

## ULOGA SVJETLOSTI U TEORIJI RELATIVNOSTI

*Dragiša M. Ivanović*

Svrha ovog izlaganja je da doprinese shvatanju da neka pitanja teorije relativnosti, za koja se mahom smatra da su zaključena i riješena, ipak još uvijek ostaju otvorena i neriješena.

Polazimo od toga kako je i zašto Einstein uveo brzinu svjetlosti u specijalnu teoriju relativnosti, te je na njoj dobrim dijelom zasnovao svoju teoriju u cjelini. Glavni razlog je dao sam Einstein. Pritom je imao u vidu baš kritiku specijalne teorije relativnosti zbog davanja centralne teorijske uloge brzini prostiranja svjetlosti, kao i zasnivanje pojma vremena na hipotezi o toj brzini.

Svjetlost Einstein-u služi kao signal za neki događaj. Sama priroda svjetlosti, osim njene brzine, Einstein-a ne interesuje u teoriji relativnosti, iako je istovremeno objasnio fotoelektrični efekt pomoću kvantne hipoteze. Ustvari ona mu služi da bi se na izvjesnom rastojanju od mjesta događaja moglo definisati vrijeme. Einstein jednostavno kaže da se za davanje fizičkog značenja pojmu vremena moraju zahtijevati izvjesni procesi, koji omogućavaju uspostavljanje odnosa između različitih mjesta. Važno je istaći da prema Einstein-u nije bitno koja se vrsta procesa izabira za takvu definiciju vremena. Einstein napominje da je međutim za teoriju pogodno da se izaberu samo oni procesi, o kojima znamo nešto pouzdanije. I zaključuje da to važi baš za prostiranje svjetlosti u vakuumu i to u višem stepenu nego za ma koji drugi proces, koji bi se mogao posmatrati. Naravno, to poznavanje brzine prostiranja svjetlosti dovodi u vezu sa Maxwell-ovim i Lorentz-ovim istraživanjima, pa kaže da su ta znanja stečena zahvaljujući baš njihovim istraživanjima.

Te svoje meditacije Einstein je iznio u knjizi „Meaning of relativity“ (str. 28-29)<sup>1)</sup>. Tako je za definisanje vremena Einstein-u potreban proces prenošenja signala. Interesantno je napomenuti da mu pritom nije potrebna maksimalnost te brzine prenošenja signala, nego uglavnom procesi, o kojima se najviše sigurnoga zna. Međutim i ranije i danas je poznato da prostiranje svjetlosti nije baš takav proces da se o njemu najviše pouzdanog zna. Naprotiv, to je vrlo složen elektromagnetski proces, koji je povezan sa električnošću i magnetičnošću sredine odnosno vakuuma. Osim toga, kao posljedica takvog Einstein-ovog shvatanja energija  $E = mc^2$  ne bi morala biti tako velika kao što ta čuvena relacija pokazuje, jer bi se prema takvom shvatanju umjesto brzine svjetlosti mogla uzeti neka druga brzina, neki drugi proces, o kojem se zna dosta

<sup>1)</sup> A. Einstein: *Meaning of Relativity*, 1953.

