

7. Görögök csillagászata

„Ha a hadvezérek a történelem mozdonyvezet i, akkor a gondolat hódítói a váltókezelők.”

A babiloniak, egyiptomiak és zsidók számára a földi világunk egy hatalmas, tengeren úszó kígyóhoz volt hasonlatos, és felülről az égboltot is víz határolta (az egyiptomiak az égboltot Nu istenn meghajlott testeként képzeltek el).

Világszemlélet váltás az i.e. VI. században (ez Buddha, Konfucius és Püthagorasz kora).

Ionista iskola: racionális okok keresése, a természet leigázásának gondolata.

7.1. Milétozi Thalesz (Kr.e. 624-547)

A hét bölcsek egyike, a matematika és filozófia atyja, a milétozi iskola első képviselője, a legkorábbi görög természetfilozófus. Ő az első olyan görög matematikus, akinek neve fennmaradt.

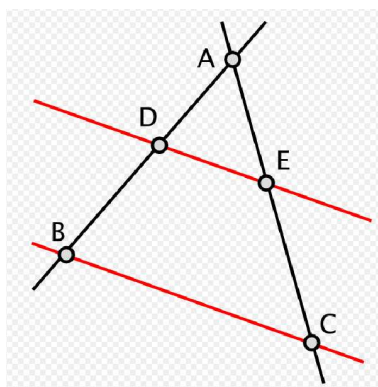
Thalész volt az ión avagy milétozi iskola megalapítója, és ezzel a legkorábbi görög természetfilozófus – azaz olyasvalaki, aki a dolgok összességének mint egésznek a természetét kutatta. Ő volt az első, aki nem valamiféle istenek akaratából származtatta a világot, hanem megpróbált magyarázatot találni arra, hogyan és milyen anyagokból is keletkezhetett az.

Thalész mérnök volt Milétoszban. Diogenész Laertiosz szerint járt Egyiptomban is, ahol gyakran volt együtt a papokkal, ezért megtaláljuk filozófiájában az egyiptomi kultúra több elemét is. Így például a világot a vízből származtatta és azt gondolta, hogy az a vízen lebeg. Emellett úgy vélte, hogy a természetben semmi nem szűnik meg, nem pusztul el, hanem őselemeire bomlik: ebből az őselemből keletkezik és ebben semmisül meg.

Thalész foglalkozott csillagászati megfigyelésekkel és olyan kozmológiai problémákkal is, mint például a Föld stabilitása. Azt, hogy foglalkoztatta a világ szerkezetének magyarázata, jól példázza, hogy előre jelezte (ld. Hérodotosz I. 74) azt a Kr. e. 585. május 28-án volt napfogyatkozást, ami állítólag hozzájárult a lüdek és médek háborújának befejezéséhez. Lehet, hogy Babilonban jutott hozzá az ottani papok feljegyzéseihez: ők vallási célból már Kr. e. 721-től teljes és részleges napfogyatkozásokat is megfigyeltek. Az is lehetséges, hogy egyiptomi útján jutott ehhez az ismerethez. Csillagászati munkásságára utal az alábbi feljegyzés: „Thalész azt tanítja, hogy a Fiastyúk reggeli lenyugvása az őszi napéjegyenlőség után huszonöt nappal következik be.” Thalész tanítványa volt a szintén milétozi Anaximandrosz (Kr. e. 611 k. – 546), aki az első világtérképet készítette.

Úgy vélte, hogy mindennek az alapja a víz, hiszen minden élő ebből születik, és ekként végzi; szerinte a szárazföld is a vízen úszik. Az, hogy Thalész a dolgok alapanyagának (archéjának) a vizet tekintette, Arisztotelész következtetése. Arisztotelész feltételezte, hogy Thalész az élőlények születését és táplálkozását megfigyelve jutott arra a hitre, hogy az egyes élőlények születéséhez és fennmaradásához leginkább nedvességre van szükség. Úgy látta, hogy minden dolog tápláléka nedves, sőt maga a hő is a nedvességből ered és él. Így például nedvesség van a növényekben, nedvesség van az ételekben, a mag is tartalmaz nedvességet – a sziklák és a halottak viszont gyorsan kiszáradnak. A víz, pontosabban a nedvesség a dolgok lelke, a teremtet világ lényege. A föld valamiképpen megszilárdult víz, azonban nem tudjuk miként képzelte ezt az átalakulást (ami nem jelenti, hogy ne lett

volna erről valamilyen elmélete). Kozmológiájának keleti eredetéről tanúskodik az a neki tulajdonított állítás, mely szerint a föld fadarabként úszik a vízen. Egyiptomban a földet a vízen úszó, lapos tányérnak képzelték. Babiloniában Apszu és Tiámat képviselte az ősi vizeket. Marduk szétszakította Tiámat testét: így jött létre a föld és az ég, Apszu pedig a föld alatti víz lett. Valamint ő állapította meg hogy a Föld 75



