

Přístroje pro astronomii

Úvod kursu



Sylabus

Přednášky (cca po 2 vyučovacích hodinách)

- ❖ (Haderka) Historie astronomických pozorování, antické objevy a pozorovací metody, středověká astronomie, první dalekohledy a spektrometry. Spektrum elektromagnetického záření.
- ❖ (Palatka) Úvod do geometrické a vlnové optiky. Paraxiální prostor, lámavé a odrazné plochy, Fermatův princip, Huyghens-Fresnelův princip, disperze, difrakční jevy, zobrazovací soustavy, zvětšení, zorné pole, rozlišovací schopnost, vinětace, světelnost, vady zobrazení.
- ❖ (Palatka) Čočkové dalekohledy. Achromáty, apochromáty, ED- optika. Korekce barevné vady. Korekce sklenutí pole. Reduktory a korektory. Prodloužení ohniska. Vady. Výhody a nevýhody.
- ❖ (Palatka) Zrcadlové dalekohledy. Newtonův dalekohled. Tří- a vícezrcadlové systémy. Vady. Výhody a nevýhody.
- ❖ (Palatka) Katadioptrické systémy. Maksutov, Cassegrain, Schmidtova komora, Schmidt-Cassegrain, Schmidt-Newton, Ritchey-Chrétien, Dall-Kirkham. Vady. Výhody a nevýhody.
- ❖ (Schovánek) Montáže pro astronomické dalekohledy. Dobsonova montáž, vidlicová montáž, německá paralaktická montáž, speciální systémy.
- ❖ (Haderka) Některé velké profesionální systémy (např. Hale, Keck, VLT aj.) a jejich budoucnost. Aktivní optika. Adaptivní optika.
- ❖ (Nožka) Astronomie v různých oblastech světelného spektra – radioastronomie, rentgenová a gama astronomie, spektrometrie hvězd.
- ❖ (Nožka) Spektroskopie, spektrografy, interpretace spekter.
- ❖ (Mandát) Detektory pro astrometrii a fotometrii, fotometrické systémy a jejich význam.
- ❖ (Mandát) Astročásticové experimenty – projekt Observatoře Pierre Auger, CTA a další významné observatoře. Detekce neutrin a gravitačních vln.

Cvičení

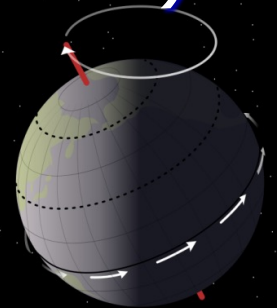
- (Tomáščík, Haderka) Praktické ukázky různých typů astronomických optických soustav [cca po 5. přednášce, cca 3 hodiny]
- (Tomáščík, Haderka) Základy ustavení montáží a pozorování [cca po 6. přednášce, za příznivého počasí večer, cca 3 hodiny]
- (Lenža) Odborná stáž na Hvězdárně Valašské Meziříčí [buď na podzim nebo na jaře, podle počasí a možností hvězdárny, Pá-So, nebo Pá-Ne]

Co lze na obloze pozorovat okem

- cca 6000 hvězd (celkem z obou polokoulí)
- 5 planet (6?), Měsíc, Slunce
- nejjasnější galaxie a mlhoviny (M31, M42)
- komety, meteory, supernovy, proměnné hvězdy
- rytmické a pravidelné pohyby – základ kalendářů

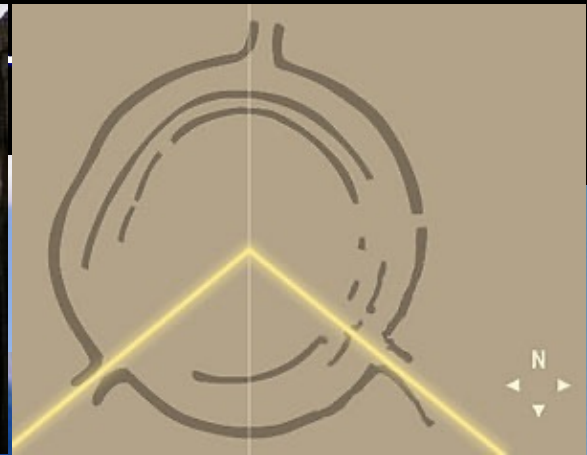
Cykly

- Chaldejský cyklus (7. stol. př.n.l., SAROS)
 - 41 zatmění Slunce (posunutých o třetinu obvodu Země) během cca 18 let
- Metonův cyklus (432 př.n.l.) – 19 tropických roků = 235 synodických měsíců [– 2 hodiny]
- Platónský rok (Hipparchos, 2. stol. př.n.l.)
 - precesní pohyb Země cca 25700 roků



