

# Historie fyziky I.

## I. Fyzikální poznání do Galilea

### Astronomie

Vladimír Štefl

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



	1	2	3	4	5
MA	10	10	10	10	10
NA	10	10	10	10	10
PA	10	10	10	10	10
QA	10	10	10	10	10
RA	10	10	10	10	10
SA	10	10	10	10	10
TA	10	10	10	10	10
UA	10	10	10	10	10
VA	10	10	10	10	10
WA	10	10	10	10	10
XA	10	10	10	10	10
YA	10	10	10	10	10
ZA	10	10	10	10	10
AA	10	10	10	10	10

# Historie fyziky

Ukončení: **zápočtový test, 15 otázek, s volnou odpovědí, stručnou, získání zápočtu - 11 správných, doba 1 hod.**

Nejsou vyžadována číselná data, ale je potřebné znát vývoj fyzikálních, astronomických idejí. Cílem předmětu je podat studentům ucelený obraz vývoje fyziky jako přírodní vědy, v jednotlivých etapách, pochopit předmět historie fyziky, jeho metody. Identifikovat hlavní myšlenky, pochopit vývoj klíčových historických fyzikálních teorií

Malíšek, V.: Co nevíte o dějinách fyziky. Horizont, Praha 1986.

**Štohl, I.: Dějiny fyziky. Prometheus, Praha 2009.**

Weinberg, S.: Jak vyložit svět. Slovart, Bratislava 2016.

Zajac, R., Chrapan, J.: Dejiny fyziky. MFF UK Bratislava, 1986.

Štefl, V., Krtička, J.: Historie astronomie.

[www.physics.muni.cz/astrohistorie/](http://www.physics.muni.cz/astrohistorie/)

# Historie fyziky

U následujících vybraných osobností je potřebné znát jejich díla, charakterizovat přínos pro rozvoj fyziky, astronomie

K. Ptolemaios

**M. Koperník**

G. Galileo

J. Kepler

Ch. Huygens

I. Newton

L. Euler

J. C. Maxwell

A. Einstein

E. Schrödinger

# Historie fyziky

## Význam studia historie fyziky

a) všeobecný

složka kulturní historie lidstva, součást všeobecného vzdělání současného kulturního člověka

b) odborný

ve fyzikálním vzdělání historie fyziky poskytuje nejširší rámec veškerých znalostí

podle stupně koncentrace faktů lze charakterizovat čtyři stupně :

1. Historie fyziky
2. Současná fyzika - poslední živá větev historie fyziky
3. Fyzikální teorie - zpravidla mají matematickou formu
4. Fyzikální obraz světa - souhrn platných fyzikálních teorií

Vytváření a střídání těchto obrazů světa je osou celého vývoje fyziky, vhodný podklad pro periodizaci historie fyziky

# Historie fyziky

V historii fyziky studujeme vývoj obsahu a metod, všech významných hypotéz a teorií ve fyzice s cílem:

- a) popsat základní fakta vývojového procesu
- b) odhalovat zákonitosti vývojového procesu, které mohou mít význam pro další rozvoj vědy
- c) analyzovat interdisciplinární vztahy jak v rámci fyziky (specializace a diferenciaci na jedné straně jakož i proces splývání oborů), tak vztahy fyziky k ostatním vědám v různých etapách jejího vývoje (k matematice, k astronomii a jiným přírodním vědám, k filozofii, ke společenským poměrům v dané epoše).

Problém členění historie fyziky je v tom, že její vývoj je nerovnoměrný, viz např. pokrok za poslední století, který je mnohonásobně větší než za celé předchozí tisíciletí. Řídí se vlastními zákonitostmi, nelze přejímat periodizaci z obecných dějin.

# Historie fyziky

- 1. Vývoj fyzikálního a astronomického poznání do Galilea** (fyzikální poznatky antického Řecka a Říma, fyzika Arabů, evropského středověku a renesance)
- 2. Vývoj fyziky v rámci mechaniky** (vznik a rozvoj mechaniky v díle Galileově, Newtonově, Eulerově. Klasická fyzika - Lagrange, Laplace. Ostatní fyzikální disciplíny pod vlivem mechaniky).
- 3. Vývoj a meze klasické fyziky** (vznik a vývoj elektrodynamiky, optiky, termodynamiky a statistické fyziky). Meze platnosti a uplatnění klasické fyziky.
- 4. Vznik a rozvoj teorie relativity.** Experimenty, vznik speciální a obecné teorie relativity.
- 5. Vznik a vývoj kvantové fyziky** (vznik a rozvoj kvantové teorie, stavba atomů, aplikace v pevných látkách, atomová fyzika).
- 6. Historie české fyziky** (vznik a její rozvoj na našem území v 19. a 20. století).

# Historie fyziky I.

**I. Vývoj fyzikálního a astronomického poznání do Galilea** (fyzikální poznatky antického Řecka a Říma, fyzika Arabů, evropského středověku a renesance)

Přibližně do roku 1600 sahá „předvědecká éra“ fyziky. Jejím obsahem byly vesměs **izolované poznatky**, získané často nahodile, nikoliv soustavně vědeckými metodami. Hlavní metodou byla filozofická spekulace, odtržená většinou od praxe. Proto jde o předvědeckou éru. Úroveň fyziky byla diferencována místně i časově, dosáhla na řadě míst vrcholů. V oblasti říčních civilizací, např. Egypt, dále u Řeků a Římanů. Posléze u Arabů a na sklonku středověku a za renesance v západní Evropě, kdy již probíhala příprava k vědeckému chápání přírodních jevů.



# Aristarchos ze Samu

310 - 250

astronom a matematik

**Peri megethon kai apostematon  
heliu kai selenes**

**O velikostech a vzdálenostech  
Slunce a Měsíce**

úvahy o vzdálenostech

Měsíce, Slunce, jejich rozměrech



**heliocentrický  
model**

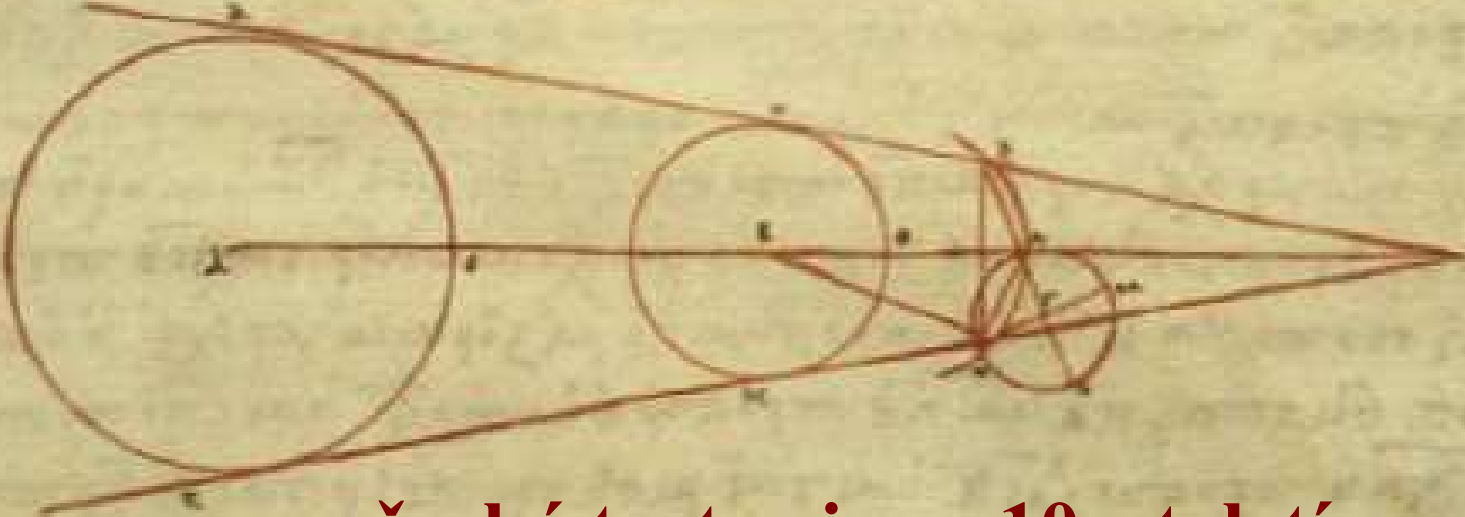




# O velikostech a vzdálenostech Slunce a Měsíce

Slunce, Země, Měsíc, určování vzdálenosti při zatmění Měsíce

ἡμεῖς ἐβρίσκαμεν τὸν μέγεθος αὐτοῦ ὅτι βρεῖται τα αἰετῶν τῆσδε ἀμείνου τοῦ  
διορίσαντος ἐπιπέδου ἀπὸ τοῦ κέντρου τῆσδε αἰετῶν καὶ τὸ λαμβάνον τῆσδε  
ἀμείνου τῆσδε ἀπὸ τοῦ κέντρου τῆσδε αἰετῶν ἢ ἂν μὲν ζομαδὲς γογ ἔξ  
ἢ ὅτι τὸ πηπρὸς αἰετῶν.



řecký text spisu z 10. století

ἵσταν αὐτῶν ὑποθέσει μὲν αὐτῶν αὐτῶν αἰετῶν ἢ τῆσδε αἰετῶν τῆσδε ἀπὸ τοῦ κέντρου τῆσδε αἰετῶν  
πᾶρ μὲν οὐ τῆσδε ἀπὸ τοῦ κέντρου τῆσδε αἰετῶν ἢ ἂν μὲν ζομαδὲς γογ ἔξ  
ἢ ὅτι τὸ πηπρὸς αἰετῶν ἢ ὅτι τὸ πηπρὸς αἰετῶν.

# Aristarchos ze Samu

## O velikostech a vzdálenostech Slunce a Měsíce

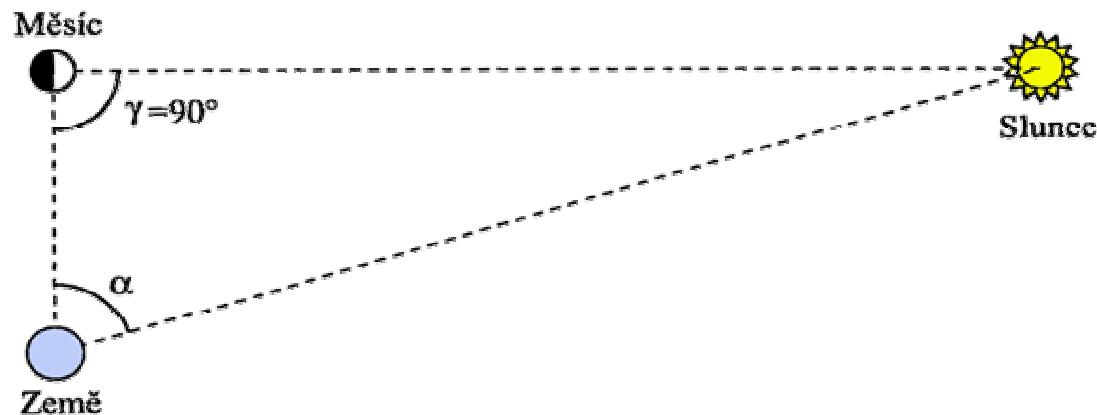
úhel MZS podle Aristarcha  $87^\circ$  při dichotomii

$$\frac{ZM}{ZS} = \cos \alpha = 0,0523 \quad \frac{ZS}{ZM} = 19$$

ve skutečnosti  $89^\circ 51'$   $\rightarrow \cos \alpha = 0,0026$

úhlové měření málo přesné...

$$\frac{ZS}{ZM} = 390$$



# Aristarchos ze Samu

## O velikostech a vzdálenostech Slunce a Měsíce

1. Měsíc přebírá světlo od Slunce.
2. Země ve vztahu k měsíční sféře je bodem a středem.
3. V situaci, kdy se nám jeví Měsíc rozdělený přesně na dvě části (dichotomie), leží velký kruh rozdělující temnou a světlou část Měsíce v rovině procházející našim zrakem.
4. Při dichotomii je jeho vzdálenost od Slunce menší než jedna čtvrtina kruhu bez jedné třicetiny této části.
5. Šířka zemského stínu zahrnuje dva Měsíce.
6. Měsíc zahrnuje patnáctou část zodiakálního znaku...  
**přeceňuje úhlovou velikost Měsíce...**

# Aristarchos ze Samu

Z údajů o zatmění Měsíce dovodil, že jeho poloměr je přibližně roven jedné třetině poloměru Země. Dále podle Aristarcha byl **poloměr Země 7krát menší než poloměr Slunce**. Objem Slunce převyšuje objem Země přibližně 300krát.

$$R_S \approx 7 R_Z$$

$$R_M \approx 7/19 R_Z$$

$$r_{ZM} \approx 19 R_Z$$

Porovnání střední vzdálenosti Měsíce a Slunce od Země v **jednotkách poloměrů Země  $R_Z$**

	Měsíc	Slunce
Aristarchos	19	360
Hipparchos	59	2 490
Ptolemaios	59	1 210

# Aristarchos za Samu

## **heliocentrický model**

- planety obíhají kolem centrálního tělesa – Slunce
- oběh je rovnoměrný
- sféra hvězd je nehybná

K dalšímu rozpracování hypotézy - modelu nedošlo.

Proč zastával Aristarchos **heliocentrický model** ?

