

**Lucio Russo, *The Forgotten Revolution, How Science Was Born in 300 BC and Why It Had to Be Reborn, With the Collaboration of the Translator, Silvio Levy, Springer-Verlag, Berlin 2004, 487 str.***

### Uvod

Na sredozemskih obalah je v obdobju od 323 do 144 pr. n. št. prišlo do izrednega razcveta znanosti in tehnologije. Klasična grška kultura se je ob stiku z bogatimi, tehnično razvitimi velikimi orientalskimi civilizacijami oplemenitila v tako imenovani helenizem. Jezik te nove civilizacije je bil grški. Najvažnejši helenistični center je bila Aleksandrija v Egiptu, v kateri je bila slavna knjižnica. Ta ustanova se je pravzaprav imenovala Muzej (Museion), kar je prvotno pomenilo *tempelj Muz*, in je spominjala na sedanje raziskovalne inštitute. Znanstveniki so imeli skupna kosila. Čeprav so nekateri misleci delovali tudi v drugih helenističnih mestih (denimo Arhimed na Siciliji), je večina »študirala«, kot bi rekli danes, v Aleksandriji ali v Atenah, med njimi pa je obstajala korespondenca. Arhimed, ki živel približno med leti 287 in 212 pr. Kr., je imel pisne stike z ravnateljem Muzeja Eratóstenom. Med znanstveniki je očitno obstajala tekmovalnost. Tako je Eratósten imel vzdevek »beta«, kar je druga črka za »alfa«, ker naj bi bil na pomembnih področjih šele drugi najboljši. Vsekakor je tudi ta pozicija, kot bomo videli, zadoščala za neminljivo slavo. V tem obdobju so nastale mnoge tehnične inovacije, kot so mlinska kolesa, Arhimedov vijak za vzdigovanje vode, batne črpalke za vodo. V matematiki, astronomiji, geografiji, anatomiji ... je bilo narejeno mnogo več kot v vseh tisočletjih pred tem.

Matematikov o izrednih dosežkih helenizma ni treba prepričevati. Med družboslovci pa najdemo ljudi, ki zanikajo veličino helenističnih dosežkov in dajejo prednost klasični grški dobi od šestega do četrtega stoletja, ko sta bili znanost in filozofija tesno povezani. Nekateri tlačijo obe omenjeni obdobji in morda še rimski čas v isto vrečo.

Razpravo je ponovno oživila knjiga italijanskega matematičnega fizika in klasičnega filologa Lucia Russa z naslovom: **Pozabljena revolucija: Kako se je znanost rodila tristo let pr. Kr. in zakaj se je morala ponovno roditi.**

Knjigo je v angleščini izdala založba Springer leta 2004 in je dopolnjen prevod knjige *La rivoluzione dimenticata*, ki je prvič izšla leta 1996 in je v Italiji doživela velik uspeh in tri izdaje. Prevedena je tudi v nemščino. Avtor je profesor Oddelka za matematiko na Università di Roma »Tor Vergata«.

Helenistično dobo ta knjiga umešča med letnici 323 pred Kristusom in 415 po njem. Osnovna teza knjige je, da je to obdobje pomenilo, zlasti v svojih prvih dvesto letih, izreden vzpon intelektualne dejavnosti in rojstvo moderne znanosti. Temu lahko, s kakim manjšim pridržkom, pritrldimo in rečemo, da so bili v nedavni preteklosti helenistični dosežki premalo znani in

cenjeni. Druga njena teza je, da je že v rimskem obdobju na znanstvenem področju prišlo do nazadovanja, ki se je kasneje še stopnjevalo. Mnoga dela helenistične dobe so bila pozabljena, izgubljena ali pa jih kasnejši izobraženci niso bili več sposobni razumeti. Kot bomo videli, je to precej resnično, čeprav avtor v dokazovanju nezainteresiranosti in intelektualne inferiornosti Rimljanov na par mestih pretirava. Tretja teza je, da je znanost celo v sedemnajstem stoletju slonela na helenističnih dosežkih. Avtor celo namiguje, da so nekateri renesančni znanstveniki šestnajstega stoletja kot svoje predstavljali ideje iz helenističnih rokopisov, ki so jih skrbno skrivali pred javnostjo. Zame je to najšibkejši in najmanj zanimiv del knjige, saj je to silno težko dokazati. Nedvomno so v sedemnajstem stoletju skrbno študirali stare vire. Konec koncev je slavni matematik Fermat nekatere svoje rezultate napisal na rob knjige *Aritmetika* helenističnega matematika Diofanta. Vendar pa antične ideje večinoma niso bile izhodišče raziskav.

Zaradi ponovnega pregleda originalnih virov prinaša delo mnoga nova spoznanja o tem obdobju in ga upravičeno rehabilitira kot eno najpomembnejših v razvoju znanosti. Knjiga je napisana živahno, polemično in večinoma prepričljivo, včasih pa je nekoliko preveč sugestivna. V Italiji je bila knjiga predlagana za literarno nagrado.

