

RAZVOJ VAKUUMSKIH TEHNOLOGIJ PO SHEMI TOYNBEE-KUHN-JUŽNIČ (Ob Unescovem letu, posvečenem svetlobi in z njo povezano tehnologijo)

Stanislav Južnič

ZNASTVENI ČLANEK

Univerza v Oklahomi, Oddelek za zgodovino znanosti, Norman, Oklahoma, ZDA; Arhiv Slovenske jezuitske province, Ljubljana

POVZETEK

Prispevek opisuje razvoj vakuumskih tehnik v petstopenjski shemi. Osredinja se na tri poglobitve izume: živosrebrni vakuumski barometer, vakuumsko črpalko in katodno elektronko. Posebno zadnja je med najbolj vplivnimi iznajdbami do sedaj. Za konec je ponujena še projekcija prihodnjega razvoja vakuumskih tehnik pod taktirko drugačnih moči, ki bodo sledile novim vakuumistom iz meščanskih, kmečkih in ženskih okolij v prihodnjih dosežkih nebelih raziskovalcev vakuumskih tehnologij. Ob Unescovem letu, posvečenem svetlobi in z njo povezano tehnologijo, je predstavljena krivulja razvoja fizikalnega raziskovanja optičnih pojavov s posebnim poudarkom na vakuumskih tehnikah.

Gljučne besede: zgodovina vakuumskih tehnologij, vakuumski živosrebrni barometri, vakuumske črpalke, katodne elektronke

Development of vacuum technologies according to Toynbee-Kuhn-Južnič's model

ABSTRACT

The development of vacuum techniques in a five-step scheme is illustrated. It focuses on three major inventions: vacuum mercury barometer, air pump, and cathode ray tube. Especially the last one turns out to be one of the most influential inventions of all times. For conclusion, the projection of future development of vacuum techniques is given under the guidance of new incoming research powers. The future contributions of non-white researchers of vacuum technologies will join recently advanced vacuum techniques researchers from middle-class, rural, and female environments. On the UNESCO's year dedicated to light and involved technologies a chart is published showing the development of physical optics on the basis of vacuum technologies.

Keywords: history of vacuum technologies, vacuum mercury barometers, air pumps, cathode ray tubes

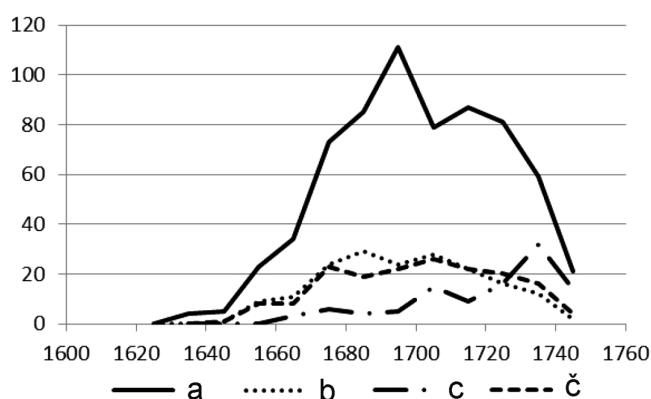
1 UVOD

Raziskovanja praznega so stara kot svet sam; gre za razmišljanja o neskončno majhnem in neskončno velikem, ki sta obenem temelja infinitezimalnega računa. Seveda razglabljanja o obstoju vakuuma v naravi sprva niso bila podprta s posebno prepričljivimi poskusi.

Enotna antična fizika se je razdelila na osnovne, danes klasične panoge v razmeroma dolgem obdobju med letoma 1600 in 1785, med Galileijem in francosko revolucijo. S prepovedjo jezuitske družbe se je leta 1773 formalno končalo sholastično poučevanje po Aristotelovih osmih knjigah fizike, za katerimi so uporabljali še dele knjig: *O nebu*, *O nastajanju in propadanju*, *Meteorologika* ter *O duši*.

Dokončnost, po S. Toulminovem mnenju pa dodatno še mirovanje kot naravno stanje Aristotelove znanosti namesto sodobne dinamike, sta bili Aristotelovi srednjeveški prednosti in obenem renesančni slabosti. Postali sta oviri sprememb in napredka.¹ Aristotel je kot znanstvenik obdržal prestiž predvsem v biologiji, kjer ga je spoštoval Charles Darwin, leta 1842 pa je Johannes Müller dokazal dolgo dvomljiva Aristotelova opazovanja poroda morskih mačk.² Podobno se je A. Kircherjeva znanstvena verodostojnost obdržala predvsem v akustiki. Sholastično in še posebej Kircherjevo nekonvencionalno kritiziranje teoretskih posledic razvoja vakuumskih tehnologij je zaznamovalo ljubljanske izobražence predvsem pod vplivom jezuitske univerze v Gradcu; vpliv dunajskih učenjakov je bil precej manjši, kot prikazujeta **sliki 1** in **2**.

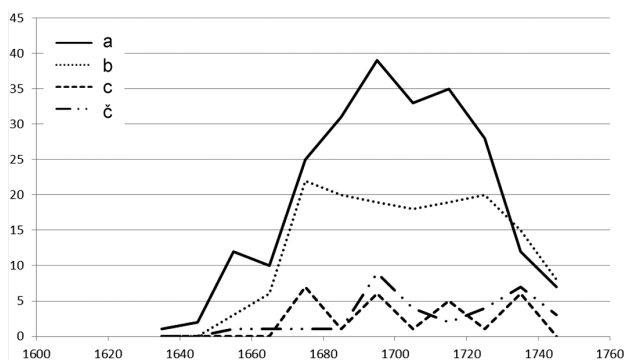
Andronicus z Rodosa naj bi Aristotelove knjige uredil komaj po Kristusovi smrti, kot je med drugim poročal Hegel. Čeprav so nekateri priporočali začetek branja Aristotelovih umotvorov pri fiziki, se je vplivni Andronicus odločil za uvodno logiko. Aristotelovi fiziko in metafiziko so na pariški univerzi prepovedali leta 1210 in 1215; očitno nesporne Aristotelove logike prepoved ni zajela. Tako je Aristotelov nauk dejansko gospodoval do Galileijevih dni borih tri ali kvečjemu pet stoletij. Nato je njegova vseprisotnost počasi hiralala



Slika 1: Število jezuitov, rojenih na sredi desetletnega intervala, narisano na vodoravni osi: (a) službujočih v Ljubljani med letoma 1704 in 1773, (b) ki so na drugih kolegijih predavali filozofijo s fiziko od skupno 178, (c) ki so na drugih kolegijih predavali ali repetirali matematiko od skupno 104, (č) število piscev med ljubljanskimi jezuiti od skupno 169

¹ Kovačevič, 2014, 19; Južnič, 1983, 228, 237

² Grant, 2007, 34



Slika 2: Število nekdanjih študentov prvega letnika na sredi desetletnega intervala, narisano na vodoravni osi: (a) filozofije s fiziko na graški univerzi od skupno 224, (b) filozofije na dunajski univerzi od skupno 150 tistih, ki so službovali v Ljubljani med letoma 1704 in 1773, (c) filozofije na Trnavski univerzi od skupno 27 tistih, ki so službovali v Ljubljani med letoma 1704 in 1773, (č) filozofije od skupno 35 tistih, ki so službovali v Ljubljani med letoma 1704 in 1773

tudi zaradi Aristotelovega zavračanja vakuuma, v katerem naj bi telesa padala z neskončno hitrostjo.

