

KDO VLADA ČASU?

Premislek o vlogi konvencionalizma pri merjenju časa

SAŠO DOLENC

S problemom merjenja časa se v vsakdanjem življenju skorajda ne srečujemo več. Do povsem točnega časa danes v dobi telefonov, radia, televizije, interneta in satelitov GPS ni več težko priti. Celo zapestne ure so danes praviloma narejene tako, da se prej pokvarijo, kot pa izgubijo točnost. Čeprav za uporabo točnega časa ne potrebujemo nobenega posebnega znanja, pa postaja tehnika določanja točnega časa vedno bolj zapletena in razumljiva le strokovnjakom. V širšo javnost pridejo občasno le »eksotične« informacije, da so morali npr. časovni skali dodati sekundo zaradi počasnejšega vrtenja Zemlje. Prav kmalu se bodo časopisi verjetno spet razpisali o merjenju časa, saj se v strokovni javnosti pojavljajo predlogi, da bi znova prilagodili definicijo sekunde. Z razvojem tehnologije in z uporabo vse natančnejših merskih inštrumentov so skozi dvajseto stoletje definicijo sekunde, ki je danes definirana s pojavi iz sveta atomov, že večkrat spremenili, zato smo na takšne »izboljšave« definicije že kar nekako navajeni. Vseeno pa se nam zastavlja nekaj na prvi pogled morda naivnih vprašanj: Kako lahko trdimo, da je nova definicija sekunde boljša od stare, če pa je bila že stara mera časa točna po definiciji? Ali obstaja torej neka zunanja referenca, glede na katero lahko rečemo, da je ena definicija sekunde slabša kot druga? Kaj je torej »prava« mera časa? Katera ura je najbolj točna? Je to tista, ki jo določimo s konvencijo, ali smo pri izbiri vendarle kako omejeni?

Skoraj vsak učbenik fizike se v prvem poglavju dotakne tudi problema merjenja časa. Avtorji praviloma povzamejo definicijo sekunde in opišejo zgradbo in delovanje najbolj natančnih ur. Bolj »poglobljene« knjige običajno navedejo še, da je definicija sekunde nekaj povsem arbitrarnega, kar določi kot konvencijo vsakih nekaj desetletij konferenca »modrih mož« po kriteriju praktičnosti. Tudi v okviru razprav v filozofiji narave vprašanje merjenja časa ni bilo nikoli prav v ospredju. Sam problem ponavadi ni bil niti jasno definiran,

večinoma pa so ga kar preprosto pometli pod preprogo, oziroma mu niso posvečali pretirane pozornosti.

Poincaréjeva konvencionalistična teorija merjenja časa

V sestavku z naslovom *Merjenje časa*¹ je francoski matematik Henri Poincaré leta 1905 razmišljal o obstoju reference, glede na katero definiramo enoto za merjenje časa. Prišel je do ugotovitve, da sloni vsa moderna fizika na predpostavki, da »je trajanje dveh enakih pojavov enako dolgo; ali drugače, da enaki vzroki vzamejo enako časa, da ustvarijo enake posledice.«² Vendar te predpostavke ni imel ne za apriorno ne za empirično preverljivo trditev, saj po eni strani »nimamo neposredne intuicije o enakosti dveh intervalov časa,«³ po drugi strani pa »bi bila naša predpostavka [da je trajanje dveh enakih pojavov enako dolgo] ovržena, če bi v poskusu postali priča takšnega dogodka.«⁴ Razmišljanje o meri časa ga je tako pripeljalo do naslednjega zaključka:

»Čas mora biti definiran tako, da so enačbe mehanike kar se da preproste. Povedano z drugimi besedami: ni enega načina merjenja časa, ki bi bil bolj resničen, kot so drugi; tisti, ki je splošno sprejet, je samo najbolj udoben [commode]. Za dve uri nimamo nikakršne pravice reči, da teče prva pravilno, druga pa napačno; lahko rečemo le, da se je ugodneje prilagoditi kazalcem prve.«⁵

Poincaré je bil torej prepričan, da je pravzaprav vseeno, kateri pojav izberemo za merjenje časa. Zanj so bili vsi pojavi enakovredni, saj ni uspel najti ne apriornega ne empiričnega kriterija, po katerem bi lahko določil mero časa. Vedel je le, da so zakoni mehanike pri določenih izbirah mere časa bolj preprosti kot pri drugih. Sklepal je torej, da je mera časa definirana zgolj po konvenciji in sicer tako, da so zakoni mehanike karseda preprosti⁶.

¹ Poglavlje v knjigi: Poincaré, H. *La valeur de la science*, Flammarion, Pariz 1970. (Citirano po izdaji iste založbe iz leta 1970.)

² Op. cit., str. 44.

³ Ibid., str. 43.

⁴ Ibid., str. 44.

⁵ Ibid., str. 46–47.

⁶ Zelo poenostavljeno rečeno je temelji problem vsakega merjenja, kako prevesti neko kvaliteto, pa naj bo ekstenzivna ali intenzivna, v kvantiteto. Kako kvaliteti prirediti število? Pri ekstenzivnih količinah kot so npr. razdalja, volumen, teža..., kjer je velikost vezana na dodajanje in odzemanje razločljivih delov, je metoda merjenja jasna. Bolj zapleteno je pri intenzivnih količinah (svetlost, hitrost...), s čimer so imeli še posebej velike težave v srednjem veku znotraj sholastičnih razprav o *intensio et remissio qualitatum et formarum*. Čas je glede merjenja neke vrste izjema, saj ne spada niti med intenzivne niti med ekstenzivne količine. Ekstenzivna količina ni, ker ni jasno, kaj bi bila njegova razsežnost, čeprav

