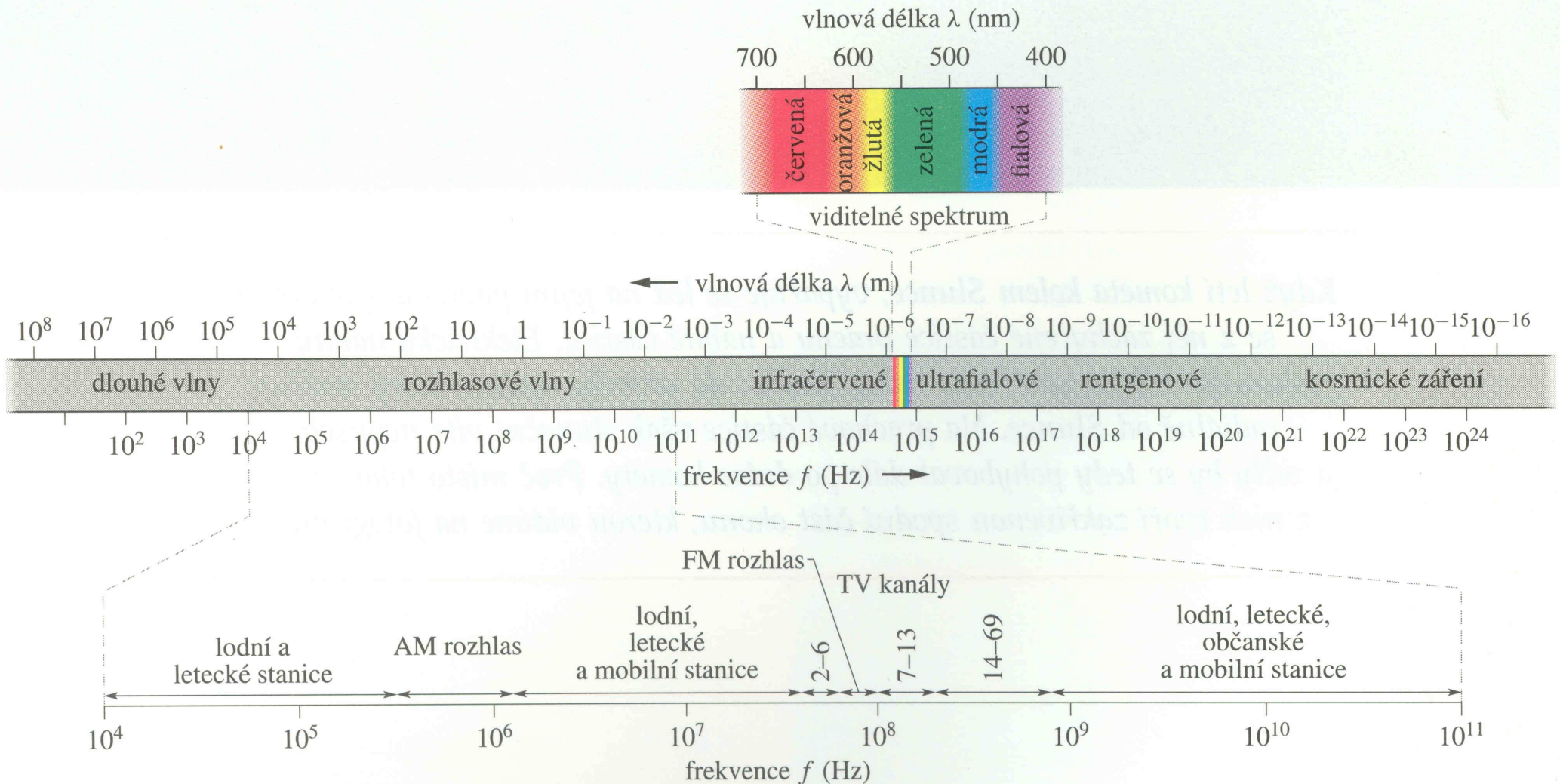


Viditelné světlo

Spektrum elektromagnetického záření

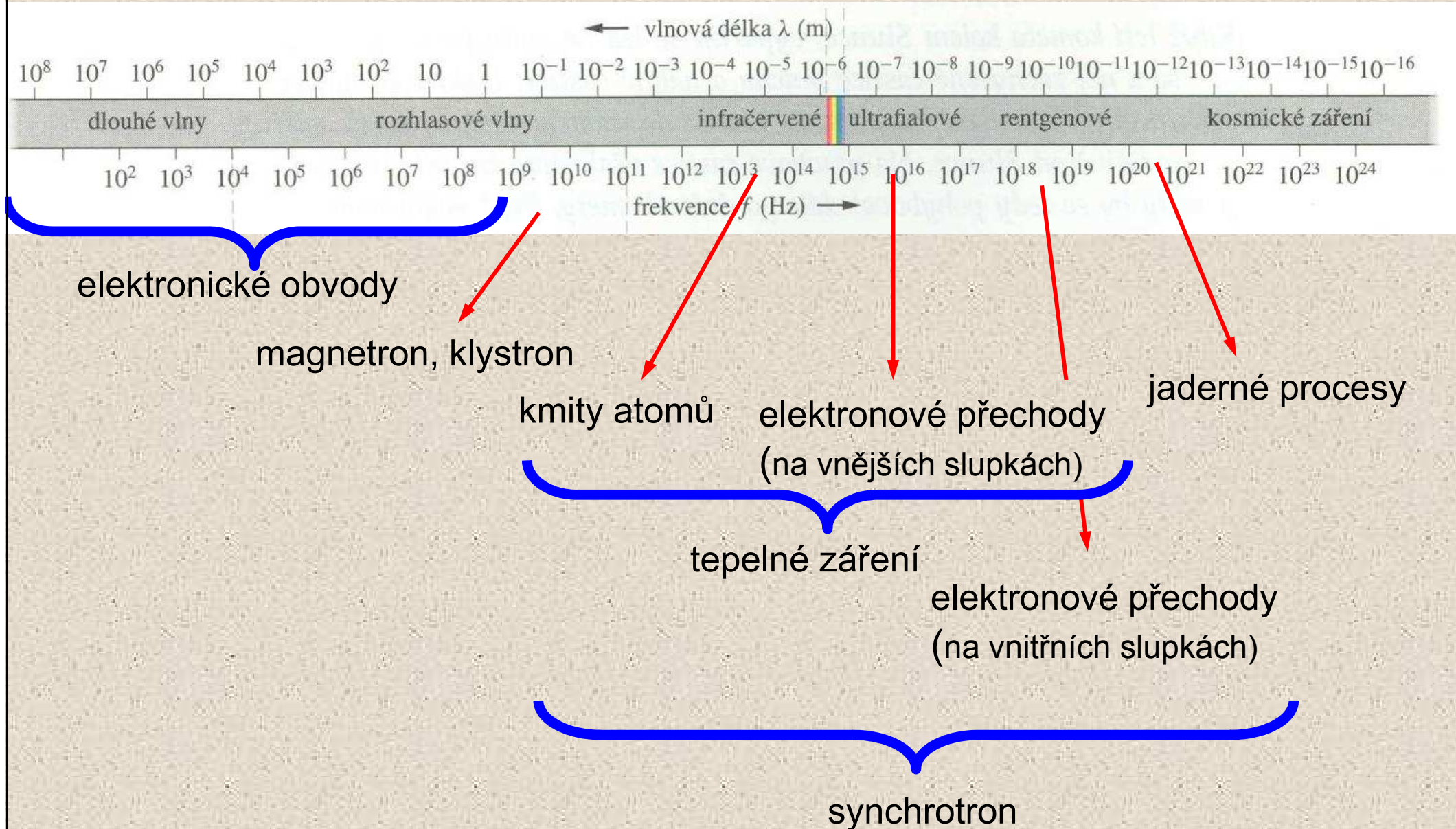


Viditelné světlo: 390 – 760 nm

3,4 –

1,6 eV – $1,6 \cdot 10^{-19}$ J

Spektrum elektromagnetického záření



Tři největší synchrotrony na světě:



APS (Advanced Photon Source)

USA



ESRF (European Synchrotron Radiation Facility)

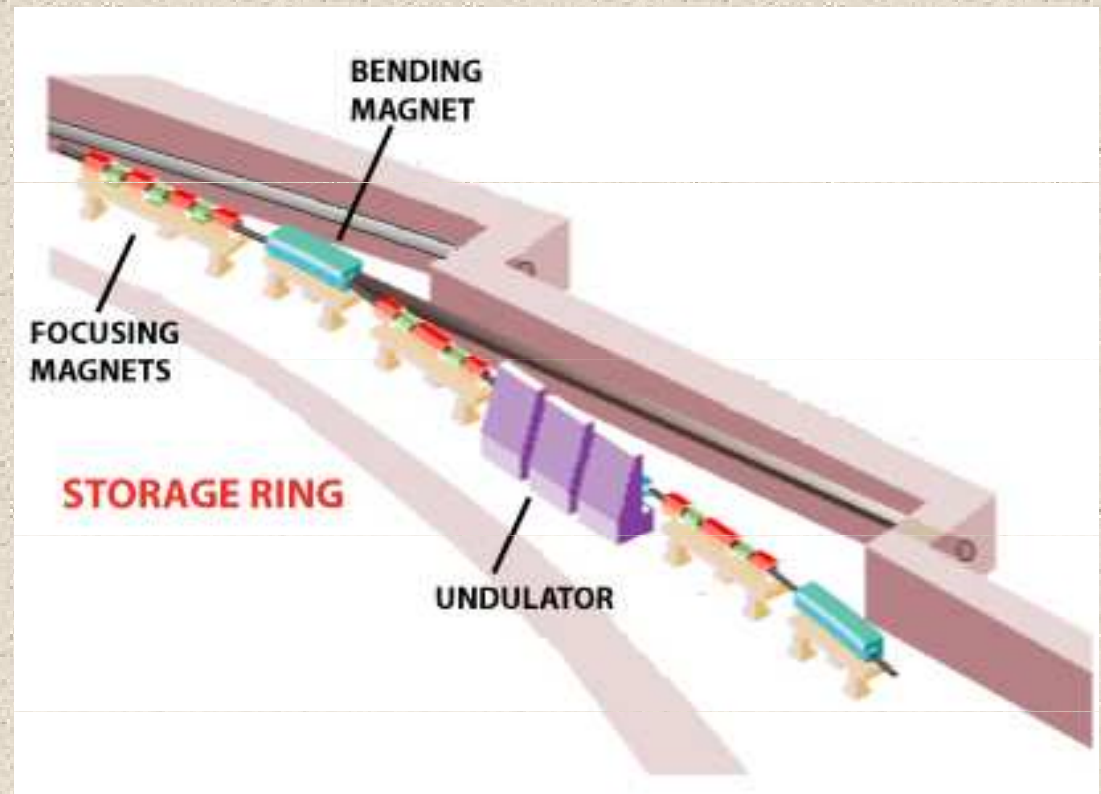
Francie



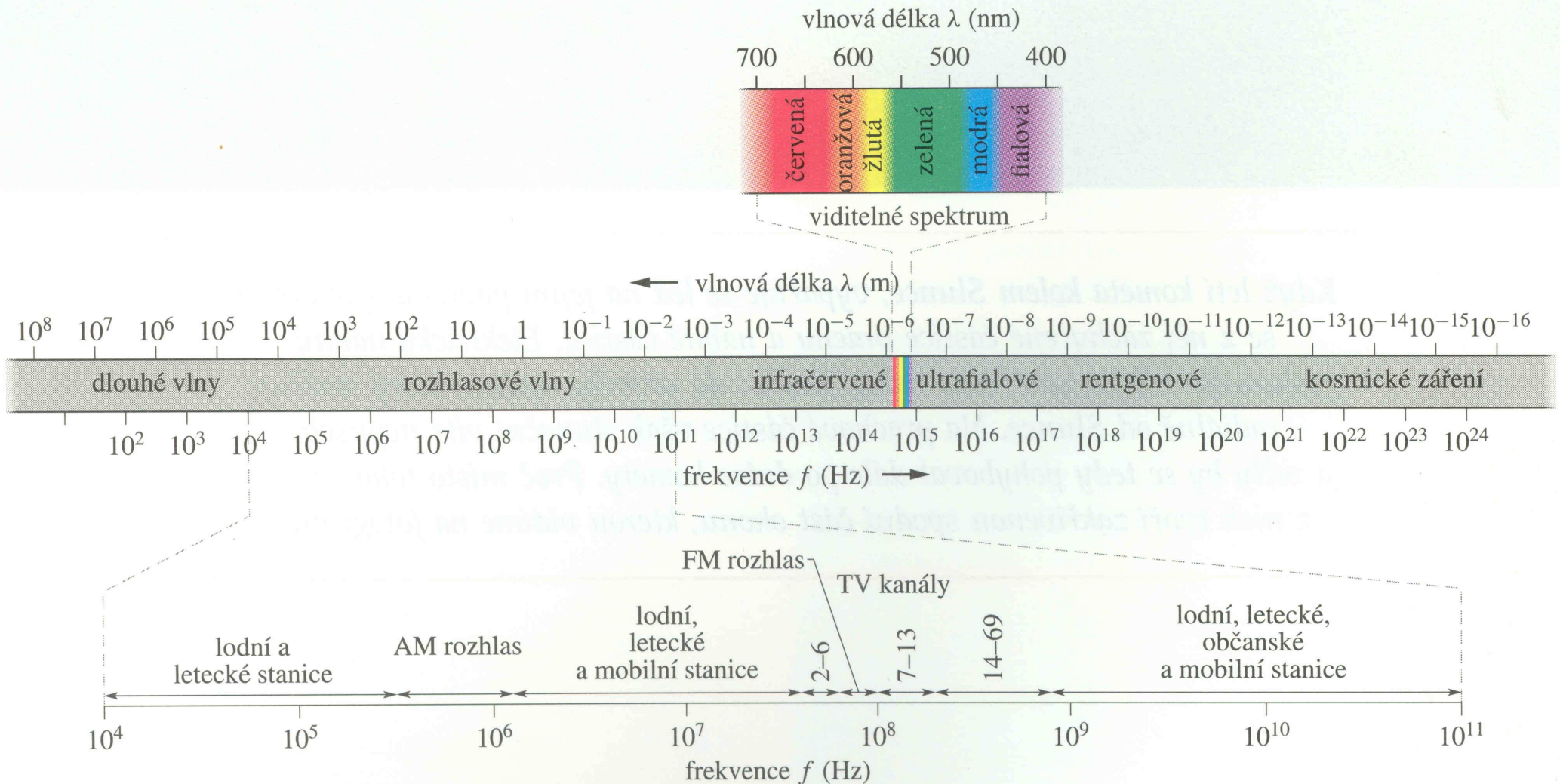
Spring 8
Japonsko



<http://www.esrf.eu/AboutUs/GuidedTour/Anim2>



Spektrum elektromagnetického záření



Proč?

UV záření

Viditelné světlo

IR záření

Nemohlo by tomu být jinak?

mohlo by oko vidět ve
vzdálenější UV oblasti?

NE!

mohlo by oko vidět ve
vzdálenější IR oblasti?

Existují fyzikální důvody, proč oko vidí právě „viditelné světlo“?