Thalész egyik fölfedezése a Párhuzamos szelők tétele: $DE/BC = AE/AC = AD/AB$. Neki tulajdonítják a szög fogalmának bevezetését és a csúcsszögek egyenlőségének belátását. Hasonlóképpen ő látta be, hogy két háromszög egybevágó, ha megegyezik egy oldaluk és az azon fekvő két szög. Megállapította, hogy a háromszög szögeinek összege 180 fok és megfogalmazta a geometria egyik legelső alaptételét, a róla elnevezett Thalész-tételt. Ennek nyomán a valamely szakasz fölé rajzolt kört (azt a kört, aminek az adott szakasz az átmérője) a szakasz Thalész-körének nevezzük. Szintén az ő eredménye a párhuzamos szelők tétele, és ezért a tételt egyes nyelveken (olasz, francia, spanyol, orosz) kis Thalész-tétel vagy Thalész első tétele néven említik. (A magyar szóhasználatban Thalész-tételként emlegetett állítás ezeken a nyelveken a nagy Thalész-tétel vagy Thalész második tétele.)

A rhodoszi Hierónümosz szerint a piramisok magasságának megmérését Thalésznek tulajdonította: Hierónümosz azt mondja, hogy árnyékuk segítségével megmérte a piramis magasságát. Ehhez megfigyelte azt a pillanatot, amikor a bot árnyéka éppen olyan hosszú, mint amilyen magas. (Diogenész Laertiosz: Híres filozófusok élete I. 27)

Eudémosz Thalész találmányának tartotta a tengeren úszó hajók távolságának mérésére szolgáló eszközt. Ha ismerjük a megfigyelő tengerszint feletti magasságát, ez a számítás elvégezhető egy primitív, egy körző két szárához hasonlóan összeillesztett pálcából álló szintezővel (egy pálca a látóvonal, a másik a hozzávetőleges szintvonal számára). Vízóra szerkesztését is tulajdonítják neki. Proklosz, Eudémoszt követve, további három tételt tulajdonított Thalésznek:

1. A kört az átmérője felezi.
2. Az egyenlő szárú háromszög alapján fekvő szögek egyenlők.
3. A szemben álló csúcsszögek egyenlők.

7.2. Anaximandrosz (i.e. 610-545) és Anaximenész (585-525)

A milétoszi iskola képviselői. Szerintük a föld, a levegő és a tűz a világ alap- és épít elemei. Anaximandrosz minden létező eredetének a kimeríthetetlen őanyagot tekintette (éter), geocentrikus világmodelljében a Földet korongszerűnek a csillagokat pedig radiálisan kifelé irányuló tűzcsöveknek fogta fel. Anaximenész felismerte a halmazállapot-változások jelentőségét (levegőből lesz tűz, vagy víz és föld). Fizikai elvek szerinti építkezés, az anyagi elemek folyamatos egymásba való dinamikus alakulása.

7.3. Számoszi Püthagorasz (i.e. 582-497)

A jelenségek mennyiségi oldalának kutatása misztikába hajló elméletek. Anaximandrosznál a Hold, Nap és a csillagok távolsága a földkorong átmérőjének 9, 18, ill. 22-szerese. Püthagorasz szerint a világ rendje, a természet egésze a számokra (itt az egészekre gondol) és azok arányaira vezethet vissza. Alapvető rendező elvek keresése, tanítványai így bizonyítottak: „A Mester mondta.” Kimagasló eredmények a geometriában, húrok hangmagasságával és hosszával kapcsolatos felfedezések (2:1 oktáv, 3:2 kvint, 4:3 kvart), négyzetszámok, háromszögszámok, hosszúkás számok... (pl. milyen alakzatban lehet elhelyezni a számoknak megfelel számú követ). Püthagorasz elv, hogy a mennyiségi viszonyok alkotják a dolgok lényegét, a világegyetem és a zenei harmóniák párhuzamba állítása. A Föld gömb alakú, a hét vándorló égitest a Föld körüli koncentrikus szférákon, azokra erősítve kering, ezeken kívül helyezkedik el az állócsillagok szférája. A rendszert levegő tölti ki, és a mozgó égitestek a szférák zenéjét keltik (s a bolygópályák felfoghatók úgy, mint hatalmas lantok húrjai). A püthagoreusoknak köszönhető a matematika és a fizika megalapozása, a kör és a gömb jelentőségének felismerése. Az égitestek mozgása szigorú törvényeknek engedelmeskedik, felderítés a természettudomány módszereivel! Az i.e. V. század közepére az iskola misztikus oldala került el térbe, és felmerültek egyéb problémák is, mint az irracionális számok, a négyzet átlója vagy a „pí” nagysága.

Szinte bizonyosan ő ismerte fel, hogy a Phószphorosznak nevezett Hajnalcsillag és a Heszperosz, azaz Alkonycsillag ugyanaz az égitest: az Esthajnalcsillag, amit ma Vénusz néven ismerünk.