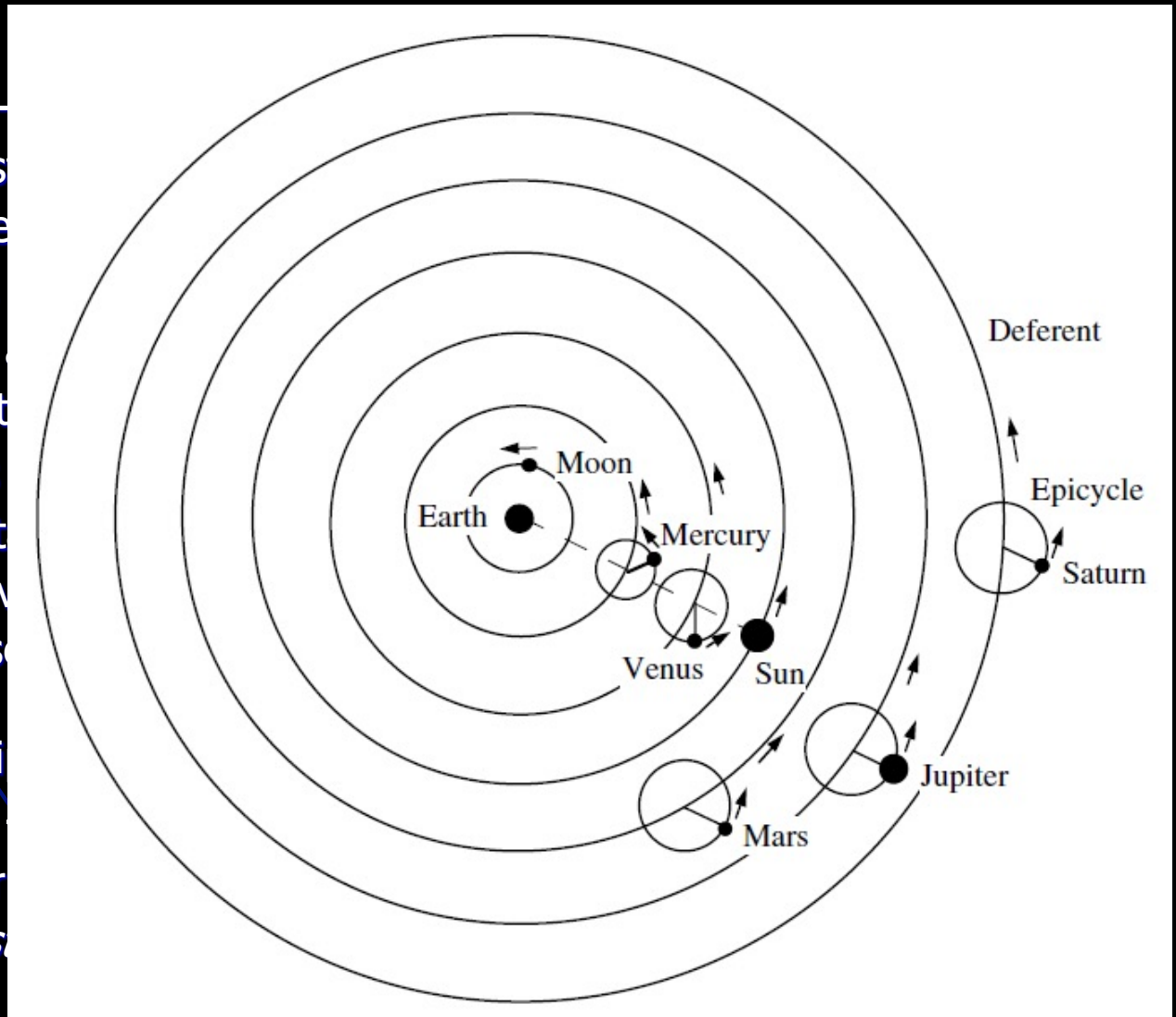
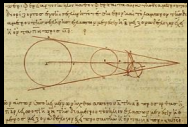
Starověké observatoře

- Goseck, Německo (4900 př.n.l.)
- Stonehenge, Anglie (2500 př.n.l.)
- Kokino, Makedonie (3000 př.n.l.)
- Chankillo, Peru (2500 př.n.l.)



Řecká astronomie (~600 př.n.l. - ~400 n.l.)

- vycházeli z
- Aristoteles
 - sféřičnos
 - Slunce je
- Aristarchus
 - velikosti
 - heliocentr
- Hipparchos
 - první kat
 - zavedl hv
 - pokusil s
 - neuspěl
 - sonda Hi
- Ptolemaios
 - geocentr
 - *Almagest*



Příklad

Sluneční světlo dopadá na dno hluboké studny ve městě Syena (dnes Aswan, jižní Egypt) v právě poledne v den letního slunovratu. Téhož dne pozoruje Slunce Eratosthenes v Alexandrii mírně jižně od zenitu (cca $1/50$ kruhu = 7.2°).

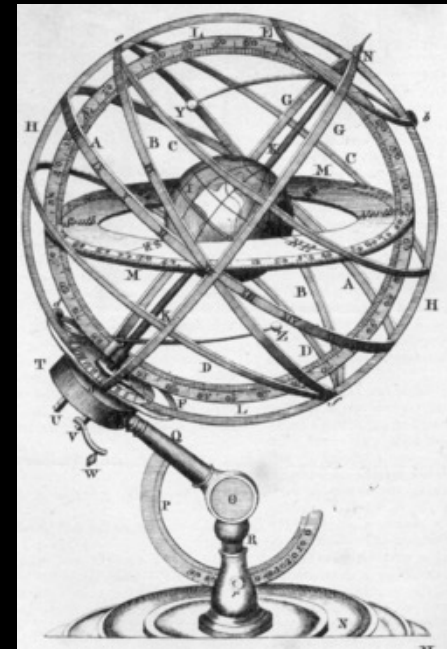
Velbloudí karavana putuje ze Syeny do Alexandrie 50 dní průměrnou rychlostí 100 stadií denně. Spočtete poloměr Země ve stádiích. Jak velké chyby se Eratosthenes dopustil? (atický stadion = 185 m, egyptský stadion = 157,5 m).

Orientální astronomie

- Árjabhata (Indie, 576-550) – výpočty poloh planet, zatmění, konjunkcí
- Supernova v souhvězdí Býka (1054) – zaznamenána čínskými a japonskými astronomy (mnoho dalších záznamů supernov a komet)
- Islámská astronomie
 - Albumasar (9. stol.) – heliocentrický systém
 - al-Sufi (10. stol) – katalog hvězd včetně barev, pozorování mlhovin v Andromedě a LMC
 - Alhazen (11. stol.) – vysvětlil svit Měsíce
 - ...mnoho dalších

Antické astronomické pomůcky

- Gnómon
 - ukazatel slunečních hodin
 - místní poledník
 - určení rovnodennosti a zeměpisné šířky
- Astroláb (planisféra)
 - otáčivá mapa hvězdné oblohy
- Armilární aféra
 - prostorový model oblohy
- Mechanismus z Antikythéry
- úhломěr, sextant

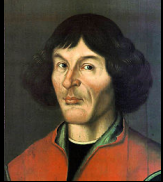


Mechanismus z Antikythéry

- 150-100 př.n.l., řeckého původu (Hipparchos???)
- Objeven 1900
- předpovědi pohybu Slunce a Měsíce (včetně excentricity měsíční dráhy), zatmění
- Mechanika na úrovni 18. stol. v Evropě



Renesance



- Mikoláš Koperník (1473-1543) – navrhl heliocentrický systém (*De revolutionibus orbium coelestium*)



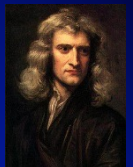
- Tycho de Brahe (1546-1601) – velmi přesná měření ~ 1' Slunce, Měsíce a planet (mnohaletá), také supernovu v roce 1572



- Johannes Kepler (1571-1630) – vysvětlil pohyby planet (Keplerovy zákony, *Astronomia nova*, *Harmonices Mundi*)



- Galileo Galilei (1564-1642) – propagoval koperníkovský heliocentrismus (*Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo*), využíval hojně dalekohled, objevil čtyři Jupiterovy měsíce a sluneční skvrny, fáze Venuše, hvězdy v Mléčné dráze



- Isaac Newton (1643-1727) – teorie gravitace (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*), vynalezl první dalekohled s odrazným zrcadlem, rozložil bílé světlo hranolem

Proč potřebujeme dalekohledy a CCD detektory?

