Znanost pri starih Grkih

Andrej Likar

Antična Grčija je po mnenju mnogih zibelka današnje znanosti. Pri tem pozabljajo, da je pred njo obstajal stari Egipt s večtisočletno zgodovino, ki je izkristalizirala marsikatero spoznanje o svetu. Znameniti Heronovi formuli, ki povezuje ploščino trikotnika z dolžinami njegovih stranic, je Heron dal le ime. Poznali so jo že Egipčani, za njimi pa Arhimed, dvesto let pred Heronom. Žal se o znanosti v starem Egiptu malo ve, ker se je ohranilo le malo tovrstnih zapisov. Na plodnem humusu preteklih tisočletij so stari Grki razvijali antično znanost v smeri, kot jo razumemo danes. Seveda je bilo eksperimentiranje v naravoslovju povsem zanemarjeno, kar spričo nizke stopnje takratne tehnologije ni presenetljivo. Do znanstvenih dognanj so se prebijali z logičnim razmišljanjem in grobim opazovanjem pojavov. Zato sta cveteli geometrija, kjer ni treba eksperimentirati, in astronomija, kjer so se zadovoljili s kvalitativnim opazovanjem pojavov na nebu.

V tem sestavku ne želimo podati celovitega prikaza antične znanosti. Mnogo predstav grških mislecev o svetu je bilo napačnih in jih, čeprav so same po sebi zanimive, ne bomo omenjali. Pregledali bomo njihove dosežke z današnjega stališča in omenili le tiste, ki v celoti ali le v grobih potezah veljajo še danes. Skalarno bomo torej vektor našega znanja pomnožili z njihovim in opozorili na področja, kjer je ta produkt znaten. Tako bomo na primer pri naravoslovju le bežno omenjali Aristotela, ki je sicer imel velik znanstveni vpliv v svojem času. Z velikim opusom je ustvaril dokaj koherentno sliko sveta, nasprotoval pa je uporabi matematike v naravoslovju. Večina njegovih fizikalnih trditev je v nasprotju z današnjimi pogledi.
Najprej se pomudimo pri **Aristarhu s Samosa** (320-250 pred našim štetjem) in njegovo heliocentrično razlago sveta. Pred njim in tudi dolga stoletja po njem je prevladovala geocentrična slika - Zemlja je okrogla, okrog njenega središča se vrti vse ostalo na nebu. To je pripravno, vsem razumljivo in obenem udobno stališče. A logično povezovanje opažanj dogajanj na nebu je pripeljalo Aristarha do heliocentrične slike. Aristarhu gre vse občudovanje, saj je prvič prišel do smiselnih numeričnih ocen za razdalje Zemlje od Sonca, Lune od Zemlje in velikosti Lune in Sonca glede na Zemljo.
Iz opazovanja Sončevih mrkov vemo, da sta zorna kota φ Sonca in Lune, kot ju vidimo z Zemlje, skoraj enaka, to je 0,5 stopinje ali $8{,}710^{-3}$ radiana. Iz opazovanja Luninih mrkov pa je razmerje polmerov Zemlje in Lune enako 2. Luna namreč pri mrku zaide v Zemljino senco in po času, ki ga prebije v njej, sklepamo na njeno velikost glede na Zemljo. Za razdaljo med Zemljo in Luno s_L tako velja

$$\frac{2r_L}{s_L} = \varphi$$

iz tega pa sledi

$$\frac{s_L}{r_L} = 29$$

Luna je torej po Aristarhu za 29 Zemljinih polmerov oddaljena od Zemlje. Danes vemo, da je pravo razmerje okrog 60. Tudi za določitev razdalje Zemlje od Sonca je Aristarh našel bistro rešitev. Iz opazovanja Luninih men vemo, da je Luna od mlaja naprej vse bolj osvetljena.
Aristarh se je osredotočil na dva trenutka,