Aristotelov prestiž so spodkopale vakuumske tehnologije kot interdisciplinarno raziskovalno področje, rojeno ob načrtu za barometer Evangelista Torricellija v Firencah pred 372 leti. Po razdelitvi, merodajni za klasično fiziko, se da povedati, da so barometre in vakuumske črpalke sprva uporabljali kar v vseh panogah fizike vključno z mehaniko in pri raziskovanju svetlobe. Ko so se sredi 19. stoletja z J. Plückerjevim in Geisslerjevim izumom katodnih elektronk raziskave nekoliko specializirale, so postale vakuumske tehnologije uporabne predvsem za preučevanje elektromagnetnih in toplotnih pojavov.³

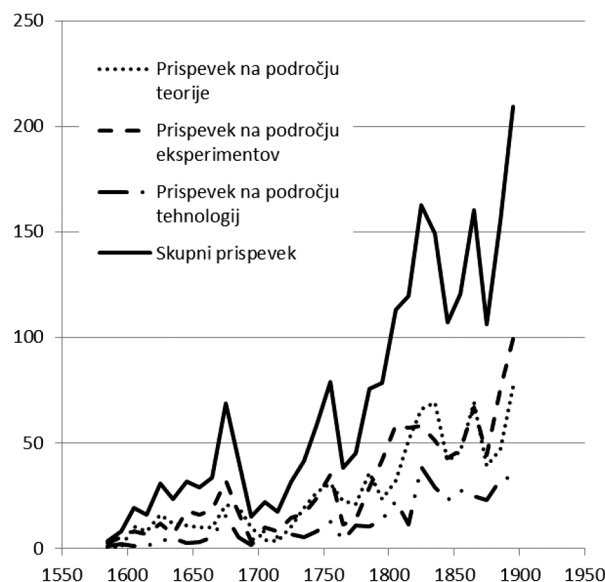
Vakuumska tehnika očitno napreduje k vse nižjim tlakom nasprotno od prenekaterih drugih znanstvenih področij, kjer smer morebitnega napredka ni tako zlahka razvidna. Raziskovanje vakuumskih tehnologij je, tako kot vsako drugo, občasno briljiralo z imenitnimi izumi, kot so bili barometer, vakuumska črpalka ali katodna elektronka. Thomas Kuhn bi te dogodke morda imel za revolucijo. Izumom je sledila strma rast raziskovalnih prispevkov, ki se je sčasoma vnesla med širjenjem v dotlej nepokrita področja raziskav, denimo v biologijo.

Ob izzivih novih področij so se porajali na videz nerešljivi problemi, ki so rast ustavili ali pa so jo zapeljali na kriva pota. Krivulja rasti se je, kot pravimo fiziki, zlomila; njen odvod je spremenil predznak. Tedanjim raziskovalcem se dogajanja niso zdela prav nič alarmantna in so raziskovanje nadaljevali v območju univerzalne paradigme, ki je postala relevantna za mnogoteri področja znanstvenega raziskovanja. Vendar so zagate zloma klile in sprožale nove ideje, ki so tekmovala z dotedanjim osnovnim tokom razvoja,

mainstreamom. Ko so se različni programi primerjali in spopadli z dotlej prevladujočim, so nastala kriza in prerekanja med pomembnimi strujami, ki so si želele prepotrebne denarja za drage raziskave in vsakovrstne podpore. Preboj je omogočilo novo odkritje in sprožilo revolucijo, po njej pa novo rast.

Tako vsako paradigmo raziskovanja vakuumskih tehnologij in podobnih fizikalnih raziskovanj z malo truda priročno razdelimo v pet stanj: rast, zlom, univerzalno paradigmo, krizo in prevrat oz. revolucijo; rast prve paradigme posamične panoge je njena geneza. Med razvojem paradigme se rojevajo bistveni delovni pripomočki, ki jim pravimo univerzalne raziskovalne metode. Posamezne paradigme odigrajo svojo vlogo in prenehajo nastopati kot uporabne raziskovalne zamisli ali instrumenti. Ta nemila usoda je, denimo, zavdala vakuumskim živosrebrnim barometrom, ki jih dandanes ne uporabljamo več v laboratorijih in spadajo zgolj še v muzeje. Univerzalne raziskovalne metode pa so na svoj način večne, saj se dedujejo iz paradigme v njeno naslednico.

Posebnost razvoja vakuumskih tehnologij je njena izjemno hitra začetna rast kar v dveh samosvojih eksperimentalnih smereh. Prva dva odločilna poskusa, ki sta vakuumiste vzpostavila v evropskem merilu, sta bila namreč uprizorjena zelo hitro drug za drugim. Najprej sta florentinska Galileijeva duhovna dediča E. Torricelli in V. Viviani zasnovala in izvedla poskus s prvim barometrom. Desetletje pozneje je Otto Guericke s pomočjo kranjskega kneza Janeza Vajkarda



Slika 3: Prispevki vseh raziskovalcev fizike po Asimovu (1978), ocenjeni od 1 do 9. Vakuumske tehnike so prispevale predvsem k eksperimentom, najbolj zaznavno sredi 17. in sredi 19. stoletja z izumi barometra ter vakuumske črpalke oziroma katodne elektronke.

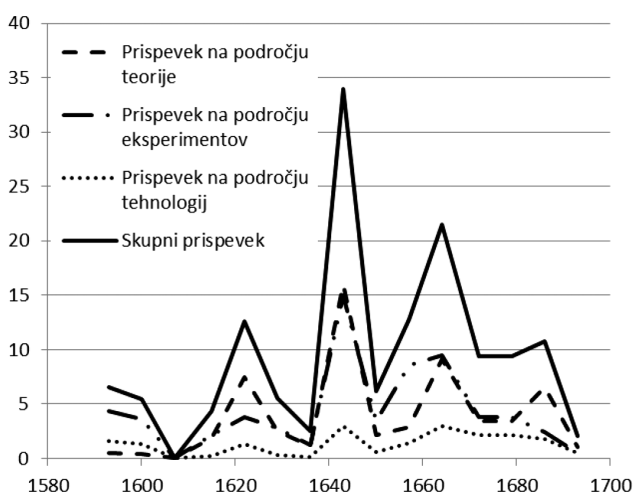
³ Južnič, 2012, 34–39

Turjaškega izpeljal prve poskuse z vakuumsko črpalko. Severnoitalijanski strokovnjaki, Blaise Pascal z barometričnimi meritvami višin v Franciji in Guericke z barometričnim napovedovanjem neurja v Magdeburgu, so nadgradili odkritje barometra.

Istočasno se je vzporedno uveljavil Guerickejev izum vakuumске črpalke. Ta je imela prednosti in pomanjkljivosti v primerjavi z barometrom: omogočila je postavitev poskusa in njegovo sprotno spreminjanje v recipientu, sprva pa ni dosegala podtlaka tedanjih barometrov. Tako sta obe skupini raziskovalcev prisegali vsaka na svoje poskuse. Galilejevi dediči, zbrani okoli florentinske akademije *del Cimento*, so čislali barometre, »črpalkarji«, zbrani okoli Guerickejevih naprav v osrednji Nemčiji, Boylevoh v Angliji in Huygensovih v Parizu ter na Nizozemskem, pa so imeli raje vakuumске črpalke.

Črpalke so se sčasoma pokazale bolj priročne in so postale splošno uporabljane, čeprav drag univerzalni instrument. V Angliji jih je za veleprodajo proizvajal Newtonov varovanec Francis Hauksbee, na Nizozemskem pa kmalu za njim brata Musschenbroek. Ob njihovi manufakturi je paradigma vakuumskih črpalk vstopila v svojo univerzalno fazo, ko so jo množično uporabljali v številnih znanstvenih panogah od biologije do elektrike tudi v Ljubljani vsaj od srede 18. stoletja dalje. Vakuumski tehniki so s tedanjimi črpalkami s trdnim batom skušali predvsem izločiti čim več plina iz vakuumске posode in preprečiti puščanje. Od prvotnih 10 mbar so se polagoma približevali sanjski vrednosti 1 mbar, vendar brez posebnega uspeha ali dobičkonosne industrijske uporabe.

Parni stroj je resda podtlak nadomestil z nadtlakom; v njem pa so kljub temu razvijali prav dotedanje vakuumске tehnike v povsem novih gmotnih razmerah, polnih industrijske rasti. Razvoj vakuumске



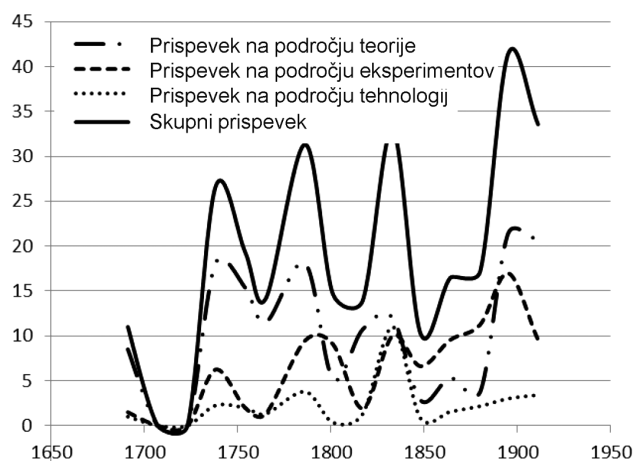
Slika 4: Raziskovalni prispevki v Galilejevi mehaniki z vakuumskimi prispevki pri eksperimentih sredi 17. stoletja in s poznejšimi tehnologijami parnih strojev

tehnike se je v senci trženja parnega stroja ustavil do leta 1855, ko je domiselni Geissler trdne bate nadomestil s kapljevinskimi, ki so do konca stoletja malodane dosegli milijoninko milibara med rastjo nove paradigme vakuumске tehnologije.

