

Razvoj pojmovanja prostora v filozofiji in fiziki

Peter Lukan

Prostor je eden od tistih pojmov, ki so domnevno intuitivno razumljivi vsem, ko ga poskušamo opredeliti pa postane precej izmuzljiv. Ko govorimo o njem, lahko kdaj dobimo vtis, da govorimo hkrati o vsem in o ničemer. S katerimi pojmi ga sploh »zagrabit«, da ga lahko opišemo? Ali prostor sam zase sploh obstaja, neodvisno od stvari, ki so v njem? Je poln ali prazen? Je raven ali ukrivljen, končen ali neskončen? In kaj za nas te oznake sploh pomenijo? Preko selektivnega zgodovinskega pregleda pojma prostora, kot se je razvijal v zahodnjaški miselni tradiciji, bom izpostavil nekatere ključne vidike, okrog katerih se je razvijalo razmišljanje o tem tako osnovnem pojmu. Pri tem pregledu se opiram na delo Maxa Jammerja *Concepts of Space* (1954), ki je eden temeljnih pregledov na to temo.

Prostor v fizikalnih teorijah nastopa kot tako imenovani primitivni pojem, to je takšen, ki ga ne moremo izčrpno natančno definirati, ampak dobiva svoj pomen v odnosu do drugih pojmov teorije, skupaj z drugimi primitivnimi pojmi pa tvori nekakšno osnovno pojmovno konstelacijo. Tako je pojem prostora na primer že od vsega začetka tesno povezan s pojmom gibanja in snovi. Ravno tako se prostor v vseh kulturah začne povezovati s pojmom kozmosa oziroma univerzuma, ki predstavlja najbolj poenoteno sliko vesoljnega prostora, ki si jo je človek zgradil.

Antično pojmovanje prostora

Ena prvih jasno oblikovanih idej prostora, ki jih srečamo v zahodni civilizaciji, se oblikuje v njegovem odnosu do gibanja in snovi. V zvezi s problemom gibanja in prostorom so prve natančnejše refleksije tako imenovane Zenonove aporije, imenovane po Zenonu iz Eleie (5 stol. p.n.š.). Najbolj znana med njimi je tako imenovani paradoks Ahila in želve, ki gre nekako takole: Ahil lovi želvo, ki ima pred njim sprva prednost polovice poti do cilja. Če gibanje brzonogega heroja (oznaka je iz Homerjeve *Iliade*) spremljamo »po korakih« tako, da Ahil v

vsakem naslednjem »koraku« prepotuje polovico poti, ki mu še manjka do želve, potem je ne dohiti nikoli, saj se želva v tem času vedno premakne malce naprej proti cilju. Problem, ki se tu zastavi je problem neskončne deljivosti prostora oziroma v matematičnem jeziku: postavi se vprašanje ali je prostor zvezen ali diskreten. Razlika med obema je podobna razliki med realnimi in racionalnimi števili (ulomki). To Zenonovo aporijo je skupaj z ostalimi nekoliko kasneje Aristotel (4. stol. p. n. š.) jemal kot dokaz, da lahko gibanje mislimo le z roko v roki s prostorom in časom kot kontinuumom. Če prostor mislimo kot diskreten in gibanje po korakih, pridemo do resnih težav. Razdalja oziroma daljica v prostoru je zanj kontinuum, ni je mogoče sestaviti iz končnega števila točk. Prostor naj bi bil torej neprekinjen.

V zvezi z odnosom med prostorom in snovjo je pomemben miselni korak napravil začetnik atomizma Demokrit (5.—4. stol. p. n. š.), ki je vse bivajoče razdelil na prazen prostor in atome (gr. *atomos* pomeni nedeljiv). Poprej sta bila pojma materije in prostora implicitno povezana. Tako je uveljavil pojmovanje, da se materija lahko giblje le po praznem prostoru, drug na drugega pa nimata vpliva (v tem je bistvena razlika med to in Einsteinovo relativnostno teorijo). Sta medsebojno izključujoča, univerzum je prazen (prostor) in poln (atomi). Prostor je pri Demokritu torej praznina in pomeni vedno nezaseden prostor. Dva najbolj vplivna misleca antike, Platon in Aristotel, sta po drugi strani prostor v grobem enačila z materijo, kar je imelo daljnosežen vpliv na srednjeveško misel o prostoru. Pri Platonu sicer ni šlo za natančno ukvarjanje s pojmovanjem prostora, njegovo enačenje prostora in materije je bilo posredno, veliko bolj eksplicitno se je s tem ukvarjal Aristotel. Prostor je zanj vsota vseh mest, neko mesto pa je opredeljeno z zunanjimi mejami telesa, ki ga ta del prostora vsebuje, pripadajoče mesto stvari ni ne večje ne manjše od stvari same. Neko mesto je tako po eni strani odvisno obstoječa stvar, po drugi strani pa ni brezpogojno vezano na neko konkretno telo, ni del stvari same; ta lahko mesto zapusti, da tja pride drugo telo in je torej od njega oddvojljiva. Prostor je tako prvotnejši od stvari

v njem, čeprav je opredeljen ravno z njihovo pomočjo. Prazen prostor v tem smislu ne obstaja in stvari se vedno gibljejo tako, da zapolnijo mesta, kjer bi lahko nastala praznina. V srednjem veku se je v zvezi s tem govorilo o t. i. »horror vacui« oziroma strahu pred praznim prostorom, to je težnji snovi, da zapolni ves prostor. Tu se razlikuje od Demokritovih atomov, ki potrebujejo prazen prostor za gibanje, medtem ko se pri Aristotelu snov lahko giblje skozi drugo snov.

