

ZGODOVINA VAKUUMSKE TEHNIKE (IV. del)

Stanislav Južnič*

The history of vacuum technique (part IV)

ABSTRACT

Article ends with the description of vacuum electronics in the second half of the 19th-century. Special concern is put to the research in the Habsburg monarchy.

POVZETEK

Razpravo končujemo z opisom razvoja vakuumne v elektroniki v drugi polovici 19. stoletja. Posebej poudarjamo pomemben prispevek raziskovalcev iz naše tedanje domovine, habsburške monarhije.

5) Uporaba vakuumne v elektroniki

a) Geisslerjeve cevi, teorije Hittorfa, Plückerja

Uporaba vakuumne v parnih strojih je bila v stoletju med leti 1760 in 1860 zunaj prevladujočih smeri raziskovanja v fiziki. Nova odkritja v začetku druge polovice 19. stoletja so znova oživila raziskovanje vakuumne.

Leta 1854 je Julius Plücker (1801-1868), matematik in fizik na univerzi v Bonnu, naročil svojemu steklopihalcu Heinrichu Geisslerju (1814-1879) izde-

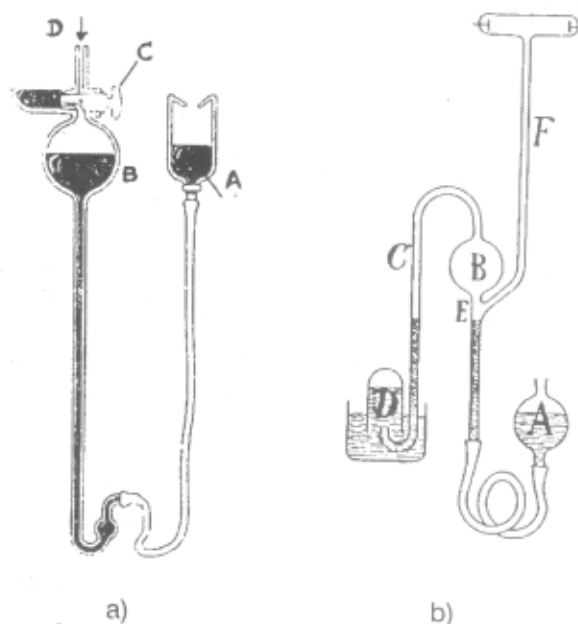


Slika 1. Julius Plücker (1801-1868)

* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz teledišne fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

lavo steklene zračne črpalke, ki bi omogočila raziskovanje praznenj v razredčeni atmosferi. Enak problem je raziskoval tudi Plückerjev vzornik, tisti čas že ostareli Michael Faraday (1791-1867).

Leta 1858 je Plücker opazoval vpliv nižanja tlaka in magnetnega polja na praznenje v Geisslerjevih ceveh. Po letu 1860 je Plückerjeva raziskovanja nadaljeval njegov učenec Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914) (Sparnaay, 1992, 63-66), profesor na univerzi v Münstru.



Slika 2. Živosrebrna zračna črpalka, ki jo je leta 1855 izdelal Geissler (a), in izboljšana verzija, ki jo je skonstruiral Töpler (b) [Vakuum Technik 35, Heft 4+5, st. 129]

b) Raziskovalci vakuumne v državi naših prednikov: Töpler v Gradcu (1862), Robida v Celovcu, Šubic v Gradcu in Puluj v Pragi

Geissler je v svoje cevi postavil kovinske spojke iz platine in stekla. Geisslerjeva črpalka ni imela mrtvega teka pri svojem delovanju. Lahko je dosegala tlak do 0,011 mbar.