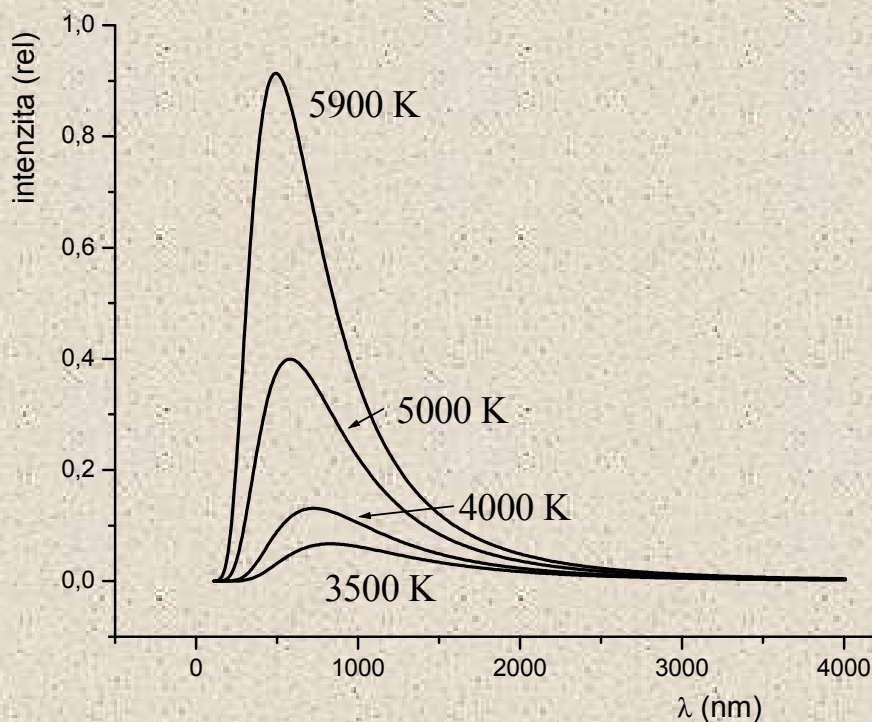
ANO!

1) Právě tak svítí Slunce!

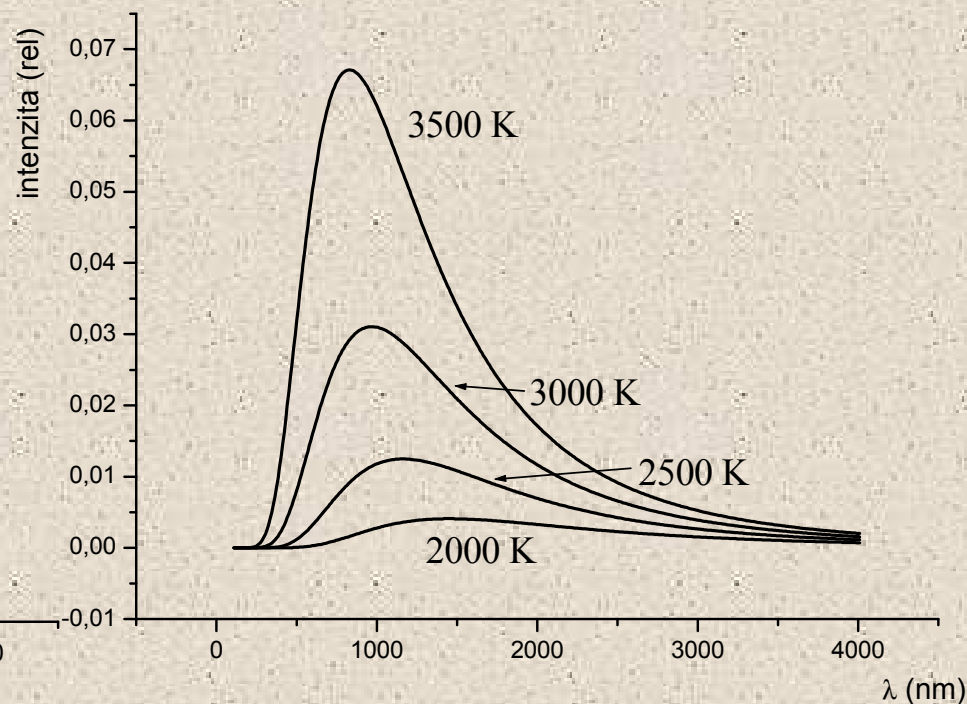
záření „černého tělesa“

$$H(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/k\lambda T} - 1)}$$

Planckův
vyzařovací zákon



vyšší teploty



nižší teploty

$$H_o = \sigma T^4,$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

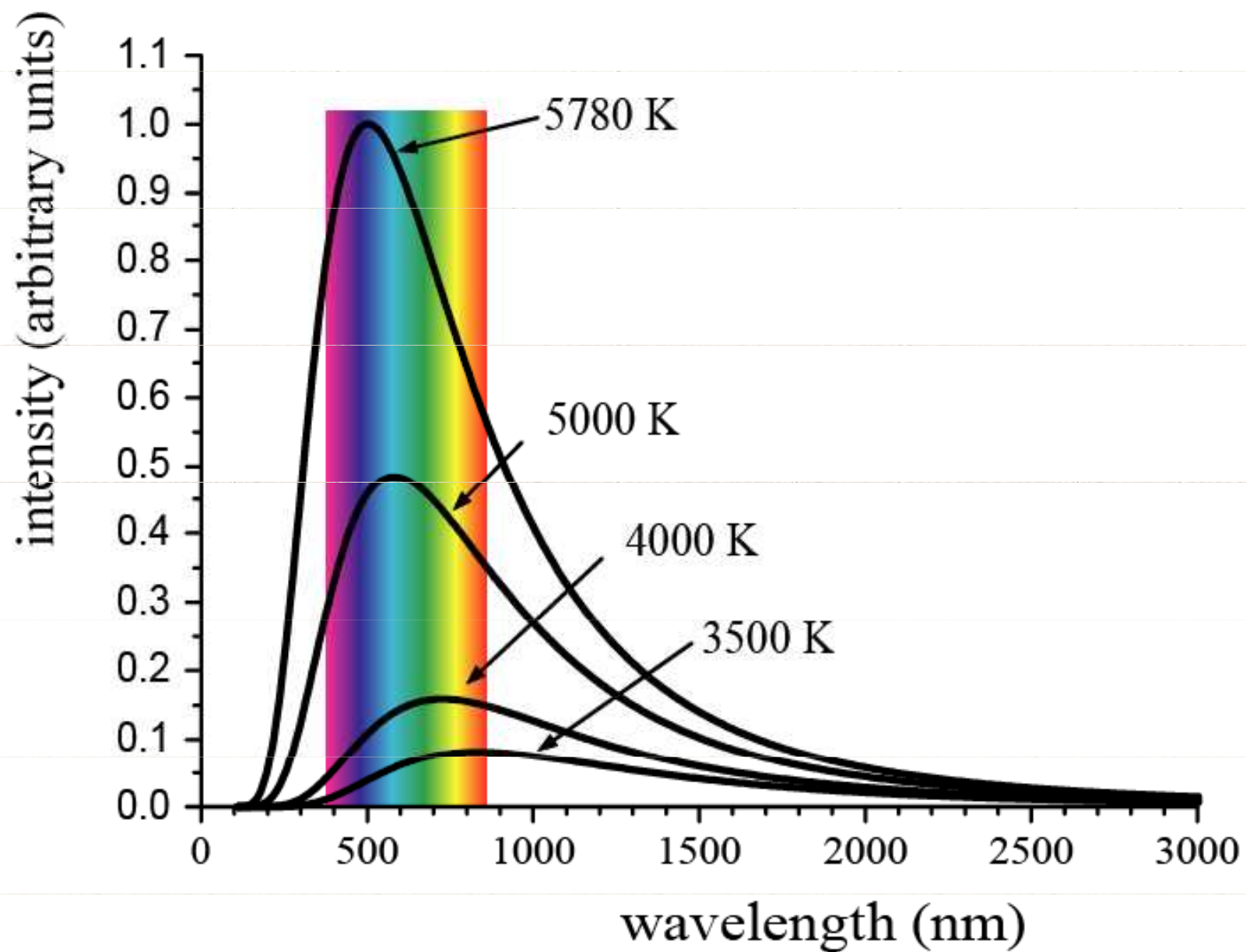
Stefanův-Boltzmanův
zákon

$$\lambda \cdot T = b,$$

$$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

Wienův posunovací
zákon

Právě tak svítí Slunce!



2) Absorpce v zemské atmosféře je malá

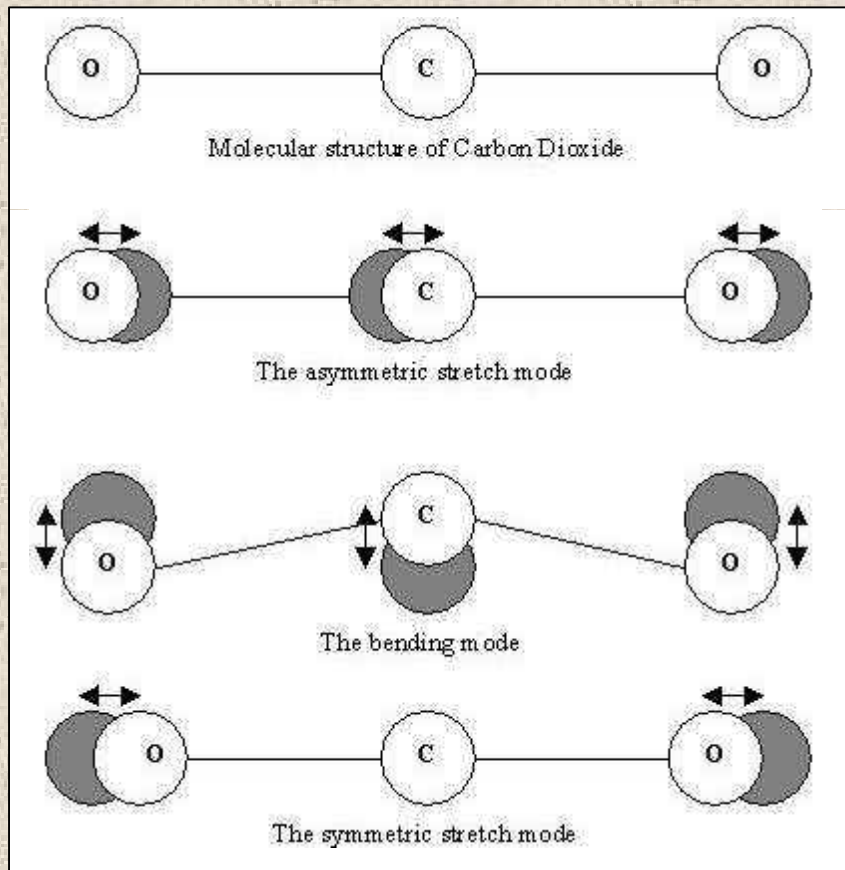
absorpce elektromagnetického záření

IR oblast – kmity molekul

VIS a UV oblast – elektronové přechody

IR oblast – kmity molekul

kmity molekuly CO_2



elektronegativita uhlíku = 2,55

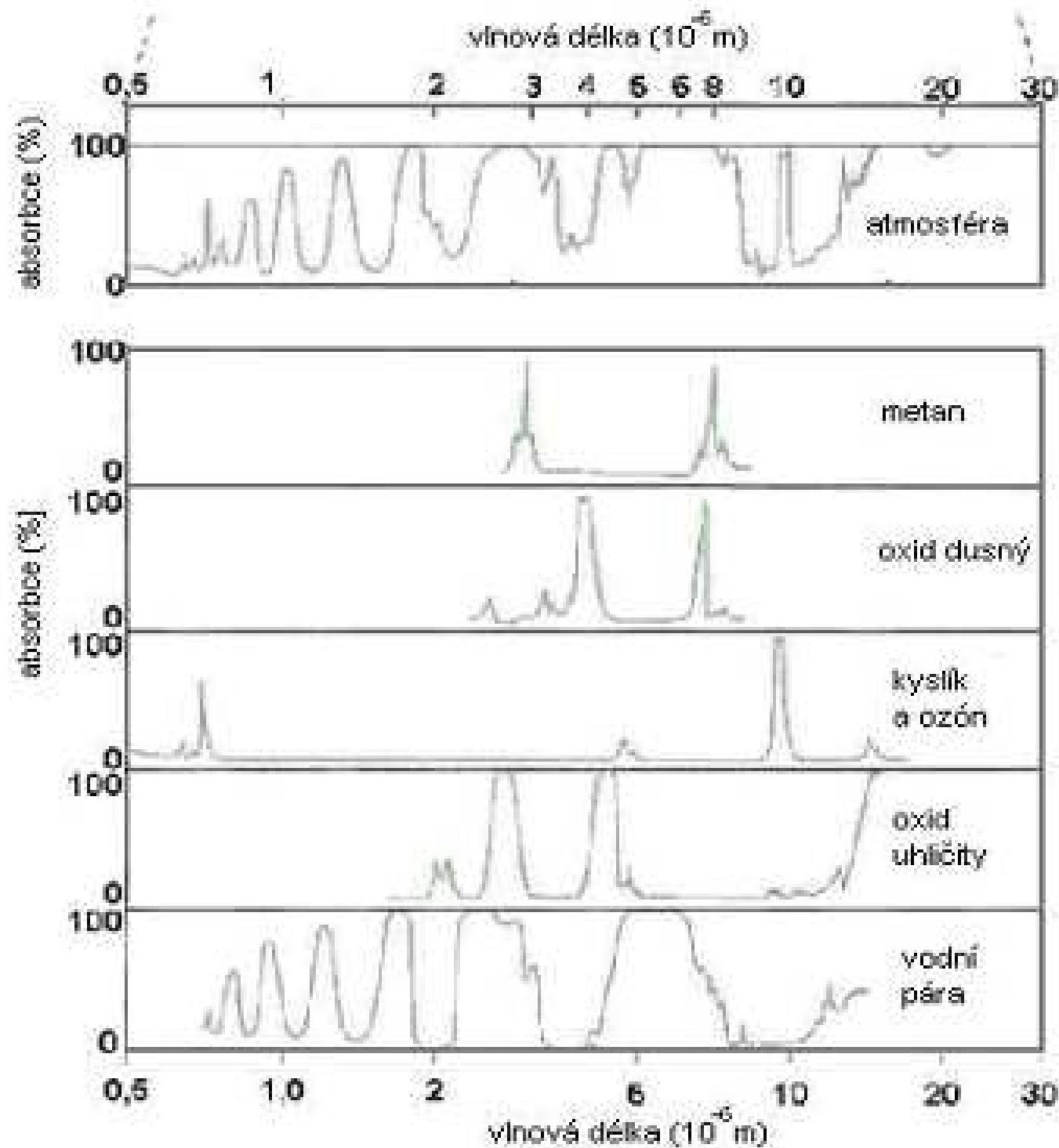
elektronegativita kyslíku = 3,44

absorpce na $4,26 \mu\text{m}$

absorpce na $15 \mu\text{m}$

pro absorpci neaktivní

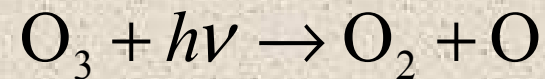
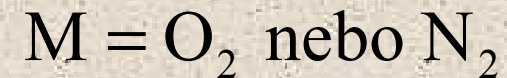
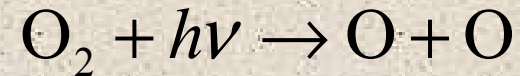
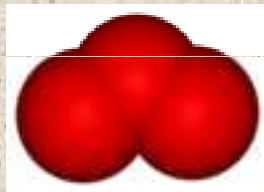
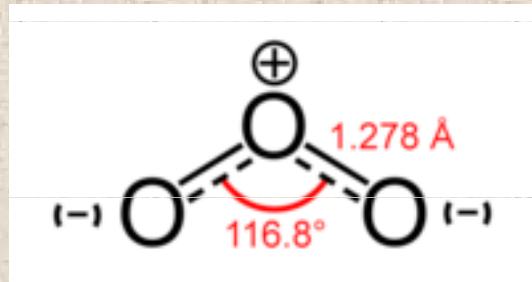
IR oblast:



