča prostornina bolj kot steklu. Če bi se namreč alkoholu in steklu ob segrevanju prostornina enako povečala, bi bila gladina ves čas na istem mestu.) Sprememba gladine je tem bolj opazna, čim večja je posodica z alkoholom in čim manjši je presek cevi. Podobne termometre z obarvanim alkoholom uporabljamo tu in tam še dandanes.

Nekateri pripisujejo levji delež zaslug Torricelliju, drugi Ferdinandu (že okoli leta 1650), zopet drugi pa akademiji kot celoti. Dejstvo je, da so se *florentinski termometri* (sl. 4) v 17. stoletju razširili po vsej Evropi.



Sl. 4: Termometri *Akademije poskusov* na alkohol, ki so v 17. stoletju postali znameniti kot *florentinski termometri*.

Opisano napravo so morali še umeriti, preden so jo lahko uporabili kot pravi *termometer*. Po daljši negotovosti so uvideli, da je treba predpisati dve stanji pri dveh različnih legah gladine; eno samo stanje ne zadostuje. Zaznamovali so torej lego gladine v prvem stanju in ji pripisali neko temperaturo, lego gladine v drugem stanju in ji pripisali drugo temperaturo, razdaljo med obema legama pa razdelili na določeno število enakih enot. Za temperaturno enoto se je udomačilo ime *stopinja*. Ime izvira od podobnosti s kotno stopinjo, ker je nekdo razdelil temperaturni interval na 360 stopinj, ali pa od stopnje. Glede temperature prvega in drugega izhodiščnega stanja in števila stopinj med obema je skoraj vsak izdelovalec termometrov ponujal svoj predpis. Omenimo le, da je Isaac Newton predlagal za izhodišči ledišče in normalno človeško temperaturo.

Veliko izboljšavo je dosegel Daniel Fahrenheit, ki je pribežal iz Nemčije na Nizozemsko in je slovel kot izdelovalec meteoroloških instrumentov. V Kopenhagnu je obiskal Olafa Roemerja, ki se je tudi ukvarjal z alkoholnimi termometri (pozneje je kot prvi določil hitrost svetlobe). Fahrenheitu pa se alkohol s svojim sorazmerno nizkim vreliščem ni zdel primeren in ga je nadomestil z živim srebrom. Leta 1714 mu je uspelo najti način čiščenja, saj se je neprečiščeno živo srebro lepilo na steno cevke in ni bilo za rabo. Ni maral, da bi morali meteorologi uporabljati negativne temperature, zato je izbral – enako kot Roemer – temperaturo, pri kateri sta v ravnovesju led in vodna raztopina kuhinjske soli. Kot drugo je izbral – enako kot Newton – normalno človeško temperaturo. Prvi je priredil 0 stopinj ($^{\circ}\text{F}$), drugi pa 96 stopinj. Tako je dosegel dovolj drobno razdelitev, 96 pa je izbral najbrž zaradi tega, ker je deljivo z 2, 3, 4, 6, 8 in 12.

Fahrenheitova lestvica se je hitro razširila po vseh angleško govorečih deželah in jo pogosto uporabljajo še danes, le da je določena malo drugače kot nekdanj: 32°F ustreza ledišču 212°F pa vrelišču vode pri navadnem tlaku, tako da je normalna človeška temperatura $98,6^{\circ}\text{F}$ in ne 96° . (Ta podatek pride prav pri gledanju ameriških filmov.) Pri nas se Fahrenheitova lestvica ni udomačila. Živosrebrne termometre pa uporabljajo vsi. Živo srebro ima namreč pred alkoholom to prednost, da se razširja ob segrevanju bolj enakomerno.

Kdo bi si mislil, da poznamo danes astronoma Andersa Celsiusa (Celzija) le po njegovi lestvici za živosrebrni termometer. Leta 1742 je priredil vrelišču vode 0 stopinj in ledišču 100 stopinj. V tem je sledil predlogu člana Akademije poskusov Carla Rinaldinija iz leta 1694. Naslednje leto pa se je Celzij premislil in stvar zasukal tako, kot jo poznamo še danes. Zato ima velike zasluge njegov astronomski tovariš Martin Strömer. Mednarodni odbor za uteži in mere je leta 1948 potrdil *stopinja Celzija* ($^{\circ}\text{C}$) kot enoto za temperaturo in imenoval lestvico po Celziju. Lestvico uporabljamo v vsakdanjem življenju in pogosto tudi v naravoslovju še dandanes. Naš zakon o merskih enotah in merilih iz leta 1976 to dopušča, čeprav predpisuje drugo lestvico za temperaturo.

Tudi zgodba o poti do te lestvice je zanimiva. Guillaume Amontons je razvil Galilejev termoskop v drugo smer. Cevko je zaprl z živim srebrom in poskrbel, da se je gladina živega srebra vrnila v prvotno lego, potem ko je zrak segrel. To je dosegel z dvigovanjem posode z živim srebrom. Čim bolj je segrel zrak, tem večja je bila višinska razlika med gladinama živega srebra v posodi in v cevki. Temperaturo je torej določil preko tlaka. Njegova naprava je bila prednica *plinskega termome-*

tra s konstantno prostornino. (Galilejev termoskop pa je bil prednik plinskega termometra pri konstantnem tlaku.) Amontons je prvi ugotovil, da vrejo kapljevine pri danem tlaku vedno pri enaki temperaturi. Šele po tem odkritju je bilo mogoče uporabiti kot izhodišče vrelišče vode pri navadnem tlaku.

