

# Světlo



**Kurz Preventivní konzervace  
Metodické centrum konzervace  
Technického muzea v Brně**

**Ing. Alena Selucká**

# Podstata světla



- Elektromagnetické záření – elektromagnetická energie (foton):

- Viditelné světlo: 380 – 780 nm

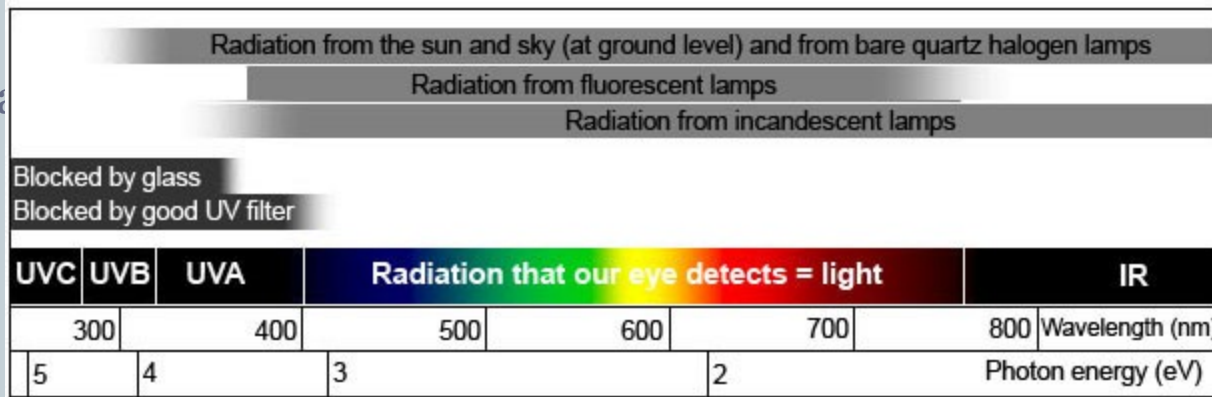
- Ultrafialové záření: (UV) – 100 – 380 nm

- UV-A: 315 – 400 nm ....průzkum pomocí fluorescence;

- UV-B: 280 – 315 nm;

- UV-C: 100 – 280 nm – fluorescence, germicidní lampy

- Infr...



# Poškození světlem



- **Fotochemické poškození** (blednutí barev) – energie fotonů 2 – 3 eV
- **Fotomechanické poškození** (strukturální změny) - energie fotonů > 3 eV, tj. UV záření: žloutnutí, křídovatění nátěrů, zeslabení/rozpad materiálů
- **Termodynamické poškození** (dilatace materiálů) – účinek IČ, zahřívání povrchu materiálů, urychlení fotochemických reakcí
  - Rozsah poškození závisí na:
    - intenzitě osvětlení – E (lux)
    - vlnové délce dopadajícího světla – (nm)
    - celkové expozici (Mlxh/rok)
    - charakteru materiálu



*Tapisérie z 17. stol.,  
vyblednutí barev po  
dlouhodobé expozici*

# Poškození světlem -(nejcitlivější materiály)



- **Textil** – blednutí barev, křehnutí a rozpad materiálu
  - Textil z období 19. stol. (anilínová barviva) – velmi náchylná na blednutí (purpurová, modrá, zelená)
- **Vodové barvy** - organické pigmenty (rostlinného nebo živočišného původu), výrazné blednutí barev
  - Jsou součástí i temperových barev, olejová vrstva je ale silnější a poskytuje větší ochranu proti světlu.
- **Papír** – moderní novinový papír (vysoký obsah ligninu), žloutnutí, křehnutí a rozpad papíru
  - Lignin je velmi náchylný na fotochemické poškození.