Měsíc menší než Země obíhá kolem ní, tudíž Země menší než Slunce by měla rovněž obíhat kolem většího Slunce.

**Antičtí astronomové - nejasné představy o setrvačnosti,**

**- snadnější je pohybovat malým předmětem než velkým.**

**U většího Slunce je přirozené předpokládat, že Země obíhá kolem Slunce a nikoliv naopak.**

# Hipparchos 190 - 120

matematik, astronom, filozof

O délce roku

O pohybu bodů slunovratu a  
rovnodennosti

**Komentář k Arátovi a Eudoxovi**

Jevy nebeské z roku 275 př.n.l.

„Označen je *Beranem* a koleny *Býka*“

*Beran* je podél kruhu natažen,  
z *Býka* spatřit jen pokrčené nohy.

A na něm *Oriona* jasného pás“ ...

větší astronomické kompendium Hipparchos nezanechal



# Hipparchův přínos

objev precese

zpřesnění délky roku

teorie pohybu Slunce, Měsíce

stanovení základních oběžných dob Měsíce

**stanovení vzdálenosti Země – Měsíc  $\approx 59 R_Z$**

**první katalog** přibližně **850 hvězd** - 129 př. n. l., intuitivní  
**rozdělení hvězd podle jasností** do šesti tříd

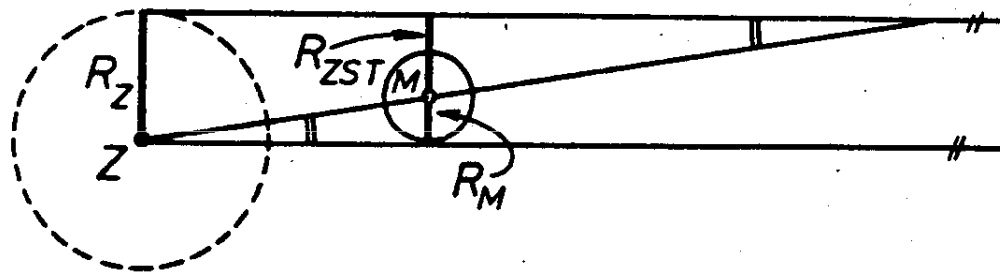
**část katalogu, polohy hvězd z několika souhvězdí byly nedávno nalezeny!**



# Hipparchovo určení vzdálenosti Měsíce

Hipparchos: úhlový poloměr Měsíce je roven 16' a poloměr zemského stínu ve vzdálenosti Měsíce 40', tj. zhruba 8/3 krát větší. Poloměr Měsíce je roven rozdílu poloměrů Země a zemského stínu  $R_M = R_Z - R_{Zst}$ . Odtud  $R_M \approx \frac{3}{11} R_Z$ , což odpovídá současným údajům o Měsíci. Po nalezení lineárního poloměru Měsíce, při znalosti úhlového poloměru a skutečnosti, že úhlový poloměr Měsíce je přibližně roven úhlovému poloměru Slunce, platí

$$r_{ZM} \approx \frac{R_M}{\text{tg } 16'} \approx 218 R_M \approx 59 R_Z$$





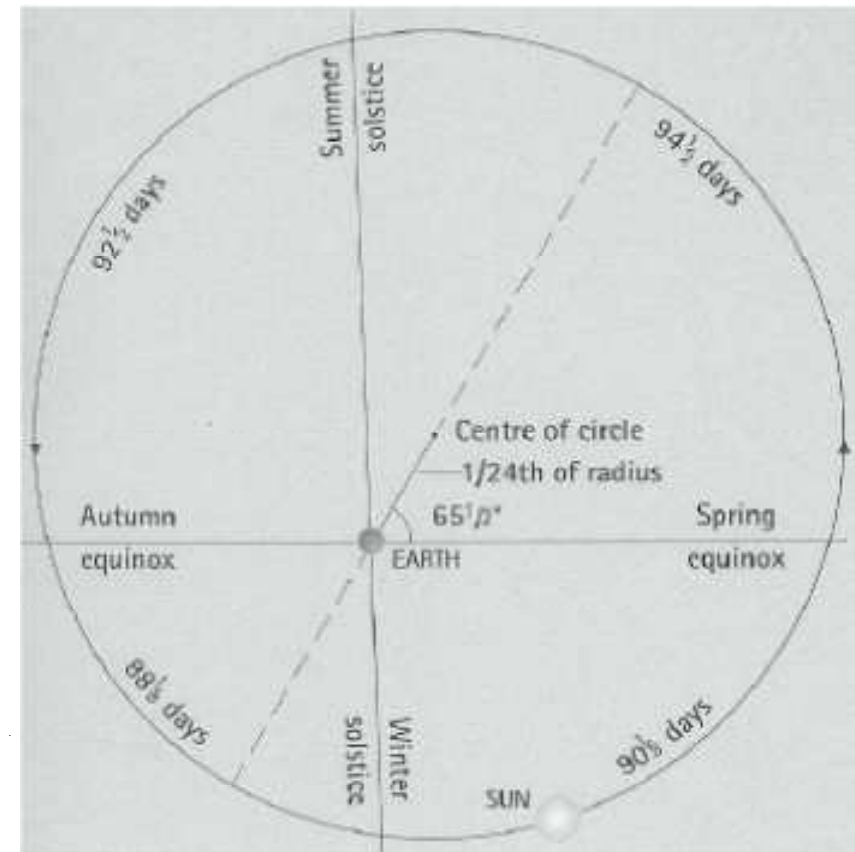
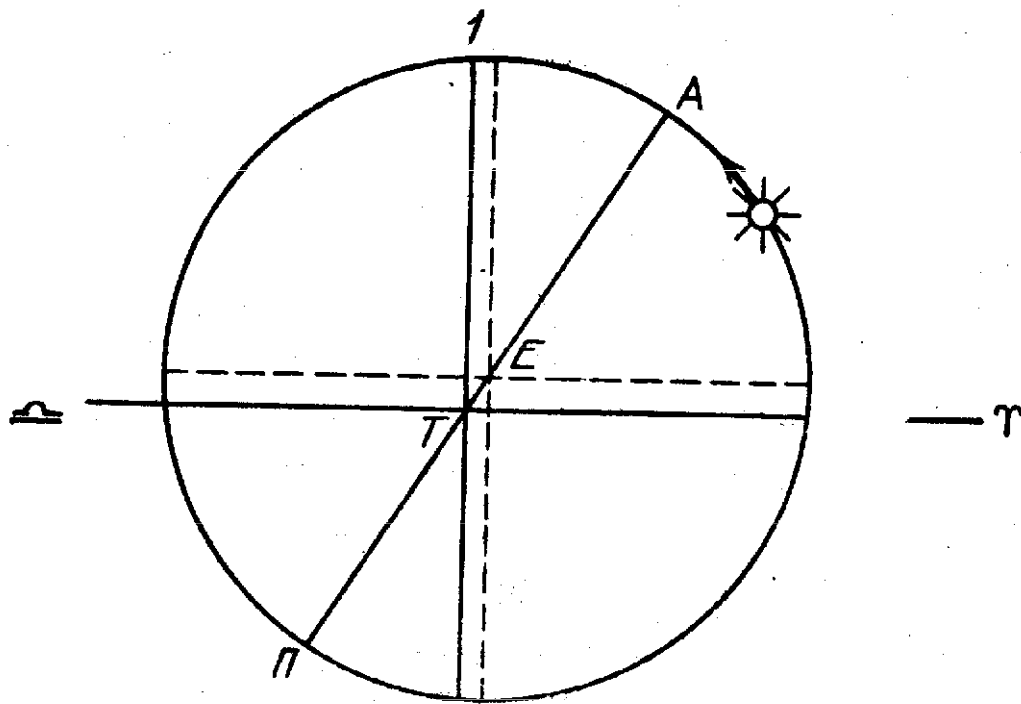
# Hipparchovo zpřesnění délky ročních období

## Hipparchovo určení nestejně délky ročních období

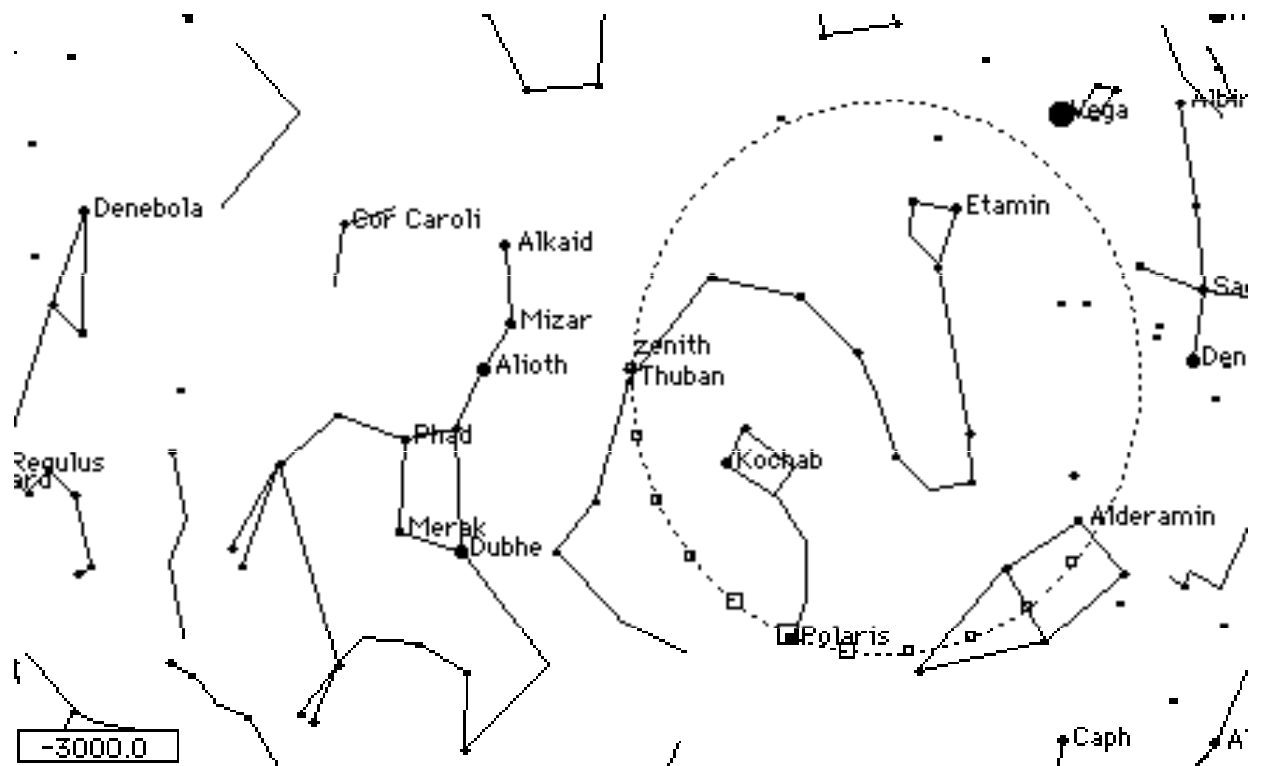
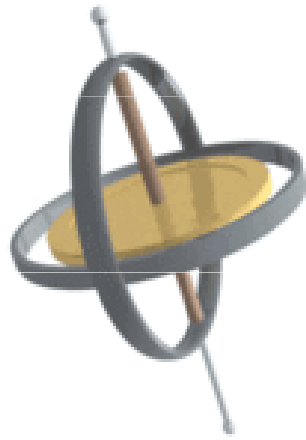
jaro –  $94 \frac{1}{2}$  dne, léto –  $92 \frac{1}{2}$  dne,

T...Země

podzim –  $88 \frac{1}{8}$  dne, zima –  $90 \frac{1}{8}$  dne E...střed dráhy Slunce



# Precesní pohyb zemské osy



# Hipparchův katalog?



**Ranuccio  
Farnese  
1530 - 1565**

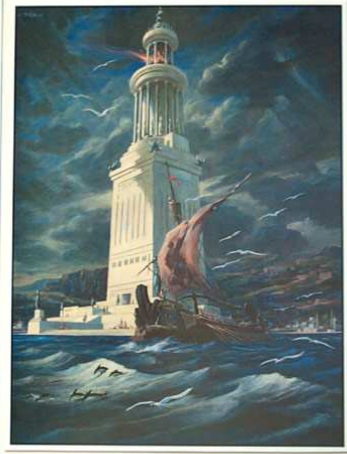


**Farnesův globus  
41 souhvězdí, 300 hvězd**

**B. E. Schaefer**

<http://www.phys.lsu.edu/farnese/>





# Alexandrie



**město Alexandrie založeno r. 323 př. n. l.**

dynastie Ptolemaiovců – Kleopatra VII. (69 - 30). **Múseion** - AV, VŠ, příprava státních úředníků, zoologická zahrada, botanický sad, anatomická laboratoř, astronomická pozorovatelna. Komplex **Múseion** byl šest století **finančně podporován** egyptskými panovníky. Působili zde astronom a matematik **Aristarchos ze Samu** (310 - 250) astronom a geograf **Eratosthénés** (272 - 194) astronom a matematik **Hipparchos** (190 - 120) fyzik a inženýr **Herón Alexandrijský** (10 - 75)

