

Francoski naravoslovec in izumitelj Georges Louis Buffon (1707–1788) je leta 1747 zapisal, da je zgodba o Arhimedovih zažigalnih zrcalih med najbolj znanimi in tudi zanimivimi v zgodovini izumov. Arhimed naj bi izumil zrcalo (zrcala), ki naj bi ga uporabil pri obrambi svoje domovine (mesta Sirakuze).

Nekateri zgodovinopisci omenjajo, da naj bi “usmeril sončni ogenj” na sovražnikove, tj. rimske ladje, ki so oblegale mesto, in jih spremenil v pepel.

V resničnost te zgodovinske pripovedi niso dvomili poldrugo tisočletje. Danes o njej zelo, zelo dvomimo (gl. konec članka). Nekateri celo mislijo, da gre za prvovrstno ali pretirano domišljijo, za izmišljeno zgodbo, za legendo o Arhimedu. Filozof, matematik in fizik Rene Descartes (1596–1650) je prvi povsem ovrigel možnost takega izuma in njegove uporabe v Arhimedovem času.

Poglejmo, kaj in kako so v zgodovini pisali o Arhimedovih zrcalih oziroma, kot so tudi rekli, o gorečih polenih, s katerimi naj bi Arhimed sežgal rimske ladje. To pišem drugač, malo skrajšano in popravljeno.

Pišem kot Relata refero.

JE BILO ALI NI BILO?

Prosti spis za branje in razmišljanje o znamenitem Arhimedovem orožju.

Ta Arhimedov izredni izum navajajo številni avtorji. Nekaj jih bomo omenili. Da bi ovrgli Descartesovo sodbo, bi morali izdelati zrcalo (ali več zrcal) in narediti poskus, s katerim bi dosegli približno tak učinek, kot govorijo za Arhimedova zrcala. Najresneje se je z zgradbo in uporabo zrcal(a) spoprijel Buffon. Zgradil je vboklo zrcalo, s katerim je zažgal les v oddaljenosti 50 metrov (gl. dalje).

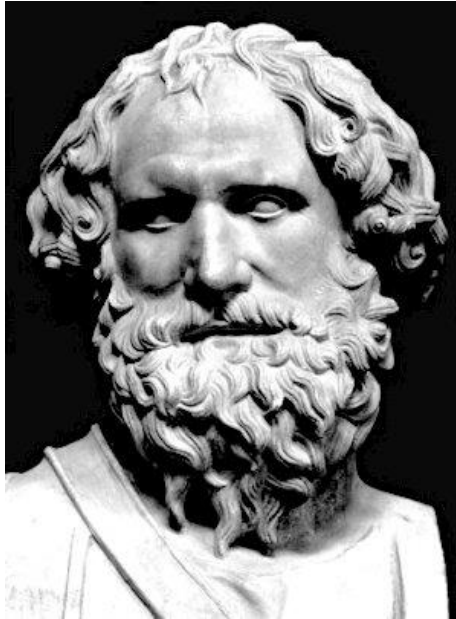
Ω

Ohranili so se trije ključni zgodovinski opisi obleganja Sirakuz: opis grškega zgodovinarja in politika Polibija (2. stol. pr. n. š.) in rimskih pisateljev Tita Livija (1. stol. pr. n. š.) in Plutarha (1. stol. n. š.). V nobenem ni omenjen niti sežig ladij z zrcali niti na splošno kakšna uporaba ognja pri obrambi.

Prve sledi legende o zažigalnih zrcalih, pisane površno, kot nekakšen okrasek k Arhimedovem življenjepisu, najdemo v 2. stol. n. š. Grški satirik Lukijan (125–180) ob odkritju nekih toplic šaljivo pripoveduje o pomembnosti povezave med teorijo in prakso in za tak primer navaja arhitekta Arhimeda, ki da je s pomočjo svoje umetnosti sežgal sovražne ladje.

Naslednje spominjanje Arhimeda najdemo v delu *O temperamentu*, ki ga je napisal znamenit zdravnik Galen (129–199). Ko Galen opisuje požar, pripoveduje, da je stena neke zgradbe zgorela zaradi vročine plamena in dodaja, da je na tak način, kot pravijo, tudi Arhimed z zažigalnimi zrcali zažgal sovražnikove trireme (ladje troveslače).

V obeh primerih se o sežigu ladij govori kot o nekem splošnem dejstvu, ki ne potrebuje pojasnjevanja.

