

# ZGODNJE RAZISKOVANJE VAKUUMA V SREDNJI EVROPI IN MED SLOVENCMI

## Cauchyjeve goriške teorije vakuuma ob 60-letnici Balzera, 155-letnici Leybolda in Heraeusa

Stanislav Južnič

Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Jadranska 19, 1000 Ljubljana

### POVZETEK

Obravnavamo razvoj prvih vakuumskih podjetij Leybold in Heraeus v nemškem delu srednje Evrope. Njun razcvet je sledil najpomembnejšim dosežkom v raziskovanju teorije vakuuma, etra in optike barv tankih kovinskih plasti na obrobju srednjeevropskih slovenskih dežel, ki jih je Cauchy pisal v Gorici med letoma 1836 in 1838. Prvič v zgodovinospisju opisujemo goriško obdobje slovitega fizika in matematika Cauchyja. Posebno pozornost posvečamo Cauchyjevemu raziskovanju vakuuma ob iskanju primerne teorije etra, ki bi pravilno napovedovala rezultate optičnih poskusov. V letošnjem letu fizike dokazujemo, da je bil prav Cauchy največji fizik in matematik, kar jih je službovalo med Slovenci. Teorijo Cauchyja in uspehe zgodnjih proizvajalcev vakuumске tehnike povezujemo s poznejšim napredkom sodobnih srednjeevropskih vakuumskih tehnologij od Balzera do sodobnih slovenskih dosežkov.

### Early Vacuum Research in Middle Europe and among Slovenians

#### ABSTRACT

The early development of vacuum enterprises Leybold and Heraeus in German part of the Middle Europe is discussed. Their success followed the most important achievements in the research of the vacuum theory at the border of Slovene Middle European lands that Cauchy accomplished in Gorica in the years 1836-1838. By using French and Italian archive sources we describe Cauchy's life and work in Gorica for the first time in historiography. We discuss the main Cauchy's scientific collaborators in Prague, Vienna, Graz, Ljubljana, and Gorica. Cauchy's work considerably influenced the later development of Middle European vacuum research from Balzers to modern Slovene inventions.

### 1 UVOD

Takoj po pomladi narodov 1848 sta kot gobi po dežju zrasli dve veliki srednjeevropski vakuumski podjetji družin Leybold in Heraeus. Zgodba je seveda dobro znana in jo bomo tu predvsem povzeli in polepšali. Malokdo pa ve, da je le nekaj let prej eden največjih fizikov in matematikov v tedaj še skoraj naši Gorici zasnoval teorije vakuuma, etra in optike tankih kovinskih plasti, ki so kmalu še zlasti prišle prav tako Leyboldu kot Heraeusu. Tu pa se začinja naša pripoved ...

### 2 HERAEUS

Dne 1. 4. 1851, vendar brez prvoaprilske šale, je Wilhelm Carl Heraeus (\* 6. 3. 1827 Hanau; † 1904) prevzel očetovo podjetje "Zum weissen Einhorn" v mestecu Hanau v državici Hessen, vzhodno od Frankfurta na Majni. Ta lekarna je meščane Hanaua

oskrbovala s potrebnimi in manj nujnimi zdravili že od 4. 4. 1660, vseskozi v lasti družine Heraeus.

Mladi Wilhelm se je lotil dela resno in kmalu so po celi Evropi zaslovene njegove farmacevtske in kemijske priprave ter čisti rubidij in cezij. Pridno je sodeloval z lokalnimi zlatarji v domačem Hanauu, še posebej pri uporabi tedaj še dokaj nove platine. Ta kovina se topi komaj pri 1769 °C; tolikšnih temperatur pred Heraeusom še niso znali obvladovati; zato so platino kovali razžarjeno do belega, kar so zmogli le najboljši mojstri v Parizu in Londonu. Heraeus je leta 1856, leto dni pred Cauchyjevo smrtjo, popolnoma obrnil razmerja moči, saj se mu je posrečilo staliti dva kilograma platine v ognju kisika in vodika. Tako je Heraeus kmalu po vsem svetu ustanavljal zlatarne, proizvodnjo zobozdravniških pripomočkov in kemijske tovarne. Srebrni nasmeh platinastih umetnih zob je postal moda, na katero so množično padali pripadniki nasprotnega spola na obeh straneh. Kmalu je Heraeus med prvimi proizvajal še čisti rubidij in cezij.

Seveda se ni dalo brez politike, in bogati Wilhelm Carl Heraeus je sledil nemški tradiciji Guerickeja v Magdeburgu in Heveliusa v Gdanskju; še sam se je dal izbrati za županovega namestnika v mestu Hanau. Seveda zaradi tega ni postal nič bolj siromašen.

Največji izum vseh Heraeusov pa je bil seveda družinsko podjetje. Tako si je Wilhelm Carl Heraeus



Slika 1: Portret Wilhelma Carla Heraeusa (\* 6. 3. 1827 Hanau; † 1904)

znal prav lepo vzgojiti sinova dr. Wilhelma Heraeusa in Heinricha Heraeusa, da sta uspešno prevzela njegove posle leta 1889, ob stoletnici Cauchyjevega rojstva. Leta 1896 sta morala podjetje za taljenje platine s štiridesetimi uslužbenci zaradi hitre rasti proizvodnje preseliti na obrobje mesta Hanau, saj sta vsako leto proizvajala že okoli tone te dragocene kovine. Heraeus je postal glavni dobavitelj platine za prve keramične barve, elektrokemično industrijo in tovarne plastike; pred prvo svetovno vojno se je še posebej izkazal pri katalizi za proizvajanje dušikove kisline.

Dr. Wilhelm in Heinrich Heraeus sta znala v svoje podjetje pritegniti še sošolca dr. Richarda Kücha; le-ta je s svojimi izumi in neposrednimi stiki s svetom znanosti zasnoval zvezo med proizvodnjo in raziskovanjem v tovarni Heraeus. Tako je sledil Edisonovemu ameriškemu zgledu. Küch je razvil prve platina-rodijeve grelce za plavže in leta 1889 proces za izdelavo kremenovega stekla visoke čistosti, ki je postal temelj leta 1912 ustanovljenega hčerinskega podjetja *Heraeus Quarzglas GmbH*. V 1960-ih letih je Küchovo delo nadaljeval direktor Heraeusa dr. Heinrich Mohn.

Leta 1904 je Küch odkril močno zelenkasto svetlobo živosrebrnih par v katodnih elektronkah. Iznajdljivi Nemci iz Heraeusa so s pomočjo *Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft* takoj ustanovili podjetje *Quarzlampengesellschaft mbH*, ki je proizvajalo kremenove žarnice *Original Hanau* za umetno sončenje. Vsi Nemci obeh spolov, ki so kaj dali nase, so prenehali laziti po hribih in so si primerno barvo polti hitreje in manj naporno pridobivali pod prijetno svetlobo Küchovih izumov. Do Hitlerjevega prevzema oblasti tekmecev na tem področju tako rekoč ni bilo; Heraeus je ostal močan celo na sodobnem trgu UV- in IR-svetil.

Küch se je kljub kuharskemu priimku izkazal s številnimi znanstvenimi dosežki. Prvi je uporabljal platino in rodij za termoelemente in termometre ter tako utemeljil sodobno prestižno Heraeusovo merilno tehniko.

V desetletju pred prvo svetovno vojno je Wilhelm Julius Paul Rohn začel za Heraeus komercialno razvijati vakuumsko taljenje v velikih talilnih pečeh. Leta 1913 so pri Heraeusu proizvedli prve vakuumske zlitine. Leta 1917 je Rohn talil nikljeve zlitine z Joulovo toploto in po letu preizkušanja postopek patentiral. Leta 1921 je pri Heraeusu uporabljal nizkofrekvenčno vakuumsko talilno peč z maso 300 kg. Tri leta pozneje je ob bližajoči se gospodarski krizi opisal pridobivanje čistega kroma z redukcijo oksida v vodik. Leta 1928 je uporabil 4-tonski izvir z močjo 350 kW za ulivanje 2-tonskih ingotov. Proizvajal je

predvsem materiale za termočlene in zlitine za uporovno gretje.

Rohn je leta 1929 sestavil napravo za taljenje večjih kosov kovine pri tlaku od 30 do 70 mbar. Z dodajanjem železovega oksida ali kromove rude je znižal odstotek ogljika v staljenem ferokromu z 1 % do 3 % na 0,04 %. V desetletju pred Hitlerjevim prevzemom oblasti je Heraeus dobil skupno 84 nemških in 101 tuj patent za Rohnove in druge tehnološke inovacije. Vendar je pod nacisti Heraeus svoje vakuumske talilnice večinoma prodal Siemensu, ostanek pa je razprodal leta 1948. Ta vakuumska veja proizvodnje se je, žal, pač preveč razlikovala od siceršnje naravnosti podjetja.

