

še zahteva, da naj bo hitrost svetlobe enaka za vse opazovalce, ki se gibljejo enakomerno. To se namreč precej slabo sklada z vsakdanjo intuicijo. Težko si namreč predstavljamo, da ima nekdo, ki se giblje proti sistemu, kjer je izvor elektromagnetnega polja, in nekdo, ki se relativno giblje v stran od njega v nasprotni smeri - enako hitrost glede na polje. Vendar pa prav to zahteva načelo enakovrednosti opazovalcev, ki je bilo tudi podprto z opazovanji.

- Formalizem, ki združi zahteve, ki smo jih opisali, je Einstein našel že delno izdelan v obliki transformacije zapisa enačb gibanja pri prehodu iz enega inercialnega sistema v drugega. Ta transformacija se imenuje Lorentzova, po nizozemskem fiziku istega imena. S pomočjo nje je Einstein razširil princip relativnosti na elektromagnetne pojave. Tako je princip relativnosti gibanj, ki je bil značilen za mehaniko (po tem opisu je vseeno, ali se vi zaletite v avto ali avto v vas, važno je le, da bo relativna hitrost enaka) bil razširjen še na Maxvelovo elektrodinamiko. Tako ni bilo npr. več potrebno ločevati med gibanjem vodnika v magnetnem polju, ki glede na vodnik miruje, in pa vodnikom, ki miruje, magnet (magnetno polje) pa se giblje. Nesimetrija v opisih je bila tako odpravljena.

- Tako je Einstein poenotil dogajanja v dotedaj relativno ločenih znanostih, kot sta bili mehanika in elektrodinamika. Protislovja v opisih pojavov so izginila. To je imelo velik vpliv na druge znanosti, posebno pa še na filozofijo. Odmevi na to so dela B. Russella, A. N. Whiteheada in še celo poznejši napor neopozitivistov, da bi poenotili vso znanost. (Fizikalizem R. Carnapa in H. Reichenbacha).

- Obilo zanimanja je povzročila še nadaljnja matematična poenostavitev teorije relativnosti, ki jo je leta 1908 napravil H. Minkowski. Ta je trem koordinatam prostorskega opisovanja fizikalnih pojavov dodal še četrto, to je čas. Tako se je začelo govoriti o štiridimenzionalnem prostor - času. Seveda pa ta četrta koordinata ni popolnoma enaka ostalim trem. Njen kvadrat je namreč negativen, kar jo daje v poseben položaj nasproti ostalim trem, za katere to ne drži (matematiki pravijo - prostor Minkowskega je zaradi tega psevdoevklidski, kar pomeni, da je lahko kvadrat razmika med bližnjima dogodkoma manjši od nič). Večkrat se to razliko med koordinatami (dimenzijami) prezre. Tako se čas "razprostre", postane tako rekoč lastnost (rasežnost) prostora.

- (S kritiko redukcije časa na prostor se je ukvarjal filozof H. Bergson ne sicer v kontekstu posebne teorije relativnosti, vendar bi njegova kritika zadela formaliste, ki ne vidijo nobene razlike med prostornimi in časovnimi rasežnostmi). Z aplikacijo novega formalizma, ki je upoštevala prej naštetih pogoje na newtonsko mehaniko (s tem pa seveda tudi reinterpretacijo njenih pojmov - npr. newtonski pojem mase se izpremeni) je Einstein prišel še do novega odkritja o ekvivalenci mase in energije ($E = mc^2$, kar je edina formula, ki si jo je v svoji popularni knjigi *Kratka zgodovina časa* privoščil S. Hawking, češ, da vsaka formula v knjigi prepolovi število bralcev).

- Tako so filozofi leta 1905, ko so se pojavile te misli pod imenom *Posebna teorija relativnosti*, dobili še dodatno snov za razmišljanje. Materija, ki je že od Aristotela sem bila pojmovana zgolj kot pasivna gmota, ki v sebi ne kaže nobene moči po spremembi, ki je obdarjena le s težo in lenostjo, ki jo lahko le zunanja sila požene v gibanje, se je pokazala kot nekaj, kar ima v sebi ogromno gibanja, dejavnosti. Tako se je filozofija spet lahko približala bolj dinamičnemu pojmovanju snovi, podobno tistemu, kar so o naravi učili Tales, Anaksimander, Heraklit - seveda se pa naivna pojmovanja, ki so videla v naravi zgolj zgoščevanje in razredčevanje in prehajanje enih nasprotij v druga (vroče v

hladno, mokro v suho in narobe) morala umakniti natančnim kvantitativnim zakonom narave, kot jih je videla nova teorija.