pouzdanog. Onda bi umjesto  $c$  mogla figurirati neka mnogo manja brzina, koja bi pokazivala da se ne radi o sasvim velikim energijama kao u slučaju sa  $c$ . Ali, te velike energije su i eksperimentalno ustanovljene, pa se vidi da se tu prije radi o obaveznosti veličine  $c^2$ , ne zbog toga što se o procesu prenošenja svjetlosti više zna, nego zbog toga što se radi o ulozi elektromagnetskih svojstava vakuuma, sa kojima je energija kao fizička veličina svakako povezana i njima uslovljena. Takvo objašnjenje bi bilo prihvatljivije, a sam Einstein-ov postupak uz njegova navedena objašnjenja izlazi skoro kao slučajno uspio u kvantitativnom smislu. Osim toga nije sasvim utvrđen ni stepen preciznosti i pravilnosti same glavne relacije za energiju. Naime, ako se postupi prema Einstein-ovoj preporuci i prelazi sa relativističkih relacija na relacije klasične fizike, onda će se vidjeti izvjesne teškoće njegove teorije, pri čemu imamo u vidu fizičku, a ne matematičku stranu. Postupak je jasan; Galilejeve transformacije klasične fizike dobivaju se kada se u relativističkim, tzv. Lorentz-ovim transformacijama uzme da je brzina svjetlosti  $c$  beskonačno velika<sup>2)</sup>. Ako se ima u vidu fizička realnost i shvatnja klasične, nerelativističke fizike u Einstein-ovom smislu, onda se mora priznati da je baš klasična fizika dokazala konačnost brzine svjetlosti i našla više metoda za njeno određivanje. Otuda se sa tvrdnjom da se klasična fizika rukovodi beskonačnim  $c$  u ma kojem zakonu ili smislu, mora naići na teškoće u fizičkom pogledu. Uzme li se, pak, brzina svjetlosti kao brzina nekog kurira, vjesnika, koji bi nosio vijest, obavještenje od jednog mjesta u prostoru do drugog, recimo od mjesta događaja do mjesta posmatrača, onda ni to ne može biti opravdano, sa beskonačnim  $c$  jer se klasična fizika ni tako nečim nije služila. Činjenica da se na raznim mjestima signali dobiju poslije različitih vremenskih intervala od momenta kada se događaj odigrao pokazuje da treba uračunati, uzeti u obzir proces prenošenja signala. Neopravdano je moment dešavanja, odigravanja događaja određivati momentom primanja signala bez uračunavanja vremena prenošenja signala, jer neki posmatrač koji je bliže mjestu događaja može primiti signal kasnije od drugog posmatrača, koji je dalje od mjesta događaja, što zavisi od brzine signala, kurira, koji obavještava posmatrača o događaju. Tako izlazi da su očigledne teškoće shvatanja o nekoj beskonačno velikoj brzini svjetlosti u klasičnoj fizici, makar se to zvali i signali, ili, pak, teškoće i samog oblika Lorentz-ovih transformacija.

Postupi li se na isti način i za energiju, izašlo bi da je u nerelativističkoj fizici energija svakog tijela beskonačno velika zbog tako ogromne vrijednosti fizičkog faktora  $c^2$ . Inače, moraju se iznositi ograničenja važenja ove relacije i nedosljedna eventualna fizička tumačenja da je klasična relacija gruba apoksimacija relativističke, kao što se postupa sa izrazom za kinetičku energiju. Ako se ima u vidu cjelokupan prostor, sa kojim je svako tijelo povezano, pa se time objasni beskonačnost energije, onda bi i to bilo prihvatljivije nego shvatanje da je ta brzina proizvoljna, odnosno da je povezana sa procesima o kojima se nešto sigurnije zna, kao što Einstein u svojim glavnim dijelima navodi.

I pored takvog uvođenja i formulisanja brzine prostiranja svjetlosti u specijalnoj teoriji relativnosti ta veličina se podiže na stepen apsolutnosti, ali samo kao hipoteza, koju je Einstein nazvao principom. Do toga je došao i borbom protiv apsolutnosti vremena i simultanosti dvaju događaja. Ali se u njegovim

<sup>2)</sup> A. Einstein: Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie, 1922, str. 23, § 11.

shvatanjima i izlaganjima ipak nailazi na nedosljednosti. To se može pokazati na njegovom učenju o sabiranju brzina. Naime ako je jedan od sabiraka brzina svjetlosti, a drugi brzina ma kojeg drugog tijela, bilo da je to ponderabilno tijelo ili foton, onda je za slučaj istog pravca zbir uvijek jednak  $c$ . Specijalna teorija relativnosti ne prihvata u principu poznato sabiranje klasične fizike, prema kojoj relativna brzina može biti veća od  $c$ .