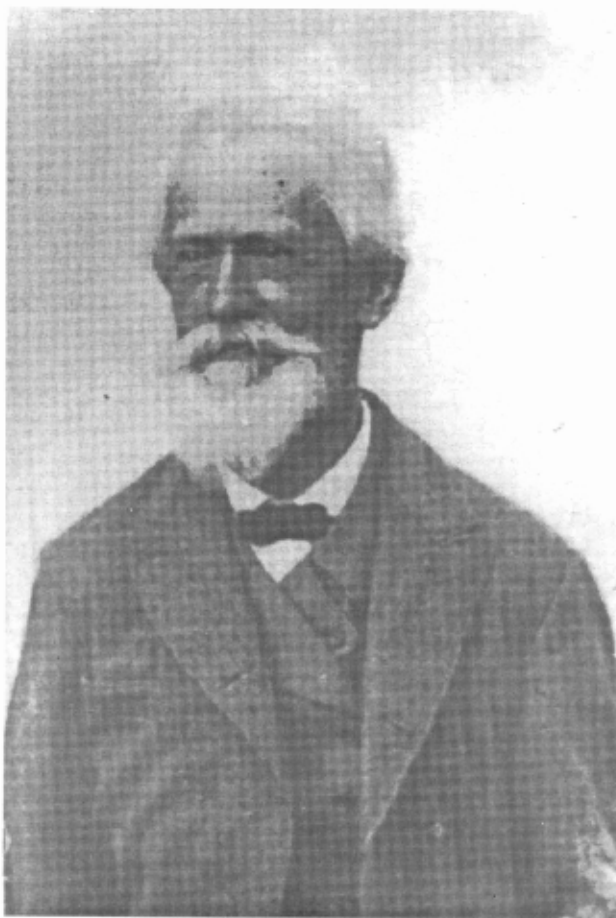
Leta 1862 je Töpler črpalko tako predelal, da niso bile več potrebne zaporne pipe. S tem je tlak znižal še za štirinajstkrat. Avgusta leta 1868 je bil Töpler izbran za rednega profesorja (eksperimentalne) fizike v Gradcu, kjer je do odhoda v Dresden 2.7.1876 poučeval veliko slovenskih študentov. 17.7.1876 je bil v Gradcu poročna priča sodelavcu Ludwigu Boltzmannu (1844-1906) in svoji nekdanji študentki

Henriette von Aigentler (1854-1936), po rodu štajerski Slovenki.

Novih dognanj seveda niso hkrati sprejeli vsi raziskovalci. Stefanov gimnazijski profesor v Celovcu Karel Robida (1804-1877) je trdil, da je vakuum popoln električni izolator (Robida, 1857, 5). Vendar popolnega vakuuma ni mogoče doseči (1857, 11, 12).

Robida ni mogel opraviti tehtnih poskusov brez primernih črpalk in tesnil, saj leta 1857 še ni nabavil Geisslerjeve cevi. Zato se je skliceval na poskuse berlinskega profesorja P.T. Reisa (1805-1883) iz leta 1838. Ni navedel podobnih raziskovanj berlinskega profesorja Paula Ermana (1764-1851) iz leta 1802. Oba sta menila, da so trajne le magnetne lastnosti snovi (naravnega magneta), ne pa električne. Zato se vsaka snov sčasoma razelektri.

Domnevo o vakuumu kot izolatorju je mogoče pripisati tudi zgodnjemu delu Simona Šubica (1830-1903). Na temelju poskusov Avstrijca dr. Retlingerja (Wien. Ber. 43 (1861)) je domneval, podobno kot Clausius leta 1858, da je povprečna prosta pot molekule obratno sorazmerna gostoti medija. Vendar je Šubic od tod napačno sklepal, da redkejši plini bolje prevajajo električne in toplotne motnje od gostejših (1862, 113). Trditev je bila v



Slika 3. Simon Šubic (1830-1903)

nasprotju z Maxwellovo kinetično teorijo iz let 1859 in 1860, po kateri toplotna prevodnost ni odvisna od tlaka in gostote plina. Maxwellovo domnevo sta od meritvami potrdila Magnus leta 1860 v Berlinu in Stefan leta 1870 in 1875 na Dunaju (Strnad 1985, 35, 37).