Aristotel o prostoru razpravlja bolj v smislu teorije mest ali položajev, ne toliko o njegovi splošni naravi sami. Vsako mesto vsebuje tudi odnosnici spodaj in zgoraj, s čimer je prostor nosilec kvalitativnih razlik. Ta lastnost je služila za njegovo metafizično utemeljitev filozofije naravnih gibanj teles (stvari, ki naj bi bile pretežno iz zemlje, težijo k zemlji, stvari, ki so pretežno iz vode, težijo k vodi itn.). Aristotelov prostor je tako imel strukturo, ki je izhajala iz vsakdanje izkušnje težnosti, razlikoval je med spodaj in zgoraj, kar je zelo zemeljsko naravnano pojmovanje. To se je preneslo tudi na vesoljni prostor – aristotelški kozmos je orientiran, v njegovem središču je Zemlja, ki jo obdajajo sfere Lune in petih tedaj poznanih planetov ter Sonca. V srednjem veku, ki prevzame takšen kozmični prostor antike, se te sfere vrtijo, dodana je sfera zvezd stalnic in kristalinska sfera angelov, ki vse skupaj vrtijo (prav takšno sliko stvarstva najdemo v Dantejevi *Božanski komediji*). Celotno stvarstvo, ki ima torej popolno obliko krogle, se deli na sublunarni prostor, ki ga sestavljajo štirje naravni elementi, in supralunarni prostor, ki ga sestavlja peti element – eter. To je neskončno fina snov, ki je ne moremo otipati, v nekem smislu je ta element pri Aristotelu še najbližje temu, iz česar naj bi bil prostor sestavljen (vendar samo supralunarni del stvarstva).

Tukaj lahko poudarimo še eno linijo misli, ki se ravno tako vleče že vse od antike, in sicer vprašanje o (ne)sklenjenosti in (ne)urejenosti vesoljnega prostora. Ideja *sfaira*, to je sferičnega sklenjenega vesoljnega prostora, se pojavlja vse od Parmenida dalje in se preko Platona in Aristotela prenese na srednji vek ter prevladuje vse do vznika moderne znanosti s Keplerjem in Newtonom. Po drugi strani nekateri vidni antični misleci odstopajo od takšnega pojmovanja, na primer Tales, Heraklit, Demokrit in stoiki. Ti so na strani neskončnega oziroma odprtega prostora, ki bi ga lahko povzeli z Anaksimandrovim izrazom *apeiron*, kar pomeni neomejen, neskončen. Immanuel Kant kasneje v razsvetljenstvu to nasprotje izpostavi kot antinomijo čistega uma in obe rešitvi priznava kot enakovredni, za izvor problema pa ima dojemanje prostora kot celote. V sodob-

ni kozmologiji je ta dilema še odprta, vendar načeloma lahko imamo neomejen in hkrati končen prostor, kar sta bila poprej medsebojno izključujoča pojma.

Kritike Aristotelovega pojmovanja prostora

Aristotela so v zvezi s pojmovanjem prostora kritizirali že nekateri njegovi neposredni učenci. Tudi kasneje znotraj srednjeveške misli je več avtorjev opozarjalo na neskladja v njegovem pojmovanju prostora. Pojavil se je namreč problem, ker je domnevno gibanje zadnje nebesne sfere nasprotovalo pojmovanju mesta oziroma prostora. Z današnje perspektive, ko se nam nebesne sfere zdijo odvečen pojem, je lahko problem videti povsem nedolžen in brez teže, vendar je v tedanjem miselnem okviru predstavljal resen izziv za veliko izjemnih mislecev. Nanj je recimo pokazal tudi oče heliocentričnega sistema Nikolaj Kopernik (16. stoletje), ki je vedel, da bo potrebna sprememba definicije prostora ali pa ukinitvev premikanja zunanje sfere; izbral je drugo možnost. To je bil hkrati eden glavnih sprožilnih momentov, ki je Kopernika spravil do revizije geocentričnega pojmovanja sveta, torej problem, ki je izviral iz nasprotja med prostorom in gibanjem.

Z odpovedjo Aristotelovemu konceptu prostora je isti problem poskušal rešiti judovski mislec Crescas že 150 let pred Kopernikom. Zunanja krogla ima lahko svoje mesto samo, če je definirana glede na še eno kroglo, te pa ni, zato obstaja samo en neskončen prazen prostor, ki se ne premika. V tem smislu koncept neskončnega vakuuma reši problem zadnje sfere. S tem Crescas postane eden prvih zagovornikov realnosti vakuuma po antiki. Kopernik je za razliko od njega še vedno hotel ohraniti sferično končnost kozmosa.