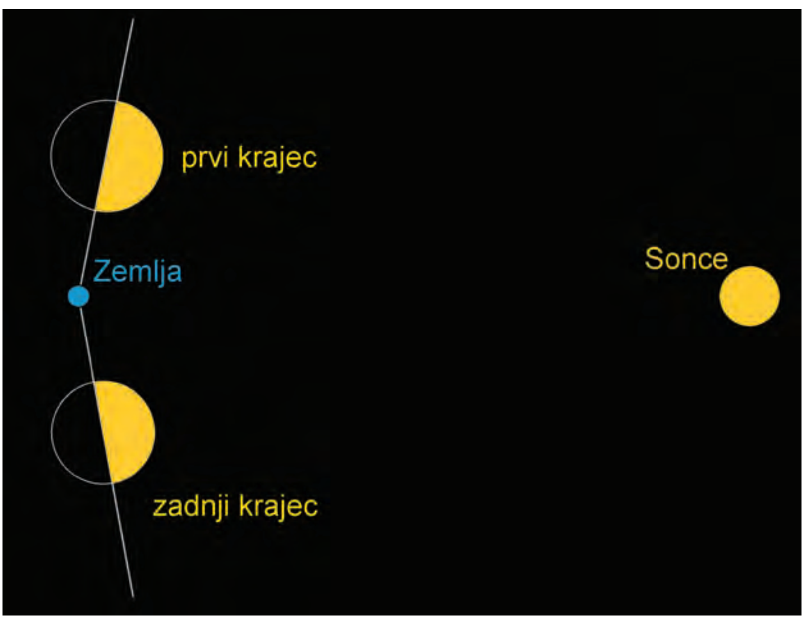
ko je Luna, videti z Zemlje, ravno na pol obsijana, torej ko vidimo prvi in drugi krajec.

Pri kroženju Lune okrog Zemlje se to zgodi dvakrat (slika 1). Če je torej Sonce zelo daleč od Zemlje, je razlika časov, ko vidimo prvi oziroma drugi krajec, zelo majhna. Prav to je Aristarh opazil. Privzel je očitno dejstvo, da je Luna svetla, ker jo osvetljuje Sonce. Sonce je torej izredno daleč od Zemlje. Da bi dobil spodnjo mejo te razdalje, je privzel, da je razlika med časoma en dan, a mu je bilo povsem jasno, da je razlika dosti manjša, danes vemo, da znaša najmanjša razlika približno eno uro. Za časa Aristarha se tega seveda ni dalo izmeriti, še manj pa izmeriti ostri kot v trikotniku, ki ga določajo Zemlja, Luna in Sonce v trenutku polovične obsijanosti. In že spodnja meja, ki jo je dobil Aristarh, je bila izredno velika: $s_S = 560\ r_Z$ (prava vrednost je $23450\ r_Z$). Sonce je torej strašno daleč in je zato tudi zelo veliko. Zemlja po vsej logiki torej mora krožiti okrog njega, ne pa obratno, kot se to sicer vidi z Zemlje. Gibanje planetov, gledano z Zemlje, je zato zapleteno, včasih se planeti navidezno ustavijo in se nato začnejo gibati v nasprotno smer.

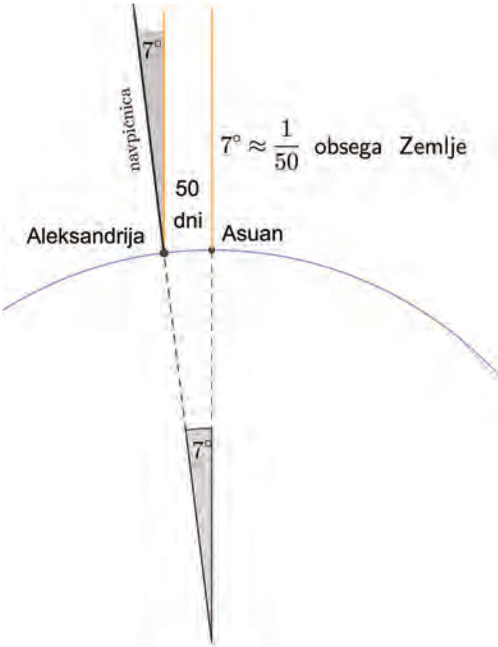
Predvsem velika razdalja od Zemlje do Sonca je bila tako prvič poudarjena. V starem Egiptu so menili, da je Sonce opoldne le nekaj lučajev nad nami.

