

Znanost in filozofija prostora

Abstract

Science and the Philosophy of Space

The paper deals with the conceptions of space in contemporary neuroscience, philosophy and the history of science. In the introduction, the author discusses a dispute between Albert Einstein and Henri Bergson in which, apart from the relationship between science and philosophy, the issue of the nature of space was addressed as well. Next, we examine the fundamental shift in scientific thought regarding questions that were beyond the capabilities of the experiment. The questions regarding the nature of space migrated to the realm of the philosophy of science and were no longer the subject of direct scientific discussion. The philosophy of science separated itself from science. The author also discusses Aristotle's treatment of the continuum of space and the associated Zeno aporias, which have significantly influenced all subsequent theories of space. Modern neuroscientific research on the representations of space in the brain is covered in the article as well.

Keywords: space, philosophy of science, continuum, Aristotle, Zeno, neuroscience

Sašo Dolenc studied physics and philosophy at the University of Ljubljana and obtained a PhD degree in 2002. So far, he has written 12 books and more than 400 scientific essays on the interplay between science, philosophy and the history of ideas. He has lectured at various faculties at the University of Ljubljana and at the University of Primorska and was a member of the Science and Technology Council of the Republic of Slovenia. (saso.dolenc@gmail.com; saso-dolenc.com)

Povzetek

Prispevek obravnava pojmovanje prostora v sodobni nevroznanosti, v zgodovini znanosti in v filozofiji. V uvodu predstavimo polemiko med Albertom Einsteinom in Henrijem Bergsonom, v kateri sta poleg odnosa med znanostjo in filozofijo razpravljala tudi o vprašanju narave prostora. V nadaljevanju obravnavamo temeljni premik v znanstveni misli glede vprašanj, ki so presegala zmožnost eksperimentalnega preizkusa. Vprašanja o naravi prostora so tako prešla pod okrilje filozofije znanosti in niso bila več predmet neposrednih znanstvenih razprav, filozofija znanosti pa se je ločila od znanosti. V prispevku analiziramo tudi Aristotelovo obravnavo kontinuuma prostora in s tem povezane Zenonove aporije, ki so pomembno vplivale na poznejše teorije o prostoru. Predstavimo tudi sodobne nevroznanstvene raziskave predstavitev prostora v možganih.

Ključne besede: prostor, filozofija znanosti, kontinuum, Aristotel, Zenon, nevroznanost

Sašo Dolenc je študiral fiziko in filozofijo na Univerzi v Ljubljani, doktoriral je leta 2002. Doslej je napisal 12 knjig in več kot 400 znanstvenih esejev o medsebojnem vplivu znanosti, filozofije in zgodovine idej. Predaval je na različnih fakultetah Univerze v Ljubljani in na Univerzi na Primorskem. Bil je član Sveta za znanost in tehnologijo Republike Slovenije. (saso.dolenc@gmail.com; saso-dolenc.com)

Šestega aprila 1922 sta se v Parizu srečala vplivna učenjaka. V prostorih francoskega filozofskega društva (*Société française de philosophie*) sta se soočila Albert Einstein in Henri Bergson, v tistem času najpomembnejši znanstvenik in najslavnejši filozof (Canales, 2015). Henri Bergson je takrat veljal za mednarodno intelektualno in medijsko zvezdo. Družil se je z visokimi državniki, njegove knjige so bile zelo brane in na njegova predavanja je prihajalo po več tisoč ljudi. Sodobniki so ga primerjali z največjimi misleci v zgodovini človeštva. Podobno so tudi Alberta Einsteina častili kot velikana znanosti. Njegove na prvi pogled čudaške teorije, da čas teče različno za različne opazovalce in da se prostor lahko ukrivi, so pritegnile zanimanje širših množic. Sploh potem, ko so astronomi potrdili, da lahko pojave, kot jih je napovedal Einstein, dejansko opazijo na nebu.

Ko sta se Einstein in Bergson soočila v prostorih francoskega filozofskega društva v Parizu, se nista srečala le dva intelektualna genija, ampak tudi dve zelo slavni osebnosti. Njuno srečanje pa nikakor ni bilo zgolj vljudnostne narave. Šlo je za resno soočenje, katerega izid bi lahko ogrozil njuni karieri, pri čemer ni bil na udaru samo filozof, kot bi lahko sklepali z današnje distance, ampak tudi znanstvenik.

Ko je Einstein aprila 1922 v Parizu odgovarjal na vprašanja filozofov, je bil vseskozi prijazen. Predvsem je dal vedeti, da se na filozofijo ne spozna kaj dosti. A pri tej drži je vztrajal le, dokler ni do besede prišel Bergson. Slavni filozof je namreč podal kratek komentar svojega razumevanja filozofskih implikacij relativistične fizike, pri čemer je opozoril, da je teorija relativnosti predvsem fizikalna teorija, kar pomeni, da gre pri njenih trditvah o naravi prostora in časa za prostor in čas fizike in ne za splošno obravnavanje teh pojmov.

Einstein se je na razmeroma dolg Bergsonov komentar odzval s provokativno trditvijo, da po njegovem prepričanju »čas filozofov ne obstaja« (*« Il n'y a donc pas un temps des philosophes »*), kar je bila zelo pogumna teza za okoliščine, v katerih je bila izrečena. V publikli so bili namreč v glavnem filozofi, razprava pa je potekala v uglednem filozofskem društvu. Einsteinova trditev je pomenila, da so filozofske teorije o času in prostoru le igračkanje z besedami. Kot je pojasnil, obstajata zanj samo dva pojma časa: fizikalni in psihološki. Fizikalni je tisti, ki ga merijo ure, psihološki pa je zgolj občutek trajanja, ki ga v različnih okoliščinah zaznamo različno.