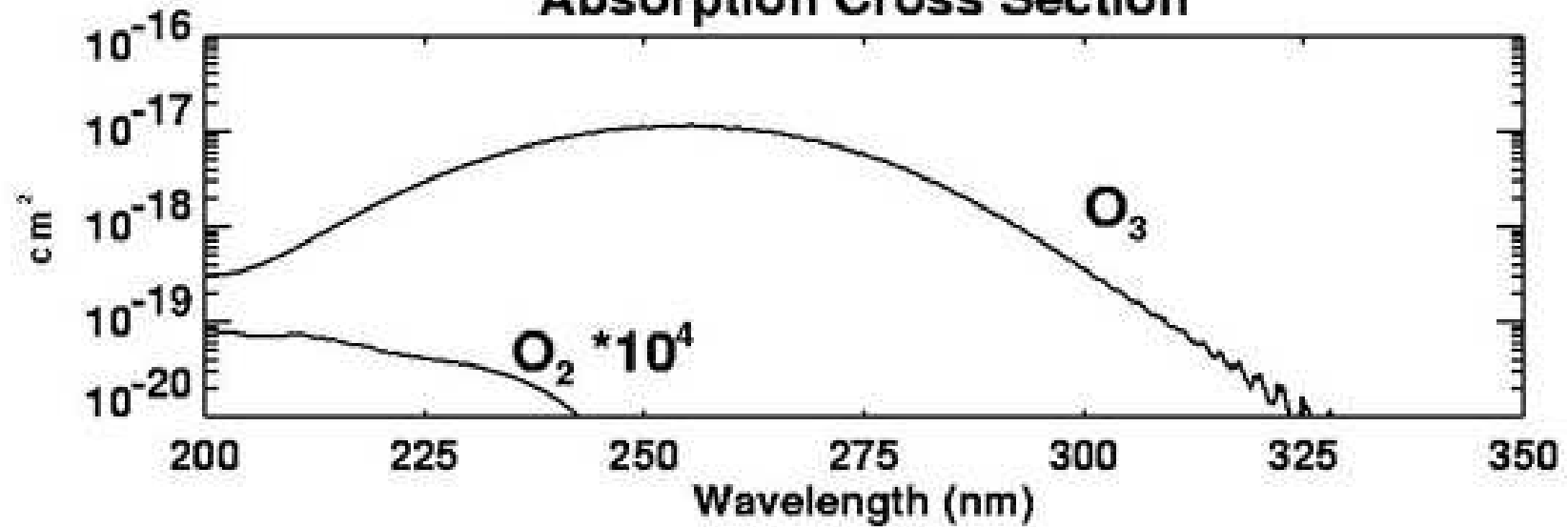
<http://nov55.com/ntyg.html>

VIS a UV oblast – elektronové přechody (chemické vazby)

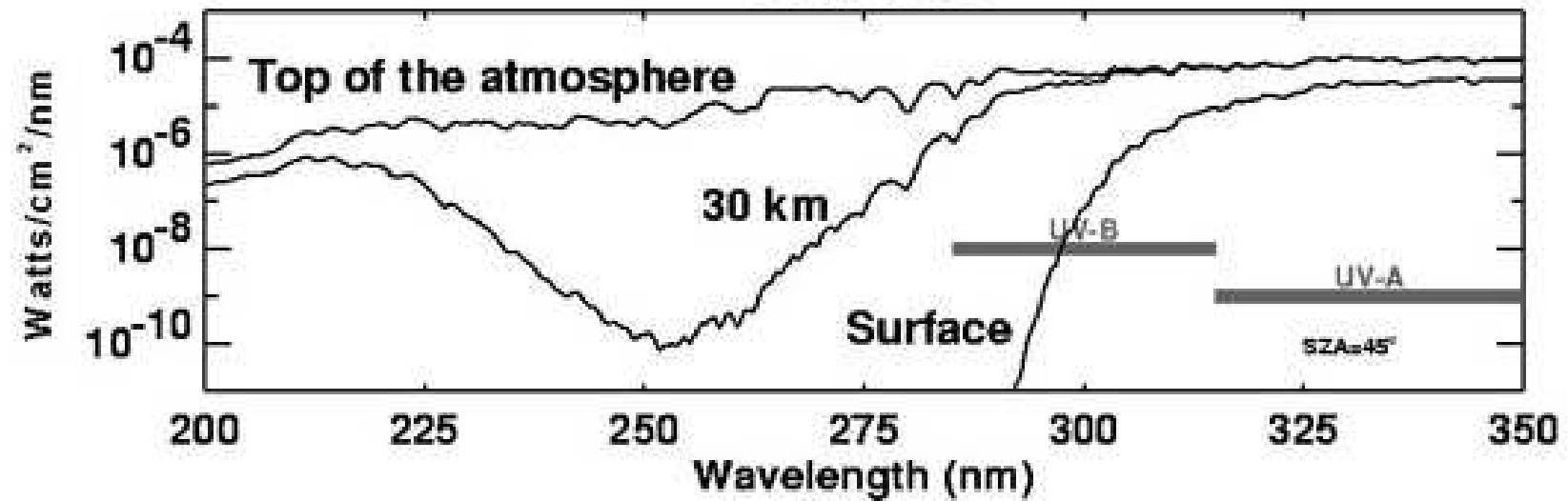
molekula ozonu



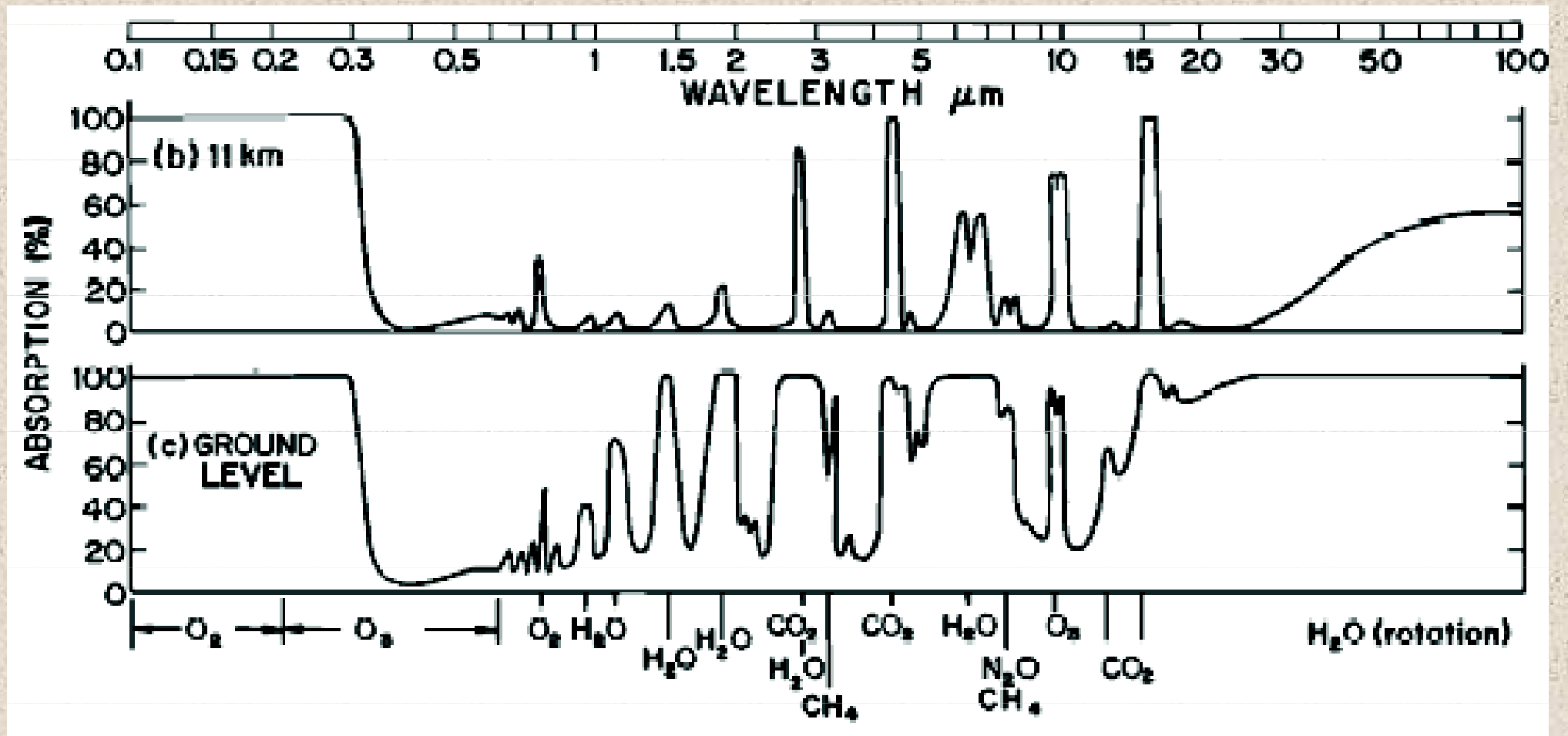
Absorption Cross Section



Solar flux



absorpce v atmosféře celkem



Viditelného světla je dost!

a to stačí

netřeba hledat další argumenty

ale další argumenty existují!

Proč nevidíme ve vzdálenější UV oblasti?

3) Nelze bez poškození detekovat vysokoenergiový foton

Absorpce fotonu – transformace molekuly rodopsinu

energie chemické vazby	od	0,01 eV (van der Waalsova)
	do	5 eV (kovalentní)

energie fotonu vid. světla	od	1,6 eV (červená)
	do	3,4 eV (fialová)

Foton s větší energií – nekontrolovatelné poškození tkáně

spáleniny po opalování

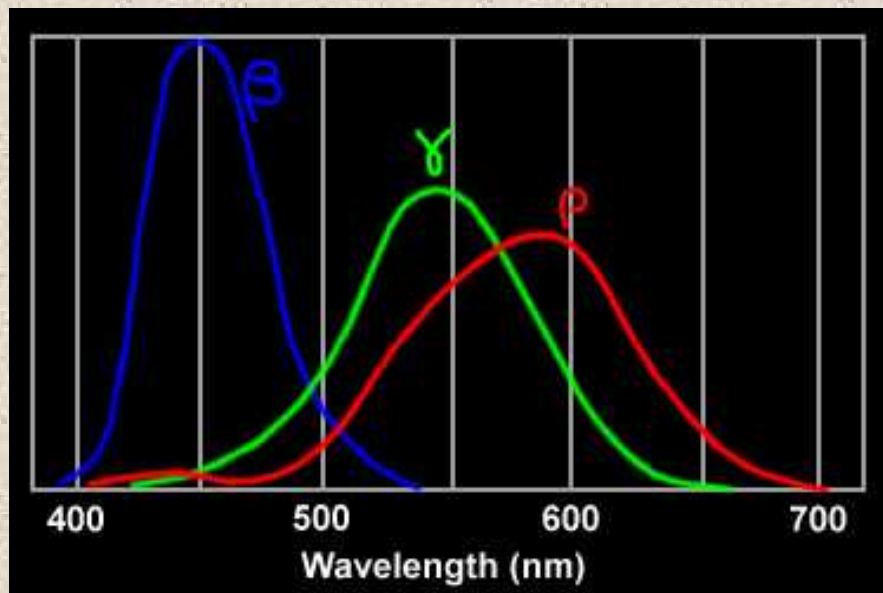
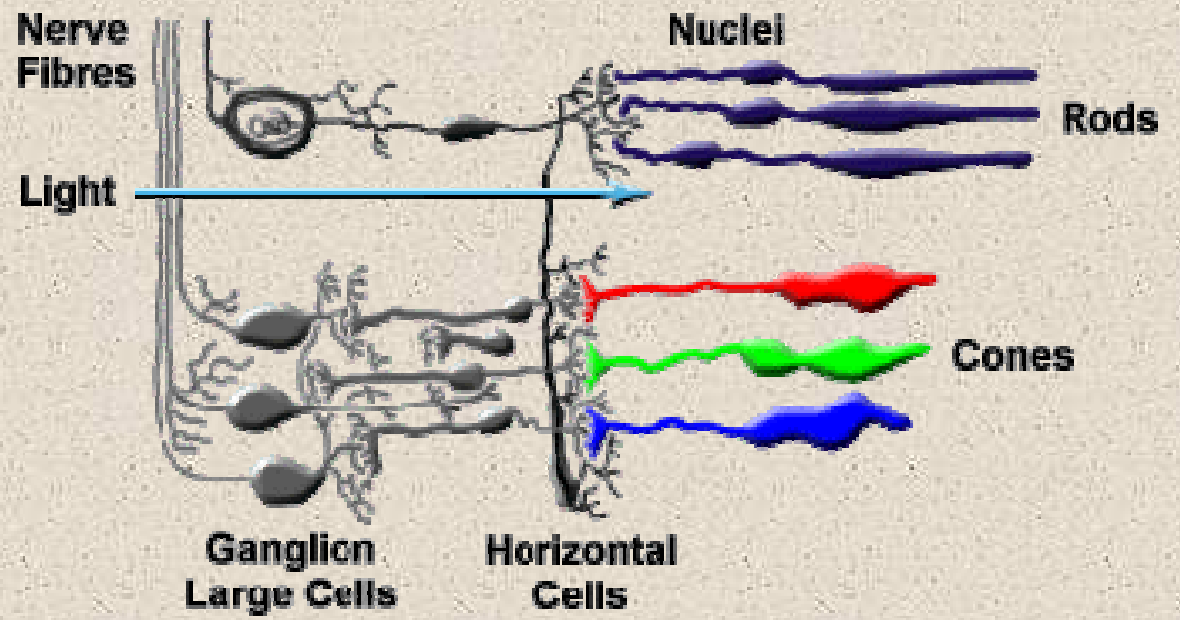
xeroderma pigmentosum



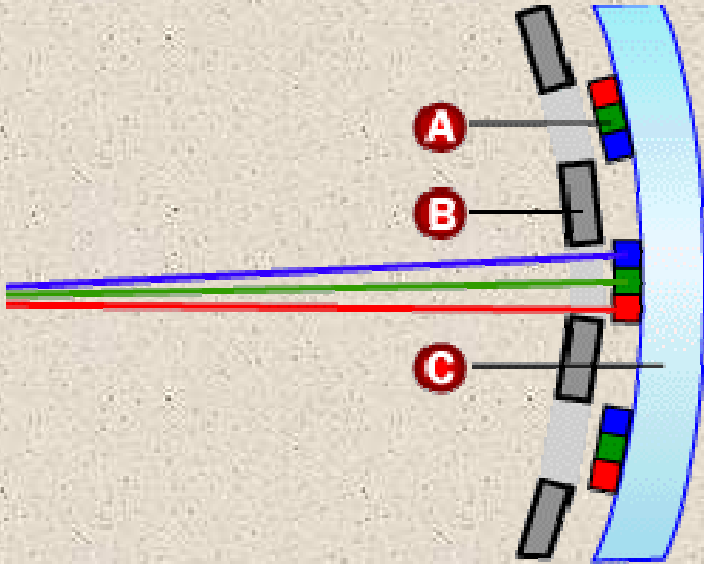
měsíční děti



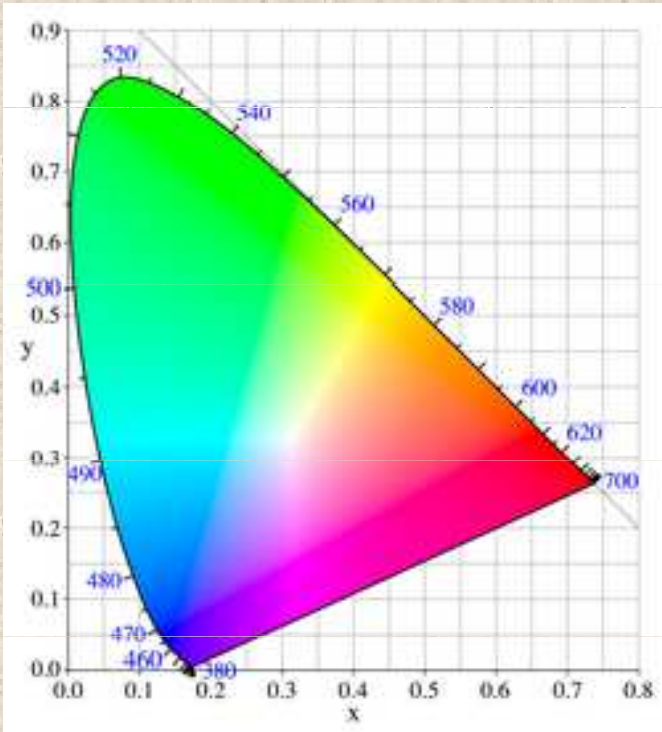
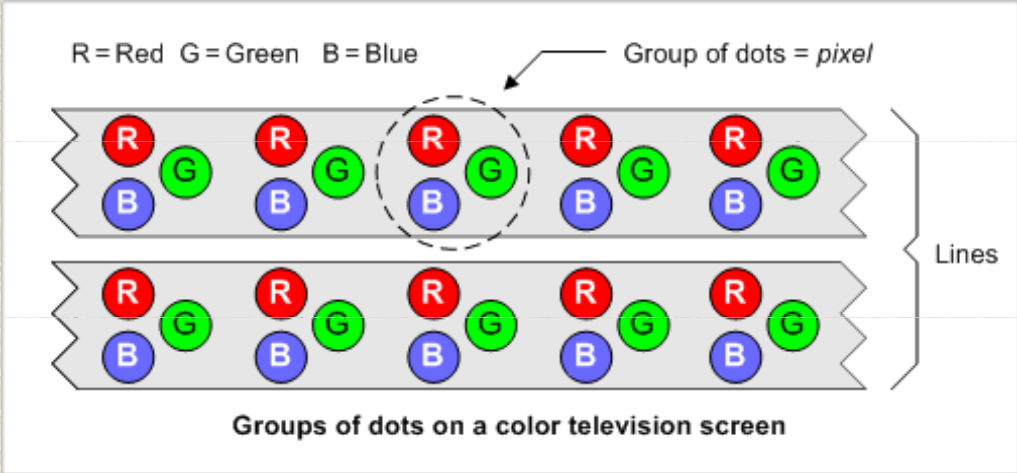
The Retina



