

4. SPECIJALNA TEORIJA RELATIVNOSTI

Početkom XX vijeka Ajnštajnova teorija relativnosti šokirala je svijet. Ova teorija predviđala je drastične promjene zakona klasične fizike koji su vijekovima bili logični, i niko vijekovima nije sumnjao u njihovu ispravnost.

Aristotel, Njutn i svi drugi naučnici prije Anštajna vjerovali su u apsolutno vrijeme. Smatrali su, naime, da je bespogovorno moguće izmeriti interval između dva događaja, odnosno da bi ovo vrijeme bilo isto bez obzira na to ko ga meri, pod uslovom da se koristi dobar časovnik. Vrijeme je bilo potpuno zasebno i nezavisno od prostora. Za većinu ljudi ovo bi bilo zdravorazumsko stanovište. Ali ipak, čovječanstvo je moralo da promeni svoja viđenja prostora i vremena. Iako su, kako izgleda, zdravorazumske prijedstave sasvim u redu sa stvarima kao što su jabuke ili planete koje se kreću srazmerno lagano, one potpuno gube valjanost kada su posredi stvari koje se kreću brzinom svjetlosti ili sasvim blizu nje. Najznačajnija stvar koja je doprinela nastanku Teorije relativnosti bilo je to što je Ajnštajn u fiziku uveo jedan nov pojam, pojam prostor-vremena, ovo ujedinjenje prostora i vremena, tj. posmatranje vremena kao jedne posebne dimenzije, ulazak u jedan nov četvorodimenzionalni prostor, dovelo je do mnogih čudnih pojava.

Teorija relativnosti sastoji se od dva glavna dela : Specijalna teorija relativnosti (STR), objavljena 1905. god i Opšta teorija relativnosti (OTR), objavljena 1916. godine. STR razmatra samo prijedmete ili sisteme koji se, jedni prijema drugima, kreću ili konstantnom brzinom (neubrzani sistemi) ili se uopšte ne kreću (brzina jednaka nuli). OTR razmatra prijedmete ili sisteme koji se jedni prijema drugima kreću sa određenim ubrzanjem (ubrzavaju ili usporavaju).



Naslovne strane specijalne i opšte teorije relativnosti

4.1. POSTULATI SPECIJALNE TEORIJE

Upoznavši se sa svim problemima nastalim tokom vršenja eksperimenata u pokušaju detekcije etera Ajnštajn je izveo dva veoma značajna zaključka. Ti zaključci poznati su kao dva osnovna postulata STR, i oni su temelj na kome se gradi cijela teorija.

Svi fizički zakoni izražavaju se u istom obliku u svim sistemima koji se kreću ravnomerno pravolinijski

Prvi postulat : Svi fizički zakoni izražavaju se u istom obliku u svim sistemima koji se kreću ravnomerno pravolinijski. Ovaj postulat prijedstavlja tzv. Ajnštajnov princip relativnosti, koji Galilejev princip relativnosti uopštava sa mehaničkih na sve fizičke zakone. Iz ovog postulata se takođe izvodi i zaključak da se eter ne može detektovati. Ajnštajn je do ovog postulata došao vrlo jednostavnim razmišljanjem.

Zamislamo čovjeka koji se nalazi u vozu i posmatra vagon drugog voza koji se nalazi neposredno pored njega. Ako jedan od ova dva voza krene, čovjek bi lako mogao da



dode u zabunu koji se voz zapravo kreće. Naravno, ovde je lako odrediti ko se zapravo kreće, potrebno je samo pogledati bilo koji predmet pored pruge, ali zamislamo sada nekog posmatrača u dalekoj budućnosti. Neka taj čovjek krene sa Zemlje na svemirsko putovanje, i neka se on konstantno kreće brzinom od 8.000 km/h u odnosu na Zemlju. Dok on tako krstari kroz prostor i izgubi Zemlju iz vida, odjednom iza sebe opaža drugu raketu, i biva iznenađen lakoćom kojim ga ova raketa prijetiče. Vozač ove druge rakete čak može da pomisli da se raketa koju zaobilazi uopšte ne kreće ! Kako će ovaj "zvjezdani putnik" da dokaže da se kreće ? Sve što

može da odredi je brzina kojom je druga raketa prošla pored njega, i ništa više od toga. Ako bi ova brzina bila 1.600 km/h može se doći do više različitih zaključaka.

