

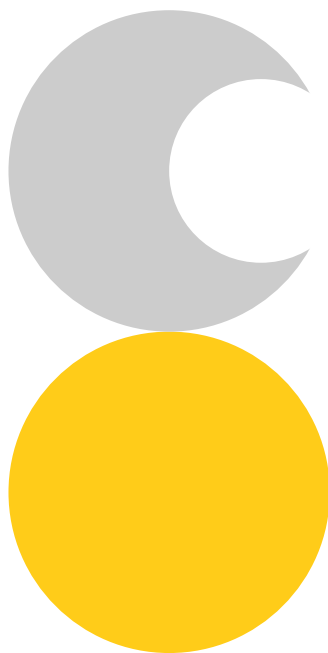
# Veličiny a jednotky v astronomii, zvláště v astronomické fotometrii

— návrh doplnku konformního ke knize

*V. Šindelář, L. Smrž: Nová soustava jednotek  
(SPN, Praha 1968, 4., upravené vydání 1989)*

Jan Hollan

20. září 1999



Hvězdárna a planetárium Mikuláše Koperníka v Brně

# Obsah

1	Jasnost ( $j$ )	3
2	Bolometrická jasnost ( $j_e, j_{bol}$ )	4
3	nevizuální jasnost ( $j_{s\ indexem}$ )	5
4	Absolutní jasnost ( $J$ )	5
5	Absolutní bolometrická jasnost ( $J_e, J_{bol}$ )	6
6	Spektrální jasnost ( $j_\lambda, j_\nu$ )	6
7	Hvězdná velikost ( $m, m_{s\ indexem}$ )	7
8	Úhel (rovinný) ( $\dots, t, \dots$ )	11

## Abstrakt

V návrhu jsou definovány fotometrické veličiny *jasnost*, *bolometrická jasnost*, „*nevizuální*“ *jasnost*, *absolutní jasnost*, *absolutní bolometrická jasnost*, *spektrální jasnost* a *hvězdná velikost* spolu s jednotkou **magnituda**; na konci jsou popsány „časově-úhlové“ jednotky.

(Tato verze se významněji liší jen doplněním diskuse veličiny *jasnost* a údaji o referenčních jasnostech pro veličinu *hvězdná velikost* a jejich diskusí od textu z roku 1992, shodného s rukopisnou verzí z roku 1988.)

# 1 Jasnost ( $j$ )

Vysvětlení: Jasností (vizuální jasností)  $j$  světelného zdroje rozumíme hustotu světelného toku způsobeného daným zdrojem v místě pozorování za podmínky, že mezi zdrojem a místem pozorování není zemská atmosféra.

Pro bodové zdroje, které svítí z prostorového úhlu  $\Omega$ , je světelný tok plochou  $S$  jimi způsobený

$$\Phi = \sum_{\Omega} \int j \cos \alpha \, dS ;$$

pro vzdálené bodové zdroje a malou plochu  $S$  tedy

$$\Phi = S \sum_{\Omega} j \cos \alpha ,$$

kde  $\alpha$  je úhel mezi směrem ke zdroji a kolmicí k dané ploše

$$\alpha \in (-\pi/2; \pi/2)$$

a sčítá se přes všechny bodové zdroje v úhlu  $\Omega$ .

Pro nebodový zdroj patrný pod prostorovým úhlem  $\Omega$  je

$$j = \int_{\Omega} L \, d\omega ,$$

kde  $L$  je jas v tom bodě zdroje, který svítí ze směru  $\omega$ .

Rozměr:  $\dim j = L^{-2} J$

Vztah:  $(j) = m^{-2} \cdot cd \cdot sr$

Hlavní jednotka jasnosti je

$$[j] = 1 \text{ lumen na čtverečný metr} = 1 \text{ lm} \cdot m^{-2}$$

Poznámky:

1. *Jasnost* je veličina užívaná v astronomických textech pro zdroje s malými úhlovými rozměry; pro číselné vyjádření se však zpravidla užívá odvozené veličiny *hvězdná velikost*.

