

**Tomislav Petković**Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, HR-10000 Zagreb  
tomislav.petkovic@fer.hr**Blanušine transformacije za toplinu i temperaturu  
u relativističkoj termodinamici i njegovo dopisivanje s  
W. Paulijem 1948. godine****Sažetak**

*Danilo Blanuša (7. 12. 1903. – 8. 08. 1987.) jedan je od najvećih hrvatskih matematičara i fizičara 20. stoljeća. U fizici se njegovi znanstveni doprinosi odnose na proširenje specijalne teorije relativnosti u fenomenološku termodinamiku. Blanuša je 1947. godine izveo transformacijske formule za količinu topline i temperaturu, koje su bile drukčije od onih što su ih 1907. izveli Planck i Einstein. W. Pauli je u svoju poznatu knjigu o teoriji relativnosti (1921.) uvrstio Planck–Einsteinove formule, smatrajući ih neprijepornima. Iz poštovanja prema Paulijevu djelu i ulozi u fizici, Blanuša piše 15. 03. 1948. pismo Pauliju te 1. 06. 1948. P. Urbanu u Grazu, svome prijatelju iz studentskih dana. U pismima Blanuša detaljno tumači i*

*argumentira svoje transformacijske formule:  $Q = \frac{Q_0}{\alpha}$  i  $T = \frac{T_0}{\alpha}$ , gdje je  $\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ,  $Q_0$  i*

*$T_0$  odnosno  $Q$  i  $T$  su, redom, toplina i temperatura u sustavu u mirovanju, odnosno u gibajućemu sustavu. Blanuša je formule izveo polazeći od jednostavne fizikalne slike i Lorentzovih transformacija, ukazujući i na pojmovne proturječnosti u Planckovu izvodu. Pretpostavljajući Paulijevu naklonost Planckovu izvodu zbog suglasja toga izvoda s radovima Einsteina i Minkowskog, Blanuša je u pismu Pauliju svoje transformacijske formule dokazao i pomoću Blanušinog tenzora  $B_{ik}$  termodinamičkih veličina za strujanje (konvekciju) topline. Blanuša je referirao ili objavio svoje formule u više navrata (1947., 1949., 1951.) u hrvatskim i jugoslavenskim časopisima, ali ne i u svjetskim časopisima iz fizike toga vremena. Iste se formule pripisuju H. Ottu (Zeitschrift für Physik 175, (1963) 70–104) koji ih je izveo i detaljno obrazložio u relativističkome formalizmu. U Ottovu radu se Blanušino otkriće otprije 16 godina ne spominje. Također niti u radu H. Arzeliša (Nuovo Cimento 35, (1965) 792–804). Zanimljivu konceptualnu reinterpretaciju Blanušinog izvoda u novije vrijeme dali su I. Derado i E. Ferrari (FIZIKA A (Zagreb) 8 (1999) 4, 223–228). Blanušina je motivacija u pismu Pauliju bila isključivo znanstvena istina, a napose želja da De Broglie u svoj novi projekt valno-mehaničke teorije termodinamike toga vremena ugradi Blanušine, a ne Planckove formule. O znanstvenome dopisivanju između Blanuše i Paulija na temelju istraživanja izvornih dokumenata, autor ovog rada je hrvatsku javnost obavijestio u predavanju u HAZU (29. 05. 2003.) i na FER-u (1. 07. 2003.) u povodu 100. obljetnice Blanušinog rođenja, a svijet u referatu na 22. svjetskome kongresu o povijesti znanosti u Pekingu (22nd ICHS, 24.–30. 07. 2005.). U članku referiranom na Cresu, povodom 100. obljetnice Einsteinove Specijalne teorije relativnosti, znanstvene činjenice i filozofski argumenti dokazuju da D. Blanuši pripada povijesno mjesto prvog otkrivača točnih transformacijskih formula za toplinu i temperaturu u relativističkoj termodinamici.*

**Ključne riječi**

relativistička termodinamika, transformacijske formule za toplinu i temperaturu, Danilo Blanuša, Blanušine formule, Wolfgang Pauli, Heinrich Ott, Henri Arzeliès, Blanušina odgovornost znanstvenika

## 1. Uvod: Blanušino djelo i život na razmeđu matematike, fizike i elektrotehnike

U ovome članku pokazujemo Blanušin pristup, poimanje i njegove priloge teoriji relativnosti. U hrvatskoj i svjetskoj povijesti znanosti poznati su, uglavnom, Blanušini doprinosi u matematici i fizici. Međutim, nisu još potpuno istraženi i vrednovani, onoliko koliko zaslužuju. U fizici su oni povezani s Einsteinovom Specijalnom teorijom relativnosti, napose kroz Blanušine transformacije za toplinu i temperaturu u relativističkoj termodinamici. U matematici je Blanuša dao značajne priloge u teoriji specijalnih funkcija (Besselove funkcije), u izometričkim smještenjima hiperboličkih u euklidske prostore (diferencijalna geometrija), te u teoriji grafova poznatim Blanušinim grafom.

Blanuša je jedan od najvećih hrvatskih matematičara i fizičara 20. stoljeća koji je živio i stvarao u svojoj domovini. Blanušin znanstveni put i njegova metoda na tome putu, znanstveno se mogu predočiti kao konstruktivna interferencija s Einsteinovom teorijom relativnosti na jednoj i Platonovom filozofijom geometrije na drugoj strani. Znanstvenik Blanuša je vlastitim znanstvenim djelom i pedagoškim radom u matematici i fizici višestruko oplodio najstariji princip Platonove akademije, što ga je i sam dao uklesati iznad vrata Zavoda za primijenjenu matematiku ETF-a (FER-a) u kojem je proveo čitav svoj radni vijek: *MHAEIS AΓEΩMETPHTOS EISITΩ* (*Neuk u geometriji neka ne ulazi*). Svoja poznata predavanja iz matematike i matematičke fizike na ETF-u i PMF-u, Blanuša je ovjekovječio u kapitalnome četverotomnome djelu *Više matematike* (Tehnička knjiga Zagreb 1963–1974.). Blanuša je, osim toga, poznat po popularnim javnim predavanjima i prikazima teorije relativnosti za studente i građanstvo, kojima je više nego itko od njegovih suvremenika tumačio jednostavnost i harmoniju osnovnih teorija prirode i kompliciranih matematičkih formulacija u njima.

Danilo Blanuša nije, nažalost, ostavio autobiografske zabilješke (*Autobiographisches*) poput A. Einsteina koji ih je napisao u 67. godini svog života. Blanuša je, ipak, ostavio *Pisma* W. Pauliju, kojima se u horizontu povijesti i filozofije znanosti bavimo u ovome članku.

Blanušine doprinose teoriji relativnosti u okviru povijesti znanosti prvi je znanstveno pokušao obraditi V. Devidé u Spomenici HAZU (1989) posvećenoj D. Blanuši ubrzo nakon njegove smrti [1].\* Devidé je u hrvatskoj povijesti znanosti i kulturi među prvima upozorio da se otkrića transformacijskih formula za toplinu i temperaturu u poznatim udžbenicima iz termodinamike neopravdano pripisuju H. Ottu, koji je do istih otkrića došao 16 godina kasnije od Blanuše.<sup>1</sup> Njemački fizičar Heinrich Ott, jedan od poznatih Sommerfeldovih učenika, otkrio je i objavio identične formule za transformaciju topline i temperature u relativističkoj termodinamici, ne poznavajući i ne navodeći Blanušine rezultate. Taj izvrsni rad o Lorentzovoj transformaciji topline i temperature objavljen je 1963. u *Zeitschrift für Physik*<sup>2</sup> posmrtno (H. Ott je umro 26. studenoga 1962.). Lorentzove transformacije za toplinu i temperaturu ( $dQ$  i  $T$  se povezuju s pripadajućim veličinama  $dQ^0$  i  $T^0$  u njihovu vlastitom sustavu mirovanja) u Ottovu se radu, uz klasične aksiome termodinamike, zasnivaju na dva glavna stava [2]. Prvi ukazuje da se u radu jednadžbe gibanja odnose na tijela promjenljive mase mirovanja, a drugi upozorava da se umnožak brzine vođenja (strujanja) i Lorentzove sile u sudaru (dodiru) tijela odnosi samo na povećanje mehaničke energije tijela, a ne struju topline. Suvremeno stanje relativističke termodinamike, Ott je započeo kritikom mehaničko-termodinamičkog dokaza M. von Lauevog izvoda za transformaciju topline, što je po-

novno dovelo do krive relacije poput Planckovog ili Einsteinovog izvoda. Potom je Ott u članku relativistički detaljno izveo stvaranje topline u neelastičnim sudarima, strujanje topline u proizvoljnim relativnim sustavima, zatim vođenje topline u relativističkome formalizmu u skladu sa zakonom očuvanja energije i 1. glavnim zakonom termodinamike, do jednoznačnog tumačenja transformacijskih formula za toplinu i temperaturu s prikazom jednostavnih primjera. Ottove formulacije i stil izvođenja podsjećaju na Blanušin stil razmišljanja i tehniku izvođenja, što se nipošto ne smije tumačiti oponašanjem ili preuzimanjem Blanušinih otkrića. Riječ je, ponajviše, o uglednoj njemačkoj školi fizike i matematike kojoj su pripadali i H. Ott i D. Blanuša.