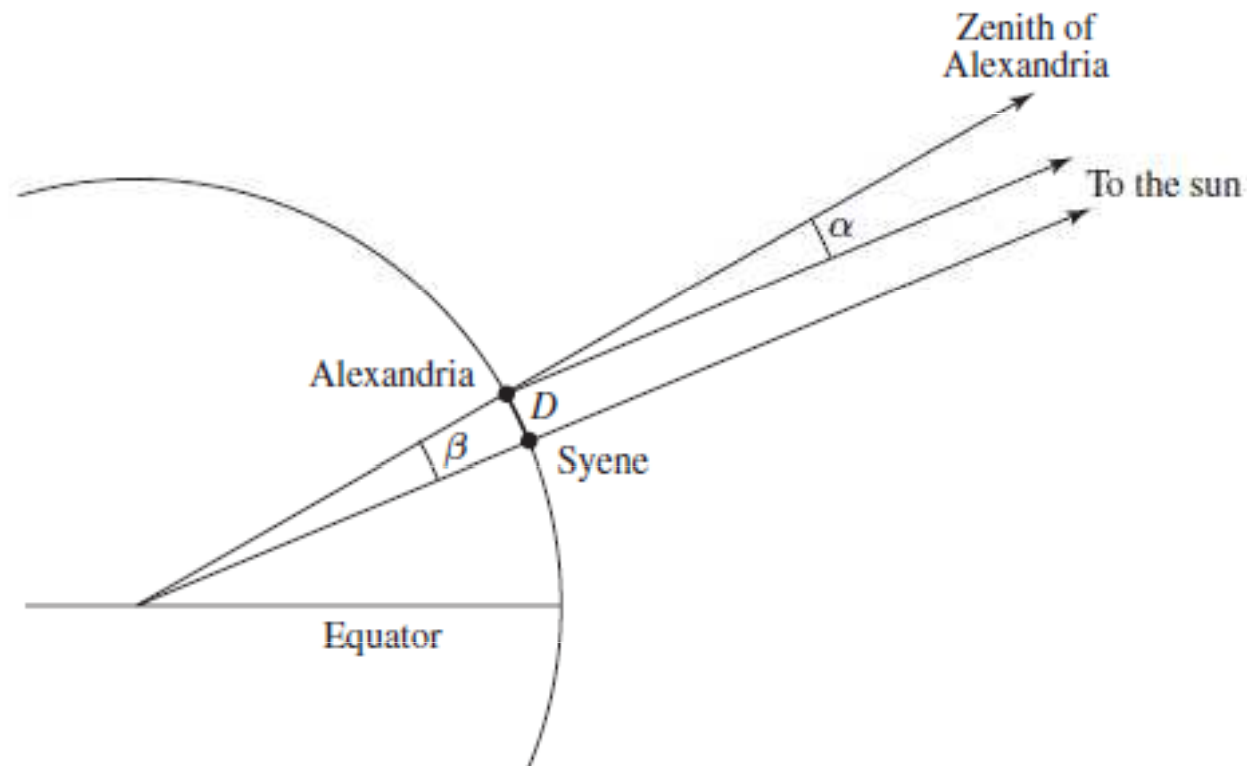
# Alexandrijská knihovna

Založena za Ptolemaia II. Filadelfa (282 - 246), obsahovala vědecká a literární díla. Dvě dílčí knihovny - **Brucheion** a **Serapeion**, které spravovali největší učenci své doby, jako například **Eratosthénés**, který ji vedl od roku 225 př. n. l. Koncem 1. př. n. l. bylo v knihovně přibližně **750 tisíc papyrusových svitků**. Základní knihovna **Brucheion** shořela r. 48 př. n. l. při obléhání města Gaiem Juliem Caesarem (100 - 44).



# Určení obvodu Země

**Eratosthènes** - pozorování Slunce na dvou místech v poledne v Alexandrii a v Asuánu na stejném poledníku, vzdálenost obou 5 000 stadií, 1 stadie  $\approx$  185 m, úhel  $\alpha$ ,  $\beta \dots 1/50$  kruhu -  $7,2^\circ$ , tedy  $50 \times 5\,000 = 250\,000$  stadií  $\approx$  46 000 km



# Klaudios Ptolemaios 90 - 165

matematik, geograf, optik, astrolog, astronom



*Almagest: „Že jsou mé  
dny sečteny a že jsem  
smrtný vím. Ale když v  
myšlenkách dychtivě a  
neustále pozoruji  
hvězdy, tehdy se již  
nedotýkám Země. Za  
stolem Dia popíjím  
ambrosii, nápoj bohů.“*

# Ptolemaios - matematik

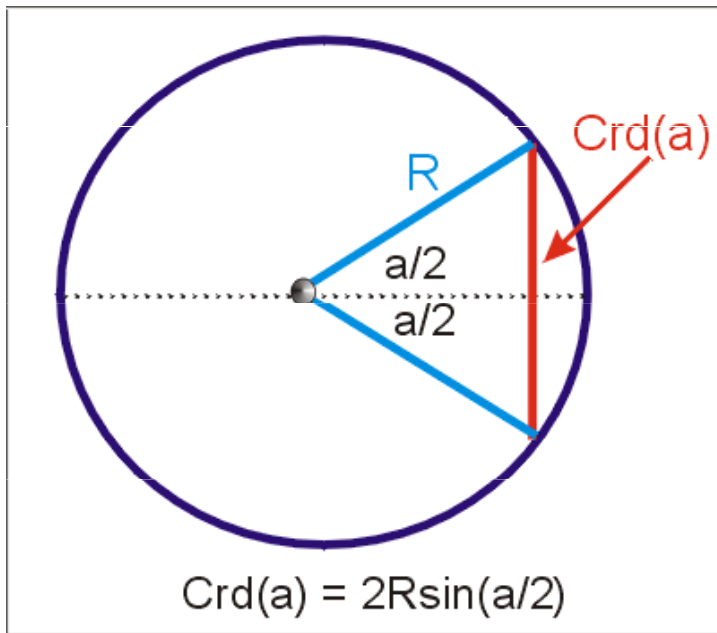
chorda, **věta o čtyřúhelníku vepsaném do kružnice:**

Ptol  $\sin 30' = 0,0087268$   **$AD \times BC + AB \times DC = AC \times BD$**

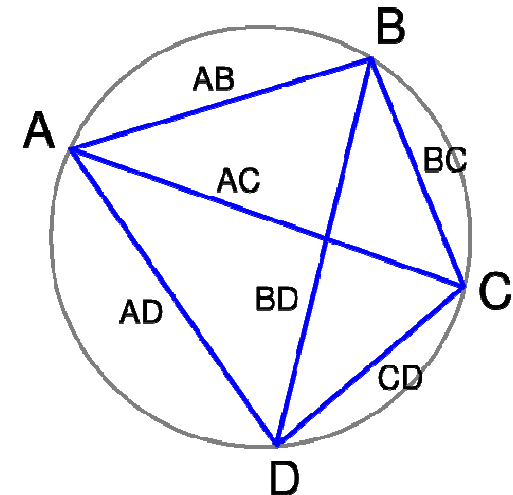
Kop  $\sin 30' = 0,00873$

**součet součinů velikostí dvou protilehlých stran je roven**

souč  $\sin 30' = 0,00872665$  **součinu velikostí obou úhlopříček**



**Při kružnici o jednotkovém poloměru polovina chordy - funkce sin**





# Ptolemaios – geograf

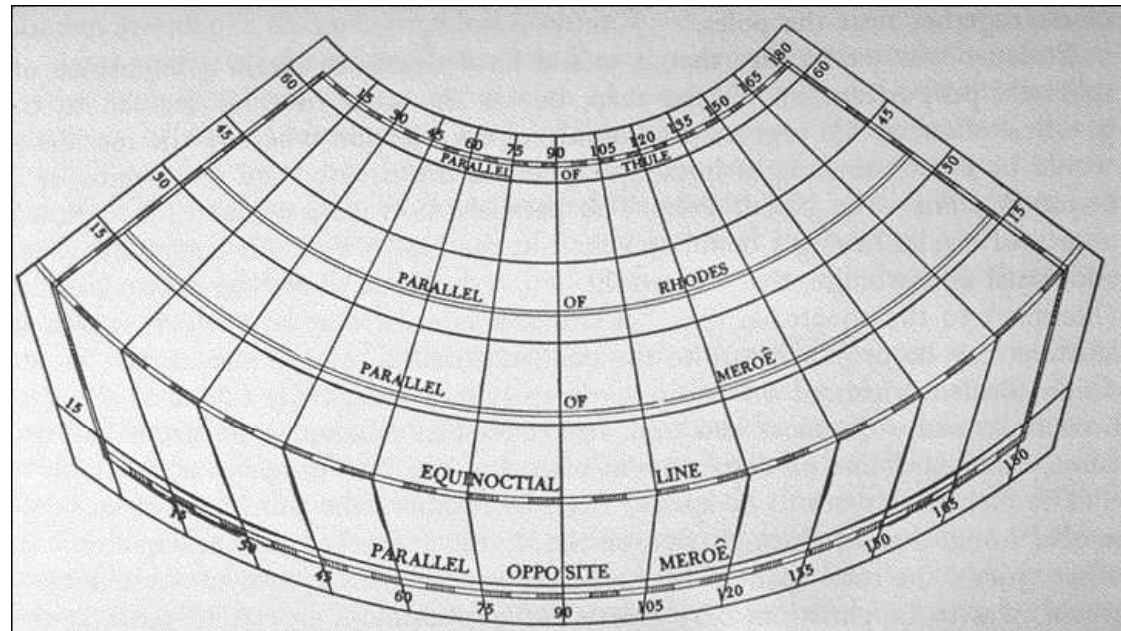
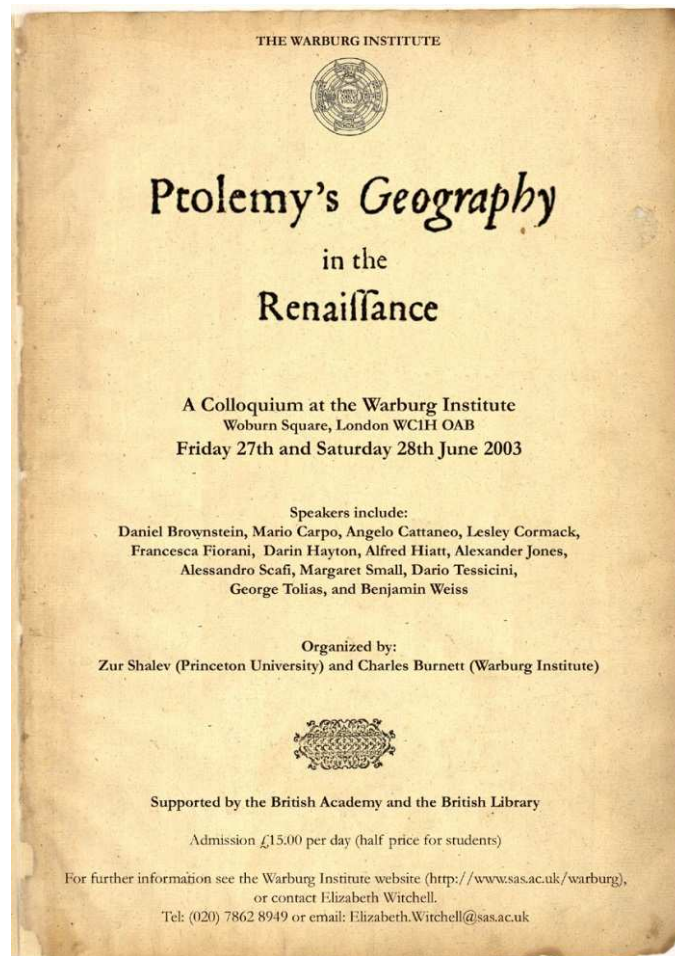
Geografická příručka - Geografie

Geografické synopsis respektive Γεωγραφική

ὑφήγησις v osmi knihách

mapa velkého světa a dvacet šest regionálních

zavedl kónickou projekci



# Mapa velkého světa



# Mapa Afriky



# Mapa Řecka



# Mapa Velké Germánie



**Eburon?**

<http://68.178.150.41/htdocs/zoom/17769.htm>

# Ptolemaios - geograf

**zeměpisné šířky měst v současnosti a podle Ptolemaia.**

	současnost	Ptolemaios
Londýn	51° 40′	54° 00′
Paříž	48° 40′	48° 30′
Cherson	46° 40′	49° 00′
Neapol	40° 50′	40° 30′
Ankara	40° 00′	42° 00′
Teherán	35° 15′	34° 20′
Kábul	34° 30′	35° 00′
Damašek	33° 20′	33° 00′

# Ptolemaios - geograf

- **rozměry světa v délce přijal rovné 180 °**
- zeměpisnou délku počítal od nultého poledníku procházejícího ostrovy Blažených - Kanárské ostrovy, od západu k východu, v pozdějším období Arabové **zmenšili rozdíl hodnot zeměpisných délek**
- například rozdíl zeměpisných délek nejvýchodnějšího a nejzápadnějšího bodu **Středozemního moře, je podle Ptolemaia 62 °**, dnes určená délka činí zhruba **40 °**
- obdobně Ptolemaios přeceňoval rozdíl zeměpisných délek mezi centrální Čínou a Kanárskými ostrovy uváděl **180 °**, ve skutečnosti je pouze **125 °**

# Ptolemaios - geograf

- III. kniha - země jižní Evropy, Dalmácie, Itálie, ostrovy Korsika, Sardinie a Sicílie. Následně popisuje oblast východní Evropy, příkladně od řeky **Tanais (Don)** po řeku **Ra (Volhu)** se rozkládala tzv. asijská Sarmacie. Za východní hranici Evropy pokládal Ptolemaios řeku Don.
- **Nesprávné představy** měl o severní Evropě, například Skandinávský poloostrov považoval ze nevelký ostrov, Baltické moře za část Severního moře, obě uvedená moře vytvářela podle Ptolemaia **Sarmatský oceán**.
- Ve IV. knize je popisována Afrika, rozčleněná na dvanáct oblastí, dodnes se dochovalo **klasické rozdělení Egypta na Horní, Střední a Dolní**. Ptolemaios zmiňuje v Africe přes čtyřicet pohoří, například Měsíční hory, Velký a Malý Atlas, z řek příkladně Daradus (Senegal), Nigejr (Niger) .



