

Boštjan Golob in Igor Žunkovič

Slovenski doktorji fizike od 1882 do konca prve svetovne vojne

Pričujoči pregled slovenskih doktorskih študentov fizike na Univerzi na Dunaju povzema tako razvoj dunajske fizike ob koncu 19. stoletja kot tudi njen vpliv na razvoj sodobne fizike. V tak kontekst postavljamo slovenske študente in njihov doprinos k fizikalni znanosti. Ugotovimo, da so ti študenti lahko uživali predavanja eminentnih in svetovno priznanih fizikov, ki so vsebovala tudi najnovejša svetovna fizikalna dognanja. Po študiju so se vsi tedanji študenti vrnili v slovensko okolje, a nihče od njih ni pričel oz. nadaljeval z znanstveno kariero. Večina se je ukvarjala s prosveto ter širjenjem fizikalnega znanja. Neposrednega vpliva na kasnejši razvoj slovenske fizike obravnavane osebe niso imele. Povsem verjetno pa je, da so posredno – preko izobraževanja mladih, ter razširjanja fizikalnega znanja in predvsem vcepljanja novih fizikalnih idej v slovensko okolje – vplivali na kasnejše generacije.

Fizika na Filozofski fakulteti dunajske univerze do leta 1920

Poučevanje fizike ima na dunajski univerzi svoje mesto že vse od njene ustanovitve leta 1365, vendar je »razvoj moderne fizike na dunajski univerzi pravzaprav mogoče povezati s prepoznanjem pomena Newtonove mehanike«. ¹ Lotte Bittner v svojem pregledu razvoja fizike na Dunaju od ustanovitve univerze naprej ugotavlja, da se še Johann Zematsek, ki je poučeval do leta 1823, z newtonovsko fiziko ni »resno soočil in prepoznal njenega pomena«. ² Za utemeljitelja moderne fizike na Dunaju zato velja Zematsekov naslednik Andreas Baumgartner, »prvi veliki fizik moderne dobe,« ³ hkrati tudi prvi fizik na dunajski univerzi, ki je predaval v nemškem jeziku.

Baumgartner se je kot redni profesor na dunajski univerzi habilitiral leta 1823 pri starosti trideset let in nemudoma pričel z metodološko in tehnično prenovo Fizikalnega

1 Lotte Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der philosophischen Fakultät der Universität Wien*. Wien: Universität Wien, 1949, str. 23.

2 Prav tam, str. 23.

3 Prav tam, str. 29.

kabineta, saj »med številnimi napravami«, ki jih je bil prevzel skupaj z vodenjem »kabineta«, »ni bilo skoraj ničesar uporabnega«. ⁴ Baumgartnerjevo prizadevanje za ustrezno opremljenost Fizikalnega kabineta je nadaljeval njegov naslednik Andreas von Ettingshausen (1832–1845), ki je z Baumgartnerjem tudi sourejal *Zeitschrift für Physik und Mathematik* (1826–1832) ⁵ in bil predstojnik Fizikalnega muzeja. Vodenje Fizikalnega kabineta je leta 1849 prevzel August Kunzek von Lichten.

Wolfgang Reiter obdobje med 1850 in 1875 imenuje »herojska doba«. To je čas razvoja fizike, ki ga po Reiterjevi oceni najbolje opisuje potreba po »praktični, eksperimentalni izobrazbi«. ⁶ Medtem ko za Filozofsko fakulteto dunajske univerze reforme v letu 1849 pomenijo akademsko izenačenje s pravno, teološko in medicinsko fakulteto, za študij fizike pomenijo popolno premestitev njegovega namena in ciljev: pojavi se potreba po poznavanju praktičnega, eksperimentalnega dela in potreba po raziskovalnem delu. Obema praktičnima potrebama odgovarja ustanovitev Fizikalnega inštituta leta 1850, ki naj bi bil »primerno sredstvo oblikovanja šole uka in raziskovanja«. ⁷ Slednja usmeritev je bila vodilo urejanju delovanja inštituta, in sicer vključno z njegovo prostorsko umestitvijo. ⁸

Prvi predstojnik Fizikalnega inštituta je bil znameniti fizik Christian Doppler, vendar so njegove moči zaradi bolezni tedaj že pojenjale in ga je bil prisiljen že po dveh letih službovanja zapustiti, umrl pa je le leto zatem. Bolezni navkljub je Doppler dosegel, da se je inštitut leta 1851 preselil v nove prostore, kjer se je tudi vzpostavila knjižnica, uredil je delavnico in instrumentarij itn. ⁹ Po Dopplerjevem odhodu je vodenje inštituta prevzel Andreas Frh. von Ettingshausen, za njim pa leta 1866 enaintridesetletni Jožef Stefan (1866–1893), ki se je kot redni profesor »višje matematike in fizike« ¹⁰ na dunajski univerzi habilitiral leta 1863.

4 Prav tam, str. 32.

5 Revija je med letoma 1832 in 1827 izhajala pod naslovom *Časopis za fiziko in uporabne vede*, enkrat pa je izšla še v letih 1839 in 1840, nakar je zamrla (Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 37).

6 Wolfgang Reiter: *Von Erdberg in die Boltzmannsgasse – 100 Jahre Physik an der Universität Wien. V: Reflexive Innensichten aus der Universität*. Ur. Anton Fröschl etc. Göttingen: Vienna University Press/V&R Unipress, 2015, str. 191.

7 Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 45.

8 Ker je bila naloga inštituta praktično izobraževanje kandidatov za učitelje in kasneje tudi farmacevte, je na primer prvotna oddaljenost inštituta od preostalih »krajev, ki so jih obiskovali študentje dunajske univerze« (Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 55–56) problematična. To je tudi glavni razlog, da sta se Ettingshausen in Stefan zavzela za preselitev inštituta, kar se je zgodilo šele leta 1875.

9 Reiter: *Von Erdberg in die Boltzmannsgasse – 100 Jahre Physik an der Universität Wien*, str. 192.

10 Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 55.

