

## Stalno strokovno spopolnjevanje za učitelje fizike v srednjih šolah

Oddelek za fiziko, Fakulteta za matematiko in fiziko

---

“Naravoslovci raziskujejo svet, kakršen je,  
inženirji ustvarjajo svet, kakršnega še nikoli ni bilo.”

Theodore von Karman

“Naravoslovci in inženirji sestavljajo manj  
kot 5 % prebivalstva, a ustvarijo več kot 50 % BDP.”

Readers Digest, 2005

### KAKO FIZIKA KORISTI LJUDEM

Janez Strnad

#### Uvod

“Korist” ni dobro opredeljena in nikakor ni fizikalna količina, ki bi jo bilo mogoče meriti. Tej težavi se poskusimo izogniti tako, da upoštevamo samo primere, v katerih se zdi korist velika. Vsi ljudje od fizike nimajo enakih koristi. Tu mislimo na ljudi v razvitem svetu.

Najprej poskusimo pregledati koristi, ki so jo ljudem prinesle veje fizike. Nekatere mehanične naprave, na primer kolo, kolo na vreteno, klanec, vijak, zagozdo, vzvod, uporabljajo ljudje že zelo dolgo. Delovanje vzvoda so pojasnili že v starem veku, čeprav po napačni poti. Mehanika je dobila ime po napravah. Težko bi rekli, da je fizika znatno prispevala h koristim, ki so jih ljudje imeli od njih.

Gibanje spočetka ni sodilo v mehaniko, z njim se je ukvarjala filozofija narave. Razvoj je tekel iz astronomije preko Nikolaja Kopernika (1543) in Johannesesa Keplerja (1609) do Isaaca Newtona (1687). To se ne zdi presenetljivo, saj je pri poskusih na Zemlji motilo trenje. Približno lahko rečemo, da so zakoni mehanike sledili uporabi naprav.

Nekaj podobnega je mogoče reči za termodinamiko. Po znani trditvi “fizika več dolguje parnemu stroju kot parni stroj fiziki”. O toplotnih strojih sta sicer razmišljala Christiaan Huygens (1673) in Denis Papin (1690), za razvoj pa so bili zaslužni Thomas Savery (1699), Thomas Newcomen (1712) in James Watt (1775).

Vzporedno je tekla druga veja razvoja. Termoskop je izdelal Galileo Galilei in florentinske termometre njegovi nasledniki. Gabriel Daniel Fahrenheit (1714) in Anders Celsius (1742) sta prispevala k merjenju temperature, Robert Boyle (1662), Jacques Charles (1787) in Joseph-Louis Gay-Lussac (1802) pa k plinskim zakonom. V okvir mehanike in termodinamike bi bilo mogoče šteti polete z baloni ter promet z avtomobili, železnico, letali in ladjami. V teh primerih je fizika pozneje veliko prispevala k razvoju.

#### Električni tok

Glavno pozornost posvetimo elektriki, ne da bi s tem izčrpali vse pridobitve fizike. Veliko pomembnih koristnih spoznanj fizike se v kratkem pregledu ne moremo

dotakniti, med drugimi nanofizike, fizike mehke snovi. Samo mimogrede omenimo, da so zasloni s tekočimi krostali in plazemski zasloni že precej izpodrinili katodne cevi, ki jih bomo omenili.

Že v starih časih so poznali učinek jantarja, blisk, Elijev ogenj (koronski tok) in udar električne jegulje, ne da bi pojave med seboj povezali. V 10. in 11. stoletju so začeli uporabljati kompas. Električne pojave je z magnetnimi povezal William Gilbert (1600). V 17. stoletju so se zanimali za elektrenje teles, večinoma za zabavo. Poskuse je delal Otto von Guericke (1672). Luigi Galvani je odkril "živalsko elektriko" (1791). Alessandro Volta je pojave pojasnil in izdelal galvanske člene in baterije (1799). Z Voltovo baterijo je bilo mogoče vzdrževati tok po sklenjenem krogu. Hans-Cristian Ørsted je odkril vpliv toka na magnetnico (1820). Michael Faraday si je zamislil zasnovo električnega motorja (1821). Pozneje je odkril indukcijo (1831) in si zamislil homopolarni generator kot zasnovo generatorja (1831). Na javnem predavanju o indukciji naj bi predsedniku vlade na vprašanje, čemu to koristi, odvrnil, da bo vlada od tega še pobirala davke. Izvedba mootorja in generatorja Faradaya nista zanimali.

Električne motorje so razvili Hippolyte Pixii (1832), Joseph Saxton (1833), William Sturgeon, Thomas Davenport in Moritz Hermann von Jacobi (1834). Enosmerne motorje je bilo mogoče uporabiti kot generatorje. Thomas Alva Edison je izumil vakuumsko žarnico z ogleno nitko (1879), ki je postopno izpodrinila obločnico. Razsvetljava je spodbudila gradnjo enosmernih električnih omrežij.

Ernst Werner von Siemens je z družbo, ki jo je osnoval z Georgom Halskejem (1847), s telegrafskim kablom povezal Berlin in Frankfurt (1849). Dinamostroja, ki ga je izdelal, še niso mogli uporabiti v večjem obsegu (1856). Potem je trajne magnetne v njem nadomestil z elektromagneti, tako da je na tuljave priključil del inducirane napetosti (1867). Te naprave za enosmerni tok so delovale kot generatorji in kot motorji, kar je bilo pomembno za pogon strojev v tovarnah in železnico. Na obrtni razstavi v Berlinu je pokazal lokomotivo z motorjem za 2 kW (1879) in v berlinskem predmestju zgradil cestno železnico s tretjo tirnico (1881). S tem je elektrika v Nemčiji postala pomembna za gospodarstvo.