Nedugo nakon H. Ottovog rada objavio je francuski fizičar H. Arzeliès u časopisu *Il Nuovo Cimento* [3] izvod transformacije temperature koji je doveo do iste formule kao i kod Blanuše i kod Otta. U članku su predložene relativističke formule za temperaturu i toplinu na novoj osnovi, koje do sada nisu bile prihvaćene. Relativistička transformacija temperature u članku je napose točno izvedena u vezi s drugim važnim pojmovima i pitanjima termodinamike.<sup>3</sup> Članak polazi od klasika relativističke fizike: von Laue, Pauli, Tolman, L. de Broglie, Møller. Potom su precizno izvedene relativističke relacije za transformaciju vanjskog rada pomoću tlaka u tijelu (tlak paralelan s brzinom gibanja i tlak normalan na brzinu gibanja), transformacija unutrašnje energije i količina topline, da bi u zaključnoj analizi pomoću entropije i invarijantnog oblika jednadžbe idealnog plina bila izvedena formula za transformaciju topline. Arzelièsov se rad zasniva na četverovektorima, karakterističnim termodinamičkim funkcijama sustava u gibanju, te primjedbama i kritičnim primjedbama u pogledu primjene otkrića novih relativističkih formula za temperaturu i toplinu u termodinamici.

Transformaciji temperature u relativističkoj termodinamici posvetili su, u naše vrijeme, zanimljiv kratki rad I. Derado i E. Ferrari [4], vodeći računa o povijesnoj perspektivi i slučaju doprinosa profesora D. Blanuše iz Zagreba. Međutim, oni idu i dalje u pokušaju reinterpretacije pojma temperature u relativističkoj termodinamici, poštujući poznati »duh relativnosti« (»the spirit of relativity«) koji striktno treba vladati između dviju točaka ili veličina u četverodimenzionalnom kontinuumu koje se povezuju Lorentzovim transformacijama svaka-prema-svako (one-to-one), za dva referentna sustava u jednolikom relativnom gibanju. Unatoč Blanušinom otkriću točne formule za transformaciju temperature 1947., te da su povijesne zasluge pripale H. Otta za njegove višestruke dokaze u duhu relativnosti 1963. za formule identične Blanušinim, Derado i Ferrari drže da se pitanje »Kako se temperatura povezuje Lorentzovom transformacijom?« pogrešno postavlja, jer *a priori* ne dovodi do jedinstvenog odgovora u spomenutom duhu relativnosti. U njihovu članku,<sup>4</sup> uz trivijalno rješenje, da se u današnjim relativističkim teško-ionskim sudari-

\* Brojke u uglatim zagradama odnose se na popis literature na kraju članka.

<sup>1</sup> Danilo Blanuša 1903.–1987., Spomenica preminulim akademikima, svezak 50, Razred za mat., fiz., kem. i tehničke znanosti, urednik izv. član V. Devidé, JAZU, Zagreb 1989.

<sup>2</sup> Heinrich Ott, »Lorentz-Transformation der Wärme und der Temperatur«, *Zeitschrift für Physik* 175 (1963), str. 70–104.

<sup>3</sup> Henri Arzeliès, »Transformation relativiste de la température et de quelques autres grandeurs thermodynamiques«, *Il Nuovo Cimento*, vol. XXXV, 3/1965, str. 792–804.

<sup>4</sup> Ivo Derado – E. Ferrari, »Temperature transformations in relativistic thermodynamics«, *FIZIKA A* (Zagreb) 8, 4/1999, str. 223–228.

ma, temperatura mjeri posredno pomoću transverzalnih razdioba količine gibanja, Derado i Ferrari svoje poglede o nejednoznačnom pojmu temperature u nekim važnim pitanjima fizike (npr. termodinamička temperatura tijela po Planckovu zakonu) potkrijepljuju dokazima R. Hagedorna, jednog od najuglednijih fizičara za primjene Lorentzovih transformacija u relativističkoj kinematici, te samog Einsteina koji je tumačio kako primjer »relativističkog povećanja mase« može dovesti do pogrešnih zaključaka ako se duh relativnosti ne poštuje (1948).

Želimo naglasiti da je poštivanje »duha relativnosti« i naš metodološki vodič u oblikovanju, suvremenom tumačenju i dokazivanju Blanušine ostavštine u relativističkoj termodinamici u ovome članku.

## 2. Blanušina metoda u relativnosti

Najvažniji izvori iz kojih je Blanuša izvodio svoj pristup teoriji relativnosti, uz Einsteinove radove u kojima je ona postavljena, bili su radovi i knjige najuglednijih fizičara u tome polju: W. Paulija, M. v. Lauea, H. Weyla, P. G. Bergmanna, M. Borna, S. Weinberga. Utjecaj Maxa Borna je izgleda bio najjači, a Blanuša je, kao uostalom i Einstein, naročito cijenio Bornov cjeloviti povijesni pristup razvoju fizike kao najbolji pristup u prikazu i ulozi teorije relativnosti u modernoj fizici [7]. Podloga je teoriji relativnosti nesumnjivo fizikalna i matematička. Geometriju i kozmologiju, temeljne zakone klasične mehanike, te Newtonov prirodni svjetski sustav, Born uzima za znanstvenu, prirodnofilozofsku i povijesnu podlogu Einsteinovoj teoriji relativnosti. Na takvu podlogu Born postavlja temeljne zakone optike i elektrodinamike, da bi iz takve cjeline Einsteinov stvaralački duh stvorio specijalnu i opću teoriju relativnosti. Takav pristup nije jednostavan, ali jamči razumijevanje i tumačenje teorije relativnosti, njezinih primjena u fizici čestica i kozmologiji, sve do neučinkovitih Einsteinovih pokušaja poopćavanja teorije relativnosti, u kojima bi uz gravitaciju i elektromagnetizam trebao izviriti iz geometrijskih svojstava kontinuuma prostorvremena. Blanušina metoda u relativnosti u velikoj mjeri počiva na Bornovoj metodi i pristupu.

U svijetu su napisane mnoge knjige o teoriji relativnosti iz pera najuglednijih fizičara, matematičara i filozofa. Između mnogobrojnih *Uvoda* u ovo temeljno područje fizike, Blanušina je *Teorija relativnosti*,<sup>5</sup> što ju je napisao nešto kasnije od svog blistavog prijevoda M. Bornove *Teorije relativnosti*, jedinstvena u svijetu. Blanušin motiv za takvu vrstu knjige bio je sažeti prikaz teorije relativnosti, kako bi se običan čitatelj uputio u glavne misli teorije relativnosti, uvažavajući najnovije eksperimentalne rezultate tadašnjeg vremena. Drugi je motiv, ne manje važan, bio neobičan uspjeh prijevoda Bornove knjige o teoriji relativnosti (knjiga je bila ubrzo rasprodana), u prijevodu i s nadopunama D. Blanuše, a u izdanju Hrvatskog prirodoslovnog društva. Blanušin je metodološki credo bio učiniti teoriju što razumljivijom i »po mogućnosti pokazati, kako nas pokusi upravo sile, da teorija bude baš takva, a ne drukčija« (iz *Uvoda* Blanušine knjige [8]). Preko 80% Blanušine knjige posvećeno je specijalnoj, a oko 20% općoj teoriji relativnosti. Pri kraju knjige, ukazuje se na potrebu prijelaza na Riemannovu geometriju, da bi opća teorija mogla biti kozmološka teorija. Knjiga završava otvorenim i najtežim problemom povezivanja teorije relativnosti i kvantne mehanike. Rigorozni matematičko-fizikalni pristup općoj teoriji relativnosti Blanuša je primijenio u kratkome i matematički elegantnome članku »Gravitacija«, u 6. svesku *Tehničke enciklopedije*.<sup>6</sup> U tome kratkom tekstu zrcali se Blanušina metoda u relativnosti.

Blanuša najprije opisuje starija shvaćanja, potom Newtonov zakon i teoriju gravitacije, te daje matematički opis gravitacijskog polja i potencijala. Potom definira i obrazlaže slavne Einsteinove principe – princip ekvivalencije i opće relativnosti, da bi u glavnim crtama pokazao kako se iz njih u okviru opće Riemannove geometrije (*Riemannian Manifolds*) i tenzorskog računa izgrađuju Einsteinove jednadžbe gravitacijskog polja. Unatoč zahtjevu skraćenog i elegantnog teksta, Blanuša ne ispušta tumačenja i komentare o razlici pseudo-euklidske metrike (metrike Minkowskog) u specijalnoj teoriji od opće Riemannove u zakrivljenom gravitacijskom polju, preko Einsteinove konvencije (propisa) sumacije<sup>7</sup> i izrazima s indeksima koja se univerzalno primjenjuje u svim formulama, do Riccijeva, odnosno Einsteinova tenzora. Međutim, skoro polovicu teksta Blanuša je posvetio provjerama Einsteinove teorije gravitacije, razlučujući pokuse i njihove rezultate u četiri grupe: pomak perihela planeta (pomicanje Merkurova perihela), gravitacijski Dopplerov pomak (učinak), odklon svjetlosne zrake u gravitacijskom polju Sunca, potraga za gravitacijskim valovima. Blanuša je bio pristalica Einsteinove teorije, te je s neskrivenim zadovoljstvom u svojim člancima, knjigama i prikazima konstatirao da je teorija relativnosti opažanjima i pokusima izvrsno potvrđena.

Blanušina metoda pristupa, poimanja i tumačenja teorije relativnosti podudarna je Bornovoj u pogledu povijesnog prikaza fizikalno-matematičke i prirodnofilozofske podloge teorije relativnosti. Ali ona ima i izvorne Blanušine elemente, koji se naročito tiču eksperimentalnih provjera i potvrda Einsteinove teorije. Blanuša je, kao i Born, bio zadivljen matematičkom ljepotom teorije i jasnoćom njezinih postulata i principa, napose diferencijalno-tenzorskom elegancijom opće teorije, smatrajući je matematički savršenom teorijom gravitacije. Blanuši su odlučujući bili eksperimentalni dokazi, tim prije i jače što postoje i suparničke teorije gravitacije drukčije matematičke građe i eksperimentalnih testova od Einsteinove. Blanuša je ne samo osobnim školovanjem nego, prije svega, ulogom modernog matematičara na Elektrotehničkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, volio temeljne izazove što ih teorija relativnosti postavlja eksperimentalnoj fizici i visokim tehnologijama zbog ekstremno finih i osjetljivih izravnih i/ili neizravnih mjerenja veličina i parametara u njoj. Blanušin je duh i razmišljanje (*cogitatio*) tijekom njegova čitavog života bio na tragu novovjekovnog odnosa teorije i eksperimenta, naročito velikih teorija fizike i matematike i velikih pokusa u fizici.

