

# Vstříc barevné harmonii Vesmíru

F. Hroch

ÚTFA MU, Brno

29. březen 2010

## Cíl naší cesty

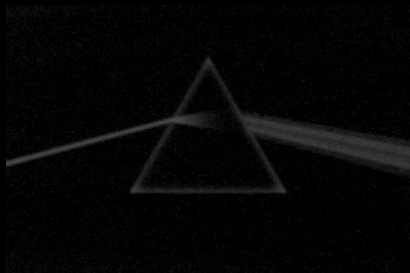
*„zobrazení vesmírných objektů co nejdělněji, tak jak by je vidělo lidské oko vybavené dobrým dalekohledem“*



# Lidské vnímání barev

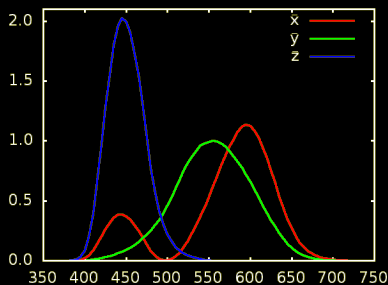


při dobrém světle

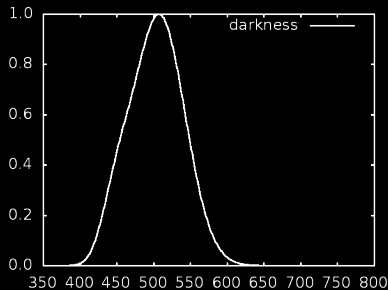


za tmy

# Spektrální citlivost lidského oka



při dobrém světle

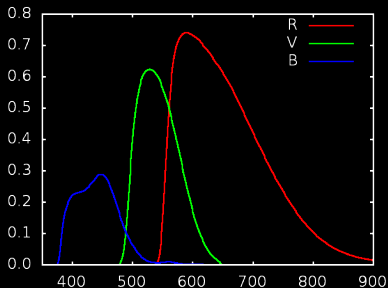


za tmy

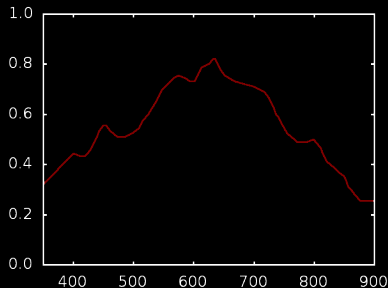
- interpretace citlivostí: vnímání různými receptory
- zdroj světla je planckovský pro asi 6500K.
- plochy pod křivkami jsou zhruba stejné
- v modré je oko výrazně citlivější



## Dalekohled s CCD a astronomickými filtry



propustnost BVR



citlivost CCD

Landoltův (U)BVR(IJ... ) systém ([2]):

- vychází z Johnsonova systému
- volba citlivostí odráží různé astrofyzikální důvody
- zdroj světla je planckovský pro 10 tisíc K
- plochy pod křivkami jsou zhruba stejné, modrá je nevýrazná

# Posluchárna F1 na jaře



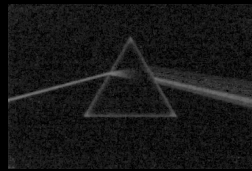
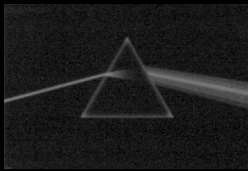
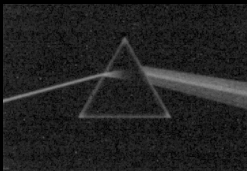
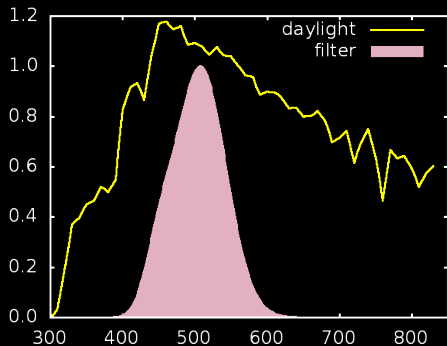
## Klíčová myšlenka

*„exponujeme-li s CCD a BVR filtry pozemskou scénu, můžeme zkontrolovat barevné poddaní“*



