

NEKAJ SPOZNAVNO - TEORETSKIH PROBLEMOV RELATIVNOSTNE TEORIJE

Pričujoči sestavek je napisan kot prispevek k analizi spoznavno-teoretskih osnov Einsteinove relativnostne teorije s stališča dialektičnega materializma. Predvsem sem se skušal dotakniti tistih problemov, kjer relativnostna teorija, ki je sicer strogo deterministična, zanemarja princip kavzalnosti in prihaja z njim ter s kriterijem prakse celo v nasprotje (n. pr. zanikanje bistvene razlike med Kopernikovim in Ptolemejevim sistemom). Ne zdi se mi pravilno, da se taki in podobni zaključki le pobijajo, temveč treba je poiskati tudi njihov izvor, napake v gnoseoloških osnovah relativnostne teorije.

V tem okviru se nisem spuščal v polemiziranje z odkrito idealističnimi tezami, ki jih zastopajo nekateri zahodni filozofi in so same na sebi dovolj jasne ter so bile že dostikrat zavrnjene, ampak sem se dotaknil le nekaterih sestavin relativnostne teorije, ki so jih sprejeli tudi mnogi na pozicijah dialektičnega materializma stoječi pisci; ti sicer zaključke idealistov zavračajo, a pod vtisom uspeha in revolucionarne vloge relativnostne teorije v moderni fiziki mislijo, da morajo sprejeti tudi vso njeno filozofsko vsebino, ne da bi pri tem spoznali pozitivistične elemente, ki v njej dejansko so. S tem seveda delajo sami relativnostni teoriji kaj slabo uslugo, saj tako olajšujejo napade idealistov, stopnjujejo ideološko zmedo ter omogočajo širjenje napačnih zaključkov. Druga skrajnost pa je tendenca, ki se čuti v nekaterih deželah, namreč, da se relativnostna teorija principialno zavrže (n. pr. referat prof. L. Jánossyja iz Budimpešte na kongresu fizikov v Berlinu, 1953).

Omejil sem se tudi le na filozofsko stran problema in se nisem lotil vprašanja, koliko zavisi fizikalna vsebina določenih vprašanj od njihovih spoznavno-teoretskih sestavin. Pripomnil bi le, da je vloga tu obravnavanih spoznavno-teoretskih elementov sicer pomembna, toda odločilna fizikalna osnova relativnostne teorije od njih ne zavisi in zato ni predmet kritike.

Opozoriti moram še, da sem obravnaval le nekatere probleme nakazane teme in še pri teh le nekatera vprašanja, nikakor pa ne vseh. Seveda pa tudi ta vprašanja niso dokončno razčiščena, temveč zahtevajo še skrbne obdelave.

I.

Prihodnje leto bo minilo že petdeset let, odkar je Einstein objavil svojo »Specialno relativnostno teorijo«, ki jo je leta 1916 dopolnil še s »Splošno relativnostno teorijo«. Burne polemike pro in contra, ki so desetletja razgrevale duhove, so zdaj že precej potihnile. Morda bi iz tega kdo sklepal, da njena vloga v moderni fiziki, pri hitrem razvoju, ki ga slednja doživlja v zadnjih desetletjih, izgublja pomen. To pa nikakor ne ustreza resnici. Nasprotno, postala je nujen sestavni del sedanje fizikalne slike sveta ter žela take uspehe, kot jih fizika ni več poznala od časov Galileija in Newtona.

Zato je tembolj potrebno, da se kritično premotre tudi njene manj popolne strani, ki izvirajo iz Machovega vpliva ter so v splošni relativnostni teoriji

opazne toliko bolj kot v specialni, kolikor je splošna od nje drznejša in popolnejša.

Zaradi boljšega razumevanja in lažjega nadaljnjega izvajanja naj se od glavne teme najprej nekoliko oddaljim ter v grobih obrisih osvetlim nastanek in razvoj relativnostne teorije.

Specialna relativnostna teorija je nastala kot združitev klasičnega relativnostnega principa, ki ga je postavil že Galilei, z načelom konstantnosti svetlobne hitrosti ob istočasni spremembi fizikalnih pojmov prostora, časa in gibanja.

