

## Určení toku záření

Amudarja a Syrdarja – to jsou dva toky, které svými vodami napájí Aralské jezero. Intenzivní zavlažování uzbeckých polí s bavlnou, které je zajištěno umělými kanály vedoucími z obou těchto řek ale způsobuje, že při nižším vodním stavu jejich toky vysychají ještě před dosažením Aralského jezera. To tak velmi rychle vysychá, což má za následek škody nejen ekologické, ale i sociální.

Narozdíl od těchto vodních toků se budeme zabývat tokem záření od kosmických objektů. Doufejme, že tento tok v nejbližší době nevyschne, protože následky by byly zvláště v případě jednoho blízkého a dominantního zdroje mnohem horší.

Naším úkolem je určit tok záření od vybraného objektu, který jsme pozorovali CCD kamerou v určitém filtru a tento tok vyjádřit v jednotkách  $W \cdot m^{-2}$ . Výchozí hodnotou je tok záření od objektu v ADU, který jsme zjistili například pomocí aperturní fotometrie. Nejdříve tuto hodnotu, označme ji  $N[ADU]$ , vynásobíme gainem CCD kamery a dostaneme tak počet fotoelektronů. Potom podělíme expoziční dobou snímku, obdržíme tedy počet fotoelektronů za časovou jednotku a nakonec ještě normujeme tuto hodnotu k jednotkové ploše. Výsledná normovaná hodnota počtu fotoelektronů je tedy:

$$N = \frac{gN[ADU]}{\pi R^2 T}, \quad (1)$$

kde  $g$  je gain CCD kamery,  $R$  poloměr objektivu dalekohledu a  $T$  expoziční doba snímku.

Na dlouhé cestě fotonů mezi zdrojem a CCD čipem dochází ke ztrátám. Vyjádřit ztráty v mezihvězdném prostředí, v atmosféře Země a v optické soustavě dalekohledu není lehké, a tak se pro jednoduchost budeme zabývat jen ztrátami způsobenými až v posledních pár centimetrech dráhy fotonu před detekcí.

Fotony musí projít fotometrickým filtrem, jehož propustnost  $f(\lambda)$  závisí na vlnové délce fotonu. Poté jsou detekovány CCD kamerou, která ovšem nezaznamená každý jednotlivý foton, ale k uvolnění fotoelektronu je jich potřeba obecně více. Tuto vlastnost kvantifikuje kvantová účinnost CCD čipu kamery, která je opět závislá na vlnové délce dopadnuvšího záření, označme ji  $q_e(\lambda)$ .

Když tedy chceme spočítat celkovou energii, kterou fotony nesou, sečteme příspěvky energie z jednotlivých vlnových délek:

$$E = \int_0^{\infty} q_e(\lambda) f(\lambda) \frac{hc}{\lambda^2} d\lambda, \quad (2)$$

V praxi nelze použít analytické integrování, protože obvykle neznáme analytické vyjádření funkcí propustnosti filtru a kvantové účinnosti kamery – ty

jsou zadány pomocí tabulky hodnot pro diskrétní hodnoty vlnových délek (nebo spíše jejich malé intervaly). Výpočet celkové energie tedy provedeme numericky pomocí lichoběžníkového pravidla, kdy substituujeme:

$$\begin{aligned}\eta(\lambda) &= q_e(\lambda) f(\lambda) \\ e(\lambda) &= hc/\lambda\end{aligned}\quad (3)$$

a energii vypočteme jako:

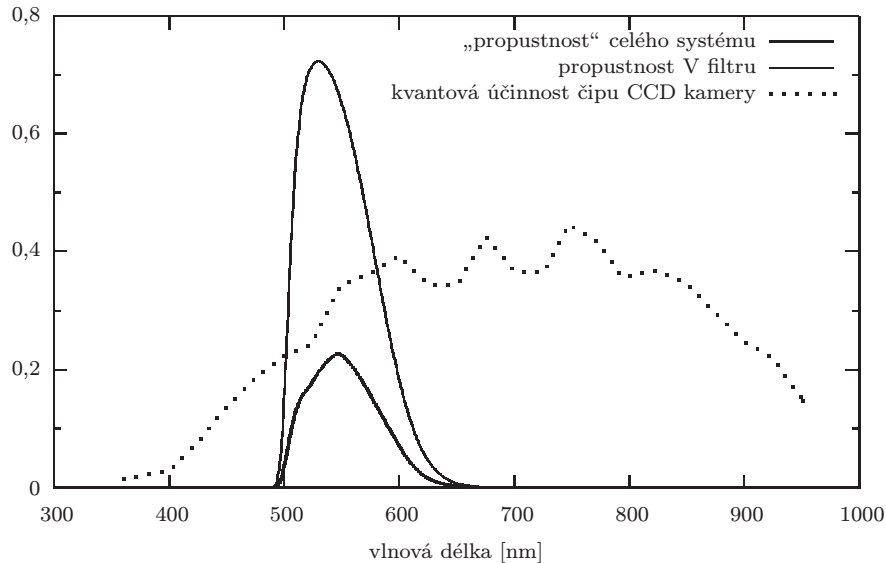
$$E = \sum_{i=0}^{M-1} \frac{\eta_i + \eta_{i+1}}{2} (e_{i+1} - e_i), \quad (4)$$

kdy sčítáme přes  $M$  intervalů vlnové délky, které nemusí být stejně dlouhé. Výsledný tok záření od vybraného objektu už ve  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  potom spočteme podle následujícího vztahu:

$$F = NE. \quad (5)$$

## Výsledky

Tato úloha navazuje na předchozí úlohu o fotometrii na CCD snímku, takže objekt, jehož tok záření budeme určovat je BL Lac. V mém konkrétním případě byla hvězdná velikost ve V filtru  $M_V = (14,19 \pm 0,13)$  mag. Odtud pomocí Pogsonovy rovnice určíme  $N[\text{ADU}]$  a dále počítáme podle výše uvedeného postupu. Expoziční doba snímku byla  $T = 90$  s, poloměr objektivu dalekohledu je  $R = 0,31$  m, gain CCD kamery  $g = 2,3$ .



OBRÁZEK 1

Na obrázku (1) je vykreslena „propustnost“ systému filtr—kamera, tedy součin propustnosti filtru V a kvantové účinnosti čipu CCD kamery, které jsou

na snímku také zobrazeny. Nyní už máme dostatek údajů na výpočet celkového toku záření. Ten nakonec vyšel  $F = (2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{-17} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = (125 \pm 19) \text{ eV} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Nejistota jeho hodnoty byla odhadnuta především z nejistoty hvězdné velikosti objektu, podíl chyb doby expozice a poloměru objektivu dalekohledu byl považován za vedlejší. Jak se na celkové chybě podílí nejistota určení energie fotonů je obtížné odhadnout, ale je možné, že by její podíl mohl být srovnatelný s chybou jasnosti objektu a výsledná chyba toku záření by se tak ještě zvýšila.