

## Utjecaj otkrića iz fizike na povijest 20. stoljeća

Eksponencijalni razvoj fizike i njezina otkrića u 20. stoljeću utjecali su na sve aspekte ljudskoga života: ekonomske, društvene, političke filozofske pa i umjetničke. Početak stoljeća obilježile su teorija relativnosti i kvantna fizika koje su uvele revolucionarne promjene u poimanje prostora i vremena, prirodom određenih ograničenja mjerenja, sprege motritelja i sustava kojeg promatra te probablističke prirode svemira. Tehnologije zasnovane na otkrićima fizike upotrijebljene su u oba svjetska rata, od kojih je kulminacija i završetak drugoga bio upotreba atomskog oružja s posljedicama bez presedana u ljudskoj povijesti. U drugoj polovini stoljeća razvija se „big science,“ a otkrića tranzistora, čipa i kasnije Interneta izazivaju digitalnu revoluciju. Pored fundamentalnih spoznaja iz kozmologije i astrofizike do kraja 20. stoljeća fizika je doprinijela istraživanju svemira, svemirskom programu, otkriću strukture DNK i revolucionarizirala medicinsku dijagnostiku otkrićima brojnih slikovnih tehnika.

**Ključne riječi:** 20. stoljeće, znanost, tehnologija, fizika

### Uvod

Dvadeseto stoljeće umnogome je stoljeće fizike, doba u kojem znanost općenito i fizika partikularno doživljavaju eksponencijalni rast spoznaja, otkrića i utjecaja na sve aspekte ljudskoga života: ekonomske, društvene, političke, filozofske i umjetničke. Pretražimo li na internetskim servisima samo površno otkrića i izume 20. stoljeća, zapljusnut će nas, iz svih izvora, mnoštvo svima poznatih navoda kojih je velika većina izravno ili nezravno povezana s fizikom: prijevozna sredstva, automobil, željeznica (od parne lokomotive do magleva), zrakoplov, svemirski letovi, komunikacijske tehnologije, bežični prijenos, radio, televizija, Internet, novi materijali, plastika, sintetika, nylon, magnetske vrpce, poluvodiči, karbonska vlakna, optička vlakna, grafen, fundamentalne teorije s kapitalnim posljedicama za iskorištavanje energije, teorija relativnosti, kvantna fizika, atomska i nuklearna fizika, izumi poput lasera, kserografije, rashladnih uređaja, tranzistora, čipa, računala, brojna otkrića biologije i medicinskih tehnika, struktura DNK, rendgen, ultrazvuk, CT, MR, PET, farmaceutska otkrića i tehnologije, aspirin, penicilin, antibiotici, oralna kontracepcija. Sve su to djeca 20. stoljeća, neka doduše začeta u 19. stoljeću, koja su promijenila način i kvalitetu života, komuniciranja i razmišljanja, promijenila život pojedinca i utjecala na razvoj društva u 20. stoljeću.

„Život, zdravlje, prosperitet, sigurnost, mir, znanje i sreća u porastu, ne samo na zapadu, nego širom svijeta. Napredak nije dovela neka svemirska sila... (..) on je dar prosvjetiteljstva – uvjerenja da znanje može poboljšati ljudski napredak. S vremenskim odmakom, znamo da je prosvjetiteljstvo djelovalo.“ piše Steven Pinker.<sup>1</sup> To znanje, lat. *scientia*, u korijenu je riječi znanost, a znanost o prirodi, grč. *physis*, jest fizika. Njezin utjecaj je zanimljivo vidjeti i kroz pokušaje rangiranja svjetskih znanstvenika. John Simmons među stotinu najutjecajnijih svjetskih znanstvenika u povijesti, uključivši društvene i humanističke znanosti, kao prva tri navodi fizičare Newtona, Einsteina i Bohra te među 25 „najutjecajnijih“ znanstvenika navodi dvanaest fizičara, od kojih osam iz 20. stoljeća.<sup>2</sup>

U 20. stoljeću rođena je i scijentometrija, a u javnosti najzvučnije odzvanja ime Nobelove nagrade. Od prve Nobelove nagrade za fiziku dodijeljene W. C. Röntgenu 1901. do danas, podijeljeno ih je za fiziku 114, laureata je bilo 212, a laureatkinja samo 4 (dvije u 20. stoljeću), dob najmlađeg je bila 25, a najstarijeg 96 godina, samo je jedan čovjek dobio dvije Nobelove nagrade za fiziku.

### Stoljeće atoma

Fizika je prirodna znanost koja se bavi materijom, gibanjem, energijom i međudjelovanjem (Hrvatska enciklopedija), a u obraćanju nefizičarima jednu od najboljih i najkraćih definicija dao je slavni i omiljeni nobelovac Richard Feynman, definirajući fiziku, odnosno metodu znanosti riječima *ako se ne slaže s opažanjem, onda je pogrešno*. Taj upečatljivi Feynmanov kroki kao da je reminiscencija poznate Platonove misli: *Proces spoznaje se sastoji u stalnom prilagođavanju našega unutarnjeg svijeta pojmova na sve bolje istražen vanjski pojavni svijet*.

Poznata je i Feynmanova misao „Ako bismo morali navesti najmoćniju pretpostavku od svih (..) bila bi to tvrdnja da je sve načinjeno od atoma,“<sup>3</sup> a ako bismo 20. stoljeće morali obilježiti jednim fizikalnim konceptom onda bismo ga mogli nazvati stoljećem atoma. Ono ipak nije prvo stoljeće koje možemo zvati stoljećem znanosti, bilo je to 19. stoljeće s otkrićima elektrodinamike i termodinamike toliko značajnima, da se je i najjemenitnijim fizičarima činilo da su „...vjerojatno svi temeljni principi fizike otkriveni i napredak u fizici će odsad biti samo rigorozna primjena tih principa na objašnjavanje prirodnih pojava,“ kako je rekao Albert Michelson u prigodi otvorenja Ryersonovog laboratorija za fiziku na Sveučilištu u Chicagu, 1894.<sup>4</sup> Pokazalo se međutim da američki nobelovac nije mogao biti više u krivu i citiramo ga uvijek kao upozorenje svim eventualnim prorocima znanstvene budućnosti.