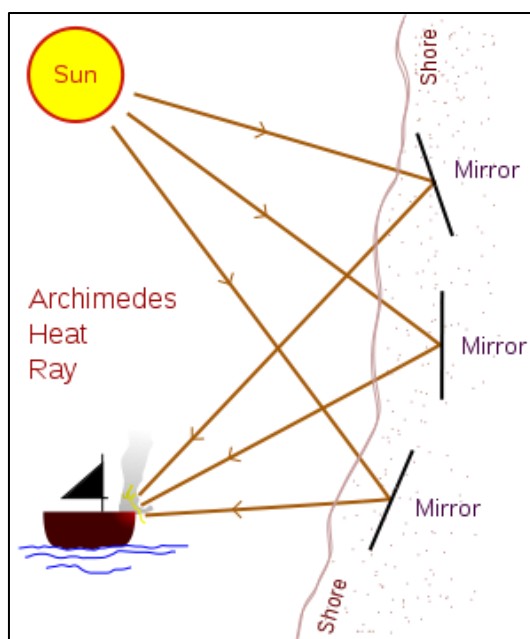


Arhimed (287–212 pr. n. š.) je bil eden največjih genijev vseh časov: matematik, fizik (mehanik, hidrolog), astronom, arhitekt, vojaški inženir (konstruktor katapultov in drugih orožij). Delal je tudi na področju geometrijske optike – katoptrike (gotovo je poznal lastnosti ravnih in ukrivljenih zrcal, s čimer je povezana legenda o sežigu rimskih ladij pri obleganju Sirakuz). Arhimedov oče Fidij pa je bil astronom.

Približno 400 let pozneje je vprašanje o Arhimedovih zrcalih analiziral bizantinski učenjak Antemij iz Trala (6. stol.) v delu *O nenavadnih mehanizmih*. Iz tega spisa se je ohranil odlomek, ki deluje kot prva znanstvena razprava o Arhimedovih zrcalih.

Antemij je bil matematik, kipar in arhitekt, graditelj znamenite Hagie Sofije v Carigradu. V svojem delu je poskušal podati rekonstrukcijo delovanja zrcal, pri čemer je izhajal iz dolžine dometa iz loka izstreljene puščice (streljaj). Ta razdalja je bila zanj eden od pogojev za reševanje naloge. Zdi se mu, da je omenjena razdalja zelo velika in da je nemogoče doseči zažig. Ker pa nihče ni mogel nasprotovati Arhimedovi veličini in slavi, da je s pomočjo odboja sončnih žarkov na zrcalu zažgal rimske ladje v daljavi, je privzel, da naj bi bila za Arhimeda naloga le rešljiva.

Je pa Antemij nadalje dognal, da je naloga rešljiva, če uporabimo sistem ravnih zrcal. Z njimi je možno po odboju usmeriti sončne žarke v določeno točko tako, da dobimo tam močno svetlobo oziroma toploto, ki povzroči vžig. (Opomba: Tak poskus lahko naredimo z večjim številom ljudi, od katerih vsak drži zrcalo v ustrezni legi in usmerja zajčka v določeno točko.)



Ena od možnosti zažiga ladje v daljavi. Številni vojaki bi lahko svoje kovinske ščite zravnali in spolirali do ravnih zrcal in jih množično usmerili v določeno (izbrano) točko.

Po Antemiju je najbolje, da uporabimo okvir, v katerega namestimo 24 ravnih zrcal na plastelin ali na tečajje. Tako napravo nastavimo sončnim žarkom. Pravilno je treba namestiti središčno zrcalo, ostala zrcala pa nakloniti tako, da so žarki, ki se odbijajo na njih, vedno usmerjeni v isto točko. Za potrditev pravilnosti svoje rekonstrukcije v zaključku spisa Antemij omeni, da so vsi avtorji, ki so pred njim pisali o zrcalih božanskega Arhimeda, omenjali več zrcal, ne samo enega.

Za katere avtorje gre, ne zvemo. Zdi se, da je bilo v tistem času znanih precej danes nam neznanih zgodovinskih virov, ki so zgodbo o sežigu ladij na razdalji dometa puščice prinašali kar kot gotovo dejstvo, vendar brez opisa zgradbe zrcala.

Zadnja bizantinska poročila o teh zrcalih so iz v 12. stoletja. Retorik in filolog Evstatij Solunski v delu *Komentarji k Ilijadi* piše, da je Arhimed s pomočjo pravil katoptrike (nauk o odbijanju svetlobe) požgal rimsko floto na razdalji poleta puščice. Bizantinski kronist Zonar pa v *Letopisih* piše nekoliko ugankarsko: "Ta geometer je zbral sončne žarke na zrcalu in s pomočjo njih, zbranih in odbitih zaradi gladkosti zrcala, vžgal zrak, da se je naredil plamen, ki ga je potem usmeril na ladje, ki so prišle v območje njegovega delovanja; ladje so se spremenile v pepel."