Skozi zgodovinsko analizo teorije in prakse pristopov k merjenju časa bomo poskušali razumeti in aktualizirati Poincaréjevo konvencionalistično teorijo merjenja časa. Zagovarjali bomo stališče, da je definicija sekunde res konvencija, vendar nikakor ne povsem arbitrarna! Za predgalilejsko znanost je značilna navezava teka in mere časa na posebej odlikovano naravno gibanje – praviloma je bilo to vrtenje neba –, ki se je po svojem ontološkem statusu bistveno razlikovalo od običajnih »zemeljskih« gibanj. Za moderno galilejsko znanost pa je ključno prav ontološko poenotenje narave oz. ukinitev delitve na popolno nebo in približni sublunarni svet. Prav to poenotenje pa nebeškim gibanjem odvzame avro popolnosti, zaradi katere so bila posebej odlikovana in so lahko merila čas. Menimo, da je prav prehod od mere časa, ki je vezana na neko posebej odlikovano popolno naravno gibanje (običajno je to vrtenje neba), k času, ki je določen relacijsko preko univerzalnih matematičnih zakonov galilejske narave (čas naj najbolj natančno odraža parameter t iz enačb matematične fizike), verjetno eden od pomembnejših elementov galilejske revolucije oz. konstitucije moderne znanosti.

Antična astronomska tradicija – čas meri nebeška ura

Na kratko si oglejmo zgodovino merjenja časa od antike naprej. Skupna značilnost vseh merjenj časa v prednovoveškem obdobju je predpostavka, da lahko čas točno štejejo le periodična nebesna gibanja. Osrednji babilonski astronomski tekst, ki se je ohranil na klinopisnih tablicah, so po njegovih začetnih zlogih poimenovali MUL.APIN. Njegovi najstarejši izvodi so datirani v sedmo stoletje pr.n.š, vendar je tekst kompilacija različnih virov, ki so verjetno še bistveno starejši⁷. Po zvrsti bi MUL.APIN lahko opredelili kot zvezdni koledar, s katerim so si v tistem času pomagali pri določevanju dneva in meseca v letu ob pomoči vzhodov in zahodov zvezd tik pred zoro ali takoj po mraku. Je zbirka kratkih povedi, ki povezujejo konkretni astronomski pojav z datumom:

»Na prvi dan <meseca> ajjaru postanejo Zvezde <Plejade> ponovno vidne <na jutranjem nebu>.«⁸

bi mogoče lahko kdo trdil tudi, da se pri času nizajo trenutki, prav tako pa tudi ni intenzivna količina, saj se njegova intenziteta prav nič ne spreminja. Vendar je merjenje časa temelj vse naravoslovne znanosti - tako stare predgalilejske kot tudi moderne galilejske. Formalizacija oz. matematizacija narave, kot bistvena značilnost znanosti, temelji prav na formalizaciji procesov spreminjanja oz. gibanja v odvisnosti od časa.

⁷ Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, New York 1998, str. 5.

⁸ Ibid., str. 6.

Opise te vrste lahko razumemo tudi kot podrobna navodila, kako brati zvezdni čas, ki ga kaže nebesna ura oz. nebesni koledar. Ko vidimo na nebu določeno razporeditev zvezd, lahko iz opisa te razporeditve v knjigi MUL.APIN razberemo, koliko je ura, oz. kateri dan v letu je danes.

Grki so takšne astronomske pratike prevzeli po babilonskih virih in jih še dodatno izpopolnili. V nekaterih grških mestih so javni zvezdni koledarji (*parapegma*) viseli kar na glavnih mestnih trgih in oznanjali trenutno lego Sonca glede na zodiak in podobne informacije, ki so meščanom omogočale branje zvezdnega koledarja.⁹ Dan med sončnim vzhodom in sončnim zahodom so Grki delili na 12 sezonskih ur, katerih dolžina se je skozi leto spreminjala, kot se je spreminjala dolžina dneva. Podobno so tudi noč razdelili na 12 sezonskih ur, ki so bile medsebojno enake, a drugačne od dnevnih ur (razen seveda ob enakonočju).¹⁰ Koliko je ura čez dan so odčitali iz sončne ure, ponoči pa so si pri določanju časa pomagali z zvezdno uro. Brali so jo podobno kot zvezdni koledar. Ker so vedeli, ob kateri uri ponoči bo vžšlo posamezno ozvezdje, so lahko tako s pomočjo zvezdne ure določali čas tudi ponoči.

V zreli dobi grške astronomije, v času aleksandrijske šole, je Hiparh postavil zelo natančen geometrijski model gibanja Sonca, Ptolemej pa je razširil geometrijski model nebeških gibanj še na planete¹¹. Takrat je bila edina matematična sprejemljiva forma za opis nebeških gibanj enakomerno kroženje. V ptolemejskem geometrijskem modelu neba tako nebesna telesa potujejo po zapletenem sistemu medsebojno odvisnih enakomerno se vrtečih krogov in krogel, kar zelo spominja na kolesca velike nebeške ure. Ko so se v srednjem veku pojavile prve mehanske ure, so bile prvotno mišljene predvsem kot majhni modeli nebeških gibanj, oz. kot zemeljski mehanizmi, ki naj čimbolj zvesto upodobijo enakomerna krožna gibanja neba.

Platon in Aristotel – čas je vezan na nebeška gibanja

Praktična navezava teka časa na vrtenje nebesne ure je vplivala tudi na

⁹ Ibid., str. 98.

¹⁰ Ibid., str. 95.