# Poškození světlem



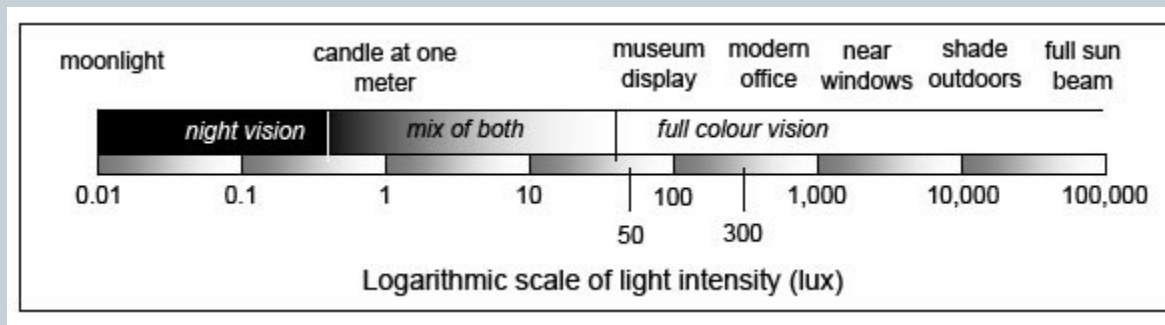
Novinový papír po 3 dnech expozice na přímém slunci (vlevo), ICCROM



# Definice pojmů



- **Intenzita ozáření** ( $W \cdot m^{-2}$ ): množství světelné energie dopadající na jednotku plochy
- **Intenzita osvětlení**  $E$  (lux): plošná hustota světelného toku dopadající na jednotku plochy  $lm \cdot m^{-2}$  [lx], měří se luxmetry

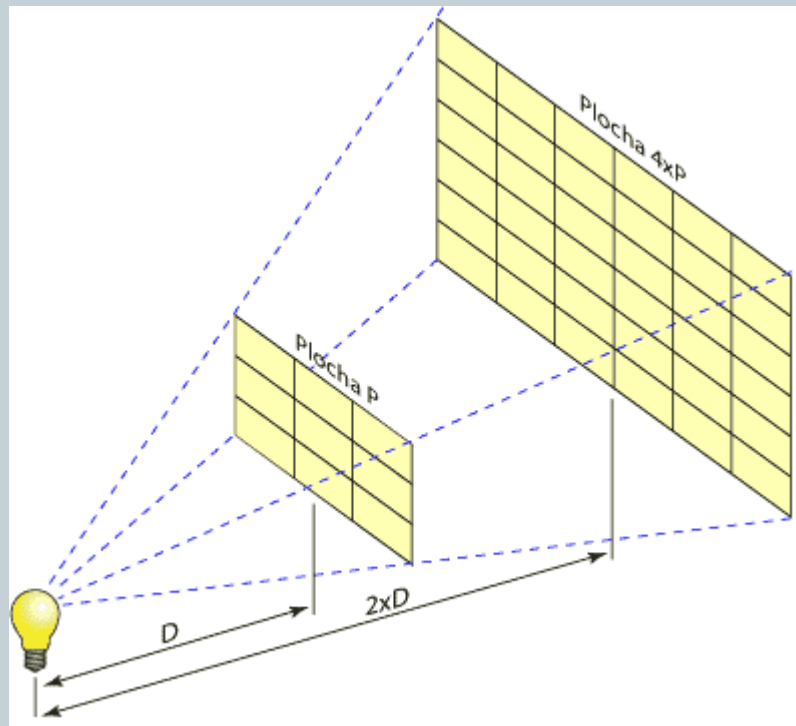


- Intenzita osvětlení klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje:
- Příklad: Pozorovatel vnímá intenzitu osvětlení 100 lx ve vzdálenosti 1 m od zdroje; 25 lx ve vzdálenosti 2 m; 11 lx ve vzdálenosti 3 m.
- Intenzita osvětlení je tím nižší, čím šikměji dopadají paprsky na danou plochu.

## Definice pojmů – Zákon převrácených čtverců



- Intenzita osvětlení klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje:
- Příklad: Pozorovatel vnímá intenzitu osvětlení 100 lx ve vzdálenosti 1 m od zdroje; 25 lx ve vzdálenosti 2 m; 11 lx ve vzdálenosti 3 m.



# Definice pojmů



- **Světelná expozice:** součin intenzity osvětlení (záření) a času, v praxi se měří v lx.h (klxh - kiloluxhodiny nebo Mlxh. megaluxhodiny)

Dle recipročního principu platí: světelná expozice při 300 lx po dobu 1 hod. je rovnocenná světelné expozici při 50 lx po dobu 6 hod.