Lucien Gaulard je uporabil indukcijske tuljave v dinamostroju kot "sekundarne generatorje" (1880). Titus Blathy, Karl Déri in Karl Zipernowsky so z njimi kot transformatorji po potrebi prilagodili tok ali napetost in s tem dosegli prednost za izmenični tok (1882). Galileo Ferraris je sestavil elektromotor z dvema elektromagnetoma, ki sta ju poganjala izmenična tokova s fazno razliko  $90^\circ$  (1885). Tako je dobil vrteče se magnetno polje, ki ga je uporabil tudi v merilne namene. Nikola Tesla je večfazni tok uporabil za kratkostični motor (1887). S tem se je izognil neprijetnemu iskrenju pri komutatorju in dosegel še eno prednost za izmenični tok. Izdelal je tudi druge naprave na trifazni tok in ponudil celovit načrt in ga patentiral (1888). O prednostih svojega načrtaja predaval članom Ameriškega inštituta elektriških inženirjev, predhodnika Inštituta elektriških in elektronskih inženirjev IEEE. Michael von Dolivo-Dobrowolski je trifazni tok prenašal po daljnovodu in z njim napajal kratkostične motorje (1891). Teslovo delo je podprl George Westinghouse. Že prej je odkupil angleške patente za generator in transformator, ki pa se pri preizkusu v omrežju v manjšem kraju niso obnesli. Tesla je sodeloval pri uvajanju in na njegov predlog so sprejel frekvenco 60 na sekundo.

Edison je zagrizeno zagovarjal enosmerni tok in nasprotoval izmeničnemu. Svojo družbo je spojil z drugo v General Electric, da bi se bolje uprl Westinghousovim

načrtom. Izbruhnila je “vojna tokov”. Nazadnje so za svetovno razstavo ob štiristoletnici Kolumbovega odkritja Amerike zaradi znatno nižje cene sprejeli ponudbo Westinghousove družbe za izmenični tok. Na razstavi je Tesla pokazal “električno Kolumbovo jajce”, bakreno jajce, ki se je vrtelo v vrtečem se magnetnem polju. Izmenični tok se je uveljavil, ko so se zanj odločili pri gradnji elektrarne ob Niagarskih slapovih.

Vsaka država daje prednost svojemu odkritelju, kar je delno razumljivo tudi zato, ker elektrifikacija v vseh državah ni potekala enako. Tedaj velike multinacionalne družbe še niso tako obvladovale tržišč kot danes in “globalizacija” še ni dosegla današnje stopnje.

### Telegraf in telefon

Nekdaj so sporočila na daljavo prenašali sli na konjih. V sili so uporabljali v naših krajih kresove na hribih, v Afriki bobne, Indijanci dimna znamenja, vojaki zrcala, pomorščaki zastavice. V Franciji so v 18. stoletju celo zgradili semaforski telegraf. Na visokih stavbah v smiselni medsebojni razdalji so namestili lesene vzvode in s pregibanjem sestavljali različne znake. Nekaterih od omenjenih načinov niso mogli uporabljati v oblačnem vremenu, megli ali temi.

Potem so za prenašanje sporočil začeli izkoriščati električne in magnetne pojave. Bezgova kroglica elektroskopa se je odklonila, ko so na drugo krajišče kovinskega vodnika priključili stroj za elektrenje ali naelektreno leidensko steklenico. Po uvedbi Voltove baterije so se v elektrolizni celici v vodi pojavili mehurčki vodika in kisika, ko so na drugem krajišču s stikalom sklenili električni krog z ozemljenim vodnikom. André-Marie Ampère je dosegel, da se je odklonila magnetnica, ko je na drugem krajišču s stikalom v ozemljenem vodniku sklenil električni krog. Karl Friedrich Gauss in Wilhelm Eduard Weber sta na ta način prenašala sporočila med laboratorijem in zvezdarno po trikilometerskem vodniku (1833). Pri tem so se morali dogovoriti za znake. Najbolj znani so postali znaki iz pik in črt, ki jih je Samuel Morse preiskusil (1837) in patentiral (1840). V Angliji je začel delovati prvi javni telegraf (1841). V Združenih državah je Morse z izpopolnjeno napravo prvič prenesel sporočilo iz Baltimora v Washington (1844). Pozneje so razvili telegrafe, ki so zapisovali sporočila s pikami in črticama na gibljiv papirnat trak. Sledile so še bolj izpopolnjene različice, nekatere od njih so se obdržale precej časa, na primer teleprinter.

V Franciji so mislili, da je mogoče govor prenašati tako, da treslaji opne prekinjajo električni krog (1855). Johann Philipp Reiss je spoznal, da opna ne sme prekiniti električnega kroga, ampak mora s svojim gibanjem zvezno vplivati na tok. Zato je opno povezal s paličko, ki je segala v tuljavo do spremenljive globine. Po telefonu je prenesel zvok (1860) in izpopolnjeno napravo pokazal na predavanju (1861). Opna iz živalskega črevesa pa je bila preveč občutljiva, da bi lahko naprave množično izdelovali. Spočetka je bilo mogoče prenašati glasbo, govor je bilo težko razumeti. Alexander Graham Bell je dobil ameriški patent za telefon (1876). Samo dve uri za njim je vložil patentno prijavo drugi Američan Elisha Gray. Po dolgotrajnem sporu je vrhovno sodišče ZDA razsodilo v Bellovo korist. Približno ob istem času je svoj telefon izdelal Italijan Antonio Meucci.

Uporabili so vse boljše mikrofone, ki so nihanje opne spremenili v izmenični tok. V ogletem mikrofONU se po nihanju opne spreminja upor oglenega prahu v posodici ob opni in se spreminja tok, ki ga po krogu poganja baterija. Drug mikrofON izkorišča spremembo kapacitete kondenzatorja z opno kot elektrodo v krogu z baterijo. Baterije

ne potrebuje mikrofona s piezoelektričnim kristalom, na katerem se pojavi napetost, ko ga stisnemo. V elektrodinamičnem mikrofona je opna povezana s tuljavico, ki sega v polje trajnega magneta in na kateri se inducira napetost, ko se giblje po magnetnem polju.