Najrealniji zaključak je taj da pošto pilot zna da se on kreće brzinom od 8.000 km/h u odnosu na Zemlju, a da je druga raketa prošla brzinom od 1.600 km/h pored njega, brzina te druge rakete u odnosu na Zemlju 9.600 km/h, ali ovo ne mora biti tačno ! To isto tako može da znači da se on sada kreće brzinom od 3.000 km/h a druga raketa brzinom od 4.600 km/h u odnosu na Zemlju. Ili, ma koliko to izgledalo čudno, možda se ova druga raketa uopšte ne kreće u odnosu na Zemlju a da se posmatrač kreće unazad, brzinom od 1.600 km/h !

Brzo se dolazi do zaključka da je bez korišćenja nekog "nepokretnog" predmeta radi mjerenja brzine posmatrača nemoguće reći ko se kreće a ko miruje, ako neko uopšte miruje. Nemoguće je napraviti neki instrument koji bi pokazivao da li se posmatrač u odnosu na nešto kreće ili ne. U stvari ako bi se posmatrač nalazio negde daleko od svih zvijezda i planeta, bez ičega što bi mogao da koristi kao referentnu tačku za mjerenje brzine, on nikad neće saznati da li se kreće ili ne ! Ovo je bila činjenica do koje je Ajnštajn došao - *svako kretanje je relativno*. Nikada ne možemo govoriti o apsolutnom kretanju, već samo o kretanju u odnosu na nešto drugo. I uopšte se ne može reći da se neki predmet kreće tom-i-tom brzinom, već se mora reći da ima tu-i-tu brzinu u odnosu na nešto. Lako se može zamisliti razgovor koji će se odvijati negde u budućnosti između oca i njegovog sina koji uživa u putovanju kroz vasiona prostranstva. Otac upozorava sina da svoju raketu ne vozi brže od 1600 km/h, a sin mu odgovara: "U odnosu na Sunce, tata, ili na Sirijus ?" Iz ovoga se lako zaključuje zašto stacionarni eter ne može da se detektuje. Ako bi on postojao i ispunjavao cijelokupnu vasionu, morao bi da miruje, njegovo mirovanje bi bilo apsolutno, a Prvi postulat upravo kaže da ne postoji apsolutno mirovanje.



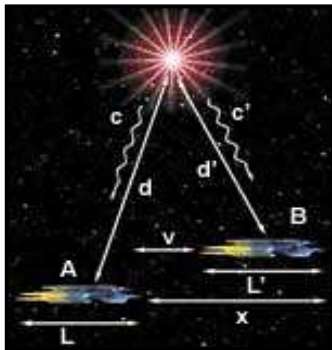
Brzina svjetlosti, odnosno maksimalna brzina prijenosa interakcije, ista je u svim inercijalnim sistemima

Drugi postulat : STR kaže da je brzina svjetlosti, odnosno maksimalna brzina prijenosa interakcije, ista u svim inercijalnim sistemima. Ako bi se jedan dečak nalazio

na platformi i bacio loptu brzinom od 24 km/h to znači da bi se lopta u odnosu na njega kretala tom brzinom bez obzira da li se platforma kreće ili ne. Ako bi se platforma kretala, na primer, prijema mostu brzinom od 8 km/h a dečak baci loptu prijema mostu brzina lopte i platforme će se sabrati i dati ukupnu brzinu lopte u odnosu na most, i tom brzinom će lopta udariti u most. Ako bi se platforma udaljavala od mosta a dečak opet bacio loptu ka mostu brzina lopte u odnosu na most bila bi jednaka razlici brzina platforme i lopte.