Že von Guericke (1672), Boyle in Hooke (1658) so ugotavljali, da vakuum ne ovira delovanja električne sile. Meritev je potrdilo Faradayevo odkritje fluorescenca v novih Geisslerjevih ceveh, ki ga je podrobneje raziskal Plücker leta 1858.

Praznjenje v vakuumskih ceveh je postalo modna smer eksperimentalnega raziskovanja. V nekaj letih so postale tudi učni pripomoček.

Šubičeva teorija samostojnega prevajanja elektrike v plinih

Šubičeva in Hittorfova teorija elektrolize sta temeljili na gibanju in trkanju molekul (1862, 106). Podobne ugotovitve je Šubic prenesel tudi na pline. Pri tem ga je najbolj zanimalo dogajanje v vakuumski cevi, ki ji na krajišča pritisnemo električno napetost.

Šubic je nabavil več Geisslerjevih cevi med 18 elektromagnetnimi instrumenti za zbirko fizikalnega kabineta v Pešti leta 1858/60, le štiri leta po iznajdbi. Med poučevanjem na dunajski realki Rossau med leti 1861 in 1864 Šubic ni nabavil Geisslerjevih cevi med skupaj 51 instrumenti za preučevanje elektrike.

Mitteis je za fizikalni kabinet gimnazije v Ljubljani nabavil 5 Geisslerjevih cevi šele leta 1862-63, tri leta za Šubicem. Ob njih je nabavil še Ruhmkorfov indukcijski aparat in močan magnet s tremi lamelami, ki je lahko vzdignil 7 kg.

Vse te naprave so bile namenjene preučevanju katodnih žarkov v Geisslerjevi cevi. Ruhmkorfov aparat so uporabljali za vir napetosti več kilovoltov. Magnet so uporabljali za odklon žarkov. Trije do štirje členi v Grovejevi bateriji Zn-Cu so dajali zadosten tok, s katerim je bilo mogoče v Ruhmkorfovi tuljavi inducirati višjo napetost kot v najmočnejši Leydenski steklenici (Ganot 1877, 800 in 803). To je bilo potrebno za poskuse z Geisslerjevimi cevmi. Komplet z več kot deset Geisslerjevimi cevmi različnih oblik in Ruhmkorfov indukcijski aparat so pozneje nabavili v nižji realki v Kočevju, ustanovljeni leta 1872, ki je med leti 1908-1911 prerasla v višjo. V tamkajšnjem fizikalnem kabinetu so te naprave še danes deloma uporabne.

Leta 1867/68 je Jakop Rumpf, tedanji kustos fizikalnega kabineta gimnazije v Ljubljani, nabavil še elektromagnetni aparat za vrtenje Geisslerjevih cevi. Opis v gimnazijskih Izvestjih je nekoliko zavajajoč. Bržkone gre za de la Rivejev elektromagnet, prirejen za sukanje in rotacijo svetlobnega loka v Geisslerjevi cevi. Napravo je pozneje izpopolnil še sam Geissler (Ganot 1877, poglavje 892).

Geisslerjave cevi se tako že kmalu po iznajdbi postale predmet srednješolske fizike. Tedanji srednješolski profesor je lahko mnogo bolj kot danes kompetentno razmišljal o problemih sodobne fizike, tudi po eksperimentalni plati.

Šubic je v svojem srednješolskem učbeniku električni tok v izpraznjeni cevi le omenil kot "krasen", ne da bi sploh opisal kakšen poskus z Geisslerjevimi cevmi (1874, 345). Glede na siceršnjo eksperimentalno naravnost učbenika domnevamo, da je bil Šubic med leti 1872 in 1874 v dvomih glede teorije Geisslerjevih cevi.