- zvýšení sběrné plochy pro světlo
 - oko má sběrnou plochu 12-200 mm²
 - dalekohledy ji zvětšují 10²-10⁷ -krát
- integrace sběru fotonů v čase
 - oko 100 ms (skotopicky), 10 ms (fotopicky)
- zvýšení rozlišovací schopnosti

$$\psi = 1,22 \frac{\lambda}{D} \approx \frac{114 : 144}{D_{[\text{mm}]}} ['' @ 550 \text{ nm}]$$

- oko asi 1' fotopicky
- asi 5' skotopicky

Technologická revoluce

- velké dalekohledy
- fotografie
- fotonásobiče, intenzifikátory obrazu
- CCD kamery
- počítače



Neoptická astronomie

- Radioastronomie (Jansky, 1931)
 - kvazary, pulzary
- Sekundární projevy dopadu vysokoenergetických částic do atmosféry



Kosmická astronomie

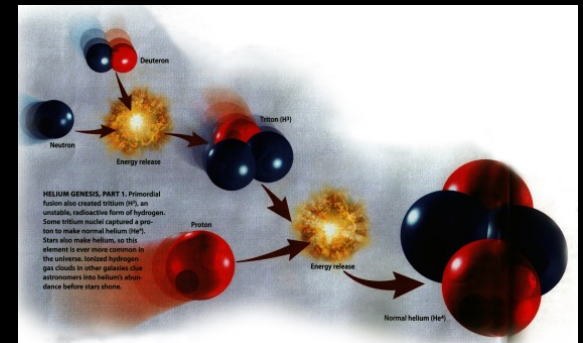
- Rentgenová – neutronové hvězdy, rázové vlny při výbuchu supernov
- UV a IR – vznik hvězd
- Gama – pulzary, aktivní jádra galaxií
- Planetární průzkum – sondy a roboti
- Částicová astronomie – protony, neutrina
- Gravitační vlny (poprvé 2015, LIGO)

Stručná historie objevů

- 1802 Fraunhofer identifikoval absorpční čáry ve slunečním spektru a zjistil že odpovídají prvkům známým na Zemi



- Model nukleární pece ve hvězdách (jaderná fyzika 1. pol. 20. století) velmi dobře předpovídá chování a velikosti hvězd, nedávno potvrzen i měřením toku slunečních neutrin



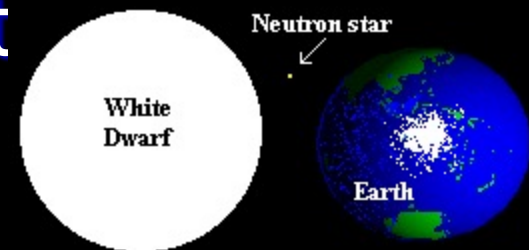
- 1862 – pozorován první bílý trpaslík (Sirius B) – velikost Země, ale hmotnost Slunce – degenerovaný elektronový plyn (vysvětlen kvantovou teorií ve 20. letech 20. století)

Sirius B

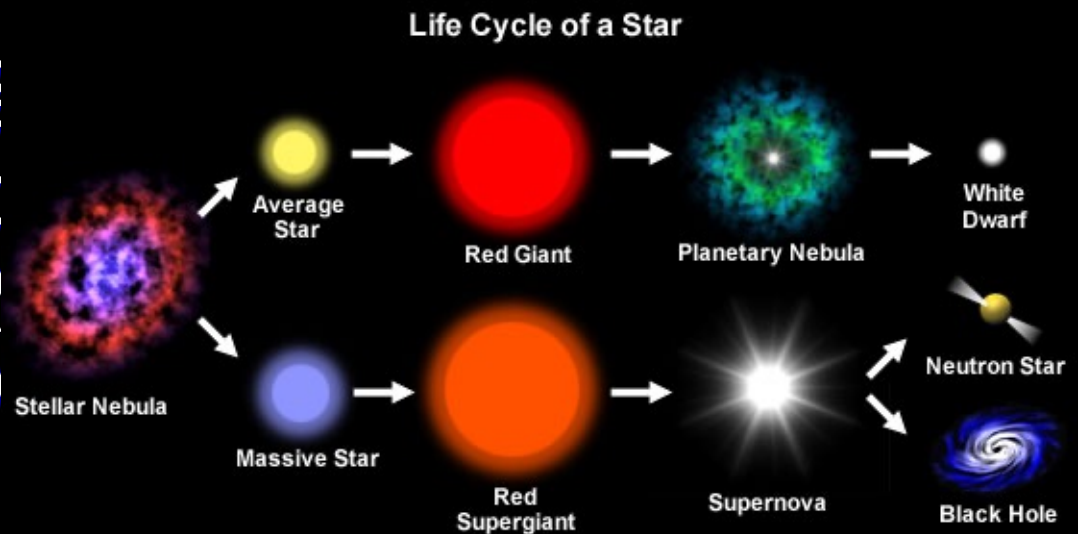


Stručná historie objevů

- 1939 – existují ještě kompaktnější objekty – neutronové hvězdy: hmotnost Slunce, ale 1000x menší než bílý trpaslík (objeveny 1967 jako pulzary a později jako rentgenové hvězdy)