### Radijski prenos

Heinrich Hertz ni uspel neposredno izmeriti premikalnega toka, ki ga je vpeljal James Clerk Maxwell. Posredno pa se je o njegovem obstoju prepričal z radijskimi valovi (1887). Poskuse so ponovili med drugimi Oliver Lodge v Angliji, Augusto Righi v Italiji, Aleksander Popov v Rusiji, Edouard Branly v Franciji, Tesla v Združenih državah. Tesla si je že prej prizadeval, da bi dobil izmenični tok s čim večjo frekvenco. Generatorji z vrtečimi se ali nihajočimi deli niso zmogli več kot dvajset tisoč nihajev na sekundo. Veliko večje frekvence je dosegel s Teslovim transformatorjem (1891). Z njim je ustvaril tudi več deset metrov dolge iskre. Pri poskusih je zaznaval učinke v znatni razdalji od transformatorja. V predavanjih je orisal prednosti brezžične telegrafije in jih podprl s poskusi (1893). Po enoletni prekinitvi zaradi požara v laboratoriju je poskuse nadaljeval z valovi z manjšo frekvenco od Hertzeve (1896). Z njimi je prenašal sporočila na razdaljo več deset kilometrov (1897) in na daljavo krmilil model ladje (1898).

Popov je prenašal sporočila med dvema stavbama univerze v Sankt Peterburgu (1896), med ladjama v oddaljenosti 5 km (1897) in v oddaljenosti 43 km (1899). Indijec Jagdish Chandra Bose je z radijskimi valovi na daljavo prižgal smodnik in dosegel, da je zazvonil električni zvonec (1894) ter javno izvajal tovrstne poskuse in prenesel sporočilo na razdaljo, večjo od kilometra (1895). Italijan Guglielmo Marconi je pomislil, "da bi bilo mogoče pošiljati sporočila preko znatnih razdalj, če bi sevanje ojačilo, razvilo in nadzorovalo" (1894). Uporabil je visoke antene in in razne izboljšave ter prenašal sporočila med Anglijo in Francijo (1899) in med Anglijo in Ameriko (1901).

Marconiju je do leta 1904 ameriški patentni urad vztrajno zavračal patentne prijave. Tega leta se je premislil in sprejel njegov patent. Leta 1943, nekaj mesecev po Teslovi smrti, pa je Vrhovno sodišče Združenih držav priznalo enega od glavnih Teslovih patentov. Namigujejo, da so se s tema odločitvama izognili plačilu pristojbin najprej Teslu in potem Marconiju. Marconi je leta 1909 skupaj s Ferdinandom Braunom dobil Nobelovo nagrado za fiziko. Braun je izumil katodno cev (1897) in odkril, da nekateri kristali, med njimi cinkova svetlica, usmerjajo tok, če se jih dotika kovinska konica (1898). Drugo odkritje so uporabljali v preprostih radijskih sprejemnikih s slušalkami. Marconi ni ničesar odkril ali izumil, a "bi se brez njegove zagnanosti, zmožnosti in podjetnosti radio ne mogel komercialno uveljaviti".

V opisanih primerih so z radijskimi valovi prenašali samo sporočila z Morsovo abecedo. Sprejemna antena, ki je bila uglasena z oddajno, je sprejemala sunke radijskih valov ali pa jih ni sprejemala. Črti v Morsovi abecedi je ustrezalo veliko število sunkov, piki pa samo nekaj sunkov. Sunki so vsebovali le po nekaj nihajev, ker se je nihanje v nihajnem krogu razmeroma hitro zadušilo. Z radiom so lahko prenesli govor in glasbo šele, ko so dobili nedušeno električno nihanje. To so omogočile vakuumske elektronke. John Fleming je prvi uporabil vakuumsko diodo (1904), Lee de Forest pa triodo (1906).

## Radar

Pred drugo svetovno vojno so v številnih državah poskušali z radijskimi valovi zaznavati oddaljena telesa. Oddajnik je oddal kratek sunek kratkih radijskih valov in kot sprejemnik sprejel šibke valove, ki so se odbili od telesa. Po smeri odbitih valov je bilo mogoče ugotoviti smer do telesa, po zakasnitvi njegovo oddaljenost in po spremembi frekvence hitrost.

Prvi patent so dobili v Nemčiji in Angliji Christian Hülsmeier (1904), v Franciji Émile Girardeau in v Združenih državah Robert M. Page (1934). Rus P. K. Ošepkov je pokazal napravo, s katero je zaznal letalo v razdalji 3 km (1934). Podobno napravo je pokazal Madžar Zoltán Bay (1936). Anglež Robert Watson-Watt je predstavil učinkovit prototip (1935). Angleži so radar v vojni prvi uporabili na veliko. Spočetka so uporabljali valove s precejšnjo valovno dolžino in opazovali nejasne odboje. Razvoj je šel k čedalje manjšim valovnim dolžinam. Danes uporabljajo na primer na pasu X valovne dolžine od 2,5 do 3,75 cm, na pasu W pa celo od 2,7 do 4 mm. Gostota odbitega energijskega toka je sorazmerna s četrto potenco razdalje. Zato so potrebovali zmogljive ojačevalnike.

Albert Hull je raziskoval vpliv magnetnega polja na delovanje elektronk in si je zamislil zasnovo magnetrona z dipolnim magnetnim poljem (1920). Čeh August Žaček in Nemeč Erich Habban sta zmanjšala valovno dolžino od 3 m na 3 dm. V Nemčiji je magnetron izdelal Hans Hollmann (1935), a ga je nemška vojska odklonila. John Randall in Harry Boot sta na univerzi v Birminghamu izdelala uporaben magnetron, ki je dajal sunke zelo kratkih radijskih valov (1940). Magnetron je valjasta vakuum-ska elektronka z anodo v obliki kovinskega valja s sodim številom vdolbin in krilc. Na sredi je segreti katoda, iz katere izhajajo elektroni. Magneta na obeh osnovnih ploskvah ustvarita magnetno polje v smeri osi. To polje tirnice elektronov, ki jih poganja napetost več tisoč voltov, ukrivi in jih sili, da krožijo okoli katode. Elektroni v krožečem oblaku v vdolbinah v anodi vzbujaajo električno nihanje s frekvenco več milijard nihajev na sekundo. Antena v obliki žične zanke iz ene od vdolbin odvede valovanje po valovnem vodniku do oddajne antene. Magnetroni uporabljajo tudi v mikrovalovnih pečicah.