Aristarh je torej podal pravo naravo Osončja. Zakaj se ni takoj uveljavila, zakaj je bilo treba čakati skoraj dve tisočletji, da smo jo sprejeli? Vsaka novost pride na dan s cenovnim listkom. Cena novega pogleda na Osončje je bila previsoka: terjala je degradacijo Zemlje kot nekaj izjemnega in jo uvrstila med planete. Pustila jo je plavati v prostoru tako kot Luno, čeprav je veliko večja od Lune. Aristarh je središče sveta premaknil v Sonce in s tem odvzel Zemlji njeno dostojanstvo. Nova slika se je tako zelo križala z antičnimi, pa tudi srednjeveškimi predstavami o svetu, da je bila žaljiva in seveda bogokletna. Le zaradi velike strpnosti starogrške družbe se je Aristarh izognil obsodbi zaradi svojih prevratniških pogledov na svet. Sokrat je ni odnesel tako poceni.

Eratosten iz Kirene (276-196 pred našim štetjem) je tem relativnim razdaljam dal



Slika 1: Zemlja (modra krogla), Sonce (rumena krogla) in Luna v dveh »razpolovljenih« legah (rumeno-črni krogli). Telesa niso risana v merilu. Od prvega do zadnjega krajca poteče več časa kot od zadnjega krajca do prvega. Časa sta skoraj enaka, če je Sonce zelo daleč.



Slika 2: Eratostenova razlaga različnih kotov, pod katerima vidimo Sonce v Aleksandriji in Asuanu. S privzemom, da je Sonce zelo daleč in so njegovi žarki vzporedni, je razliko pripisal ukrivljenosti Zemeljinega površja.

merilo, ko je ugotovil premer Zemlje. Zasledil je zanimivo podrobnost, da je v Asuanu (tedanji Sieni) globok vodnjak, kamor posije Sonce v njegovo dno le en ali dva dni v letu. Takrat je Sonce v zenitu, ravno takrat pa v Aleksandriji ne sveti navpično, temveč je odklonjeno od navpičnice. Ker je vedel, da je Sonce izredno daleč, je pravilno sklepal, da je odklon posledica ukrivljenosti Zemljine površine. S slike 2 razberemo, da je razdalja od Asuana do Aleksandrije 1/50 Zemljinega obsega. Karavana, ki to razdaljo (osemsto kilometrov) prehodi v petdesetih dneh, bi potrebovala za pot okoli sveta celih sedem let. S tem so stari Grki dobili vtis o razsežnosti našega planeta.

Eratostena je vsekakor treba omeniti tudi v zvezi s praštevili. *Praštevila* so tista naravna števila, ki imajo natanko dva delitelja: 1 in sebe. Naravna števila, večja kot 1, ki niso praštevila, so *sestavljena števila*. Vsako sestavljeno število se da zapisati kot zmnožek nekaterih praštevil. Število 1 ni praštevilo, ker ima samo en delitelj, to je 1. Število 2 je praštevilo, ker je deljivo z 1 in 2. Število 2 je edino sodo praštevilo. Ostala praštevila so liha. Eratosten je iznašel postopek, kako sistematično najti vsa zaporedna praštevila. Zapisal je po vrsti vsa naravna števila od 1 do nekega večjega števila po lastni izbiri. Nato je prečrtal 1, ki ni praštevilo. Število 2 je pustil pri miru, nato pa prečrtal vse ostale dvakratnike. Število 3 ni bilo prečrtano, pustil ga je pri miru in nato prečrtal vse ostale trikratnike, četudi je bil kakšen od njih že prečrtan v prvi rundi, na primer 6. Vrnil se je na začetek in opazil, da število 5 še ni prečrtano. Ni ga prečrtal, pač pa je prečrtal vse ostale petkratnike. Ta postopek je nadaljeval in nazadnje so na seznamu ostala neprečrtana samo praštevila 2, 3, 5, 7, 11, … Na ta način je Eratosten naravna števila presejal, tako da so na rešetu od prvotnega seznama ostala samo praštevila. Zato temu postopku rečemo *Eratostenovo rešeto (sito)*.

