

Tabulka 5.2: Receptory lidského oka

Čípky Tyčinky

převážně v oblasti žluté skvrny	větší hustota mimo žlutou skvrnu
malé zorné pole	velké zorné pole
velká ostrost vidění	nižší ostrost vidění
barevné vidění	šedé (nebarevné) vidění
nižší citlivost	vyšší citlivost

Příklady ke kapitole 5

- 5.2 Vypočtěte proud detektoru vyvolaný ve fotodiodě svazkem z *He-Ne* laseru s výkonem $1 \mu\text{W}$ za předpokladu, že každé dva fotony vyvolají vznik jednoho náboje. Jaký má být odpor zátěže, aby se napětí na něm rovnalo 1 mV ?
- 5.3 Vypočtěte proud detektoru vyvolaný svazkem *He-Ne* laseru s výkonem $0,1 \text{ mW}$ ve fotonásobiči, který je tvořen fotokatodou, pěti dynodami a anodou. Předpokládejte, že fotokatoda má kvantovou účinnost 10% , každá dynoda emituje tři elektrony na jeden dopadající elektron. Na anodu dopadají všechny elektrony z poslední dynody.
- 5.5 Úhel divergence laserového svazku s výkonem 1 W umístěného na zemi se rovná 2 mrad . Jestliže útlum atmosféry představuje 10 dBkm^{-1} , vypočtěte, jaká je maximální přípustná vzdálenost mezi zdrojem a retranslátorem. Plocha detektoru retranslátoru je 1 cm^2 a minimální spolehlivě detekovatelný signál $1 \mu\text{W}$.
- 5.7 Vypočtěte dopadající signál na detektoru vyvolávaný zářením *He-Ne* laseru s výkonem 1 mW a s úhlem divergence 2 mrad , vzdálenost laser — detektor 10 km , poloměr fotokatody 1 cm . Pro kvantovou účinnost fotokatody 10% vypočtěte vyvolaný proud fotodetektozem.

Kapitola 6

Klasické zdroje optického záření

Zdroje optického záření jsou zařízení nebo objekty, v nichž dochází k přeměně různých forem energie na energii elektromagnetického záření v pásmu optických frekvencí tj. s vlnovými délkami ve vakuu v pásmu desítek nanometrů až zlomků milimetrů.

Existují přirozené (přírodní) a umělé zdroje optického záření. K přirozeným zdrojům patří Slunce, hvězdy, atmosférické výboje a luminiscenční zdroje živočišného a rostlinného původu. Umělé zdroje je možné rozdělit do dvou skupin na klasické zdroje (nekoherentní) a nové koherentní zdroje reprezentované především lasery.

Nekoherentní zdroje bývají tvořeny velkým množstvím elementárních zářičů (atomů, iontů, molekul apod.), které vysílají záření v procesech spontánní emise, navzájem nezávisle. Frekvence záření je dána frekvencemi kvantových přechodů soustav, ze kterých je látka složena. Mezi fázemi jednotlivých vysílaných vln neexistuje žádný vztah. Výsledné elektromagnetické pole od mnoha zářičů má charakter náhodného signálu – šumu.

Tyto klasické zdroje je možné rozdělit na tepelné (termodynamicky rovnovážné) a luminiscenční (nerovnovážné). K tepelným zdrojům patří každé dostatečně ohřáté těleso (např. plamen, žárovka), idealizovaným zdrojem záření je tzv. černé těleso. Luminiscenční zdroje jsou založeny na buzení luminiscence plynů nebo pevných látek, uskutečňované elektrickým výbojem v

plynu (obloukovým, doutnavým, bezelektrodovým), optickým zářením jiného zdroje, elektronovým svazkem apod.

6.1 Záření rovnovážných zdrojů

6.1.1 Černé těleso

Černé těleso je pomyslný objekt nacházející se ve stavu *termodynamické rovnováhy*, který pohlcuje všechno dopadající elektromagnetické záření nezávisle na frekvenci. Vyzařování černého tělesa je plně popsáno termodynamicky rovnovážným zářením. Všechny vlastnosti vysílaného záření plynou z jeho teploty. Spektrální vlastnosti i intenzita vyzařování jsou dány Planckovým zákonem.

Pro kalibrační účely se černé těleso realizuje jako otvor dutiny s černě obarvenými stěnami. Záření vstupující do dutiny se při opakovaných odrazech od stěn dutiny prakticky úplně pohlcuje a záření vystupující z otvoru má vlastnosti rovnovážného záření, daného teplotou stěn dutiny (viz kap. 4).

6.1.2 Záření Slunce

Slunce je nejstarším zdrojem optického záření využívaného člověkem. Jeho záření lze popisovat jako rovnovážné záření černého tělesa. Spektrální vlastnosti slunečního odpovídají teplotě 6000 K.

6.1.3 Žárovka

Světelným zdrojem je rozžhavené tělísko. Ohřátí způsobeno průchodem elektrického proudu. Tělísko (vlákno) kdysi z uhlíku, nyní z wolframu (protože tento kov má nejvyšší bod tání). Vlákno bývá umístěno ve vakuu nebo v netečném plynu (dusík, argon, krypton), aby mohlo být ohříváno až na teploty, kdy maximum výkonu vysílaného záření spadá do oblasti optických frekvencí.

