

5. Pitagora i pitagorovci: matematika, pokus, planetna astronomija (6. i 5. st. pr. Kr.)

- 5.1. Pitagora i pitagorovci
- 5.2. Glazba i glazbala (tehnika), matematika i kozmos
 - 5.2.1. Pitagora, glazba i brojevi
 - 5.2.1.1. Podrijetlo učenja
 - 5.2.1.2. Brojevi i svijet: Aristotelov prikaz
 - 5.2.1.3. Brojevi i svijet: Filolaj
 - 5.2.1.4. Aristotelov prikaz – tumačenje Filolaja ili usmena predaja?
 - 5.2.1.5. Matematika i zbilja
 - 5.2.2. Tehnički aspekt pitagorejskoga razmatranja odnosa prirode i brojeva
- 5.3. Pitagorejska kozmografija
 - 5.3.1. Rana pitagorejska kozmografija
 - 5.3.2. Filolajeva kozmografija

Milećani su nam ostavili temeljna pitanja fizike i prve filozofske teorije o tome kako je svijet nastao, kako je ustrojen i od čega je građen te što je izvor njegove promjenljivosti. U pitagorskoj školi su se pak pojavile neke ideje koje su pokrenule raspravu o nekim novim pitanjima, iznimno važnim za nastanak moderne fizike.

Naime, filozofski temelj moderne fizike je ideja da su prirodne pojave očitovanje prirodnih zakona, tj. da prirodom, tvarnim svijetom, ravnaju stroga općevaljana i nepromjenljiva pravila, »prirodni zakoni«, a ta se ideja postupno oblikuje u Miletskoj školi. Obratimo li pozornost na matematičku i tehničku narav moderne fizike vidimo da ta temeljna ideja danas uključuje dvije dodatne tvrdnje:

- i) prirodni zakoni su matematički izrazivi;
- ii) prirodnim pojavama i pojavama u tehničkim izrađevinama ravnaju isti zakoni (u suprotnom ne bismo mogli iz eksperimenata izvoditi zaključke o zakonima *prirode*).

Moderna fizika počinje kad se te dodatne ideje počnu primjenjivati u praksi, kad se razvije takva tradicija istraživanja prirode – tada počinje »razgovor« čovjeka i prirode, u kojem čovjek putem pokusa postavlja prirodni pitanje, na koje ona daje (kvantitativan) odgovor. No antička misao općenito nije pošla putem spajanja filozofije, matematike i tehnike u promišljanju prirode. Za antičke filozofe su napose filozofija i tehnika nespojive. Filozofija je odijeljena od svih praktičnih umijeća (uključujući i matematiku u obliku

računa), kao čisto znanje koje ne treba opravdanje. Filozofija mora omogućiti *razumijevanje* prirodnih pojava, a ne unaprijediti naše djelovanje u prirodi, tj. omogućiti nam praktičnu korist. Za veliku većinu antičkih filozofa filozofija i tehnika nemaju što ponuditi jedna drugoj.

Očigledno je da je poimanje odnosa filozofije, matematike i tehnike ključno za povijest fizike: moderna fizika, fizika kakvu poznajemo danas, nije mogla nastati u okviru antičkoga stava o tom odnosu. Neka učenja pitagorovaca su u filozofiji pokrenula raspravu upravo o tom odnosu. U nekim njihovim teorijama se tehnika i matematika upliću u promišljanje prirode, implicitno se pojavljuje zamisao o kombiniranju ideje prirodnih zakona, matematike i tehnike. Nakon pitagorovaca će filozofija, koja je usmjerena prema istraživanju i razumijevanju prirode – prirodnih pojava i prirodnih zakona – morati zauzeti eksplicitni stav o tome kakva je veza tih zakona i matematike te tih pojava i tehnike. S pitagorovcima počinje promišljanje uloge matematike i tehnike u upoznavanju prirodnih zakona. U nastavku ćemo razmotriti tri važna nova problema koja su teorije pitagorske škole otvorila u filozofiji. Prva dva pitanja su metodološke naravi i tiču se odnosa filozofije s jedne strane te matematike i tehnike s druge strane:

i) Kakav je odnos tvarnoga svijeta i matematike? Je li (i na koji način) »knjiga prirode« pisana matematičkim jezikom? Je li svemir matematički uređen? Je li matematika »pravi« jezik za govor o prirodi? Što zapravo znači i što nam o svijetu kaže uspješna primjena matematike u opisivanju i povezivanju prirodnih pojava?

ii) Vrijede li za »umjetne stvari«, artefakte, tehničke izrađevine, isti zakoni kao i za »prirodne stvari«? Progovara li priroda iskreno o sebi kroz umjetne stvari, stvari koje smo mi načinili, tj. u našim pokusima? Zrcale li pojave u tehničkim izrađevinama nepomućenu narav fizičke zbilje?

Treće se pitanje pak tiče našeg poznavanja i razumijevanja ustroja svemira:

iii) Kako se gibaju planeti i giba li se Zemlja? (vidjeli smo da se planeti ne pojavljuju u teorijama Milećana, a pitanje o gibanju Zemlje je iznimno važno za razvoj opće teorije gibanja).

5.1. Pitagora i pitagorovci

Pitagora je Anaksimenov mlađi suvremenik, rodio se u prvoj polovici 6. st. pr. Kr. na otoku Samu (Samos) kraj Mileta. O samom Pitagori se malo zna pouzdano. Pitagorovci su činili religiozno bratstvo i njihova učenja su bila tajna. Pitagorini su sljedbenici bili skloni da iz poštovanja vlastite ideje pripisuju njemu i nije jasno kome od njih pripada koji stav, stoga treba biti oprezan u atribucijama. Razlika prema Miletskoj školi je u tome što je u temelju Miletske škole slobodno mišljenje, rasprava i kritika, dok kod pitagorovaca učenja Pitagore imaju apsolutni autoritet. U kasnijim vremenima su se javljali mnogi pojedinci koji su se proglašavali pitagorovcima i projicirali

vlastite ideje Pitagori. Stoga ponovno imamo problem prepoznavanja pouzdanih izvora.

Herodot kaže da je Pitagora putovao u Egipat, gdje su ga svećenici uputili u tajne egipatske matematike. Navodno je potom bio zarobljen i odveden u Babilon, gdje se upoznao s babilonskom matematikom. Konačno se vratio na Sam, donoseći sa sobom matematična znanja. Manje je važno jesu li takve priče povijesno istinite. Važno je da su Grci preuzeli (i bili svjesni da su preuzeli) egipatska i babilonska matematična znanja.

U povijesti matematike imamo prazninu između najviše razine koju su postigle babilonska aritmetika, algebra i geometrija prije 1000. pr. Kr. i pojave grčke aritmetike i geometrije kao samostalnih intelektualnih disciplina. Ne radi se o praznini u vremenu, jer je babilonska matematika ostala u biti nepromijenjena stotinama godina i bila je takva i pod Perzijskom vlašću u 5. st. pr. Kr. Radi se o problemu prenošenja babilonske matematike u Grčku, ako ga je bilo, i problemu nastanka »čiste«, apstraktne, matematike u Grčkoj. No čini se da nema dobrih razloga da se Pitagori i ranim pitagorovcima pripiše sudjelovanje u bilo kojem od ta dva procesa

Povijest matematike u Grčkoj prije Platona je mračna. Znamo malo o početcima matematike u Grčkoj. Prvi matematičar kojeg znamo kao pojedinca je Hipokrat iz Kiosa, koji je napisao djelo *Elementi geometrije* krajem 5. st. pr. Kr. U tom se djelu geometrija prikazuje kao sustav apstraktnoga mišljenja. Vjerojatno isto vrijedi i za stanje aritmetike u to doba. Razlika između babilonske i grčke matematike je razlika između nakupljanja pravila za rješavanje konkretnih problema i samostojnoga apstraktnoga sustava. Ne znamo u kojoj se mjeri prvi veliki matematički tekst, Euklidovi *Elementi* (oko 300. pr. Kr.) temelji na ranijim radovima. Vjerojatno nije upitno da su rani grčki matematičari bili upoznati s egipatskim i babilonskim postignućima. No od samog je početka grčka matematika drukčije naravi, a glavna razlika je u grčkoj geometriji, usmjerenoj na apstraktno geometrijsko znanje i formalne metode zaključivanja i dokazivanja.

Pitagorovci su bili upoznati s nekim jednostavnim geometrijskim teoremima, primjerice »Pitagorinim«. Ta je činjenica bila poznata babilonskim matematičarima. Tu grčki doprinos nije otkriće teorema, već njegov dokaz. Ne znamo jesu li i u kojoj mjeri takvi dokazi pokušavani prije sredine 5. st. pr. Kr. Po svemu sudeći, razvoj metoda matematičnog dokaza je proizvod kasnog 5. st. pr. Kr. ili ranog 4. st. pr. Kr.

Pitagora je oko 530. pr. Kr. pobjegao s otoka Sama, od tirana Polikrata, te se preselio u južnu Italiju, u grčku koloniju Kroton. Tamo je utemeljio mistično bratstvo, učeći ispravnom načinu života. Prema njegovom učenju tijelo je grob duše, a najbolji su ljudi »gledaoci«. Rani pitagorovci stoga nisu bili primarno zainteresirani za istraživanje prirode i vrlo je dvojbeno je li čisto intelektualna aktivnost, napose matematika i astronomija, imala neku ulogu u ranoj fazi društva.

