

Fizika kao temelj novih tehnologija

Ivica Aviani
Institut za fiziku, Zagreb

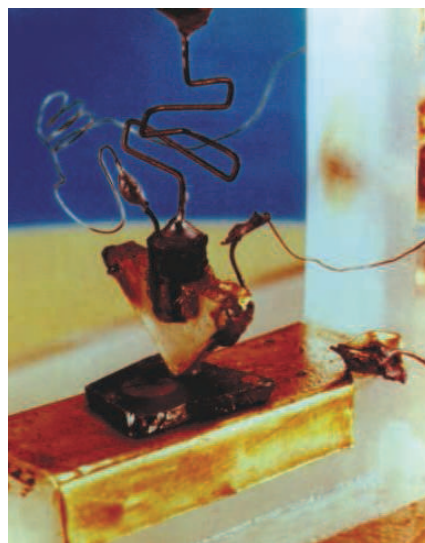
Uvod

Kroz većinu ljudske povijesti ljudi su prenosili svoje znanje i vještine s potomstva na potomstvo, poboljšavajući svoje proizvode postupno, najčešće iskustvom. Prvu bitnu promjenu načina proizvodnje, industrijsku revoluciju, prouzročio je parni stroj koji je dominirao ekonomijom devetnaestog stoljeća. U dvadesetom stoljeću dominira motor s unutrašnjim sagorijevanjem i tranzistor. Proizvodi kao što su automobil, telefon, gramofon, radio i televizija, avion, rezultat su tehnološke revolucije dvadesetog stoljeća. Tehnologija bitno utječe na društvo, koje se brzo transformira, postaje potrošačko, mobilno i informatizirano. Na početku dvadesetprvog stoljeća živimo u svijetu kojeg je čovjek prilagodio svojim potrebama više nego ikada prije.

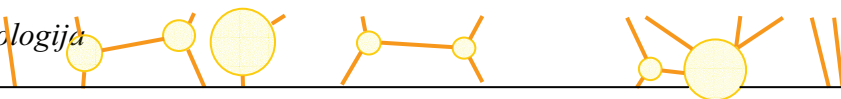
Pod pojmom tehnologija podrazumijevamo proces kojim ljudi mijenjaju prirodu da bi je prilagodili svojim potrebama. Osim potrebnog znanja i tehničkih vještina, tehnologija danas uključuje i cijelu infrastrukturu potrebnu za dizajn, proizvodnju, rad i održavanje proizvoda. U nesmiljenoj konkurenciji tržišta, tehnologija brzo postaje zastarjela i stalno nam treba nova. Tražeći nove mogućnosti, tehnologija se sve više i sve čvršće povezuje s znanosti, a posebno s fizikom. Jasno je da dizajn npr. kompjutorskog čipa ovisi o detaljnom razumijevanju električnih i ostalih fizikalnih svojstava materijala.

Tehnologija je postala toliko komplicirana da većina ljudi novu generaciju uređaja kao što su mobiteli, kompjutori, audio i video uređaji, automobili, doživljava veoma slično drveću ili cvijeću u svome vrtu, odnosno davno su se prestali pitati kako te stvari rade.

Koliki je utjecaj fizike na tehnologiju možda najbolje pokazuje primjer otkrića kvantne fizike početkom dvadesetog stoljeća, a zatim i tranzistora. Tranzistor i integrirani krug u dvadesetom stoljeću postali su nositelji oko 30 % svjetske ekonomije. Kvantna mehanika pritom je odigrala ključnu ulogu. Možemo slobodno reći da je dvadeseto stoljeće koje je počelo velikim fizikalnim otkrićima teorije relativnosti i kvantne fizike, završilo trijumfom



Slika 8-1: Prvi tranzistor iz 1947. (Chelikowsky, Science 2005)

