

# MANUÁL



**SÚPRAVA NA MIEŠANIE FARIEB LED DIÓDAMI**

**2.2.4.25**

# **Demonštračná pomôcka**

## **Spectral Plus**

Užívateľský manuál

## Obsah

<b>1 Základné informácie .....</b>	<b>3</b>
Použitie súpravy .....	3
1.1 Zloženie súpravy .....	3
1.2 Technická špecifikácia .....	4
<b>Demonštračné experimenty .....</b>	<b>5</b>
Absorpcia a transmisia svetla .....	5
1.3 Rozptyl svetla .....	7
1.4 Skladanie farieb .....	9
1.4.1 Aditívne skladanie farieb .....	9
1.4.2 Substraktívne skladanie farieb .....	11
1.4.3 Automatický režim .....	12
1.5 Žiarenie a spektrá rôznych zdrojov svetla .....	13
1.5.1 Spektrum RGB displeja .....	14
1.5.2 Spektrum klasickej žiarovky .....	14
1.5.3 Spektrum bielej Neónovej tlejivky .....	14
1.5.4 Spektrum bielej LED diódy s luminoforom .....	15
1.5.5 Spektrum fluorescenčnej výbojky .....	15
<b>2 Výhody demonštračnej pomôcky Spectral Plus .....</b>	<b>17</b>

## Použitie súpravy

Demonštračná pomôcka Spectral Plus slúži na názorné a jednoduché demonštrovanie základných vlastností svetla a svetelných zdrojov. Javy, ktoré je možné demonštrovať pomocou tejto pomôcky, sú:

- Aditívne skladanie farieb
- Substraktívne skladanie farieb
- Rozptyl svetla
- Rozklad svetla na spektrálne zložky
- Rôzne spôsoby tvorby bieleho svetla
- Čiarový charakter spektra fluorescenčnej výbojovej lampy a LED diód
- Spojitý charakter spektra klasickej žiarovky

### 1.1 Zloženie súpravy

Demonštračnú pomôcku (Obr. 1) tvorí:

- Farebný RGB displej zložený z 36 LED diód (12 červených, 12 zelených, 12 modrých)
- Neónová tlejivka
- Biela LED dióda s luminoforom
- Žiarovka s volfrámovým vláknom
- Modrá CCFL lampa<sup>1</sup> (ortuťová výbojka)
- 12V adaptér
- Prepínač manuálneho a automatického režimu miešania farieb

Doplňky ku pomôcke:

- Sada farebných a difúzných filtrov (červený, zelený, modrý, difúzny, 2 biele mliečne filtre a CMYK filter)
- Spektroskop (5 kusov)

---

<sup>1</sup> CCFL = Cold Cathode Fluorescent Lamp (výbojka so studenou katódou)



**Obr. 1** – Demonštračná pomôcka Spectral Plus

## 1.2 Technická špecifikácia

V Tabuľke 1 sú uvedené technické parametre:

Rozmery	d x š x v: 250 mm x 250 mm x 80 mm
Hmotnosť	1300 g
Napájanie	12 V DC
Vlnové dĺžky LED diód	Zelená: 525 nm, Červená: 630 nm, Modrá: 470 nm
Odber	700 mA
Názvy a označenie filtrov	1 – červený 2 – zelený 3 – modrý 4 – CMYK 5 – difúzny 6 – mliečny 6 – mliečny

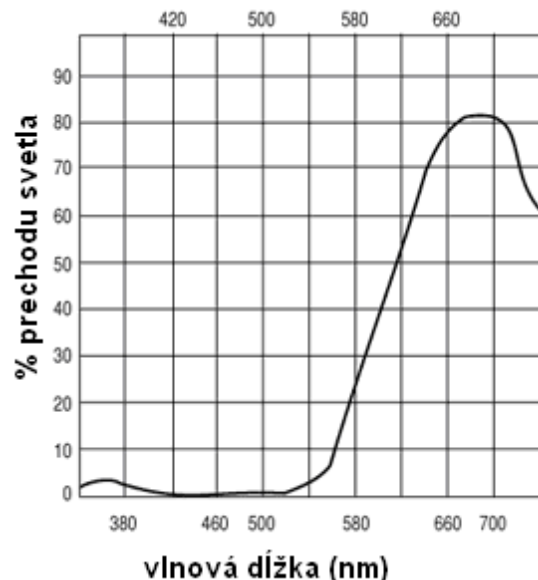
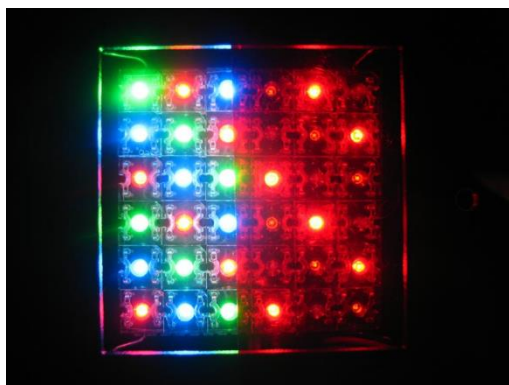
**Tabuľka 1** – Technická špecifikácia