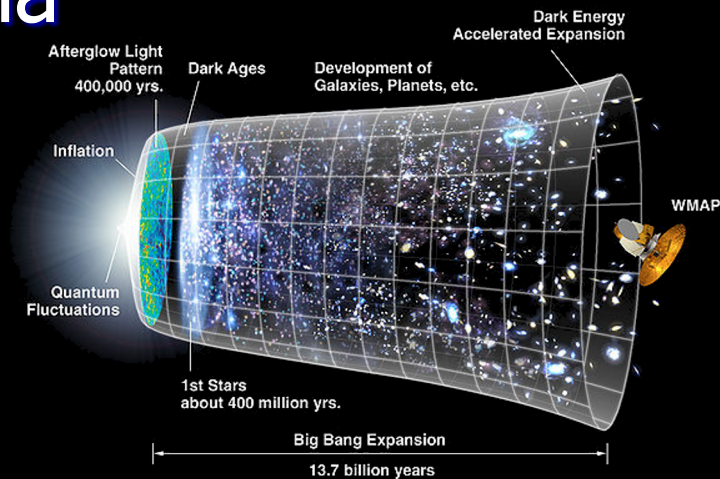
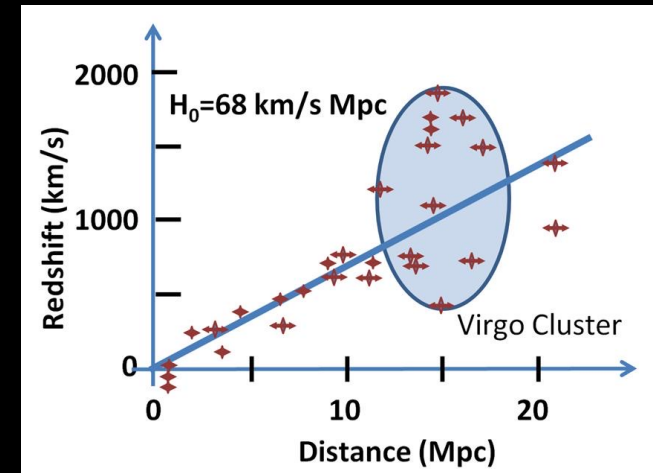


- život hvězd – začíná protohvězdy – pokračují jako červené trpaslíky a bílé trpaslíky – novy a supernovy – mlhoviny – kulové hvězdné sčítání



Stručná historie objevů

- 1917 Shapley – velikost naší Galaxie
- 1924 Hubble – vzdálenost galaxie v Andromedě
- 1929 Hubble – galaxie se vzdalují – vesmír se rozpíná
- Kosmologie velkého třesku



Bible

- Genesis 1:1
Na počátku stvořil Bůh nebe a zemi.
- Jób 38:4
Kde jsi byl, když jsem zakládal zemi?
Pověz, víš-li něco rozumného o tom.

Současné výzvy

- gravitační vlny (pozorování binárních pulzarů, srážky černých děr [LIGO 2015])
- oscilace neutrin
- inflační vesmír
- temná hmota a temná energie
- rozpínání se zrychluje (NC2011)
- fluktuace CMB
- 2011 - neutrina rychlejší než světlo?
[vyvráceno]

Informace o vesmírných objektech

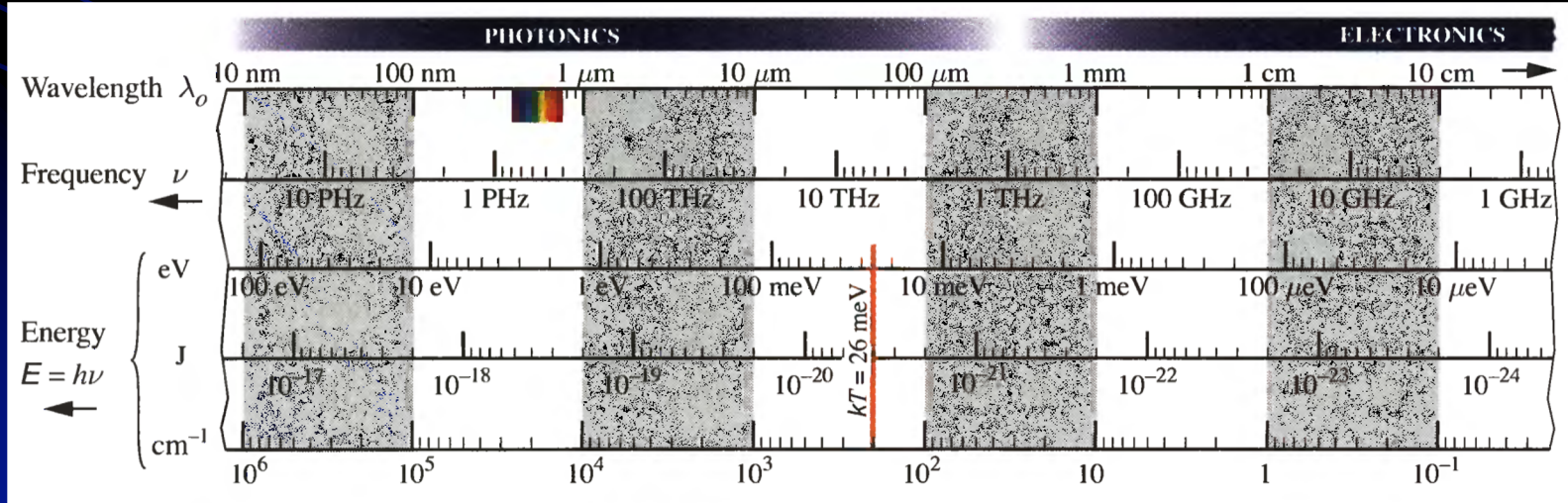
- světlo (fotony)
 - vlnově-částicová povaha
 - interferometrie
 - šíří se po přímých drahách (kromě nízkofrekvenčních rádiových vln a ohybu na gravitačních čočkách)
- kosmické záření (nabitě částice)
 - zejména protony, ale i těžší jádra
 - působí na ně mezihvězdná a mezigalaktická magnetická pole
- meteority – informace o sluneční soustavě
- neutrina
- gravitační vlny