Bergson se s trditvijo o neobstoju filozofskega časa seveda ni strinjal. Izražala je namreč prepričanje, proti kateremu se je vseskozi boril in o čemer je napisal že več odmevnih in cenjenih knjig. Na Einsteinovo zanikanje časa filozofov se je odzval s tezo, da tovrstne trditve niso znanstvene, ampak metafizične. Z drugimi besedami, menil je, da gre za trditve, ki niso utemeljene. Učenjaka sta tako drug o drugem diplomatsko izjavila, da so trditve nasprotnika v resnici prazno besedičenje. Einstein je menil, da Bergson ne razume fizike, s čimer se Bergson nikakor ni strinjal. Zanj je bil nasprotno Einstein tisti, ki ne razume filozofskih implikacij svoje lastne teorije. Učenjaka sta se pozneje sicer še nekajkrat srečala in si izmenjala nekaj pisem, nikoli več pa nista skupaj razpravljala v javnosti.

A zakaj je Einstein na srečanju v Parizu sploh izrekel nekaj tako žaljivega, kot je bila trditev, da »čas filozofov ne obstaja«? Še malo pred tem je namreč zatrjeval, da o filozofiji ne ve prav dosti. Einstein se je v tistem času boril proti interpretaciji teorije relativnosti, da je teorija matematični konstrukt, ne pa dejanski opis dogajanja v resničnem svetu. Šlo je za podoben zaplet kot nekaj stoletij prej pri interpretaciji trditev Nikolaja Kopernika o gibanju Zemlje. Konservativni intelektualni krogi so se močno trudili, da bi Kopernikovo astronomsko teorijo, po kateri je Zemlja le eden od planetov, interpretirali kot matematični pripomoček, ki poenostavi izračun bodočih leg planetov na nebu, ničesar pa ne pove o dejanskem gibanju nebesnih teles.

Da so bili Einsteinovi pomisleki utemeljeni, priča dogajanje nekaj mesecev po srečanju v Parizu, ko so Einsteinu podelili Nobelovo nagrado. Proti pričakovanju ga niso nagradili za teorijo relativnosti, kar je bil njegov najpomembnejši znanstveni dosežek, ampak za odkritje fotoefekta. Razlog za takšno odločitev komisije je bila prav odprta polemika s filozofi glede implikacij njegovega razumevanja narave časa. Povsem na začetku obrazložitve nagrade je bilo dobesedno zapisano, da je teorija relativnosti še vedno predmet žgoče filozofske razprave, slavni filozof Bergson pa naj bi jo v Parizu celo izpodbijal (Nobelprize.org, n. d. a).

Razcep med znanostjo in filozofijo znanosti

Polemika med Bergsonom in Einsteinom oživlja podobne razprave, ki so jih imeli o naravi prostora, časa, praznine in materije učenjaki že od antike naprej. Filozofi in znanstveniki so prostor praviloma dojemali kot nekakšen okvir, v katerem se odvijajo pojavi. Zato se je osrednja razprava nanašala na vprašanje, kakšna je narava oziroma status tega »okvirja« oziroma »posode«. Ali gre za nekaj, kar biva samostojno in obstaja, tudi če ne vsebuje ničesar, ali lahko govorimo o prostoru zgolj kot o relacijah med predmeti in dogodki. Newton je denimo vztrajal, da njegova fizika ni mogoča, če ne predvidi absolutnega in neodvisnega prostora, medtem ko je Leibniz v slavni polemiki med učenjakoma trdil, da je takšna predpostavka nesmiselna in protislovna (Hall, 2002).

Pozneje je Einstein s teorijo relativnosti vnesel v razpravo o naravi prostora povsem nove poglede, ki so se strnili v ugotovitev, da obstaja tvorba, ki ji pravimo prostor-čas. Ta ima samostojne lastnosti, ki jih lahko opazujemo in merimo. Tako so nedavno izmerili gravitacijske valove, kar jih lahko opišemo kot nekakšno nihanje samega prostora-časa (Nobelprize.org, n. d. b).

V razpravi o naravi prostora opazimo pomemben mejnik nekje ob koncu 17. stoletja. Do tedaj so obravnavali probleme, povezane s temeljnimi pojmi, kot so prostor, čas, sila in materija, v sami znanosti, nekje od vzpostavitve Newtonove mehanike naprej pa je prišlo do pomembne metodološke ločitve med empirično znanostjo na eni strani in filozofijo znanosti oziroma spraševanjem po temeljih in

predpostavkah oziroma utemeljitvi same znanosti na drugi. Vprašanja, ki niso bila v dosegu eksperimentov, so začeli obravnavati kot metafizična, kar je pomenilo, da njihovo raziskovanje ni v dosegu znanstvene metode, zato jih sama znanost pušča ob strani.

Med znanstveniki se je po tej metodološki razločitvi pogosto vzpostavila napačna predstava, da so konceptualna vprašanja njihove znanosti razrešena in se zato z njimi ni treba več ukvarjati. Newtonov absolutni prostor in sila, ki deluje na daljavo, sta bila še naprej enako problematična in nerazumljiva, ko so ju poskušali razumeti, a v znanosti in njenih tehnoloških aplikacijah tovrstna vprašanja niso potrebovala jasnih odgovorov. Lep primer takšnega zapiranja oči pred konceptualnimi težavami znanosti so problemi z razumevanjem kvantne mehanike. V prvih desetletjih po njeni vzpostavitvi je v znanosti potekala zelo intenzivna razprava o temeljnih vprašanjih in predpostavkah nove fizike sveta atomov, a je sčasoma povsem zamrla, v znanstveni skupnosti pa se je razširilo napačno prepričanje, da so vprašanja o njenih temeljih že razrešena in pojasnjena.

