

Fotometrie

Fotometrie je oblast optiky popisující světlo a jeho účinky na lidské oko. Pomocí fotometrických veličin určuje vlastnosti světelných zdrojů a osvětlených ploch. Jiná možná definice fotometrie je „měření světla, které je detekováno lidským okem“.^[1]

Fotometrie

Do zkuškové otázky *Fotometrie* zahrnujeme následující témata, rozpracovaná detailně v následujících článcích:

- **Radiometrické a fotometrické veličiny a jednotky** a jejich vzájemná souvislost
- **Spektrofotometrie:**
 - Absorpce světla
 - Beerův zákon
 - Lambert-Beerův zákon
- **Zdroje a detektory optického záření:**
 - **Typy světelných zdrojů** – žárovky, luminiscenční zdroje záření, výbojky, luminiscenční diody, lasery – vzájemné srovnání a charakter jejich spekter
 - **Detektory optického záření**

Veličiny

Následuje stručný souhrn (podrobněji viz Radiometrické a fotometrické veličiny):

Radiometrické veličiny

Radiometrické veličiny uvažují záření v celém energetickém spektru nezávisle na tom, jak je záření vnímáno lidským okem.

Zářivá energie (energie vyslaná, přenesená nebo přijatá formou záření) se šíří od zdroje – jakoby "teče" a proto celkovou velikost energie, která "vyteče" ze zdroje za jednotku času do všech směrů nazýváme **zářivý tok** a jeho jednotkou je **watt (W)**. Pro ilustraci si můžeme představit, že žárovka o příkonu 1 W vyzařuje tok 1 W – ovšem větší část přitom připadne na neviditelné infračervené záření a nepočítáme ani ztráty tepla, působené kromě radiace i vedením či prouděním.

Intenzita záření je zářivý tok, procházející jednotkovou plochou, orientovanou kolmo na směr šíření záření, a tím pádem její jednotkou je **W/m²**.

Fotometrické veličiny

Fotometrické veličiny na rozdíl od radiometrických uvažují jen tu část elektromagnetického spektra, jež je vnímána lidským okem jako viditelné světlo.

Základní fotometrickou jednotkou (základní jednotkou soustavy SI) je 1 candela jakožto jednotka svítivosti; vyjadřuje svítivost bodového zdroje, který svítí všemi směry. V průběhu historie se její definice měnila, název však vychází ze svítivosti jedné svíčky, která dříve sloužila jakožto normál svítivosti, a tato představa dosud pro hrubou představu stačí.

Světelný tok je potom ta část světla, kterou takový všesměrový zdroj o svítivosti 1 cd vyzařuje do prostorového úhlu 1 sr a jeho jednotkou je *lumen*.

Pokud se světelný tok 1 lm rovnoměrně rozprostře na plochu o velikosti 1 m², pak osvětlení této plochy činí 1 lx.

Účinnost světelného zdroje

V praxi nás zajímá, jaká část celkové energie, dodané světelnému zdroji, bude přeměněna na užitečné, tj. viditelné světlo; tato účinnost je vyjádřena *poměrem světelného a zářivého toku*. a její jednotkou je tím pádem *lumen na watt* [lm/W]. Ideální monochromatický zdroj, který by veškerou energii přeměnil na světlo, na které je lidské oko nejcitlivější (540×10¹² Hz), by měl teoretickou účinnost 683 lm/W.

Zdroje záření

Oheň

Světlo, vydávané při hoření, bylo po dlouhá tisíciletí jediným dostupným umělým osvětlením. Nejdříve k osvětlení muselo postačit světlo vydávané ohněm, později se svítilo loučemi. Byly vynalezeny olejové lampy a voskové či později parafinové svíčky. Světelná účinnost svíčky obnáší řádově jen několik desetin W/lm, naprostá většina

radiace leží v infračervené (tepelné) oblasti.

Žárovky

Žárovky jsou nejběžnější zdroje světelného záření. Jsou založené na principu přeměny *energie elektrické* na energii *světelnou* zahříváním tenkého, nejčastěji wolframového vodiče. Ten se při vysoké teplotě mění na zdroj elektromagnetického záření především v oblasti infračerveného světla, menší část je i v oblasti viditelného světla.

Za vynálezce žárovky je považován **Thomas Alva Edison**, který v 19. století sestrojil první žárovku, i když pokusy s rozžhavením vodiče prováděli o 20 let dříve.