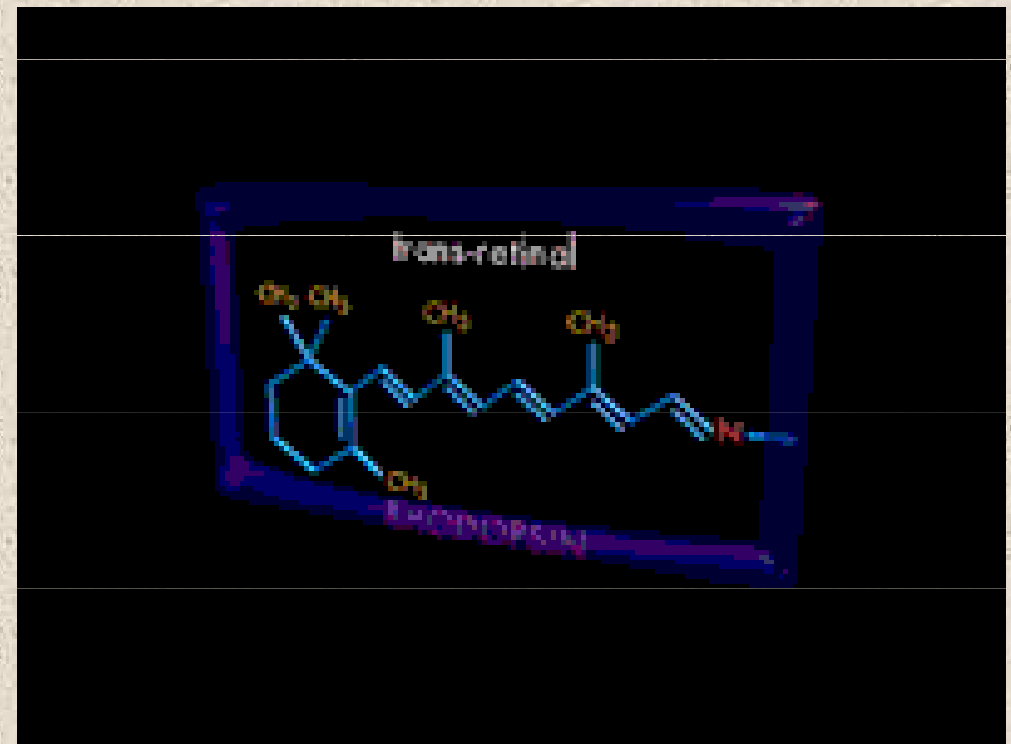
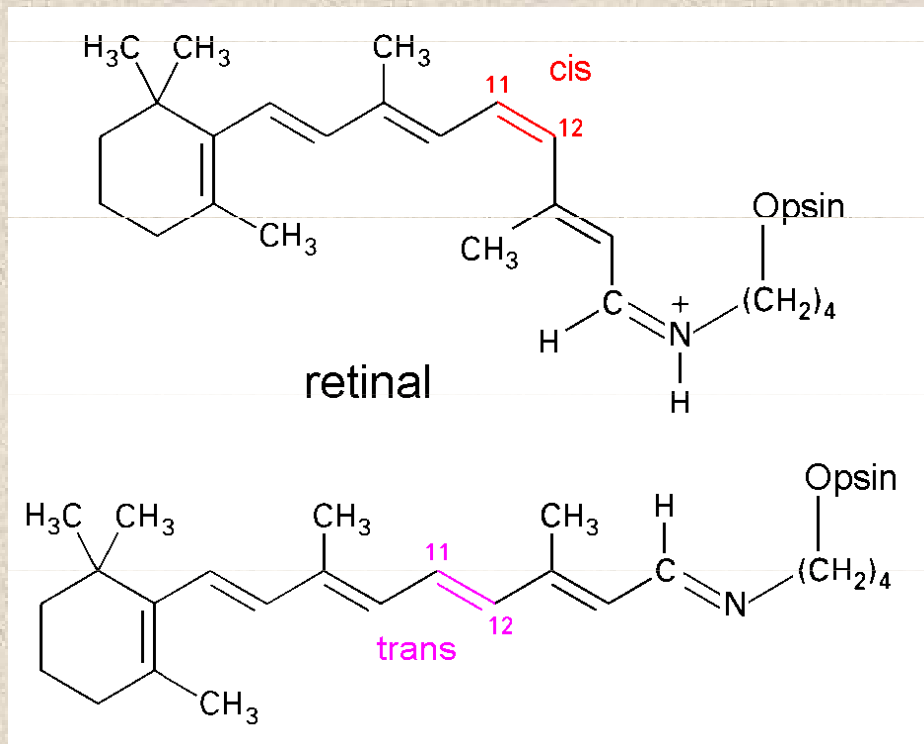
barevná obrazovka

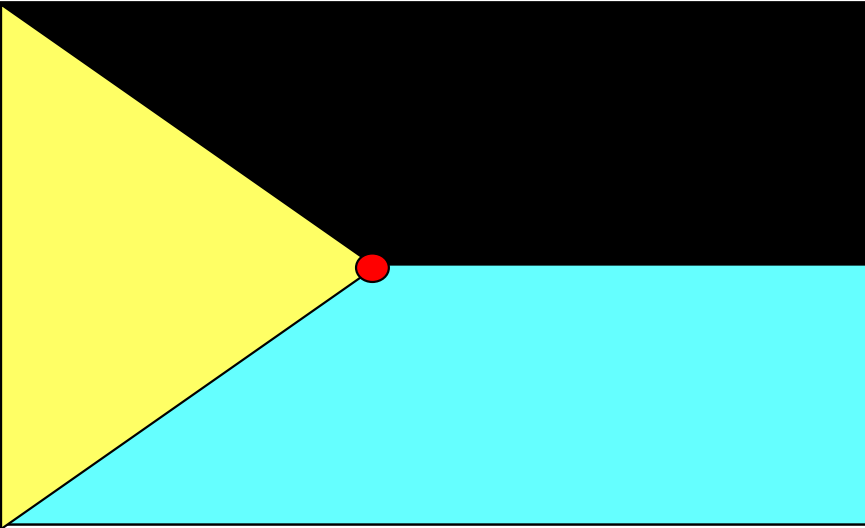


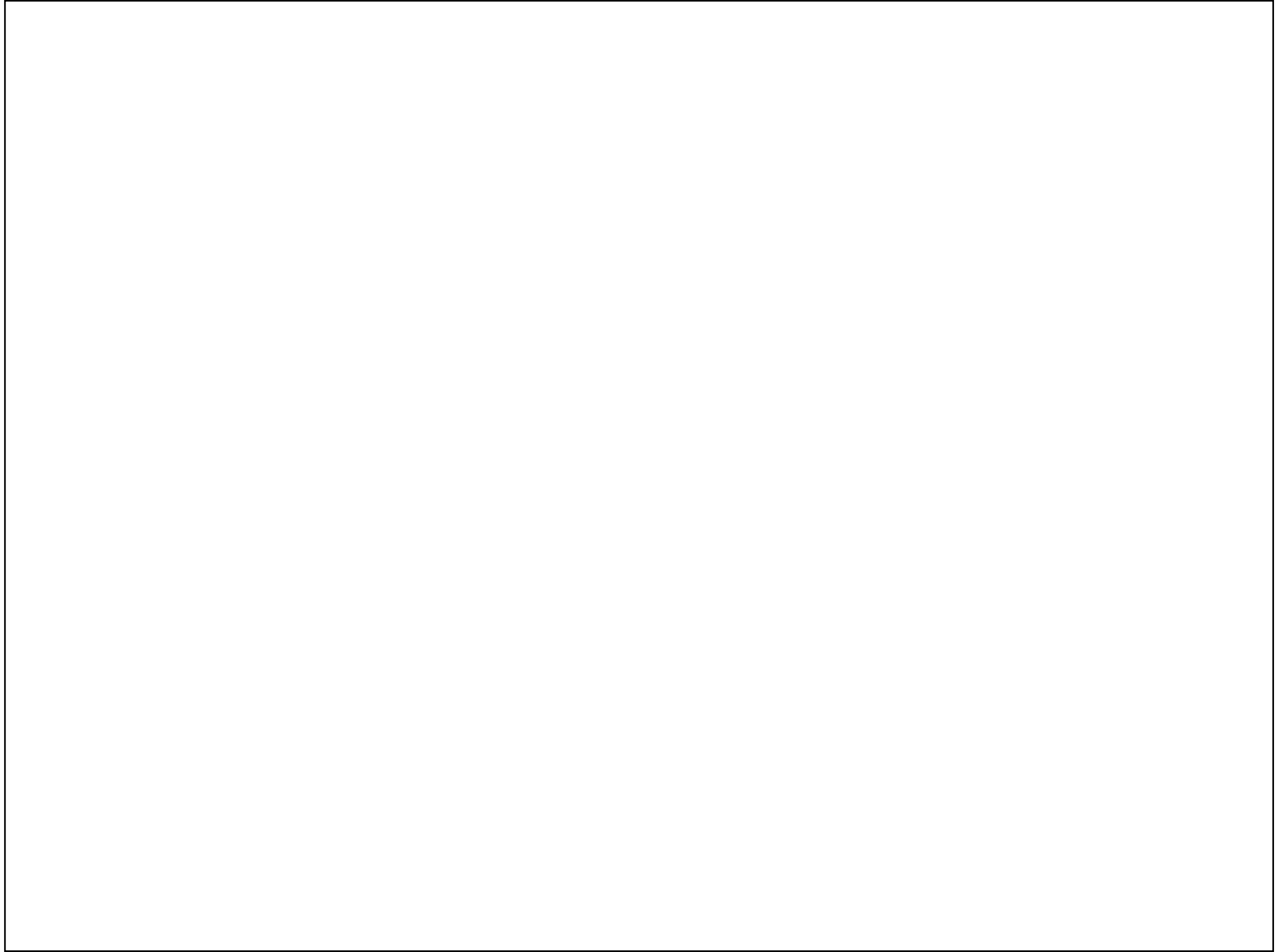
©2000 Hewlitt-Packard

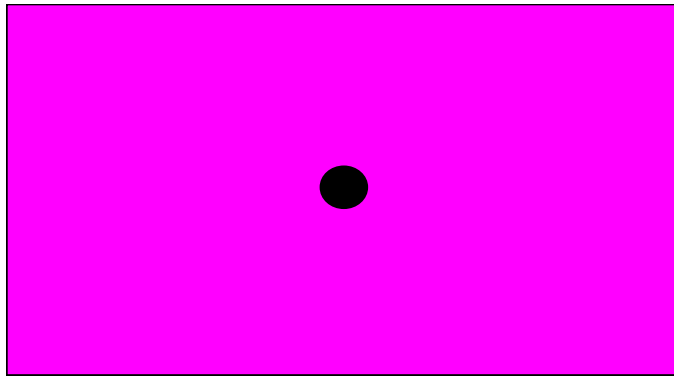


Po absorpci fotonu rodopsinem nutný návrat zpět
– rekonstrukce chemických vazeb









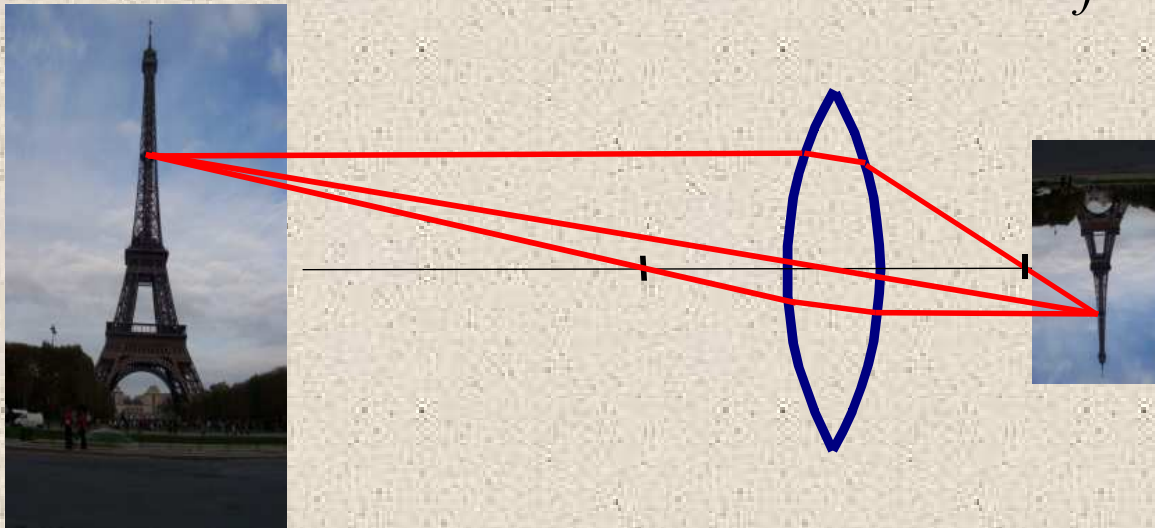


Proč nevidíme ve vzdálenější UV oblasti?

