

## **Mladen Živković<sup>1</sup>, Berislav Živković<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Srednja škola »Antun Matijašević-Karamaneo«, HR-21480 Vis  
mlazivko@inet.hr

<sup>2</sup> »Odašiljači i veze«, Ulica Grada Vukovara 269d, HR-10000 Zagreb

### **Od metafizike do fizike svjetla**

#### **Sažetak**

*Za svjetlo možemo reći da je istinski razbuđivač mišljenja (Platon, Država 523/524), kako u metafizici tako u prirodnoj filozofiji i znanosti. Želimo ukazati na posebnost Petrića kao onoga mislioca s kojim je dokončana epoha od antike nasljeđene metafizike svjetla i koji otvara put za novovjekovnu fiziku svjetla, naročito u djelu Panaugia, ali ne samo u njemu. Nakon Petrića uslijedila su brojna uzbudljiva znanstvena otkrića koja su rezultirala dubokim uvidima u narav svjetla, u geometriji, a posebice u fizikalnoj optici: svjetlo se širi konačnom brzinom, složeno je, dio je elektromagnetskog spektra zračenja, djeluje na materiju (fotoefekt), dovedeno je u vezu s masom i energijom. Ono nas začuđuje dualnošću svoje prirode čestice i vala. Istraživanjem zračenja tamnog tijela, suprotnosti vidljivog svjetla, otvorena je epoha kvantne fizike. Pitamo: Možemo li na osnovu mnoštva znanja o svjetlu do kojih su došli fizičari govoriti o biti svjetla (Max Planck)? Fotonika je nova epoha u komunikacijskoj tehnologiji. Što tek treba očekivati od istraživanja fotosinteze?*

#### **Ključne riječi**

svjetlo, metafizika, fizika, Frane Petrić, Max Planck, čestica, val, kvantna fizika, fotonika

## **1. Epoha metafizike svjetla i njezino dovršenje kod Petrića**

Ništa nije tako dugo i ustrajno razbuđivalo spoznajne moći i izazivalo dvojbe i čuđenje tolikih filozofa i fizičara, kao što su to svjetlo i opažaji s njime povezani. Da bi opažali treptavu svjetlost zvijezda potrebna je tama noći. U otužnom sivilu kišnog dana odjednom zablista znameniti luk duginih boja. Predmet uronjen u vodu prividno je slomljen, prav je i kriv istovremeno. No, to se fundamentalno protuslovlje u iskustvenom opažanju najočitiše ispostavilo u pokusima Fizeau i Michelsona, kaže Cassirer.<sup>1</sup> Na ovom zadnjem primjeru svjetlo je bilo istinski razbuđivač mišljenja u najnovije doba, što je rezultiralo nastankom teorije relativiteta koja počiva na aksiomu o konstantnoj brzini svjetla.

Metaforika i metafizika svjetla imaju važnu ulogu u najranijoj grčkoj filozofiji, a svoj prvi oblik dobivaju kod Platona. U sedmoj knjizi *Države* (523/524) Platon razlikuje dvije vrste osjetilnog opažanja. Pored običnog, osjetilnog opažanja gdje osjetilo daje dovoljno podataka o opažanom, Platon navodi i

1

Ernst Cassirer, *Uz Einsteinovu teoriju relativnosti*, Demetra, Zagreb 1998., str. 23.

ono koje nas dovodi u nedoumicu te o opažanom predmetu ne možemo donijeti sigurnoga suda. Osjetilno opažanje u takvim slučajevima nije samo sebi dostatno i priziva u pomoć razum. Osobito kad smo u situaciji da opažamo istovremeno suprotno. Treba podsjetiti na prispodobu o špilji, gdje je izlazak iz tame i sjene neznanja u spoznajno obraćenje uspoređen s prosvjetljenjem koje je usporedivo s izlaskom iz tame špilje na danje svjetlo sunca. Usporedbu Ideje dobra u onostranosti sa Suncem u vidljivom, osjetilnom svijetu treba istaknuti kao drugi važan motiv u sveukupnom Platonovu mišljenju. Tako se može reći da kod Platona dobija metafizika svjetla najjače podsticaje.

U patristici se usporedba sa Suncem preoblikovala u ontoteološku interpretaciju bitka. Bog je shvaćen kao nepromjenjiv i beskonačni bitak »duhovno Sunce« i »prvotni sjaj«.

»Bog prosvjetljava svojom riječju, dariva život i jednoću i sva bića svraća k sebi. U *Riječi* (λογος) postao je 'tijelo', jer čovjek nije u stanju promatrati blješteći čisti sjaj u samom sebi bivstvjućeg božanstva.«<sup>2</sup>

U neoplatonizmu dobija metafizika svjetla svoj klasični izraz kod Plotina. On materiju suprotstavlja duhu jer je neprosvjetljena i jednaka je zlu. Proklo otklanja ovaj dualizam i uspostavlja na neki način sustav hijerarhije svjetla. Njegov se utjecaj može pratiti kroz kasniji neoplatonizam sve do Petrića.

»Od Roberta Grosseteste (1175.–1253.) metafizika svjetla višestruko je isprepletana fizikom svjetla koja ga poima kao 'prvu formu', 'forma prima corporalis quam quidam corporeitate vocant', te stoga kao čistu kugloliko se šireću zbilju (Istina), počelo je kretanja i jednoća svega prirodno bivstvjućeg.«<sup>3</sup>

Ove su teze bile mjerodavne za Adama *pulchrae mulieris* (Witela), koji kaže da je Svjetlo prva od svih supstanci i posrednik božanstva, navlastiti i prvi princip spoznaje. Nikola Kuzanski određuje Boga kao svjetlo. Bog je svjetlo *impermiscibilis* i *innasscesibilis*. Marsilio Ficino kaže da je svjetlo cilj ljubice spoznaje i očitovanje ljepote. Ove Ficinove teze zastupa i Petrić, koji svoje teze o svjetlu izlaže u *Novoj sveopćoj Filozofiji*.<sup>4</sup> Prvo u deset knjiga *Panaugije*, a potom na početku *Pankozmije* i u knjigama *Pankozmije* u kojima raspravlja o zvjezdama i Suncu.