# Mapa Evropy



# Ptolemaios - optik

- optika - z řeckého *opsis* – *zrak*, v antice věda o zraku

**katoptrika** - věda o odrazu paprsků od lesklých povrchů

**dioptrika** - zkoumání lomu světla a optická měření

Katoptrikou se ve 3. st. př. n. l. zabýval **Euklides** ve spisu

**Optika**

- základní přehled optických jevů ve spisu **Optika**, rovněž však v **Almagestu** jsou připomínány optické jevy, například refrakce. Autor vysvětluje, že **refrakce narůstá při přechodu od zenitu k horizontu**, kde dosahuje měřitelných hodnot, Kleomédova myšlenka z roku 50 n. l., **paprsky procházející přes vlažný vzduch zde přebírají vlhkost, stávají se těžšími a proto zakřivují svůj směr... paprsky přicházejí z méně hustých vrstev vzduchu do hustších → lom ke kolmici**

# Ptolemaios - optik

Z Ptolemaiových experimentů vyplývalo, že poměr  $\sin \alpha / \sin \beta$  leží v intervalu **1,25 – 1,34**, tedy není konstantní.

Tabulka úhlu dopadu a lomu pro přechod vzduch - voda.

Úhly	$\alpha$	$\beta$	$\beta_{\text{spr}}$
	10 °	8 °	7 ° 29'
	20 °	15 ° 30'	14 ° 52'
	30 °	22 ° 30'	22 ° 01'
	40 °	29 °	28 ° 49'
	50 °	35 °	35 ° 04'
	60 °	40 ° 30'	40 ° 30'
	70 °	45 ° 30'	44 ° 48'
	80 °	50 °	47 ° 36'

Pro malé úhly  $\alpha \sim \beta$  tzv. Ptolemaiův zákon

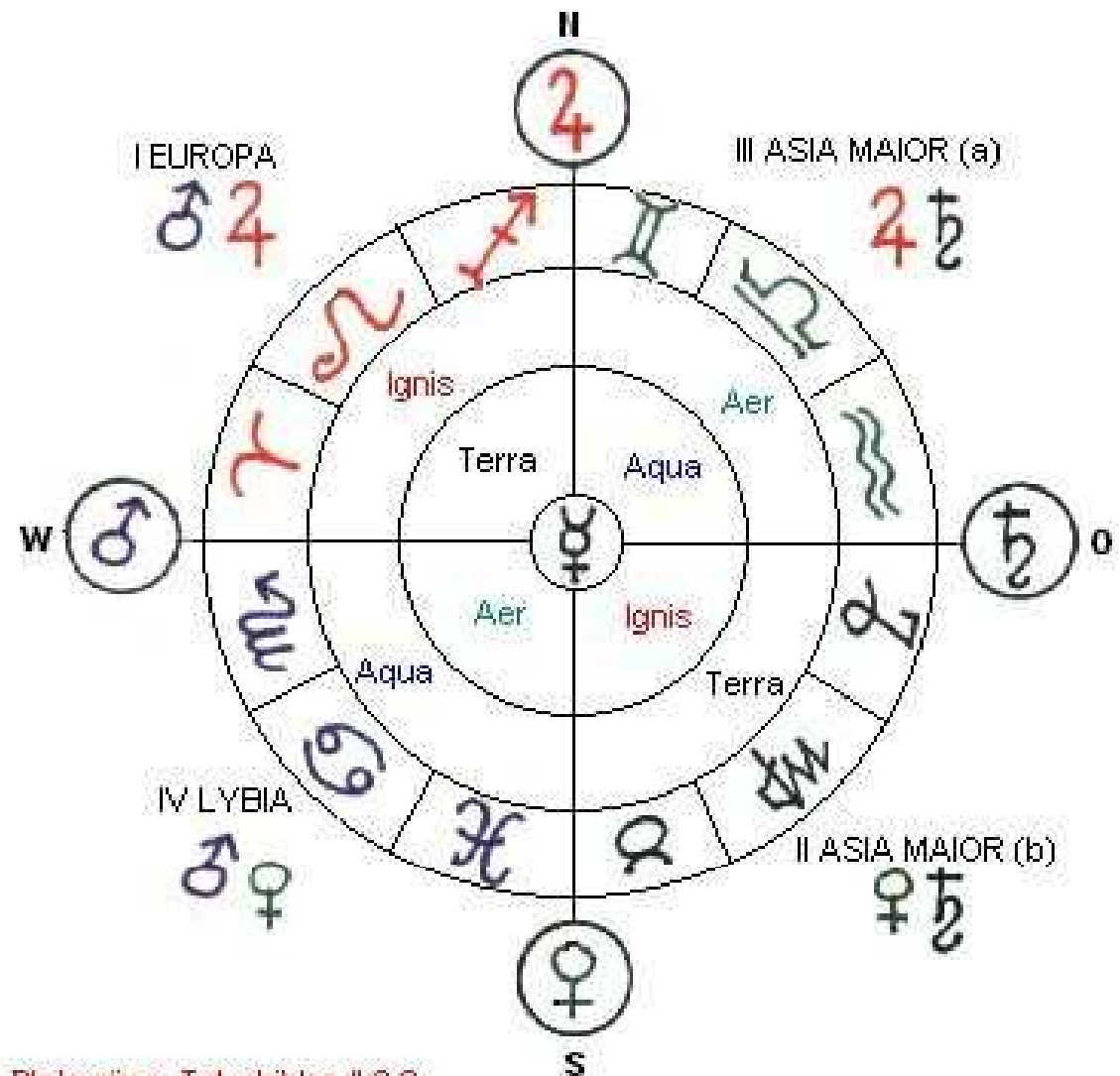
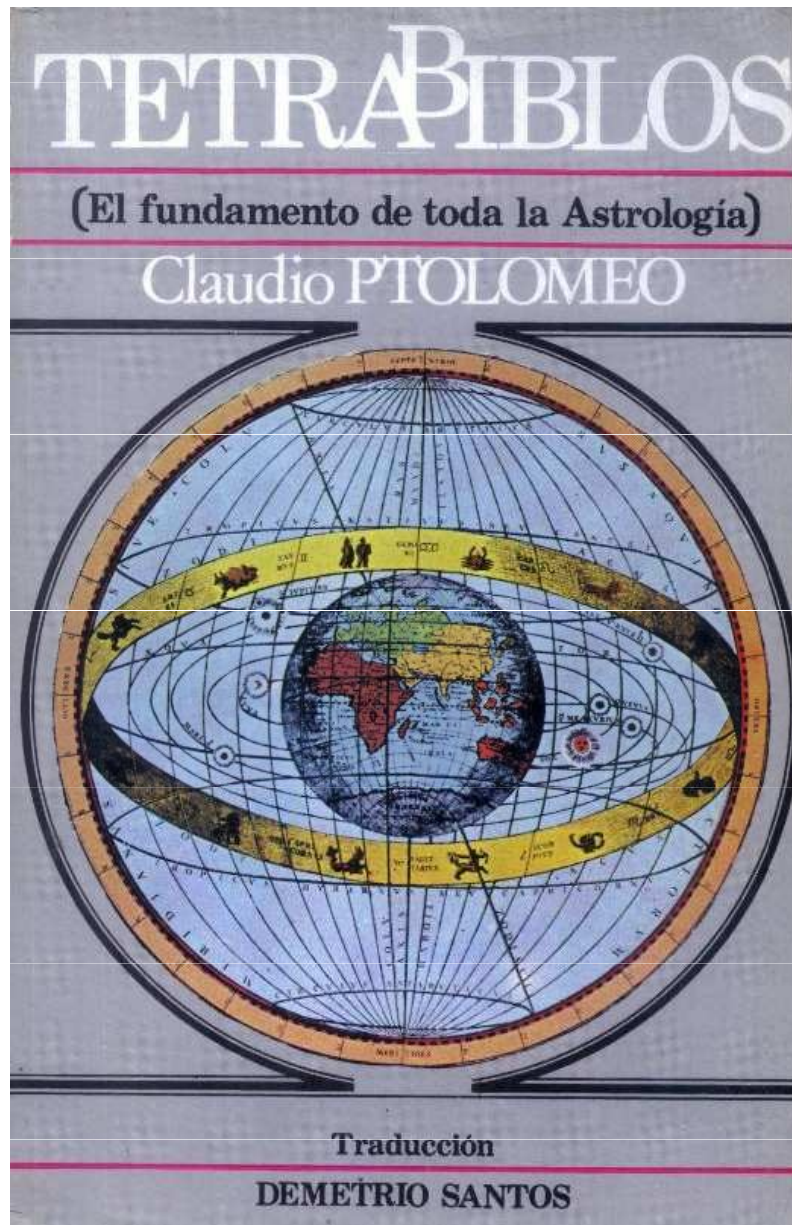
# Ptolemaios - astrolog

- **Čtyři knihy - Tetrabiblos** řecky *Τετράβιβλος*  
astrologie - doplněk astronomie
- Zachycení souvislostí událostí na Zemi a jejich ovlivnění kosmickými tělesy. Zabývá se **světovou astrologií** - předvídáním událostí týkajících se velkých zemských regionů.
- Astrologie podle Ptolemaia poskytovala určité diskutabilní výsledky. **Tetrabiblos** měl velkou autoritu u astrologů, sehrál zásadní roli v dalším rozvoji astrologie, byl 2krát přeložen z arabštiny, **Ptolemaios se stal proslulým** ve středověku především na základě tohoto spisu.
- <http://www.astroweb.cz/index.php?page=3&cat=28>

# Tetrabiblos

*„Také Měsíc, jako Zemi nejbližší kosmické těleso, poskytuje své záření, nejhojněji přírodním věcem, protože většina z nich, ať jsou živé či neživé, je s ním v souladu a mění se podle něho – řeky zvyšují a snižují svůj stav podle jeho svitu, moře mění příliv s jeho východem a západem a rostliny a zvířata buď celé, nebo jejich části rostou a vadnou spolu s Měsícem. Dále, průchody stálic a planet oblohou často předznamenávají horko, vítr a sníh a podobně působí na světské věci. Pak také jejich vzájemné aspekty, jejichž vlivy se setkávají a promíchávají, přinášejí mnoho komplikovaných změn. Ačkoliv totiž v celkovém uspořádání kvality převládá moc Slunce, ostatní kosmická tělesa k ní v jednotlivých detailech přispívají, nebo ji zeslabují...“*

# Ptolemaios - Tetrabiblos - světová astrologie



Ptolemaios: Tetrabiblos II,2,3

# Ptolemaios - astronom - Almagest

- Název **Almagest** není původní, autor napsal spis s řeckým názvem **Μεγάλη συνταξις - Megalé syntaxis - Velká skladba**.
- Ptolemaios svoji knihu nazývá **Μαθηματικη συνταξις**, což znamená **Matematická skladba** respektive **kompéndium**.
- Arabští překladatelé zřejmě z úcty k autorovi či prostou záměnou slov v názvu zaměnili megalé **μεγάλη** (velká) a megisté **μεγιστη** (největší). Proto Arabové **Al Magisti**, odkud pochází i polatinštěný název **Almagest**. Vznikl **při překladu z řečtiny do arabštiny** a následně byl přenesen z arabštiny do latiny.

# Rozdělení Almagestu

- **Spis sepsaný do roku 150 n. l.** je značně obširný, anglický a ruský překlad přes 500 stran velkého formátu, německý dokonce dva svazky o 400 stranách.

- **Almagest Ptolemaios rozdělil na třináct knih**, v textu se vyskytují odkazy na jednotlivé knihy. Později prepisovatelé, překladatelé a komentátoři **rozčlenili knihy na kapitoly**, od pěti do devatenácti kapitol v každé, celkem jich je **146**.

**Rozdělení do kapitol nepochází od Ptolemaia**, neboť žádné odkazy na čísla kapitol či jejich názvy neexistují. Ve 4. st. n. l. již rozčlenění na kapitoly existovalo. Dochovaný text obsahuje některé interpretace vnesené pozdějšími prepisovateli.

