

LETNIK 26. — ŠTEVILKA 3
OBZORNIK ZA MATEMATIKO IN FIZIKO
LJUBLJANA, MAJ 1979

Glavni in odgovorni urednik: Janez Strnad.

Uredniški odbor: France Avsec, gimnazija Kranj; Robert Blinc, FNT; Alojz Kodre, FNT; France Kvaternik, tehniška šola za lesarstvo, Ljubljana; Peter Legiša, FNT; Jože Lep, VTŠ, Maribor; Anton Moljk, FNT; Mitja Rosina, FNT; Tomaž Skulj, Iskra, Ljubljana; Janez Strnad (urednik za fiziko), FNT; Anton Suhadolc (urednik za matematiko), FNT; Ciril Velkovrh (urednik), FNT; Ivan Vidav, FNT; jezikovni pregled Marija Janežič, inštitut za slovenski jezik SAZU. Slike je narisal Marjan Turk.

Naročnina: za posameznike 200.— din (za člane društva je že vračunana člana-rina), za dijake in študente 100.— din, za ustanove in podjetja 250.— din, za tujino 18 \$ = 324.— din, posamezna številka 40.— din, dvojna številka 80.— din.

Dopise pošiljajte in list naročajte na naslov: **Komisija za tisk DMFA SRS**, 61001 Ljubljana, Jadranska c. 19, p.p. 227, tel. št. 265-061/53, žiro račun 50101-678-48363, devizni račun pri Ljubljanski banki 32009-007-900.

STO LET STEFANOVEGA ZAKONA

JANEZ STRNAD

UDK 535.23

Članek daje ob stoletnici Stefanovega zakona kratek prerez skozi zgodovino zakona o sevanju. Najprej omeni Dulongov in Petitov zakon o sevanju. Nato obdela znameniti Stefanov članek o zvezi med toplotnim sevanjem in temperaturo. Sledi Boltzmannova izpeljava Stefanovega zakona v okviru termodinamike. Dodatka vsebujeta osnovne enačbe, ki zadevajo Newtonov zakon o ohlajanju, Dulongov in Petitov zakon in Stefanov zakon, ter računa

svoj zakon o ohlajanju in ki je prvi dosledno razločeval vse tri načine za prehajanje toplote. Toda njegovo delo je ostalo skoraj popolnoma neopaženo.

Drugačno usodo je doživelo delo P. L. Dulonga in A. T. Petita iz leta 1817. Zanj sta dobila nagrado francoske akademije znanosti in njun zakon o ohlajanju je ostal v veljavi skoraj do konca stoletja. Živosrebrni termometer, ki je imel bučko s premerom 6 cm, sta segrela do temperature med 0 °C in 280 °C. Nato sta dala bučko na sredo okrogle bakrene posode s premerom 30 cm in s konstantno temperaturo 0 ° ali 20 °C ter merila hitrost spreminjanja temperature bučke. Pri nekaterih poskusih je bila bučka neobdelana, pri drugih pa posrebrena, pozlačena ali prevlečena s sajami.

majhna, tako da je bilo prehajanje toplote s sevanjem zanemarljivo, in plast zraka je bila tako tanka, da ni bilo zaznavne konvekcije.

Pri 0 °C je dobil na primer za vodik toplotno prevodnost 0,188 W/mK in za zrak 0,0234 W/mK* [3]. Danes navajamo zanju 0,168 W/mK in 0,0241 W/mK. Kot vidimo, je dosegel Stefan pri merjenju za tiste čase zavidljivo natančnost. Pomembno je, da se je Stefan neposredno z merjenjem pri tlakih med 2 baroma in 5 mb prepričal o pravilnosti teoretične napovedi, da toplotna prevodnost razredčenega plina ni odvisna od tlaka. (To velja, dokler povprečna prosta pot ne postane večja od debeline plasti.)