Amontons je tudi raziskoval zvezo med prostornino plina in njegovo temperaturo. Dokopal se je do spoznanja, da je pri konstantnem tlaku sprememba prostornine zraka sorazmerna s spremembo temperature. Naj tej osnovi je razvil predstavo o "absolutnem mrazu", pri katerem se plin ne more več krčiti. Svoje izsledke je objavil leta 1696, a so ostali sto let neopaženi.

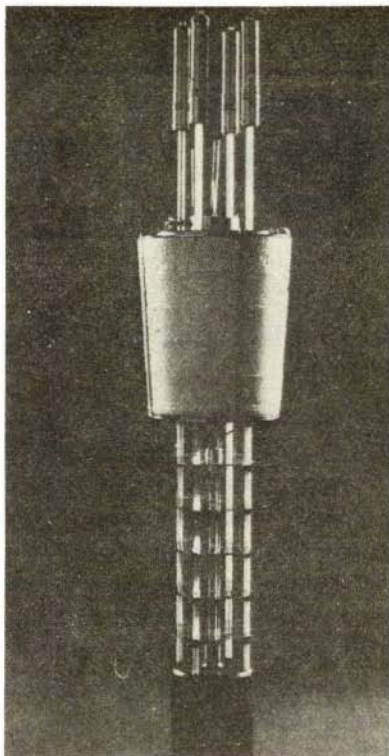
Mimogrede omenimo Reneja de Reaumurja, ki je poskušal izboljšati Amontonsov termometer. Potem pa je zavrgel plinski termometer in uporabil kapljevine z mešanico vode in alkohola (v razmerju 1 : 5). Njegova mešanica je imela pri ledišču in pri vrelišču prostornini v razmerju 1000 : 1080, zato je uvedel lestvico z 80 stopinjami (^oR). Nekateri starejši ljudje se še spominjajo termometrov, na katerih je bila poleg Celzijeve in Fahrenheiteve lestvice navedena še Reaumurjeva.

Jacques Alexandre Charles je prišel sto let po Amontonsu do enakih spoznanj, ne da bi vedel za njegovo delo. Trdil je, da postane pri dovolj nizki temperaturi prostornina plina enaka nič, in je po tem sklepal, da v naravi ne more biti nižjih temperatur. Charles svojih izsledkov ni objavil, pač pa je o podobnih poskusih poročal Joseph Louis Gay-Lussac. Leta 1802 se je prepričal, da je za različne pline sprememba prostornine sorazmerna s spremembo temperature. Vsi bi imeli prostornino enako nič pri isti temperaturi.

Charlesove izide je leta 1848 proučeval William Thomson (lord Kelvin). Za razliko od Charlesa je menil, da ne postane prostornina plinov pri dovolj nizki temperaturi enaka nič, ampak da se pri tej temperaturi prenehajo gibati molekule. Predlagal je *absolutno (Kelvinovo) lestvico*, ki je v veljavi danes. V tej lestvici priredimo ravnovesnemu stanju ledu, kapljevine vode in vodne pare temperaturo 273,16 K. (Razmerje temperatur je določeno termodinamično (Presek X, 1. števil., str. 31).) S tem dosežemo, da je 1 kelvin enako velik kot stopinja Celzija. *Absolutni ničli* 0 K ustreza - 273,15 (ali približno - 273) stopinj Celzija, ledišču pa 273,15 K (ali približno 273 K). Absolutne ničle ni mogoče doseči, lahko se ji le poljubno približamo.

Iz zgodbe se lahko marsičesa naučimo. Dokler niso izdelali prvega zanesljivega termometra, sploh ni bilo mogoče vpeljati temperature. Izhodiščni stanji je bilo treba izbrati, kakor je najbolje ustrezalo potrebam. Najboljši je najpreprostejši predpis. Množica lestvic, ki so jih predlagali v

Sl. 5: Sodobni plinski termometer s konstantno prostornino v ameriškem državnem uradu za standarde. Na dnu slike je steklena posoda, ki jo obdaja posoda iz kovine, da se zares ne spremeni njena prostornina, ko se poveča tlak plina. S plinskim termometrom je določena temperaturna lestvica med 5 K in 1337 K (tališčem zlata pri navadnem na tisočinko kelvina natančno. Slika je iz članka L.A.Guilderja, The measurement of thermodynamic temperature, *Physic Today*, december 1982.



18. stoletju, ne pomeni, da so tedanji fiziki ravnali nepremišljeno. Enako kot današnji so si prizadevali dobiti notranje usklajeno sliko o svetu, le da so razpolagali z manj podatki. Prav zato, ker spočetka niso vedeli, da se pri danem tlaku kapljevina strdi vedno pri enaki temperaturi in vedno pri enaki temperaturi vre, so se odločali za izbire, ki se danes zdijo nenavadne. Seveda je bolje uporabiti plinski termometer kot kapljevinski, ker pri plinskem rezultati niso odvisni od kemijske sestave merilne snovi. Vendar je bila v vmesnem času uporaba kapljevinskih termometrov utemeljena, ker še niso vedeli, da se vsi plini obnašajo podobno in ker so kapljevinski termometri priročni.

Današnja definicija temperature krona delo iz preteklih stoletij. Seveda pa fiziki tudi dandanes niso brez skrbi, ko gre za merjenje zelo visokih in zelo nizkih temperatur in ko si prizadevajo, da bi čim natančneje merili temperaturo.

Janez Strnad