- **Obsah spisu: Země, Slunce, Měsíc, hvězdy, planety**



# Poloha Země – geocentrický model

V první knize věnované Zemi Ptolemaios uvádí:

*„Kdo pokládá za podivné, že Země, tak nesmírně těžké těleso, se o nic neopírá a nepohybuje, jak se mi zdá, ten uvažuje podle předsudků vzniklých z toho, co se vidí při pozorování malých těles, a nikoliv, co se patří k obecným úvahám o světě, a z toho pak pochází ona chyba. Domnívám se, že takové setrvávání v klidu se mu již nebude zdát podivné, jakmile se dopravuje k představě, že Země v celé své mohutnosti není ničím více než bodem ve srovnání s vesmírem, který ji obklopuje. Pak by shledal možným, že Země nesmírně malá je ze všech stran ovládána a pevně na svém místě držena rovnoměrnými tlaky, které na ni ze všech směrů vykonává ji obklopující vesmír, nekonečně větší než ona a složený z podobných částic.“*

# Rotace Země

- Ptolemaios vycházel z představ aristotelovské fyziky, **nesprávně odhadoval důsledky případné rotace Země.** Podle autora vyvolává řečeno současnou terminologií „velké zrychlení“, pád těles západním směrem. K tomu uvádí *„Země by se dávno rozpadla a zbořila by samotné nebe, živé tvory a vše nepřipevněné... Mylně přeceňoval důsledky odstředivých sil vznikajících při rotaci tělesa. Na potvrzení geocentrické soustavy uváděl i fyzikální argumenty, nikoliv pouze obecně filozofické úvahy.*

- Připouští však rovněž: *„Jsou však lidé, kteří aniž by mohli cokoli namítnout proti tu uvedeným důvodům, tvrdí, že nic například nebrání předpokladu, že nebe je v klidu a Země se otáčí kolem své osy od západu k východu a že se takto otáčí zhruba jednou za den.“*

# Pohyb Slunce

- V teorii pohybu Slunce vychází Ptolemaios z Hipparcha, Slunce se pohybuje po ekliptice.
- Ptolemaios při tvorbě kinematického modelu pohybu Slunce **postupně řešil tři úlohy**. V první určil, jaký **časový interval** v průběhu roku je nejvhodnější zvolit pro sledovaný cíl. Následuje vyjasnění, **má-li vytyčený časový interval** konstantní velikost a nachází jeho **hodnotu**.
- **Časová jednotka rok**, v dnešní terminologii používáme termín **tropický rok**, je Ptolemaiem definována jako časový interval, v průběhu kterého Slunce uskutečňuje po ekliptice úplný oběh vzhledem k určitému počátečnímu bodu.

# Pohyb Slunce

Délku roku klade **(365 + 1/4 - 1/300) dne**. Žádná upřesnění hodnoty Ptolemaios neprovedl, pouze **přejal Hipparchův údaj**. Odtud Ptolemaios stanovil hodnotu **středního denního pohybu Slunce** po ekliptice v délce a našel v **šedesátkové soustavě hodnotu 0, 59, 8, 17, 13, 12, 31** tudíž číslo  $59/60 + 8/60^2 + 17/60^3 + 13/60^4 + 12/60^5 + 31/60^6$ .

V jednotkách používaných v současné době jde o hodnotu **0,98563526 ° = 0 ° 59' 8,28700238"**. Ptolemaios rovněž našel **střední roční pohyb Slunce** neboli přírůstek délky za jeden egyptský rok  $359,75687661^\circ = 359^\circ 45' 24,75587306''$ .

**Zavedl řadu důležitých pojmů**, které jsou v astronomii používány i nyní. K nim patří **střední Slunce, střední denní pohyb, střední roční pohyb** atd.

# Pohyb Měsíce

- Teorie pohybu Měsíce je složitější, vzájemné vzdálenosti Měsíce, Země a Slunce se mění v průběhu oběhu Měsíce kolem Země a Země kolem Slunce.
- Ptolemaiovův kinematický model: Měsíc v první respektive v poslední čtvrti je dvakrát blížeji Zemi než v době úplňku respektive novu. Přesnější hodnoty vyjádřené v Ptolemaiově modelu jsou  **$33 \frac{1}{2} R_Z$**  a  **$64 \frac{1}{6} R_Z$** .
- Pozdější pozorování arabských astronomů odpovídající změny úhlových průměrů Měsíce nepotvrdila. Současná měření dávají hodnoty od  $28' 47''$  v apogeu do  $35' 11''$  v perigeu, což odpovídá poměru  **$(400\ 000 : 350\ 000)$  km**, tedy  **$8 : 7$** . Ptolemaios ve svém modelu přepokládal tento poměr  **$2 : 1$** , později Koperník  **$4 : 3$** .

# Hvězdný katalog

- Sedmá a osmá kniha obsahují katalog více než jednoho tisíce hvězd sestavený Ptolemaiem, z nichž **polohy přibližně 850 hvězd byly s velkou pravděpodobností přebrány z katalogu Hipparcha.**
- Celkový počet objektů v katalogu je nejčastěji uváděn **1 028**, jsou rozděleny do **čtyřiceti osmi souhvězdí**, dále rozčleněných do dvaceti jedna **severních souhvězdí** (332 hvězd), dvanácti **zvířetníkových souhvězdí** (290 hvězd) a patnácti **jižních souhvězdí** (298 hvězd). Rovněž je v katalogu skupina hvězd neuvedených v žádném souhvězdí (108 hvězd).
- V katalogu uvedeno **1 020** hvězd, cca 20 hvězd je neidentifikovatelných.

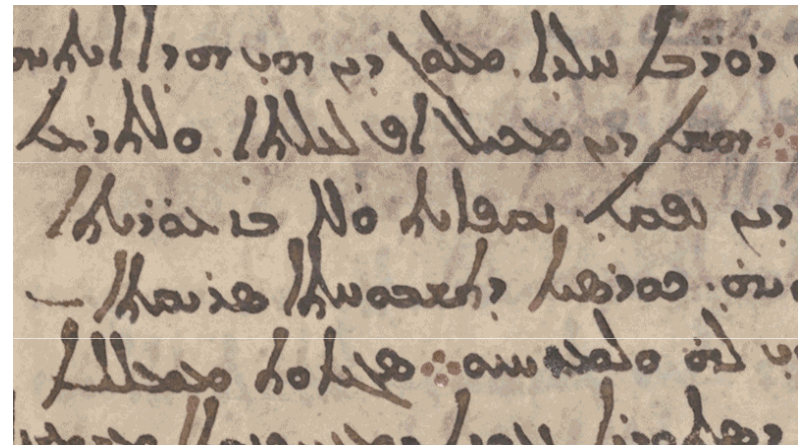
<http://astro.isi.edu/reference/almagest.html>

# Původ katalogu hvězd

- Nesoulad mezi ekliptikální délkou a dobou sestavení katalogu, což zjistil již AL – SÚFÍ (903 – 986) a další, v ekliptikálních délkách hvězd chyba  $1^\circ$ , jestliže připustíme dobu vzniku katalogu v r. 138 n. l. **Jaké je stáří katalogu a kdo ho vytvořil?**
- Jsou v něm zachyceny polohy hvězd v době jeho sestavení. Hvězdy mění svoji polohu na obloze, jde o **vlastní pohyb  $\mu$** . U hvězd pozorovatelných pouhým okem je typická hodnota vlastního pohybu  $\mu$  přibližně **20** “ za století. Hvězdy od Ptolemaiovy doby přemístily na světové sféře o 400 “, přibližně o 1/10 stupně, což je měřitelné.

# Původ katalogu hvězd

- U všech vybraných hvězd byly ze současných ekliptikálních souřadnic propočítány zpětně jejich změny v čase. Pro výpočty byl zvolen rok sestavení Hipparchova katalogu 127 př. n. l. a Ptolemaiova katalogu 138 n. l.
- Metoda analýzy **vlastních pohybů hvězd vymezila časový interval vzniku katalogu na druhé století před n. l.** kdy žil Hipparchos. Přesnost metody je odhadována na  $\pm 40$  roků, viz porovnání s katalogy, jejich datum vzniku známe.
- **Nature** 18 october 2022, palimpsest





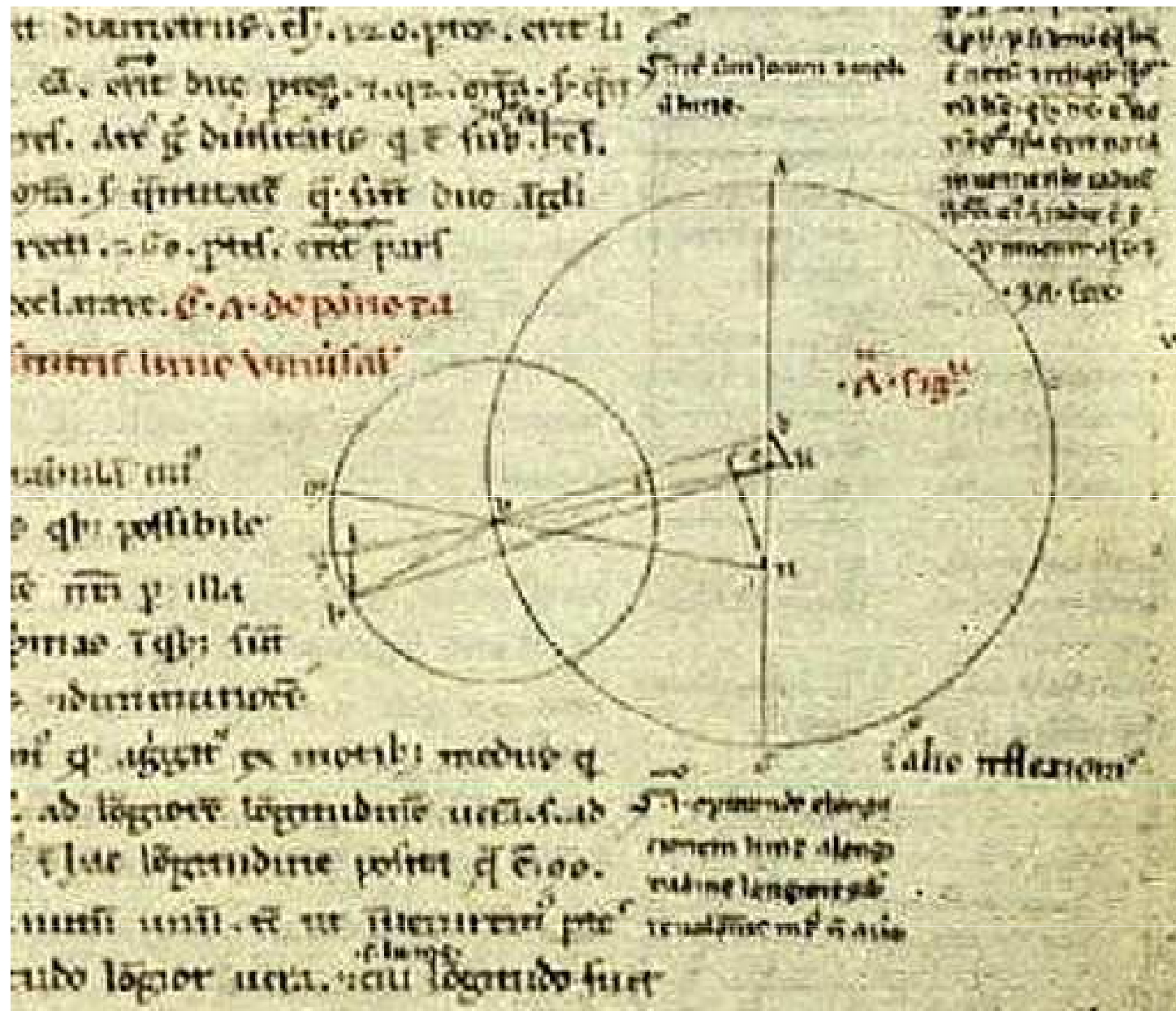
# Hvězdný katalog v tiskové podobě - r. 1515