- **Roční světelná expozice:** Mlx.h/rok
- **Podíl UV záření:** podíl UV záření v rámci světelného toku viditelného světla ( $\mu\text{W}/\text{lm}$ ); měří se UV – metry, doporučená hodnota do  $75 \mu\text{W}/\text{lm}$  (dnes již UV pod  $50 \mu\text{W}/\text{lm}$ , s filtrací  $5 - 10 \mu\text{W}/\text{lm}$ )



# Příklad výpočtu světlené expozice



- Vypočítejte světelnou expozici (lxhod.) u historické fotografie, která je vystavena 24 týdnů v muzeu, jenž je otevřené 6 hod. denně, 6 dnů v týdnu a dopadá na ni světlo 150 lx.

$$6 \times 6 \times 24 = 864 \text{ hod.}$$

$$864 \times 150 = 129\,600 \text{ lxhod.} = 129,6 \text{ klxh.} = 0,1296 \text{ Mlxh.}$$

# Definice pojmů



- **Teplota chromatičnosti - barevná teplota -  $T_c$**  (correlated colour temperature – CCT), (K) : charakterizuje spektrum viditelného světla, udává přechod z „teplé do studené oblasti

Studené světlo má vyšší barevnou teplotu než teplé světlo!



- Teplota chromatičnosti je přímo úměrná tzv. relativnímu činiteli poškození!
  - Empiricky stanovený činitel uvádějící míru poškození novinového papíru daným zdrojem světla v porovnání se zářením normalizované žárovky.
- Zdroje s  $T_c$  nad 6000 K vyzařují většinu své energie v oblasti pod 550 nm (modrá, fialová), zdroje s nízkou  $T_c$  v oblasti nad 550 nm (žlutá, oranžová, červená)
- Obecně je pro muzejní exponáty upřednostňováno teplé světlo s  $T_c$  cca 2800 K.

# Definice pojmů

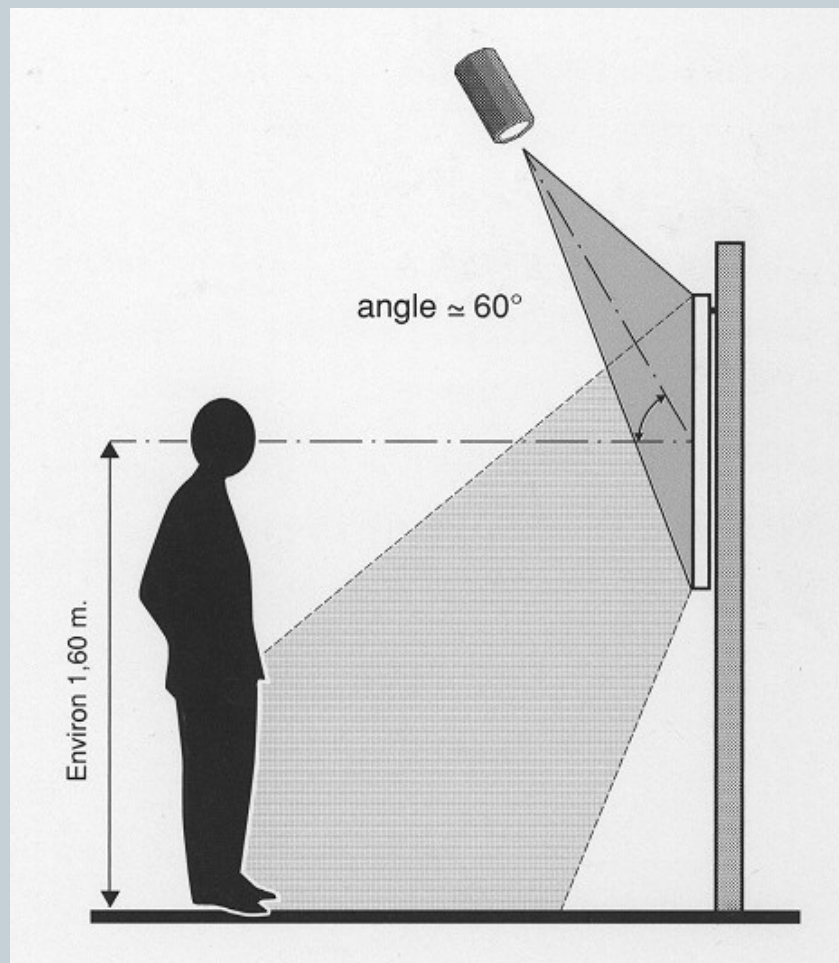


- **Index podání barev Ra (CRI – colour rendering index):** hodnocení věrnosti barevného vjemu, který vznikne z daného zdroje porovnáním s denním světlem; pro muzejní exponáty min. CRI 85.

