

ZGODOVINA RAZISKOVANJA PLAZME (I. del)

Stanislav Južnič*

History of plasma research

ABSTRACT

The description of the scientific research in plasma physics from the first notions in cathode ray tube, until the modern approaches to the fusion reactors is given. First part of the article describes the beginning of plasma physics among researches of low pressure discharges.

POVZETEK

Opisujemo raziskovanje plazme od zgodnjih katodnih elektronk do sodobnih raziskovanj reaktorjev za zlivanje jeder. V prvem delu razprave opisujemo razvoj fizike plazme iz raziskovanja nizkotlačnih razelektritev.

1 Uvod

Antičnim Grkom se je zdelo, da je svet sestavljen iz štirih (vrst) snovi: zemlje, vode, zraka in ognja. Če so imeli pri tem v mislih agregatna stanja, je njihovo mnenje podobno današnjemu.

Baje je bil Prometej tisti, ki je dal ogenj ljudem, a je bil za to bridko kaznovan. V naslednjih tisočletjih je bil ogenj koristen in seveda tudi zanimiv. Vendar so šele v drugi polovici 19. stoletja raziskovalci obvladali visoke temperature pri visokih in nizkih tlakih.

Raziskovanje visokih tlakov je bilo posebno razvito v naši nekdanji habsburški monarhiji, kjer je dunajski zdravnik Johann August Natterer (1821-1901) od leta 1844 dalje dosegal tlake 3000-4000 bar in uspešno prodajal svoje naprave. Vendar se fizika plazme, ki praznuje ob koncu tisočletja šele sedemdeseto obletnico svojega poimenovanja, ni razvila iz raziskovanja visokih tlakov, temveč iz raziskovanja razelektritve plinov pri nizkih tlakih v katodnih elektronkah.

2 Šibko ionizirana plazma v plamenu

2.1 Faradayevi poskusi s plamenom

Raziskovanje plamena je postalo posebej priljubljeno po Faradayevih božičnih predavanjih za mladino:

"...Kateri brilijant bi se mogel kosati v blesku s plamenom? Brilijant se leskeče samo tedaj, če svetlobo odbija, plamen pa sveti tudi v temi..." /1/.

Faraday je opazoval slojevitost plamena, ki ga je, osvetljenega s sončno svetlobo, projeciral kot senco na bel papir /2/. Njegova prva, leta 1818 objavljena fizikalna razprava "o pojočem plamenu" različnih plinov v cevki je spodbudila mnoge nadaljnje raziskave.

Leta 1845 je začel Faraday raziskovati "magnetne lastnosti plinov". Njegova odkritja je dopolnjeval Plücker, ki ga je obiskal v Londonu leta 1848.

Diamagnetizem plamena je odkril genovski univerzitetni profesor fizike piarist Michele Alberto Bancalari, ki se je rodil leta 1805 v Chiavariju pri Genovi /3/. O svojem odkritju je poročal 21.7.1847 fizikalni skupini 9. zborovanja italijanskih naravoslovcev v razpravi o univerzalnosti magnetizma. Tri mesece pozneje je Bancalarijeve poskuse dopolnil Zantedeschi, profesor fizike in matematike na liceju sv. Katarine v Benetkah in član tamkajšnjega instituta. Ob Danielovi bateriji z desetimi elementi s premeri po 18 cm je imel prešibak magnet, ki je dvigoval le s silo 480 N. Zato je v Torinu naročil močnejši valjasti elektromagnet z železnim jedrom dolžine 33,5 cm in debeline 1,5 cm ovit s Cu vodnikom dolžine 33 m. Pola magneta je postavil na razdaljo 2,7 cm. Plamen sveče, oljne ali špiritne svetilke je naravnal tako, da je bil vrh štirikrat ožji od sredine.

Zantedeschi je dokazal, da magnet in ne zračni vrtinec neposredno odbija plamen. Vendar je diamagnetizem plamena povezal s Keplerjevo teorijo magnetnega Sonca, ki privlači planete. To se je uredniku Johannu Poggendorffu (1796-1877) ob natisu nemškega prevoda zdelo precej dvomljivo /4/.

Zantedeschi je poslal kopijo svoje razprave Aragoju v pariško akademijo in Faradayju v London, saj je poznal Faradayjevo raziskovanje diamagnetizma. Faraday je razpravo decembra 1847 skupaj s svojimi poskusi poslal v objavo Richardu Taylorju, uredniku Phil. Mag. Uporabil je veliko močnejši elektromagnet z valjastim železnim jedrom dolžine 1,17 m, premera 9,5 cm in oddaljenosti med poloma 15,2 cm. Bakreno navitje je bilo dolgo 1326 m s polmerom vodnika 4,3 mm. Dokazal je, da magnet vpliva na vse vrste plamenov. Dognal je, da sta vroč zrak in plamen bolj diamagnetna od hladnega zraka in se zato od njega ločita v toku proti polu magneta.

Faraday je zavrnil Zantedeschijev očitek, da je pripisal magnetne lastnosti le trdninam in kapljevinam, ne pa tudi plinom. Bancalarijevo odkritje je Faradayja prepričalo v temperaturno odvisnost diamagnetizma, ki ga je opazil le pri plinih, ne pa tudi pri trdninah in kapljevinah. Opravil je številne primerjave med diamagnetnostjo različnih plinov v odvisnosti od temperature /5/. Tako je dopolnil Zantedeschijevo ugotovitev, da je kisik med najbolj diamagnetnimi plini /6/.

Faraday je dokazal, da se diamagnetizem pojavi "predvsem zaradi segretega stanja plinastega dela plamena". Raziskovanje diamagnetnosti plinov pri sobni temperaturi pa je Faraday po okrevanju tri leta pozneje nadaljeval z meritvami v atmosferi /7/.

Lastnosti plamena so zanimale tudi Karla Ferdinanda Brauna (1850-1918). Med decembrom 1877 in 1878 je na univerzi v Marburgu nadaljeval Hittorfova (1869) raziskovanje razprševanja katode in električne prevodnosti plinov v Geisslerjevi elektronki. Z meritvami "unipolarnosti", večje prevodnosti plamena v eni smeri kot v drugih, je nadaljeval delo Herwiga (1877), Hoppeja, Hittorfa (1869) in Alexandra Edmonda Becquerela. Braun je domneval, da električni tok ne premika samih delcev plamena, temveč poteka prevajanje podobno kot v kapljevinah /8/.

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

2.2 Raziskovanje šibko ionizirane plazme plamena na Dunajskem fizikalnem inštitutu

Grailich, profesor in kustos adjunkt dvornega mineraloškega kabineta na Dunaju, je raziskoval plamen skupaj z elevž Weissom /9/, poznejšim direktorjem astronomskega observatorija in univerzitetnim profesorjem na Dunaju. Ugotovila sta, da neperiodični zvoki med gorenjem nastanejo ob spreminjanju prostornine pri prodiranju segretega kisika in odletavanju produktov gorenja v segreti zrak iz goreče cevi /10/. Sprejela sta Faradayjevo teorijo plamena, podobno kot pozneje Zoch v Erlangenu. Zoch je domneval, da se plamen v višjih legah izgublja in neti na novo. Upošteval je Grailichovo raziskovanje sprememb prostornine pri gorenju, opravil poskuse s cigaretinim dimom in ugotavljal, da vse pojave ognja spremlja tudi zvok zaradi povišanja temperature /11/.

Zoch, poznejši direktor realne gimnazije v Sarajevu, je študiral na univerzi v Erlangenu pri profesorju Wilhelmu Beetzju (1822-1886). Beetz je poučeval v Erlangenu med letoma 1858-1868, pozneje pa je na politehniko v Münchnu uporabljal tanke plasti za raziskovanje magnetnih pojavov /12/.