Stefanova mer

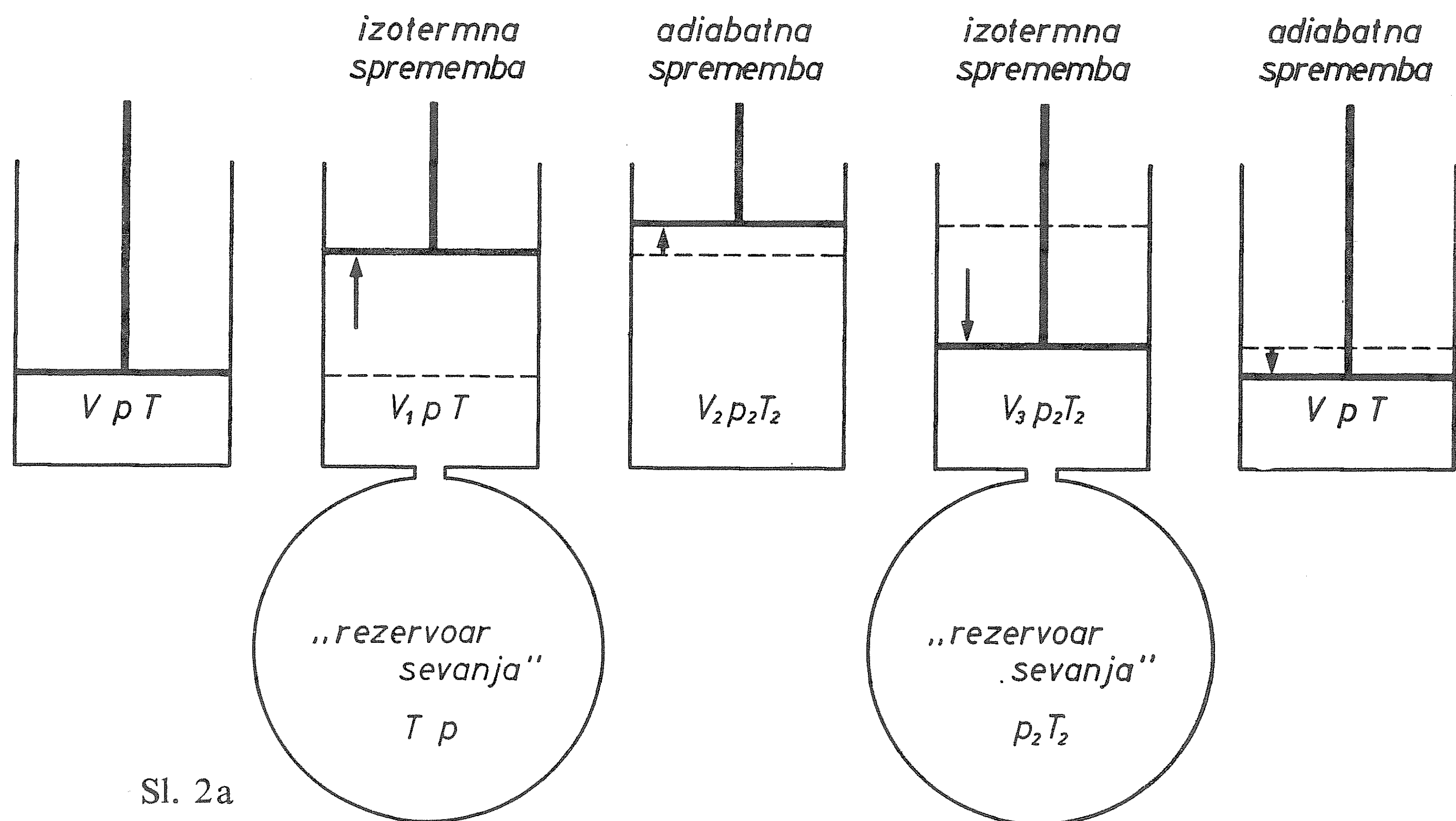
Kaže, da so Stefana napeljala na novi zakon Tyndallova merjenja iz leta 1864. Zanje je zvedel iz učbenika fizike A. Wüllnerja, ta pa je dobil podatke iz prevoda Tyndallovega članka v berlinski reviji *Annalen der Physik*. Tyndall je meril s platinsko nitko. Temperaturo nitke je uravnaval s spreminjanjem električnega toka po nitki. Del sevanja je zajel z optično prizmo, ki ga je razklonila na spektralne sestavine. V infrardeče območje tega spektra je postavil baterijo počrnjenih termoelementov in jo priključil na občutljiv galvanometer. Tok, ki ga je pokazal galvanometer, je določal gostoto energijskega toka v izbranem sevanju. Tyndall temperature nitke ni posebej meril, navedel je samo barvo nitke.