## Demonštračné experimenty

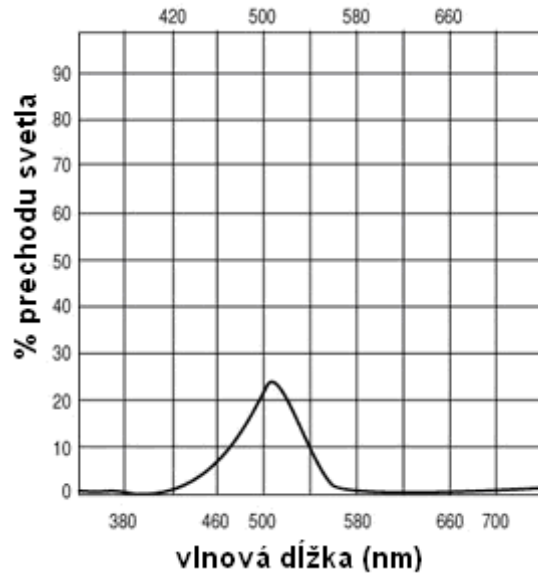
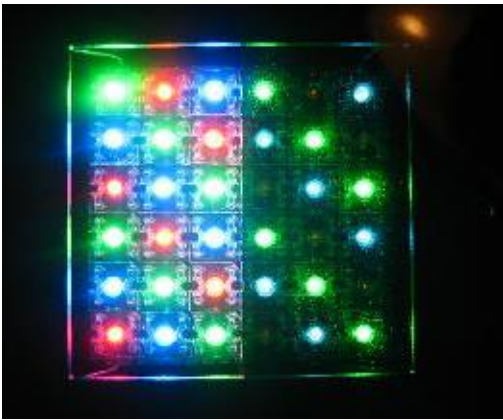
### Absorpcia a transmisia svetla

Absorpcia svetla je pohlcovanie jednotlivých farebných zložiek dopadajúceho svetla materiálom, cez ktorý svetlo prechádza. Transmisia je priepustnosť materiálu, ktorým svetlo prechádza. Pre každý materiál existuje spektrálna krivka priepustnosti, ktorá vyjadruje, ktoré vlnové dĺžky dopadajúceho svetla materiál pohltí, a ktoré prepustí.

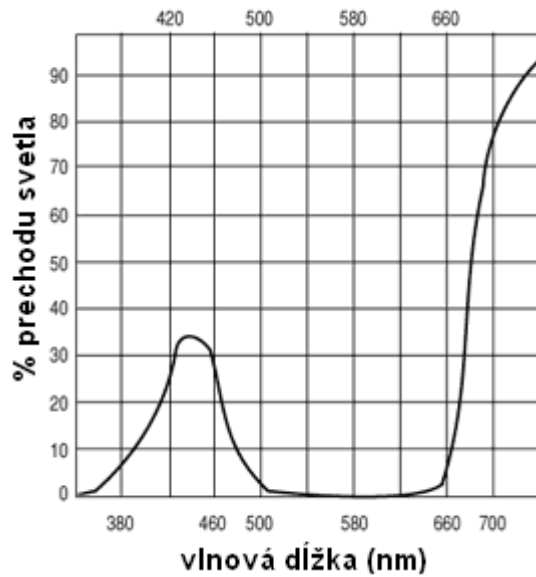
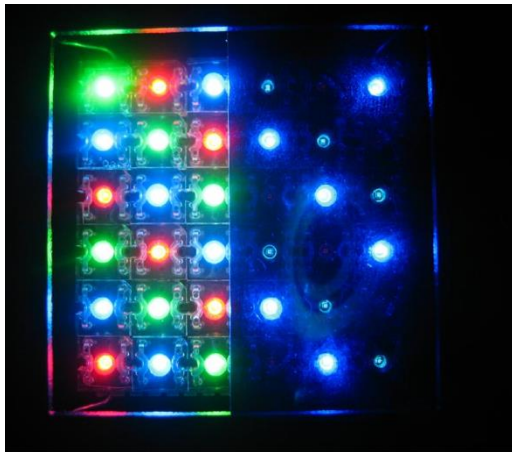
Absorpciu a transmisiu svetla možno s pomôckou Spectral Plus demonštrovať pomocou sady farebných filtrov. Ak ponecháme farebný RGB displej odkrytý a nastavíme všetky tri farby na približne rovnakú úroveň intenzity a prikladáme rôzne farebné filtre, vidíme, ako sa svetlo pri prechode cez filter pohlcuje. Filter prepustí len istú oblasť vlnových dĺžok, ostatné pohltí. Farebná priepustnosť filtra je daná krivkou priepustnosti. Krivky priepustností pre jednotlivé filtre v sade sú na Obr. 2, 3, 4.