Analiza prostora kot kontinuuma pri Aristotelu

Razumevanje prostora v filozofiji in znanosti je vseskozi temeljilo na pojmi in analizah, ki so jih izvedli že v antiki. V zadnjih treh knjigah Aristotelove *Fizike* – ko smo bralci že domači z osnovnimi načeli znanosti o spreminjanju in z analizo osnovnih pojmov te znanosti, kot so neskončnost, mesto, praznina, čas – se avtor loti obravnave treh temeljnih kontinuumov in relacij med njimi. Trije temeljni kontinuumi so po Aristotelu razdalja, čas in gibanje, njihove meje pa so točka, trenutek (zdaj) in trenutno gibanje.

Da si problem kontinuuma malo bolj razjasnimo, si najprej oglejmo nekaj za to vprašanje ključnih definicij iz Aristotelove *Fizike* (V.3): »Stvari so skupaj glede na lego, ko si delijo isto lego, narazen, ko imajo ločene lege, v stiku pa, ko imajo skupno le svojo skrajnost (mejo).« (*Fizika*, 226b21) Zaporednost je urejenost po vrsti v zaporedje. Nekaj je zvezno (kontinuum), če je zaporedno in v stiku. Stvar je torej zvezna, »če so meje, v katerih se katerikoli njeni zaporedni deli stikajo, iste in skupne« (*Fizika*, 228a8). Če meje niso skupne, je stvar sicer lahko urejena v zaporedje, a ni zvezna. Primer takšnega zaporedja so števila. So urejena, a se ne stikajo.

Kakšno je torej razmerje med točko in črto? Točka je po Aristotelu nedeljiva, a ima svojo lego, črta pa je deljiva razsežnost. Z zbiranjem točk ne glede na to, kako močno se trudimo, nikoli ne moremo zgraditi nečesa razsežnega in tako deljivega. Točka ne more biti zvezna s točko. Točka je lahko le meja (konec, začetek, rez) deljive velikosti, ne more pa biti njen del. Točka nima delov, zato je lahko le cela svoja lastna meja. Če ima več točk skupno mejo, so lahko le vse skupaj v isti legi, saj si drugače ne morejo deliti svoje meje, kar je v primeru točke kar cela točka.

Tu imamo dve na prvi pogled nasprotujoči si tezi: 1. na kontinuumu lahko povsod najdemo le točke; kjerkoli ga prerežemo, je tam točka; 2. kontinuum ni sestavljen iz točk, ker točke nimajo razsežnosti. To velja tudi za čas in trenutke, kot za gibanje in trenutna gibanja. Razmerje med točko in kontinuumom ni analogno ne razmerju med delom in celoto ne razmerju med vsebovanim in vsebujočim. Točko in trenutek lahko razumemo le kot limito (mejo) razdalje ali časa.

Gre za temeljni paradoks neskončne deljivosti kontinuumu, ki ga Aristotel sicer eksplicitno ne zapiše v *Fiziki*, temveč v knjigi *O nastajanju in minevanju* (*O nastajanju in minevanju* I.2, 316a14). Povzemimo le argument: če je črta (kontinuum) neskončno deljiva, potem jo lahko razrežemo na neskončno majhne dele. Zanima nas, ali so ti neskončno majhni deli črte (točke) razsežni ali ne. Ponujata se nam dve možnosti: 1. če imajo neskončno majhni deli črte razsežnost, potem jih lahko še naprej delimo, torej še niso neskončno razdeljeni; 2. če nimajo razsežnosti, potem ni jasno, kako lahko iz njih sestavimo razsežno črto, saj vsota nerazsežnih enot ne more biti razsežna: $0 + 0 = 0!$ Če je kontinuum sestavljen iz nedeljivih delov, če ga ni mogoče neskončno deliti, potem imamo dve možnosti: nedeljivi del ima neko velikost, a ga vseeno ni mogoče več deliti, kar ni smiselno, ali pa nedeljiv del nima velikosti, pri čemer pa tudi ni jasno, kako lahko nekaj brez velikosti sestavi nekaj končno velikega.

Poglejmo sedaj, kako Aristotel razreši paradoks kontinuumu. Sekljanje razsežnosti na vedno manjše daljice je za Aristotela neskončni proces. Z vsakim razsekom dobimo novo točko (mejo) na črti, ampak še zmeraj imamo med mejami razsežne daljice. V sami črti (razsežnosti) je zmožnost, da jo lahko razsekavamo v nedogled. Neskončni proces (potencialna neskončnost) je za Aristotela edina neskončnost, ki lahko obstaja (*Fizika* III.6), a samo sekanje je ustvarjanje točk, saj gibanje točk ne ustvarja.

Temeljna Aristotelova ideja je bila, da so točke le posledica zmožnosti v kontinuumu, da ga lahko v neskončnost delimo in tako udejanjamo vedno nove meje, ki pa v samem kontinuumu še niso dejanske, ampak obstajajo zgolj kot možnost. Kontinuum torej ni sestavljen iz točk, čeprav lahko povsod, kjer ga prerežemo, najdemo točko. Bistveno je, da je ta točka lahko le konec ali začetek intervala, ne more pa obstajati sama po sebi. Kontinuum vedno sestavljajo intervali, točke pa so le konci intervalov. Če kontinuum delimo poljubno dolgo, ga lahko razdelimo na poljubno veliko poljubno majhnih intervalov, a to je neskončen proces. Če se še tako trudimo, interval ne more postati točka. Zvezni interval ima zmožnost, da se neskončnokrat deli, a te zmožnosti ne more nikoli povsem udejanjiti. Lahko si sicer zamislimo neskončno zaporedje deljenja intervalov, a to je lahko le zaporedje brez konca, ne pa prisotna neskončnost.