4) Nelze dosáhnout zobrazení okolní scény na sítnici

Oko – spojná
zobrazovací soustava

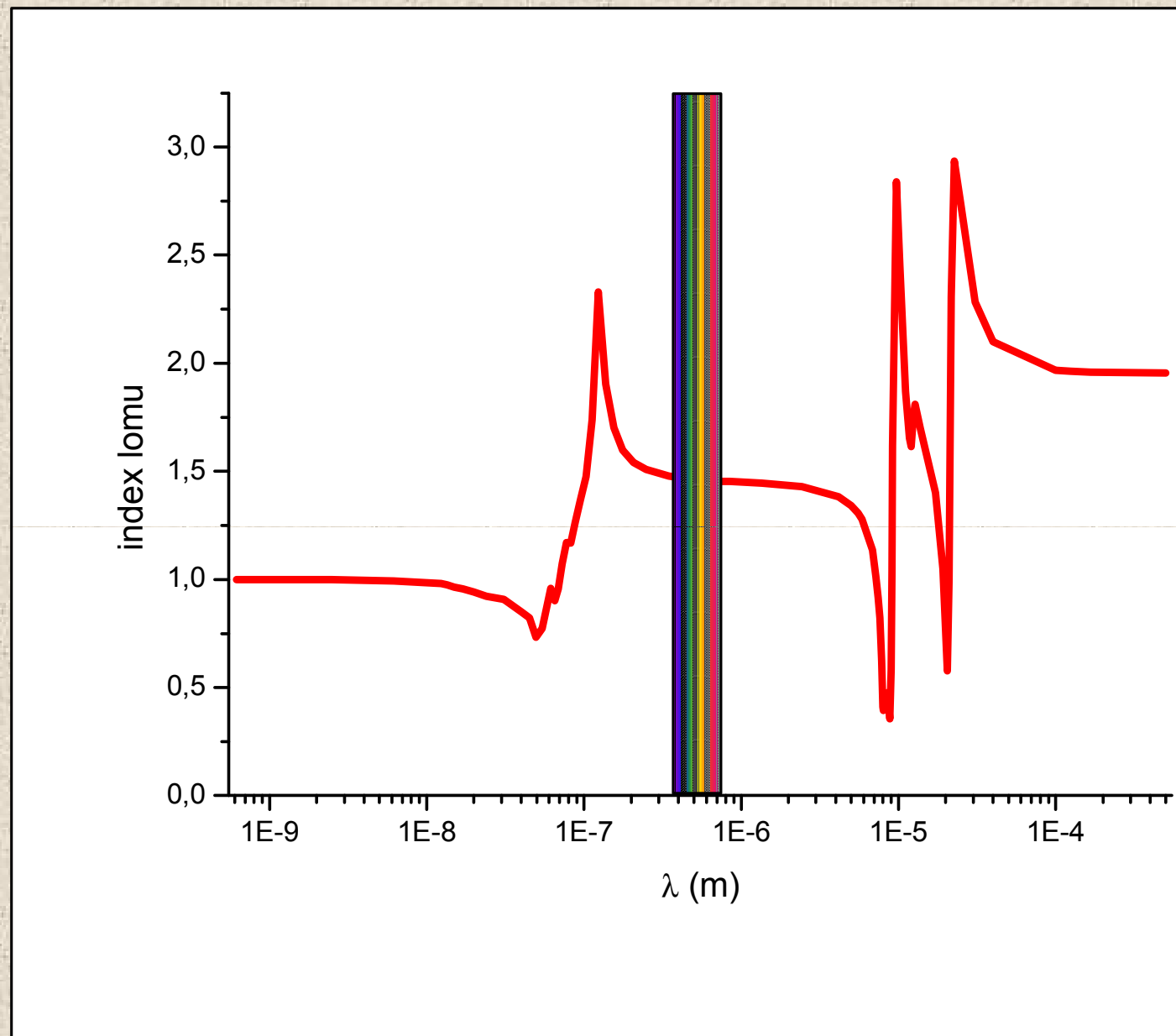
$$\frac{1}{f} = \frac{n - n_o}{n_o} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



$n_o = 1$, (vakuum, vzduch)

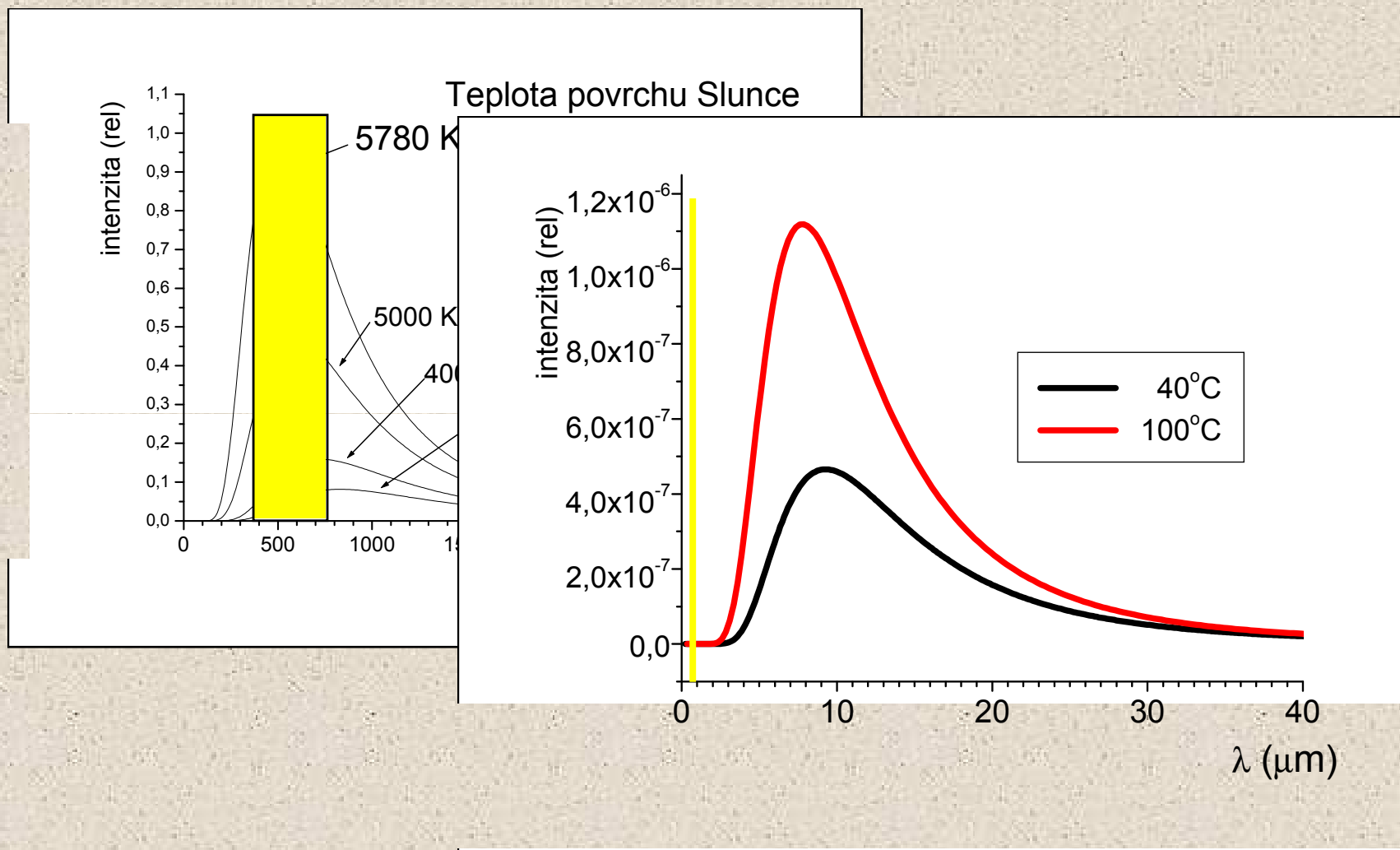
potřebujeme $n > 1$

index lomu – křemenné sklo



Proč nevidíme ve vzdálenější IR oblasti?

5) V IR oblasti záříme my sami



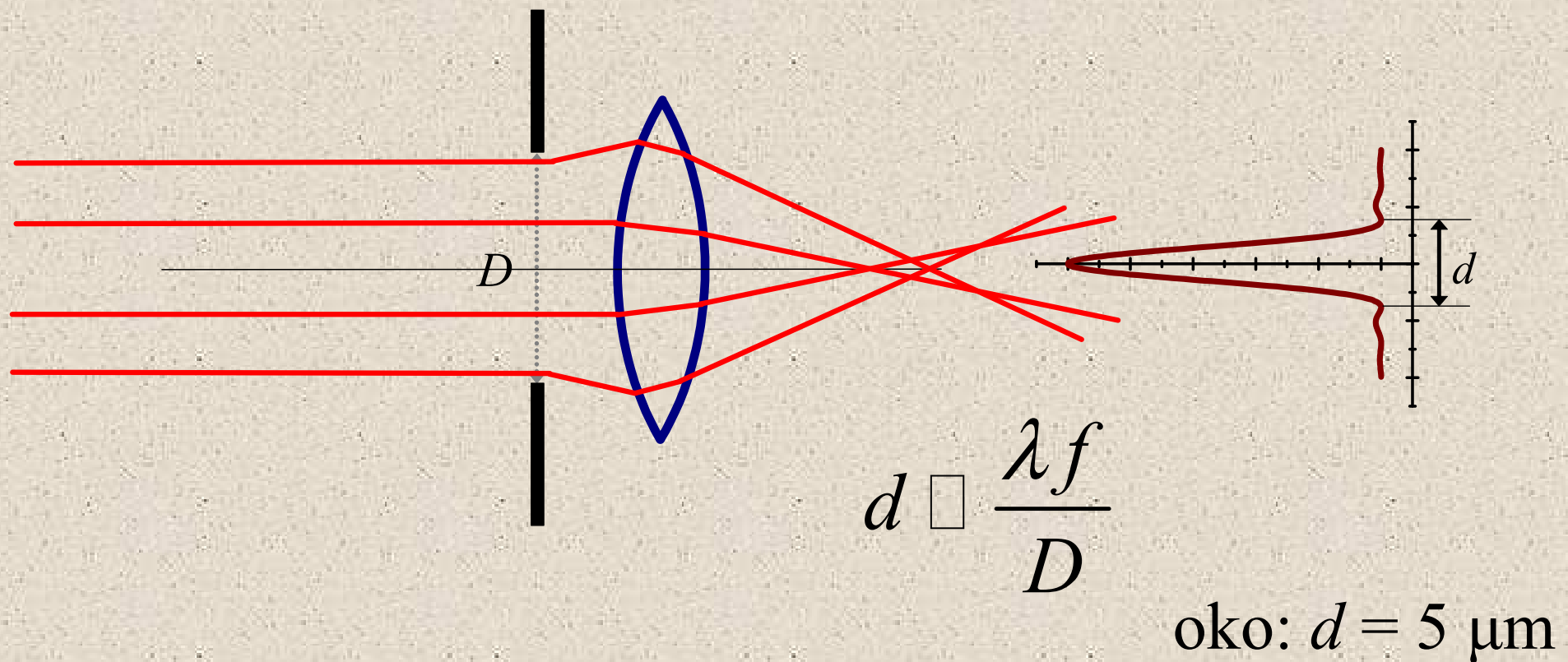
Záhada: „hadí oči“?

citlivost do $10\mu\text{m}$, detekce 37°C na 1 m



Proč nevidíme ve vzdálenější IR oblasti?

6) Dlouhé vlny se snáze ohýbají



Celkem tedy:

- V oblasti viditelného světla nejvíce svítí Slunce.
- V této oblasti je zemská atmosféra dobře průhledná.
- Chemické vazby mají obdobnou energii jako fotony viditelného světla.
- Látky mají index lomu dostatečně odlišný od jedné.
- Světlo má dostatečně krátkou vlnovou délku, aby ohyb neznemožnil ostré vidění.
- Lidské tělo „viditelné světlo“ nevyzařuje.

Je to vše jen náhoda?

Antropický princip?

Antropický princip (Brandon Carter 1973)

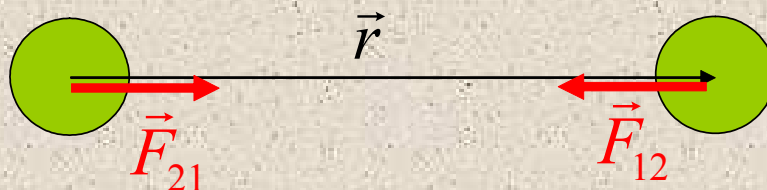
Slabý antropický princip:

Fyzikální vlastnosti vesmíru jsou takové, aby ve vesmíru mohl vzniknout život.

Silný antropický princip:

Parametry vesmíru byly při jeho vzniku nastaveny tak, aby v něm vznikl život (a lidé).

Gravitační konstanta musí být malá



všeobecný gravitační zákon

Coulombův zákon

$$|F_g| = \kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad \kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$$

$$|F_e| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}, \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}$$

proton a elektron:

$$\frac{|F_e|}{|F_g|} = \frac{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}}{\kappa \frac{m_1 m_2}{r^2}} = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27}} = 2,3 \cdot 10^{-39}$$

gravitační interakce je vždy přitažlivá

má velký vliv až pro velké objekty

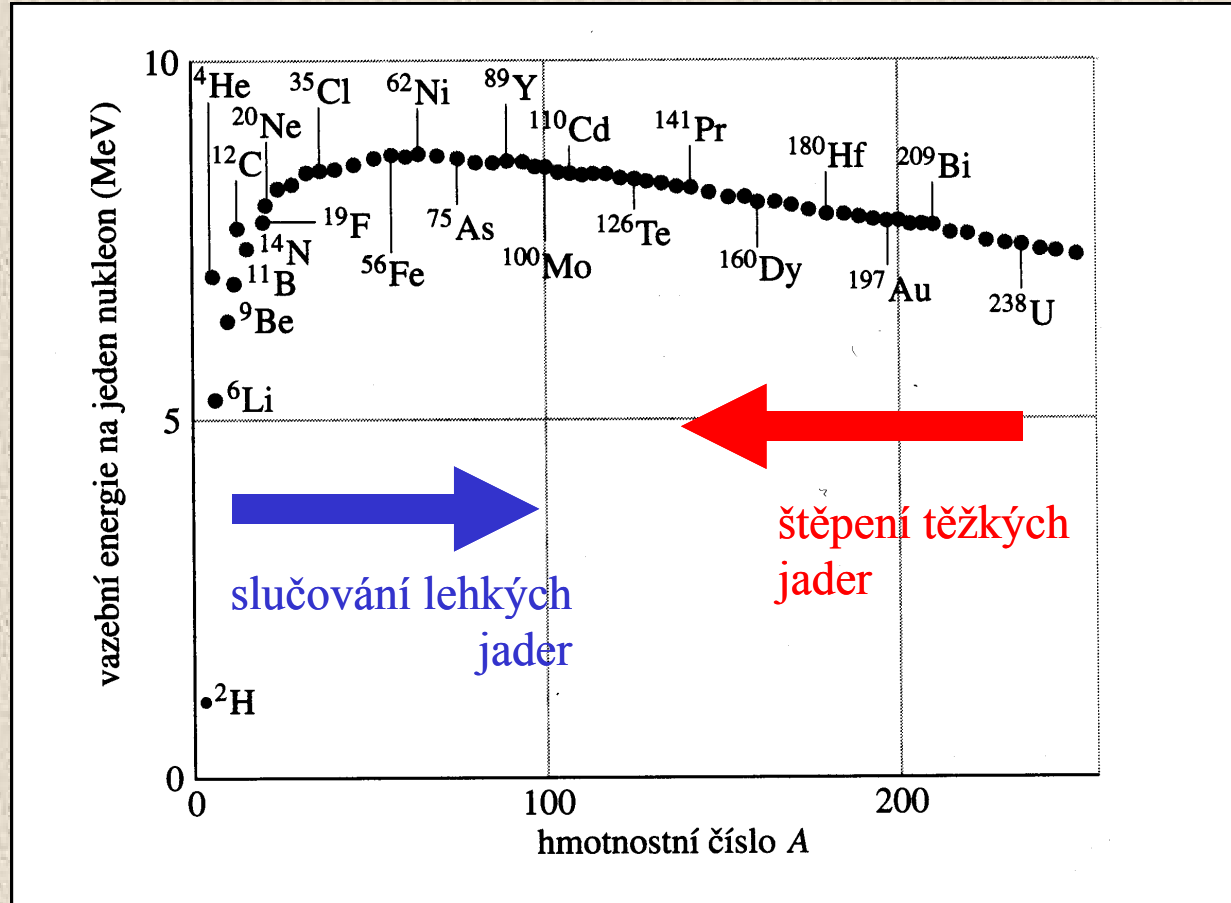
kosmická tělesa – hvězdy – musí být velká