Do leta 1875 so na dunajski univerzi obstajale že tri »fizikalne« stolice, in sicer Fizikalni inštitut (Jožef Stefan – matematična fizika), Fizikalni kabinet (Victor von Lang – eksperimentalna fizika) in Fizikalno-kemični univerzitetni laboratorij¹¹ (Josef Loschmidt, fizikalna kemija), ki so se preselile na skupno lokacijo na Türkenstrasse 3, kjer so ostale naslednja tri desetletja.¹²

Po prevzemu Fizikalno-kemičnega univerzitetnega laboratorija s strani Franza Exnerja (1891) in vrnitvi Ludwiga Boltzmann (1902) na dunajsko univerzo sta se fizikalni študij in raziskovanje reorganizirala in ta ureditev je obveljala vse do konca prve svetovne vojne. »Stari Kabinet je dokončno izgubil svoje ime in postal I. fizikalni inštitut, Fizikalni inštitut je postal Inštitut za teoretično fiziko. Prejšnji Loschmidtov inštitut je postal II. fizikalni inštitut.«¹³

Nenazadnje pa je bilo po Stefanovi smrti ustanovljeno mesto izrednega profesorja za matematično fiziko, ki ga je najprej zasedel Gottlieb Adler, za njim Gustav Jäger in nato od leta 1911 do leta 1920 Felix Ehrenhaft. Po odkritju radija (zakonca Curie, 1898) sta se za raziskovanje tega radioaktivnega elementa in radioaktivnosti nasploh zavzela Stefan Meyer in Egon Schweidler in njunim raziskovalnim uspehom (odkritje sevanja β , 1899) se je zahvaliti, da so v letih 1909 in 1910 ustanovili in povsem na novo zgradili¹⁴ Inštitut za radij (*Radiuminstitut*), katerega vodenje je prevzel Meyer, kot asistent pa je na inštitutu že od tega leta dalje deloval tudi Hess. Prav tako so do leta 1913 zgradili novo stavbo Fizikalnega inštituta, ki so ga sprva vodili Lecher, Exner in Jäger, vendar je njegov zagon že po slabem letu dni prekinil začetek prve svetovne vojne in »leta 1920 je na dunajski univerzi deloval le en profesor obče fizike (F. Ehrenhaft) in dva profesorja eksperimentalne fizike (E. Lecher in G. Jäger)«. ¹⁵

11 Ustanovitev tega laboratorija je stala 6400 fl., kar bi danes pomenilo nekaj več kot 75.000 evrov, za letno delovanje pa je laboratorij prejemal dotacijo v vrednosti 800 fl., to je nekaj manj kot 10.000 evrov.

12 Bittner in Reiter posebej izpostavljata neprimernost stavbe na Türkenstrasse 3 za poučevanje fizike, kjer pa so vendarle do leta 1913 poučevali in študirali številni tudi najpomembnejši fiziki tistega časa, in sicer ob Stefanu, Loschmidtu in Ernstu Lecherju še Boltzmann, Franz Exner, Friedrich Hasenöhr, Luise Meitner, Erwin Schrödinger, Victor Hess in drugi. (Reiter: *Von Erdberg in die Boltzmannngasse – 100 Jahre Physik an der Universität Wien*, str. 194; Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 63.)

13 Reiter: *Von Erdberg in die Boltzmannngasse – 100 Jahre Physik an der Universität Wien*, str. 195.

14 Za gradnjo so namenili 500.000 kron, kar bi danes znašalo več kot tri milijone evrov (Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 71).

15 Bittner: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*, str. 77.

Dunajska fizika ob koncu stoletja – od Dopplerja do Schrödingerja

Sumarična narava pričujočega pregleda razvoja študija in raziskovanja fizike na Dunaju do konca prve svetovne vojne ne dovoljuje poglobljene analize vplivov, ki so ga imeli številni pomembni profesorji in raziskovalci, zato lahko omenimo le najvidnejše dosežke posameznih raziskovalcev in profesorjev, medtem ko je pozornost usmerjena k eksplikaciji področij fizikalnega raziskovanja, ki so jih slednji razvili v obdobju med marčno revolucijo in koncem prve svetovne vojne.

Splošno lahko rečemo, da je obdobje preloma med 19. in 20. stoletjem verjetno čas, ko je bil Dunaj priča zbiru fizikalnih umov, kakršnega težko zasledimo prej ali pozneje. Na univerzi so na primer učili Boltzmann, Exner, pa (kasnejša) Nobelova nagrajenca Hess in Schrödinger. Eminentni predavatelji so navdihnil tudi številne študente, med katerimi so bila prav tako eminentna imena zgodovine fizike, npr. Paul Ehrenfest in Luise Meitner. Hkrati se je treba zavedati, da je bil prehod iz 19. v 20. stoletje v fiziki eno najburnejših in prelomnih obdobj, ki označuje prehod od klasične k moderni fiziki. Ob koncu 19. stoletja so se pričeli vrstiti rezultati poizkusov, ki so kazali na omejitve pri klasičnem opisu fizikalnih pojavov: sevanju teles,¹⁶ fotoefektu,¹⁷ rentgenskih žarkih,¹⁸ elektronu,¹⁹ radioaktivnosti²⁰ in še bi lahko naštevali. Pojavi so zahtevali razvoj teorije relativnosti in kvantne mehanike, dveh vej, ki opredeljujeta moderno fiziko. Vpliv te znanstvene revolucije presega okvire naravoslovja, pustil je močan pečat na družbi in posameznikih preko vpliva na filozofijo, umetnost, ekonomijo itd. V naslednjih nekaj odstavkih skušamo na nekaj primerih zgolj skicirati povezavo med delom fizikov, tesno povezanih z Univerzo na Dunaju, ter kasnejšim burnim razvojem fizike.

Stefan je že leta 1879 odkril²¹ naravni zakon, danes poimenovan Stefan-Boltzmannov zakon, ki podaja celoten energijski tok, ki ga telo oddaja v obliki

16 Sevanje črnega telesa, oddajanje elektromagnetnega valovanja katerega koli telesa z neničelno temperaturo. Več o eksperimentalnem preverjanju le-tega v: Hoffmann, Dieter: Schwarze Körper im Labor. *Physikalische Blätter*, let. 56 (2000), št. 12, str. 43–47.

17 Izbitje elektrona iz snovi ob obsevanju z elektromagnetnim valovanjem. Eksperimentalno odkritje v Herz, Heinrich: Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electriche Entladung. V: *Annalen der Physik*. Let. 267 (1887), št. 8, str. 983–1000.