## Abstraktní popis filtrů

$$\phi = \int_0^{\infty} I(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

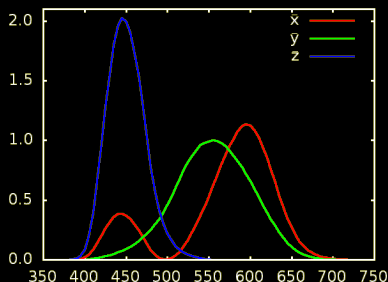


## Oko – CIE 1931 XYZ

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

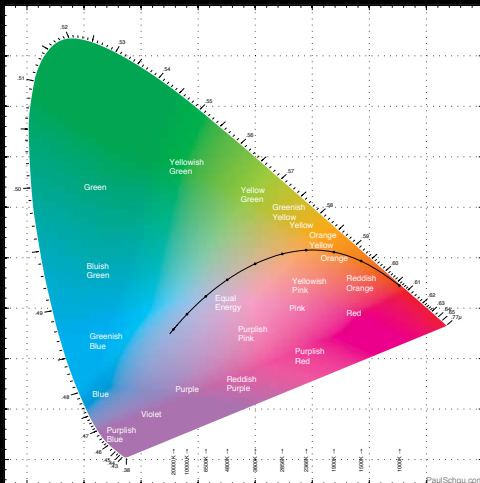
$$Y = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$



- XYZ vyjadřuje podmět pro receptory
- Y složka je úměrná svítivosti (odrazivosti)
- barva je daná X a Z
- CIE (Commission internationale de l'éclairage), založena 1913
- citlivosti pro CIE standardního pozorovatele

# Barevný diagram pro CIE 1931 XYZ

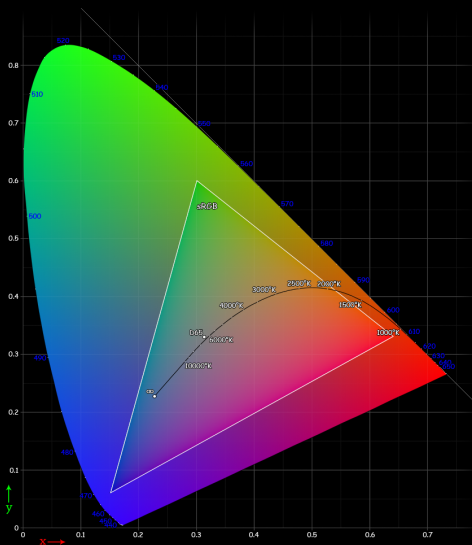


$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

- nadplocha v prostoru,  $Y = \text{const.}$
- úplný barevný rozsah oka
- obvykle degradováno displejem

# Zobrazovací zařízení – sRGB



- odvozeno z vlastností zobrazovacích zařízení
- základní barvy RGB s nelineárním škálováním
- nepsaný standard pro nové monitory, LCD a projekory
- „předpotopní technika“

## Skalární vektorový součin

Obyčejný vektor se složkami  $(x, y)$  v rovině a s báзовými vektory  $\mathbf{i}, \mathbf{j}$  můžeme zapsat jako

$$\mathbf{r} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j}.$$

Elegantní způsob vyloupenutí jedné složky zapíšeme

$$x = \mathbf{r} \cdot \mathbf{i} = x \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} + y \mathbf{j} \cdot \mathbf{i} = x \mathbf{i} \cdot \mathbf{i},$$

přičemž

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = 1, \quad \mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = 0.$$

Skalární součin počítáme podle předpisu

$$\mathbf{i} \cdot \mathbf{j} = i_1 \cdot j_1 + i_2 \cdot j_2 = \sum_k i_k \cdot j_k.$$



## Skalární součin funkcí

Zajímavé je, že to podobně funguje i s funkcemi

$$I(\lambda) = x \varphi(\lambda) + y \psi(\lambda).$$

Elegantní vyjmutí provedeme obdobně

$$x = I \cdot \varphi = x \varphi \cdot \varphi + y \psi \cdot \varphi = x \varphi \cdot \varphi,$$

ale pouze pokud počítáme skalární součin podle předpisu

$$\varphi \cdot \psi = \int_0^{\infty} \varphi(\lambda) \psi(\lambda) d\lambda$$

a neponecháme náhodě výběr báze funkcí

$$\varphi \cdot \varphi = 1, \quad \varphi \cdot \psi = 0.$$

## Barevný vjem

V oku máme jako bázové funkce  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  a spektrum aproximujeme neboli „vnímáme barvu“

$$I(\lambda) = X \bar{x}(\lambda) + Y \bar{y}(\lambda) + Z \bar{z}(\lambda)$$

$$X = \int_0^{\infty} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = \dots, \quad Z = \dots$$