7.4. Filolaosz (krotoni, i.e. 500-400)

Ő volt az első, aki kétségbe volna a Föld centrális helyzetét, úgy gondolta, hogy a centrumban valamiféle központi tűz lobog, melyet az Ellenföld takar el, és a tűz körül kering minden bolygó (így a Föld is). Rendszerét kívülről szintén tűz határolja, melyet csillagok formájában látunk átfényleni a szféra kisebb nagyobb részein keresztül. Legfontosabb gondolata, hogy a Föld maga is bolygó, nem az univerzum mozdulatlan közepe. Nála és az utána következő Herakleidész esetén a megfigyelés nagy fontossággal bír.

7.5. Pontuszi Herakleidész (i.e. 375-310)

Szerinte ugyan a Föld a középpont, de tengely körüli forgást végez, és a Merkúr és a Vénusz nem a Föld, hanem a Nap körül kering.

7.6. Platón (i.e. 427-347)

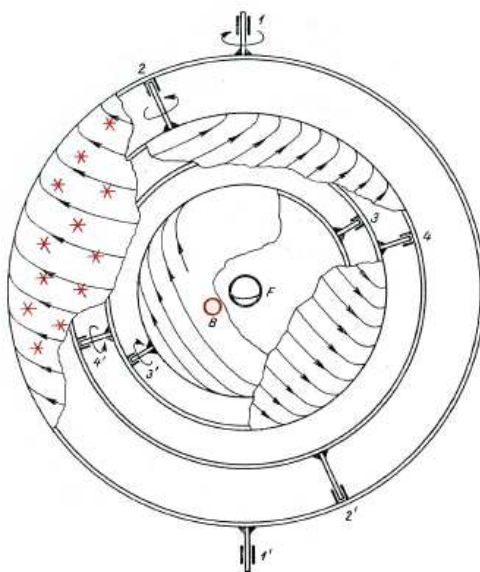
Nála már a megérzés hangsúlyosabb, mint a megfigyelés. Ismét a megfelelő rendező elvek kerülnek előtérbe, geocentrikus világkép. Művei: *Politeia* és *Timaios* főleg Püthagoraszra támaszkodik. Alapvető szerepet kap nála az istenség, tökéletesség, örökkévalóság, jóság, gazdaságosság és a szépség. Mivel Isten (aki az égitesteket pályájukra helyezte) tökéletes, a bolygópályáknak is tökéletesnek kell lenniük, ugyan így az égitestek alakjának és mozgásának is. Axiomatikus kozmológia. Szerinte a Föld tökéletes gömb (arról nem ír, hogy ha ez így van, akkor mi van a hegyekkel...).

7.7. Arisztotelész (i.e. 384-322)

Tapasztalat hangsúlyozása. Metafizikájában ugyancsak a kozmikus tökéletesség alapelveire támaszkodik. Világképe hierarchikus, az eszményinek képzelt társadalom mintájára épül fel. A legkülső szféra nála az isteni szféra, mely mozdulatlan, innen sugárzik ki a mozgató erő. A Föld központi helye így alárendeltséget tükröz. A szublunáris régióban minden változékony és hibákkal terhes, míg ezen kívül minden tökéletes és változatlan. A szublunáris tartományban található meg a négy elem, mely egymásba kölcsönösen átalakulni képes, és természetes mozgásuk meghatározott egyenes vonalak mentén megy végbe. A Föld lefelé, a víz felfelé, míg a levegő és a tűz horizontálisan mozog. A Hold szféráján az éter tökéletes körök mentén mozog. A tudományos kutatás célja a dolgok valódi természetének vizsgálata, így a mai fizika kialakulását a mozgások miértjére adott válasza miszerint a dolgok természetüknél fogva viselkednek úgy ahogy akadályozta. Hamar észrevették, hogy az észlelés, a tapasztalat nem vág egybe az elmélettel (pl. bolygók helyzete, mozgása...).

7.8. Knidoszi Eudoxosz (i.e. 410-356)

Ő hangolta össze a platóni tanokat a geocentrikus elképzeléssel. Modelljében a bolygók bonyolult mozgását a rotációs tengelyükkel egymáshoz erősített szférák összetett rendszere segítségével magyarázza. A forgástengelyek közös metszéspontja képzeletben a Föld középpontja. A forgások iránya így nem állandó, a létrejött modell kardán-felfüggesztéshez hasonlatos. 27 szférával dolgozott, Arisztotelész már 54-el. Az ábrán látható az elképzelés, itt a legküls szféra forgása felel a 24 órás mozgásokért, a 2. szféra a bolygóknak az állócsillagokhoz képest végzett átlagos eltolódásáért, míg a 3-4. szférák ellentétes irányú mozgásukkal pedig a hurokmozgásért.