S Pitagorom počinje preplitanje vjere i razuma. Time se intelektualizirana teologija Europe razlikuje od misticizma Azije. Najbolje potvrđeni dio Pitagorina učenja se tiče duše i njezine sudbine. Duša je besmrtna i odgovorna za svoja djela, koja određuju njezinu sudbinu, a ona proživljava niz inkarnacija u ljudskim tijelima, životinjama ili biljkama. Očuva li se od tjelesnih strasti može dosegnuti svoje pravo stanje, nalik božanskom.

Ako griješi, kažnjena je produženjem tjelesnoga postojanja u nižim inkarnacijama. Asketizam je ispravni način života, po zadanim pravilima i zabranama. Takva su učenja strana grčkoj tradiciji i vjerojatno su uvezena iz Azije. Inače su Grci smatrali (Homer) da duša nakon smrti opstoji u jadnom stanju u Hadu.

Nakon Pitagorine smrti, tijekom 5. st. pr. Kr., došlo je do raskola među pitagorovcima. Skupina koja je tvrdila da slijedi izvorno Pitagorino učenje je napala drugu skupinu, nazvanu »matematičari«, kao sljedbenike Hipaza (djelovao oko 470. pr. Kr.). Hipaza se dosljedno opisuje kao utemeljitelja pitagorovskoga izučavanja matematike i prirode. Čini se da su tu skupinu »matematičara« činili prvi pitagorovci koji su se prihvatili matematike i astronomije i da među njima treba tražiti izvor ideja koje ćemo u nastavku razmotriti. Njima pripada i Filolaj (oko 470. pr. Kr. – oko 385. pr. Kr.), prvi pitagorovac koji je objavio učenja u obliku knjige, a neke njegove ideje ćemo prikazati u nastavku teksta.

Jedan od načina da se okupira duša koja se odvraća od tjelesnih užitaka je bavljenje politikom i pitagorovci su stekli veliku političku moć. Oko 450. pr. kr. škola je prestala postojati, njezine političke aktivnosti su je učinile toliko nepopularnom da su u to vrijeme njezini pripadnici pobijeni ili protjerani.

5.2. Glazba i glazbala (tehnika), matematika i kozmos

5.2.1. Pitagora, glazba i brojevi

Neizravni dokazi pokazuju da su brojevi imali neku ulogu u učenju Pitagore i u aktivnostima njegove škole, ali nema dokaza da se ranim pitagorovcima može pripisati neki važniji napredak u matematici. Prije se radi o numerologiji, mističnim aspektima brojeva. Za Pitagoru brojevi imaju mistično značenje, simboliziraju nešto. Brojevi 1, 2, 3, 4 imaju posebnu važnost. Njihov zbroj 10 su pitagorovci smatrali savršenim i sveobuhvatnim. Mnoge sličnosti za koje su tvrdili da su pronašli između brojeva i stvari su proizvoljne i fantastične. Primjerice, pravdu su izjednačili s brojem 4, vjenčanje s brojem 5, muškarca s 3, ženu s 2 itd. No taj interes za mistiku brojeva ih je doveo do nekih zapažanja i ideja važnih za razvoj fizike.

Za rane pitagorovce pravi izvor mudrosti o stvarima je *tetractys*, prva četiri prirodna broja (1, 2, 3, 4) povezana na različite načine. Aristotel među pitagorovskim izrekama navodi da je broj najmudrija stvar, da je Pitagora dao formulu $1+2+3+4=10$, da je to harmonija u kojoj pjevaju sirene. Upućivanje na »harmoniju u kojoj pjevaju sirene« dolazi od toga što se od ta četiri broja

mogu konstruirati glazbeni odnosi oktave, kvarte i kvinte, što ćemo ubrzo pokazati.

To zapažanje o glazbenim odnosima je od goleme važnosti za rane pitagorovce. Spominju sirene, čiju pjesmu Platon poistovjećuje s glazbom koju svojim gibanjima stvaraju nebeska tijela (*Država*). Za njih *harmonia* ima općenito, kozmičko značenje. Vrlo vjerojatno to učenje o *harmonia* i numeričkim odnosima potječe od Pitagore. No analiza tekstova antički autora pokazuje da se sam Pitagora vjerojatno nije zanimao za filozofiju prirode. Do vremena Platona i Aristotela primjena brojeva na glazbu je središnja preokupacija pitagorovaca.

Naime, pitagorovci su našli jednostavne matematičke odnose između duljina žica koje proizvode skladne zvukove – uočili su da žice različitih duljina proizvode suzvučja ako među njihovim duljinama postoji stanovit odnos koji se može prikazati cijelim brojevima. Važno je naglasiti da oni zapažaju pojavu koja na prvi pogled nema nikakve veze s brojevima (sklad zvukova), a koja s druge strane očituje strukturu koja se može izraziti matematički.

Razmotrimo napetu žicu duljine L . Osnovna frekvencija titranja te žice ovisi o njezinoj duljini L (valna duljina je $2L$), a frekvencija je obrnuto razmjerna valnoj duljini. Titranje te žice u zraku stvara zvuk iste frekvencije, koji čujemo (u stanovitom rasponu). Kontinuiranim mijenjanjem duljine L žice dobijemo kontinuirano mijenjanje frekvencije zvuka, odnosno kontinuum tonova. Da bismo od tog kontinuuma tonova dobili *glazbenu ljestvicu* taj kontinuum treba na neki način ograničiti. Ključno je da se to ne može izvesti na bilo koji način. Ne možemo naprosto nasumično odabrati tonove i dobiti ljestvicu koja je skladna u glazbenom smislu. Dijatonska, ili pitagorejska, ljestvica je ona u kojoj je najviši ton dvostruko više frekvencije od najnižega tona, što čini interval koji se naziva *oktavom*. Pitagorovci su zapazili da se temeljni glazbeni intervali – oktava, kvarta i kvinta – dobiju izdvajanjem tonova iz spomenutog kontinuuma koje je zadano stogim matematičkim odnosom odgovarajuće duljine žice i početne duljine žice. Neka napeta žica duljine L daje početni ton (frekvenciju). Tada vrijedi:

oktava (glazbeni interval od osam tonova): dvostruko kraća žica, tj. žica duljine $\frac{1}{2} L$ (dvostruko viša frekvencija)

kvarta (glazbeni interval od četiri tona): žica duljine $\frac{3}{4} L$ ($\frac{4}{3}$ početne frekvencije)

kvinta (glazbeni interval od pet tonova): žica duljine $\frac{2}{3} L$ ($\frac{3}{2}$ početne frekvencije)

Vidimo da su odnosi duljina žica koje daju osnovne glazbene intervale zadani s prvih četiri prirodna broja (1, 2, 3, 4, tj. *tetraktis*)! Brojevi su na neki način sadržani u glazbi, oni određuju glazbeni sklad, premda u njemu nema ničeg što bi bilo na prvi pogled povezano s matematikom i brojevima. U tzv. Pitagorejskoj ljestvici imamo sljedeće odnose među frekvencijama tonova:

C D E F G A H C

1 9/8 81/64 4/3 3/2 27/16 243/128 2

5.2.1.1. Podrijetlo učenja

Znamo da se tijekom Pitagorina života počela shvaćati važnost brojeva i proporcija za ustroj stvari. Vjerojatno je veza glazbe i brojeva uočena prije Pitagore, što je moglo doprinijeti njegovoj mistici brojeva. Pitagora je mogao uočiti da su brojevi i proporcije važni u naizgled nepovezanim područjima iskustva: glazba, metalurgija, medicina, likovna umjetnost. Bile su poznate formule za proizvodnju različitih slitina (miješanje kovina u zadanim odnosima). Kod mnogih mislioca početkom 5. st. pr. Kr. u Italiji nalazimo proporcije.

Tvrđnje da je Pitagora otkrio da se temeljni glazbeni odnosi u ljestvici mogu prikazati jednostavnim odnosima brojeva se nalaze kod kasnijih i nepouzdanih autora. Isto tako nisu uvjerljive ni tvrdnje da pitagorejske spekulacije o glazbi i brojevima potječu od Hipaza.

Vjerojatniji slijed događaja je sljedeći:

1) Numerički odnosi skladnih tonova na žičanim instrumentima bili su već poznati u doba Pitagore, vjerojatno na temelju jednako napetih žica čije se duljine odnose na spomenuti način.

2) Pitagora je primjenljivosti tih odnosa na glazbene intervale dao veliku općenitu važnost – uočavamo brojeve u nečem nematematičkom – vođen svojim interesom za mistični aspekt brojeva.

3) Pitagorovci, poput Hipaza, su stoga pokušavali naći nove primjere primjenljivosti brojčanih odnosa te su razmatrali teorijsku važnost tih zapažanja.

5.2.1.2. Brojevi i svijet: Aristotelov prikaz

Aristotel spominje skupinu mislioca koju je označio kao »ljudi zvani pitagorovcima«, koji su djelovali u Italiji i bili suvremenici atomista (druga polovica 5. st. pr. Kr.), a koji su smatrali da su brojevi i njihova svojstva ključ ustroja svijeta. Nije jasno u kakvoj vezi je ta skupina s ranim pitagorovcima. U tom kontekstu Aristotel nikad ne govori o samom Pitagori, već ga opisuje samo kao čudotvorca i religijskog vođu.

Rekli smo već da je tijekom 5. st. pr. Kr. došlo do raskola unutar Pitagorine škole: skupina koja je tvrdila da slijedi izvorno učenje je kritizirala drugu skupinu, »matematičare«. Moguće je da je ta druga skupina ona koju Aristotel naziva »tzv. pitagorovcima«. Hipaza se u izvorima dosljedno prikazuje kao utemeljitelja izučavanja matematike i prirode u Pitagorinoj školi. Tu je važan i Filolaj, kojeg smo već spomenuli i o kojem ćemo više reći kasnije. Čini se da se fragmenti Filolajevih učenja donekle slažu s Aristotelovim prikazom i omogućuju nam da kažemo nešto o pitagorejstvu 5. st. pr. Kr. i da ga razlučimo od samog Pitagore.