Velika odlika te knjige je slikovni material. Revolucionarna novost helenistične umetnosti je prikazovanje ljudi v gibanju, v usodnih in nenavadnih trenutkih. Morda najbolj znana je Laokoontova skupina, v kateri se družina obupno bori z velikimi kačami. V knjigi je več krasnih primerov takratne umetnosti: mozaik z zelo natančnimi podobami morskih živali, povsem realistične freske, na katerih so že upošteevane osnove perspektive, bronast kip otroka jahača, ki pričara občutek hitrosti in tekmovanja. Skratka, helenistična umetnost je iskala in našla nove izrazne možnosti, ki so nadgrajevale že tako visoko raven klasičnega grškega kiparstva. Imamo tudi slike in talne vzorce, ki uporabljajo optične iluzije, da pričarajo trirazsežnost. Te helenistične vzorce še danes srečujemo v sredozemskih palačah in cerkvah. Osnovni občutek, ki človeka pri tem prevzame, je, da gre za »moderno«  
civilizacijo, s katero se lahko v marsičem identificiramo. Tudi roman je izum helenistične kulture.

Ob branju te knjige bo marsikdo, tako kot sem bil jaz, šokiran ob dejstvu, koliko je v zgodovini znanosti vprašljivih ali celo povsem napačnih interpretacij in kako močno vlogo igra ideologija. Ta knjiga s ponovnim pregledom virov izpostavlja mnoga taka neustrezna tolmačenja (in žal dodaja nekatere vprašljive trditve). Pot do zgodovinske resnice je očitno vijugasta. Zato sem tudi sam na spletu poiskal nekaj originalnih virov ali njihovih prevodov in s tem obogatil tale zapis.

### Družbene razmere

Helenistična doba se začneja s smrtjo Aleksandra Velikega 323 pr. n. št. Aleksander je imel za učitelja slavnega filozofa in znanstvenika Aristotela. Aleksandrov oče Filip Makedonski je bil eden najbolj izobraženih ljudi tistega časa. Tako oče kot sin sta podpirala razvoj znanja in tehnologije, seveda

predvsem vojaške tehnologije. Malokdo ve, da je Aleksander Veliki na svojih pohodih imel s sabo dva merilca razdalj (vemo celo njuni imeni), ki sta tudi za naše pojme zelo dobro določila razdalje med kraji, celo v goratem Afganistanu. Skratka, Aleksander je odlično izkoristil velike dosežke klasične grške dobe. Pripravil pa je tudi razmere za še večji razcvet v obdobju helenizma.

Mesto Aleksandrija, srce helenističnega sveta, je Aleksander ustanovil osem let pred svojo smrtjo. Aleksandrovo dediščino so si razdelili njegovi generali. Nastalo je več kraljevin, ki so segale od Sredozemlja do Črnega morja, Afganistana, današnjega Samarkanda in Indije. Visoko razvite kulture teh držav so imele mnogo sorodnih potez, saj so v njih večinoma vladale grške elite.

Kot prepričljivo pravi na začetku navedena knjiga, je razlog za razcvet helenistične družbe plodno sodelovanje grškega racionalnega mišljenja in razvite tehnologije bogatih in velikih orientalskih gospodarstev. K temu dodajmo državne podpore znanstvenemu in tehnološkemu razvoju ter koncentracijo šol in znanstvenikov v Aleksandriji in v Atenah. V Egiptu je vladar Ptolemaj drugi (283–246 pr. Kr.) na vse načine spodbujal znanost. Kupoval je knjige, plačeval prevajanje tujih del in izdajo novih. Morda je malce pretirana zgodba, da je vsaka ladja, ki je takrat priplula v Aleksandrijo, morala prijaviti vse knjige na krovu. Če jih Kraljeva aleksandrijska knjižnica ni imela, so jih zaplenili in lastnikom vrnili prepise. Vsekakor je ta knjižnica bila za dolgo obdobje daleč največja. Aleksandrija pa je premogla še dve drugi manjši knjižnici, ki sta bili bolj javni in sta hranili kopije besedil velike knjižnice.

Helenistična družba ni bila tako odvisna od suženjskega dela kot rimsko cesarstvo. Poznali so zasebne tovarne s plačanimi delavci. Ohranjeno je računovodstvo bogate hiše v Aleksandriji, v kateri so delali svobodni služabniki in sužnji; oboji so dobivali plačilo v denarju. V tem obdobju so, kot smo že rekli, nastale mnoge tehnične inovacije, kot so mlinska kolesa, Arhimedov vijak za vzdigovanje vode, batne pumpe za vodo. Tudi nekateri drugi helenistični centri, kot npr. Pergamon v Mali Aziji in Sirakuze na Siciliji so uspešno sodelovali in tekmovali z Aleksandrijo na področju znanosti, tehnologije in umetnosti.

Zlata doba helenizma je trajala sorazmerno kratek čas in je vrhunec doživela v tretjem stoletju pr. n. št. Nato so se začeli rimski vojaški pohodi proti helenističnim državam. Leta 212 pr. n. št. so Rimljani osvojili Sirakuze na Siciliji in pri tem ubili slavnega znanstvenika Arhimeda. Drug za drugim so v rimske roke padali tudi drugi helenistični centri. Rimski generali so pogosto zaslužnili grške izobražence, knjižnice pa razprodali ali odpeljali domov. V sami Aleksandriji naj bi okrog leta 144–145 pr. n. št. vladar Ptolemaj VII. pobil ali pregnal večino grške elite v mestu. To je bil tudi konec zlate dobe helenizma. Osnovna znanost pač težko uspeva brez državne podpore.