Arhimed (287-212 pred našim štetjem) je dal ime zakonu o vzgonu v tekočinah, ki velja še danes. Na zakon naj bi ga napeljala praktična naloga o sestavi kraljeve krone. Krona naj bi bila iz čistega zlata, Arhimed pa naj bi to potrdil ali ovrgel. Legenda pove, da je na odrešilno misel prišel pri kopanju v kadi, do vrha napolnjeni z vodo. Ko je zlezel v kad, je nekaj vode odteklo, prav toliko, kolikor jo je njegovo telo izpodrinilo. Telo je postalo v vodi lažje za težo prav te odtekle vode. V mislih je postavil kad in sebe na tehtnico, ki se ne sme premakniti, če na tehtnici nič ne odvzamemo ali nič ne dodamo. S tehtanjem krone in enako težkega kosa zlata, potopljenih v vodi, je lahko rešil zastavljeno nalogo o kraljevi kroni. Merjenje prostornine izpodrinjene vode in določanje gostote krone bi bilo namreč precej nerodno in nenatančno. Razložil je delovanje vzvodov in vpeljal pojem težišča, kar velja še danes. Kot matematik se je ukvarjal z lastnostmi krogel in valjev, s ploščino odseka parabole in z geometrijsko optiko. Z določanjem težišč in računanjem ploščin likov se je nekoliko približal infinitezimalnemu računu. Krogu je včrtaval in očrtaval pravilne večkotnike in z določanjem njihovih obsegov izračunal zgornjo in spodnjo mejo za število π. S podvojitvami stranic je od dveh enakostraničnih trikotnikov prišel do dveh 96-stranih pravilnih mnogokotnikov in podal oceno:

$$223/71 < \pi < 22/7$$

Zgornjo mejo 22/7 še danes navajajo kot najpreprostejši, a vseeno dovolj natančen približek za število π. Razlika med obema vrednostma je le 0,4 promila.

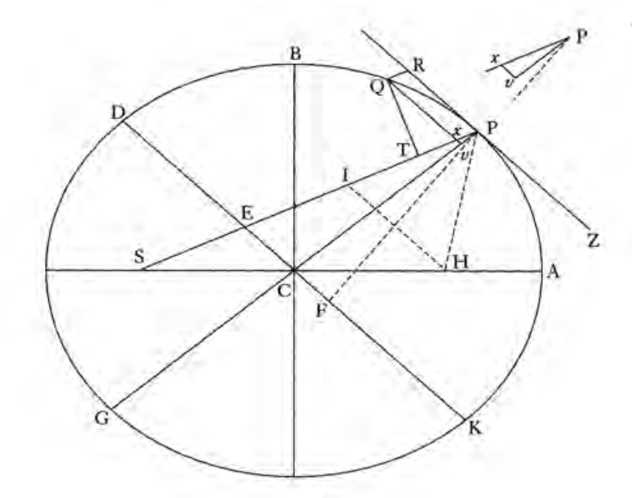
Zavidljivo raven so stari Grki dosegli v geometriji. Danes je na široko znan **Pitagora** (582-497 pred našim štetjem) zaradi Pitagorovega izreka o pravokotnih trikotnikih, ki ga pripisujemo njemu. Dejstvo je, da so izrek poznali in uporabljali precej pred njim Babilonci in Indijci. Nekateri opravičujejo poimenovanje zato, ker naj bi ga prvi dokazal, kar pa zagotovo ne drži. Tudi druge trditve po vsej verjetnosti niso njegove, na primer trditev o povezavi dolžine enako napetih strun z njihovo frekvenco nihanja. Osnovno središče vsega mu je bilo število. Pozneje so mlajši pitagorejci razširili to misel na področja zunaj matematike.

V ptolemajskem času je vodilno vlogo v matematiki odigral **Evklid** (323-383 pred našim štetjem). V *Elementih* je zbral dotedanje znanje iz matematike, posebej geometrije, in ga predstavil tako temeljito, da so bili *Elementi* temeljni učbenik vse do poznega devetnajstega stoletja, torej več kot dva tisoč let. Iz postavljenih definicij in aksiomov, to je trditev, ki jih ne dokazujemo, je s strogim logičnim sklepanjem dokazoval trditve, izreke in njihove posledice. Njegov način dokazovanja je dediščina, ki ima tudi danes v matematiki pomembno vlogo. Poleg geometrije je v *Elementih* obravnaval tudi teorijo števil. Posebej je znan po dokazu, da ni največjega praštevila. Evklidov aksiom o vzporednici, za katerega so že njegovi sodobniki sumili, da ni aksiom, ampak trditev, ki se jo da dokazati s ostalimi aksiomi, je matematike zaposloval še dolga obdobja. Nazadnje pa so ugotovili, da njegova izločitev ali negacija prinaša nove, neevklidske geometrije.