CRI 0 – není možné rozeznat barvy; CRI 100 – přirozené podání barev

- Hodnoty Tc a Ra bývají součástí typového označení zdrojů světla:
- Př: 18W/840: příkon 18 W, Ra 80 – 89, Tc 4 000 K.

# Správná pozice nasvícení exponátu



# Citlivost muzejních předmětů na světlo



- **50 lux** – textilie, všechny práce na papíře a pergamenu, vodové barvy, fotografie, kožešiny, malované a barvené dřevo, přírodovědné a botanické sbírky, apod.
- **150 lux** – olejové a temperové barvy, polychromie, nebarvené dřevo, rohovina, kost, slonovina, apod.
- **300 lux** – kámen, kovy, keramika, smalty, apod.
  - Předměty složené z více materiálů jsou zařazovány do uvedených kategorií dle nejcitlivějších z nich.
  - V případě požadavku na zvýšení intenzity osvětlení (malý kontrast, tmavý povrch, starší návštěvníci) může být hodnota luxů násobena činitelem 3 a zkrácena doba vystavení objektu (např.  $50 \times 3 = 150 \text{ lx}$ ).
  - Poškození světlem je kumulativní a nevratné.

# Kategorizace citlivosti muzejních předmětů dle ISO R105 – Blue Wool Standards



- Právě rozlišitelné vyblednutí (just noticeable fade) JNF

stupně ISO	1	2	3	4	5	6	7	8
expozice vyvolávající 1 JNF (Mlx.h)	0,4	1,2	3,6	10	32	100	300	900
kategorie citlivosti	A - citlivé			B – středně citlivé			C - odolné	
	Textilie, papír, pergamen, vodové barvy ...			Olejové a temperové barvy, nebarvené dřevo, ...			Keramika, kámen, kov, ...	



# Celková expozice



**1, 2**

# Doporučené maximální roční expozice světlem



	<b>Expozice vyvolávající 1 JNF (Mlx.h)</b>	<b>Celková expozice (lxh/rok)</b>	<b>Doba nezbytná pro 1 JNF (roky)</b>
Kategorie A (ISO 1, 2, 3)	1,2 Mlxh (ISO 2)	<b>4 týdny 12 000 lxh</b>	100
Kategorie B (ISO 4,5,6)	10 Mlxh (ISO 4)	<b>10 týdnů 42 000 lxh</b>	250
Kategorie C (ISO 7, 8)	300 Mlxh (ISO 7)	<b>20 týdnů 84 000 lxh</b>	35 00

- 1 týden = 42 hod.; kategorie A – B při 75 lux; kategorie C při 100 lux
- *Stanoveno dle Montreálského muzea krásných umění, pro umělecká díla na papíře*
- Stanovení maximální přípustné expozice pro daný materiál je subjektivní rozhodnutí a zodpovědnost odborného pracovníka!
- Sledovány jsou pouze barevné změny a ne změny mechanických vlastností!



# Doporučené hodnoty expozice pro sbírkové předměty TMB



<b>Materiál</b>	<b>Teplota [°C]</b>	<b>Relativní vlhkost [%]</b>	<b>Světlo [lux]</b>	<b>Světelná expozice lxh/rok</b>
Vysoce citlivé: hedvábí, nestálá barviva, grafická díla a fotografie	18 ± 2	50 ± 5	50	12 000 (4 týdny)
Středně citlivé: textilie, papír, pergamen, vodové barvy, pastely, tisky a výkresy, miniatury, rukopisy, kožešiny, malované a barvené dřevo i useň, přírodovědné a botanické sbírky, apod.	18 ± 2	50 ± 5	50	50 000 (12 týdnů)
Mírně citlivé: olejové a temperové barvy, nebarvené dřevo a useň, rohovina, kost, slonovina, některé plasty, apod.	18 ± 2	50 ± 5	150	180 000 (24 týdnů)
Necitlivé: kámen, kovy, neglazovaná keramika, většina skel, většina minerálů (s omezením dlouhodobého silného osvětlení - smalty, drahé kameny, barevné glazury) apod.	18 ± 2	45 ± 5	300	bez omezení

# Zdroje světla



- denní světlo
- žárovky
- halogenové žárovky
- zářivky
- kompaktní zářivky
- halogenidové výbojky
- sodíko-xenonové a vysokotlaké sodíkové výbojky
- LED (light emitting diode) osvětlení
- optické kabely