**Obr. 2** – Absorpcia a priepustnosť svetla na červenom filtri, krivka priepustnosti pre červený filter.



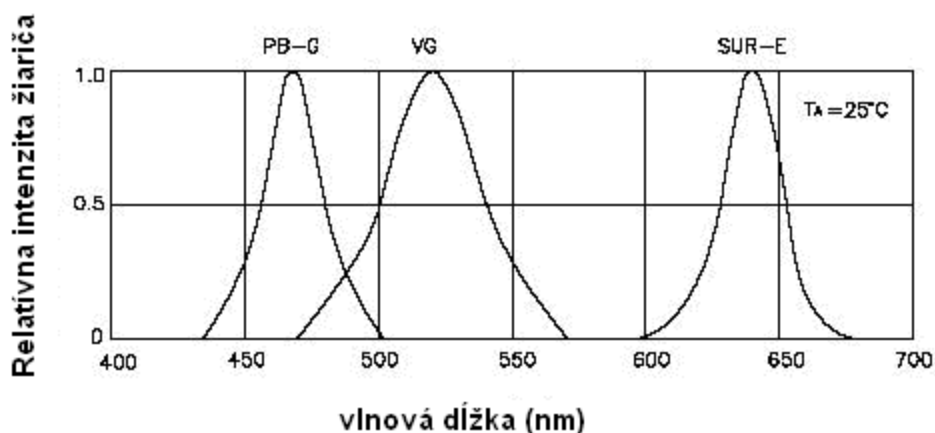
**Obr. 3** – Absorpcia a priepustnosť svetla na zelenom filtri, krivka priepustnosti pre zelený filter.



**Obr. 4** – Absorpcia a priepustnosť svetla na modrom filtri, krivka priepustnosti pre modrý filter.

Filtre prepustia len jednu úzku oblasť vlnových dĺžok, zatiaľ čo zvyšné vlnové dĺžky sú výrazne potlačené. Najlepšie je to vidieť v prípade červeného filtra (Obr. 1). Zelený filter

prepustí aj istú časť modrého svetla a modrý filter prepúšťa aj istú časť zeleného svetla. Vysvetlenie súvisí s krivkou priepustnosti zeleného a modrého filtra a s emisným spektrom jednotlivých LED diód. Emisné spektrá diód sú na Obr. 5.



**Obr. 5** – Emisné spektrá jednotlivých LED diód (zľava): modrá, zelená, červená.

Z emisného spektra LED diód vidno, že vlnová dĺžka modrej a zelenej farby sú relatívne blízko pri sebe. Na krivkách priepustností zeleného a modrého filtra vidíme, že modrý filter čiastočne prepúšťa aj vlnové dĺžky zasahujúce do zelenej farby a zelený filter čiastočne prepúšťa aj vlnové dĺžky zasahujúce do modrej. Preto tieto filtre nedokážu potlačiť ostatné zložky úplne.

Zaujímavý efekt dosiahneme vtedy, ak položíme všetky tri filtre na seba – takmer všetko svetlo ostane pohltené. Tento pokus s filtrami môže byť aj zaujímavým námetom na samostatnú žiacku aktivitu. Žiaci môžu prekresliť jednotlivé krivky priepustností do jedného diagramu, pričom zistia, že tri filtre spolu potlačia takmer celé viditeľné spektrum.

### **Upozornenie:**

*Pri odkrytom RGB displeji neodporúčame nastaviť intenzitu na hodnoty vyššie ako 5, pretože pri nezakrytom RGB displeji svietia LED diódy veľmi intenzívnym a jasným svetlom už pri nízkych hodnotách intenzity.*

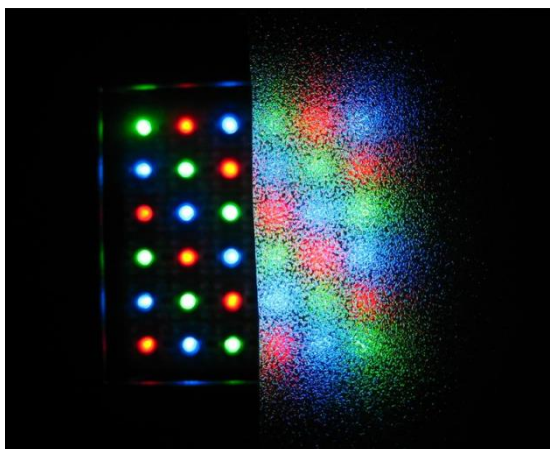
### 1.3 Rozptyl svetla

Demonštráciu rozptylu svetla môžeme robiť pomocou difúzneho filtra. Pri pozorovaní odkrytého RGB displeja cez farebný difúzny filter uvidíme, že bodové zdroje svetla sú rozptýlené a javia sa ako väčšie – „zlievajú sa“ (Obr. 6).

Farebný difúzny filter sa dá jednoducho zostrojiť tak, že spojíme číry difúzny filter a farebný filter. Takto sa dá demonštrovať napríklad červené signalizačné svetlo cestnej premávky.



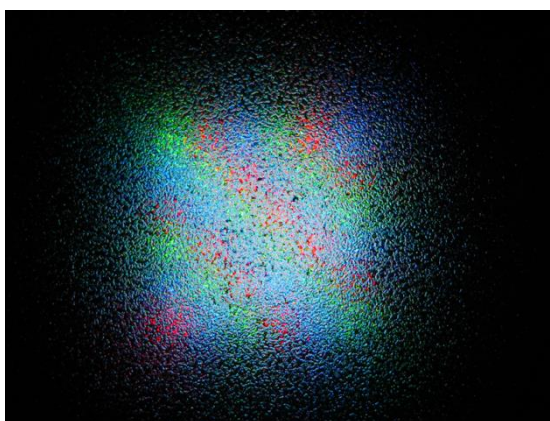
Pri zmene vzdialenosti filtra od RGB displeja sa mení aj okom vnímaná veľkosť jednotlivých farebných bodov. Pri istej vzdialenosti filtra od displeja sa malé svetelné body javia akoby svetlo prichádzalo z homogénneho plošného zdroja svetla.