Ti Aristotelovi »tzv. pitagorovci« prihvaćaju samo područje osjetilnoga i poistovjećuju brojeve s osjetilnim predmetima. Prema njima brojevi su temelj svijeta, prava zbilja. Smatraju da je svijet je u konačnici utemeljen na brojevima, štoviše, svijet je *načinjen od brojeva*. Uočimo unošenje matematike u pitanje o zbilji. Za njih brojevi nisu više tek sredstvo za praktične potrebe,

nisu tek element *logistike* – grčkoga umijeća baratanja brojevima u praktičnom životu – već su nešto fundamentalno, u svezi s ontološkom strukturom svijeta. Nasuprot promjenljivim stvarima iskustva, brojevi posjeduju odlike bezvremenske valjanosti: vječni su, nenastali, neprolazni, nepromjenljivi.

Prema Aristotelu ti pitagorovci su uspostavili korespondenciju između geometrijskih objekata i brojeva: točka odgovara broju jedan, crta broju dva, ravnina broju tri, a tijelo broju četiri. Geometrija se svodi na aritmetiku, odnosi čistih geometrijskih formi se svode na brojevine odnose.

Osnova je pretpostavka da točke nisu bezdimenzionalne, dodavanjem daju crte itd. Tako se crta sastoji od točaka, a zapravo od jedinica, koja je s točkom poistovječena. Tako shvaćeni geometrijski objekti su bitak svijeta, ono što uistinu jest. Drugim riječima, prema Aristotelovom prikazu ti pitagorovci smatraju da brojevi čine svijet, brojevi su ono od čega je svijet načinjen – tvarna tijela se svode na geometrijska tijela, a geometrijska tijela na brojeve.

5.2.1.3. Brojevi i svijet: Filolaj (5./4. st. pr. Kr.)

Filolaj je prvi pitagorovac koji je objavio učenje. To je glavni izvor za izučavanje ranog pitagorejstva. No očuvani fragmenti Filolajevog djela daju nešto drukčiju sliku od Aristotelovog prikaza.

Filolaj smatra da stvari koje postoje moraju biti ili ograničavajuće ili neograničene (poput raznih tvari, prostora i vremena – to su neka »Neograničena«, kao množina od Neograničeno). Red kozmosa nužno podrazumijeva ograničenje neograničenoga, u redu svijeta vidimo granice, poput oblika i struktura. Stoga su Ograničavatelji temeljne sastavnice zbilje, baš kao i Neograničena. Ono što je zajedničko svim Neograničenima nisu kvalitativna svojstva, već činjenica da nisu određena nekom veličinom. Ona označavaju kontinuum mogućih veličina koji je strukturiran Ograničavateljima:

»Priroda je u poretku svijeta [kozmosu] sastavljena od neograničenih i ograničujućih elemenata, kako sustav svijeta u cjelini tako i svi dijelovi u njemu«.

No potrebno je i treće načelo da se objasni svijet. Ograničavatelji i Neograničena su različiti pa ih mora držati zajedno neka vrsta veze koja određuje specifični način na koji se oni kombiniraju da bi dali uređeni svijet koji opažamo. To Filolaj naziva »sastavljanjem« (*harmonia*) i ono uključuje posljednji središnji pojam njegova sustava, tj. broj. Primjer je dijatonska ljestvica: Neograničeno (kontinuum zvuka) je kombiniran s Ograničavateljima (točke tog kontinuuma), a to »sastavljanje« je vođeno odnosima cijelih brojeva 1:2, 2:3, 3:4, tako da rezultat nije slučajni skup nota već dijatonska skala.

Filolaj smatra da poznavanje prirode kakva jest nije dostupno smrtnicima. Najbolje što možemo je postaviti kao načela ono što je nužno za objašnjenje svijeta kakvog poznajemo, a to su Ograničavatelji, Neograničena i *harmonia*. Broj treba riješiti probleme koji se tiču spoznaje našega svijeta:

»I doista sve stvari koje se mogu spoznati imaju broj, jer bez njega nije moguće ništa niti smisliti niti spoznati«.

Broj je prototip spoznatljivog. Filolaj smatra da red svijeta održavaju numerički odnosi poput $2+2=4$.

5.2.1.4. Aristotelov prikaz – tumačenje Filolaja ili usmena predaja?

Valja uočiti razliku između Aristotelova prikaza i Filolajevih fragmenata. Aristotel kaže da su »tzv. pitagorovci« smatrali da brojevi *čine svijet*, dok kod Filolaja prije nalazimo ideju da je *red svijeta zadan brojevima*, red svijeta je brojevni, matematički red.

Neki smatraju da je Aristotelova tvrdnja da za pitagorovce stvari »jesu brojevi« njegovo tumačenje Filolaja: za Filolaja je spoznatljivo ono što je numeričko, a za Aristotela je pak ono što je spoznatljivo o stvarima njihova bit; stoga je Aristotel mogao zaključiti da su za pitagorovce brojevi bit stvari.

No bilo bi pogrešno kritizirati Filolaja da je tjelesne stvari konstruirao od brojeva. Filolaj ne kaže da su stvari načinjene od brojeva, već od Ograničavatelja i Neograničenih, a brojevi određuju »sastavljanje« i daju sklad svijeta.

Drugi pak misle da se Aristotelov prikaz u cjelini ne oslanja na Filolaja, već samo onda kad pokušava razraditi detalje, dok se u općenitom prikazu oslanja na usmenu predaju (tvrdnja o brojevima kao biti stvari). Tu bi se radilo o razradi učenja o broju i harmoniji koje se pripisuje Pitagori. Tu nalazimo fascinaciju simboličkim moćima brojeva, pojedinačno i kao sustava, a ne duboka matematička istraživanja.

5.2.1.5. Matematika i zbilja

Vidimo da smo ponovno suočeni s problemom tumačenja teorija ranih grčkih filozofa, s problemom ispravnoga shvaćanja njihovih ideja. Veliki dio problema je posljedica nepostojanja pouzdanih izvora, njihova su djela uglavnom izgubljena i ostali su samo fragmenti i prikazi koje prenose kasniji autori. No čak i da imamo ta djela pitanje je bismo li bili u stanju ispravno razumjeti tvrdnje mislioca toliko udaljenih od našega načina mišljenja.

Moguće je da su pitagorovci smatrali da su brojevi temelj svijeta, tj. da brojevi čine stvari i svijet u cjelini (kako prenosi Aristotel) ili da su smatrali da brojevi određuju red svijeta (što se čini iz Filolajevih fragmenata) ili pak da su zapravo mislili nešto treće. Moguće je, štoviše vjerojatno, da se nisu posve slagali oko uloge brojeva, da su neki smatrali da brojevi uistinu jesu svijet, dok su drugi mislili da su brojevi temelj reda svijeta, građenog od nečeg drugog. No za našu temu, za razmatranje povijesti fizike, to nije osobito važno. Ono što jest važno je to što je s pitagorovcima započelo razmatranje odnosa tjelesnog svijeta i matematike. Što su oni jedno drugome? Postoji li između stvarnoga svijeta i matematike neka veza? Nakon pitagorovaca niti jedan filozof

koji se bavio prirodom više nije mogao izbjeći suočavanje s tim problemom, morao je razviti neki stav i argumentirati ga. Pitanje odnosa matematike i tjelesne zbilje je postalo filozofski problem. Taj problem je otvoren i u suvremenoj fizici. Možemo i moramo zapitati se zašto suvremena, matematičkim jezikom izražena fizika tako dobro funkcionira. Zašto matematika tako dobro služi fizici? Je li to stoga što je stvarni svijet zapravo matematička struktura? Stoji li neka matematička struktura iza pojavnosti stvarnoga svijeta? Ili je pak matematika tek specifični jezik koji su razvili ljudi, između ostaloga i u svrhu prikazivanja pravilnosti prirodnih pojava? Jesu li naprosto u biti nematematički »prirodni zakoni« toliko »strogi« da ih je najprimjerenije prikazati strogošću matematičkih odnosa?

Možemo se općenito pitati je li matematika primjenljiva i u kojem smislu. Može li matematika, koje su predmet idealne forme, išta reći o stvarnom svijetu? Je li svijet u osnovi matematičan, u kojem je slučaju matematična raščlamba siguran put do dubljeg razumijevanja, ili je matematika primjenljiva tek na površinske, brojive aspekte stvari, dok do prave zbilje ne dopire? U svezi s pojmom trokuta možemo sa sigurnošću reći da zbroj njegovih kutova daje ispruženi kut. Je li opravdano tu sigurnu spoznaju o pojmu trokuta primijeniti kad razmatramo stvarne, osjetilima dostupne trokute? Matematička istina o pojmu trokuta je relevantna i za stvarni trokut ako smatramo da on nekako sadrži u sebi idealnu formu trokuta. To nam omogućuje da uistinu spoznamo stvarni, pojedinačni trokut. Kad pitagorovci kažu da je priroda u nekom smislu brojeva, zapravo kažu da je matematika primjenljiva. No zašto je primjenljiva i na koji je način primjenljiva, to ostaje otvoreno pitanje.