Za početak, o njegovim tezama u *Panaugiji*, koja je prvi dio *Nove sveopće filozofije*.

Njezinim se iščitavanjem, mi postupno penjemo od niže k višoj razini razmatranja svjetla. U prvoj knjizi govori Petrić o svjetlu, potom raspravlja o zrakama, prozirnim i tamnim tjelima, zračnoj, nebeskoj i nadnebeskoj svjetlosti, da bi u devetoj knjizi raspravljao o netjelesnoj svjetlosti. Na kraju, u desetoj knjizi piše o Ocu svjetlosti.

Filozofija je za Petrića mudrost i spoznaja sveukupnosti. Spoznaja ima izvor u umu, a početak u osjetilima od kojih je vid najizvršniji, jer se njime najviše spoznaju razlike među stvarima. Vid potrebuje *svjetlo* (lux) i *svjetlost* (lumina). Promatranjem bića u svijetu koje nam omogućuje svjetlo nastaje divljenje, iz divljenja nastaje razmišljanje, a iz razmišljanja filozofiranje. Filozofija je čedo svjetla, divljenja i razmišljanja. Petrić hoće početi od onoga prvoga, a to je za njega u vidljivom svijetu svjetlost. Nju je razložnije uzeti za počelo negoli atome, homeomerije, tvarne elemente i slično. Svjetlo je slika Boga. Svjetlo prožima sva bića i čitav svijet.

»Prožimajući sve, ono oblikuje i tvori. Sve oživljava. Sve sadržava. Sve održava. Sve okuplja. Sve ujedinjuje... Sve usavršava. Sve obnavlja. Sve usčuvava te čini da ne iščeznu u ništa.«<sup>5</sup>

Svjetlo je svega broj i mjera. Ono je svime bogato, najželjnije, ures, nakit, ljepota, radost, smijeh svijeta. Životu je svjetlo najpogodnije i spoznaji najdoličnije. Posrednik je između tjelesnih i netjelesnih naravi. Većinu ovih teza Petrić baštini od predhodnika, ali ih on na nov način povezuje i smješta u svoj filozofski sustav, čime one dobijaju na važnosti na nov način. U njima prepoznajemo buduće prvorazredno značenje što ga je imalo istraživanje svjetla u fizici i znanosti općenito, a danas osobito u tehnici.

Petrić kao prirodoznanstvenik koristi osjetilno opažanje i eksperiment pri proučavanju prozirnih tijela, te smatra da svjetlo slabi zbog *djelića* (pars) od kojih je građeno tijelo, a koji stoje na putu prolaska svjetlosti. Zrake svjetla samostojne su i nisu pripadci. One su tjelesne jer imaju oblik stošca; tople su, lome se, odbijaju i pravocrtno šire; prenose boje, ali su i netjelesne zato što se u trenutku prostiru u beskraj. Treba uočiti ovo Petrićevo određenje svjetla kao tjelesnog i netjelesnog istovremeno, te podsjetiti da je dvojnost određenja naravi svjetla zadržana u fizici do danas.

»Cjelokupni tjelesni svijet počiva u svjetlosti, i iznutra i izvana.«<sup>6</sup>

Prihvaća postojanje etera koji sja vlastitim svjetlom i svjetlom zvijezda. Pobi-ja peripatetičke teze o svjetlu.<sup>7</sup> Petrić ne prihvaća njihovu tezu da je svjetlost prisutnost svjetloga u prozirnem. On smatra da ta teza ne objašnjava bit svjetla. Bit svjetla nije u prisutnosti u prozirnem tijelu, jer bi tada bila svojstvo. Svjetlost, prema Petriću, nije svojstvo, jer bi se tada miješala sa svojstvima prozirnog ili tamnog tijela i ne bi se gibala u hipu, nego u nekom konačnom vremenu. Petrić dijelom ovdje nije bio u pravu sa stanovišta današnje fizike.

Potom kaže da peripatetici ne razlikuju zrake svjetla od svjetla samoga. Nakon toga Petrić polemizira s tezom peripatetika da je svjetlost čin ili energija boja.

»Boji se svjetlost daje samo da bi se ona mogla razaznati, a ne da bude, niti pak ona svojim pridolaskom stvara boju, nego onu što je u stvari od prije postojala izvodi u čin vida.«<sup>8</sup>

Potom kaže da je peripatetička teza o nastanku svjetla i topline naprosto glupa:

»Treća je tvrdnja ovo: svjetlost i toplina nastaju od trenja zraka (*air*) usljed usljed gibanja zvi-jezda: Od toga pako ništa nije gluplje.«<sup>9</sup>

Koja je djelatnost pripadna biti svjetla prema Petriću? Petrić zastupa tezu da svjetlost nastaje od svjetlosnih zraka, te se nekako oko njih okreće i lijeće. Svjetlost u sebe kao srodne prima boje, dok ih ne odloži – da bi pokazala svoju dobrotu i veselje, te da bi se rasula, ali ne i prosula. Svjetlost ne gubi svoje sile družeći se s drugom stvari. Svjetlost prozirna tijela ispunja svojom radošću i plodnošću. Ona žudi za širenjem, a zlovoljna se odvraća od tamnog tijela i kao da bježi od njega.

2 Joachim Ritter – Karlfried Gründer – Gottfried Gabriel (ur.), *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (1971–2005), str. 283.