Šubičeva razlaga dogajanja v Geisslerjevi cevi je v mnogočem podobna kot pri elektrolizi. Hitrost razširjanja trkov med molekulami, napetost, prevodnost in dolžina iskre so obratno sorazmerni gostoti plina v vakuumski cevi. Torej imajo redkejši plini večjo hitrost širjenja molekulskih trkov, so boljše prevodniki in bolj svetijo (1862, 113).

Zgornje ugotovitve vsaj deloma nasprotujejo sodobni kinetični teoriji, ki se je razvila v sedemdesetih letih 19. stoletja. Raziskovanja so pokazala, da toplotna prevodnost plina sploh ni odvisna od njegovega tlaka in gostote na širokem območju, vse dokler pri nizkih tlakih ne postanejo pomembne interakcije na površini plina (Brush 1976, 84). Vendar leta 1862 Šubic bržkone še ni poznal teorije prevodnosti plinov Jamesa Clarka Maxwella (1831-1879) iz leta 1859-60, ki jo je Clausius popravil leta 1862. Zato pa je bržkone poznal Heinrich Magnusove (1802-1870) poskuse, ki so leta 1860 končno pokazali, da plin v resnici prevaja toploto (Strnad 1985, 35).

Od vseh pojavov v Geisslerjevi cevi je Šubica (1862, 106) najbolj zanimalo zlaganje električne svetlobe (iskrenje). Bržkone je že tedaj domneval, da gre pri tem iskrenju za zvezno praznjenje električne nape-tosti v plinu. Hittorff je leta 1876 menil, da do prasketanja pride le, če je napetost prešibka za stalno svetlobo. Takšnemu mnenju so nasprotovali Gassiet 1863, Stokes 1864, de la Rive 1867 in Wiedemann 1872 in 1867 (Hittorff 1889, 181).

Po Šubicu plin v Geisslerjevi cevi seva svetlobo zaradi gretja ob prevajanju elektrike, ki ga povzroča električni upor oziroma notranje trenje. Šubic (1862, 109) je povzemal Reitlingerjevo (Wien. Ber. 43(1861), 15) mnenje, potrjeno s spektralno analizo. Vodnik naj bi bil tem svetlejši, čim večji je njegov električni upor. Kot večina raziskovalcev je tudi Šubic (1862, 107) menil, da v Geisslerjevih ceveh ni kemijskih reakcij, ali pa so zelo počasne.

Po Šubicu (1862, 113) velja za prevajanje v plinih:

- povprečna prosta pot delcev je obratno sorazmerna gostoti plina
- masa delcev plina je obratno sorazmerna kvadratu njihove hitrosti.

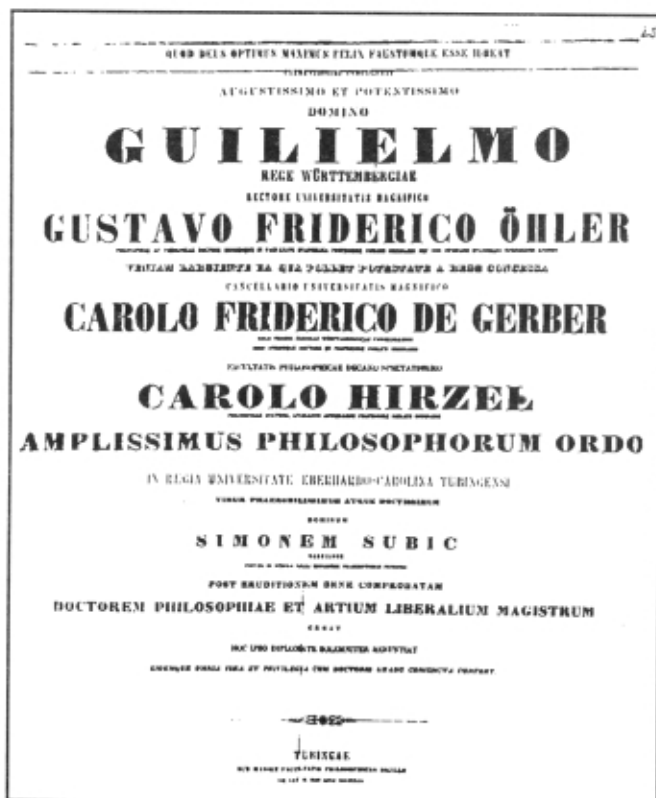
Obe trditvi izhajata iz kinetične teorije. V plinih je upor sredstva mnogo manjši kot v kapljevinah, kjer po Šubicu (1862, 92-93) druga trditev ne velja. Tam je hitrost gostejših delcev večja od hitrosti redkejših, če je polmer gostejših delcev večji ali enak polmeru redkejših.