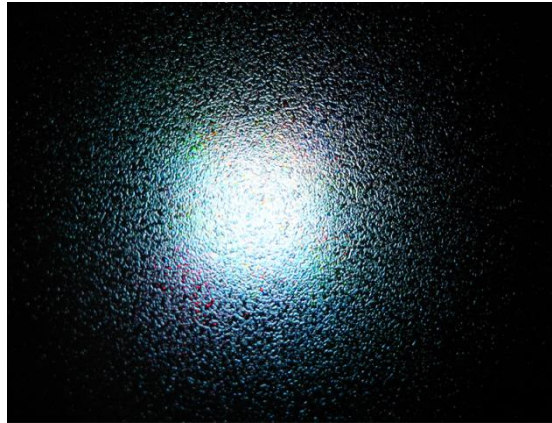
**Obr. 6** – Demonštrácia rozptylu svetla pomocou číreho difúzneho filtra.

Praktické aplikácie takýchto difúzných filtrov sú napríklad signalizačné svetlá cestnej premávky, svetlá automobilov a veľkoplošné zdroje osvetlenia, kde svetlo pochádza z jedného alebo mnohých bodových zdrojov, ale použitím rozptylového filtra sa svetlo javí ako homogénne.

Pri vzdďaľovaní filtra od displeja sa okrem zlievania jednotlivých svetelných bodov aj miešajú jednotlivé farby (Obr. 7).



**Obr. 7** – Zlievanie bodových zdrojov svetla vplyvom rozptylu na čírom difúznom filtri.



**Obr. 8** – Zmiešanie farebných zložiek do bielej farby pri určitej vzdialenosti difúzneho filtra.

Pri istej vzdialenosti filtra od farebných zdrojov bodového svetla sa jednotlivé farebné zložky zmiešajú úplne a výsledné svetlo vnímame ako biele (Obr. 8). Ešte výraznejší rozptyl svetla nastáva na bielom mliečnom filtri, ktorý zmieša bodové zdroje svetla pri veľmi malej vzdialenosti. Zmiešanie troch farebných zložiek do bieleho svetla je demonštrácia tvorby bieleho svetla aditívnym skladaním, čo je však už obsah nasledujúcej kapitoly.

#### 1.4 Skladanie farieb

Miešanie farieb pomocou pomôcky Spectral Plus demonštrujeme tak, že na RGB displej položíme dva mliečne filtre – jeden tesne nad displej a druhý na vrch držiaka filtrov. Menením intenzít jednotlivých farebných zložiek dosahujeme rôzne farby. Môžeme demonštrovať obidva druhy skladania farieb – **aditívne** (pomocou skladania svetelných zdrojov) a **subtraktívne** (pomocou skladania farebných filtrov).

##### 1.4.1 Aditívne skladanie farieb

Aditívne skladanie farieb je skladanie rôznych zdrojov svetla. Pre tento typ skladania existujú tri primárne farby – červená, zelená a modrá. Na základe týchto troch farieb je definovaný farebný model RGB (z angl. red, green, blue). Kombináciou týchto farieb dostaneme akúkoľvek inú farbu (Obr. 9)



**Obr. 9** – Demonštrácia aditívneho skladania farieb: oranžová vznikla zložením červenej a zelenej.

Ak nastavíme všetky tri zložky na maximálnu intenzitu, dostaneme bielu farbu svetla. Ďalšie možnosti miešania farieb sa môžu urobiť nielen ako demonštrácie, ale aj ako žiacke aktivity: žiaci dostanú napríklad tabuľku, kde sú napísané jednotlivé farebné RGB kódy (pomery alebo percentuálne intenzity jednotlivých RGB zložiek) a ich úlohou je príslušné farby pomenovať. Percentuálnu intenzitu pre jednotlivé farby možno na pomôcke Spectral Plus nastaviť na stupnici od 0 po 10. Komplikovanejšia úloha je opačná: nájsť pomocou RGB zložiek slovné pomenovanú farbu alebo farbu podľa farebného vzoru. Pri tejto aktivite sa dá demonštrovať subjektívne vnímanie farieb. V Tabuľke 2 je uvedených šestnásť základných pomenovaných farieb podľa štandardu HTML 3.2 používanom v počítačovej grafike. V tabuľke uvádzame aj anglické názvy farieb, pretože niektoré doslovné preklady z angličtiny môžu viesť ku skresleniam (napr. anglická „magenta“ aj „purple“ majú slovenský ekvivalent „fialová“).

