

Praktikum školních pokusů 1

Optika 1A

Zdeněk Navrátil

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno

Obsah

- 1 IR záření
- 2 UV záření
- 3 Emisní spektra
- 4 Světelné zdroje
- 5 Absorpční spektra
- 6 Fotoelektrický jev
- 7 Vnímání světla a barev
- 8 Stroboskopický jev

Experimenty 1

- 1 Prokažte existenci IR záření ve spektru žárovky. Světlo rozložte hranolem, použijte různé detektory: fotodiodu, fototranzistor, fotoodpor, fotonku, CCD/CMOS čip v kameře či fotoaparátu (i na mobilu)
- 2 Především konfiguraci využijte pro měření absorpce IR záření v různých látkách (skle, termálním skle, plexiskle, křemíku, vodě apod.).
- 3 Vysvětlete příčinu otáčení radiometru.
- 4 Diskutujte princip měření intenzity záření pomocí fotodiody, vnitřní fotoelektrický jev.
- 5 Detekujte IR záření akusticky.

Detekce IR záření

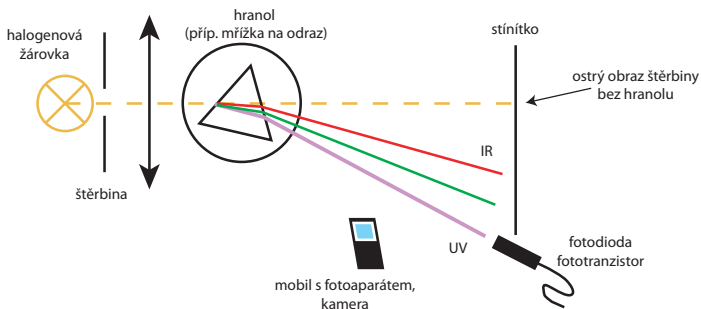


schéma experimentu

Radiometr – které vysvětlení je správné?

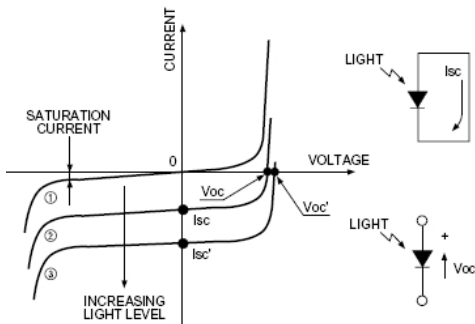
- Černá strana získá absorpcí fotonu hybnost o velikosti $\Delta p = h/\lambda$ (tlak záření, Crooks 1873).
- Ale lesklá strana získá odrazem fotonu hybnost dvojnásobné velikosti $\Delta p = 2h/\lambda$.
- Černá strana se více ohřívá, od ní i molekuly zbytkového plynu, ty na ní více naráží, což představuje větší tlak plynu u černých ploch.
- Molekuly plynu tečou na okrajích lopatek mlýnku z místa studenějšího (lesklá) strana na teplejší (černá strana), přitom tangenciálními silami roztáčí mlýnek (Reynolds 1879).
- Z černých ploch se zahříváním uvolňují plyny, fungují jako reaktivní motor.
- Na černé straně probíhá silněji fotoelektrický jev, ta ztrácí elektrony.



Detektory záření

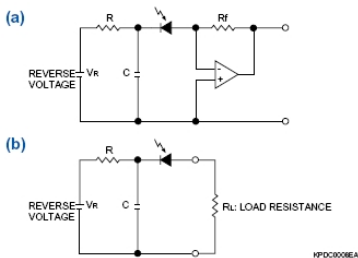
- fotodiody
- fotoodpory
- fototranzistory
- fotonka
- fotonásobič
- plošné detektory (CMOS, CCD, PDA, ICCD)

