

MASARYKOVA UNIVERZITA V BRNĚ

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

STUDIUM JASU OBLOHY

MARTA SVOBODOVÁ

BRNO 2009

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, za použití zdrojů uvedených v seznamu literatury a podle pokynů vedoucího práce F. Hrocha.

Marta Svobodová
v Brně, 9.ledna 2009

Za trpělivost, morální podporu a pomoc děkuji vedoucímu práce Filipu Hrochovi. Mé díky patří také konzultantovi Janu Hollanovi a Pěťovi Šafaříkovi, který mi dovolil použít své fotky noční oblohy.

Anotace. Cílem této práce je popsat postup pro určení jasů oblohy pomocí digitálního fotoaparátu. Některé fotoaparáty umožňují ukládat snímky nejen ve formátu JPEG, ale také RAW. Snímky uložené v takovém formátu pak mohou poskytnout data pro fotometrii, stejně jako vědecká kamera.

Annotation. This bachelor thesis deals with a study of sky brightness. For this study a digital camera is used instead of a scientific one. Some of digital cameras employing both formats, JPEG and RAW. Pictures in RAW format may obtain photometric information as well as scientific cameras.

OBSAH

1. ÚVOD.....	6
2. VELIČINY A JEDNOTKY	7
radiometrické veličiny	7
fotometrické veličiny	8
3. DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT	11
princip činnosti	11
RAW formát	12
4. FOTOMETRIE POŘÍZENÉHO SNÍMKU	14
snímek plný hvězd	
.....	14
kalibrace, fotometrie	
.....	16
5. ZÁVĚR.....	21

1 ÚVOD

Zjišťujeme-li jas oblohy, provádíme fotometrii. To se obvykle provádí tak, že se např. na hvězdárně pomocí CCD kamery pořídí snímek hvězdné oblohy, ten se uloží do počítače a následně se zpracovává v různých vhodných programech. Výstupem pak jsou údaje, které buď jen zkonstatujeme nebo použijeme pro další účely.

Stejných, nebo přinejmenším velmi podobných výsledků, můžeme dosáhnout i za pomoci „obyčejného“ digitálního fotoaparátu. Ten obsahuje také čip CCD. Dovede-li fotoaparát ukládat data ve vhodném formátu, to znamená ve formátu RAW, můžeme tento přístroj použít jako vědeckou kameru.

Svou práci jsem zahájila výčtem několika jednotek a veličin používaných ve fotometrii a radiometrii, jelikož se mi nepodařilo najít nějaký ucelený souhrn těchto veličin. Musím přiznat, že souhrn, který jsem vyrobila, opět není dokonalý. Domnívám se, že opravdu pečlivý rozbor a popis všech veličin a jejich jednotek by vydal na další bakalářskou práci.

Následuje stručný popis vhodného fotoaparátu a stejně stručný popis fotometrie snímku. Spíš než o detailní a vyčerpávající vysvětlení metody jsem se pokusila o stručný a pokud možno jednoduchý popis pracovního postupu. Detailnější informace lze pak dohledat bedlivým prozkoumáním zdrojů uvedených v závěru mé práce, obzvláště pak webových stránek mého konzultanta Jana Hollana.

2 VELIČINY A JEDNOTKY

Elektromagnetické záření je tvořeno elektromagnetickými vlnami. K jejich popisu slouží veličiny vlnová délka λ s jednotkou m a frekvence ν , jejíž jednotkou je $s^{-1} = Hz$. Pokud c značí konstantu rychlosti šíření světla ve vakuu, platí:

$$c = \nu \cdot \lambda \quad (1).$$

Podle Einsteinovy hypotézy z roku 1905 se při emisi nebo absorpci světla atomem nepředává energie spojitě, ale diskrétně, po kvantech. Kvantum světla se od roku 1926 nazývá foton. Foton světelné vlny s frekvencí ν pak disponuje energií E ;

$$E = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (2).$$

Konstanta h je Planckova konstanta, má hodnotu $h = 6,63 \cdot 10^{-34} J \cdot s$

Pokud jde o obecné elektromagnetické vlnění, používají se veličiny a jednotky radiometrické. V případě, že se soustředíme pouze na viditelnou část spektra, použijeme veličiny a příslušné jednotky fotometrické.