Prirodno je zahtijevati da se svuda u specijalnoj teoriji relativnosti mora nailaziti na takvo shvatanje, te da  $c$  ostane konstantno u svim inercijalnim koordinatnim sistemima. No ni sam Einstein ne vodi mnogo računa o tome postulat, pa postupa prema potrebi. Da bi dokazao relativnost simultanosti dvaju događaja (<sup>2</sup> § 9), Einstein uzima poznati „misleni“ eksperiment sa vrlo dugačkim vozom i nasipom. Pratimo ga začas u njegovom izlaganju i pobijanju apsolutnosti simultanosti dvaju događaja. U dvjema tačkama A i B jednovremeno je udario grom. Tačno na sredini između tih dviju tačaka nalazi se jedan posmatrač na nasipu, a drugi takoreći na istom mjestu, ali u vozu koji se kreće brzinom  $v$  u smjeru prema mjestu B, udaljujući se od mjesta A. Da su te tačke vrlo blizu jedna drugoj, onda Einstein priznaje simultanost, jer posmatrači mogu jednovremeno bez teškoća primiti signale o događajima. Međutim, ako se posmatrači kreću, jedan u odnosu na drugog i ako su još i na konačnom rastojanju, onda baš zbog toga za njih nema simultanosti tih dvaju događaja.

Einstein objašnjava da su ta dva događaja istovremena onda kada se svjetlosni zraci iz A i B sretnu u tački M, koja je na sredini rastojanja AB, ali takođe i na nasipu. Da bi dokazao da simultanost dvaju događaja za posmatrača na nasipu nije simultanost (jednovremenost) za posmatrača u vozu koji se kreće, a koji je u momentu udara groma bio na istom mjestu gdje i posmatrač na nasipu, Einstein rezonuje na taj način, što priznaje da postoji neki moment udara groma. Doduše, navodi u napomeni da je to moment pri posmatranju sa nasipa. Zatim odmah uzima u obzir činjenicu da se voz sa posmatračem kreće prema tački B i da će posmatrač ranije vidjeti onaj svjetlosni zrak, koji polazi iz tačke B, nego onaj koji polazi iz A, odnosno ranije će vidjeti svjetlosni zrak kojemu ide u susret, nego svjetlosni zrak kojemu bježi, umičući mu izvjesnom brzinom voza, recimo  $v$ .

Tako bi se rezonovalo upravo prema klasičnoj, nerelativističkoj fizici i to jednostavnim sabiranjem, odnosno oduzimanjem brzina. Ali klasična fizika na osnovu tih argumenata nikako nije dolazila do zaključka kojeg se Einstein pridržava kao temelja svoje teorije. Naime, Einstein kaže: „Posmatrači, koji koriste voz kao tijelo referencije, *moraju* (podvukao D. I.) dakle doći do rezultata da se je u mjestu B udar groma desio ranije nego udar groma u A“ (<sup>2</sup> § 9, str. 18). A odmah zatim: „Događaji, koji su simultani u odnosu na nasip nisu simultani u odnosu na voz i obrnuto (relativnost simultanosti)“, (loc. cit. str. 18). A na osnovu toga ide dalje, pa kaže: „Svako tijelo referencije (koordinatni sistem) ima svoje naročito vrijeme“.

Eto, takvi su argumenti koji služe kao osnov teorije relativnosti.

Bez obzira na razne pokušaje objašnjavanja da Einstein nije mislio ono što kaže, ovde je sasvim jasno da Einstein indentifikuje primanje signala sa odigravanjem događaja, odnosno sa tvrdnjom o momentu odigravanja događaja. Klasična fizika uračunava odgovarajuće relativne brzine, pa prema tome ostaje u važnosti objektivnost simultanosti. Rukovodeći se tim uračunavanjem ona ne

nailazi ni na kakve teškoće u tom smislu. Međutim, teškoće teorije relativnosti, kakvu je formulisao Einstein, bar su dvojake ako ne i višestruke. Jedna je ta da nema opravdanja za identifikovanje činjenice ranijeg primanja signala sa ranijim momentom dešavanja nekog događaja, jer moment primanja zavisi od kretanja kurira i posmatrača, tj. od kretanja onog koji (ili onog što) informiše i onog koji (ili što) je informisan. Druga teškoća je u Einstein-ovoj nedosljednosti u sabiranju brzina. On, naime, sabira brzine ne prema teoriji relativnosti, nego upravo prema nerelativističkoj fizici. Jer, ako postupi prema teoriji relativnosti on svakako mora doći do relativnih brzina svjetlosti u odnosu na oba posmatrača, koje su apsolutno iste, tj. opet do brzine  $c$ . To znači da na taj način ne može uspješno dokazati ono što želi da dokaže, odnosno relativnost simultanosti. Prvoj teškoći možemo dodati navedenu činjenicu da i prema teoriji relativnosti simultanost tih dvaju događaja postoji ako su se odigrali na istom mjestu, odnosno na vrlo malom međusobnom rastojanju. Ona važi za posmatrača u oba ova sistema koji se međusobno kreću izvjesnom brzinom, ili, kako se obično kaže, ta simultanost postoji i za posmatrača u nepokretnom i za onog u pokretnom sistemu, samo ako nisu na velikom rastojanju.