Problema zadnje sfere se je lotil tudi Nikolaj Kuzanski (15. stoletje). Predpostavljal je premikanje Zemlje (pred Kopernikom) in v tem smislu odsotnost kakršnegakoli absolutno mirujočega telesa (to je poprej bila Zemlja sama) in torej absolutne referenčne točke. Zavrnil je prostorsko geometrizacijo vrednot v smislu tega, da objektivno obstajajo vrednostno privilegirani (nebesa) in deprivilegirani prostori (pekel). Takšna vrednostna struktura prostora je bila namreč del krščanskega kozmosa, kar je umetniško povzel in s tem dodatno učvrstil Dante. (Mimogrede, ravno v zadnjih letih je bilo nekajkrat slišati v javnosti, da naj bi se uradna kmalu Cerkev izrecno odpovedala pojmovanju pekla kot realno obstoječega prostora.) Kuzanski je podal načelo, da je vesolje povsod videti enako, kar je enakovredno današnjemu tako imenovanemu kozmološkemu principu, le

da ima ta tudi časovno razsežnost (vesolje je videti v povprečju vedno povsod enako).

V podobnem smislu je Aristotelove predpostavke glede prostora kritiziral tudi kasneje na grmadi pogoreli Giordano Bruno (16. stoletje), zato je tudi sam spremenil definicijo prostora – tudi on vnese vanj koncept neskončnosti prostora, ki je prazen, poleg tega pa poudarja, da je poleg našega še nešteto drugih svetov z nešteti planeti (svetovi so zanj druga osončja).

Kritika Aristotelovega pojmovanja prostora je šla v smeri odpiranja in tudi destrukuiranja *sfairosa*, vesoljni prostor se je v glavah mislečih ljudi začel odpirati proti *apeironu* in od strukture urejenosti, ki je implicitno prisotna v izrazu kozmos, prehajati k nestruktuiranosti. Ta miselni premik bi lahko povzeli z zamenjavo izraza kozmos z izrazom univerzum, ki ne vsebuje nobenih implikacij o strukturi prostora, temveč le še poudarja enotnost vesoljnega prostora. V moderni kozmologiji se je tudi ta enotnost začela krhati z uvajanjem tako imenovanega multiverzuma, to je mnogih vesolj.

Ideja urejenosti vesolja, ki se je vlekla tudi v čas razvoja moderne znanosti, je v nekem smislu danes le spremenila svojo obliko – namesto geometrijske urejenosti se je začela uveljavljati matematično-simbolna urejenost vesolja preko naravnih zakonov. Prvi korak v tej smeri je pomenilo Keplerjevo odkritje o elipsastih tirih planetov. Njegovo pojmovanje kozmosa je bilo sprva platonistično, v razporeditvi planetov je iskal geometrijski red in lepoto tako imenovanih platonskih teles, ko te ni našel, se je zatekel k manj idealni obliki – elipsi.

Razvoj novoveške predstave o prostoru

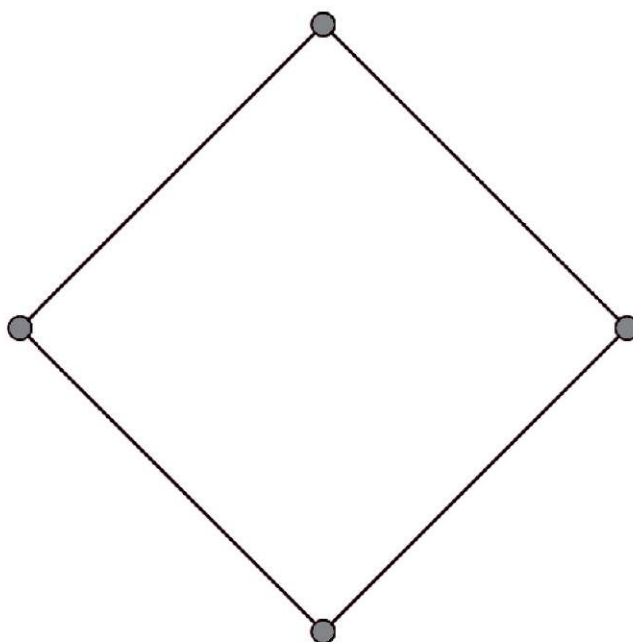
Novoveška predstava o prostoru, ki je pomenila podlago za razvoj fizike, je nastala tako, da se je po eni strani opuščalo srednjeveško pojmovanje stvari kot substanc z akcidenkami, po drugi pa se je močno povezala z idejo Boga, kot se je razvila v judovsko-krščanski tradiciji. Prostor je v tej tradiciji sčasoma postal božji atribut ali celo on sam.