Poleti 1861 je Pietro Blaserna (1836-1918), poznejši predstojnik akademije v Rimu, v Fizikalnem inštitutu na Dunaju raziskoval svetleče figure v vodi in ugotovil, da so pri večini kovin enake Lichtenbergovim figuram /13/. Podobna raziskovanja plamena, anodnega razprševanja in Lichtenbergovih figur je istočasno na inštitutu opravljal tudi Reitlinger, od leta 1861 ob pomoči elevé Franza Krausa. Potrdil je Faradayjeve ugotovitve o prebojni razdalji, obliki figur in razmerju med figurami v pozitivni in negativni elektriki. Meril je v štirih zelo različnih plinih, kar je omogočalo splošne zaključke /14/.

10.7.1862 sta Reitlinger in Kraus priredila Brandov poskus s plamenom med izoliranimi kroglicami, ki sta bili z vodniki povezani na električno napravo /15/. Ettingshausen je bil tedaj bolan /16/, tako da mu je že naslednje leto pomagal Stefan kot ko-direktor inštituta.

William Thomas Brande (1788-1866) je leta 1813 nasledil Humphrya Davya kot profesor kemije na Royal Institution, kjer je med letoma 1827-1854 raziskoval in urejeval Quaterly Journal skupaj s Faradayem. Med letoma 1816-1826 je bil tudi tajnik Royal Society.

Brandovo odkritje sta raziskovala tudi Faraday v Londonu in Heinrich Gustav Magnus (1802-1870) v Berlinu /17/. Reitlinger in Kraus sta namesto Brandovih kroglic uporabila kondenzatorja in dokazala, da gre pri poskusu za razelektritev, ki se različno vede do obeh elektrod. Plamena alkohola in olja sta se odklanjala proti negativni elektrodi, plameni žvepla, benzola in žveplovega oksida pa proti pozitivni elektrodi. Rezultati njenih poskusov so se skladali z napovedmi Clausiusove teorije elektrolize /18/.

Avstrijec **Edmund Reitlinger** (1830-1882) je najprej študiral matematiko in astronomijo, nato pa pravo. Leta 1855 je študiral fiziko pri Wilhelmu Webru (1804-1891) na univerzi v Göttingenu, kamor se je Weber leta 1849 vrnil iz Leipziga po dvanajstih letih pregnanstva zaradi podpisa politične peticije. Leta 1858 je Reitlinger doktoriral pri Ettingshausnu na Dunaju in postal naslednje leto skupaj s Stefanom docent na dunajskem Fizikalnem inštitutu. Reitlinger je razširil svoja predavanja na zgodovino fizike, induktivno logiko in teorijo fizikalnega raziskovanja, ko je po Machovem odhodu v Gradec prevzel njegova predavanja za študente medicine.

Leta 1863 je bil Reitlinger med kandidati za izrednega profesorja v Gradcu. Leta 1865 ga je Mach znova brez uspeha priporočal za von Langovega naslednika v Gradcu, naslednje leto pa je Reitlinger postal profesor na dunajski Politehniko in tudi na Tehniški visoki šoli poleg Victorja Pierra. Med letoma 1878-1910 je bil profesor mehanike in statike na isti šoli Čeh Josef Finger (1841-1925), ki je pred tem med letoma 1870-1874 poučeval na višji realki v Ljubljani /19/.

3 Četrto agregatno stanje

Visokotlačno visokotemperaturno plazmo na Soncu so začeli bolje razumevati šele po uspešnih poskusih z razelektritvami pri nizkih tlakih v katodnih elektronkah.

Fiziki in kemiki so se tedaj po raziskovanjih trdnin in kapljev in vse bolj posvečali plinom. Ko so jih redčili, so se v katodnih ceveh kazali nenavadni pojavi razelektritve pri nizkem tlaku. Naziv "razelektritev" (discharge) se je ohranil, čeprav z njim poleg trenutne iskre danes opisujemo tudi stalne električne tokove skozi plin.

Štiriindvajsetletni Faraday je na začetku svojega znanstvenega dela leta 1816 v predavanju "O snovi sevanja" prvi spregovoril o sevanju kot posebni snovi:

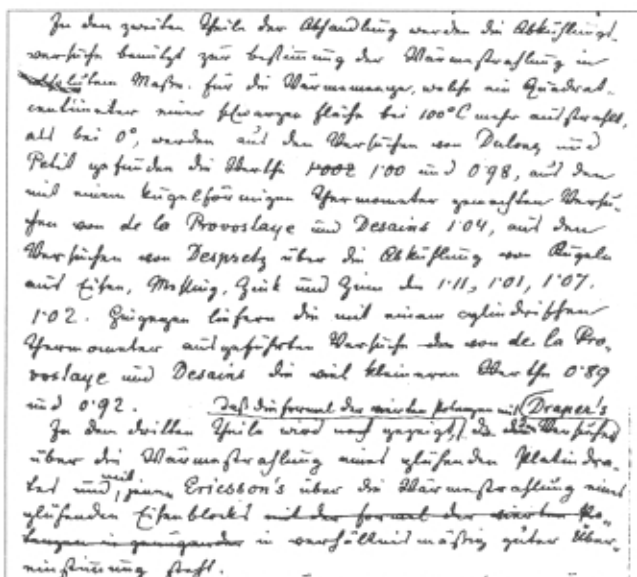
"Zamislimo si spremembo tako različno od izparevanja, kot je para različna od kapljavine, in upoštevajmo razsežnost sprememb kot merilo za velikost razlik. Če si znamo zamisliti takšno spremembo, potem nismo daleč od te snovi sevanja; podobno kot pri izparevanju, se tudi pri tej spremembi številne lastnosti prejšnjega stanja izgubijo, še več pa jih izgine."

Faraday je idejo čez tri leta še dopolnil. Šest desetletij pozneje se je William Crookes (1832-1919) skliceval nanj, ko je opisal sevanje kot četrto agregatno stanje snovi:

"Tako različni so ti pojavi od vsega drugega, kar se dogaja v zraku ali v plinih pri navadnih tlakih, da smo prisiljeni domnevati, da se srečujemo iz oči v oči s četrtem agregatnim stanjem ali stanjem, ki je tako daleč od plina, kot je plin daleč od kapljavine."

Svoje ideje je Crookes oprl tudi na teorijo vrtenja radiometra zaradi domnevnega tlaka katodnih žarkov, ki se je pozneje izkazala za napačno. Posebno posrečena je bila Crookesova domneva, da v četrtem agregatnem stanju "materija prehaja v silo", kar je podžgalo nemške kritike /20/. Žal je Crookes umrl prezgodaj, da bi v fiziki plazme lahko prepoznal uresničenje svojih domnev o četrtem agregatnem stanju.

4 Kaj sveti na Soncu?



Slika 1: Faksimile Stefanovega rokopisa izračuna temperature Sonca, oddanega na seji dunajske akademije 20.3.1879

V času prvih Crookesovih razprav o četrtem agregatnem stanju je Stefan 20.3.1879 prvi izračunal sprejemljivo temperaturo Sonca 5586°C /21/. Nadaljnjih štirideset let je minilo pri iskanju goriva, ki bi Soncu dajalo toliko energije, ne da bi se zaznavno izrabljalo.

Herman Helmholtz (1821-1894) je leta 1854 imel gravitacijo za vir energije Sonca. Izračunal je potek krčenja Sonca zaradi izgub energije, vendar je dobil premajhno starost Zemlje. Podobno je William Thomson (1824-1907), poznejši Lord Kelvin, termodinamsko določil veliko nižjo starost Zemlje, kot so jo kazali fosilni ostanki /22/. Pozneje je 20.5.1904 na Royal Institution nejevoljno poslušal zaključek razprave po Bakerianskem predavanju Ernesta Rutherforda (1871-1937) z univerze McGill v Montrealu o novo odkriti radioaktivnosti kot viru notranje energije nebesnih teles. Rutherford je imel brčkone v mislih cepitev in ne zlivanja jeder, ko je povedal da: "... obstoj radija na Soncu v razmerju štirih masnih delov na milijon sam po sebi pokriva sedanjo sevano toploto. Odkritje radioaktivnih elementov, ki ob svojem razpadu osvobajajo ogromne količine energije, tako poveča možno limito trajanja življenja na tem planetu in omogoča čas, ki ga geologi in biologi zahtevajo za potek evolucije." /23/.