¹¹ Za uspehe grške astronomije tako niso pomembna vestna opazovanja neba, kar je bilo značilno predvsem za babilonsko tradicijo, ampak aplikacija geometrije na probleme astronomije in kozmologije. »Nebo ima obliko sfere in giblje se sferično« je bil eden prvih stavkov skoraj vsake grške knjige o astronomiji. Nekje od časov Evdoksapa naprej, je grška astronomija temeljila na petih osnovnih postulatih, ki jih je sprejemala večina astronomov in filozofov narave: (1) Zemlja je sfera, (2) ki leži v središču neba (3) in ima v primerjavi z nebom neznatno velikost. (4) Tudi nebo ima obliko sfere, (5) ki se dnevno vrti okoli osi skozi Zemljo. (Evans, str. 76)

filozofijo narave. Platonovo teorijo časa, zapisano v *Timaju*, prevajalci in interpreti običajno strnejo v enigmatični stavek: »Čas (*kronos*) je gibajoča se podoba večnosti (*aion*)«¹². V nasprotju s tradicionalnim klasičnim prevodom *Timaja*, ki se navezuje predvsem na novoplatonistično filozofsko tradicijo, pa Remi Brague¹³ zagovarja tezo, da interpretacije oz. prevodi, ki definicijo časa strnejo v zgornji enigmatični stavek, zelo verjetno niso zvesta odslíkava Platonovih misli¹⁴. Brague namreč s podrobno analizo ohranjenih rokopisov in sekundarnih virov pokaže, da naj bi se besedna zveza »gibljiva podoba večnosti« navezovala na nebo (*uranos*) in ne na čas (*kronos*). Platonova izvorna definicija časa naj bi se po Bragueu torej glasila: »Čas je urejeno gibanje neba, ki odraža numerično strukturo duše sveta.«¹⁵

Takšna Platonova domnevno izvorna definicija časa, ki je hkrati tudi zelo blizu kasnejši Aristotelovi, pa ni nič drugega, kot navezava časa na nebo oz. na partikularno gibanje, ki se je takrat zdelo najbolj enakomerno. Nebo igra tako vlogo edine prave ure. Čas je po Platonu torej vrtenje neba, zvezd stalnic, vrtenje nebesne ure, oz. tisto, kar kaže nebesna ura.

Zanimivo je, da je Platonova definicija – v Bragueovi neklasični verziji – zelo podobna slavni Einsteinovi definiciji časa v prvem članku o teoriji relativnosti iz leta 1905. Tam Einstein zapiše:

»Kot kaže lahko vse težave povezane z definicijo časa presežemo s substitucijo besedne zveze 'lega malega kazalca moje ure' za 'čas'.«¹⁶

Čas je za Einsteina torej tisto, kar kažejo kazalci na uri, ura pa je naprava za merjenje časa, vendar se Einsteinova definicija vseeno bistveno razlikuje od Platonove. Einstein se *ne* naslavlja na neko konkretno uro, Platon pa govori prav o posebej izbrani in odlikovani nebeški uri.

O neposredni identifikaciji časa z nebom priča tudi ideja velikega oz. popolnega leta, ki jo Platon prav tako omenja v *Timaju*:

»Period drugih teles <gibanj planetov glede na sfero zvezd stalnic> se ni lotil skorajda še nihče. Nihče jih ni še niti poimenoval, kaj šele medse-

¹² Platon, *Timaj*, 37d.

¹³ Rémi Brague, *Du temps chez Platon et Aristote*, PUF (Épiméthée) 1995.

¹⁴ Bragueova teza je seveda kontroverzna. V angleškem prevodu *Timaja* iz leta 2000 Donald J. Zeyl še vedno sledi klasičnemu branju odlomka o času, vendar na alternativni prevod obširno opozori v spremni študiji. Pravi, da je alternativni prevod težko soočiti z branjem odlomka 38a7-8, kjer se Platon eksplicitno naslavlja na čas, ki »posnema večnost in kroge glede na število.«

¹⁵ *Ibid.*, str. 71.

¹⁶ A. Einstein, *Über die Elektrodynamik bewegter Körper*, *Annalen der Physik* 17 (1905) 891. Citirano po: J. Stachel ed., *Einstein's Miraculous Year - Five Papers That Changed the Face of Physics*, Princeton University Press 1998. str. 125.

bojno numerično izmeril. Ljudje se ne zavedajo, da je čas pravzaprav potovanje teh teles, čeprav osupljivo številno in presenetljivo pestro. Navsezadnje ni neverjetno spoznanje, da popolno število časa zapolni popolno leto v trenutku, ko se relativne hitrosti vseh osmih period zaključijo skupaj in dovršijo, merjeno s krogom Istega <sfera zvezd stalnic>, ki se giblje enakomerno.«¹⁷

V periodi popolnega leta naj bi se planeti, Sonce in Luna spet znašli v isti medsebojni legi glede na zvezde stalnice. To bi pomenilo, da se je za nebeško uro dogodilo isto, kar se običajni uri na kazalce dogodi vsakih 12 ur: kazalci so ponovno na istih mestih glede na številčnico. Tako kot pri števcu kilometrov v avtomobilu, ko preskoči iz samih 9 na same 0, bi ob preteku popolnega leta tudi na nebeški uri izgubili sposobnost razlikovati med enim in drugim ciklom, med enim in drugim velikim letom¹⁸.

Nekaj desetletij kasneje je Aristotel v *Fiziki IV* poskušal čas definirati neodvisno od gibanja neba. Zapisal je namreč, da

»samo, če smo zaznali 'prej' in 'potem' v gibanju, lahko rečemo, da je potekel čas.«¹⁹ »Kajti čas je prav to število gibanja glede na 'prej' in 'pozneje'.«²⁰

Vendar je nekaj poglavij naprej vseeno ugotovil, da je:

»enakomerno krožno gibanje mera pred vsakim drugim, kajti število tega <krožnega gibanja> je najboljše poznano.«²¹

Tako je tudi Aristotel na nek način priznal, da je nebo edina dobra ura, vendar je hkrati opozoril, da časa ne smemo povsem enačiti z nebeško uro:

»<pogosto ljudje mislijo, da> je celo čas sam krog, <govori se o> krogu časa, <vendar gre pri tem za to, da je čas merjen s krožnim gibanjem>.«²²

Tudi za Aristotela je nebeška ura edina dobra ura, le čas sam zanj ni isto, kot ta ura.

¹⁷ Platon, *Timaj*, 39b-d.