Stari Grki so poznali 5 pravilnih teles, ki jih imenujemo tudi *platonska telesa*: tetraeder, kocka, oktaeder, ikozaeder in dodekaeder. Vsako tako telo posebej je omejeno s skladnimi pravilnimi večkotniki iste vrste. Arhimed pa je odkril *arhimedska telesa*, ki so prav tako omejena s skladnimi pravilnimi večkotniki, toda ne iste vrste. Primer: prisekani ikozaeder je arhimedsko telo, ki je omejeno z 12 skladnimi petkotniki in 20 šestkotniki. S platonskimi telesi je Johannes Kepler (1571-1630) skušal neuspešno razložiti Osončje. Platonska in arhimedska telesa so konveksna in jih odlikuje cela paleta simetrij.

Apolonija iz Perge (261-190 pred našim štetjem) moramo omeniti predvsem zaradi njegovega temeljnega dela o stožnicah, napisanega v osmih knjigah. Stožnicam je dal tudi imena, ki jih uporabljamo še danes: elipsa, hiperbola in parabola. Znanje o njih je tako poglobljeno, da je segalo v moderno dobo. Isaac Newton je enega od izrekov, ki jih je poznal Apolonij, uporabil pri dokazovanju eliptičnosti tirov planetov, ki se gibljejo okrog Sonca pod vplivom gravitacijske sile. O stožnicah so v Newtonovem času vedeli več, kot vemo danes. To neverjetno trditev podkrepimo s ključnim izrekom, brez katerega se Newtonu dokaz ne bi posrečil.

Na sliki 3 najdemo Newtonovo skico, ki jo je objavil v svojih *Načelih (Principia).* Omenimo le točke, ki so za nas pomembne. Najprej je to točka *P*, kjer se trenutno nahaja planet, potem točka *S*, kjer je Sonce, ki privlači planet s silo, obratno sorazmerno s kvadratom razdalje med njima. Točka



Slika 3: Newtonova elipsa in ključne točke na njej. Daljica DK je vzporedna s tangento RPZ na elipso v točki P, daljica PG pa gre skozi središče C elipse. Točki S in H sta gorišči elipse. Zvezo med dolžinami daljic Qv, Pv in Gv je poznal že Apolonij.

Q je bodoča lega planeta na elipsi, točka R pa bodoča lega planeta, če bi sila nenadoma popustila. Točki P in R ležita na tangenti na elipso, ki se elipse dotika v točki P. Newton je iz točke Q potegnil vzporednico tangenti PQ, ki je sekala daljico PCG v točki v. Ta daljica povezuje središče C elipse in točko P ter se konča na elipsi v točki G na drugem koncu. Apolonij je vedel, da velja zveza

$$\frac{\overline{Gv}\ \overline{Pv}}{\overline{Qv}^2} = \text{const.}$$

za poljubno točko Q. Prepričan sem, da zelo malo matematikov ve za ta izrek. Najbrž bi se izgovorili, da imamo danes močno orodje analitične geometrije (ki je stari Grki niso poznali) in je znanje tovrstnih izrekov nepotrebno (odveč). V Newtonovem času analitične geometrije tudi še ni bilo, zato je starogrška matematika odigrala ključno vlogo pri razvoju moderne fizike.

Ko so Grki povezali geometrijo z optiko z uvedbo žarkov, so tudi v optiki dosegli napredek. Odbojni zakon so zanesljivo poznali. Arhimed je z njemu lastno pronicljivostjo ugotovil, da bi, če vpadni kot ne bi bil enak odbojnemu, zašli v neskladje, ko bi zamenjali svetilo in opazovalca. Poznali so tudi krogelna zrcala in zakonitosti odboja na njih. Zakonitosti loma svetlobe so navajali tabelarično z navedbo vpadnega in lomnega kota za prehod iz zraka v vodo, iz zraka v steklo in iz vode v steklo. Poznali so *prozorni kamen*, s katerim je mogoče s svetlobo s Sonca zanetiti ogenj. Zbiralno lečo so našli tudi v nekem asirskem grobu.