Rutherfordovim podobna ugibanja o procesih, s katerimi nam sveti Sonce, so štiri leta pozneje lahko prebrali tudi v slovenskem jeziku. Besedilo omenja helij in zato že veliko bolj spominja na sodoben opis zlivanja jeder v zvezdah:

"Vprašati se moremo, odkod se jemlje toplota na solncu, da je navidezno nikdar ne zmanjka... Na solncu se nahajajo namreč silne množine plina helija. Zelo verjetno je, da je nastal ta helij iz radioaktivnih snovi, ki se istotako nahajajo v veliki množini na solncu. Ako je to mnenje pravo, nam ni težko razložiti, zakaj je solnčna gorkota neizpremenljiva. Pri postajanju helija iz ra-

dioaktivnih snovi se razvija namreč tolika toplota, da se z njeno pomočjo vzdržuje solnčna toplota na vedno isti stopnji..." /24/.

Francis William Aston (1877-1945) je leta 1920 in 1925 v Cavendishovem laboratoriju z masnim spektrogramom ugotovil, da je masa He za 0,8 % manjša od štirikratne mase protona. Kemik William Draper Harkens (1873-1951) z univerze v Chicagu je razliko imenoval "vezavno energijo". Direktor observatorija univerze v Cambridgu kveker Eddington pa je objavil, da v zvezdah nastaja energija z zlivanjem vodikovih atomov v težje elemente /25/.

Leta 1928 sta v Göttingenu Nemeec Houtermans in ruski teoretik George Gamow (1904-1968) napisala razpravo o razpadu α s tunelskim efektom. Houtermans je menil, da je možen tudi obrnjen proces, v katerem jedro absorbira delec α in nato razpade. Vendar takšna fuzija ni bila izvedljiva pri energijah, dosegljivih v tedanjih laboratorijih. Mladi britanski fizik na izpopolnjevanju v Göttingenu Robert d'E. Atkinson pa je poznal Eddingtonovo določitev temperature v notranjosti zvezd /26/, kjer je bilo energije dovolj. Marca 1929 sta Houtermans in Atkinson odposlala razpravo z naslovom "Kako lahko kuhamo helijeva jedra v potencialnem loncu", vendar so uredniki naslov spremenili v "O vprašanju možnosti sinteze elementov v zvezdah" /27/.

Nemeec **Friederich Georg Houtermans** je bil rojen leta 1903 v Zappotu pri Danzigu, današnjem Gdansk. Odraščal je na Dunaju, kjer je njegova mati Elza, napol Židinja, kot prva ženska dobila doktorat iz kemije. Leta 1921 je začel študirati fiziko v Göttingenu. Vendar je moral študij zaradi pomanjkanja denarja prekiniti in se preživljati kot turistični vodnik v Rimu. Leta 1927 je v Göttingenu končal disertacijo o resonančni fluorescenci v Hg pri Jamesu Franku (1882-1964), ki je leto pred tem dobil Nobelovo nagrado.

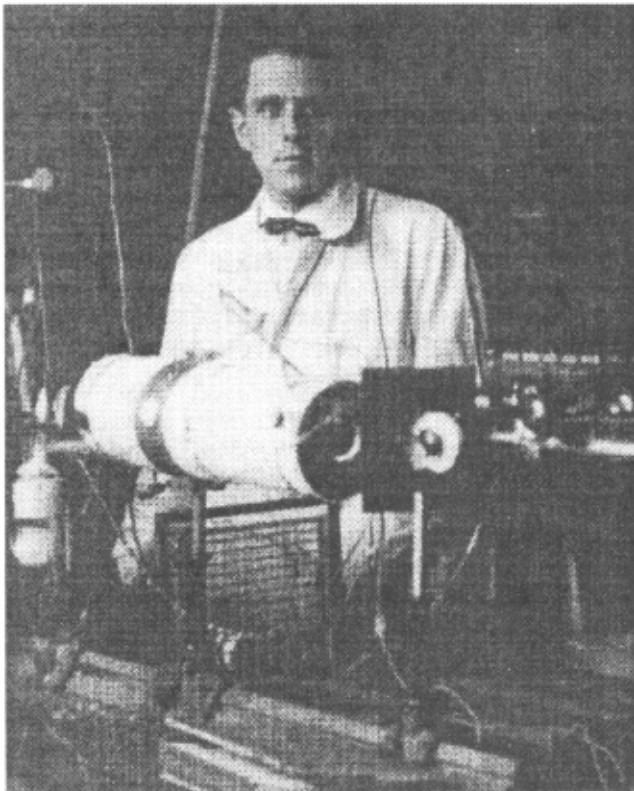
Leta 1929 je Houtermans na Technische Hochschule v Berlinu postal asistent Wilhelma Westphala in nato Gustava Hertza (1887-1975), nečaka Heinricha Hertza (1857-1894). Pri G. Hertzu, ki je delil Nobelovo nagrado s Houtermansovim nekdanjim mentorjem Franckom, je razvijal elektronski mikroskop, ki ga je tisti čas v Nemčiji sestavljalo več raziskovalnih skupin /29/.

Avgusta 1930 je bil Wolfgang Pauli (1900-1958) med konferenco fizikov v Odesi poročna priča Houtermansu in mladenki, ki je skupaj z njim doktorirala iz fizike v Göttingenu. Leta 1932 se je Houtermans habilitiral na univerzi, vendar je kot četrt Žid in član nemške komunistične partije poleti 1933 emigriral in se zaposlil v laboratoriju električnih in glasbenih naprav blizu Londona. Decembra 1934 je odšel na Fizikalno-tehnični institut v Harkov, kjer je raziskoval tudi Landau. Houtermans je delal v eksperimentalnem laboratoriju za jedrsko fiziko, vendar so ga 1.12.1937 aretirali kot nemškega obveščevalca, podobno kot pol leta pozneje Landau. 25.4.1940 je bil Houtermans izročen Gestapu. Od tam ga je rešil Max von Laue (1879-1960), tako da se je leta 1941 lahko priključil privatnemu laboratoriju Manfreda von Ardenneja (1907-1997) v Lichtenfeldu pri Berlinu, kjer je raziskoval teorijo verižne reakcije za državni poštni urad. Pred koncem vojne je prešel na drugi fizikalni institut v Göttingenu, leta 1952 pa je postal profesor na univerzi v Bernu. Umrli je v Švici leta 1966.

Zvečer po končanem članku o jedrskih reakcijah kot viru energije zvezd se je Houtermans sprehajal pod zvezdnim nebom s prijetno mladenko. "Ali ne sijejo prelepo?" mu je zaklicala. Skomiznil je z rameni in ji pojasnil: "Že od včeraj vem, zakaj sijejo."

Vendar Houtermans in Atkinson nista imela na razpolago praktično nobenih eksperimentalnih rezultatov. Vedela sta, da bi pri visokih temperaturah v jedru Sonca atomi vodika lahko prišli ob svoje elektrone. Visoki tlak v Soncu bi jih nato stisnil v zmes protonov, osemkrat gostejšo od svinca. Izračunala sta, da bi zlivanje vodika zadostovalo za toploto Sonca. Nista pa vedela, ali bi zmes protonov pri razmerah v notranjosti Sonca v resnici vzdrževala termojedrsko reakcijo. Pozneje so ugotovili, da sta Houtermans in Atkinson napačno ugotovila presek za ujetje v jedru in verjetnost za radioaktivni razpad. Vendar so se napake med seboj izničile v dovolj pravičen rezultat.

Houtermansov opis jedrske reakcije je dal leta 1928 Johnu Cockroftu (1897-1967) idejo za gradnjo pospeševalnika za protone, ki sta ga leta 1932 končala skupaj s šest let mlajšim Ernestom Waltonom v Cavendishovem laboratoriju /28/.