Pojmovna povezava med prostorom in Bogom se je v judovski tradiciji razvila skozi poimenovanje svetega prostora, svetišča (*makom*), ki se je potem večkrat uporabljalo za Boga. Ta povezava je svoj višek dosegla v konceptu božje vseprisotnosti, ko je celo prazen prostor »Boga poln«. Odmev tega pojmovanja prostora je prišel v Evropo preko konstantinopelskih in renesančnih učenjakov, ki so kot prvi Evropejci proučevali kabalistične spise, v katerih je bilo takšno pojmovanje razodeto. Ta ezoterična metoda oziroma miselna šola je imela nasploh zelo

velik vpliv na evropsko oblikovanje pojma prostora. Pomembno razpravo o prostoru in Bogu je pod tem vplivom napisal renesančnik Tommaso Campanella, ki je trdil, da je prostor tako rekoč Bog, vendar ta ni omejen s prostorom, slednji je Božja stvaritev. Skozi to delno enačenje je prostor mogoče razumeti kot atribut Boga. Po lastnostih je prostor zanj povsem homogen, nediferenciran, nepremičen, netelesen, prodirajoč v materijo in od nje prežet, aristotelске smeri prostora so le miselna pomagala in ne dejanska struktura prostora.

Drug renesančnik, Thomas More, se je recimo s prostorom ukvarjal zato, da bi utemeljil Boga. Želel je dokazati, da je razsežnost duhovna, da je prostor vedno poln z duhom. Le razlaga delovanja Boga preko prostora naj bi po Moreovo lahko rešila filozofijo pred ateizmom. Tudi pri filozofiji, tako kot pri fiziki, naj bi torej pojem prostora služil kot garant objektivnosti. Pri Descartesu je bil ta garant Bog, saj v obstoj prostora samega na sebi za razliko od Morea ni verjel. Njegov dualistični sistem je zajemal dve temeljni substanci in sicer razsežno (*res extensa*) ter miselno (*res cogitans*). V tem smislu lahko rečemo, da je prostor pri njem neoddvajljiv od razsežne substance, prostorskost je njena lastnost, telesa in prostor so isto. Tako v Descartesovi kot v Moreovi misli torej »ni prostora« za prazen prostor, ta po njunem ne obstaja. Korak dlje v smeri enačenja Boga in prostora je šel Spinoza, ki je poleg prostora tudi materijo razglasil za atribut Boga. Pri Descartesu velja še omeniti njegovo uvedbo koordinatnega sistema, ki je pomenil prvi korak k matematizaciji pojma prostora. Pojma prostora in materije, ki sta v medsebojnem razmerju že vse od začetka filozofske misli, sta torej skupaj s pojmom boga v novoveški misli predstavljala zanimiv pojmovni trikotnik. Rečemo lahko, da je prostor v fiziki pomenil (in verjetno še vedno pomeni) največji garant objektivnosti in je v tem smislu imel nekakšno latentno božjo vlogo.

Druga sprememba v miselnosti, ki je privedla do novoveškega pojma prostora, je bila opustitev pojmovanja bivajočega v okviru pojmovne dvojice substance in akcidenec v renesančni filozofiji narave. V 17. stoletju je prostor postal nujen substrat vseh fizikalnih dogajanj, kar je povezano s spremembo pojmovanja snovi. Francoski mislec Pierre Gassendi je bil prvi, ki je v Evropi (znova) uvedel pojem atoma. Ob tem je bil primoran spet obnoviti lastnosti vakuuma. Enačil ga je s prostorom, ki ga je pojmoval kot realnega. Ta miselni korak je v tem pogledu kar močno podoben Demokritovemu, ki je prazen prostor postavil v nasprotje s snovnimi atomi. Prednost prostora pred materijo po Gassendiju ni samo ontološka, temveč tudi časovna, saj naj



bi bil prostor neustvarjen in večern. Gassendijevo pojmovanje je postalo podlaga za kasnejše atomistične teorije in za nebesno mehaniko, po njem je svoj koncept absolutnega prostora opredelil tudi Newton.

Newtonov pojem absolutnega prostora

Newtona, sicer najbolj znanega kot prvega med fiziki, mnogi štejejo prej za zadnjega med alkimisti, ker se je intenzivno ukvarjal z naravo na način alkimistov. Kljub temu se je trudil svoje teorije očistiti metafizičnih pojmov in uveljaviti povsem racionalno teorijo brez spekulacij. V tem pogledu pojem prostora zaseda edinstveno mesto v njegovi teoriji mehanike, ker je edini metafizični koncept, ki mu ga ni uspelo izločiti iz svojega fizikalnega mišljenja. Pojem prostora je bil v njegovi fizikalni teoriji osrednjega pomena, vsi njegovi dosežki in odkritja na področju fizike so zanj bili podrejeni filozofskemu pojmu absolutnega prostora. Kasnejši uspehi njegove mehanike v fiziki in astronomiji so se zdeli nedvomni garant, da je ta filozofska implikacija teorije smiselna.