7.9. Szamoszi Arisztarkhosz (Kr.e. 310- 230)

Alexandriában lampszakoszi Sztratón fizikus tanítványa volt. Elsőként vizsgálta, hogy milyen összefüggés van a kör középponti szögei és az azokhoz tartozó húrok hossza között, így lényegében eljutott a mai értelemben vett szinuszfüggvény fogalmához. Ezért a munkásságáért a trigonometria előfutárának tekintik.

Ő volt az első olyan tudós, aki Athénban már 2000 évvel Galileo Galilei előtt is azt tanította, hogy a Föld a Nap körül kering és saját tengelye körül forog maga a Nap pedig nem istenség, hanem csak egy izzó kőgolyó. E tanáért, aminek előfutára a csaknem száz évvel korábban élt pontoszi Hérakleidész volt, Kleanthész istentelenséggel vádolta, ezért el kellett menekülnie a városból.

Háromszögelős módszerekkel ő számolta ki először elvileg helyesen, de a mérések kezdetleges technikája miatt jelentős hibákkal a Nap és a Hold távolságát. Egyetlenegy fennmaradt műve „A Nap és a Hold nagyságáról és távolságukról” (Peri megethón kai aposztématón héliu kai szelénész) című. A Föld méretét kürénéi Eratoszthenész, a Holdét klazomenai Anaxagorasz már meghatározta. Arisztarkhosz rájött, hogy trigonometriai módszerekkel meghatározható a Hold és a Nap relatív távolsága olyankor, amikor ezek a Földdel egy derékszögű háromszög csúcspontjain helyezkednek el úgy, hogy a derékszög a Holdnál van (tehát első és harmadik holdnegyed idején). Ezt megmérte és úgy találta, hogy a Hold ilyenkor a Naptól 87 foknyira látszik az égen, és ebből kiszámolta, hogy a Nap mintegy hússzor van messzebb tőlünk, mint a Hold.

A két égitest ilyenkor valójában 89,95 foknyira látszik egymástól, és így a Nap több mint négyszázszor messzebb van a Holdnál. Mivel a Nap és a Hold látszólagos átmérője azonos (napfogyatkozáskor a Hold éppen kitakarja a Napot), a Hold átmérőjét ismerve a hasonló háromszögek tételével a Nap átmérője is számítható (és ha a szöget jól határozta volna meg, Arisztarkhosz erre is helyes értéket kaphatott volna).

Arkhimédész így ír róla: „Hipotézise lényegében abból áll, hogy az állócsillagok és a Nap állnak, ellenben a Föld körpályán mozog a Nap körül, mely a rendszer közepében van. ... Az állócsillagok szférája ugyanazon központ körül forog, mint a Föld, s az állócsillagok távolsága a Földtől úgy aránylik, mint a gömb középpontja a felületéhez.” Ez utóbbi nagyon fontos kijelentés, mert ezzel azt állapította meg, hogy a földpálya elenyészően kicsiny a Világmindenség méreteihez képest. Ezzel kivédte Arisztotelész ellenérvét, amely az állócsillagok elmozdulására vonatkozott. Arisztarkhosz még több érdekes tételt is kimondott, mint például: 1. A Hold a Naptól nyeri fényét. 2. A Hold két széle egymástól $0,5^\circ$ -nyira van.

Minden logikájának dacára eredményei annyira nem illeszkedtek a kor nézetrendszerébe, hogy Arisztarkhosznak nem voltak se tanítványai, se követői. Halálával a heliocentrikus világkép gyakorlatilag feledésbe merült; eközben megalkotójáról mint a legnagyobb csillagászok egyikéről emlékeztek meg rendszeresen. Tiszteletére krátert neveztek el róla a Holdon.

„A legvilágosabb és legegyszerűbb dolgokkal szemben az ember néha oly vak, mint a denevérek napvilágnál.”

A bolygók látszó fényessége periodikusan változik, és ezt sehogy nem lehetett összeegyeztetni a kialakult geocentrikus világmodellel, hisz ehhez távolságuknak is változnia kell!

7.10. Arkhimédész (Kr. e. 287. 212.)

Arkhimédész természettudós, ókori szicíliai matematikus, mérnök, fizikus, csillagász, filozófus. Néhány matematikátörténész őt tartja a legnagyobb ókori matematikusnak, Carl Friedrich Gauss a három legnagyobb között tartotta számon.

Arkhimédész arról vált széleskörűen ismertté, hogy Egyiptomban, a földek öntözésére megszerkesztette vízemelő gépezetét, az arkhimédeszi csavart – korábban a parasztok vödörrel húzták föl a vizet a kutakból.

Szürakuszai védelmére állítólag olyan gépezeteket tervezett, amelyek egész hajókat emeltek fel kötelekkel (legénységükkel és a rakománnyal együtt). Ehhez alighanem az általa feltalált csigasort használhatta.