Prijevodu M. Bornove knjige *Einsteinova teorija relativnosti* 1948. godine, D. Blanuša je dodao svoj originalni prilog na kraju knjige [7]. U njemu je obradio 4 najvažnija aspekta teorije relativnosti: 1. *Eksperimentalne potvrde teorije relativnosti*, 2. *Kozmološka pitanja*, 3. *Jednadžbe gibanja materijalnih čestica*, 4. *Ujedinjene teorije polja*. U pogledu eksperimentalnih potvrda, Blanuša je konstatirao da opća teorija relativnosti, u to doba, još nije tako temeljito eksperimentalno provjerena kao specijalna koju podržavaju mnogi

5

Danilo Blanuša, *Teorija relativnosti*, Mala biblioteka za matematiku, fiziku i kemiju, br. 7, Školska knjiga, Zagreb 1955.

6

Danilo Blanuša, »Gravitacija«, u: *Tehnička enciklopedija*, sv. 6 (G – Ka), glavni urednik Hrvoje Požar, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb 1979., str. 260–265.

7

Einsteinova konvencija (pravilo) sumacije za izraze s indeksima: ako se u nekom članu

izraza isti indeks pojavljuje dvaput, kao gornji i kao donji indeks, tada taj član u izrazu treba sumirati po svim mogućim vrijednostima toga indeksa. Stvarno to znači sumiranje od 1 do dimenzije promatranog prostora. U teoriji relativnosti, metrika je četverodimenzionalna i u specijalnoj (pseudo-euklidska) kao i u općoj teoriji (opća Riemannova metrika). Prema tome, treba sumirati od 1 do 4 u skladu s Einsteinovom konvencijom.

pokusi. Zato je u tome *Dodatku* više obrađivao eksperimentalne potvrde opće teorije relativnosti. Međutim, u tome nam je dodatku, danas, najzanimljivija Blanušina analiza kozmoloških pitanja, koja korespondira sa suvremenim stanjem u tome području. Tako je posebno obrađen Einsteinov zatvoren kuglin prostor (svemir), koji je konačan, ali nema granica, s umetnutom nepoznatom kozmološkom konstantom  $\Lambda$ , koju je Einstein morao pretpostaviti da bi dobio baš takvo rješenje i sliku statičkog zatvorenog svemira. Nasuprot takvome prostoru, Blanuša ističe de Sitterov kuglin prostor, čiji se polumjer vremenski mijenja, kao i sve mogućnosti koje on u kozmologiji pruža. Njihovu ujedinjenju u euklidski prostor s neizmjenjnim rastezanjem, ali s nekom gustoćom materije u njemu i bez ikakve kozmološke konstante ( $\Lambda=0$ ), Blanuša je posvetio naročitu pažnju. To je slavni Einstein-de Sitterov model svemira, nezaobilazan u modernim kozmološkim istraživanjima.

### 3. Blanušine transformacije za toplinu i temperaturu u termodinamici

U svojoj slavnoj knjizi o teoriji relativnosti, W. Pauli<sup>8</sup> je četvrtinu knjige posvetio četverodimenzionalnom prikazu Lorentzovih transformacija i njihovoj primjeni u elektrodinamici (teorija elektrona, gustoća četverostruje, očuvanje energije i količine gibanja EM-polja), zatim vezi energije i mase, transformaciji energije i količine gibanja kad je sustav pod djelovanjem vanjskih sila, do termodinamike i statističke mehanike. Motiv je dokazivanje univerzalnosti teorije relativnosti i njezinoj temeljnosti u fizici. U pogledu termodinamike, Pauli je veliki naglasak postavio na vladanje termodinamičkih veličina pod Lorentzovim transformacijama, računavajući i razne specijalne primjene kao što je, na primjer, Jouleova toplina koja nastaje tijekom struje kroz vodič.

Osnovicu za transformiranje termodinamičkih veličina pri prijelazu u gibajući koordinatni sustav, Pauli je vidio u temeljnom Planckovu članku iz 1907. godine i Einsteinovu članku iz iste godine, što je zapravo Planck-Einsteinova koncepcija za primjenu specijalne teorije u termodinamici.<sup>9</sup>

#### 3.1. Planckove transformacije za količinu topline i temperaturu

Upotrijebit ćemo simbole i notaciju koja se uveliko podudara i kod Blanuše i kod Paulija.<sup>10</sup> Pogledajmo kako su Pauli i Planck računali termodinamičke veličine pod Lorentzovim transformacijama, te do kojih su relacija što povezuju te veličine u gibajućem sustavu s onima u sustavu mirovanja došli. Pauli je Planckove izvode,<sup>11</sup> čija je početna osnovica varijacijski princip, kao i Einsteinove,<sup>12</sup> koje se izravno izvode iz Lorentzovih transformacija, smatrao točnima preuzimajući ih u svoju poznatu knjigu. Pauli, najprije, skuplja i definira transformacijske relacije za termodinamičke veličine: tlak ( $p$  i  $p_0$ ), volumen ( $V$  i  $V_0$ ), količinu gibanja  $G$  i energiju ( $E$  i  $E_0$ ). Polazi od pretpostavke da skalarni tlak treba biti invarijanta ( $p = p_0$ ) u termodinamici kao i u hidrodinamici, te da je brzina  $v$  gibajućeg sustava u smjeru osi  $x$  prema sustavu mirovanja. Te formule, prema Paulijevoj knjizi *Teorija relativnosti* (Dio III., (d) Termodinamika i statistička mehanika, 46. Vladanje termodinamičkih veličina pod Lorentzovim transformacijama),<sup>13</sup> glase:

$$p = p_0$$

$$V = V_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$$

$$G = \frac{v}{c^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot (E_0 + p_0 V_0)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \cdot (E_0 + \frac{v^2}{c^2} p_0 V_0).$$

Iz ovih se veličina grade dvije nove, nužne u termodinamici. To su:

$$E + pV = \frac{E_0 + p_0 V_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \text{i} \quad G = \frac{v}{c^2} (E + pV),$$

pri čemu indeks  $_0$  označava veličine u sustavu mirovanja. Iz posljednje dvije veličine izvode se relacije za količinu topline  $Q$ , temperaturu  $T$  i entropiju  $S$ . Pauli, polazeći od Planckovih i Einsteinovih izvoda, definirajući  $dQ$  kao količinu (prijenos) topline koja prelazi na sustav i  $dA$  rad što ga vrše vanjske sile na sustavu, definira termodinamičke relacije:

$$dQ = dE - dA$$

$$dA = -pdV + \bar{v} \cdot d\vec{G}.$$

Pomoću njih, pretpostavljajući da je brzina sustava  $\bar{v}$  stalna i ugrađujući u njih gornje transformacijske formule za energiju, količinu gibanja, volumen i tlak, Pauli dobiva svoju poznatu formulu:

$$Q = Q_0 \cdot \sqrt{1-\beta^2}.$$

Ova se formula slaže s transformacijskom formulom za Jouleovu toplinu po jedinici vremena i jedinici volumena, koju je Pauli izveo u okviru fenomenološke elektrodinamike na osnovu tenzora  $S_{ik}$  u kojemu su sabrane gustoća energije, struja energije, gustoća količine gibanja i komponente tenzora napanjanja  $T_{ik}$  ( $i, k = 1, 2, 3$ ).

8

Wolfgang Pauli (Beč, 25. 04. 1900. – Zürich, 15. 12. 1958.), dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1945. godine za slavni Paulijev princip isključenja.

9

Max Planck, *S.B. preus. Akad. Wiss.* (1907), str. 542; Max Planck, »Zur Dynamik bewegter Systeme«, *Annalen der Physik* (Leipzig) 76 (1908), str. 1–34; Albert Einstein, *Jb. Radioakt.* 4 (1907), str. 440.

10

D. Blanuša se služio prvim izdanjem Paulijeve knjige: Wolfgang Pauli, »Relativitätstheorie«, u: *Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften*, sv. 5, dio 2, B. G. Teubner, Leipzig 1921., str. 539–775; Wolfgang Pauli, »Supplementary Notes by the Author«, u: Wolfgang Pauli, *Theory of Relativity*,

Pergamon Press, Inc., New York 1958., str. 207–232. U našim analizama i usporedbama, služili smo se sljedećim izdanjem: W. Pauli, *Theory of Relativity*, Translated from German by G. Field, Dover Publications, Inc., New York 1958.

11

M. Planck, *S.B. preus. Akad. Wiss.* (1907); M. Planck, »Zur Dynamik bewegter Systeme«.

12

A. Einstein, *Jb. Radioakt.*

13

Vidi u: W. Pauli, *Theory of Relativity*, dio III. (d) Thermodynamics and statistical mechanics, 46. Behaviour of the thermodynamical quantities under a Lorentz transformation, str. 134–135.

Kad (gibajući) sustav ima (dobije) brzinu  $v$ , to se može smatrati adijabatskim procesom. Entropija stoga ostaje nepromijenjenom, pa zato ima istu vrijednost za gibajući kao i za sustav u mirovanju. Entropija je Lorentzova invarijanta:

$$S = S_0 .$$

Ako prijelaz topline  $dQ$  teče vrlo (beskonačno) dugo, vrijedit će:

$$dQ = T dS \text{ (iz definicije pojma entropije).}$$

Iz relacija  $S = S_0$  i  $Q = Q_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$ , te na osnovi definicije entropije, jednostavno slijedi Planckova transformacijska formula za temperaturu:

$$T = T_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2} .$$

D. Blanuša je izveo drukčiji oblik transformacijskih formula za količinu topline i termodinamičku temperaturu. Iz tog razloga – a nadalje zbog osjećaja dužnosti i poštovanja prema W. Pauliju i njegovu djelu i ulozi u fizici – Blanuša je odlučio napisati Pauliju pismo s detaljnim obrazloženjima i argumentima za svoje transformacijske formule u termodinamici. Tako je započelo njihovo znanstveno dopisivanje, čemu se ne može pronaći sličan slučaj u čitavoj hrvatskoj kulturnoj i znanstvenoj povijesti. Dodatni je razlog Blanuša, svakako, pronašao u činjenici da je Pauli neposredno prije, 1945. godine, primio Nobelovu nagradu za fiziku za slavni Paulijev princip isključenja.