Zenonove aporije

Aristotel je predpostavil, da so čas, prostor in gibanje kontinuumi. Prepričan je bil, da je s svojo teorijo prostora, časa in gibanja kot kontinuumov rešil tudi Zenonove aporije, če se seveda strinjamo z njegovo rešitvijo za problem samega kontinuumu: »Zenonovi argumenti so v neki obliki nudili osnovo za skoraj vse teorije prostora, časa in neskončnosti, ki so jih postavili od njegovih dni do danes.« (Russell, 2001: 54)

Poznamo štiri vrste Zenonovih aporij gibanja:

- *Polovica* (dihotomija): gibajoče telo ima v vsaki točki svoje poti do cilja pred sabo še neko razdaljo, ki jo je mogoče razdeliti na pol. Teh polovic (čedalje krajših), ki bi jih telo moralo preiti, da bi prišlo na cilj, je neskončno, zato telo nikoli ne bo prišlo na cilj.
- *Ahil*: najhitrejši tekač nikoli ne ujame najpočasnejšega, saj v času, ki je potreben, da doseže točko, na kateri je počasni tekač, ta že premeri novo razdaljo in vselej obdrži (sicer čedalje manjšo) prednost.
- *Puščica*: iz loka izstreljena puščica v vsakem trenutku zavzema točno določeno lego; zavzemanje določene lege pa je mirovanje; izstreljena puščica torej v resnici miruje.
- *Stadion ali gibajoče vrste*: je malo bolj zapleten, zato več pozneje. (Caveing, 1982: 66–112)

Dihotomija in Ahil. Že Aristotel trdi, da aporiji Ahila in Dihotomije pravzaprav temeljita na istem problemu. Če teče želva s hitrostjo, ki je enaka polovici Ahilove, imamo v obeh primerih povsem analogno situacijo. V čem je problem? Razdalja, ki jo želi preteči Ahil, je kontinuum. Na tem kontinuumu lahko po sami definiciji kjerkoli postavimo zastavico in ga s tem razdelimo na dva dela. Zastavico lahko torej postavimo najprej na polovico celotne proge, potem na polovico zadnje polovice proge in nato na polovico te nove zadnje četrtine in tako naprej v neskončnost. Če je razdalja, ki jo želi Ahil preteči, res deljiva v neskončnost, če je kontinuum, potem lahko Ahilu na progi postavimo neskončno zastavic oziroma njegovo tekaško progo razdelimo na neskončno intervalov. Če hoče preteči to progo, mora preteči vse intervale in pobrati vse zastavice. Ker je zastavic in intervalov neskončno, mora tako opraviti neskončno opravil, da pride do cilja. Temeljno vprašanje je torej, ali lahko opravi neskončno opravil v končnem času.

Problem Ahila je seveda povsem analogen problemu neskončne deljivosti kontinuumu. Če je kontinuum neskončno deljiv, ga lahko delimo na čedalje manjše intervale. V primeru Ahila je to delitev tekaške proge na polovične podintervale. Če bi bilo teh intervalov končno mnogo, težav ne bi bilo. Ahil bi lahko pretekel vse intervale in pobral vse zastavice. Za vsak naslednji interval bi seveda porabil manj časa, zato bi na cilj prišel povsem regularno. Kaj pa, če je intervalov neskončno? Če želi Ahil preteči razdaljo, mora preteči neskončno intervalov oziroma razsežnih daljic. Težava so predvsem zadnji intervali tik pred ciljem. Če vzamemo še tako

majhno razdaljo od cilja, je v njej še vedno neskončno intervalov. Kako je lahko v poljubno majhni razdalji neskončno podintervalov? Če ima vsak od intervalov razsežnost, ki je večja od točke, potem skupna razsežnost ne more biti poljubno majhna. To, da so vsi intervali večji od točke, je povsem nedvoumno, saj v delitvi intervalov vedno delimo nekaj razsežnega na pol. V vsakem koraku dobimo samo dva za polovico krajša intervala, nikoli pa točke oziroma intervala, ki ne bi imel razsežnosti.

Problem Dihotomije in Ahila je torej analogen problemu neskončne deljivosti kontinuum. Če znamo rešiti ta problem, potem smo rešili tudi prvi dve Zenonovi aporiji.

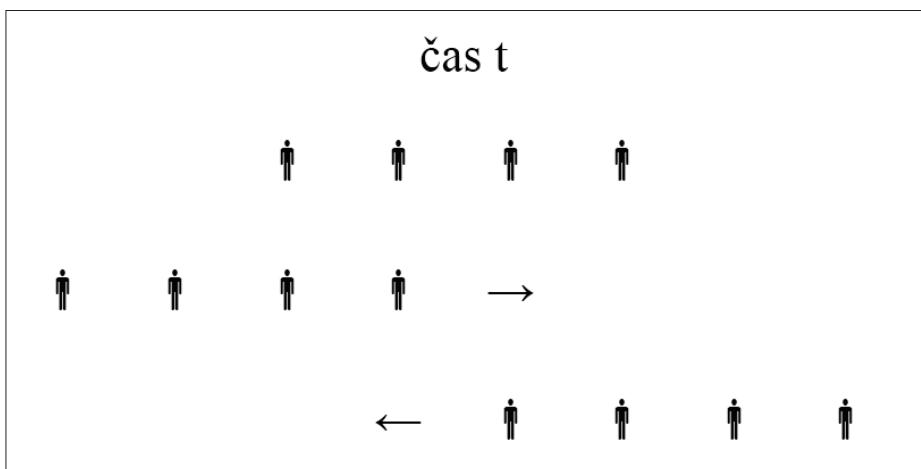
Prva pot razrešitve paradoksa je, da preprosto zavrnemo razdaljo kot kontinuum in rečemo, da razdalja (in čas) ni neskončno deljiva, da na koncu pridemo do nekega »atoma« razdalje, ki ga ni več mogoče razdeliti na polovico in ga je mogoče »prepotovati« le v nekem atomarnem času. V tem primeru vse druge teze postanejo nepotrebne: ni neskončnega deljenja, zato je število korakov do cilja končno in paradoks odpade. Vendar Aristotel takšni rešitvi ostro ugovarja.