- Nedokonalá aproximace – „špatně vybrané bázové funkce“
- Analogicky platí i pro ostatní barevné prostory

## Aproximace profilu filtru

„Vzdálenost“ mezi filtry můžeme měřit po vzoru Eukleida

$$d(\mathbf{r}, \mathbf{r}) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}.$$

Zapsáno s pomocí skalárního součinu

$$d[f(\lambda), \varphi(\lambda)] = \|f - \varphi\| = \sqrt{(f - \varphi) \cdot (f - \varphi)}$$

neboli (Pro identické filtry platí podmínka  $d = 0$ .)

$$d[f(\lambda), \varphi(\lambda)] = \int_0^{\infty} [f(\lambda) - \varphi(\lambda)]^2 d\lambda.$$

Pro filtry jsou předem pevně dány aproximující funkce

$$\varphi(\lambda) \approx \sum_i a_i \varphi_i(\lambda)$$

## Aproximace profilu jednoho filtru – I.

$$\int_0^{\infty} [f(\lambda) - a\varphi(\lambda)]^2 d\lambda.$$

Předpokládejme  $a' = a + \alpha$  a hledíme minimum

$$\int_0^{\infty} [f(\lambda) - a'\varphi(\lambda)]^2 d\lambda = \int_0^{\infty} [f^2 - 2fa'\varphi + a'^2\varphi^2] d\lambda =$$

$$\int_0^{\infty} [f^2 - 2f(a + \alpha)\varphi + (a^2 + 2a\alpha + \alpha^2)\varphi^2] d\lambda.$$

zanedbáním členů s  $\alpha^2$  a vyššími a přeskupením dostaneme

$$\int_0^{\infty} [f^2 - 2fa\varphi + a^2\varphi^2 - 2f\alpha\varphi + 2a\alpha\varphi^2] d\lambda.$$

## Aproximace profilu jednoho filtru – II.

Sdružením členů nakonec dostaneme

$$\int_0^{\infty} \{ [f(\lambda) - a\varphi(\lambda)]^2 - 2\alpha\varphi(f - a\varphi) \} d\lambda$$

a podmínka pro minimum integrálu je

$$2\alpha \int_0^{\infty} (f - a\varphi) \varphi d\lambda = 0.$$

Nejlepší aproximaci pak dostaneme výpočtem

$$a = \frac{\int_0^{\infty} f(\lambda)\varphi(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \varphi^2(\lambda) d\lambda}.$$

# Instrumentální MonteBoo bvr na Landoltův BVR

Aplikace předchozích vztahů pro aproximaci  $R$  filtru

$$a_1 r \cdot r + a_2 v \cdot r + a_3 b \cdot r = R \cdot r,$$

$$a_1 r \cdot v + a_2 v \cdot v + a_3 b \cdot v = R \cdot v,$$

$$a_1 r \cdot b + a_2 v \cdot b + a_3 b \cdot b = R \cdot b,$$

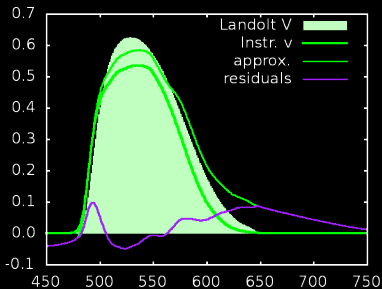
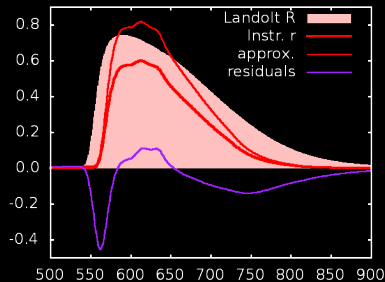
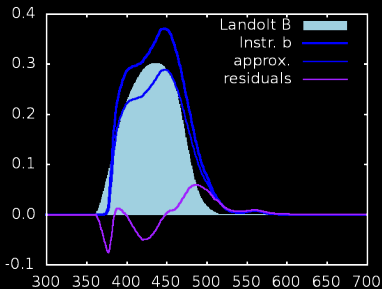
kde například

$$r \cdot v = \int_0^{\infty} r(\lambda)v(\lambda) d\lambda.$$

Výsledek:

$$\begin{pmatrix} R \\ V \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.7798218 & 0.0078136 & 0.0012729 \\ -0.1084479 & 1.0939958 & 0.1843696 \\ -0.0048955 & 0.0178585 & 1.3653429 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r \\ v \\ b \end{pmatrix}.$$