Newton prevzame koncept neskončnega, homogenega in izotropnega (v vseh smereh enakega) prostora, ki je substancialen in univerzalen, od renesančnih mislecev. Opredeli ga v svojem temeljnem delu *Matematična načela naravoslovja* (1687). V kasnejših izdajah tega dela je, tudi zato, ker so ga nekateri začeli obtoževati krivoverstva, v ospredje začel postavljati enačenje absolutnega prostora z Bogom oziroma pripisovanje statusa

atributa Boga prostoru (prostor je »božji senzorij«). Prazen prostor torej tudi pri njem ne obstaja, saj je substancialen in »Boga poln«.

Najpogosteje se pri Newtonu v zvezi s pojmom prostora govori o njegovi uveljavitvi pojma absolutnega prostora, vendar njegova utemeljitev tega pojma vključuje pojem relativnega prostora. Če se objekti gibljejo relativno drug glede na drugega (na primer tri ladje), potem potrebujemo skupno referenčno točko in nek skupni prostorski okvir, v katerem se to dogaja – to je absolutni prostor, ki mu je relativni prostor zgolj mera. Absolutni prostor je za Newtona torej logična in ontološka nujnost. Potreben je za uvedbo prvega zakona gibanja, s katerim opisujemo gibanja teles s stalnimi hitrostmi. Takšne hitrosti so relativne glede na absolutni prostor. Gre torej za to, da pri opisu enakomernega gibanja potrebujemo referenčno točko. Z vidika klasične fizike so hitrosti relativne (so vedno »hitrost glede na nekaj«), absolutni so le pospeški, to so spremembe hitrosti v nekem času. Tudi zato je Newton absolutnost prostora dokazoval s poskusom vrtečega se vedra. Pri vrtenju teles vedno nastopa pospešek, ki hitrost telesa spreminja tako, da jo obrača v krogu, hitrost neke točke vedra tako v enem obhodu kaže v različne smeri v prostoru. Pri sukanju teles, kjer gibanja v bistvu ni, saj se telo vrti na mestu, imamo v tem smislu impliciten odnos do absolutnega prostora, je trdil Newton, točke na telesu se vrtijo glede na nek absolutni prostor. Njegovo pojmovanje absolutnega prostora in miselni poskus z vrtečim se

S pojavom posebne teorije relativnosti se je vzpostavila pojmovna povezava med prostorom in časom. Že skozi vso zgodovino sta v medsebojnem odnosu preko pojma gibanja, vendar v teorijah do 20. stoletja to ni bilo tako eksplicitno izraženo.

vedrom je izpodbijal Leibniz, ki je prostor pojmoval kot relativen, torej brez fiksnega referenčnega okvirja. Menil je, da ima med telesi le relativno gibanje, tudi kadar imamo pospeške in vrtenje – nekaj se vrti le glede na neka druga telesa, v popolnoma praznem prostoru ne bi bilo referenčne točke. Stališče, da je absolutni prostor za razlago vrtenja telesa odvečen, je sredi 19. stoletja natančneje formuliral in zagovarjal tudi avstrijski fizik Ernst Mach in s tem razburkal fizikalno skupnost, predvsem pa je močno vplival na Einsteina.

Z Newtonom se spet odpre vprašanje odnosa med prostorom in gibanjem, a na drugačen način kot v antiki, sedaj gre za vprašanje referenčne točke, ki jo matematično povzema kartezijanski koordinatni sistem s svojim izhodiščem. Ravno določanje referenčne točke prostora v odnosu do kakršnegakoli gibanja daje težo Newtonovemu pridevniku absoluten. V antiki in srednjem veku je bila referenčna točka celotnega vesolja središče Zemlje, Newton za negibnega postavi center tedaj znanega vesolja, torej Sonce, oziroma še natančneje težišče sončnega sistema (ki se nahaja znotraj Sonca).

Kantov sintetični a priori prostora

Po obdobju, v katerem se je od filozofije narave ločila fizika, se je tudi filozofija sama ukvarjala s pojmom prostora, čeprav je bil to tedaj predvsem fizikalen koncept. Nov pogled na prostor je odprl Immanuel Kant (konec 18. stoletja), ki je sprva sicer prisegal na Newtonov pojem absolutnega prostora in ga tudi sam utemeljeval s primeri sukanja teles ter tudi s primerom leve in desne roke, za razlago katerih po njegovo potrebujemo pojem absolutnega prostora. Kasneje se je analize prostora med drugim lotil z vidika protislovij, ki so jih dotedanja pojmovanja prostora nakazala. Ta protislovja je povzel v svojih znanih antinomijah v *Kritiki čistega uma*, s katerimi je pokazal, da je tako za končno kot neskončno pojmovanje prostora mogoče najti racionalno utemeljitev. To nasprotje po njegovem izhaja iz tega, da prostor poskušamo razumeti kot celoto (bodisi končno bodisi neskončno), ta pojem pa je vedno nedosegljiv našemu izkustvu. Njegov korak je bil ta, da je prostor postavil kot nujni apriorni pogoj možnega izkustva in ne kot fizično danost (podobno velja pri njem za čas).