Slika 2: Friederich Georg Houtermans (1903-1966) (Iosif B. Khriplovich, *The eventful life of Fritz Houtermans*, *Phys.Today* (julij 1992) str.30)

Bethe je leta 1938 na univezi Cornell, nasprotno od Houtermansa in Atkinsona, že imel na razpolago eksperimentalne raziskave jedrskih reakcij, saj so bile v zgodnjih tridesetih letih prav fuzijske reakcije v gorišču raziskovanj fizike visokih energij /30/. Izračunal je, kako hitro se morajo zlivati protoni, da obdržijo razmere v notranjosti Sonca. V letih 1938-1939 sta Bethe in Charles Critchfield ugotovila, da termojedrska reakcija v

vesolju poteka po dveh poteh: v vodikovem (proton-proton) ali v ogljikovem ciklu. Slednjega je v Berlinu neodvisno odkril tudi Nемеc Karl von Weizsäcker (rojen 1912) /31/. Vodikov cikel je močno spominjal na kvantitativne predloge cele vrste raziskovalcev, med njimi Marie Curie (1867-1934) leta 1912 in neodvisno Francoza Jeana Baptista Perrina (1870-1942), Edingtona ter Šveda Svante Arrheniusa (1859-1927) leta 1923 /32/.

Nемеc **Hans Albrecht Bethe** je bil rojen leta 1906 v Strassburgu, kjer je bil njegov oče kolega K.F. Brauna na univerzi. Studij fizike je končal pri Arnoldu Sommerfeldu v Münchnu leta 1928. Raziskovalno delo je nadaljeval pri Rutherfordu v Cambridgu in pri Enricu Fermiju (1901-1954) v Rimu. Poklicno pot na univerzah v Münchnu in Tübingenu je ob začetku nacistične oblasti leta 1933 prekinil z odhodom v Anglijo. Leta 1935 je odšel na univerzo Cornell v ZDA, kjer je dve leti pozneje postal profesor fizike. Leta 1940 je na Cornell prišel tudi Debye kot profesor kemije. Bethe je bil vodja tehničnega oddelka pri izdelavi atomske bombe v Los Alamosu. Tam je zadnje leto vojne pod njegovim vodstvom poldrugo leto mlajši, naturalizirani Američan madžarskega rodu Edward Teller raziskoval vodikovo bombo. Leta 1949 je Bethe iznajdba, povezane z vodikovo bombo, tudi patentiral /33/. Po vojni je v Ženevi sodeloval v pregovorih s SZ glede kontrole nad jedrskimi poskusi.



Slika 3: Hans Bethe (skrajno desno) ob Richardu Feynmanu (1918-1988) na srečanju v Rochesterju januarja 1952 (Freman J. Dyson, *Feynman at Cornell*, *Phys.Today*, (februar 1989) str.33)

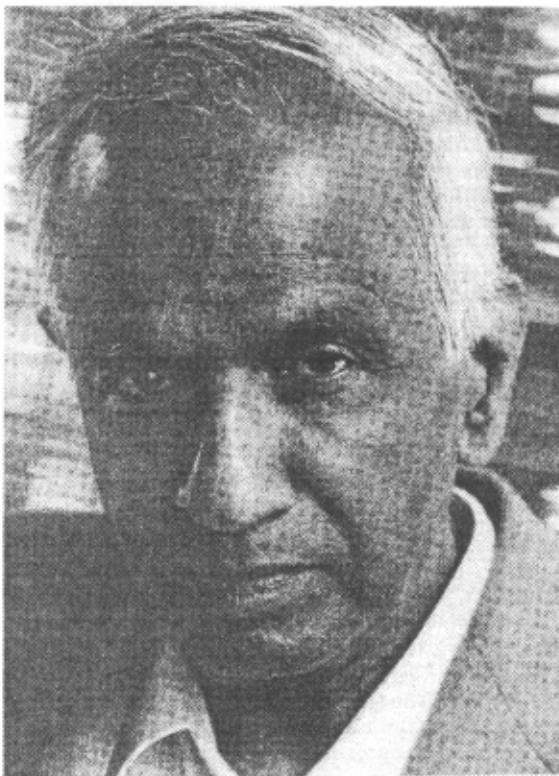
Bethejevo pionirsko delo je izzvalo navdušenje in žive razprave, saj se je izkazalo, da orjaške zvezde niso mogle sevati z današnjo svetilnostjo milijarde let. Ker še niso poznali prehoda zvezde v stanje nižje svetilnosti, je Spitzer leta 1948 domneval, da so orjaške zvezde morale nastati razmeroma pozno iz prahu v spiralnih ozvezdij /34/.

Ralph H.Fowler, Rutherfordov zet in P.A.M.Diracov profesor v Cambridgu, je visoke tlake pojasnjeval z modelom plina iz jeder in elektronov /35/. Njegove raziskave je nadaljeval Chandrasekhar, Diracov študent na Cam-

bridgu. Leta 1931 je objavil, da so bele pritlikavke, ki jih je leta 1915 odkril Walter Sydney Adams (1876-1956) in pozneje raziskoval Eddington, sestavljene iz močno stisnjene snovi, plazme. Od jeseni leta 1952 do pomladi 1953 je Chandrasekhar kot profesor v Chicagu pol leta skupaj z Enricom Fermijem (1901-1954) reševal astrofizikalne probleme, povezane z magnetohidrodinamiko /36/.

Subrahmanyan Chandrasekhar se je rodil v Lahoru (Pakistan) leta 1910. Ko je bil star dvajset let, je končal univerzo v Madrasu. Račune za svojo teorijo belih pritlikavk je opravil med dolgim potovanjem v Anglijo poleti 1930, kjer je študiral pri Diracu na Cambridgu in doktoriral leta 1933. Z Eddingtonom se je zapletel v spor glede realnosti črnih lukenj in zgornje meje za maso belih pritlikavk. Čeprav je Eddingtonova ostra kritika na zborovanju Kraljevske astronomske družbe januarja 1935 skoraj uničila Chandrasekharjevo kariero, je vedno ostal občudovalec Eddingtonovega dela.

Od leta 1937 je Chandrasekhar vseskozi delal na univerzi v Chicagu. Leta 1944 je postal profesor, leta 1953 pa naturaliziran Američan. Leta 1983 je delil Nobelovo nagrado za fiziko z Williamom Fowlerjem, profesorjem Tehnološkega instituta v Kaliforniji. Fowler je od leta 1947 v laboratoriju simuliral termojedrske reakcije, ki naj bi potekale v zvezdah. Pri tem so mu pomagale bogate izkušnje raziskovanja elementarnih delcev v pospeševalnikih. Ko je leta 1953 njegov institut na Caltechu obiskal pet let mlajši slovit angleški astronom Fred Hoyle, sta začela dolgoletno raziskovanje sinteze kemijskih elementov v zvezdah in leta 1980 tudi v supernovah. Chandrasekhar je umrl pred tremi leti v Chicagu.



Slika 4: Subrahmanyan Chandrasekhar 1910-1995 (Phys.Today (marec 1991) str. 65)

5 Langmuirjevo raziskovanje nihanja plazme

Sredi dvajsetih let je Langmuir spuščal tok vodika na segreto volframovo nit v žarnici, da so vodikove molekule razpadle na atome. Ko se je tok vodika oddaljil do hladnejših delov poskusne naprave, so se atomi vodika ponovno združevali v molekule in s toploto rekombinacije dvignili temperaturo plina do blizu 6000°C, kot jo ima površina Sonca.

Langmuir je razvil metodo raziskovanja razelektritve v plinih s tanko nabito sondo, izdelano iz kovin z visokim tališčem, kot sta volfram ali molibden. Dovolj drobna sonda ni zaznavno spreminjala porazdelitev električnega potenciala v plazmi /37/. Že leta 1925 je Langmuir v obločni razelektritvi v živosrebrnih parah pri nizkem tlaku s segreto katodo pri sobni temperaturi ugotovil celo vrsto možnosti za pospeševanje številnih primarnih elektronov do hitrosti, ki presegajo potencialno razliko v katodni elektroniki /38/.

