

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:
 - AIP₄WIN
 - 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: 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 m^2 plochy kolmo nastavené ke směru přicházejících paprsků, F vyjadřujeme ve 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

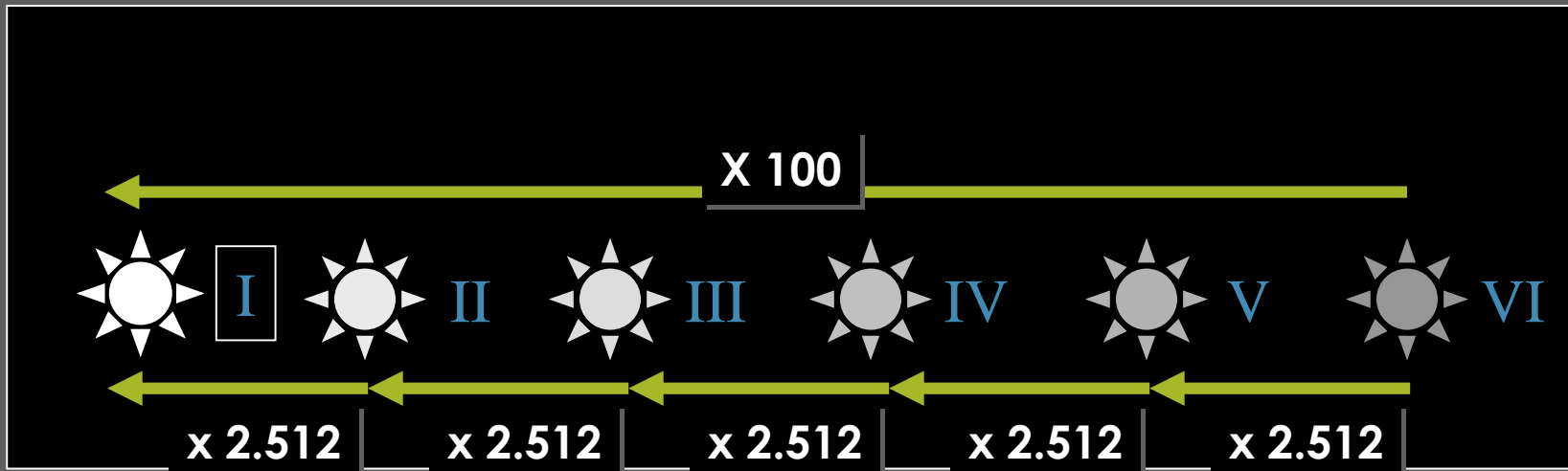
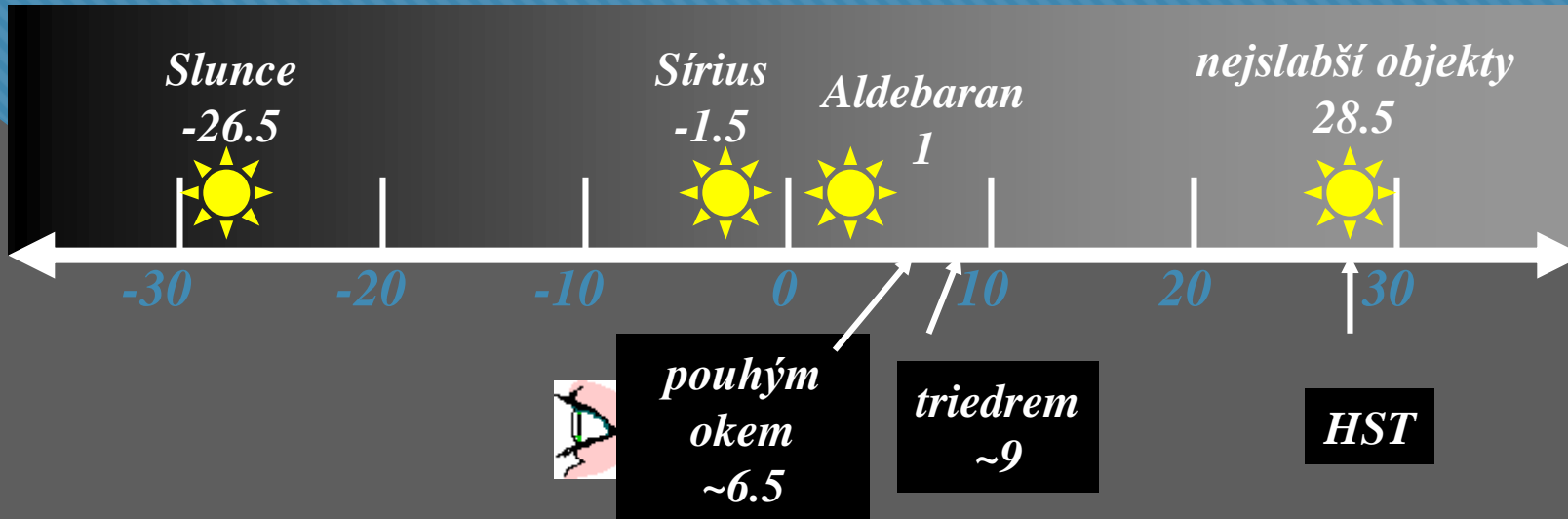
zářivý výkon a hvězdná velikost