2.1 Radiometrické veličiny

Zářivý výkon / Radiant flux (L, Φ_e), jednotka $W = m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$. Zářivý výkon, někdy se nazývá **zářivý tok**, je energie elektromagnetického záření, která se z povrchu tělesa vyzáří za časovou jednotku:

$$\Phi_e = \frac{dE}{dt} \quad (3).$$

Hustota zářivého toku / Irradiance (I_e) je definována jako zářivý tok Φ_e , procházející plochou S kolmou ke směru šíření:

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (4),$$

jednotkou v soustavě SI je $W \cdot m^{-2} = kg \cdot s^{-3}$

Zářivá energie / Radiant energy (Q_e) je časový integrál zářivého toku:

$$Q_e = \int_0^t \Phi_e \cdot dt \quad (5),$$

jednotkou zářivé energie je J .

Zářivost / Radiant intensity (I_e) udává prostorovou hustotu zářivého toku zdroje. Její jednotkou je $W \cdot sr^{-1}$.

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\Omega} \quad (6),$$

kde $d\Omega$ je prostorový úhel.

2.2 fotometrické veličiny

Světelná energie / Luminous energy (Q) je ta část zářivé energie, která náleží viditelnému záření, tedy světlu (vlnové délky 390 – 780nm), jednotkou je $lm \cdot s$.

Světelný tok / Luminous flux (Φ) je světelná energie vyzářená zdrojem za jednotku času. Udává se v jednotkách lumen ($lm = cd \cdot sr$).

Lumen je světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu 1 steradián bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 kandela. ¹

Svítivost zdroje / Luminous intensity (I) patří mezi základní jednotky soustavy SI. Jednotkou je kandela (cd).

Jedna kandela je svítivost zdroje, který v daném směru vysílá monochromatické záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ herců a jehož zářivost

v tomto směru je $\frac{1}{683}$ wattů na jeden steradián. ¹

Svítivost udává prostorovou hustotu světelného toku zdroje v různých směrech. Je fotometrickým protějškem radiometrické veličiny zářivost.

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (7).$$

Jas / Luminance (L) měří svítivost na jednotku plochy; má jednotku $cd \cdot m^{-2}$.

1 lux je osvětlení plochy, na jejíž každý čtverečný metr dopadá rovnoměrně rozdělený světelný tok 1 lumen. ¹

$$L = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dS \cos \theta} \quad (8),$$

kde θ je úhel mezi normálou plochy a určeným směrem.

Jasnost / Illuminance (j) je světelný tok procházející plochou S kolmou ke směru záření.

$$j = \frac{d\Phi}{dS} \quad (9),$$

jednotkou je jeden lux.

Bolometrická jasnost (F, j_{bol}) je rovna hustotě zářivého toku I_e , je to tok záření, který za 1 sekundu projde jedním m^2 plochy kolmé ke směru přicházejících paprsků. Jednotkou je $W \cdot m^{-2}$.

Hvězdná velikost (m) udává zdánlivou jasnost objektu na obloze. Její jednotkou je magnituda (mag).

$$m = -2,5 \log \left(\frac{j}{j_0} \right) \quad (10),$$

kde $j_0 = 2,54 \cdot 10^{-6} \frac{lm}{m^2}$ je jasnost objektu, jehož hvězdná velikost je rovna nule.

Rovnice (10) ve tvaru:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{j_1}{j_2} \quad (11)$$

se nazývá *Pogsonova rovnice*.

Veličina hvězdná velikost se používá proto, že lidské oko vnímá jasnost logaritmičticky (Weber-Fechnerův zákon ²). Tudíž je pro nás lépe uchopitelná, než veličina jasnost.

Absolutní hvězdná velikost (M) udává hvězdnou velikost, kterou by hvězda měla, pokud by byla ve vzdálenosti 10 parseků od pozorovatele (parsek je jednotkou délky; $1pc \approx 3,086 \cdot 10^{16} m$).

$$M = m + 5 - 5 \log(r) \quad (12),$$

kde r je vzdálenost hvězdy v parsecích.

Bolometrická hvězdná velikost (M_{bol}) je hvězdná velikost odvozená z celkového toku záření na všech vlnových délkách, přepočtená do vzdálenosti hvězdy 10 pc.

$$M_{bol} = M - BC \quad (13),$$

kde BC je bolometrická korekce.