## Longitudo et Latitudo ac Magnitudo stellarum fixarum

Forme et Stelle		Longitudo			Latitudo			Magnitudo
natur	Imago Trigesima quinta	g	m	g	m	g		
Septentrionalis que est in capite sublimati sine audacia		1	27	0	M	18	50	nebulosa
Lucida que est super brachio dextro: et ipsa tendit ad rapinam que appropinquat ad terram		2	2	0	M	17	0	.e.l.
Que est super humerum sinistrum	(ra in humero orionis)	1	20	20	M	17	30	.e.m.
Sequens que est sub istis duabus		1	25	0	M	18	0	.e.l.
Que est super cubitum dextrum		2	4	20	M	14	30	4
Que est super brachium dextrum		2	6	20	M	11	50	6
Sequens duplex meridionalis quadrilateri quod est in palma dextra		2	6	30	M	10	40	4
Antecedens lateris meridionalis		2	6	0	M	9	45	4
Sequens lateris septentrionalis		2	7	20	M	8	15	6
Antecedens lateris septentrionalis		2	6	40	M	8	15	6
Antecedens duarum que sunt in figura pincali		2	1	40	M	3	45	5
Sequens earum		2	4	20	M	3	15	5
Sequens quatuor que sunt quasi super lineam rectam super dorso		1	27	30	M	19	40	4
Antecedens banc		1	26	20	M	20	0	6
Antecedens etiam banc		1	25	20	M	20	20	6
Reliqua et est antecedens quatuor		1	24	10	M	20	40	5
Longior novem que sunt in dorso manus sinistre in septentrione		1	20	30	M	8	0	4
Secunda post istam in septentrione		1	19	20	M	8	10	4
Tertia post eam in septentrione		1	18	0	M	10	15	4
Quarta post eam in septentrione		1	16	20	M	12	50	4
Quinta post eam in septentrione		1	15	10	M	14	15	4
Sexta post eam in septentrione		1	14	30	M	15	50	3
Septima post eam in septentrione		1	14	50	M	17	10	3
Octava post eam etiam in septentrione		1	15	20	M	20	20	3
Reliqua et novem ultima a meridie		1	16	20	M	21	30	3
Antecedens trium que sunt super cingulum		1	25	20	M	24	10	2
Media earum		1	27	20	M	24	50	2
Sequens trium		1	28	10	M	25	40	2
Que est apud capulum ensis		1	23	50	M	25	50	3
Septentrionalis trium coniunctarum eam capite ensis		1	26	50	M	28	40	.e.l.
Media earum		1	26	40	M	29	40	3
Meridionalis trium		1	27	0	M	29	50	3
Sequens duarum que sunt sub extremitate ensis		1	27	40	M	30	40	4
Antecedens earum		1	26	10	M	30	50	4
Lucida que est in pede sinistro: et est communis ei et aque		1	19	10	M	31	30	1
Que est super declivitate ea ad septentrionem: et est super calcaneum		1	21	0	M	30	15	.e.m.
Que est super calcaneum sinistrum exterius		1	23	20	M	31	10	4
Que est super genu dextrum septentrionale		1	0	10	M	33	30	3
Starum triginta octo stellarum in magnitudine prima sunt due. in secunda quatuor. in tertia octo. in quarta quindecim. in quinta tres. in sexta quinq. et nebulosa una.								
Stellatio Sicuti.		Imago Trigesima sexta						
Que est post illa que est in pede sublimati sine audacia super principiu fluminis		1	18	20	M	31	50	4
Que est declivior hac ad septem. et est tortuositate apud apud edentem crus sub		1	18	50	M	28	15	4
Sequens duarum continuarum que sunt post banc	(limati sine audacia)	1	18	0	M	29	50	4
Antecedens earum		1	14	40	M	28	15	4
Sequens duarum continuarum etiam		1	13	10	M	29	15	4
Antecedens earum		1	20	10	M	25	20	4
Sequens trium que sunt post istam		1	6	20	M	26	0	4
Media earum		1	5	30	M	27	0	4
		1	2	50	M	27	50	4

# Pohyb planet - deferent, epicykl

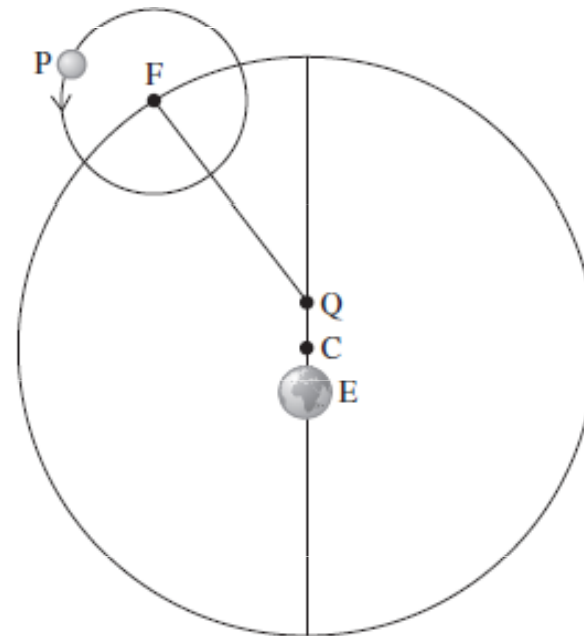
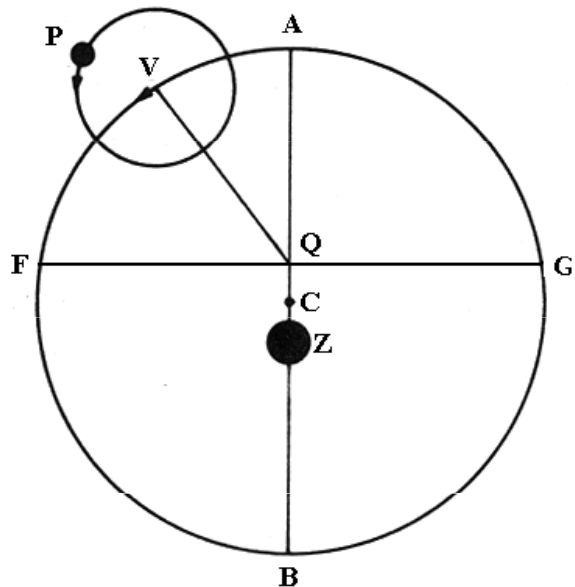
## Almagest



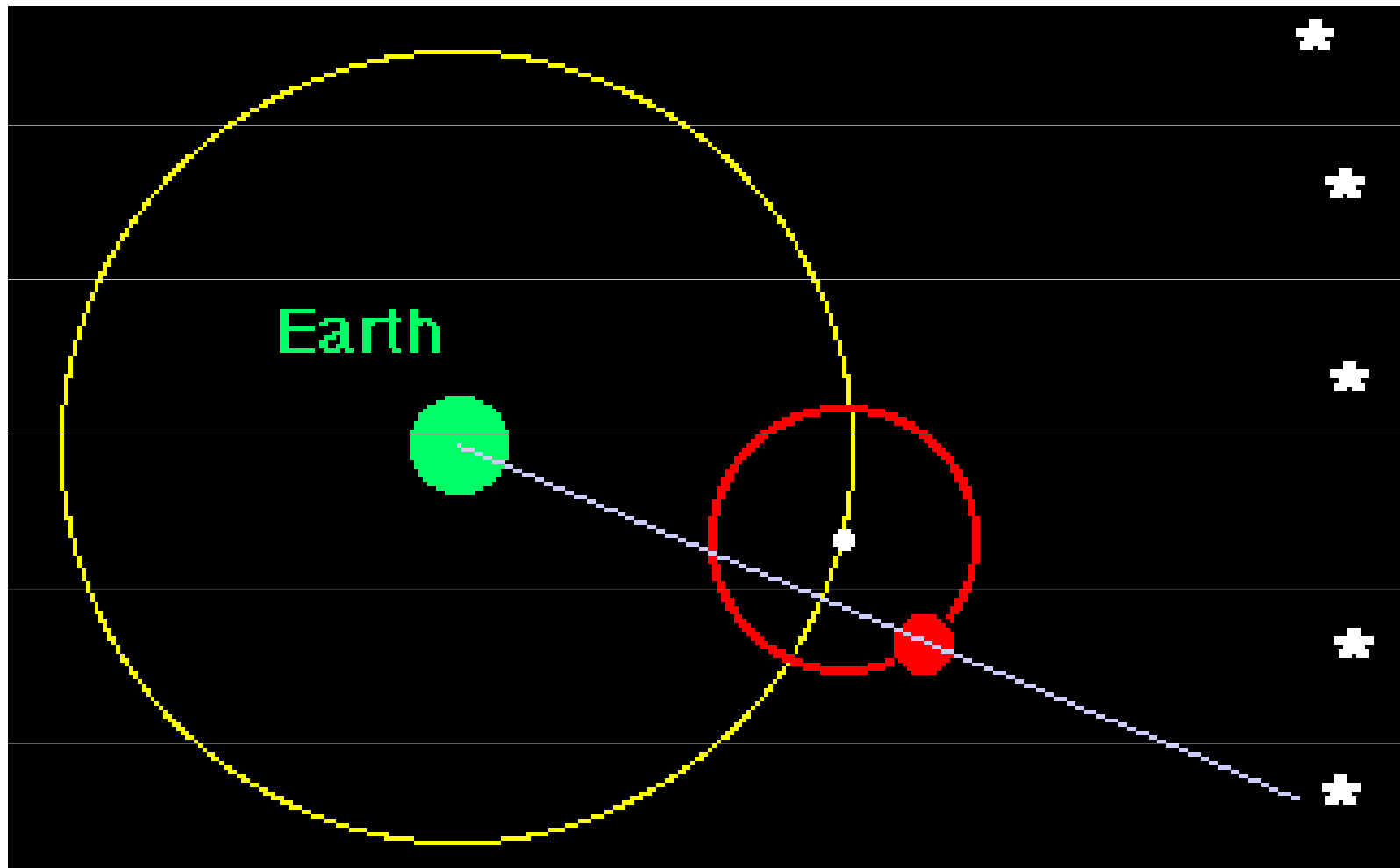
# Pohyb planet

**Poměr velikostí poloměrů epicyklů a deferentů zvolil pro Merkur, Venuši, Mars, Jupiter a Saturn postupně 0,376, 0,720, 0,658, 0,192, 0,103.**

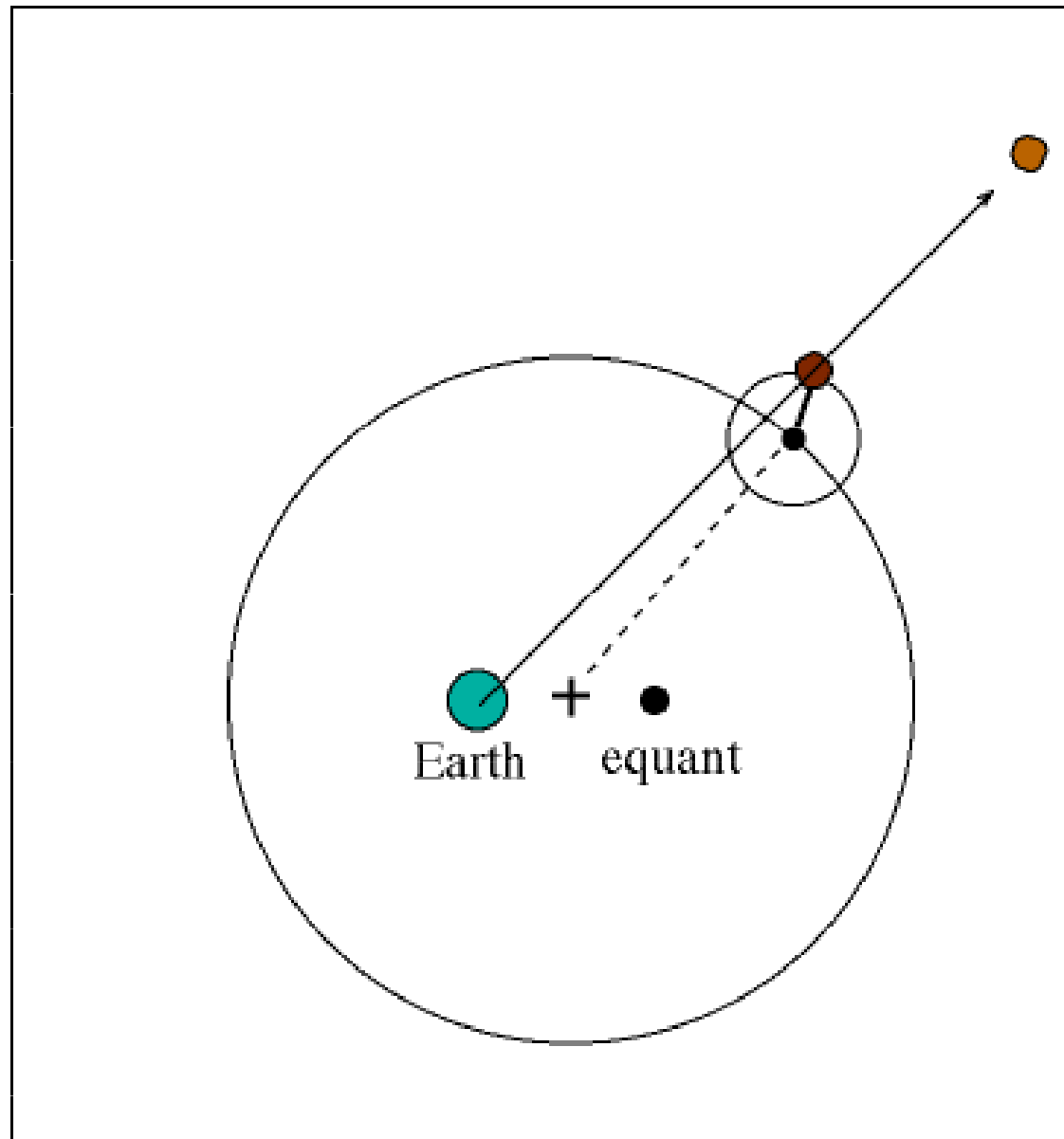
řešení problému nerovnoměrnosti pohybu planet =  
**deferent, epicykl + ekvant**