6.2 Záření nerovnovážných zdrojů

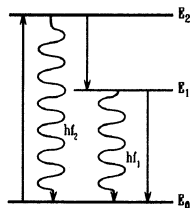
6.2.1 Luminiscence

Luminiscence je optické záření látky (plynu, kapaliny, pevné látky), jejíž termodynamická rovnováha byla porušena vnějším účinkem – buzením. Přesněji řečeno, luminiscence je jen část vysílaného záření a to přebytek nad jejím tepelným zářením, který opouští látku s jistým zpožděním po budícím účinku. Luminiscence je na rozdíl od tepelného záření nezávislá na teplotě, tj. vyzařují ji i studené objekty, takže bývá nazývána *studeným světlem*. V přírodě se s luminiscencí setkáváme v podobě polární záře, světélkování hmyzu, minerálů nebo zahnívajících dřeva. Luminiscenci je možné třídit podle způsobu buzení na *fotoluminiscenci*, *radioluminiscenci*, *katodoluminiscenci*, *elektroluminiscenci*, *triboluminiscenci*, *chemiluminiscenci* aj.

Podle doby trvání bývá luminiscence dělena na *fluorescenci* a *fosforescenci*. Fluorescence je luminiscence s krátkou dobou dosvitu (několik mikrosekund (milisekund) po skončení účinku budícího zdroje. Fosforescence pokračuje ještě dlouho po skončeném buzení.

Látky, které vykazují schopnost luminiscence, se nazývají *luminofory*. Společnou vlastností luminoforů je diskrétní spektrum energetických hladin. Látky se spojitým spektrem energetických hladin (např. kovy) nejsou nikdy luminofory. Elementární akt luminiscence se skládá z vybuzení kvantové soustavy (tj. atomu, iontu nebo molekuly), případného přenosu excitační energie na nižší energetickou hladinu a následného zářivého přechodu (viz. obr. 6.1).

Buzení vyvolává přechod ze základního stavu s energií E_0 do stavu s energií E_2 . Vrací-li se kvantová soustava zpět do stavu s energií E_0 zářivým přechodem, jedná se o tzv. *rezonanční luminiscenci*. Zpravidla však dochází nejdříve k nezářivému přechodu na hladinu E_1 a poté k zářivému přechodu z E_1 do E_0 . Hladina E_1 leží zpravidla níže než E_2 . Energetický rozdíl se spotřebovává na teplo. Luminiscenční kvantum energie hf_1 je menší než kvantum energie absorbované buzením hf_2 (*stokesovská luminiscence*), ale



Obr. 6.1: Energetické hladiny luminoforu

vyločen není ani opačný případ (*antistokesovská* luminiscence).

Emisní hladina E_1 může být hladinou téže kvantové soustavy (atomu, iontu), která absorbovala energii, nebo obecně může být hladinou jiné kvantové soustavy v luminoforu. Proces přenosu excitační energie z absorpční hladiny E_2 jistého atomu na hladinu E_1 jiného atomu probíhá v různých materiálech různě. Někdy se přenáší kmitavým pohybem atomových jader v krystalické struktuře, jindy vodivostními elektrony nebo páry elektron – díra. Je-li rekombinace posledním procesem při vzniku luminiscenčního záření, mluvíme o rekombinační luminiscenci.

Mezi hladinami E_1 a E_0 může též docházet k nezářivým přechodům. Zvýšení pravděpodobnosti nezářivých přechodů vede ke *zhášení* luminiscence. Je-li příčinou zhášení zvýšení teploty materiálu (resp. koncentrace luminiscenčních center) mluvíme o *teplotním* (resp. *koncentračním*) zhášení.

Luminiscence má široké praktické uplatnění. Při nízkém tlaku plynu je možné budít luminiscenci par kovů a vzácných plynů, která se využívá v luminiscenčních lampách a je předpokladem činnosti plynových laserů. Luminiscence kapalin se pozoruje především u roztoků organických látek. Krystaly, které vykazují luminiscenci, bývají označovány jako *krystalofosfory*. Jsou využívány při katodoluminiscenci v obrazovkách televizorů a staly se základem pevnolátkových laserů. Intenzivní luminiscence některých látek umožňuje hledání jejich malých koncentrací a stala se základem nové měřicí metody (tzv.

luminiscenční analýzy). Luminiscence se využívá v defektoskopii a ve zdravotnictví k diagnostice např. rakovinných buněk.

6.2.2 Výbojka

Umělým nerovnovážným zdrojem optického záření je výbojka. Buzení je realizováno elektrickým výbojem v plynu nebo v parách kovů, popřípadě v jejich směsích. Podle tlaku plynu, se kterým pracují, se dělí na doutnavky, nízkotlaké výbojky a vysokotlaké výbojky. Pro osvětlovací účely se v současnosti používá výbojek s parami rtuti nebo sodíku, popř. směsi rtuťových par a halogenidů.

Nízkotlaké výbojky pro osvětlování bývají nazývány zářivkami. Ve výbojovém prostoru zářivek vzniká především ultrafialové záření (jako luminiscence plynu). Na stěnách zářivek bývá nanášena vrstva pevnolátkového luminoforu (krystalofosforu), který je buzen ultrafialovým zářením výboje a vysílá fotoluminiscenci ve viditelné oblasti spektra.

Pro buzení laserů se používají vysokotlaké výbojky zvláštní konstrukce. Jsou optimalizovány z hlediska spektra vysílaného záření tak, aby emisní spektrum výbojky bylo přibližně stejné jako absorpční spektrum buzeného materiálu, dále jsou optimalizovány z hlediska životnosti, výkonu a režimu provozu. Např. pro buzení impulsních pevnolátkových iontových laserů jsou používány impulsní výbojky speciální konstrukce plněné xenonem nebo kryptonem pod tlakem 0,04 až 0,09 MPa. Těleso trubice bývá tvořeno křemennou trubicí se světlostí od 3 do 20 mm s délkou výbojového prostoru 5 až 25 cm.

Příklad ke kapitole 6

6.1 Odhadněte světelnou účinnost žárovky, zohledněte spektrum rovnovážného záření a spektrální citlivost lidského oka.