<b>(R,G,B)</b>	<b>Meno farby</b>
(100%,0%,100%)	Fialová (Magenta)
(50%,50%,50%)	Sivá (Grey)
(0%,50%,0%)	Zelená (Green)
(0%,100%,0%)	Svetlozelená (Lime)
(50%,0%,0%)	Tmavočervená (Maroon)
(0%,0%,50%)	Tmavomodrá (Navy)
(50%,50%,0%)	Olivovozelená (Olive)

(50%,0%,50%)	Fialová (Purple)
(100%,0%,0%)	Červená (Red)
(75%,75%,75%)	Strieborná (Silver)
(0%,0%,0%)	Čierna (Black)
(100%,100%,0)	Žltá (Yellow)
(100%,100%,100%)	Biela (White)
(0%,100%,100%)	Azúrová (Cyan)
(0%,0%,100%)	Modrá (Blue)
(0%,50%,50%)	Zelenomodrá (Teal)

**Tabuľka 2** – Šestnásť pomenovaných farieb podľa štandardu HTML 3.2.

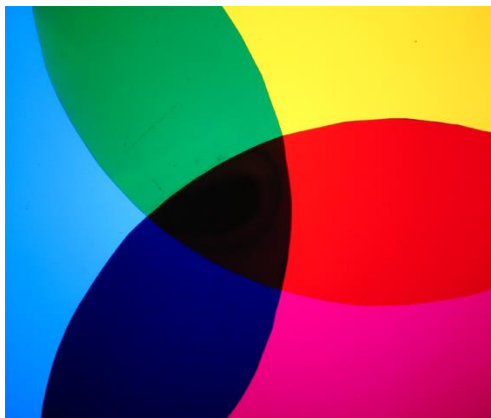
Aditívne skladanie farieb sa v praxi používa napríklad v obrazovke farebného televízora alebo počítačového monitora. Každý pixel obrazovky je reprezentovaný v pamäti počítača tromi nezávislými hodnotami pre červenú, zelenú a modrú farbu. Typický zobrazovací hardvér používa 24 bitovú informáciu pre každý pixel, čo zodpovedá 8 bitovej informácii pre každú zložku. Každá zložka môže teda nadobúdať  $2^8 = 256$  hodnôt (od 0 po 255), čo dáva spolu  $256^3 = 16\,777\,216$  farieb, ktoré môže monitor zobrazovať. Samozrejme, nie všetky odtiene sú ľudským okom rozpoznateľné. Priemerné ľudské oko rozoznáva približne 10 miliónov diskretných farebných odtieňov (táto hodnota sa prirodzene líši podľa stavu oka a veku osoby).

#### 1.4.2 Substraktívne skladanie farieb

Substraktívne skladanie farieb je založené na princípe absorpcie svetla popísanej v kapitole 2.1. Ak biele svetlo prejde cez farebný filter, jednotlivé farebné zložky sú filtrom pohltené. Výsledná vnímaná farba svetla, ktoré prejde filtrom, je daná krivkou priepustnosti farebného filtra.

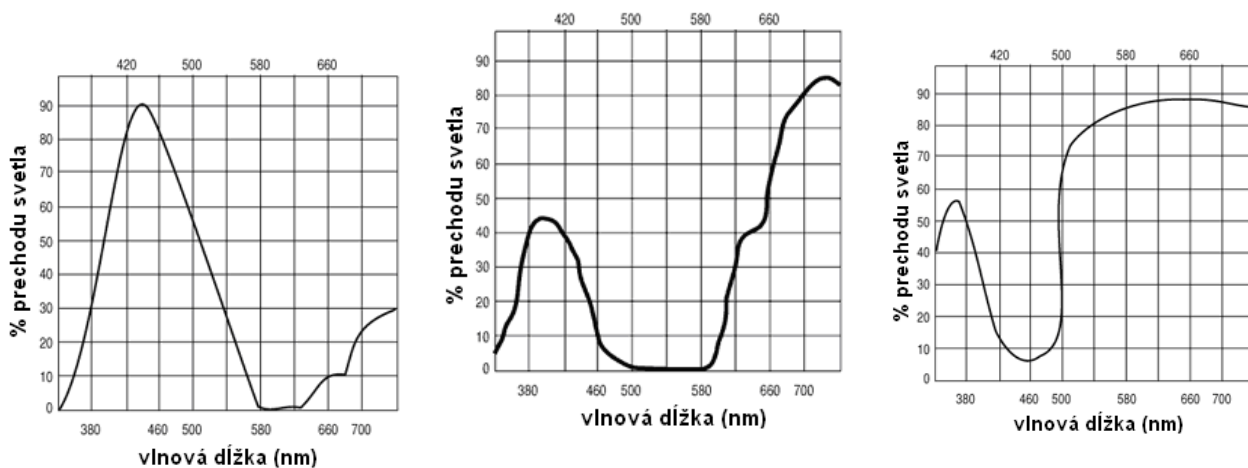
Pre substraktívne skladanie farieb sú primárne iné farby, ako pre aditívne skladanie farieb – azúrová (modrozelená), fialová a žltá. Ak postavíme bielemu svetlu do cesty naraz filtre týchto troch farieb, dostaneme čiernu farbu. Na základe týchto troch farieb a čiernej farby je definovaný farebný model CMYK (z anglického cyan, magenta, yellow, key = black). Skladaním týchto farieb možno opäť dostať ľubovoľnú inú farbu.

Substraktívne skladanie farieb možno demonštrovať tak, že všetky tri RGB zložky nastavíme na maximálnu intenzitu (aby sme dosiahli rovnomerné biele svetlo), a na vrch držiaka na filtre položíme CMYK filter (Obr. 10). Na spodok držiaka umiestnime oba mliečne filtre aby bol lepšie viditeľný efekt skladania farieb.