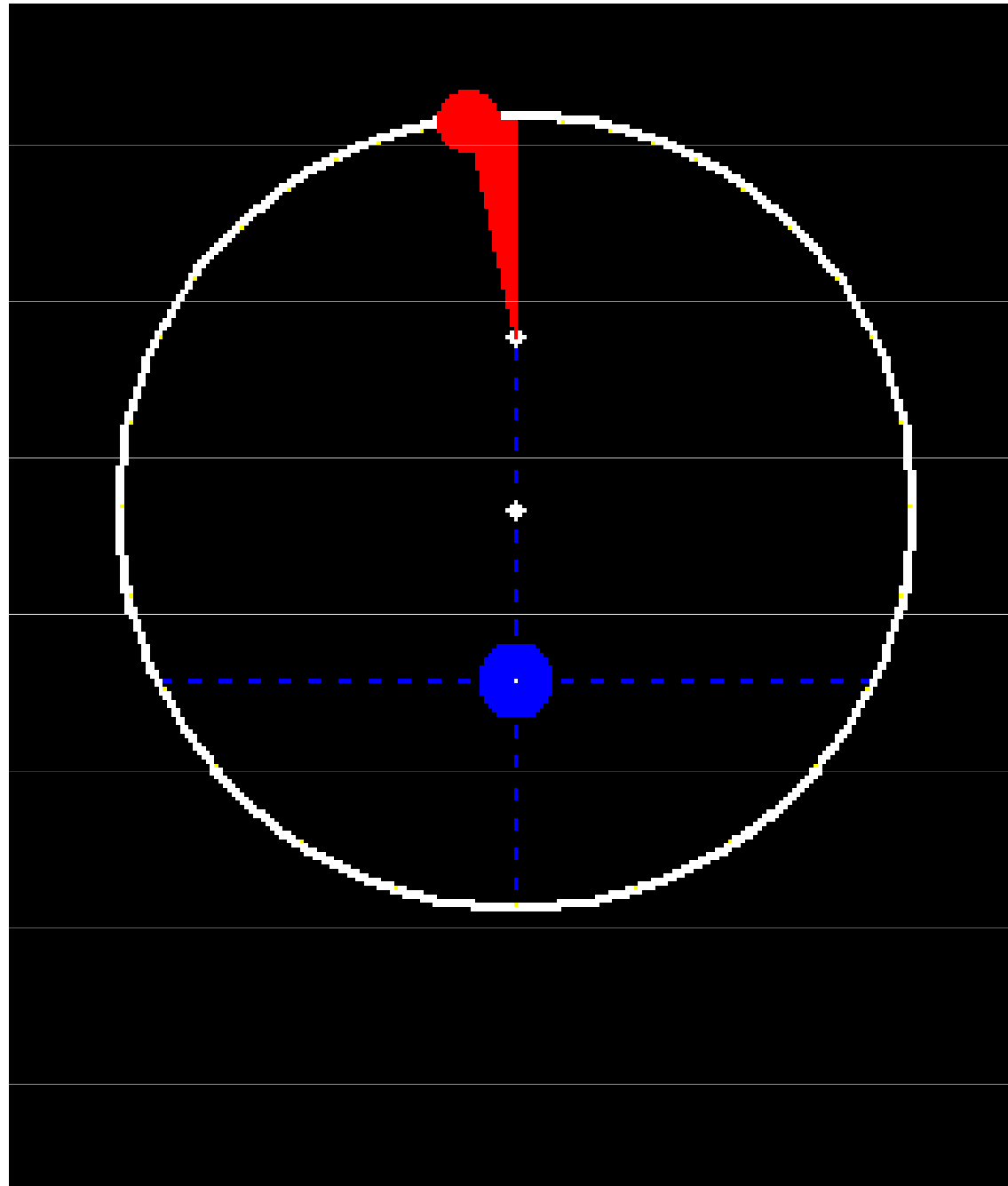
# Deferent, epicykl



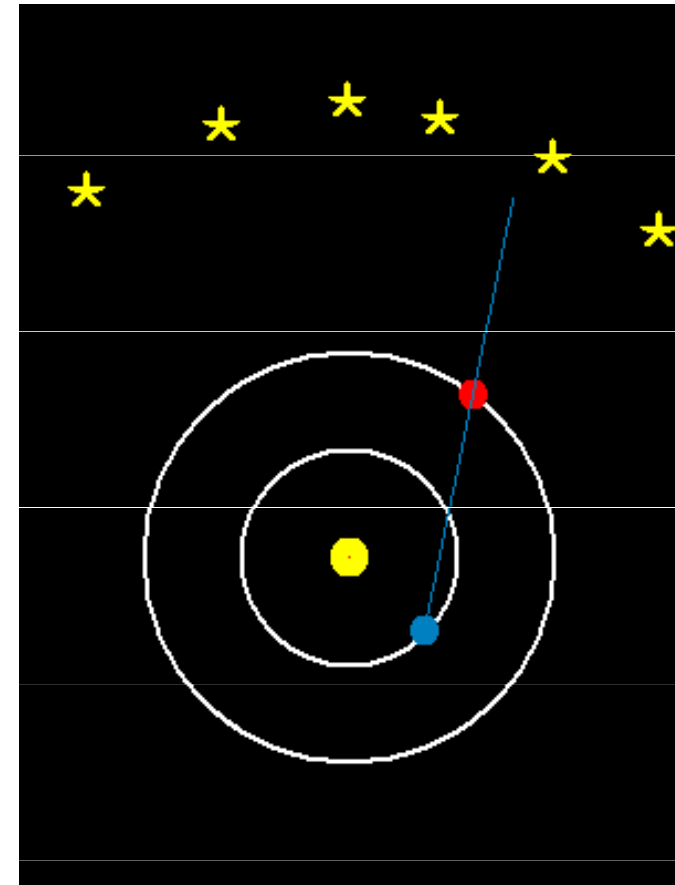
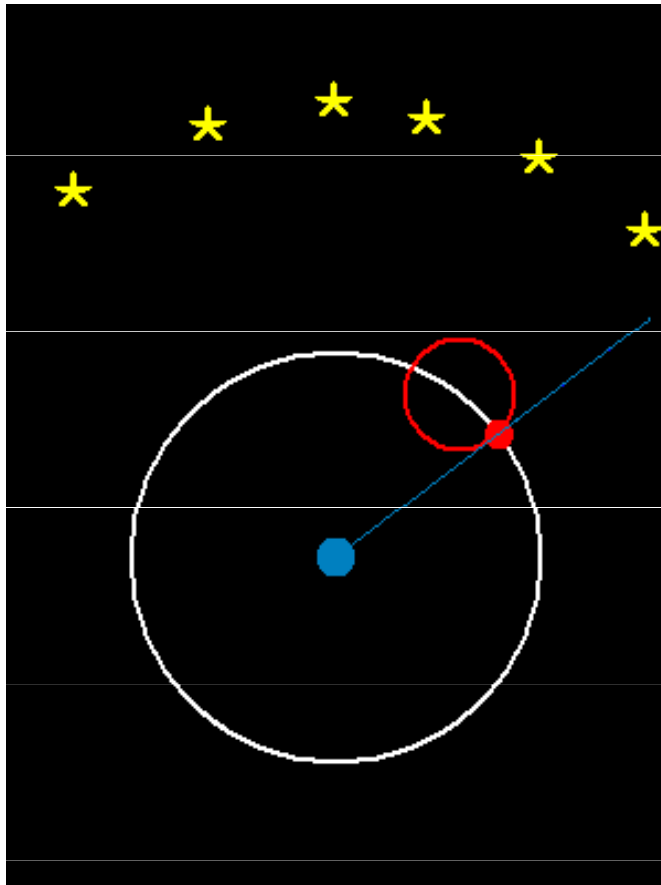
# Deferent, epicykl, equant



# Zachycení pohybu pomocí ekvantu



# Geocentrický x heliocentrický model

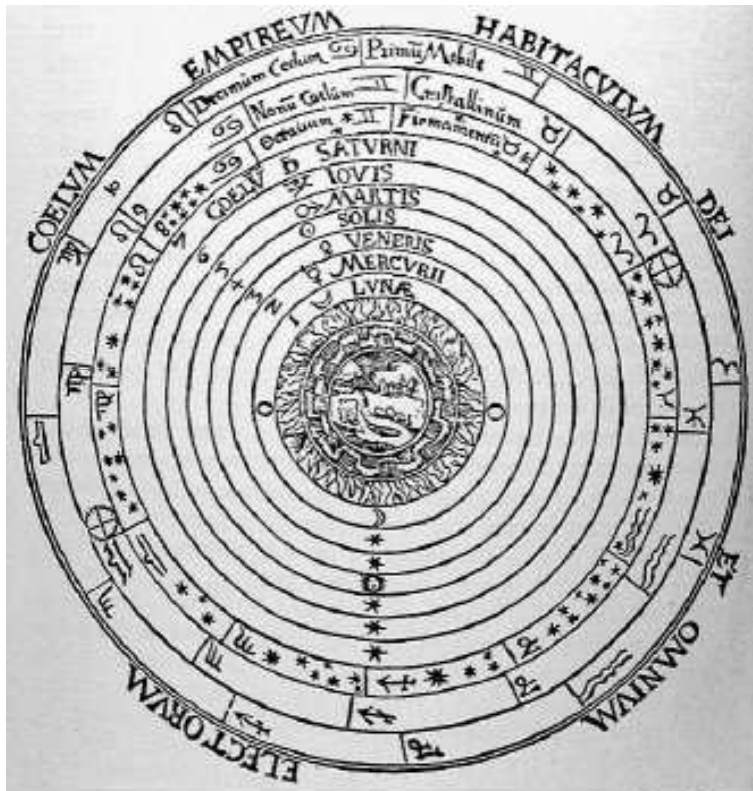


<http://faculty.fullerton.edu/cmccconnell/Planets.html#7a>

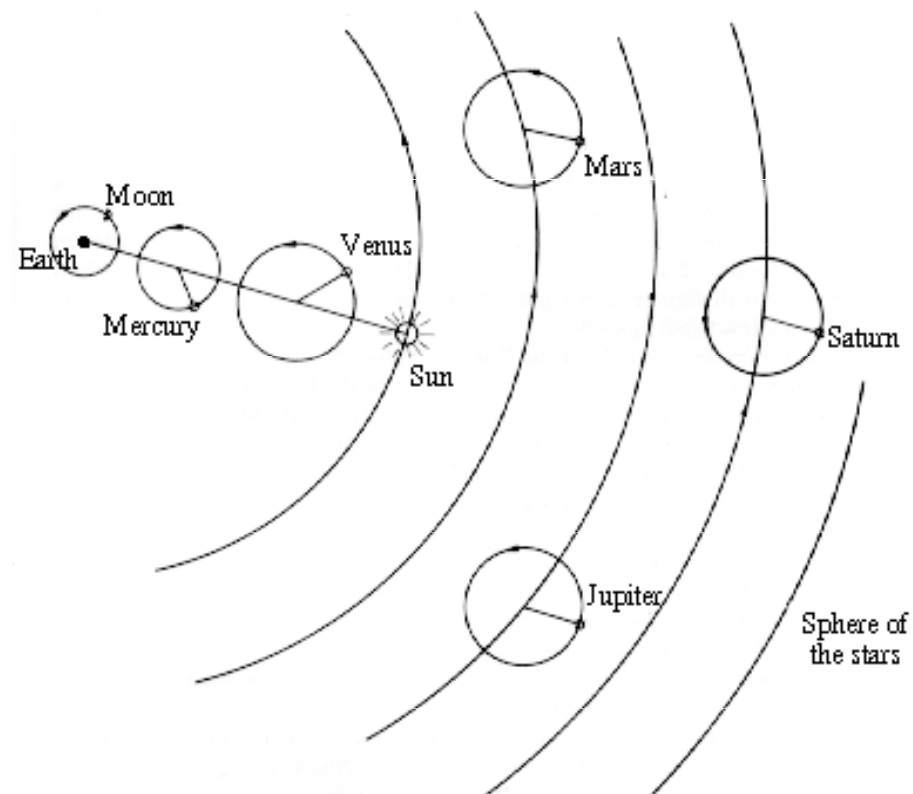
<http://people.scs.fsu.edu/~dduke/models.htm>

# Ptolemaiova geocentrická soustava

V deváté knize Ptolemaios uvádí: „ *Všechny planetární sféry jsou blíže Zemi než sféra stálic, ale ve větší vzdálenosti od Země než sféra Měsíce.* Tři sféry planet – Saturna, Jupitera a Marsu, z nichž sféra Saturna je největší, sféra Jupitera, protože je Zemi blíže, je druhá v pořadí, a sféra Marsu leží pod sférou Jupitera, jsou od Země dále než zbývající planetární sféry a sféra Slunce. “