V času ekonomske krize po prvi svetovni vojni je vodenje prevzela že tretja generacija družine Heraeus. Leta 1925 je k podjetju pristopil dr. Wilhelm Heinrich Heraeus, pet let pozneje pa še njegov bratranec dr. Reinhard Heraeus. Med letoma 1927 in 1965 je bil direktor podjetja dr. Wilhelm Heinrich Heraeus, dr. Reinhard Heraeus pa je enako dolžnost opravljal od leta 1931 do leta 1970 in skrbel za preverjanje tehnologije ter uporabo novih fizikalnih odkritij v podjetju. Wilhelm je skupaj z ženo ustanovil fundacijo Wilhelm in Else Heraeus za promocijo fizike v državi. Pod Reinhardovim vodstvom je podjetje začelo leta 1930 razvijati visokovakuumske naparevalne tehnologije; prve zobozdravstvene spojine je proizvedlo že pod Hitlerjem leta 1934. Seveda je cena platine močno nihala, saj je bil glavni dobavitelj pod Stalinovim režimom politično močno nestabilna Sovjetska zveza. Ob začetku druge svetovne vojne je za Heraeus delalo že tisoč ljudi; seveda so zavezniki njegove proizvodne zmogljivosti leta 1944 in 1945 povsem stolkli kot eno glavnih opor nacističnega režima. Nemški industrijski mogotci pač slej ko prej niso imeli pomislekov pri izbiri naročnikov, če so le-ti spodobno plačevali.

V 1950-ih letih si je Heraeus z ameriško pomočjo, ki je kot po navadi sledila ameriškim bombam, znova opomogel s proizvodnjo obločnic in katodnih elektronk. Ta kruta ameriška taktika je obenem delovala v Italiji, danes pa ji sledimo predvsem v Iraku; seveda je meščani Dresdena ali Bagdada ne občudujejo preveč.

Od leta 1911 dalje sta Heraeus in Leybod vsak zase razvijala industrijski vakuumski inženiring. Leta 1966 so ustanovili *Heraeus Hochvakuum GmbH*, naslednje leto pa so ga končno le združili z Leyboldom v *Leybold-Heraeus GmbH* in se kmalu usmerili v vakuumske prevleke. Leta 1994 so skupno podjetje preimenovali v *ALD Vacuum Technik GmbH*.

Poskuse z večplastnimi prekritji so delali v ZDA in v Evropi že leta 1938. Prvo tehniško zadovoljivo rešitev je objavil štiridesetletni Max Auwärter z dvoplastnim sistemom leta 1949. Do konca svetovne vojne si je Auwärter priskrbel dovolj slovesa, da je

lahko dne 22. 2. 1946 gladko odpovedal sicer obetavno službo pri Heraeusu. Na povabilo liechtensteinskega kneza Franza Josefa II. je začel v kraju Balzers proizvajati rodijeva zrcala z naparovanjem na osnovi svojega patenta in raziskav, objavljenih leta 1939. Bog ve, kaj bi si Auwärter kot nekdanji ubežnik iz Heraeusa mislil o začaranem krogu, po katerem se je Balzers leta 1995 pridružil Heraeusovi *ALD Vacuum Technik GmbH*, če ne bi prav tisto leto umrl. Srednja Evropa se ni združila le v Bruslju, temveč obenem še ob vakuumski tehniki.

Leta 1983 je dr. Jürgen Heraeus prevzel vodenje podjetja kot četrta generacija slovite družine in podjetje usmeril na azijske trge. Peto generacijo pa še čakamo ...

### 3 LEYBOLD

Nedaleč od Heraeusa je obenem zraslo prav podobno podjetje. Leta 1834 je prišel mladi vaški delavec Ernst Leybold v mesto Köln in se zaposlil kot prodajalec v dobro preskrbljeni trgovini. Simpatičen črnolasec je znal vsakokrat pomežikniti poskočni gospodarjevi ženi, ko starega gospodarja ni bilo doma. Po njegovi smrti jo je seveda veselo poročil. Leta 1850 je trgovec z uvoženim vinom in farmacevtskimi napravami Ernst Friedrich Leybold (\* 7. 11. 1824 Rothenburg na Tauberi; † 10. 2. 1907 Köln) osnoval lastno samostojno podjetje in vanj vključil izdelovanje fizikalnih, kemijskih in lekarniških naprav v Kölnu. Že od leta 1851 je delal poskuse s platino, podobno kot Heraeus. Ta novoodkrita kovina je veliko obetala; o njej je pisal že naš raziskovalec Hacquet. Svoj vzpon k vrhu je Leybold zapečatil 30. 5. 1852, ko se je v Kelmorajnu slavnostno poročil z domačinko Marijo Völker (\* 1. 11. 1830 Köln; † 14. 10. 1890 Köln). Nova pridobitev družinskega življenja je bil dober odsev Leyboldove sveže podjetniške usmeritve v duhu razcveta, ki je sledil pomladi narodov leta 1848 v srednji Evropi.

Že dotlej je Leybold izdeloval medicinska stekla in termometre, sedaj pa se je odločil za razširitev dejavnosti. Podobno kot istočasno njegov tekmeč Heraeus, je še Leybold od lekarniških prešel na znanstvene naprave in uporabo platine. Leta 1866 je Leybold kupil posest Marienburg in tam postavil tovarno porcelana. Desetletje po Cauchyjevi smrti je leta 1867 postavil steklopihaško in mehansko delavnico. To je bil začetek njegove proizvodnje fizikalnih naprav za pouk znanosti in za laboratorije. S koncem Cauchyjevega dela ni le prapor najboljših matematikov in fizikov prišel iz Pariza v Nemčijo, temveč je



**Slika 2:** Portret Ernsta Friedricha Leybolda (\* 7. 11. 1824 Rothenburg na Tauberi; † 10. 2. 1907 Köln)

podobna usoda doletela še uporabno in predvsem vakuumsko znanost.

Leta 1870 je Leybold svoje uspešno in že utečeno podjetje prodal Emilu Schmidtu in Ottu Ladendorffu, ki sta ga preimenovala v "*Leybold's Nachfolger*". Leybold sam pa si je še pred srečanjem z Abrahamom lahko privoščil zasluženi počitek, ki mu je uspešno posvetil skoraj celotno drugo polovico svojega življenja. Njegovo podjetje je kljub prodaji deloma nasledil njegov vnuk z enakim imenom Ernst Friedrich Leybold. Do leta 1931 je podjetje vodil Emilov sin Alfred Schmidt, po njem pa Alfredov zet dr. Manfred Dunkel do leta 1967.

Leybold je v Kölnu zaslovel z izdelovanjem radiometrov, ki so jih radi kupovali celo na slovenskih srednjih šolah. Leta 1890 je podjetje "*Leybold's Nachfolger*" vpeljalo vakuumsko tehniko v proizvodnjo kremenovega stekla. Leto dni pred Leyboldovo smrtjo, leta 1906, so začeli sodelovati z Wolfgangom Gaedejem, ki je za Leybolda razvijal vakuumске črpalkе;<sup>1</sup> še posebej molekularno črpalko leta 1911.

Gaede je komaj izdelano vakuumsko črpalko pokazal na 77. srečanju nemških naravoslovcev in zdravnikov v Meranu na spodnjem Tirolskem; pozorno so ga poslušali in se zanimali za možnosti nakupa. Gaedejevo poročilo s srečanja je kmalu prebral kemik Alfred Schmid, sin lastnika strojne trgovine Leyboldovih dedičev. Bil je dobro desetletje starejši od Gaedeja in je takoj zavohal dobro kupčijo. Prav tisti čas je njegovo podjetje potegnilo "ta kratko" pri vakuumskih črpalkah, potem ko so tekmeči dobili licenco za proizvodnjo "Gerykovih črpalk". Zato se je A. Schmidt v mrzlem februarju 1906 s prvim jutranjim

<sup>1</sup> Leybold, 1994, 8

vlakom odpravil v Freiburg na srečanje z obetavnim Gaedejem. Dne 23. 4. 1906 sta podpisala pogodbo in z njo začela štiri desetletja plodnega sodelovanja med znanstvenikom in industrijo. Gaede se je izkazal za izjemno pridobitev.

Že naslednje leto je Leybold opremil Gaedeju laboratorij s strojno trgovino, ki je leta 1912 postal del univerze. Istega leta je Gaede izumil "molekularno" črpalko. Prvih šestdeset črpalk nove vrste je Leybold prodal še istega leta, še petkrat toliko pa do leta 1923, ko je izbruhnila gospodarska kriza. "Molekularne" črpalke so razvijali naslednja tri desetletja in z njimi dosegali  $10^{-7}$  mbar.