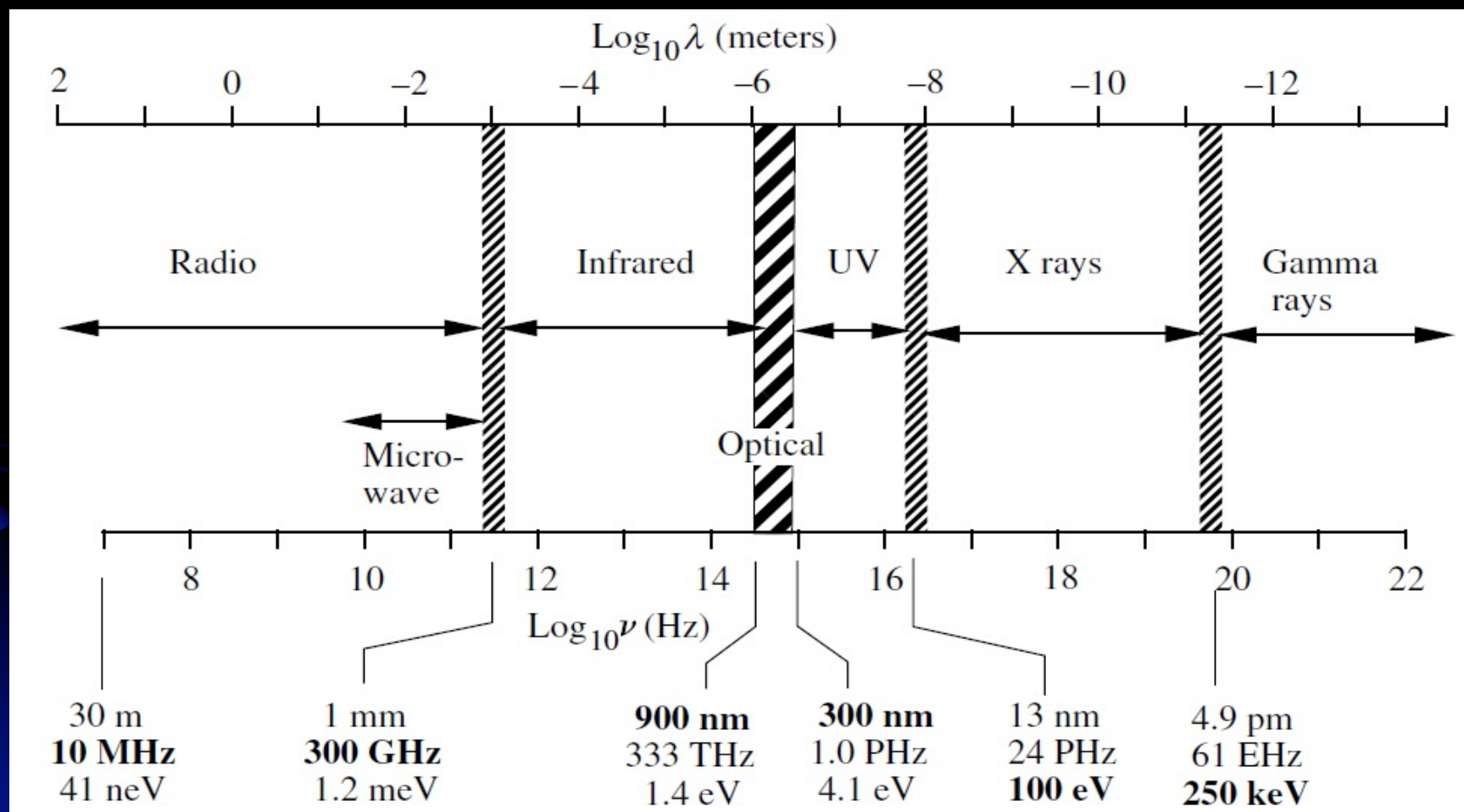
$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Jednotky „energie“

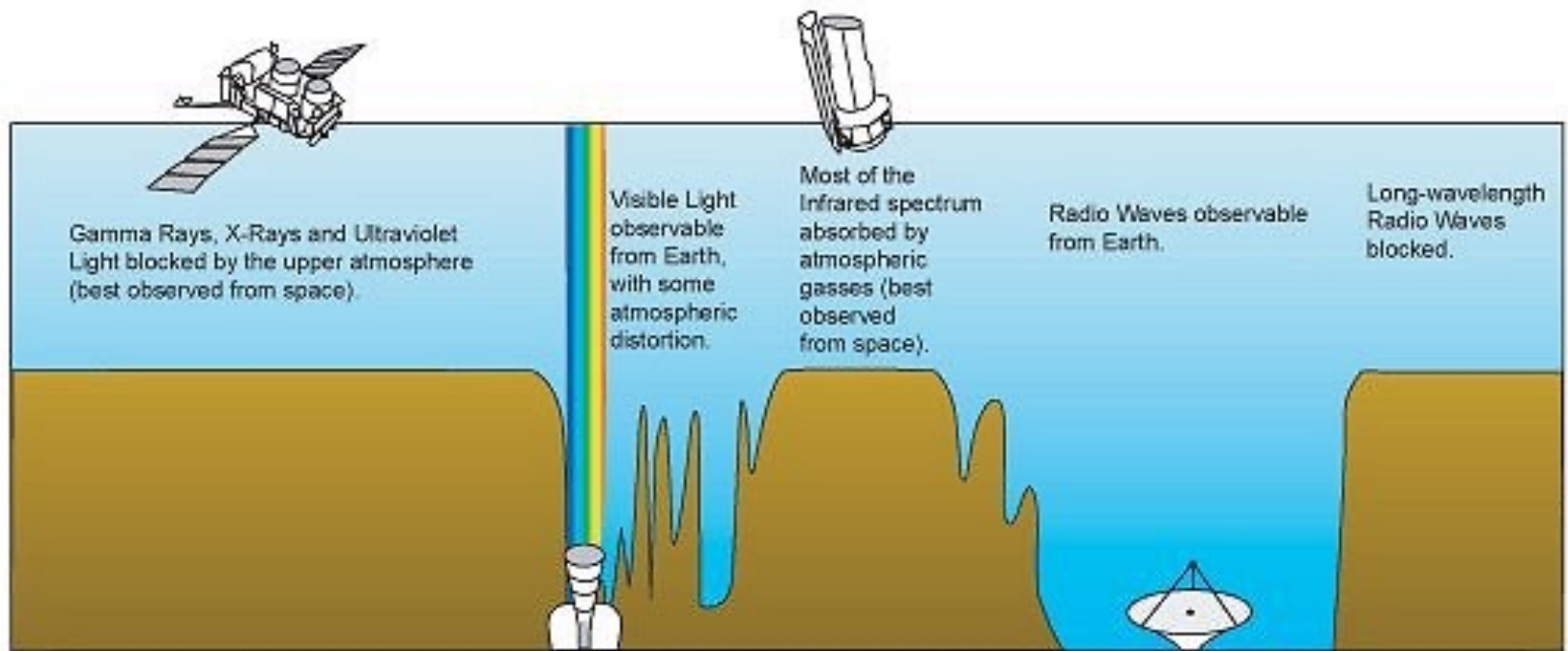
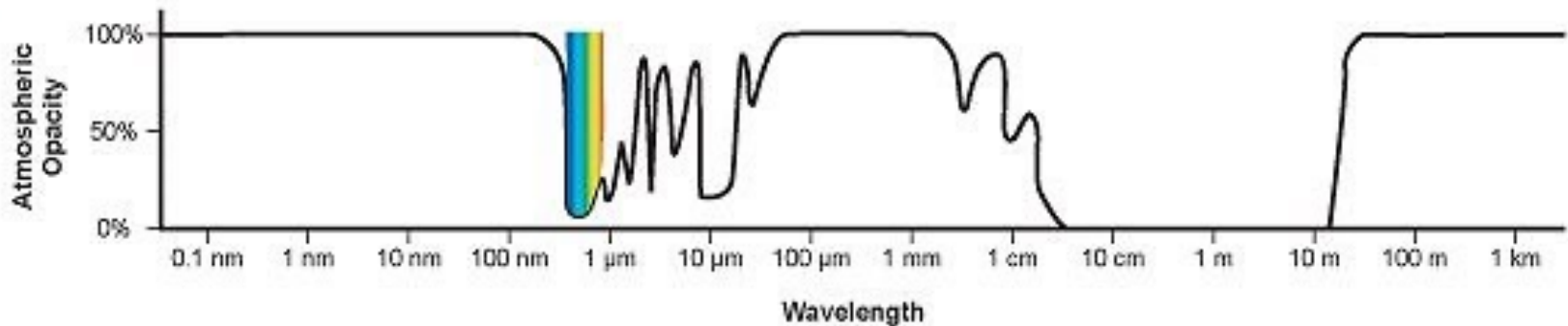
- vln. délka, frekvence, energie, vlnočet, $\lambda\nu = c$
- Foton $\lambda = 1 \mu\text{m}$ má $\nu = 3 \times 10^{14} \text{ Hz}$
 $E = h\nu = 2 \times 10^{-19} \text{ J}$
- elektronvolt: 1,24 eV (1 eV = $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$)
- převrácený centimetr: 10^4 cm^{-1}
- μm , nm, angström
- GHz, THz, PHz, EHz
- Pro plyn v termodynamické rovnováze (černé těleso) $h\nu = kT$
 $\nu [\text{Hz}] \approx 2 \times 10^{10} T [\text{K}]$