U malo složenijoj situaciji, gde ulogu dečaka igra neka daleka zvijezda, mosta – teleskop na Zemlji, a ulogu lopte prijeuzima svjetlosni talas koji putuje sa zvijezde do Zemlje situacija se malo komplikuje. Svjetlosni talas sa zvijezde putuje brzinom od 300.000 km/s u odnosu na zvijezdu. Ako bi se zvijezda i Zemlja približavale relativnom brzinom od 160.000 km/s, analogno situaciji sa dečakom, očekivali bi smo da se brzine sabiraju, odnosno svjetlosni talas bi trebalo da "udari" u teleskop brzinom od 460.000 km/s, i obrnuto ako se zvijezda i Zemlja udaljavaju brzine bi trebalo da se oduzimaju i daju 140.000 km/s. Na ovakav način posmatrač bi odredio dve različite brzine svjetlosti, i to je potpuno ispravno sa stanovišta Njutnove fizike, ali je u suprotnosti sa Drugim postulatom. Prijema Drugom postulatu brzina svjetlosti u oba slučaja mora da iznosi 300.000 km/s.

Iskaz ovog postulata bio je revolucionaran. Ipak, Ajnštajn ga je uzeo kao jedan od osnovnih postulata STR, bez obzira na to što je izgledalo da je u suprotnosti sa zdravim razumom, jer su svi eksperimenti navodili na taj zaključak. Vjerovalo se da je to jedan od osnovnih zakona vasiona. Kako su ova dva postulata bila u takvoj suprotnosti sa opštim mišljenjem tog vremena, bilo je neophodno mnogo više od njihovog prijedstavljanja javnosti. Jer, bez dalje potpore, oni bi samo bili interesantni a ne bi dokazivali ništa: Tako su, polazeći od ovih postulata izvedene mnoge jednačine koje su ne samo objašnjavale određene fenomene, nego su omogućavale i izvesna predviđanja, koja su kasnije bila eksperimentalno vjerifikovana. To je ustvari najstrožija provjera svake teorije: ne samo da omogući zadovoljavajuće objašnjenje svih zagonetki nekog problema, nego da učini i potpuno nova i drugačija predviđanja koja će tek kasnije biti eksperimentalno potvrđena.



Da bi se prijemostila praznina između ovih postulata, koji su sami po sebi apstraktni, i jednačina koje vode do potvrde i praktičnih primena teorije, postulati su morali biti ugrađeni u fizičku situaciju podložnu eksperimentalnoj provjeri. Kako se postulati odnose na prijedmet koji se kreće konstantnom brzinom u odnosu na posmatrača i na ponašanje svjetlosnih talasa, ovo se najbolje može postići ako zamislimo posmatrača koji "opisuje" prijedmet koji se kreće konstantnom brzinom u odnosu na njega. Ponašanje svjetlosnih talasa će uticati na opis jer je refleksija svjetlosnih talasa od prijedmeta do posmatrača ono što omogućava posmatraču da vidi i opiše prijedmet. Posmatračev "opis" prijedmeta sastojaće se od fizičkih karakteristika koje se mjere posmatračevim instrumentima (npr. dužina, masa, energija, vrijeme...)

Predviđanja numeričkih vrednosti ovih karakteristika u skladu sa STR stavljaju se u matematički oblik da bi mogla da se uporede sa stvarnim mjerenjima. Ako pretpostavimo da se dve identične rakete A i B kreću jedan prijema drugoj konačnom brzinom. Obe rakete su oprijemljene najelementarnijim naučnim instrumentima, lenjirom i časovnikom, koji su prijetodno upoređeni tako da se zna da su instrumenti u raketi A identični instrumentima u raketi B. Analiza počinje u trenutku kad B prolazi pored A, njihovi časovnici pokazuju isto vrijeme, i u tom trenutku događa se eksplozija obližnje supernove. Ni raketa A ni raketa B još nisu svesne da je zvijezda eksplodirala, jer svjetlosni talasi još nisu stigli do njih. Posle kraćeg vremena svjetlosni talasi nastali prilikom eksplozije stižu do raketa A i B koje će u tom trenutku biti na rastojanju x.