2. V astronomii se často jedná o pozorování zrakem adaptovaným na nízké hodnoty jasu, kdy nejde o vidění čistě fotopické (čípkové, denní), pro které

jsou fotometrické veličiny většinou uvažovány. Přesto by se jasností, pokud není uvedeno jinak, měla vždy myslet *fotopická jasnost*. Jen výjimečně se ale v astronomii uplatňuje vidění čistě skotopické (tyčinkové, noční), kdy by bylo možno jako jednotku jasnosti užít 1 skotopický lumen na čtverečný metr. Nejčastěji jde o vidění mezopické, při němž se různou měrou uplatňují čípky i tyčinky. Číselná hodnota jasnosti (tedy jasnost dělená příslušnou jednotkou) zdroje vydávajícího monochromatické záření s vlnovou délkou 555 nm je pro fotopické i skotopické vidění stejná, pro zdroj záření s vlnovou délkou kratší je jeho *skotopická jasnost* vyšší než fotopická, pro záření s vlnovými délkami delšími je tomu naopak.

Pokud jde jen o poměr jasností, je možné operovat i s *mezopickými jasnostmi*, přestože jako samostatné veličiny jsou obtížně definovatelné (i když by bylo možné pro lidský zrak adaptovaný na stanovenou úroveň jasu v rozmezí  $1 \cdot 10^{-3} \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  až  $5 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$  definovat jednotku „mezopický lumen“).

O fotometrii denního a nočního vidění viz též poznámky na str. 372, 373 knihy [1], fotopická a skotopická spektrální světelná účinnost záření je uvedena např. na str. 109 v [2].

## 2 Bolometrická jasnost ( $j_e, j_{bol}$ )

Vysvětlení: Bolometrickou jasností zdroje záření rozumíme hustotu zářivého toku způsobeného daným zdrojem v místě pozorování.

Pro vzdálené bodové zdroje svítící z prostorového úhlu  $\Omega$  je souhrnný zářivý tok  $\Phi_e$  ploškou  $S$  jimi způsobený

$$\Phi_e = S \sum_{\Omega} j_e \cos \alpha ,$$

kde se sčítá přes všechny bodové zdroje.

Pro nebodový zdroj zaujímající prostorový úhel  $\Omega$  platí, že

$$j_e = \int_{\Omega} L_e d\omega ,$$

kde  $L_e$  je zář toho bodu zdroje, který svítí ze směru  $\omega$ .

Rozměr:  $\dim j_e = \text{M T}^{-3}$

Vztah:  $(j_e) = \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$

Hlavní jednotka bolometrické jasnosti je

$$[j] = 1 \text{ watt na čtverečný metr} = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Poznámka: Viz poznámku u veličiny *jasnost*.

### 3 *nevizuální jasnost* ( $j_{s\text{indexem}}$ )

Vysvětlení: „Nevizuální“ jasností  $j_{s\text{indexem}}$  zdroje záření se rozumí hustota zářivého toku od daného zdroje po průchodu určitým filtrem. Dle konkrétního filtru se formální přívlástek „nevizuální“ nahrazuje označením filtru (hovoří se např. o B-jasnosti, či modré jasnosti, fotografické jasnosti apod.). Platí

$$j_i = \int_0^{\infty} t_{i\lambda} \phi_{e\lambda} d\lambda,$$

kde  $t_{i\lambda}$  je propustnost filtru  $i$  pro záření s vlnovou délkou  $\lambda$  a  $\phi_{e\lambda}$  je hustota spektrálního toku od daného zdroje.

Rozměr:  $\dim j_i = \text{M T}^{-3}$

Vztah:  $(j_i) = \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$

Hlavní jednotka „nevizuální“ jasnosti je

$$[j] = 1 \text{ watt na čtverečný metr} = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Poznámky:

„Nevizuální“ jasnost je veličinou, která je energiovým analogem (vizuální) jasnosti. Místo spektrální světelné účinnosti

$$K_\lambda = \Phi_\lambda / P_\lambda \quad ([K] = 1 \text{ lumen na 1 watt})$$

je zde použita spektrální propustnost určitého filtru  $t_{i\lambda}$ . V astronomii se užívají např. filtry systému UBV (odtud  $j_U$ ,  $j_B$  a  $j_V$ , která se někdy nevhodně nazývá vizuální, přestože jde o veličinu energiovou; důvodem je, že průběhy  $K_\lambda$  a  $t_{V\lambda}$  jsou zhruba podobné). Propustnosti těchto filtrů (jde ve skutečnosti o součin spektrální propustnosti měřicího zařízení a spektrální citlivosti detektoru) jsou uvedeny např. na str. 201 v [2].