A legenda szerint egy római támadást úgy hiúsított meg, hogy tükrökkel felgyújtotta a támadó hajók vitorláit. Kérdéses hogy a kor műszaki színvonalán ez lehetséges volt-e: síktükröket nagyon nehéz lett volna összehangoltan mozgatni, állítható fókuszú homorú tükrök pedig még nem voltak. Néhány Massachusetsi kutatónak egy rekonstruált helyzetben 2005-ben sikerült egy hajó oldalát egy nem túl nagy méretű tükrökkel felgyújtani, így legalábbis elméleti lehetőség van rá, hogy a legendának valós alapja legyen.

Egyes elképzelések szerint a tükrökkel csak elvakították a legénységet, és a hajókat gyújtólövedékekkel bombázták.

Kreativitása és éleselméjűsége minden reneszánsz előtti európai matematikusét felülmúlta. Egy esetlen számrendszerű civilizációban, ahol a miriád (szó szerint tízezer) végtelent jelentett, olyan helyiértékes számrendszert állított fel és használt, amiben a számokat 1064-ig le tudta írni.

Olyan heurisztikus statisztikán alapuló módszert fejlesztett ki, amit ma integrálszámításnak neveznénk, és aminek helyességét egzakt geometriai módszerekkel bizonyította be – de nem tudjuk, hogy integrálszámító módszere mennyire volt pontos.

Bebizonyította, hogy a kör területének és átmérőjének aránya ugyanannyi, mint területének és sugara négyzetének az aránya. Ezt nem hívta π -nek, de megadott egy módszert a számérték tetszőleges közelítésére, és adott rá egy olyan becslést, ami π értékét $3 + 10/71$ (kb. 3,1408) és $3 + 1/7$ (kb. 3,1429) közé teszi. A felső határként megadott $22/7$ -et még a középkorban is általánosan használták π közelítő értékeként. Ő volt az első olyan matematikus, aki a mechanikai görbéket (a mozgó testek pályáit) legitim módon vizsgálható objektumoknak tekintette.

Bizonyította, hogy egy gömb felszíne és térfogata úgy aránylik egymáshoz, mint a köré írt egyenes henger felszíne és térfogata. A henger, a beleírt gömb és kúp térfogatainak arányának tisztázására (3:2:1) olyan büszke volt, hogy ezt az ábrát vésette a sírkövére.

Bevezette a sűrűség fogalmát. A legenda szerint fürdés közben fedezte fel a felhajtóerőt (Arkhimédész törvénye), aminek öröme kiugrott a kádból, és meztelenül rohant végig az utcán a palotáig azt kiáltozva, hogy *Heuréka!* (=megtaláltam). A történet szerint az uralkodó megbízásából azt kellett tisztáznia, hogy tiszta aranyból van-e annak koronája. Arkhimédész (a kádban) rájött, hogy ha vízbe mártja a koronát, akkor a víz szintje annyival emelkedik, amennyi a korona térfogata. A koronát, valamint vele azonos súlyú arany-, illetve ezüstmöböt a vízbe merítve a térfogatok különbözőségéből meg tudta állapítani, mennyi ezüstöt kevert az ötvös a korona aranyához.

Arkhimédész valószínűleg az első ismert és a legjobb matematikai fizikus volt Galilei és Newton előtt. Létrehozta a statika tudományát, leírta az emelőt és a hidrosztatikai egyensúlyt. Meghatározta a tömegközéppont fogalmát, és számos geometriai alakzat esetére meg is határozta.

Cicero ír két olyan eszközről, amit Marcus Claudius Marcellus vitt haza a kifosztott Siracusából. Az egyik egy gömbön ábrázolta a csillagos eget, a másik megjósolta a Nap, a Hold és a bolygók mozgását. Ő Thalésznek és Eudoxosznak tulajdonította őket. Ezt sokáig legendának gondolták, de az antiküthérai szerkezet felfedezése új megvilágításba helyezte a dolgot: valóban elképzelhető, hogy Arkhimédésznek volt ilyen szerkezete. Alexandriai Papposz ír arról, hogy Arkhimédész írt egy kézikönyvet az ilyen éggömbök szerkesztéséről.

Ismert művei:

- A síkok egyensúlyáról
- A parabola területéről
- A gömbről és a hengerről
- A körmérés
- A csigavonalakról; a konoidokról és szferoidokról
- Homokszámítás
- Az úszó testekről

7.11. Eratoszthenész (Kr. e. 276 Kr. e. 194)

Eratoszthenész hellenisztikus matematikus, földrajztudós, csillagász, filozófus, költő, zenész. Irigyei eleinte „Bétának” hívták, arra utalva, hogy sok mindennel foglalkozik ugyan, de mindenben csak a második legjobb tud lenni (a görög ábécében a béta a második betű). Később tisztelői inkább az öttusázó atlétát jelentő „Pentatlosz” ragadványnéven emlegették sokoldalúságáért.