# Umělé osvětlení

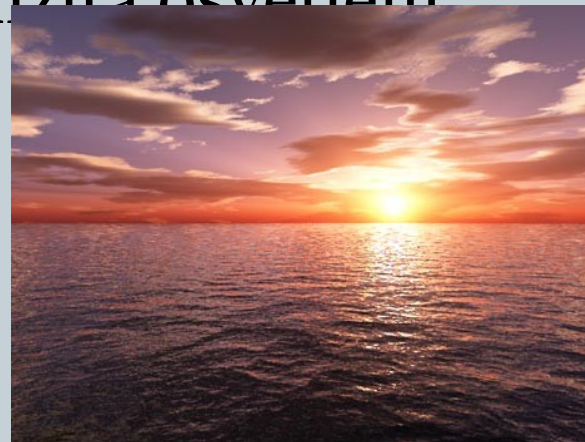


<b>Světelný zdroj</b>	<b>Množství UV (<math>\mu\text{W}/\text{lm}</math>)</b>
Denní světlo	400 – 1 500
Žárovka běžná	70 - 80
Žárovka halogenová	40 - 170
zářivka	30 - 100
Výbojka halogenová vysokotlaká	160 - 700
LED	pod 5

# Denní světlo – přirozené sluneční



- Vynikající podání barev  $R_a = 100$
- Vysoká intenzita osvětlení
- Kolísá barevná teplota od cca 3 000 do 12 000 K
- Vysoký podíl UV záření 300 – 600  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Těžko kontrolovatelná intenzita osvětlení



# Žárovky



- Vynikající podání barev – Ra 100
- Nízký podíl UV záření – do  $75\mu\text{W}/\text{lm}$
- Nízká cena
- Barevná teplota v oblasti teplého světla 2700 – 2800 K
- Velká výhřevnost – nehodí se do vitrín
- Nízká životnost – v současné době jsou nahrazovány energeticky úspornými zářivkami (dle EU ukončen prodej žárovek do r. 2012)



# Halogenové žárovky



- Halogenová žárovka je vylepšená klasická žárovka, která obsahuje příměs halogenu.
- Vynikající podání barev Ra 100
- Barevná teplota cca 3000 K
- Vysoký podíl UV záření – 100 až 200  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Halogenové žárovky jsou úspornější než ty klasické, až o 30%
- Vyšší životnost (cca 2 000 hod.)
- 5x vyšší pořizovací cena



# Zářivky



- Horší podání barev – Ra 50-60; některé typy 90-95 ... „ploché světlo“
- Barevná teplota – dle různých typů od 3000-6500 K
- Podíl UV záření 75 – 100  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Velká životnost (cca 10 000 hod.)
- Velký měrný světelný výkon



# Kompaktní zářivky



- Kompaktní zářivky = úsporné zářivky
- Velká životnost (10 000 hod.)
- Dobré podání barev Ra 85
- Barevná teplota od 2700 – 5000 K
- Podíl UV záření 100 – 150  $\mu\text{W}/\text{lm}$
- Malá výhřevnost
- Vyšší cena (cca 10 x vyšší než klasická žárovka)





# Halogenidové výbojky

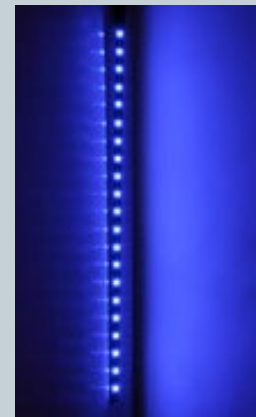


- Světelné spektrum vzniklé obloukovým výbojem rtuťových par, zlepšené přidáním jodidu (popř. bromidu) kovu
- Tc 3000 – 4000 K
- Velká životnost – 5 000 – 10 000 hod.
- Podání barev – různé (pod 65 až 90)
- Výborné bodové světlo
- Vysoký podíl UV záření
- vysoký měrný světelný výkon