Nejjednodušším případem „nevizuální“ jasnosti je zřejmě bolometrická jasnost, kterou dostáváme při zcela propustném filtru  $t_\lambda = t_{bol_\lambda} \equiv 1$ .

### 4 Absolutní jasnost ( $J$ )

Vysvětlení: Absolutní jasností světelného zdroje se rozumí jasnost, jakou by měl, kdyby se nacházel ve vzdálenosti 10 parseků.

(Dále viz Jasnost; analogicky se zavádí Absolutní „nevizuální“ jasnost.)

Poznámky:

1. *Absolutní jasnost* objektu je úměrná jeho svítivosti  $I$ :

$$I = 9,521406 \cdot 10^{34} \text{ m}^2 \cdot \text{sr}^{-1} \text{ J} ;$$

pro absolutní „nevizuální“ jasnost takový vztah však nelze uvést, neboť nebývá definována energiová veličina obdobná svítivosti.

2. *Absolutní jasností tělesa ve sluneční soustavě* se rozumí *jasnost*, jakou by mělo ve vzdálenosti 1 AU od Země i od Slunce, kdyby současně úhel Slunce-těleso-Země byl nulový (nehledě na to, že je to nereálná konfigurace). *Absolutní jasností meteoru* se rozumí *jasnost*, jakou by měl ve vzdálenosti 100 km.

## 5 Absolutní bolometrická jasnost ( $J_e, J_{bol}$ )

Vysvětlení: Absolutní bolometrickou jasností zdroje záření se rozumí bolometrická jasnost, jakou by měl při pozorování ze vzdáleností deseti parseků. Platí, že

$$J_e = 1,0502651 \cdot 10^{-33} \text{ m}^{-2} \cdot \text{sr} \ I_e ,$$

kde  $I_e$  je zářivost zdroje.

(Dále viz Bolometrická jasnost.)

## 6 Spektrální jasnost ( $j_\lambda, j_\nu$ )

Vysvětlení: Spektrální jasností zdroje záření rozumíme hustotu spektrálního zářivého toku z daného zdroje. Je to rovněž diferenciální podíl bolometrické jasnosti  $j_e$  a vlnové délky, případně bolometrické jasnosti  $j_e$  a frekvence záření

$$j_\lambda = \frac{dj_e}{d\lambda} , \quad j_\nu = \frac{dj_e}{d\nu} .$$

Mezi oběma druhy spektrální jasnosti platí vztah

$$j_\lambda = c \cdot j_\nu \cdot \lambda^{-2} ,$$

kde  $c$  je rychlost světla,  $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  .

Rozměr:  $\dim j_\lambda = \text{L}^{-1} \text{T}^{-3}$       Vztah:  $(j_\lambda) = \text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$   
 $\dim j_\nu = \text{M} \text{T}^{-3}$                        $(j_\nu) = \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$

### Hlavní jednotky:

$$\begin{aligned}[j_\lambda] &= 1 \text{ watt na } 1 \text{ krychlový metr} = 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \\ [j_\nu] &= 1 \text{ watt na } 1 \text{ čtverečný metr na } 1 \text{ hertz} = \\ &= 1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1} = 1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}\end{aligned}$$

### Dílčí jednotka:

$$1 \text{ jansky} = 1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$$

### Poznámky:

1. *Spektrální jasnost*  $j$  s jednotkou 1 jansky se užívá v radioastronomii.

2. Analogicky lze zavést „*energiovou spektrální jasnost*“  $j_E = dj_e/dE$ , kde  $E$  je energie částic záření. Veličina  $j_E$  má význam u záření s vlnovými délkami pod 1 nm. Platí  $j_E = j_\nu/h$ , kde  $h$  je Planckova konstanta,  $h = 6,62618 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ .

## 7 Hvězdná velikost ( $m$ , $m_s$ indexem)

Vysvětlení: Hvězdná velikost světelného zdroje je logaritmická veličina, odvozená z jasnosti:

$$m = -2,5 \text{ mag} \log(j/j_0) ;$$

přítom  $j_0$  je referenční jasnost, kterou má zdroj s  $m = 0$  mag;

$$j_0 \doteq 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2} .$$

Rozměr:  $\dim m = 1$  (bezrozměrná veličina)

Hlavní jednotka jasnosti je

$$[m] = 1 \text{ magnituda} = 1 \text{ mag} .$$

Hvězdná velikost se *zmenší* o 1 mag, *vzroste-li* jasnost v poměru

$$10^{1/2,5} : 1 = 2,512 \dots : 1 ,$$

tedy o 5 mag, vzroste-li jasnost stokrát.