Gibanje, ki bi aktualiziralo vse vmesne točke, se imenuje gibanje stakato. Poudarek vsaki noti v nasprotju z gibanjem legato, ki želi zlitih posamezne note v celoto. Gibanje stakato je skokovito atomistično gibanje, ki ni gibanje kot kontinuum, temveč gibanje kot zaporedje. Gibanje je enoten proces, ki ga sicer lahko delimo na podprocese, a podobno kot črte ne moremo sestaviti iz točk, tudi gibanja ne moremo dobiti iz zaporedja stanj. Gibanje je proces oziroma kontinuum.

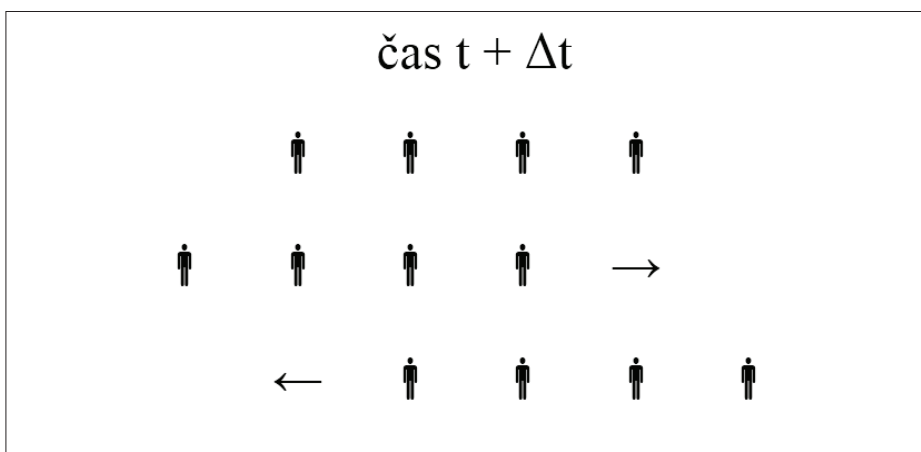
To je tudi bistvo Aristotelove rešitve prvih dveh Zenonovih aporij. Neskončno intervalov, ki jih mora Ahil preteči, je sicer v sami razdalji, ki je kontinuum, mogočih, a ti intervali so mogoči zgolj kot neskončni proces delitve. Če nam bi resnično uspelo postaviti vse vmesne zastavice, bi tudi Ahil potreboval neskončno časa, da bi jih pretekel oziroma pobral. Vendar bi za postavitev vseh zastavic potrebovali neskončno časa. To bi bil neskončen proces, ki je po Aristotelu sicer mogoč, je pa neizvedljiv. Ni ga mogoče povsem udejanjiti.

Puščica. Argument puščice pravi, da je, če privzamemo atomarno sestavo časa, atomarno tudi gibanje. Atomarno gibanje pa je mirovanje. V posameznem atomu časa vse miruje, saj če bi bilo nekaj na začetku atoma časa drugačno kot na koncu, to ne bi bil več atom, ampak bi ga lahko še delili. Atome časa si lahko predstavljamo kot sličice na filmskem traku. Na vsaki sliki figure mirujejo, torej je samo gibanje atomarno skakanje iz ene mirujoče podobe na drugo. Atomarno gibanje torej ni nič drugega kot vsota različnih mirovanj. Vsota mirovanj pa ne more biti gibanje.

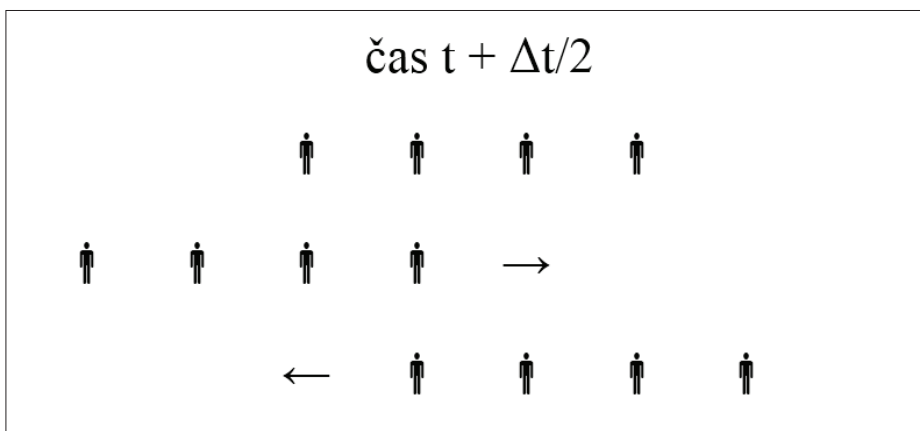
Stadion. Argument telovadcev v vrstah, ki korakajo po stadionu, pravi, da iz neatomarnosti gibanja sledi, da je nujno tudi čas kontinuum. Imamo tri vrste telovadcev. Prva vrsta miruje, druga koraka v eno stran, tretja pa z enako hitrostjo v drugo stran. Ob času t so telovadci poravnani kot na prvi sliki.



V času t plus en atom časa so telovadci poravnani, kot kaže druga slika.



Problem je, da so bili že vmes, med obema časoma, poravnani telovadci druge in tretje vrste.



Če je gibanje zvezno, torej obstaja tudi vmesno stanje, ko sta poravnani samo obe gibajoči se vrsti. Če to stanje obstaja, potem obstaja tudi vmesni trenutek. Če privzamemo atomarnost časa in zveznost gibanja, potem vedno obstajajo tudi dogodki (npr. poravnave vrst), ki se zgodijo v času, ki je krajši od atoma časa. Kontinuum gibanja torej implicira kontinuum časa.