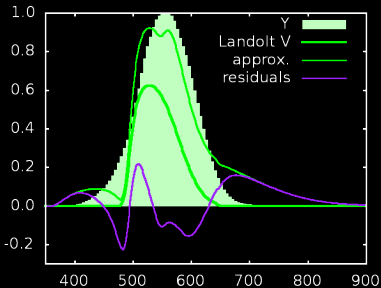
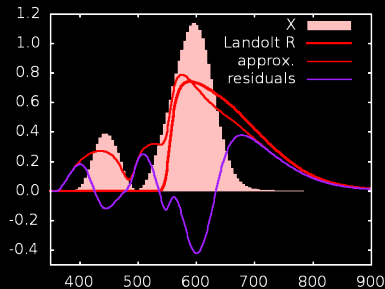
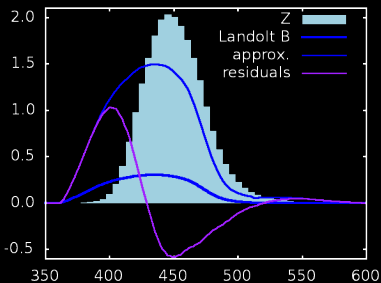
# Instrumentální MonteBoo bvr na Landoltův BVR



$$(b, v, r) \rightarrow (B, V, R)$$

$$\begin{pmatrix} 0.7800 & 0.0078 & 0.0013 \\ -0.1084 & 1.0940 & 0.1847 \\ -0.0049 & 0.0179 & 1.3653 \end{pmatrix}$$

# Landoltův BVR na CIE 1931 XYZ



$$(B, V, R) \rightarrow (Z, Y, X)$$

$$\begin{pmatrix} 4.9614, 0.0966, -0.0220 \\ 0.2931, 1.4793, 0.3486 \\ 0.9029, 0.5135, 0.8373 \end{pmatrix}$$



# Zobrazení barevných snímků

- saturace
- škálování intenzit
- odhad pozadí
- převod do barevného prostoru zobrazovacího zařízení

## Barevný prostor CIELUV

$$L^* = \begin{cases} 116 \cdot \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16, & \frac{Y}{Y_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3, \\ \left(\frac{29}{3}\right)^3 \frac{Y}{Y_n}, & \frac{Y}{Y_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3, \end{cases}$$

$$u^* = 13L^*(u' - 0.2009),$$

$$v^* = 13L^*(v' - 0.4610),$$

kde

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z},$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}.$$

- odpovídá citlivosti oka na barvy a intenzity
- vzdálenost je eukleidovská
- $L^*$  umožňuje škálovat citlivost detektoru
- $u^*, v^*$  škálují barvy

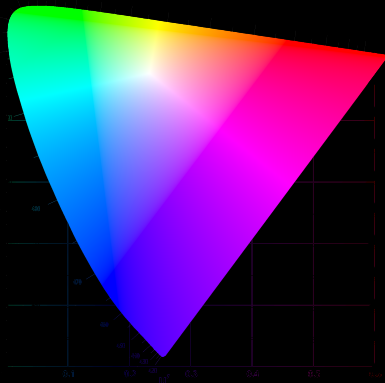
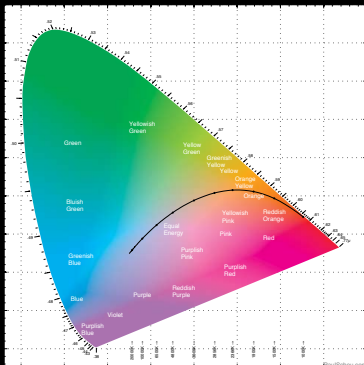
# Barevný prostor CIELUV

Saturace (chroma)