### 3.2. *Blanušina fizikalna slika za transformacije topline i temperature*

Blanušino izvođenje transformacijskih formula za toplinu i temperaturu u metodološkome je smislu izvođenje »*Ab initio*«. On započinje od najjednostavnije fizičke situacije, »*iz početka*«, uvodeći postupno složeni relativistički formalizam. Proračuni »*Ab initio*« lakih jezgara i hiperjezgara u polju fizike nekoliko tijela, kad se treba prikladno osloniti samo na neke pouzdane eksperimentalne rezultate, u naše su vrijeme vrlo popularni i dovode do vrlo korisnih teorijskih modela u nuklearnoj i hipernuklearnoj fizici. Pokazat ćemo, u skraćenom obliku, jednostavnu fizikalnu sliku i izvod koju Blanuša upotrebljava da bi dokazao utemeljenost i točnost vlastitih transformacijskih formula nasuprot slavni Planckovih, a koje je Pauli kao neupitne preuzeo u svojoj knjizi. Riječ je o slici i izvodima što ih je Blanuša objavio u svoja dva rada: o paradoksima pojma energije<sup>14</sup> na francuskom jeziku, 1947., te o relativističkoj termodinamici,<sup>15</sup> 1951. godine. Polazeći od te slike i Blanušinih izvoda, dat ćemo svoje komentare i tumačenja iz suvremenog motrišta. Blanuša smatra da Planckove formule iz relativističke termodinamike:

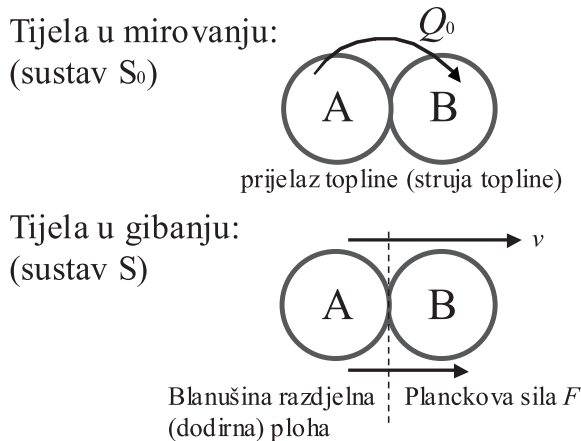
$$Q = Q_0 \cdot \alpha \text{ i } T = T_0 \cdot \alpha ,$$

nisu ispravne, te da trebaju imati oblik koji proizlazi iz njegovih višekratnih izvoda i misaonih analiza:



$$Q = \frac{Q_0}{\alpha} \quad \text{i} \quad T = \frac{T_0}{\alpha},$$

pri čemu je, u oba slučaja, kratica  $\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ .



Slika 1. Fizička slika za Blanušino »Ab initio« izvođenje transformacijskih formula za toplinu i temperaturu.

Blanuša promatra prijelaz topline  $Q_0$  iz tijela  $A$  u neko drugo tijelo  $B$ . Tijela se nalaze jedan pokraj drugoga, recimo tijelo  $A$  lijevo, a tijelo  $B$  desno od njega. Kad su tijela u mirovanju, strujom (dotokom) topline  $Q_0$  iz tijela  $A$  u tijelo  $B$  (vidi sliku 1.), tijelu  $B$  će se toplina (energija) povećati za  $Q_0$ , a masa za

$\Delta m_B = \frac{Q_0}{c^2}$ . Promatramo li ova dva ista tijela u nekom gibajućem sustavu, u kojemu se ona gibaju brzinom  $v$  prema naprijed (udesno), tijelu  $B$  će se ener-

gija (toplina) povećati za iznos  $\frac{Q_0}{\alpha}$ , prema zakonu za transformaciju energije

( $E = \frac{E_0}{\alpha} = \frac{m_0 c^2}{\alpha}$ ). Tome povećanju energije odgovara povećanje mase za

$\Delta m_B = \frac{Q_0}{\alpha c^2}$ . Budući daje brzina gibanja tijela (sustava)  $v$  konstantna, tijelu

$B$  se povećao impuls (količina gibanja) za iznos  $\Delta p_B = \Delta m_B \cdot v = \frac{Q_0 v}{\alpha c^2}$ . Pove-

ćanje impulsa je tijelu  $B$  trebalo dovesti. To znači da je tijelo  $A$  djelovalo na tijelo  $B$  u smjeru gibanja silom  $F$ . Preneseni impuls u vremenu  $t$ , čije trajanje valja uzimati dugim da bi proces bio reverzibilan, jednak je umnošku sile  $F$  i vremena  $t$ . Vrijedi jednadžba:

$$F \cdot t = \frac{Q_0 v}{\alpha c^2} .$$

S druge, pak, strane sila je izvršila rad na tijelu  $B$  jer se ono, pod djelovanjem sile  $F$ , pomaknulo za put  $vt$  u smjeru sile. Zakon očuvanja energije nalaže da energija koja je prešla (dotok  $Q_0/\alpha$ ), mora biti jednaka radu sile ( $Fvt$ ) na tijelu  $B$ , a ostatak odgovara prijelazu topline  $Q$  na to isto tijelo. To opisujemo jednadžbom:

$$\frac{Q_0}{\alpha} = Fvt + Q .$$

Iz posljednje dvije jednadžbe, za preneseni impuls i očuvanje energije u prijenosu energije, jednostavno slijedi Planckova transformacijska relacija:

$$Q = Q_0 \alpha .$$

Što je Blanuša ovom jednostavnom fizikalnom slikom i ovim izvodom učinio? Dokazao je, na prvi pogled, valjanost Planckove formule! Međutim, dokazujući naoko Planckovu relaciju, Blanuša želi pokazati tehnikom *deductio ad absurdum* pogreške (proturječnosti) koje Planck, a možda i Pauli nije vidio. Naime, iz formule za očuvanje energije, lako se izračuna iznos prenesenog mehaničkog rada, polazeći od Planckove relacije:

$$Rad \equiv Fvt = \frac{Q_0}{\alpha} - Q = \frac{Q_0}{\alpha} - Q_0 \alpha = Q_0 \cdot \frac{1 - \alpha^2}{\alpha} = Q_0 \frac{\beta^2}{\alpha} .$$

Blanuša, nakon ove formule za rad, iznosi svoju glavnu postavku: u njegovu poimanju i fizikalnoj slici nema razloga za uvođenjem sile  $F$  ( $F = 0$ ) niti njezina rada ( $Fvt = 0$ ), pa se sva energija koja prijelazi, prenosi kao toplina. Ako se takav uvjet ugradi u relaciju očuvanja energije, Blanušina transformacijska formula se izravno dobiva:

$$Q = \frac{Q_0}{\alpha} .$$

U Blanušinome se shvaćanju impuls (količina gibanja)  $\frac{Q_0 v}{\alpha c^2}$  prenosi strujanjem (konvekcijski) s energijom  $\frac{Q_0}{\alpha}$ , kad ona prelazi s tijela  $A$  na tijelo  $B$ , a ne pomoću sile  $F$ , kao što je slučaj kod Plancka.

Temeljni Blanušini prigovori Plancku jesu da on u transformacijske formule (njihov izvod) uvodi silu  $F$ , čija narav nije mehanička u onome smislu u kojemu sam Planck uobičajeno tumači rad sile u termodinamici, napose u formulaciji 2. glavnog zakona. Naime, Planckova sila  $F$  u smjeru gibanja sustava (vidi Sliku 1.) ne izaziva deformacije, a njezin se rad ne daje protumačiti kao rad dizanja utega, što je osnovno tumačenje sile u termodinamici. Prisjetimo se M. Planckove i Lord Kelvinove izvorne formulacije 2. zakona termodinamike:

»Ne postoji prirodni proces (toplinski stroj) gdje bi se periodički crpila toplina (vršio rad) samo iz jednog spremnika, a neki uteg podigao.«<sup>16</sup>

Planckov mehanički rad  $Fvt = \frac{Q_0}{\alpha} - Q = Q_0 \frac{\beta^2}{\alpha}$ , ne se može protumačiti kao

rad dizanja utega, jer bi time u duhu Carnotova procesa bio moguć *perpetuum mobile* 2. vrste. Blanuša u *Pismu Pauliju* (nadnevka 15. 03. 1948.) i u svome radu o relativističkoj termodinamici, detaljno analizira narav Planckove sile  $F$  u kontekstu Carnotova ciklusa, dodajući (misaono) tijelima između kojih se događa prijelaz topline odgovarajuće spremnike topline. Tu se vidi i blaga Blanušina ironija prema Plancku, jer ispada da bi Planckovim pojmom rada sile, kao rada sile dizanja (njem. *Hubarbeit*),<sup>17</sup> što se onda može protegnuti i na rad sile polja u elektrodinamici, bilo moguće crpsti toplinu iz hladnijeg spremišta, odnosno podići uteg (*perpetuum mobile* 2. vrste). Planck je silu  $F$  uveo samo zato da bi mogao objasniti prirast impulsa što ga tijelo dobiva u promatranju transformacijskih formula, ali upada u pojmovne poteškoće s pojmom rada što ga takva sila vrši. Te Planckove poteškoće Blanuša je prvi otkrio i analizirao briljantnim stilom. Blanuša je svoje transformacijske formule postavio tako da je njihov fizikalni temelj uvidio u tome da se impuls  $\frac{Q_0 v}{\alpha c^2}$  (koji mora postojati jer se tijela gibaju) prenosi strujanjem (»konvektivno«, Blanušin izraz, op. T.P.) zajedno s toplinom (energijom).