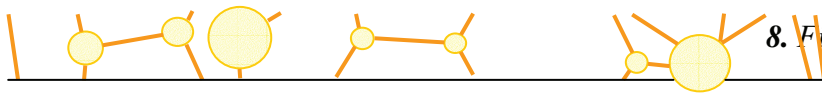


fizike. U njemu je fizika neposredno doprinijela razvoju i transformaciji suvremene civilizacije više nego ijedna druga disciplina. Danas fizika zauzima centralno mjesto u razvoju tehnologije i ekonomskom rastu. Analitičke metode, koje su razvili fizičari, općeprihvaćene su čak i u bankarstvu. Fizičari su razvili tehnike koje su pokrenule i omogućile brz razvoj drugih znanosti, prije svega kemije, biologije i medicine. Fizika je omogućila razvoj industrija ključnih za razvoj civilizacije kao što su energetika, komunikacije i računarstvo. Neposredno je pomogla stvaranju mikroskopa, teleskopa, rendgena, magnetske rezonancije, mobilnih telefona, lasera, dekodiranju DNA. Ne treba zaboraviti da je i Internet, koji predstavlja glavnu socijalnu i ekonomsku inovaciju dvadesetprvog stoljeća izašao iz fizikalnih laboratorija CERN-a. Pod utjecajem Interneta kultura i znanost poprimaju potpuno nove oblike, diktirane informacijskim i interdisciplinarnim dobom.

Tehnološki razvoj, također, potiče razvoj fizike. Dobar primjer za to je meteorologija. Ako imate veliki broj senzora na Zemlji i veliki broj satelitskih snimki atmosfere, onda vam trebaju i superračunala da prihvate i obrade sve te podatke i na kraju da, na temelju fizikalnih zakona, izračunaju kakvo će vrijeme biti sutra ili za tjedan dana. Mogućnost provjere fizikalnih modela vremena ovdje direktno ovisi o količini i kvaliteti podataka i o snazi računala. Slično je i u ostalim granama fizike. Napredak fizike čestica i astronomije također direktno ovisi o tehnologiji prikupljanja i analize golemog broja podataka. Ni teorijski fizičari nisu tehnološki neovisni. Na snažnim računalima oni rješavaju sve složenije i sve realnije probleme, a mnogi od njih rade simulacije fizikalnih procesa i numeričke eksperimente, pomoću kojih nastoje zadobiti osjećaj za fizikalnu pojavu.

Za fizičare koji rade npr. u bankama mnogi misle da troše svoj talent. No je li baš tako? Fizika je način razmišljanja! I to uspješan. Fizičara treba prihvatiti kao osobu koja zahvaljujući svojem obrazovanju, sposobnostima i sklonosti rješavanju problema, može i treba potaknuti znanstvenu aktivnost u svakoj sredini. Obrazovanje fizičara usmjereno je na egzaktno rješavanje problema, ulazak u samu bit stvari i stalnom preispitivanju istine. Fizičar, što objektivnije, prikuplja podatke kako bi ih analizirao i uočavao njihovu pravilnost. Pritom je prikupljanje podataka sredstvo, a ne i svrha znanstvenog rada. U analizi mu pomaže matematika, a rezultat su nove ideje i teorije pomoću kojih može predviđati nove pojave. Brza razmjena informacija dovela je do toga da fizičari uočavaju sličnu problematiku, onu koju znaju riješiti, i u drugim područjima, i rado se uključuju.

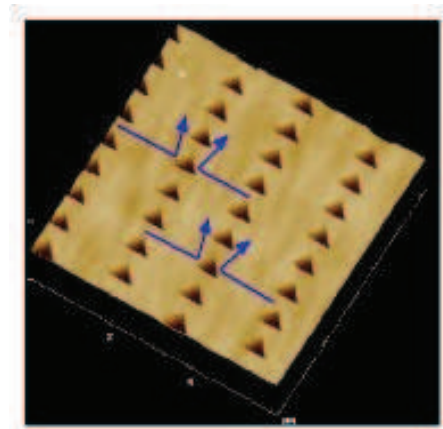
Dvadesetprvo stoljeće započelo je informatičkom revolucijom, a čini se da će se nastaviti u znaku manipulacije pojedinačnima atomima, izradi kvantnih računala i efikasnim strojevima za konverziju energije, a možda i jeftinom energijom fuzije. Sociolozi i futurolozi mogu samo zamišljati u kojem smjeru bi se razvijao svijet ako bi npr. ovladali fuzijom, neiscrpnim i ekološkim izvorom energije.