Brata Russell in Sigurd Varian sta si na univerzi v Stanfordu zamislila klistron (1937) in izdelala prototip (1939). K razvoju klistrona je veliko prispeval William Webster Hansen, ki se je po vojni vrnil v Stanford in sodeloval pri gradnji linearne elektronskega pospeševalnika. V klistronu z dvema resonatorjema v vakuumu curek elektronov potuje po cevi v vdolžnem magnetnem polju. Najprej gre skozi prvi resonator, na katerega je priključeno vhodno valovanje, potem pa skozi drugega, iz katerega je speljano ojačeno valovanje. Do ojačenja pride, ker med potovanjem od prvega resonatorja do drugega gruče elektronov postanejo bolj izrazite. Oscilator nastane, če povratna vez izhod poveže z vhodom. Refleksni klistron ima samo en resonator in odbojnik, ki zavrača curek elektronov na resonator. Klistroni uporabljajo pri prenašanju sporočil in kot ojačevalnike. V velikih trkalnikih delujejo kot oscilatorji, katerih napetost speljejo na pospeševalne celice, da pospešuje naelektrne delce.

Med svetovno vojno so zavezniki uporabljali magnetroni, sile osi pa klistroni, ki tedaj še niso zmogli velike moči. Angleži naj bi zaradi boljših radarjev dobili "bitko za Anglijo". Danes radar uporabljajo za nadzorovanje zračnega prometa, opazovanje vremena v meteorologiji, merjenja v astronomiji, merjenje hitrosti avtomobilov.

## Polprevodniški elementi

Okoli leta 1915 so v manj zahtevnih radijskih sprejemnikih na slušalke uporabljali kristalni usmernik s cinkovo svetlico. Zanimanje za polprevodnike je počasi naraščalo. Podelili so patenta za uporabo karborunda SiC in silicija v usmernikih (1906). V večjih usmernikih so uporabili selen in potem dibakrov oksid (1925). Začeli so delati poskuse z velikimi kristali. Spoznali so, da električni upor polprevodnikov z naraščajočo temperaturo pojema, medtem ko električni upor kovin z naraščajočo temperaturo narašča.

V desetletju pred drugo svetovno vojno so v ameriških Bellovih laboratorijih na Murray Hillu iskali možnosti, da bi se izognili počasnemu preklapljanju mehaničnih stikal v telefoniji. Znova so se začeli zanimati za dibakrov oksid, da bi prišli do hitrejših elektronskih stikal. Vodja skupine za raziskovanje polprevodnikov William Shockley je upal, da bo mogoče vakuumske elektronke nadomestiti s polprevodniki. V skupini so se odločili, da bodo posebno pozornost posvetili siliciju in germaniju, ki imata preprostejšo zgradbo kot dibakrov oksid.

S taljenjem v vakuumu so dobili dokaj čist silicij. Pri tem so ugotovili, da so nekateri kristali usmerjali tako, drugi drugače. Kristale, ki so prevajali, ko je bil silicij negativen, so imenovali n, kristale, ki so prevajali, ko je bil silicij pozitiven, pa p. Spočetka niso znali vplivati na to, kakšen kristal je nastal pri čiščenju. Potem so ugotovili, da je mogoče vplivati na to z neznatno primesjo petvalentnega ali trivalentnega elementa. Pri tem so izkoristili znanje o elektronih v kristalih, ki jih je v fiziko trdnih snovi vnesla kvantna mehanika.

Po drugi svetovni vojni sta v Shockleyevi skupini delala John Bardeen in Walter Brattain. Prvega je zanimala teorija, drugega površinske in optične lastnosti polprevodnikov. Po številnih neuspešnih poskusih sta opazila tranzistorski pojav. Na vrh kristala germanija n s kovinsko bazo na dnu sta naparila kapljico zlata in s tem naredila majhen priključek. V njegovi neposredni bližini sta namestila na vrh kristala volframovo konico. Zlato sta povezala s pozitivnim priključkom baterije, konico pa z negativnim priključkom druge baterije. Druga dva priključka obeh baterij sta bila povezana z bazo. Tako sta nastala dva električna kroga, kakršne so raziskali pri usmerjanju. V prvem je bil tok velik, v drugem pa majhen. Če se je povečal tok v prvem krogu, se je povečal tudi tok v drugem. Poskus sta ponovila, a sta na kristal germanija n naparjeno zlato z britvico prerezala in tako dobila priključka v razmiku okoli 5 stotin milimetra. V prvi krog sta speljala izmenični signal in na uporniku v drugem krogu dobila nepopačen ojačen signal. To je bil tranzistor s točkastima stikoma. Z dvema takima tranzistorjema sta naredila radijski sprejemnik (1949). Pozneje je Shockley pojasnil delovanje polprevodniške diode, ki jo sestavljata območje n in območje p. Vzporedno s tem je razvil teorijo tranzistorja "s ploskovnima stikoma" p-n-p in pozneje n-p-n.

Vzporedno so se razvijali tehniški prijemi. Pridobili so velike kristale germanija. V Bellovih laboratorijih so izdelali tranzistor, kakršnega je predlagal Shockley (1950). Do leta 1952 so dobivali polprevodnike n in p le s kristalizacijo iz taline. Tega leta so začeli izkoriščati postopek, pri katerem so spojino petvalentnega ali trivalentnega elementa nanесли na kristal in ga za dalj časa segreli, da so se atomi primesi vgradili v kristalno mrežo. Bardeen, Brattain in Shockley so dobili Nobelovo nagrado leta 1956.

## Miniaturizacija

Proti koncu druge svetovne vojne je oprema radarjev zahtevala veliko elektronk. Naprave z več sto elektronkami so bile precej nezanesljive, ker so se elektronke rade kvarile. Vrhu tega je zaradi velikega števila priključkov med sestavnimi deli cena elektronskih naprav naraščala hitreje kot število sestavnih delov. Prizadevali so si, da bi zmanjšali porabo moči v elektronskih vezjih in njihovo prostornino. Pri tem so razne ustanove in industrijske družbe ubirale različne poti.