5.2.2. Tehnički aspekt pitagorejskoga razmatranja odnosa prirode i brojeva

Vidjeli smo da su pitagorovci zapažanje da su glazbeni intervali povezani s brojevima uopćili u teoriju o nekovernoj brojevnosti kozmosa. Zaključili su da je ta pojava tek jedan primjer opće upletenosti brojeva u ustroj kozmosa, da su brojevi (matematika) i priroda ne neki ne posve jasan način neraskidivo povezani.

No valja obratiti pozornost i na drugi aspekt tog zapažanja: tu vezu pitagorovci izvorno uočavaju na *glazbalima*, tj. artefaktima, tehničkim izrađevinama, umjetno načinjenim napravama. To, naravno, nije eksperiment u suvremenom smislu, ali sa suvremenim eksperimentom dijeli bitnu značajku: radi se o opažanju pojave koja se zbiva u izrađevini, u tehničkom okruženju, o pojavi koja nije opaziva bez ljudske intervencije u prirodu, o pojavi koja se ne zbiva sama od sebe, već joj treba naša pomoć. Glazba je *ljudsko* djelo, glazbeni intervali su skladni *ljudima*, bez *ljudi* nema niti glazbala niti glazbe. Bez glazbala koja daju ljudima skladna suzvučja nema niti opažene veze između sklada i brojeva. Kakve onda veze to njihovo zapažanje ima sa samom prirodom, prirodom kakva jest neovisno o nama, a koja je po

pretpostavci predmet filozofskog istraživanja? Jesmo li na taj način saznali neku istinu o samoj prirodi ili pak samo naučili graditi bolja glazbala? (Uočimo da o našem stavu o tome »Što je fizika?« bitno ovisi vrednovanje ova dva moguća odgovora!) Nama se danas, naučenim na eksperimentalnu fiziku, takva pitanja čine besmislenima, ali to je samo zato što čvrsto vjerujemo, i na tome temeljimo naše eksperimentalno istraživanje stvarnoga svijeta, da se »prirodne« i »umjetne« stvari ponašaju na isti način, da za jedne i druge vrijede isti zakoni, da nije važno je li neki sustav nastao u prirodi ili smo ga mi načinili. No to poistovjećivanje nije samorazumljivo. Napose u ranim danima filozofije nipošto nije bilo jasno može li se i kako ta pretpostavka opravdati. Ukratko, učenja pitagorovaca nisu unijela u repertoar filozofa tek pitanje o odnosu prirode i matematike, tj. pitanje o vrijednosti matematike u spoznaji prirode, već i pitanje o odnosu prirode i tehnike, tj. pitanje o vrijednosti tehnike (eksperimenta) u spoznaji prirode.

Najranije propitivanje vrijednosti eksperimenta za razotkrivanje istine o prirodi nalazimo kod Platona. Platon u *Državi* pitagorejske akustičke pokuse, u kojima su oni »marljivo mjerili međuodnose između čujnih suzvučja i zvukova« vibrirajućih žica s nakanom da te međuodnose prošire na »prve stvari u čitavoj prirodi... i po čitavim nebesima« (Aristotel), opisuje kao rad »onih koji žicama dodijavaju te ih muče rastežući ih oko klinaca«. Njegova ironija tu nije nimalo slučajna. Namjernom i domišljatom uporabom riječi koja u svakidašnjem govoru znači »ispitivati«, »kušati je li što pravo«, ali također i »koga preslušati« ili »saslušati«, osobito mučenjem, odnosno, izravno »mučiti« pa čak i »kostolomiti«, Platon je želio naglasiti svoju načelnu brigu o tome može li prava suština prirodnih pojava uopće biti razotkrivena uz pomoć artificijelnih sredstava u artificijelnom okružju, u procesu koji veoma nalikuje izvlačenju priznanja iz uznika mučenjem, što veoma često rezultira ili »zatajivanjem ili lažnim priznanjima«. Platon ovdje, naravno, ne aludira na ono što bi u današnje doba nazvali »eksperimentalnom pogreškom«, njegove prave brige leže u mogućnosti da eksperimentiranje ne razotkriva istinske i skrivene tajne prirode već da ono stavlja naše – i stoga lažne i suštinski artificijelne – odgovore u njezina usta.

Antički filozofi su, dakle, potaknuti pitagorejskim naukom, shvatili bit eksperimenta, njegovu neraskidivu povezanost s tehnikom, te su stoga posve opravdano razmotrili prije navedena pitanja. No njih takva razmatranja vode do negativnog stava o pokusu kao metodi stjecanja iskustvenih znanja o prirodi. Spomenimo da ne dijele svi ljudi u antici negativan stav prema eksperimentu. Antički inženjeri, tehničari, a vjerojatno i obrtnici, su često posve svjesno eksperimentirali s različitim napravama tražeći najdjelotvorniju konstrukciju ili postupak za dani cilj – poznati su primjerice eksperimenti s katapultom, koji su rezultirali »formulom katapulta«, matematičkim obrascem za izradu katapulta željenih svojstava. No ciljevi inženjera se razlikuju od ciljeva filozofa, inženjeri teže k praktičnoj koristi, a filozofi k istini. Inženjeri žele znati po kojim se zakonima ponaša neka *naprava*, a filozofi po kojim se zakonima ponaša *sama priroda*. Naprave imaju neobičnu dvostruku narav: s jedne strane u stanovitom smislu pripadaju prirodi jer su tvarni predmeti, građene su od prirodnih materijala, ali s druge strane ne pripadaju prirodi jer bez ljudske intervencije nikad ne bi nastale u prirodi. Upravo to muči antičke

filozofe: kako u »ponašanju« neke naprave razlučiti ono »prirodno« od onog »umjetnog«.

Ne treba misliti da je antičke filozofe od eksperimenata odvratilo samo društveno uvjetovano nisko vrednovanje praktičnih umijeća, o čemu smo govorili ranije. Aristotel je ponudio filozofski argument za neprimjerenost eksperimentalne metode u istraživanju prirode. No taj je argument razvijen u viziji prirode poprilično drukčijoj od naše današnje. I Platonu i Aristotelu je u prirodi očigledno djelovanje *svrha*. Aristotel stoga gradi sliku svrhovitoga svemira, »organskoga« svemira, svemira koji je zamišljen *po uzoru* na organizam, živo biće (što nipošto ne znači da je Aristotelov svemir »živ«!). To je svrhoviti svemir, svijet u kojem svako biće, živo ili neživo, u svojem prirodnom razvoju »teži« k nekom idealnom stanju i te se težnje očituju u prirodnim pojavama. U Aristotelovom svemiru, primjerice, kamen podignut s površine Zemlje i pušten ne pada zbog uzajamnog privlačenja sa Zemljom (što je naše suvremeno objašnjenje), već zato što *teži* k svom »prirodnom mjestu«, onom mjestu u svijetu u kojem je njegova svrha ispunjena, a ta težnja nema nikakve veze sa Zemljom (valja imati na umu da ta težnja kamena prema prirodnom mjestu nije svjesna težnja, kamen, naravno, nije svjesno biće koje nešto »želi«, već se radi o prirodnom zakonu, o zakonu kojim je uređen svijet).

Kasnije ćemo pobliže upoznati Aristotelov svrhoviti organski svemir, no ovom prilikom treba reći još par riječi o spomenutoj očiglednosti djelovanja svrha u prirodi. U modernoj fizici se svrhe ne spominju. Svrhe ne ulaze ni u jedan zakon moderne fizike. Razvoj sustava u vremenu mi nikad ne objašnjavamo nekim »težnjama« (doduše, znamo primjerice reći da termodinamički sustav »teži« k stanju maksimalne entropije, ali to je samo način izražavanja: čestice koje čine sustav ne »teže« prema nekom mjestu ili stanju, već se gibaju u skladu sa zakonima mehanike, *nesvrhovito*, što na iskustvenoj makroskopskoj razini *statistički* rezultira »usmjerenom« promjenom stanja sustava). Uzmemo li u obzir bjelodanu nesvrhovitost moderne fizike – naša znanstvena slika prirode naprosto ne uključuje svrhe i težnje – opravdano je upitati se zašto su antički filozofi vidjeli svrhe tamo gdje ih mi više ne vidimo. Za odgovor na to pitanje moramo se premjestiti u njihovu iskustvenu situaciju. Kad suvremeni fizičar krene iskustveno istraživati prirodu, on se zatvori u laboratorij ispunjen eksperimentalnim napravama, iz kojeg često ne vidi ni nebo ni Sunce, a kamoli biljke ili životinje (možda neku lončanicu ili žohara...). Kad pak Aristotel krene iskustveno istraživati prirodu, on gleda nebo i Sunce, biljke i životinje u šumi ili na livadi, kamenje i potoke na planini. Ono što je modernom fizičaru opuštanje, izlet u prirodu, Aristotelu je istraživanje. U takvom »naturalnom« okruženju većina promjena je očigledno svrhovita (premda bi današnji znanstvenik rekao da je ta svrhovitost tek pričin). Životinje se ponašaju svrhovito, čine ono što čine da bi postigle neki cilj, a isto vrijedi i za promjene biljaka. Aristotel naprosto nema nikakav drugi uzor za objašnjenje promjena u svijetu i stoga nas ne treba čuditi što je svrhovitost zapaženu u živom svijetu protegnuo na cijeli svemir – tj. i na pojave poput padanja kamena i gibanja Sunca, za koje svrhe nisu očigledne kao u slučaju životinja i biljaka – i oblikovao sliku »organskoga« svemira.