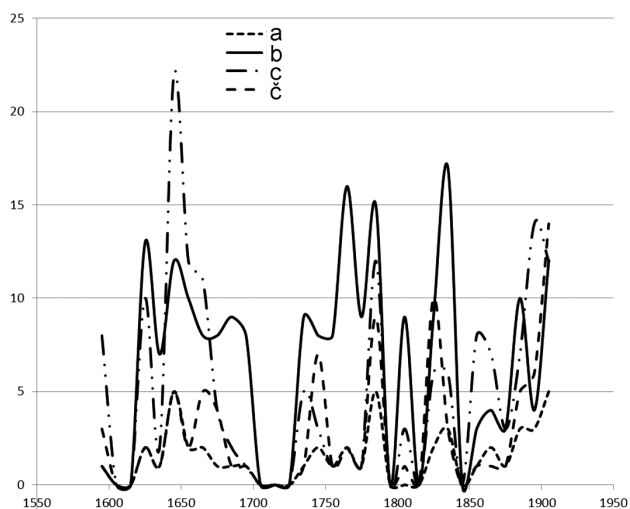
Podobno dobro kot nekoč vakuumski črpalke se je še v večji meri godilo Geisslerjevimi katodnim elektronkam kot univerzalnemu instrumentu vseh bogato opremljenih kvantnomehanskih laboratorijev. Živosrebrni vakuumski barometer pa so prav tedaj po treh stoletjih in pol množične uporabe iz laboratorijev odstranili kot nepriročen, po novejših raziskavah celo nevaren merilnik. Pionirski poskusi z barometri in vakuumskimi črpalkami so ob katodnih elektronkah morda edini ali pa vsaj najbolj prepričljivi primeri v zgodovini fizike, v katerih so prispevki eksperimentalnih raziskovalcev dodobra prekosili kolege teoretike.

Kosanje raziskovalcev lepo prikazujejo **slike 4–6**. Ob koncu 19. stoletja so tehnološke aplikacije celo premagale raziskovalne prispevke eksperimentalnih in teorijskih učenjakov. Težave razvoja vakuumskih tehnik katodnih elektronk so znova naraščale z gmotnimi uspehi njihove industrijske uporabe v televizijah. Na prvi pogled se zdi uspešno trženje dobrodošlo, v resnici pa so kmalu postale same sebi namen in svojevrstna ovira za nadaljnje inovacije. Kapljevinski bati nove paradigme so izčrpali svoje zmogljivosti v času prve svetovne vojne. Tlak 10^{-7} mbar so dosegale nove difuzijske črpalke, 10^{-12} mbar pa so omogočile še obetavnejše črpalke z lovilniki.

V 21. stoletju smo znova priča stagnaciji in tudi že dvomljivim laboratorijskim potem k tlaku, nižjemu od tistega bajeslovnega v medzvezdnem prostoru. Vprašalnik se je znova povrnil na svojo začetno točko izpred štirih stoletij: Ali je (popoln) vakuum mogoč? Kaj v njem ostane? Kaj neki vsebuje, če v njem ni nič? Ali bližina absolutno praznega obeta podobno prese- netljive fizikalne lastnosti, kot je z njimi postregla



Slika 5: Raziskovalni prispevki – Newtonova mehanika



Slika 6: Raziskovalci mehanike glede na srednje leto dela v desetletnem intervalu: (a) število raziskovalcev, (b) prispevek teoretikov, (c) prispevek eksperimentalnega dela predvsem z vakuumskimi tehnologijami, (č) prispevek tehnoloških aplikacij

blizina absolutne temperaturne ničle pred dobrim stoletjem po Kamerlingh-Onnesovih meritvah superprevodnosti?

2 KATODNE ELEKTRONKE

Eksperimentalne in teorijske metode med seboj le težko tekmujejo, še posebej v moderni fiziki; primerjava med diametralno različnimi raziskovalnimi načini je pogosto jalova. Na poti k univerzalni eksperimentalni metodi so se izkazale predvsem vakuumске črpalke, ki so bile, vsaj pri florentinskih akademikih, povezane z Galilejevo raziskovalno metodo. Omogočile so katodno elektronko; podobno pomembni sta bili torzijska tehnica in elektroliza. V resnici so fiziki razvili še več drugih univerzalnih eksperimentalnih metod, ki so si jih fizikalne paradigme oziroma panoge med seboj sposojale: poleg najpomembnejše uporabe vakuumskih elektronskih naprav v vsej sodobni fiziki in tehnologiji se ponuja primer termičnega določanja intenzitete električnega toka ali svetilnosti. Svoje prvotne meje je preseglo tudi merjenje temperature telesa glede na barvo izsevane svetlobe pri Johnu Tyndallu. Njegove rezultate je Jožef Stefan uporabil pri odkritju svojega slovitega zakona leta 1879.

Kljub izjemni priljubljenosti se vakuumski barometer ali vakuumska črpalka nista razvila v povsem univerzalni raziskovalni metodi, čeprav črpalka niti ni bila daleč od tega ob številnih preizkušanjih gorenja, zvonjenja, dihanja in še marsičesa v izpraznjenem

recipientu. Resnično univerzalna metoda, ki jo dedujemo še dandanes, je postala komaj z vakuumsko črpalko izpraznjena katodna elektronka. Njeno praznost so pogosto vzdrževali in celo stopnjevali še z getri ter drugimi dodatnimi pripomočki.

Eksperimentalne univerzalne metode so zaporedoma vplivale na različne paradigme. Tako so poskusi v vedno boljšem vakuumu Otta Guerickeja po spodbudah kranjskega kneza Janeza Vajkarda Turjaškega najprej odločilno prispevali h kritikam Aristotelove in Descartesove mehanike, ki sta vakuum odklanjali. V resnici si je Guerickejevemu podoben poskus s konji zamislil že pariški klerik profesor Jean Buridan (* okoli 1295; † po 1358), le da je z njim poskušal zavreči obstoj praznega, kar marsikomu ni prav nič ugajalo. Nicole Oresme si je zamišljal vakuum kot prostor med dvema svetovoma; oba bi nujno morala biti okrogla, zato med njima preostaja nekaj prostora. Prvi rektor dunajske univerze (1365), Albert Saški (* okoli 1300; † 1390), je celo opisal primere domnevno počasnejšega padanja v praznem prostoru od padanja v polnem, ki se danes zdijo zmotni. Seveda nobene od srednjeveških vakuumu namenjenih domnev ni bilo mogoče v resnici preveriti s poskusom.

Boyle je svoj sloviti zakon zasnoval v iskanju dokazov proti zanikovalcem obstoja vakuuma.⁴ Ideje zgodnje moderne znanosti Galileija, Boyla in Newtona so prihajale v naše dežele v knjigah, merilnih napravah vključno s sorazmernostnimi šestili, E. Halleyjevih obiskih in različnih jezuitskih priredbah vse do Boškovičeve, ki je vakuum in druga sodobna odkritja zadovoljivo prepletla z Aristotelovo logiko. Poznanje lastnosti nizkih tlakov in vakuuma je prišlo prav številnim britanskim izumiteljem parnih strojev,⁵ prav tako pa Juriju Vegi in raziskovalcem zunanje balistike. Končno so vakuumске katodne elektronke postale del domala vseh eksperimentalnih pripomočkov sodobne fizike in industrije razen prikazovalnikov na tekoče kristale. Tako je Torricellijev opis vakuuma v barometru bolj kot kateri koli drug izum v zgodovini zaporedoma vplival na teorijo, tehnološko uporabo in fizikalne poskuse.