Nanotehnologija

Nanotehnologija ili tehnologija manipuliranja molekulama i atomima, pravi je izazov našeg stoljeća, u kojem interdisciplinarnost i isprepletenost suvremene znanosti i tehnologije dolazi do punog izražaja. Osim ideje stvaranja minijaturnih strojeva i robota, pod pojmom nanotehnologija danas podrazumijevamo i skenirajući tunelirajući mikroskop, minijaturiziranu elektroniku, tehnologiju tankih filmova i kompozitnih materijala. Radi se na sintezi materijala s novim mehaničkim svojstvima kao što su ugljikove nanocijevi i aluminijski kompoziti ili s novim električnim svojstvima kao što su kvantne jame i kvantne žice. Veliki doprinos ove tehnologije očekuje se pri stvaranju manjih i bržih kompjutera nove generacije, biosenzora i superefikasnih solarnih ćelija. Današnji kompjutori i ostali tehnološki uređaji rade tako da kontroliraju elektronski naboj. Previđa se nova generacija manjih, bržih i efikasnijih uređaja koji bi radili na sasvim drugom konceptu – kontroli elektronskog spina. Fizičari iz raznih laboratorija već su uspjeli kontrolirati spin izoliranog elektrona.

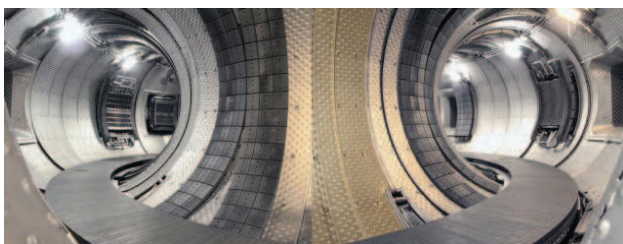
Nanotehnologija je omogućila izradu naprava dimenzija manjih od prosječnog puta kojeg elektron prijeđe između dva uzastopna sudara kad se giba u vodiču. U takvoj napravi, elektroni se ponašaju kao biljarske kuglice. Na slici je prikazan balistički ispravljač. Elektroni, baš kao biljarske kuglice, nalijeću na trokutastu prepreku od nevodljivog materijala i odbijaju se prema dolje bez obzira na to dolaze li s lijeva ili s desna. Na taj način njihovo je strujanje usmjereno uvijek prema dolje. Za rad ovog ispravljača bitno je da je izuzetno malen i napravljen od veoma čistog poluvodičkog materijala. Ovaj ispravljač napravljen je standardnom nanolitografijom, a radi na frekvenciji od 50 GHz što je znatno više od radne frekvencije klasične diode.



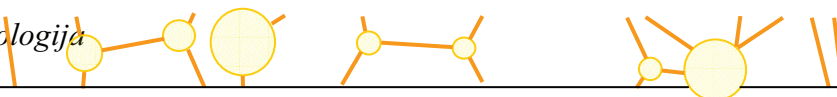
Slika 8-2: Balistički ispravljač: plave strelice označavaju putanje elektrona.

(<http://www.ee.umist.ac.uk/mmd/research/BallisticRectifier.htm>)

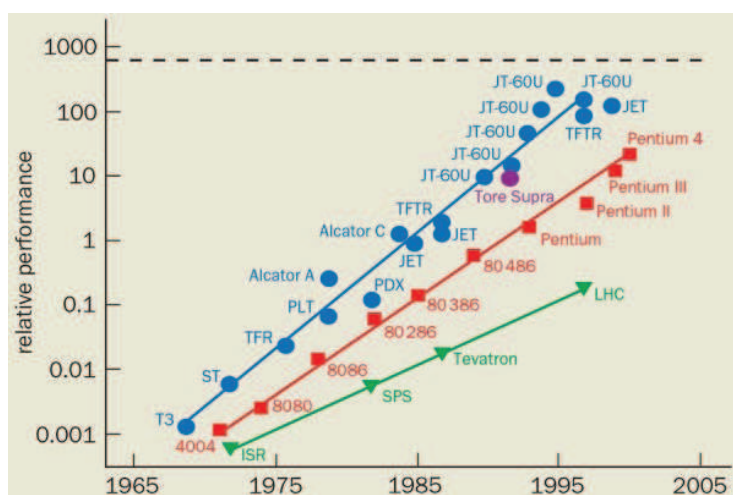
Energija fuzije



Slika 8-3: Tore Supra – unutrašnjost tokamaka (Cadache Francuska). Magnetsko polje održavaju supravodljivi magneti. (<http://www-fusion-magnetique.cea.fr>)