Zenonove aporije gibanja torej temeljijo na problemu kontinuuma, če razumemo razdaljo, čas in gibanje kot kontinuum. Kontinuum razdalje in čas kot nekontinuum (zaporedje) implicira zanikanje gibanja (dihotomija in Ahil). Atomizem časa implicira atomizem gibanja, kar pomeni zanikanje gibanja (puščica). Kontinuum gibanja implicira kontinuum časa (stadion). Zenonove aporije tako po Aristotelu pokažejo, da lahko gibanje kot nujno kontinuiran proces mislimo zgolj z roko v roki s prostorom in časom kot kontinuumom, sicer zaidemo v težave.

Obravnava prostora v sodobni nevroznanosti

Aristotelova analiza prostora kot kontinuuma ilustrira tipičen filozofski pristop, ki temelji na analizi temeljnih pojmov. Kot primer sodobne znanstvene obravnave prostora pa bomo opisali raziskave procesiranja prostora v možganih nekaterih živali in ljudi. Nevroznanost je namreč šele nedavno začela natančneje proučevati delovanje možganskih struktur in mehanizmov, ki omogočajo zaznavanje in mišljenje prostora. Do nekaterih ključnih odkritij, kako si živali in ljudje s pomočjo posebnega sistema nevronov v možganih ustvarijo predstavo prostora, so raziskovalci prišli pred dobrim desetletjem.

Že pred drugo svetovno vojno pa je ameriški psiholog Edward C. Tolman sistematično proučeval, kako se podgane gibljejo v labirintu. Takrat je veljalo prepričanje, da se živali orientirajo preprosto tako, da si zapomnijo zaporedje značilnosti, ki jih srečajo ob poti. A Tolman je opazil, da podganam v labirintu velikokrat uspe hitro odkriti bližnjice, česar ni znal pojasniti s teorijo, da se lahko orientirajo na podlagi zaporedja znakov ob poti.

Zato je postavil hipotezo, da si podgane ustvarijo nekakšen miselni zemljevid poti, ki jim pomaga pri orientaciji in s pomočjo katerega si lahko zapomnijo lego posameznih predmetov in dogodkov v prostoru. Podgane naj bi bile sposobne razmeroma hitro najti bližnjice, ker si v glavi zgradijo miselni model labirinta. Vendar takrat žal še niso poznali metod, s katerimi bi lahko opazovali, kaj se dejansko dogaja v glavah živali, ko tekajo po labirintu, zato Tolman svojih hipotez ni mogel empirično preveriti.

Šele v šestdesetih letih dvajsetega stoletja, ko je tehnologija za spremljanje procesov v živih in normalno delujočih možganih napredovala, je angleški nevroznanstvenik John O'Keefe začel natančneje proučevati, kaj se pravzaprav dogaja v glavah živali, ko se te orientirajo v prostoru. Kmalu mu je uspelo ugotoviti, da v možganih obstajajo posebni nevroni, ki so občutljivi za položaj v prostoru. Aktivirajo se namreč le takrat, ko žival pride v bližino nekega kraja.

Poskuse je izvajal na podganah in miškah. V del možganov, za katerega je na podlagi podatkov o poškodbah možganov pri ljudeh domneval, da je tam center za zaznavo prostora, je živalim vsadil posebne elektrode, s pomočjo katerih je lahko zaznaval aktivnost posameznih nevronov. Živali je nato snemal, ko so hodile po kletki, in ugotavljal, kdaj se posamezni nevroni aktivirajo. Ugotovil je, da so nekateri nevroni aktivni le takrat, ko pride žival na prav določeno mesto v prostoru, zato jih je poimenoval prostorski ali lokacijski nevroni.

Na podlagi meritev je sredi sedemdesetih let postavil hipotezo, da je del možganov, ki so ga anatomi po podobnosti z obliko morskega konjička poimenovali hipokampus, pomemben tudi za ustvarjanje prostorske predstave (O'Keefe in Nadel, 1978). Iz spoznanja, da obstajajo nevroni, ki so občutljivi za položaj v prostoru, je sklepal, da si podgane v hipokampusu s pomočjo lokacijskih nevronov ustvarijo nekakšen miselni zemljevid prostora. S pomočjo takšnega zemljevida se lahko orientirajo, hkrati pa si tudi beležijo lokacijske podatke posameznih spominov.

Drugi raziskovalci so pozneje ugotovili, da poleg lokacijskih obstajajo tudi nevroni, ki postanejo aktivni, ko pride žival v bližino stene ali druge ovire, in pa nevroni, ki kot nekakšen kompas spremljajo položaj glave oziroma smer pogleda. Tako se je pokazalo, da je v možganih podgan in drugih sesalcev več različnih vrst prostorsko občutljivih celic, s pomočjo katerih si živali ustvarijo predstavo prostora in se v njem orientirajo.

S poskusi na ljudeh, ki so imeli zaradi močnih epileptičnih napadov v možgane že vstavljenе elektrode, so pokazali, da so poskusi, ki so jih sicer izvajali predvsem na podganah in miškah, relevantni tudi za ljudi. Izkazalo se je tudi, da je lahko isti

lokacijski nevron aktiven za več različnih krajev v prostoru. Prvi se denimo aktivira doma v kuhinji in ob drevesu v parku pred hišo, drugi spet pred štedilnikom in na balkonu. Takih prostorsko občutljivih nevronov je v možganih veliko, zato si lahko ob njihovem proženju ustvarimo subjektivni občutek, kje v prostoru smo.

Do novega, zelo pomembnega odkritja nevronov, ki so odgovorni za malo drugačno zaznavanje prostora, sta leta 2005 prišla zakonca Edvard in May-Britt Moser, ki imata laboratorij v Trondheimu na Norveškem. S podobnimi poskusi, kot jih je desetletja prej izvajal John O'Keefe, sta odkrila celice blizu hipokampusu, ki se ne vzbudijo zgolj na točno določenih krajih v prostoru, ampak se sistematično prižigajo in ugašajo, ko se žival giblje po navidezni prostorski mreži.

