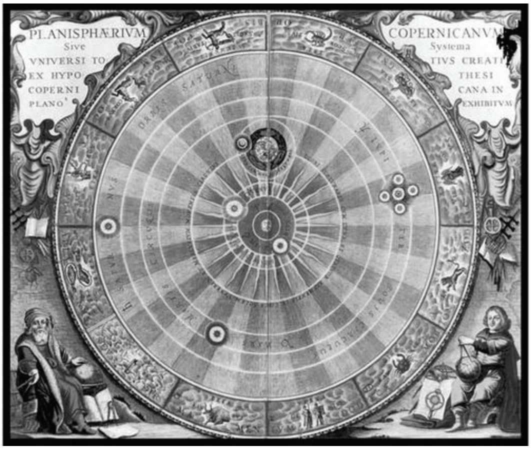
Snaha starořeckého heliocentrika Aristarcha ze Samu zjistit vzdálenosti ve vesmíru

František Jáchim, ZŠ Dukelská, Strakonice

Abstract. The artcile deals with the geometrical methods used by ancient Greek astronomer and mathematician Aristarchos of Samos to determine relative distances of the Earth, the Moon and the Sun. He also attempted to determine the diametres of these bodies by observing total lunar eclipse. His heliocentric theory, which was later revived by Nicolaus Copernicus, is also mentioned.

Starořecký učenec Aristarchos ze Samu (310–250 př. n. l.) bývá označován za Koperníka starověku. Byl to on, kdo jako první zpochybnil ústřední polohu Země v systému planet a za střed planetárního systému považoval Slunce. Země byla zvláštní pouze tím, že kolem ní obíhá Měsíc. Zemi také přisuzoval i druhý pohyb – její rotaci, jíž vysvětloval střídání dne a noci. Na počátku 16. století zahrnul tyto dva pohyby Země spolu s třetím – precesním – do své velkolepé koncepce tvůrce novověkého heliocentrického modelu Mikuláš Koperník (obr. 1).



Obr. 1: Schéma Koperníkova sluncestředného systému z roku 1657 (zakresleny jsou i čtyři Jupiterovy měsíce objevené Galileo Galileim v roce 1610). Vlevo dole v rohu obrazu Aristarchos, vpravo Mikuláš Koperník

V antice však zůstal Aristarchův názor mimo zájem filozofů i ostatních astronomů a syntéza stávajících teorií vyústila ve vrcholné dílo antické astronomie – geocentrický model světa popsaný v proslulém spisu Almagest Klaudia Ptolemaia (85–165). Aristarchův heliocentrizmus se dostával do rozporu s aristotelovským učením o pohybech a odporoval tehdejším náboženským představám. Stoik Kleanthes dokonce napsal proti Aristarchovi spis a požadoval, aby byl obžalován z bezbožnosti. Naopak stoupence bychom hledali stěží. Víme snad o jediném, tím byl jistý babylónský astronom Seulekos žijící asi sto let po Aristarchovi.

Poznatky o Aristarchově díle máme pouze zprostředkované a kusé. Byl autorem spisu *Hypotheses*, o jehož heliocentrickém obsahu se dozvídáme až z díla Archimédova. Lépe již vidíme do jiného Aristarchova spisu *O velikostech a vzdálenostech Slunce a Měsíce*, pocházejícího nejspíše z roku 265 př. n. l., a to opět prostřednictvím Archimédova díla *O počítání písku.*

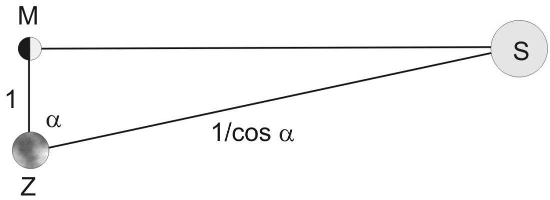
Aristarchos (obr. 2) byl první, kdo se pokusil na základě pozorování určit některé vesmírné vzdálenosti. Jedinou veličinou, kterou tehdejší astronomové mohli na obloze měřit, byly úhly. Podívejme se nyní, jaké metody Aristarchos užil, jaké obtíže před ním vyvstaly a co zjistil.