- 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



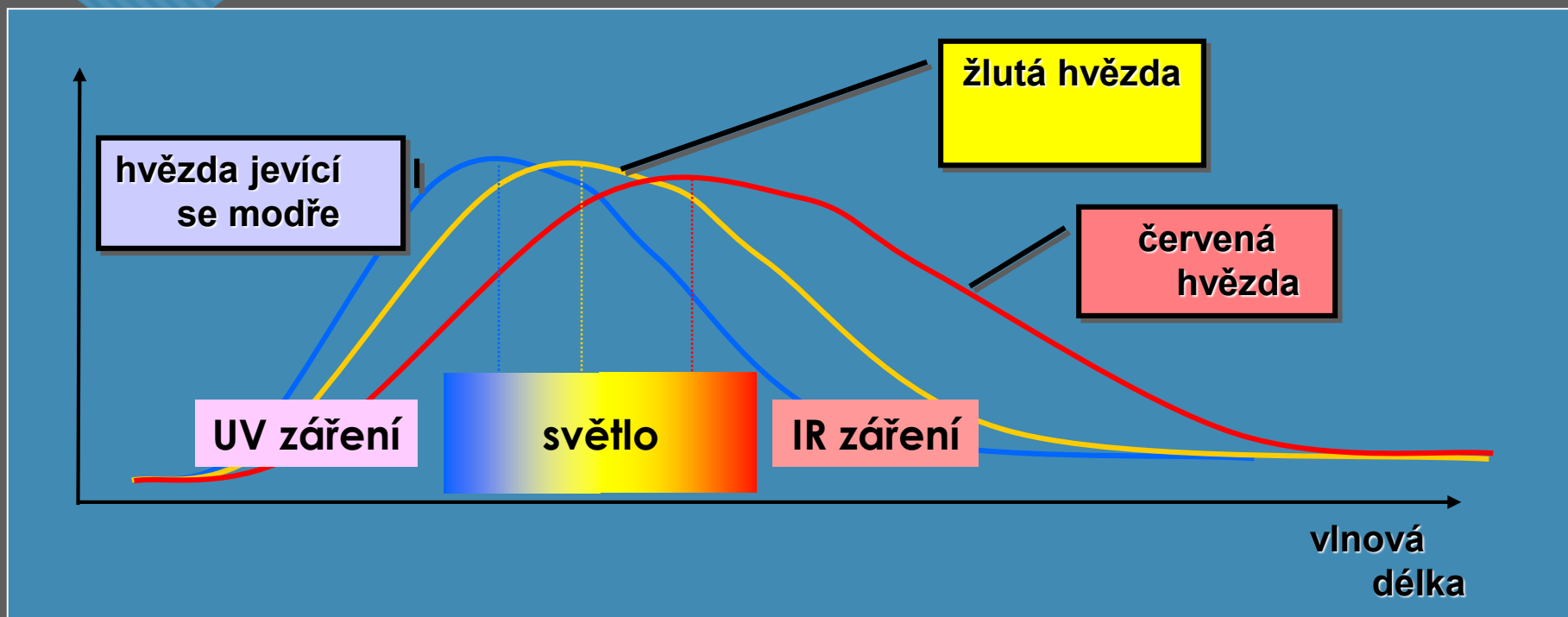
hvězdná velikost

- 