Aristotelov argument za neprimjerenost eksperimentalne metode u istraživanju prirode je, dakle, zasnovan na njegovoj metafizici, izgrađen je u okviru njegove vizije organskoga svemira. Prema Aristotelu sve što je *prirodno*,

po prirodi, sve što postoji u prirodi samo po sebi (a to je po njemu predmet istraživanja znanosti o prirodi) ima *u sebi* načelo ili izvor promjene, koje on naziva »narav«. »Narav« svakog prirodnog bića, živog ili neživog, je u Aristotelovu organskom, svrhovitom poimanju svemira blisko povezana sa svrhom tog bića, ona određuje stanje prema kojem to biće teži. No umjetne stvari, stvari koje je u svijet unio čovjek, koje je čovjek izradio, nemaju takvu »narav«, nemaju prirodnu svrhu, već im svrhu daje čovjek koji ih je izradio. Aristotel na taj način strogo razdvaja područje prirodnih stvari, prirode – koje je predmet znanstvenog istraživanja – i područje umjetnih stvari, tj. tehnike. To nam omogućuje da razumijemo zašto kod Aristotela u znanstvenoj praksi nema ničega što bi nalikovalo kontroliranom pokusu. Ako »narav« stvari treba otkriti kroz ponašanje te stvari u prirodnom stanju, tada bi se umjetna ograničenja samo upletala u prirodni tijek stvari i mijenjala ga, izobličavala, kvarila. Pokusi takve vrste nam ne otkrivaju ništa o »naravi« stvari što ne bismo mogli otkriti bolje na drugi način, a može nas dovesti u zabludu da ono što smo sami izazvali proglasimo prirodnim. Pojave koje se očituju u artefaktu, primjerice »eksperimentalnoj napravi«, za Aristotela naprosto nisu »prirodne pojave«. U artefaktu, napravi, su pomješane prirodne svrhe (tvar od koje je načinjena) i umjetne svrhe (cilj s kojim je načinjena). Budući da su po Aristotelu promjene u velikoj mjeri određene svrhama, pojave koje se očituju u artefaktu su posljedica i prirodnih i umjetnih svrha, a mi pritom ni na koji način nismo u stanju razlučiti »prirodno« ponašanje od »umjetnog«. Stoga ne znamo i ne možemo znati što nam neki pokus zapravo kaže o samoj prirodi. Ako uopće nešto i kaže, to možemo pouzdanije saznati naprosto motrenjem stvari u prirodnom stanju i okruženju i razmišljanjem, pouzdanije u smislu da pritom nismo u opasnosti da našim djelovanjem izazvano ponašanje protumačimo kao prirodno i na temelju takvoga ponašanja pripišemo prirodi nešto čega u njoj zapravo nema. Aristotelova je znanstvena praksa dakle posve u skladu sa svijetom kako ga on zamišlja i prilagođena pitanjima koja ga zanimaju. U okviru njegove vizije organskoga svemira takav je stav prema eksperimentu opravdan i zapravo jedini ispravan.

Gornja nam razmatranja pokazuju da u okviru Aristotelove »organske« slike svijeta eksperiment naprosto nije mogao biti prihvaćen kao pouzdana metoda iskustvenoga istraživanja prirode. Nije svaka metoda istraživanja primjerena svakoj slici svijeta. Netko bi mogao reći da je oblikovanjem takve slike svijeta Aristotel za dvije tisuće godina zaustavio napredak znanosti. Štošta se može prigovoriti takvoj kritici, no za našu je svrhu dovoljno reći da je vrlo teško zamisliti i opravdati alternativnu povijest fizike u kojoj je ta faza razvoja preskočena, imamo li na umu iskustvo i duh antičkoga čovjeka. Gornja nam razmatranja također pokazuju da pokus nije mogao biti prihvaćen kao pouzdana metoda iskustvenoga istraživanja prirode sve dok se slika svijeta nije korjenito promjenila. Takva nova slika svijeta, vizija »mehaničkoga« svemira, svemira zamišljenog ne kao organizam, već kao divovski stroj, se postupno razvija u Europi tijekom 17. stoljeća. U funkcioniranju mehanizma, u radu mehaničkoga stroja, nema ničeg svrhovitog (premda on svojim funkcioniranjem ispunjava neku svrhu *za nas* koji smo ga načinili). Funkcioniranje stroja nije zadano njegovom težnjom prema nekom idealnom stanju, već oblicima, gibanjima i odnosom njegovih dijelova. Zamislimo li svijet kao stroj (što u osnovi odgovara atomističkoj slici svijeta: kao što je

funkcioniranje stroja jednoznačno određeno gibanjima, oblicima i odnosima njegovih dijelova, tako je i funkcioniranje »svjetskog stroja« - tj. prirodne pojave – jednoznačno određeno gibanjima, oblicima i odnosima njegovih dijelova, tj. atoma) tada iz njega zapravo isključujemo svrhe. S druge strane, vidjeli smo da su upravo svrhe temelj Aristotelovog razlikovanja prirodnoga i umjetnoga. No u »mehaničkom« svemiru nema svrha pa nema ni osnove za takvo razlikovanje. I u mehaničkom svemiru možemo razlikovati prirodne i umjetne stvari, ali samo po tome tko ih je načinio: Bog (rekli bi ljudi 17. stoljeća) ili čovjek. No među umjetnim i prirodnim stvarima u takvom svemiru nema suštinske razlike u ponašanju i nema osnove za takvu razliku. I prirodne i umjetne stvari su načinjene od istih dijelova – atoma – koji se uvijek ponašaju na isti način, bili uklopljeni u prirodnu ili u umjetnu stvar. Stoga u okviru takve vizije svemira više nema razloga za sumnju u opravdanost eksperimentiranja: mala naprava koju smo mi načinili je u biti iste naravi kao božanska divovska naprava (svemir) i ponaša se po istim zakonima kao »svjetski stroj«, to je naprosto mali stroj u velikom stroju. Stoga nam promišljeno i vješto izrađivanje eksperimentalnih naprava može omogućiti da bolje upoznamo zakone prirode.

Mehanička predodžba svemira je bila filozofski temelj za oblikovanje moderne fizike, njezin prvi veliki plod je Newtonova mehanika, i ona je barem za veliku većinu znanstvenika i barem privremeno (neki bi rekli do pojave kvantne mehanike) neupitno ustoličila eksperiment kao »kraljevski put« do pouzdanoga znanja o prirodi. Moderne fizike, fizike kakva je danas, nema bez tehnike i eksperimenata, ali trebale su proći dvije tisuće godina da bi se stav o vrijednosti pokusa promijenio i to se dogodilo u vrlo specifičnom kontekstu Europe 16. i 17. stoljeća (o toj promjeni ćemo više reći kasnije). No unatoč tome nije naodmet malo zastati i razmisliti o Platonovoj i Aristotelovoj brizi, koja nipošto nije iščeznula iz filozofskog propitivanja suvremene fizike. Više od dva tisućljeća nakon Platona slične je dvojbe izrazio i sam »otac« eksperimentalne metode, Francis Bacon, priznajući da eksperimentiranje, gdje se priroda »stavlja u okove, oblikuje, te čini novom umijećem i rukama čovjeka (*arte et opera humana*) kao i kod umjetnina« može rezultirati iskrivljenim odgovorima prirode, kao što i mučenje može iz uznika izvući lažne odgovore. U kontekstu suvremene eksperimentalne znanosti ovo je razmišljanje daleko od anakronosti. Eksperimentiranje uistinu jest nasilan čin intervencije u prirodan poredak stvari, a ne tek puko »opažanje« prirode nekim neprimjetnim uhođenjem. Kako to postavlja W. Herschell, otkrivač planete Urana, opažanje je stvar »primjećivanja činjenica kako se one javljaju bez ikakva pokušaja utjecaja na frekvenciju njihova javljanja«. Nasuprot tome, eksperiment je pak posao »stavljanja u djelo uzroka i posrednika nad kojima imamo kontrolu, svrhovitog variranja njihovih kombinacija, te primjećivanja onih učinaka koji se pojavljuju«. Drugim riječima, eksperiment je, nasuprot opažanju i svakidašnjem iskustvu, posve općenito namjerna i smišljena intervencija u prirodni tijek stvari u kojoj se prirodni (i artificijelni) sustavi proučavaju u artificijelnom okruženju pod artificijelno kontroliranim i reproducibilnim uvjetima, uz što je god moguće veće uklanjanje »pozadinskog šuma« koji bi mogao omesti epistemološki relevantne i objektivne podatke. No uklanjanje ovog šuma i uspostavljanje stabilne jezgre fenomena u našim eksperimentima zahtjevan je i neizvjestan posao, koji ne samo da često priječi

strogo razlikovanje prihvatljivih i neprihvatljivih podataka, već moguće i samo razlikovanje istinski raskriljenih *prirodnih* fenomena od onih *artificijelnih*, stvorenih u laboratoriju.