- Enakomerno pospešena in prema gibanja ter enakomerno kroženje, ki sicer niso inercialni sistemi (v njih nastopajo sile, ki spremenijo enakomerno in premo gibanje teles) pa se da z malce zvitosti prevesti v zgolj vztrajnostna - npr. s predpostavko, da na inercialni sistem vpliva homogeno polje, ki mu podeli enakomerno povečevanje hitrosti - (ta trik je Einstein uporabil pri reševanju "paradoksa dvojčkov".) Ta gibanja so mu predstavljala most k splošni teoriji relativnosti, ki obravnava poljubna gibanja, ki jih povzroča gravitacija. Poleg omenjenega pa Einstein privzame še načelo, da sta vztrajnostna masa in težka masa ekvivalentni (to je sicer slutila že newtonska mehanika, vendar le kot eksperimentalno ugotovljivo dejstvo - npr. zemlja privlači vsa telesa sorazmerno z njihovimi masami, sicer ne bi padala v brezračnem prostoru enako hitro). To načelo, skupaj z zakonitostmi iz specialne relativnosti, je postalo temeljni kamen, na katerem je sezidal splošno teorijo relativnosti. Pri formulaciji teorije si je pomagal spet s štiridimenzionalno mnogoternostjo prostor - čas Minkovskega, metrika (način merjenja razdalj, od česar pa so odvisne relacije med geometrijskimi tvorbami) pa je Riemannova. (Če si mislimo, da rišemo geometrijske figure na površino krogle, namesto na ravno tablo, tako da bodo odgovarjali ravnim črtam, to je najkrajšim črtam med dvema točkama loki krogov, katerih polmer je enak polmeru naše krogle, na katero rišemo figure, odgovarja struktura te mnogoternosti dvodimenzionalnemu Riemannovemu prostoru, podobno kot odgovarja površina table dvodimenzionalni mnogoternosti Evklida. Premice tako postanejo glavni krogi, to so krogi, katerih polmer je enak polmeru krogle. Na zemlji so to poldnevnik. Tako so najkrajše črte, ki ležijo le na njih, dobile ime "geodetske črte". Seveda je povezanost med točkami na površju krogle zaradi antipodnih točk drugačna, kot na površini table, vendar lahko to težavo pri interpretaciji odpravimo s tem, da privzamemo, da sta antipodni točki pač identični. Vidimo, da je tako interpretirana mnogoternost končana, vendar ni omejena, pri zelo velikem polmeru krogle pa preide v ravno površino - evklidsko dvodimenzionalno mnogoternost.) Za to metriko je značilno, da razdalja med točkami ni funkcija koordinat, ki so lahko poljubno postavljene v prostor, temveč je razdalja med dvema točkama definirana kot posebna funkcija gravitacijskega polja. Tako prostor - čas ne biva po sebi, temveč samo kot strukturna lastnost polja. Prostor, ki bi bil različen od nečesa, kar ga napolnjuje tako ni mogoč. Tako predstava prostora kot "vsebovalca" reči in časa kot "vsebovalca" dogodkov tudi ni več mogoča. Tek časa je odvisen od jakosti gravitacijskega polja, kjer je polje bolj jako, teče počasneje, kot tam, kjer je manj. Sicer se raje govori o četverosežnostni mnogoternosti prostor - čas, podobno kot v specialni teoriji, le da ta mnogoternost ni evklidska.

- Opisani pojmi so še bolj načeli staro shemo prostora in časa, kot je to bilo v specialni teoriji relativnosti. Ni prostora, ki bi vseboval reči, temveč je narobe - prostor eksistira lahko le skozi njih, govoriti o praznem prostoru nasploh je nesmisel, prav tako je nesmisel govoriti o času, ne da bi se govorilo o spremembah odnosov med materialnimi reči. Tako razumemo lahko tudi take izraze, kot so ukrivljen in zgoščen čas. Če definiramo ravno črto striktno kot tir svetlobnega žarka (ali pot širjenja neke materialne spremembe nasploh) in ga privzamemo, da ima takšen žarek maso in da bo zaradi tega na njegovo pot vplivala prisotnost materialnih teles - žarek, se bo zaradi gravitacijskega polja v njihovi bližini odklonil od poti, ki bi jo sicer imel, če teh teles ne bi bilo - je torej njegova pot še stalno ravna, le prostor je kriv. Podobno velja, da žarek, ki prihaja od