3 Ibid., str. 285.

4 Frane Petrić, *Nova sveopća filozofija*, Liber, Zagreb 1979. (u daljnjem tekstu NSF).

5 F. Petrić, NSF, *Panaugija* 1b.

6 Ibid., 17a.

7 Ibid., 10a.

8 Ibid.

9 Ibid.

»Čini se, naime, da je svojstvo njezine naravi: da što više odmiče, to je sve slabija i slabija.«<sup>10</sup>

Svjetlost se ni s čim ne miješa i ni od čega ne može biti uprljana, jer ona nije svojstvo niti jednoga tijela. Petrić kao sljedbenik neoplatoničke tradicije i hermetizma prihvaća njihovu hijerarhiju bića i tezu da je svjetlost posrednik u svemiru između Tvorca, kojega naziva Ocem svjetlosti, i svijeta. Petrić na kraju četvrte knjige *Panaugije* upravo himnički govori o svjetlosti kada kaže da je svijet sudioništvom u svjetlosti vidljiv i lijep, te tijela što su u svijetu utoliko su ljepša i savršenija ukoliko su više dionicima svjetlosti. Svjetlost je poput vidljiva božanstva i lik Božji. Preko nje se Bog objavljuje svima. Dioništvom u svjetlosti sve nastaje. Jer svjetlost je poput života i ugodnom svojom blagošću život daruje i hrani sva bića, S nebeskom svjetlošću pridolazi ugodna i životna toplina, u kojoj je sila pokretnica i oblikovateljica svih stvari, te nositeljica plodnosti i slika božanske ljepote i dobrote. I tako je cijeli svijet po svjetlosti i svijetao i vidljiv i lijep:

»Dakle, cijeli ovaj svijet, pun vidljivih stvari, po svjetlosti je najsavršeniji. A svjetlost je oruđe i poticaj razvitka, i najbolje i najveće, samoga Boga, i najboljega i najvećega.«<sup>11</sup>

Toplina je stalna pratilja svjetlosti te su one najdjelotvornije Božje oruđe za tvorbu svijeta i stvari u svijetu. Što je tama, mrak? Mrak je svjetlost, ali najmanja. Ovo je znakovita i dalekosežna teza koja će se afirmirati u fizici tek u dvadesetom stoljeću. Petrić je svjestan paradoksalnosti, neobičnosti, novine, pa i heretičnosti ove teze što ju je zastupao i Kuzanski, ali on je obrazlaže na način da se svjetlo i tama ne razlikuju kao lišidbene opreke, kao što su npr. zvuk i tišina, nego kao jesne opreke, kao toplina i hladnoća. Lišidbene se opreke isključuju. a to mrak i svjetlo nisu. Među njima je deset stupnjeva razlika.

Nakon toga Petrić raspravlja o zračnoj svjetlosti, nebeskoj svjetlosti, te u 8. knjizi o nadnebeskoj svjetlosti gdje mjeri svemir. Uzima ondašnje podatke o planetama i broju zvijezda od prve do šeste veličine. Svemirski je prostor aktualno beskonačan i kroza nj se svjetlost širi u beskonačnost i ispunjava čitav prostor – kako svjetlost Sunca tako i zvijezda –

»... jer svjetlost nije onakvo tijelo kakva su sva ostala tijela... zašto da joj se pripisuju konačne sile, ako i proizlazi iz konačnih tijela.«<sup>12</sup>

Ovdje se može navesti stav Ivana Supeka kad piše:

»Ali svjetlost nije mehanička pojava i nije dopušteno prenijeti na nju zorne predodžbe, koje imamo o gibanju mehaničkih tijela.«<sup>13</sup>

U *Pancosmiji* Petrić kaže da je Prvo djelo Boga bio prostor što ga je tvorac ispunio svjetlošću. Svjetlost je kao i prostor: posve jednostavna, protegljiva u beskonačnost, može se po svemu izliti, sve može ispuniti, ne može se ni jednoj stvari oprijeti. Svjetlost je kao i prostor istom tijelo i bestjelesna, jer se proteže beskonačnom brzinom i zato što je neposredni proistek iz Boga tvorca. Nije joj potreban nikakav oslonac ili medij da bi se širila prostorom:

»Nije joj naime potrebno tijelo na koje će se osloniti ili koje će je nositi, niti tijelo koje će ona podupirati ili nositi. Svjetlost nije pripadak (*acidens*), što peripatetizam i vjeruje i tvrdi, nego je čin (*actus*).«<sup>14</sup>

Svjetlost je u usporedbi s drugim stvarima najočitija, najljepša, najdraža, najpoželjnija, najdjelatnija, najdivnija. Posebno treba ukazati na Petrićev monizam u ustrojstvu tvarnog svijeta. On, naime, kaže da su sve stvari izvan Očeve dubine fluid, pa je fluid ognjeni svijet, svaki plamen, eter, zvijezde, mjesec,

zrak, more, rijeke, jezera, stijene, minerali, biljke, zemlja. Razlika je među njima samo u gustoći, odnosno u kvantiteti.

Očito je da Petrić ima teze koje su na tragu tradicije metafizike svjetla neoplatonizma, ali je i pozoran promatrač i eksperimentator koji se oslanja na rezultate geometrijske optike, koja je uklopljena u metafiziku svjetla, te one ne stoje u proturječju jedna s drugom. Posebnost Petrićeva poimanja svjetla usporediva je s njegovim shvaćanjem duše i prostora. Svjetlo kao prostor i duša imaju središnje mjesto u sustavu i svijetu. Oni su istovremeno tjelesni i netjelesni. To oksimoronsko dvojstvo očuvano je u najnovijim fizikalnim shvaćanjima prirode svjetla, koja svjetlo poimaju kao česticu, odnosno energetski kvant i val. Nadalje, za Petrića kao i za neoplatoničku tradiciju svjetlo ima teofanijsku ulogu. Petrić govori o svjetlosti kao metafizičar, fizičar i pjesnik teofanijske himne svjetlu.