¹⁸ Vprašanje velikega leta je vznemirjalo tudi srednjeveške učenjake. Francoski filozof štirinajstega stoletja Nikolaj iz Oresma je npr. v knjigi *De commensurabilitate vel incommensurabilitate motuum caelestium* (O soizmerljivosti in nesozizmerljivosti nebesnih gibanj) na podlagi domnevne neskončnosti velikega leta razvil celo argument proti astrologiji. Trdil je, da so nekatere nebesna gibanja zelo verjetno med seboj nesozizmerljiva, kar pomeni, da se veliko leto ne bo nikoli zaključilo, saj se vsi planeti ne bodo nikoli sočasno vrnili na ista mesta.

¹⁹ Aristotel, *Fizika*, 219a22-25.

²⁰ Ibid., 219a34 - 219b2.

²¹ Ibid., 223b20

²² Ibid., 223b29

Le monde de l' »à-peu-près«

Na podlagi predstavljenih primerov iz antične astronomske in filozofske tradicije lahko sklepamo, da je bilo prav vrtenje neba referenčni pojav, ki je v antiki najboljše meril čas. Nebo je bila pravzaprav edina prava ura. Vse ostale ure (vodne, peščene, svečne...), ki se niso neposredno opirale na nebesna gibanja (kot se npr. sončna ura), so bile le v pomoč, ko nebesna ura ni bila dostopna. Po Aristotelovi fiziki oz. filozofiji narave, so bila le nebesna gibanja dovolj popolna, da so zanje lahko veljali matematični zakoni. V zemeljskem sublunarnem svetu namreč ni bilo pojava, ki bi bil dovolj popoln, da bi lahko njegovo spreminjanje v času formalno zapisali v matematični formi, kar je pogoj, da je neko gibanje uporabno za merjenje časa. Za sublunarni zemeljski svet v antiki in srednjem veku, ki prav zaradi svoje notranje neeksaktnosti ni bil primeren za opis s pomočjo matematike, je Alexandre Koyré vpeljal označbo »svet približnosti« (*le monde de l' »à-peu-près«*)²³. Zaradi delitve sveta na popolna nebesna gibanja in zemeljska površna spreminjanja, je bila za Grke sprejemljiva le matematična astronomija, ne pa tudi matematična fizika sublunarnega sveta. Grki niso nikoli poskušali matematizirati zemeljskih gibanj. Arhimed je sicer deloma matematiziral statiko, vendar se dinamike do Galileija ni lotil nihče. Preden je prišlo tudi do matematizacije zemeljskih gibanj, se je morala najprej porušiti ustaljena podoba narave, ki je prostor delila na dva dela²⁴. Dokler je veljala delitev na popolno nebo in približni zemeljski svet, je čas lahko dobro merila le nebeška ura.

S postopnim podiranjem podobe urejenega kozmosa in izničitvijo različne nebo-zemlja, je posredno tudi čas začel izgubljati trdno oporo v popolnih nebesnih gibanjih. Da med antično in novoveško znanostjo ni zveznega prehoda, ampak je vmes prišlo do preloma oz. revolucije, je ena osrednjih Koyréjevih tez²⁵. Za opredelitev preloma je izluščil dve bistveni spremembi, ki ju je prinesla znanstvena revolucija sedemnajstega stoletja: to sta destrukcija kozmosa in geometrizacija prostora. Končno in hierarhično dobro urejeno celoto oz. srednjeveški kozmos, ki uteleša hierarhijo popolnosti in vrednot, je zamenjalo nedoločeno oz. neskončno vesolje. Pri tej spremembi podobe sveta naj bi imeli ključno vlogo srednjeveški teologi-matematiki, ki so povsem

²³ Koyré, *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard (Idées), Paris 1980, str. 342.

²⁴ Koyré je zagovarjal trditev, da je za selitev preciznosti z neba na zemljo poskrbel razvoj tehnike in merilnih naprav. Ključen naj bi bil razvoj optičnih instrumentov in pa mehanske ure.

²⁵ Koyré, *Od sklenjenega sveta do neskončnega univerzuma*, ŠKUC Filozofska fakulteta (Studia humanitatis), Ljubljana 1988.

znotraj teoloških razprav začeli razmišljati o nedoločnem ali neskončnem svetu, kot edini kreaciji, ki je vredna vseмогоčnega boga.

Ti dve spremembi, ki ju izpostavi Koyré, sta za pojav moderne znanosti gotovo nujni, nista pa zadostni. Menimo, da je bila nujno potrebna še sprememba pojmovanja časa, ki se je moral odlepiti od navezave na neko privilegirano partikularno gibanje. Le tako je lahko postal čas uporaben kot parameter matematičnih zakonov narave. Kot bomo videli, po modernem pojmovanju ni dobra tista ura, ki najbolj odraža gibanje nebesnih sfer, ampak tista, ki teče s takšnim tempom, da veljajo zakoni matematične fizike.

Kepler in Galilei – prehod od časa neba k času matematične formule

Pravi prehod v moderno astronomijo, ki je za opis nebesnih gibanj opustila formo enakomernega kroženja, je v začetku sedemnajstega stoletja izvedel Johannes Kepler²⁶. Pri spopadu z natančnimi meritvami lege Marsa, ki jih je vrsto let skrbno beležil Tycho Brahe, je Kepler po vrsti poskusov in neuspehov ugotovil, da se planeti ne gibljejo po krogih, ampak po elipsah, in da zveznica planeta s Soncem v enakih časih opiše enake ploščine. S tem je postavil prvi matematični model gibanja planetov, ki se ni opiral na enakomerno kroženje. Takrat prvič tudi čas ni bil več vezan na eno izmed partikularnih gibanj neba, ampak na matematični zakon, ki velja za gibanje vseh planetov. Ob Keplerju je v istem času do podobnih zaključkov glede matematizacije gibanja prišel tudi Galileo Galilei, zato zgodovinarji znanosti običajno navajajo Keplerja kot prvega astronoma in Galileija kot prvega fizika v modernem pomenu besede.