Ne može se reći da je takvo Einstein-ovo shvatanje i tretiranje izneseno samo na jednom mjestu. On to sprovodi dosljedno u svim svojim dijelima o teoriji relativnosti. On na primjer i u svojem klasičnom radu o specijalnoj teoriji relativnosti „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ iz 1905 godine uzima „vrijeme“ pod znacima navoda, a isto tako i istovremenost (simultanost). On kaže: „Vrijeme“ događaja — to je pokazivanje satova, koje je simultano (istovremeno) sa događajem, a koji se nalaze na mjestu događaja...“<sup>3)</sup>

Ničim nije opravdano nametanje obaveze konstatovanja simultanog primanja signala sa simultanošću dvaju događaja na raznim mjestima.

Uzimanje brzine svjetlosti kao kurira za kinematičko prikazivanje svih događaja i najraznovrsnijih oblika kretanja za slučajeve kada su posmatrači na izvjesnom rastojanju od mjesta događaja Einstein ničim ne opravdava ili obrazlaže, osim navedenom konstatacijom da se o svjetlosti zna dosta pouzdanog. Bez toga kurira Einstein ne može konstatovati ni moment kada se neki događaj desio. Svjetlost mu služi kao osnov definicije vremena i simultanosti.

Sve to pokazuje da Einstein navedene pojave uopšteno opisuje na taj način što posmatraču pripisuje ulogu, koja mu objektivno ne može pripadati. Ustvari pojavu i njenu objektivnost dobrim dijelom svodi na konstatacije posmatrača o neposredno bliskim zbivanjima, na njegove operacije, ne obazirući se na procese koji su se zbili od momenta dešavanja događaja do momenta primanja informacija, odnosno signala. Nije onda ni čudnovato da osnivač jedne od savremenih varijanti pozitivizma, operacionalist Bridgman, uzima kao primjer baš Einstein-ov postupak u specijalnoj teoriji relativnosti da bi dokazao da je i sam Einstein pozitivist, odnosno operacionalist. To mu je istodobno ogromna podrška nenaučnom operacionalizmu, koji pojave svodi na operacije posmatrača. Kurirska služba svjetlosti u tome uzgred dozvoljava i prema samoj teoriji relativnosti da brzina svjetlosti bude i veća i manja od njene apsolutne, odnosno apsolutizirane vrijednosti  $c$ , iako se Einstein ovog posljednjeg u principu striktno pridržava. Realizacija toga principa ne bi se mogla saglasiti sa stavom da

<sup>3)</sup> *A. Einstein: Zur Elektrodynamik bewegter Körper, 1905, § 1.* (Na primjer i u prevedenom zborniku: Принцип относительности, 1935).

postoji brzina  $c+v$  u ma kojem obliku prikazivanja i izračunavanja, na što se kod Einstein-a nailazi baš kod pokušaja pobijanja prave objektivnosti i apsolutnosti simultanosti. Tu se radi o fizičkoj teoriji, pa takva brzina ne može biti samo fiktivna matematička veličina. Osnovne Einstein-ove tvrdnje u pogledu navedenih njegovih zaključaka ne prolaze bez teškoća i u raznim slučajevima prikazivanja samih jedinica za brzinu (odnosno jedinica za dužinu i vrijeme) u odgovarajućim sistemima referencija pomoću već gotove teorije relativnosti. No i kada bi se na taj način teškoće otklonile, to bi značilo da se nešto dokazuje pomoću rezultata koje treba dobiti, što nije ničim zasnovano. Samo prikazivanje osnovnih jedinica za mjerenje u raznim sistemima referencije prema teoriji relativnosti dovelo bi do drugačijih relacija, što se opet ne bi slagalo sa osnovima same teorije.