telesu z veliko gravitacijo, zgublja na energiji zaradi premagovanja gravitacijskega polja, če ga gledamo s področja, kjer je težnost šibkejša. Tako se bo njegov spekter premaknil proti rdečemu koncu, saj je njegova frekvenca manjša. Frekvenca elektromagnetnega valovanja, čigar primer je svetloba ali tudi radijski valovi, pa je svojevrstna naravna ura. Opisana sprememba frekvenca, kadar opazujemo področja z veliko gravitacijo, predstavlja spremenjen tek naravne ure, to je nihanje atoma, ki je bilo vzrok svetlobi ali radijskemu valu. Pojav predstavlja tudi možnost preverbe resničnosti splošne teorije relativnosti. (Spektrografske analize res kažejo "rdeči premik", če analiziramo svetlobo, ki prihaja s področij, kjer je gravitacijsko polje močnejše kot na zemlji. Če bi opazovali področje, kjer je polje šibkejšo kot pri nas, pa bi morali opaziti nasproten pojav - premik proti modremu koncu spektra, naravne ure tečejo v teh področjih glede na nas hitreje).

- Formalizem teorije relativnosti specialne in splošne je omogočil izvesti trditve, ki jih je moč verificirati ali pa ovreči, torej neposredno konfrontirati z izkustvom. Tako morajo pri gradnji pospeševalnikov upoštevati efekte, ki jih je predvidela specialna teorija, pri satelitih, ki pomagajo pri navigaciji, pa tudi že efekte, ki jih je predvidela splošna relativnost. Tako so se ideje mnogih filozofov, ki se niso strinjali z idejo, da sta prostor in čas absolutna in neodvisna od materialnih dogajanj, izrazite na bolj jasn način in dobile tudi izkustveno podlago. Seveda pa to ne pomeni, kar so mislili mnogi površni filozofi, da je relativna teorija dala prav tistim, ki so se učili, da sta prostor in čas zgolj subjektivni obliki našega dojemanja sveta (I. Kant). Celu za Aristotela je bil čas kot mera za gibanje (to mero je mogoče ugotoviti le skozi štetje, kar pa zahteva duševni akt) bolj zadeva subjekta, duše, ki motri dogajanje, kot pa da bi bil dejanski. Prav nasprotno je ugotovil Einstein. Čas in prostor je v svoji teoriji združil v en pojem, le tega pa trdno povezal s pojmom materialnih dogajanj.

- Njegove ideje so imele tudi velik vpliv na kozmologijo. Če verjamemo, da je elektromagnetno dogajanje (svetloba) povezano z gravitacijo, nosilec sprememb (vzročno posledičnega niza) v svetu, in če verjamemo v Hubblov zakon o meglenicah, ki pravi, da čim dalj so, tem hitreje od nas bežijo - seveda pa ne morejo bežati od nas hitreje kot svetloba, to je informacija o njih, potem lahko trdimo, da je vesolje končno (ni pa treba, da je omejeno, saj ni ničesar, razen njega, na kar bi lahko mejilo). Ta sklep pa igra v kozmologiji veliko vlogo. Tudi sicer je intelektualno zanimiv. Po njem duh vidi pred seboj bit, ki pa sicer ne vztraja več mirno sama v sebi, kot si je to zamišljal Parmenid, temveč utripa po njej lastnih zakonih, katere pa naj naš um nekoč dojame (s tem pa dojame samega sebe).

LITERATURA:

Od Einsteinovih knjig so poleg člankov, s katerimi je postavil osnovne specialne teorije relativnosti v *Annalen der Physik* leta 1905, posebno znani še *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie* (O posebni in splošni relativnostni teoriji) iz leta 1916 in *Razvoj fizike*, kar je napisal skupaj z L. Infeldom 1938 in jo imamo tudi v slovenščini. V slovenščini imamo tudi knjigo *Posebna teorija relativnosti* od J. Strnada, ki bralca elegantno uvede v svet te teorije. Od filozofskih del je najbolj popularna knjižica od B. Russella: *ABC teorije relativnosti*.