Kljub podpori visokega nacističnega veljaka Nobelovca Lenarda so Hitlerjevi oblastniki Gaedeja 30. 6. 1934 vseeno na zelo ponižujoč način spravili ob katedro na univerzi. Da bi vendarle lahko nadaljeval delo, mu je Leybold postavil začasni laboratorij in trgovino v Gaedejevi domači hiši. Kljub prijazni pozornosti se je Gaede leta 1940 skupaj z laboratorijem raje preselil v München, kjer je kmalu po koncu vojne umrl.

Takoj po izvolitvi Hitlerja so pri Leyboldu razvili prve naprševalnike za industrijo. Dve desetletji pozneje smo novosti začeli uporabljati še v Sloveniji. Leta 1957, ob stoletnici Cauchyjeve smrti, so pri Leyboldu na prvi tematski konferenci ustanovili združenje izdelovalcev vakuumskih prevlek, ki šteje danes že tisoč članov.

#### 4 CAUCHY V GORICI

Čas je, da predstavimo raziskovalca na slovenskih tleh, ki bo nastopal na našem izletu v preteklost. Seveda je tu predvsem matematik in fizik Augustin Cauchy, največji med znanstveniki, kar jih je kdaj koli živelo med Slovenci. Delal je v Gorici od 21. 10. 1836 do srede oktobra 1838,<sup>2</sup> torej domala polni dve leti v času začetkov modernega Heraeusa in Leybolda. Ker je Cauchy objavljajl svoja dela skoraj pol stoletja, pripada dobre 4 % Cauchyjevih odkritij njegovemu goriškemu obdobju; to pa nikakor ni malo. Pri tem pač molče predpostavljamo, da je bila Gorica tiste čase vsaj deloma naša. Seveda kaj takega ne bo lahko dokazati, saj se je med petnajst tisoč tedanjimi Goričani le četrtnina hvalila s slovenščino kot svojim občevalnim jezikom. Kako so Goričani govorili doma, o tem statistika žal molči. Še danes seveda vsi po vrsti dobro govorijo po naše, čeprav se večina tega sramuje. Bog ve, če se med Goričani še sam Cauchy ni naučil kakšne slovenske besede; z jeziki namreč ni imel težav, saj se je nekaj let prej kar se da urno dodobra naučil italijanščine za svoja predavanja v Torinu.

Cauchy se je rodil uspešnemu pariškemu meščanu na predvečer francoske revolucije; le-ta je Cauchyjevega očeta Louisa-Françoisa Cauchyja (\* 1760; † 28. 12. 1848) nenadoma spravila ob službo in kruh. Strahotna izkušnja je mladega Augustina zaznamovala veliko bolj kot njegovega očeta ali brate: do konca dni se je z gnusom otepal vseh revolucij in revolucionarjev kot daleč najbolj konzervativen med vsemi pariškimi matematiki. Zibka, ki mu je tekla ob zori francoske revolucije, je v Cauchyju razvila izrazitega protirevolucionarja.

Njegov oče je družino v težkih časih terorja preselil iz podivjanega Pariza v varnejši predmestni Arcueil, kjer je srečaval Bertholeta, Laplacea in še posebno Lagrangea. Cauchy je bil bolehen na pol lačen deček in je raje sedel za knjigo kot tekal za vrstniki – Lagrange je v njem takoj spoznal prihodnjo veličino in zabičal očetu Louisu-Françoisu Cauchyju, naj najprej poskrbi za solidno osnovno izobrazbo sina; šele potem naj mu dovoli brati matematične knjige. Je pač vedel, o čem govori; uspešno matematično in fizikalno raziskovanje pač mora temeljiti na solidni podlagi in razgledanosti.

Leta 1804 je Cauchy začel študirati matematiko po Lagrangeovem nasvetu; naslednje leto se je vpisal na Politehniko in pri Biotovih izpitih zavzel drugo mesto. Z Biotom sta ostala prijatelja še pozneje, čeravno je bil Biot ob Brewsterju zadnji zagovornik Newtonove teorije svetlobnih delcev, ki Cauchyjevim vrstnikom niso več dišali.

Cauchy je poslušal predavanja Lacroixa, de Pronya, Hachetta in analizo Ampèra, ki je s svojo optiko in teorijo vakuuma pozneje močno vplival na Cauchyjevo raziskovanje v Gorici. Po diplomu na Politehniko je Cauchy študiral še na inženirski *École des Ponts et Chaussées*. Podobno številnim drugim pomembnim francoskim znanstvenikom te nenavadne dobe nestrpnih revolucionarjev se je Cauchy prav tako najprej izobrazil za inženirja. Po Napoleonovem drugem in dokončnem padcu je Cauchy uresničil svoje sanje: leta 1816 je postal akademik. Resda je moral burbonski kralj Ludvik XVIII. († 16. 9. 1824), starejši brat Karla X., zato odstaviti slovitega geometra in Napoleonovega privrženca Mongea; toda podarjenemu konju pač ne gre gledati v zobe. Cauchy je položaj sprejel, čeravno so mu številni študentje to zamerili; Mongea so imeli nadvse radi kot ustanovitelja Politehniko. Ob sedemdesetletnem revolucionarju Mongeu so izključili še tri leta mlajšega Lazara Carnota, botra revolucionarnih zmag. Podobnost s sodobnim slovenskim dogajanjem je, seveda, povsem nenamerna.

<sup>2</sup> Belhoste, 1991, 178



**Slika 3:** Akademik Cauchy se prijazno smehlja svoji usodi naproti na francoski znamki, izdani ob stoletnici njegovega rojstva. Okoli njega so drugi pomembni znanstveniki in izumitelji njegovega časa: Benjamin Franklin (\* 1706; † 1790), Karl Linné (\* 1707; † 1778), Ruđer Bošković (\* 1711; † 1787), Žiga Zois (\* 1747; † 1819), Jurij Vega (\* 1754; † 1802), Johann Carl Friedrich Gauss (\* 1777; † 1855), Charles Babbage (\* 1792; † 1871), Janez Puhar (\* 1814; † 1864), Werner von Siemens (\* 1816; † 1892), Sebastian Kneip (\* 1821; † 1897), Louis Pasteur (\* 1822; † 1895), Ferdinand von Mueller (\* 1825; † 1896), Marcelin Berthelot (\* 1827; † 1907), Heinrich von Stephan (\* 1831; † 1897), Alfred Nobel (\* 1833; † 1896), Jožef Stefan (\* 1835; † 1893), Robert Koch (\* 1843; † 1910), zoolog Spiridon Brusina (\* 1845; † 1908), geolog Gjuro Pilar (\* 1846; † 1893), Janez Puch (\* 1862; † 1914), Nikola Tesla (\* 1856; † 1943), Rudolf Diesel (\* 1858; † 1913).

Leta 1817 se je Biot odpravil na Škotsko; Cauchy je prevzel njegov položaj na *Collège de France*. Cauchy ni bil v dobrih odnosih s Ponceletom in drugimi raziskovalci, saj je podpiral jezuite proti pariškim akademikom. Pariški jezuiti so ta čas imeli celo nekaj prvorazrednih matematikov, med njimi predvsem Cauchyjevega prijatelja Moignoja, ki je sicer izstopil iz Družbe zaradi dolgov, nastalih kljub njegovi in Cauchyjevi dolgotrajni podpori izuma železniškega motorja markiza Achilla de Jouffroyja. Cauchy je pohvalno ocenil izum v poročilih pariški akademiji z dne 2. 11. 1840, 12. 6. 1843 in 3. 8. 1846.<sup>3</sup> Cauchy se je za probleme javnega prevoza zanimal že med svojimi popotovanji po Evropi, ko je 19. 10. 1832 pariškim akademikom predlagal izboljšave. Tistega leta je v Franciji stekel prvi vlak z vakuumskim parnim strojem; v Trst se je pripeljal podoben dunajski vlak šele v letu Cauchyjeve smrti.<sup>4</sup>

Achillov oče markiz Claude de Jouffroy d'Abbans (\* 1751; † 1832) je že leta 1775 opisoval parnike in jih preizkusil na reki Doubs ob švicarsko-francoski meji

leta 1776 in na reki Saône leta 1780 še pred posrečenimi poskusi ameriškega inženirja Roberta Fultona (\* 1765; † 1815) v Lyonu in na Seni. Takoj po vrnitvi iz Gorice v Pariz je Cauchy, gotovo hud zaradi dolgotrajnega večdnevnega potovanja v kočiji in s počasnimi plovili, pohvalno opisal uporabo vakuuma v Achillovem parnem stroju za pogon ladje. Achille je sestavil pogonsko kolo na repu ladje z lopaticami podobnimi dvojnimi labodjimi plavutmi in poskrbel za boljše izgorevanje v vakuumskem prostoru parnega stroja med preizkusno vožnjo, na katero je povabil tudi Cauchyja.<sup>5</sup>

Žal Achillu s parniki ni uspelo, podobno kot se je ponesrečilo že njegovemu očetu; izum je uspešno prodal šele Fulton. Ob Moignovem izstopu iz jezuitske družbe se je Achille zato raje lotil parnih lokomotiv na pravkar odprtih francoskih železnicah. Cauchy je ostro protestiral ob prvih železniških nesrečah, ki naj bi jih povzročila preobremenjenost vakuumskih parnih strojev v primerih, ko so preveliko število vagonov skušali vleči in porivati kar z dvema "hlaonom".<sup>6</sup> Achille je med dve širokotirni tračnici postavil še tretjo, vzdignjeno za četrta metra; po njej je parni stroj lokomotive z orjaškim kolesom poganjal kompozicijo. Novost se je Cauchyju zdela bolj stabilna pri vožnji in predvsem pri zaviranju, ko je Achillov vakuumski sistem poskrbel za izgubo pare. Seveda je bilo trženje tudi to pot Achillova peta in novi izum je kljub Cauchyjevi podpori kmalu romal v pozabo.