Stefan je prev

Stefan je po tem ocenil temperaturo sončnega površja na 5600 K do 5800 K ali na 5300 °C do 5500 °C. To je samo malo nižje od današnje ocene. Stefan je bil prvi, ki mu je uspelo tako dobro oceniti temperaturo sončnega površja. Prej so navajali od 1760 °C (Pouillet 1838) do 10 000 do 20 000 °C (F. Rossetti 1878) ali celo 13 milijonov °C (J. Waterston 1861). Prvi podatek je dobil Pouillet z Dulongovim in Petitovim zakonom. Prav ta podatek je zbudil Stefanov sum v veljavnost Dulongovega in Petitovega zakona pri visokih temperaturah.

Vendar prednost Stefanovega zakona za tiste čase ni bila prepričljiva. Zakon so imeli pač za enega izmed zakonov, ki na izbranem temperaturnem območju bolj ali manj zanesljivo opišejo eksperimentalne ugotovitve o sevanju. V naslednjih petih letih je Stefanov zakon v svojih objavah sprejelo pet fizikov, štirje zanj niso vedeli, eden pa ga je s poudarkom odklonil [1].

Razmere so se spremenile, ko je leta 1884 Stefanov učenec Ludwig Boltzmann teoretično izpeljal Stefanov zakon [5]. Zamislil si je toplotni stroj, ki je namesto plina uporabljal svetlobo. Tudi svetloba namreč izvaja na steno posode tlak. O svetlobnem tlaku so razpravljali že od 17. stoletja. Prvič ga je



ocenil leta 1852 lord Kelvin in menil, da je treba pri spreminjanju svetlobne energije v delo poseči po Carnotovem prijemu. J. C. Maxwell je izračunal tlak vzporednega curka elektromagnetnega valovanja in ugotovil, da je pri pravokotnem vpadu na absorbirajočo oviro enak gostoti energije v elektromagnetnem valovanju. O tem tlaku je razpravljal tudi Adolfo Bartoli leta 1876. Boltzmann, ki so ga opozorili na Bartolijevo delo, je o delu poročal in se še sam prepričal, da zahteva entropijski zakon obstoj svetlobnega tlaka. Ugotovil je, da velja za elektromagnetno valovanje v votlini s popolnoma odbojnimi stenami (Dodatek 2):

$$j = \frac{1}{4} cw \quad p = \frac{1$$

V njem so videli veljaven splošen zakon, ki pa se ne nanaša na sevanje kakega resničnega svetila. Tako so v naslednjih letih poročali o merjenjih, ki se niso ujemala z njim. Nekateri so se celo še vedno sklicevali na Dulongov in Petitov zakon. Drugi so predlagali nove zakone o sevanju. Tako stanje je trajalo vse do leta 1895. Tedaj so dokončno uvideli, da velja Stefanov zakon za sevanje posebnega svetila — *črnega telesa*, ki absorbira vse vpadlo valovanje.

Posrečilo se je namreč izdelati dober model za črno telo. V počrtnjeno votlino v kosu kovine, na primer platine, so naredili majhno odprtino. Sevanje, ki je izhajalo iz nje, ko so kovinski kos segreli, je imelo lastnosti *se*

DODATEK 1

Newtonov zakon o ohlajanju. S segretega telesa naj pri konstantnem tlaku teče toplotni tok P v okolico. Naj bo ta tok sorazmeren z razliko med temperaturo telesa T in temperaturo okolice T_0 , torej $P = \Lambda S(T - T_0)$. Tu je Λ koeficient prehajanja toplote in S površina telesa. Taka enačba velja za prevajanje toplote po trdni snovi in pogosto tudi za prevajanje in konvekcijo po tekočinah. Sevanja pa ne sme biti. Prehajanje toplote s sevanjem je na primer zanemarljivo v primeri s prevajanjem in konvekcijo, če je temperaturna razlika zelo majhna.