Petrić je renesansni mislilac kod kojega se uočavaju ontološki, teološki, spoznajnoteoretski, mistički i prirodnofilozofski aspekti metafizike svjetla. Metafiziku svjetla prati kod njega fizika svjetla. One nisu suprotstavljene, već čine jedinstvo. Nakon Petrića, ipak, dolazi do zamiranja metafizike svjetla i dominacije fizike svjetla.

## 2. Epoha fizike svjetla

Prvo ćemo iznijeti neke zanimljive podatke iz uzbudljive povijesti razvoja istraživanja u optici, koja počinju već u antičko doba.<sup>15</sup> Naravno, s tim istraživanjima i dostignućima usko je povezan i razvoj cijele fizike, pa možemo slobodno kazati da je povijest optike i povijest same fizike. Optikom su se bavili u antici Euklid, Arhimed, Heron – koji je prvi formulirao ekstremalno načelo, tj. protumačio je odbijanje svjetla načelom najmanjeg vremena – potom Ptolomej, koji je odredio kutove upadanja i loma zrake svjetla za zrak i vodu. U srednjem vijeku bilo je prinosa kod Arapa, R. Bacona i već spomenutih Grossetesta i Witela. Dok su istraživanja svjetla u 15. stoljeću oskudna, izuzevši velikog Leonarda, u 16. stoljeću djeluje Francesco Maurolyco (1494.–1575.), koji kaže da duga ima sedam boja. Objasňuje kratkovidnost i dalekovidnost. Uočio je također i postojanje žarišta leća, itd.

U 17. stoljeću dovršava se razvoj geometrijske optike. Na početku ovoga stoljeća djeluje Marko A. Dominis, koji je dao objašnjenje nastanka duge. Rani moderni znanstvenici i Petrićevi suvremenici – Galileo, Kepler i Descartes – doprinijeli su fizikalnom razumijevanju svjetlosti. Galileo je prvi, ali neuspješno, pokušao izmjeriti brzinu svjetlosti. Descartes je raspravljao o optici i iznio zakon loma (refrakcije) svjetlosti u svom slavnom djelu *Discours de la méthode* (1637.). Nizozemski astronom i matematičar Willebrord Snell neovisno je o Descartesu otkrio zakon refrakcije 1620. godine i taj zakon danas nosi njegovo ime. Time je bio dovršen razvoj geometrijske optike i

10  
Ibid., 10b.

11  
Ibid., 11b.

12  
Ibid., 19a.

13  
Ivan Supek, *Teorijska fizika i struktura materije*, sv. I., Školska knjiga, Zagreb 1959., str. 401.

14  
F. Petrić, NSF, *Pancosmija* 74b.

15  
Za ovu temu vidjeti jasno i pregledno djelo: Zdravko Faj, *Pregled povijesti fizike*, Sveučilište u Osijeku, Osijek 1999.

počeo plodonosni trazvoj fizikalne optike. Olaus Roemer izmjerio je brzinu svjetla uz pomoć Jupiterovih satelita. Došao je do brojke od 300 000 km/h. Od tada je prihvaćeno da se svjetlost širi konačnom brzinom. To je međašnji događaj koji označava kraj epohe metafizike svjetla i definitivnu prevlast fizike svjetla.

Johanes Marci 1648., dakle prije Newtona, otkriva spektar pomoću staklene prizme. Newton je 1665. godine počeo istraživati »glasovitu pojavu boja«. Nakon mnogih zamijećenih fenomena svjetlosti, fizika se, krajem 17. stoljeća, suočila s važnim pitanjem, koje je imalo dva suprotna i nespojiva odgovora: Je li svjetlost roj čestica ili, ipak, val u nekom širećem sredstvu kroz koji se obična materija slobodno kreće? Engleski fizičar Sir Isaac Newton bio je pristalica čestične (korpuskularne) teorije, dok je u isto vrijeme nizozemski astronom, matematičar i fizičar Christian Huygens razvio svoju valnu teoriju. Problem s valnom teorijom bio je u tome što nije mogla objasniti optičku polarizaciju (valovi koje je znanost poznavala pomicali su se paralelno, ne okomito na smjer putovanja vala). Na drugoj strani, Newton je imao poteškoća u objašnjenju fenomena svjetlosne interferencije. U svom objašnjenju Newton je česticama pridodao valno ponašanje, ali treba napomenuti da to nije značilo da je i svjetlost valne prirode. Uz to, Newton je bio uspješniji u objašnjenju polarizacije, pa je i znanstvena zajednica prihvatila čestičnu teoriju svjetlosti (čak i nakon što je engleski fizičar Thomas Young analizirao interferenciju koristeći valnu teoriju 1803. godine). J. H. Lambert zasniva fotometriju. U 18. stoljeću paralelno egzistiraju valna i korpuskularna teorija naravi svjetla, da bi pred kraj stoljeća i na početku 19. stoljeća dominaciju preuzela valna teorija koju zastupaju Euler i Th. Young. Young prihvaća postojanje etera koji je jako elastičan i razrijeđen, te ispunjava svemir. Valna gibanja etera nastaju uvijek kada tijelo počne svjetliti. Uveo je pojmove valne duljine i frekvencije. Odredio je valnu duljinu svjetlosnih valova i tako postavio osnove spektrometrije. Na početku 19. stoljeća Herschel je otkrio infracrvene, a J. Ritter ultraljubičaste zrake. Tada je došlo do kritične mase otkrića koja su nametala potrebu jedinstvene fizikalne teorije, što bi obuhvatila u sebi različite optičke pojave. Takvu je teoriju pokušao formulirati A. J. Fresnel. Bio je protivnik korpuskularne teorije, ali je uočavao činjenicu da se pravocrtno širenje svjetla ne može objasniti valnom teorijom: »Istraživanje te proturječnosti«, piše Fresnel, »jedino je što mi je moglo pomoći da dođem do rješenja i uputilo me na izučavanje sjena predmeta.«<sup>16</sup> Bošković je bio pristalica Newtona glede naravi svjetla. Razmatranja o naravi svjetla dala su, kaže Dadić, uz ostalo, povoda nastanku njegove teorije. Bošković je smatrao da se ne može dokazati pravocrtno širenje svjetla »pogotovo u beskrajnim prostorima svemira, gdje neke sile mogu čestice svjetlosti skrenuti s njihova puta.«<sup>17</sup>