Klasični relativnostni princip je sam na sebi kaj lahko razumljiv ter je v skladu z vsakdanjim izkustvom. Trdi, da so fizikalni zakoni v vseh enakomerno in premočrtno gibajočih se sistemih enaki, saj se v takih sistemih ne pojavljajo nobene dodatne sile. Najnazornejši dokaz za njegovo veljavnost je pač gibanje Zemlje po vesoljstvu. Zemlja hiti skozi prostor z ogromno hitrostjo, vendar v življenju posledic tega gibanja ne občutimo, ali, kar je fizikalno enako, procesi se vrše tako, kot da tega gibanja sploh ne bi bilo. — Izhaja že iz samih Newtonovih zakonov gibanja, iz katerih je razvidno, da so sile pogojene s spremembami hitrosti, ne pa s hitrostmi samimi. Newtonovi zakoni so torej invariantni proti Galileijevim transformacijam, to je takim transformacijam, ki povedo, kako se transformirajo prostorske koordinate pri prehodu iz enega v drug s sistem, če se oba gibljeta s konstantno hitrostjo. Pri tem je važno še to, da se hitrost sistema opazovalca in opazovanega sistema vektorsko seštejeta.

Ta princip je brezpogojno veljal do 19. stoletja, ko so zavladale spekulacije o mirujočem etru. Fiziki se z Newtonovimi gravitacijskimi silami, ki delujejo na daljavo in brez posrednika, niso več zadovoljili ter so jih skušali razložiti z napetostmi in deformacijami etra. To stališče je podpirala tudi valovna teorija svetlobe, kajti če je svetloba valovanje, mora obstajati tudi sredstvo, po katerem se to valovanje širi. Po tej teoriji je svetloba širjenje valov v etru s konstantno hitrostjo 300.000 km v sekundi.

Po klasičnem relativnostnem principu bi morali opazovalci, ki bi se gibali proti etru z različnimi hitrostmi, dobiti za hitrost svetlobe različne vrednosti, kajti hitrost opazovanega gibanja vedno zavisj od hitrosti opazovalca. Tako bi hitrost svetlobe morala biti različna, če bi jo merili v smeri gibanja Zemlje skozi eter ali pa v nasprotni smeri.

Toda eksperimenti, ki jih je z interferometrom izvedel Michelson, so pokazali, da je hitrost svetlobe v vseh smereh enaka, torej, da ne zavisj od hitrosti, s katero se giblje opazovalec. Naj se torej gibljemo za svetlobo s kakršno koli hitrostjo, odmikala se bo od nas vedno enako hitro. Ta rezultat je v temeljih stresel klasično fiziko in jo postavil pred zelo neprijetno dilemo: ali naj opusti klasični relativnostni princip ali pa načelo o konstantnosti svetlobne hitrosti.

Einsteinova zasluga je, da je ti dve, na videz nepremostljivi nasprotji združil v dialektično enoto. To pa mu je lahko uspelo le ob istočasni temeljiti reviziji pojmov časa in prostora.

Pri tem je važno poudariti, da se specialna relativnostna teorija ne razlikuje od klasične mehanike po samem postulatatu relativnosti, ki je tudi tu omejen na konstantna premočrtna gibanja, ampak le po njegovi združitvi s postulatoma o konstantnosti svetlobne hitrosti v vakuumu, iz česar sledi relativnost istodobnosti in nadomestitev Galileijevih transformacij z Lorentzovimi.

Klasična istodobnost je temeljila na mišljenju, da se z neskončno veliko hitrostjo lahko preverja istodobnost vseh dogodkov. Ker pa je neskončno veliko hitrost nadomestila končna hitrost svetlobe, je Einstein Galileijeve transformacije, v katerih je klasična istodobnost osnovna postavka, zamenjal z Lorentzovimi, v katerih je svetlobna hitrost konstantna.*

Od tod sledi za gibajoče se sisteme kontrakcija dolžin v smeri gibanja — pri čemer se dolžine, pravokotne na smer gibanja, ne spremenijo, dilatacija časa ter tak način seštevanja hitrosti sistema opazovalca s translatorsko hitrostjo opazovanega sistema, da je hitrost svetlobe v vseh Galileijevih enaka.**

Z drugimi besedami ima torej vsak sistem v gibanju svoje lastne ure in metre. Sistem, ki skupno z našim sistemom miruje, ima enaka merila kot mi. Če pa mi mirujemo in se giblje enakomerno in premočrtno drug sistem, so njegovi metri v primeri z našimi skrajšani in njegove ure počasnejše.