Najmočnejši orodji fizike med renesanso in kvantno mehaniko sta bili Galilejev miselni eksperiment z zanemarjanjem motilnih vplivov trenja in nepopolnega vakuuma ter uporaba infinitezimalnega računa v analitični mehaniki. Po Chandri Kantu Raju (* 1954)⁶ so infinitezimalni račun v Newtonovo in Leibnitzevo naročje prenesli jezuitski misijonarji pod portugalsko zastavo iz južnoindijskega območja Kerala v drugi polovici 16. stoletja. Obe z neskončnim

⁴ Harré, 2002, 11; Grant, 2007, 223–224, 228–229; Buridan, 1509, 73'

⁵ Toynbee, 1976, 565

⁶ Raju, 2007

povezani orodji, vakuum in infinitezimalni račun, sta kot univerzalni metodi še danes vplivni v vsej fiziki; imeli sta namreč neprimerno večjo moč od drugih – konkurenčnih načinov raziskovanja.

Z Oerstedovim poskusom leta 1819 je ideja zakona ohranitve energije prevladala nad matematičnimi orodji analitične mehanike pod vplivom filozofije narave (*Naturphilosophie*) Fichtejevega študenta in Heglovega sošolca Friedricha Wilhelma Josepha Schellinga (* 1775; † 1854).⁷ To je bil poleg razmišljanj o obstoju vakuuma bržkone edini dovolj neposreden vpliv filozofov na razvoj sodobne fizike. Ampère je med letoma 1820 in 1834 dokazal premoč univerzalne metode, ki ji je dodal ponovno oživljene nekoč vakuumu sovražne Descartesove vrtince.

Tabela 1: Primerjava med močmi paradigem, zraslih iz razvoja vakuumskih tehnik

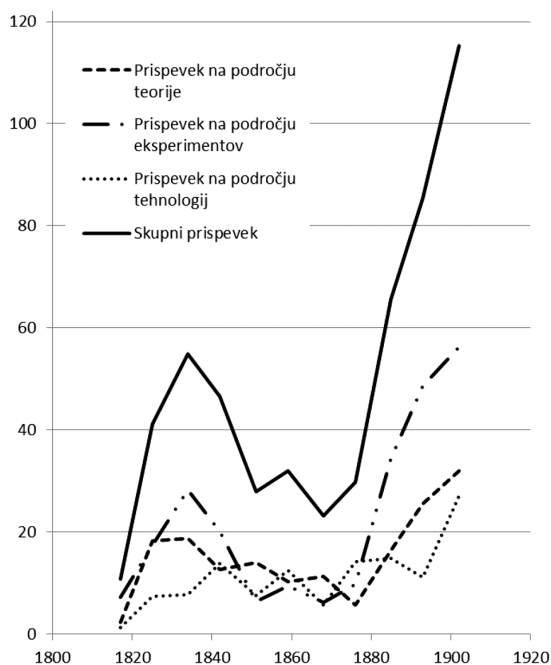
Leto	Pojavi (tehnologije)	Nasprotujoči si paradigmi
1644–1654	Barometer, vakuumska črpalka, tlak zraka	(Torricelli, Valeriano Magni, Guericke, Pascal in Boyle proti Aristotelu, Kircherju in Descartesu)
1918–1931	Televizija	Zworykinova tehnologija

Max Planck je pripisal statistični Boltzmannovi definiciji entropije večjo težo kot univerzalni raziskovalni metodi polja sil, kar je bilo v nasprotju z Einsteinom. Ta je polje postavil za osnovni element

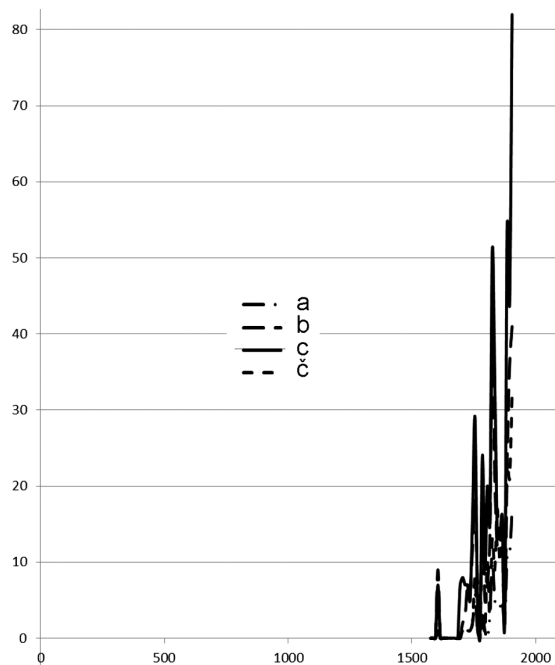
fizikalnega opisa, enakovrednega materiji v Newtonovi teoriji, tako prepričljivo, da je celo potrjeval zavrženo Descartesovo nasprotovanje vakuumu, češ da ni prostora, ki bi bil »izpraznjen vsega polja«. Seveda sta Descartes in njegov restavrator Einstein razsežnost-prostor povezovala s telesi, brez katerih ga ni. Einstein je stoletno dilemo nadgradil s polji, ki jih je s svojo enačbo $E = mc^2$ pretvarjal v mase; pri tem je nespremenljiva svetlobna hitrost postala domala lastnost polja.⁸

Razmerje moči iz Maxwellovih časov se je pri Plancku obrnilo, kar ni presenetljivo. Planck je dal Boltzmannovi univerzalni metodi prednost pred Faraday-Maxwellovo, saj je svoje raziskovanje nadaljeval prav tam, kjer ga je končal Boltzmann. Trditev velja kljub Planckovi zgodnji nagnjenosti k Machovemu dvomu v atome, ki je jezila Boltzmann. Ernst Mach je bil predvsem glasen provokator, ki je med simpoziji o atomih spraševal govorce: »Ali ste jih videli?« Machu diametralno nasproten je bil Rutherfordov zagovor elektronov pred Eddingtonovo kritiko ob vzkliku: »Ne obstajajo? Ne obstajajo? Saj jih vendar jasno vidim, tako kot tole žlico pred seboj!«⁹

Takšna šaljiva retorika raziskovalcev, ki so napredovali drug drugemu ob rami, je imela več kot odločilen pomen tudi kot vir legendarnih domiselnih rekov, ki so jih občudovale mlade generacije utrjeval-



Slika 7: Raziskovalni prispevki v teorija polja, kjer so se vakuumske tehnike izkazale predvsem na področju eksperimentov po letu 1855, nato pa v številnih uporabnih tehnologijah

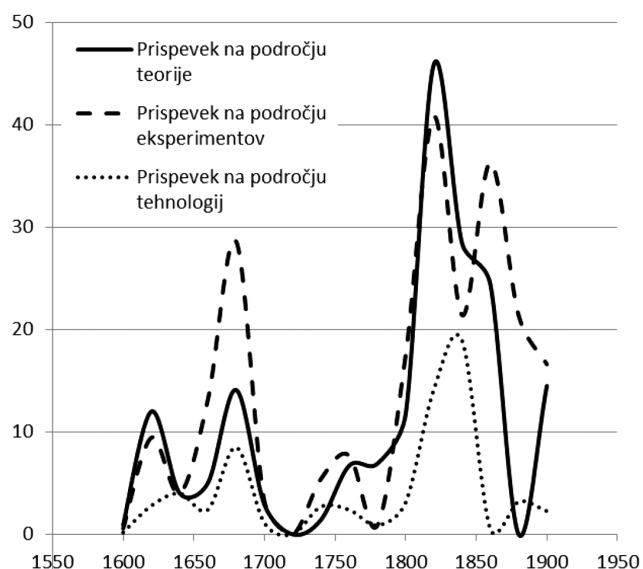


Slika 8: Raziskovalci elektromagnetizma v desetletnih intervalih: (a) število raziskovalcev, (b) teorija, (c) eksperimenti s prevladujočimi vakuumskimi tehnikami, (č) industrija vakuumskih naprav

⁷ Pugač, 2004, 39

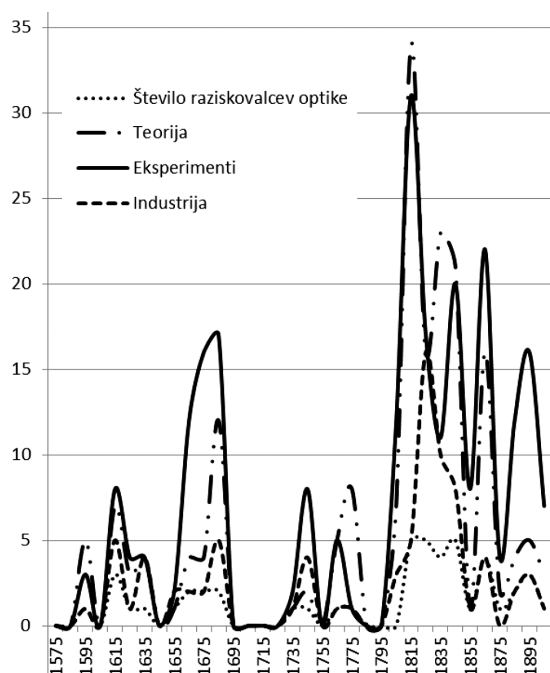
⁸ Einstein, 2014, 94–95, 98; Balibar, 2014, 208–209, 212