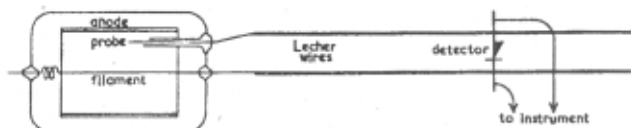
Že desetletja določajo najpomembnejše lastnosti plazme z meritvami napetosti med stenami posode in Langmuirjevo sondo. A.F. Dittmer v letih 1923 in 1924 z uporabo Langmuirjeve tehnike odkril posebno izrazito anomalijo v tanki plasti nekaj mm proč od vlakna, ki je vir primarnih elektronov. Da bi pojasnil Langmuirjevo odkritje nenavadno močnega sipanja pri obločnici, je Dittmer leta 1926 prvi predpostavil obstoj močnih notranjih nihanj. Njihovi nihajni časi so bili primerljivi z 10^{-8} s trajajočim prehodom primarnih 50 eV elektronov iz niti v območje največjega sipanja /39/.

Dittmer med poskusi ni mogel zaznati tega nihanja. Še pred natisom njegove razprave pa je F.M. Penning objavil svoja opazovanja kontroliranih visokofrekvenčnih radijskih sevanj v obločnici pri praznjenju pri nizkem tlaku s Hg parami, ki so kazala prepričljivo korelacijo med opaženim močnim sipanjem in sevanjem /40/.

Poleg presenetljivo močnega sipanja so opazili tudi dve drugi posebnosti razelektritve v plinih, ki so bile povezane z nihanji v plazmi.

Prva med njimi je "kotno" sipanje primarnega curka blizu katode pri obločnici. Najbolj prepričljive raziskave tega pojava so objavili K.G. Emelús in njegovi študentje s Queen's University v Belfastu po letu 1941 s poenostavljenimi Langmuirjevimi sondami. Večkrat so opisali povezavo med kotnim sipanjem primarnega curka in obstojem primarnih nihanj v praznjenju. Uporabljali so volframovo katodo v Hg pri nizkem tlaku in anodo v obliki koaksialnega valja. Dovolj drobna premerična sonda, ki ni zaznavno spreminjala porazdelitve električnega potenciala v plazmi, je bila postavljena med elektrodi. Pri napetosti 15-100 V in toku od nekaj do 100 mA so skoraj vedno zaznavali nihanja z valovnimi dolžinami okoli 10 cm pri zelo različnih frekvencah in amplitudah /41/.

Drugo posebnost včasih imenujemo Langmuirjev paradoks. Maxwelllova porazdelitev energij elektronov se obdrži pri razelektritvi v plinu do zelo majhnih razdalj od izolirane stene. Meritev je presenetila raziskovalce, saj se na negativno nabiti steni zbirajo le visokoenergijski elektroni iz plina in zato kvarijo Maxwelllovo porazdelitev elektronov v bližini. Daleč od stene se Maxwelllova



Slika 5: Skica enostavne sonde za odkrivanje nihanj v plazmi (D. Gabor, *Plasma oscillations*, *Brit. J. Appl. Phys.* 2 (1951) str.209)

porazdelitev ponovno vzpostavi zaradi prehajanja energije pri trkih med elektroni. Vsekakor so bile vse dotlej znane povprečne proste poti prehajanja energije za več redov velikosti večje od zelo majhnih razdalj, potrebnih za ponovno vzpostavitev ravnovesne porazdelitve pri razelektritvi.

6 Plazma dobi ime

Pol stoletja je minilo od Crookesove ideje o četrtem agregatnem stanju do Langmuirja, ki ga je pomladi leta 1928 imenoval "plazmo" in opisal nihanja v njej.

Langmuir je raziskoval plazmo pri neonski svetilki in s sondo meril parametre nizkotemperaturne plazme v razredčenem plinu. Med raziskovanjem obločne razelektritve v Hg pri nizkem tlaku pri sobni temperaturi je spomladi 1928 sodelavca v laboratoriju GE poprosil za nasvet: "Poglej, Tonks, iščem ime. Pri teh plinskih razelektritvah imenujemo področje v neposredni bližini stene elektrode "mejno plast (sheath)", kar je v redu. Toda, kako naj imenujemo glavni del razelektritve? Prevodnost je tam velika, tako da ne moreš dobiti napetostne razlike kot pri mejni plasti, ki pobere ves naboj. In tam imamo popolno nevtralizacijo prostorskega naboja. Nočem si izmišljati izraza, toda moram opisati to vrsto prostora, ločeno od mejne plasti. Kaj predlagaš?" Langmuir je seveda pretiraval glede napetostne razlike in nevtralizacije prostorskega naboja, vendar si je Tonks vzela čas za premislek. Bil pa je prepočasn, saj je Langmuir že naslednji dan privihral k njemu in razglasil: "Vem, kako ga bomo imenovali! Imenovali ga bomo »plazma«. Razpravo z novo skovanko je poslal v tisk 21.6.1928.

Tonks se je 39 let pozneje spominjal, da je Langmuir ob izbiri tudi omenil kri. Izbiral je namreč ime v nasprotju z nazivom "mejna plast" ob steni, da bi opisal širok spekter pojavov gibanja v elektrolitih, plamenu in Heavisidovi plasti v atmosferi. Na izbiro naziva niso vplivale ne nihajne značilnosti nestabilne plazme, niti kipeče gibanje v živih celicah ali podobnost s protoplazmo. V tistem času so tako o plinski kot o krvni plazmi vedeli veliko manj kot danes /42/. Tonks in Langmuir sta naziv plazma uporabila za tisti del ločne razelektritve, kjer so gostote ionov in elektronov visoke, vendar enake med seboj. Obsega ves prostor, ki ga ne zasedajo "mejne plasti" /43/. Ionizirani plin se imenuje plazma, ko je Debyejeva dolžina majhna v primerjavi z drugimi razdaljami /44/.

Langmuir je bil tudi sicer uspešen pri kovanju novih izrazov. Med drugim je leta 1914 pomagal uveljaviti končnico -tron, ki se še danes drži cele vrste elektronskih naprav /45/.

Langmuir je menil, da se je v poskusih s plazmo izognil možnostim nihanja /46/. Po Dittmerjevi razpravi iz leta

1926 je Langmuir leta 1928 in februarja 1929 skupaj s Tonksom raziskoval elektromagnetna nihanja zelo visokih frekvenc. Objavila sta tudi enostavno teorijo elektronskih in ionskih oscilacij v ioniziranem plinu z enim samim mehanizmom za pojasnitev obeh posebnosti električne razelektritve v plinih: "kotnega" sipanja in Langmuirjevega paradoksa. Nekateri teoretični rešitve jima je v zasebnih pismih pomagal najti tudi slaviti profesor na Cambridgeu J.J. Thomson. Nova teorija je temeljila na povsem enakomerni, makroskopsko nevtralni plazmi pri ničelni temperaturi. Majhen premik elektronov iz ravnovesja povzroči delovanje Coulombove sile nazaj k ravnovesju, ki je v prvem približku nevtralno. Nastanejo harmonična nihanja z značilno frekvenco, ki so jo imenovali po Langmuirju, čeravno jo je prvi objavil že Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) v teoriji elektronov leta 1909.

Vendar je Lorentz obravnaval transversalne valove, medtem ko sta Tonks in Langmuir opisala longitudinalne, povsem drugačne narave. Da bi poudarili razliko, so valove Langmuirjevega tipa imenovali električni zvočni valovi, čeravno izraz ni povsem ustrezen. Poleg teh valov so v plazmi možni tudi drugi, med njimi akustični in pozneje leta 1942 odkriti hidromagnetni (Alfvénovi).

Nihanja elektronov s 1000 MHz so bila prehitra, da bi jim sledili težji ioni. Ionske oscilacije pa so tako počasne, da pustijo elektronsko gostoto ves čas pri ravnovesni vrednosti, ki ustreza Boltzmannovemu zakonu.

Tonks in Langmuir sta leta 1929 merila v dveh katodnih elektronkah z vročima katodama za izvira elektronov. Kolektorji so bili postavljeni tako, da so sprejemali del direktnega curka primarnih elektronov iz vlakna. Pri strani je bila anoda, ki je vzdrževala razelektritev. V prvi elektronki sta bili dve volframovi vlakni, oprti na dolge vodnike, pokrite s steklom, blizu srede okrogle žarnice velikosti 18 cm. Njuna izpostavljenost dela sta bila dolga 1,1 cm in vzporedna na medsebojni razdalji 0,5 cm. Vzporedno z njima sta 4,2 cm proč postavila kolektor, okroglo ploščo premera 1,1 cm, pokrito s sljudo. Druga katodna elektronka je bila enaka, le da je imela tri navpične volframove niti. Z detektorjem Zn-Te in galvanometrom sta zaznavala nihanja s frekvencami elektronov v plazmi v skladu s teorijo /47/.