### Dílčí jednotky:

$$1 \text{ decimagnituda} = 1 \text{ dmag} = 10^{-1} \text{ mag}$$

$$1 \text{ centimagnituda} = 1 \text{ cmag} = 10^{-2} \text{ mag}$$

$$1 \text{ milimagnituda} = 1 \text{ mmag} = 10^{-3} \text{ mag}$$

## Poznámky:

1. Protože platí

$$2,5 \log(j/j_0) = 2,5 \log(e) \ln(j/j_0) \doteq 2,5 \cdot 0,4343 \ln(j/j_0) \doteq -1,086 \ln(j/j_0) ,$$

je rozdíl hvězdných velikostí dělený mínus jednou magnitudou přibližně roven přirozenému logaritmu poměru jasností. Z toho plyne výhodná vlastnost, že malý rozdíl hvězdných velikostí se téměř shoduje s relativním rozdílem jasností. Například snížení hvězdné velikosti stálice o dvě centimagnitudy znamená zvýšení její jasnosti přibližně o dvě procenta.

2. Nulová hvězdná velikost není v praxi odvozena od pevně zvolené referenční jasnosti, ale je stanovena implicitně, dříve přijatými hodnotami hvězdných velikostí určitého souboru stálic. Běžná fotometrická měření se týkají jen poměrů jasností různých stálic, tedy rozdílů hvězdných velikostí. Uvedená referenční jasnost (převzatá z [2]) má alespoň jednaprocentní nejistotu. Pro hvězdnou velikost se někdy užívá název *vizuální hvězdná velikost*, aby se odlišila od obdobně zkonstruovaných veličin uvedených dále.

3. Hvězdnou velikost lze zavést (s užitím příslušného přívlastku) obdobně ke všem ostatním druhům jasností: bolometrické ( $m_e$  či  $m_{bol}$ ), U-jasnosti ( $m_U$  či  $U$ ), B-jasnosti ( $m_B$  či  $B$ ) atd.; *absolutní hvězdné velikosti* příslušné k absolutním jasnostem se značí  $M$  (ev. s příslušným indexem). Příslušné dosti nejisté referenční jasnosti jsou uvedeny dle [2] (v závorce jsou alternativní čísla spočtená dle [3], přičemž ekvivalentní šířky filtrů pro výpočet byly převzaty z [4]). Pouze referenční bolometrická jasnost je přesnou hodnotou, spočtenou dle [6]:

$$\begin{aligned} \text{bolometrická: } j_{e_0} &= 2,5533 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} , \\ \text{ultrafialová: } j_{U_0} &= 2,83 \cdot 10^{-9} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} , \\ &\quad ( 2,87 ) , \\ \text{modrá: } j_{B_0} &= 6,49 \cdot 10^{-9} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} , \\ &\quad ( 6,27 ) , \\ \text{žlutá: } j_{V_0} &= 3,19 \cdot 10^{-9} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} , \\ &\quad ( 3,34 ) . \end{aligned}$$

Volba referenční jasnosti pro každý uvedený filtr je vedena snahou, aby se rovnala příslušné „nevizuální“ jasnosti hvězdy třídy A0V se žlutou hvězdnou velikostí  $m_V = 0$  mag; základní referenční jasnost  $j_{V_0}$  se přitom volí tak, aby pro takovou hvězdu bylo  $m_V = m$ , tedy aby se V-hvězdné velikosti shodovaly pro hvězdy A0V s původními hvězdnými velikostmi.

V praxi se referenční jasnosti zjišťují až dodatečně a obtížně, a skutečné stanovení každé nulové hvězdné velikosti se opírá o soubor stálic, které slouží jako standardy. Důležité jsou přitom právě hvězdy spektrální a výkonové třídy A0V, a z nich zejména Vega, která má přibližně nulovou hvězdnou velikost.