Fő matematikai munkájának, a Platónikosznak egy rövid kivonatát ismerjük szmürnai Theóntól. Sikerrel foglalkozott a kockakettőzéssel (déloszi probléma), és eszközt is készített annak megoldására. Ezt a sikerét az alexandriai Ptolemaiosz-templomban elhelyezett márványtáblán versben és prózában is megörökítette; az eszköz bronzmakettjét a tábla fölött helyezte el. Hatékony módszert talált fel nem túl nagy sokaságokból a prím-számok kiválogatására; ezt az eljárást róla nevezték el Eratoszthenész szitájának. Peri mezotéton című, a különböző középértékek elméletével foglalkozó művéről csak Papposztól tudunk.

Elfogadta azt a tételt, hogy a holdfogyatkozást a Föld árnyéka okozza, az árnyék megfigyeléséből pedig egyértelműnek tűnt, hogy akkor a Föld gömb alakú. Amikor a gátőrök jelentették neki, hogy (a majdnem pontosan a Ráktérítőn fekvő) Szüéné városában a nyári napforduló idején délben a Nap nem vet árnyékot a Nílus legmélyebb vízállásmutató kútjának fenekét is eléri a sugara elvileg helyes módszert talált a Föld területének számítására.

Ugyanebben az időben Alexandriában egy pózna árnyékát megmérve a napsugarak beesési szögét 7,2 foknak találta. A Földet gömb alakúnak tételezve aránypárt állított fel a távolságok és a szögek alapján: a két város távolsága / Föld kerülete = mért szög / 360° . Eratoszthenész az utazók elbeszélései alapján 5000 sztadionra becsülte a két város távolságát. Ezek alapján Föld kerülete: $5000 \cdot 360 / 7,2 = 250000$ sztadion. Sztadionnak nevezett hosszúságokból több is volt, és nem tudjuk, hogy Eratoszthenész melyiket használta. Ha a kb. 185 méteres olümpiai sztadiont, akkor a Föld kerülete ezzel a számítással mintegy 46 250–46 280 km; a valós értéknél úgy 15 %-kal több – ha viszont a midössze 157 méteres egyiptomi sztadiont használta, akkor eredménye 39 250 km, ami a ténylegesnél mindössze 2 %-kal kevesebb. Méréseinek számos hibája volt (a szögmérés, a két város távolsága, az, hogy a két város nem pont azonos délkörön fekszik), ezek azonban szerencséjére kiejtették egymást. Másfél évezred múlva, amikor ismét elkezdtek foglalkozni a gömbölyű Föld eszméjével, annak méretét Eratoszthenésznél jóval pontatlanabban, többnyire jelentősen kisebbnek becsülték – egyebek közt Kolumbusz is ebben a hitben vágott neki első útjának.

Ebből az eredményből kiindulva képes volt meghatározni a Hold méretét, valamint a Föld és a Hold távolságát is. Ennek elméleti alapjait már korábbi gondolkodók lefektették, de a számításhoz ismerni kellett a Föld átmérőjét – így miután ezt Eratoszthenész meghatározta, a többi számítással viszonylagos egyszerű dolga volt.

A Föld és a Hold viszonylagos méretei holdfogyatkozásokkor határozhatóak meg, amikor a Hold áthalad a Föld árnyékán. Ehhez fel kell tételeznünk, hogy a Nap sokkal messzebb van tőlünk, mint a Hold, ezért a Föld árnyékkúpja a Föld Hold távolságon csak elhanyagolható mértékben szűkül be (ez így is van). A leghosszabb holdfogyatkozások azok,

amikor a Hold a Föld árnyékának közepén halad át: az ilyen áthaladás idejéből számítható a két átmérő aránya. Már Eratoszthenész előtt megállapították, hogy fogyatkozáskor a Föld árnyéka mintegy ötven perc alatt takarja el teljesen a Holdat (ez a Hold átmérőjére jellemző szám), a Hold pedig mintegy kétszáz perc alatt ér át az árnyék egyik oldaláról a másikra (ez a Föld átmérőjére jellemző szám). E két idő hányadosa a két átmérő átmérő hányadosa: Föld átmérője mintegy négyszerese a Holdénak. Eratoszthenésznek a Föld területének (és ezzel átmérőjének) meghatározása után már csak osztania kellett...

A kor kiemelkedő teljesítménye volt három kötetes „Geographika” (Földrajz) című műve; ez a földrajz tudományág (ami alatt ő elsősorban a térképalakítást értette) névadó műve, ettől számítjuk annak kezdetét. Az első kötete a világ első térképtörténeti tanulmánya. A második könyv a lakott világ kiterjedésével foglalkozik: ebben átveszi azt a nézetet, hogy annak hossza kétszerese a szélességének. A harmadik rész ennek felosztását taglalja.

Elsőként állított össze a mai értelemben is világtérképnek nevezhető térképet az ókori világ görögök által ismert részeiről. Ehhez továbbfejlesztette Dikaiarkhosz hálózatát: a térképének készítése előtt földrajzi szélességmeghatározások és az utazók távolságadatai alapján a jellemző pontokon áthaladó kilenc hosszúsági és kilenc szélességi vonalból álló hálózatot szerkesztett. A vonalak távolságai nem egyenlőek, de a valódi távolságokkal arányosak. Az ismert világot az így szerkesztett hálózatba rajzolta be.