Posljednja dva stoljeća intenzivno trošimo fosilna goriva i već smo dobro iscrpili postojeće zalihe. Istovremeno zahtjevi za energijom postaju sve veći. Zbog toga razvijamo alternativne izvore energije. Također je jasno da jedino nuklearna energija može zadovoljiti naše rastuće potrebe. Energija koju dobivamo cijepanjem urana, zbog opasnih radioaktivnih nusprodukata, više nam izgleda kao nužno zlo, nego kao rješenje za budućnost. Međutim, energija fuzije izotopa vodika, deuterija i tricija, u helij, energija Sunca, daje nam mogućnost čistog i neiscrpnog izvora energije. Problem je, međutim, na Zemlji, održavati vodikovu plazmu na temperaturi od 10^6 K, potrebnoj za nuklearnu reakciju. Veliki napredci već su postignuti, s fuzijskim reaktorom, tokamak, u kojem magnetsko polje oblika torusa održava struju vruće plazme u centralnom dijelu. U konstrukciji ovog generatora fizika i tehnologija nerazdvojivo se nadopunjuju. Stalna poboljšanja konstrukcije i radiofrekventnih izvora za zagrijavanje plazme, te uvođenje supravodljivih magneta, zajedno s razvojem mjerne tehnike i

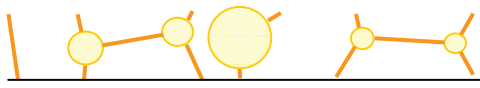


Slika 8-4: Razvoj visokotehnoloških sustava u posljednjih 30 godina. Počevši od ruskog tokamaka T3 učinak fuzijskih reaktora (plava linija) udvostručavao se svakih 1.8 godina. Istovremeno se broj tranzistora na procesoru udvostručavao svake dvije godine (crvena linija), dok se energija akceleratora čestica udvostručavala svake tri godine (zelena linija). (Hoang and Jacquinet, *Physics World*, January, 2004.)

računarstva, rezultirali su udvostručenjem performansi tokamaka svakih 1.8 g, što je veći porast od rasta mogućnosti računala. Veliki civilizacijski izazov za međunarodni projekt Internacionalni Termonuklearni Eksperimentalni Reaktor (ITER) je integracija različitih polja fizike i tehnologije da bi se do 2015. g., u Japanu ili u Njemačkoj, izgradio generator koji bi radio kontinuirano uz proizvodnju 500 MW snage.

Akceleratori čestica

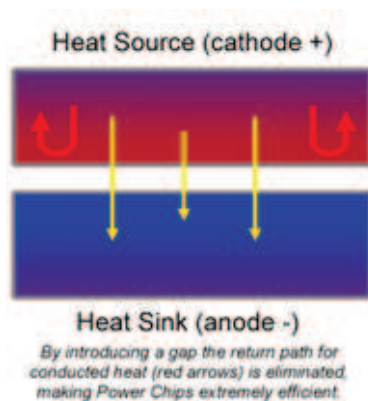
U svijetu postoji 42 sinhrotronska akceleratora, a zbog povećane potražnje, u planu je izgradnja još tridesetak. Snažne x-zrake koje emitira elektronski snop dok kruži u sinhrotronu, omogućavaju puno bolju osjetljivost i razlučivanje od rendgenskih zraka, a danas su nezamjenjive pri ispitivanju malih objekata kao što su npr. virusi. Osim u fizici i u kemiji, sve više se koriste u biologiji, medicini i industriji. U suradnji s fizičarima akceleratori čestica grade se i upotrebljavaju u industriji za poboljšanje kvalitete proizvoda, sterilizaciju medicinske opreme i hrane, te u kompjutorskoj industriji, automobilskoj i u avio industriji. Ionskom implantacijom se ionima iz



akceleratora usaduju ioni jednog materijala u površinu drugog, čime površina postaje čvršća, otporna na koroziju ili, ako se radi o medicinskom umetku, prihvatljivija za organizam. Alati i metode koje su timovi fizičara razvili da bi mogli razbijati atomsku jezgru i detektirati novonastale čestice, uvijek su bili na samoj granici tehnoloških mogućnosti vremena. Tako je fizičarska radoznalost i entuzijazam, postavljajući stalno nove i nove zahtjeve iznjedrila mnoge alate koji se danas koriste kako u industriji tako i u medicinskoj dijagnostici i liječenju tumora.