V naslednjem zvezku *Phys. Rev.* sta Tonks in Langmuir analizirala še mejno plast, ki nastane ob stiku plazme s trdno površino brez magnetnega polja. Pri tem sta uporabila različne domneve o potencialni razliki med plazmo in steno. Ugotovila sta, da je debelina mejne plasti v grobem podana z Debyejevo zaščitno razdaljo, ki je podobna obratni vrednosti absorpcijskega koeficienta ioniziranega fluida za električne sile /52/.

Irving Langmuir (1881-1957) je bil rojen New Yorku. Leta 1903 je postal metalurški inženir na univerzi Columbia. Tri leta pozneje je doktoriral v Göttingenu pri Hermannu Waltherju Nernstu (1864-1941), nekdanjem Boltzmannovem študentu. Nernst sicer ni bil uporaben svetovalec, toliko bolj pa je Langmuirju pomagal nekdanji Plückerjev učenec, matematik Felix Klein (1849-1925), ki je med letoma 1886-1910 prav tako poučeval na univerzi v Göttingenu.

Po nekaj letih poučevanja kemije je po nasvetu sošolca leta 1909 začel raziskovalno delo pri General Electric Research Laboratory v Schenectadyju, New York, kamor je leta 1886 Edison preselil svoje raziskovalne naprave. Laboratorij je bil sprva decembra 1900 postavljen v skednju ob Steinmetzovem penzionu, kamor je ta nastavil dotedanjega inštruktorja za kemijo pri MIT Willis R. Whitneyja kot prvega direktorja raziskovanja pri GE/48/. Langmuir je pisal materi: "Medtem ko sem v Schenectadyju, bom iskal zares dobro službo na univerzi." Ta "medtem" se je podaljšal na skoraj pol stoletja Langmuirjevega raziskovanja pri GE.

Leta 1911 je Langmuir pridobil atomarni vodik in opisal varjenje kovin v vodikovem plamenu. Leta 1913 je objavil po njem imenovan zakon termoionske emisije. Leta 1916 je konstruiral manometer in visokovakuumsko črpalko. Leta 1919 je predložil svoj model atoma na osnovi starejšega Bohrovega. Znan je postal tudi po enačbi Langmuira-Megnada Saha (1893-1956), ki povezuje stopnjo površinske ionizacije s površinsko temperaturo kovine, njenim izstopnim delom in potencialom ionizacije atomov. Skupaj z Gilbertom Newtonom Lewisom (1875-1946) sta postavila teorijo kemičnih valenc. Leta 1916 je objavil enačbo izotermne enomolekularne adsorpcije. Langmuir je tudi pomagal izumitelju Williamu Stanleyju pri problemih prehanja toplote v termovki, kar mu je pomagalo pri izumu za 25 % učinkovitejše vakuumske žarnice.

Leta 1932 je Langmuir kot prvi ameriški industrijski znanstvenik dobil Nobelovo nagrado za kemijo za raziskovanje monomolekularnih površinskih tankih plasti. Istega leta je Coolidge nasledil Whitneyja kot direktor laboratorija GE, pa tudi Langmuir je postal direktor in pozneje svetovalec. Med svetovalci GE so bili tudi drugi Nobelovci: Hans Bethe s Cornell, Ernest Lawrence z Berkeleyja in Eugene Wigner s Princetona.

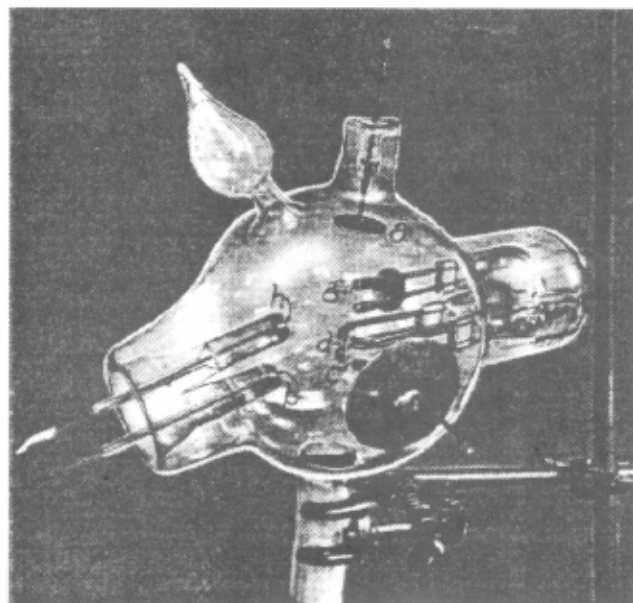
Do konca 2. svetovne vojne je laboratorij GE bolj spominjal na Edisonovo kot na Einsteinovo dobo. Ukvarjal se je izključno z elektriko, kjer je imel močne patente. Delali so v majhnih skupinah po metodi, ki so jo na Cambridgu posrečeno krstili za "klasično tradicijo vrvic in pečatnega voska". Tako je Langmuir s priučenim znanstvenikom Vincentom Schaeferjem in prvo žensko z doktoratom iz fizike v industrijskem laboratoriju Katharino Blodgett med iskanjem boljšega maziva za ležaje odkril enomolekulske tanke plasti kapljevine na kapljevine /49/.

Leta 1939 se je Langmuir navdušil nad Hannovim odkritjem verižne reakcije, tako da sta Kingdom in Pollock že leta 1940 začela raziskovati uran pri GE, kar je ob koncu vojne preraslo v Skupino za raziskovanje jedra pri GE. Leta 1947 so Langmuir, Pollock in Franck Edler na 70 MeV sinhrotronu prvi opazili sinhrotronsko sevanje.

Leta 1945 je imel laboratorij GE 630 zaposlenih, med njimi 160 znanstvenikov in inženirjev. Okoli pol jih je raziskovalo fiziko, 30% kemijo, 15% metalurgijo in 5% mehaniko. Leta 1946 se je po Whitneyju upokojil tudi Coolidge in kmalu za njim, konec leta 1858, še Saul Dushman (1883-1954), Albert W. Hull in tudi Langmuir leta 1950, ko je v laboratoriju delalo že 1000 ljudi, ki so si dali postaviti novo stavbo v Knollisu. Nove generacije raziskovalcev in konkurenca na tržišču so tedaj tudi v GE že zahtevala izvajanje velikih projektov /50/.

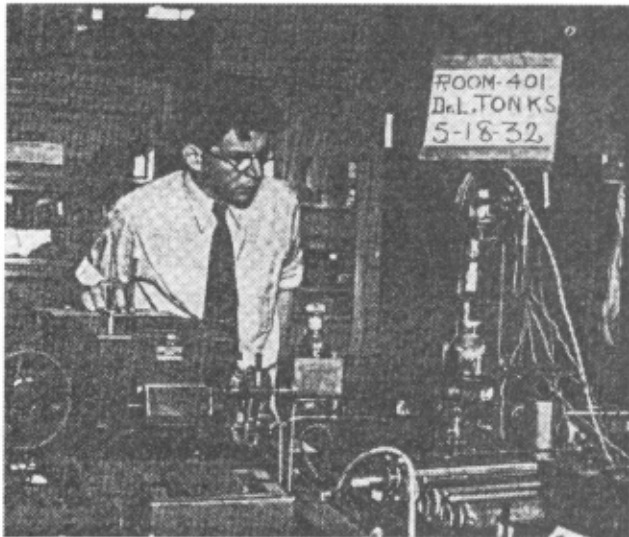


Slika 6: Irving Langmuir (1881-1957) (Irving Langmuir, *Pathological science, Phys.Today (October 1989) str.37*)



Slika 7: Langmuirjeva in Tonksova merilna naprava, opisana 20.11.1928 (Tonks, Langmuir, n.d., 1929, str.202)

Lewi Tonks (1897-1971) je doktoriral leta 1923 na univerzi Columbia, kjer je generacijo pred njim študiral Langmuir. Tri leta po diplomi je začel delati pri General Electrics. Leta 1937 je poimenoval "pinch" efekt /51/, ki ga je tri leta prej odkril Benett kot "magnetne samo-uravnavaajoče tokove".