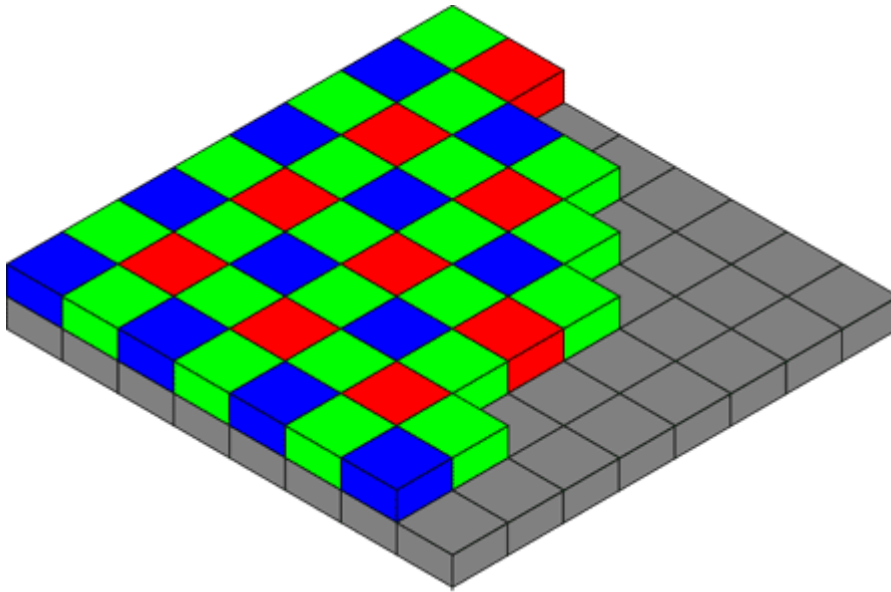
3 DIGITÁLNÍ FOTOAPARÁT

3.1 Princip činnosti digitálního fotoaparátu

Důvodem proč můžeme použít digitální fotoaparát je, že v základu těchto přístrojů je CCD čip (z anglického Charge-Coupled Device – tedy zařízení s vázanými náboji). Ten vynalezli v roce 1969 pánové Willard Boyle a George E. Smith v Bellových laboratořích.

CCD funguje na principu *fotoelektrického jevu*. Dopadem fotonů získávají jednotlivé snímací elementy elektrický náboj. Vzniklé elektrické náboje se pak načítají jako napěťový signál. Analogový signál, odpovídající jednotlivým pixelům se A/D (analogově digitálním) převodníkem mění na digitální údaj o jasu z daného pixelu.

Samotný CCD čip by ale pro barevné fotografie nestačil, udává údaje o jasu jednotlivých pixelů, ale ne o barvě. Buňky čipu barvy nevidí. Aby byl výsledek barevný, jsou nad buňkami barevné filtry uspořádané v pravidelné struktuře. Nejčastěji používaná je kombinace červeného (Red), zeleného (Green) a modrého (Blue) filtru. Nad každým pixelem pak jsou 2 zelené filtry v protilehlých rozích a po jednom červený a modrý filtr. Dvojnásobný počet zelených buňek napodobuje vnímání lidského oka, které je nejcitlivější na zelenou barvu. Barevné filtry jsou uspořádány do pravidelné struktury, která se jmenuje Bayerova maska.



Bayerova maska nad senzorem je systém pravidelně uspořádaných barevných filtrů. Díky tomu senzor měří v jedné čtvrtině buňek červenou barvu, v další čtvrtině buňek modrou a v polovině zelenou. Výsledná „normální“ fotografie je až produktem následného výpočtu. ³

Barva jednoho pixelu fotografie se vypočítá tak, že se použijí okolní pixely pro získání ostatních barev. Tomuto procesu se říká *Bayerova interpolace* (po zaměstnanci firmy Kodak Bryce Bayerovi).

3.2 RAW formát

Každý digitální fotoaparát bohužel použít nejde. Pokud chceme provádět fotometrii, musíme zvolit ten správný. Správný v tomto případě znamená fotoaparát schopný ukládat snímky v RAW formátu (z anglického raw = surový, neupravený).