Veliki hadronski supersudarivač u CERN-u, u kojem bi se svakih 25 ns trebali sudarati protonski snopovi kinetičke energije od fantastičnih 14 TeV trebao bi proraditi do 2007. godine. Osim zahtjevne konstrukcije supersudativača, istraživački timovi morali su i konstruirati mnoštvo ekstremno brzih i osjetljivih detektora različitih čestica smještenih oko mjesta sudaranja. Njihovi naponi rezultirali su mnoštvom proizvoda za široku primjenu, npr. novih detektora malih doza zračenja za radiologiju i materijala za brzo odvođenje topline i hlađenje. Mnoštvo podataka koji će pristizati na detektore moguće je prikupiti samo novom brzom elektroničkom i informatičkom tehnologijom. Razvijeni su i algoritmi prepoznavanja i analize pomoću kojih se eliminiraju nevažni podaci kojih je čak milijardu puta više od onih koji nose korisnu informaciju. Zajedno s velikim informatičkim kompanijama razvijaju se novi resursi pomoću kojih će fizičari iz cijelog svijeta velikom brzinom, putem Interneta i umreženih kompjutera analizirati podatke. Takvi resursi odmah će pomoći i genetičarima, astronomima, meteorolozima, ali svim ostalim djelatnicima koji trebaju analizu velikog broja podataka.

Termoelektrici i gorive ćelije



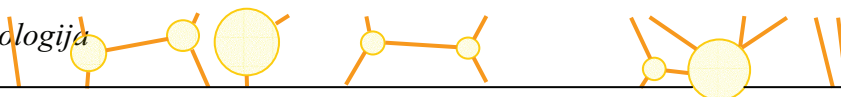
Slika 8-5: Princip rada Power chipa. Između toplog i hladnog kraja, je vakuumski procijep manji od 10 nm koji prekida prijenos topline kroz rešetku, dok ga elektroni preskaču tuneliranjem. (<http://www.powerchips.gi>)



Power Chip prototype (shown with a US Quarter for size comparison)

Slika 8-6: Prototip Power chipa. Za usporedbu veličine prikazan je i novčić od četvrt dolara. (<http://www.powerchips.gi>)

Slično parnom stroju, benzinski i dizel motor, kao i većina ostalih strojeva devetnaestog i dvadesetog stoljeća pretvaraju toplinsku energiju u korisni rad.



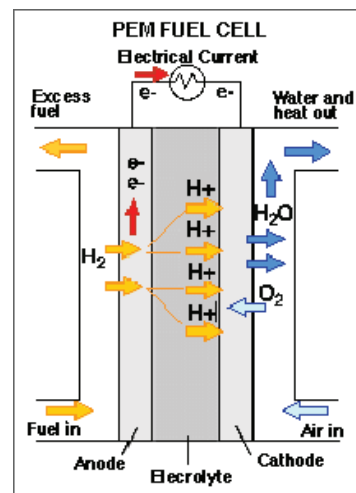
Unutrašnja kemijska energija goriva prvo se izgaranjem pretvara u toplinu, da bi se zatim širenjem zagrijanog plina pretvarala u koristan rad. Današnje termoelektrane i termonuklearne elektrane, rade na istom principu. Toplinsku energiju možemo samo djelomično pretvoriti u koristan rad i to uvijek s postotkom koji je manji od onog određenim Carnotovim kružnim procesom. Uz mnoštvo senzora i kompjutorski regulirano paljenje iskorištenje kemijske energije goriva, u suvremenom automobilu, doseglo je tek vrijednost od 20%. U nestašici goriva koja slijedi, to nije ni blizu dovoljno. Ovdje postoje dva pravca istraživanja.

Prvi je direktno pretvaranje toplinske energije u električnu, bez vanjskih pokretnih dijelova. To se nastoji postići pomoću termoelektrika: električki vodljivih materijala čija se elektronska energija jako mijenja s temperaturom. Zato ako jedan njegov kraj grijemo, a drugi hladimo dolazi do razdvajanja elektronskog naboja i pojave elektromotorne sile. Prednost ovakvog izvora, uz ekološku prihvatljivost, je velika pouzdanost rada jer nema pokretnih dijelova. Problem je međutim, njihova niska efikasnost, zbog velikih gubitaka topline koji nastaju vođenjem topline od toplog prema hladnom kraju kroz termoelektrik, uglavnom titranjima kristalne rešetke. Tisuće fizičara danas nastoje pronaći način kako povećati efikasnost ovih uređaja. Zanimljiv pristup visoko-tehnološkog rješavanja ovog problema je tzv. *Power Chip* u kojem je u termoelektriku na velikoj površini od nekoliko cm^2 , između toplog i hladnog kraja, ostvaren vakuumski procijep manji od 10 nm. Ovaj procijep prekida prijenos topline kroz rešetku, a dovoljno je mali da ga «vrući» elektroni mogu nesmetano preskakati tunel efektom. Predviđa se da bi *Power Chip* mogao doseći 70-80% Carnot-ovog iskorištenja, što je dvostruko više od iskorištenja konvencionalnih toplinskih strojeva.