Ez a vonalhálózata a négyzetes hengervetület csírája, így ezáltal Eratoszthenész világtérképe afféle átmenet a korábbi vázlatok és a szó szoros értelmében vett térkép között. Térképén az ismert világ nyugat-keleti kiterjedése 73 800 sztadion (itt ismét nem tudjuk, melyik sztadionról van szó; föltehetően 11 623 km), észak-déli irányú kiterjedése pedig 46 400 sztadion (7308 km). Mivel a Föld területét már a térkép készítése előtt meghatározta, jól tudta, hogy az ismert világ a Föld felszínének alig 17 %-a. Az övé az első olyan földmérés, aminek nemcsak eredménye, de a mérés leírása is fennmaradt.

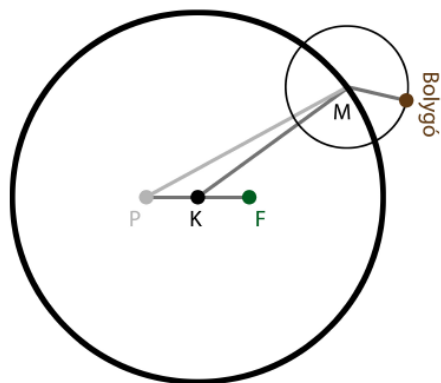
A Holdon kráter viseli a nevét.

7.12. Klaudiosz Ptolemaiosz (1. század vége 161 180 körül)

A hellenisztikus kori görög természettudomány egyik legkiemelkedőbb képviselője, csillagász, asztrológus, matematikus, földrajztudós. A „ptolemaioszi világkép” megalkotója, amelyet Nikolausz Kopernikuszig cáfolhatatlan rendszernek tekintettek, de írt műveket az optika, zene- és ismeretelmélet tárgykörében is, valamint számos, egészen az újkorig ható tudományos eredmény megfogalmazója volt. Tevékenysége Alexandriához kapcsolódik: az ókori tudomány fellelőjében végezte csillagászati megfigyeléseit. Tudományos működése kezdettől fogva nagy tekintélyt élvezett, ezt bizonyítják a műveihez írott kommentárok (Papposz, Theón), valamint e művek arab és más nyelvű fordításai.

A bolygók látszó fényessége periodikusan változik, és ezt sehogy nem lehetett összeegyeztetni a kialakult geocentrikus világmodellel, hisz ehhez távolságuknak is változnia kell! Ptolemaiosz oldotta meg az imént vázolt problémát. Gömbök helyett kerekre er sítve képzelte el a bolygókat. Syntax Mathematicae c. m ve szerint: el ször kell egy excentrikus deferenskör a Föld körül, és e kör kerülete mentén mozog az epiciklus középpontja. A Kepler által kimondott felületi tétel burkoltan itt is megtalálható, hiszen

nem M kering egyenletesen K pont körül, hanem PM vezérsugár forog egyenletesen a P pont körül. Ptolemaiosz pusztán matematikai leírásnak tekintette elméletét tisztán kinematikai modell.



A „Mathématiké szüntaxisz” (Matematikai összefoglalás), későbbi címén „Megiszté” (Legnagyobb, ti. összefoglalás, innen származik közkeletű arab címe, az Almageszt) Ptolemaiosz csillagászati főműve, 13 részben foglalmazza meg Hipparkhosz és a pergai Apollóniosz tudományos eredményeire támaszkodva, de részben módosítva is azokat geocentrikus világképét. Elmélete szerint a világmindenség középpontjában foglal helyet a mozdulatlan Föld, és körülötte kering a Hold, Merkúr, Vénusz, Nap, Mars, Jupiter, Szaturnusz; ezeken kívül helyezkedik el az állócsillagok szférája. A csillagképek leírásában megőrzi az alexandriai korban kedvelt meséket is a mitológiai átváltozásokról. Összesen 48 csillagképet írt le; sok esetben a mai napig ezeket az elnevezéseket használják. Az eredeti mű elveszett; a középkorban arab nyelvű változatát fordították vissza latinra, így vált ismertté Európa számára. Az „Almageszt”-ben található adatokat korrigálja némileg egy Kanoboszban (Egyiptom) található felirat: a felirat vége a szférák harmóniájával foglalkozik, a bolygók egymáshoz való viszonyát a hangszer húrjaival hasonlítja össze.

„Prokheroi kanonesz” (Kézi táblák) című műve a csillagok helyzetének stb. meghatározását segítő táblázatokat tartalmaz, amelyek ugyancsak az „Almageszt” (néhány helyen korrigált) adatain alapulnak. A táblázatok nem eredeti formájukban, hanem átrendezve, kiegészítve maradtak fenn. Kronológiai szempontból különösen fontos az egyik, a „Bazileioi kanonesz” (Királyi táblák), amely a babilóni, perzsa, egyiptomi királyok és római császárok névsorát tartalmazza, pontos trónra lépési dátumokkal és asztrológiai jelenségek felsorolásával kiegészítve, Kr. e. 747-től Diocletianus császárig.