**Obr. 10** – Demonštrácia substraktívneho skladania farieb.

CMYK filter je zložený z troch filtrov – azúrového (modrozeleného), fialového a žltého – z primárnych farieb substraktívneho skladania. Krivky priepustností týchto troch filtrov sú na Obr. 11.



**Azúrový filter (Cyan)**

**Fialový filter (Magenta)**

**Žltý filter (Yellow)**

**Obr. 11** – Krivky priepustností filtrov, z ktorých je zložený CMYK filter.

Pri tomto experimente vidno, že dvojice susedných farieb v CMYK filtri zložia spolu primárne farby modelu RGB. Rovnako sa dá ukázať, že aditívnym zložením dvojíc RGB zložiek dostaneme primárne farby modelu CMYK.

Podobnou aktivitou, ako pri skladaní RGB filtrov, aj tu môžeme nakresliť všetky tri krivky priepustností do jedného grafu. Zistíme pritom, že nejaká časť intenzity svetla ostala stále nepohltaná, čo vysvetľuje, prečo farba uprostred na Obr. 10 nie je dokonale čierna.

V praxi sa substraktívne skladanie farieb používa napríklad vo farebných tlačiarňach. Farebný atrament sa na papier nanáša na základe skladania farieb pomocou modelu CMYK.

Práve farebné tlačenie si vyžiadalo pridanie samostatnej čiernej farby do pôvodného modelu CMY, pretože naniesť čiernu farbu priamo je jednoduchšie a lacnejšie ako ju miešať, a navyše čierna je v tlači najpoužívanejšia. Používanie rôznych farebných modelov pre zobrazovanie na monitore a na farebnú tlač spôsobuje niekedy rôzne farebné odtiene – vytlačený farebný obraz je odlišný od obrazu pozorovaného na monitore. Ďalším príkladom substraktívneho skladania farieb sú prírodné farbivá, napríklad chlorofyl, ktorý je zodpovedný za zelenú farbu listov na stromoch.

#### 1.4.3 Automatický režim

Pomôcka Spectral Plus má k dispozícii aj automatický režim, v ktorom prebieha striedanie farieb bez manuálnej regulácie. Automatický režim sa zapína pomocou vypínača „Auto“. V automatickom režime sa nedajú meniť farby, ale dá sa ovplyvniť rýchlosť striedania farieb pomocou ovládača „Transition“.

Táto možnosť sa môže využiť vtedy, ak nie je pozornosť venovaná práve výkladu a pomôcka tak môže byť využitá ako doplnková farebná dekorácia na pozadí inej aktivity učiteľa.

#### 1.5 Žiarenie a spektrá rôznych zdrojov svetla

V rôznych typoch svetelných zdrojov sa svetlo tvorí rôznym spôsobom – napríklad tepelným žiarením, elektrickým výbojom, fluorescenciou, emisiou svetla z polovodičových diód. Každý typ tvorby svetla (žiarenia) je charakteristický svojím **spektrum vyžarovania**. Poznáme dva druhy spektier – spojité a diskkrétne. Spektrum nám dokáže prezradiť rôzne informácie o charaktere svetla, pretože spôsob, akým sa svetlo tvorí, úzko súvisí s jeho spektrom. Preto pri pozorovaní spektier rôznych zdrojov svetla môžeme vidieť rozdielne obrazce.

**Spojité spektrum** je charakteristické tým, že obsahuje všetky zložky spektra a farba sa spojite mení. Spojité spektrum je typické pre tepelné žiarenie telies – napríklad slnečné svetlo, svetlo klasickej žiarovky, v ktorej svieti horúce volfrámové vlákno, alebo svetlo oblúkového výboja.

**Čiarové (diskkrétne) spektrá** sú charakteristické tým, že v spektre vidieť diskkrétne čiary. Takéto spektrum je typické pre svetelné zdroje, v ktorých je svetlo tvorené vyžarovaním vzniknutým pri prechode elektrónu z vyššej energetickej hladiny na nižšiu. Pri prechode elektrónu na hladinu s nižšou energiou je vyžiarené svetlo s určitou vlnovou dĺžkou. Táto vlnová dĺžka v spektre vytvorí jednu spektrálnu čiaru. V jednom svetelnom zdroji dochádza k vyžarovaniu svetla s rôznymi konkrétnymi vlnovými dĺžkami, preto v spektre uvidíme viacero čiar. Konkrétne rozloženie spektrálnych čiar je charakteristické pre konkrétny zdroj svetla. Každý zdroj svetla má svoju **spektrálnu charakteristiku vyžarovania – emisné spektrum**. Čiarové spektrum vyžarujú napríklad výbojky, fluorescenčné žiarivky, alebo LED diódy.

Spektrum svetelného zdroja môžeme uvidieť tak, že sa na svetelný zdroj pozrieme cez **spektroskop**. V spektroskope sa nachádza mriežka, na ktorej dochádza k difrakcii (ohybu) svetla. Svetlo s rôznymi vlnovými dĺžkami sa na mriežke rôzne ohýba. Svetlo zložené z rôznych vlnových dĺžok, sa preto po dopade na mriežku opäť rozdelí na jednotlivé vlnové dĺžky. V spektroskope teda vidíme práve tie vlnové dĺžky, z ktorých je zložené svetlo vychádzajúce zo zdroja a vieme identifikovať, o aký typ svetla ide.