# LED osvětlení (light emitting diode)



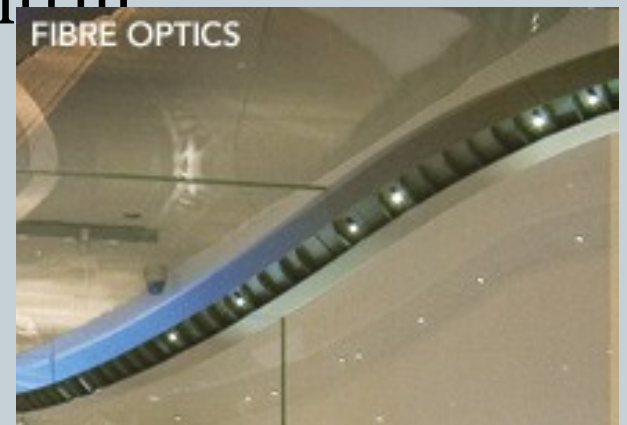
- Vysoce efektivní výbojový zdroj světla
- Vysoká životnost (10 000 – 80 000 hod.)
- Vynikající podání barev Ra 70 – 90
- Barevná teplota – variabilní, cca 3000 – 3500 K
- Nízký podíl UV záření  $0 - 75 \mu\text{W}/\text{lm}$
- Malá výhřevnost
- Vhodné do vitrín
- Výborný bodový zdroj



# Optická vlákna – světlovodné kabely



- Světlo je vedeno ze světelného generátoru (halogenová žárovka nebo vysokotlaká výbojka, stmívač, filtr) optickými vlákny
- Nulový podíl UV záření
- Velmi variabilní možnosti osvětlení
- Bezpečné osvětlení - vhodné do vitrín
- Vysoká cena



# Kontrola světla, UV, IČ



- Stanovit pravidla pro hodnoty osvětlení a UV záření
  - Zařazení sbírek do kategorií dle jejich citlivosti vůči světlu
  - Zavedení kritéria pro „rychlost vyblednutí“ (JNF) – 100, 30, 300, atd. .. let
  - Určení max. přípustné doby expozice
  - Zvážit možnost větších hodnot intenzity osvětlení (méně citlivé materiály) a zkrácení celkové doby osvitu (zlepšení kontrastu, návštěvy seniorů apod.)
- Nevystavovat předměty v exteriéru
- Vypínat zdroje osvětlení v nepřítomnosti návštěvníků (používat stmívače)
- Přikrytí vitrín v nepřítomnosti návštěvníků
- Umísťovat předměty mimo dosah přímého venkovního osvětlení
- Oddělit světlé vstupní prostory od expozic adaptační zónou

# Kontrola UV záření



- Využívat odraženého světla od bílých stěn s nátěrem zinkové nebo titanové běloby (absorpce UV)
- Používat UV filtry u zdrojů světla s vyšším podílem UV
- Na okna používat záclony, závěsy, rolety, UV filmy:
  - Tradiční silikátové sklo pohlcuje UV B a UV C; většinu UV A ale propustí.
  - Vrstevné sklo (sendvič) spojení silikátového skla a fólie polyvinylbutyralu (pohlcuje až 99 % UV) – velmi odolné
  - Desky plastů: polymethylmetakrylát (PMMA - Perspex) a polykarbonát (PC) – vitríny, ochrana obrazů – hrozí poškrábání
  - Filmy plastů: polyethylentereftalát (PET) – pokrytí vnitřního povrchu oken (bezpečnostní, reflexní, UV absorpce apod.), životnost je závislá na technologii aplikace (lepení) cca 5 let i více

# UV fólie



Polyesterová UV fólie  
Ceiba



Termoizolační fólie s UV  
absorbérem, fa Madico  
Dům U Černé matky boží, NG.