Čak i da prihvatimo stav da »u eksperimentalnoj znanosti, unatoč golemoj upletenosti ljudske lukavštine, nemamo posla s fantomima, da eksperimenti mogu biti ponovljeni, mušice istjerane, a sami eksperimentalni rezultati definitivno utvrđeni, da instrumenti mogu biti konstruirani tako da su signali jasno razlučivi u odnosu na šum, pojave u odnosu na pozadinu, a da smetnje kao glavni izvor sustavnih pogrešaka mogu biti zapriječene ili barem izmjerene i izračunate ne bi li konačan rezultat mogao biti „čist“« mi time još uvijek nismo dobili odgovor na jedno temeljno pitanje, koje je možda više od svih drugih od presudne važnosti za svaku filozofijsku procjenu spoznajne uloge i mjesta eksperimentalne metode u prirodnoj znanosti: naime, koliko je kod suvremenih znanstvenih eksperimenata uopće riječ o otkrivanju prirodnih pojava uz pomoć »epistemološki transparentnog« znanstvenog instrumentarija, kako to vjeruje velika većina filozofa znanosti (da ne spominjemo same djelatne znanstvenike), a ne moguće o sasvim specifičnom tehnološkom i stoga artificijelnom proizvođenju eksperimentalnih pojava, te tako o »otkrivanju« nečega što smo zapravo sami proizveli? Valja stoga svakom od nas razmotriti pitanje imamo li uistinu razloga vjerovati da u našim eksperimentalnim poduhvatima »sve artificijelno može biti izuzeto a njihovi tragovi izbrisani tako da ono prirodno zasja u svojoj blistavosti kroz staklastu bit znanstvenih instrumenata«, što je pitanje s kojim su se začudo tradicionalna filozofija znanosti i njezine novije nadogradnje bavile rijetko ili gotovo nikako. Ovo pitanje o možebitnoj »proizvodnji fenomena« u našoj eksperimentalnoj znanosti, koje naširoko korištenu frazu »eksperimentalno proučavanje prirodnih pojava« razvidno čini samu sebi proturječnom nije tek još jedan od hireva ili pak još jedna od filozofskih zloraba znanosti. Štoviše, čini se da je pitanje staro koliko i sama ideja podvrgavanja prirode umijeću ljudskih ruku ne bi li one uz pomoć artefakata koje su same proizvele pronikle u njezine tajne. Stoga nipošto ne treba kriviti antičke filozofe što su tom pitanju posvetili pozornost, već ih naprotiv zbog toga pohvaliti, premda je njihov stav bio različit od našeg. No on je bio različit prije svega stoga što je razvijen u drukčijem svjetonazoru.

5.3. Pitagorejska kozmografija

Razmotrimo sada treće od novih pitanja koja pitagorovci uvode u filozofiju, pitanje »Kako se gibaju planeti i giba li se Zemlja?«.

Za označavanje pitagorejskog modela svemira koristimo termin »kozografija«, »opis svijeta«, da bismo njihov doprinos razlikovali od astronomije i kozmologije. Terminom »astronomija« ćemo ubuduće označavati djelatnost koja se nešto kasnije pojavila u Grčkoj kao grana matematike, a zadaća joj je bila *konstruiranje* putanja nebeskih tijela i *proračunavanje* nebeskih pojava. Terminom »kozmologija« ćemo pak označavati djelatnost koja

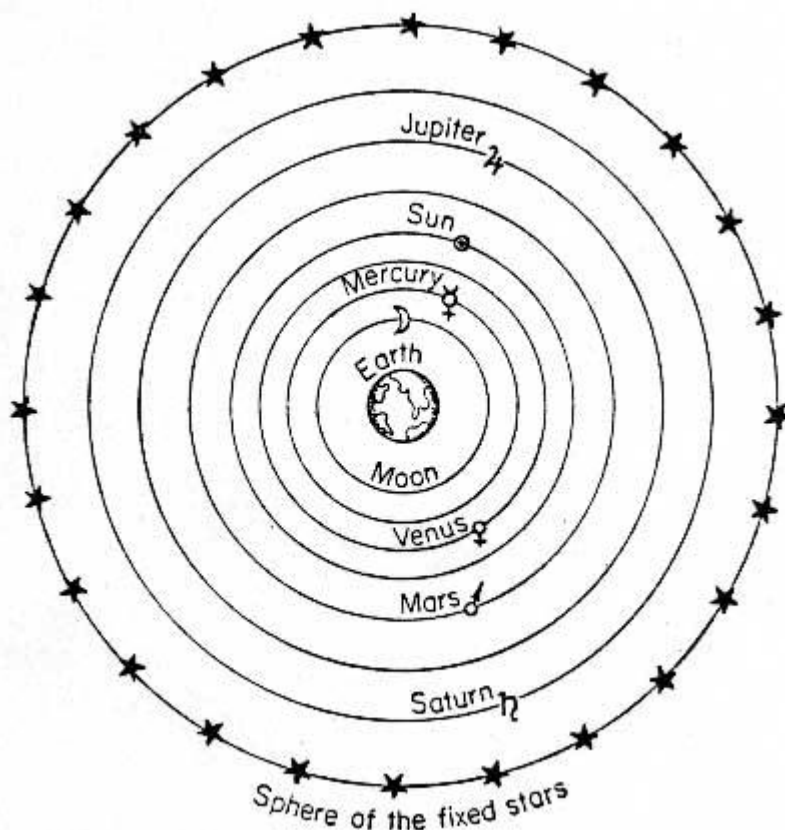
se razvila kao grana filozofije, a zadaća joj je bila *objašnjavanje* putanja nebeskih tijela i nebeskih pojava. Pitagorejska razmatranja označavamo terminom »kozmozografija« stoga što u njima još nema ni matematičke razrade ni filozofskoga objašnjenja. Naprosto se radi o jednoj slici svemira, koja je pak kasnije poslužila kao ishodište astronomskih i kozmoloških razrada.

Imamo li na umu ulogu koju u Pitagorinoj školi imaju brojevi i matematika općenito, ne iznenađuje nas što pitagorejska kozmozografija u velikoj mjeri proizlazi iz manipuliranja brojevima i razmatranja odlika geometrijskih likova i tijela. Smatrali su da je u pozadini opaženoga reda svijeta, u pozadini pravilnosti prirodnih pojava, matematički red pa ne čudi što su u najpravilnijim njima poznatim pojavama – nebeskim pojavama – prepoznali očitovanje savršenstva, najvišeg mogućeg matematičkog sklada. Njihova se specifična kozmozografija ne temelji na novim opažanjima, već se prije radi o pokušaju da se postojeće iskustvo uklopi u okvir koji zadaje teorijska – tj. matematička – nužda. Matematički sklad, simetrija, određuje kakav svijet mora biti. Ustroj svemira, koji se pokazuje kroz najpravilnije pojave, mora biti određen matematički savršenim formama. Takvim pristupom zadaju neke općenite elemente modela svemira koji su dugo smatrani neupitnima:

- 1) Kugla je savršeno tijelo, tijelo savršene simetrije, pa stoga svemir, Zemlja i nebeska tijela nužno moraju biti kuglasti (spomenimo da se tvrdnja da je Zemlja kugla ne nalazi u očuvanim pitagorejskim fragmentima i tu tvrdnju prvi eksplicitno iznosi Platon, no općenito se smatra da je ona pitagorejskoga podrijetla).
- 2) Kružnica je savršen lik, lik savršene simetrije, pa stoga putanje nebeskih tijela nužno moraju biti kružnice.
- 3) Jednoliko je gibanje savršeno pa se nebeska tijela nužno moraju gibati jednoliko.

5.3.1. Rana pitagorejska kozmozografija

Izvori o izvornoj pitagorejskoj kozmozografiji su krajnje oskudni i uvijek iz druge ruke, primjerice od Platona i Aristotela. Čini se da su smatrali da je kuglasta Zemlja u središtu kuglastoga svijeta, a oko nje se po kružnim putanjama jednoliko gibaju Mjesec, Merkur, Venera, Sunce, Mars, Jupiter i Saturn, otprilike kao na donjoj slici:



Istaknimo da se u ovom modelu svemira pojavljuje i pet planeta vidljivih golim okom – Merkur, Venera, Mars, Jupiter i Saturn – čega nema u poznatim modelima Milećana. To je veliki napredak. Upravo će problem gibanja planeta biti u središtu kasnijega razvoja astronomije, a planetna će astronomija, vidjet ćemo, igrati važnu ulogu u oblikovanju moderne fizike.

Takav model svemira u osnovi preuzima Platon, a nakon njega i Aristotel. Velika važnost tog izvornog pitagorejskog modela svemira je, dakle, u tome što je on postao polazište razvoja antičke geocentrične astronomije i kozmologije (taj ćemo razvoj opisati u sljedećim tekstovima). Spomenimo da su postojale stanovite nedoumice oko poretka Sunca, Merkura i Venere, a poredak prikazan na gornjoj slici se uobičajio u kasnijoj grčkoj astronomiji. Platon primjerice na nekim mjestima navodi poredak (od Zemlje): Mjesec, Sunce, Venera, Merkur, Mars, Jupiter, Saturn. Filolaj pak, vidjet ćemo uskoro, doduše u prilično drukčijoj slici, stavlja: Mjesec, Sunce, Merkur, Venera.