A „Hüpothesisz tón planómenón” (A bolygók állásai) című, két könyvben (a második csak arab fordításban maradt fenn) megírt munkájában feltételezi, hogy az égitestek saját életerővel rendelkeznek, s maguktól mozognak.

„Apotelesmatika” (megvalósuló, bekövetkező, ti. jóslatok a csillagok állása alapján), közismertebb nevén „Tetrabiblosz” (Négy könyvből álló gyűjtemény) asztrológiai kézikönyv, amely minden korban nagy népszerűségnek örvendett; a kézirati hagyományozásban ehhez kapcsolják a „Karposz” (Termés) című, az előbbi műből vett száz idézetet

tartalmazó florilégiumot, amelyet a modern filológia nem tart ptolemaioszi írásnak.

A „Peri kritériu kai hégemoniku” (Az ítélőképességről és a lélek irányító szerepéről) című rövid, ismeretelméleti tárgyú írásának első részében a kritérion fogalmából kiindulva fejtegeti az igazság megismerésének folyamatát. Véleménye szerint a nyelv szerepe nem döntő fontosságú, a megismeréshez elegendő az értelem. A második rész a hégemonikon, a megismerést irányító működés helyét kutatja, s arra a következtetésre jut, hogy a puszta létfunkció hégemonikonja a szívben, a lét és a helyes élet hégemonikonja pedig az agyban helyezkedik el.

„Harmonikon” (Zeneelmélet) címmel maradt fenn egy három részre terjedő írása. Ez a legátfogóbb munka, amely az ókor zeneelméletéről ránk maradt, végigvezet kora zeneelméletének minden alapfogalmán. Tárgya a szüszthéma teleion (teljes hangrendszer), a genoszok (tetrachord formák), a modusok (skálatípusok), a skálatranszpozíciók, a hangközök stb., továbbá párhuzamot von a hangok, az égitestek és az emberi lélek részei között. Felfogásának alapja az a nézet, hogy értelem és hallás egymásnak soha nem mondhatnak ellent. A hangközöket illetően a püthagoreusok tanítását, amely a számviszonyok alapján áll, egyezteteti Arisztoxenosz felfogásával, amely a hallást állítja a középpontba, vagyis a matematikai számítások mellett helyet hagy az érzékelő fülnek is. E mű azért érdemel különleges figyelmet, mert e rendszer latin fordításán keresztül maradandó hatással volt a középkor zeneelméletére. A töredékesen fennmaradt harmadik könyv a harmóniának a zenében, a lélekben és a bolygók mozgásában betöltött szerepéről tartalmaz általános megállapításokat.

„Optica” című műve csak egy arab fordítás latin változatában maradt fenn (az első könyv és az ötödik vége elveszett). Ebben Euklidészhez kapcsolódva feltételezi, hogy a látás a szemből kiinduló és a megfigyelt tárgyra irányuló látósugarak segítségével történik: ennek során szerinte figyelembe kell venni a látott tárgy távolságát is. A műben kísérleti vizsgálatokra alapozott eredményeket közöl.

„Kanón episzémón polemón” (Híres városok felsorolása) című írásában a fontosabb városok helymeghatározását adja földrajzi hosszúság és szélesség szerint.

A „Geógraphiké hüphégészisz” (Bevezetés a földrajztudományba) Ptolemaiosz geográfiai főműve nyolc könyvben. A csillagászati és matematikai földrajz hagyományaira alapozott (Hipparkhosz és mások eredményeit felhasználó) mű három részből áll. Az első rész (1. könyv) általános elméleti fejtegetéseket tartalmaz a geográfia feladatáról. A mű második, terjedelmes része (2-7. könyv) az ókorban ismert világ leírásával foglalkozik: mintegy 8100 nevezetes földrajzi hely (városok, folyók, hegyek stb.) szélességi és hosszúsági adatait tartalmazza, olyan csoportosításban, hogy a róluk készítendő térkép megrajzolását segítse. Világtérképe a Kanári-szigetektől és Izlandtól Kelet-Ázsiáig és Kínáig, délen Afrika csücskéig terjed, számos terület „agnosztosz gé” (ismeretlen föld) néven szerepel rajta. A korábbi adatokra, és szemtanúk pontatlan beszámolóira támaszkodó Ptolemaiosz szigetnek rajzolta meg Skandináviát, túlságosan nagynak Ceylont és az Azovi-tengert. A harmadik rész (8. könyv) a mű mellékleteként rajzolt 26 résztérképhez ad útmutatásokat.

További művei: „Pheszisz aplanón aszterón” (Az állócsillagok fázisai), „Peri analém-matosz” (A napóráról), valamint a csak latin fordításban ismert „Planisphaerium” (A gömb síkra vetítése).