⁹ Reeves, 2008, 82



Slika 9: Raziskovalni prispevki v celotni optiki, ločeni po vrstah raziskovanja ob Unescovem letu, posvečenem svetlobi in z njo povezano tehnologijo; vakuumske tehnike so se izkazale predvsem na področju eksperimentov in tehnologij v zadnjih navedenih letih.

cev umotvorov svojih v nebo kovanih predhodnikov. Podobno kot je Mach zavračal razkosavanja vidnih delcev, je prusko-poljski Žid in uspešni kmetijski podjetnik Leopold Kronecker (* 1823; † 1891) nasprotoval razkosavanju celih števil, trdeč, da so vsa necela števila zgolj človeška stvaritev. Kroneckerjevo nasprotovanje je oviralo tudi uveljavitev vodilnega teoretika neskončnosti Geoga Cantorja v Nemčiji.¹⁰



Slika 10: Podrobnejši popis raziskovalcev svetlobe

¹⁰ Reid, 1977, 39, 133; Poliščuk, 1980, 28

¹¹ Detela, 2002; Južnič, 2002, 24

3 VAKUUMSKI POSKUSI KOT MOTOR RAZVOJA FIZIKE IN KEMIJE V DOBI KRIZ

Vakuumski poskusi so igrali pomembno vlogo pri parnih strojih in elektronkah. Posebej velja poudariti Guerickejevo vakuumsko črpalko (1654) s poskusi, postavljenimi zaradi dvomov kneza Janeza Vajkarda Turjaškega, in z Guerickejevim električnim kolovratom-generatorjem. Uveljavilo se je tudi polje infrardečih (toplotnih), ultravijoličnih in vidnih valov ter novih žarkov v vakuumskih elektronkah (izpraznjenih ceveh) po letu 1855. To je bila ena izmed predparadigmatskih okolic, v kateri se je razvila kvantna mehanika. Nove vrste žarkov, odkrite med poskusi v katodnih elektronkah, niso sprožile rasti nove univerzalne paradigme v kvantni elektrodinamiki, čeprav so zanje razvili eksperimentalne metode z uporabo vakuumskih tehnik. Univerzalna metoda teorije je ostala statistična teorija.

Raziskovalci z obeh strani meje, ločnice med nasprotujočima si idejama, pogosto uporabljajo miselne eksperimente za opis korenin krize, ki so ji priča. Te metode uporabljajo bodisi zato, ker bi bili resnični poskusi prezapleteni oz. predragi ali pa bi bila njihova priprava predolga v časovni stiski zaradi hitro spreminjajočega se najvplivnejšega območja raziskovanja med krizo.

Miselni poskus je samosvoj način raziskovanja na meji med teorijo in eksperimentom. Njegova praktična neizvedljivost je posledica idealizacij, kot so: zanemarjanje zračnega upora in trenja (Galilei, (anti) perpetuum mobile), nedosegljivost popolnega vakuuma (Galilei, Guericke 1654) ali absolutne temperaturne ničle (Nernst). Izvedbe poskusov ovira po Einsteinu (1905) neizvedljivo pospeševanja do svetlobne hitrosti, pomanjkanje materialov zahtevanih kakovosti,¹¹ prav tako pa tudi pomanjkanje dovolj občutljivih merilnih instrumentov. Posebno znamenit miselni poskus v kvantni mehaniki je bila Schrödingerjeva mačka (1935); številne druge je navrgla izmenjava mnenj med Einsteinom in Bohrom na Solvayevem kongresu leta 1926.

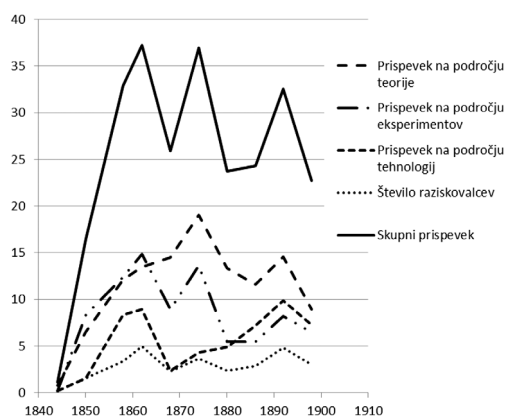
Tudi med njenim odmiranjem so pri zastareli paradigmi vztrajali Kircherjevi jezuiti in kartezijanci kot nasprotniki vakuuma: Biot in Poisson, Kelvin, Clausius in Simon Šubic, Einsteinovi nasprotniki in mnogi drugi zaverovani v ideale svoje mladosti. Nasprotovanje vakuumu je krasilo jalovo naraščanje raziskovalnih prispevkov Kircherja in njegovega učenca Linusa dobro polovico stoletja po letu 1644; vzporedno so vakuumu nasprotni kartezijanci razvijali vrtnične modele.

Razen med univerzalnim stanjem je delež tehnoloških aplikacij po navadi četrtina celotnega raziskovalnega dela v fiziki. Najvišji je pri raziskovanju toplote, kjer so naprej preizkušali delovanje parnih strojev, razvitih z vakuumskim podobnimi tehnologijami, pozneje pa so razvijali motorje z notranjim izgoranjem. Na drugem mestu je elektromagnetizem, kjer je v 19. stoletju Faraday utemeljil uporabo elektromotorja in dinamostroja. Thomas Alva Edison je pozneje patentiral vakuumsko žarnico in tako omogočil zapozneno uporabo Lambertovih že stoletje znanih meritev fiziološke optike v industrijske namene. Čeprav tako pomembnih tehnoloških dosežkov raziskave v optiki in mehaniki niso omogočale, je bil delež tehnoloških raziskav pri njih le malo manjši.

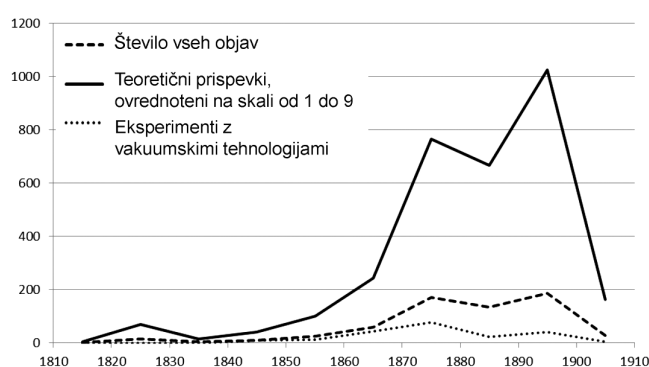
Prispevki posameznih vrst raziskovalne dejavnosti v različnih panogah fizike se spreminjajo s časom. Med letoma 1841 in 1871 je bil delež eksperimentalnih raziskovanj razmeroma majhen, kljub pomembnemu Faradayevemu prispevku. Toliko večji pa je bil delež tehnoloških aplikacij, kot so: vakuumске črpalke za Geisslerjeve elektronke, dinamo, elektromotor, telefon in žarnica.

Če narišemo število raziskovalcev ali raziskovalnih prispevkov v mehaniki v odvisnosti od časa, ne opazimo izrazitih maksimumov v točkah, kjer bi jih pričakovali zaradi razvoja nove paradigme. Štirje različni vrhovi so opredelili razvoj mehanike: prvi sredi 17. stoletja ni bil ne Galileijev ne Newtonov, temveč je nastopil zaradi razmeroma velike raziskovalne dejavnosti pionirjev vakuumskih tehnik med njunima dobama.

Krivulja razvoja teorijskega raziskovanja toplote je imela tri maksimume. V prvem okoli leta 1680 je prevladovalo predparadigmatično preučevanje plinskih zakonov in delovanja parnega stroja, razvitega z



Slika 11: Raziskovalni prispevki zakona o ohranitvi energije, toplote kot gibanja in kinetične teorije po Asimovu (1978)



Slika 12: Število objav o toplotnem gibanju, kinetični teoriji in statistični mehaniki po S. Brushovem popisu iz leta 1976

vakuumskimi tehnikami. Drugi vrh je okoli leta 1770 nastal zaradi raziskovalnega dela Škota Josepha Blacka, Francozov Antonija Laurenta Lavoisierja in Laplacea, čeprav je Black ostal zagovornik flogistona.¹² Zadnji maksimum leta 1840 oziroma leta 1860 je povzročilo raziskovanje zakona o ohranitvi energije.