### 3.3. Blanušino Pismo W. Pauliju, 15. ožujka 1948. godine

M. Planck<sup>18</sup> je umro 1947. pa mu Blanuša, očigledno, nije mogao pisati o svojim otkrićima i spoznajama u relativističkoj termodinamici do kojih je došao tijekom i nakon 1947. godine. Prirodno je, dakle, Blanušino znanstveno dopisivanje s Paulijem, čija se knjiga temelji na Planckovim i Einsteinovim radovima, a osim toga oni – sva trojica – pripadaju istoj školi njemačko-švicarske fizike.

U *Pismu*<sup>19</sup> se Blanuša zahvaljuje vrlo poštovanom gospodinu profesoru Pauliju na njegovu ljubaznom pismu od 18. veljače 1948. (*najvjerojatnije*) i na mišljenju iz pera gospodina Schafrotha, te se ispričava što zbog obveza na fakultetu nije odgovorio prije.

Blanuša je poželio odgovoriti na pojedine stvari (točke) Pauliju, i to baš u onima u kojima mu Pauli prigovara. U točki 1 a) Paulijeva teksta se protiv Blanušine transformacijske formule za silu kaže da bi se kao 4. komponentu četverovektora trebala uzeti struja topline, pri čemu onda u gibajućem sustavu proizlazi sila koja je prema Planckovu shvaćanju nužna. Blanuša zato želi precizirati pojam sile što ga on koristi. S obzirom da se ne radi o gustoći sile

16

Vidi, na primjer, u: Tomislav Petković, *Uvod u znanost o toplini i termodinamici*, Element, Zagreb 1997.

17

Njemačko-švicarski nauk klasične fizike, u što se autor imao prilike osobno uvjeriti, definira rad dizanja kao temeljni pojam na jednostavan način: »Der Hub ist definiert als eine Translation in Richtung der Schwerkraft (z-richtung) nach oben:  $dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F \cdot dz$ .«

18

Max Planck (Kiel, 23. 04. 1858. – Göttingen, 4. 10. 1947.), dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1918. godine za kvantnu teoriju svjetlosti.

19

Blanušino pismo na njemačkom jeziku poštovanom profesoru W. Pauliju, nadnevka 15. ožujka 1948., poslano iz Tehničkog fakulteta u Kačićevoj 26, tipkani tekst na pisaćem stroju s Blanušinim ispravkama, ukupno 7 stranica.

(izvorno *Kraftdichte*), nego o zajedničkoj sili kojom jedno tijelo djeluje na drugo, trebalo bi četverovektor sile općenito prikazati kao:

$$(F_1, F_2, F_3) = \frac{\vec{K}}{\alpha} \quad ; \quad F_4 = \frac{L}{c\alpha} ,$$

gdje je  $\alpha = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ , s time da je  $v$  brzina u točki dodira ili sudara (*Angriffspunkte*), odnosno u ravnini dodira (*Trennfläche*). Blanuša skreće pozornost Pauliju da je u njegovoj knjizi u formuli (219), u četvrtoj komponenti pogreškom izostavljen faktor  $1/\alpha$ . U novijim izdanjima Paulijeve knjige ova je pogreška ispravljena, ali se nigdje ne spominje da je Blanuša na nju upozorio.

U sustavu mirovanja kad je  $v = 0$ , dobivaju se komponente  $0, 0, 0, \frac{1}{c} \frac{dQ_0}{dt_0}$  kao komponente traženog četverovektora, čijom se transformacijom i raču-

navanjem dilatacije vremena doista dobivaju vrijednosti koje Planck smatra nužnim. U svojim izvodima Blanuša, naravno, upotrebljava  $ct$  kao četvrtu koordinatu, te dilataciju vremena kao  $dt_0 = dt \cdot \alpha$ . Blanuša, međutim, stavlja

naglasak u *Pismu* Pauliju na to da uopće nije uputno 4 veličine  $0, 0, 0, \frac{1}{c} \frac{dQ_0}{dt_0}$

sabrati u četverovektor. To ilustrira i dokazuje na jednostavnom modelu dva tijela koja se dodiruju, između kojih struji toplina, primjerice s lijevog na desno tijelo. U mirovanju i kad je sila nula, tijela se samo dodiruju. Ovu početnu situaciju, opisat ćemo navodom izvornog Blanušina opisa (u hrvatskome prijevodu) iz njegova *Pisma* Pauliju:

»Dolazi do prijelaza topline, koju možemo smatrati strujom toplinske energije. Koristim sada temeljnu sliku iz teorije relativnosti, a ta je da svaka energija koja struji brzinom  $v$  nosi sa sobom

odgovarajući impuls  $\frac{E}{c^2} \cdot v$ . Protok toplinske energije mora dakle sa sobom nositi svoj impuls i

stoga istodobno nastaje konvekcijska struja impulsa. Da toplinska struja nosi svoj impuls smatra i Laue, a to isto stoji i kao opći stav za svaku struju energije i u Vašoj knjizi.«<sup>20</sup>

U sustavu u mirovanju  $S_0$ , ako im je dodirna površina jednaka 1, neka struja

energije  $s_0$  između dva tijela bude  $s_0 = \frac{dQ_0}{dt}$ , gustoća impulsa  $g_0$ , gustoća

energije  $w_0$ , te struja impulsa  $p_0$ . Ove veličine Blanuša sastavlja u karakteristični tenzor veličina energije-impulsa (*Energieimpulsgrößen*). Prema našim spoznajama, to je izvorna Blanušina veličina za termodinamičku konvekciju (strujanje), po uzoru na »površinski« tenzor Minkowskog  $F_{ik}$ , što ga je Minkowski uveo za četverodimenzionalnu kovarijantnu formulaciju Maxwellovih jednadžbi. Blanušin »površinski« tenzor u fenomenološkoj termodinamici označavat ćemo kao  $B_{ik}$ . Njegov oblik jest (formula (1) u *Pismu* Pauliju):<sup>21</sup>

$$B_{ik} = \begin{pmatrix} p_0 & 0 & 0 & cg_0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{s_0}{c} & 0 & 0 & w_0 \end{pmatrix} .$$

Za Blanušin tenzor  $B_{ik}$  vrijedi:

$$cg_0 = \frac{S_0}{c} \text{ (dakle, tenzor je simetričan)}$$

$$V_0 = \frac{S_0}{w_0} = \text{brzina strujanja energije.}$$

Impuls, koji sa strujom energije prolazi u jedinici vremena kroz jedinicu površine, može se napisati kao:

$$p_0 = g_0 V_0 = \frac{S_0^2}{c^2 w_0} .$$

Svoj tenzor toplinskih veličina energije-impulsa Blanuša transformira u drugi gibajući sustav  $S$ , koji se prema  $S_0$  giba brzinom  $v$ , recimo nalijevo. Blanuša metodološki privremeno ostavlja po strani pitanje da li će u novome sustavu čitava energija, ili tek neki njezin dio, biti toplina. Transformacijama se dobivaju nove veličine  $p$ ,  $\frac{S}{c} = cg$  i  $w$  u sustavu  $S$ . Blanuša sada uvodi interesantno tumačenje i novu transformaciju za strujanje topline i impulsa. Naime,  $s$  i  $p$  su energija i impuls koji u sustavu  $S$  struje kroz jediničnu plohu u jedinici vremena. Da bi dobio odgovarajuće veličine  $s'$  i  $p'$  u odnosu na razdjelnu (dodirnu) plohu koja se zajedno s tijelima giba, Blanuša jednostavno oduzima energiju i količinu impulsa koja se nakon jedinice vremena nalazi između gibajuće i plohe u mirovanju. Dakle,  $s'$  i  $p'$  iznose:

$$s' = s - vw$$

$$p' = p - vg$$

koje, kad se u njih uvrste dobiveni izrazi za  $s$  i  $p$ , postaju:

$$s' = s_0 + c\beta p_0$$

$$p' = p_0 + \beta \frac{S_0}{c} .$$

Blanuša je Pauliju u *Pismu* pokazao još jedan dokaz, određujući brzinu strujanja (prijenosa) energije  $V = \frac{S}{w}$ . On je pokazao da se brzina strujanja energije transformira u skladu s adicijskim teoremom za brzine u teoriji relativnosti, što je i bilo za očekivati:

$$V = \frac{V_0 + v}{1 + \frac{V_0 v}{c^2}} .$$

Blanuša na kraju daje završni krunski dokaz! On pretpostavlja da samo dio (u Blanušinoj notaciji  $\gamma$ -dio) od struje energije koja prolazi dodirnom površinom bude označen kao toplina. Pritom će, naravno, i  $\gamma$ -dio struje impulsa  $p'$  kao konvekcijski toplinski impuls prolaziti kroz površinu. Ostatak bi se

u takvoj slici, prema Blanuši, morao ostvariti kao mehanički rad i prijenos impulsa pomoću sile. Ali Blanuša pokazuje da faktor  $\gamma$  izlazi jednak jedinici ( $\gamma = 1$ ), iz čega nužno slijedi da su sila, prema tome i rad i promjena impulsa zbog sile, jednaki nuli. Blanuša zaključuje i poručuje Pauliju kako je došao do istog rezultata kao i u svome prethodnome pismu. Sljedeći navod iz Blanušinih formulacija:

»Unaprijed je, već, pomalo iznenađujuće formirati četvervektor  $0, 0, 0, \frac{S_0}{c}$ ; jer, što to znači?