v malých hvězdách by nebylo dost materiálu, aby vydržely svítit
miliardy let

pro vývoj života by nebylo dost času

Nukleární účinnost ε je právě taková, jaká má být

$$E = mc^2$$



$$E_{\text{vazebná}} = \Delta m \cdot c^2$$

sloučení atomu hélia

$$\varepsilon = \frac{\Delta m}{m} = 0,007$$

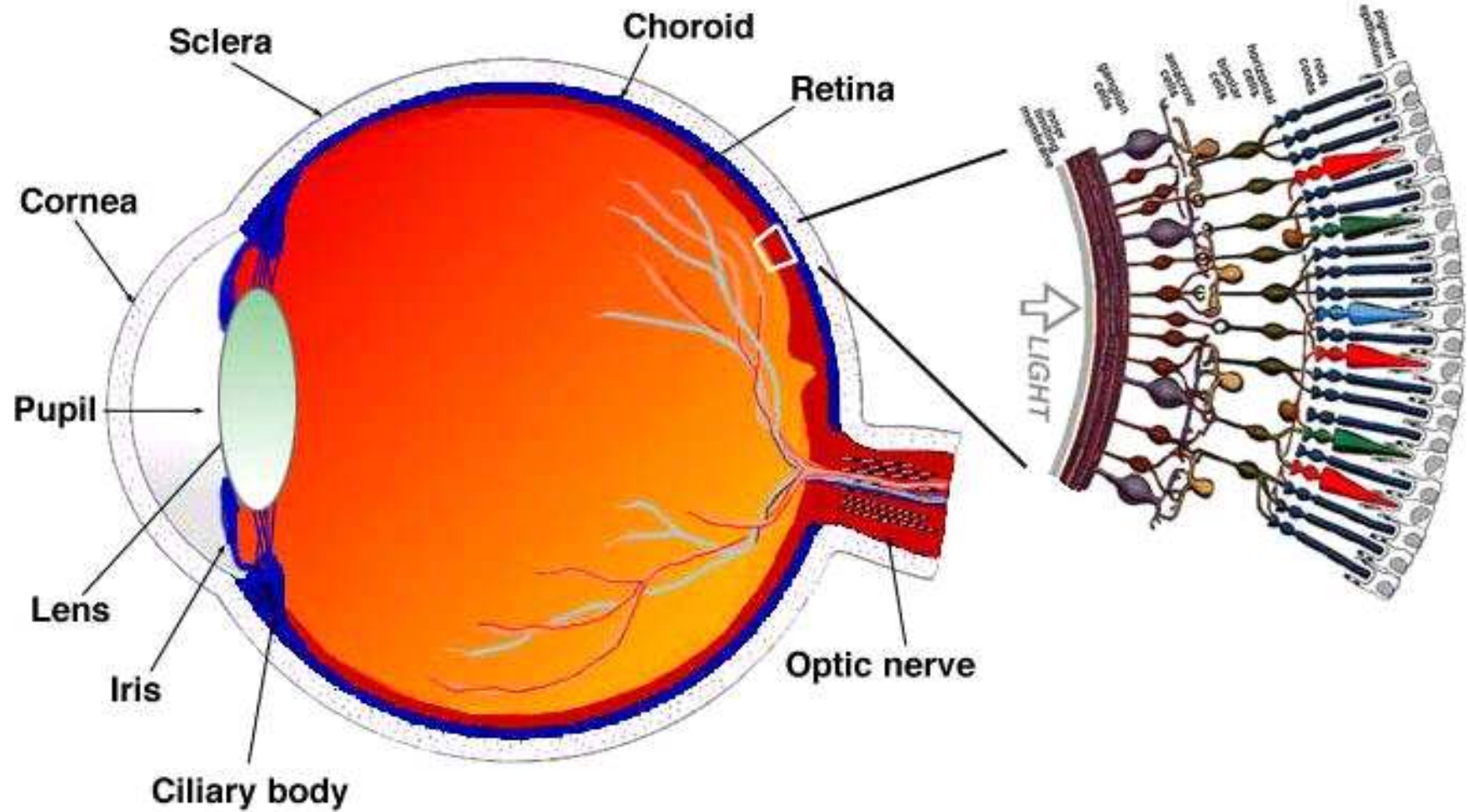
všechny prvky vznikají ve hvězdách (po železo včetně) a nebo při výbuších supernov (nad železo)

pokud by bylo ϵ menší nevzniklo by ani helium

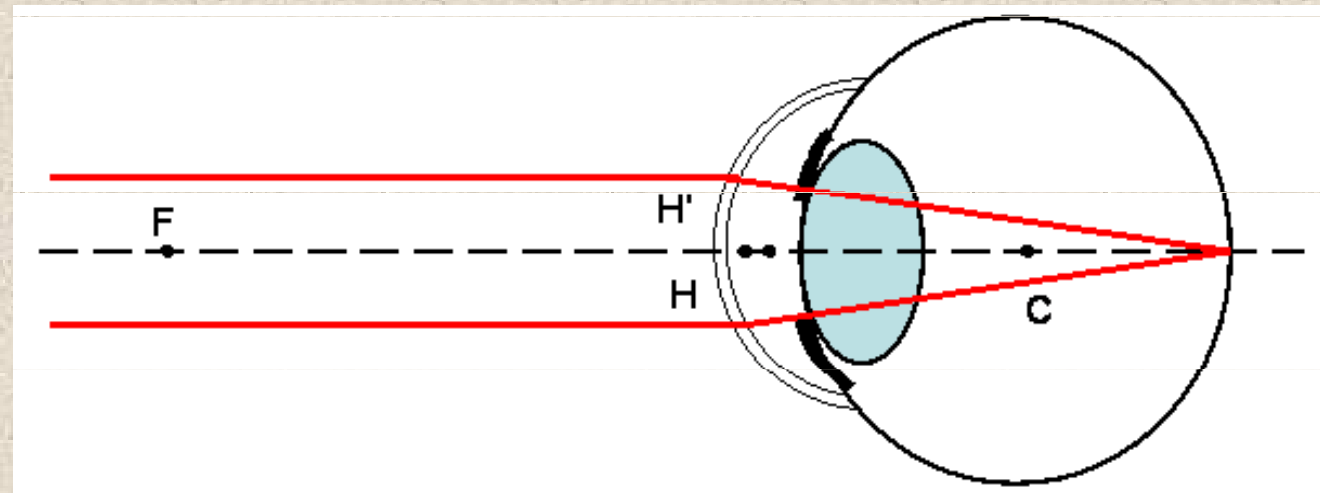
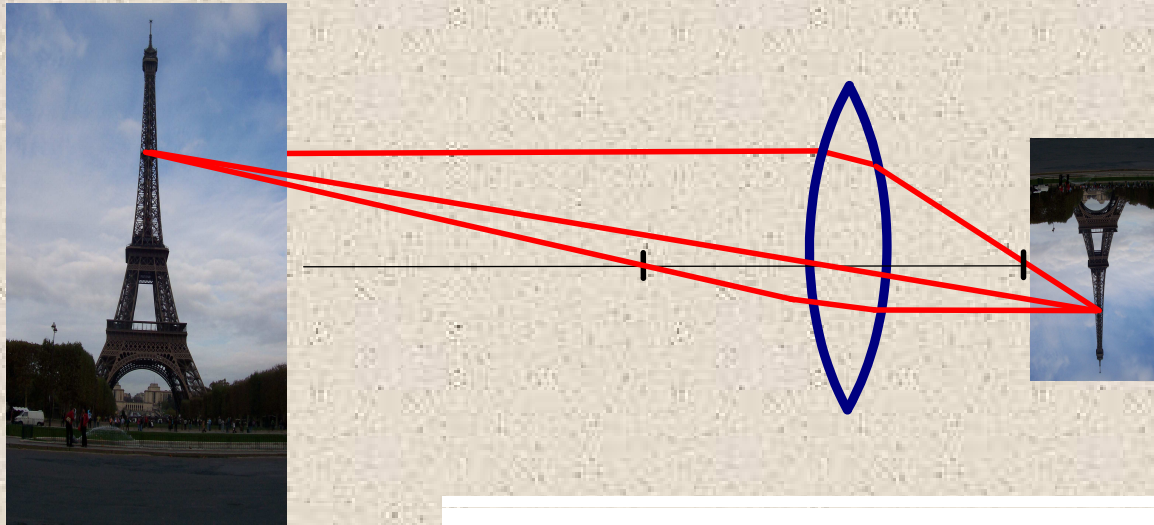
pokud by bylo ϵ větší, nezůstal by zde žádný vodík

přesné vyladění ϵ (na několik procent) je nutné pro syntézu uhlíku

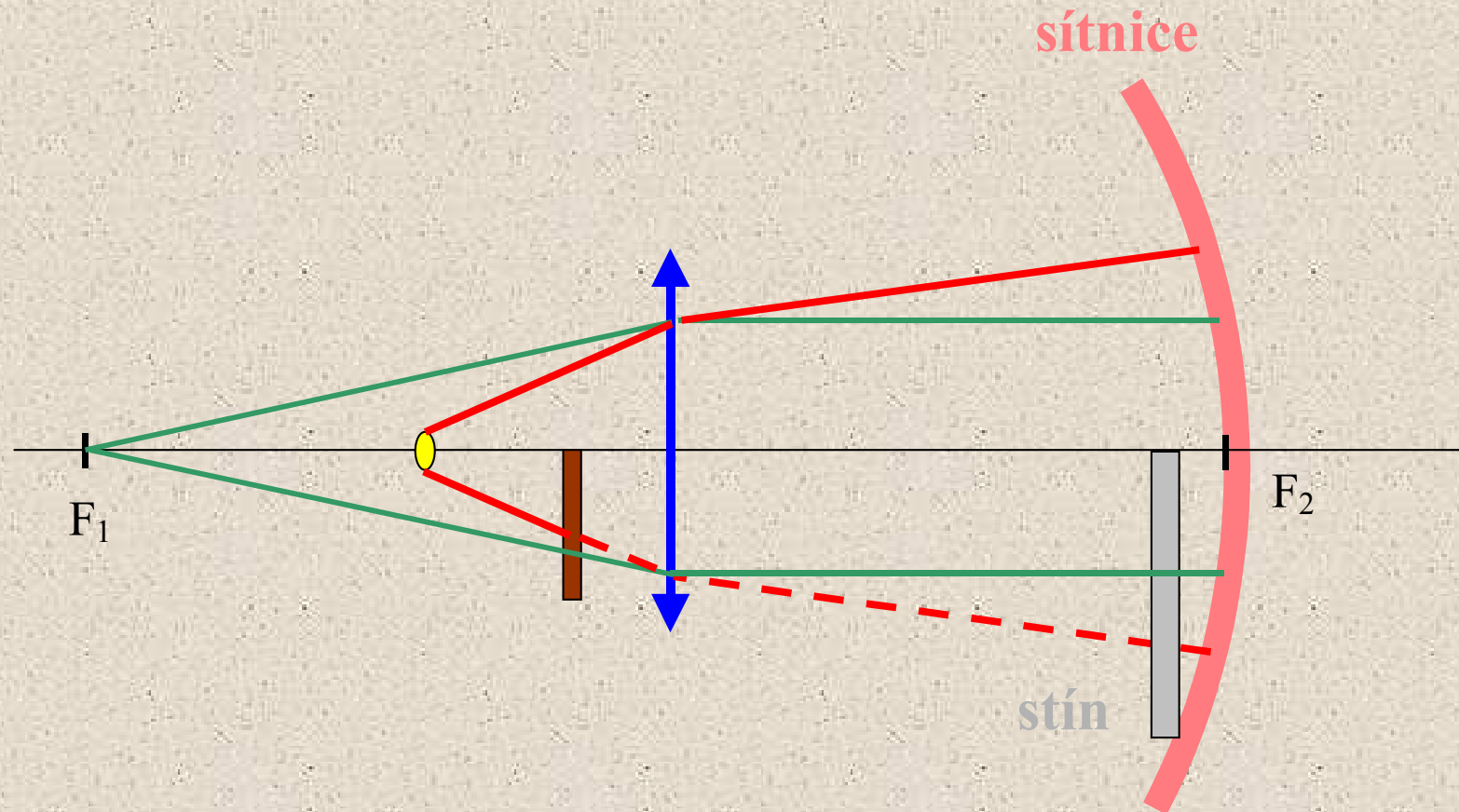
Zrak a oko



Optické schéma oka



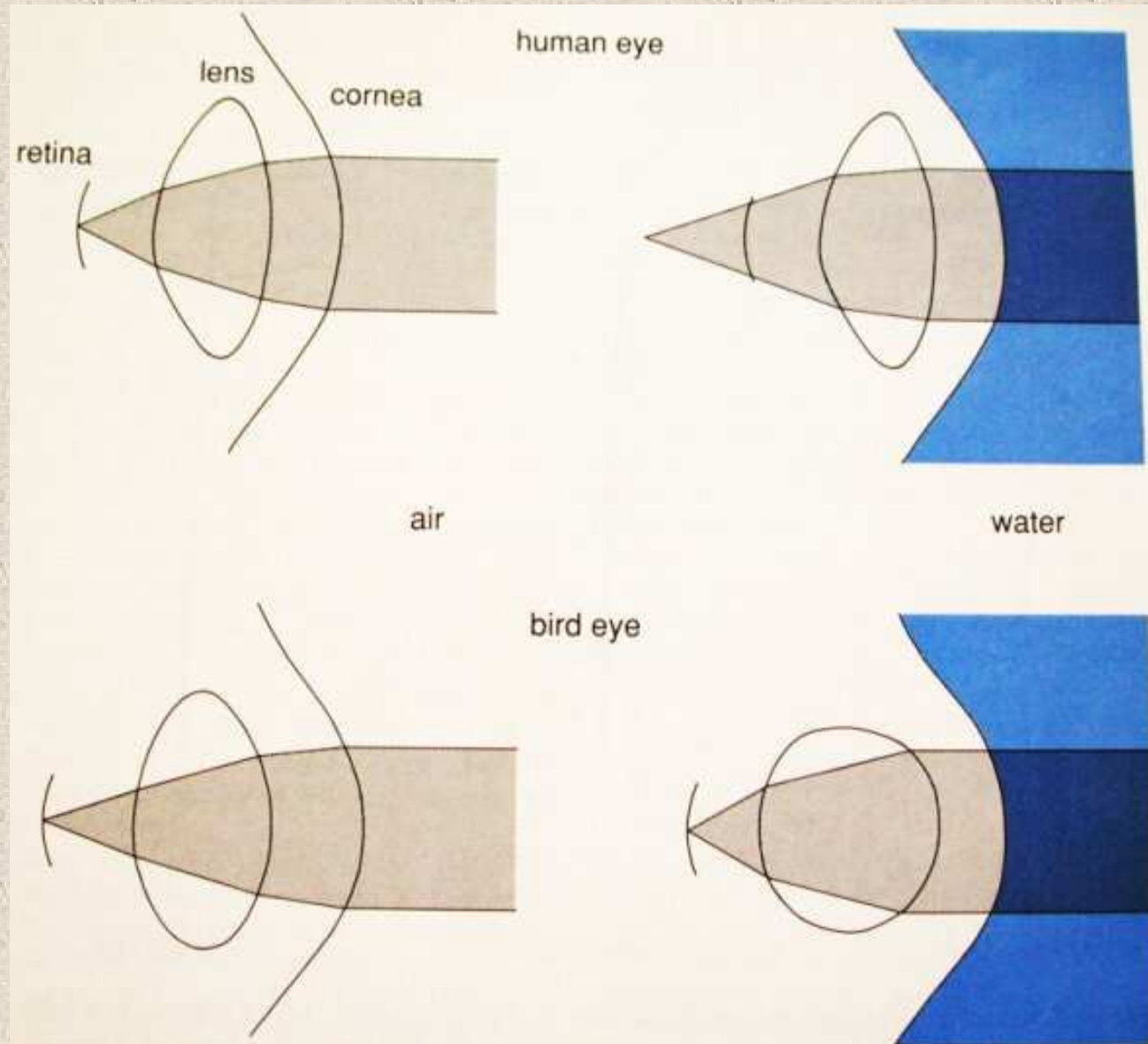
obraz na sítnici je převrácený



parametry oka

	Akomodace	
	uvolněná	maximální
Optické mohutnosti		
rohovka		43 D
čočka	19 D	33 D
soustava oka	59 D	70 D