Toplotni tok

EINSTEIN IN PLANCKOV ZAKON

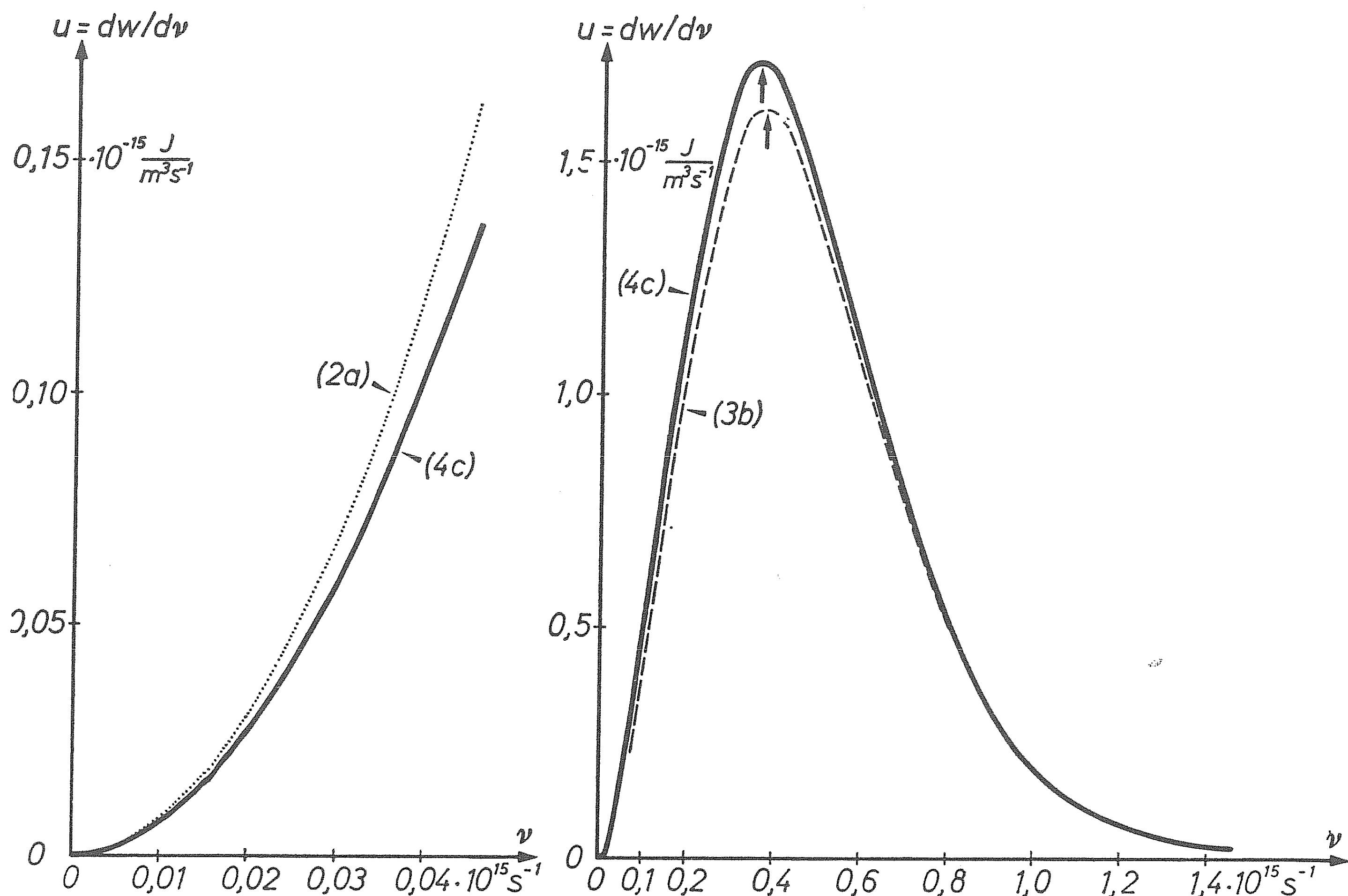
JANEZ STRNAD

UDK 535.233.24(091)