Od veličina energije-impulsa toplinske struje uzimaju se tri komponente strujanja (a koje bi, u općem slučaju, mogle biti različite od nule), gradi se korijen iz njihove sume kvadrata i onda se takva veličina proglašava četvrtom komponentom nekog četvervektora. Kao prve 3 komponente uzimaju se 3 nule neke nepostojeće sile. Ne uviđam zašto bi to trebalo imati smisla? No ideja o takvoj tvorbi mogla bi potjecati od neke naizgled slične ideje, naime od četvervektora gustoće elektromagnetske sile – snage, kao u slučaju kad se razvija Jouleova toplina.«<sup>22</sup>

#### 4. Blanušini novi pojmovi u relativističkome formalizmu u fenomenološkoj termodinamici

Blanušini doprinosi u fizici povezani su s primjenom specijalne teorije relativnosti u fenomenološkoj termodinamici, pri relativističkoj transformaciji termodinamičkih veličina količine topline i temperature. D. Blanuša je 1947. godine izveo drukčiji oblik transformacijskih formula za količinu topline i termodinamičku temperaturu, od onih koje su izveli Planck (osnovica izvoda varijacijski princip) i Einstein (izravni izvod iz Lorentzovih transformacija) 1907. godine, a koje je Pauli, smatravši ih točnima, preuzeo u svoju poznatu knjigu o teoriji relativnosti, objavljenu 1921. godine. Budući da je otkrio formule koje su drukčije od Planckovih i Einsteinovih, odnosno Paulijevih u njegovoj knjizi, Blanuša piše pisma Pauliju i svome prijatelju iz studentskih dana, Paulu Urbanu u Grazu. *Pismo* Pauliju smo već obradili, a sad ćemo navesti dva karakteristična ulomka iz *Pisma* Urbanu koji oslikavaju situaciju u kojoj je Blanuša bio u to vrijeme.

U *Pismu* P. Urbanu, nadnevka 1. lipnja 1948. godine, Blanuša je napisao:

»A između, ...  $\Delta E\alpha^2$  je toplina (po jedinici vremena, mislim), ostatak  $\Delta E\beta^2$  je mehanički rad, dakle sila iz  $Pv = \Delta E\beta^2$  jest  $P = \Delta E \frac{v}{c^2}$ , što je istodobno preneseni impuls po jedinici vremena, dakle ukupni impuls prenesene energije. Meni je  $\Delta E = \frac{\Delta E_0}{\alpha}$  toplina, Plancku je samo  $\Delta E\alpha^2 = \Delta E_0\alpha$  toplina ...

Vidiš, stvar nije tako naivna, kao što si možda vjerovao!?!«<sup>23</sup>

Na kraju istog pisma P. Urbanu, Blanuša opisuje Paulijev stav o Planckovim i Blanušinih formulama:

»On (Pauli, op. T.P.) kaže, da je moje shvaćanje doduše ispravno, ali da je Planckovo također ispravno i da je pitanje definicije koje će se prihvatiti. On k tome još navodi razloge svrhovitosti u prilog Planckovu shvaćanju. Ja smatram da je Planckovo shvaćanje krivo i ne prihvaćam ga.«<sup>24</sup>

Iz dosadašnjeg našeg prikaza, očigledno proizlazi da je Blanuša izvrsno poznao matematički formalizam teorije relativnosti, te da mu je Paulijeva knjiga bila *masterpiece* na tome području. Svoje transformacijske formule, Blanuša je izveo polazeći od jednostavne fizikalne situacije i Lorentzovih transformacija, ukazujući istovremeno na pojmovne pogreške (proturječnosti) u Planckovu izvodu. Izgleda da je Blanušu pogodila Paulijeva sklonost Planckovu

izvodu, zbog bolje ukorijenjenosti Planckova izvoda u četverodimenzionalni formalizam i suglasje tog izvoda s radovima Einsteina i Minkowskog. Zbog toga je Blanuša u pismu svoje transformacijske formule dokazao i na taj način, uvodeći u analizu Blanušin tenzor  $B_{ik}$  veličina u termodinamičkome strujanju (konvekciji).

## 5. Zaključak

Blanuša je insistirao na *općim principima* specijalne i opće teorije relativnosti: na oba postulata specijalne teorije, na relaciji  $E = mc^2$ , na principu ekvivalencije, na Einsteinovu projektu geometrizacije fizike po uzoru na zakrivljenost prostorvremena koju stvaraju svemirske mase. Je li moguća poslije-Einsteinova fizika, na novim postulatima i pojmovima različitim od onih u teoriji relativnosti? Teško je odgovoriti što bi Blanuša zastupao. Možemo nagađati! Blanuša je cjelokupnim životom i radom pokazao privrženost Einsteinovoj teoriji relativnosti. Ali je bio zainteresiran i za druge teorije i nove pojmove u tome području. Sigurno je da bi ih proučavao, te ako bi uvidio njihovu znanstvenu podlogu i cilj prihvaćao bi ih s oprezom. Sigurno je i da bi ga eksperimentalne potvrde uvjerile da ih prihvati!

Blanušine doprinose teoriji relativnosti razlučili smo i poredali u 3 ranga: *izvorne doprinose* kroz Blanušine transformacijske formule za količinu topline i temperaturu (I.), koje je Blanuša dobio izvornom primjenom *STR* u termodinamici 1947. godine, zatim *znanstveno dopisivanje s W. Paulijem* 1948. godine (II.) o pojmovnim osnovama i formalizmu teorije relativnosti, te *Blanušinu metodu* (III.) u poimanju, objašnjavanju i populariziranju teorije relativnosti. Izdvojili smo, i držimo naročito značajnim, Blanušino pismo poštovanome Profesoru W. Pauliju, što ga je Blanuša napisao na Martovske ide 15. ožujka 1948. u Tehničkome fakultetu u Kačićevoj 26, u Zagrebu. Ovo je *Pismo* važno u okviru povijesti znanosti jer pokazuje da je teorija relativnosti, kao veličanstvena prirodnoznanstvena teorija još uvijek otvorena što će, vjerujemo, do izražaja doći napose 2005. godine prigodom njezine 100. godišnjice. Blanušin pristup specijalnoj teoriji relativnosti tijekom cijelog njegova života, u najboljem je skladu s Einsteinovim tumačenjem: *STR* je teorija o transformacijskim pravilima koja povezuju fizička opažanja različitih inercijalnih opažачa. I u suvremenim *DSR* – pokušajima, kad se *STR* želi revidirati, to se ne osporava.

Blanuša je izveo drukčiji oblik transformacijskih formula za količinu topline i termodinamičku temperaturu od Planckovih. Planckove je relacije Pauli ugradio u svoju slavnu knjigu iz teorije relativnosti 1921. godine. Blanuša je smatrao da je Planckovo shvaćanje krivo, prema tome su i relacije netočne, te ih nije mogao prihvatiti. Iz osjećaja dužnosti (u Kantovoj formulaciji), odnosno ljubavi (u platoničkoj formulaciji) prema znanstvenoj istini, s jedne strane, te poštovanja prema W. Pauliju i njegovu djelu i ulozi u fizici, s druge strane, Blanuša je odlučio pisati Pauliju pisma s detaljnim obrazloženjima i argumentima za svoje transformacijske formule u termodinamici. Tako je

22

Ibid., str. 3, 4.

23

Navod iz Blanušina pisma, str. 3, njegovu prijatelju Paulu Urbanu u Graz: *Pismo Paulu Urbanu u Grazu*, Univerzitätplatz 5, nadnevka 1. lipnja 1948. Koncept pisma, napisan Blanu-

šinom rukom, iz kojeg se vidi da je dopisivanje bilo višestruko, uključujući Urbanove odgovore, te da je Blanuša Urbanu slao separate svojih radova.

24

Ibid., str. 4.

započelo njihovo znanstveno dopisivanje, jedinstveno u modernoj hrvatskoj znanstvenoj povijesti, a možda i čitavoj hrvatskoj kulturnoj i znanstvenoj povijesti. Dodatni je razlog Blanuša, svakako, nalazio i u činjenici da je Pauli neposredno prije, 1945. godine, primio Nobelovu nagradu za fiziku za slavni Paulijev princip isključenja.

Blanušine transformacijske formule u relativističkoj termodinamici i kontekst njihova otkrića, nisu još u povijesno-znanstvenome okviru završena priča. Naš prikaz i rezultate istraživanja tih pitanja, možemo u suvremenom kontekstu sabrati u ove zaključke i prijedloge:

- Blanuša je pogriješio što nije vlastita otkrića u teoriji relativnosti pokušao objaviti u svjetskim časopisima iz fizike toga vremena. Njegovi doprinosi ostali su tako samo »lokalno« prepoznati!
- *Odgovornost znanstvenika* (Verantwortung des Wissenschaftlers) Blanuša je, u ovom slučaju, uzimao tako da najprije treba upozoriti najuglednije živuće fizičare (osnivače) u području teorije relativnosti, ne bi li se oni suglasili s njegovim izvodima. U to je doba u Europi to bio Pauli, a Einstein je u Americi bio zaokupljen drugim pitanjima i problemima. Premda Pauli nije Blanuši dao očekivani odgovor, takav Blanušin etički stav ostaje uzor naraštajima budućih istraživača u Hrvatskoj, Europi i svijetu.
- Je li Blanuša u pismima, možda, trebao upozoriti na usputnu Paulijevu i Planckovu opasku (str. 86 Paulijeve knjige, engl. izd. iz 1958.) o tome da poopćavanje tenzora  $S_{ik}$  (tenzor Minkowskog) na druge oblike energije, osim elektromagnetske, može dovesti do stanovitih (»neopravdano uznemirujućih«) paradoksa? Bi li Pauli drukčije postupio i preporučio Blanušin rad za objavljivanje u svjetskom časopisu iz fizike, možemo samo nagađati!? Ostaje otvorenim što bi »strašni Pauli« (»die fürchterliche Pauli«, izjava fizičara P. Ehrenfesta) ili »bič Božji« (die Geißel Gottes) napravio? Uostalom, sam Einstein je o Pauliju znakovito izjavio da je specifični znanstvenik: »Ovaj Pauli je dobro-nauljena glava« (»This Pauli is a well-oiled head«).<sup>25</sup>
- Devidéov zaključak (vidi [1]) da se Blanušina otkrića u poznatim udžbenicima iz termodinamike neopravdano pripisuju H. Ottu (koji je do istih otkrića došao 16 godina kasnije od Blanuše), najboljim su putokazom što hrvatski znanstvenici trebaju učiniti. Napose se to odnosi na hrvatske povjesničare znanosti!