Fotodioda



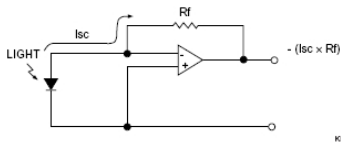
KPDC0005EA

Fotodioda – fotokonduktivní zapojení



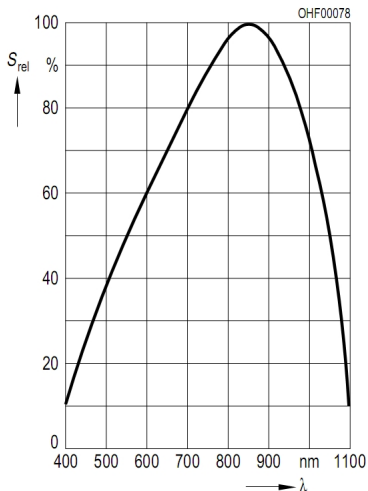
- světlem kontrovaný zdroj proudu
- dioda je v závěrném směru
- s ozářením se mění vodivost přechodu
- lepší frekvenční charakteristika (rychlost) a linearita
- vyšší temný proud a šum

Fotodioda – fotovoltaické zapojení

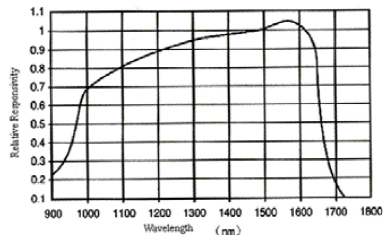


- dioda jako zdroj napětí
- měříme proud diodou pomocí OZ v zapojení transimpedanční zesilovač
- oproti fotokonduktivnímu zapojení vykazuje signál nižší šum

Fotodioda – typy



Si BPW34 400-1100 nm

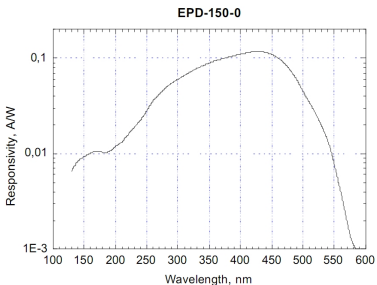


InGaAs PT410 1.0-1.65 μm

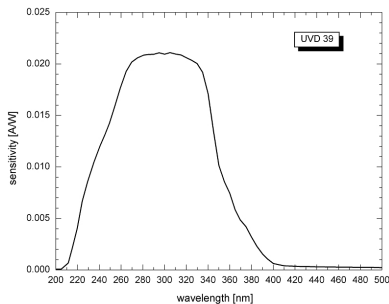
- $U_g = 1.12 \text{ eV}$ pro Si, 1.8 eV for GaAsP

Fotodioda – typy

- malá citlivost Si v UV oblasti – další typy TiO_2 , GaP, SiC, GaN



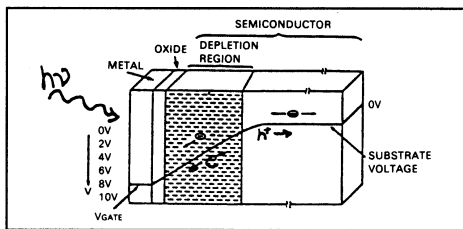
GaP

 TiO_2

http:

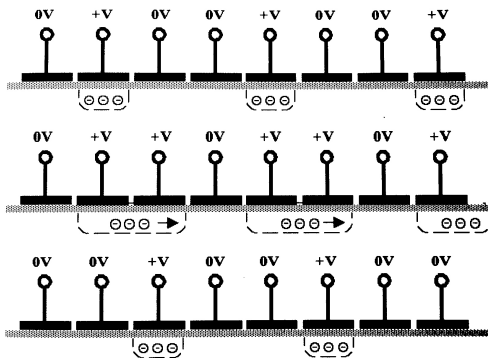
[//www.roithner-laser.com/Silicon_cross.htm](http://www.roithner-laser.com/Silicon_cross.htm)

CCD – Charge-Coupled Device



- PDA (*Photodiode array*) × CCD
- zlepšení citlivosti v oblasti UV 200 – 400 nm (pokrytí fluorescentním barvivem)
- chlazení Peltierovým článkem nebo kapalným dusíkem – potlačení šumu (až na 1 el/px/hod)