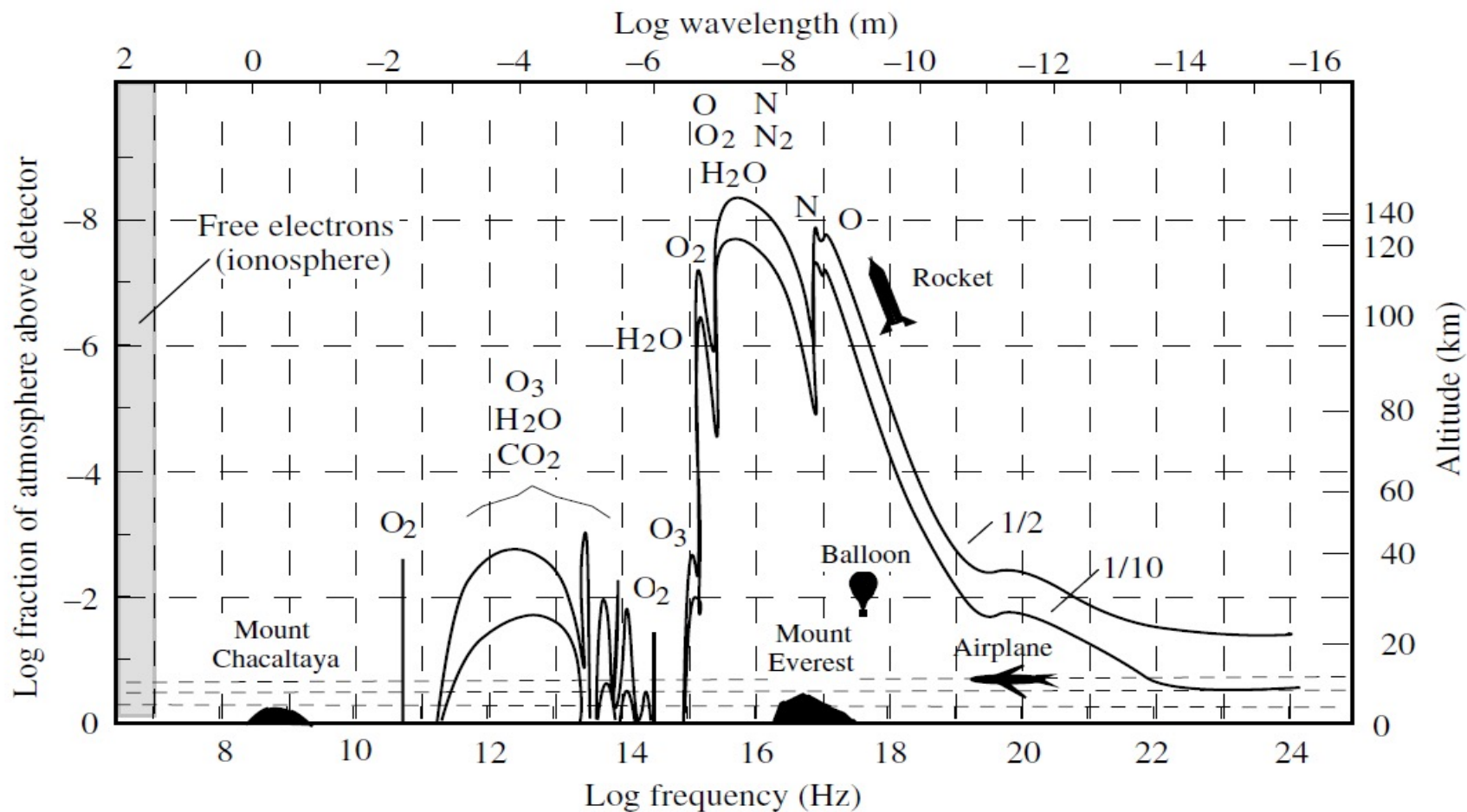
Spektrum el.-mag. záření



Propustnost atmosféry



Propustnost atmosféry



Mezihvězdný prach



Around Alnitak

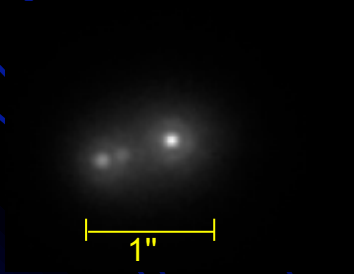
Ondřej Haderka, 2011

Turbulence atmosféry

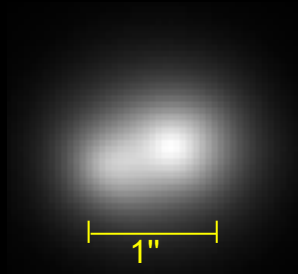
- Obraz v dalekohledu se při krátké expoziční době (<10-100 ms) rychle mění