pod vodou nedokážeme zaostřit

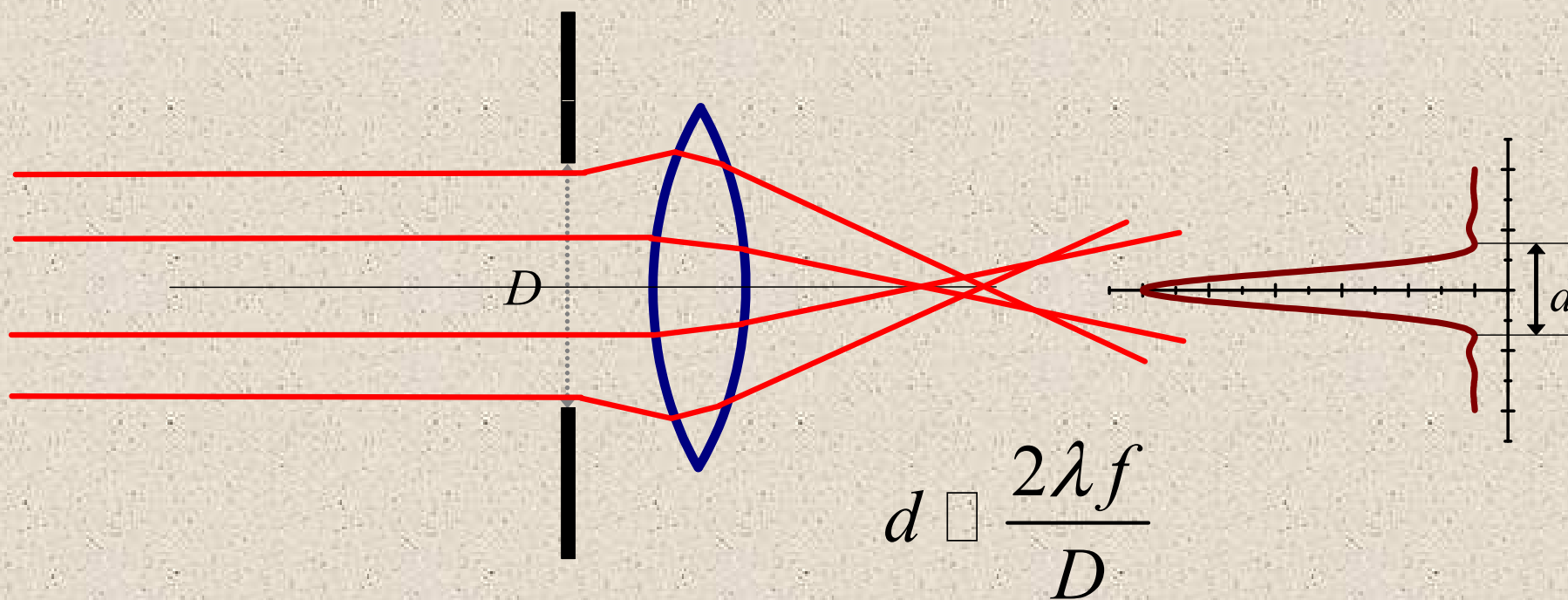


vodní ptáci

rozlišení oka

dva pohledy:

1) fyzikální



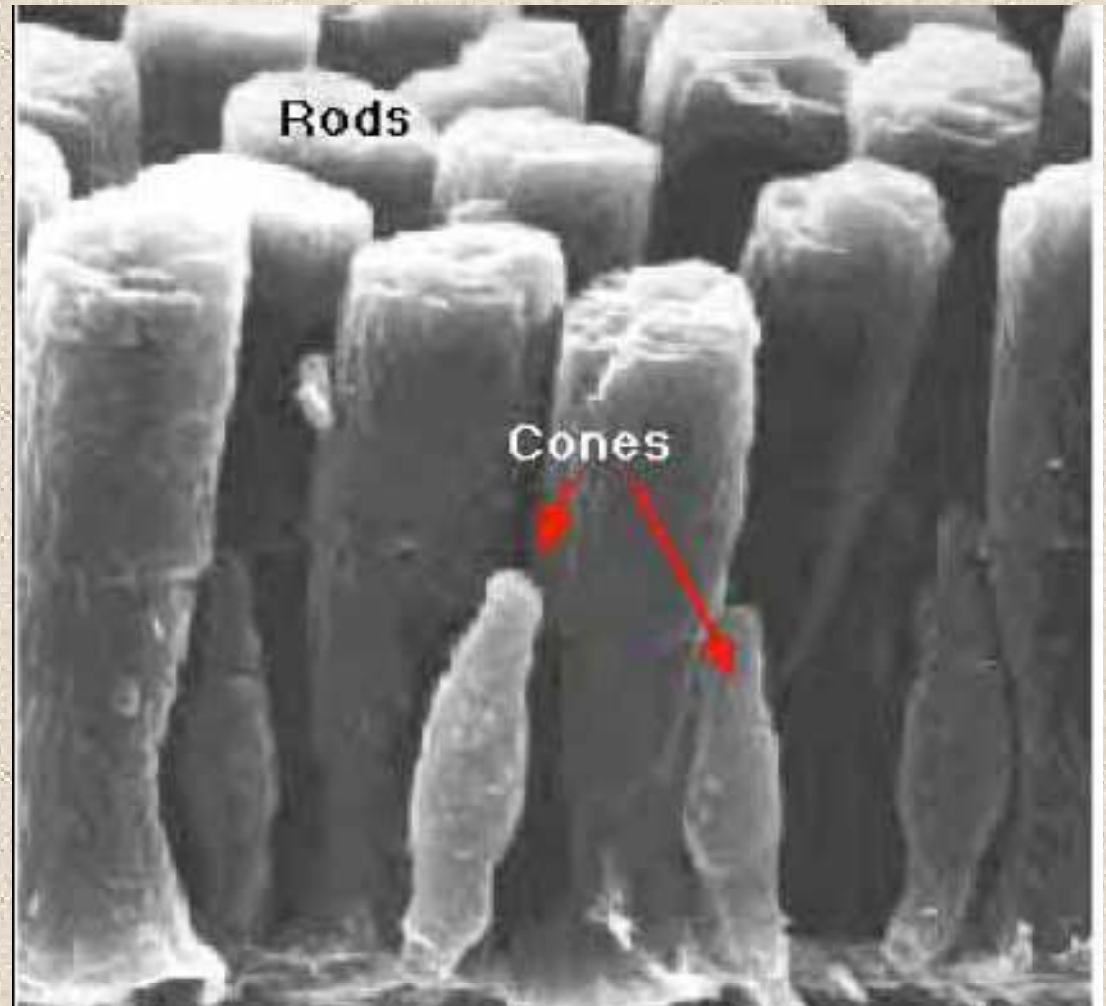
lidské oko:

$$d \approx \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-3}} = 5 \mu\text{m}$$

2) biologický

hustota čípků na sítnici

vzdálenost čípků ve žluté
skvrně cca $2\mu\text{m}$

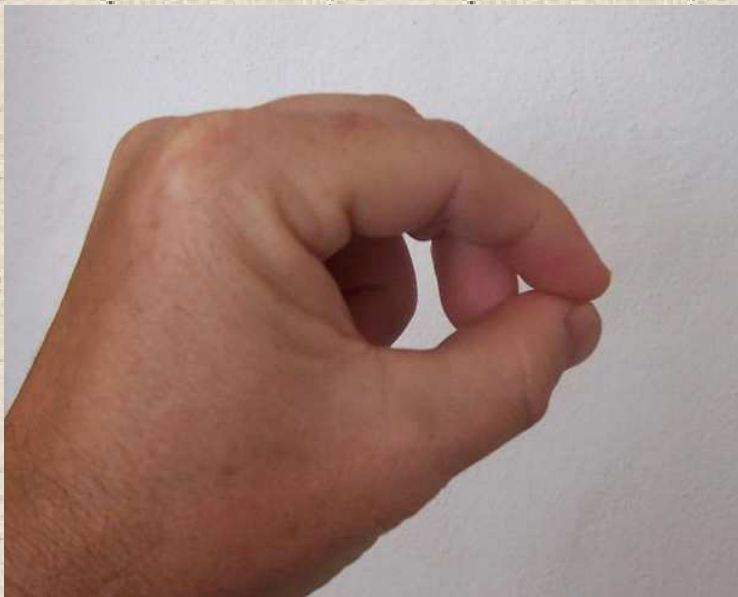
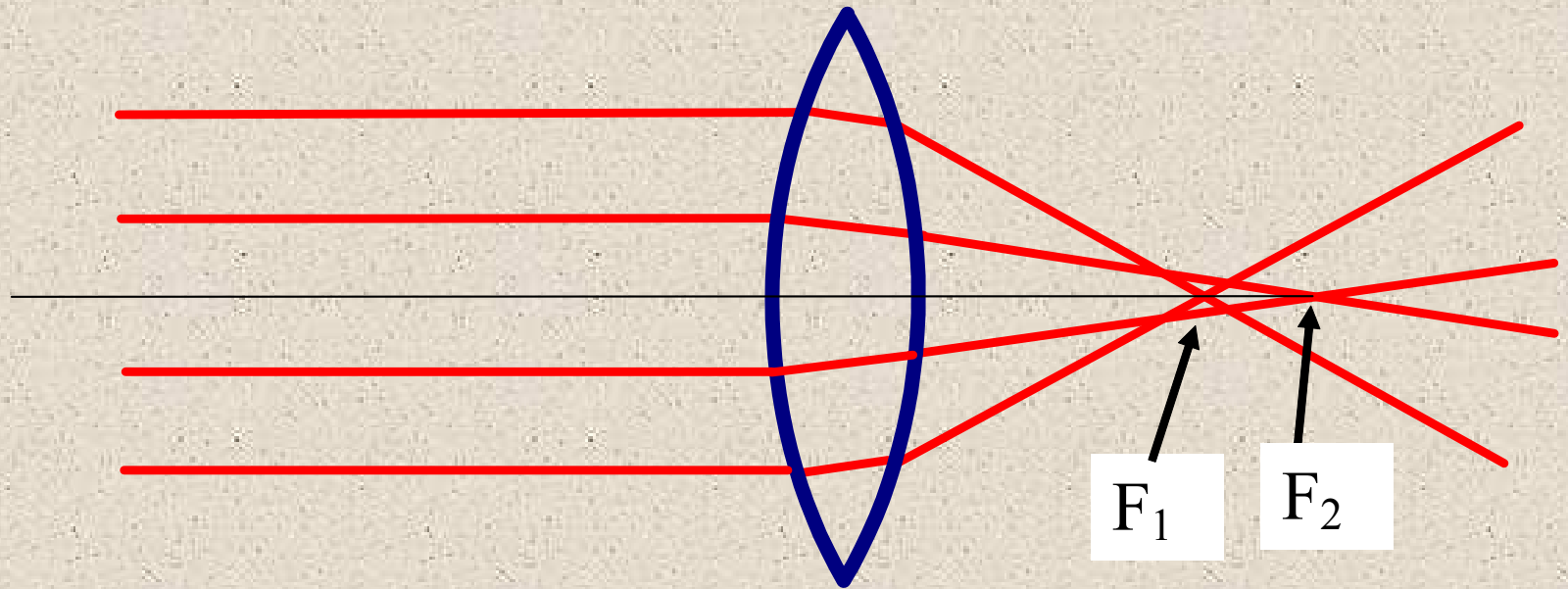


oba dávají stejný výsledek:

rozlišení oka: 1 úhlová minuta

30 cm ze vzdálenosti 1 km

Otvorová vada oka



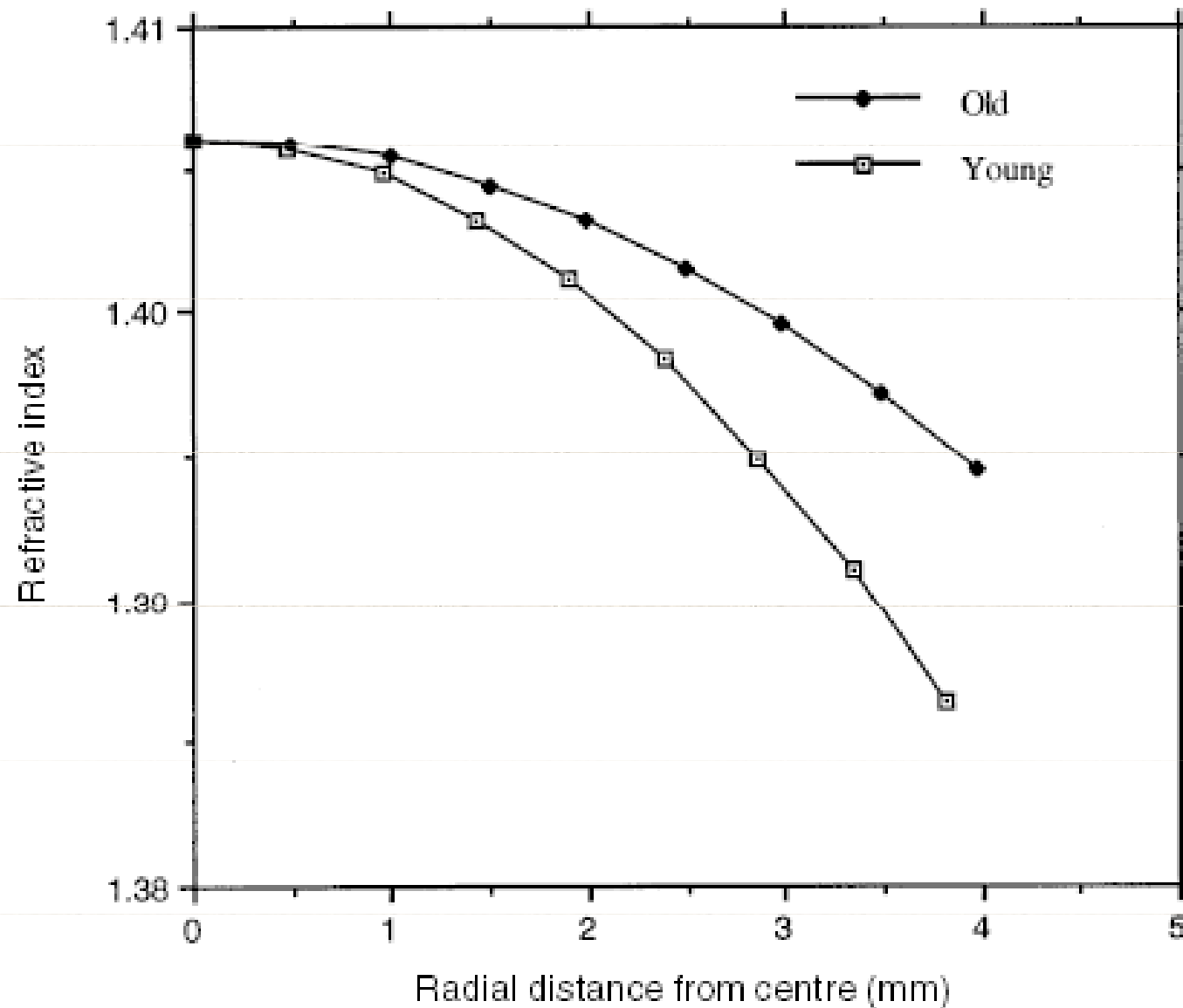
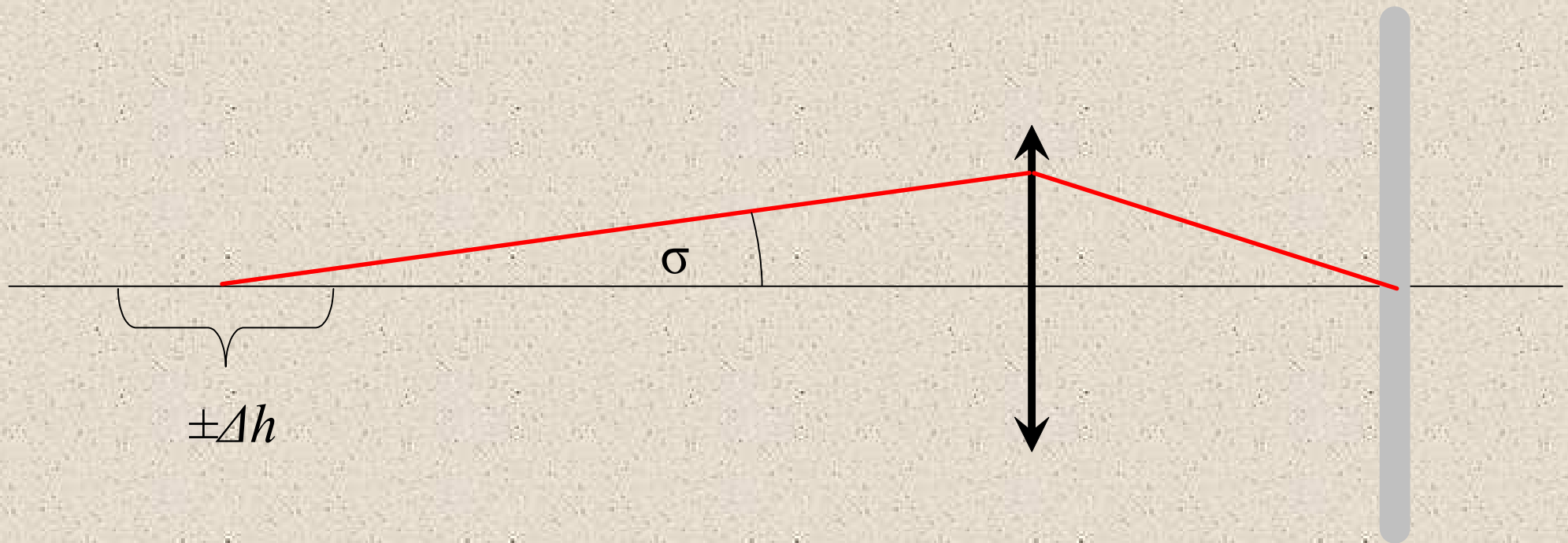


Figure 3. Refractive index in the equatorial plane plotted as a function of the radial distance from the centre of the lens

Hloubka ostrosti



$$\Delta h = \pm \frac{\lambda}{2 \sin^2 \sigma},$$

Citlivost oka

Oko zaregistuje signál, pokud do blízkého místa na sítnici dopadne nejméně 5 fotonů v intervalu maximálně 100 ms.