Prema Dadiću, Bošković je prije Lamberta formulirao zakon gustoće svjetlosnog toka, ali se otkriće pripisuje Lambertu. Bošković je svojom teorijom objasnio tada poznate svjetlosne pojave. Pristalice čestične teorije smatrali su da se njome mogu objasniti svi optički fenomeni osim ogiba. Poticaj ovoj teoriji dalo je otkriće polarizacije svjetla. Ipak je Fresnel objasnio tu pojavu prihvaćanjem valne teorije. Fresnel je više cijenio Huygensove doprinose optici negoli Newtonove. Fresnel je »u svojim radovima dovršio izgradnju klasične valne optike«.<sup>18</sup>

U vremenu od Newtona do Fresnela, znanstvenici su razvili matematičke tehnike pomoću kojih su mogli objasniti valne fenomene u fluidima i krutim tijelima. Fresnel i njegovi nasljednici stvorili su teoriju transverzalnih valova

i pomoću nje objasnili optičku polarizaciju. Kao rezultat svih tih pokušaja, čitava je valna teorija svjetlosti formalno postojala i prije nego se škotski fizičar James Clerk Maxwell počeo baviti proučavanjem elektromagnetizma. U svome djelu *Note on the Electromagnetic Theory of Light* (1868.), a koje je izdano pet godina prije njegova najslavnijeg djela *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873.), Maxwell po prvi puta izvodi jednadžbe koje pokazuju da električno i magnetsko polje u elektromagnetskom valu utječu jedno na drugo tako da omogućuju širenje vala kroz prostor. Magnetsko i električno polje titraju okomito jedan na drugoga, a oba su okomita na smjer širenja vala (isto kao val koji se širi na žici). Kako su jednadžbe što ih je Maxwell dobio odgovarale jednadžbama za svjetlost koje je znanost već poznavala, Maxwell je zaključio da je i svjetlost elektromagnetski val. Bitna je razlika bila u tome što su njegove jednadžbe davale puno općenitije rješenje po kojem je svjetlost samo dio puno, puno šireg spektra elektromagnetskih valova. Uz to, njegova je teorija dala i najpreciznije rješenje za brzinu svjetlosti, do kojeg je došao preko električnih i magnetskih parametara vakuuma. Konačnu potvrdu Maxwellove teorije napravio je eksperimentalnim putem njemački fizičar Heinrich Hertz, koji prvi napravio uređaj za odašiljanje i detekciju elektromagnetskih valova. Nakon toga, znanost je trebala točno određenje brzine svjetlosti, jer se tražio medij kroz koji se širi svjetlost. Naime, ako je konačno dokazano da je svjetlost elektromagnetski val, onda treba postojati i medij koji omogućuje da se val može širiti. Taj je hipotetski medij nazvan »eter« i smatralo se da njegovo njihanje uzrokuje širenje svjetlosti. Ako eter postoji, onda bi brzina svjetlosti trebala biti veća ili manja, ovisno o tome giba li se detektor svjetlosti *prema* ili *od* valova etera. Međutim, sva su mjerenja brzine svjetlosti u različitim gibajućim referentnim sustavima davala istu vrijednost.

Neuspjeh američkih fizičara Albert A. Michelsona i Edward Morleya 1887. godine u mjerenju apsolutne brzine gibanja Zemlje kroz eter, pokazao je da je nešto fundamentalno krivo u konceptu etera koji je do tada vrijedio, ali nitko nije mogao dati odgovor što to točno nije u redu s pretpostavkama. Godine 1888. njemački fizičar Wilhelm Hallwachs otkriva da metalni vodiči obasjani svjetlošću određene frekvencije proizvode električnu struju. Problem je nastao kada se uspostavilo da intenzitet svjetlosti kojom je obasjavan metal ne utječe na jakost struje kroz vodič, već na jakost struje (brzinu elektrona) utječe samo frekvencija svjetlosnih zraka. Općeprihvaćena elektromagnetska teorija nije mogla objasniti ovakav rezultat. Maxwellova je teorija ostavila neriješen i slijedeći problem, koji je svojstven svim valnim teorijama svjetlosti: kako je val kontinuiran fenomen, to znači, da kada kada putuje, njegovo elektromagnetsko polje mora biti prisutno u svakom djeliću svemira. Kad dodajemo toplinu bilo kojem sistemu da bi mu povisili temperaturu, energija se jednako raspodjeljuje među svim dijelovima sistema koji se mogu micati. Kada ovu ideju primijenimo na svjetlost koja ima beskonačan broj pomičnih dijelova, ispada da izvor svjetlosti treba imati beskonačnu energiju. Ali termalna radijacija (proces u kojem zagrijana tijela emitiraju elektromagnetske valove) pokazuje se u prirodi s konačnom količinom topline, tj. energije. Nešto je nedostaja-

16  
Ibid., str. 113.

18  
Zdravko Faj, *Pregled povijesti fizike*, str. 115.

17  
Žarko Dadić, *Ruđer Bošković*, Školska knjiga, Zagreb <sup>1</sup>1987., <sup>2</sup>1990., str. 179.

lo u Maxwelllovoj teoriji, te je tek Max Planck 1900. godine objasnio ovaj fenomen, uvodeći teoriju kvantata energije titranja harmoničkog oscilatora. Planckova je teorija ostala djelomično u sferama misterioznog (čak se ni sam Planck nije mogao pomiriti s činjenicom da ta njegova teorija potpuno ispravno objašnjava do tada nerazrješiv problem zračenja crnog tijela) sve dok ju 1905. Albert Einstein nije iskoristio da njome objasni fotoelektrični efekt.