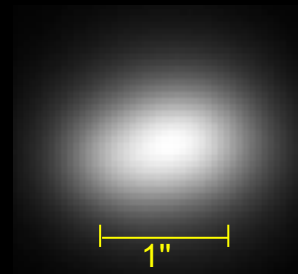
- Při dlouhé expoziční době je rozmazaný



diffraction-
-limited



„tip/tilt“



21 min

Calar Alto
 $D=2,2$ m
 $\psi \approx 0,06$ "

Charakterizace míry turbulencí v atmosféře

- **Prostorové vlastnosti:**

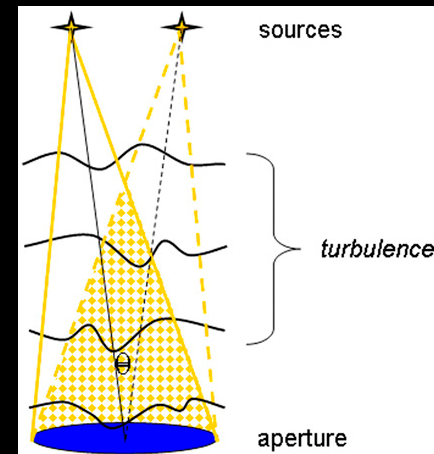
- Friedův parametr r_0 - velikost apertury, jejíž difrakčně omezená rozlišovací schopnost by byla stejná jako rozlišovací schopnost nekonečně velké apertury daná turbulencemi atmosféry
- „seeing“ ε - velikost difrakčního obrazce daného turbulencemi

- **Časové vlastnosti:**

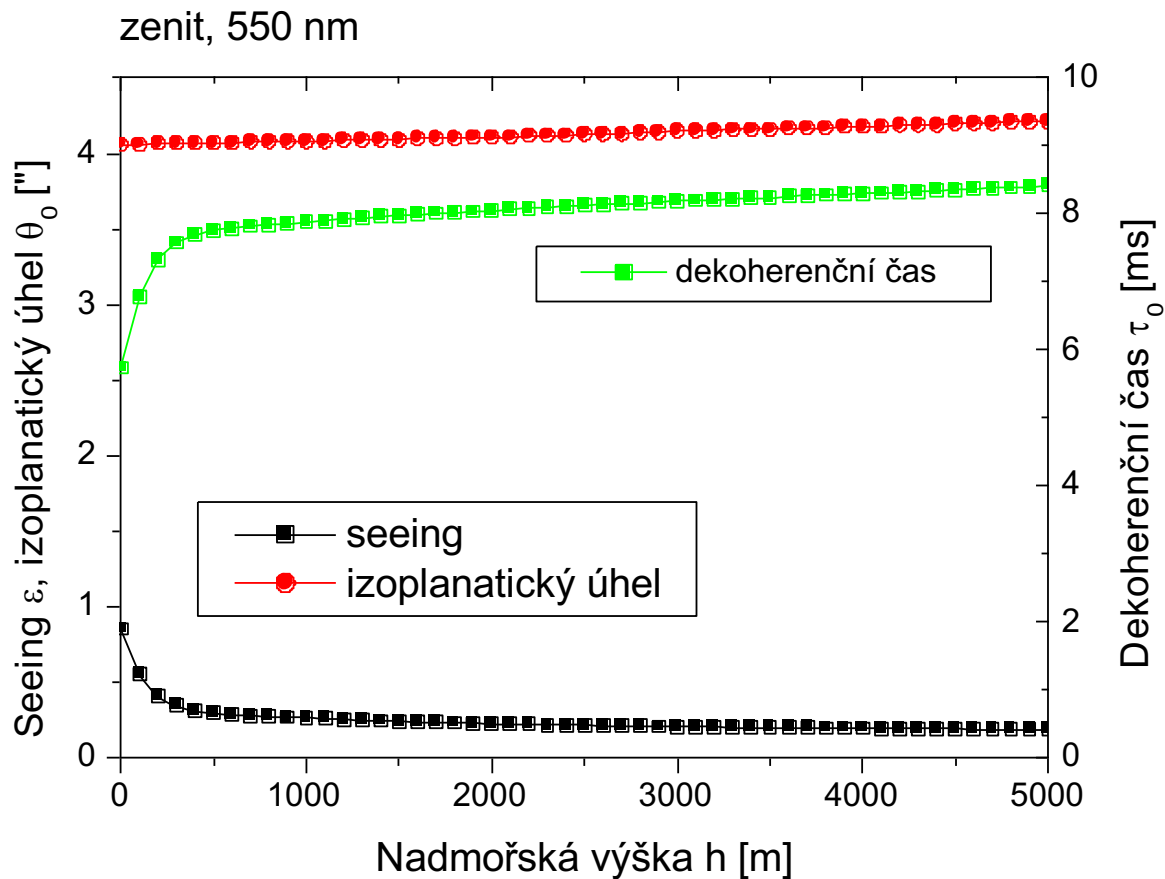
- Na krátkých časových škálách [$10^{-2} - 10^{-3}$ s] – speklový dekoherenční čas τ_0
- Na delších časových škálách [sekundy až hodiny] - časový interval t_0 , po který je možné považovat obraz za translačně stabilní