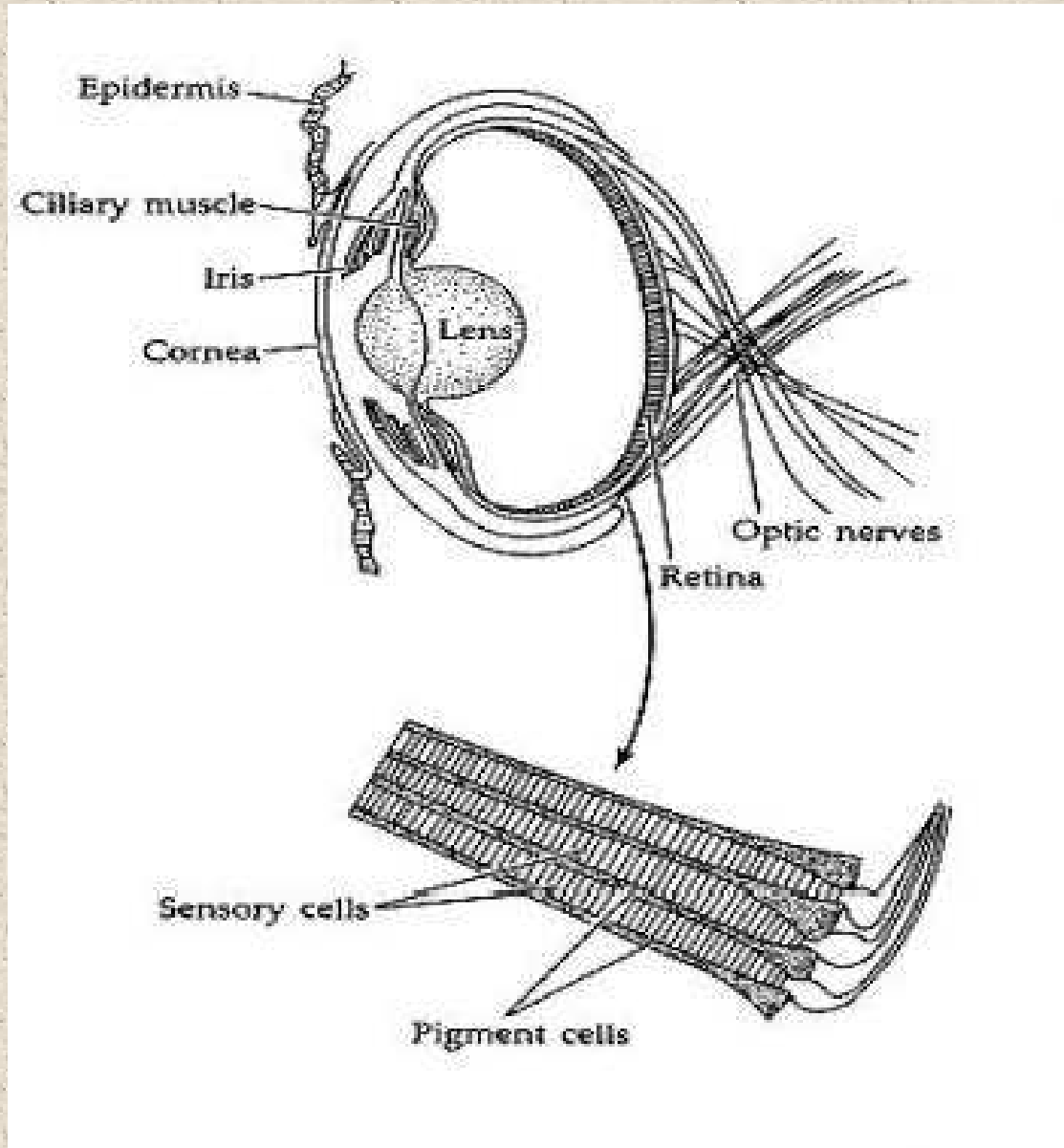
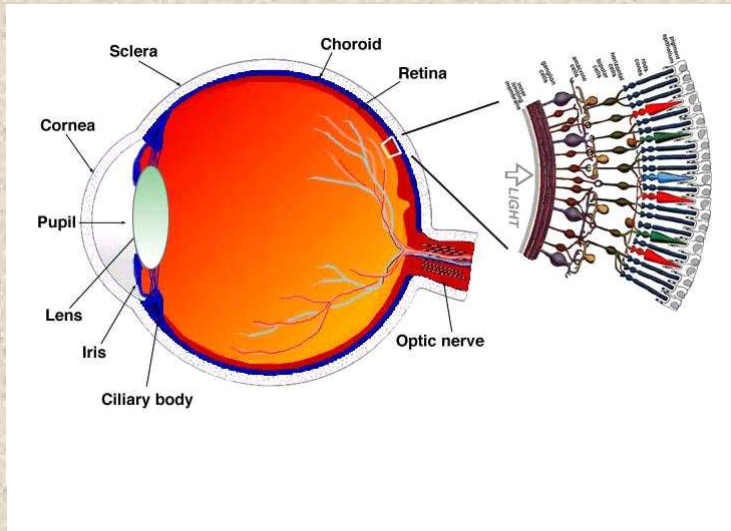
Při pohledu do Slunce dopadne na sítnici za 100 ms asi 10^{20} fotonů.

Weberův – Fechnerův zákon pro zrak

$$a = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_o}\right) \quad [\text{dB}]$$

oči chobotnice

oko člověka

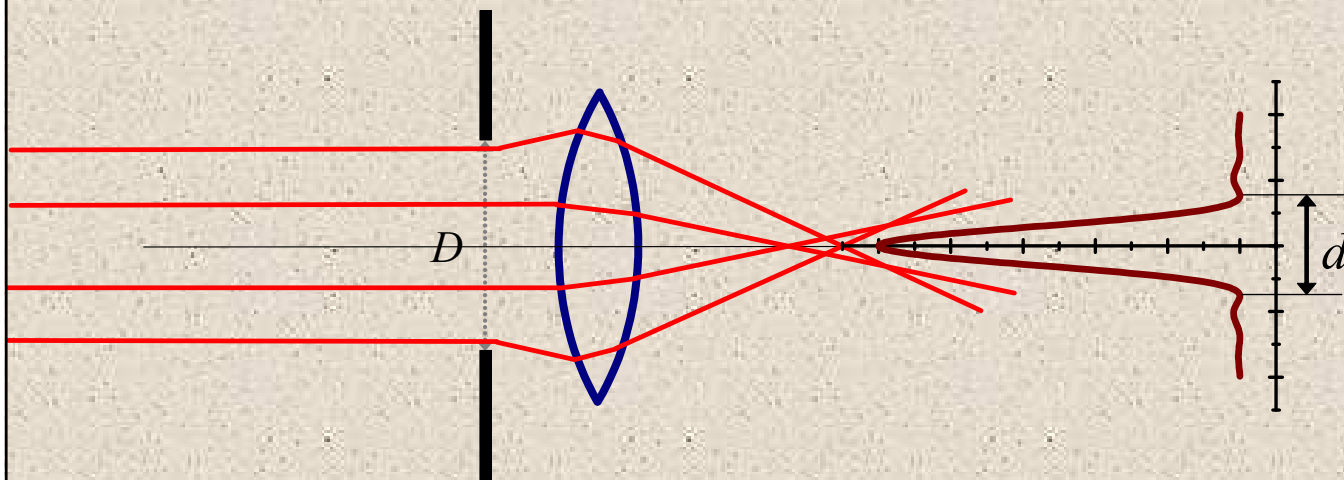


nemají slepou skvrnu

Oči hmyzu

problém: malé rozměry

co se stane, když se oko zmenší 100x?



$$d \approx \frac{2\lambda f}{D}$$

f se zmenší 100x

D se zmenší 100x

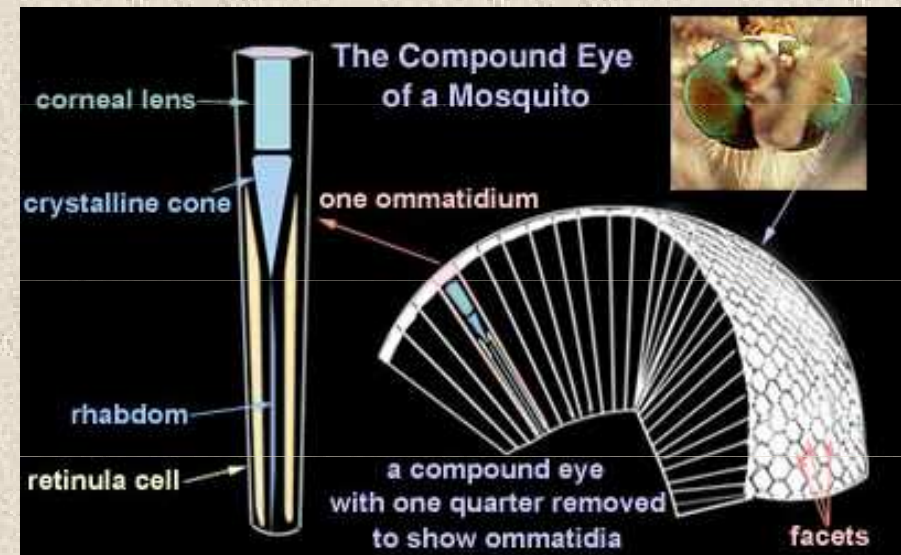
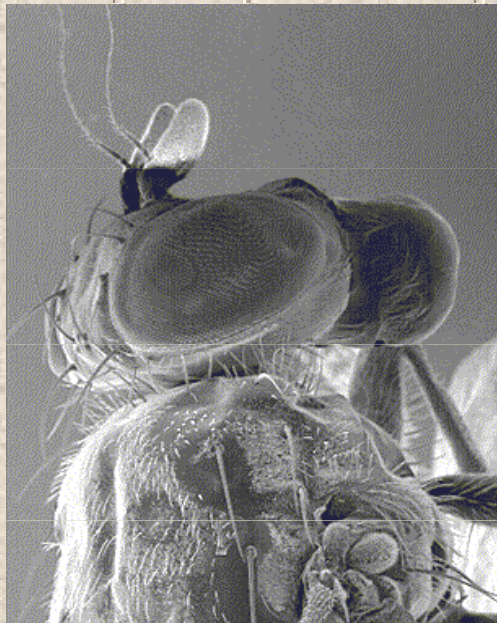
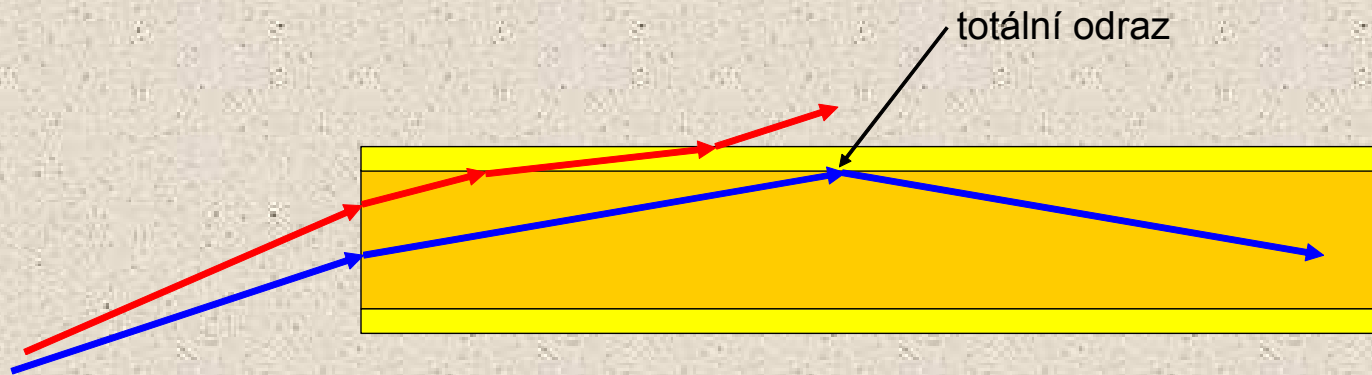
d se nezmění

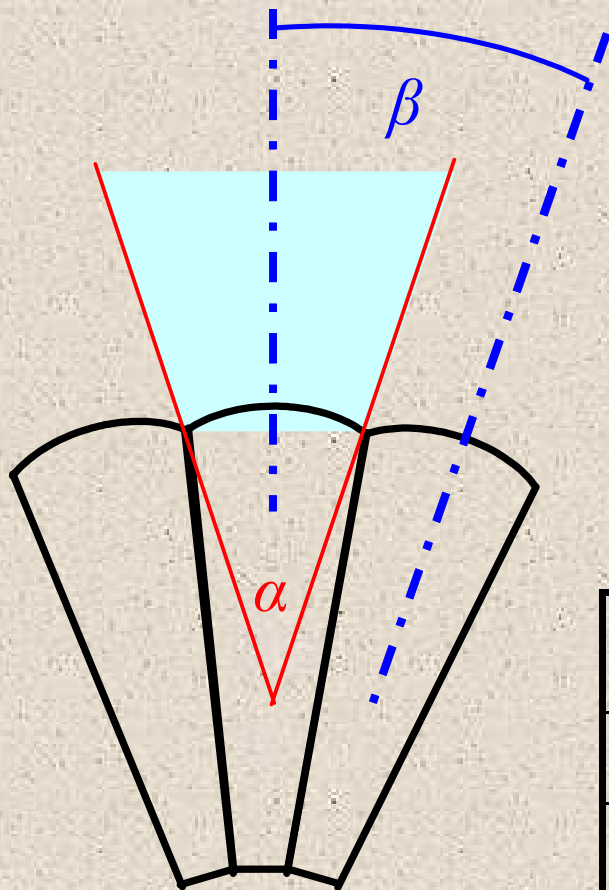
ale relativně vzhledem k oku se 100x zvětší

rozlišovací schopnost 100x poklesne: jednotky úhlových stupňů

Složené oči hmyzu

ommatidium – optické vlákno, směrový detektor





oči vážky

	α ($^{\circ}$)	β ($^{\circ}$)
vážka	1	1
saranče	3	2
včela	3	3
moucha domácí	3	3
mravenec	7	4

Co je lepší, zrak nebo sluch?

jedno ucho: přítomnost zvuku

jedno oko: směr zdroje

dvě uši: směr zdroje

dvě oči: vzdálenost zdroje

Příčina:

odlišnost vlnové délky

$$\lambda_{\text{světlo}} = 500\text{nm}, \quad \lambda_{\text{zvuk}} = 1\text{m}$$