Svjetlost je elektromagnetski oblik kretanja materije, pa joj davati samo kinematičku ulogu u specijalnoj teoriji relativnosti nije opravdano, niti fizički zasnovano. To pokazuje da Einstein-ovo objašnjenje Lorentz-ovih transformacija pati od niza slabosti u smislu nedosljednosti, ako se osim matematičke pogodnosti uzme u obzir i fizička strana i priroda veličina i pojava, koje se proučavaju. Time se viši, elektromagnetski oblik kretanja, pokušava svesti na niži, mehanički.

Tretiranje svjetlosti i brzine njenog prostiranja kao kinematičke veličine vjerovatno je samo formalističko objašnjenje. Možda se tu radi o prirodi samog vakuuma, odnosno o još nedovoljno proučenim oblicima kretanja materije, pri čemu se zna da pored ostalih postoje i elektromagnetska svojstva, a ona dolaze do izražaja kroz tu veličinu, odnosno kroz električnu permitivnost i magnetsku permeabilnost. Iako je to još uvijek oskudno saznanje nauke o svojstvima vakuuma i prostora, ono je najbolje čime se pristupačno i argumentovano raspolaže. Ipak izgleda da je i to dovoljno da se pokaže i zaključi da brzina svjetlosti u teoriji relativnosti odražava izvjesna svojstva vakuuma, a ne samo kinematičkog kurira za prenošenje informacija o događajima. To naročito dolazi do izražaja u poznatoj relaciji o energiji. Naime, ako se ona napiše u obliku

$E = \frac{m}{\epsilon_0 \mu_0}$  ipak se može vidjeti da je energija tijela povezana sa svojstvima vakuuma, a ne sa brzinom prenošenja svjetlosnih signala. Sa takvim shvatanjem teško je naći kvantitativno prikazivanje energije u raznim slučajevima, ali kao principijelno objašnjenje to izgleda prihvatljivije od uobičajenog u teoriji relativnosti. To može doći do izražaja specijalno ako se ima u vidu Einstein-ov način uzimanja svjetlosti za određivanje pojma vremena u fizici i uopšte uloga brzine svjetlosti u specijalnoj teoriji relativnosti.

Zanemarivanje elektromagnetske prirode svjetlosti ogleda se i u postupku kada se njena brzina uzme kao jedinica, ali ne jedinica brzine, nego običan neimenovan broj, što je često i Einstein preporučivao i sprovodio, kao na primjer u svojoj glavnoj, već citiranoj knjizi „Značenje relativnosti“. Naravno, ne može se govoriti da takav postupak mora povlačiti za sobom nepravilno shvatanje, ali se njime makar i konvencionalno i privremeno zapostavlja fizička priroda raznih veličina. Uprošćenja koja se u relacijama takvim postupkom dobivaju sasvim su neznatna u odnosu na postojeću složenost pretežnog broja relacija u teoriji relativnosti. Time se samo može unijeti zbrka, jer se u tako dobivenim relacijama dimenziono identifikuju masa i energija, a svaka brzina

postane bez dimenzija, što znači da je i dužina dimenziono identifikovana sa vremenom. U najmanju ruku to je nepotrebno, iako je zvanično usvojeno čak u cijeloj savremenoj kvantnoj teoriji polja, gdje jedan od temelja predstavlja neke relacije, koje se mogu dobiti pomoću teorije relativnosti.

Invarijantnost vremena ili invarijantnost intervala i brzine svjetlosti još uvijek su teški i otvoreni problemi, koji nemaju očiglednih dokaza. Mi koji se pridržavamo prvog shvatanja ne služimo se metodom nekih, koji se pridržavaju drugog shvatanja, proglašavajući ovo prvo kao nenaučno, prevaziđeno i potpuno pobijeno. Ne treba zaboraviti da se interval može održavati invarijantnim i uzimanjem apsolutnog vremena uz promjenu brzine svjetlosti u raznim sistemima, kao što je već dokazano da može postojati neograničen broj raznih teorija relativnosti sa istim pravom kao Einstein-ova. Vjerovatno se i pored toga može smatrati potpuno otvorenim i pitanje opravdanosti težnje ka invarijantnosti intervala u obliku kakav daje Einstein-ova specijalna teorija relativnosti.