Morda najvažnejša konsekvence specialne relativnostne teorije pa je trditve, da se masa s hitrostjo spreminja. Do tega lahko pridemo, če z zemlje

* Galileijeve transformacije so temeljile na dejstvu, da se hitrost opazovalca in opazovanega sistema vektorsko seštevata. Michelsonov poskus pa je pokazal, da je hitrost svetlobe vedno enaka ter torej ne zavisi od hitrosti opazovalca. Zato je bilo potrebno nadomestiti Galileijeve transformacije, kjer so se hitrosti seštevale, s takimi, kjer vsota dveh hitrosti, čeprav sta le malo manjši od svetlobne, še vedno ne presega svetlobne hitrosti. Svetloba ima torej lastnost, ki jo je klasična mehanika pripisovala neskončno veliki hitrosti. In res — če v Lorentzovih transformacijah nadomestimo svetlobno hitrost z neskončno veliko hitrostjo, dobimo klasične Galileijeve transformacije. To, da je hitrost svetlobe v vseh sistemih enaka, pa je možno le ob istočasni spremembi pojmov prostora in časa. Tako moramo n. pr. Galilejevo transformacijo, v kateri je t enak t' ($t = t'$) nadomestiti s $t + \frac{v}{c^2} \cdot x'$ (x' je prostorska

koordinata sistema v gibanju, t' časovna koordinata sistema v gibanju, t časovna koordinata sistema, ki miruje). Vidimo, da gredo ure v sistemih, ki se gibljejo, za faktor $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$ počasneje $\left(t_1 - t_2 = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \cdot \frac{t'_1 - t'_2}{\dots}\right)$.

** Kako so se te ideje polagoma razvijale, vidimo iz historičnega pregleda: časovne transformacije je že leta 1887 uporabljal Voigt, leta 1892 jih je spet povzel Lorentz, leta 1900 je Larmor pisal Lorentzove transformacije v danes običajni obliki, leta 1904 je Lorentz obdelal optiko gibajočih se teles popolnoma s stališča Lorentzovih transformacij, leta 1905 sta Poincare in Einstein neodvisno drug od drugega izvedla iz Lorentzovih transformacij zgoraj omenjene zaključke; Einsteinovo delo je vsebovalo zakon o vztrajnosti energije ($E = m \cdot c^2$). — Podatki so vzeti iz: G. Joos, Lehrbuch der theoretischen Physik, 1942.

opazujemo prosti pad v gibajočem se vlaku, Sila teže je v gibajočem se vlaku seveda ista kot na zemlji, ker pa ena sekunda v gibajočem se vlaku ustreza na zemlji daljšemu času, opažamo, da pada isto telo v vlaku dalj časa. Ker smo seveda v obeh primerih prosti pad opazovali na isti poti in se dolžine v smeri pravokotno na gibanje vlaka niso spremenile, sklepamo, da so pospeški v vlaku manjši, ali, kar je isto, da se je masa, ki fizikalno pomeni odpor proti spremembi hitrosti, povečala. Einstein je to povečanje mase pravilno tolmačil s prirastom kinetične energije. (Seveda bi za nas te spremembe postale opazne šele pri hitrostih, ki se bližajo svetlobni. V mejnem slučaju, če bi telo doseglo svetlobno hitrost, bi postala masa neskončno velika, kar pomeni, da svetlobne hitrosti ne more doseči nobeno telo.*

Iz tega sledi, da se, če neki sistem izgubi pri energiji, zmanjša tudi njegova masa, in obratno. Masa in energija sta torej med seboj povezani, sta proporcionalni: proporcionalitetni faktor je kvadrat svetlobne hitrosti.