18 Elektromagnetno sevanje, ki nastane ob pospešenem gibanju nabitih delcev (predvsem zaustavljanju elektronov).

19 Thomson, Joseph John: Cathode Rays. V: *Philosophical Magazine*, let. 44 (1887) št. 269, str. 293–316.

20 Pierre Radvanyi in Jacques Villain: The discovery of radioactivity. V: *Comptes Rendus Physique*, let. 18 (2017) št. 9–10, str. 544–550.

21 Jožef Stefan: Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur. V: *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, let. 79 (1879), str. 391–428.

elektromagnetnega sevanja. Boltzmann je leta 1884 zakon teoretično izpeljal²² na podlagi termodinamskih zakonov. Max Planck je leta 1901 uspešno teoretično opisal²³ spekter sevanja črnega telesa, pri čemer je moral predpostaviti kvantizacijo energije. Planckov spekter je diferencialna, osnovnejša oblika opisa sevanja, kot ga podaja Stefan-Boltzmannov zakon. Dandanes štejemo ta dosežek za enega temeljev kvantne mehanike, ki omogoča konsistenten opis pojavov v subatomske svetlu. Planck je leta 1918 za svoj prispevek prejel Nobelovo nagrado za fiziko.

Stefan Meyer je bil ena ključnih osebnosti pri zgodnjih raziskavah radioaktivnosti. Na univerzi je uspel je pridobiti ustrezne vzorce radioaktivnega urana za raziskave. S svojim eksperimentalnim delom je pokazal, da se sevanje β odklanja v magnetnem polju, pripomogel k identifikaciji žarkov β kot elektronov ter pokazal na razliko med žarki β in žarki α .²⁴ Z uranovo rudo je oskrboval zakonca Curie v Parizu in Ernesta Rutheforda v Londonu.²⁵ Leta 1904 je na dunajski univerzi doktoriral Ehrenfest, katerega so med študijem prevzela Boltzmannova predavanja. Kasneje je deloval na Univerzi v Leidnu, na področju statistične mehanike. Slovel je kot odličen predavatelj, med študenti, ki so delovali pri njem, je bil tudi Enrico Fermi. Prav jedrski razpadi ki jih je študiral Meyer, so kasneje Fermija privedli do postulatije šibke jedrske sile, ene od štirih osnovnih sil v naravi.

Leto za Ehrenfestom je na Dunaju doktorirala Luise Meitner, ki je v sodelovanju z Ottom Hahnom in Ottom R. Frischom odkrila in razložila stimulirano cepitev uranovih jeder.²⁶ Dejstvo, da si za odkritje ni delila Nobelove nagrade za kemijo, ki jo je leta 1944 prejel Hahn, še dandanes predstavlja verjetno enega hujših sporov Nobelovega komiteja. Pomena cepitve jeder na sodobno družbo verjetno ni potrebno posebej izpostavljati.

Kot Meyerjev asistent je na univerzi delal Victor Hess. V tem času je opravil vrsto poizkusov, s katerimi je dokazal obstoj kozmičnih žarkov²⁷ in za odkritje pre-

22 Ludwig Boltzmann: Ableitung des Stefan'schen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der electromagnetischen Lichttheorie. V: *Annalen der Physik und Chemie*, let. 258 (1884), št. 6, str. 291–294.

23 Max Planck: Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. V: *Annalen der Physik*, let 4 (1901), št. 3, str. 553–563.

24 Žarki α so jedra He.

25 Wolfgang Reiter: Stefan Meyer: Pioneer of Radioactivity. V: *Physics in Perspective*, let. 3 (2001), št. 1, str. 106–127.

26 Lise Meitner in O. R. Frisch: Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction: V: *Nature*, let. 143 (1939), št. 3615, str. 239.

27 Victor F. Hess: Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. V: *Physikalische Zeitschrift*, let. 13 (1912), str. 1084–1091.

jel Nobelovo nagrado za fiziko leta 1936. Kozmični žarki dandanes predstavljajo enega osnovnih glasnikov, ki znanstvenikom posredujejo informacije o vesolju in razvoju le-tega.

Erwin Schrödinger je študiral in deloval na Univerzi na Dunaju. Medtem ko je zgodnja leta akademske kariere preživel kot asistent Exnerja, je najbolj znan po formulaciji valovne mehanike, torej po Schrödingerjevi enačbi, ki jo je razvil v kasnejših letih²⁸ in je osnova nerelativistične kvantne mehanike. Za ta dosežek je prejel Nobelovo nagrado za fiziko leta 1933. Schrödinger je znan kot oče kvantne mehanike (čeprav je k razvoju le-te seveda prispevalo večje število fizikov).

Fizika na dunajski univerzi, natančneje ljudje, ki so jo sooblikovali ob prelomu med 19. in 20. stoletjem, je bila najtesneje povezana s takratnimi najodobnejšimi in pomembnimi dogajanja na tem področju. Še mnogo več, trdimo lahko, da so posamezniki pomembno prispevali k revolucionarnemu premiku od klasične, Newtonove, k moderni fiziki.

Slovenski fiziki

Med letoma 1873 in 1918 je na Dunaju doktoriralo šest slovenskih fizikov, in sicer Lavo (Leopold) Čermelj, Štefan Dolinar, Johann Knific, Adolf Pečovnik, Anton Ratajec in Josef Rožman. Ta imena tvorijo docela raznoliko skupino fizikov, med katerimi so nekateri ne le s svojim znanstvenim, temveč predvsem družbenim in poljudnoznanstvenim delom močno zaznamovali razvoj slovenske znanosti (npr. Čermelj), drugi pa so do danes povsem neznani in jih zgodovina znanosti šele na tem mestu prvič omenja. Kljub pomenu, ki so ga omenjeni fiziki kot skupina imeli za razvoj slovenske znanosti – številni so delovali kot učitelji in ravnatelji – se njihov doprinos k zgodovini fizike ne more primerjati z vplivom najpomembnejšega slovenskega fizika 19. stoletja Jožefa Stefana, ki je bil med drugim profesor Štefana Dolinarja, medtem ko drugi obravnavani študentje do leta 1918 njegovih predavanj niso poslušali.

Preden se posvetimo posameznim fizikom z našega seznama, je treba shematično predstaviti celovito sliko slovenskih študentov fizike (in matematike) na Dunaju med letoma 1872 in 1918. Skupaj so poslušali 352 predavanj, od teh največ pri Gustavu Ritt. von Escherichu (58), Gustavu Kohnu (38) in Ludwigu

28 Erwin Schrödinger: Quantisierung als Eigenwertproblem. V: *Annalen der Physik*, let. 384 (1926), št. 4, str. 273–376.

Boltzmannu (36).²⁹ Poudariti je treba, da prva dva pravzaprav nista poučevala fizike, ampak matematiko, medtem ko je tretji, Boltzmann, na dunajski filozofski fakulteti zasedal različna mesta ter predaval ob fiziki tudi filozofijo in matematiko (v svojem prvem dunajskem obdobju 1873–1877).