RAW formát obsahuje, na rozdíl od formátu JPEG, minimálně zpracovaná data ze senzoru. Pro fotometrii to znamená použitelná data.

Nevýhodou tohoto formátu je, že není nijak standardizován a tak fotoaparáty od různých výrobců (někdy i různé modely) mají definované vlastní RAW formáty. Dokumentace k jednotlivým RAW formátům také většinou není

dostupná. Znamená to, že pro různé RAW formáty je potřeba shánět různé programy, které s nimi dovedou pracovat.

Nestandardnost RAW formátu dokládají i různé koncovky souborů, které zakončují soubory obsahující RAW data ³:

.raf	Fuji
.crw .cr2	Canon
.tif .kdc .dcr	Kodak
.mrw	Minolta
.nef	Nikon
.orf	Olympus
.dng	Adobe - otevřený standard
.ptx .pef	Pentax
.arw .srf .sr2	Sony
.x3f	Sigma
.erf	Epson
.mef .mos	Mamiya
.raw	Panasonic

4 FOTOMETRIE POŘÍZENÉHO SNÍMKU

Nejprve musíme získat vhodný snímek. To znamená snímek v RAW formátu, pořízený za jasného počasí a bezměsíčné noci. Aby se nám podařilo snímek nějakým způsobem zpracovat, je vhodné ho převést na formát FITS, což je formát souborů, které dodává vědecká kamera, a se kterým umí pracovat programy pro fotometrii. Já jsem používala programy Muniwin ⁴, SA Olmage ds9 ⁵ a Iris ⁶.

4.1 Snímek plný hvězd



Snímek pořídil Petr Šafařík digitálním fotoaparátem Canon EOS 350D
8.zář 2008 ve 22:03:15, délka expozice je 15 s, velikost obrázku v pixelech

je 1737×1157 , zeměpisné souřadnice místa pozorování jsou: $16^{\circ}35'02''$ východní délky a $49^{\circ}12'15''$ severní šířky.

Prvním úkolem je získání vhodného snímku. K tomu potřebujeme výše popsany fotoaparát a jasnou noční oblohu.

Máme-li možnost, nastavíme na fotoaparátu ruční ovládání. Protože hvězdné nebe je v porovnání s obvyklejšími objekty fotografů velmi tmavým objektem, potřebujeme nastavit co možná nejdelší dobu expozice, aby fotoaparát zachytil co nejvíce fotonů. Příliš dlouhý expoziční čas by mohl způsobit, že hvězdy na snímku nebudou vypadat jako body, ale jako části kružnic. U většiny digitálních fotoaparátů je ale nejdelší možný nastavitelný čas 15 nebo 30 sekund a i při expozici trvající 30 sekund se hvězdy stále jeví jako body. Citlivost (ISO) nastavíme na hodnotu minimální, clonu co největší, stále ze stejného důvodu.

Problémem by mohly být tzv. přetečené snímky. Každá buňka senzoru pracuje jen v určitém rozsahu světla. Dopadne-li na ni více světla, než kolik je schopna zpracovat, bude oslepena a nebude již správně pracovat. Nicméně na hvězdném nebi při expozici trvající 30 sekund by se toto mohlo stát nejspíš jen v případě, že by v zorném poli objektivu byla např. lampa pouličního osvětlení nebo Měsíc.