Výhody	Nevýhody
Plynule regulovatelné	Nízká účinnost
Jednoduchá výroba	Krátká životnost
Snadno odbouratelné	Vysoké provozní náklady
Bez nebezpečného záření	Některé emitují UV záření
Světlo podobné slunečnímu	



Žárovka 60W

Účinnost žárovky je velmi malá, řádově 10 lm/W, tzn. že žárovka více topí, než svítí.

Halogenová žárovka

Speciální druh žárovky s vyšší teplotou dosaženou u vlákna a tudíž vyzařuje záření s menší vlnovou délkou, než běžná žárovka, proto má **vyšší účinnost**, která je způsobena větším podílem viditelného světla. Dosahuje se u nich i delší životnosti přidáním halogenu. Její účinnost je přibližně 20 lm/W.

Výbojky

Výbojka je většinou tvořena skleněná trubice obsahující nějaký zředěný plyn (či páry nějakého prvku), který je ionizován a probíhá v něm ustálený elektrický výboj. Druh plynu či plynové směsi určuje barvu výboje (např.: neon – červenooranžová, sodík – žlutá). Výboj může vydávat i záření v ultrafialové oblasti.

Zářivka

Zářivka je druh výbojky, ve které je použit argon a páry rtuti. Výboj vydává UV záření, které dopadá na luminofor, nanesený na stěnách zářivky, a ten následně emituje viditelné světlo, jehož spektrum je dáno složením luminoforu. Účinnost zářivek se pohybuje zhruba mezi 50–100 lm/W.

Luminiscenční zdroje záření

Luminiscence je jev, při kterém dojde k *excitaci* některého atomu a následnému vrácení zpět do původního stavu, kdy elektrony vracející se zpět do původního stavu uvolní nadbytek energie ve formě emitovaného fotonu. Kromě zářivek existují i jiné druhy luminiscence, např. bioluminiscence, známá u tlejících pařez; či svatojánských mušek.

LED

Light emitting diodes jsou moderní zdroje světla s vysokou účinností, přesahující 100 lm/W.

Lasery

Viz článek Laser.

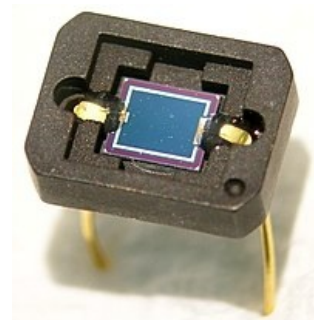
Detektory optického záření

Detektory záření zpracovávají dopadající energii vyzářenou zdrojem. Po absorpci energie dochází ke změně fyzikálních vlastností detektoru, např. uvolnění elektronů u fotoelektrických detektorů či změna teploty u tepelných detektorů optického záření. Nejstarším, a poměrně dosti citlivým detektorem optického záření, je lidské **oko**.

Detektory optického záření dělíme do tří skupin podle **principu**, na kterém fungují:

1. **Tepelné detektory** využívají převodu energie optického záření na energii tepelnou. Detekují tedy zvýšení teploty některé svojí části (čidla). Tato změna byla způsobena dopadajícím optickým zářením. Tepelné detektory bývají neselektivní (viz níže), ale pouze v oblasti vlnových délek optického záření 0,2–50 mikrometrů. Nejpoužívanějšími tepelnými detektory bývají **termistory**, **termočlánky** a **pyrometry**. Nejčastěji se používají pro detekci **infračerveného záření**.

2. **Fotoelektrické detektory** využívají převodu energie optického záření na energii elektrickou. Jsou založeny na *fotovodivostních změnách*, *fotodielektrickém jevu* (změna **permittivity** *zpřičiněná excitací atomů detektoru*), nebo na **vnitřním/ vnějším fotoelektrickém jevu**. Fotoelektrické



fotodioda

detektory patří do skupiny detektorů selektivních (viz níže). Nejčastěji se používají **fotodiody**. Dalšími fotoelektrickými detektory jsou **fototranzistory**, **fotoodpory**, **fotoelektrické články** a **fotoelektrické kamery**.

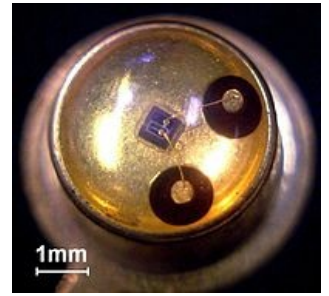
3. **Fotochemické detektory** využívají fotografické materiály pro detekci záření. Energie optického záření se zde spotřebuje pro iniciaci chemické reakce. Měrou absorbované energie je hustota vyvolaného fotografického snímku. Nejčastěji je jako fotochemický detektor použita fotografická emulze.