Vse Galileijevo znanstveno delo se vrti predvsem okoli dveh tematik: iskanje matematičnih pravil gibanja zemeljskih teles in pa iskanje argumentov za kopernikanski model sveta. V procesu rušenja hierarhično urejenega kozmosa in njegove postopne zamenjave s homogenim neskončnim prostorom, ki ga opisuje Koyré, stoji Galilei ravno nekje na sredi poti. S svojimi teleskopskimi opazovanji je sicer zadal smrtni udarec podobi popolnega, nespremenljivega neba, kot ga je opisovala aristotelska kozmologija. Z odkritjem kraterjev in gora na Luni, Jupitrovih satelitov, določitvijo lege kometa ipd. je dokonč-

²⁶ Kopernik je s postavitvijo Sonca v središče in z obravnavo Zemlje kot enega izmed planetov sicer pomembno prispeval k procesu destrukcije srednjeveškega kozmosa, vendar se enakomernemu kroženju še ni odrekel. Njegov model osončja je strukturno skorajda povsem enak Ptolemejevemu, s to razliko, da pri Koperniku miruje Sonce. Pri Koperniku je čas še zmeraj vezan na enakomerna kroženja nebesnih teles, zato je prisiljen obdržati večino tistih nenavadnih konstruktov (epiciklov, deferentov ipd.), ki so jih antični astronomi vpeljali, da bi geometrijski model enakomernih kroženj uskladili s opazovani gibanja nebesnih teles.

no porušil delitev sveta na večno nebo in spremenljivi zemeljski svet²⁷. Vendar Galilei popolnega neba ni preprosto ukinil, ampak je nebo na nek način pripeljal navzdol na zemljo.

Nekaj let pred smrtjo je zelo bolan v hišnem priporu napisal knjigo *Dialog o dveh novih znanostih*²⁸. V njej je med drugim zagovarjal tezo, da ustreza naravnim gibanjem, kot so prosto padanje, kotaljenje po klancu in poševni meti, matematična forma enakomernega pospešenega gibanja:

»Ko opazujem padanje kamna, ki je izvorno miroval na dvignjenem mestu, kako postopno pridobiva na hitrosti, se sprašujem, zakaj ne bi verjel, da se povečevanje <hitrosti> odvija v obliki, ki je skrajno preprosta in vsakomur dokaj očitna? Če sedaj stvar skrbno preučimo, ne najdemo nobenega prištevanja ali dodajanja, ki bi bilo preprostejše od tega, ki se ves čas ponavlja na enak način. ... Gibanje je enakomerno pospešeno, ko začeto iz mirovanja, v enakih časovnih intervalih, pridobi enake prirastke na hitrosti.«²⁹

V nekaterih povsem zemeljskih gibanjih je odkril matematične pravilnosti, ki so si jih prej upali pripisovati le nebu. Pred Galileijem je bilo samo nebo dovolj popolno, da so zanj veljala matematična pravila gibanja. Galilei pa je uspel tudi nekatera zemeljska gibanja idealizirati do te mere, da jih je lahko opisal z matematično formo. Tako lahko rečemo, da Galilei ni le ukinil neba, ampak je popolnost, ki je bila prej zgolj lastnost neba, v malo drugačni obliki znova odkril na zemlji.

S tem Galileijevim odkritjem se odpre pogled v novo pojmovanje narave, ki mu lahko rečemo tudi galilejevska narava ali prikrito nebo na zemlji. To je idealnost za pojavi, ki ji lahko pripišemo matematične relacije spreminjanja v času. Galilei je vzpostavil homogeno domeno, v kateri je možno medsebojno primerjati količine, ki se pojavijo pri analizi gibanja. Vse dinamične količine je postavil na isto raven, kar pomeni, da so njihove velikosti medsebojno povsem primerljive. Časovni intervali so pri Galileiju kvalitativno povsem enakovredni prostorskim intervalom, zato jih je lahko predstavil s pomočjo istih daljic in razmerij med njimi. Ista shema daljic mu služi enkrat za opis relacije med razdaljami in časom, drugič pa za opis relacije med hitrostjo in časom. Prav to odkritje »neba« na zemlji predstavlja rojstvo novoveške fizike, ki ji pravimo tudi galilejevska znanost³⁰.

²⁷ Zanimivo je, da se Galilei ni strinjal s Keplerjevo opustitvijo krožnih gibanj neba, čeprav se je imel za vnetega pristaša Kopernika, zaradi česar je bil nenazadnje tudi obsojen pred Inkvizicijo.

²⁸ Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Dover, New York 1914.

²⁹ *Ibid.*, str. 161.

³⁰ Nujna posledica prehoda k galilejskemu pojmovanju narave je tudi spoznanje, da

Vendar sama definicija enakomerno pospešenega gibanja ni Galilejeva iznajdba. V 14. stoletju so t.i. teologi matematiki oxfordske in pariške šole že poznali enakomerno spreminjanje lastnosti, vendar jim še ni prišlo na misel, da bi ga aplicirali na padanje teles, metanje kamnov in kotaljenje krogel. Formo enakomernega spreminjanja so proučevali strogo teoretsko. Že omenjeni pripadnik pariške šole Nikolaj iz Oresma je iznašel nekaj podobnega modernim kartezijanskim grafom dinamičnih količin. Uvedel je reprezentacijo velikosti kvalitete z daljicami, s čimer je tudi grafično dokazal izrek, da je povprečna hitrost pri enakomernem pospešenem gibanju enaka polovici vsote začetne in končne hitrosti.

»Glavna razlika med Galilejevo prezentacijo in Oresmom je v tem, da je zadnji obravnaval spreminjanje vsake 'kvalitete', ki se jo je dalo kvantificirati – poleg fizičnih 'kvalitet', kot so hitrost, razdalja, temperatura, belost, težkost ipd., tudi nefizične 'kvalitete', kot so ljubezen, usmiljenje in milost. Vendar ni primera, da bi kateri od teh mož štirinajstega stoletja svoje ugotovitve preizkusil, kot je to storil Galilei, da bi se prepričal, če veljajo za realni svet izkustva.«³¹

Prav tako Galilei ni bil prvi, ki bi apliciral matematiko na zemeljski svet. V antiki so matematične oz. geometrijske relacije že aplicirali tudi na zemeljski svet, vendar v relacijah nikoli ni nastopal čas, kot ena od spremenljivk. Arhimed je že v 2. stoletju pr. n. š. postavil nekaj matematičnih zakonov zemeljskega sveta (npr. vzgon je enak teži izpodrinjene tekočine), vendar nobenega, ki bi opisoval spreminjanje v času. Vsi Arhimedovi zakoni so zakoni statike, noben ni dinamičen.