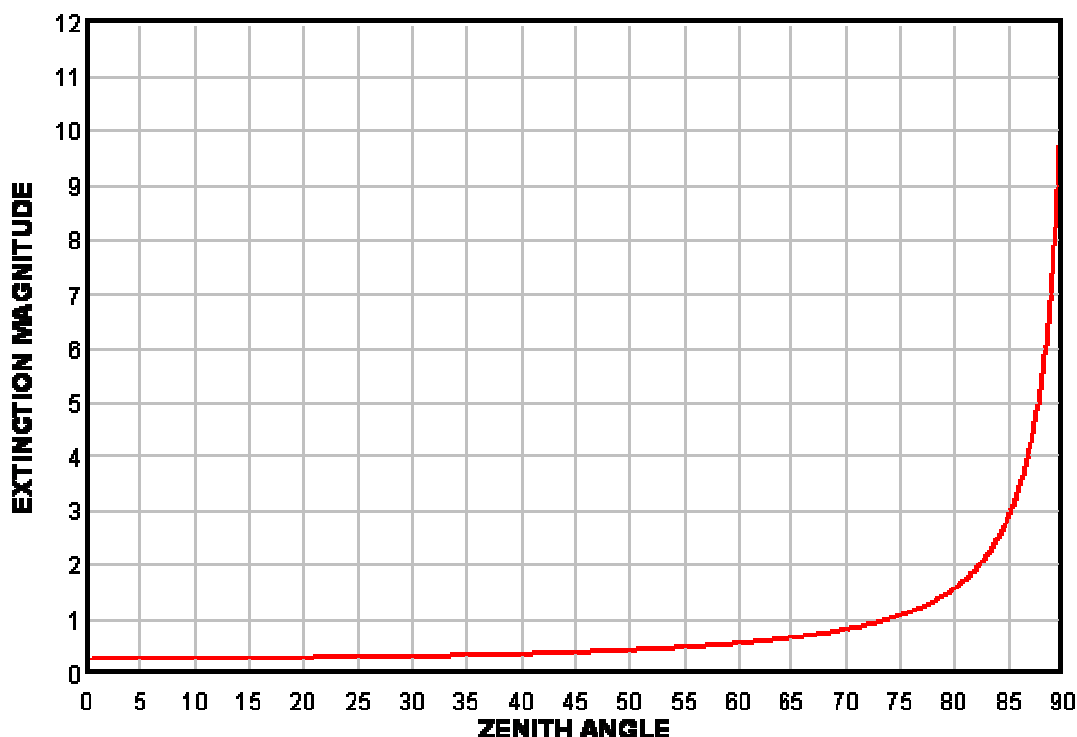
Zaostříme na nekonečno. Fotoaparát umístíme na stativ nebo nějakým jiným způsobem zajistíme, aby se v průběhu expozice nehýbal. K focení využijeme samospoušť – opět, aby se fotoaparát nepohnul.

Vydáme se do míst, kde je co možná nejmenší světelné znečištění (dále od města, od osvětlené sjezdovky apod.). Výhodné je také fotografovat ve vyšších nadmořských výškách. Tím se totiž většinou nejen vyhneme nežádoucímu světlu z příliš svítícího města, smogu, ale také tak snížíme vliv atmosférické extinkce.

Atmosférická extinkce je zeslabení jasnosti astronomických objektů při průchodu jejich fotonů zemskou atmosférou. Její velikost závisí kromě

nadmořské výšky ještě také na průhlednosti atmosféry, na vlnové délce dopadajícího záření a na zenitové vzdálenosti pozorovaných objektů. Z toho plyne další doporučení: objektiv namířit co nejbližší k zenitu.

Přiložený graf zobrazuje přibližný odhad působení atmosférické extinkce v závislosti na zenitové vzdálenosti objektu. ⁷



4.2 Fotometrie

Nyní již máme snímek v RAW formátu. Následující postup jistě není jediný možný, ale je to postup, který jsem si zvolila a o kterém tedy můžu něco psát.

Snímek jsem z RAW formátu převedla na formát FITS, který je použitelný pro obvyklé fotometrické programy.

Elektromagnetické vlnění, tedy i světlo, je nositelem energie. Světlo šířící se prostorem lze charakterizovat energií nebo výkonem procházející v daném směru jednotkovou plochou. Ve viditelné oblasti spektra se charakterizuje záření podle světelného vjemu, který vyvolává v lidském oku. Odpovídající veličiny a jejich jednotky se nazývají fotometrické. Fotometrie se zabývá měřením množství světla a zjišťuje kolik energie vyzařuje objekt ve viditelném

spektru. Tuto energii přenáší kvanta světla – fotony. Energie předaná detektoru je pak energie fotonu z rovnice (2).

4.2.1 Normalizace snímku.

Provádí se před vlastní fotometrií. Spočívá v odečtení „temného snímku“ (dark frame) a vydělení snímkem „rovnoměrně světlé scény“ (flat field).

Dark frame.