Detektory dělíme podle **typu detekce**:

- **přímá detekce** je detekce optického záření, při které má detektor záření stejnou rezonanční frekvenci jako měřené optické záření
- **nepřímá detekce** je přesný opak detekce přímé

U všech typů detektorů optického záření popisujeme ještě jejich základní **čtyři parametry**:

- **Detektivita** – ukazuje schopnost detektoru detekovat informaci přenášenou zářením. Vychází z prahové hodnoty detekovatelného výkonu optického záření.
- **Konverzní účinnost** – je nejčastěji definována jako poměr mezi energií výslednou k energii vstupující do procesu detekce.
- **Časová odezva** – úsek času, za který se signifikantně změní výstupní signál detektoru.
- **Spektrální charakteristika** – je závislost výstupní veličiny detektoru na frekvenci dopadajícího záření. Pokud je spektrální charakteristika ve velkém rozmezí konstantní, nazýváme detektor neselektivní. V opačném případě, tedy není-li konstantní, mluvíme o selektivním detektoru.
 - **Neselektivní** detektor není nijak ovlivněn **vlnovou délkou** dopadajícího záření. Jedná se například o tepelné detektory.
 - **Selektivní** detektory jsou ovlivněny vlnovou délkou dopadajícího záření. Jedná se například o detektory fotoelektrické.



fototranzistor

Všechny typy detektorů, které jsou dnes používány, řadíme mezi detektory nepřímé (viz níže). Kdybychom chtěli používat detektory přímé, jejich rozměry by se musely pohybovat v rozmezí několika mikrometrů a celý komplex by musel mít **frekvenci** 10^{15} Hz. To proto není s dostupnými technologiemi dosažitelné.

Lidské oko

Lidské oko je nejstarším a celkem dosti citlivým detektorem optického záření. Je spektrálně selektivní v oblasti vlnových délek 400 až 800 nm (někteří autoři uvádějí i 400 až 700 nm). Nejcitlivější je lidské oko pro vlnovou délku 555 nm. Je schopno detekovat světelný tok již při několika desítkách **fotonů** za jednu sekundu. Lidské oko obsahuje další dva typy detektorů optického záření, **čípky** a **tyčinky**. Citlivost těchto dvou detektorů není konstantní, v důsledku toho můžeme pozorovat adaptace oka (automatické přizpůsobení oka vstupní intenzitě optického záření).

Absorpce světla

Absorpce světla je fyzikální jev, při němž dochází k zeslabování intenzity záření a jehož sledování patří mimo jiné i pod obor spektrofotometrie, která ho využívá pro stanovování vlastností vzorků. Obecně lze říci, že absorpce světla je pohlcení a zeslabení záření v průběhu jeho šíření se prostředím.

Princip absorpce

Podmínkou pro průběh absorpce světla je vyšší počet valenčních elektronů na nižší energetické hladině. (K absorpci opačný proces se nazývá **spontánní emise** a ta naopak pro svůj průběh vyžaduje více elektronů na hladině vyšší). Na světlo nazíráme jako na proud fotonů s určitou energií, která je při absorpci pohlcena jiným předmětem, například atomem, jehož valenční elektrony jsou zrovna v přechodu mezi dvěma úrovněmi energií a mohou tedy díky tomuto energetickému zisku přejít do vyššího stavu. Foton při tomto procesu zaniká, energie je pohlcena předmětem a následně může být přeměněna na energii tepelnou (tedy kinetickou energii částic), nebo být opět vyzařena (přeměna zpět ve světelnou energii se nazývá luminiscence). V zásadě lze tedy říci, že při absorpci se mění světlo v jiný druh energie.

Absorpci světla popisuje Lambertův zákon, který pracuje s veličinami jako je intenzita světla, propustnost, tloušťka prostředí a absorpční koeficient, který udává míru absorpce.