Pregled obravnavanih slovenskih fizikov pokaže tudi, da so vsi z izjemo Dolinarja študirali in doktorirali po letu 1900, medtem ko je Dolinar študiral med letoma 1873 in 1877. Obenem je Dolinar poslušal znatno najmanjše število predavanj, to je 26, ostali obravnavani doktorji fizike pa vsi več kot 50.³⁰ Navkljub časovni razliki med njimi Dolinar ni poslušal bistveno drugačnih predavanj kot preostala skupina fizikov, poleg tega je poslušal nekatere iste profesorje, npr. Boltzmann in Theodorja Vogta.

Prav Vogtovo ime v tem kontekstu kaže na še en pomemben trend študija fizike na dunajski univerzi ob koncu 19. in v začetku 20. stoletja. Četudi je že po imenih učiteljev in predmetov zaznati velik pomen praktične in eksperimentalne fizike (Exner, Lang idr), je precej poudarka na teoriji, in sicer še posebej v zvezi s filozofijo. Vsi obravnavani fiziki so namreč ob fizikalnih in matematičnih predmetih poslušali še kakšen filozofski predmet, najpogostejše teme pa so ob pedagoških in psiholoških (Höfler, Jerusalem, Jodl, Vogt, Stöhr) še kozmološke (Müllner, Boltzmann) in estetske (Reich). Pedagoški in psihološki predmeti, ki so jih slovenski študentje fizike najpogosteje poslušali (seveda ob predmetih s področja matematike), po eni strani kažejo na namembnost študija, ki služi izobraževanju učiteljev – dejansko je velik del obravnavanih doktorjev fizike kasneje poučeval fiziko in matematiko (Dolinar, Čermelj, Pečovnik, Ratajec, Knific). Po drugi strani kažejo na naravo tedanjih tektonskih premikov v fiziki; zaradi revolucionarnosti novih idej je bilo nujno potrebno tudi razumevanje implikacij le-teh na splošno dojemanje sveta.

V nadaljevanju se osredotočamo na študij in znanstveni doprinos ter področja zanimanja in raziskovanja slovenskih študentov fizike, četudi nobeden od obravnavanih fizikov ni dosegel vpliva, kakršnega je imel generacijo starejši Jožef Stefan, ali pa generacijo mlajši fiziki, npr. Anton Peterlin.

Štefan Dolinar

Štefan Dolinar je bil rojen 31. decembra 1853 v Horjulu (Kranjska). V vpisnicah ime in poklic (*Landmann*) očeta Andreasa zapiše le na prvi vpisnici, kasneje to

²⁹ Podatke črpamo iz vpisnic (Nationale) obravnavanih slovenskih študentov fizike.

³⁰ Obe števili vključujeta seminarje, proseminarje in vaje.

polje pusti prazno.³¹ Dolinar je s pomočjo različnih štipendij na Filozofski fakulteti dunajske univerze študiral med zimskim semestrom 1873/74 ter letnim semestrom 1877, poslušal/opravil pa je 26 predavanj, seminarjev, proseminarjev in vaj – največ, skupno kar 7, pri Stefanu (Akustika in Optika z eksperimentalnega vidika, Vaje iz fizikalnih eksperimentov, Uvod v teoretično in molekularno fiziko, Teoretična optika, Veda o toploti, Eksperimentalna mehanika, Magnetizem). Stefan je z Loschmidtom tudi spisal oceno Dolinarjeve disertacije z naslovom *Die Beugung des Lichtes durch kreis- und ringförmige Öffnungen* (Uklon svetlobe ob prehodu skozi okrogle in ovalne odprtine).³²

Tema disertacije je sicer klasična (optika, interferenca oziroma uklon svetlobe), a kaže na sodobnost študija. Interferenčni pojavi s svetlobo so namreč kasneje predstavljali pomembno področje prehoda od korpuskularne k valovni naravi obravnave delcev. V disertaciji gre za teoretično obravnavo slike, ki jo dobimo ob prehodu svetlobe preko pravokotne oziroma okrogle odprtine. Dolinar znaten del nameni izračunu integralov, do katerih vodi izpeljava. Z današnjega stališča disertacija spominja na kompleksnejšo domačo nalogo iz matematične fizike. Še pred promocijo je Dolinar leta 1879 opravil strokovni izpit (*Gymnasial-Lehramts-Befähigungs-Prüfung*) iz matematike in fizike. Promoviral je 27. novembra 1882.

Anton Ratajec

Anton Ratajec je bil rojen 29. decembra 1873 v kmečki družini. Gimnazijo je obiskoval v Novem mestu, nakar je eno leto prostovoljno služil vojaški rok in »napravil častniški izpit«, ³³ nato pa je »študiral teologijo v Ljubljani (1895–1899)« ter »1899–1904 matematiko in fiziko na dunajski filozofski fakulteti; bil je dve leti prefekt v lj. Alojzijevišču, 1907–1908 poskusni kandidat na državni gimnaziji v III. Dunajskem okr.«³⁴ Po opravljenem doktoratu iz matematike in fizike je leta 1908 postal profesor na gimnaziji v Št. Vidu, ki jo je med letoma 1933 in 1936 tudi vodil.