Kant postavi tri metafizične in eno transcendentalno uteme-

ljitev idealne apriornosti prostora. Prvič, vsaka zaznana stvar predpostavlja prostor, stvari si ne moremo predstavljati brez prostora. Drugič, ko govorimo o prostoru, govorimo o konkretnih mestih/krajih. Tretjič, prostor je neskončna potencialnost dojetanja mest in stvari. Transcendentalni argument je v tem, da geometrija kot matematična disciplina povezana s prostorom ne utemeljuje čutnih dogajanj, vendar je v sebi zaključena in netavtološka. V nekem zaključenem smislu torej govori o prostoru, a ne povsem določa tega, kar je okoli nas. Njegov zaključek je, da je prostor modus (način) zaznavanja.

Čeprav je takšno pojmovanje močno vraščeno v subjekt zaznavanja in v tem smislu nekoliko bolj subjektivizirano ali vsaj antropocentrično, Kant ne pristaja na relativno pojmovanje prostora. Ta je zanj tako kot Newtonov absolutni prostor še vedno univerzalen, vendar pa je desubstantiviziran. Je nekaj, kar imamo vsi »vgrajeno« v svojem dojetanju sveta okrog nas na enak način in sicer na način matematike. Prostor kot čisti zor, kot neka apriorna oblika čutnosti, ki ne spada k stvarjem samim, je za Kanta transcendentalen na način matematike. V tem smislu prevzema evklidski prostor klasične geometrije (to je običajni matematični trirazsežni prostor, kot nam je intuitivno blizu), geometrija je pri njem sintetični a priori izkustva.

Pojem prostora v moderni fiziki

Koncept absolutnega prostora so konec 19. stoletja najprej poskusili zamenjati s pojmom inercialnega (mirujočega) koordinatnega sistema, s katerim lahko razložimo relativne hitrosti. Hkrati je postalo tudi jasno, da utemeljitev pojma absolutnega prostora presega vse zmožnosti meritev. Eden zadnjih takšnih poskusov, katerega potrditev bi lahko ohranila predstavo absolutnega prostora, je bil poskus dokaza obstoja etra (Michelson in Morley, 1884). Eter je tedaj veljal za medij širjenja elektromagnetnega valovanja, čeprav je bil povsem nezaznaven. To naj bi bila izjemno redka snov, ki prežema ves prostor in bi zato lahko bila absolutna referenca za gibanje – kar se giblje, je mogoče primerjati s stoječim etrom (danes bi takšna referenčna točka lahko bilo prasevanje, ki sta ga leta 1965 odkrila Wilson in Penzias in ki prežema celotno vesolje ter je skoraj povsod enako). Rezultati poizkusa so bili različno interpretirani, dopuščala se je možnost, da instrumenti niso dovolj natančni, da bi

omogočali takšno meritev. Do vznika teorije, ki se je opredelila za obstoj ali neobstoj etra, sta obe možnosti ostajali odprti.

Einstein je nastopil s teorijo, ki je opuščala pojem etra, ki je bil zadnji odmev Newtonovega absolutnega prostora, in uvedla medsebojno relativnost gibanja za vse opazovalce. Poskus Michelsona in Morleyja je v najbolj neposrednem smislu potrdil, da je hitrost svetlobe neodvisna od opazovalnega sistema, neobstoj etra in z njim absolutnega prostora je teoretični sklep, ki je iz tega sledil. Naloga, ki jo je posebna teorija relativnosti (1905) izpolnila je bila, grobo rečeno, uskladitev stalne svetlobne hitrosti s klasično mehaniko. Postalo je jasno, da je to mogoče narediti le tako, da časa in prostora ne jemljemo več kot dve ločeni entiteti, ampak da v enačbah nastopata skupaj kot prostor-čas. V tem smislu ni bilo nikakor več mogoče govoriti o absolutnem prostoru, kvečjemu o absolutnem prostoru-času, kar je sedaj prevladujoča paradigma dojemanja prostora in časa. Dejansko empirično jedro te teorije, iz katerega izhaja, je opaženi pojav absolutne hitrosti svetlobe. Iz teorije sledi, da se pri hitrostih objektov blizu svetlobne za mirujoče opazovalce razdalje skrajšajo, časi pa podaljšajo. Za večjo nazornost: vesoljska ladja s hitrostjo blizu svetlobni bi bila za nas videti krajša, za neko pot pa bi glede na našo uro porabila več časa, kot glede na svojo uro.