Detektor zaznamenává kromě dopadajícího záření i tepelný šum. Vědecké kamery se chladí, aby tento vliv co nejvíce omezily, ne tak digitální fotoaparát. Průměrná úroveň tepelného šumu přitom není pro všechny pixely ani oblasti čipu stejná. Chceme-li zmenšit vliv tohoto jevu, vyrobíme si temný snímek – dark frame. Nejvhodnější způsob získání temného snímku je nafotit k již existujícímu snímku hvězd ještě jeden snímek. Nejlépe hned na místě, kde fotíme hvězdy. Expoziční čas nastavíme stejný jako u snímku oblohy, ale tentokrát necháme objektiv fotoaparátu zakrytý. Korekce pak znamená odečtení temného snímku od snímku s hvězdami. Odečítá se prvek po prvku:

$$(S_{ij})_D = S_{ij} - D_{ij} \quad (14),$$

kde indexy i, j značí postupně každý prvek z matice o rozměrech $i \times j$, index D znamená snímek po korekci temným snímkem, S a D pak značí původní snímek a dark frame (temný snímek).

Flat field.

Různé pixely jsou různě citlivé, mohou být zastíněny nečistotami na optických plochách. Pro odstranění této vady se zhotovuje snímek rovnoměrně světlé scény – flat field.

Získat flat field je možné různými způsoby. Vyfotit rovnoměrně nasvícený bílý papír nebo třeba mlhu. Flat field je třeba také opravit o dark frame a zjistit

jeho průměrnou hodnotu $\langle F \rangle$. To je buď medián nebo aritmetický průměr z hodnot pixelů snímku.

$$F_D = F - D \quad (15)$$

je oprava flat fieldu o dark frame a

$$F_{ND} = \frac{F_D}{\langle F_D \rangle} \quad (16)$$

je flat field, který použijeme pro korekci snímku hvězdné oblohy:

$$S_{FD} = \frac{S_D}{F_{ND}}, \quad (17),$$

S_{FD} je snímek připravený k fotometrii.

Kalibrace.

Na snímku S_{FD} již můžeme provést fotometrii. Zjistíme tak magnitudy jednotlivých hvězd závislé na pozorovacích podmínkách a na fotoaparátu, kterým jsme fotili. Takto získané hodnoty se označují jako „instrumentální“. Aby mohly být srovnávány s měřeními provedenými jinde a někým jiným, musíme je nakalibrovat.

Kalibraci je možné opět provést různými způsoby, já popisuji způsob, který jsem sama využila.

Na snímku jsem poznala některé hvězdy (srovnávací hvězdy), ke kterým jsem si v katalogu na internetu (Hipparcos ⁸) našla jejich skutečné magnitudy M_i , $i = 1, 2, \dots, N$, kde N je počet rozpoznávaných hvězd. Na snímku jsem u těchto hvězd zjistila hodnoty jejich instrumentálních magnitud m_i . Rozdíl $m_i - M_i$ by měl být konstantní a stejný pro všechny hvězdy (a nejen hvězdy). Pro kalibraci tedy použijeme vztah:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - M_i)}{N} \quad (18),$$

skutečná magnituda hledaného bodu je pak:

$$M_x = m_x - \mu \quad (19),$$

kde m_x je instrumentální magnituda neznámého objektu a M_x její kalibrovaná hodnota.

Já jsem snímek kalibrovala podle hvězd ze souhvězdí Kassiopei: alfa cas a beta cas. Vhodnější by bylo najít ještě nějakou hvězdu z opačného konce snímku (kvůli vlivu extinkce), nicméně se domnívám, že jako příklad tyto hvězdy budou stačit.

	$m[mag]$	$M[mag]$
Alfa cas	$14,059 \pm 0,009$	$2,225 \pm 0,009$
Beta cas	$14,316 \pm 0,008$	$2,268 \pm 0,008$

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N (m_i - M_i)}{N}; \mu \cong (11,929 \pm 0,012)mag \text{ (chyba ze zákona šíření chyb)}$$

Záření od hvězd je fotoaparátem transformováno na číslicovou informaci v podobě matice – s hodnotami ADU.

ADU (Analog Digital Unit) je bezrozměrná instrumentální jednotka signálu na výstupu A/D převodníku, která určitým způsobem odpovídá energii. Signál nabývá hodnot od 0 do 2^N ADU, kde N je počet bitů A/D převodníku (10-16). U CCD kamer to bývá 65 535 ADU a u digitálních fotoaparátů 4095 ADU nebo jen 255 ADU při konverzi do formátu JPEG.