Med petdesetimi predavanji, seminarji, proseminarji in vajami, ki jih je poslušal in opravljal na Filozofski fakulteti na Dunaju, je največ (15) Escherichovih, medtem

31 Archiv der Universität Wien (v nadaljevanju UAW), Nationale, Štefan Dolinar.

32 Prim. UAW, personalna mapa z doktorskimi akti št. 226 (Rigorošenakt, RA 226), ocena disertacije.

33 Franc Ksaver Lukman: Anton Ratajec (1873–1939). V: *Slovenska biografija*. SAZU, ZRC SAZU, 2013. Splet.

34 Prav tam.

ko je od fizikov največ poslušal Jägra, ki je tedaj predaval teorijo svetlobe, teoretično fiziko, optiko, električno prevodnost itn.,³⁵ torej teoretične predmete, čeprav je Ratajec doktoriral z eksperimentalno disertacijo. Iz vpisnic je razvidno še, da je Ratajec poslušal precej pedagoških, jezikoslovnih in zgodovinpisnih predmetov, na primer srednjeveško zgodovino Slovanov, psihologijo jezika, pedagogiko, praktično filozofijo itn., kar pomeni, da se je izobraževal za učitelja, to pa je nenazadnje značilnost večine na tem mestu obravnavanih fizikov. Naslov disertacije, ki sta jo ocenila profesorja Exner in Lang (kot zanimivost omenimo, da se je prvi podpisoval z imenom – Franz, drugi pa je bil po osnovni izobrazbi kemik), je dolg: *Über die Bestimmung der Dichten und Kapillaritätskonstanten der Gemische von Hexan und Aceton sowie deren Berechnung aus den Konstanten der Komponenten* (O določanju gostote in kapilarnih konstant mešanic heksana in acetona ter izračunu iz lastnosti komponent).³⁶ Prva zanimiva podrobnost je tema, ki se vrti okoli enakih kemijskih sestavin kot pri Knificu (acetona in heksana, glej spodaj). Gre za eksperimentalno delo, ki vključuje tabele meritev, grafe ter celo izpeljavo fenomenoloških zvez med posameznimi merjenimi količinami na podlagi izmerjenih odvisnosti. Poglavitna motivacija za eksperimentalno delo je bila, kot kaže, eksperimentalna metoda – Jägerjeva metoda določanja kapilarnih konstant;³⁷ zakaj ravno v mešanici acetona in heksana ni očitno (morda enostavno zaradi dobre topljivosti slednjega v prvem).

Ivan (Johann) Knific

Ivan Knific je bil rojen 28. junija 1875 v Hrašah pri Ljubljani. Leta 1894 je opravil maturo in se posvetil teološkim študijam ter bil leta 1898 posvečen v duhovnika. Po enoletnem službovanju kot duhovnik se je vpisal na študij fizike z matematiko na Filozofsko fakulteto na Dunaju. Med študijem je pod Exnerjevim vodstvom delal v Fizikalno-kemijskem inštitutu ter na podlagi tega raziskovanja sestavil disertacijo z naslovom *Über das Brechungsvermögen des Acetons und Hexans und ihrer Mischungen* (O lomnih lastnostih acetona in heksana ter njunih mešanic). Drugi mentor (v današnjem času bi to funkcijo imenovali somentor) je bil Boltzmann.³⁸

35 UAW, Nationale, Anton Ratajec.

36 Prim. UBW sig. D-1361: *Über die Bestimmung der Dichten und Kapillaritätskonstanten der Gemische von Hexan und Aceton sowie deren Berechnung aus den Konstanten der Komponenten* (Ratajec Anton).

37 Kapilarna konstanta je povezana z osnovnejšimi fizikalnimi količinami, gostoto kapljevine in njeno površinsko napetostjo.

38 John Blackmore (ur.): *Ludwig Boltzmann His Later Life and Philosophy, 1900–1906: Book One*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995.

Knifičevo disertacijo sta pregledala referenta Exner in Boltzmann, ki sta nje-gove eksperimente opisala kot »skrbno zasnovane« in navkljub »nestabilnosti substanc«³⁹ uspešno izvedene. Področje disertacije je očitno optika, podobno kot v Dolinarjevi disertaciji, je pa ta eksperimentalna in ne teoretična. Knific je promoviral 22. septembra 1904. Med študijem je Knific opravil 63 študijskih obveznosti, med drugim je poslušal tudi predavanje Teorija števil pri Josipu Plemlju, medtem ko je poslušal največ Escherichovih in Boltzmannovih predavanj, kakor je bilo tedaj običajno pri večini študentov. Po dokončanem študiju je bil eno leto duhovnik »med slovenskimi rudarji v Porenju in na Westfalskem (1904–1905), suplent na škofijski gimnaziji v Urfahrju pri Linzu, od 1905 profesor na škofijski gimnaziji v Št. Vidu nad Ljubljano«. ⁴⁰

Knific je na šentviški gimnaziji poučeval fiziko, matematiko, logiko in psihologijo, bil pa je tudi »varuh prirodoslovne zbirke«. ⁴¹ Vendar je bil po letu 1900 bolj znan po svojih potopisih: *Na Westfalskem* (Slov. 1900), *V sveti deželi* (Slov. 1902), *Ob piramidah* (Zora, 1903), *Od Save do Bospora* (DS, 1902), *V deželi polnočnega sonca* (DS, 1910), *Upsala* (DS, 1911), *Med slovenskimi izseljenci v Vladikavkazu* (DS, 1912), *Na Rivieri in v Marseillu, Alžir* (Mentor, 1913/14), *Čez rusko granico, i. dr.* (DS, 1914), *V ruskem Turkestanu i. dr.* (DS, 1915–18). ⁴²

Josef Rožman

Josef Rožman je bil rojen 24. marca 1878 v Artičah ob Brežicah. Med letoma 1890 in 1898 je obiskoval državno gimnazijo v Mariboru, kjer je leta 1901 opravil maturo in še istega leta se je vpisal na dunajsko Filozofsko fakulteto, kjer je začel študirati fiziko in matematiko. Študij je dokončal z disertacijo z naslovom *Abhängigkeit von dielektrischen Leitungsvermögens der flüssigen Substanzen von der Temperatur* (Odvisnost dielektrične prevodnosti tekočih substanc od temperature), in sicer pri Exnerju, drugi referent pa je bil Boltzmann. Promoviral je 7. julija 1905. Naslov disertacije kaže na še eno področje, ki se ga prejšnje teme niso dotikale, področje mikroskopske teorije električne prevodnosti.

39 Prim. UAW, personalna mapa z doktorskimi akti št. 1570 (Rigorosenakt, RA 1570), ocena disertacije.

40 Ivan Knific (1875–1950). V: *Slovenska biografija*. SAZU, ZRC SAZU, 2013. Splet.

41 XIV. izvestje škofijske gimnazije v zavodu sv. Stanislava. Škofijska gimnazija v zavodu sv. Stanislava v Št. Vidu nad Ljubljano, 1918/19. dLib.