Slika 8: Lewi Tonks (1897-1971) v laboratoriju, *The Physical Review. The First Hundred Years (H. Henry Stroke (urednik), American Institute of Physics Press, New York, Maryland, str.724)*

7 SKLEP

V fiziki plazme so se v letih velike svetovne ekonomske krize združila raziskovanja astronomov (pozneje imenovanih astrofiziki), geofizikov in raziskovalcev razelektritve pri nizkem tlaku. Za Langmuirjevo definicijo plazme je bilo še bistveno električno polje, ki je povzročilo ionizacijo. Pozneje je plazma postala sopomenka za ionizirani plin /53/. Langmuirjevi nasledniki so raziskovali predvsem nenavadno vedenje plazme v magnetnem polju in v naslednjih desetletjih razvili novo panogo znanosti, imenovano magneto-hidrodinamika, ki jo bomo opisali v nadaljevanju.

Literatura

- 1 Faraday, Lectures on the chemical history of a candle, slovenski prevod "Zgodovina sveče", MK, Ljubljana, 1950, str.9.
- 2 Faraday, n.d., 1950, str.10 in 18.
- 3 Sull' Magnetismo dei Gasi, Giorn. di Roma; Sull' Azione di elettromagnetismo sull' vapori di acqua e di alcool, pol strani dolgo poročilo v Corisp.Scient.Roma 1 (1848).
- 4 Francesco Zantedeschi (1797-1873), Ueber die Bewegungen der Flamme unter elektromagnetischem Einfluss, Gazz. Piemont št. 242 (12.10.1847) in Racc. fis. chim 3. Prevod v Ann. Phys. 73 (1848) str. 286-290; Dell' influenza elettromagnetica nei corpi coll' analisi di una nota de prof.Bancalari, Benetke 1848.
- 5 Faraday, On the Diamagnetic Conditions of Flame and Gases, Phil.Mag. 31 (december 1847) S.10, št.210, str.401-421 in Experimental researches in electricity, ponatis v Great books of the western world (ur.Robert Maynard Hutchins), Encyclopaedia Britannica, inc, 1952, str.856, 857, 858 in 865. Prevod v Ann.Phys. 73 (1848) str.259-263 in 286.
- 6 Zantedeschi, Della condizione magnetica e diamagnetica proprie del regno inorganico e della condizione diamagnetica generale ai composti dei regni organici. Benetke 14.3.1848; Plücker, Ueber das magnetische Verhalten der Gase, Ann.Phys. 83 (1851) str.87.
- 7 Faraday, On the Diamagnetic Conditions of Flame and Gases, Phil.Mag. 31 (december 1847), S.10, št.210, str.401-421 in Experimental researches, n.d., 2720 (2.8.1850). Prevod v Ann.Phys. 73 (1848) str.257; Eduard Riecke, Plücker's Physikalische Arbeiten, Juliusa Pluecker gesammelte wissenschaftliche Abhandlungen (ed.A. Schönflies & F.Pockel), 1. vol, Leipzig, 1895, str.XIII.

- 8 Karl Ferdinand Braun (1850-1918), Bemerkungen über die unipolare Leitung der Flamme, Ann.Phys. 3 (1878) str.441 in 444.
- 9 Naziv "elevé" ali "Ordentliche Zögling" je dobil dunajski študent po treh semestrih. Največ 12 takšnih študentov je prejelo štipendijo na dunajskem Fizikalnem inštitutu.
- 10 Wilhelm Josef Grailich (1829-1859) in Edmund Weiss (rojen leta 1837-1917 v Dublinu), Über das singen der Flammen, Wien.Ber. 29 (1858) str.271.
- 11 Johann (Ivan Branimir) Zoch, Ann.Phys. (1.5.1866) str.589 in 591-593; Ferdinand Rosenberger, Die Geschichte der Physik, III, Braunschweig, 1890, str.745; Christa Jungnickel in Russel McCormach, Intellectual mastery of nature, I, The University of Chicago Press, 1986, str.204.
- 12 Jungnickel 1986, str.224; Walter Höflechner, Ludwig Boltzmann, Graz 1994, II, str.139; Južnič, Zgodovina raziskovanja "katodnih žarkov" in (katodnega) razprševanja elektronov, Vakuunist 14/3 (1994) str.28.
- 13 Reitlinger, Wien.Ber. II 43 (1861) str.534.
- 14 Reitlinger, Wien.Ber. II 43 (1861) str.25.
- 15 Brande, On some new Electrochemical Phenomena, Phil.Trans. 26.11.1814, str.1 (prebrano pred RS 25.11.1815).
- 16 Reitlinger in Kraus, über Brande's elektrochemische Untersuchungen, Wien.Ber. 46 (10.7.1862) str.389.
- 17 Ann.Phys. 102 (1857) str.42.
- 18 Reitlinger, n.d., 1862, str.368 in 388-389; Simon Šubic, Grundzüge einer Molekular-Physik, Wien, 1862, str.199-200.
- 19 Höflechner, n.d., 1994, II, str.50.
- 20 Predavanje Williama Crookesa (1832-1919) Radiant Matter or the Fourth State na kongresu Britanskega združenja v Sheffieldu 22.8.1879. Prevod "Sur la matière radiante" v Ann. Chem. Phys. 19 (1888), ponatisjen v Henri Abraham in Paul Langevin (1872-1946) (ur.), Les quantités élémentaires d'électricité. Ions, électrons, corpuscules, Gauthier-Villars, Paris, 1905, str.112-114 in 124; Johann Puluj (1845-1918), Physical memoirs. Radiant electrode matter and the so-called fourth state, London 1889, str. 235.
- 21 Jožef Stefan, Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur, Wien.Ber 79 (1879) str.36-37.
- 22 Thomson, On the Secular Cooling of the Earth, Trans.RS Edinburgh 23 (28.4.1862), Ponatis v Mathematical and Physical Papers, III, London, 1890, str.295-311.
- 23 David B.Wilson, Kelvin and Stokes, Adam Hilger, Bristol, 1987, str.220.
- 24 Fran Čadež (1882-1945), Skrivnost radioaktivnosti, Ljubljana, 1908, str.46.
- 25 Arthur Eddington (1882-1944), The Internal Constitution of the Stars, Cambridge, University Press, 1926. Nemški prevod Der innere Aufbau der Sterne, Berlin, Springer, 1928, str.364, 368, 392 in 394.
- 26 Eddington, n.d., 1928, str.18 in 149.
- 27 Atkinson, Houtermans, Z.Phys. 54 (1929) str.656.
- 28 S.Južnič, Zgodovina pospeševalnikov: Od idej do prvih izvedb, Vakuunist 15/2 (1995) str.18-19.
- 29 S.Južnič, Zgodovina elektronskega mikroskopa, Vakuunist 14/4 (1994) str.22.
- 30 Harold P.Fluth, Reaching ignition in the tokamak, Phys.Today (marec 1985) str.53.
- 31 Ralph E.Lapp, Roads to discovery, Harper & Brothers Publishers, New York, 1960, str.162.
- 32 Jean Perrin, Les atomes, Paris, Librairie Félix Alcan, 1927, str.277-278; Eddington, n.d., 1928, str. 368.
- 33 Peter Galison and Barton Bernstein, In any light: Scientists and the decision to build the Superbomb, 1952-1954, HSPS 19/2 (1989) str. 271 in 336.
- 34 Lyman Spitzer, Dreams, Stars and Electrons, Princeton University Press, 1997, str. 3 in 51.
- 35 Friedrich Hund (1896-1997), Geschichte der physikalischen Begriffe, 2. del, Bibliographisches Institut, Mannheim, Wien, Zürich, 1978, str.197.
- 36 I.B. Ponekorvo in V. Pokrovski, Enrico Fermi, Nauka, Moskva, 1972, str.119-121; Spitzer, Physics of fully ionized gases, Interscience publishers, New York, 1956, str.12-14.
- 37 Tonks in Langmuir, A general theory of the plasma of an arc, Phys. Rev. 34 (15.9.1929) str. 881.
- 38 Langmuir, Phys. Rev. 26 (1925) str. 585.
- 39 Dittmer, Phys. Rev. 28 (1926) str. 507.