1 Steven Pinker, *Prosvjetiteljstvo našeg doba - suvremeni pogled na razum, znanost, humanizam i napredak*, (Zagreb: Mozaik knjiga, 2020)

2 John G. Simmons, *The Scientific 100: A Ranking of the Most Influential Scientists*, (New York: Kensington Publishing, 2001)

3 Feynman, Richard; Leighton, Robert B., Sands, Matthew. „The Feynman Lectures on Physics“, Caltech, 1964. <https://feynmanlectures.caltech.edu/> (posjet 2.10.2021.)

4 Lawrence Badash, *The completeness of nineteenth-century science*, Isis, vol. 63 br. 1, (ožujak 1972.):52.

Dvadeseto je stoljeće međutim prvo u kojem je znanost, pa tako i fizika, doživjela ekspanziju, preuzela dominaciju intelektualnom sferom i izvršila golem utjecaj na ekonomiju, društvo i politiku. Za ilustraciju, broj školovanih fizičara u svijetu oko 1900. iznosio je manje od 1500 i obuhvaćao isključivo muškarce. Oko 1990. zajednica fizičara broji više od 150.000 znanstvenika, ali postotak žena je još uvijek manji od 10% (i manji nego u biologiji i kemiji).<sup>5</sup>

### Početak 20. stoljeća – dvije konceptualne revolucije

Prvu polovinu 20. stoljeća obilježile su dvije konceptualne revolucije, Einsteinova teorija relativnosti i kvantna teorija s najprominentnijim imenima Heisenberga, Schrödingera i Diraca koje su stubokom promijenile čovjekovo poimanje prostora, vremena, događaja, (ne)determinističkog, odnosno probabilističkog svemira te utjecale na filozofiju i umjetnost. Stoljeće započinje čudesnom godinom, *annus mirabilis* 1905., u kojoj Albert Einstein objavljuje klasični članak o Brownovom gibanju, o fotoelektričnom efektu i specijalnoj relativnosti te otkriva jednu od najpoznatijih relacija svih vremena  $E = mc^2$  koja povezuje masu i energiju. Godine 1915. objavljuje opću teoriju relativnosti i dobiva reputaciju ikone fizike 20. stoljeća. Na pitanje zašto je baš on stvorio teoriju relativnosti, odgovorio je: „Čini mi se da je razlog sljedeći: čovjek koji je normalno odrastao uopće ne razmišlja o problemu prostora i vremena. Po njegovu je mišljenju on s tim pojmovima raščistio još u djetinjstvu. Ja sam se, međutim, razvijao tako sporo da su prostor i vrijeme zaokupljali moje misli i kada sam već bio odrastao.“<sup>6</sup> Promjenu poimanja prostora i vremena opisao je Charles Nordmann, pionir popularizacije specijalne teorije relativnosti prisposobom: *Vrijeme je u klasičnoj fizici poput rijeke koja nosi pojave kao rijeka brodove. Pa i kad nema brodova rijeka teče. Prostor je obala rijeke, koja isto postoji neovisno o brodovima. Einsteinova teorija relativnosti promijenila je tu sliku na sljedeći način: kada nema brodova – rijeka ne teče! Oblik se obale mijenja pod djelovanjem lađa u prolazu!*

Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr i drugi razvili temeljne elemente kvantne teorije, 1913. Bohr je utemeljio kvantni model atoma, a 1925. su Werner Heisenberg i Erwin Schrödinger formulirali kvantnu mehaniku čiji je razvoj u 20. stoljeću doveo do stvaranja moćnih teorijskih alata za nastanak i razvoj novih područja fizike. Fizika čvrstoga stanja počinje izučavati fizička svojstva kristala i tekućina, kristalne strukture te, nešto kasnije, poluvodiče i pojavu supravodljivosti. Tijekom 20. stoljeća razvija se i kvantna teorija polja, koja ujedinjuje kvantnu mehaniku i specijalnu teoriju relativnosti. Svoj suvremeni oblik dostiže polovicom 20. stoljeća u radovima Feynmana, Schwingera, Tomonage i Dysona, otaca kvantne elektrodinamike. Kvantna je teorija polja osigurala kvalitetan okvir za razvoj fizike elementarnih čestica, koja izučava fundamentalne sile i elementarne čestice. Godine 1954. Yang i

5 Helge Kragh, *Quantum Generations – A History of Physics in the Twentieth Century*, (New Jersey: Princeton University Press, 1999.): 440.

6 Albert Einstein, *Moja teorija*, (Beograd: Polaris, 1985.)

Mills postavljaju temelje koji dovode do tzv. standardnoga modela, upotpunjenoga u drugoj polovici 20. stoljeća, koji do danas uspješno opisuje sve do sada poznate čestice.<sup>7</sup>

Klasična je fizika deterministička, u zadanim uvjetima (npr. poznat položaj i brzina objekta) može sa sigurnošću utvrditi (opisati jednadžbom) gibanje objekta. Također, temelji se na pretpostavci da je poznavajući odvojene dijelove moguće opisati fizički sustav u cjelini i oštro razlikuje promatrača i objekt. Kvantna je fizika za razliku od toga probabilistička, izražava se u vjerojatnostima događaja i ne može predviđati s potpunom sigurnošću. Promatrač utječe na objekt promatranja, fizičke veličine poprimaju određene vrijednosti tek kada ih se mjeri, ne postoje neovisno o motrenju, nego su uzrokovane činom motrenja. To su revolucionarne promjene u poimanju svijeta zbog kojih jednom od otaca kvantne fizike Nielsu Bohru pripisuju izreku, *Onaj tko kvantnom mehanikom nije šokiran, taj je nije razumio*. Poznato je da Einstein nije mogao prihvatiti kvantnu mehaniku. Referirajući se na njezin probabilistički karakter u pismu Maxu Bornu iz prosinca 1926. kaže da je uvjeren da „... Bog ne baca kockice“,<sup>8</sup> a anegdota o raspravama s Nielsom Bohrom (Slika 1) kaže da je svoje neprihvatanje ideja kvantne fizike izražavao sličnom lamentacijom *Je li moguće da je Bog bio kockar?* na što bi mu Bohr odgovarao *Prestani više naređivati Bogu što da radi*.



Slika 1: Bohr i Einstein 1925. u domu Paula Ehrenfesta u Leidenu<sup>9</sup>

7 Zdravko Faj, *Pregled povijesti fizike*, (Osijek: Sveučilište u Osijeku, 1999) prema [http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/20\\_uvod.htm](http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/20_uvod.htm)

8 Max Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*, (New York: Wiley-Interscience, 1974): 155.

9 preuzeto Petar Jelača., Ana Lipošćak, Ana, Maričić, Doris Šegota, Rajka Jurdana-Šepić, Nataša Hoić-Božić, *Courseware Povijest fizike*, Sveučilište u Rijeci, 2009. <http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/index.htm> (posjet 2.10.2021.)