Omenimo Elektronski številski integrator in računalnik ENIAC, "višek tehnike, ki je uporabljala elektronke". V sekundi je seštel do pet tisoč števil (1946). Vanj so vgradili skoraj 18 tisoč elektronk, tehtal je 30 ton, imel 460 kubičnih metrov prostornine in rabil moč 174 kilovatov, ki jo je bilo treba odvajati s hlajenjem. Devet let je bil to najhitrejši računalnik, potem pa so ga nehali poganjati, ker je bilo obratovanje predrago.

Vodilni član angleške radarske ustanove je izjavil: "Z odkritjem tranzistorja in delom na polprevodnikih nasploh se zdi zdaj mogoče, da si predstavljamo elektronsko napravo v enem kosu brez notranjih priključnih žic. Kos naj bi sestavljale izolirne, prevodne, usmerjevalne in ojačevalne plasti, njihovo električno delovanje bi bilo povezano s tem, kako bi izrezali njihove dele" (1952). Angleška družba, ki so ji poverili nalogo, pa ji ni bila kos.

Pomemben korak k rešitvi naloge je naredil Jack S. Kilby. Iz druge družbe je prešel k družbi Texas Instruments (1958). Med kolektivnim dopustom, do katerega kot novinec še ni imel pravice, je koval načrte. Pri izdelavi delov za radijske sprejemnike je spoznal, kako pomembna je cena izdelka in uvidel, da mora pot do miniaturizacije voditi preko polprevodnikov. Narisal je načrt, kako bi vse upornike, kondenzatorje in tranzistorje izdelal na majhnem kosu silicijevega kristala. Naredil je vezje, ki je še vsebovalo nekaj notranjih povezav z žičkami, in sestavil prva vezja iz germanija s kar se da malo žičkami (1958). Izboljšano vezje so v celoti izdelali po njegovem načrtu, ga prijavili kot patent "miniaturizirani elektronski krogi" in ga pokazali na razstavi (1959). Druge velike družbe so še oklevale, češ da do množične uporabe ne bo prišlo kmalu.

Manjše družbe so bile podjetnejše, med njimi tudi družba Fairchild. Osnovalo jo je osem mladih raziskovalcev, ki so zapustili Shockleyevo skupino (1957). V njej je raziskovanje in razvoj vodil Robert Noyce. Za notranje priključke je predlagal neparjeni aluminij in skupaj z Gordonom E. Moorom razvil nekaj novih postopkov. Kot patent je prijavil vezje s tremi tranzistorji in več diodami v enem kosu (1959). Kilby je menil, da je tudi v njegovem vezju mogoče namesto žičk uporabiti neparjeni aluminij. Patentni urad je pripombo upošteval, sodišče pa je dalo prav Noyceu (1969). Kilby in Noyce sta skupaj dobila medaljo Franklinovega inštituta za "pomembne in bistvene prispevke k razvoju integriranih vezij" (1966). Noyce je leta 1968 osnoval Intel in ga vodil do smrti leta 1990. Kilby je leta 2000 dobil polovico Nobelove nagrade za "prispevek k izumu integriranih vezij".

Zamisel je doživela številne izboljšave, preden se je iz nje razvila ploščica – "čip", kot jo poznamo danes. Po letu 1960, posebno po letu 1965, so na kristalu že spretno izdelovali zelo tanke izolatorske plasti iz silicijevega dioksida. Pozneje so razvili tehniko kovina-oksidi-polprevodnik MOS in zvezano z učinkom polja -MOSFET. Procesor Pentium vsebuje deset milijonov tranzistorjev, a ni večji kot "noht na palcu". Računalo, ki komaj pokrije dlan, je tisočkrat zmogljivejše od ENIAC-a. Izkušnje so

podprle "Moorov zakon", da se v poldrugem letu približno podvoji število sestavnih delov na kvadratnem centimetru vezja.

## Laserji

Albert Einstein je leta 1916 obravnaval sevanje atomov. Osredotočil se je na dve lastni stanji atoma. Sebi prepuščen atom iz stanja z večjo lastno energijo preide v stanje z manjšo s spontanim sevanjem. Pri tem izseva foton, ki prevzame razliko energij. Atom v stanju z manjšo energijo absorbira foton s pravo energijo in preide v stanje z večjo. Ob sevanju črnega telesa je Einstein ugotovil, da mora obstajati še tretji pojav, stimulirano sevanje. Valovanje s pravo frekvenco s svojim električnim poljem povzroči, da atom iz stanja z večjo energijo s sevanjem preide v stanje z manjšo. Pri tem ima izsevano valovanje enako frekvenco, enako smer in enako polarizacijo kot valovanje, ki ga je sprožilo. Stimulirano sevanje najbolje pojasnimo s polklasičnim prijemom, v katerem valovanje opišemo klasično, atom pa v okviru kvantne mehanike.

V sevanju črnega telesa so v ravnovesju spontano sevanje, absorpcija in stimulirano sevanje. V sevanju, ki je v ravnovesju z množico atomov, na vidnem območju spektra spontano sevanje in absorpcija izrazito prevladata nad stimuliranim sevanjem in se na stimulirano sevanje v približku sploh ni treba ozirati. Stimulirano sevanje lahko povečamo le v stanju, ki ni ravnovesno. Z zunanjo motnjo dosežemo obrnjeno zasedenost, v kateri je atomov v stanju z večjo energijo več kot v stanju z manjšo. Poleg tega poskrbimo, da se poveča sevanje s pravo frekvenco. Množico atomov na primer zapremo med zrcali, med katerima se sevanje velikokrat odbije, in nastane stoječe valovanje s pravo frekvenco. Pri tem mora biti izpolnjen pogoj, da je razdalja med vzporednima zrcaloma večkratnik polovične valovne dolžine.