Planck<sup>19</sup> kaže da se od znanstvenih istraživanja očekuje primjena u tehnici i industriji. Istraživanja na području optike postala su vrlo istančana i zadiru duboko, pa i od njih treba očekivati tim veću korist. Zbog toga će on:

»... govoriti o biti svjetla, nadovezujući se na ono što je većini od prije poznato, ali i zadržati pogled na novim problemima kojih se rješenje tek očekuje.«<sup>20</sup>

Planck potom naglašava da je potrebno razdvojiti ono što se odnosi na pojavu svjetla na dva dijela. Prvi je dio onaj koji je neovisan o osjetilnom organu, a to su tzv. zrake svjetla koje čine područje fizikalnog istraživanja. Drugi dio obuhvaća zbivanje od oka do mozga, koje spada u područje fiziologije i psihologije. Uobičajeno govorenje o svjetlu koje ostaje kod ljudskih očiju i osjeta svjetla, s jedne strane, i ono što fizičar podrazumijeva pod zrakama svjetla, s druge strane, dvije su sasvim različite stvari. To odbijanje svega osjetilnoga i ograničavanje na objektivne i realne događaje od presudnog je značenja za teoriju i praktične interese, te donosi čovječanstvu obilje plodova, kaže Planck.

»Za pitanje o *fizikalnoj biti* zrake svjetla od odlučnog značenja bilo je otkriće da se svjetlost širi brzinom od 300 000 km/s.«<sup>21</sup>

Ovdje treba upozoriti na izričaj *fizikalna bit zrake svjetla* i napominjemo da je Planck u prethodnom citatu govorio samo o biti svjetla. Ova je razlika vrlo važna za našu temu. Nažalost, Planck nigdje ne objašnjava razliku između pojmova biti svjetla i fizikalne biti svjetla. Time se otvara pitanje o razlici prirodoznanstvene biti svjetla (moguće i biološke, kemijske i ine biti) i filozofijski poimane biti, te kako se one odnose međusobno? Da li je bit jedna ili ih ima više?

Nakon toga Planck kaže da je utemeljitelj klasične mehanike, Sir Isaac Newton, kazao da su to što se kreće tako silnom brzinom majušne supstancijalne čestice koje izlijeću iz gorućeg tijela u svim pravcima. Ova teorija emanacije o naravi svjetla ostala je dominirajućom naredno stoljeće zbog velikog Newtonova autoriteta, iako je Christian Huygens postavio valnu teoriju u analogiji sa širenjem zvuka. Planck potom ističe u čemu je bitna razlika ovih dviju teorija, te kaže da je prevladala valna teorija koja je objasnila pojavu interferencije.

Planck zatim kaže da je:

»... daljnji uvid u bit svjetla, koji je bio od temeljnog značaja, ostvaren kroz spoznaju da su svjetlosno i toplinsko zračenje isti.«<sup>22</sup>

Planck smatra da je to u spoznajnom pogledu od presudne važnosti, jer je tim otkrićem nadmašeno osjetilno zrenje. Naime, svi zakoni koji vrijede za svjetlosno zračenje vrijede i za toplinsko, a to su: refleksija, lom, interferencija, polarizacija, rasap, emisija i apsorpcija. Time je bio pripravljen put za prijelaz od mehaničke na elektromagnetsku teoriju svjetlosnog zračenja. Bilo Newtonova bilo Huygensova teorija, dobijale su povremeno poticaje i potvrde, sad ovim sad onim, otkrićima. Nije uopće postavljana u pitanje mehanička narav jedne i druge.



Sredinom 19. stoljeća, slavni James Clark Maxwell iznosi svoju odvažnu hipotezu o elektromagnetskoj naravi svjetla. Teorija je bila potvrđena brojnim eksperimentalnim dokazima, od kojih su najznačajniji oni Heinricha Herza. Iako su nam elektromagnetski valovi zagonetni podjednako kao i svjetlosni, kaže Planck, ipak se ne može reći da je došlo do toga da zamijene jedne nepoznanice s drugima, jer je ovom teorijom omogućeno:

»... ujedinjavanje u fizici dvaju do tada posve odvojenih područja, da dakle svi zakoni, koji valjaju za jedno područje bez daljnega mogu biti primijenjeni na drugo – uspjeh koji mehanička teorija nije postigla niti bi ikada postigla.«<sup>23</sup>

Nakon toga fizika više nije bila razdijeljena na mehaniku, optiku i elektricitet, već na mehaniku i elektromagnetizam.

»To je predzadnji korak ka jedinstvenoj fizikalnoj slici svijeta.«<sup>24</sup>

Planck drži da se uskoro može očekivati uspjeh glede toga, ali dodaje da je pokušaj utapanja elektrodinamike u mehaniku hipotezom o eteru zabačen, posebice nakon Einsteina. Uspostavljen je spektar elektromagnetskog zračenja u kojem su našle svoje mjesto i roentgenske zrake, zahvaljujući Laueovom otkriću interferencije roentgenskih zraka. Planck kaže da se prijelaz od mehanike k elektromagnetizmu desio potihom:

»To je dobar primjer za to da srž fizikalne teorije ne leži u (empirijsko osjetilnom) *zrenju* (die Anschauungen) iz kojega proizlazi, nego u zakonima ka kojima vodi.«<sup>25</sup>

Za znanost je od posebne važnosti da se oslanja na opažanje činjenica, iskustvo i mjerenja, te ta sredstva mora uvijek imati pri ruci ali, za iskorak mišljenja unaprijed:

»Nije dostatan samo razum nego i mašta.«<sup>26</sup>

Ovo je bitan Planckov spoznajnoteorijski stav. On je odlično ilustriran dramatičnim prevratom u istraživanju svjetla, optici. Optičke jednažbe vrijede i dalje i u suglasju su s iskustvom, ali one se više ne tumače mehanički kako su nastale, nego elektrodinamički. Odatle se područje njihove primjene širi unedogled, kaže Planck. Huygensova undulatorna teorija dobila je svoju elektromagnetsku interpretaciju. Nastala je jedna, kako kaže Planck, jedinstvena, sustavna i cjelovita zgrada elektromagnetskog zračenja, u kojoj su svi fenomeni zračenja dobili svoje točno određeno mjesto. Na jednoj su strani kilometarski dugi Hertzovi valovi, a na drugoj ultrakratki valovi, pri čemu se kao svjetlost opaža tek mali dio čitavoga spektra. Razlika između vidljivoga i nevidljivog elektromagnetskog zračenja svjetla jest samo u valnoj duljini. Nevidljivo zračenje, koje nije neposredno dostupno osjetilima, opaža se pomoću fizikalnih instrumenata.