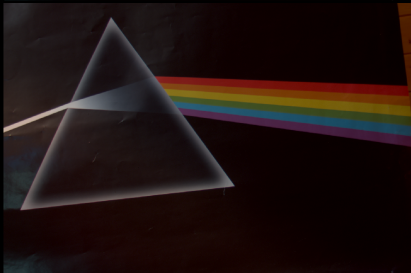
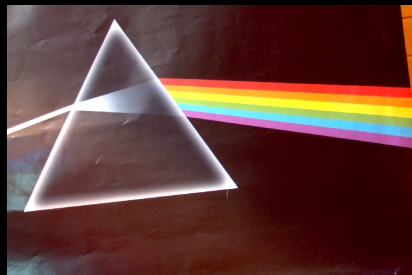
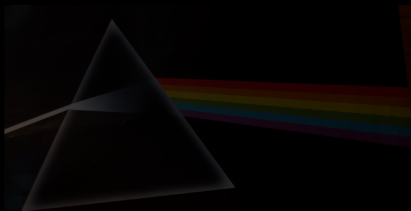
$$C = \sqrt{(u^*)^2 + (v^*)^2}.$$

Hue

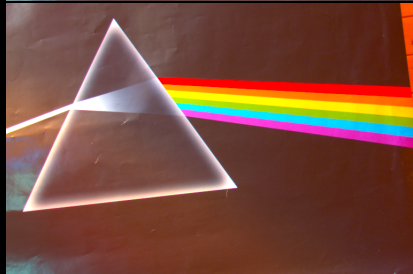
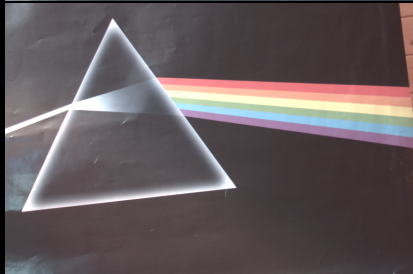
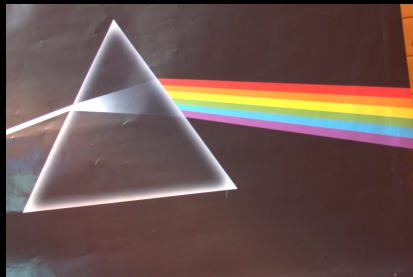
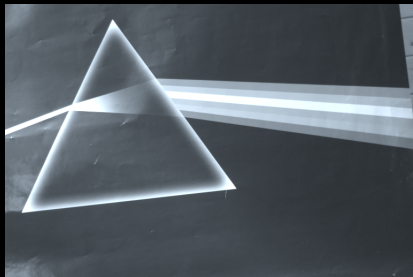
$$h = \arctan \frac{v^*}{u^*}.$$