42 Ivan Knific (1875–1950). V: *Slovenska biografija*. SAZU, ZRC SAZU, 2013. Splet.

Adolf Pečovnik

Adolf Pečovnik je bil rojen 25. maja 1883 v Lenartu na Štajerskem. Iz vpisnic je razvidno, da mu je oče umrl še pred začetkom študija, zato je v rubriko, kamor so študentje vpisovali ime in poklic očeta, vpisal bodisi *verstorben* (pokojni) bodisi je mesto pustil prazno. Njegov zakoniti zastopnik je do njegove polnoletnosti bil zemljiški posestnik (*Grundbesitzer*) Johann Šibert.⁴³ Gimnazijo je Pečovnik obiskoval v Mariboru in maturo opravil leta 1902. Leta 1903 se je vpisal na študij fizike na dunajski univerzi, kjer je promoviral 23. novembra 1906. Naslov njegove disertacije je *Über die Diffusion von Wasserstoff durch Metalbleche* (O difuziji vodika v kovinskih listih), referenta pa sta bila, kot pri disertaciji Ratajca, profesorja Exner in Lang. V izredno kratki oceni poudarita »skrbno izvedbo« Pečovnikovega dela in ocenita, da ustreza zakonskim zahtevam. Disertacija se že po obliki razlikuje od ostalih, opisanih zgoraj. Citati so zapisani v obliki številke v besedilu in referirani pri dnu strani (v ostalih disertacijah so bile reference zapisane v besedilu, z avtorjem in virom). Enačbe so oštevilčene. Iz današnjega stališča disertacija deluje sodobnejša kot ostale. Pečovnik je v disertaciji uporabil teoretične enačbe, ki povezujejo difuzijsko konstanto kovine za difuzijo vodika z električnim tokom, ter izvedel meritve, preko katerih je določil difuzijsko konstanto za paladij in platino. Obe snovi sta se pogosto uporabljali za elektrode pri elektrolizi, absorpcija vodika je lahko vplivala na potek le-te. Pečovnikov rezultat je, glede na takrat razpoložljive eksperimentalne metode, dokaj točen in zanimiv.⁴⁴ Zanimivo je tudi, da so podobne študije danes ponovno zelo pomembne, motivacija pa je nedvomno drugačna: shranjevanje vodika za morebitno široko uporabo v vodikovih gorivnih celicah.

Pečovnik je torej študiral redno in brez podaljševanja študija, pri čemer je opravil 69 študijskih obveznosti, največ pri Escherichu, poslušal pa je med drugim tudi predavanje Jakoba Minorja o Goetheju in češki jezik pri Václavu Vóndraku.⁴⁵

O Pečovnikovem življenju po doktoratu nekaj gradiva v različnih dokumentih hrani Arhiv Slovenije (spomini Josipa Breznika, Akademsko društvo Triglav⁴⁶), nekaj pa je dostopnega v javnih dokumentih institucij, v katerih je delal, na primer

43 UAW, Nationale, Adolf Pečovnik.

44 Eden od rezultatov njegovih meritev je, da lahko 1 cm³ paladija absorbira 0,1 mg vodika, kar pri normalnih pogojih ustreza 100 cm³ (razmerje 1:100). Danes vemo, da lahko paladij absorbira celo do 900-kratnik svoje prostornine vodika pri normalnih pogojih (razmerje 1:900).

45 UAW, Nationale, Adolf Pečovnik.

46 SI AS 2138: Breznik, družina, 1887-2013; SI AS 1507: Akademsko društvo Triglav, 1910-1941.

današnje Gimnazije Bežigrad v Ljubljani, ter drugih arhivskih virih, na primer v tedenski prilogi *Slovenca (Ilustrirani Slovenec, 15. 4. 1925)*.⁴⁷ V slednjem najdemo Pečovnikovo fotografijo (ob fotografijah še treh oseb) s pripisom: »Od PPŽ režima preganjani slovenski profesorji in odstavljene župani.« O njegovi narodni zavednosti in tovrstnem prizadevanju je mogoče sklepati tudi, ker ga v zvezi z Akademskim društvom Triglav v svojih spominih omenja Josip Breznik.⁴⁸

Pečovnik je po doktoratu delal kot prosvetni inšpektor nekdanje mariborske oblasti, kot profesor matematike in fizike na Državni gimnaziji v Mariboru in nato (od 1939/40) kot ravnatelj in profesor na III. realni gimnaziji v Ljubljani, današnji Gimnaziji Bežigrad. Medtem ko so ga italijanske oblasti še obdržale na ravnateljskem mestu, je bil leta 1943 upokojen »z argumentom, da ima dva sinova v partizanih«. Po vojni se je Pečovnik vrnil na mesto ravnatelja, v službo, ki jo je opravljal do leta 1958.

Lavo (Leopold) Čermelj

Lavo Čermelj je verjetno najvidnejše ime med obravnavanimi doktorji fizike. Rodil se je 10. novembra 1889 v Trstu in umrl 26. januarja 1980 v Ljubljani. *Primorski slovenski biografski leksikon* navaja, da je bil njegov oče Josip (Josef) »težak v Javnih skladiščih«.⁴⁹ Po enoletnem študiju prava v Pragi se je Čermelj leta 1910 vpisal na dunajsko Filozofsko fakulteto, kjer je opravil 76 obveznosti, največ pri profesorjih Escherichu, Kohnu in Wirtingerju – torej matematikih – med fiziki pa je največ poslušal Hasenöhrla (Termodinamika, Mehanika, Kinetična teorija plinov itn.).⁵⁰ Doktoriral je prav ob začetku prve svetovne vojne. V disertaciji z naslovom *Inhomogeniteten in scheinbar homogenen Draechten* (Nehomogenosti v navidez homogenih žicah) Čermelj obravnava nečistoče in njihov vpliv na električno prevodnost upornikov iz bizmuta. Le-to tudi eksperimentalno preverja. Vsebina disertacije je dokaj tehnološka (za tiste čase) s podrobnim opisom pripravljenih eksperimentalnih aparatov. Tehničnost ne preseneča glede na prvopodpisanega pod spričevalo rigorozna, pa tudi ocene disertacije, Ernsta Lecherja. Slednji je znan po zasnovi t. i. Lecherjevih žic, tehničnega pripomočka za določanje valovne

47 *Ilustrirani Slovenec*, let. 1 (5. 4. 1925), št. 15. dLib.