Obr. 2: Aristarchova socha na ostrově Samu (Turecko)

Prvním jeho pokusem bylo nalézt souvislost vzdáleností mezi Sluncem, Zemí a Měsícem. Aristarchos si uvědomil, že v okamžiku, kdy je ze Země na obloze vidět přesně polovinu Měsíce, je střed Měsíce ve vrcholu pravoúhlého trojúhelníka, jehož zbývající vrcholy tvoří středy Země a Slunce (obr. 3). Protože žádnou ze vzdáleností mezi tělesy neznal, zvolil vzdálenost Země od Měsíce jako jednotkovou a při řešení trojúhelníku ze svého stanoviště vycházel z předpokladu „kdyby byl například úhel $\alpha = 87°$". Pro vzdálenost Země od Slunce dostal

$$|ZS| = \frac{1}{\cos 87°} = 19.$$

Podle Aristarcha bylo Slunce od Země 19krát dále než Měsíc. Dnes víme, že Slunce je zhruba 400krát dále od Země než Měsíc.



Obr. 3

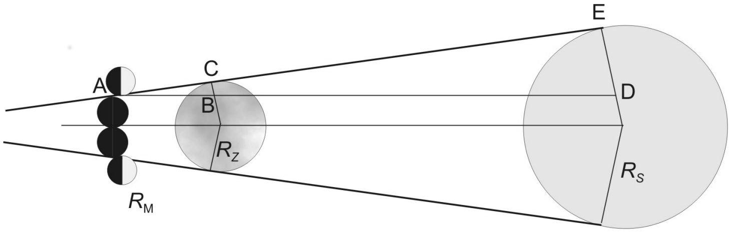
Protože Aristarchova metoda je věcně správná, podívejme se na obtíže, které tento způsob určení relativní vzdálenosti s sebou nesl. Především si musíme uvědomit, že vrcholy pravoúhlého trojúhelníku ZSM jsou ve středech těles. Aristarchos svá měření prováděl jednak z povrchu Země a stěží mohl v oslnivém Slunci zaměřovat na jeho střed. Druhou potíží bylo časově přesné stanovení čtvrti Měsíce. A samozřejmě musíme připočítat měření velikosti úhlů takovými prostředky, které tehdy byly k dispozici. Pro znázorněnou polohu těles je skutečná velikost úhlu $\alpha = 89°51'$, pak poměrná vzdálenost je

$$|ZS| = \frac{1}{\cos 89°51'} = 382.$$

Vidíme, že chyba měření v rozsahu 2 až 3 stupňů vyvolává ve velmi protáhlém trojúhelníku ZSM onu dvacetinásobnou odchylku v délce jeho strany.

Aristarchos také zjistil, že Měsíc i Slunce jsou na obloze vidět pod stejným úhlem, asi 2°, což znamená, že je-li Slunce 19krát dále než Měsíc, jeho průměr musí být také 19krát větší než průměr Měsíce. Zde se opět mýlil v úhlové velikosti těles, ta je ve skutečnosti asi 0,5°. Přesto jeho zjištění, že Slunce je mnohem větší než Měsíc, považujeme za velmi hodnotné.

Pokus o určení velikostí Měsíce, Slunce a Země, resp. jejich poloměrů, Aristarchos opíral o pečlivé pozorování zatmění Měsíce. Všiml si, že doba, po níž je Měsíc v úplném stínu Země, je dvojnásobná než doba, která uplyne od jeho prvního kontaktu se zemským stínem do úplného zákrytu. Dále postupoval patrně podle schématu plynoucího z obr. 4.