Galilei tako ni bil prvi, ki je matematiko apliciral na naravo, bil pa je prvi, ki jo je apliciral na dinamiko. Novost ni bila aplikacija geometrije na zemeljski svet (to je nenazadnje počel že Tales, ko je s pomočjo sence meril višino

vsakdanje izkustvo sveta ni več temeljna opora védenju o naravi. Bolj resnični, oz. bližji galilejevski naravi, postanejo kartezijanski grafi funkcijskih razmerij med fizikalnimi količinami in analogije iz vsakdanjega sveta, ki jih ne smemo jemati dobesedno (npr. svetloba kot tok delcev). Te, na prvi pogled posredne in sekundarne vizualizacije so znotraj horizonta moderne znanosti postale primarne podobe narave, bolj resnične od vsakdanjega izkustva sveta. V debati okrog kopernikanskega modela univerzuma tako ni šlo za spor, kateri sistem je bolj resničen oz. empirično adekvaten, kot bi temu rekli danes, ampak za pomemben korak v procesu razločevanja med zdravorazumskim vsakdanjim izkustvom in modelom narave, ki je na prvi pogled povsem absurden. Razkol med vsakdanjim svetom in galilejsko naravo je postal v dvajsetem stoletju s teorijo relativnosti in kvantno mehaniko samo še bolj očiten. Če se je newtonsko fiziko še dalo za silo zvesti na metaforo narave kot mehaničnega stroja, se štirirazsežnega prostora-časa teorije relativnosti ali izmuzljivih lastnosti kvantnih delcev, nikakor ne da več neposredno zamisliti.

³¹ Cohen, *The Birth of a New Physics*, Penguin Books 1985, str. 103.

piramid, če verjamemo zgodbi Diogena Laertskega), ampak vpeljava časa kot parametra v matematičnih relacijah, ki opisujejo gibanje v zemeljskem svetu. Galilejevsko gibanje ima za parameter čas (t v matematični enačbi), ki je reverzibilen in ki je določen strukturno znotraj matematične enačbe naravnega gibanja. Prej je bilo le nebo dovolj popolno, da so zanj lahko veljale matematične relacije, ki so opisovale ciklično spreminjanje v času. Zemeljski čas je bil takrat ireverzibilen, nebesni pa reverzibilen, zato se je lahko meril le nebesni čas, oz. je bilo lahko le nebesno gibanje dobra mera časa.

Novo pojmovanje dinamično definirane časa

Čas fizike in astronomije sedemnajstega stoletja ni več neposredno vezan na posebej odlikovano partikularno gibanje (največkrat vrtenje neba), ki čas meri in določa, ampak se definira preko relacij znotraj matematičnega zakona, ki opisuje eno izmed naravnih gibanj. Prehod od časa neba k času matematične formule – lahko bi rekli tudi prehod od idealnega časa k idealu časa – se dogodi v poznih delih Keplerja in Galileija. Pri Galileiju je ta matematična formula enakomerno pospešeno gibanje, ki opisuje prosto padanje teles, pri Keplerju pa drugi zakon gibanja planetov, ki pravi da zveznica planeta in Sonca pokrije v enakih časih enake ploščine. V obeh zakonih nastopa matematično razmerje med intervali časa in intervali prostora, ki velja za določeno skupino naravnih gibanj. Tek časa tako ni več neposredno vezan na nebeška gibanja, ampak je relacijsko določen z matematično formulo. Po novem ni dobra ura tista, ki najbolje odraža gibanje nebesnih sfer, ampak tista, ki teče s takšnim tempom, da veljajo zakoni matematične fizike. Če namreč delamo poskus in preverjamo veljavnost Galilejeve hipoteze, da je prosto padanje v idealnem primeru (ni upora in trenja) enakomerno pospešeno gibanje, s slabo uro, bomo ugotovili, da Galilejeva hipoteza ne drži. To pomeni, da sta čas in prostor medsebojno povezana v pojavu padanja teles. Če določimo enoto razdalje, smo tako posredno tudi že določili enoto časa oz. tempo teka časa. Pri dobri uri je matematični zapisa gibanja telesa preprost.

Dobra ura je po novem tista ura, ki bo pri enakomernih intervalih dala rezultate za gibanje telesa, kot ga napoveduje matematična enačba naravnega zakona. Ura ni več model neba, ampak pojav v naravi, katerega matematični opis spreminjanja je znan, zato ga lahko uporabimo za merjenje časa. Primer takšnega pojava je nihalo. Čeprav je bila definicija enote časa do pred nekaj deset let vezana na astronomske pojave, to ni pomenilo, da je nebo idealna ura, kot je veljalo pred Galilejem. Enota časa je bila definirana z npr. vrtenjem Zemlje, ker je bil to opazljiv naravni pojav, katerega gibanje je bilo po

enačbah najbolj enakomerno, vendar so vrtenju kmalu začeli dodajati tudi teoretske popravke. Galilejevski čas nikakor ni vezan na partikularni pojav, ampak je čas fizikalnega zakona.