Seveda je bil François-Napoléon-Marie Moigno (\* 15. 4. 1804 Guéméné (Morbihan) v Bretaniji; SJ 2. 9. 1822-oktober 1843; † 14. 7. 1884 Saint-Denis (Seine)) krščen po samem cesarju Napoleonu, kar je bilo za jezuita tako ali tako nekoliko nenavadno. Moigno je študiral teologijo v Montrougeu in se uspešno posvetil matematiki in fiziki. Po julijski revoluciji leta 1830 je pobegnil v Brieg (Brigg) v Švici, gotovo s pomočjo prijatelja Cauchyja, ki je pred nasiljem številne jezuite skrival kar v svoji domači hiši. Obdarjen z izrednim spominom se je Moigno v Švici naučil celo hebrejščine in arabščine. Septembra 1833 je prevzel Cauchyjevo torinsko katedro, potem ko ga je Cauchy dne 24. 9. 1833 priporočil skupaj z drugim jezuitom La Chèzem.<sup>7</sup> Moigno se je nasprotno od Cauchyja kmalu vrnil v domovino in leta 1836 postal profesor matematike na znanem kolegiju Svete Genovefe na *Roue des Postes* v Latinski četrti Pariza. Tam je na *École Normale Écclésiastique* skrbel za izobraževanje jezuitskih profesorjev matematičnih in fizikalnih ved ob izdatni Cauchyjevi pomoči.<sup>8</sup> Moigno je zaslovel kot učenjak, pridigar in pisec. Leta 1839 je kot prvi začel uporabljati kamero obscura, svetlobne projekcije in druge tedanje audiovizualne naprave pri svojih predavanjih. Še preden je zapustil jezuite, je objavil prvi del diferencialnega

<sup>3</sup> Belhoste, 1991, 179

<sup>4</sup> Belhoste, 1991, 156; Šorn, 1984, 198

<sup>5</sup> Cauchy, C.R. 2. 11. 1840, ponatis 1885, 1/5: 424, 426-427

<sup>6</sup> Cauchy, C.R. 13. 7. 1846, ponatis 1897, 1/10: 69; Cauchy, C.R. 16. 11. 1846, ponatis 1897, 1/10: 203

<sup>7</sup> Belhoste, 1991, 178, 328

<sup>8</sup> Belhoste, 1991, 177

in integralnega računa po Cauchyjevih postopkih. Nato je popotoval po Evropi in dopisoval v revijo *L'Époque*. Bil je kaplan v liceju Ludvika Velikega od leta 1848 do leta 1851. Leta 1850 je postal urednik *Presse*, naslednje leto urednik *Pays*, leta 1852 pa je ustanovil slavni znanstveni časopis *Cosmos*. Leta 1862 je ustanovil *Le Mondes* in se povezal z duhovniki v *St-Germain des Prés*. Leta 1873 je postal eden kanonikov v Saint-Denisu. Veliko znanstvenih del italijanskih in angleških piscev je prevedel v francoščino, vmes pa je urejal *Actualités Scientifiques*. Leta 1849 je v Parizu objavil knjigo o električnem telegrafu, ki je bil v mnogočem prav jezuitska iznajdba. Leta 1869 je v Parizu po Cauchyjevih goriških raziskovanjih objavil knjigo o polarizaciji svetlobe in optični aktivnosti raztopin sladkorja. Leta 1873 je v Parizu objavil knjigo o molekularni optiki in tako ob Cauchyju utemeljil sodobno optiko tankih vakuumskih plasti.

Po julijski revoluciji leta 1830 Cauchy ni hotel priseči zvestobe novemu kralju Louisu Philippu "Egalité". Do skrajnosti zvest svojim načelom se je nenadoma znašel v političnem vakuumu. Zapustil je družino in donosne pariške službe ter se odpravil za kraljem Karlom X. v izgnanstvo. Prisego drugemu vladarju v Parizu je imel za neke vrste izraz fevdalne nezvestobe, medtem ko se njegov oče in oba brata nikakor niso do te mere izpostavljali; kljub negodovanju so vedno znova prisegali vsakokratni oblasti.

Od 26. 11. 1830 do marca 1831 je bil Cauchy zaporedoma ob vse tri svoje z mukoma pridobljene predavateljske službe; ostal mu je le še status pariškega akademika. Sprva je hotel le malo popotovati po tujini za utrditev zdravja; upal je na hitri konec revolucije in z njo julijske monarhije. Septembra 1830 je bil kratek čas v Švici, kjer je naslednji mesec ob pomoči jezuitov brez uspeha skušal ustanoviti švicarsko akademijo. Avgusta 1831 je Cauchy odšel v Torino in naslednje leto začel tam predavati teoretično fiziko na prošnjo samega kralja Sardinije Karla Alberta, ki prav tako ni maral novega francoskega kralja. Cauchy je podedoval katedro *fisica sublime* slovitega Amedea Avogadra, začetnika sodobne molekulske teorije plinov. Avogadro je znova prevzel katedro po Cauchyjevem in Moignovem odhodu novembra 1834.

Leta 1833 je Cauchy v Torinu predaval o fiziki molekul; predavanje je pozneje objavil njegov torinski sodelavec in naslednik Moigno.<sup>9</sup> Dne 22. 6. 1833 je glavni tutor Karla V., baron Maxence de Damas iz Toepliza, povabil Cauchyja. Septembra 1833 je Cauchy odšel v Prago h kralju Karlu X. in do oktobra 1838 tam predaval matematične in naravoslovne vede prestolonasledniku Henriku grofu Chambordskemu, vojvodi Bordeauxa (\* 29. 9. 1820; † 24. 8. 1883 Dunajsko Novo mesto), ki je bil pozneje pokopan

poleg svojega deda Karla X. v Kostanjevici nad Novo Gorico.

V Pragi je Bolzano leta 1834 povabil Cauchyja na pogovor o definiciji zveznosti, neskončnosti in praznega vakuumskega prostora; Cauchyju je daroval svojo razpravo o kvadriranju funkcij, ki jo je posebej zanj sestavil v francoskem jeziku. Bolzano je bil pred srečanjem in znova nekaj let po njem s Cauchyjem predsednik Češke znanstvene družbe v Pragi, ki jo je pred njim vodil naš Tobija Gruber. Bolzano je leta 1816 in 1817 omogočil neodvisen razvoj analize s sodobno definicijo zveznosti v teoremu vmesnih vrednosti, ki ga je sestavil pod posrednim vplivom Boškovićeve teorije vakuuma.

Ko je novi cesar Ferdinand načrtoval svoje kronanje v Pragi, je za Burbone nenadoma zmanjkalo prostora v Hradčanih. Marca 1836 in dokončno 8. 10. 1836 se je pregnani francoski dvor odselil iz Prage in se po krajšem postanku v Linzu in na gradu Kirchberg končno naselil v Gorici; tam se je podnebje zdelo ugodnejše kot v Ljubljani. Žal je Karl X. v Gorici že čez nekaj tednov podlegel zahrbtni koleri, ki je med vsem spremstvom umorila le njega, močno pa je razsajala še v Ljubljani. Tako je zadnji francoski kralj kmalu po prihodu k nam žalostno končal; bližal se je že osmemu križu in to je bilo kar njegovo tretje izgnanstvo. Dvor je po pogodbi bival najprej v palači Mihaela Coronini-Cronberga na Grafenbergu z veličastnim vrtom. Po kraljevi smrti so se raje preselili v palačo grofov Strassoldo; novembra 1837 najdemo tam Cauchyja v popisu sto osmih oseb v burbonski službi. Občasno so stanovali celo v goriškem hotelu Pri treh Kronah (*Tre Corone*).<sup>10</sup> Sedaj je Cauchy imel ob sebi še ženo in hčerke, v prostem času pa je polnil zvezke z novimi teorijami in sanjal o prihodnji slavi. Goriško sonce je vplivalo predvsem na Cauchyjevo raziskovanje vakuuma, optike in etra za prenos svetlobnih valov.