CCD – Charge-Coupled Device



Experimenty 2

- 1 V uspořádání z experimentu na detekci IR záření vyměňte halogenovou lampu za rtuťovou výbojku. Jak to, že je spektrum nyní čarové? Jaké vlnové délky jsou ve spektru? Část stínítka překryjte luminescenčním papírem různých barev a komentujte barvy pozorovaného spektra. Zvažte vhodnost použitého hranolu, případně fukusující čočky.
- 2 Do cesty záření vkládejte různé druhy skel, brýle s UV filtrem apod.
- 3 Místo hranolu použijte difrakční mřížku na odraz.
- 4 Samotnou rtuťovou výbojku zakryjte filtrem propouštějícím pouze UVA záření (pozor na přehřátí filtru!) nebo použijte černé světlo. Pozorujte ochranné prvky bankovek, jízdenek a průkazů.
- 5 Místo černého světla – výbojky – si vyzkoušejte levnou žárovkovou náhradu.

Experimenty 3

- 1 Vytvořte spektrum rtuťové výbojky na opt. lavici pomocí optického hranolu a mřížky. Komentujte rozdíly.
- 2 Optickým spektroskopem pozorujte spektrum úsporné zářivky. Co je zdrojem záření v této zářivce?
- 3 Pomocí Ruhmkorffova induktoru zapalte výboj v různých Geislerových trubicích a pozorujte jejich spektrum. Vysvětlete, v jakých případech je spektrum čárové, pásové a spojitě.
- 4 Pozorujte spektrum vysokotlaké sodíkové výbojky po zapnutí. Jak vysvětlíte absorpční pás na spojitém pozadí namísto ostrých emisních čar?
- 5 Místo optického spektroskopu si vyzkoušejte jednoduchý mřížkový spektroskop z CD/DVD.

Experimenty 4

- 1 Sestavte obloukovou lampu. Lampu napájejte ze zdroje proudu. Diskutujte nutnost užití proudového zdroje či zařazení předřadného odporu, zdroj elektronů a iontů ve výboji. Záření pozorujte přes svářečský filtr.
- 2 Demonstrujte zapojení zářivky. Vysvětlete význam doutnavkového startéru a tlumivky v obvodu.

Experimenty 5

- 1 Pozorujte absorpci záření v barevných kapalinách. Kyvetu vkládejte hned za štěrbinu, případně do různých míst stínítka.
- 2 Všimněte si vyzařování kapaliny. Co ho způsobuje, jaké zákonitosti platí pro toto záření?
- 3 Pozorujte absorpci záření v RGB nebo CMY filtrech. Zkombinujte některé filtry dohromady.

Absorpce v kapalinách

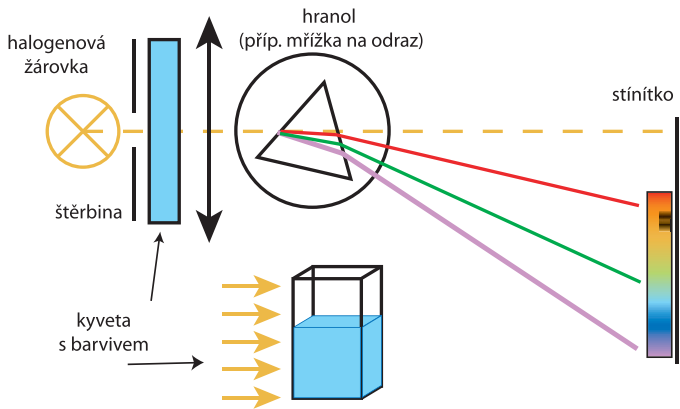
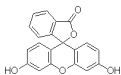


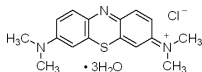
Schéma experimentu

Barviva pro absorpci

Pro demonstraci jsou vhodná barviva s absorpcí ve viditelné oblasti. U fluoresceinu a eosinu Y lze navíc pozorovat silnou luminiscenci.