Velika aleksandrijska knjižnica pri tem menda ni bila prizadeta. Morda so Cezarjeve čete ob zavzetju Aleksandrije leta 48 pr. Kr. po nesreči zažgale del velike knjižnice. Takrat naj bi Aleksandrija štela pol milijona prebivalcev. Zlata doba helenizma je tako trajala manj kot dvesto let. Julij Cezar je

znanje aleksandrijskih astronomov izkoristil vsaj toliko, da so mu pomagali reformirati koledar.

Znanstvena dejavnost je po koncu vojn v stabilnih razmerah rimske države deloma oživila, nato pa s propadanjem imperija počasi zamrla. Zadnji pomembnejši znanstvenik je bil matematik Diofant, ki je živel v Aleksandriji po vsej verjetnosti v tretjem stoletju. Ukvarjal se je z enačbami. Njegovi problemi so bili večkrat zelo originalni in vir navdiha za kasnejše matematike. Zdi se, da so v četrtem stoletju le še prirejali in komentirali stara dela in da od velike kraljeve knjižnice po uporih proti Rimljanom in ponovnih zavzetjih mesta ni ostalo veliko. Samo mesto se je sicer po vsaki katastrofi pobralo. Latinsko pismo pobožnega kristjana iz četrtega stoletja opisuje Aleksandrijo takole: »Prebivalci se združujejo v klike, so nesramni in nasilni. Mesto je bogato, vlada obilje, nihče ne lenari. Eni pihajo steklo, drugi delajo papir iz papirusa, tretji tkejo platno: zdi se, da se vsak ukvarja z neko obrtjo. Ljudje s putiko, pohabljeni, slepi, vsi nekaj delajo. Celo invalidi niso brez posla. Njihov edini bog je denar, ki ga častijo kristjani, Židje in vsi drugi. Ko bi le to mesto imelo boljša moralna načela . . . «

Konec ostankov helenistične znanosti pomeni linčanje aleksandrijske matematičarke Hipatije okrog leta 415.

Po propadu zahodnorimskega cesarstva je nekakšno kontinuiteto vzdrževal Bizanc, ki je tudi ohranil več helenističnih del. Tako je v 6. stoletju Izidor iz Mileta – eden od arhitektov znane cerkve Hagia Sophia – uredil Arhimedova dela.

## Matematika

Poskusimo zdaj predstaviti dejansko fantastičen razvoj matematike v zlati dobi helenizma. Grška inovacija, že pred helenizmom, je bila racionalno preverjanje idej. Najbolj prepričljivo je bilo logično brezhibno dokazovanje raznih geometrijskih trditev. Helenizem je delo svojih predhodnikov kronal z Evklidovimi Elementi, morda najbolj slavnim matematičnim delom vseh časov. Iz kratkega sistema geometrijskih aksiomov ali postulatov so v njih elegantno izpeljani globoki in uporabni rezultati ravninske in prostorske geometrije, pa tudi teorije števil. Evklidove elemente so uporabljali kot učbenik geometrije naslednji dve tisočletji. Prostorsko geometrijo pogosto še danes učimo praktično dobesedno po Evklidu. Deduktivna metoda, promovirana v tem delu, je danes osnova matematike. Popolna abstrakcija geometrije je bila revolucionarna helenistična inovacija. Evklidska geometrija je bila matematični model, ki pa je bil seveda v skladu s fizičnim svetom in so ga ljudje lahko odlično uporabljali za obvladovanje tega sveta.

Pozneje so sicer našli nekaj pomanjkljivosti v Evklidovih izpeljavah, ki pa ne zmanjšujejo veličine dela. Današnjega matematika bolj motijo definicije osnovnih geometrijskih pojmov, ki so po sedanjih merilih nepotrebne. Povrh vsega pa so nekatere meglene in težko razumljive, v nasprotju z veliko jasnostjo večine Evklidovega dela. Primeri: »Točka je tisto, kar je brez delov. Daljica je dolžina brez širine. Ravna črta je črta, ki leži enako glede na točko na njej.« V odkopanem rimskem mestu Herkulane pod Vezuvom

so, kot pravi knjiga, našli papirus z Evklidovo geometrijo brez teh problematičnih definicij. Krog naj bi bil v tem papirusu bolje definiran kot v do sedaj znanih verzijah Evklida. Zanimivo je tudi, da je judovski filozof Filon iz Aleksandrije, ki je živel neposredno pred Kristusom, trdil, da tovrstne definicije sodijo v njegovo področje, se pravi v filozofijo in ne v geometrijo. Obravnavana knjiga zato sklepa, da te definicije izvirajo iz nekega kasneje narejenega priročnika in da so jih prilepili kasnejšim prepisom Evklidovih Elementov.