Rozdíl hvězdných velikostí dvou objektů definuje *Pogsonova rovnice* (11),

kde $\frac{j_2}{j_1}$ je poměr nějakých dvou energií, případně veličin úměrných energii

záření, tedy i signálu v ADU. Pokud chci zjistit jak moc září hvězdná obloha, zjistím si ve vhodném programu signál (v ADU) srovnávací hvězdy a pak v několika různých oblastech snímku. Vždy si zjistím, kolika pixelům daná oblast odpovídá abych mohla zjistit, kolik signálu přichází průměrně z jednoho pixelu. Dosazením do *Pogsonovy rovnice* bych mohla zjistit jaký jas

v magnitudách přichází průměrně z jednoho pixelu. Jak ale zjistit, kolik jasu se posbírání z jedné čtvereční vteřiny?

Jelikož vím, jaké rozměry má snímek v pixelech a můžu si najít souřadnice kterékoli hvězdy na snímku, můžu jednoduše podle pythagorovy věty zjistit, jak daleko jsou od sebe na fotografii hvězdy alfa cas a beta cas. V pixelech. Opět jsem si vybrala srovnávací hvězdy a to proto, že u těch si v katalogu na internetu ⁸ najdu jejich sférické souřadnice α, δ . Pomocí kosinovy věty pro sférický trojúhelník zjistím vzdálenost těchto hvězd na sféře.

$$\cos b = \cos c \cdot \cos a + \sin c \cdot \sin a \cdot \cos \beta,$$

$$c = \delta_2 - \delta_1$$

$$a = \alpha_1 - \alpha_2$$

$$\beta = 90^\circ; \cos \beta = 0$$

$$\cos b = \cos(\delta_2 - \delta_1) \cos(\alpha_1 - \alpha_2) \quad (20)$$

	$\alpha[^\circ]$	$\delta[^\circ]$
Alfa cas	10,127	56,537
Beta cas	2,295	59,150

Vzdálenost hvězd na sféře vyšla po dosazení $8,254^\circ$, jejich vzdálenost na snímku pak $104,738 px$. Jeden pixel na snímku tedy odpovídá $0,079^\circ$ na sféře. Podle tohoto měřítka vypočítám, kolik signálu (v ADU) přichází v průměru z jedné čtvereční vteřiny, výsledek dosadím do *Pogsonovy rovnice* (11), dopočítám a odečtu konstantu μ .

Aritmetický průměr je $(16,610 \pm 0,012) mag$ na čtvereční vteřinu.

5 ZÁVĚR

Jas oblohy je možné určit i bez pomoci vědecké kamery, stačí vhodný digitální fotoaparát. Obdobným způsobem je možné určovat i jas jiné scény, například lampy pouličního osvětlení, osvětlené sjezdovky a podobně. Možnosti využití ukazuje již uskutečněný projekt *Mapování světelného znečištění a negativní vlivy osvětlování umělým světlem na živou přírodu na území České republiky*, uskutečněný v rámci programu výzkumu a vývoje MŽP ČR⁹.

ZDROJE A CITACE

- 1 Jiří Mikulčák a kolektiv : *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Prometheus , 1988, Dotisk 3.vydání
- 2 <http://fyzika.jreichl.com>
- 3 <http://www.fotoroman.cz>
- 4 Hroch, Filip: Munipack, <http://munipack.astronomy.cz/>
- 5 SA Olmage ds9 : <http://hea-www.harvard.edu/RD/ds9>
- 6 Iris : <http://www.astrosurf.com/buil/us/iris>
- 7 <http://www.asterism.org>
- 8 <http://simbad.u-strasbg.fr>
- 9 <http://amper.ped.muni.cz/noc>

další použité zdroje:

- [10] <http://amper.ped.muni.cz>
- [11] Halliday D., Resnick R., Walker J. : *Fyzika*. VUTIUM, 2003, dotisk 1. českého vydání
- [12] Hroch F. : *Astronomické praktikum*. Brno 2006
- [13] Sterken Chr., Manfroid J. : *Astronomical Photometry A Guide*, Kluwer Academic Publisher, 1992

This research has made use of the Vizier catalogue access tool, CDS, Strasbourg, France