- 40 Nature 118 (1926) str.301 in Physica 6 (1926) str.241; Tonks in Langmuir, Oscillations in Ionized Gases, Phys.Rev. 33 (1929) str.195.
- 41 D.Gabor, Plasma oscillations, Brit.J.Appl.Phys. 2 (1951) str.209.
- 42 M.A.B.Whitaker, History and quasihistory in physics education - part 1, Phys. Educ 14 (1979) str.111 in Tonks, Am. J. Phys. 35 (1967) str. 857-858.
- 43 Tonks in Langmuir, n.d., Phys. Rev. 33 (1929) str.196.
- 44 Langmuir, Phys. Rev. 33 (1929) str. 954; Spitzer, n.d., 1956, str.17.
- 45 Georg Wise, Irving Langmuir (1881-1957), v Vacuum Science and Technology, (ur. Paul A. Redhead), American Vacuum Society, 1994, str. 34.
- 46 Gabor, n.d., 1951, str. 210.
- 47 Tonks in Langmuir, n.d., 1929, str.203-210.
- 48 George Wise, Science at General Electric, Phys.Today (december 1984) str.52.
- 49 S.Južnič, Zgodovina tehnologije tankih plasti, Vakuumist 15/4 (1995) str.20.
- 50 Wise, n.d., 1984, str.54-56.
- 51 Tonks, Trans.Electrochem.Soc 72 (1937) str.167 in Theory of Magnetic Effects in the Plasma of an Arc, Phys.Rev 56 (15.8.1939) str.369.
- 52 Teorija raztopin Debya in Hückla je bila objavljena v Phys. Zeits. 24 (1923) str. 185 in 305 (Langmuir in Tonks, n.d., Phys. Rev. 33 (1929) str. 201; 34 (1929) str. 876-922 in Spitzer, n.d., 1956, str.17-18).
- 53 Alfvén, n.d., 1963, str.134-135.

Poročilo o udeležbi zastopnikov DVTS na seji in skupščini mednarodne zveze IUVESTA

Mednarodna zveza za vakuumsko znanost, tehnike in aplikacije (IUVESTA) je ob letošnjem skupu svojih strokovnih kongresov (29.8. - 4.9. v Birminghamu: IVC-14, ICSS-10, NANO-5 in QSA-10) izpeljala tudi:

- 81. sejo izvršnega odbora (ki se mu je iztekel triletni mandat), 27.8.98,
- 13. generalno skupščino držav članic (2.9.98) in
- 82. sejo izvršnega odbora - novega, ki je prevzel dolžnosti 4.9.98.

V Društvu za vakuumsko tehniko Slovenije (DVTS), ki je aktivni član IUVESTA, sem bil na seji I.O. 26.2.98 izvoljen za slovenskega zastopnika v omenjeni mednarodni zvezi za naslednje triletno obdobje. Bil sem povabljen, da sodelujem na skupščini IUVESTA in na 82. seji I.O. Dosedanja naša zastopnica, dr. Monika Jenko, ki je tudi koordinator dejavnosti IUVESTA za manj razvite dežele, se je udeležila vseh treh sestankov, jaz pa le zadnjih dveh.

13. skupščina IUVESTA (13th General Meeting of IUVESTA) je potekala v eni od dvoran kongresnega centra v Birminghamu v sredo, 2. sept. 1998 od 18 do 20.30 ure. Prisotnih je bilo približno 100 delegatov, večinoma po trije iz vsake države članice, teh je sedaj 30 po številu. Po ugotavljanju navzočih je dosedanji predsednik IUVESTA, prof. Robins, pozdravil prisotne in skupaj z dolgoletnim sekretarjem prof. Collignonom sta pričela sestanek. Pomembnejše točke so bile: sprejetje popravkov statuta, poročilo sekretarja, poročilo odgovornega za tehniko in znanost (Valbusa) ter poročilo blagajnika (Dobrozemsky), kjer je bilo omenjeno, da se bo članarina države članice povečala od 200 na 220 SFr. Potem je predsednik Robins poročal o delovanju oz. o sestankih izvršnega odbora, o naši aktivnosti za dežele v razvoju in o menjavi generacij oz. funkcionarjev v zvezi. Sledile so volitve novih funkcionarjev, predaja predsedništva ter nova imenovanja. Za konec je bilo še nekaj obvestil, pripomb (na finančno poročilo) in krajših pojasnjevanj. Vsi smo se nato udeležili skupne zakuske na Univerzi Birmingham, kjer je bilo veliko priložnosti za pogovore in navezavo stikov.

Novo vodstvo IUVESTA je naslednje: predsednik prof. Woodruff, podpredsednik M.G. Barthes-Labrousse, generalni sekretar W.D. Westwood, blagajnik H. Wahl, znanstveni direktor U. Valbusa, znanstveni sekretar M. Sancrotti.

82. seja izvršnega odbora IUVESTA je tudi potekala v kongresnem centru, in sicer v petek, 4.9.98, s pričetkom ob

14.00. Sejo je odprl prof. Woodruff. Po ugotavljanju navzočnosti (Westwood) in predstavljanju vseh delegatov je novi predsednik (Woodruff) predstavil svoje videnje bodočega delovanja zveze in njenih sekcij (tudi že na osnovi številnih pogovorov, ki jih je že imel s starimi in z novimi sodelavci. Sledili so načrti za delo po področjih: o nagradah in šolanju (Valbusa), o kongresih (Rogers), o izobraževanju (Greene), o daljnoročnem planiranju (Barthes), o publiciranju (Westerberg) in o statutarnih zadevah (Westwood). Finančno prognozo za obdobje 1998-2001 je podal novi blagajnik, Švicar g. Wahl. Nato je prof. Valbusa, odgovoren za Science Technical Divisions (STD), podal predvideno delovanje sekcij (Applied surface science, Electronic materials+processing, Nanometer structures, Plasma science+technique, Surface science, Thin films, Vacuum metallurgy, Vacuum science) ter zaprosil, da vsaka sekcija sama pripravi podatke o sebi in svoj program aktivnosti. Še ne popolno poročilo o pravkar končanem kongresu (IVC14, ICC10, ..., nad 700 abstraktov, delno že znana finančna situacija, ...) v Birminghamu je podal Woodruff. O naslednjem svetovnem kongresu l. 2001 v San Franciscu je nekaj podatkov povedal prof. Rogers; prvi pripravljani sestanek na to temo je potekal že septembra letos v AVS. Glasovanje o kraju, kjer bo potekala naslednja seja izv. odbora (EC 83) februarja 1999, je med San Diegom (ZDA) in Bains de Sallon (Švica) dalo prednost Švici (19.-21.02.99). Tam bo takrat potekala delavnica o uporabi plazme v industriji. Naslednji sestanek EC 84 bo v Bruslju približno 5.-10. sept. 1999. Sledilo je vpisovanje prisotnih v formular sekretariata, kje bi kdo v naslednjem obdobju želel sodelovati (Slovenci smo se prijaviли za "vzgojo", "finance" in "razvijajoče se dežele"). Ob sklepu seje so bila dana še razna navodila in obvestila:

- kmalu bomo prejeli poročilo sekretarja (dr. Westwood)
- skrbno naj pošiljamo poverilnice, če se kdo ne bo mogel sam udeležiti seje
- v naslednjem obdobju bodo velike konference v Aziji in na Japonskem (Robins) ter v Egiptu
- podatke in zapisnike sej od vseh aktivnosti (sekcij, društev, držav,...) pošiljati sekretarju.

Na koncu sta se predsednik in sekretar zahvalila angleškimi kolegom za organizacijo kongresa ter vsem navzočim za sodelovanje.

Mag. Andrej Pregelj