Prijema II postulatu posmatrač na A i B vide svjetlosne talase koji dolaze istom brzinom u odnosu na njih, tako da ako c prijedstavlja brzinu svjetlosnog talasa za A, a c' za B, onda se može reći da je $c=c'$. Sada se unesu rastojanja d i d' (između zvijezde i posmatrača) i vremena koja pokazuju njihovi časovnici t i t' , i analiza produži da bi se uračunalo njihovo međusobno rastojanje, njihova relativna brzina, njihova vremena, brzina svjetlosti, itd. Jednačine koje se dobijaju nazivaju se jednačine Lorencovih transformacija, jer je Lorenc prijetodno došao do istih jednačina na osnovu svoje teorije. Koristeći jednačine Lorencovih transformacija možemo sada predvideti rezultate koje će posmatrač sa jedne rakete dobiti za masu, dužinu i td. druge rakete. Kako postulati sadrže rezultate koji su u suprotnosti sa svakodnevnim iskustvom, rezultati koji se dobijaju na osnovu Lorencovih transformacija mogu biti neočekivani i naizgled čudni. Razlog što se Teorija relativnosti, uopšte uzev, smatra neshvatljivom, nije to što je teško razumeti njene rezultate, nego što je u njih teško povjerovati.

4.2. KONTRAKCIJA DUŽINE

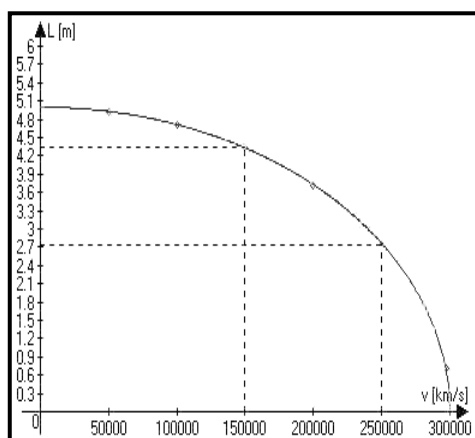
Ako bi posmatrač na raketi A bio u mogućnosti da izmeri dužinu rakete B kada se one jedna prijem drugoj kreću brzinom v , matematički rezultat će predviđati da će B izgledati kao da se skratila, a njena dužina biće data formulom :

$$L' = L \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

gdje je L' dužina koju A dobija za B, a L je stvarna dužina B, v njihova relativna brzina, a c brzina svjetlosti.

Ako bi rakete A i B imale dužinu od po 5 metara kada jedna u odnosu na drugu miruju. Kada se rakete udaljavaju brzinom od 150.000 km/s onda se na osnovu jedn. (1) određuje da je prividna dužina rakete B, mjerena sa A, 4,33 metara. Ako bi se udaljavale brzinom od 260.000 km/s onda će gledano sa rakete A dužina rakete B biti približno 2,5 metara. Ista ova formula važi i ako posmatrač iz rakete B meri dužinu rakete A. Na rezultat ne utiče to da li se rakete udaljavaju jedna od druge ili se približavaju. Rezultat zavisi samo od njihove relativne brzine.

Ako bi posmatrač na raketi A mjerio dužinu svoje rakete bez obzira na kretanje rakete B, on će uvijek dobiti da je dužina njegove rakete 5 metara, jer se rakete ne kreće u odnosu



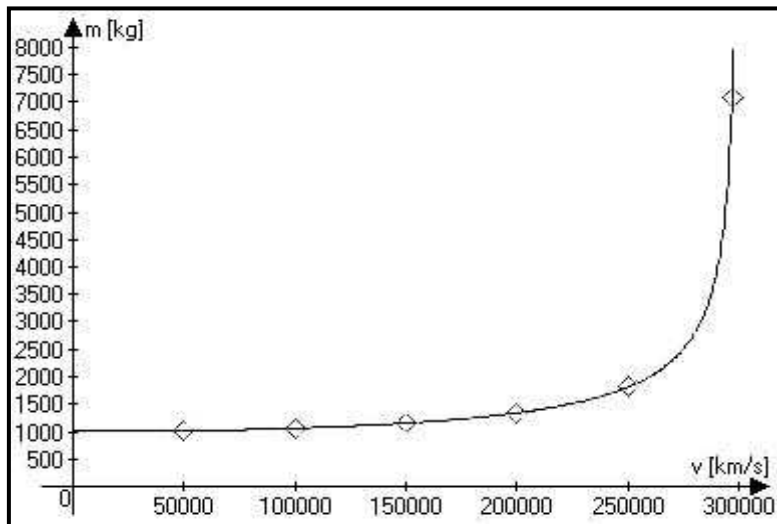
na samu sebe. Isto važi i za posmatrača u raketi B, za njega će dužina rakete B uvijek iznositi 5 metara. Ovaj efekat kontrakcije dužine može se jednostavno iskazati: uvijek kad se jedan posmatrač kreće u odnosu na drugog, bez obzira da li se približava ili udaljava, obojici će izgledati da se onaj drugi skratio u pravcu kretanja. Međutim, nijedan posmatrač neće zapaziti nikakvu promenu u svom sistemu. Efekat kontrakcije dužine zapaza se samo pri brzinama koje su približne brzini svjetlosti. Kako su skoro sve brzine poznate na Zemlji, u svakodnevnom životu, nemoguće je zapaziti efekat kontrakcije. Ako bi se na primer avion kretao brzinom od 1.200 km/h u odnosu na posmatrača, na osnovu jednačine (1) može se izračunati da će se on skratiti za nekoliko milionitih delova milionitog dela centimetra, otprilike za priječnik jednog atomskog jezgra. Ovako mala skraćjenja nemoguće je detektovati ni najsavršenijim instrumentima, a kamoli golim okom.