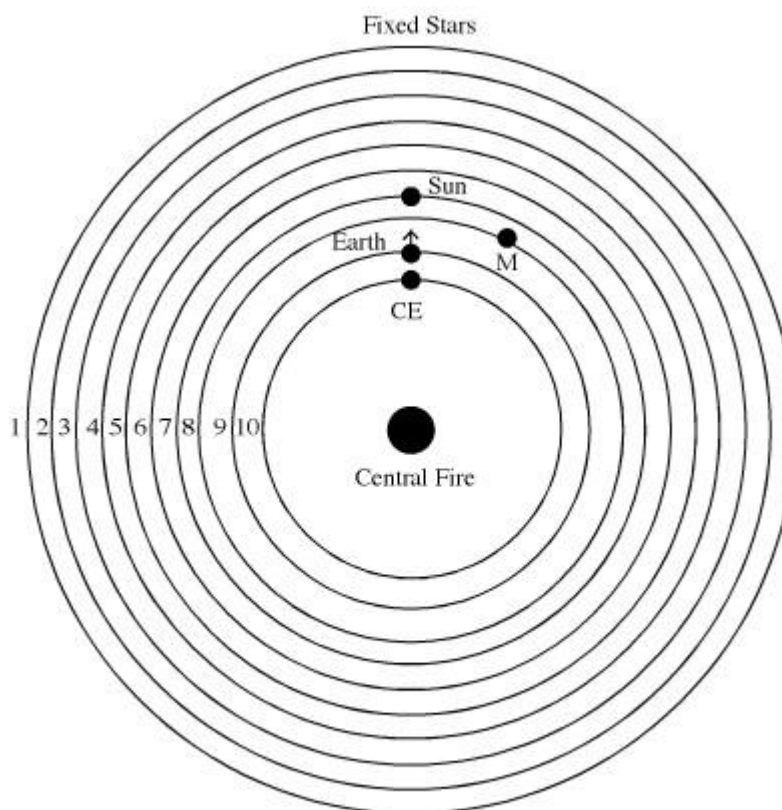
Platon i Aristotel nadalje prenose da su pitagorovci udaljenosti nebeskih tijela od Zemlje odredili na temelju intervala glazbene ljestvice, smatrali su da je nebo »glazbena ljestvica i broj«. Glavni elementi te teorije su sljedeći:

- 1) kružna gibanja nebeskih tijela stvaraju zvuk;
- 2) ton koji daje gibanje nekog nebeskog tijela razmjernan je brzini toga tijela;
- 3) brzine nebeskih tijela su razmjerne njihovim udaljenostima od Zemlje;
- 4) udaljenosti nebeskih tijela od Zemlje odgovaraju intervalima glazbene ljestvice;
- 5) dakle, nebeska tijela stvaraju harmonične zvukove;

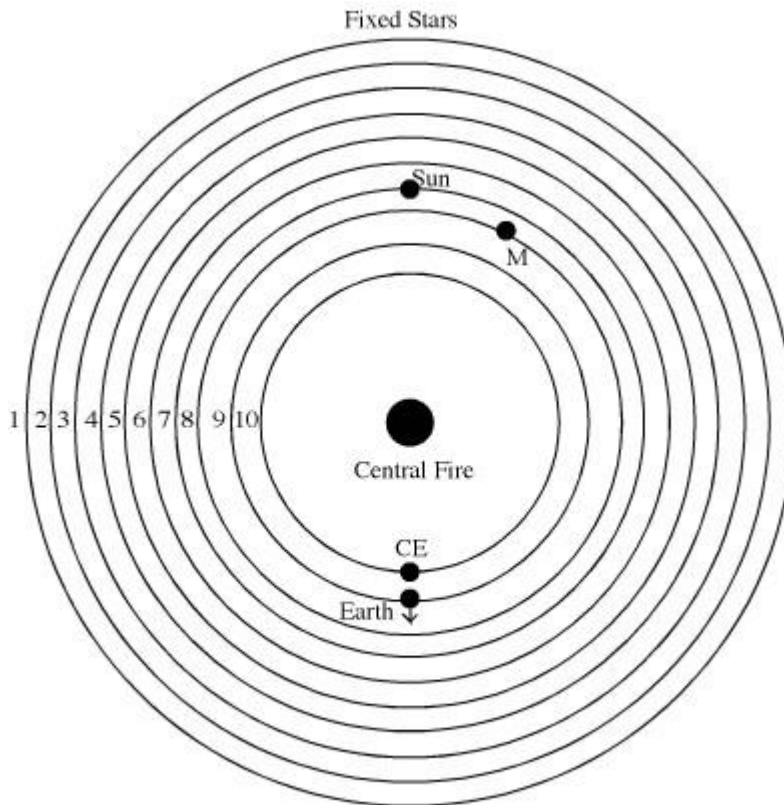
- 6) mi ne primjećujemo taj zvuk jer smo se navikli na njega, slušamo ga od rođenja.

5.3.2. Filolajeva kozmografija

Geocentrični pitagorejski model svemira je u antici postao standardan. Vidjet ćemo u nastavku da su astronomi u tu temeljnu sliku uvodili različite preinake kako bi je uskladili s opažanjima, dok su filozofi nastojali obrazložiti takav ustroj svemira, odgovoriti na pitanja što su nebeska tijela, od čega su građena, zašto se gibaju po kružnicama oko Zemlje itd. No to ne znači da antički mislioci nisu, iz različitih razloga, teorijskih ili iskustvenih, predlagali i drukčije modele svemira. Svaki od tih alternativnih modela je po nečemu bio važan za razvoj fizike. Neke od tih modela ćemo kasnije raspraviti, a ovom prilikom ćemo prikazati model pitagorovca Filolaja, kojeg smo već prije spomenuli. Filolajev model svemira je važan po tome što je to prvi poznati model u kojem Zemlja ne miruje u središtu svijeta, već se giba oko središta po kružnoj putanji. Model je prikazan na sljedećim slikama u dva trenutka u danu, u podne i u ponoć:



Position of the Earth and Sun at Noon



Position of the Earth and Sun at Midnight

Filolajev svijet (kozmos) je kuglast, u njegovu središtu se nalazi *Središnja vatra* (»ognjište«), a smješten je u neograničenom prostranstvu. Prema Filolajevom prikazu nastanka svijeta prvo »sastavljanje« (vidi odlomak 5.2.1.3. *Brojevi i svijet: Filolaj*) je bilo ograničavanje neograničene vatre njezinim postavljanjem u središte kugle. Prvo je, dakle, nastala kugla s vatrom u središtu. Čini se da je smatrao da se vatra nalazi i na rubu kozmosa – vatri kao najplemenitijoj »tvari« pripadaju povlaštena mjesta u svemiru: središte i rub.

Zemlja se giba oko Središnje vatre po kružnoj putanji i obiđe Središnju vatru jednom u 24 sata. Osim što obilazi Središnju vatru, Zemlja rotira oko svoje osi istom kutnom brzinom (jedna puna rotacija u 24 sata) – vidi strelicu na prikazu Zemlje na slikama! Mi nastanjujemo upravo tu stranu Zemlje (na kojoj se nalazi strelica) i stoga smo uvijek okrenuti »prema nebu« i ne vidimo Središnju vatru, već samo nebeska tijela. U očuvanim fragmentima Filolajevog djela nema spomena oblika Zemlje, no prema drugim antičkim izvorima i općim odlikama njegovoga modela s priličnom se sigurnošću može reći da je smatrao da je Zemlja kuglasta.

Mjesec (»M« na slikama) se također giba oko Središnje vatre po kružnoj putanji. Radijus njegove putanje je veći od radijusa putanje Zemlja, a on obiđe Središnju vatru jednom u »mjesec« dana (tj. 29,5 dana).

Sunce se također giba oko Središnje vatre po kružnoj putanji. Radijus njegove putanje je veći od radijusa putanje Mjeseca, a ono obiđe Središnju vatru jednom u godinu dana. Čini se da je smatrao da je Sunce tijelo staklaste naravi, koje prenosi svjetlost i toplinu vatre s ruba svijeta na Zemlju.

Po kružnim putanjama radijusa sve većeg od radijusa putanje Sunca se giba pet antici poznatih planeta (u poretku Merkur, Venera, Mars, Jupiter, Saturn) sa sve većim ophodnim vremenima.

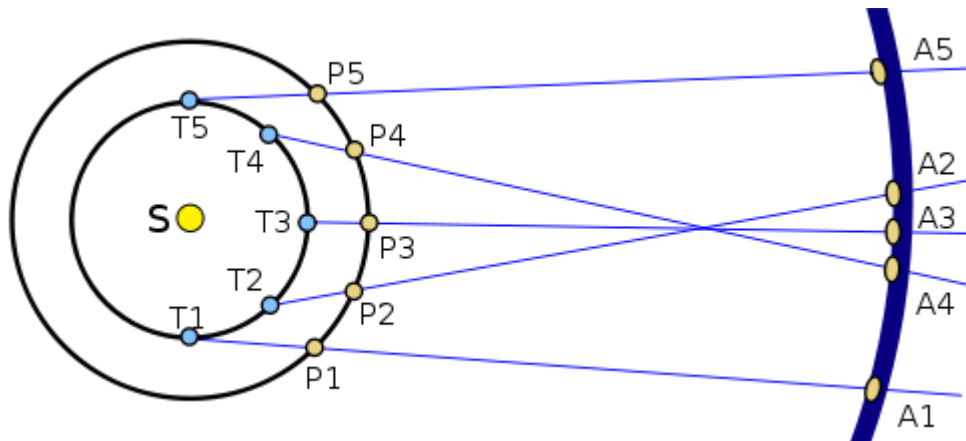
Na rubu kozmosa se nalazi sfera zvijezda stajačica, koja miruje.

Po kružnoj putanji radijusa manjeg od putanje Zemlje se oko Središnje vatre giba *Protuzemlja* («CE» na slikama).

Ova kružna gibanja objašnjavaju osnovno prividno gibanje Sunca, Mjeseca i planeta na pozadini zvijezda stajačica (kroz zviježđa Zodijska), no model ne objašnjava istančanije elemente gibanja planeta, poput retrogradnog gibanja. Retrogradno gibanje planeta je pojava kad planet prividno zastane na svom gibanju kroz Zodijsak te se počne gibati unatrag, da bi nakon nekog vremena nastavio gibanje u početnom smjeru – na donjoj kompoziciji fotografija je prikazano retrogradno gibanje Marsa:



Ova pojava nastaje stoga što planet koji se giba oko Sunca motrimo sa Zemlje koja se također giba oko Sunca:



Zemlja (T) prestiže vanjski planet (P) u gibanju oko Sunca (S). Promjena kuta opažanja planeta sa Zemlje dovodi do toga da se projekcija planeta na pozadinu zvijezda stajačica pomiče unatrag (od točke A2 do točke A4).