S pojavom posebne teorije relativnosti se je torej vzpostavila pojmovna povezava med prostorom in časom (ravno tako tudi med maso in energijo z znano enačbo $E = mc^2$). V nekem smislu sta ta dva pojma že skozi vso zgodovino v medsebojnem odnosu preko pojma gibanja, vendar v fizikalnih teorijah do 20. stoletja to ni bilo tako eksplicitno izraženo. Fizikalna količina, ki predstavlja gibanje, je hitrost in prej omenjeni pojmovni obrat se je zgodil ravno v povezavi s pojmom absolutne svetlobne hitrosti. Premik v pojmovanju prostora, ki se je zgodil s pojavom splošne teorije relativnosti (1916), je prostor zopet postavil v odnos do materije, natančneje do mase. V tem smislu je to premik v smeri Aristotela in Platona ter mnogih kasnejših mislecev, ki so enačili prostor in materijo, le da se jima je tokrat pridružil še čas. Prostor-čas za razliko od absolutnega prostora, ki je bil le referenčni okvir, postane aktiven dejavnik, vendar je tudi sam vplivan tako, da se ukrivi. Snov je tista, ki oblikuje prostor-čas, privlačnost med masami (gravitacija) pa je posledica deformacij prostora-časa. Večkrat se citira misel ameriškega fizika J. A. Wheelerja, da prostor-čas pove snovi, kako naj se giblje, snov pa pove prostoru-času, kako naj se ukrivi. Tako brez mas-energij v tej teoriji ni prostora, masa je

v tem smislu postala akcidenca prostora, podobno kot je bila pri Descartesu razsežnost akcidenca materije. Zanimiv pojav, ki ga teorija napoveduje in opazovanja bržkone potrjujejo, je ekstremna ukrivitev prostora-časa zaradi izjemno velike mase, kar je znano pod imenom črna luknja. Prostor tako ima tudi neke strukturne kvalitete in v tem smislu neko določeno smer ali vsaj tendenco za gibanja, kar spominja na Aristotelov pojem prostora z odlikovano smerjo gor–dol.

Domišljijo posebej buri pojem ukrivljenosti prostora, natančneje ukrivljenosti prostora-časa. Pojem ukrivljenosti je seveda povsem matematičen in ga je mogoče jasno formulirati, vprašanje pa je, kaj nam to pove o našem izkustvu. Ukrivljenost prostora se nanaša na uporabo tako imenovanih neevklidskih geometrij v splošni teoriji relativnosti, ki so se v matematiki pojavile že sredi 19. stoletja. Nekateri matematiki (Lobačevski, Riemann, Gauss) so raziskovali tako imenovane ukrivljene hiper-prostore. Ukrivljen trirazsežni prostor se da računati samo v štirih dimenzijah, veliko težje pa je to ponazoriti, saj to nasprotuje naši intuitivni izkušnji. Fizični modeli, ki to poskušajo ponazoriti, so običajno dvodimenzionalna platna, ki se zaradi mase kakšnega predmeta upognejo in tako predstavljajo ukrivljeni prostor-čas. V štirih dimenzijah govorimo o hipersferi, to je štirirazsežni sferi, in o psevdosferi, to je štirirazsežni ploskvi, ki je negativno ukrivljena (kot tulec, ki je na sredini ozek, na obeh koncih pa se razširi).

Že Lobačevski in Riemann sta ukrivljenost prostora poskušala tudi eksperimentalno dokazati, a jima ni uspelo. Okrog leta 1900 je vprašanje eksperimentalnega dokaza ukrivljenosti prostora pritegnilo veliko znanstvenikov, nekateri pa so vprašanje zavrnilo, češ da prostora ne moremo opazovati, ker lahko merimo le mase in razmerja med njimi, tako da je izbira vrste ukrivljenega prostora čista stvar konvencije. Splošna teorija relativnosti je dala že nekaj napovedi, ki so jih potrdile tudi meritve, tako da pojma ukrivljenega prostora-časa danes ne moremo kar zavrniti, je pa vprašanje, ali lahko geometrijsko obliko prostora res določamo izkustveno z meritvijo treh točk v prostoru (Kant bi temu nasprotoval, ker je pojem prostora vnaprej dan).

Katere težave matematična raba ukrivljenih prostorov dejansko rešuje? Spet se vse vrti okoli svetlobe, okrog katere se očitno suče moderni pojem prostora. Empirični kriterij ukrivljenosti prostora je namreč ukrivljenost žarka – prostor je ukrivljen toliko, kot so ukrivljene poti žarkov v praznem prostoru. Za svetlobo se namreč domneva, da vedno potuje naravnost.

nost oziroma po najkrajši možni poti, če torej zavije, je prostor ukrivljen. Tem najkrajšim razdaljam med dvema točkama v poljubno ukrivljenem prostoru, po katerih svetloba potuje, se reče geodetke, in so matematične posplošitve premic v neravnih prostorih. Dejstvo je torej, da se svetlobni žarki v gravitacijskem polju ukrivijo in da tam tudi čas teče počasneje (to so pokazali tudi natančni poskusi z atomskimi urami), splošna teorija relativnosti pa oboje matematično povzame. Da je teorija ohranila enotne fizikalne zakone za pojasnitev obojega, je potrební davek bil uvedba ukrivljenega prostora-časa.