Zgodovina definicij merskih enot časa

Seveda se je z razvojem fizike pojavilo vedno več enačb, ki so opisovale časovni razvoj dogajanj v naravi. Ker bi moral biti čas t v vseh enačbah isti, se je kmalu pojavilo vprašanje, kateri pojav vzeti za enoto, da bodo ure, ki ta pojav realizirajo, kar najbolj enostavne in kar se da brez zunanjih motenj, ki v teoretskem modelu pojava niso zaobjete. V bistvu je lahko vsako gibanje, katerega matematični zakon razvoja v času poznamo, dobra ura, če le odstranimo vse s teorijo nepredvidene zunanje vplive. Najti je bilo torej tak pojav, ki ga lahko čimbolj idealno realiziramo. Z novimi fizikalnimi spoznanji in z razvojem tehnike seveda odkrivajo vedno bolj priročne naravne pojave, ki jih lahko uporabijo za definicijo enote časa. Čeprav je sekunda tudi v sodobni fiziki definirana s konkretnim pojavom, to ne pomeni, da je tudi čas sodobne znanosti pripet na neko partikularno gibanje v naravi. Da ni tako, priča tudi iskanje vedno novih definicij sekunde, ki bi kar najbolj verno realizirale čas t iz enačb matematične fizike.

Zgodovinsko je bila enota časa najprej definirana s pomočjo astronomskih gibanj.³² Leta 1820 so Francozi prvi navezali definicijo sekunde na dolžino povprečnega sončnega dneva oz. na vrtenje Zemlje. To gibanje naj bi bilo enakomerno po definiciji, vendar ne brezpogojno, ampak le znotraj meja, kolikor je to gibanje realizacija idealnega vrtenja, kar je bistveno drugače kot v antiki, kjer je bilo vrtenje neba brezpogojno najboljša ura. V začetku 20. stoletja so odkrili fluktuacije v hitrosti vrtenja Zemlje³³, zato so se lotili postavljanja najrazličnejših teoretskih modelov Zemljine dinamike, ki bi jim omogočili, da bi nepravilnosti v izmerjenem vrtenju Zemlje računsko odstranili³⁴.

³² Podrobneje o sami tehniki merjenja časa v: Dolenc, *O merjenju časa*, Proteus, št. 9-10/62, str. 406-417, Ljubljana maj-junij 2000.

³³ Že ob koncu 19. stoletja je *Simon Newcomb* izboljšal natančnost astronomskih meritev do te mere, da je lahko pokazal, kako se na nekaj decimaln natančno izmerjeno število dni, ki se zvrstijo v enem letu, pravzaprav spreminja iz leta v leto.

³⁴ Zaradi neenakomernega vrtenja Zemlje, se astronomi vpeljali več časovnih skal. Če imate točno uro in vsak dan v letu pogledate v nebo, ko vaša ura odbije poldan, boste opazili, da Sonce ni vedno v zenitu, ampak se njegova opoldanska lega skozi leto spreminja za $\pm 4^\circ$. Najvišja lega Sonca in poldne po uri, se lahko razlikujeta tudi za 16 minut. Vzrok tem odstopanjem je nagib osi vrtenja Zemlje glede na ravnino kroženja okrog Sonca in eliptična orbita kroženja Zemlje okoli Sonca (odstopanja opisuje t. i. enačba časa).

To jim je do neke mere uspevalo, dokler niso prišli do meje, ko zunanjih vplivov tudi z vse boljšimi modeli niso več uspeli odstraniti. Na Zemljino vrtenje vplivajo tudi pretakanja in premiki v jedru, česar pa z enačbami niso znali zaobjeti.

Leta 1960 so zato sekundo definirali drugače. Navezali so jo na dolžino leta oz. enega obhoda Zemlje okoli Sonca, ki nima toliko zunanjih motenj kot vrtenje Zemlje, vendar se ta definicija ni prijela, saj je bil interval enega leta predolg in nepraktičen. Zato so že čez sedem let uvedli atomsko definicijo sekunde. Na 13. *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) so sklenili, da je »sekunda trajanje 9,192,631,770 nihajnih časov elektromagnetnega sevanja, ki ga odda atom cezijevega izotopa ¹³³Cs pri prehodu med dvema hiperfinima nivojema osnovnega stanja«³⁵. Atomi so kot oscilatorji veliko bolj zanesljivi kot dinamika vrtenja Zemlje, saj so frekvence, pri katerih sprejemajo in oddajajo elektromagnetno valovanje, trdno določene z zakoni kvantne mehanike, imajo pa tudi mnogo bolj enostavno notranjo strukturo kot je notranjost Zemlje in še lažje jih je opazovati v laboratoriju.

Danes določa uradni čas Zemlje UTC³⁶ mednarodni center za mere in

Do spoznanja, da se dolžina sončnih dni spreminja skozi leto so prišli šele v drugi polovici sedemnajstega stoletja, ko so uspeli mehanizem mehanskih ur na nihalo izpopolniti do te mere, da se odčitki na več enakih urah medsebojno niso razlikovali za več kot 10 sekund na dan. Takrat je mehanska ura prvič premagala sončno uro, vendar le najbolj preprosto izvedbo, saj so kasneje izdelovalci sončnih ur na številčnice dodali popravke zaradi enačbe časa. Časovna skala, ki temelji na legi Sonca, popravljeni za enačbo časa, se imenuje UT0 ali srednji sončev čas. Če dodatno računsko upoštevamo še, da se lega Zemljinega pola rahlo spreminja, dobimo izboljšano skalo UT1, oziroma časovno skalo, kot jo meri ura, ki ima za enoto vrtljaj Zemlje glede na oddaljene zvezde. S še bolj natančnimi merjenji, predvsem s pomočjo takrat novih kremenovih ur, so v skali UT1 še zmeraj odkrili manjša letna nihanja, ki pa so jih uspeli nekako dodatno izravnati. Ti dodatni popravki tvorijo skalo UT2. Nepravilnosti v vrtenju Zemlje znotraj skale UT2 se ne da več predvideti, so naključne, zato časovne skale, ki temelji na vrtenju Zemlje, ne moremo izboljšati pod 60 milisekundno napako v enem letu. Za primerjavo povejmo, da ima današnja uradna časovna skala UTC približno milijonkrat manjšo pričakovano napako.