4.3. PORAST MASE SA BRZINOM

Prijetpostavimo sada da rakete A i B imaju jednaku masu kada su na Zemlji i kada su jedna prijema drugoj u relativnom mirovanju. Neka masa raketa iznosi po 1.000 kg. Ako posmatrač iz rakete A meri masu rakete B kada se one relativno kreću, videće da se masa rakete B povećala i da je njen iznos dat formulom :

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

gde je m' vrednost koju A dobija za masu B, m je prvobitna masa B ili, kako se drugačije ona naziva, masa u mirovanju, v je njihova relativna brzina, a c brzina svetlosti. Na osnovu jednačine (2) dolazi se do zaključka da ako rakete A i B imaju masu od po 1.000 kg dok miruju na Zemlji, onda će kad se budu kretale relativno brzinom od 150.000 km/s izgledati da B ima masu od 1.200 kg posmatrano iz rakete A. Pri brzini od 260.000 km/s posmatrač iz rakete A izmeriće da B ima masu od oko 2.000 kg !



Ako bi posmatrač iz rakete B takođe merio masu rakete A dok se one relativno kreću jedna u odnosu na drugu, zaključio bi da se i masa rakete A povećava saglasno formulu (2). Ako posmatrači u raketi A i B mjere masu svoje rakete oni će uvijek dobiti da masa njihove rakete iznosi tačno 1.000 kg, nezavisno od toga da li se raketa kreće ili ne, jer se ona sigurno ne kreće u odnosu na samu sebe. Kao slikovit primer porasta mase sa brzinom može se navesti brod koji plovi okeanom. Brod za sobom uvijek povlači izvesnu količinu vode. Što brže plovi, više vode će povlačiti za sobom. Zbog toga izgleda kao da brod povećava svoju masu što brže plovi, jer voda koju povlači za sobom kreće se zajedno sa brodom i postaje deo brodskog tovara. Treba napomenuti i to da porast mase ne znači da se prijedmet povećao u smislu fizičkih dimenzija (dužina, širina, visina), čak štaviše ne samo da se prijedmet nije povećao on je postao manji !

4.4. SABIRANJE BRZINA

Neka se posmatraču istovremeno približavaju voz i automobil, i to oba brzinom od po 100 km/h u odnosu na posmatrača. Prijema tome, ako bi posmatrač merio brzinu voza i automobila dobio bi da ta brzina iznosi tačno 100 km/h. I obrnuto ako bi mašinovođa ili vozač automobila merili svoju brzinu u odnosu na posmatrača dobili bi isti rezultat. Ali, ako bi mašinovođa izmerio svoju brzinu u odnosu na automobil dobio bi da ona iznosi 200 km/h, jer se i voz i automobil kreću u odnosu na nepokretnog posmatrača brzinom od 100 km/h. Isto važi i za vozača automobila, i on se u odnosu na voz kreće brzinom od

200 km/h. Ovakve situacije su vrlo česte u svakodnevnom životu i redovno se koristi jednačina (3) :

$$v_{AB} = v_A + v_B$$

gde je v_{AB} relativna brzina kojom se A kreće u odnosu na B (tj. brzina voza u odnosu na automobil, ili obrnuto), v_A i v_B je brzina A, tj. B, u odnosu na posmatrača.