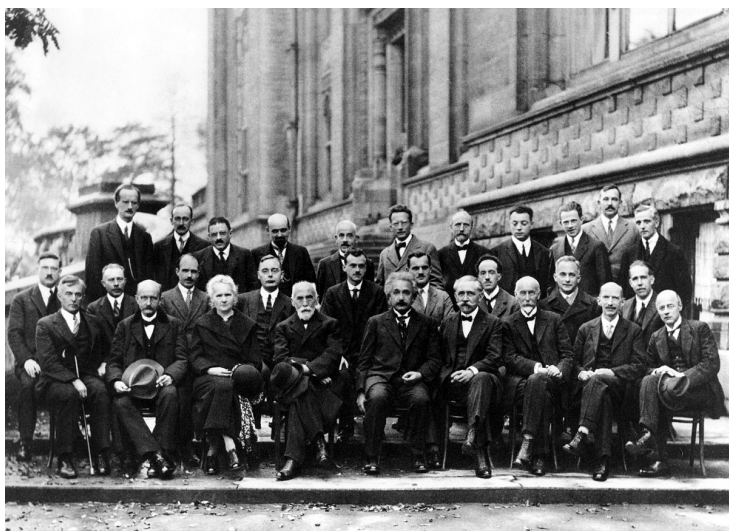
Heisenbergovo načelo neodređenosti uvodi parove tzv. komplementarnih veličina. U pojednostavljenoj verziji može se iskazati, što je preciznije poznat položaj (ili impuls) čestice, to se manje precizno može spoznati koliki je njezin impuls (položaj). Kvantna je fizika stoga polučila brojne filozofske implikacije. Niels Bohr je naglašavao važnost komplementarnosti i na primjerima udaljenim od fizike. Navodno su ga prilikom nekoga intervjua upitali koja je „veličina,“ odnosno kategorija, komplementarna pojmu istina (njem. *die Wahrheit*). Odgovorio je: jasnoća (njem. *die Klarheit*).<sup>10</sup>

Osim utjecaja na filozofsku misao prve polovine 20. stoljeća mnogi povjesničari znanosti i umjetnosti smatraju kako je kvantna teorija utjecala i na umjetnost. F. Kafka i J. Joyce su eksperimentirali stilovima književnih djela i izazivali čitaoce da preispitaju svoje stavove i svoju sliku svijeta. A. I. Miller piše o utjecaju teorije relativnosti na kubizam; „...korijeni znanosti nisu uvijek u znanosti, a tako i korijeni kubizma moraju biti samo u umjetnosti. (...) Kubizam je ‘istraživački program’ u kojem Picasso otkriva novu estetiku – reduciranje forme na geometrijsko prikazivanje te simultano prikazivanje iz više rakursa, perspektiva, motrišta.. (...) Iako Einstein i Picasso nisu bili svjesni jedno drugog avangardni trenutak prve dekade 20. st. ohrabrio je obojicu da preispituju tradicionalno razumijevanje prostora i vremena.“<sup>11</sup>

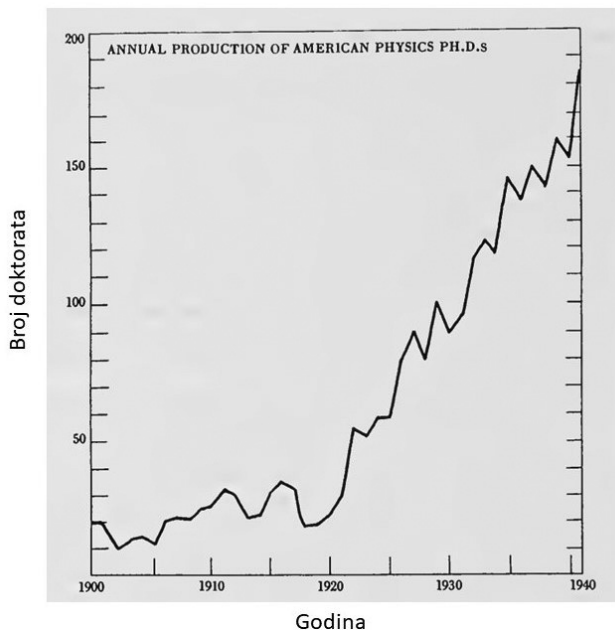
Belgijski industrijalac Ernest Solvay osnovao je 1912. u Briselu Međunarodni Solvay institut za fiziku i kemiju koji do danas organizira znanstvene skupove. Od 1911. počele su se u Bruxellesu svake tri godine održavati Solvayeve konferencije na kojima sudjeluju najeminentniji fizičari i kemičari svijeta. Najslavnija je peta Solvay konferencija o fizici, održana 1927. čijih 17 od 29 sudionika jesu ili će postati nobelovci (Slika 2). Uspon razvoja i popularnosti fizike u prvoj polovini 20. stoljeća prikazuje broj obranjenih doktorata iz fizike u SAD 1900. – 1940. (Slika 3).

10 Steven Weinberg, *U potrazi za konačnom teorijom*, (Zagreb: Izvori, 1997)

11 Arthur I. Miller, *Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty That Causes Havoc*, (New York: Basic Books, 2001)



Slika 2: Sudionici pete Solvayeve konferencije 1927., A. Piccard, E. Henriot, P. Ehrenfest, E. Herzen, Th. de Donder, E. Schrödinger, J. E. Verschaffelt, W. Pauli, W. Heisenberg, R. H. Fowler, L. Brillouin; P. Debye, M. Knudsen, W.L. Bragg, H. A. Kramers, P. A. M. Dirac, A. H. Compton, L. de Broglie, M. Born, N. Bohr; I. Langmuir, M. Planck, M. Curie, H.A. Lorentz, A. Einstein, P. Langevin, Ch.-E. Guye, C. T. R. Wilson, O. W. Richardson <sup>12</sup>



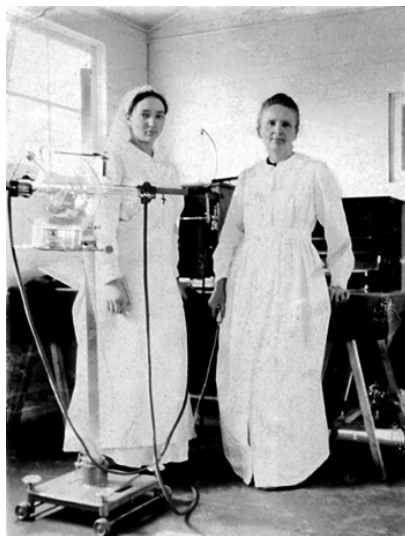
Slika 3: Broj doktorata iz fizike obranjenih godišnje u SAD 1900. – 1940.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Preuzeto Solvay Institutes Archives <http://www.solvayinstitutes.be> (posjet 4.10.2021.)