Vpletena morajo biti tri ali štiri stanja. Pri treh stanjih množico atomov v osnovnem stanju s svetlobo nenehno zbujaamo, da prehajajo v drugo vzbujeno stanje. Zanj je značilno, da atomi iz njega hitro preidejo v prvo vzbujeno stanje, a le počasi v osnovno stanje. Prav tako počasi prehajajo iz prvega vzbujenega stanja v osnovno stanje. Tako se v prvem vzbujenem stanju nabere več atomov, kot jih je v osnovnem stanju. Nastane obrnjena zasedenost in prevlada stimulirano sevanje. To sevanje je koherentno, to je sestavljeno iz množice ubranih valovnih potez iz posameznih atomov. Curek laserske svetlobe je zelo enobarven, zelo vzporeden in gostota energijaskega toka v njem je zelo velika. Laser z rubinovim kristalom je razvil Theodore Maiman in helij-neonov laser Ali Javan s sodelavci (1960). Prvi deluje v sunkih in seva svetlobo z valovno dolžino 694,3 nm, drugi deluje zvezno in seva svetlobo z valovno dolžino 632,8 nm z močjo nekaj miliwattov.

V polprevodniških laserjih se prehodi dogajajo med stanji na prehodu med območjem n in območjem p. Elektroni iz stanj na območju n preidejo v stanja na območju p in pri tem stimulirano sevajo. Nastane stoječe valovanje med vzporedno zbrušeniema stranskima ploskvama kristala. Z deležem primesi je mogoče vplivati na valovno dolžino izsevane svetlobe. Prve polprevodniške laserje so izdelali iz galijevega arzenida GaAs in galijevega arzenida fosfida GaAsP (1962) ter iz indijevega arzenida InAs in indijevega fosfida InP (1963). Treba jih je bilo hladiti s tekočim zrakom, pa še tedaj so delovali le v sunkih. Sevali so svetlobo z valovno dolžino na območju od 650 do 840 nm.

Drugo polovico Nobelove nagrade leta 2000 sta si delila Rus Žores Alferov in Američan Herbert Kroemer "za razvoj polprevodniških heterostruktur, ki jih upo-



rabljajo v hitri in optični elektroniki”. Heterostrukture so omogočile, da so izdelali polprevodniške laserje, ki delujejo neprekinjeno pri sobni temperaturi. V heterostrukturi se kemijska sestava na območju kristala spreminja s krajem. Spočetka so tako zgradbo dosegli s plinom, ki se je ob kemijski reakciji s kristalom spremenil v zeleno snov in se izločil na kristalu tako, da je nadaljeval njegovo zgradbo. Od leta 1971 pa uporabljajo atomske curke, ki jih brizgajo v vakuumu proti segretemu kristalu. Atomi se na kristalu uredijo v tanko plast z zeleno sestavo in nadaljujejo zgradbo kristala. Kroemer je uvidel, da ima spremenljiva kemijska sestava enak učinek kot električno polje (1957). Zamisel je dopolnil z načrtom za laser z dvema heterostrukturama (1963). Kroemer in Alferov sta vložila patentno prijavo tega leta. Laserjev Ge-GaAs, Ge-AsSi, GaAs-GaSb in GaP-AlP, ki jih je predvidel Kroemer, tedaj še niso mogli izdelati. Izdelali so jih pozneje in ugotovili, da so zelo hitri in majhni ter jih ni treba hladiti (1970). Izdelali so tudi sončne celice s heterostrukturo AlGaAs in jih uporabili na vesoljski ladji Mir.

Za tržišče so izdelovali laserje iz indijevega-galijevega-arzenovega fosfida, ki sevajo pri valovni dolžini  $1,25 \mu\text{m}$  (1976), in iz galijevega arzenida, ki sevajo pri valovni dolžini  $0,85 \mu\text{m}$ . Majhne laserje te vrste uporabljajo v laserskih gramofonih, čitalnikih črtne kode pri blagajnah, kazalnikih, v merilnikih razdalj na športnih tekmovanjih. Dandanes so heterostrukture pomembne v vseh hitrih vezjih in pri prenašanju sporočil s svetlobo. Množično in s sorazmerno nizkimi stroški že izdelujejo sveteče diode in laserje z dvojno heterostrukturo, tudi diode, ki dajejo “belo” svetlobo. Tranzistorji s heterostrukturo že dosegajo množično rabo v oddajnih postajah za mobilne telefone.

Z laserskim curkom lahko režemo trdne snovi in vrtamo vanje luknje, tudi v zobe. Z njim izvajajo operacije v očesu in druge operacije. Z lasersko svetlobo so mogoči interferenčni poskusi, ki bi s svetlobo navadnih svetil trajali zelo dolgo ali jih sploh ne bi mogli narediti. Laserski curek se odbije na odbojniku, ki so ga na Luni pustili vesoljci, in se vrne do teleskopa. Po času lahko na poldrugi decimeter natančno izmerijo razdaljo teleskopa od odbojnika. Z močnimi laserji prožijo tudi jedrske reakcije. S svetlobo polprevodniških laserjev, ki jo vodijo po svetlobnih vlaknih v optičnem kablu, prenašajo sporočila. Pri tem ima nosilno valovanje zelo veliko frekvenco in zato dopušča veliko kanalov.

## Fizika in družba

Kaj menijo o koristi fizike drugi fiziki? Njihova mnenja se med seboj lahko nekoliko razlikujejo. Richard Feynman je leta 1955 imel javno predavanje pred ameriško Državno akademijo znanosti *The Value of Science*, katerega odlomek je vredno prebrati:<sup>1</sup>

“Od časa do časa mi pravijo, naj bi naravoslovci več razmišljali o problemih družbe, posebno naj bi bolj odgovorno obravnavali vpliv naravoslovja na družbo. Zdi se, da na splošno verjamejo, da bi prišli do velikega uspeha, če bi naravoslovci le razmislili o teh zelo težavnih problemih in ne bi toliko časa zapravili za manj pomembne naravoslovne probleme.

---

<sup>1</sup>V angleščini ima “science” dvojen pomen: znanost nasploh (francosko science, nemško Wissenschaft) in naravoslovje (sciences naturelles, Naturwissenschaften). Fiziki in drugi naravoslovci v angleščini redko uporabijo zvezo “natural sciences” in navadno s “science” mislijo naravoslovje. Pri prevajanju iz angleščine ali v njo pogosto pride do zabavnih zadreg. “Value” je mogoče prevesti kot “vrednost” ali “korist”.