U opštoj teoriji relativnosti ne polazi se od apsolutnosti i konstantnosti brzine prostiranja svjetlosti. Jednostavno se to shvatanje ne uzima u obzir, nego se iz drugih perspektiva prilazi tretiranju svojstava prostorno-vremenskog kontinuuma i ponderabilne supstance. Na osnovu novih postulata dolazi se do novih relacija o promjeni dužine i vremena, ne u zavisnosti od kretanja, nego u zavisnosti od mjesta i raspoređenosti ponderabilne supstance, odnosno mase.

U blizini izvjesnih tijela jedinica dužine ima vrijednost  $1 - \frac{k}{8\pi} \int \frac{\sigma dV_0}{r}$ , gdje je  $\sigma$  srednja gustina te ponderabilne supstance,  $k = \frac{8\pi K}{c^2}$ , a  $K$  gravitaciona konstanta

(<sup>1</sup>) str. 91). Za jedinicu vremena u blizini tijela ima se  $1 + \frac{k}{8\pi} \int \frac{\sigma dV_0}{r}$ . Prema to-

me svaki sat, odnosno vrijeme, ide sporije kada je veća ponderabilna masa u blizini mjesta posmatranja i sata. No, kako je vrijeme definisano pomoću svjetlosti, a i uopšte kako se prostorno-vremenski kontinuum tako subordinirao rasporedu ponderabilnih tijela, onda kao zaključak izlazi da će i brzina svjetlosti zavistiti od raspoređenosti masa. Uostalom ona je sadržana na određeni način u konstanti  $k$ . Einstein izračunava i brzinu svjetlosti prema relaciji za

interval  $ds^2 = 0$  i kao rezultat dobiva  $1 - \frac{k}{4\pi} \int \frac{\sigma dV_0}{r}$ . To znači da svjetlosni zrak u

blizini tijela velike mase osjetno skreće sa svoje pravolinijske putanje.

Pri tome se nije proučavala priroda svjetlosti, nego se pošlo od intervala, navedenog u specijalnoj teoriji relativnosti. Tamo je brzina svjetlosti bila posrednik i informator, a opet apsolutna i mjerodavna za svojstva prostora i vremena, dok se u opštoj teoriji ne vodi računa o kretanju, nego o raspoređenosti masa. Einstein ne vodi računa da i u odsutstvu običnih ponderabilnih tijela postoje još neproučena kretanja, koja se ne bi mogla zanemariti, što opet predstavlja izvjesne teškoće za shvatanje o apsolutnosti brzine svjetlosti u odnosu na ma kakve sisteme.

Oba shvatanja brzine svjetlosti u objema teorijama relativnosti polaze od invarijantnosti intervala, ali dolaze do sasvim različitih zaključaka, koji pokazuju međusobno inkompatibilnost tih dviju teorija. Na tom primjeru shvatanja uloge

brzine svjetlosti vidi se kako se prema potrebi sve fizičke veličine podvrgavaju matematičkoj invarijantnosti nekih unaprijed izabраниh relacija.

Preporuke da se u gravitacionom polju Sunca mjeri skretanje svjetlosti koja dolazi od zvijezda, i time dokaže i potvrdi opšta teorija relativnosti, sa fizičke strane su čudnovate kada se ima u vidu koliko je i kakvih sve uticaja elektromagnetske i druge prirode na tu svjetlost, a ne samo mehaničko-gravitacioni uticaj, koji se vrši na obična makrotijela.

Iz tih zaključaka o brzini svjetlosti u dvjema teorijama izlazi da ona ostaje uvijek  $c$  makar se i dva fotona kretala, odnosno makar obje brzine bile i vrlo blizu  $c$ . Ali ako jedno od tijela dobije makakvo ubrzanje, makar i uz neobično malu brzinu, onda se sve remeti, te više ne postoji konstantnost brzine svjetlosti. Svjetlost će čak i skretati u zavisnosti od mase tijela referencije, samo ako se ubrzava ili usporava.