<sup>13</sup> Helge Kragh, *Quantum Generations – A History of Physics in the Twentieth Century*, (New Jersey Princeton University Press, 1999): 16.

## Fizika i rat

Dvadeseto su stoljeće obilježila dva svjetska rata, prvi od njih bilježi niz tehnoloških novina primijenjenih i na vojno djelovanje: zrakoplove, brzometne i dalekometne topove (Slika 4). Iako izum radara seže do 1900. (Ch. Hülsmeier), prvi uređaj istovjetan današnjim radarima izradio je Robert Watson-Watt 1935. Prve radare upotrijebili su Britanci na početku Drugoga svjetskog rata.



Slika 4: Marie Skłodowska Curie (desno) s kćerkom Irene tijekom pomaganja ranjenicima Prvog svjetskog rata mobilnom radiografijom<sup>14</sup>

Godina 1932. je još jedna *annus mirabilis* za fiziku, Carl D. Anderson eksperimentalno otkriva pozitron u kozmičkim zrakama, James Chadwick otkriva neutron, a netom prije 1932. Harold Urey deuterij. Teorija relativnosti dobiva eksperimentalne potvrde i počinje gradnja prvih akceleratora čestica, Lawrence gradi prvi ciklotron. Einstein 1932. kao žrtva nacističkog režima emigrira u SAD. Prezirući militarizam i uporabu sile, širokih nazora, slobodouman i antirasist, već se 1925. pridružio Gandhiju i drugim istaknutim pacifistima u potpisivanju izjave u kojoj se protive obaveznoj vojnoj službi smatrajući je namjernom obukom ljudi da ubijaju, što potkopava poštovanje pojedinca, demokracije i ljudskoga života. Do 1930. je postao vodeća ličnost u globalnom pokretu za mir.

Njemački fizičari Otto Hahn i Fritz Strassmann 1938. objavljuju rezultate pokusa bombardiranja urana neutronima u kojima dobivaju izotop barija (Slika 5). Njihova suradnica Lise Meitner austrijska fizičarka židovskoga porijekla koja je zbog *Anschlussa* izbjegla u Švedsku i Otto Robert Frisch interpretiraju te rezultate kao

<sup>14</sup> Amanda Davis, *How Marie Curie helped save a million soldiers during World war I*. IEE Spectrum, February, 1, 2016. <https://spectrum.ieee.org/how-marie-curie-helped-save-a-million-soldiers-during-world-war-i> (posjet 10.10.2021.)

nuklearnu fisiju, tj. cijepanje uranove jezgre nakon apsorpcije neutrona. Reakcija oslobađa veliku energiju i dodatne neutrone. Budući da se ova otkrića zbivaju u vrijeme jačanja nacizma u Njemačkoj i dolaska Hitlera na vlast, mnogi su znanstvenici upozoravali na posljedice koje bi mogla imati uporaba nuklearnoga oružja, pogotovo ako bi do oružja prva došla nacistička Njemačka. Na inicijativu Lea Szilarda, Einstein u nekoliko pisama 1939. poznatih kao Einstein-Szilardova pisma, upozorava američkoga predsjednika F. Roosevelta na tu opasnost i savjetuje razvijanje američkih, odnosno savezničkih nuklearnih kapaciteta. Zato je 1941. pokrenut projekt gradnje atomske bombe poznat kao projekt *Manhattan*. Radi se u jednom od najvećih tajnih projekata američke vlade ikada, koji je u Los Alamosu okupio vrsne fizičare i inženjere pod vodstvom Roberta Oppenheimera.<sup>15</sup>



Slika 5: Radni stol Otta Hahna s priborom kojim je izveo nuklearnu fisiju<sup>16</sup>

Projekt su pratile brojne sumnje u moralnost i opravdanost takvog poduhvata. Oppenheimer je dao sve od sebe da ih odagna. U razgovoru s grupama ogorčenih i razočaranih, složio se da će atomske bombe učiniti strah trajnim obilježjem običnog života, ali i tvrdio da bi ipak mogle značiti kraj rata. Pridružio se Nielsu Bohru u predviđanju da će nacionalne vlade ustupiti značajan dio svog suvereniteta Ujedinjenim narodima, što će jamčiti mir u svijetu. Oppenheimerova pretpostavka moralnog vodstva uvjerala je znanstvenike okupljene oko projekta da nije na njima da rješavaju politička i vojna pitanja.

Prva kontrolirana lančana reakcija, prvi eksperimentalni nuklearni reaktor *Chicago pile 1*, napravljen je u prosincu 1942. u Chicagu pod vodstvom E. Fermija. Prva atomska bomba, imena Trinity, testirana je 16. srpnja 1945. na području pod imenom *White Sands Missile Range* (velikom kao države Pennsylvanija, Rhode Island

<sup>15</sup> Faj, *Pregled povijesti fizike*

<sup>16</sup> David Allan Bromley, *A Century of Physics*, (New York: Springer-Verlag, 2002): 21.



i Washington zajedno), oko 400 km udaljenom od Los Alamosa. Američka vojska samo jednom godišnje otvara to područje za javnost, a zračenje na tom mjestu još uvijek je deset puta veće od uobičajenog. SAD je japansku vladu pozvao na kapitulaciju, no ona nije pristala, na što je predsjednik Truman naredio upotrebu atomske bombe. Niti mjesec dana nakon testiranja oružje je upotrijebljeno u bombardiranju Hirošime 6. kolovoza i Nagasakija 9. kolovoza 1945. Oduzeto je 400.000 ljudskih života i ostavljene trajne posljedice radioaktivnoga zračenja. Dan nakon bombardiranja Hirošime Robert Oppenheimer izjavio je za New York Times; *Mnogi dječaci koji još nisu odrasli ovome će dugovati život*. Kako bi spriječio i moguće treće bombardiranje, Japan je 10. kolovoza 1945. potpisao bezuvjetnu kapitulaciju čime je završen Drugi svjetski rat.