Blanušina motivacija u njegovim pismima Pauliju bila je isključivo znanstvena. Pored želje da se u relativističkoj termodinamici primjenjuju točne fizikalne formule, Blanuša je naročito želio da De Broglie u svoj novi projekt valno-mehaničke teorije termodinamike toga vremena, ugradi Blanušine a ne Planckove formule. Blanuša je bio stalno zainteresiran i otvoren za suvremeni razvoj fizike svoga vremena. Na kraju pisma Pauliju od 15. ožujka 1948., spominjući i pozdrave što ih Pauliju šalje Dr. Havliček, Blanuša naročito moli Paulija da mu pošalje članak o kvantnoj teoriji gravitacije dvojice ruskih fizičara – Ivanenka i Sokolova – objavljen u *Proc. Roy. Soc. A*, 173 (1939) 212., a što ga on sam nije u mogućnosti nabaviti.

Prisjetimo se nekih činjenica o Pauliju. Krsni je kum Pauliju bio Ernst Mach, fizičar i filozof, čiji je doprinos idejama Einsteinove teorije relativnosti bio ključan. Opće je poznata činjenica da je W. Pauli imao »teži« karakter. Fizičar Paul Ehrenfest je Paulija nazivao »strašnim Paulijem« (die fürchterliche Pauli) ili, pak, »bičem Božjim« (die Geißel Gottes). Sabrani znanstveni radovi Wolfganga Paulija u dva velika sveska, objavljeni 1964. godine, počinju pretiskom poznatog Paulijeve teksta napisanog pred njegovu smrt 1958., u



kojemu on izražava nevjericu u netom otkriveno narušenje simetrije prostornog pariteta (zrcaljenja) u  $\beta$ -raspadu. T. D. Lee i C. N. Yang su 1956. teorijski pretpostavili takvo narušenje, a eksperimentalno izmjerila i protumačila C. Wu u  $\beta$ -raspadu  $^{60}\text{Co}$  1957. godine. Pauli je takve ideje teško prihvaćao, tako da ne iznenađuje njegov odnos prema Blanuši, njegovim izvodima i pismima.

S druge, pak, strane, Blanušine radove i djelovanje u matematici i fizici kao i u njihovu presjeku, možemo opisati jednostavnom Poincaréovom konvencijom: »*Les faits ne parlent pas*« (Činjenice ne govore). Henri J. Poincaré ovom trivijalnom konvencijom osigurava mjesto i ulogu matematičkoj fizici, hipotezi i generalizaciji u znanstvenome istraživanju općenito. Poincaréova algebra i filozofske ideje ponovo oživljuju u pokušajima formuliranja novih postulata u fizici relativnosti, kad se relativnost želi proširiti i na fenomenologiju kvantne gravitacije. Poincaré je želio naglasiti kako nije sve u podacima i pokusima, ma koliko oni veliki i značajni bili! Blanuša je mislio i djelovao slično kao i slavni francuski matematičar i filozof Poincaré.

Želimo još reći da termodinamički prijepor između Blanuše i Paulija nije razriješen osjetljivim i preciznim pokusima. Barem koliko je autoru ovog članka poznato! To nam se ne čini stranim, jer Blanuša nije svoje otkriće objavio u svjetskom časopisu iz fizike, da bi se time onda pozabavili vrhunski sveučilišni laboratoriji u svijetu. S druge strane, ostvarenje njegovih misaonih eksperimentalnih prijedloga iz njegovih članaka, izgleda, i danas tvrdim, eksperimentalnim problemom. Naime, precizna mjerenja prijelaza topline između tijela u sustavu u mirovanju i odgovarajućem gibajućem sustavu, upućuju na gotovo savršenu izolaciju tih sustava od okoline. To je, kako je poznato, jedan od najtežih tehničkih iskušenja termodinamike u njezinoj povijesti!\*\*

Možemo, na kraju, zaključiti da se u razvoju hrvatskog prirodoslovlja i matematike u 20. stoljeću ime profesora Danila Blanuše izdiglo zbog njegova dugogodišnjeg interesa i temeljitog bavljenja A. Einsteinom i pitanjima teorije relativnosti. Smijemo reći da svojim transformacijskim formulama i dokazima za njihovu valjanost, Blanuša zaslužuje mjesto uz bok Plancku i Pauliju, u područjima *STR* i termodinamike.

25

Vidi u: *The New Quotable Einstein*, prikupila i uredila Alice Calaprice, s predgovorom Freemana Dysona, prošireno komemorativno izdanje objavljeno povodom stote obljetnice Specijalne teorije relativnosti, Princeton University Press – The Hebrew University of Jerusalem, Princeton, New Jersey 2005., str. 93.

\*\*

Moj rad o Blanušinim relativističkim transformacijama za količinu topline i temperaturu pri prijelazu iz sustava u mirovanju u drugi, gibajući inercijalni sustav, bio je prihvaćen na 22. svjetskom kongresu o povijesti znanosti u Pekingu (*ICHS*, 24.–30. srpnja 2005.). To je bio jedini prihvaćeni rad iz hrvatske povijesti znanosti i kulture, a referiran je u okviru znanstvene sekcije *SS7. Moderna fizika i astronomija*, u sklopu Einsteinova dana na kongresu [38]. Izlaganje o Blanušinim formulama izazvalo je interes napose njemačkih povjesničara i znanstvenika. U

diskusiji nakon referata, primio sam vrlo korisnu sugestiju njemačkih istraživača da o rezultatima istraživanja Blanušinog slučaja i Blanušinom pismu Pauliju obavijestim Karla von Meyenna, poznatog povjesničara fizike u Max Planck – Werner Heisenberg institutu za fiziku u Münchenu i priređivača Paulijeve znanstvene korespondencije (Karl von Meyenn /ur./, *Wolfgang Pauli, Wissenschaftlicher Briefwechsel*, Springer-Verlag, New York 1979.-2000.). Blanušin slučaj, dakle, nije još završen! Njegovo dopisivanje s Paulijem nedvojbeno zaslužuje i treba biti uvršteno u poznatu Paulijevu znanstvenu korespondenciju, što je dug hrvatske povijesti znanosti. Autor ovog rada je hrvatsku javnost obavijestio o znanstvenome dopisivanju između Blanuše i Paulija na temelju istraživanja izvornih dokumenata, u predavanju u HAZU (29. svibnja 2003.) i na FER-u (1. srpnja 2003.) u povodu 100. obljetnice rođenja akademika D. Blanuše [35–36].

## Bilješke i izvori

1. Danilo Blanuša 1903.–1987., Spomenica preminulim akademikima, svezak 50, Razred za mat., fiz., kem. i tehničke znanosti, urednik izv. član Vladimir Devidé, JAZU, Zagreb 1989.
2. Heinrich Ott, »Lorentz-Transformation der Wärme und der Temperatur«, *Zeitschrift für Physik* 175 (1963), str. 70–104.
3. Henri Arzeliès, »Transformation relativiste de la température et de quelques autres grandeurs thermodynamiques«, *Il Nuovo Cimento*, vol. XXXV, 3/1965, str. 792–804.
4. Ivo Derado – E. Ferrari, »Temperature transformations in relativistic thermodynamics«, *FIZIKA A (Zagreb)* 8, 4/1999, str. 223–228.
5. Norbert Straumann, *General Relativity and Relativistic Astrophysics*, with 81 figures, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York <sup>2</sup>1991. [Njemački naslov: *Allgemeine Relativitätstheorie und relativistische Astrophysik.*]
6. William D. McGlinn, *Introduction to Relativity*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore – London 2003.
7. Max Born, *Einsteinova teorija relativnosti i njezini fizički osnovi*, prema trećem izdanju preveo, dodatkom i bilješkama nadopunio Danilo Blanuša, Znanstvena djela Hrvatskog prirodoslovnog društva, knjiga I., Tipografija, Zagreb 1948.
8. Danilo Blanuša, *Teorija relativnosti*, Mala biblioteka za matematiku, fiziku i kemiju, br. 7, Školska knjiga, Zagreb 1955.
9. Robert H. Dicke, »Gravitation and the Universe«, *The Franklin Institute, Memoirs of the American Philosophical Society*, Vol. 78 (1970), American Philosophical Society, Philadelphia 1970.
10. Danilo Blanuša, »Sur les paradoxes de la notion d'énergie«, *Glasnik Mat.–Fiz. i Astr. Ser. II* 2 (1947), str. 249–250.
11. Danilo Blanuša, »O relativističkoj termodinamici«, u: *Prvi kongres mat. i fiz. FNRJ, Bled 1949*, Naučna knjiga, Beograd 1951., str. 235–240.
12. Danilo Blanuša, »Osnovi relativističke kinematike«, *Glasnik Mat.–Fiz. i Astr. Ser. II* 6 (1951), str. 1–32.
13. Blanušina korespondencija s W. Paulijem:
  - 13.1. Blanušino pismo poštovanom Profesoru W. Pauliju, nadnevka 15. 03. 1948., poslano iz Tehničkog fakulteta u Kačićevoj 26. Tipkani tekst na pisačem stroju s Blanušinih ispravkama (ukupno 7 stranica).
  - 13.2. Blanušino pismo Paulu Urbanu u Grazu, Univerzitätplatz 5, nadnevka 1. 06. 1948. Koncept napisan Blanušinom rukom (ukupno 4 stranice) iz kojeg se vidi da je dopisivanje bilo višestruko, uključujući Urbanove odgovore, te da je Blanuša Urbanu slao separate svojih radova.
14. Danilo Blanuša, *Opća teorija relativnosti*, popularno predavanje 08. siječnja 1975., B<sub>1</sub> ETF-a, Elektrotehnički fakultet, Zagreb 1975.; Danilo Blanuša, *Gravitacija i svemir*, znanstveni kolokvij na 8. sjednici (prenumerirana u 220. sjednicu) Znanstvenog vijeća ETF-a, održanoj 8. srpnja 1975., Elektrotehnički fakultet, Zagreb.
15. Lev Davidovič Landau – Juriš Borisovič Rumer, *Što je teorija relativnosti*, prijevod Olga Vernić, predgovor akademik Danilo Blanuša, III. izdanje, Školska knjiga, Zagreb 1985.
16. Danilo Blanuša, »Gravitacija«, u: *Tehnička enciklopedija*, sv. 6 (G – Ka), glavni urednik Hrvoje Požar, Jugoslavenski leksikografski zavod, Zagreb 1979., str. 260–265.
17. Roger Penrose – Wolfgang Rindler, *Spinors and Space-Time*, sv. 1: *Two Spinor Calculus and Relativistic Fields*, Cambridge University Press, Cambridge 1986.
18. Erwin Schrödinger, *Expanding Universes*, Cambridge University Press, Cambridge 1957.
19. Paul Adrien Maurice Dirac, »The Relation between Mathematics and Physics« (Lecture delivered on presentation of the James Scott prize, February 6, 1939), u: *Proceedings of the Royal Society*, sv. 59, II. dio, Edinburgh 1938.–1939., str. 122–129.
20. Albert Einstein, »Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie«, *Annalen der Physik (Leipzig)*, 49 (1916), str. 769–822.