Library of Congress





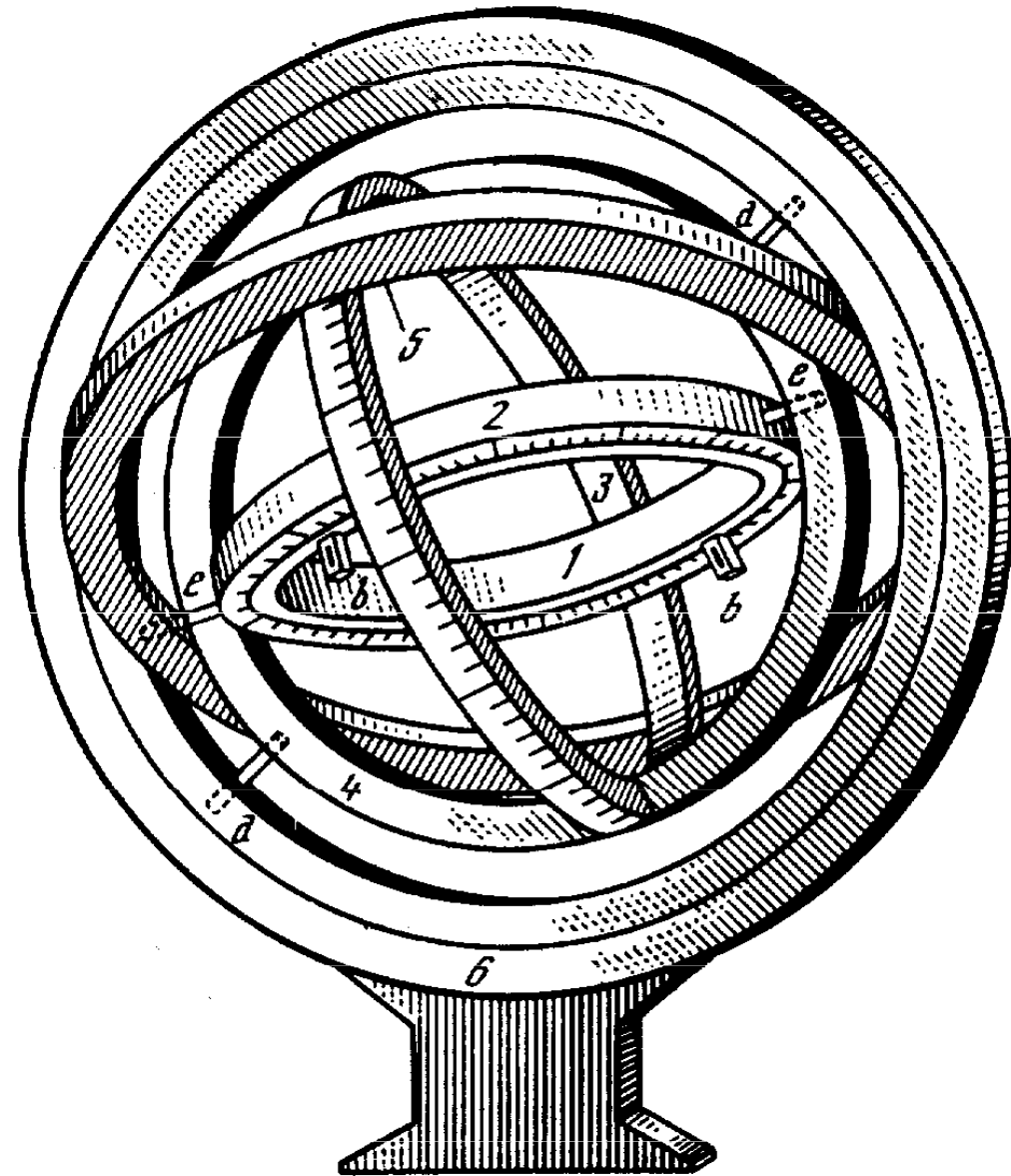
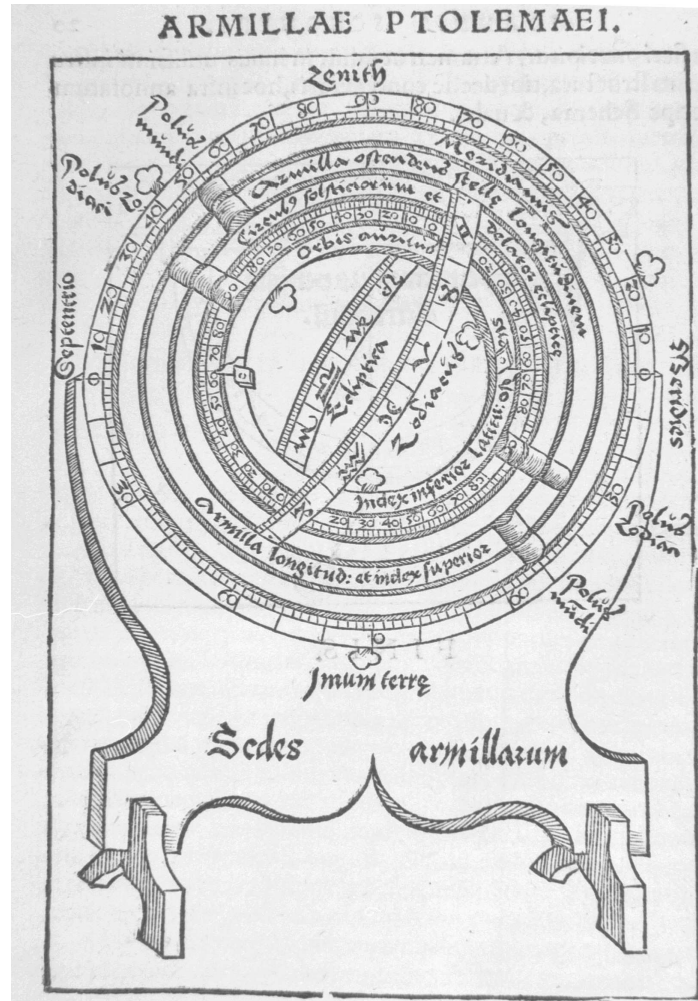
# Ptolemaiovy pozorovací přístroje

Ptolemaios – přístroj na „vzetí poloh“ hvězd...*„sledovali jsem všechny hvězdy, které jsme mohli okem pozorovat“* .

V současném chápání rovníková **armilární sféru (astroláb)**.  
Přístroj se skládal ze sedmi koncentrických otáčejících se kruhů, odhad velikost - 60 cm. Zmiňuje se o dělení na  $360^\circ$  a dále na části stupně. Podle pozdějšího komentáře PAPPA z ALEXANDRIE (290 – 350) byla šířka dělení jednoho stupně asi 3,5 mm, což můžeme vzít pro základ dalších odhadů.  
Nejpravděpodobnější je dělení kruhu po  $0,5^\circ$ , čemuž odpovídá přesnost stanovení úhlů v antické astronomii.

**pozorování → měření úhlů – astrometrie**

# Ptolemaiova armilární sféra



# Stanovení ekliptikální délky Regula r. 139 n.l.

1. Orientace přístroje na Slunce 333 1/2 °
  2. Navázání přístroje na Měsíce, jeho elongace 92 1/8 °
  3. Přestávka v pozorování, pohyb Měsíce 1/2 hod – 1/4 °
  4. Navázání přístroje na Měsíc
  5. Stanovení elongace Regula od Měsíce 57 1/6 °
  6. Určení ekliptikální délky 483 °
- Celkově 123 °

Shrnuto **postup předpokládal pouze dvě měření**, elongace Měsíce od Slunce a hvězdy od Měsíce

# Pozorování Ptolemaia

- pouhým zrakem
- přesnost ~ navedení přístroje na objekt - vizíry, na správnosti instalace přístroje, na přesnosti dělení a odečítání
- při pozorování v tmavších oblastech oblohy bylo obtížnější určování polohy
- malá přesnost pozorování spojených s registrací času, písečné či vodní hodiny nedávaly vyšší přesnost než 15 minut, v úhlových jednotkách až chyby v určení ekliptikálních délek  $\approx$  stupně
- kalkulačka geocentrických efemerid  
<http://www.phys.uu.nl/%7evgent/astro/almagestephemeris.htm>

# Almagest - kalendáře

1. ***Egyptský kalendář***, základem egyptský rok se stálou délkou **365 dnů rozdělených na 12 měsíců po 30 dnech plus 5 doplňkových dnů**, přidávaných na konci roku. Používal se ve Starém Egyptě jako základ občanského kalendáře v průběhu celého období.

2. ***Kallipův kalendář***, vycházel z cyklu 76 roků, střední délka roku byla rovna **365 a 1/4 dne, měsíce mají 29 nebo 30 dnů**. Korekce byla určována požadavkem, aby střední počet dnů v měsíci odpovídal periodě synodického měsíce, obsahujícímu 29,530 589 dnů. V některých rocích to bylo 12 měsíců, v jiných 13.

# Almagest – kalendáře

3. *Babylónský kalendář* neměl rigorózně stanovená číselná pravidla. Opíral se o pozorování, která prováděly speciálně určené osoby. Babylónský rok měl **354 dnů rozdělených do 12 měsíců**, které měly střídavě 29 respektive 30 dnů. Názvy měsíců vycházely ze života starověkých Babyloňanů.

V kalendáři byly vyznačeny **šťastné** a **nešťastné** dny. Měsíc začínal večer v den, kdy se poprvé po západu Slunce objevil srpek nového Měsíce. Rovněž dny samotné začínaly večer.

Kolem roku 700 př. n. l. byla sestavena učebnice astronomie obsahující kalendář s údaji heliakických východů jednotlivých hvězd. V určitém období babylonští astronomové spojovali svůj kalendář s heliakickým východem  $\alpha$  Aur - Capelly.

# Almagest – kalendáře

4. *Athénský kalendář* vycházel z luni-solárního cyklu. Začátek roku stanoven prvním úplňkem po letním slunovratu, obvykle na přelomu června a července. Po roce 86 př. n. l., kdy Řekové ztratili samostatnost, přestali vnášet do kalendáře nezbytné korekce, tudíž se začátek roku stal plovoucím vzhledem k juliánskému kalendáři. V průběhu staletí se stal posun značným.

5. *Dionýsův kalendář*, ve kterém první rok éry Dionýsia začínal ve dni letního slunovratu 26. června 284 př. n. l. Délka roku byla zvolena na 365  $\frac{1}{4}$  dne, rok měl 12 měsíců, jejich názvy vycházely z označení zvířetníkových souhvězdí, poslední například Blíženci. Prvních jedenáct měsíců mělo po 30 dnech, poslední 35 nebo 36 dnů, neboť každý čtvrtý rok měl o jeden den více.

# Almagest, 9. stol. n. l.





# Titulní strana a zodiakální souhvězdí z Almagestu r. 1515

**C**CL. Ptolemei Alexandrini Astronomorū principi/ p̄s Almagesti seu Magne p̄structionis liber: omnīū celestīū motuum rationem clarissimis sententijs enu/ cleans: fausto sydere incipit. Et primo in eūdē p̄fatio.



**Q**uidam princeps nomine

Albugnase in libro suo (quem Sciētiarum electionem: et verborum nominavit pulchritudinem) dixit: q̄ hic Ptolemeus fuit vir in disciplinā sciētia p̄potens: p̄eminēs alijs. In duabus artibus subtilis: idest Geo/ metria ⁊ Astrologia. Et fecit libros multos. de quorum numero iste est: qui Almagesti dicitur. cuius significa/ tio est Maior perfectus. Quem ad linguam volentes convertere Arabicā: nominaverunt Almagesti. **C** Dic autem ortus et educatus fuit in Alexandria maiori ter/ ra egypti. Litus tamē p̄pago de terra Sem: et de pro/ uincia que dicitur P̄culandia. Qui in Alexandria cur/ sus syderum consideravit instrumentis tempore regis Adriani et aliorum. Et super considerationes quas Abrahā in Rhodo expertus est: opus suum edidit. **C** Ptolemeus v̄o hic nō fuit vnus regum egypti: qui Ptolemei vocati sunt: sicut quidam estimant: sed Ptolemeus fuit eius nomen: ac si aliquis vocaretur Cosdrobe aut Cesar. **C** Dic autem in statu moderatus fuit: colore albus: incessu largus: subtiles ha/ bens pedes. in matilla dextra signum habens rubeum. barba eius spissa ⁊ nigra: dentes anteriores habens discoopertos et apertos. Os eius paruum: loquēle bone et oīcie: for/

*Imagines celi Septentrionales cum duodecim imaginibus zodiaci.*



# Almagest - závěr

Ptolemaios uzavírá spis slovy: *„Poté, co jsme vše splnili, o Syre, a rozebrali, jak doufám, téměř vše, co musí být prozkoumáno v podobném díle, nakolik uplynulá doba umožnila zvýšení přesnosti našich a upřesnění starších objevů, vytvářeném ne pro vlastní chválu, ale pouze ve prospěch vědy, nechť předkládané dílo zde získá vhodný a přiměřený závěr.“*

Výklad s využitím geometrie, text velmi obtížný,  
v překladech značný rozsah výkladových poznámek...

# Význam Ptolemaia

- shromáždění a utřídění rozsáhlých souborů starověkých a antických astronomických údajů
- analýza jejich důvěryhodnosti a přesnosti
- metodika pozorování, popis používaných pozorovacích přístrojů
- vytvoření antické astronomické terminologie, řadů pojmů převzal od předchůdců, další zavedl sám
- zdokonalení výkladu některých jevů, například precese či evekce pohybu Měsíce, které před ním objevil již Hipparchos
- výklad pohybů planet, epicykl, deferent, ekvant
- ucelený astronomický obraz sluneční soustavy
- přesnost efemerid planet (Slunce, Měsíc) asi 10' - 25'
- model je kinematicko – geometrický, není prostorový
- plně postačoval požadavkům tehdejší doby

**Ptolemaiova díla: *Astronomická***

**Almagest, Matematická skladba, Megalé syntaxis - Syntaxis mathématiké (Μεγάλη συνταξιζ - Μαθηματική συνταξιζ)**

**Fáze nehybných hvězd (Φάσεις άπλανών άστέρων)**

**Kanopská roznámka (Canobic Inscription)**

**Planetární hypotézy (Υποθέσεις τώνπλανωμένων)**

**Příruční tabulky (Πρόχειροι κανόνες)**

***Astrologická***

**Tetrabiblos (Τετράβιβλος)**

***Matematická***

**Analemma (Περί άναλήματος)**

**Planisféra (Απλωσις έπιφανείας σφαίρας)**

***Geografická***

**Geografická příručka (Γεωγραφική ύφήγησις)**

***Fyzikální***

**Optika (Οπτική)**

***Muzikální***

**Harmonické kmity (Αρμονικά)**

# Edice velké postavy vědeckého nebe

## Klaudios Ptolemaios