Šubic je temno področje ob katodi (negativni elektrodi) Geisslerjeve cevi pojasnil s širjenjem trkov med molekulami, ki so v njegovi teoriji sinonim za električni tok (1862, 202). Neposredno ob viru gibanja v katodi še ne more biti toliko trkov z molekulami plina v vakuumski cevi, da bi opazili svetlobo. Svetlikanje opazimo v bolj oddaljenih delih Geisslerjave cevi.

Šubičeve ideje so tu zelo podobne William Crooke-sevim (1832- 1919) iz leta 1869. Vendar ni naravnost zapisal, da je bila dolžina temnega področja ob katodi kar sorazmerna s povprečno prosto potjo molekul v plinu. Temno področje katode danes imenujemo po Crookesu. Pri normalnem praznjenju, kjer gostota električnega toka ni odvisna od njegove intenzitete, velja Crookesova teorija. Dolžina "temnega področja" je tam obratno sorazmerna s tlakom oziroma gostoto plina v cevi. Pri zelo nizkih tlakih se lahko "temno področje" raztegne čez vso cev (Yavorski 1975, 402-403).

Po Šubicu (1862, 112) se plin zgosti v ozkih področjih Geisslerjeve cevi, saj se tam pri enaki masi plinske snovi zmanjša njena prostornina. Pretok snovi skozi cev je torej zvezen, saj nima ne ponorov ne izvirov v cevi s samo dvema elektrodama. Po Šubičevem mnenju se torej dejansko zgoščuje plinasta vsebina cevi in ne le njen sevajoči del.

Podobno se je Šubicu (1862, 109) zdelo, da je svetilnost sorazmerna z uporom plinastega medija v cevi. Tako plini, podobno kot elektroliti, prevajajo



Slika 4. Naslovna stran Šubičeve doktorske disertacije

elektriko z gibanjem ionov. To je v nasprotju s sodobno teorijo, po kateri v katodni cevi ne gre za gibanje ionov, temveč za katodne žarke, sestavljene iz elektronov.

Sodobni teoriji prevajanja v vakuumski cevi je mnogo bližje Hittorfova (1889, 157) teorija. Po njej imamo v plinih, vzporedno z gibanjem ionov, še drug način prevajanja. Ta povzroča svetlikanje v plinu (danes bi rekli prehode med vzbujenimi stanji plinskih atomov).

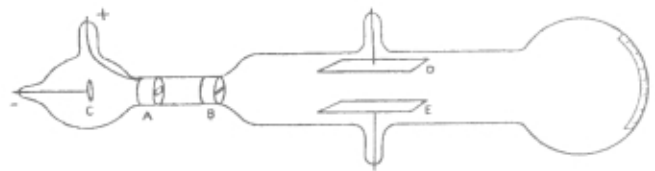
Ta drugi način prevajanja ima pri Hittorfu vse značilnosti sevanja. Čeravno Hittorf te analogije ni navedel, je dogajanje v Geisslerjevi cevi pri njem povsem analogno toplotnim pojavom. Ti prav tako združujejo oba mehanizma, prevajanje in sevanje. Prav v času, ko je praški profesor fizike Johann Puluj (1845-1918) leta 1888 zasnoval svojo teorijo prevajanja elektrike v razredčenih plinih, je Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894) v Berlinu zaznal elektromagnetne valove in s tem dokončno potrdil Maxwellovo teorijo elektromagnetnega polja.