21. *The New Physics*, priređivač Paul Davies, Cambridge University Press, Cambridge 1989. 2. poglavlje: Clifford Will, »The Renaissance of General Relativity«, str. 7–33.
22. Theodore Frankel, *Gravitational Curvature. An Introduction to Einstein's Theory*, W. H. Freeman and Comp., San Francisco 1979.
23. Adalberto Giazotto, »Interferometric Detection of Gravitational Waves«, *Physics Reports* 182 (6/1989), str. 365–425.
24. Margherita Hack, *Sette variazioni sul cielo*, Raffaello Cortina Editore, Milano 1999.
25. Matt Roos, *Introduction to Cosmology*, John Wiley & Sons, Chichester 1994.
26. Abraham Pais, *Subtle is the Lord... The Science and Life of Albert Einstein*, Oxford University Press, Oxford 1983.
27. Tomislav Petković, *Uvod u znanost o toplini i termodinamici*, Element, Zagreb 1997.
28. Tomislav Petković, *Uvod u modernu kozmologiju i filozofiju*, 3. izmijenjeno izdanje, sa separatom na engleskom jeziku o Frani Petriću, Gradska knjižnica »Juraj Šižgorić« – Element, Šibenik – Zagreb 2006.
29. *Collected Scientific Papers by Wolfgang Pauli*, sv. 1–2, ur. R. Kronig i V. F. Weisskopf, Interscience Publisher (a division of John Wiley & Sons), New York 1964.; Wolfgang Pauli, »Relativitätstheorie«, u: *Encyclopädie der mathematischen Wissenschaften*, sv. 5, dio 2, B.G. Teubner, Leipzig 1921., str. 539–775; Wolfgang Pauli, »Supplementary Notes by the Author«, u: Wolfgang Pauli, *Theory of Relativity*, Pergamon Press, Inc., New York 1958., str. 207–232.
30. *Collected Scientific Papers by Wolfgang Pauli*, sv. 2: *Journal articles, conference reports, and contributions to discussions*:
  - »Theorie und Experiment«, *Dialectica* 6 (1952), str. 141–142.
  - »Albert Einstein in der Entwicklung der Physik«, *Universitas* 13 (1958), str. 593–598. (Prvi put objavljeno u: *Neue Zürcher Zeitung*, br. 89, 12. 01. 1958.)
  - »Zur Thermodynamik dissoziierter Gleichgewichtsgemische in äusseren Kraftfeldern«, u: *Festschrift Jakob Ackeret, Z. Angew. Math. Phys.* 9b (1958), str. 490–497.
  - »Impressionen über Albert Einstein«, *Neue Zürcher Zeitung*, br. 1055, 22. 08. 1955.
31. Max Planck, *S.B. preus. Akad. Wiss.* (1907), str. 542.
32. Max Planck, »Zur Dynamik bewegter Systeme«, *Annalen der Physik* (Leipzig), 76 (1908), str. 1–34.
33. Albert Einstein, *Jb. Radioakt.*, 4 (1907), str. 440.
34. Tomislav Petković, »Blanušini doprinosi teoriji relativnosti i njezin razvoj nakon 1955. godine«, u: Danilo Blanuša, *Teorija relativnosti*, priredio Vladis Vujnović, Školska knjiga, Zagreb 2003., str. 153–191.
35. Tomislav Petković, »Blanušini doprinosi teoriji relativnosti«, u: *Danilo Blanuša (1903.–1987.), Znanstveni skup održan 29. svibnja 2003. godine u palači Akademije u povodu 100. obljetnice rođenja*, urednik akademik Sibe Mardešić, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Razred za matematičke, fizičke i kemijske znanosti, Zagreb 2003., str. 29–65.
36. Tomislav Petković, »Blanušini prilozi teoriji relativnosti«, u: *Danilo Blanuša na raskrižju matematike, fizike i elektrotehnike*, priredio Ivan Ivanšić, Fakultet elektrotehnike i računarstva – Element, Zagreb 2005., str. 57–81. [Tomislav Petković, »Blanušini prilozi teoriji relativnosti«, Kolokvij u povodu 100. obljetnice rođenja akademika Danila Blanuše (1903.1987.), Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1. srpnja 2003., Zagreb.]
37. »Albert Einstein, 1879–1955«, u: *The New Quotable Einstein*, prikupila i uredila Alice Calaprice, s predgovorom Freemana Dysona, prošireno komemorativno izdanje objavljeno povodom stote obljetnice Specijalne teorije relativnosti, Princeton University Press – The Hebrew University of Jerusalem, Princeton, New Jersey 2005.
38. Tomislav Petković, »D. Blanuša's formulae for transforming heat and temperature in relativistic thermodynamics and his correspondence with W. Pauli in 1948«, *XXII International Congress of History of Science, Beijing 24–30 July, 2005. Book of Abstracts*, Institute for the History of Natural Science, Chinese Academy of Science, Peking 2005., str. 393.

**Tomislav Petković**

**D. Blanuša's Formulae for Transforming Heat and Temperature in Relativistic Thermodynamics and his Correspondence with W. Pauli in 1948**

Danilo Blanuša (December 7, 1903 – August 8, 1987) was one of the greatest Croatian mathematicians and physicists of the 20th century. His fundamental contribution to physics is connected with applications of the special theory of relativity to phenomenological thermodynamics. In 1947, Blanuša derived original formulae for transforming the quantities of heat and temperature, which were essentially different from those derived by Planck and Einstein in 1907. The situation was controversial with respect to the fact that the Planck–Einstein formulae were stated to be correct and indisputable by W. Pauli in his famous book on the theory of relativity (1921). Due to his greatest respect for Pauli's work and his big role in physics, Blanuša wrote a comprehensive scientific letter (March 15, 1948) to Pauli and to P. Urban (June 1, 1948) in Graz, an old friend from his student days in Vienna. In both letters Blanuša discussed his thermodynamical concepts, demonstrating arguments for his formulae  $Q = \frac{Q_0}{\alpha}$  and  $T = \frac{T_0}{\alpha}$ , where  $\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ,  $Q_0$  and  $T_0$  are quantities of heat and temperature in a stationary system

respectively, whereas  $Q$  and  $T$  are the corresponding quantities in a moving system. Blanuša's starting point for developing his formulae was associating simplified physical pictures with thermodynamics quantities under a Lorentz transformation, and clearing up conceptual contradictions which were concealed in Planck's deduction. By presuming that Pauli was an admirer of Planck due to agreement of his deduction with works of Einstein and Minkowsky, Blanuša had approved his formulae also by means of Blanuša's tensor  $B_{ik}$  of components connected with phenomenological heat convection. Blanuša had reported or published his formulae a few times (1947, 1949, and 1951) either in Croatian or Yugoslav journals, but never in any of the prestige journals of physics of that time. Those formulae were historically attributed to H. Ott (Zeitschrift für Physik 175, (1963) 70–104), who had also discussed and derived them in a pure relativistic manner. In Ott's paper, Blanuša's work which had been done 16 years earlier, was not referred to at all. Blanuša was not mentioned in a paper by H. Arzeliers (Nuovo Cimento 35, (1965) 792) either. However, in the recent profound theoretical examination by I. Derado and E. Ferrari (FIZIKA A (Zagreb) 8 (1999) 4, 223–228) the importance of Blanuša's contribution to the subject was strongly emphasized. A basic motivation for Blanuša's letter to Pauli was scientific truth, particularly his intimate wish that de Broglie could have incorporated Blanuša's formulae in his new project of developing quantum mechanical thermodynamics, rather than those of Planck. Croatian public had been informed on the scientific correspondence between Blanuša and Pauli by the author of this paper by two lectures: the first at the Croatian Academy of Sciences and Arts (May 29, 2003), and the second at the Faculty of Electrical Engineering and Computing (July 1, 2003), both on the occasion of the 100th anniversary of Blanuša's birth. On the same issue author spoke at the 22nd International Congress of History of Science (July 24–30, 2005, Beijing) for the world public. In the paper dedicated to the Cres symposium, on the occasion of the 100th anniversary of the Einstein's Special theory of relativity, the scientific facts and philosophical arguments to give Blanuša a historical place of the first inventor of the correct formulae for transforming heat and temperature in relativistic thermodynamics had been demonstrated.

**Key Words**

relativistic thermodynamics, transforming formulae of heat and temperature, Danilo Blanuša, Blanuša's formulae, Wolfgang Pauli, Heinrich Ott, Henri Arzeliers, Blanuša's responsibility of a scientist