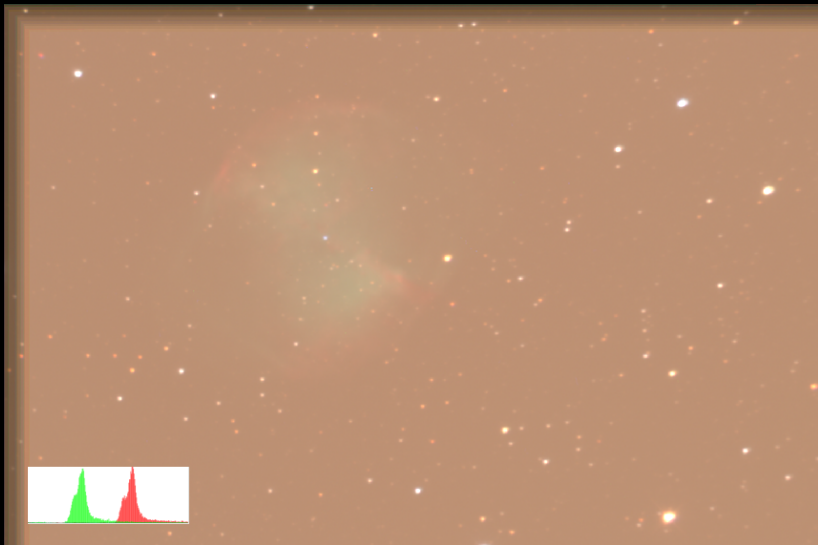
# Simulovaná změna citlivosti



# Simulovaná změna saturace



# Sodíkové pozadí



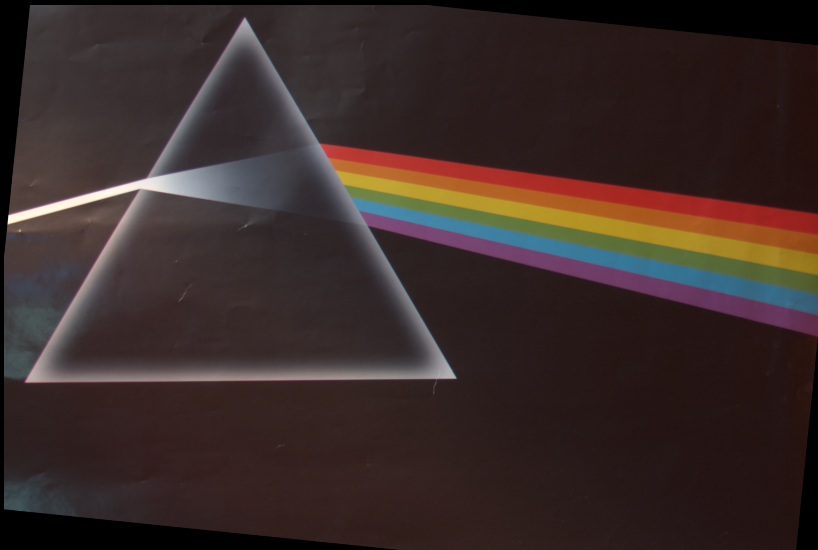
## Transformace XYZ do sRGB

$$\begin{pmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.2410 & -1.5374 & -0.4986 \\ -0.9692 & 1.8760 & 0.0416 \\ 0.0556 & -0.2040 & 1.0570 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

$$g(x) = \begin{cases} 12.92x, & x \leq 0.0031308, \\ 1.055x^{1/2.4} - 0.055, & x > 0.0031308 \end{cases}$$

pro  $R = g(R')$ ,  $G = g(G')$ ,  $B = g(B')$ .

# CCD na MonteBoo ve dne





# Barevné snímky

## Postup zpracování

- standardní preprocessing (dark, flat)
- pouze barevná transformace
- žádné další vylepšování
- skládané snímky

## Barevné transformace

- pořízení snímků v instrumentálním systému  $b,v,r$
- přepočítání do BVR (standardní toky v astronomii)
- přepočítání z BVR do XYZ (standardní v technice)
- přepočítání do sRGB (pro zobrazení)