Kot pove naša knjiga, pa Rimljani in njihovi nasledniki Evklidove geometrije niso prevedli v latinščino vse do petega ali šestega stoletja naše dobe. Prvi popolni latinski prevod je nastal šele v dvanajstem stoletju v Angliji, in to iz arabščine.

Naslednji velik helenistični prispevek h geometriji je obravnava stožnic, se pravi presekov stožca z ravnino. Apolonij iz Perge (približno 262–190 pr. Kr.) je obdelal lastnosti elips, hiperbol in parabol osupljivo popolno. Prav tako je bila razvita sferna geometrija, ki je bila uporabna tako v astronomiji kot pri izdelavi zemljevidov. Zdi se, da Grki niso videli uporabe stožnic v astronomiji; to je zaslutil šele indijski astronom Ariabhata okrog leta 500 naše dobe.

Znani zgodovinar Plutarh (ki je bil Grk in je živel nekako od 50. do 120. leta naše dobe) v eni od svojih knjig pravi: »Hrizip je dejal, da je število sestavljenih izjav, ki jih dobimo iz deset enostavnih izjav, več kot milijon. Hiparh je pokazal, da se moti: takih izjav je 103049.« Hrizip, stoični filozof in logik, ki je živel v tretjem stoletju pr. Kr. v Atenah, je danes skoraj pozabljen, napisal pa je po poročilih drugih več kot sto (izgubljenih) del. Eden kasnejših filozofov se je pritoževal, da težko razume Hrizipova dela. Hiparh je živel stoletje pozneje na otoku Rodosu in je še danes slaven kot astronom in matematik. Prej omenjeno število je bilo uganka zgodovinarjem matematike do leta 1994, ko je podiplomski študent matematike ugotovil, da je to deseto Schröderjevo število. Schröder je bil nemški matematični logik in je ta števila neodvisno odkril okrog leta 1870. Dejansko so v zadnjih letih matematiki ugotovili, da lahko  $n$ -to Schröderjevo število interpretiramo kot število sestav  $n$  različnih izjav, povezanih z »in« ali »ali« in omejenih z oklepaji. Še bolj konkretna je tale predstavitev. Denimo, da imamo šahovsko desko in na njej samo kralja, in to v levem spodnjem vogalu. Označimo diagonalo deske, ki se začne v tem vogalu. Omejimo gibanje kralja, tako da se lahko giblje le desno, navzgor ali desno navzgor in ne nad označeno diagonalo. Koliko je možnih poti kralja do desnega zgornjega vogala deske? Izkaže se, da je to dvakratnik sedmega Schröderjevega števila.

Če bi deska imela  $11 \times 11$  polj, pa bi bilo možnih poti natanko za dvakratnik števila, ki ga navaja Plutarh. Vsekakor Hiparh tega ni mogel izračunati brez precejšnjega znanja kombinatorike. Vidimo torej, da so izgubljeni Hrizipovi in Hiparhovi spisi vsebovali zanimivo in netrivialno matematiko.

Eden največjih helenističnih matematikov je bil Arhimed, ki živel v Sirakuzah na Siciliji. Po vsej verjetnosti je študiral v Aleksandriji. Dopolnil si je z ravnateljem Aleksandrijske knjižnice Eratóstenom. Arhimed je izračunal površino in prostornino krogle, ocenil navzgor in navzdol število

$\pi$ , določil ploščino med parabolo in premico. Zanimivo je ta zadnji Arhimedov prispevek primerjati s tem, kar počnemo danes. Ko Arhimed izračuna ploščino med parabolo in premico, to naredi na povsem neoporečen način tudi z današnjega gledišča. Žal pa je ta način zelo zahteven in ga ni mogoče kar tako uporabiti pri računanju ploščin drugih krivočrtnih likov. Že za samo razumevanje Arhimedove izpeljave ploščine med parabolo in premico si moramo vzeti uro ali dve časa in intenzivno premišljevati. Šele pred kakimi sto leti so našli rokopis z napol izbrisanim Arhimedovim besedilom o računanju prostornine krogle. Izkazalo se je, da je tudi veliki grški matematik do formule za prostornino krogle prišel pravzaprav na bolj nazoren in hiter način, z uravnovešenjem dveh teles na skupni prečki. Ker pa tak fizikalni dokaz za takratne matematike ni bil neoporečen, je dobljeno formulo kasneje dokazal na brezhiben, a mnogo bolj zapleten način. Spet vidimo, da je le malo manjkalo, da bi tak zanimiv del zgodovine izginil za vselej.

## Tehnologija

Priročnik *De architectura* rimskega pisca Vitruvija je bodoče graditelje seznanjal z geometrijo – kolikor je bilo potrebno za merjenje in risanje načrtov – in aritmetiko – za določanje stroškov gradnje. Enako pozornost pa je učbenik posvečal pravu, katerega znanje je bilo potrebno za sestavljanje pogodb in reševanje tožb, povezanih z gradnjo. Vitruvij je obravnaval tudi astronomijo – za izdelavo sončnih ur. Iz astronomije so Rimljani vzeli tudi recepte za določanje nebesnih strani.