19

Koristeći predavanje Maxa Plancka *O biti svjetla* (*Das Wesen des Lichts*, Verlag von Julius Springer, Berlin 1920.), koje je održao na skupštini Kaiser Wilhelm društva 28. 10. 1919., dat ćemo sliku razvoja fizikalne optike do nastanka kvantne teorije.

20

M. Planck, *Das Wesen des Lichts*, str. 4 (istaknuo Max Planck).

21

Ibid., str. 5 (istaknuli autori).

22

Ibid., str. 7.

23

Ibid., str. 10.

24

Ibid.

25

Ibid., str. 12.

26

Ibid.

Odlučni moment u nastanku nove fizike i novog tumačenja svjetlosnih pojava dešava se uvođenjem pojma kvanta energije. Za popularno objašnjenje kvantne teorije Planck se poslužio slikom stabla jabuke koje nosi plodove. Dok vjetar njiše stablo, neće svi plodovi odjednom pasti na tlo. Najprije će otpasti plodovi koji imaju najveće amplitude. Dva su povoda za ovo. Prvi je pojava fotoelektričnog efekta, koja se očituje u tome da metali zbog utjecaja elektromagnetskih valova, pa i vidljive svjetlosti, emitiraju elektrone. Drugi je bio problem zračenja crnog tijela. Ovo je znakoviti moment za našu temu. Čini nam se da je time ispisan krug fizikalnog istraživanja koji je metafizički naslućem kod Petrića, kada je rekao da tama i svjetlo nisu lišidbene opreke. Iz ovoga konteksta postaje razumljivo zašto:

»Klasična fizika ne može na zadovoljavajući način objasniti zračenje crnog tijela... to je bila svojevrsna katastrofa klasične fizike jer se pokazala nemoćnom da objasni emisiju i apsorpciju svjetlosti.«<sup>27</sup>

Objašnjenje neslaganja eksperimentalnih rezultata i klasične teorije iznijelo je potrebu za novom teorijom – kvantnom teorijom. Ova teorija prekida s klasičnim pojmom harmoničkog oscilatora, koji zrači svjetlost i uvodi pojam emisije svjetla za samo točno određene paketiće energije koje nazivamo kvantima. Za to pripada zasluga Plancku. Planck je žrtvovao klasičnu ideju kontinuiteta u fizici, jer mu nije uspjelo pomiriti zamisao o kvantima energije sa slikom svijeta klasične fizike.

»To možemo usporediti s pokušajem Kopernika da svoj heliocentrički sustav pomiri s peripatetičkom filozofijom, koji je također doživio neuspjeh.«<sup>28</sup>

### 3. Einsteinovo objašnjenje fotoelektričnog efekta

Već je rečeno da osobine fotoefekta, kao npr. postojanje granične frekvencije, nije bilo moguće protumačiti valnom prirodom svjetlosti:

»Prema klasičnoj valnoj teoriji, energija koju bi elektromagnetski val predao elektronu u metalu morala bi ovisiti o intenzitetu svjetlosti.«<sup>29</sup>

Eksperimentalno je pokazano da energija ovisi samo o frekvenciji, tj. o boji svjetla, a o jakosti svjetla ovisi samo broj fotoelektrona. A. Einstein je slavne 1905. godine protumačio fotoefekt korpuskularnom teorijom svjetlosti.

»Prema Einsteinu, iz izvora svjetlosti izlaze kvanti svjetlosti koji se zovu fotoni. Svaki foton ima energiju  $E = h \nu$  gdje je  $h$  Planckova konstanta, a  $\nu$  frekvencija svjetlosti.«<sup>30</sup>

Svaki foton ima energiju, i količinu gibanja što znači da mu pripadaju čestična svojstva.

»Ako svjetlost shvatimo kao roj fotona, lako možemo objasniti sve pojave povezane s fotoefektom. Kad foton upada na površinu metala, sudara se s elektronom, ako je dobio dovoljnu energiju, može izaći iz metala.«<sup>31</sup>

»Tako je fotoelektrični efekt bio još jedan dokaz kvantne prirode svjetlosti. Interferencija, difrakcija i polarizacija elektromagnetskih valova pokazuju njihova valna svojstva; fotoefekt i još neke pojave dokaz su čestične prirode svjetlosnog zračenja. Zaključujemo da svjetlost i ostali elektromagnetski valovi imaju i valnu i korpuskularnu prirodu.«<sup>32</sup>

Planck govori o fizikalnoj slici svijeta. Da li je tako nešto moguće? Šta kaže Heidegger kad kaže da znanost ne misli? Kakav je odnos između metafizičkih i fizikalnih traganja? Da li fizika isključuje metafiziku? Pridonosi li fizika, ili bilo koja pojedinačna znanost, poimanju biti promatrane i istraživane po-

javnosti ili bića, te može li fizičar ili bilo koji drugi pojedinačni znanstvenik govoriti o biti istraživanoga fenomena ili bića, ili znanstvenici mogu govoriti samo o posebnoj fizikalnoj, biološkoj, kemijskoj i inoj biti istraživane pojave ili bića?