## 5 CAUCHYJEV GORIŠKI VAKUUM

Med Cauchyjevimi graškimi in praškimi sodelavci je bil fizik Hessler, ki je kasneje pomagal Karlu Robidi, poznejšemu profesorju in razredniku Jožefa Stefana. Leta 1845 je Robida začel predavati matematiko na celovškem liceju. Med poletnimi počitnicami leta 1847 se je odpravil na dunajsko Politehniko k profesorju Hesslerju. Tam je postavljaj zapletene vakuumske poskuse; Hessler ga je prijazno poučil o njihovi razlagi.<sup>11</sup> Takšno izkušnjo je Robida nujno potreboval, saj je že jeseni prevzel predavanja fizike

<sup>9</sup> Belhoste, 1991, 156; Cauchy, 2/15: 412–447

<sup>10</sup> Bader, 1994, 59, 61–62, 106, 290, 358

<sup>11</sup> Scheitz, 1878, 54

na celovškem liceju za umrlim Ahaclom. Desetletje prej je Hessler tesno sodeloval s Cauchyjem tik pred Cauchyjevo preselitvijo v Gorico, ko sta bila kratek čas skupaj v Pragi; Hessler je postavljajl poskuse za preverjanje Cauchyjevih teorij etra in vakuuma.

Dr. Ferdinand Hessler (\* 23. 2. 1803 Regensburg; † 13. 10. 1865 Dunaj) je študiral v Pragi in na Dunaju. Od leta 1826 do 1830 je delal na univerzi in na politehniki v Gradcu. Politehnika ali *Technische Hochschule* v Gradcu se je razvila iz leta 1811 ustanovljenega *Joanneuma* nadvojvode Janeza; prvi profesor poljudne astronomije je postal dotedanji ljubljanski profesor Philip Neumann. Hessler je od leta 1830 do 1835 poučeval matematiko in fiziko na leta 1827 ustanovljeni Karl-Franzovi univerzi v Gradcu. Od leta 1836 do 1838, v času Cauchyjevega službovanja v Gorici, je bil Hessler profesor fizike in uporabne matematike na univerzi v Pragi. Leta 1843 je dosegel višek poklicne poti; izbran je bil za profesorja fizike na dunajski Politehniki. Ob objavi učbenika leta 1852 je bil Hessler pravi član Kraljeve češke družbe v Pragi in naravoslovnega društva mesta Halle ter dopisni član dunajske Akademije. Tako je bil "Goričan" Cauchy v tesnih stikih z obema pglavitnima dunajskima fizikoma nemškega rodu, Hesslerjem in Ettingshausnom, ki sta odločilno vplivala na razvoj številnih slovenskih znanstvenikov. Med njimi so bili Robida, Stefan in Franc Močnik, ki je kmalu po Hesslerjevem odhodu začel pripravljati izpite za doktorat na univerzi v Gradcu.

Dne 4. 4. 1836 je Cauchy v pismu svojemu nekdanjemu študentu in zaupniku Libriju poročal o svojih raziskovanjih ojačitve svetlobe po totalnem odboju. Že 20. 3. 1835 je ta predvidevanja svojih računov pokazal graškemu profesorju Hesslerju, ki jih je potrdil z enostavnimi in zlahka ponovljivimi poskusi. Črn papir je zvil v pravokotne trikotnike in jih postavil pod stekleno prizmo ter pod dve manjši tristrani prizmi. Potem je z iglo predrl luknjo skozi papir, ki je pokrival eno od stranskih ploskev. Cauchy in Hessler sta opazila sliko sveče, ki je prešla skozi prizmo z zelo veliko intenziteto, če je bil vpadni žarek vzporeden izhodni ploskvi. Cauchyju ni ušlo stopnjevanje intenzitete izhodnega žarka, medtem ko je zmanjševal kot med vpadnim žarkom in vpadno ploskvijo. Bil je prepričan, da gre za prvo odkritje zlahka ponovljivega poskusa. Pri interferenci svetloba dodana svetlobi proizvaja temo. V tem novem Cauchyjevem poskusu pa se totalno odbiti žarek bolje prenaša skozi snov z naraščanjem intenzitete svetlobe, kar je bil novi argument proti emisijski teoriji svetlobe oziroma proti Newtonovim svetlobnim delcem. Po Cauchyjevih enačbah je intenziteta svetlobe sorazmerna kvadratu največje hitrosti molekul etra.

Dne 11. 4. 1836 je Cauchy pri pariški akademiji objavil svoje pismo Ampèru o širjenju in odboju

svetlobe v neprozornih telesih blizu površin po enačbah Younga, Poissona, Fresnela in Brewsterja. Cauchy je raziskoval predvsem tanke površinske plasti kovin, ki so stoletje pozneje začele zanimati še dediče Leyboda in Heraeusa. Hessler je Cauchyjeve domneve o pravokotni smeri polarizacije glede na vpadno ravnino in o intenziteti svetlobe po prehodu skozi prizmo potrdil s poskusi in tabeliral kot "sipalno razmerje" v svojem fizikalnem učbeniku.<sup>12</sup> Tako sta Hessler in Cauchy utemeljila sodobno optiko tankih plasti kot pomemben del vakuumske tehnike Leybolda, Heraeusa in seveda tudi slovenskih podjetij.

## 6 CAUCHYJEVA OPTIKA TANKIH PLASTI PRI STEFANOVEM UČITELJU ROBIDI

2. 5. 1836 je Cauchy raziskoval eliptično polarizacijo svetlobe v kovinah; svoje ideje je povezal z Brewsterjevimi poskusi.<sup>13</sup> Cauchyjeva dognanja so postala temelj sodobne optike tankih kovinskih plasti. Cauchyjevo raziskovanje je močno vplivalo celo na Robidovo optiko iz let 1860, 1861 in 1862, ki jo je začel objavljati sedem let potem, ko je v maturitetnem letniku celovške gimnazije učil matematiko in fiziko Jožefa Stefana. Robidova optika je bila v marsičem nadaljevanje Cauchyjeve, saj je za longitudinalno komponento svetlobnega valovanja izračunal celo hitrost.<sup>14</sup>

Po Robidi je transverzalni del valovanja šibkejši od longitudinalnega in se kmalu zaduši, saj ne more skozi vakuum. Razmerij med obema vrstama valovanja ni zapisal, čeravno je Simeon Denis Poisson (\* 1781; † 1840) leta 1829 in 1831 objavil v Parizu, da imajo molekule štirikrat večjo amplitudo v smeri širjenja kot pravokotno nanjo. Meritve Wilhelma Wertheima (\* 1815; † 1861) so leta 1848 dajale do trikrat večja razmerja odvisno od vrste snovi.<sup>15</sup> Dunajčan Wertheim je postal leta 1855 izpraševalec kandidatov na pariški Politehniki.

Idejo o dveh vrstah valovanja so uporabljali mnogi raziskovalci v različnih panogah fizike. Young je leta 1817 vpeljal transverzalne valove svetlobe le kot spremljevalce longitudinalnih. Podoben opis sta privzela tako Robida kot Šubic. Vsi so menili, da longitudinalne komponente svetlobe ni mogoče videti z očmi. Kljub temu longitudinalnih valov po prevladi transverzalne teorije v 19. stoletju ni bilo mogoče kar enostavno odpraviti. Longitudinalne valove svetlobe, ki jih oko ne zaznava, so opisali Augustin Fresnel (\* 1788; † 1827) in André-Marie Ampère (\* 1775; †

<sup>12</sup> Hessler, 1852, XLIV–XLV (tabela XI)

<sup>13</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 20–21, 30, 32, 312, 331

<sup>14</sup> Mladženović, 1985, 166; Robida, 1860, 21, 23

<sup>15</sup> Robida, 1860; Rosenberger, 1890, 248–249.

1836) dne 30. 8. 1816, Herman Helmholtz (\* 1821; † 1894), Konrad Wilhelm Röntgen (\* 1845; † 1923) in drugi.<sup>16</sup> Šubic je uporabil drugačen model za opis električnega valovanja;<sup>17</sup> pri njem je drugotno transverzalno komponento mogoče zaznati kot Joulovo toploto, ki greje vodnik.