Slika 5. J. J. Thomson

Že 10 let pozneje se je z J. J. Thomsonovim odkritjem elektrona (leta 1897) pokazalo, da sevanja in prevajanja v plinih le ne moremo pojasniti s samim valovanjem. Katodne žarke v vakuumski cevi sestavljajo delci, ki jim je J. J. Thomson nameril razmerje med nabojem in maso. Delcev se je prijelo ime elektroni, ki jim ga je dal George Johnstone Stoney (1826-1911) že leta 1891. Obveljala je Crookesova domneva o korpuskularnosti katodnih žarkov (Asimov 1975, 493).

Šubičev zapis iz leta 1862 je nastal celo desetletje prej, preden je raziskovanje Geisslerjevih cevi začelo



Slika 6. Thomsonova elektronska cev
(Philos. Mag., 44 (1897) 298)

obetati razrešitev problema električne substance in končno zanikanje obstoja električnega imponderabla (Hittorf 1889, 157). Šubic v svoji obravnavi niti ni zapisal bistvenega: da je sevanje, ki izhaja iz katode, negativno nabito in ga je mogoče odkloniti z magnetom.

Nabite žarke danes neposredno povezujemo z delci. Pred sto leti pa jih je večina nemških raziskovalcev interpretirala znotraj valovne teorije katodnih žarkov, ki so jo poleg Šubica zagovarjali še: Goldstein 1880, E. Wiederman 1880, Hertz 1883-92 in Puluj 1888 (Puluj 1888, 305). S Perrinovimi poskusi leta 1895 je prevladala korpuskularna britanska teorija katodnih žarkov raziskovalcev: C. Varelya, W. Crookesa (1878-1879), W. Gieza (1885) in A. Schusterja (1882 in 1884) (Mladenović 1986, 219-227).

c) Britanski vakuumisti in William Crookes (1832-1919)

Leta 1876 je Eugen Goldstein (1850-1931) nadomestil točkasto katodo s ploščo, iz katere so pravokotno izhajali katodni žarki. Leta 1874 je H. MacLeod sestavil manometer, ki ga je uporabljalo več generacij raziskovalcev.

Leta 1873 je Crookes sestavil radiometer za preučevanje gibalne količine sevanja. Svoja dognanja je povezal z raziskovanjem vakuumskih cevi in leta 1876 zasnoval teorijo o četrtem agregatnem stanju snovi.

Radiometer je bil med leti 1873-1876 zelo popularen v znanstvenih časopisih. Sam Crookes je bil v tem času udeležen tudi pri spiritualističnih raziskavah (Brush 1969 in 1976, 211), kar je gotovo vplivalo na drznost njegovih hipotez. Vendar se je kmalu izkazalo, da razlika tlakov, ki poganja radiometer, izvira iz temperaturnih razlik in ne meri tlaka valovanja.

d) SKLEP: Vakuumska tehnika postane univerzalna znanost

Leta 1879 je Thomas Alva Edison (1847-1931) začel s proizvodnjo žarnic z ogljeno nitko pri tlakih tisočinko tor. V Evropi se je podobna proizvodnja uveljavila šele konec stoletja. Vakuumska tehnika je s tem postala temelj velike industrijske proizvodnje.

Prve monografije o vakuumu so izšle med leti 1906-1926. Z njimi postaneta teorija in eksperiment v vakuumu univerzalni del temeljev fizike (Kansky 1993, 7).