- **Izoplanatický úhel**

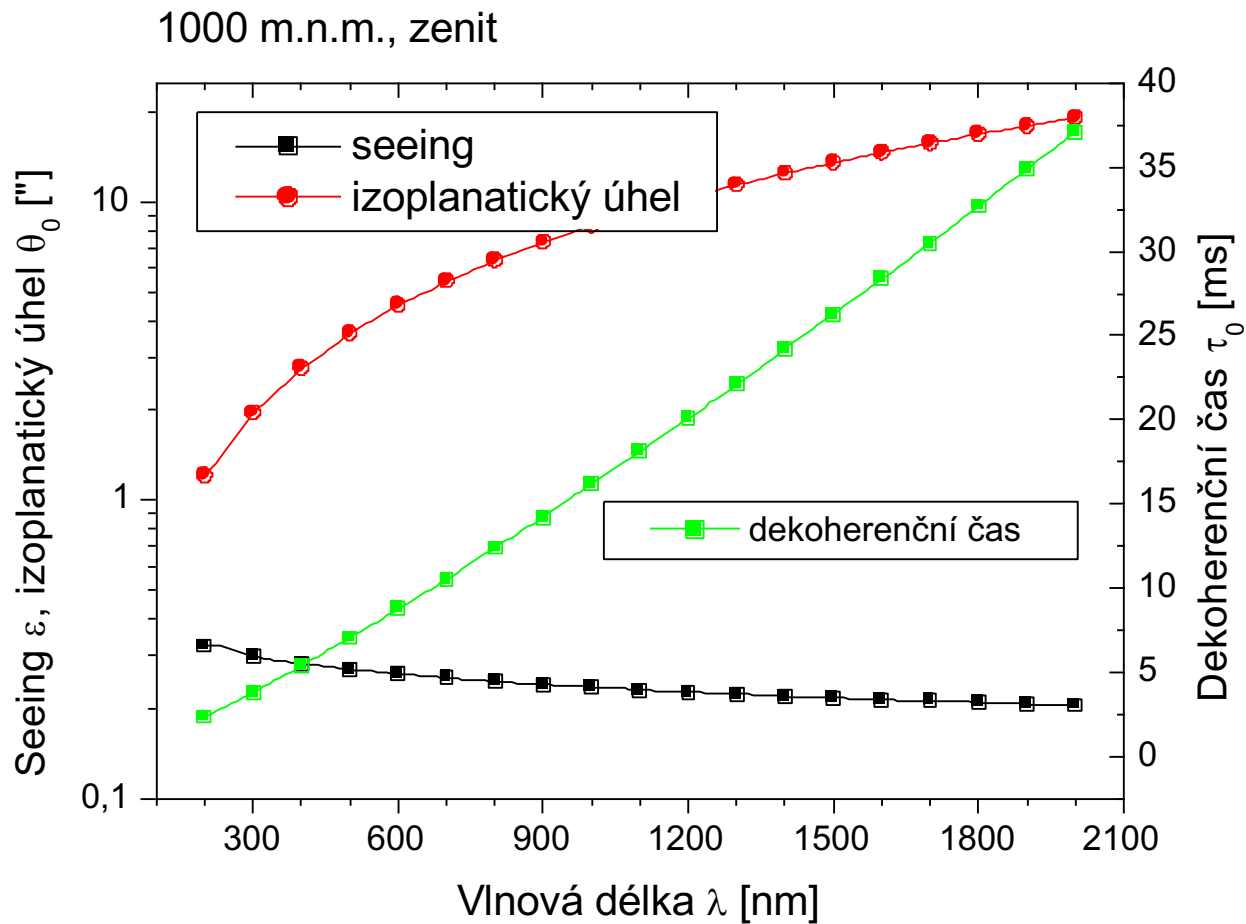
- Maximální úhlová vzdálenost objektů θ_0 , které jsou deformovány velmi podobnými distorzemi vlnoplochy (definice je vágní...)



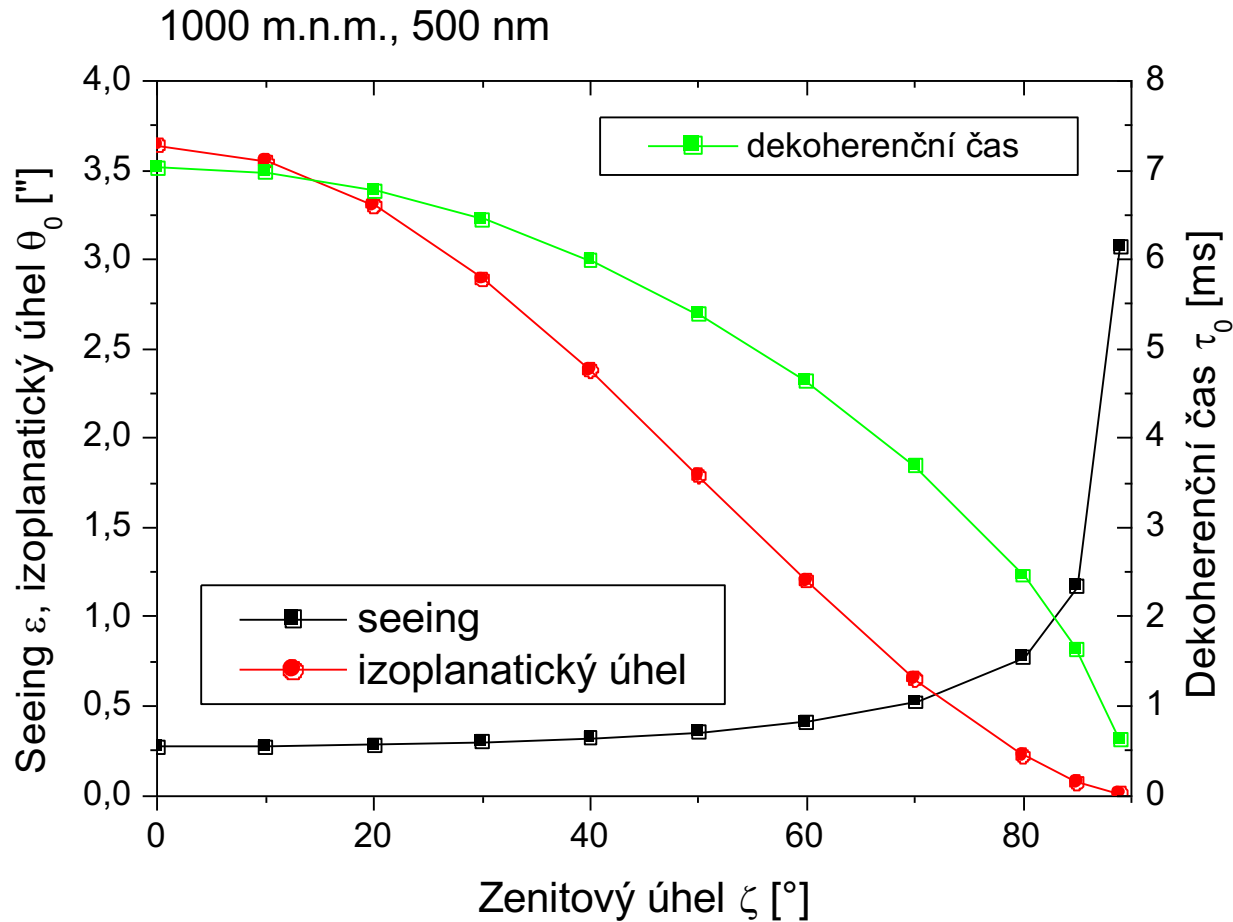
Závislost na nadmořské výšce



Závislost na vlnové délce



Závislost na zenitovém úhlu



Studijní materiál

<http://jointlab.upol.cz/haderka>