Zdi se mi, da od časa do časa razmišljamo o teh problemih, a jim ne posvetimo vsega delovnega časa. Razlog je v tem, da vemo, da ni čarobne formule za reševanje problemov družbe, da so problemi družbe veliko trši kot problemi naravoslovja in da navadno ne pridemo nikamor, če razmišljamo o njih.

Verjamem, da je naravoslovec, ki razmišlja o nenaravoslovnih problemih, enako neumen kot kdorkoli in zveni enako naivno kot kdo, ki mu niso domači. Ker vprašanje o koristnosti naravoslovja ni predmet naravoslovja, je ta govor posvečen potrditvi mojega stališča z zgleodom.”

Povzemimo po Feynmanu tri postavke o koristi fizike in jih nekaj dodajmo.

- Fizika si kot znanost o naravi prizadeva čim podrobneje opisati pojave s svojega območja.<sup>2</sup> Zakoni fizike so bili izhodišče za številne postopke in naprave. Ti lajšajo vsakdanja opravila ali omogočajo dejavnosti, ki jih brez njih ne bi mogli izvajati.
- Poznavanje zakonov fizike nam omogoči, da si ustvarimo notranje skladno sliko o naravi, kar nas navda z notranjim zadovoljstvom. Na drugi strani nam to zbudi čudenje nad naravo in spoštovanjem do nje.
- Fizika nas opozori na meje znanja in navadi živeti z neznanjem.
- Zakoni fizike tudi razkrijejo, kaj je izvedljivo in dosegljivo in kaj ni ter zarišejo meje, ki nam jih postavlja narava. Opozorijo nas na to, da so zaloge goriv in surovin omejene, da lahko Zemlja prehrani in preživi omejeno število ljudi in da je treba z okoljem ravnati odgovorno.
- Spoznanja fizike niso odvisna od pričakovanj in od volje ljudi in tako razločijo območje naravoslovja, na katerem trditve preizkušamo z opazovanji in merjenji pri poskusih, od drugih območij, na katerih to ni mogoče.

S tem nismo izčrpali vseh koristi fizike. Pogosto slišimo, da sta raziskovanje delcev in vesolja izgubila stik z vsakdanjimi potrebami ljudi. Zares se zdi na prvi pogled, da zadovoljujeta le drugo postavko. Vendar ne smemo spregledati, da ob velikih načrtih vzgajajo raziskovalce, ki pozneje delujejo tudi v gospodarstvu. Ob tem pridejo v stik z zapletenimi in zahtevnimi sistemi, ki na drugi strani vzpodbujajo tudi iskanje tehniških rešitev. Tako ima na primer največja raziskovalna naprava, Veliki hadronski trkalnik CERN v Ženevi najzahtevnejši vakuumski in hladilni sistem na svetu. Ta vzgojni del bi lahko dopisali kot dodatno postavko pri naštevanju koristi fizike, če ne bi bile pri tem vpletene druge veje naravoslovja in veje tehnike.

V prejšnjem delu zapisa smo upoštevali predvsem prvo postavko, ki se zdi najpomembnejša za srednješolske učitelje. Druga je pomembna za tiste, ki imajo pregled nad fiziko in med katere navadno srednješolci ne sodijo. Tudi zanje in za srednješolske učitelje fizike pa bosta postali pomembni zadnji postavki.

Iz prejšnjega dela poskusimo povzeti nekaj ugotovitev. Raziskovalci v fiziki – najbrž velja to tudi za raziskovalce v drugih vejah naravoslovja – svojih odkritij navadno ne oblikujejo tako, da bi jih bilo mogoče neposredno izkoristiti za izdelavo naprav in postopkov. Le včasih prijavijo patente, in še to pogosto za svoje ustanove. Razvoj

---

<sup>2</sup>Včasih rečemo, da je fizika osnovna znanost o naravi. Najbrž bi morali razčleniti odnos fizike do drugih znanosti o naravi, da bi lahko utemeljeno uporabili ta prilastek.

odkritij prevzamejo raziskovalci v laboratorijih idustrijskih družb, med katerimi so zastopniki tehniških strok. Večina vej tehnike je sicer izšla iz fizike, a so zdaj samostojne. Pri prenosu znanja v proizvodnjo se pojavijo zanimiva vprašanja na meji območja fizike. Tako pogosto slišimo, da pri nas prenos zaostaja za “znanostjo”. Predlagali so celo, naj bi se “znanost” nekaj časa ne razvijala, da bi jo raziskovanje v gospodarstvu dohitelo. Pri tem zopet večkrat naletimo na težavo, da imajo nekatere besede za različne ljudi različen pomen.<sup>3</sup>

Prejšnji del zapisa je pokazal, da je pri prenosu odkritij fizike v gospodarstvo sodelovalo veliko ljudi, od katerih številni niso bili fiziki. Sploh je v tej zvezi težko določiti, kdo je bil fizik in kdo ne. Za izboljšave, ki so jih prispevali, je težko ugotoviti, katera je bila bolj pomembna in katera manj. Na tem področju so vlogo člankov v raziskovalnih revijah prevzeli patenti. Velikokrat so morala v patentnih sporih sodišča odločiti, komu je šla prednost. Pokazalo se je tudi, da je razvoj v vejah, ki smo jih obravnavali ločeno, med seboj močno povezan. Tako je bilo na primer mogoče prenašati sporočila po optičnih vlaknih šele, ko so izdelali polprevodniške laserje, ki so delovali pri sobni temperaturi.

Posamezni fiziki in naravoslovci in tehniki se od časa do časa podobno kot Feynman vprašajo po odnosu med naravoslovjem in družbo.<sup>4</sup> Na drugi strani se komaj kak zastopnik družbe vpraša po odnosu z naravoslovjem in tehniko. Po pozornosti, ki jima jo namenja družba, je mogoče ugotoviti, da sta naravoslovje in tehnika zapostavljena, zdi se, da v naši družbi bolj kot na razvitem Zahodu. Ali bi lahko naravoslovci in tehniki dosegli kaj podobnega kot zdravniki in sodniki? Ali je s tem povezan pojav, da se znanje slabo prenaša v gospodarstvo, je težko presoditi.