48 Aida Škoro Babić, Matevž Košir: Spomini Josipa Breznika. Ljubljana: Arhivsko društvo Slovenije, 2014, str. 61, 68.

49 Jurij Perovšek: Lavo Čermelj (1889–1980). V: *Slovenska biografija*. SAZU, ZRC SAZU, 2013. Splet.

50 UAW, Nationale, Leopold Čermelj.

dolžine elektromagnetnega valovanja.⁵¹ Čermelj mu je ob koncu disertacije posvetil zahvalo za mentorstvo.

Prvo svetovno vojno je Čermelj preživel kot učitelj na Zasebni slovenski trgovski šoli v Trstu, kasneje pa na Državni obrtni šoli, dokler ni bil med letoma 1920 in 1923 prisilno upokojen, potem ponovno zaposlen in leta 1924 zaradi »politične nezaupljivosti«⁵² dokončno odpuščen. Že leta 1922 je, ker italijanske »oblasti niso dovolile, da bi se zopet odprla slovenska trgovska šola v Trstu«, pri Trgovskem izobraževalnem društvu vodil enoletni trgovski tečaj, kasneje pa še »večerne tečaje za slovenske trgovske vajence«,⁵² dokler ni leta 1929 pred aretacijo, ki mu je grozila, pobegnil v Jugoslavijo, kjer je postal pogodbeni in nato stalni profesor na III. Realni gimnaziji v Ljubljani. Že med poučevanjem se je loteval številnih narodno vzpodbudnih in časnikarskih projektov: bil je tajnik »kulturnoprosvetne organizacije Prosveta«, ustanovitelj tednika *Novice*, soustanovitelj in urednik »književne družine 'Luč'«, soustanovitelj naravoslovne revije *Proteus* (uredil je 22 letnikov), »spisal je vrsto šolskih učbenikov iz naravoslovnih ved in napisal dolgo vrsto poljudno znanstvenih knjig«. ⁵³

Drugo svetovno vojno je po aretaciji leta 1941 preživel v rimskih zaporih Regina Coeli in na Elbi, po izpustu leta 1944 pa se je pridružil partizanom, postal član študijske komisije SNOS, po vojni pa je bil član Inštituta za mednarodna vprašanja pri Ministrstvu za zunanje zadeve v Beogradu, strokovni izvedenec na konferenci zunanjih ministrov v Londonu in na pariški mirovni konferenci leta 1945. Od leta 1947 je bil načelnik oddelka za zahodne meje pri Inštitutu za narodnostna vprašanja ter ravnatelj tega inštituta do »druge«⁵⁴ upokojitve leta 1959. Dvakrat je prejel Levstikovo nagrado, potem nagrado Kidričevega sklada,⁵⁵ bil je častni član Prirodoslovnega društva Slovenije (1964), častni urednik *Proteusa* in častni član Društva matematikov, fizikov in astronomov LRS, prejel je zlato spominsko plaketo SKGZ v Trstu in red zaslug za narod z zlato zvezdo (1970).⁵⁶

51 Ernst Lecher: Eine Studie über electriche Resonanzerscheinungen. V: *Wiedemann Annalen*, let. 41 (1888), str. 850.

52 Jurij Perovšek: Lavo Čermelj (1889–1980). V: *Slovenska biografija*. SAZU, ZRC SAZU, 2013. Splet.

53 Prav tam.

54 Besedo druge pišemo v narekovajih, saj je bila tudi ta upokojitvev, četudi je bil Čermelj tedaj star že 70 let, tako kot prva leta 1919, prisilna. Prim. Denis Sabadin: Lavo Čermelj v primežu velikih ideologij 20. stoletja. V: *Acta Histriae*, let. 17 (2009), št. 4, str. 732.

55 Nagrado je Čermelj prejel na področju družbenih ved, ne naravoslovja.

56 Čermelj je ne le pomemben fizik, temveč tudi pomemben narodni buditelj in politični aktivist, še posebej pred in med drugo svetovno vojno ter nasploh pomembna osebnost slovenske manjšine v Italiji. O njegovem političnem in družbenem delovanju glej Denis Sabadin: Lavo Čermelj v primežu velikih ideologij

Čermelj je za slovensko fiziko in njen razvoj pomemben kot njen popularizator, napisal pa je tudi več srednješolskih učbenikov za geometrijo (z Vladimirjem Lapajnetom) in kozmografijo (astronomijo). Med njegovimi deli najdemo tudi knjigo *Materija in energija v sodobni fiziki*, izdano leta 1923. Prve, v slovenskem jeziku poljudno napisane spise iz astronomije, zasledimo z narodnim preporodom v časopisu *Kmetijske in rokodelske novice*, ki jih je urejal Janez Bleiweis. Takrat so začeli tudi oblikovati slovensko astronomsko izrazoslovje. Kar do leta 1934 pa smo morali Slovenci čakati, da smo dobili prvi uradni in po sprejetem učnem načrtu napisan srednješolski slovenski učbenik astronomije.⁵⁷

O Čermelju so med drugimi pisali Janez Strnad, Marijan Prosen, Albert Rejec, Tone Wraber in Ciril Zlobec. Za razvoj slovenske fizike in tudi njeno javno podobo imajo ob učbenikih poseben pomen njegove biografije znanih tujih in predvsem slovenskih fizikov, in sicer Jurija Vege, Nikole Tesle, Ruderja Boškoviča, Jožefa Stefana, Ignaca Klemenčiča, Mihajla Pupina in drugih.

Zlasti pa je neizčrpen seznam njegovih poljudnoznanstvenih člankov v *Proteusu*, *Obzorniku za matematiku in fiziko*, *Kroniki*, *Naši sodobnosti* in številnih zbornikih. Napisal je kar 80 monografij, od tega 60 izvirnih »ostalo pa so prevodi oz. priredbe v glavnem naravoslovnih vsebin drugih avtorjev«. ⁵⁸

Sklep

Po pregledu slovenskih doktorskih študentov v obravnavanem času na Univerzi na Dunaju lahko ugotovimo, da so ti študenti lahko uživali predavanja eminentnih in svetovno priznanih fizikov, ki so vsebovala tudi najnovejša svetovna fizikalna dognanja. Po študiju so se vsi tedanji študenti vrnili v slovensko okolje, a nihče od njih po študiju ni pričel oz. nadaljeval z znanstveno kariero (za kar v tistem času v svojem okolju niti niso imeli resnih možnosti). Večina se je ukvarjala s prosveto ter širjenjem fizikalnega znanja, nekateri so postali tudi ravnatelji oz. vodje izobraževalnih ustanov.