Starogrški matematiki bi delali krivico, če ne bi omenili treh znamenitih geometrijskih problemov antike, ki na svojevrstni način zaznamujejo antično matematiko. Šlo je za podvojitev kocke, tretinjenje kota in kvadraturo kroga. Zanimalo jih je, kako naj samo s šestilom in neoznačenim ravnilom, ki sta edini dovoljeni evklidski geometrijski orodji, določijo rob kocke, ki ima dvakratno prostornino dane kocke, kako naj razdelijo dani kot na tri enake dele in kako naj konstruirajo kvadrat, ki ima enako ploščino kot dani krog. To starim Grkom ni uspelo, pa jim tudi v resnici ni moglo uspeti. Šele v 19. stoletju se je pokazalo, da nobeden od teh problemov na zahtevani način ni rešljiv. Platon tega seveda ni vedel in se je malo ponorčeval iz svojih sodobnikov, češ da ne obvladajo prav dobro geometrije. Ukvarjanje s temi problemi pa je vendar dalo nekaj rezultatov: povsem nove krivulje in približne geometrijske konstrukcije.

Dobršen del starogrške matematike je temeljil na razmerjih in sorazmerjih količin. Že pitagorejci so prišli do spoznanja, da obstajajo tudi nesoizmerljive količine, to je take količine, katerih razmerij se ne da izraziti z ulomkom, sestavljenim iz dveh naravnih števil. Navedimo primera kvadrata in pravilnega petkotnika, ki sta bila seveda Grkom dobro znana geometrijska lika. Vznemirjali sta jih dejstvi, da diagonala d kvadrata ni soizmerljiva z njegovo stranico a. Velja namreč $d/a = \sqrt{2}$, kar pa ni racionalno število. Prav tako diagonala d pravilnega petkotnika ni soizmerljiva z njegovo stranico a. Tedaj je namreč $d/a = \varphi = (1 + \sqrt{5})/2$, kar tudi ni racionalno število. Število φ, ki so ga šele v 19. stoletju poimenovali *zlato razmerje*, je igralo v geometriji in umetnosti pomembno vlogo.

Spregledati ne smemo matematika in astronoma **Evdoksa iz Knidosa** (4. stoletje pred našim štetjem), Platonovega učenca, ki je veliko prispeval k razumevanju razmerij in je bil tako rekoč tik pred odkritjem realnih števil. Njegov dosežek je Evklid vključil v svoje *Elemente*, Richardu Dedekindu (1831-1916) pa je bil navdih za strogo konstrukcijo realnih števil. Evdoks je znal že precej natančno opisati navidezno gibanje Lune, Sonca in planetov z uvedbo enakomerno vrtečih se koncentričnih sfer. S temi je znal pojasniti retrogradno navidezno gibanje nekaterih planetov.

Dela starogrških matematikov so že v antiki veliko komentirali. Komentatorjem se lahko zahvalimo, da se je marsikatero matematično spoznanje ohranilo, čeprav so se nekatera izvirna dela izgubila. V helenističnem obdobju je na področju znanosti zacvetela Aleksandrija z bogato knjižnico. Tam so delovali Eratosten, Evklid, Ptolemaj, Aristarh in drugi matematiki. V kasnejšem obdobju, ki sega že v naše štetje, ko je Egipt že bil del Rimskega cesarstva, so v Aleksandriji živeli bolj ali manj pomembni matematiki, na primer Ptolemaj (2. stoletje), Diofant (3. stoletje), Teon (4. stoletje), Papos (4. stoletje) in prva znana matematičarka, Hipatija (4./5. stoletje), Teonova hči.