*Napravili smo stvar, najstrašnije oružje, koje je naglo i duboko promijenilo prirodu svijeta (...) stvar koja je po svim standardima svijeta u kojem smo odrasli – zla. Time smo ponovno pokrenuli pitanje je li znanost dobra za čovjeka*, rekao je Robert Oppenheimer u obraćanju Američkom filozofskom društvu. Oppenheimer, svojevrsni američki Prometej, poslije Drugoga svjetskog rata nije podržavao projekt H-bombe, a 1954. je optužen zbog „simpatija prema komunizmu.“ Iako su policijska ispitivanja dokazala njegovu lojalnost SAD-u, ipak mu je zabranjen pristup povjerljivim dokumentima o nuklearnim istraživanjima. Godine 1963. je potpuno rehabilitiran i nagrađen Fermijevom nagradom.<sup>17</sup>

Akademik Ivan Supek, hrvatski fizičar, koji je radio s ocem kvantne mehanike Wernerom Heisenbergom i osobno poznao najveće fizičare 20. stoljeća opisuje: „Nakon bitke kod Staljingrada 1943. godine, bilo je jasno da će Njemačka izgubiti rat. Onda je Leo Szilard počeo kampanju protiv atomske bombe. U Los Alamosu bili su brojni fizičari kozmopoliti i lijeve orijentacije te mnogi od njih nisu željeli nastaviti projekt. Pitao sam Oppenheimera zašto nije prekinuo Projekt. Rekao mi je da je taj projekt bio nezaustavljiv. Oppenheimer je čovjek podijeljene lojalnosti, podvojen između kozmopolitizma i humanizma s jedne strane i lojalnosti svojoj vladi. Ipak je htio da ga smatraju dobrim Amerikancem. Zapravo je bio ljevičar, čak i komunist do pakta Hitler – Staljin. Za vrijeme Španjolskog građanskog rata novčano je pomagao republikancima.“<sup>18</sup>

### ***Big Science***

Iako su znanost i tehnologija uvijek bile važne za ratovanje, završetak Drugog svjetskog rata uspjehom projekta *Manhattan* dovodi do porasta vojnog financiranja znanosti s opsegom bez presedana u povijesti. U sjeni prvog atomskog oružja, važnost jakog znanstvenoistraživačkog objekta bila je očita svakoj zemlji koja je željela figu-

17 Martin J. Sherwin, Kai Bird, *American Prometheus: The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer*, (New York: Vintage Books, 2006.)

18 Tanja Rudež, „Ivan Supek, Moj život s nobelovcima 20. stoljeća“, 20.3.2006. <https://www.dugirat.com/novosti/106-arhiva/2636-ivan-supek-moj-zivot-s-nobelovcima-20-stoljeca-v15-2636> (posjet 4.10.2021.)

rirati u međunarodnoj politici. Pojavljuju se novi oblici istraživačkih pogona, država financira laboratorije, kojima upravljaju sveučilišta i koji zapošljavaju tisuće tehničara i znanstvenika. Vlade su postale glavnim pokroviteljem znanosti, što je posebno izraženo u Sjedinjenim Državama i Sovjetskom Savezu tijekom Hladnog rata, a u manjoj mjeri i u drugim zemljama.<sup>19</sup>

Skovan je izraz *big science* „velika znanost“ prema navodu u članku Alvina M. Weinberga, tadašnjeg direktora Nacionalnog laboratorija *Oak Ridge*, objavljenom u časopisu *Science* 1961. Weinberg odgovara na oproštajni govor Dwighta D. Eisenhowera, u kojem je američki predsjednik upozoravao na opasnosti od onoga što je nazvao „vojno-industrijskim kompleksom“ i na potencijalnu „dominaciju državnih znanstvenika saveznim zapošljavanjem, dodjeli projekata i snagom novca“ i kaže: „Kad povijest pogleda 20. stoljeće, vidjeti će znanost i tehnologiju, naći će u spomenicima ‘Big science’ – goleme rakete, ubrzivače visoke energije, istraživačke reaktore s visokim protokom – simbole našega vremena jednako sigurno kao što u Notre Dameu pronalazi simbol srednjeg vijeka. (...) Mi svoje spomenike gradimo u ime znanstvene istine, oni su izgrađivali svoje u ime vjerske istine; mi koristimo našu ‘Big science’ kako bismo postigli prestiž naše zemlje, oni su koristili svoje crkve za prestiž svojih gradova; gradimo kako bismo osigurali ono što je bivši predsjednik Eisenhower sugerirao da bi moglo postati dominantna znanstvena kasta, oni su izgradili kako bi udovoljili svećenicima Izide i Ozirisa.“<sup>20</sup>

*Big science* – „velika znanost“ je značila velike proračune za osnovna istraživanja, golemi broj istraživača na projektima koji je počeo izazivati poteškoće i kontroverze pri dodjeli zasluga za znanstvena otkrića (sustav Nobelove nagrade nagrađuje samo tri živuća laureata), velike uređaje (ciklotroni, akceleratori, sudarači, super-sudarači) čiji se troškovi izražavaju u milijunima i milijardama dolara te velike laboratorije u kojima se centraliziraju znanstvena istraživanja (Nacionalni laboratorij Lawrencea, CERN, Brookhaven, FermiLab itd.).<sup>21</sup> Razdoblje „*big science*“ otvorilo je pitanja o podrivanju temeljnih načela znanstvene metode. Financiranje od strane vlada često je bilo povezano s vojnim financiranjem, što je, za neke bilo u suprotnosti s prosvjetiteljskim idealom znanosti – čistom potragom za znanstvenom istinom. Povjesničar Paul Forman tvrdi da je vojno financiranje znanosti tijekom Drugog svjetskog rata i hladnog rata potaknulo prijelaz fizike s pretežno temeljnih u primijenjena istraživanja.<sup>22</sup> Mnogi su se znanstvenici žalili i zbog povećanih birokratskih aktivnosti, potrebnih za pribavljanja financiranja kao i zbog intenziviranja veze akademske zajednice, vlada i industrijskih interesa koja dovodi u pitanje objektivnost znanstvenika ako su rezultati istraživanja bili u suprotnosti s interesima i namjerama njihovih financijera.

19 Barry Parker, *The Physics of War – From Arrows to Atoms*, (New York: Prometheus Books, 2014)

20 Alvin M. Weinberg, „Impact of Large-Scale Science on the United States“, *Science*, vol. 134, br. 3473, (srpanj 1961.):161.

21 Ibid.

22 Paul Forman, „Behind quantum electronics: National security as basis for physical research in the United States, 1940-1960“, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 18, br. 1 (siječanj 1987):149.

Završetak Drugog svjetskog rata prvom upotrebom najrazornijeg oružja ikad proizvedenoga paralelno s naoružavanjem pokreće i inicijative za razoružavanjem. Za svjetsko razoružanje zalagao se Einstein i do kraja života ostao predan borac za mir, međunarodnu suradnju i eliminaciju nuklearnoga oružja. Podupirao je cioniste, no odbio je ponudu države Izrael da 1948. postane njezinim prvim predsjednikom.

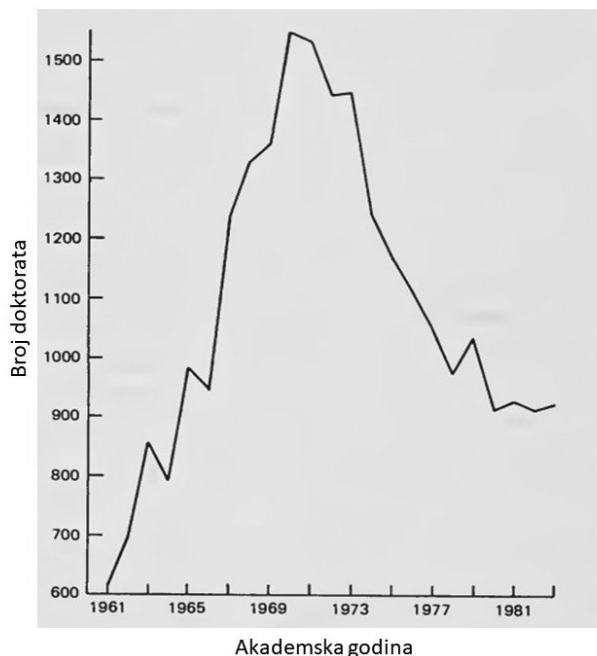
Javljuju se i ugledni fizičari drugačijeg pogleda na primjenu znanosti u vojne svrhe, primjerice, znameniti fizičar Edward Teller koji je od 1942. bio uključen u projekt *Manhattan* bio je zagovornik izrade i razvoja nuklearnog oružja te glavni konstruktor američke hidrogenske bombe. Zbog svojih je stajališta u popularnoj kulturi ostao zabilježen kao karikirani predložak lika dr. Strangelovea u istoimenom filmu slavnoga Stanleya Kubricka.<sup>23</sup> Hidrogenska, vodikova ili H bomba je termonuklearno oružje čija eksplozivna snaga počiva na energiji koja se oslobađa fuzijom nekih lakih atomskih jezgara (izotopi vodika i litija). Oslobađa do 1000 puta veću energiju od atomske bombe. Američki predsjednik H. Truman 1950. naređuje konstruiranje termonuklearne bombe, a 1. 11. 1952. SAD su izvele prvu termonuklearnu eksploziju. Razvoj tehnologija povezanih s atomskim, odnosno nuklearnim izvorima energije dovodi do upotrebe atomske energije za mirnodopske, energetske potrebe čovječanstva. U Obninsku u SSSR je 1954. počela s radom prva nuklearna elektrana, koja je ostala u pogonu čak do 2002. Nuklearne elektrane s fisijским reaktorima postale su izuzetno važan izvor proizvodnje električne energije, prema izvješću IAEA (*International Atomic Energy Agency*)<sup>24</sup> primjerice 2013. se u nuklearnim elektranama proizvelo 19% ukupno proizvedene električne energije u svijetu. Čovječanstvu su donijele ekološke probleme odlaganja radioaktivnog otpada i kvarova na elektranama od kojih je u 20. stoljeću najveći bio Černobilska katastrofa 1986. Problem kontrolirane fuzije tehnološki nije riješen do kraja 20. stoljeća, no prvi sporazum o gradnji megaprojekta zajedničkoga fuzijskog reaktora su 1985. u Ženevi potpisali sovjetski predsjednik Mihail Gorbačov i američki predsjednik Ronald Reagan, a podržali britanska premijerka Margaret Thatcher, francuski predsjednik François Mitterrand te japanski premijer.<sup>25</sup>

Krajem 1960-ih kontroverzno pitanje u Sjedinjenim Državama postaje rat u Vijetnamu pa u akademskim krugovima jačaju antiratni osjećaji. U isto vrijeme pojavljuje se i pitanje ekološkog hazarda nuklearne energije. Američki predsjednik Ford ukida Komisiju za atomsku energiju i zamjenjuje je Odjelom za energetiku, pri čemu je bilo je više nego simbolički važno da je iz naziva odbora uklonjena riječ „atomska.“ Povjerenje javnosti u „znanstveno svećenstvo“ u to vrijeme naglo opada pa npr. anketa iz 1971. pokazuje da samo 37% ispitanika znanstvenike ocjenjuje „vrlo povoljno.“ Slabljenje popularnosti fizike nakon šezdesetih godina 20. stoljeća prikazuje i broj obranjenih doktorata iz fizike u SAD 1961. – 1981. (Slika 6).

23 Shurkin, Joel N. „Edward Teller, ‘Father of the Hydrogen Bomb,’ is dead at 95“, *Stanford Report. Stanford News Service*, 24.9.2003. <https://news.stanford.edu/news/2003/september24/tellerobit-924.html> (posjet 2.10.2021.)

24 IAEA Nuclear Technology Review 2013., 9. (posjet 29. 1. 2014.)

25 priredila A. Bogdan. *Građevinar, Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera*, br. 1 (2017.): 1.