#### 4. Zaključak

Fizičarima je za objašnjenje naravi svjetla u početku bila dostatna mehanička teorija u vidu valne ili čestične inačice, potom elektromagnetska, da bi na kraju nastala kvantna teorija, a Einstein uvodi pojam fotona! To je dobar pokazatelj bliskosti metafizike i fizike, koje u svojim metamorfozama napuštaju stara shvaćanja kako bi objasnila nove fenomene. Svođenje različitosti i suprotnosti na jedinstvo (npr. spoznaja istoće toplinskog i svjetlosnog zračenja) prevratni su momenti u razvoju spoznaje. Istraživanje svjetla središnje je područje fizike, a čini se da će to postati u kemiji i biologiji.

Kad Petrić kaže da je filozofija čedo svjetla, divljenja i razmišljanja, onda se pitamo, imajući na umu sve rečeno, možemo li reći da je i fizika čedo svjetla, jer povijest razvoja fizikalne teorije svjetlosti ujedno je i povijest same fizike? Za opis te povijesti trebale bi mnoštvo stranica teškoga štiva. Ovim radom pokušalo se sagledavati jedan uzbudljiv put filozofskog mišljenja i fizikalnog istraživanja kao nedjeljivu cjelinu. To je apel za jedinstveni pristup u opisivanju povijesti svjetla, koja je istovremeno povijest metafizike i fizike. Sagleda li se taj put kao jedinstven, tada se obje sastavnice mogu bolje razumjeti.

U tradicionalnoj metafizici svjetla, materija i svjetlo gdjekad su mišljeni kao nepomirljive suprotnosti, čak je i Petrićev monizam u stanovitoj mjeri time zaražen: na Suncu nema mrlja nego je čisto svjetlo, a zemlja je ogavni talog svjetskoga fluida. U fizikalnim jednažbama definitivno je materija »prosvijetljena«. Fizikalne jednažbe točno dokazuju da su materija, zračenje, pa tako i svjetlo i svjetlosno, zračenja i energija različiti pojavni oblici Istog.

$E = mc^2$  – ta je formula trijumf fizikalnog monizma koja ima važne filozofske implikacije. U njoj su povezane dvije osnovne fizikalne veličine preko konstante brzine svjetlosti, pa se zbog toga može govoriti o ekvivalentnosti mase i energije. Upravo je ova formula omogućila gotovo nevjerojatna znanstvena i tehnička dostignuća u posljednjih stotinu godina. Dražest (zagonetke) svjetla svijetli neumanjenim sjajem i danas. Još nije fizika u potpunosti odbacila potrebu za metafizikom. To se pokazuje u teoriji relativnosti, koja sva počiva na aksiomu o konstantnoj brzini svjetlosti. U epohi trijumfa fizike svjetla ponovno se javlja potreba za apsolutnom pretpostavkom. U epohi metafizike svjetla, to je bila teza o beskonačnoj brzini svjetla, a sada o konačnoj i konstantnoj brzini širenja svjetla. Međutim, u današnjoj situaciji u kojoj se nalazi znanost, svjetlo razuma više nije dostatno, kako je rekao Planck. Čini se kao da će u budućnosti istraživači više trebati maštu negoli razum. Nove vidike otvarat će

27

Višnja Henč-Bartolić – Petar Kulišić, *Valovi i optika*, Školska knjiga, Zagreb 1989., str. 356.

28

Zdravko Faj, *Pregled povijesti fizike*, str. 201.

29

V. Henč-Bartolić – P. Kulišić, *Valovi i optika*, str. 367.

30

Ibid.

31

Ibid.

32

Ibid., str. 368.

svjetlo mašte. Mjesto gdje se dotiču fizika i metafizika svjetla jesu fizikalne teorije kojima se nastoje objasniti fizikalni svjetlosni fenomeni. Nema jedinstvene fizikalne teorije koja bi bila u stanju objasniti sve svjetlosne fenomene. Takve teorije u sebe uključuju proturječja. Petrić kaže da je svjetlo netjelesno i tjelesno, a fizičari da ima i valnu i čestičnu prirodu. To je dobro mjesto za međusobno razumijevanje.

Proturječja ne zaustavljaju istraživače – fizičare i metafizičare. Ona ih izazivaju kako bi ih prevladali i otvorili nove prostore mišljenja i znanstvenog istraživanja. Primjera za to ima u fizici i metafizici svjetla napretek. Na kraju smo skloni reći, koliko god to na prvi pogled zvuči za fizičare odbojno: metafizičke teze o svjetlu u Petrićevoj *Panaugiji* pomažu pojmiti Einsteinovu teoriju! Einsteinova slavna formula  $E = mc^2$  u matematičkom obliku opisuju Petrićevu teofaniju svjetla.

**Mladen Živković & Berislav Živković**

**From the Metaphysics towards  
the Physics of Light**

**Abstract**

*Light has been defined as a true instigator of thought (Plato, Republic 523/524) both in metaphysics and in philosophy of nature and science. This article focuses on the exceptional position of Frane Petrić as the philosopher with whom the epoch of metaphysics of light inherited from antiquity ended and the path for the new epoch of the physics of light started – especially in his work Panaugia, though not only in it. After Petrić, numerous exciting scientific discoveries occurred that resulted in profound insights into the nature of light – in geometry, and especially in physical optics: light travels with finite speed, it is complex, it is part of electromagnetic specter of radiation, it has effect on matter (photo effect), it has been related to mass and energy. Light amazes us with the duality of its nature as both a particle and a wave. The research on the radiation of dark objects and the contrast with visible light has opened the epoch of quantum physics. The question this lecture poses is: Based on the body of knowledge about light accumulated by the physicists, could we talk about the essence of light (Max Planck)? Photonics is a new epoch in communication technology. What then could we expect from the research on photosynthesis?*

**Key Words**

light, metaphysics, physics, Frane Petrić, Max Planck, particle, wave, quantum physics, photonics