Diofant se je zapisal v zgodovino matematike s svojim delom *Aritmetika*, ki naj bi obsegala 13 knjig. To delo v bistvu predstavlja začetek algebre s teorijo števil. Diofant je kot prvi vpeljal simbole, ki so sicer bolj kratice, za neznanko in njihove potence, za enakost in poseben znak, ki ustreza današnjemu znaku za minus. Računal je tudi z negativnimi eksponenti. Ukvarjal se izključno z racionalnimi števili, najraje z naravnimi. Reševal je, kot bi danes rekli, algebrske enačbe s celimi koeficienti. Rešitve je iskal samo med racionalnimi števili. Takim enačbam v sodobni matematiki njemu v čast pravimo *diofantske enačbe*.

Diofantova *Aritmetik*a je bila prevedena v latinščino. Zgodilo se je, da jo je študiral tudi Pierre de Fermat (1601-1665). Ko je prišel okoli leta 1637 do mesta, kjer Diofant trdi, da je vsota kvadratov dveh naravnih števil lahko kvadrat nekega naravnega števila, je na rob knjige zapisal pripombo, da pa vsota kubov dveh naravnih števil ne more nikoli biti kub naravnega števila, prav tako ne vsota bikvadratov, nasploh ne vsota dveh potenc z naravnim eksponentom, ki je večji od 2. Fermat je navedel, da ima za to sicer dokaz, ki pa ga zaradi preozkega roba ne more zapisati. Iskanje dokaza Fermatove trditve je zaposlovalo matematike dobrih 350 let. Zapleten dokaz, ki ga verjetno razume le malo matematikov, je našel Andrew Wiles leta 1993.

Papos, znan po svojem delu *Zbirka*, je že obvladal izračun površin in prostornin rotacijskih ploskev in teles. Po njem se imenuje tudi *Paposova konfiguracija*, to je sistem 9 točk in 9 premic v ravnini z lastnostma: skozi vsako točko potekajo 3 premice in na vsaki premici ležijo 3 točke.

Medicina starih Grkov je imela močan vpliv do srednjega veka. Njihove predstave o ustroju in delovanju človeškega telesa so z današnje perspektive neustrezne. Z opazovanjem in izkušnjami Egipčanov pa so vseeno uspeli lajšati trpljenje bolnikov. Do danes se je v osnovnih potezah ohranila Hipokratova prisega, kjer se zdravnik obvezuje, da bo svoje življenje posvetil v prid človečnosti in mu bo največja skrb ozdravitev svojih bolnikov. **Hipokrat s Kosa** (460-375 pred našim štetjem) kot *oče medicine* simbolizira načela medicinske etike. Od leta 1948 je modernizirana Hipokratova (Ženevska) prisega obvezni del obreda pri sprejemu študentov medicine med zdravnike.

Ne smemo pozabiti, da je osnovna opredelitev starogrških razumnikov bila filozofija. Njihovi pogledi na življenje kot celoto so pomembno vplivali na razvoj sodobne filozofije. Večina pregledov znanosti pri starih Grkih govori predvsem o tej sestavini. Naravoslovje je bilo za starogrške filozofe manj pomembno, nekateri (na primer Platon) so naravoslovna spoznanja uvrščali med manj pomembna (celo nižja) znanja. Kljub temu pa so se mnogi razumniki tistega časa (na primer Aristotel) ukvarjali tudi z botaniko in zoologijo, etiko, politiko, retoriko, poetiko in ekonomijo, torej vedami, ki so bile bolj uporabne vrste.

Opredelitev vpliva starogrške filozofije na sodobne filozofske tokove pa leži daleč zunaj mojega dosega.

Zahvaljujem se Nadi in Marku Razpet
za pomoč pri pisanju tega prispevka.

Literatura:
A. Likar, 2019: Prelomi v razvoju fizike. Ljubljana: DMFA.
I. Newton, 1999: The Principia. New translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman. University of California Press.
J. Strnad, 2003: Razvoj fizike. Ljubljana: Državna založba Slovenije.
Wikipedia.

Razmišljanje o smrti in pravici do dostojanstvenega umiranja

Smrt v religiji in filozofiji, pravica do dostojanstvenega življenja in umiranja vseh

Katja Vörös

»Prah si in v prah se povrneš.«
Vir: https://www.google.com/search?q=death+ashes&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjgj8nlvrjeAhUG1ywKHUJvBfAQ_AUIDigB&biw=1366&bih=626#imgrc=c3Tbpbq8cX5iEM: