

# praktická astronomie

fotometrické systémy  
praktická fotometrie I

cvičení  
vizuální fotometrie, CLEA

# přehled fotometrických kapitol

- základy – veličiny popisující jasnost astronomických objektů
- fotometrické filtry
- fotometrické systémy
- relativní a absolutní fotometrie
- CCD fotometrie – praktický postup
- fotometrie proměnných hvězd
- fotometrie pohybujících se objektů (planetek atd.)
- používaný software:
  - AIP<sub>4</sub>WIN
  - IRAF
  - MUNIPACK

# zářivý výkon a hvězdná velikost

- hvězdy - cca izotropní zdroje elmg záření
- celkový zářivý výkon  $L$ , odpovídající celkové energii vyzářené ve všech vlnových délkách za jednotku času, se vyjadřuje ve wattech nebo zářivých tocích tzv. *nominálního Slunce*  $L_{\odot}$ , jehož výkon byl rozhodnutím Valného shromáždění IAU z roku 1997 definován:  $L_{\odot} = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W}$
- zářivost  $I$  = *bolometrická intenzita záření*, což je zářivý tok vysílaný do prostorového úhlu o velikosti 1 steradiánu – jednotka:  $\text{W sr}^{-1}$  a pro izotropně zářící zdroj platí mezi zářivým výkonem a zářivostí:  $L = 4 \pi I$
- *bolometrická jasnost*  $F$  = *hustota zářivého toku*  $F$  je tok záření, který za sekundu projde  $1 \text{ m}^2$  plochy kolmo nastavené ke směru přicházejících paprsků,  $F$  vyjadřujeme ve  $\text{W/m}^2$ , vzdálenost  $r$  v metrech
- pak platí:  $I = r^2 F$ , pro izotropní zářiče:  $L = 4\pi r^2 F$

# zářivý výkon a hvězdná velikost

- základní metodou měření vzdálenosti je zjišťování tzv. *roční trigonometrické paralaxy*, což je úhlově vyjádřená velká poloosa elipsy, kterou v důsledku orbitálního pohybu Země kolem Slunce hvězdy opisují, časem byla vypracována řada dalších důmyslných metod, které nám umožňují odhadovat i vzdálenosti velice vzdálených objektů
- měření hustoty zářivého toku přicházejícího od hvězd patří k neobtížnějším astrofyzikálním úlohám, neboť tu jde zpravidla o nesmírně nízké toky, které je navíc nutno registrovat v celém rozsahu elektromagnetického spektra
- kromě instrumentálních komplikací je hlavní překážkou zemská atmosféra, která je pro řadu oborů elektromagnetického spektra prakticky nepropustná - výsledky měření je pak nutno o vliv propustnosti atmosféry opravit
- neodstranitelným vlivem zkreslujícím naše měření je zeslabení světla hvězdy působením mezihvězdné látky nacházející se mezi hvězdou a námi

# zářivý výkon a hvězdná velikost

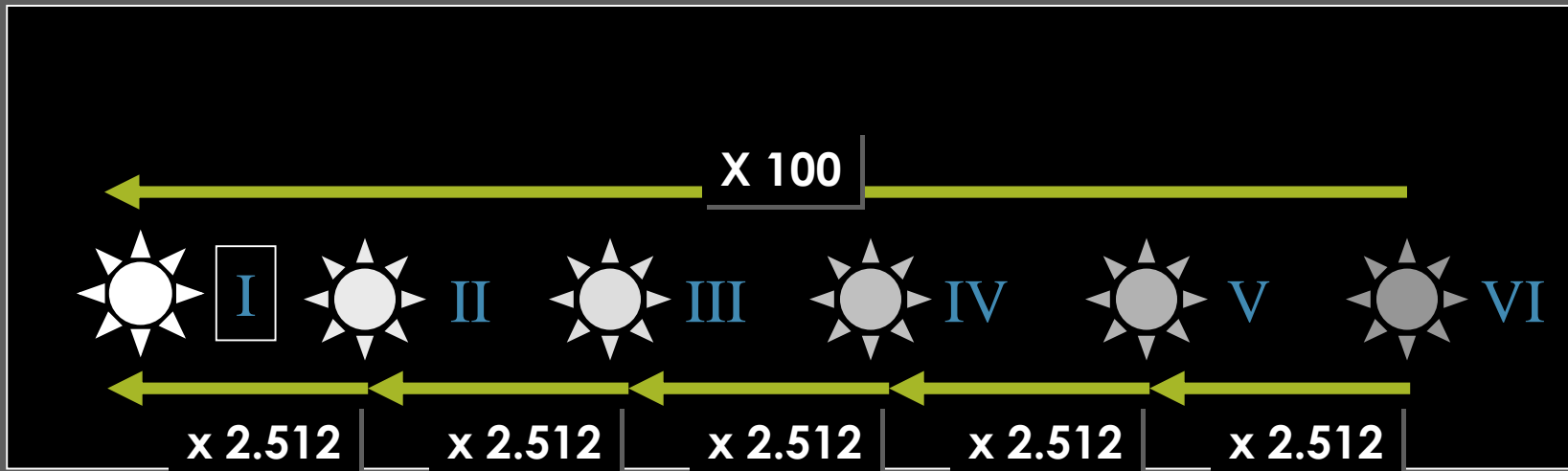
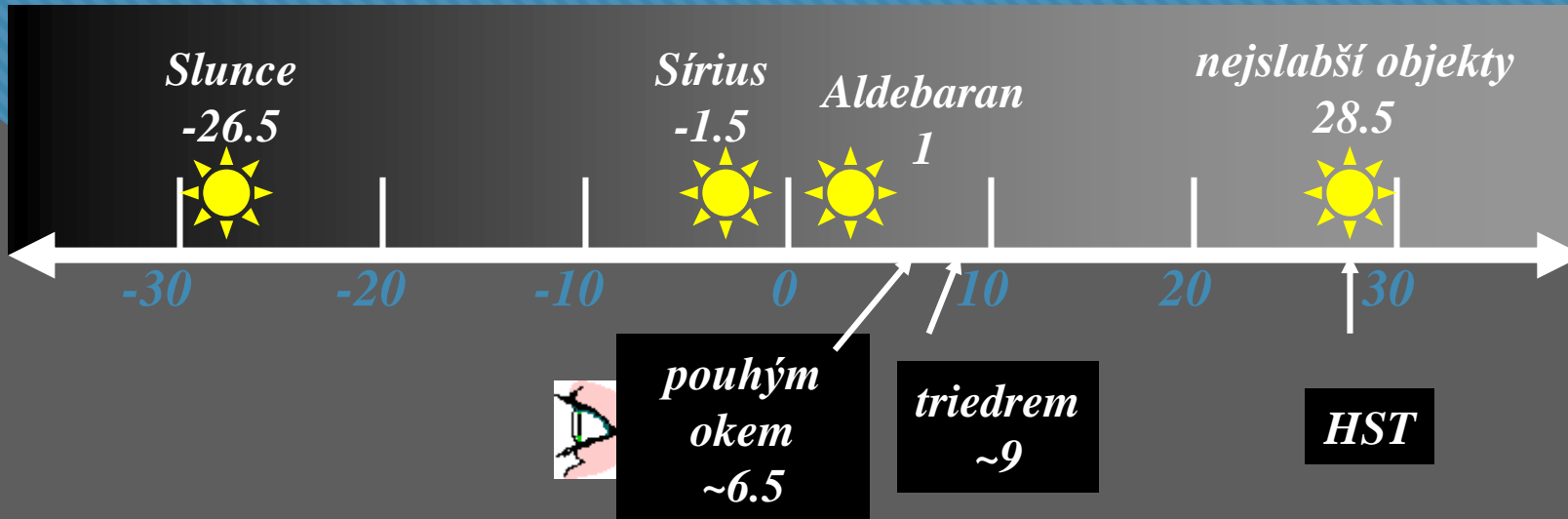
- praktická měření se provádějí pomocí tzv. *bolometrů*, hovoříme zde o tzv. bolometrických měřeních a veličinách.
- v praxi se ale používají veličiny vztahující se jen na jistý obor elmg záření vymezený zpravidla nějakým filtrem s přesně definovanou propustností
- zvláštní postavení má *vizuální obor*, definovaný filtrem  $V$  s propustností, jež odpovídá spektrální citlivosti lidského oka: maximum propustnosti filtru leží u 550 nm, efektivní šířka filtru činí 89 nm
- hustota zářivého toku v barvě  $V$  se tak přímo ztotožňuje hustotou světelného toku, nebo-li *jasností*  $j$
- jednotkou jasnosti je v principu  $W/m^2$ , jasnost lze ovšem též vyjadřovat ve speciálních jednotkách zavedených pro světlo:  $[j] = 1 \text{ lumen}/m^2$
- obdobně lze zavést i další „*nevizuální*“ jasnosti  $j_s$  definované vždy jako hustoty zářivého toku po průchodu určitým definovaným filtrem



# hvězdná velikost

- astronomové z tradičních i praktických důvodů vyjadřují jasnost zdroje záření pomocí tzv. *hvězdné velikosti* vyjadřované v jednotkách zvaných *magnitudy*
- hvězdná velikost  $m$  je logaritmická veličina svázaná s příslušnou jasností  $j$  tzv. *Pogsonovou rovnicí*:  $m = -2,5 \log (j/j_0)$  [mag],
- kde  $j_0$  je tzv. referenční jasnost, kterou má zdroj s hvězdnou velikostí  $m = 0$  mag
- podle typu jasnosti rozeznáváme např. vizuální hvězdnou velikost  $m_v$ , bolometrickou hvězdnou velikost  $m_{bol}$ , aj.
- převodní vztahy mezi bolometrickou jasností  $F$  a bolometrickou hvězdnou velikostí  $m_{bol}$  vycházejí z definice, podle níž hvězda s bolometrickou hvězdnou velikostí  $m_{bol} = 0$  mag působí mimo zemskou atmosféru hustotu zářivého toku  $F_0 = 2,553 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2}$

# hvězdná velikost



# hvězdná velikost

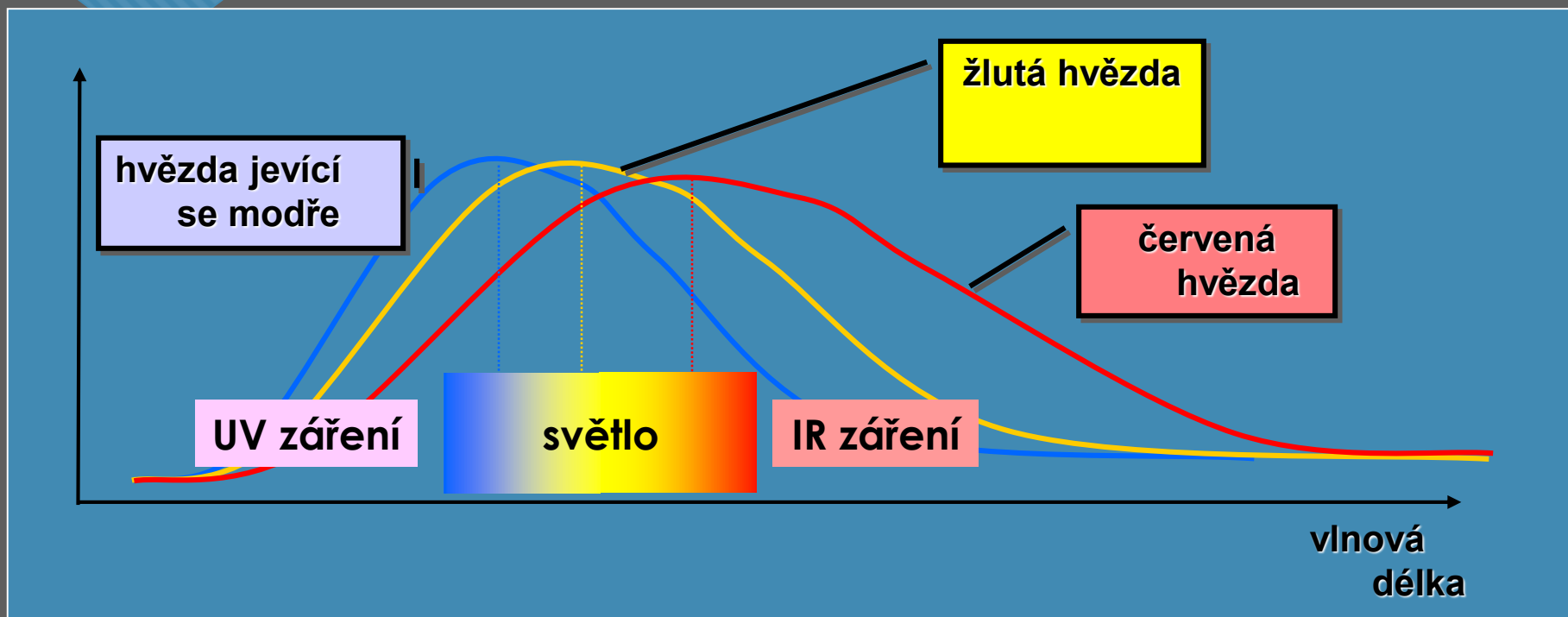
- v případě vizuální hvězdné velikosti  $m_V$  je stanovena referenční jasnost  $j_0 = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lm m}^{-2} = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ luxů}$ , což odpovídá hustotě zářivého toku cca  $3,2 \cdot 10^{-9} \text{ W m}^{-2}$ .
- mezi bolometrickou hvězdnou velikostí a vizuální hvězdnou velikostí platí vztah:  $m_{bol} = m_V + BC$ ,
- kde  $BC$  je tzv. *bolometrická korekce*, která vyjadřuje rozložení energie ve spektru zdroje, jež je v případě hvězd určeno v první řadě teplotou
- bolometrická korekce byla definována tak, aby byla nulová u hvězd o povrchové teplotě kolem 7000 K, jejichž záření má největší světelnou účinnost (hvězdy spektrálního typu F)
- směrem k vyšším i nižším teplotám bolometrická korekce klesá, v extrémních případech dosahuje až několika magnitud!



# hvězdná velikost

- v astrofyzice hvězd se v řadě aplikací zaměřují bolometrické veličiny snáze měřitelnými veličinami vizuálními
- je třeba mít neustále na paměti, že taková záměna někdy může zcela závažným způsobem zkreslit reálné vztahy mezi jednotlivými charakteristikami hvězd
- všude tam, kde nám půjde např. o celkové množství energie, které hvězda vydává prostřednictvím záření, je žádoucí použít správné, tedy bolometrické veličiny

# hvězdná velikost



# hvězdná velikost

- bolometrická jasnost  $F$  určitého zdroje o zářivosti  $I$  (výkonu  $L$ ) je nepřímo úměrná kvadrátu vzdálenosti  $r$ , v níž jasnost měříme
- porovnáme-li nyní jasnosti  $F_1$  a  $F_2$  téhož zdroje, změřené v různých vzdálenostech  $r_1$  a  $r_2$ , dostaneme pro jejich poměr:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{I}{r_2^2} \frac{r_1^2}{I} = \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

- vyjádříme-li bolometrické jasnosti pomocí výše uvedené Pogsonovy rovnice bolometrickými hvězdnými velikostmi  $m_1$  a  $m_2$ , dostaneme důležitý vztah pro jejich rozdíl ve tvaru:

- $$\left( \frac{m_2 - m_1}{1 \text{ mag}} \right) = -2,5 \log \left( \frac{F_2}{F_1} \right) = 5 \log \left( \frac{r_2}{r_1} \right)$$

- tento vztah ovšem neplatí jen pro bolometrické hvězdné velikosti, ale zcela obecně pro jakékoli hvězdné velikosti