Vitruvij opisuje, kako so v rimskih mestih porabo vode zaračunavali glede na premer cevi, ki je dovajala vodo. Russo se zaradi tega norčuje iz Vitruvija, češ da ni razumel, da je pretok odvisen tudi od tlaka. Ampak Rimljani so stremeli k enostavnosti, verjetno tudi pri obračunu vode.

Vitruvij opiše nivelirni instrument, ki so ga Rimljani naredili po grškem vzoru. Šlo je za kakih šest metrov dolg lesen tram, v katerega je bil na sredini izdolben meter in pol dolg kanalček. Na obeh koncih tramu sta bili nabiti pravokotni navpični letvi in ob njih obešeni svinčnici. Bralci Vitruvija so skušali iz kratkega opisa rekonstruirati napravo, saj so originalne slike izginile. Šele pred nedavnim, leta 2004 [1, str. 25–32] je španski geograf in zgodovinar Isaac Moreno Gallo pokazal, da je treba v sredino trama vgraditi os in podpreti le to os. S svinčnicama uravnovesimo tram. Če je vetrovno in svinčnice nihajo, po Vitruviju v kanal vlijemo vodo in lahko z dobljeno vodno tehtnico zelo precizno določimo vodoravnico. Španska rekonstrukcija se je v praktičnem preizkusu zelo dobro izkazala, kar za prejšnje variante ne bi mogli reči. Vitruvij je (resda čisto po nepotrebem) zapisal, da je po Arhimedu površina vode v kanalu sicer sferična in središče te sfere je v središču zemeljske krogle, a v praksi to ni pomembno:

»Necesse est enim quacumque aqua sit infusa in medio inflationem curvaturamque habere, sed capita dextra ac sinistra inter se librata esse.«

Russo je to Vitruvijevo opombo napačno in skoraj zlonamerno prevedel. Naj citiram angleško verzijo Russa:

»It is necessary that the place where the water is poured in should have a bulge or curvature in the middle, yet the heads of the left and right water columns should be level against one another.«

In na podlagi te interpretacije se je spet norčeval iz rimskega arhitekta. Pravi prevod bi bil nekako takle:

»Namreč: ne glede na to, kakšno izbočenost ali ukrivljenost ima nalita voda v sredino (trama?, opomba P. Legiša), morata biti nivoja vode na levi in desni uravnovešena.«

Gallo je tu pokazal boljše znanje in dal korekten prevod. Gallo tudi pravi, da so rimski inženirji delali neprimerno daljše akvadukte z mnogo manjšimi nakloni kot njihovi učitelji Grki.

Aleksandrija je imela napreden vodovodni sistem. Voda iz Nila se je najprej v velikih podzemnih bazenih očistila usedlin. Veliki svetilnik Fáros je bil visok okrog 93 metrov, uporabljal je vbočena zrcala za usmerjanje svetlobe, ki je po zgodovinarju Jožefu Flaviju bila vidna 300 stadijev, tj. okrog 50 kilometrov daleč. To se sklada z največjim možnim dosegom svetlobe zaradi ukrivljenosti Zemlje in celo daje možnost za oceno polmera Zemlje. Glavno stavbo svetilnika so uničili šele potresi v štirinajstem stoletju, tako da je zdržala več kot tisočletje in pol. Arabski osvajalci so v sedmem stoletju našli mesto, ki je po poročilih imelo štiristo gledališč in podobnih zabavišč in štiri tisoč javnih kopaljšč.

Tudi druga helenistična mesta so se lahko pohvalila z vrhunsko tehnično infrastrukturo. Akvedukt v Pergamonu v Mali Aziji je z zacementiranimi svinčenimi cevmi po principu vezne posode peljal vodo dvesto metrov višinske razlike navzdol in nato navzgor. Tlak na dnu akvedukta je znašal 20 barov! Pravi dosežek je bil, da je sistem to sploh vzdržal. Kot sem sam videl v Pompejih, so bili namreč taki vodovodi sestavljeni iz kratkih svinčenih cevi in so torej imeli množico spojev.

V začetku dvajsetega stoletja so zraven grškega otočka Antikitera, med Peloponezom in Kreto, našli ostanke ladje iz helenističnega obdobja in v njej nekakšen urni mehanizem. Pozneje je Jacques Cousteau odkril v razbitinah kovance, izdelane v Pergamonu v Mali Aziji v letu 86 pr. Kr. Rekonstrukcija je pokazala, da gre za zelo zapleten mehanizem, sestavljen iz več kot trideset zobatih koles. Grški napis s približno dva tisoč znaki je potrdil, da gre za mehanični računalnik, s katerim je bilo mogoče prikazati gibanje nebesnih teles. Iz skoraj v celoti prebranega napisa zdaj sklepajo, da je bil mehanizem povezan z mestom Korint ali s Sirakuzami na Siciliji, ki so bile korintska kolonija. Najdba je bila prvovrstno presenečenje. Znano je bilo sicer, da je astronomija v tem času dosegla izredne rezultate. Obstajala so poročila, da je veliki helenistični znanstvenik Arhimed iz Sirakuz izdelal dva sorodna mehanizma, ki so ju rimski zavojevalci odnesli s seboj. Nihče pa ni pričakoval take zapletenosti in miniaturizacije. Mehanizem je bil primerljiv z evropskimi izdelki iz 18. stoletja. Helenistična tehnika je nedvomno dosegla izredno visok nivo.