Splošna teorija relativnosti je tudi tista teorija, ki se uporablja za pojasnjevanje razvoja vesolja. Modeli globalnega prostora-časa, tako imenovani FRW modeli (po avtorjih Friedmann, Robertson, Walker), ki so danes glavni kozmološki modeli, vesolje pojmujejo kot razsrediščeno in brez roba. Ti modeli so idealizirani v tem smislu, da predpostavljajo globalno homogenost vesolja. Tako lahko govorimo, da je naše vesolje v splošnem ravno (evklidsko), pozitivno ali negativno ukrivljeno (to so tri možne globalne geometrije prostora-časa). Geometrijska oblika vesoljnega prostora je povezana z maso, natančneje s povprečno gostoto vesolja, o čemer govori parameter globalne ukrivljenosti vesolja Ω ; ta pomeni razmerje med izmerjeno dejansko povprečno gostoto vesolja in kritično gostoto, kot jo napovedujejo modeli. Danes izmerjena vrednost je 3-5 protonov na kubični meter, kar kaže na to, da je vesoljni prostor blizu ravnemu, ukrivljen pa je lokalno zaradi zvezd. Tudi širjenje vesolja, ki je priznано dejstvo že od konca 1920. let, je povezano z njegovo globalno štirirazsežno geometrijo. Za odkritje, da se širi pospešeno, je bila leta 2011 celo podeljena Nobelova nagrada. Neevklidske geometrije omogočajo tudi razlikovanje med neomejenostjo in neskončnostjo in v teh modelih je naše vesolje končno v štirih dimenzijah vendar neomejeno v treh, tako kot je površje Zemlje končno v treh in neomejeno v dveh dimenzijah. Zaradi ločitve neskončnosti in brezmejnosti Kantova antinomija (končnost vs. neskončnost prostora) izgubi ostrino in znova se odpira vprašanje, ali lahko vesolje poskušamo dojemati kot celoto.

Zadnja leta se veliko govori o temni snovi in temni energiji, ki ju še niso opazili, njun obstoj se predpostavlja zato, ker znotraj sedanjih teorij ni mogoče pojasniti gibanj večjega števila zvezd. Za takšno gibanje, kot ga opazijo, bi bila potrebna dodatna masa oziroma energija, saj obe ukrivljata prostor-čas in s tem vplivata na gibanje drugih teles. Ena od domnev je, da naj bi temna masa in energija ustrezali energiji vakuuma, torej pra-

znega prostora, kar bi pojmu prostora spet podelilo nekoliko več avtonomnosti, saj bi v tem smislu »prazen« prostora lahko sam vplival na mase v sebi.

Na kratko lahko omenim še pogled druge pomembne teorije moderne fizike na prostor, to je kvantne mehanike. Ta pojma prostora ne spreminja bistveno, res pa je, da ga na najmanjših razdaljah diskretizira z uvedbo tako imenovane Planckove razdalje ($1,6 \cdot 10^{-35}$ m). S tem je postavljena teoretična meja, do katere je še smiselno govoriti o prostoru. Kontinuiran prostor vseeno ostaja tudi za kvantno mehaniko konvencionalna fikcija za matematizacijo fizikalne realnosti. Kvantna mehanika je sicer imela vpliv tudi na pojmovanje prostora v kozmologiji, pod njenim vplivom se je začelo teoretično razpravljati o tako imenovanem multiverzumu oziroma mnogih vesoljih. Po tej teoriji naj bi obstajala našemu vesolju vzporedna druga, ki se od našega razlikuje po osnovnih fizikalnih konstantah. Zaenkrat ta teorija še nima izdelanih nikakršnih merljivih napovedi, tako da njen status ostaja prej ko ne spekulativen.

Teorija strun, ki je najboljši teoretični poskus sinteze relativnostne teorije in kvantne mehanike po drugi strani uvaja 9 dodatnih prostorskih dimenzij. Samo špekuliramo lahko, kaj naj bi bil njihov fizikalni smisel (hipotez sicer ne manjka). Glavni problem te teorije (v bistvu teorij, ker jih je več) je, da je brez empiričnih potrditev, kar jo zaenkrat postavlja v vlogo visoko dodelane matematične abstrakcije, zato ne moremo reči, da je današnje stališče fizike to, da ima prostor 12 dimenzij.

*

Pojem prostora v fiziki in filozofiji svoj pomen dobiva v odnosu do drugih pojmov, kot so (nes)končnost, praznost in polnost, strukturiranost ali homogenost, gibanje, materija oziroma masa, čas in v nekem obdobju celo v odnosu do pojma boga. V modernem času se močneje uveljavljajo matematični pojmi večdimenzionalnega prostora. Že Aristotel je poskušal utemeljiti obstoj treh prostorskih dimenzij. Pitagora je imel število tri za perfektno, Galileo je govoril o naključnosti števila dimenzij, Gauss se je zavedal, da je problem števila dimenzij na isti ravni kot odločitev med evklidskim (ravnim) in neevklidskim (neravnim) prostorom. Kljub modernemu uveljavljanju pojmov večdimenzionalnega prostora bo po mnenju nekaterih koncept tridimenzionalnega absolutnega prostora vedno ostal najbližje pojmovno zaledje naše vsakdanje izkušnje. Za konec lahko rečemo, da struktura prostora ni nič, kar bi bilo v naravi danega neodvisno od človeške misli, temveč je del naše pojmovne sheme. Kako se bo ta razvijala, ostaja odprto vprašanje. ●