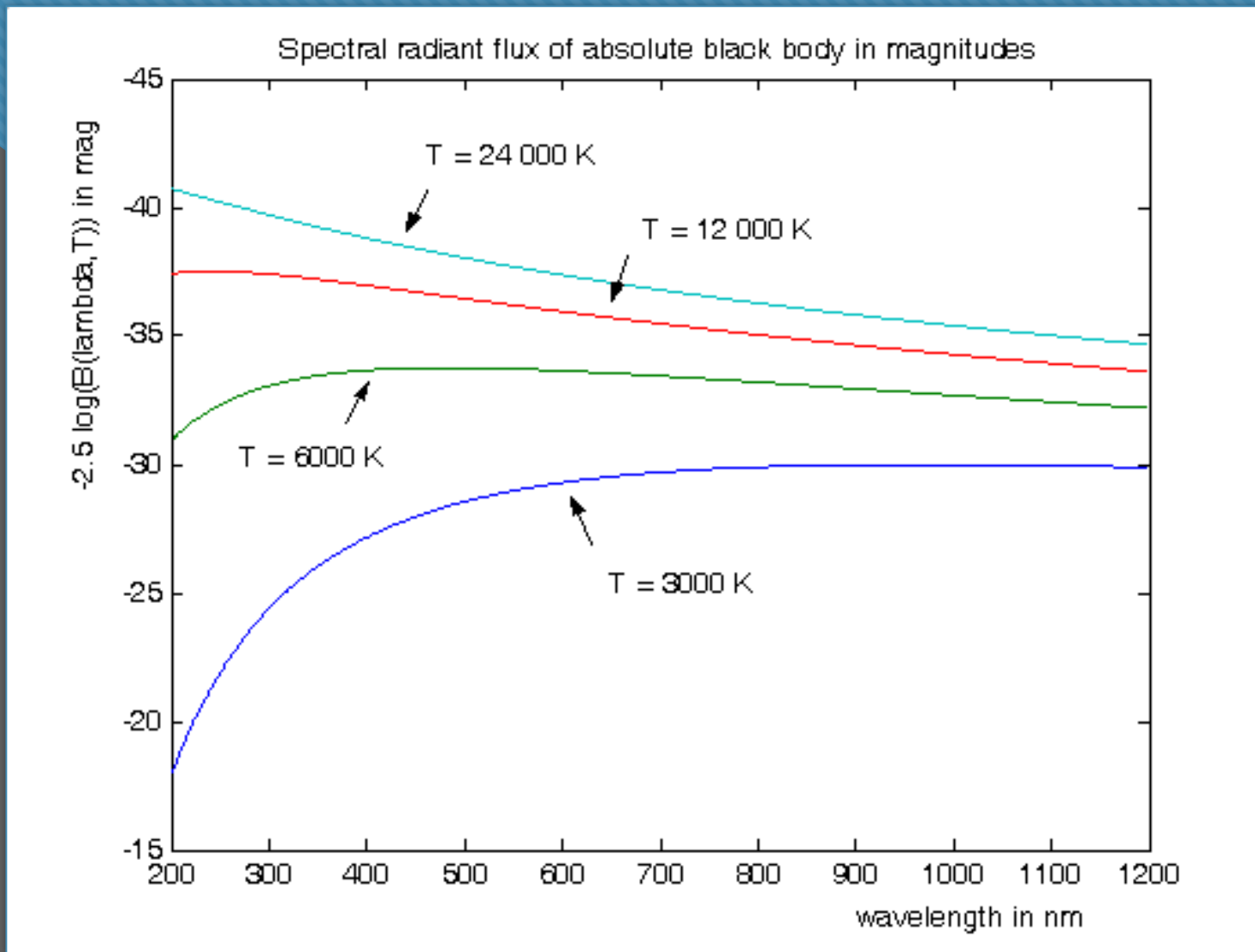
# hvězdná velikost

- hvězdná velikost závisí na vzdálenosti
- je výhodné zavést pojem *absolutní hvězdná velikost*  $M$ , což je hvězdná velikost zdroje pozorovaného z jisté dohodnuté vzdálenosti  $r_0$
- ve hvězdné astronomii byl tento „základní metr“ ztotožněn se vzdáleností  $r_0 = 10$  parseků ( $= 3,08568 \cdot 10^{17}$  m)
- pro tzv. *modul vzdálenosti* ( $m - M$ ) pak plyne vztah:

$$\left( \frac{m - M}{1 \text{ mag}} \right) = 5 \log \left( \frac{r}{1 \text{ pc}} \right) - 5 = -5 \log \left( \frac{\pi}{1''} \right) - 5$$