Robida je pozneje spremenil svoje mnenje, da očesna mrežnica lahko zazna le transverzalni del valovanja svetlobe. Tudi longitudinalni del nihanja naj bi vplival na mrežnico očesa. Sprememba je bila morda v zvezi s prvotnim neskladjem Robidove teorije z optiko.<sup>18</sup> Zato je še longitudinalnim impulzom pripisal vlogo pri širjenju svetlobne motnje. Domneval je, da se valovanje širi v obliki prisekanega stožca. Os stožca določa longitudinalna komponenta, polmer večje osnovnice pa transverzalna komponenta valovanja.<sup>19</sup> Enačbo za odvisnost lomnega kvocienta od gostote snovi je povzel po pariških profesorjih Dominiquu Françoisu Jeanu Aragu (\* 1786; † 1853) in Jean-Baptistu Biotu (\* 1774; † 1862),<sup>20</sup> ne pa po Cauchyju.

V zadnjih poglavjih je Robida opisal *polarizacijo*, ki je v začetku stoletja pri odkritelju Francozu Étienneu Louisu Malusu (\* 1775; † 1812) veljala za glavno teorijo svetlobnih delcev. Najprej je opisal strukturo islandskega dvolomca, ki jo je skušal pojasniti že Danec Erasmus Bartholin (\* 1625; † 1698) dvesto let prej. Robida je določil razdalje med molekulami v raznih smereh. Komponenti impulzov rednega in izrednega žarka je izračunal po izreku o ohranitvi gibalne količine.<sup>21</sup> Posebej je obravnaval štiri smeri vpadnega žarka glede na kristal.

V 21. poglavju je opisal polarizacijo z odbojem in enostavnim lomom. Transverzalno nihanje odbitih žarkov je prav tako polarizirano, saj je dovoljeno le nihanje pravokotno glede na ravnino odboja. Profesor v Kielu Christian Heinrich Pfaff (\* 1773; † 1852) je izmeril tem večjo polarizacijo, čim večji je bil vpadni kot. Škot David Brewster (\* 1781; † 1868) je pokazal, da je največji možni kot med lomljenim in odbitim žarkom ravno kot totalne polarizacije  $90^\circ$ .<sup>22</sup>

Robida je opisal še polarizacijo v islandskem dvolomcu, kjer svetloba niha v dveh pravokotnih smereh.<sup>23</sup> Celo lomni kvocient je poskusil razložiti z lastnostmi molekul snovi in vakuuma. Menil je, da hitrost svetlobe ni odvisna od valovne dolžine, temveč

le od intenzitete motnje, ki sproži nihanje, torej od amplitude nihanja molekul.

V 17. stoletju so dvojni lom in polarizacijo sprva pripisal le islandskemu dvolomcu. Malus je leta 1811 ti dve lastnosti svetlobe opisal še za druge snovi in sploh za vse pojave, kjer se impulz svetlobnega žarka loči na komponente ob lomu. Robida je opisal dvojni lom z medsebojnimi vplivi svetlobnega impulza in privlačne sile med molekulami.

Čeprav je Robida raziskoval svetlobo in še posebej polarizacijo s Cauchyjevo teorijo vakuuma in atomov, je Cauchyjevo povezavo med hitrostjo in valovno dolžino valov v *Mémoire sur la dispersion de la lumière* (1830) in ustrezno Hesslerjevo tabelo iz učbenika omenil le v svoji zgodovini fizike,<sup>24</sup> ne pa v poznejših optičnih razpravah.

## 7 VAKUUM V CAUCHYJEVI OPTIKI

Cauchy je začel raziskovati disperzijo že leta 1835 in 1836 v Pragi; sončna Goriška je nato blagodejno vplivala na njegova razmišljanja o svetlobi, etru in vakuumu. Že januarja 1836 je širjenje svetlobe v izotropnem etru primerjal z Fraunhoferjevimi meritvami lomnih indeksov. V zadnjih tednih pred prihodom v Gorico se je lotil raziskovanja disperzije svetlobe ob študiju lastnosti vakuuma-etra. Na posrečen način je prilagodil slovito Boškovićevo silo, ki je bila še do nedavnega glavni predmet študija goriških in ljubljanskih fizikov. V Cauchyjevem modelu so se pri večjih razdaljah molekule etra privlačile s silo teže, ki pada z obratno vrednostjo kvadrata razdalje. Pri manjših razdaljah je upošteval Boškovićeve domneve o odbijanju molekul obratno sorazmerno četrti potenci razdalje. Cauchyjev eter je nujno zelo gost sistem molekul; gostota je največja v vakuumu brez disperzije, manjša pa v telesih z disperzijo. Objavil je splošno enačbo gibanja v enoosnem sistemu molekul ter raziskal širjenje valov v izotropnem in enoosnem sistemu.<sup>25</sup>

V Gorici je Cauchy zasnoval nova razmišljanja o optiki na osnovi Jaminovih (J. Gamin, \* 30. 5. 1818; † 12. 2. 1886) raziskovanj odboja in Fraunhoferjevih raziskovanj disperzije. 15. 12. 1837 je pisal jezuitu Moignoju v Pariz o pravokotni polarizaciji; prisiljen je bil namreč spremeniti svoje mnenje in sprejeti

<sup>16</sup> Robida, 1860, 23, 25; Šubic, 1874, 460; Maite, 234

<sup>17</sup> Šubic, 1862, 142

<sup>18</sup> Robida, 1861, 7–9; Robida, 1860, 23, 3

<sup>19</sup> Robida, 1861, 7–9

<sup>20</sup> Robida, 1861, 11, 17; Robida, 1862, 2

<sup>21</sup> Robida, 1862, 13

<sup>22</sup> Robida, 1862, 13

<sup>23</sup> Robida, 1862, 22. poglavje, podobno kot pri Maxwellovem opisu elektromagnetnega valovanja leta 1873

<sup>24</sup> Robida, 1854, 28; Hessler, 1852, XXXIX–XLV

<sup>25</sup> Belhoste, 1991, 169–170.



Fresnelovo domnevo o vibriranju molekul pravokotno na ravnino polarizacije. Cauchy je v tej goriški razpravi pod naslovom *Lois de propagation de la lumière dans le vide et dans les milieux qui ne dispersent pas les couleurs* obravnaval širjenje svetlobe v vakuumu in v kovinah; to je eden redkih ohranjenih Cauchyjevih rokopisov.<sup>26</sup> Tako se je Cauchy posvetil raziskavam lastnosti vakuuma prav v Gorici; obenem je med prvimi preučil obnašanje svetlobe ob površini kovin in drugih neprozornih snovi. Nekaj dni pred odhodom v Gorico je 3. 10. 1836 pisal Libriju v Pariz v hudi jezi zaradi Aragojeve kritike, objavljene dne 10. 8. 1836. Arago je zavrnil Cauchyjeve domneve o nični disperziji v vakuumu; Cauchyjeva politika mu je bila tudi sicer zoprna. Seveda Cauchy ni ostal dolžan Aragoju in je zagotavljal, da fiziki niso odkrili po Aragoju napovedanih pojavov, ki tako ne prinašajo novosti v znanost. Cauchy ni maral Aragoja predvsem zato, ker je le-ta po začetni podpori Fresnelovi optiki pozneje odklonil teorijo transverzalnih valov in celo uporabljal sistem emisije.<sup>27</sup> Tako so novice skupaj s pariškimi akademskimi prepri pritekale k Cauchyju v Prago in pozneje v Gorico le z enomesečno zamudo. S Cauchyjem je naša Gorica za polni dve leti postala središče fizikalnega in matematičnega raziskovanja svetovne ravni.

Leta 1838 je Cauchy pri pariški akademiji objavil dve razpravi o podobnosti med ravnimi valovi in valovi, ki povzročajo polarizacijo in dvojni lom svetlobe. Takoj po vrnitvi iz Gorice v Pariz je Cauchy 29. 10. 1838 poročal o vibracijah etra-vakuuma v okolju ali v sistemu dveh okolij, kjer se svetloba na enak način širi vzporedno osi ali pravokotno nanjo. 28. 10. 1839 je poročal o tlakih in napetostih v dvojnem sistemu molekul dveh različnih snovi z medsebojnim privlakom in odbojem na temelju Mariottovega zakona o relativnem tlaku plina in Ampèrovih idej o toploti in svetlobi. Cauchy si je zamislil molekule kot mnogokotnike iz treh ali več atomov, najraje kot oktaedre s po šestimi atomi, povezane z Avogadrovimi in Ampèrovimi tedaj novimi dvoatomnimi molekulami plinov. Atomi istih vrst se v vakuumu odbijajo in zasedejo nasprotna mesta v mnogokotni molekuli. Seveda bi se glede na pomanjkanje meritev atomi enakih vrst prav lahko med seboj celo privlačili. Cauchy je pojasnil spreminjanje sestavnih delov molekul in variacije, ki jih je Mitcherlich opazil pri spreminjanju kotov kristala, razširjenega zaradi toplote. Oblika molekul tako ni



**Slika 4:** Cauchyjev dunajski sodelavec fizik in vakuumist Andreas von Ettingshausen (\* 25. 11. 1796 Heidelberg; † 25. 5. 1878 Dunaj).

stalna, kristal pa je sistem materialnih točk skorajda v Boškovičevem pomenu. Zaradi velikih izparilnih in talilnih toplot je Cauchy domneval, da je toplota trdnih teles odvisna le od vibracij molekul okoli težišča, v plinih pa se posamezne molekule lahko vrtijo še same zase.<sup>28</sup> Tako je napovedal razmišljanja o prostostnih stopnjah, ki so postale temelj poznejše Boltzmannove statistične mehanike in Stefanove razširjene uporabe enačb hidrodinamike.