³⁵ Hiperfini prehod se zgodi, ko zunanji elektron cezijevega atoma preskoči iz enega stanja v drugo, oz. spremeni smer spina. Predstavljamo si ga lahko kot majhno stikalo v atomu, ki se premakne le, če nanj posvetimo s točno določeno barvo svetlobe. Cezijev atom bo zamenjal hiperfini stanji le, če nanj posvetimo z mikrovalovi frekvence 9192631770 Hz. Vsak cezijev atom si lahko zamislimo tudi kot radio, ki sprejema le eno postajo na frekvenci 9192631770 Hz. Ko zazna to postajo, preskoči iz enega hiperfinega stanja v drugo. Naloga atomske ure je, da mikrovalovni generator oz. običajno kremenovo uro, ki niha in proizvaja mikrovalove, čimbolj uskladi s frekvenco hiperfinega prehoda v ceziju. Mikrovalovi atome cezija sprašujejo: »Je frekvenca mikrovalov prava?«, atomi pa odgovarjajo s »toplo« ali »hladno«. Glede na odgovore atomov se frekvenca mikrovalov povečuje ali zmanjšuje.

³⁶ Kratica UTC je okrajšava za univerzalni koordinirani čas, a se ne prevaja, ker je neke vrste kompromis med večni tekmeči Francozi in Angleži. Angleška kratica se bi morala

uteži v Parizu. Tja preko satelitov GPS³⁷ pošilja svoje meritve približno 230 atomskih ur iz 65 različnih laboratorijih po svetu. Tam nato izračunajo povprečje teh meritev po zapletenem algoritmu, ki upošteva, kako dobra je bila posamezna ura pri prejšnjih merjenjih. Ker je ta postopek zamuden, določijo točno časovno skalo UTC šele za nekaj tednov nazaj. Če recimo zdajle registriramo nek dogodek in si zabeležimo koliko kaže ura na sprejemniku GPS, bomo točen čas dogodka izvedeli šele čez nekaj tednov, ko bodo v Parizu izdali popravke k času ur GPS.

Kdo torej vlada času?

Je torej danes Poincaréjeva konvencionalistična teorija merjenja časa še aktualna? Po Poincaréju so vse ure enakovredne oz. enako dobre, za uporabo pa izberemo tisto, s katero so enačbe mehanike najbolj preproste. Bitje srca je za Poincaréja tako načeloma povsem sprejemljiva mera časa, s pomočjo katere dobimo pač zelo zapletene fizikalne zakone. Vendar se Poincaré opira na izbiro, ki je bolj fiktivna kot realna. Če bi mu uspelo pokazati, da je možna tudi alternativna formalizacija narave, ki ni le preprosta matematična transformacija sedaj splošno sprejete fizike, bi imel mogoče še možnost ubraniti tezo, da je izbira formalnega sistema fizike le konvencija.

Z analizo zgodovinskih primerov smo ugotovili, da je definicija sekunde res le konvencija, saj lahko za merjenja časa uporabimo pravzaprav vsak naravni pojav, katerega matematični zakon razvoja v času poznamo. S konvencijo tako vsakih nekaj desetletij izmed vseh takšnih pojavov na konferenci izberejo tistega, katerega meritev je najbolj priročna. Z izbiro pojava, ki naj določa tek časa, pa ne izberemo fizike, ampak nasprotno z izbiro fizike, določimo pojave, ki so primerni za merjenje časa. S konstitucijo sveta galilejevske narave izbira fizikalnih parametrov in količin ne more biti več arbitrarna. Ko je enkrat postavljen formalni sistem, je mogoča le izbira, kje se bo ta formalni sistem pripel na pojavni svet, ne pa, na podlagi katerega pojava bomo naravo formalizirali. Arbitraren ni celotni formalni sistem matematičnih zakonov fizike, ampak zgolj mesto, kjer formalni svet pripnemo na pojavni svet. Kon-

namreč glasiti UCT (Universal Coordinated Time), francoska pa TUC (Temps Universel Coordonné).

³⁷ Global Positioning System (GPS) sestavlja 24 satelitov v 6 orbitalnih ravninah, ki so krožijo tako, da v vsakem trenutku kjerkoli iz Zemljine površine vidimo vsaj 4. Na vsakem satelitu so tri atomske ure. Vsak satelit neprestano oddaja radijski signal z informacijo o točnem času in o svoji legi, kar omogoča sprejemnikom signala, da kjerkoli izračunajo svojo lego in izvejo točen čas. Sistem satelitov GPS se danes uporablja tudi za sinhronizacijo atomskih ur po svetu.

vencijska ni izbira samega formalnega sistema, ampak le pojav, s pomočjo katerega formalni sistem umerimo. Vladarji časa so torej enačbe matematične fizike.

Sašo Dolenc
Filozofska fakulteta
Univerza v Ljubljani

Literatura

- Aristotel, *Fizika*, IV. knjiga, 10.–14. poglavje – 217b29–224a17, (*Čas: bit in bistvo časa*, prevedel V. Kalan), *Phainomena* 21-22/IV, Ljubljana 1997.
- Brague, R., *Du temps chez Platon et Aristote*, PUF, Pariz 1995.
- Clavelin, M., *La philosophie naturelle de Galilée*, (2. izd.), Albin Michel, Pariz 1996.
- Cohen, I. B., *The Birth of a New Physics*, Penguin, Harmondsworth 1985.
- Dolenc, S., »O merjenju časa«, *Proteus*, št. 9-10/62, str. 406–417, Ljubljana, maj-junij 2000.
- Einstein, A., *Einstein's Miraculous Year - Five Papers That Changed the Face of Physics*, Princeton University Press, 1998.
- Evans, J., *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, New York 1998.
- Galilei, G., *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Dover, New York 1914.
- Koyré, A., *Od sklenjenega sveta do neskončnega univerzuma*, Studia humanitatis, Ljubljana 1988.
- Koyré, A., *Études d'histoire de la pensée philosophique*, Gallimard, Pariz 1980.
- Platon, *Timaeus*, (prevod in spremna beseda D. J. Zeyl), Hackett, Indianapolis 2000.
- Poincaré, H. *La valeur de la science*, Flammarion, Pariz ¹1905, 1970.