Drugi je direktno pretvaranje kemijske energije goriva u električnu energiju, i to disocijacijom molekula i razlaganjem njenog naboja, kao u bateriji. U bateriji koristimo razliku energija veze nekog atoma u dvije različite molekule. Da bi atom promijenio molekulu, spontano se seli s jedne elektrode na drugu, ali ne u komadu. Pri seobi on se ionizira, tako da njegov pozitivni ion prolazi kroz elektrolit, tvar između dviju elektroda u koja vodi samo ione, a njegov elektron prolazi kroz vodič u vanjskom strujnom krugu. Gibanje elektrona u vanjskom krugu daje nam koristan rad električne energije. U ovom procesu zaobilazi se izgaranje goriva, a time pretvaranje kemijske energije u slabo iskoristivu toplinsku energiju. Pronalazak dobrog polimernog protonskog vodiča na sobnoj temperaturi izazvao je pravu revoluciju omogućivši rad gorive ćelije, koja energiju sinteze vodika i kisika u vodu pretvara direktno u električnu energiju. Produkt sinteze je obična voda. Zbog toga su gorive ćelije su buduće ekološko rješenje za pohranu velikih količina energije u obliku kemijske energije vodika, i njeno korištenje za pogon automobila i kućnih uređaja, neovisno o električnoj mreži. Tehnološki je izuzetno važno pronaći dobar spremnik vodika. Gorive ćelije koje koriste energiju metana već su u upotrebi, a radi se i na ćelijama koje bi koristile kemijsku energiju drugih energetskih plinova. Istraživanja fizičara ključna su za sintezu materijala potrebnih svojstava za elektrode i elektrolite.

Supravodiči

Snažni supravodljivi magneti već su našli široku upotrebu. Koriste se za lebdeće vlakove (MAGLEV), za magnetsku rezonanciju, u akceleratorima čestica, u fuzijskim reaktorima. Najveće tehnološko ograničenje za njihovu širu primjenu su njihove niske radne temperature, za što je potrebna skupa tehnologija tekućeg helija. Ne tako davno otkriveni visokotemperaturni supravodiči, tehnološki su izuzetno zanimljivi jer za svoj rad trebaju puno jeftiniju tehnologiju tekućeg dušika. Otkriće supravodljivosti na sobnoj temperaturi potpuno bi promijenilo tehnologiju distribucije i korištenja električne energije, kao i većinu električnih uređaja koje poznajemo. Mogućnost dijamagnetskog lebdenja koje nastaje zbog Meissnerovog efekta, u supravodiču promijenila bi mogućnosti transporta, osobine mehaničkih ležajeva i sl.. Računalna tehnologija, čiji razvoj ograničava zagrijavanje procesora Jouleovom toplinom, također bi doživjela veliki napredak.



Slika 8-7: Princip rada gorive ćelije. (U. S. Dept. of Energy.)

Umjesto zaključka

Osnovna vodilja znanosti je želja spoznaje svijeta i svrhe postojanja. Pritom čovjek ne želi ovisiti o prirodnim pojavama, bolestima, životnom vijeku, pa čak i Suncu kao izvoru energije. Time su određeni i glavni pravci istraživanja u fizici: istraživanje energije koja pokreće život, istraživanje mikro i nano svijeta s ciljem spoznaje i kontrole postojećeg života i istraživanje Svemira i elementarnih čestica a time i svrhe postojanja. Za neka područja istraživanja obični ljudi, pa i mnogi fizičari, misle da troše previše novca, a ne donose neku značajnu korist. Je li npr. visokoenergetska fizika samo egzotična disciplina? Je li moguće utvrditi granicu između želje za zadovoljenjem znatiželje i ekonomske koristi? Pitajući se često zaboravljamo da je većina važnih i ekonomski isplativih otkrića nastala sasvim slučajno, kao rezultat ljudske znatiželje.

Literatura

- [1] R. Chelikowsky, *Science*, **307**, 1724 (2005)
- [2] A. M. Song, A. Lorke, A. Kriele, J. P. Kotthaus, W. Wegscheider, and M. Bichler, *Phys. Rev. Lett.* **80**, 3831, (1998)
- [3] B. Ridley, *Physics World*, december, 2001
- [4] G. T. Hoang and J. Jacquinet, *Physics World*, January, 2004
- [5] <http://www.powerchips.gi>
- [6] <http://www-fusion-magnetique.cea.fr>