

Barevné kalibrace

K porovnání pozorování ze dvou observatoří nebo přístrojů je důležité provést barevnou kalibraci. Přesněji jde o to, srovnat mezi sebou citlivost přístroje na různé barvy. S podobným případem se můžeme setkat například při kalibraci barev na televizi nebo monitoru a pod.

Princip astronomické kalibrace spočívá v porovnání měřených magnitud v různých filtrech s magnitudami katalogovými. Je jasné, že někdo někdy musel tyto magnitudy změřit nebo jinak definovat.

V současné době existuje několik tzv. barevných fotometrických systémů zvolených tak aby dobře pokrývaly rozsah viditelného (a blízkého ultrafialového nebo infračerveného) spektra. Všeobecně je nejvíce používán Johnsonův — Morganův UBV systém vzniklý v polovině minulého století ještě v pro měření na klasických fotonásobičích. Tento systém byl v 70-tých letech minulého století po několika pokusech rozšířen Kronem a Cousincem na blízkou IR oblast filtrem Rc tak aby příliš nedegradoval citlivost CCD kamer. Původní R filtr z Johnsonova — Moragnova systému totiž moc neodpovídal protože v době jeho navržení ještě zbývalo par let k objevení principu CCD. V současné době je původní systém rozšířen o řadu dalších filtrů.

Písmena v systému jsou volena mnemotechnicky: U – ultraviolet, B – blue, V – visible, Rc – red Korn-Cousins. V filtr má citlivost zhruba odpovídající citlivosti lidského oka, B odpovídá citlivosti fotografické emulze a R pak citlivosti CCD.

Filtry jsou vyráběny kombinací různých barevných skel s vhodnou tloušťkou a barvivem. Během výroby se samozřejmě dodržuje pořad stejný postup, ale přesnost není moc velká a navíc do hry vstupuje i citlivost optické soustavy a kamery. Proto filtry sice víceméně odpovídají standardním barevným filtrům, ale odchylky jsou příliš velké na to, aby jsme je

mohli zanedbat. Například barevné chyby dosahují běžně několika desetin magnitudy zatímco naše měření jsou běžně víc jak desetkrát lepší.

Transformační rovnice

Odvození tvaru transformačních rovnic vychází ze znalosti průběhu spektra objektu. My budeme předpokládat, že naše měření budeme provádět pro běžné hvězdy, kdy průběh spektra je dán, až na malé odchylky představované spektrálními čarami, průběhem spektra absolutně černého tělesa.

Spektrální průběh intenzity záření takového objektu je dán vztahem:

$$B_\nu = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Přepsání toho vztahu do magnitudové škály vede na vztah:

$$m_\lambda = 12.5 \log \lambda + 2.5 \log(e^{hc/\lambda kT} - 1) + m_{0\lambda}$$

kde jsme označili $m_{0\lambda} \equiv 5 \log hc^2$ která představuje posuv nuly a používáme desítkové logaritmy. V případě, že použijeme dlouhovlnnou aproximaci při které $hc/\lambda kT \gg 1$ a vypočteme $1.086 \approx 2.5 \log e$ dostaneme

$$m_\lambda = 1.086 \frac{hc}{\lambda kT} + m_{0\lambda}$$

takže pro rozdíl dvou magnitud s vlnovými délkami λ_1, λ_2 máme

$$m_2 - m_1 = 1.086 \frac{hc}{kT} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) + m_{02} - m_{01}$$

Nyní můžeme začít uvažovat aproximaci pro náš případ. Představme si, že máme změřené magnitudy nějaké hvězdy ve dvou různých standardních filtrech o vlnových délkách λ_3, λ_4 . Dále máme dva filtry které chceme zkalibrovat o vlnových délkách λ_1, λ_2 které jsou velmi

blízké standardním vlnovým délkám ($\lambda_1 \approx \lambda_3$, $\lambda_2 \approx \lambda_4$) a mají velmi podobný profil spektrální citlivosti. V tom případě můžeme pro tyto standardní magnitudy psát

$$m_3 - m_1 = (m_2 - m_1) \frac{\lambda_3^{-1} - \lambda_1^{-1}}{\lambda_2^{-1} - \lambda_1^{-1}} + m_{03} - m_{01}$$

$$m_4 - m_1 = (m_2 - m_1) \frac{\lambda_4^{-1} - \lambda_1^{-1}}{\lambda_2^{-1} - \lambda_1^{-1}} + m_{04} - m_{01}$$

(nulové členy mají také závislost na vlnové délce ovšem tu v praxi zanedbáváme). Ze znalosti těchto vztahů můžeme určit alespoň teoreticky posuvy. V praxi ovšem málokdy známe skutečný posuv ve spektru natolik přesně jak potřebujeme proto se tyto vztahy přepisují do tvaru

$$m_3 - m_1 = A_{31}(m_2 - m_1) + \Delta m_{031}$$

pro magnitudy a do

$$m_4 - m_3 = A_{43}(m_2 - m_1) + \Delta m_{043}$$

pro barevné indexy a hodnoty parametrů se pak určují empiricky.

Transformace pro VR systém

V případě, že naše filtry jsou velmi blízké standardním filtrům, nebudou se naše výsledky příliš lišit od správných hodnot a v takovém případě můžeme pro dva nepoužívané filtry na CCD napsat následující transformační rovnice:

$$\begin{aligned} V &= v + \epsilon(V - R) + z_v \\ V - R &= \mu(v - r) + z_{vr} \end{aligned}$$

Zde používáme konvenci při které malými písmeny označujeme změřené mimoatmosférické (!) magnitudy v příslušných filtrech a velkými pak katalogové hodnoty. ϵ je číslo blízké nule ovšem s jakýmkoli znaménkem a udávající odchylku V filtru od ideálu. μ pak číslo blízké

jedničce. Přičemž odchylka od jedničky udává odchylku R filtru od ideálu. Koeficienty z udávají korekci na nulu (zero) tedy korekci na propustnost filtrů nebo odchylku spektra hvězd od spektra absolutně černého tělesa.

Aproximace pro standardní pole a jeden filtr

Často potřebujeme zjistit magnitudu hvězdy v na nějakém hvězdném poli, kdy je známo několik standardních hvězd o různých barevných indexech a my potřebujeme zjistit magnitudu hvězdy v jednom filtru pro neznámý objekt. Příkladem může být pozorování proměnné hvězdy, aktivního galaktického jádra nebo zjištění jasu oblohy.

V tom případě vyneseme do grafu závislost instrumentální magnitudy na katalogovém barevném indexu takže řešíme rovnici pro filtr R :

$$r_i = r_0 + C(V - R)_i$$

Ze znalosti C a r_0 pak můžeme vypočítat neznámou standardní jasnost:

$$R = r + r_0 + C(V - R)$$

Úkoly:

- Pro snímek standardního hvězdného pole určit pro několik různě barevných hvězd (rozdílný barevný index) měřené magnitudy v R i V filtru
- Vynést do grafu závislost $V - v$ na $V - R$. Určit parametry ϵ, z_v .
- Vynést do grafu závislost $(V - R) - (v - r)$ na $V - R$. Určit parametry μ, z_{rv} .
- Vypočtete jas (magnitudu) oblohy v jednotkách magnituda na čtvereční úhlovou vteřinu.