Bolj podroben opis daje italijanski zgodovinar Giammaria Cecci (1518–1587) v svoji *Zgodovini*: "Ko so bile rimske ladje na razdalji dometa puščice, je Arhimed začel delovati s 6-kotnim zrcalom, sestavljenim iz manjših 4-kotnih

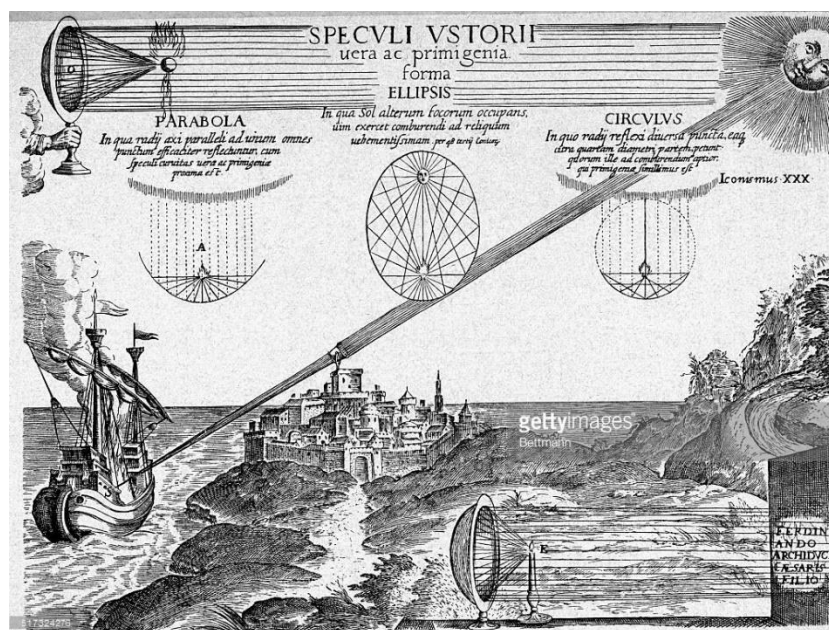
zrcalc, ki jih je bilo možno dvigovati s pomočjo kovinskih letvic. S temi zrcalci sprejeti sončni žarki so se na njih odbili in povzročili veliko vročino, ki je spreminjala rimske ladje v pepel na oddaljenosti dometa puščice.”

Za razliko od zgodovinarjev so se znanstveniki-učenjaki, ki so se ukvarjali z optiko, vprašali, kako naj bi veliki geometer sežgal s sončnimi žarki les na razdalji dometa puščice. Ali je to možno? Če je to res, na kakšen način je Arhimed dosegel tak učinek?

Prvi, ki se je resno ozrl na legendo o zrcalih in jo raziskal, je bil vsekakor že Antemij. Predlagal je rešitev in jo preveril s poskusom (ki je, mimogrede povedano, precej drag).

Antemijevo rekonstrukcijo je nekoliko popačeno spoznala evropska znanost skozi “optiko” poljskega matematika in naravoslovca 13. stoletja Vitelija. Pripoveduje samo legendo o Antemiju. Ta arhitekt naj bi se namreč sprl s svojim sosedom, ker mu je s svojim sestavljenim zrcalom zažgal hišo. Zrcalo naj bi bilo sestavljeno iz sedmih šestkotnih zrcalc, od katerih je bilo eno v središču, ostala pa ob stranicah šestkotnika.

Prvi poskus glede realizacije Antemijevega predloga je izvedel nemški polihistor Atanazij Kircher (1602–1680). V svoji knjigi *Velika umetnost svetlobe in teme* (*Ars magna lucis et umbrae*, 1674) piše, da je s petimi ravnimi zrcali združil odboj Sonca in dobil znatno vročino, čeprav premalo za vžig lesa. Kircher je popolnoma verjel v možnost, da je Arhimed zažgal ladje, posebno še, če je uporabil cevasto zrcalo v obliki rotacijskega paraboloida ali z dvema takima zrcaloma.



Zažigalna zrcala – risba iz knjige Atanazija Kircherja (1674).