29. 11. 1838 je Cauchy opisal širjenje ravnih valov v sistemu molekul s privlakom in odbojem na zelo majhnih razdaljah ob polarizaciji in dvojnem lomu. Izpeljal je zelo enostaven postopek, iz katerega je takoj sledila formula za površinske valove. Podobno enačbo je izpeljal Cauchyjev dunajski sodelavec fizik Ettingshausen za polarizacijo v prozornih telesih na osnovi Cauchyjeve goriške razprave, objavljene dne 29. 10. 1837.<sup>29</sup> Sončna Gorica je tako vedno znova botrovala zanimivim napovedim optike in teorije vakuuma. Ettingshausen je svetle in temne črte v spektru Sonca ter drugih svetil pojasnil z valovno teorijo svetlobe in o rezultatih poročal Cauchyju. Nekaj let pozneje je Cauchy pri pariški akademiji objavil podobno dopolnjeno teorijo etra in vakuuma dne 22. 4. 1839.<sup>30</sup>

Poznejši Stefanov učitelj baron Andreas von Ettingshausen (\* 1796; † 1878) je tako sodeloval z "začasnim" Goričanom Cauchyjem. Ettingshausen je prišel na Dunaj s svojim očetom oficirjem. Najprej je študiral filozofijo, pravo in artilerijske

<sup>26</sup> Belhoste, 1991, 171–172, 280; Arhiv Cauchyjeve pranečakinje madame Pomyers v njeni rezidenci v kraju Ivoy-le-Pré

<sup>27</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 36–38, 190

<sup>28</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 516, 517, 522

<sup>29</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 99, 103, 106

<sup>30</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 330

vede na *Bombardierschule*, kjer je do nedavnega predaval Vega, za njim pa poznejši novomeški profesor Ramutha.<sup>31</sup> Nato je Ettingshausna začela zanimati predvsem matematika. Leta 1817 je postal adjunkt za matematiko na univerzi v Innsbrucku. Od leta 1821 do leta 1835 je bil profesor višje matematike na dunajski univerzi, nato pa je zamenjal katedro za fiziko, uporabno matematiko in mehaniko. Leta 1826 je vodilni dunajski atomist in vakuumist Ettingshausen skupaj z Baumgartnerjem na Dunaju začel izdajati odmevno fizikalno-matematično revijo. Dne 4. 3. 1840 je Ettingshausen prvi na svetu posnel fotografijo skozi mikroskop z Daguerrovim postopkom. Leta 1852 je postal profesor inženirskih ved na dunajskem politehniškem institutu. Leta 1853 je organiziral Dopplerjev Institut za fiziko dunajske univerze z odmevnimi vakuumskimi poskusi. Utemeljil je Dunajsko akademijo znanosti in jo od leta 1847 do 1850 vodil kot glavni tajnik. Leta 1862 je bil rektor dunajske univerze; žal ga je kmalu začela pestiti bolezen in si je moral izbrati Stefana za svojega naslednika pri Fizikalnem institutu.

Cauchy si je takoj po odhodu iz Gorice dne 10. 12. 1838 zamislil nihanja molekul okoli ravnovesne lege, ki jih je opisal kot vzporedne elipse.<sup>32</sup> Dopolnil je Descartesov lomni zakon za primer neprozornih snovi in opisal gibanje žarka v vakuumu.<sup>33</sup> Zemlja naj bi ob gibanju skozi vesolje s seboj nosila še precejšnjo maso etra in z njo povzročala aberacijo.<sup>34</sup>

Cauchy je vztrajal v Gorici vse do polnoletnosti prestolonaslednika; po vrnitvi v Pariz je potreboval kar nekaj časa, da si je povrnil prejšnje časti. Podpirala sta ga Biot in Arago, nasprotoval pa mu je Poisson. Takoj po vrnitvi v Pariz se je Cauchy dne 22. 4. 1839 obregnil ob Poissonove kritike, da Cauchyjeve enačbe dobro opisujejo prehod svetlobe iz zraka v vodo, slabše pa iz zraka v steklo.<sup>35</sup> Laplace je nekoč prerokoval veliko prihodnost mali ribi Poissonu, Lagrange pa domala sočasno malemu Cauchyju; žal pa nihče ni napovedal njunih žolčnih sporov.

Dne 17. 6. 1839 se je v pariške zdrave vmešal še Irec James MacCullagh (\* 24. 10. 1809 Landahaussy; † 24. 10. 1847 Dublin); v pismu Aragoju je zahteval prioriteto pri nekaterih Cauchyjevih enačbah za računanje intenzitete, spremembe faze in polarizacije svetlobe, odbite od kovin. Tako Cauchy kot MacCullagh sta upoštevala predvsem Brewsterjeve poskuse, čeravno je Brewster zavračal valovno teorijo svetlobe. MacCullagh se je rad zapletal v številne boje za prvenstvo; zdelo se je, da na bojno polje določenega obetavnega znanstvenega problema vedno vstopi za las prepozno. Sodeloval je z rojakom Hamiltonom pri njegovih optičnih raziskavah, leta 1840 pa je v Torinu v stanovanju prijatelja Babbagea srečal Cauchyjevega nekdanjega študenta Menabra in

Cauchyjevega nasprotnika s torinske univerze astronoma Jeana Planaja.

Cauchy je dokazoval, da je MacCullagh uporabljal drugačno enačbo za lomni indeks kovin in njihovih tankih površinskih plasti. Takoj po odhodu iz Gorice je Cauchy 28. 4. 1839 objavil raziskavo šestih enačb gibanja in neskončno majhnih premikov dveh sistemov molekul, ki prodirata drug v drugega. Opisal je izoliran eter, podoben vakuumu v okolju, s hitrostjo longitudinalnih valov enako nič, kot je počel že devet let prej. V drugi inačici svoje teorije je bil toliko zaverovan v svojo matematiko, da je pismu Ampèru 19. 2. 1836 neomejeno verjel v prihodnjo meritev longitudinalnih valov s spreminjanjem gostote etra, morda v povezavi s toploto; to je bilo blizu Robidovim, Helmholtzovim, Hertzovim in Röntgenovim poznejšim razmišljanjem.

Christiaan Huygens si je med prvimi zamislil eter kot svetlobni plin. Cauchyjeva Zemlja je vlekla eter za seboj na svoji poti okoli Sonca; žal pa je to oteževalo razumevanje aberacije, ki jo je James Bradley meril leta 1720. Zaradi nemerljivosti longitudinalnih valovanj v etru-vakuumu je Cauchy predpostavil negativno stisljivost etra oziroma vakuuma. Žal je George Greene dokazal nestabilnost takšnega etra. Longitudinalni valovi se pač ne morejo širiti skozi vakuum, saj tam ni ničesar, kar bi se lahko redčilo ali zgoščevalo.

Podobno Robidi je imel tudi Cauchy toploto za vibracijsko gibanje, ki se lahko štiri v vakuumu, torej v izoliranem etru. Po Ampèru je enačba za gibanje toplote drugega reda po času in četrtega reda po koordinatah podobna Cauchyjevim vibracijam s spreminjanjem gostote etra, torej stopnje vakuuma. Fourierova splošna enačba za opis toplote je omogočala totalno polarizacijo. Tako si je že astronom Herschel lahko zamislil svetlobo, ki brez toplotnih valov potuje po vakuumu medzvezdnega prostora ali po drugih povsem prozornih in izotropnih telesih.

Problem matematičnih napovedi nezaznavnih longitudinalnih valov se je vlekel že od Cauchyjevega opisa deformacije v kristalu s tenzorji leta 1822. Dne 27. 1. 1823 je Cauchy raziskoval gibanje dveh druga na drugo postavljenih kapljev, od katerih je bila le ena stisljiva. Uporabil je enačbo za valove v stičnih točkah obeh kapljev iz svoje valovne teorije, za katero je leta 1815 dobil nagrado pariške akademije.