Tabela 2: Korespondenčna pravila vakuumске elektronike, ki preslikajo izkustvene ugotovitve na matematični formalizem in interpretacijo v nasprotni smeri

Teorija	Izkustvene ugotovitve	Korespondenčna pravila	(Matematični) formalizem
Von Braunova katodna elektronka, 1898	Edisonovo preverjanje najuporabnejših polnil žarnic, 1878	IV. J. J. Thomsonovi elektroni, 1897	Polje
Geisslerjeva elektronka, 1855	Boyle proti Kircherjevemu jezuitskemu zavračanju vakuuma	III. Plückerjeva matematika in eksperimentalna vakuumška fizika kot predhodnica spektroskopije II. Boyleva skeptična kemija	Plückerjeva analitična in projektivna geometrija kot nasprotje berlinski sintetični šoli Jakoba Steinerja Teorije vakuuma kot mehanskega modela
Musschenbroekova in 'sGravesandejeva vakuumška črpalka z leidensko steklenico, 1745/46, Hauksbeejeva črpalka in torna elektrika: Boylevo prevajanje vakuuma, 1660			
Guerickejeva črpalka iz l. 1654 in torna elektrika		Dvomi kneza Turjaškega	
Barometer Torricellija-Pascala-Magnija, 1644–		I. Galileijev vakuum	Matematični jezik fizike

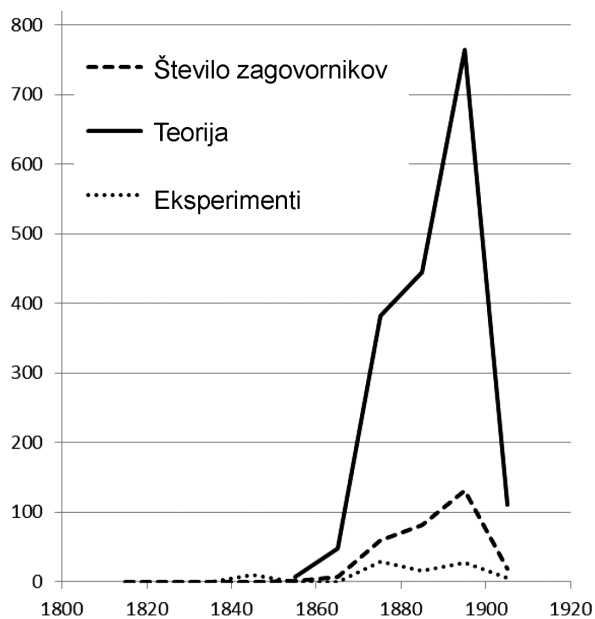
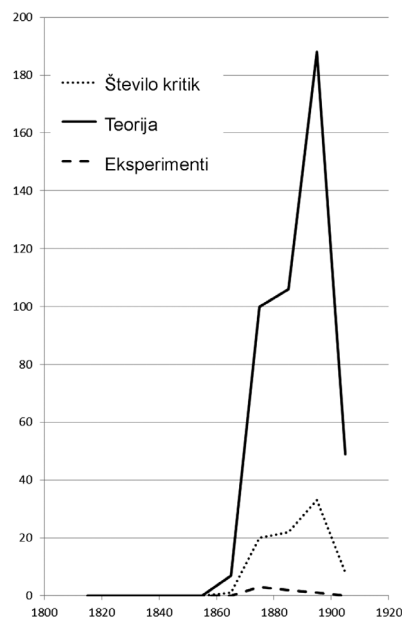
¹² Kuhn, 1996, 70

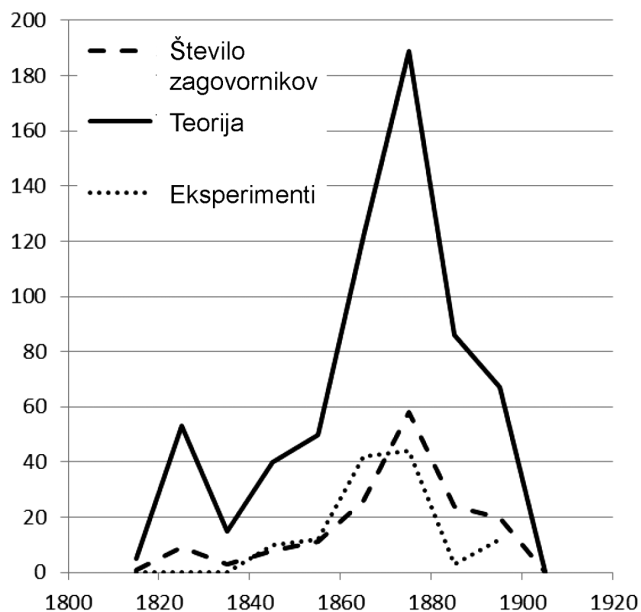
Tabela 3: Korespondenčna pravila elektrostatike

Izkustvene ugotovitve	Korespondenčna pravila	(Matematični) formalizem
1752, Dalibard na Francoskem preizkusi Franklinov <u>strelovod</u> uporaba elektrike v <u>medicini</u> ; uporaba <u>tehtnice</u> 1745–1746, leydenska steklenica 1745, Bozejevi poskusi z naelektrenimi kapilarami 1733, Du Fay ugotovi različnost elektrike v steklu in jantarju 1729, Gray loči električne <u>prevodnike</u> od izolatorjev 1705–1709, Hauksbee: zvok ob praznitvi elektrike, naelektritev ob ohlajanju, preskok iskre, <u>odboj</u> Boyle in Hooke ugotovita, da vakuum ne prevaja elektrike 1660, Guerickejeva <u>naelektritev s trenjem</u> , pozneje pozabljeno odkritje električnih prevodnikov in vakuumska črpalka 1600, W. Gilbertova privlačna sila elektrike	III. 1767, Priestleyeva sistematizacija II. 1750, Franklinova teorija leydenske steklenice in strelovoda I. Nolletova teorija fluida, ki ga neprestano seva in ponovno absorbira naelektreno telo, 1746–1749 Du Fayeve električna materija kot ogenj	1775, Wilson izdela matematično teorijo prevodnosti, kjer tok pada s kvadratom dolžine vodnika Aepinus v Petrogradu objavi matematično teorijo dvofuidne elektrike

Uporaba fizike v tehnologiji in industriji je bila vedno posebnost. Tako je denimo ob kritiki Hobbesa¹³ Boyle rad poročal o uporabnosti vakuuma za shranjevanje živil, župan Magdeburga Guericke pa je z barometrično napovedjo neurja posvaril svoje volivce. Z veliko mero previdnosti lahko do neke mere ločimo

uporabnost od eksperimentalnega in teorijskega raziskovanja v fiziki. V takšnem poenostavljenem modelu fizikalno raziskovanje omejimo na eksperiment in teorijo, torej na izkustvene ugotovitve in abstraktni matematični formalizem. V prvih paradigmah fizikalnih panog sta bili obe komponenti raziskovanja

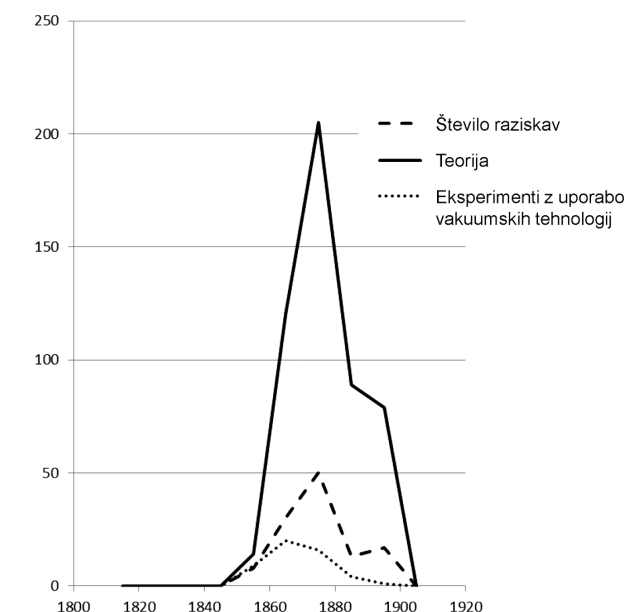
**Slika 13:** Zagovorniki statistične mehanike**Slika 14:** Kritiki statistične mehanike¹³ Kuhn, 2000, 316



Slika 15: Zagovorniki kinetične teorije toplote

druga drugi mnogo bliže, sčasoma pa je matematični formalizem postajal vedno bolj abstrakten.