Neposrednega vpliva na kasnejši razvoj slovenske fizike omenjene osebe niso imele. Povsem mogoče pa je, da so posredno – preko izobraževanja mladih ter

20. stoletja. V: *Acta Histriae*, let. 17 (2009), št. 4, str. 719–736.

57 Marijan Prosen: Prof. dr. Lavo Čermelj: pisec prvega slovenskega učbenika astronomije. V: *Presek*, let. 33 (2005), št. 3, str. 29.

58 Prav tam.

razširjanja fizikalnega znanja in predvsem vcepljanja novih fizikalnih idej v slovensko okolje – vplivali na kasnejše generacije.

Seznam virov in literature

Arhivski viri

Arhiv SBL – Arhiv Slovenskega biografskega leksikona (ZRC SAZU, Inštitut za kulturno zgodovino):

Mapa Anton Ratajec.

Mapa Lavo Čermelj.

Mapa Ivan Knific.

ARS Arhiv Republike Slovenije:

SI AS 2138: Breznik, družina, 1887-2013 (Fond).

SI AS 1507: Akademsko društvo Triglav, 1910-1941 (Fond).

UAW – Archiv der Universität Wien (Arhiv Univerze na Dunaju):

Nationale (vpisnice): Čermelj, Leopold; Dolinar, Stefan; Knific Johann; Pečovnik, Adolf; Ratajec, Anton; Rožman, Josef.

Rigorosenakt (personalne mape z doktorskimi akti): št. 226 (RA 226: Štefan Dolinar), št. 1570 (RA 1570: Johann Knific), št. 1646 (RA 1646: Anton Ratajec), št. 1847 (RA 1847: Josef Rožman), št. 2135 (RA 2135: Adolf Pečovnik), št. 4020 (RA 4020: Leopold Čermelj).

Rigorosenprotokoll (zapisniki doktorskih izpitov): Čermelj, Leopold; Dolinar, Stefan; Knific Johann; Pečovnik, Adolf; Ratajec, Anton; Rožman, Josef.

UBW – Universitätsbibliothek Wien (Univerzitetna knjižnica na Dunaju):

Disertacije obravnavanih doktorskih kandidatov:

sig. D-13059: Beugung des Lichtes durch kreis- und ringförmige Öffnungen (Dolinar, Stefan).

sig. D-13469: Über die Diffusion von Wasserstoff durch Metalbleche (Adolf Pečovnik).

sig. D-13617: Über die Bestimmung der Dichten und Kapillaritätskonstanten der Gemische von Hexan und Aceton sowie deren Berechnung aus den Konstanten der Komponenten (Ratajec Anton).

sig. D-14256: Substanz und Kausalität in der Wundtschen Philosophie (Andolšek, Johann).

sig. D-14550: Inhomogenitäten in scheinbar homogenen Drähten (Čermelj, Leopold).

Spletni vir

Ilustrirani Slovenec, let. 1 (5. 4. 1925), št. 15. dLib. <<https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-RF6NVT2U/e4de2e22-b4ef-430c-bff8-aa6d91103394/PDF>>. (15. 11. 2018.)

Natisnjena literatura

- Babić Škoro, Aida in Košir, Matevž: *Spomini Josipa Breznika*. Ljubljana: Arhivsko društvo Slovenije, 2014, str. 61, 68.
- Bittner, Lotte: *Geschichte des Studienfaches Physik an der Wiener Universität in den letzten hundert Jahren*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades an der philosophischen Fakultät der Universität Wien. Wien: Universität Wien, 1949.
- Blackmore, John T. (ur.): *Ludwig Boltzmann His Later Life and Philosophy, 1900–1906: Book One*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995.
- Boltzmann, Ludwig: Ableitung des Stefan'schen Gesetzes, betreffend die Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur aus der electromagnetischen Lichttheorie. V: *Annalen der Physik und Chemie*, let. 258 (1884), št. 6, str. 291–294.
- Hertz, Heinrich: Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electriche Entladung. V: *Annalen der Physik*, let. 267 (1887), št. 8, str. 983–1000.
- Hess, Victor F.: Über Beobachtungen der durchdringenden Strahlung bei sieben Freiballonfahrten. V: *Physikalische Zeitschrift*, let. 13 (1912), str. 1084–1091.
- Hoffmann, Dieter: Schwarze Körper im Labor. V: *Physikalische Blätter*, let. 56 (2000), št. 12.
- Lecher, Ernst: Eine Studie über electriche Resonanzerscheinungen. V: *Wiedemann Annalen*, let. 41 (1888), str. 850.
- Meitner, Lise, in Frisch, O. R.: Disintegration of Uranium by Neutrons: A New Type of Nuclear Reaction. V: *Nature*, let. 143 (1939), št. 3615, str. 239.
- Planck, Max: Über das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum. V: *Annalen der Physik*, let. 4 (1901), št. 3, str. 553–563.
- Prosen, Marijan: Prof. dr. Lavo Čermelja: pisec prvega slovenskega učbenika astronomije. V: *Presek*, let 33 (2005), št. 3, str. 29.
- Radvanyi, Pierre, in Villain, Jacques: The discovery of radioactivity. V: *Comptes Rendus Physique*, let. 18 (2017) št. 9–10, str. 544–550.
- Reiter, Wolfgang: Stefan Meyer: Pioneer of Radioactivity. V: *Physics in Perspective*, let. 3 (2001), št. 1, str. 106–127.
- Reiter, Wolfgang: Von Erdberg in die Boltzmannngasse – 100 Jahre Physik an der Universität Wien. V: Anton Fröschl idr. (ur.): *Reflexive Innensichten aus der Universität*. Göttingen: Vienna University Press/V&R Unipress, 2015.
- Sabadin, Denis: Lavo Čermelj v primežu velikih ideologij 20. stoletja. *Acta Histriae*, let. 17 (2009), št. 4.

- Schrödinger, Erwin: Quantisierung als Eigenwertproblem. V: *Annalen der Physik*, let. 384 (1926), št. 4, str. 273–376.
- Stefan, Jožef: Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur. V: *Sitzungsberichte der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften*, let. 79 (1879), str. 391–428.
- Thomson, Joseph John: Cathode Rays. V: *Philosophical Magazine*, let. 44 (1887), št. 269, str. 293–316.