Dne 17. 11. 1823 je Cauchy poročal pariški akademiji o vplivu privlačne sile molekul na gibanje valov. Viskoznost tekočin povzroča privlak molekul na

<sup>31</sup> Aquinas Ramutha (\* 1787; † 1861)

<sup>32</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 114, 121

<sup>33</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 137, 141

<sup>34</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 191

<sup>35</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 322

majhnih medsebojnih razdaljah podobno kot v Boškovičevi teoriji atomov in vakuumu.

Leta 1827 je Cauchy govoril akademikom o Navierjevih enačbah gibanja, ki jih je naslednje leto posplošil za anizotropne trdne snovi, neodvisno od sočasnih Poissonovih raziskovanj. Dne 4. 5. 1829 je Cauchy povzel svoja raziskovanja ravnovesja in gibanja fluidov. 21. 7. 1829 je v pismu Libriju opisal torzijo elastičnih palic, ki jo je Savart prav tedaj potrdil s poskusi.<sup>36</sup>

Cauchyjevo stopnjevanje hitrosti longitudinalnih valov proti nič ali proti neskončnosti je bilo seveda zasilno iskanje načela, iz katerega bi lahko izpeljali enačbo gibanja. To je uspelo šele MacCullaghu, ki si je zamislil trdno snov s prožnostno energijo, odvisno le od zasuka. Čeprav je idejo zapisal že ob prepiru s Cauchyjem leta 1839, so jo objavili šele po MacCullaghovem samomoru devet let pozneje. Seveda je bila ideja veliko preveč divja, da bi jo lahko sprejeli resni znanstveniki.

Stokes je opisal eter kot plastično trdno snov, ki postane prožna pri hitrem gibanju. Cauchy si je molekule etra zamislil veliko manjše od njihove medsebojne oddaljenosti; hitrost Cauchyjeve svetlobe je bila odvisna le od sestave teles. V zmedu tedanjih nezadostnih poskusov je Cauchy zaporedoma objavil dve različni teoriji optike kristalov, tri različne modele odboja ter kar tri različne teorije elastičnosti oziroma etra in vakuumu v letih 1830, 1836 in 1839. Vse njegove ideje so dajale vsaj približno točne enačbe; med seboj pa so si nasprotovale ob netočnih robnih pogojih in nereálnih velikostih konstant. Pozneje je opustil domnevo o enaki gostoti etra v vakuumu in v telesih s tlakom molekul, sorazmernim tretji potenci gostote etra. Bili so to pač streli v megli in še v temi za po vrhu. Natančno so bili potrjeni le Fresnelovi zakoni odboja; usmerjenost ravnine nihanja glede na ravnino polarizacije, gostoto in elastičnost etra-vakuumu pa je moral Cauchy uganjevati kar brez resnih meritev. Tako so temelji sodobne teorije vakuumu nastajali na razmeroma trhljih temeljih pod vročim goriškim soncem.

Cauchy je sprva predpostavil vzporedno, pozneje pa pravokotno ravnino nihanja in ravnino polarizacije. Obenem je razvil kar tri inačice robnih pogojev pri prehodu žarkov svetlobe iz enega okolja v drugo. Seveda je imel vsakokrat znova prav, saj je bil takšne vrste pomemben človek, ki ima vedno pri roki pravilne rešitve in je vedno samozavesten; še posebno takrat, ko se moti. Cauchyjevo idejo o longitudinalnem toplotnem valovanju v etru iz let 1837 in 1842 je izredno ostro zavrnil Biot v *Journal des Savants*;

zato je Cauchy natis svojega dela celo opustil in o optiki ni več objavljaj vse do revolucionarnega leta 1848.<sup>37</sup>

## 8 SKLEP

Dveletno bivanje v sončni Gorici je še posebno spodbudilo Cauchyjevo zanimanje za optiko in vakuum. Že v Pragi je veliko pisal o etru v vesolju; uporabljal je predvsem ideje svojega učitelja Ampèra. Razmišljanja je nadaljeval pod jasnim goriškim nebom in jih nato pridno objavljaj po vrnitvi iz Gorice.<sup>38</sup>

S Cauchyjevim delom v Gorici so slovenske dežele več kot enakopravno vstopile v srednjeevropski prostor razprav o vakuumu. Vzporedno s Cauchyjevimi razmišljanji o vakuumu, etru in optiki tankih kovinskih plasti ob površini sta zrasli prvi uspešni srednjeevropski vakuumski podjetji Leybold in Heraeus. Teorija in praksa, akademska ter dobičkonosna razmišljanja o vakuumu so se tako razvijala vzporedno in vendarle vsako zase; od Boylovih in Guerickovih časov se nikoli niso več združila v enotno raziskovanje, saj ju niso več razvijali isti ljudje. Teorija in poskus sta postala predmet dveh različnih poklicev fizika; teoretiki vakuumu so se vedno bolj ločevali od raziskovalcev vakuumske tehnike. Cauchyjevo pojmovanje vakuumu in etra je utrpelo hud udarec z Einsteinovo teorijo brez etra, katere stoletnico praznujemo v letošnjem letu fizike.

## 9 ZAHVALA

Za pomoč se zahvaljujem dr. Milanu Hladniku, mag. Gašperju Jakliču, dr. Branku Marušiču, dr. Marku Razpetu in dr. Janezu Šumradi.

## 10 LITERATURA

- Bader, Luigi. 1977. *Les Bourbons de France en exil à Gorizia*. Paris: Perrin. Prevod: 1994. *I Borboni di Francia in esilio a Gorizia*. Gorizia: Cassa di Risparmio
- Belhoste, Bruno. 1991. *Augustin-Louis Cauchy. A Biography*. New York: Springer-Verlag
- Cauchy, Augustin. 2. 11. 1840. Rapport sur le nouveau système de navigation à vapeur de M. le marquis Achille de Jouffroy. *C. R.* 11: 678. Ponatis. 1885. *Oeuvres*. 1/5: 424–431
- Cauchy, Augustin. 12. 6. 1843. Sur un nouveau système de chemin de fer. *C. R.*
- Cauchy, Augustin. 16. 11. 1846. Rapport sur le système proposé par M. de Jouffroy pour les chemins de fer. *C. R.* 23: 911. Ponatis. 1897. *Oeuvres*. 1/10: 202–205.
- Cauchy, Augustin. 1882–1975. *Oeuvres complètes d'Augustin Cauchy*. Publiées sous la direction scientifique de l'Académie des sciences et

<sup>36</sup> Belhoste, 1991, 297, 302, 324–325

<sup>37</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 333, 343, 431, 493, 495; Rosenberger, 1890, 311, 314; Mladženović, 1985, 145–146; Belhoste, 1991, 200

<sup>38</sup> Cauchy, 1884, 1/4: 483–484

- sous les auspices de M. le Ministre de l'instruction publique. 1: 1–12; 2: 1–15. Paris: Gauthier-Villars
- Heraeus – W. C. Heraeus Vakuum-Schmelze GmbH v mestu Hanau
- Hessler, J. Ferdinand. 1852. Lehrbuch der Physik. Nach den Bedürfnissen der Technik, der Künste und Gewerbe, zum Gebrauche beim Unterrichte in technischen Schulen, so wie beim Selbstunterrichte. 672 lesorezov. Wien: Braumüller
- Leybold. 1994. *Das Geschäftsjahr 1994*. Oerlikon Bühler Konzern
- Maite, Bernard. 1981. *La Lumière*. Paris: Seuil
- Mladženović, Milorad. 1985. *Razvoj fizike, Optika*. Beograd: IRO, Građevinska knjiga
- Robida, Karl. 1854. Entwicklungsgang der Physik von der ältesten Zeiten bis auf die Gegenwart, III. *Programm des k. k. Staatsgymnasiums zu Klagenfurt. Am Schlusse des Studien-Jahres 1853*, 1–69
- Robida, Karl. 1860. Grundzüge einer naturgemässen Atomistik mit daraus abgeleiteten Schwingungsgleichungen. Klagenfurt: Druck von Johann Leon
- Robida, Karl. 1861. Erklärung der Lichterscheinungen, XI. *Programm des k. k. Gymnasiums zu Klagenfurt. Am Schlusse des Studien-Jahres 1861*. 1–39
- Robida, Karl. 1862. Erklärung der Beugung, Doppelbrechung und Polarisation des Lichtes. XII. *Programm des k. k. Gymnasiums zu Klagenfurt. Am Schlusse des Studien-Jahres 1862*. 1–30
- Rosenberger, Ferdinand. 1890. *Geschichte der Physik*. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn. III. del
- Scheitz, Benno. 1878. Nekrologe. Professor Karl Robida. *Programm des Staats-Obergymnasiums zu Klagenfurt*. 53–56
- Šorn, Jože. 1984. *Začetki industrije na Slovenskem*. Maribor: Založba Obzorja