Spomenimo da je retrogradna gibanja planeta u model svemira prvi uključio Eudoks, jedno stoljeće nakon Filolaja (o Eudoksovom modelu ćemo kasnije reći više).

Gibanje Zemlje oko Središnje vatre objašnjava prividno dnevno gibanje Sunca preko neba, a time i dan i noć – dan traje dok je strana Zemlje na kojoj mi živimo okrenuta prema Suncu, a noć pada kad se ta strana Zemlje postupno okreće od Sunca zbog gibanja Zemlje oko Središnje vatre i njezine rotacije.

Kad se suočimo s ovim modelom svemira prije svega nam se nameće pitanje što je potaknulo Filolaja na takav model. Zašto je izmjestio Zemlju iz središta svijeta i pokrenuo je u gibanje oko Središnje vatre? Napose, zašto je u model svemira uveo tajnovitu Protuzemlju? Nikakva tadašnja opažanja ne sugeriraju gibanje Zemlje, a još manje postojanje Protuzemlje.

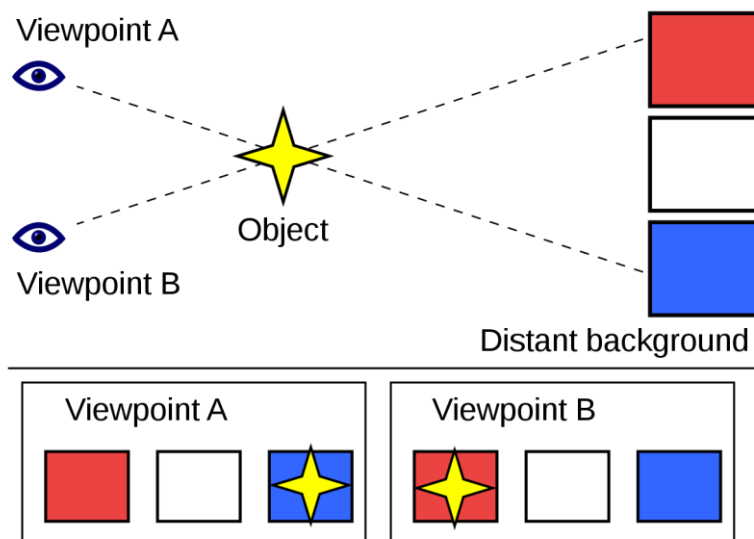
Najuvjerljivije objašnjenje je dao još Aristotel. Trebamo se prisjetiti pitagorejske mistike brojeva i napose *tetraktisa* (vidi odlomak 5.2.1. *Pitagora, glazba i brojevi*). Za rane pitagorovce pravi izvor mudrosti o stvarima je *tetractys*, prva četiri prirodna broja (1, 2, 3, 4) povezana na različite načine. Pitagori su pripisivali formulu $1+2+3+4=10$, a zbroj prva četiri prirodna broja, tj. broj 10, pitagorovci smatraju sveobuhvatnim. Aristotel pretpostavlja da je sveobuhvatnost broja 10 Filolaj protumačio u smislu da kozmos, uređeni svijet, mora sadržavati 10 tijela. No iskustvo nam pokazuje samo 9 tijela: Zemlja, Mjesec, Sunce, pet planeta i sfera zvijezda stajačica. Sva su ta tijela načelno opaziva pa takvo mora biti i deseto tijelo. No ako zadržimo Zemlju u središtu svijeta, oko kojeg se okreću sva druga tijela, i dodamo u takav svemir deseto tijelo, tada bi i ono moralo kružiti oko Zemlje i u tom slučaju bismo ga vidjeli. Problem je, dakle, kako u svemir smjestiti još jedno načelno opazivo tijelo, ali tako da ga mi ljudi ne vidimo (lako je, naravno, u geocentrični svemir smjestiti po volji mnogo načelno neopazivih tijela). Filolajevo rješenje je prikazani model svemira s Protuzemljom kao desetim tijelom – Protuzemlja je smještena u središnjem dijelu svemira, koji je stalno skriven našem pogledu.

Filolajev model svemira tijekom vremena nije zaboravljen. U predgovoru svojoj knjizi *O vrtnji nebeskih kugli* (1543.) Nikola Kopernik navodi Filolaja kao

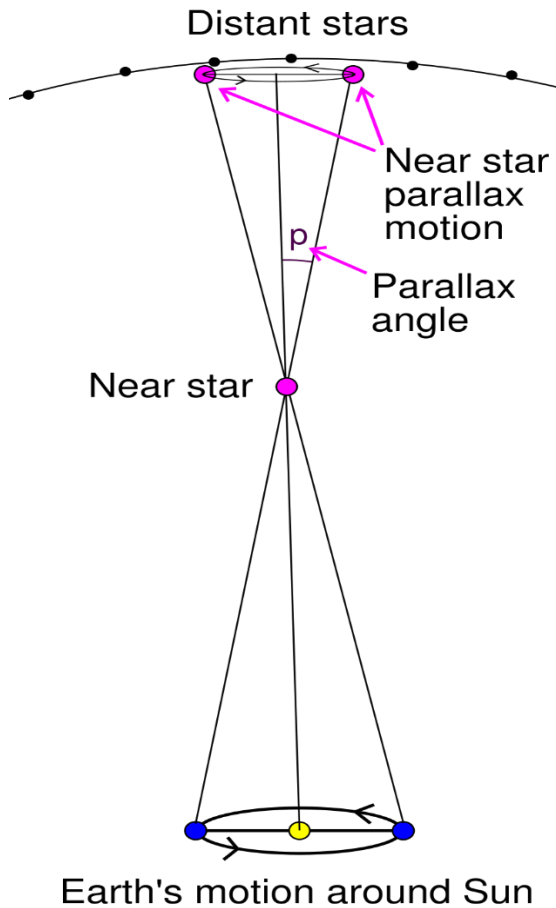
antički uzor, a učenje o gibanju Zemlje se još u doba Galileija nazivalo »pitagorejskim učenjem«.

Velika važnost Filolajevoga modela za razvoj fizike je u tome što je on pokrenuo raspravu o mogućnosti gibanja Zemlje. Naime, sve dok je mirovanje Zemlje u središtu svijeta samorazumljiva očigledna činjenica nema razloga da se ta činjenica brani dodatnim argumentima. No kad netko barem donekle uvjerljivo pokaže da se naše astronomsko iskustvo može pretumačiti u okviru modela svemira u kojem se Zemlja giba, tada protivnici te ideje moraju ponuditi argumente koji dokazuju da Zemlja uistinu miruje u središtu svijeta i argumente koji pokazuju da se Zemlja ne može gibati, a pristaše te ideje pak tada imaju na raspolaganju te argumente, da pokušaju u njima naći slabosti i kritizirati ih.

Čini se da je već sam Filolaj naslutio neke argumente protiv gibanja Zemlje i da je pokušao dokazati njihovu neopravdanost. Jedan od argumenata protiv gibanja Zemlje po kružnoj putanji oko središta svijeta (bez obzira što je smješteno u tom središtu, Središnja vatra ili Sunce) koji se kroz povijest dugo ponavljao je neopazivost paralakse nebeskih tijela. Paralaksa je prividna promjena položaja motrenoga objekta uzrokovana promjenom položaja motritelja:



U slučaju heliocentričnoga sustava se u argumentu tvrdi da bi se zbog gibanja Zemlje oko Sunca tijekom godine morala primijetiti paralaksa zvijezda stajačica:



No takav pomak se golim okom ne opaža. Danas znamo da je paralaksu zvijezda stajačica moguće opaziti, ali samo pomoću moćnih teleskopa: naime, kao što vidimo, kut paralakse ovisi o udaljenosti objekta koji motrimo; budući da su druge zvijezde jako udaljene od Sunčevog sustava, paralaksa zvijezda je vrlo malena i ne može se opaziti bez optičkih pomagala. Ljudi su od antike bili svjesni da kut paralakse ovisi o udaljenosti motrenoga objekta, no većini se činilo krajnje neuvjerljivim da je svemir toliko velik, tj. zvijezde toliko udaljene, da je upravo ta udaljenost razlog neopazivosti njihove paralakse.

Filolajevom modelu se pak može prigovoriti da bi paralaksa koja nastaje zbog gibanja Zemlje od jedne do druge strane Središnje vatre tijekom relativno kratkog vremena, uzrokovala prividno gibanje Sunca, Mjeseca i planeta kakvo iskustveno ne opažamo. Prema Aristotelu, Filolaj je tvrdio da je promjer orbite Zemlje u odnosu na udaljenosti ostalih nebeskih tijela toliko malen da je učinak paralakse zanemariv i neopaziv.

Rasprava o gibanju Zemlje je očigledno važna za problem ustroja svemira, problem oblikovanja primjerenoga modela svemira. No ona je jednako toliko važna i za problem oblikovanja primjerene teorije gibanja. Teorija gibanja koja nastoji objasniti zemaljska gibanja (primjerice slobodni pad) *na Zemlji koja se giba* mora uključiti neke elemente – inercijalno gibanje i relativnost gibanja (u smislu ovisnosti gibanja o referentnom sustavu motritelja) – koji nisu potrebni u teoriji koja ista ta gibanja nastoji objasniti na Zemlji koja miruje u središtu svijeta.