Ko sta izrisala zemljevid točk, kjer se takšni nevroni aktivirajo, se je pokazal vzorec v obliki pravilne heksagonalne mreže oziroma satovja. Ko žival naključno bega po kletki, elektrode zaznajo proženje te nove vrste nevronov zgolj na mestih, ki ustrezajo točkam satovja. Ugotovila sta, da obstaja pet različnih ravni takšnih nevronov prostorske mreže, ki tvorijo satovja različnih velikosti, tako da se znajo živali orientirati in slediti svojim premikom na manjših in večjih razdaljah. Odkrila sta tudi, da obstajajo posebni nevroni, katerih proženje je sorazmerno s hitrostjo gibanja. Hitreje ko se žival premika, bolj so te celice aktivne.

Pri nevronih mreže je treba posebej poudariti, da beležijo gibanje v prostoru samem in niso zasnovani na orientaciji s pomočjo predmetov ali drugih vidnih znakov v prostoru. Zato sta znanstvenika odkritje nove vrste prostorsko občutljivih nevronov interpretirala kot del možganskega sistema, ki skrbi za sledenje premikom v prostoru tudi tedaj, ko ni zunanjih opornih referenčnih predmetov, prek katerih bi se žival lahko orientirala. Podatki za nevrone prostorske mreže ne prihajajo iz čutil, ampak iz celic, ki se odzivajo na smer in hitrost gibanja, kar pomeni, da podobno kot GPS-naprava tudi možgani sproti izračunavajo položaj telesa v prostoru (Moser in Moser, 2016).

Nevrone prostorske mreže so zaznali tudi v možganih miši, netopirjev, opic in ljudi. Ležijo v predelu, od koder prihajajo signali v hipokampus, zato domnevajo, da pomagajo pri prostorskem urejanju podatkov, ki nato tvorijo miselne zemljevide oziroma prostorske predstave okolice. Ugotovili so tudi, da se v enakem okolju vsakič vzpostavijo enake celice prostorske mreže. Tvorijo se tudi v popolni temi, tako da gre za sistem, ki črpa podatke iz različnih virov.

Pri novorojenih miškah so približno dva tedna po rojstvu, ko so prvič odprle oči, že lahko zaznali proženje nevronov, ki zaznavajo položaj, smer in meje v prostoru. Iz tega so sklepali, da se teh procesov živalim ni treba posebej učiti, ampak so jim že prirojeni. Pri nevronih mreže pa so ugotovili, da takoj po rojstvu še niso aktivni, iz česar so sklepali, da so za njihovo tvorjenje potrebne določene izkušnje. V tem je verjetno vir razlik med posamezniki, zaradi katerih imajo nekateri boljše prostorsko predstavo kot drugi. Z dodatnimi poskusi so namreč pokazali, da miške, ki odraščajo v vizualno pustem okolju sferične posode, ne razvijejo nevronov prostorske mreže, miške v prostorih z jasnimi ravnimi stenami in oglišči pa jih hitro vzpostavijo.

Novejši eksperimenti kažejo, da posamezni nevroni morda niso specializirani zgolj za eno samo funkcijo, denimo za označbo lokacije, meje, smeri ali mreže, ampak se lahko prožijo tudi pri več različnih funkcijah. Prav tako so zgradili tudi že nekakšen simulator navidezne resničnosti za miške, tako da so tekale po vrteči se žogi, pred njimi pa se je usklajeno projicirala podoba navidezne realnosti. Ugotovili so, da se tudi v tem primeru prožijo lokacijski nevroni, kot da bi žival dejansko tekala po prostoru.

John O'Keefe ter zakonca May-Britt in Edvard I. Moser so za svoje odkritje prostorsko občutljivih celic in raziskave možganskih mehanizmov zaznavanja prostora leta 2014 prejeli Nobelovo nagrado za medicino (Nobelprize.org, n. d. c). Kaj točno vsa ta spoznanja o dojetanju prostora v možganih pomenijo za bolj kompleksno mišljenje prostora pri ljudeh, za zdaj sicer še ni povsem jasno, a pokazali so že, da so mehanizmi, ki so jih odkrili predvsem z opazovanjem gibanja podgan in miši, prisotni in aktivni tudi v človeških možganih.

Predmet znanosti in filozofije

Ob vseh opisanih pristopih k razumevanju prostora skozi zgodovino in v sodobni znanosti velja opozoriti, da je zmotno prepričanje, da sta filozofski in znanstveni diskurz medsebojno kompetitivna oziroma rivalska. Takšna interpretacija izvira iz napačnega razumevanja ciljev in predmeta proučevanja znanosti in filozofije. Že od časov starih Grkov, ko se je filozofija vzpostavila kot veda, so njen predmet predvsem pojmi. Zelo poenostavljeno rečeno, filozofija proučuje, kateri pojmi, ki jih uporabljamo, nimajo jasno opredeljenega pomena. Za tovrstne pojme, ki so izgubili jasen pomen in običajno nosijo le še čustveni naboj, nato skozi postopek filozofske analize poišče novo opredelitev, ki jo predlaga v uporabo.

Postopek ugotavljanja, ali razumevanje določenih pojmov vodi do protislovij oziroma antinomij, je tako v samem jedru metod, ki jih pri svojem delu uporablja filozofija. Antinomija v filozofiji namreč pomeni, da lahko enako prepričljivo dokažemo dve nasprotni rešitvi enega problema: recimo, da čas ima začetek in da ga nima. Zenonove in Kantove antinomije pojma prostora pričajo o težavah, s katerimi se soočamo, ko poskušamo neko razumevanje pojma prostora temeljito proučiti in predvideti vse posledice, ki sledijo iz takšnega razumevanja. Gre za tipičen primer filozofske analize, katere cilj je pojem na novo opredeliti, ali vsaj pokazati, da potrebuje novo, bolj konsistentno definicijo.