Pred izidom Kircherjeve knjige je že znameniti francoski matematik, fizik in filozof Rene Descartes (1596–1650) v svoji *Dioptriki* (1638), ki navaja zakone razširjanja, odboja in loma svetlobe, prepričljivo dokazal, da ni mogoče usmeriti (kot naj bi to naredil Arhimed) sončne žarke v točko. Prav tako po njem tudi ni mogoče sestaviti vzporednega snopa zažigalnih žarkov (zažig s svetlobnim zajčkom). Pravi, da zrcala, s katerimi naj bi Arhimed zažgal ladje v daljavi, ali so bila neznansko velika ali, kar je najverjetneje, jih sploh ni bilo.

Avtoriteta Descartesa in tehtnost njegove razsodbe je naredila svoje. Do sredine 18. stoletja so Arhimedova zrcala v znanstvenem smislu "počivala". Jih ni bilo. Imeli so jih za nekaj, kar se ni nikoli zgodilo.

Dobrih sto let po izidu Dioptrike, to je leta 1747, je naravoslovec Buffon objavil delo *Izum zrcal za vžig predmetov v večjih oddaljenostih*. Buffon je naredil zares veliko različnih fotometričnih eksperimentov oziroma opazovanj. Zgradil je zrcalo, ki je moglo zažgati les na razdalji 50 metrov. To zrcalo je bilo sestavljeno iz 168 ravnih steklenih zrcal velikosti 16 cm × 22 cm. Splošna odbojnostna ploščina sestavljenega zrcala je bila skoraj 6 kvadratnih metrov. Vsa ravna zrcalca so bila postavljena tako, da so odbijala sončne žarke v določeno točko z menjajočo se goriščno razdaljo.

Prvi poskus je naredil 23. 3. 1747. S komaj 40 zrcalci je vžgal smolnato bukovo desko na oddaljenosti 23 m, pri čemer je uporabil le četrtno svojega sestavljenega zrcala. Nato je s 112 zrcalci zažgal desko, prekrito z dlakami in volno na razdalji 47 m, čeprav je bilo sonce šibko. Dne 10. 4., malo po poldnevu, a pri precej močnem soncu, je zažgal smolnato jelkovo desko na razdalji 51 m, in to s 128 zrcalci. Vžig se je zgodil naglo. Dne 11. 4. je s 117 zrcalci raztalil tanke lističe srebra. Zrcalo je vžgalo gorljivo snov zelo hitro. Opisane poskuse je Buffon opravljal v Kraljevem vrtu, to je današnjem pariškem botaničnem vrtu, katerega direktor je bil nekaj časa.

Mnenje je bilo, da naj bi bilo Buffonovo zrcalo precej podobno tistemu, ki naj bi ga zgradil Arhimed in je bilo v tistem času grozno bojno orožje. Buffon ni razmišljal o vojaški uporabi svojega izuma. Zanj je bilo zrcalo predvsem sončna peč, vir čiste toplote, neogibno potrebne za kemične poskuse.

Tako se je nekako končala dolga stoletja trajajoča razprava o Arhimedovih zrcalih. Vprašanje o nemogočem sežigu ladij z zrcali je bilo odpravljeno, razen tega pa je bila znova ustvarjena oziroma obnovljena ideja o možni realizaciji močnega heliokoncentratorja. Sčasoma so Buffonove poskuse pozabili. Nenadoma se je spet razširilo mnenje o tehnični nezmožnosti obstoja Arhimedovih zrcal.

Leta 1973 pa je to legendo ponovno oživil poskus grškega inženirja – mehanika Ioanisa Sakasa. V eni luki blizu Aten se je na njegov ukaz razporedilo v vrsto nekaj deset vojakov. Vsak je držal pravokotniško zrcalo velikosti 90 cm

× 50 cm. V oddaljenosti okoli 50 m od obale so postavili s smolo premazan lesen čoln. Na Sakasovo povelje so vojaki nekajkrat dvignili ščitasta zrcala in odbite sončne žarke fokusirali na čoln. In nenadoma se je čoln zadimil, potem pa je vzbuhnil močan plamen.

Tehnika je tako povedala svoje. Kaj lahko še reče zgodovina?

V legendah o zrcalih ni podatkov, ki bi nasprotovali zgodovini ali možnostim tehnike v Arhimedovem času. V virih piše o sežigu ladij, ne pa o sežigu flote. Požar na nekaj ladjah ni mogel občutno vplivati na potek morskega napada, v katerem je na primer samo težkih ladij sodelovalo okoli šestdeset.