### 1.5.1 Spektrum RGB displeja

Keď vytvoríme na RGB displeji biele svetlo (všetky tri farby dáme na plnú intenzitu), a pozrieme sa na displej cez spektroskop, uvidíme v tri farby: červenú, zelenú a modrú. Hoci svetlo vychádzajúce z displeja je biele, vieme identifikovať, že je zložené práve z týchto troch farieb.

Emisné spektrum LED diód, ktoré sú použité vo farebnom RGB displeji je na Obr. 5. LED diódy emitujú monochromatické svetlo – v skutočnosti však nejde len o jednu vlnovú dĺžku, ale o úzky interval vlnových dĺžok, pričom vlnová dĺžka predstavujúca maximum na krivke emisného spektra je dominantná a vnímame ju ako výslednú farbu.

#### **Upozornenie:**

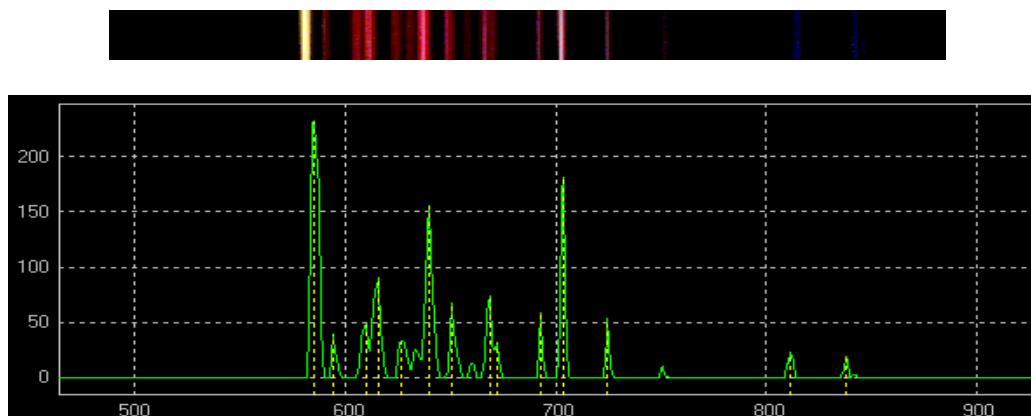
*Pri pozorovaní spektier RGB displeja musí byť displej zakrytý dvomi mliečnymi filtrami. Jeden z nich uložíme tesne nad RGB displej a druhý na vrch držiaka filtrov.*

### 1.5.2 Spektrum klasickej žiarovky

Keď sa pozrieme na spektrum klasickej žiarovky, vidíme, že je spojité (Obr. 12). Svetlo je tvorené tepelným vyžarovaním horúceho volfrámového vlákna v žiarovke. Farba svetla zo žiarovky je žltkastá, pretože pri tej teplote, na ktorú je volfrámové vlákno zohriate, je dominantná vlnová dĺžka okolo 600nm, pre ktorú je typická žltá.

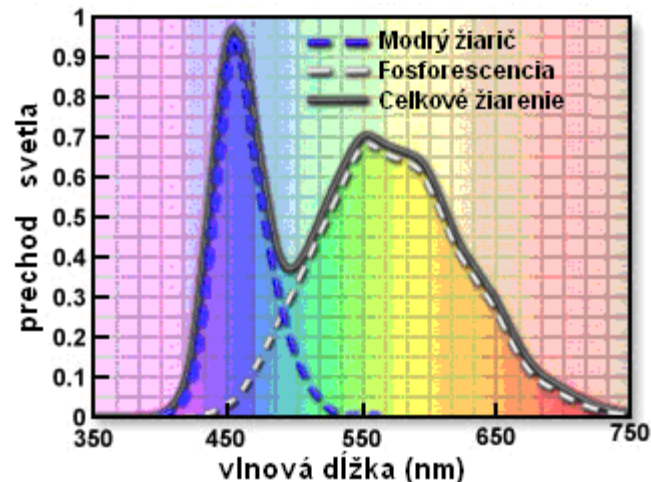
### 1.5.3 Spektrum bielej Neónovej tlejivky

Tlejivka je nízkotlaková, plynom plnená výbojka, pracujúca v oblasti samostatného tlejivého výboja. Sklenená banka tlejivky je plnená riedkym plynom (neón). Banka obsahuje dve elektródy, medzi ktorými vzniká výboj [\\storage\\w\\index.php?title=V%C3%BDboj&action=edit&redlink=1](http://storage.w/index.php?title=V%C3%BDboj&action=edit&redlink=1), nezávislý na polarite priloženého napätia.



#### 1.5.4 Spektrum bielej LED diódy s luminoforom

LED dióda s luminoforom svieti tiež bielym svetlom. Keď sa na ňu pozrieme spektroskopom, spektrum sa javí ako spojité. Pri detailnejšom pozorovaní však vidíme, že v spektre v skutočnosti dominuje modrá čiara. Spektrálna charakteristika vyžarovania LED diódy s luminoforom je na Obr. 12.



Obr. 12 – Spektrum bielej LED diódy s luminoforom.