Učitelji fizike pa lahko prispevajo k izboljšanju podobe fizike v javnosti s tem, da srednješolce po nakazani poti poučijo o koristnosti fizike. S tem jih tudi naučijo nekaj fizike in poudarijo njeno povezanost z vsakdanjim življenjem. Posebno pomembno se to zdi za tiste srednješolce, ki ne bodo študirali naravoslovja ali tehnike. V razredu je poučno začeti razpravo o tem, kako bi se življenje spremenilo, če ne bi bilo elektrike, radia, televizije, mobilnih telefonov, majhnih naprav zabavne elektronike, digitalnih fotografskih aparatov, računalnikov, plačilnih kartic, svetovnega spleta. S tem se lahko poveča zavest srednješolcev, da je danes vsakdanje življenje tesno povezano z dognanji fizike.

Odkritje tranzistorja in miniaturizacija sta pripeljala do zmogljivih majhnih ra-

---

<sup>3</sup>Ameriški Akreditacijski odbor za inženirstvo in tehnologijo je “inženirstvo” opredelil kot “ustvarjalno uporabo naravoslovnih načel za gradnjo in razvoj strojev, naprav ali proizvodnih postopkov [...]” Podobno je opredelil “tehnologijo”. *Enciklopedija Slovenije* je “tehniko” opredelila kot “funkcionalno celoto delovnih sredstev in metod za proizvodnjo in uporabo v različnih dejavnostih. V dodatnem pomenu je tehnika stroka, ki se s tem ukvarja.” in “tehnologijo” kot “uporabo in razvijanje sredstev in načinov v proizvodnih, storitvenih in drugih dejavnostih, veda o tem.” Gesla “inženirstvo” *Enciklopedija* ne pozna. Ali je treba “engineering” razločevati od “tehniko”? Oenimo še “temeljne” in “uporabne raziskave”, ki jih nekateri razločujejo, drugi pa menijo, da to nima smisla. Za druge govori na primer sedem Nobelovih nagrad iz fizike, pri katerih so bili udeleženi člani Bellovih laboratorijev. Najbrž bi bilo treba te laboratorije šteti med industrijske. Kam naj bi sodile raziskave v njih? Zadrega se je pokazala tudi v srednji šoli. Spomnimo se predmeta Osnove tehnike in proizvodnje, ki se ni obdržal.

<sup>4</sup>Angleški fizik, pisatelj in visok vladni uradnik Charles Percy Snow je v predavanju *Dve kulturi in naravoslovna revolucija*, ki je leta 1959 – pred petdesetimi leti – izšlo kot knjiga, obžaloval prepad med naravoslovci in “literarnimi izobraženci” ter trdil, da slednji ne poznajo niti najosnovnejših osnov fizike.

čunalnikov, ki rabijo zelo majhno moč. Skupaj z nekaterimi drugimi spoznanji iz fizike, na primer z optičnimi vlakni, je to omogočilo, da zajamemo, obdelamo, prenesemo in shranimo v zelo kratkem času veliko množico podatkov. To je povzročilo “komunikacijsko revolucijo”.

Nazadnje dodajmo, da je odkritja fizike mogoče uporabiti v dobro ali v slabo. Feynman je navedel budistično modrost: “Vsak človek dobi ključ nebeških vrat, isti ključ odpira vrata pekla”. Pri tem spoznanju se misel obrne predvsem k jedrskemu orožju. Zraslo je iz odkritja cepitve uranovega jedra v jedrski fiziki tik pred drugo svetovno vojno in so ga dvakrat uporabili v njej. Od Arhimedovih časov ni bilo dosti drugače, čeprav prejšnje orožje ni bilo tako uničujoče. Na srečo jedrskega orožja v vojne namene niso več uporabili. Močno pa je vplivalo na odnose med velikimi državami. Ne gre spregledati, da sta bili v prvi polovici 20. stoletja dve svetovni vojni, v drugi pa nobene. Isto odkritje je dalo tudi jedrske reaktorje, ki na začetku 21. stoletja krijejo približno tretjino potreb po energiji. Pri tem se ne sprošča ogljikov dioksid, ki preko pojava tople grede prispeva k segrevanju ozračja. Zaradi neprijetnega sorodstva z jedrskim orožjem, černobilske nesreče in strahu pred radioaktivnostjo pa so reaktorji na razmeroma slabem glasu. Ne spreglejmo, da so tudi vesoljski poleti stranski učinek oboroževalne tekme. Tudi nekatere od naštetih pridobitev je mogoče uporabiti v dobro ali v slabo. “Informacijsko revolucijo” in jedrsko orožje smo omenili, ker je po razširjenem mnenju prek njiju fizika najmočnejše vplivala na življenje ljudi in držav v drugi polovici 20. stoletja.

“Morda se bo zdelo, da je v tem stoletju zgodovina naravoslovja in tehnologije tako zasenčila in opredelila običajno zgodovino sveta, da je od nje ne bo mogoče ločiti. Dosežki fizike so sami odločili največjo vojno stoletja in prevladali v politiki pol stoletja po vojni tako s prevratom v komunikacijah kakor s prevratom v orožju.”

Philip Anderson, 1995

#### Največji dosežki tehnike v 20. stoletju po ameriški Državni inženirski akademiji

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1. elektrifikacija             | 11. avtoceste,   |
| 2. avtomobil,                  | 12. potovanje v vesolje,   |
| 3. letalo,                     | 13. internet,  |
| 4. preskrba z vodo,            | 14. slikanje (rentgenska svetloba, radar, sonar, NMR, elektronski mikroskop) |
| 5. elektronika,                | 15. gospodinjske naprave,  |
| 6. radio in televizija,        | 16. zdravstvena tehnologija,   |
| 7. poljedeljska mehanizacija,  | 17. nafta in naftna tehnologija,   |
| 8. računalniki,                | 18. laser in optična vlakna,   |
| 9. telefon,                    | 19. jedrska tehnologija,   |
| 10. klimatizacija in hlajenje, | 20. materiali s posebnimi lastnostmi   |