Članek obravnava Planckov zakon o sevanju črnega telesa in Einsteinova odkritja, ki so zrasla iz njega. Tako v počastitev stoletnice Einsteinovega rojstva razgrinja pred bralcem razvoj dela fizike, ki je pomemben za sodobno fiziko. Podrobneje obdela pot do Planckovega zakona in Einsteinove teoretične dosežke v zvezi s fotoefektom, specifično toploto trdnin, stimuliranim se

si mislimo, da ustreza vsakemu lastnemu nihanju eno premo sinusno nihalo, ki ima potencialno (prožnostno) in kinetično energijo. Tako odpade na eno lastno nihanje v povprečju energija $2 \cdot \frac{1}{2}kT = kT$. Vzemimo zdaj, da stene votline niso idealno odbojne, ampak neznatno absorbirajo, ali da so stene idealno odbojne, pa je v votlini droben kos oglja s temperaturo kovine. Po dovolj dolgem času se vzpostavi ravnovesje med sevanjem v votlini in kovinskim telesom s temperaturo T . V tem primeru dobimo gostoto energije na frekvenčnem intervalu med ν in $\nu + d\nu$, ko pomnožimo gostoto lastnih nihanj na tem intervalu (2) s kT :

Planck ni poznal Rayleighovega dela iz leta 1900 ali mu vsaj ni posvetil nobene pozornosti. Rayleigh sam je leta 1905 opazil, da preide izraz (4 a) za majhne kvociente $\beta\nu/T$, ko je $e^{\beta\nu/T} = 1 + \beta\nu/T + \dots$ v (2 a), če postavimo $\alpha/\beta = 8\pi k/c^3$. Pravzaprav je navedel Rayleigh osemkrat preveliko gostoto lastnih nihanj. Še istega leta je James Jeans opozoril na napako. Rayleigh je namreč upošteval vso prostornino krogelne lupine v prostoru $n_x n_y n_z$ in ne samo njene osmine. Odtistihmal je enačba (2 a) znana kot *Rayleigh-Jeansov približek* (sl. 1).



korak v ničemer ne vpliva na končni rezultat. Energijo nihala sestavljata kinetična energija uteži $\frac{1}{2}m_1v^2 = \frac{1}{2}p^2/m_1$ in prožnostna energija vzmeti $\frac{1}{2}Kq^2$. Pri tem je $p = m_1v$ gibalna količina uteži z maso m_1 , q odmik od ravnovesne lege in K koeficient vzmeti. Lastna frekvenca nihala je $\nu = (K/m_1)^{1/2}/2\pi$. Zamislimo si koordinatni sistem, v katerem nanašamo na ordinatno os gibalno količino p in na abscisno os odmik q . Nihanju nihala z izbrano energijo $W = \frac{1}{2}p^2/m_1 + \frac{1}{2}Kq^2$ ustreza elipsa. Njeno navpično polos določa največja gibalna količina $p_0 = (2m_1W)^$

Upravni odbor Društva matematikov, fizikov in astronomov SR Slovenije vabi
na **POSVETOVANJE »ENERGIJSKI PROBLEM V POUKU FIZIKE«** ter na
31. OBČNI ZBOR DRUŠTVA, ki bo 26. in 27. oktobra 1979 v Velenju

Spored

Petek, 26. 10. 1979

- 12.00 in dalje Prijave v recepciji hotela Paka
 Tu boste dobili Bilten občnega zbora
- 15.00 Ogledi po želji:
 - Rudnik lignita Velenje — zunanji obrati
 - Termoelektrarna Šo