Svetlo tejto LED diódy vzniká nasledovne: samotná dióda vyžaruje intenzívne svetlo jednej vlnovej dĺžky – modrej farby. Táto modrá farba spôsobuje výraznú modrú čiaru v spektre. Pre vznik bieleho svetla je však na vnútornú stranu šošovky v LED dióde nanosená špeciálna látka – **luminofor**. Luminofor má takú vlastnosť, že absorbuje časť dopadajúceho modrého svetla a vyžiari svetlo z inej oblasti viditeľného svetla (s väčšími vlnovými dĺžkami). Luminofor je vyrobený tak, aby vyžaroval viacero vlnových dĺžok viditeľného svetla naraz. Výsledné svetlo preto nakoniec vyzerá ako biele. Inými slovami – luminofor „konvertuje“ modré svetlo na biele. Výsledné spektrum tejto diódy je teda tvorené čiarou pôvodného monochromatického svetla a takmer spojitým spektrom luminofora (Obr. 12).

#### 1.5.5 Spektrum fluorescenčnej výbojky

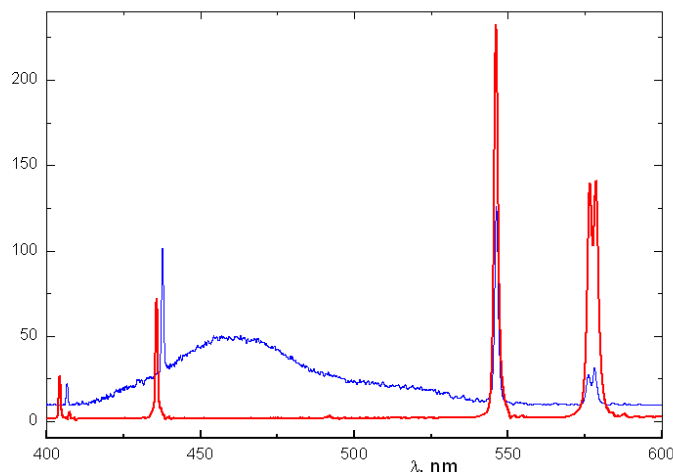
Keď sa pozrieme spektroskopom na svetlo z výbojky, uvidíme v ňom niekoľko diskretných čiar a časť spojitého spektra. V spektre dominuje modrá farba (Obr. 13).



Obr. 13 – Spektrum fluorescenčnej výbojky



Svetlo v tejto výbojke vzniká nasledovne: výbojka je plnená ortuťovými parami a horí v nej **tlecí výboj**. Pri tomto výboji vzniká svetlo pri zrážkach molekúl plynu – molekuly si pri zrážkach navzájom odovzdávajú energiu, ktorá sa vyžaruje vo forme svetla. Pre každý plyn je pri tlecom výboji vyžarované svetlo charakteristických vlnových dĺžok. Výbojka v pomôcke Spectral Plus je plnená ortuťovými parami. Pre ortuť sú vyžarované charakteristické vlnové dĺžky žltej, zelenej, oranžovej a fialovej farby. Ortuť zároveň vyžaruje aj neviditeľné ultrafialové žiarenie. Spektrálna charakteristika výbojky je na Obr. 14.



**Obr. 14** – Spektrum fluorescenčnej výbojky.

V spektre okrem čiar vidíme aj časť spojitého spektra. Na vnútornej strane výbojky je totiž nanosená vrstva luminoforu. Ten „konvertuje“ neviditeľné UV svetlo na modré, ktoré nakoniec dominuje vo farbe svetla. Luminofor je (podobne ako v prípade bielej LED diódy s luminoforom) vyrobený tak, aby prepustil vlnové dĺžky viacerých farieb. Časť spojitého spektra, ktorú vidíme, je spektrum luminoforu. Spektrum luminoforu vidíme na spektrálnej charakteristike výbojky (Obr. 14) ako modrú krivku. Výsledné spektrum lampy je teda dané zložením spektra výbojky a spektra luminoforu.

Ak by sme vo výbojke použili luminofor s inou spektrálnou charakteristikou, výsledná farba svetla z výbojky by sa zmenila – modrá krivka v spektre a jej maximum by sa posunula k iným vlnovým dĺžkam. Spektrálne čiary typické pre ortuť však v spektre aj pri inom luminofore ostanú rovnaké.

Medzi hlavné výhody demonštračnej súpravy Spectral Plus patria:

- **Zaujímavé svetelné efekty** – experimenty so svetelnými efektmi majú silný motivačný potenciál a dokážu priblížiť fyziku viacerým žiakom, automatický režim umožňuje použiť pomôcku aj mimo výkladu učiteľa.
- **Jednoduchá manipulácia** – jednoduché ovládanie intenzít farieb, jednoduché zapínanie a vypínanie svetelných zdrojov, jednoduchá konštrukcia spektroskopu.
- **Zreteľnosť** – dobrá viditeľnosť spektier pomocou mriežkového spektroskopu, jednoduchá a názorná demonštrácia rôznych spôsobov tvorby farieb.
- **Viacúčelovosť** – pomôcku možno využiť pri vysvetľovaní optiky, vlnenia a častí atómovej fyziky.
- **Bezpečnosť** – ani žiaci, ani učiteľ neprichádzajú pri práci s výbojkou do kontaktu s vysokým napätím, ako je to nevyhnutné v prípade bežne používaných spektrálnych trubíc.