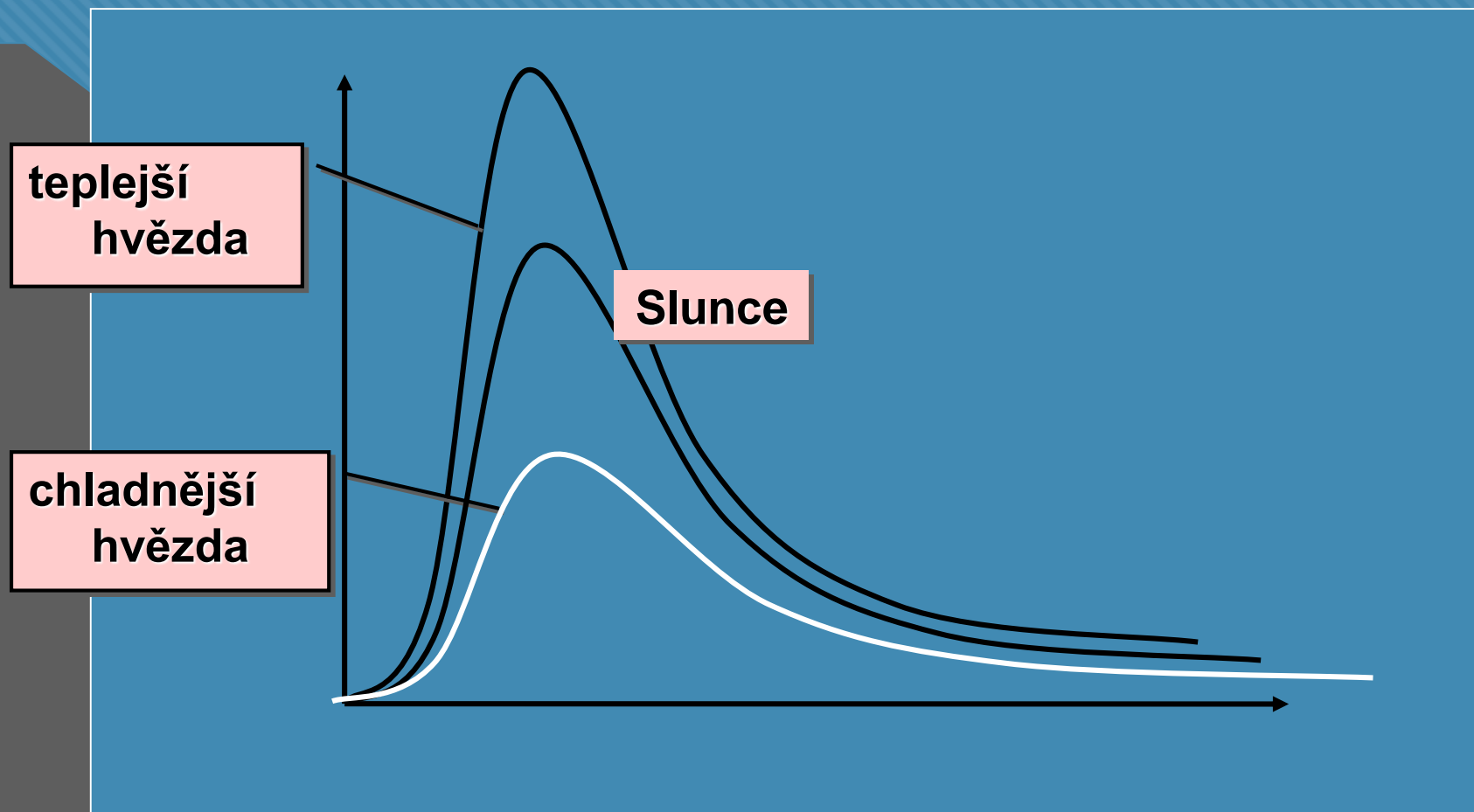
$$(m - M)_{\odot} = -31,5721 \text{ mag}$$

# záření absolutně černého tělesa





# záření absolutně černého tělesa



# rozložení energie ve spektru, absolutní spektrofotometrie

○ skripta prof. Zdeňka Mikuláška



# cvičení

- vizuální fotometrie
- CLEA

... pokračování příště