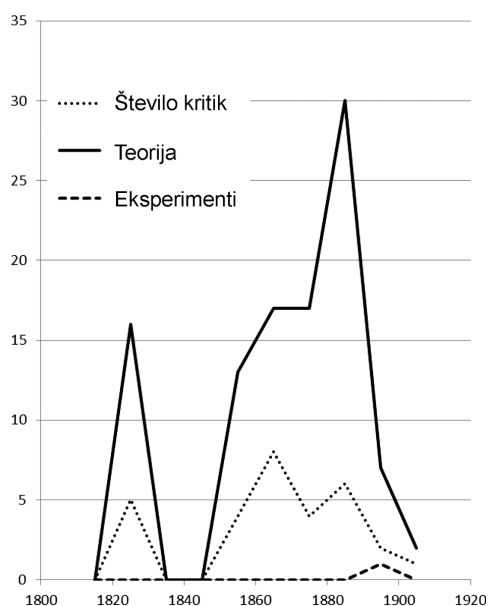
Miselni in resnični eksperimenti v duhu Platona in Arhimeda so nasprotovali sholastični metafiziki Aristotelovih privržencev. Podobno sta tudi renesančna mehanika in astronomija Johanna Keplerja (* 1571; † 1630) ponujali vsaka svoj način raziskovanja. Množica novih odkritij oz. izzivov je pogosto silila staro paradigmo v hitro iskanje odgovorov, ki je presevalo njene zmožnosti. Nedorečeni odgovori so si zato pogosto med seboj nasprotovali; zapletenost stare paradigme je hitreje naraščala od njene natančnosti. Kmalu je postalo očitno, da (Aristotelova) fizika ne ponuja pravih odgovorov. Aristotel namreč sploh ni bil



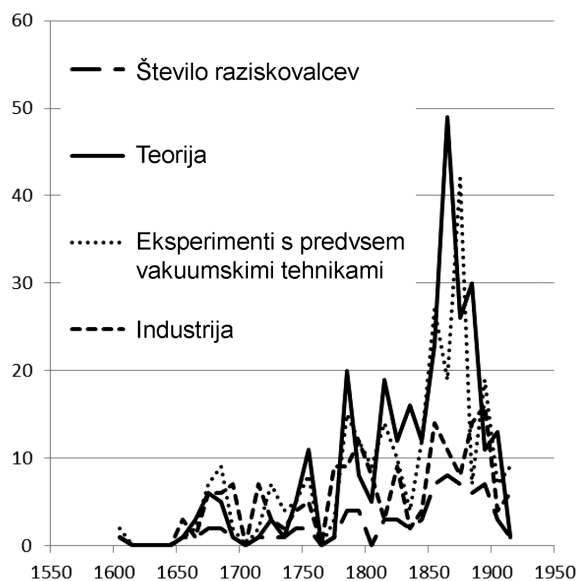
Slika 17: Objavljene raziskave v avstrijski polovici habsburške monarhije v vseh stanjih

merodajen pojasnjevalec fizikalnih vprašanj Galilejeve eksperimentalne znanosti; le-ta je obračala Aristotelove zastarele pojme: Torricelijev vakuumski poskus je pojasnila z zračnim tlakom namesto z Aristotelovo silo, ki naj bi živo srebro vlekla navzgor. Sledila je posplošitev vakuumskih poskusov Torricelli-Magnija in Guericke-Turjačana v raziskovanjih Boyla, Pascala in Huygensa.

Vakuum je obenem postal svojevrstna inačica etra. Zlom druge paradigme optike je med letoma 1830 in 1853 sprožil Fizeaujev in Foucaultov poskus merjenja svetlobne hitrosti v vodi med letoma 1849 in 1853. Modeli etra naj bi združevali lastnosti izjemne trdne snovi za prenos transverzalnih valov in praznega



Slika 16: Kritiki kinetične teorije toplote



Slika 18: Raziskovalci toplote v desetletnih intervalih po Asimovu (1978)

prostora za nemoteno gibanje nebesnih teles. Med univerzalizacijo so prevladali vplivi elektromagnetizma zaradi enake hitrosti širjenja svetlobe in elektromagnetnih valov v vakuumu.

Vakuumski poskusi s katodnimi elektronkami so postali univerzalna eksperimentalna raziskovalna metoda, ki se je uporabljala tudi v naslednji paradigmi, kvantni mehaniki. Odkritje elektronov in drugih elementov snovi v vakuumskih poskusih je postalo osnova za nove opise fizikalnega sveta. Elektromagnetna teorija polja se je deloma skladala z univerzalno metodo; na eksperimentalnem področju so prevladali poskusi v vakuumu.

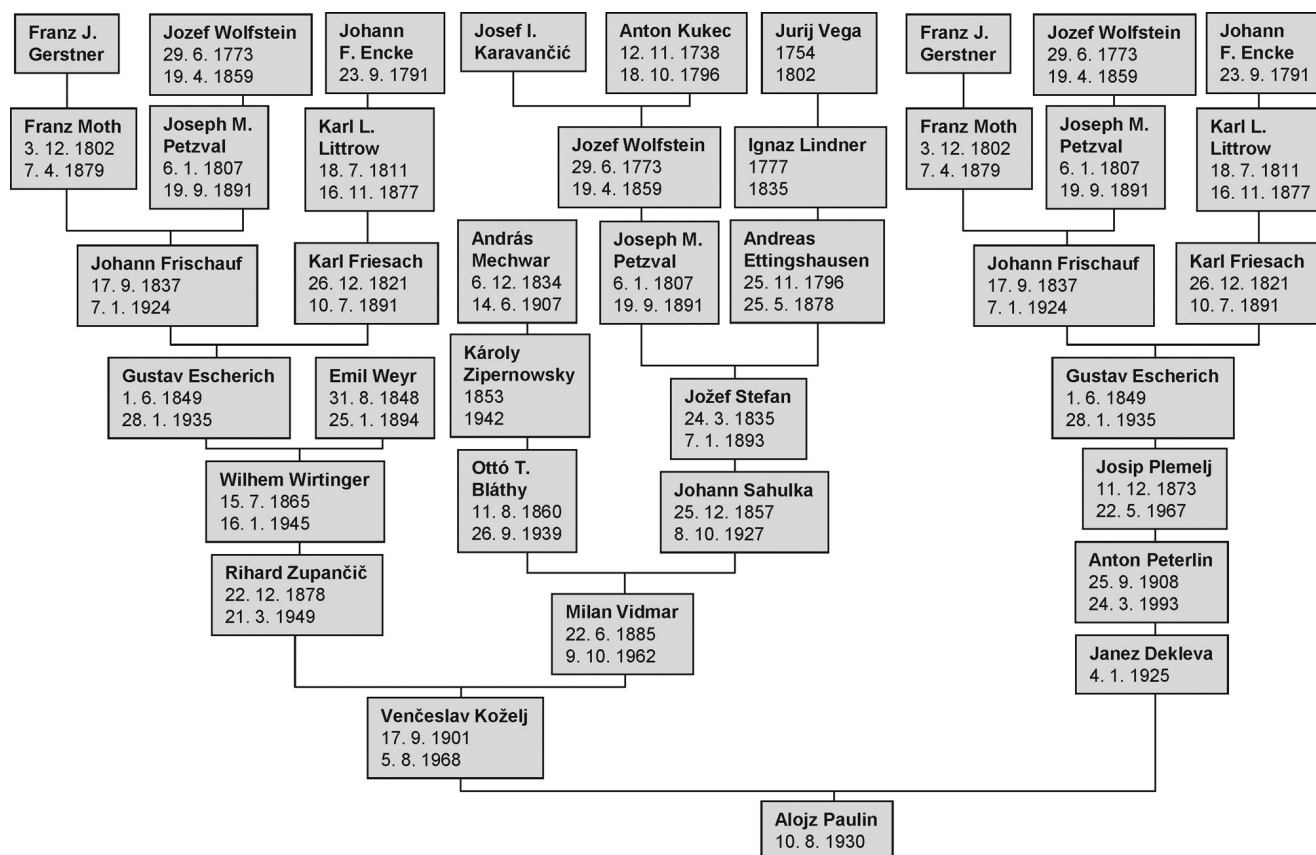
4 SODOBNE USMERITVE V SLOVENSKI VAKUUMSKI TEHNIKI

Vstop meščanskih sinov v evropsko znanost (1554–1600–1698) so opredelili Kopernik, T. Brahe, Gilbert, Galilei, Kepler, Kircher, Harvey, Descartes in François Viète, ob njih pa še vakuumisti Valeriano Magni, Pascal in Guericke. Pod njihovo taktirko se je razvila astronomija, magnetizem, mehanika, optika, fiziologija, geometrija, matematika in vakuumska

tehnika, ki je ob elektrostatiki vplivala na vse tedaj znane znanosti. Razen Braheja, jezuita Kircherja in agnostika Pascala so bili vsi naštetih kopernikanci vključno z Gilbertovim uvodničarjem Edwardom Wrightom; med njimi le Descartes ni verjel v obstoj vakuuma.¹⁴