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

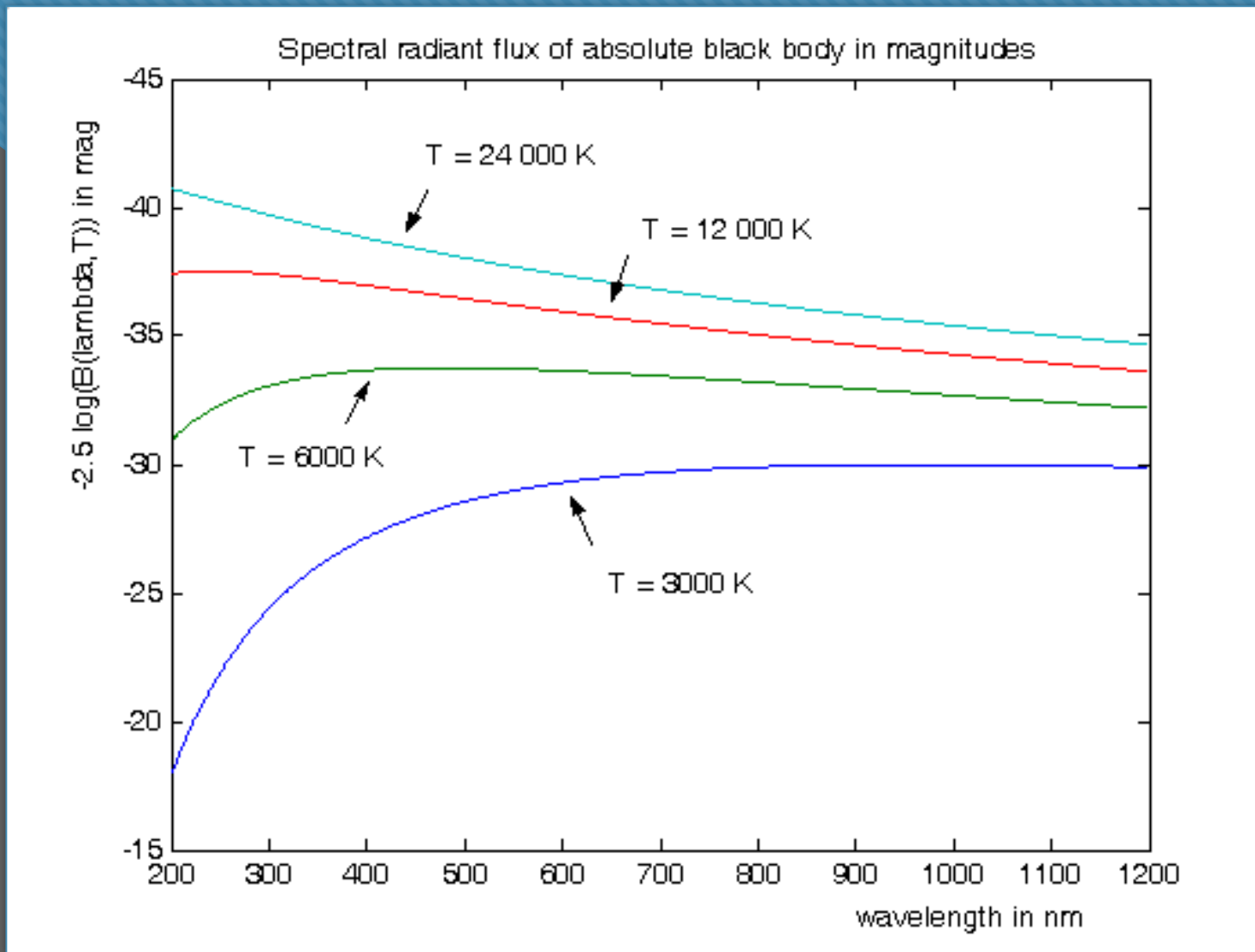
hvězdná velikost

- 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:

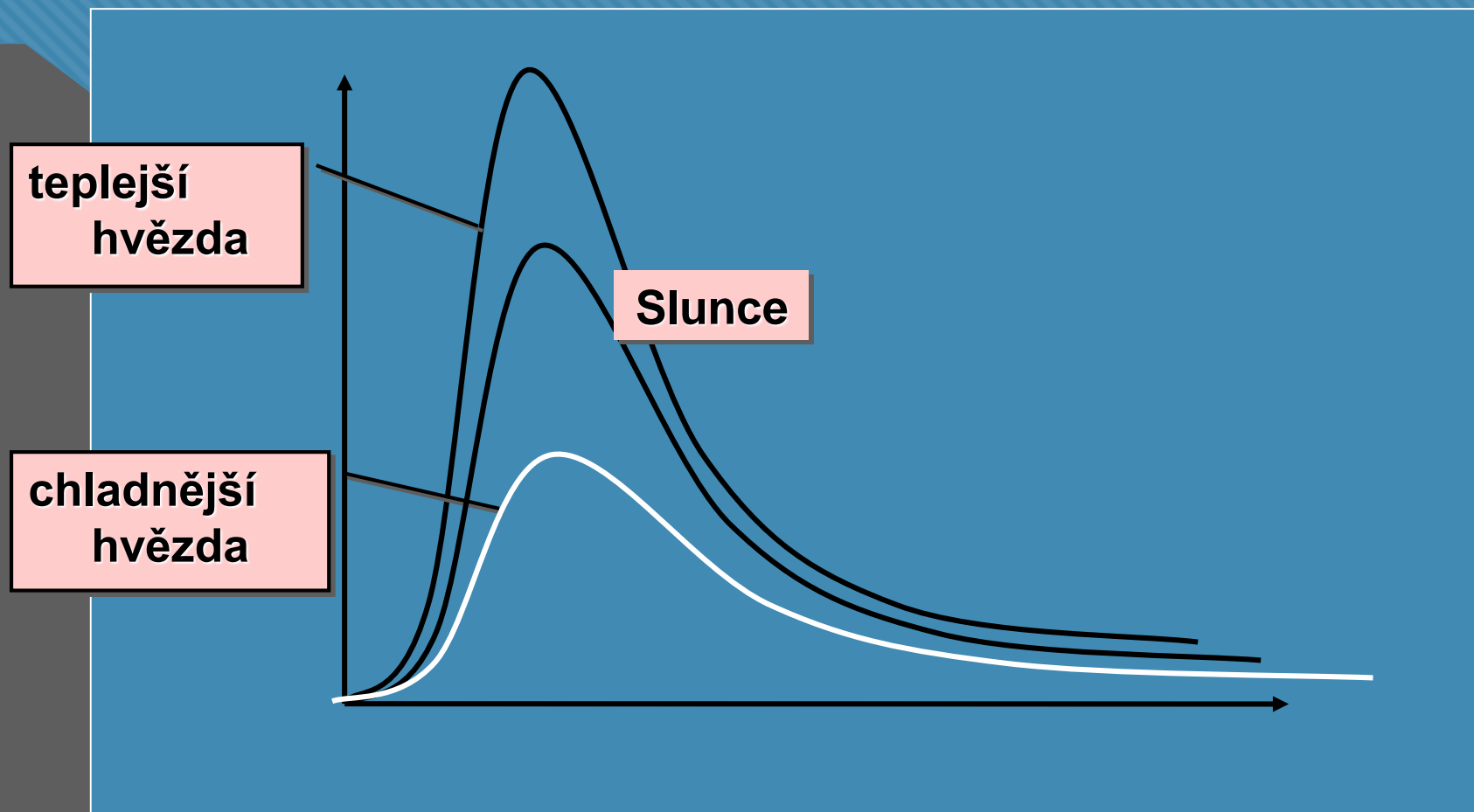
$$\left(\frac{m - M}{1 \text{ mag}} \right) = 5 \log \left(\frac{r}{1 \text{ pc}} \right) - 5 = -5 \log \left(\frac{\pi}{1''} \right) - 5$$

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

záření absolutně černého tělesa



záření absolutně černého tělesa



rozložení energie ve spektru, absolutní spektrofotometrie

○ skripta prof. Zdeňka Mikuláška



cvičení

- vizuální fotometrie
- CLEA

... pokračování příště