Slika 6: Broj doktorata iz fizike obranjenih u SAD 1961. – 1981.<sup>26</sup>

### Fizika i biologija

Rođenje molekularne biologije 1930-ih dovelo je do ulaska fizičke i redukcionističke misli u znanost o životu. Nekolicina pionira molekularne biologije bili su školovani fizičari, a i sam nobelovac Francis Crick diplomirao je fiziku 1938., a biologiji se okrenuo nakon rata, dijelom nadahnut Schrödingerovom knjigom iz 1944. *Što je život*.<sup>27</sup> Otkriće strukture DNK 1953. koje se smatra najvažnijim otkrićem moderne biologije bilo je rezultat analize rendgenskih difrakcijskih uzoraka koje je napravio fizičar-biolog Maurice Wilkins radeći u laboratoriju Rosalind Franklin, nepravedno zaobiđene u dijeljenju zasluga za ovo povijesno otkriće. Općeniti trend razvoja biologije u 20. stoljeću posebno molekularne biologije, uvelike je nadahnula fizika i redukcionističko razmišljanje. Godine 1966. Crick piše: „Krajnji je cilj modernog pokreta u biologiji činjenica da se cjelokupna biologija objasni u smislu fizike i kemije. (...)Velika otkrića fizike o atomu dovela su do velikog priljeva fizičara i kemičara u biologiju.“<sup>28</sup> Mnogi povjesničari znanosti smatraju da su ukupni tempo i smjer znanosti u 20. stoljeću bili pod snažnim utjecajem razvoja fizike.<sup>29</sup>

26 Kragh, *Quantum Generations – A History of Physics*, 396.

27 Ibid., 446.

28 Robert Olby, *The Path to the Double Helix: The Discovery of DNA*, (New York: Dover Publications, 1994), 425.

29 Kragh, *Quantum Generations*, 446.

## Laser

Laser (akronim od *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) jedan od najvažnijih i najšire korištenih znanstvenih izuma i instrumenata teorijski je predvidio Einstein još 1917. Prvi je laser konstruirao T. H. Maiman 1960. i bio je izravan potomak masera (akronim od *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) nastalog u vojnoj radarskoj tehnologiji. Laser je izuzetno široko primijenjen u tehnici i tehnologiji, obradi materijala, vojnoj industriji, medicini, optici i telekomunikacijama, omogućivši kasnije uporabu optičkih vlakana. Sinergija fizike i medicine u drugoj polovini 20. stoljeća obuhvaća i cijeli niz slikovnih tehnika koje su poznate svakom stanovniku razvijenog svijeta i koje su revolucionirale medicinsku dijagnostiku: ultrazvuk (začeci sežu u 18. stoljeće, a 1881. je otkriven piezoelektrični efekt) Color-Doppler tehnika, rendgen (otkriće C. Röntgena iz 1895., prva Nobelova nagrada za fiziku 1901.) CT računalna tomografija, MR magnetska rezonancija, fMRI funkcionalna magnetska rezonancija, PET pozitronska emisijska tomografija i mnoge hibridne tehnike.

## Do mjeseca

Šezdesete godine 20. stoljeća su vrijeme hladnog rata i američkog svemirskog programa. On započinje Kennedyjevom najavom iz 1961. ...*this nation should commit itself to achieving the goal, before the decade is out, of landing a man on the Moon and returning him safely to the Earth*, a trijumfira aluniranjem astronauta misije *Apollo 11* u srpnju 1969. Povijesno je zanimljivo da se glavnim američkim raketnim stručnjakom, zaslužnim za uspjeh programa *Apollo*, tj. za let na Mjesec svemirskih brodova s ljudskom posadom, smatra raketni stručnjak njemačkoga podrijetla Wernher von Braun (1912. – 1977.).<sup>30</sup> On je tijekom Drugog svjetskog rata bio jedan od vodećih stručnjaka za rakete i raketna oružja u nacističkoj Njemačkoj, časnik SS-a te jedan od konstruktora dalekometnih projektila *V-1* i *V-2*, kojima je 1944. – 1945. bombardirana Britanija. Nakon kapitulacije Njemačke von Braun je sa svojom ekipom od 127 raketnih stručnjaka prešao u SAD i nastavio rad na razvoju i usavršavanju raketa. Pod njegovim vodstvom izgrađeno je u SAD-u nekoliko novih tipova raketa nosača za svemirske letove, među kojima i raketa *Jupiter-C*, kojom je 1958. lansiran prvi američki umjetni satelit *Explorer I*.<sup>31</sup>

## Digitalna revolucija

U drugoj polovini 20. stoljeća nastupa početak treće industrijske revolucije – digitalne, odnosno otkrića poluvodiča, osobnog računala i Interneta. Prvi tranzistor,

30 Braun, Wernher von. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 2. 10. 2021. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=9324>>.

31 Braun, Wernher von. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 2. 10. 2021. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=9324>>.391.

aktivni poluvodički element, sastavni dio integriranog kruga (čipa) proizveden je u laboratorijima kompanije *Bell Telephone* 1947., a njegovi izumitelji W. Shockley, W. Brattain i J. Bardeen podijelili su za istraživanja poluvodiča i otkriće tranzistora Nobelovu nagradu 1956. (Slika 7). John Bardeen je do danas i jedini dobitnik dvije Nobelove nagrade za fiziku, drugi puta 1972. s L. N. Cooperom i J. R. Schriefferom za teoriju supravodljivosti (tzv. BCS-teorija po prezimenima autora).



Slika 7: J. Bardeen, W. Shockley i W. Brattain izumitelji tranzistora<sup>32</sup>

Osamdesetih godina 20. stoljeća intenzivno se razvija tehnologija optičkih vlakana – prozirnih niti (staklo ili polimeri) koja prenose svjetlosne signale i svjetlosnu energiju. Optička vlakna su osobito unaprijedila telekomunikacije, računalne mreže i medicinu (endoskopija) te našla primjenu u brojnim drugim područjima.

Internet je rođen 1989. kao alat za istraživanja u fizici visokih energija u CERN-u, a njegovim se izumiteljem smatra fizičar Tim Bernes-Lee.<sup>33</sup> Dvadeseto stoljeće je i stoljeće fundamentalnih istraživanja koja obuhvaćaju i uspjehe u područjima fizike elementarnih čestica, astrofizike i kozmologije, iako se izravni utjecaj na povijest 20. stoljeća možda ne primjećuje. U 20. stoljeću je utemeljen tzv. standardni model čestica, teorije u fizici elementarnih čestica koja opisuje subatomske čestice i tri od četiri poznata fundamentalna međudjelovanja u prirodi, elektromagnetsko, slabo i jako. Odgovori koji se odnose na ulogu četvrte od poznatih sila, gravitacije, tamne tvari i tamne energije traže se na kozmološkom planu. Standardni model omogućava objašnjavaње pojava koje se uočavaju u pokusima u velikim akceleratorima čestica. Osnovne su sastavnice standardnoga modela temeljne čestice tvari, prijenosnici sila i područje lomljenja baždarne simetrije. Daljnja razjašnjenja u tom području su ciljevi pokusa na LHC sudaraču u CERN-u.