Literatura

- /1/ Asimov Isaac, Biographical Encyclopedia of Science and Technology, London, 1975
- /2/ Brush Stephen in Everitt, Maxwell, Osborne Reynolds and the Radiometer, HSPS, 19(1969)
- /3/ Ganot, Elements de physique, Šesti francoski ponatis iz leta 1856
- /4/ Hittorf, O prevajanju elektrike v plinih, Pogg. Ann. 136 (1869), 1874, 1879. Ponatis v Physical memoirs, Physical Society of London, London, 1889
- /5/ Kansky Evgen in Jenko M., Zgodovinski oris razvoja vakuumske tehnike, v zborniku Vakuumska tehnika za srednješolske predavatelje urednika Bojana Jenka, Društvo za vakuumsko tehniko, Ljubljana, 1993
- /6/ Mladenović Milorad, Razvoj fizike, Električna in magnetizacija, IRO, Građevinska knjiga, Beograd, 1986
- /7/ Puluj J., Radiacijska elektrodna snov in tako imenovano četrto agregatno stanje, Praga, februar 1888, ponatis v Wien..Ber. v štirih delih leta 1889
- /8/ Robida Karl, Vibrations-Theorie der Elektrizität, Izvestja gimnazije Celovec, 1857, 1-37
- /9/ Sparnaay M. J., Adventures in vacuum, North-Holland, Amsterdam, 1992
- /10/ Strnad Janez, Jožef Stefan, Presek 13 (1985) št. 5, 1-64
- /11/ Šubic Simon, Grundzüge einer Molekular-Physik, Wien, 1862, recenzija razprave Karla Robide, Erklärung der Lichterscheinungen, Zeit. Gymn., 13 (1862) 320
- /12/ Yavorsky B. in A. Detlaf, Handbook of Physics, MIR, Moskva, 1975

NOVICE

Strokovni sestanek slovenskih in hrvaških vakuumistov

Na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije (IMT) je bilo 26. maja 1994 2. srečanje slovenskih in hrvaških strokovnjakov s področja vakuumske tehnike in tehnologij. Prvi tovrstni sestanek je bil lansko pomlad na Inštitutu za fiziko v Zagrebu. Tedaj je bilo predstavljenih 29 krajših referatov z naslednjih področij: vakuumska znanost (meritve in proizvodnja vakuuma), tanke plasti, znanost o površinah, fizika plazme, vakuumska metalurgija in nanotehnologije.

Letošnje srečanje sta vsebinsko sestavljali naslednji dve področji:

a) sinhrotron v Trstu in slovenska žarkovna linija sinhrotronske svetlobe; teme predavanj so bile naslednje:

- Osnove sinhrotrona in možnosti njegove uporabe (dr. M. Pleško)
- Metoda EXAFS na slovenski žarkovni liniji (dr. I. Arčon)
- Zahteve za eksperimentalno komoro za analizo površin (mag. D. Cvetko)
- Izdelava VV in UVV elementov pospeševalnika (mag. A. Pregelj in M. Drab)

b) elektronska mikroskopija

- Karakteristike i možnosti elektronskega mikroskopa JEM 2010/STEM (dr. A. Tonejc)
- Visokorazločujoča elektronska mikroskopija (dr. O. Milat)
- SEM i EDS mikroanalize (D. Blagović)
- Tunelsko mikroskopske raziskave kovinskih depozitov na plastnih kristalih (dr. M. Remškar).

Med opoldanskim odmorom je bil organiziran ogled nove naprave za ionsko nitriranje kovin v plazmi (na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije) in vrstičnega tunelskega mikroskopa ter mikroskopa na atomsko silo (na Inštitutu "Jožef Stefan").

Predstavniki obeh društev in inštituta gostitelja so bili z izvedbo in z udeležbo (47 prisotnih) zelo zadovoljni. Po zaključku so v prijateljskem vzdušju sklenili, da bodo leta 1995 srečanje organizirali v "močnejši" zasedbi ter povabili vakuumiste iz sosednjih držav. Srečanje bo najverjetneje sočasno s strokovno delavnico mednarodne zveze za vakuumsko znanost in tehnologije, ki bo na Brdu pri Kranju v maju.

mag. A. Pregelj