Ako bi se posmatrač sada našao u sličnoj situaciji samo što bi umesto voza posmatrao svemirski brod A koji se kreće brzinom svjetlosti, a umesto automobila drugi svemirski



brod B koji bi putovao brzinom jednakoj polovini brzine svjetlosti on bi lako odredio brzine ova dva svemirska broda. Piloti u brodovima takođe lako određuju svoje brzine u odnosu na posmatrača, ali šta će se desiti kada pilot jednog broda, npr. broda B, proba da odredi svoju brzinu u odnosu na drugi brod A ? Vođen prijetnom logikom od bi dobio da brzina broda B u odnosu na A iznosi 1,5c, tj 450.000 km/s. Ako bi brzina broda B u odnosu na posmatrača bila 0,99999...c i pilot sada proba da odredi brzinu u odnosu na brod A on bi trebalo da dobije da je brzina 1,99999...c ali

prijema STR ne važi jednačina (3) i relativna brzina broda B u odnosu na brod A biće jednaka brzini svjetlosti u oba ova slučaja ! Specijalna teorija relativnosti daje jedan novi zakon za određivanje relativnih brzina i taj zakon iskazan je formulom:

$$v_{AB} = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A \cdot v_B}{c^2}} \quad (4)$$

gde su v_A i v_B relativne brzine kojima se A i B kreću prijem nepokretnom posmatraču, a c je brzina svjetlosti.



Ako bi na primer uzeli da brzine v_A i v_B iznose po 160.000 km/s, relativna brzina tijela A prijem telu B bila bi 250.000 km/s prijem jednačini (4), a ne 320.000 km/s kako daje jednačina (3). Lako se uočava da ovde dve jednačine daju dve različite vrednosti za jednu istu stvar pa prijem tome ne mogu obe da budu ispravne ! Za sve praktične primene jednačina (3) se može smatrati ispravnom kada su brzine znatno manje od brzine svjetlosti, ali kada su brzine približne brzine svjetlosti mora se koristiti jednačina (4). Videli da

razlika u vrednostima koje daju ove dve jednačine pri brzinama od 160.000 km/s iznosi 70.000 km/s, ali ako bi brzine bile na primer 160 km/h, rezultat koji daje jednačina (3) razlikovao bi se od rezultata jednačine (4) za oko dva milionita dela santimetra.

4.5. MAKSIMALNA MOGUĆA BRZINA

Od svih predviđanja koja proizilaze iz STR, vjerovatno je najčudnije ono da postoji određena brzina prijem koje se ništa ne može kretati. Koja je to brzina lako se može naslutiti iz jednačine (1), koja određuje skraćenje prijedmeta sa brzinom. Na osnovu te jednačine vidi se da prijedmet postaje sve kraći i kraći kako se brzina povećava. Ako brzina postaje sve veća i veća prijedmet će se sve više smanjivati, kada njegova brzina bude približna brzini svjetlosti dužina će biti približna nuli, u onom trenutku kada brzina postane jednaka brzini svjetlosti prijedmet će nestati. Ako prijetpostavimo da brzina nastavi da raste. Ako bi brzina bila dva puta veća od brzine svjetlosti, tj. $v=2c$, pod korenom se dobija -3 , odnosno dužina prijedmeta je sada prvobitna brzina pomnožena sa korenom iz -3 . Kako je kvadratni koren iz negativnog broja imaginaran broj to znači da će i dužina prijedmeta biti imaginarna, tj. prijedmet neće postojati.

Na osnovu jednačine (2) moguće je odrediti šta će se dešavati sa masom prijedmeta kada se njegova brzina približava brzini svjetlosti. Sa porastom brzine, izraz pod korenom se smanjuje. Kako vrednost razlomka raste kako mu se imenilac smanjuje, masa prijedmeta raste. Ako brzina v toliko poraste da se izjednači sa brzinom svjetlosti, onda će imenilac postati jednak nuli, što znači da će masa postati beskonačno velika.