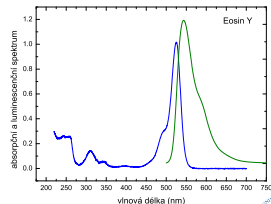
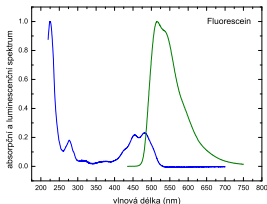
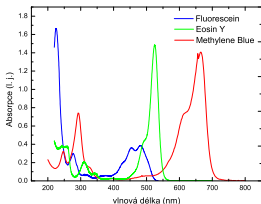
fluorescein



metylénová modř



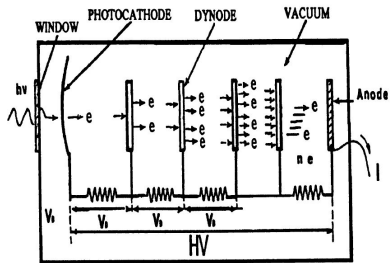
eosin Y



Experimenty 6

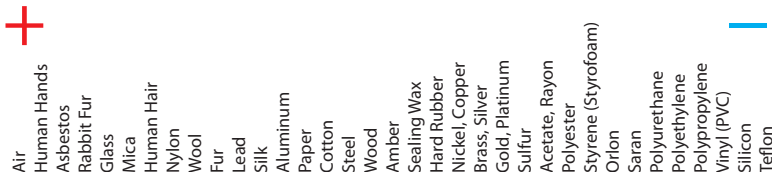
- 1 Naučte se elektroskop nabíjet kladně i záporně, i s jedinou dvojicí tyč + kožešina. Předpovězte znaménko náboje elektroskopu podle triboelektrické řady.
- 2 Horní plochou elektrodu nabitého elektroskopu ozařujte UV zářením (obě polarity).
- 3 Odstraňte případný oxid na elektrodě a pokus opakujte. Můžete také filtrem/sklem omezit vlnové délky či vyměnit elektrodu za druhou z jiného materiálu (Zn, Al . . .). Jaký je červený práh fotoefektu u těchto materiálů?
- 4 použijte fotonku pro měření intenzity záření, porovnejte s fotočlánkem/fotodiodou – vnitřní \times vnější fotoelektrický jev

Fotonka a fotonásobič (PMT)



- charakteristiky *responsivity* / *radiant sensitivity*, R (mA/W), *quantum efficiency*, QE (elektron/foton), temný proud
- čítače fotonů

Triboelektrická řada



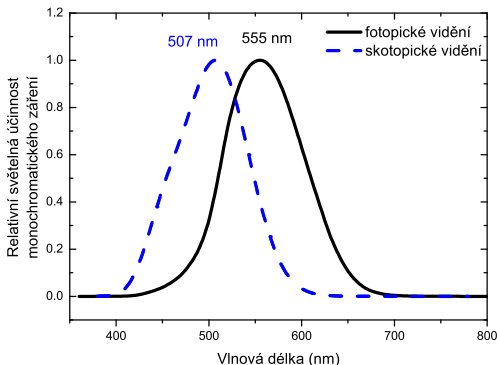
Charles K Adams (1987) NATURE'S ELECTRICITY p. 63

Látka více vlevo od jiné látky se „třením“ nabíjí kladně, více vpravo záporně. Pozice blízkých látek je relativní, záleží na více parametrech.

Experimenty 7

- 1 Fotometrické veličiny (světelný tok, svítivost, osvětlení, jas, definice kandely)
- 2 Měření osvětlení luxmetrem
- 3 Princip vnímání barev, barevný diagram
- 4 Pozorování barevných objektů v monochromatickém světle
- 5 Aditivní/subtraktivní skládání barev: rozřízlá čočka, RGB a CMY filtry, dělený barevný kotouč pod UVA výbojkou
- 6 Skládání barev na obrazovce počítače (reprezentace barvy v počítači), dataprojektor jako spektrálně laditelný zdroj
- 7 Realizace skládání barev v různých systémech (bílá LED, kompaktní zářivka, tiskárna, LCD, DLP projekce)

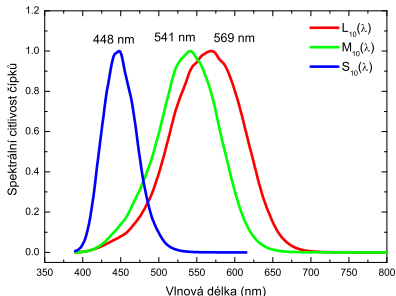
Světelná účinnost monochromatického záření