# Spirální mlhovina v Trojúhelníku



# Krabí mlhovina



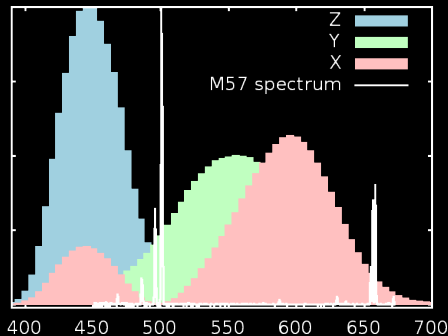
# Mlhovina činka



# Prstencová mlhovina



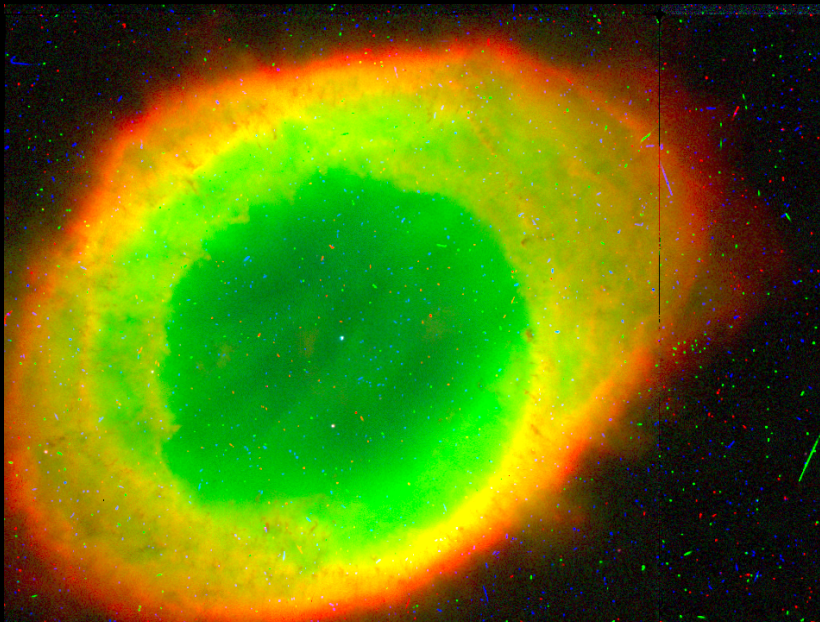
# Barva Prstencové mlhoviny ze spektra



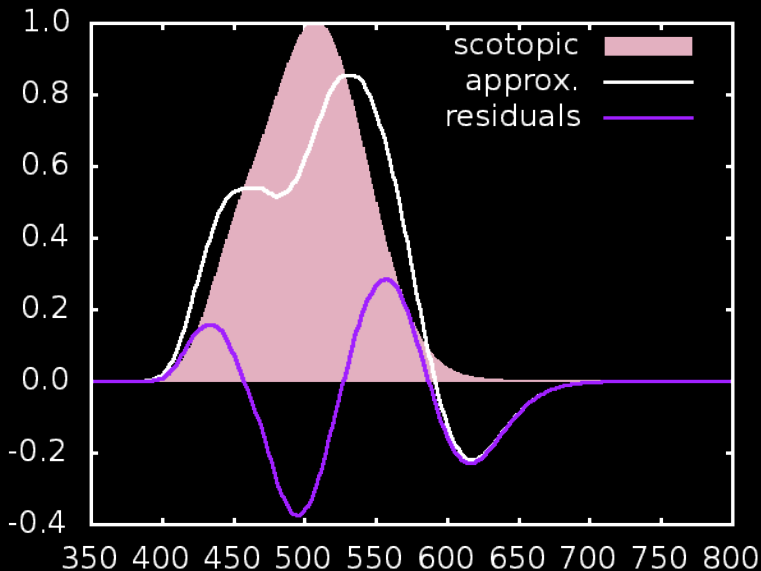
$$X = \int_0^{\infty} I_{M57}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = \dots, \quad Z = \dots$$



# Prstencová mlhovina z vesmírného dalekohledu



## Noční vidění





# Krabí mlhovina v pravých barvách



# Činka v pravých barvách



# Prstencová mlhovina v pravých barvách



## Credits

M1 (slide 31,37) a M27 (slide 32,38)

- J.Poedniková, O. Urban, M. Kocka
- MonteBoo, 0.62 m, CCD (ST8XME) + Johnson BVRI

M57 (slide 33,39)

- T.Henych, T.Krejčová, B.Mikulecká a SD
- MonteBoo, 0.62 m, CCD (ST8XME) + Johnson BVRI







Spektrum M57 ([4], slide 34)

- Ch. Buil
- 5-in refractor


HST data archive acknowledgment (slide 35)


- Based on observations made with the NASA/ESA Hubble Space Telescope, obtained from the data archive at the Space Telescope Science Institute. STScI is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. under NASA contract NAS 5-26555.


## Reference – I.


-  <http://www.physics.muni.cz/~hroch/charmony.pdf>
-  [http://is.muni.cz/th/106183/prif\\_b/jilkovabp.pdf](http://is.muni.cz/th/106183/prif_b/jilkovabp.pdf)  
Jílková, L.: Bakalářská práce, Brno 2006
-  <http://adsabs.harvard.edu/abs/1992AJ...104..340L>  
Landolt, A.: UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator
-  <http://cvr1.ioo.ucl.ac.uk/index.htm>  
CIE XYZ, D65 a skotopické profily.
-  <http://astrosurf.com/buil/us/spe6/planet.htm>  
Ch. Buil: Spektra planetárních mlhovin
-  <http://integral.physics.muni.cz/munipack>  
Developed for Munipack


## Reference – II.


 <http://seds.org/messier/m/m033.html>, [m001.html](http://seds.org/messier/m/m001.html),  
[m027.html](http://seds.org/messier/m/m027.html), ...

 [http://en.wikipedia.org/wiki/Planetary\\_nebula](http://en.wikipedia.org/wiki/Planetary_nebula)

 [http://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert_space)

 [http://en.wikipedia.org/wiki/SRGB\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/SRGB_color_space)

 [http://en.wikipedia.org/wiki/CIELUV\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/CIELUV_color_space)

 [http://en.wikipedia.org/wiki/CIE\\_1931\\_color\\_space](http://en.wikipedia.org/wiki/CIE_1931_color_space)