32 David Allan Bromley, *A Century of Physics*, (New York: Springer-Verlag, 2002.), 50.

33 David Allan Bromley, *A Century of Physics*, (New York: Springer-Verlag, 2002)

Riječima uglednog fizičara i povjesničara znanosti Helge Kragha „U 20. stoljeću javnost je doživljavala velike fizičare kao čarobnjake s nekom vrstom izravne veze s Bogom ili prirodom. Jednu stranu fascinacije fizikom predstavljali su veliki vizionari i teoretičari kao Einstein, Bohr, Feynman, Hawking...(...) a drugu tamniju snaga fizike koju dramatično simboliziraju „nuklearne gljive.“ Činilo se da fizika pokriva čitav spektar, od duboke kvantne filozofije do tehnoloških uređaja kao što su radar i laser. Po opčinjenosti javnosti, nijedna druga znanost nije bila ravna fizici.“<sup>34</sup>

## Zaključak

U dvadesetom je stoljeću znanost doživjela eksponencijalni razvoj, preuzela dominaciju intelektualnom sferom i izvršila golem utjecaj na ekonomiju, standard života i društvo općenito. Fizika je fundamentalna prirodna znanost koja osim iznimnih teorijskih i eksperimentalnih otkrića u 20. stoljeću ima snažan utjecaj na razvoj bliskih prirodnih znanosti, kemije i biologije (otkriće strukture DNK metodom rendgenske kristalografije), tehnologija (osvajanje svemira, novi materijali, dijagnostičke tehnike u medicini, digitalna revolucija), a time i ekonomije. Zbog primjene nuklearnog oružja i u 20. stoljeću je imala utjecaj i na društvenu sferu i politiku bez presedana u povijesti.

## Literatura:

- Bird, Kai, Sherwin, Martin J. *American Prometheus: The Triumph and Tragedy of J. Robert Oppenheimer*, New York: Vintage Books, 2006.
- Badash, Lawrence. *The completeness of nineteenth-century science* Isis vol 63, br. 1 (ožujak 1972.):48-58
- Bromley, David Allan. *A Century of Physics*. New York: Springer-Verlag, 2002.
- Davis, Amanda. *How Marie Curie helped save a milion soldiers during World war I*. IEE Spectrum, February, 1, 2016. <https://spectrum.ieee.org/how-marie-curie-helped-save-a-million-soldiers-during-world-war-i> (posjet 10.10.2021.)
- Einstein, Albert. *Moja teorija*. Beograd: Polaris, 1985.
- Faj, Zdravko. *Pregled povijesti fizike*. Osijek: Sveučilište u Osijeku, 1999.
- Feynman, Richard; Leighton, Robert B., Sands, Matthew. *The Feynman Lectures on Physics*, Caltech. 1964. <https://feynmanlectures.caltech.edu/> (posjet 2.10.2021.)
- Forman, Paul. „Behind quantum electronics: National security as basis for physical research in the United States, 1940-1960.“ *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 18, No. 1. 1987.
- Gradevinar, Časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera br. 1*. Priredila A. Bogdan. 2017.
- Braun, Wernher von. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 2. 10. 2021. <<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=9324>>.
- IAEA Nuclear Technology Review 2013., 9. (posjet 29. 1. 2014.)

34 Kragh, *Quantum Generations*, 445.

- Jammer, Max. *The Philosophy of Quantum Mechanics: The Interpretations of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: Wiley-Interscience, 1974.
- Jelača., Petar, Lipošćak, Ana, Maričić, Ana, Šegota, Doris, Jurdana-Šepić, Rajka, Hoić-Božić, Nataša. *Courseware Povijest fizike*, Sveučilište u Rijeci, 2009. <http://ahyco.uniri.hr/povijestfizike/index.htm> (posjet 2.10.2021.)
- Kragh, Helge. *Quantum Generations – A History of Physics in the Twentieth Century*. New Jersey Princeton University Press, 1999.
- Miller, Arthur I. *Einstein, Picasso: Space, Time and the Beauty That Causes Havoc*. New York: Basic Books, 2001.
- Olby, Robert. *The Path to the Double Helix: The Discovery of DNA*. New York: Dover Publications, 1994.
- Parker, Barry. *The Physics of War – From Arrows to Atoms*. New York: Prometheus Books, 2014.
- Pinker, Steven. *Prosvjetiteljstvo našeg doba - suvremeni pogled na razum, znanost, humanizam i napredak*. Zagreb: Mozaik knjiga, 2020.
- Rudež, Tanja. „Ivan Supek, Moj život s nobelovcima 20. stoljeća“, 20.3.2006. <https://www.dugirat.com/novosti/106-arhiva/2636-ivan-supek-moj-zivot-s-nobelovcima-20-stolje-ca-v15-2636> (posjet 4.10.2021.)
- Simmons, John G. *The Scientific 100: A Ranking of the Most Influential Scientists*. New York: Kensington Publishing, 2001.
- Shurkin, Joel N. „Edward Teller, ‘Father of the Hydrogen Bomb,’ is dead at 95“, *Stanford Report. Stanford News Service*, 24.9.2003. <https://news.stanford.edu/news/2003/sep-tember24/tellerobit-924.html> (posjet 2.10.2021.)
- Solvay Institutes Archives <http://www.solvayinstitutes.be> (posjet 4.10.2021.)
- Weinberg, Alvin M. „Impact of Large-Scale Science on the United States“, *Science*, vol. 134, br. 3473, (srpanj 1961.)
- Weinberg, Steven. *U potrazi za konačnom teorijom*. Zagreb: Izvori, 1997.

## SUMMARY

### *THE INFLUENCE OF DISCOVERIES IN PHYSICS ON THE HISTORY OF THE 20TH CENTURY*

The twentieth century made the science go through exponential development, which consequently took over the dominance of the intellectual sphere and exerted a huge influence on the economy, the standard of living and the society in general. Physics is a fundamental natural science that, apart from exceptional theoretical and experimental discoveries in the 20th century, has a strong influence on the development of related natural sciences, chemistry and biology (the discovery of DNA structure by X-ray crystallography), technology (the conquest of space, new materials, diagnostic techniques in medicine, digital revolution), and thus the economy as well, and due to the use of nuclear weapons there was also the influence on the social sphere and politics unprecedented in history. The article provides with an overview on the most significant physical discoveries of the 20th century and aspects of their influence on society and historical events through quotes from the famous physicists and science historians.

**Key words:** 20th century, science, technology, physics