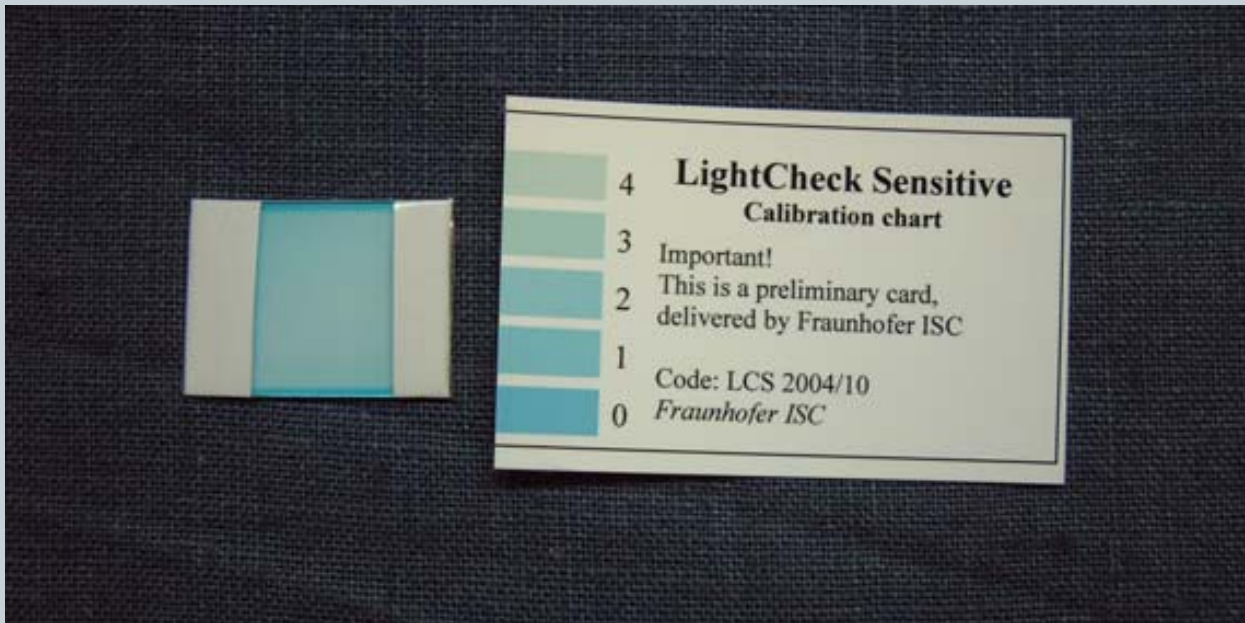
# Měření osvětlení UV, IČ



- Intenzita osvětlení – **luxmetr**, měří množství světla (lm) dopadající na jednotku plochy (m<sup>2</sup>)
- Podíl UV záření – **UV metry**, měří množství energie svazku UV záření v každém lumenu světla ; intenzita UV záření (W/m<sup>2</sup>)
- IČ záření – způsobuje zahřívání povrchu předmětů, lze zjistit jednoduše přiložením **teploměru** k měřenému povrchu
- Celková expozice – měří se **aktinometry** (klxhod./rok); pro nízké expozice lze využít dozimetru Light Check



# Light Check





# Měření celkové expozice



**LightCheck® Ultra** použitelné do maximálně  
120 000 lx/h  
(do vyblednutí)

● LightCheck Ultra	● osvit (lx.h)
● 4U	● 75 000 - 100 000
● 3U	● 45 000 - 75 000
● 2U	● 30 000 - 45 000
● 1U	● 5 000 - 30 000
● 0U	● 0 - 5 000

# Měření osvětlení



**LightCheck® Sensitive** použitelné do maximálně 400 000 lx/h  
(do vyblednutí)

● LightCheck Sensitive	● osvit (lx.h)
● 4S	● > 340 000
● 3S	● 200 000-340 000
● 2S	● 80 000-240 000
● 1S	● 60 000-100 000
● 0S	● pod 60 000

# Příklady



vitřina s LED osvětlením;  
Muzeum české hudby NM



vitřina osvětlená  
optickými vlákny;  
Muzeum české hudby  
NM



řešení osvětlení mimo prostor vitřiny  
přes rozptylovou mřížku

# Příklady



Osvětlení exponátů - NM, Praha

# Příklady



Osvětlení exponátů - Nelson Atkins Museum

# Příklady



Nelson-Atkins Museum of Art,  
Kansas City, USA; rekonstrukce  
1999 – 2007, architekt Steven  
Holl



# Původní/novodobé prvky odstínění



Ranní salón, SZ Hluboká

# Literatura



- Zelinger J.: Poškození muzejních sbírek vlivem světla a ochrana proti němu, Sborník přednášek z odborného semináře 6. – 8. 4. 2000, Národní muzeum, Praha, s. 37 – 55.
- Preventivní ochrana sbírkových předmětů, Národní muzeum, Praha, 2000.
- Mudroň L.: Osvětlení expozic muzeí a galerií, Artlite Studio, s.r.o., Světlo 2009/4.
- Michalski S.: Light, Ultraviolet and Infrared, CCI, [http:](http://)
- Conserve O Gram, Choosing UV-Filtering Window Films, August 2004, Number 3/10.