Nasprotno predmet znanosti niso pojmi, ampak pojavi. Cilj znanosti je razkrievanje pravil, po katerih se pojavi odvijajo v naravi in družbi, kar znanost praviloma počne s pomočjo eksperimentov. Kriterij sprejemljivosti neke znanstvene teorije tako ni zgolj njena logična konsistentnost, ampak predvsem skladnost z rezultati poskusov in opazovanj.

Skozi zgodovino znanosti je potekala dolgotrajna polemika o vprašanju, ali je prostor v resnici samostojno bivajoča praznina, ki ostane, ko iz nje odstranimo vse predmete, ali je zgolj navidezni učinek prostorskih relacij med predmeti, ki se nahajajo v njem. Napredek znanosti v dvajsetem stoletju je pokazal, da sta v resnici obe interpretaciji napačni.

Iz Einsteinove splošne teorije relativnosti namreč sledi, da se prostor v bližini masnih teles ukrivi, kar občutimo kot gravitacijo. Prav tako lahko dinamični dogodki v vesolju, kot je trk dveh nevtronskih zvezd ali črnih lukenj, spodbudijo nastanek gravitacijskih valov, ki niso nič drugega kot valovanje prostora-časa. Vse to pomeni, da prostor-čas, kot ga obravnava sodobna fizika, obstaja in nosi lastnosti tudi kot nekaj samostojno bivajočega, in zato ne more biti le navidezni učinek relacij med telesi. Podobno iz spoznanj kvantne fizike sledi, da prostor nikoli ni povsem prazen. Na ravni zelo majhnih razdalj namreč nenehno nastajajo in izginevajo pari delcev in antidelcev, kar pomeni, da popolnega vakuuma oziroma praznine v fiziki, kot jo razumemo danes, ni.

Podobno kot je fizika dvajsetega stoletja v tisočletja dolge razprave o naravi prostora vnesla nove informacije, ki jih moramo upoštevati, ko na filozofski ravni razmišljamo o pojmu prostora, zadnja leta napredek nevroznanosti podobno nadgrajuje naše razumevanje prostora v okviru subjektivnih predstav. Za živa bitja je značilno, da si ustvarijo in nato nenehno posodablajo notranji miselni model zunanjega sveta, kar jim omogoča, da lažje in bolj varno delujejo v okolju in se soočajo s potencialnimi nevarnostmi. Nevroznanstvene raziskave mehanizmov, s katerimi možgani na podlagi čutnih vtisov in spomina ustvarjajo predstave prostorskih relacij, so trenutno še zelo na začetku poti. A nadejamo se lahko, da bodo v naše pojmovanje prostora in v filozofsko analizo tega pojma že kmalu uvedle nove informacije, ki jih bomo morali upoštevati na podoben način, kot že zdaj upoštevamo dognanja s področja fizike.

V sestavku smo obravnavali pojmovanje prostora v filozofiji, zgodovini znanosti in sodobni nevroznanosti. Zanimalo nas je, kako sta se medsebojno razlikovala pristopa k razumevanju prostora, ki sta izhajala iz tradicije filozofske analize pojmov in tradicije znanstvenega preverjanja hipotez skozi empirične eksperimente. Pokazali smo, da so vprašanja o naravi prostora postopoma prešla pod okrilje filozofije znanosti in niso bila več predmet neposrednih znanstvenih razprav, filozofija znanosti pa se je ločila od znanosti. Hipoteze, ki niso bile v dosegu eksperimentov, so znanstveniki začeli obravnavati kot metafizične, kar je pomenilo, da njihovo raziskovanje ni v dosegu znanstvene metode, zato jih sama znanost pušča ob strani. Zadnja desetletja so se tovrstni problemi, za katere je med znanstveniki veljalo napačno prepričanje, da jih ni mogoče znanstveno proučevati in se zato z njimi ni treba ukvarjati, začeli ponovno odpirati v kontekstu nevroznanstvenih raziskav delovanja človeških možganov.

Literatura in drugi viri

- CANALES, JIMENA (2015): *The Physicist and the Philosopher: Einstein, Bergson, and the Debate That Changed Our Understanding of Time*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- CAVEING, MAURICE (1982): *Zénon d'Élée: prolégomènes aux doctrines du continu: étude historique et critique des fragments et témoignages*. Paris: J. Vrin, zbirka Histoire des doctrines de l'antiquité classique.
- GARBER, DANIEL (2006): Physics and Foundations. V *The Cambridge History of Science Volume 3: Early Modern Science*, K. Park in L. Daston (ur.), 21–69. New York: Cambridge University Press.
- HALL, ALFRED RUPERT (2002): *Philosophers at War: The Quarrel Between Newton and Leibniz*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MOSER, EDVARD I. IN MAY-BRITT MOSER (2016): The Brain's GPS Tells You Where You Are and Where You've Come From. *Scientific American* 2016(1): 26–33.
- NOBELPRIZE.ORG (N. D. A): *Nobel Prize in Physics 1921 to Albert Einstein – Presentation Speech, by Svante August Arrhenius*, 10. december 1922. Dostopno na: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/press.html (14. maj 2018).
- NOBELPRIZE.ORG (N. D. B): *The Nobel Prize in Physics 2017 to Rainer Weiss, Barry C. Barish, and Kip S. Thorne, for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves*. Dostopno na: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/ (14. maj 2018).
- NOBELPRIZE.ORG (N. D. C): *The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2014 to John O'Keefe, May-Britt Moser, and Edvard I. Moser, for discoveries of cells that constitute a positioning system in the brain*. Dostopno na: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2014/ (18. maj 2018).
- O'KEEFE, JOHN IN LYNN NADEL (1978): *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford, New York: Oxford University Press.
- RUSSELL, BERTRAND (2001): The Problem of Infinity Considered Historically. V *Zeno's Paradoxes*, W. C. Salmon (ur.), 45–58. Indianapolis: Hackett Publishing.