Vse to je eksperimentalno že tako potrjeno, da dokazov ni več potrebno navajati. Omenil bi le, da je na spontanem razpadu mezonov bila direktno verificirana tudi Einsteinova trditev o dilataciji časa.

Medtem ko specialna relativnostna teorija zahteva principialno enakopravnost le za sisteme, ki se gibljejo enakomerno in premočrtno, kajti v njih veljajo isti fizikalni zakoni kot v mirujočih, pa gre splošna relativnostna teorija še korak dalj in zahteva principialno enakopravnost za vsa gibanja, torej tudi pospešena, ter vključuje v sebi specialno kot mejni primer, kadar ni gravitacijskega polja; saj ima to polje lastnost, da podeli vsem telesom enake pospeške. Ta lastnost nam omogoča, da lahko gravitacijsko polje »povzročimo« in »uničimo« v pospešenem sistemu.

Oglejmo si to na primeru. Raketa naj se giblje po delu vseмирja, kjer se ne čuti gravitacijskega polja zvezd, s konstantno hitrostjo. Sila teže se v raketi ne opaža. Če pa se začne raketa gibati pospešeno, se bo sila teže nenadoma pojavila. V raketi bodo vladale prav take razmere, kot da bi se gibala s konstantno hitrostjo v gravitacijskem polju. Vidimo, da bi si potniki v notranjosti rakete pospešeno gibanje lahko razlagali z nastankom časovno spremenljivega gravitacijskega polja, in obratno, da bi si gravitacijsko polje lahko razlagali s prehodom na pospešeno gibanje.

Ta ekvivalentnost je pripeljala Einsteina do tega, da je gravitacijo prevedel na gibanje mas. Ker torej med sistemi, v katerih se opaža učinek gravitacijskih sil, in med tistimi, v katerih se ta učinek ne opaža, ni principialne razlike in je prostorska metrika v gravitacijskih poljih zakrivljena, so geometrijske lastnosti prostora določene z razporeditvijo mas v vseмирju.**

* Kvanti svetlobe, ki se sicer gibljejo s svetlobno hitrostjo, so delci brez mirovne mase.

** Centrifugalne sile so torej pogojene, ne s pospeški proti absolutnemu prostoru, temveč z vsemi masami vseмирja. Če teh mas ne bi bilo, tudi ne bi bilo centrifugalnih sil. Že leta 1896 sta B. in J. Friedländer skušala s poskusom ugotoviti nastanek majhnih centrifugalnih sil na mirujočih telesih v bližini hitro vrtečih se velikih mas, ki naj bi služile kot nadomestek za mase vseмирja. Zaradi nesorazmerja mas pa poskus ni mogel uspeti.

Ustaviti se moramo pri trditvi, da je prostorska metrika v gravitacijskih poljih zakrivljena. Če imamo dva koordinatna sistema, K in K' , pri čemer se K giblje enakomerno in premočrtno, K' pa pospešeno in premočrtno, takoj vidimo, da je svetlobni žarek, če se glede na K giblje premočrtno in s konstantno hitrostjo, glede na K' zakrivljen. To je važna modifikacija principa o konstantnosti širjenja svetlobe v vakuumu.

Zaradi te ukrivljenosti prostora je Einstein tudi opustil Evklidovo geometrijo, ki je osnova klasične mehanike in specialne relativnostne teorije, ter vzel za osnovo svoje »Splošne relativnostne teorije« nееvklidsko geometrijo.

Eksperimentalno je splošna relativnostna teorije potrjena dosti manj od specialne, lahko pa rečemo, da ji eksperiment ne nasprotuje. Kontrolni poskusa so v glavnem dostopni trije pojavi: rotacija Merkurjevega perihela, ukrivitev svetlobnih žarkov v gravitacijskem polju Sonca in premik zvezdnih spektrov proti rdečemu delu; vsi ti pojavi pa leže na meji natančnosti meritev.

Za praktično delo v laboratoriju nima takega pomena kot specialna; zelo važna pa je v teoriji gravitacije, kozmologiji in astronomiji.

(Konec sledi)

Robert Blinc