Iz ovoga moguće je izvući samo jedan zaključak – da je brzina svjetlosti maksimalna moguća brzina. Nijedan prijedmet ne može putovati brže od svjetlosti, jer ne samo što mu se dužina smanjuje na nulu nego će i njegova masa postati beskonačno velika. Ustvari, tačnije je reći da se materijalni prijedmeti koji su poznati u svakodnevnom životu nikada ne mogu kretati brzinom svjetlosti jer bi njihova masa tada postala beskonačno velika, što znači da bi bilo potrebno beskonačno mnogo energije da se dovedu do te brzine. Na osnovu ovoga vidi se zašto je neophodna jednačina (4). Ako bi koristili samo jednačinu (3) u nekim slučajevima relativna brzina dva tijela mogla bi da bude veća od brzine svjetlosti, što je nemoguće. Bez obzira na brzinu kojom se dva prijedmeta kreću u odnosu na nekog posmatrača, njihova relativna brzina uvijek je manja od brzine svjetlosti.

4.6 EKVIVALENTNOST MASE I ENERGIJE

Najznačajnije predviđanje STR bilo je to da je srazmerno mala količina mase ekvivalentna ogromnoj količini energije. Danas je dobro poznato da je prvi ubedljiv dokaz ovog predviđanja bila eksplozija prve atomske bombe kod Alamogorda (Nju Meksiko, SAD) 16. Jula, 1945. godine. Kako STR predviđa da sa porastom brzine raste i masa tijela, zaključuje se da i energija tijela mora da raste jer masivniji prijedmet ima veću energiju od lakšeg ako su im brzine jednake. Moguće je pokazati da je dodatna energija, koja je povezana sa dodatnom masom, jednaka porastu mase pomnoženim sa kvadratom brzine svjetlosti. Na osnovu ovakvog razmišljanja Ajnštajn je zaključio da je sva masa povezana sa energijom, a ta veza data je njegovom čuvenom formulom :

$$E = mc^2$$

gde je E ekvivalentna energija, m masa tijela, a c brzina svjetlosti. Drugim rečima, ako bi se masa bilo koje supstance prijetvorila u energiju, bez ostatka, iznos energije koji će se dobiti dat je formulom (5). Na primer ako bi se u jednačinu uvrstio 1 kg uglja, za energiju se dobija 250 milijardi kilovat-časa, to je približno jednako energiji koju proizvedu sve elektrane u SAD za Mjesec dana. Kafena kašičica ugljene prašine bila bi dovoljna da najveći brod koji plovi okeanima nekoliko puta prijeđe rastojanje od Njujorka do Evrope i natrag. Iz svakodnevnog života svima je poznato da se prilikom sagorevanja uglja oslobađa neuporedivo manja količina energije. Da li to ukazuje na neispravnost STR ? Prilikom običnog sagorevanja uglja energija koja se oslobađa se energija koja nastaje kao rezultat hemijskog procesa, dolazi samo do prijeuređivanja i novog vezivanja atoma i molekula, ali ne dolazi do merljive konverzije mase u energiju jer se ugalj prijetvara u čađ, pepeo, dim, a ne nestaje. Kad bi se svi ovi krajnji produkti izmjerili njihova ukupna masa opet bi bila 1 kg. Upoređivanjem količine energije koja bi nastala pri prijetvaranju 1 kg uglja u energiju i običnog sagorevanja iste mase uglja, vidi se da se pri sagorevanju oslobađa tri milijarde puta manje energije. Naravno, proces u kome se znatna količina mase prijetvara u energiju je potpuno drugačije prirode od običnog sagorevanja.

4.7 VRIJEME U SPECIJALNOJ TEORIJI RELATIVNOSTI

Specijalna teorija relativnosti je podstakla mnogo drugačiji način razmišljanja o prostoru. Pokazala je da dužina, masa i energija nego tijela nisu stalne već da su ove veličine usko povezane sa brzinom. Ali, Ajnštajnova Teorija je pojam vremena uvela kao novu "dimenziju". Možda najveći doprinos STR bio je vezan za doprinos koji je dala drugačijem shvatanju pojma vremena.