Po zpřesnění měření však podmínka, aby se různé nevizuální hvězdné velikosti každé z takových hvězd shodovaly, již nebývá přesně splněna, rozhodující je celý soubor standardních stálíc. Podobně nebývá přesně známa funkce  $t_\lambda$  pro daný filtr, a další autoři své údaje počítají interpolací z měření přes různé filtry tak, aby se jejich výsledky u souboru standardních hvězd shodovaly s výsledky toho autora, který daný filtr zavedl.

V případě bolometrické hvězdné velikosti bývala referenční bolometrická jasnost (dle [2])  $2,48 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  s nejistotou několika procent) stanovena odlišně. Cílem bylo, aby splývaly bolometrické a vizuální hvězdné velikosti pro takové hvězdy, jejichž záření má nejvyšší světelnou účinnost (přibližně hvězdy spektrální třídy F, viz [5]. Pro hvězdy jiných teplot jsou pak bolometrické hvězdné velikosti nižší než vizuální, například pro Slunce asi o 1 dmag a pro hvězdy třídy A0V o 3 dmag.

Také hvězdné velikosti pro systémy s filtry s menší šířkou propustnosti mívají nulové hodnoty stanoveny pro některé filtry jinak, než podle pravidla platného pro širokopásmový<sup>1</sup> systém UVB. Odchylky ale nepřevyšují jednu magnitudu.

V roce 1997 byla přijata přesná hodnota referenční bolometrické jasnosti, takže bolometrická hvězdná velikost se již opírá o SI místo o soubor standardních hvězd. Definice zní: *Izotropní zdroj záření, který má nulovou absolutní bolometrickou hvězdnou velikost, emituje zářivý tok  $3,055 \cdot 10^{28} \text{ W}$  [6].* Současně byla přijata jednotka zářivého toku *nominální Slunce*

$$P_{sun} = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W},$$

která odpovídá známému zářivému výkonu Slunce (ten se mění až o jedno promile v cyklu jedenácti let a během miliard let výrazně roste). Pro izotropní zdroj záření platí pak vztah

$$M_e = 4,75 \text{ mag} - 2,5 \text{ mag} \log(P_e/P_{sun}),$$

kde  $P_e$  je zářivý tok ze zdroje (tedy jeho výkon) a  $M_e$  jeho absolutní bolometrická hvězdná velikost [7].

(K převodům hvězdných velikostí na jasnosti a naopak lze použít programy [8].)

4. Pro orientační roztrídění světelných zdrojů dle hvězdné velikosti zaokrouhlené na celočíselné hodnoty se dosud v astronomii užívá starobylého vyjadřování (vytvořeného asi Hipparchem a známého od Claudia Ptolemaia): např. objekt s hvězdnou velikostí v rozmezí 4,5 mag až 5,5 mag se označuje jako *objekt 5. velikosti (páté velikosti)*, objekt s  $m \in (-1,5; 0,5)$  mag jako *objekt mínus první velikosti* atp. Slovo *velikost* zde neznamená veličinu či jednotku, ale označuje třídu ekvivalence. Správnější formulace by zřejmě byla: „objekt patřící do páté třídy hvězdné velikosti“ — takovou formulaci ale jistě nikdo užívat nebude; předností historického vyjadřování je právě jeho stručnost (a stylistická pružnost); svou rolí hraje i konzervativnost astronomů. I v dnešní astronomii kromě toho

---

<sup>1</sup>Pro jeho filtry platí, že tzv. ekvivalentní šířka filtru  $\int_0^\infty t_\lambda d\lambda$  je 68 až 98 nanometrů.

mnohdy stačí udat hvězdnou velikost bez uvedení zlomků magnitudy (a tedy vlastně jasnost s přesností na jeden dvojkový řád).

5. Slovo *magnituda* (v cizích jazycích *magnitude*) lze někdy, zejména v zahraniční literatuře, nalézt ve významu veličiny *hvězdná velikost*. Veličina zvaná „*magnituda*“ pak nemá žádnou jednotku. Takový úzus má ale dvě podstatné vady. Jednak je fyzikálně nevhodný: nejde totiž o pouhou poměrovou veličinu a chybí zdůraznění, že jde o nelineární vyjadřování — v akustice se z tohoto důvodu u veličin *hladina intenzity*, *výkon* a *akustický tlak* užívá nelineární jednotky decibel. A jednak působí stylistické obtíže: většina autorů stejně občas jakousi jednotku uvádí; nazývají ji pak rovněž *magnituda* (!) a značí ji případně značkou <sup>m</sup> v exponentu číselné hodnoty hvězdné velikosti. Cílem našeho návrhu normy je, aby takové konfušní vyjadřování co nejdříve vymizelo. Zvláště naléhavé je to v případě výuky (která má učit přesnému fyzikálnímu myšlení), důležité je to při popularizaci (aby alespoň vzdělaní lidé astronomům rozuměli).