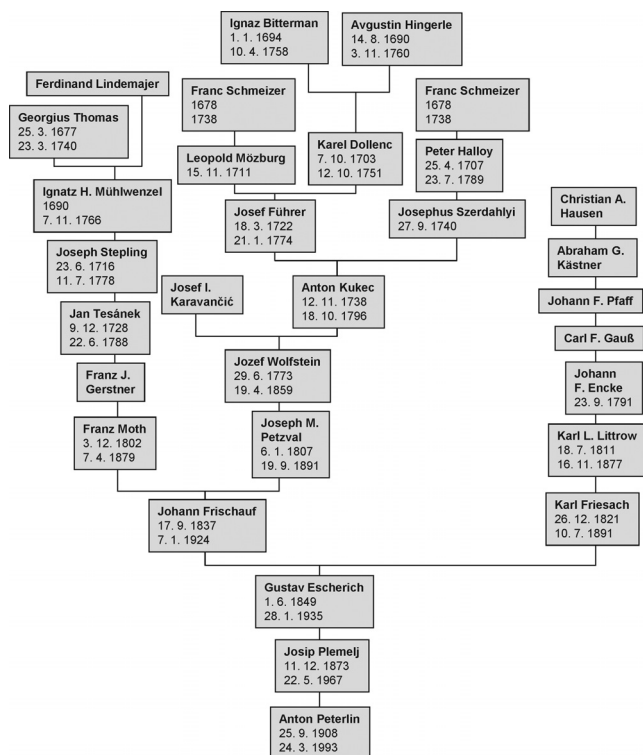
Neplemiški sinovi so prevzeli pobudo razvoja vakuumskih tehnik v srednji Evropi dve stoletji po podobnih dogodkih v Angliji. Za razvoj slovenskih vakuumskih tehnik je bila bistvenega pomena pomlad narodov leta 1848, po kateri so trgovski sinovi dobili enake možnosti za izobraževanje, ki so nekoč odlikovale zgolj dediče modre krvi. Iz teh sprememb je nastalo delo enega najpomembnejših in danes tudi najstarejših slovenskih vakuumistov, gorenjskega trgovskega sina Alojza Paulina.

Prevrat leta 1945 je k novim vakuumskim tehnikam pripeljal še dotlej nepriviligirane kmečke sinove, ki so dodobra zaznamovali sodobne vakuumske tehnike. Feminizacija razvoja vakuumskih tehnik je sledila kot pomembna nova usmeritev. Delež žensk v razvoju vakuumskih tehnik strmo narašča tudi v Sloveniji, kot je pričujoči pisec zapisal v svojih knjigah o Jani Škarem, Tanji Peterlin, Glogi Janjevič in Zvonki



Slika 19: Akademski predniki vakuumista Alojza Paulina: ob njegovem mentorju pri doktoratu je naveden tudi njegov prvi predstojnik na Institutu »Jožef Stefan«.

¹⁴ Gilbert, 1991, xli, 318, 329



Slika 20: Peterlinovi akademski predniki glede na njegovo ljubljansko diplomu pri matematiku Plemlju

Betnavamarinič - Perhavec: Fizika, moj poklic (2007), Anton Peterlin (2008) in Po stopinjah Nikole Tesle (2014).

5 SKLEP

Razvoj vakuumskih tehnologij v laboratorijih nebelih raziskovalcev bo gotovo opredelil prihodnost. Domača okolja izobraževalno doslej zanemarjenih oseb iz Afrike, Latinske Amerike, Avstralije, Tihomorskih otočij in Bližnjega vzhoda bodo prinesla nove ideje, drugačne od dosedanjih prijemov belih Evropejcev. Pojmovanje praznega in nič je v tradicijah teh ljudstev v marsičem diametralno drugačno od tradicionalnih prijemov belcev. Glede na hitrost, s katero so svoj čas vakuumске tehnologije razvijali meščan-

ski, za njimi pa kmečki sinovi in ženske, je vpliv nebelih vakuumistov mogoče pričakovati zelo hitro, čim bi se nekoliko uneslo sedanje prehajanje nebelih izobražencev na zahodnjaške univerze in bi dežele tretjega sveta lahko dovolj razvile svoje lastne izobraževalne ustanove.

6 LITERATURA

- Asimov, Isaac. 1978. *Biographical Encyclopedia of Science and Technology*. London: Pan Books Ltd.
- Brush, Stephen S. 1976. *The kind of Motion We Call Heat*. Amsterdam-New York-Oxford: North-Holland, 2. del
- Buridan, Jean. 1509. *Acutissimi philosophi reuerendi magistri Iohānis Buridani subtilissime Questiones super octo phisicorum libros Aristotelis*. Paris: Dionis Roce
- Detela, Andrej. 2002. *Magnetni vozli*. Ljubljana
- Einstein, Albert; Balibar, Françoise; Matjaž Ličer (prevod in spremno besedilo); Likar, Vojislav (prevod in spremno besedilo). 2014. *O posebni in splošni teoriji relativnosti. Einsteinovo branje Galileija in Newtona*. Ljubljana: ZRC SAZU
- Gilbert, William. 1991. *De Magnete*. New York: Dover
- Grant, Edward. 2007. *A History of Natural Philosophy from the Ancient World to the Nineteenth Century*. Cambridge: University Press
- Hadži, Dušan. 2014. Spomin vode – kar rabi homeopatija in kaj ponuja sodobna znanost? *Acta Chimica Slovenica*. 61: S145–150
- Harré, Rom. 2002. *Great Scientific Experiments*. New York: Dover
- Južnič Stanislav. 1983. *Razvoj fizike med Newtonom in kvantno mehaniko*. Ljubljana/Fara pri Kostelu: Magistrska naloga na oddelku za zgodovino filozofske fakultete
- Južnič, Stanislav. 2002. Vakuumski balon. *Vakuumist*. 22/4: 24–27
- Južnič, Stanislav. 2012. Toynbee Nonsense Book for Slovenians. *Studia Historica Slovenica (Maribor)*. 12/1: 21–54
- Kovačević, Zoran L. 2014. *Susret i sukob sa naukom*. Novi Sad: Akademska knjiga/Srpska Akademija nauka i umetnosti
- Kuhn, Thomas S. 1996. *The Structure of Scientific Revolution*. Chicago: University of Chicago. 3. izdaja
- Kuhn, Thomas S. 2000. *The road since structure: philosophical essays, 1970–1993, with an autobiographical interview* (ur. Conant, James; Haugeland, John). University of Chicago Press
- Pugač, Boris Jakovlevič. 2004. *Fundamentalnije problemi istorii i filozofii nauki*. Harkov: Fakt
- Poliščuk, E. M. 1980. *Emil Borel*. Leningrad: Nauka
- Raju, Chandra Kant. 2007. *Cultural Foundations of Mathematics: The Nature of Mathematical Proof and the Transmission of the Calculus from India to Europe in the 16th c. AD*. Delhi: Pearson Longman
- Reeves, Richard. 2008. *A Force of Nature: The Frontier Genius of Ernest Rutherford (Great Discoveries)*. New York: W. W. Norton & Company
- Reid, Costance. 1977. *Gilbert*. Moskva: Nauka
- Toynbee, Arnold. 1971. *Mankind and Mother Earth: A Narrative History of the World*. Oxford: University Press