Prema tome i specijalna i opšta teorija relativnosti nemaju argumenata da su u ma kojem pogledu osjetno doprinijele rasvjetljavanju prirode svjetlosti. Naprotiv, prije bi se moglo zaključiti da su prirodi svjetlosti svaka na svoj način nametnule određene postulate, koji su zgodni u pogledu matematičkog manipulisanja i važenja, budući da su slični u raznim koordinatnim sistemima. Međutim u pogledu fizičkog objašnjenja teškoće tih teorija su očigledne.

Velika je Einstein-ova zasluga što je pokrenuo ta fundamentalna pitanja fizike i prirode prostora, vremena i svjetlosti, odnosno elektromagnetskih svojstava prostora, dao podstrek srećnima, koji će uspjeti pronaći povezanost između gravitacionog i elektromagnetskog polja, odnosno uspješno pronaći elektromagnetska i ostala svojstva gravitacionog polja na način, koji će biti prirodan, a to znači i prihvatljiv.

## S u m m a r y

### THE ROLE OF LIGHT IN THE THEORY OF RELATIVITY

*D. M. Ivanović*

This paper is concerned with the role which Einstein gave to light in his Special as well in his General Theory of Relativity. Einstein introduced the usage of light as a means for signalling between a place of an event and the place at which an observer stands, i. e. he took it as a kinematic quantity not taking into consideration his point of view and assumption that its velocity is absolute in inertial systems. Besides that he assumes that light is better known than other processes, accepting the possibility of the existence of another similar way (courier) for signalling, no matter of what velocity it might be. The difficulties arising out of such conception can be seen in the quantitative side of the relation between energy and mass. Taking the velocity of light as absolute in the conclusion, but at the same time acknowledging another different nonrelativistic way of summing up velocities in the very process, also represents the difficulty for Einstein's conception of simultaneity. Neglecting physical non-kinematic nature of light is one of the characteristics of The Special Theory

of Relativity. This resulted in its transformation even into pure numbers and into a unit (number), as it happened in many mathematical relations of that Theory, done by Einstein. As a result was identification of energy and mass instead of real connection.

The electromagnetic nature of the relation between mass and energy was here emphasized as being more probable, but this need not result out of it at all, and it does not mean that it has any connection with signal transmission. This is probably concerned with the properties of vacuum and space in which bodies inevitably exist, but not with signal transmission.

Imposing the conception that the simultaneity of two events must be stated simultaneously, regardless the relative motion of the corresponding coordinate systems, i. e. body of reference, also represents one of the difficulties in the above mentioned inconsistent conception of light velocity.

There is another difficulty in Einstein's conception of light role. It is caused by his inconsistent treatment and explanation of relation and transformation between relativistic and non-relativistic expressions for some kinematic and dynamic quantities. Actually, it is all connected with electromagnetic vacuum properties, but not with signal transmission by means of electromagnetic waves. Non-relativistic Galilei's transformations can be obtained from Lorentz transformations, taking infinitely great velocity of light propagation or, according to Einstein, the velocity of signal transmission. If a similar method is applied in dynamics, similar conclusions do not result out of it. An extremely great value of relativistic expression for energy is obtained after referring to non-relativistic physics. As the result of relativistic conception ought to correspond to non-relativistic (classical), the difficulty is obvious. That difficulty is connected with Einstein's statement that light was taken as a process between the place of an event and the place of observation, i. e. of signal reception almost at random.

Giving the definition of time by means of propagation velocity of light as signals is also one of difficulties of the Special Theory of Relativity, besides absolutization of that velocity in form of a hypothesis. The relation between such conception and unjustified operational treatment is mentioned here too.

In the General Theory of Relativity there is a different conception of light velocity role, light nature in general, but its role is reduced to mechanical properties and quantities. The change of direction of propagation of light in gravitational field does not require electromagnetic properties, but only mechanic, even metric, to which Einstein is strictly bound, without looking for a direct relation between a gravitational and electromagnetic field, except in the form of his later trials in generalization and that, in its turn, being also based upon metrics. Tremendous velocities do not affect the relativity of propagation of light, but the slightest acceleration can and must disturb it considerably, the mass, i. e. an ordinary ponderable substance, being one of the principal causes for light velocity changes and reduction of its absolute state which exist in inertial systems.

From relations of General Theory, relations of Special Theory do not result directly as special cases with the same conception, because both the above mentioned conceptions are quite different.