*Dalším potřebným doplňkem metrologického rázu je definování dočasných nezákonných „časově-úhlových hodin, minut a sekund“:*

## 8 Úhel (rovinný) ( $\dots, t, \dots$ )

(dále viz citovanou knihu, str. 430)

...

### Vedlejší jednotky

...

V astronomii se pro vyjadřování dvou speciálních úhlů (rektascenze a hodinového úhlu) dosud někdy užívají zvláštní tzv. časově-úhlové jednotky:

$$\begin{aligned} 1 \text{ časově-úhlová hodina} &= 1^{\text{h}} = 15^{\circ} &= (15\pi/180) \text{ rad}, \\ 1 \text{ časově-úhlová minuta} &= 1^{\text{m}} = 15' = 0,25^{\circ} = (15\pi/10800) \text{ rad}, \\ 1 \text{ časově-úhlová sekunda} &= 1^{\text{s}} = 15'' = 0,25' = (\pi/43200) \text{ rad}. \end{aligned}$$

Příklad zápisu úhlu v těchto jednotkách:

$$10^{\text{h}} 32^{\text{m}} 15^{\text{s}} = 158,0625^{\circ} = 2,758711049 \dots \text{ rad}.$$

Uvádění jednotek v exponentu odpovídá úzu pro standardní vedlejší jednotky úhlu, a je adekvátní pro bezrozměrné veličiny. Kdyby tyto jednotky nebyly uvedeny v exponentu, pletly by se s jednotkami času (v případě hodin a sekund) či délky (m je značka metru). Kvůli možné záměně s časově-úhlovými jednotkami je v astronomických textech nevhodné uvádět časové jednotky v exponentu, jak je obecně povoleno při zápisu časového okamžiku (je-li jej nutno odlišit od zápisu délky časového intervalu, v němž se zkratky jednotek píše vždy standardním způsobem na řádek).

K užívání těchto nezákonných časově-úhlových jednotek není žádný dobrý důvod, právě naopak — pletou se totiž se standardními vedlejšími jednotkami úhlu: (úhlovou) minutou a vteřinou, v cizích jazycích nazývanou (úhlová) sekunda. Je žádoucí se jejich užívání vyhýbat — jde vlastně o zlozvyk. Uvádíme je proto, že se s nimi lze dosud běžně setkat.

# Reference

- [1] Šindelář, V., Smrž, L.: Nová soustava jednotek. SPN, Praha 1968, 4., upravené vydání 1989.
- [2] Allen, C.W.: Astrophysical quantities. Athlone Press, London, 1976. Corrected reprint of the third edition. ISBN 0-485-11150-0.
- [3] Sterken, Chr., Manfroid, J: Astronomical photometry, A Guide. Kluwer Academic Publishers, 1992. ISBN 0-7923-1776-9.
- [4] Carrol, B. W., Ostlie, D. A.: An Introduction to Modern Astrophysics. Adison-Wesley Publ. Comp, Inc., 1996. ISBN 0-201-54730-9. <http://astrophysics.weber.edu>
- [5] Lamla, E.: Die bolometrische Korrektion, B.C.. Odstavec v knize Landolt-Börnstein Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Gruppe VI, Band I. Springer, 1965. Strana 370.
- [6] Andersen, J. (ed.): Transactions of the IAU, vol. XXIIIB, *Proceedings of the 23rd General Assembly*, p. 141 and 181. Kluwer Academic Press, 1999. ISBN 0-7923-5588-1.
- [7] Cayrel, R.: soukromá korespondence, březen 1999.
- [8] Hollan, J.: <http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/programmes/photometry/>

Jan Hollan,

tel. +420 (5) 43 23 90 96



Hvězdárna a planetárium M. Koperníka

41 32 12 87

Kraví hora 2

<http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan>

616 00 Brno

e-mail [hollan@ped.muni.cz](mailto:hollan@ped.muni.cz)