Števila sežganih ladij viri ne omenjajo. Kakršnakoli so že bila izumljena zrcala, so bila v principu uporabljena dovolj široko. Ali je lahko Arhimed, ko je planiral sistem obrambe, uporabil zrcala kot osnovno obrambno sredstvo. Očitno ne. Ponoči so bila zrcala neuporabna, torej nekoristna. Zato je masovna uporaba zrcal dvomljiva.

V virih navajajo radij delovanja zrcal – domet puščice (streljaj; 50 do 100 m), kar je tehnično možno izvedljivo. Realen je tudi pristop ladij do obalnih sten celó na bližjo razdaljo v času napada.

Viri navajajo uporabo zrcal samo proti floti, čeprav bi lahko poškodovali tudi pehoto. Poglejmo zemljevid Sirakuz. Bodimo pozorni na lego Sonca glede na stražarska mesta. To izključuje uporabo zrcal proti pehoti (na severni strani ni imelo smisla). Sovražna flota je napadla območje, obrnjeno proti vzhodu. Tu je Sonce svetilo z morske strani. Pogoji za uporabo zrcal so bili najboljši.

Treba se je tudi zavedati, da sta bila vsega le dva napada na Sirakuze – dnevni in nočni. Morda je podnevi ob močnem soncu ob obali en vojak slučajno obrnil zloščeni kovinski ščit tako, da se je na ladji pojavil zajček. Ko je Arhimed to videl, je takoj pomislil, da bi bila to lahko strašna zažigalna moč, če bi ščite vsi vojaki usmerili v isto točko. Domnevamo lahko, da je dal vsem ukaz in je poskus uspel.

Na koncu še to. Legenda pripisuje zgradbo zrcal(a) Arhimedu – človeku, ki je bil resnično to sposoben narediti. Ideja prehoda od vboklega zrcala k sistemu ravnih zrcal bi bila lahko popolnoma za Arhimeda izvedljiva. Imel je dosti časa za poskuse in tudi za graditev najrazličnejših strojev in orožij (med njimi tudi zažigalnih zrcal). Legenda ima zato lahko povsem realno osnovo.

Pisali so tudi, da je ta geometer razplamtel zrak in vžgal velik plamen, ki ga je nato usmeril proti ladjam. Od kod se je mogla vzeti v legendi taka podrobnost (npr. plamen). “Gorenje” zraka in pred njim dim je možno videti v gorišču helioinstrumentov. Ob splošnem napadu na Sirakuze so se posamezni

spopadi lahko kazali tudi kot dim in prah porušeni sten obzidja. To so videli očevdci, a niso znali pojasniti. Le to, da je tam, kjer je dim, tudi ogenj.

Osnovni ugovor proti resničnosti legende je pomanjkanje kakršnihkoli omemb o zrcalih v prvih treh ohranjenih spisih obleganja Sirakuz – Polibija, Tita Livija in Plutarha.

Molk Polibija, ki je pisal o dogodku samo pol stoletja po padcu Sirakuz, je lahko zelo tehten dokaz proti resničnosti Arhimedovih zrcal. Neverjetno se zdi, da bi tako natančen zgodovinar, ki je tako podrobno opisal v obeh bitkah vojaško tehniko, obšel opis o uporabi zažigalnih zrcal, če bi mu bila taka zrcala znana. Avtoriteta in popularnost Polibija sta bili precejšnji. Njegovo mnenje ima po mišljenju mnogih poznejših zgodovinarjev brez dvoma največjo težo. Zato se ne smemo čuditi, da zrcal ne omenjata niti Tit Livij in niti Plutarh.

Je torej bilo ali ni bilo?

Včasih so rekli: najbrž, verjetno, morda?

Danes ne verjamemo v zgodbo o Arhimedovem sežigu rimskih ladij z zrcali s sončno svetlobo*, ker govorijo proti njemu tako fizikalni razlogi* kot tudi najbolj zgodnji in relevantni zgodovinski zapisi, ki sežiga sploh ne omenjajo.

Slike so s spleta.

.....

* “Morda so vojaki Sirakuz sežgali nekaj rimskih ladij z’grškim ognjem’, to je vnetljivo mešanico, s katero so obmetavali ladje. Metalne naprave si je zagotovo izmislil in izdelal Arhimed.” Fizikalni pogled in ustrezno fizikalno razlago te zgodbe najdemo na primer v članku: J. Strnad, *Arhimed in sežig ladij*, Presek 21 (1993/94),1/2.

Več spisov o Arhimedovih zažigalnih zrcalih najdemo tudi na svetovnem spletu.

Kranj – Zlato Polje, 8. 12. 2016

Marijan Prosen

Prevod in priredba