Na podlagi te najdbe so končno rekonstruirali tudi Arhimedov *odometer*, to je pripravo, ki je štel obrate kolesa na vozu, tako kot današnji števec kilometrov. To je neuspešno poskušal že Leonardo da Vinci.

Verjetno bo za marsikoga presenečenje, da je Heron iz Aleksandrije opisal

prvi stroj, ki ga je poganjala para. Prav tako imamo iz tega obdobja številne kovinske in lesene pumpe za črpanje vode. Izdelava takih črpalk in njihovih ventilov zahteva veliko natančnost in mnogo tehničnega znanja. Našli so tudi ostanke krogličnih in koničnih ležajev iz helenističnega obdobja.

Eden od vzrokov za podpiranje znanosti in tehnologije v helenističnih državah je bil vojaške narave. Znanstvenike in inženirje so vladarji potrebovali za izdelavo vojaške mehanizacije. To se je začelo že pred helenistično dobo. Grki so bili izumitelji najprej velikih samostrelov, nato metalcev kamnov. Ta razvoj se je začel okrog leta 400 pr. n. št. v Sirakuzah na Siciliji po naročilu tamkajšnjega vladarja. Med največjimi podporniki konstruktorjev teh strojev sta bila Filip Makedonski in njegov sin Aleksander Veliki. Helenistični inženirji so poskušali za katapulte uporabljati tudi bronaste vzmeti ali stisnjen zrak, vendar se to ni obneslo.

Mlinska kolesa, ki naj bi jih prvi opisal helenistični matematik Apolonij iz Perge, so Rimljani ponekod združili v cele tovarne. Prav tako so za vzdigovanje vode in namakanje uporabljali Arhimedov vijak. Iz helenističnega obdobja po vsej verjetnosti izvirajo tudi egiptovska in perzijska kolesa za vzdigovanje vode, ki jih je preko zobniškega mehanizma poganjala živina.

Marsikaj o helenistični znanosti in tehnologiji vemo danes iz ohranjenih del rimskih piscev Plinija in Seneke. Plinij je občudoval helenistične dosežke, čeprav jih ni vselej razumel. To je razumljivo, saj je bila helenistična znanost že močno specializirana. Bolj problematično je bilo dejstvo, da Rimljani tudi sicer pogosto sami niso imeli ljudi, ki bi obvladali in razvijali posamezna znanstvena področja. Deloma je to veljalo celo za tehniko. Rimski filozof Seneka pravi po citatu v tej knjigi: »Dobro znano je, da so nekatere stvari iznašli nedavno, npr. okna, ki prepuščajo svetlobo skozi prosojno steklo, vzdignjene pipe za kopalnice ali cevi, skrite v zidu, ki enakomerno razdeljujejo toploto navzdol in navzgor. Vse to so izumi navadnih sužnjev. Modrost ima svoj prestol višje in ne uči rok, ampak duha.«

Skratka, po Seneki so bili izredni tehnološki izumi, kot so steklena okna, vodovodna napeljava in centralna kurjava, delo sužnjev. Seneka je gledal zviška na tovrstno dejavnost, boljše mnenje pa je imel o znanosti. Zgodovinarji tudi sicer pravijo, da so Rimljani za intelektualna in inženirska dela pogosto uporabljali »zunanje izvajalce«, ki so bili pogosto grško govoreči sužnji. Vsekakor rimski odnos do znanosti potrjuje tezo ekonomistov, da obilje poceni delovne sile ni stimulatívno za inovacije.

## Geografija

V helenističnem času so za opis lege vpeljali zemljepisno dolžino in širino. Okrog leta 300 pr. n. št. je geograf Dicearh, Aristotelov učenec, določil kraje z enako zemljepisno širino, od Gibraltarja do Perzije. Grška beseda za zemljepisno širino je »klima«, kar originalno pomeni »naklon«. Ker je zemljepisna širina seveda povezana s podnebjem, smo to besedo privzeli kot sinonim za podnebje. Zemljepisno širino je sorazmerno lahko določiti.

Eratósten, ravnatelj aleksandrijskega Muzeja, je okrog leta 240 pr. Kr. določil tudi obseg Zemlje. Njegovo delo: »O merjenju Zemlje« je izgubljeno.



Poznamo le kratek opis rezultatov, ki ga je napisal astronom Kleoméd, in podoben opis rimskega zgodovinarja Plinija. Pravzaprav v modernih jezikih najdemo večinoma površne povzetke teh povzetkov, manjkajoče pa je začinjeno z raznimi ugibanji. Navadno beremo v učbenikih nekaj takega:

Eratósten je izvedel, da na določen dan v letu Sonce opoldne obsije dno vodnjakov v Sieni (današnjem Asuanu), ki leži približno južno od Aleksandrije. Na ta dan je Eratósten v Aleksandriji izmeril, da opoldne sončni žarki oklepajo z navpičnico kot, ki je enak eni petdesetini polnega kota. (Ta kot je razlika v zemljepisni širini obeh krajev.) Obseg Zemlje je torej razdalja od Asuana do Aleksandrije, pomnožena s 50. Od tod je Eratósten za obseg Zemlje dobil 252 tisoč stadijev. Točna dolžina stadija je predmet razprav, tako da se Eratóstenov rezultat razlikuje za en odstotek do dvajset odstotkov od prave vrednosti. Razdaljo od Asuana do Aleksandrije naj bi Eratósten ocenil iz števila dni, ki jih ladje na Nilu ali karavane s kamelami potrebujejo za to pot. Spet drugi mislijo, da so razdaljo med obema mestoma merili s koraki. To je verjetno bližje resnici, saj je tovrstno merjenje bila takrat uveljavljena praksa in se je dobro obneslo. Kakorkoli, po mnenju mnogih naj bi bila omenjena natančnost srečno naključje. Najdemo celo trditev, ki jo je bogat Američan objavil v recenzirani reviji za zgodovino znanosti, da si je Eratósten vse to izmislil in je polmer Zemlje ocenil iz dosega svetlobe svetilnika Farosa. Vsi pa priznavajo Eratóstenu genialno idejo.

Lucio Russo pravi, da je Eratóstenov popularizator Kleoméd dobesedno napisal:

»Eratóstenova metoda je težka . . . Njegova metoda bo postala jasnejša, če si dovolimo dve predpostavki: Prva je, da Aleksandrija in Siena ležita na istem meridianu . . .«

V literaturi pa, kot smo rekli, skoraj brez izjeme najdemo takole interpretacijo istega odstavka:

»Eratósten je predpostavil, da Aleksandrija in Siena ležita na istem poldnevniku.«

Ta knjiga navaja še naslednje: »Kleoméd piše, da so ob poletnem solsticiju (enakonočju) ugotovili, da navpične palice ne mečejo sence v pasu 300 stadijev (se pravi kakih 50 kilometrov) okrog povratnika. (Siena namreč leži nekoliko severno od povratnika.) Rimski zgodovinar Plinij starejši pravi, da so vodnjak, katerega dno je sonce osvetlilo ob enakonočju, izkopal prav v ta namen. Marciján Kapéla, rimski pisec iz 5. stoletja, pove, da je Eratósten uporabil podatke kraljevih merilcev.«

Že v faraonskih časih so namreč zaradi pobiranja davkov stalno merili zemljišča, ki so jih poplave reke Nil spreminjale in brisale mejnike. Omenili smo Arhimedov števec obratov kolesa, ki je tudi Rimljanom rabil za postavljanje miljnikov na cestah. Kot smo že rekli, sta si Arhimed in Eratósten dopisovala.

Iz vsega tega vidimo, da je Eratóstenov podatek o obsegu Zemlje narejen na podlagi skrbno izvedenih meritev in računov – tako kot je značilno za znanost.

Kako je mogoče, da namesto dejstev prevladajo površna ugibanja? Malokdo se je pripravil na poglobitvi v originalna besedila, v katerih je poleg

znanstvenih biserov lahko tudi veliko zgrešenega, mitologije ... Iz časov učenja latinščine vem, da je prevajanje rimskih besedil večkrat frustrirajoče. Tudi če poznaš pomen vseh besed in obvladaš slovnico, si pogosto daleč od razumevanja besedila. Antični pisci so pogosto pisali zelo strnjeno. Jasen in enostaven stil, kot ga najdemo recimo v knjigah Julija Cezarja, je bolj izjema. Mimogrede, pri šolskih nalogah iz latinščine se je ne samo enkrat zgodilo, da je profesor v zvezku popravil moj prevod, nato pa pri skupni popravi na tabli napisal tako kot jaz. Prevodi žal niso enolično določeni in pogosto obstaja več možnosti. Zato so izdaje starih besedil večinoma opremljene s komentarji. Pri starogrških besedilih so problemi še hujši, saj imajo mnoge grške besede več pomenov. Prav tako, kot pravijo bolj poučeni, Grki za matematične in druge strokovne izraze v glavnem niso izumljali novih terminov, ampak so zanje uporabljali besede običajnega jezika, kar hitro privede do dvoumnosti. Tudi skrbni zgodovinarji znanosti se pretežno naslanjajo na že narejene prevode v moderne jezike, ki so jih večinoma delali humanisti.

Eratósten je napravil zemljevid celotnega takrat poznane sveta – od Kanarskih otokov do Šri Lanke. Čeprav ni ohranjen, so ga iz nekaterih opisov rekonstruirali in kar dobro podaja Sredozemlje, medtem ko so bolj obrobna območja, kot južni del Afrike, Britansko otočje, Azija ... precej deformirana.

Mimogrede, v šoli so nas včasih učili, da je srednjeveški krščanski svet imel Zemljo za ploščo. Ta trditev je mit. Osnova zanj je potvorba, nastala v začetku devetnajstega stoletja, v romanu ameriškega pisatelja Washingtona Irvinga *Življenje in potovanje Krištofa Kolumba*. Po protestantu Irvingu naj bi bil Kolumbov namen, da reakcionarni katoliški hierarhiji dokaže, da je Zemlja okrogla. Pozneje so to zgodbo pograbili, jo do nespoznavnosti napihnil in razširjali tisti, ki so imeli iz ideoloških razlogov interes predstaviti srednji vek kot mračno obdobje. V ZDA je ta izmišljotina menda še danes v nekaterih učbenikih.

Sporen je bil tudi polmer Zemlje. Krištof Kolumb je vzel podatke aleksandrijskega astronoma Klavdija Ptolemaja, ki je štiri stoletja po Eratóstenu precej zmanjšal njegov obseg Zemlje. Kolumb je sam napačno interpretiral dolžinsko enoto v zelo dobrih meritvah islamskih znanstvenikov in strahovito podcenil razdaljo do Japonske, kamor je želel priti po zahodni poti. Geografi na španskem in portugalskem dvoru so Kolumba opozarjali, da bo taka pot do Japonske mnogo daljša.

## Nazadovanje, dekadenca in propad

Po manj kot dve stoletji trajajočem izrednem razcvetu je helenistična znanost doživela žalostno usodo. Rimski vojaški stroj je zmlel helenistične države. Usahnile so državne podpore, nujne za razvoj osnovne znanosti; v Aleksandriji je prišlo celo do preganjanja znanstvene in kulturne elite. Delnim oživitvam raziskovalne dejavnosti so sledile katastrofe: vojne in spopadi, požari v knjižnicah. Maloštevilne kopije pomembnih del so tako za vselej izginile, prav tako redki strokovnjaki, ki bi lahko učili mlajše. Raven znanja je padla

in tudi izobraženci so imeli težave z razumevanjem nekaterih težkih teorij, ki so zahtevale mnogo študija in predznanja. Zato so se spet obrnili nazaj k Platonu in Aristotelu, čeprav je bil slednji ponekod že presežen. Nekatera bolj sofisticirana znanstvena dela iz zlate dobe helenizma so utonila v pozabo in večinoma tudi fizično izginila, ostali so le bežni zapisi.

Škodo znanosti je naredila tudi takrat popularna **skeptična filozofija**, ki je dvomila o tem, ali lahko najdemo resnico. Ta filozofija je znova postala bolj radikalna ob dekadenci rimskega cesarstva. Filozof Sekst Empirik, ki je deloval v drugem ali tretjem stoletju, pravi v bistvu tole: »Skeptik se ne bo strinjal s trditvijo, pa čeprav v njej ne more najti napake.« Citirajmo:

»Če nam nekdo predlaga teorijo, ki je ne moremo zavriniti, mu rečemo: Tako kot pred rojstvom ustanovitelja šole, ki ji pripadaš, teorija te šole še ni bila videti kot trdna teorija . . . , je prav tako mogoče, da nova, tvoji nasprotna teorija, nam še ni očitna, zato tvoji teoriji zdaj ne moremo pritrditi, čeprav je ta hip videti dobra.«

Skeptiki so kot namen svoje filozofije predstavljali duševni mir posameznika, ki se mu ni treba opredeljevati. Nekateri vidijo v antičnem skepticizmu zametke modernega liberalizma. Citirana stališča pa so cinična in brezobzirna. Sekst Empirik je napisal knjige: *Proti logikom*, *Proti fizikom*, *Proti matematikom*, *Proti slovníčarjem*, *Proti etikom* itd. V spisu *Proti logikom* pravi približno tole:

»Tisti, ki trdijo zase, da so sposobni razsojati o resnici, morajo imeti kriterij za resnico. Ta kriterij je bodisi brez potrditve ali pa ga je nekdo potrdil. Če je brez potrditve, od kod vemo, da je ta kriterij vreden zaupanja? . . . In če je kriterij nekdo potrdil, smo spet pri istem vprašanju: ali ima ta človek razlog za to ali pa ga nima? In tako naprej *ad infinitum* (v neskončnost)!«

V filozofskih krogih najdemo še danes mnenje, da sta Platon in Aristotel višek antične znanosti in da je po teh dveh velikanih prišlo do stagnacije. V helenističnem obdobju se je znanost osamosvojila od filozofije, kar verjetno nekaterim filozofom ni všeč. V srednjeveški Evropi in renesansi so šli še dlje: Aristotela in Klavdija Ptolemaja so povzdignili v nekakšni nezmotljivi božanstvi. To je v sedemnajstem in osemnajstem stoletju privedlo do nesorazmernega nasprotnega udara: antične naravoslovne dosežke so bolj ali manj pometli v staro šaro in z nekaj redkimi izjemami izbrisali spomin nanje. Russo se upravičeno pritožuje, da je njegov rojak Leonardo da Vinci danes univerzalno sprejet kot genij, ne omenjajo pa, da njegove skice ilustrirajo tudi helenistične izume in ideje njegovih sodobnikov.

Ta zapis sloni na besedilih, ki sem jih pred nekaj leti pripravil za Radio Slovenija.

## REFERENCES

- [1] I. M. Gallo, *Roman Surveying* (prevod prispevka z evropskega kongresa o rimskih javnih delih v Tarragoni, 2004), dostopno na: <http://www.traianvs.net/pdfs/surveying.pdf>, ogled: 6. 4. 2017.

Peter Legiša