Druhy absorpce

- **Absorpce neutrální**, která probíhá stejnou mírou při všech vlnových délkách v určitém rozsahu spektra.
- **Absorpce selektivní**, při níž se nepohlcuje světlo celého spektra, ale jen určitá jeho část. Tento druh



Zjednodušené schéma principu absorpce světla

absorpce je nejtypičtější pro většinu látek, které se nám díky tomuto jevu jeví jako barevné. Je to způsobeno tím, že světlo absorpcí přichází o některé vlnové délky, nebo rovnou celé části svého původního spektra. Barva předmětu je tedy dána skladbou barev odpovídajících vlnovým délkám světla, které daný předmět pohlcuje. Viz subtraktivní míchání barev.

- **Absorpce spojitá**, při které je záření pohlcováno ve všech vlnových délkách.
- **Absorpce čárová**, při níž se absorbuje záření jen v určitých spektrálních čárách, což jsou složky čárového spektra.

Beerův zákon

Článek ke kontrole



Žádá se kontrola tohoto článku učitelem.

Navržený učitel: Jan Tomsa

Beerův zákon popisuje závislost absorpčního koeficientu na koncentraci látky (resp. koncentraci absorbujících molekul v neabsorbujícím rozpouštědle):

$$\alpha = \varepsilon \cdot C,$$

kde α je součinitel absorpce, C je koncentrace absorbujících molekul a ε je **molární absorpční koeficient** – konstanta, která charakterizuje absorbující látku a závisí na vlnové délce procházejícího monochromatického záření (je její funkcí).

Lambert-Beerův zákon

Lambert-Beerův zákon určuje absorbanci, veličinu charakterizující míru absorpce elektromagnetického záření v látce.

Absorbance je závislá na tloušťce vrstvy d , kde dochází k zeslabování záření, a na součiniteli absorpce α (zeslabení), který závisí na intenzitě.

$$A = \alpha \cdot d$$

Do tohoto vzorce dosazujeme Beerův zákon, kde ε je molární absorpční koeficient a C je molární koncentrace roztoku:

$$\alpha = \varepsilon \cdot C$$

Získáme tak Lambert-Beerův zákon:

$$A = \varepsilon \cdot C \cdot d$$

Odkazy

Související články

- Laser (biofyzika)
- Laser (hygiena)
- Spektrofotometrie
- Energie a intenzita světla
- Index lomu světla
- Lambert-Beerův zákon
- Beerův zákon
- Absorbance
- Absorpce světla
- Detektory optického záření
- Refrakční vady oka

Externí odkazy

- Transdukce světla – vysvětlení na Youtube (anglicky) (<https://www.youtube.com/watch?v=KosDT4z6NBc%7C>)
- Třídy bezpečnosti laserů (<http://lasery.wz.cz/bezpecnost.html>)
- Spektrální citlivost lidského oka (anglicky) (https://www.telescope-optics.net/eye_spectral_response.htm)
- Spektrální citlivost lidského oka (<http://www.infrared.cz/domains/infrared.cz/cz/>)

Reference

1. Prezentace Radiometrie, Fotometrie ([https://www.fbmi.cvut.cz/files/predmety/30/public/Radiometrie%20\(cistopis\).pdf](https://www.fbmi.cvut.cz/files/predmety/30/public/Radiometrie%20(cistopis).pdf)), ČVUT.

Zdroje

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vydání. Brno : Neptun, 2001. 396 s. ISBN 80-902896-1-4.
- KONDRÁDOVÁ, Václava, Jiří UHLÍK a Luděk VAJNER. *Funkční histologie*. 2. vydání. Jinočany : H&H, 2000. 291 s. ISBN 80-86022-80-3.
- ČIHÁK, Radomír, et al. *Anatomie 3*. 2. vydání. Praha : Grada, 2004. 692 s. ISBN 80-247-1132-X.
- LEPIL, Oldřich. *Fyzika pro gymnázia. Optika*. 3. vydání. Praha : Prometheus, 2009. 0 s. ISBN 978-80-7196-237-3.
- KOLÁČNÁ, Lucie. *Byofyzika vidění, fyzikální princip a aplikace fluorescence a průtokové cytometrie v medicíně* [přednáška k předmětu Byofyzika, obor Všeobecné lékařství, 2. LF UK Karlova univerzita]. Praha. 30.10.2012.
- JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchôa a José CARNEIRO. *Basic histology : text & atlas*. 11. vydání. New York : McGraw-Hill, c2005. ISBN 0-07-144091-7.
- SVOBODA, Emanuel, et al. *Přehled středoškolské fyziky*. 4. vydání. Praha : Prometheus, 2008. 0 s. ISBN 9788071963073.