Obr. 4

Trojúhelníky ABC a ADE jsou podobné s poměrem podobnosti

$$|BC| : |DE| = 1 : 19.$$

Vyjádříme-li $|BC| = R_Z - 2R_M$ a $|DE| = R_S - 2R_M$, lze zapsat

$$\frac{R_Z - 2R_M}{R_S - 2R_M} = \frac{1}{19}.$$

Při dosazení $R_S = 19R_M$ do tohoto vztahu nalezneme vztah mezi poloměry Měsíce a Země, $R_M = 0{,}35R_Z$. Zpětným dosazením relativních velikostí poloměrů Měsíce a Slunce do vztahu dostáváme poslední relaci mezi poloměry, a to $R_S = 6{,}67R_Z$. Budeme-li kritičtí vůči Aristarchovi i v tomto případě, pak jediné, co mu můžeme vytknout, je, že vycházel z nesprávné doby úplného zatmění Měsíce, neboť do plného stínu Země se měsíční kotouč „vejde“ nikoli 2krát, nýbrž 2,6krát.

Ukažme, jak se Aristarchos snažil zjistit velikosti zmiňovaných těles ještě jiným způsobem. V jednom ze svých předpokladů údajně uvádí, že průměr Slunce je ze Země vidět pod úhlem 1/15 jednoho znamení zvěrokruhu,[1] což odpovídá hodnotě 2°. Tuto hodnotu zpochybňuje Archimédés tvrdící [1], že Aristarchos ve svém spise uvádí úhlové hodnoty

[1] Každému znamení zvěrokruhu příslušel v ekliptice úhel 30°.

1/60 znamení zvěrokruhu, tedy 0,5°. Použijeme-li tuto hodnotu (velmi blízkou skutečné), pak lze ekliptiku vyplnit 720 Slunci a její délka bude $2\pi r = 720 \cdot 2R_{\mathrm{S}}$. Pokud současně užijeme vztahu $R_{\mathrm{S}} = 6{,}67R_{\mathrm{Z}}$, pak délka kružnice ekliptiky je $2\pi r = 720 \cdot 6{,}67R_{\mathrm{Z}}$. Po vydělení číslem 2π (přičemž pro přibližný názorný výpočet uvažujme odvážně $2\pi \doteq 6{,}67$) dostáváme pro poloměr dráhy Slunce hodnotu přibližně $r = 720R_{\mathrm{Z}}$. Aristarchos tedy považoval vzdálenost od Země ke Slunci za 720krát větší než zemský průměr. Zcela obdobným způsobem určil vzdálenost k Měsíci hodnotou 38krát větší než průměr Země.

Aristarchovým postupům nelze po stránce metodické nic vytknout a jistě zaslouží náš obdiv. Projde-li je čtenář znova při přesných vstupních údajích, dostane skutečný obraz velikostí a vzdáleností, které jsou uvedeny v tab. 1.

	Aristarchos	současnost
Poloměr Slunce	$6{,}67R_{\mathrm{Z}}$	$109R_{\mathrm{Z}}$
Poloměr Měsíce	$0{,}35R_{\mathrm{Z}}$	$0{,}27R_{\mathrm{Z}}$
Vzdálenost Země–Slunce	$720 \cdot 2R_{\mathrm{Z}}$	$11\,726 \cdot 2R_{\mathrm{Z}}$
Vzdálenost Země–Měsíc	$38 \cdot 2R_{\mathrm{Z}}$	$30{,}2 \cdot 2R_{\mathrm{Z}}$
Úhlová velikost Slunce	0,5°	0,533°
Úhlová velikost Měsíce	0,5°	0,533°

Tab. 1: Porovnání údajů zjištěných Aristarchem se skutečností

Aristarchos svými výpočty poodkryl některé proporce mezi vzdálenostmi vesmírných těles a jejich velikostmi. Teprve později, po jeho smrti, je zásluhou známého alexandrijského polyhistora Eratosthena z Kyreny (276–195 př. n. l.) známá první astronomická délka – poloměr Země. Z rozdílu úhlů dopadu slunečních paprsků v období letního slunovratu ve městech Alexandrie a Syena (Suez) určil obvod Země na obdivuhodně přesnou hodnotu 39 690 km, tedy její poloměr 6 317 km.

Literatura

[1] Kolman, A.: *Dějiny matematiky ve starověku.* Academia, Praha, 1968.