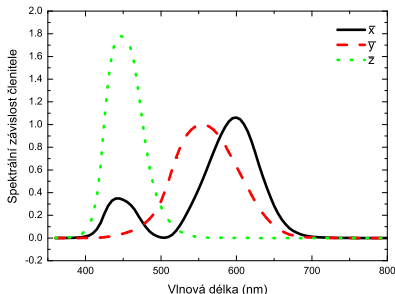
Účinnost monochromatického záření $K(\lambda) = K_{\max} V(\lambda)$

- fotopické vidění (čípky): $K_{\max} = 683 \text{ lm/W}$ (555 nm)
- skotopické vidění (tyčinky): $K_{\max} = 1700 \text{ lm/W}$ (507 nm)

Spektrální charakteristiky



Cone Fundamentals



Členitelé prostoru XYZ

<http://www.cvrl.org/>

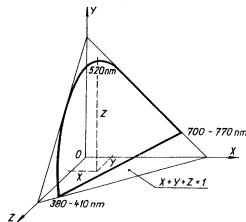
<http://www.efg2.com/Lab/Library/Color/Science.htm>

Prostor XYZ – výpočet souřadnic ze spektra

$$X = \int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{i=1}^N \Phi_{e,i} \cdot \bar{X}_i$$

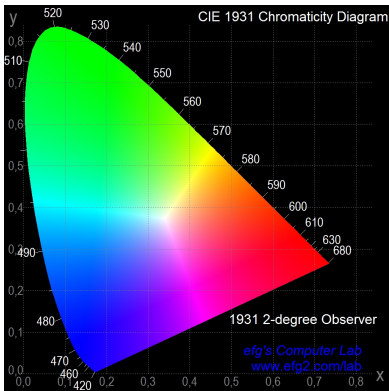
$$Y = \int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{i=1}^N \Phi_{e,i} \cdot \bar{Y}_i$$

$$Z = \int_0^{\infty} \Phi_e(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \approx \sum_{i=1}^N \Phi_{e,i} \cdot \bar{Z}_i$$

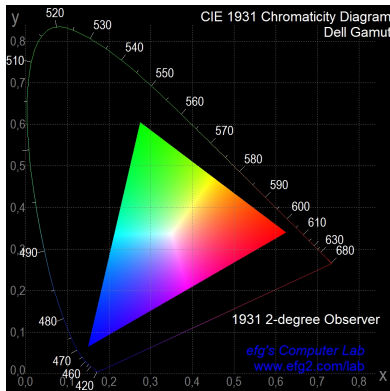


$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = 1-x-y$$

Diagram CIE

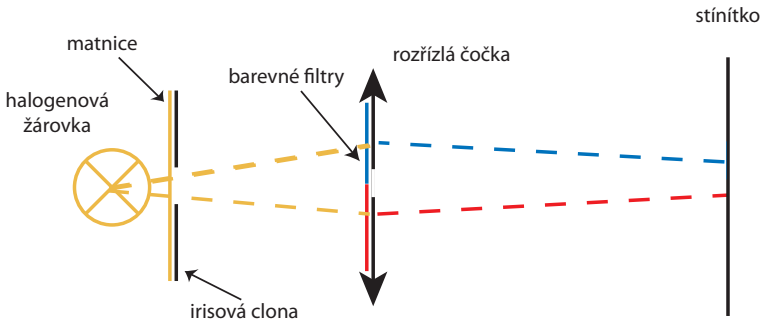


celý prostor



gamut RGB zařízení

Aditivní skládání barev rozřízlou čočkou



Experimenty 8

- 1 Pozorujte stroboskopický kotouč osvětlený žárovkou, Hg výbojkou, stropní zářivkou, žárovkou přes diodu, stroboskopem.
- 2 Pozorujte signál z fotodiody osciloskopem, zesílení přes transimpedenční zesilovač.
- 3 Integrační doba lidského oka, diody, fotonásobiče, luminoforů
- 4 problémy v praxi: osvětlení rotačních zařízení, princip zobrazovacích zařízení, využití jevu pro měření otáček