



Středoškolská technika 2025

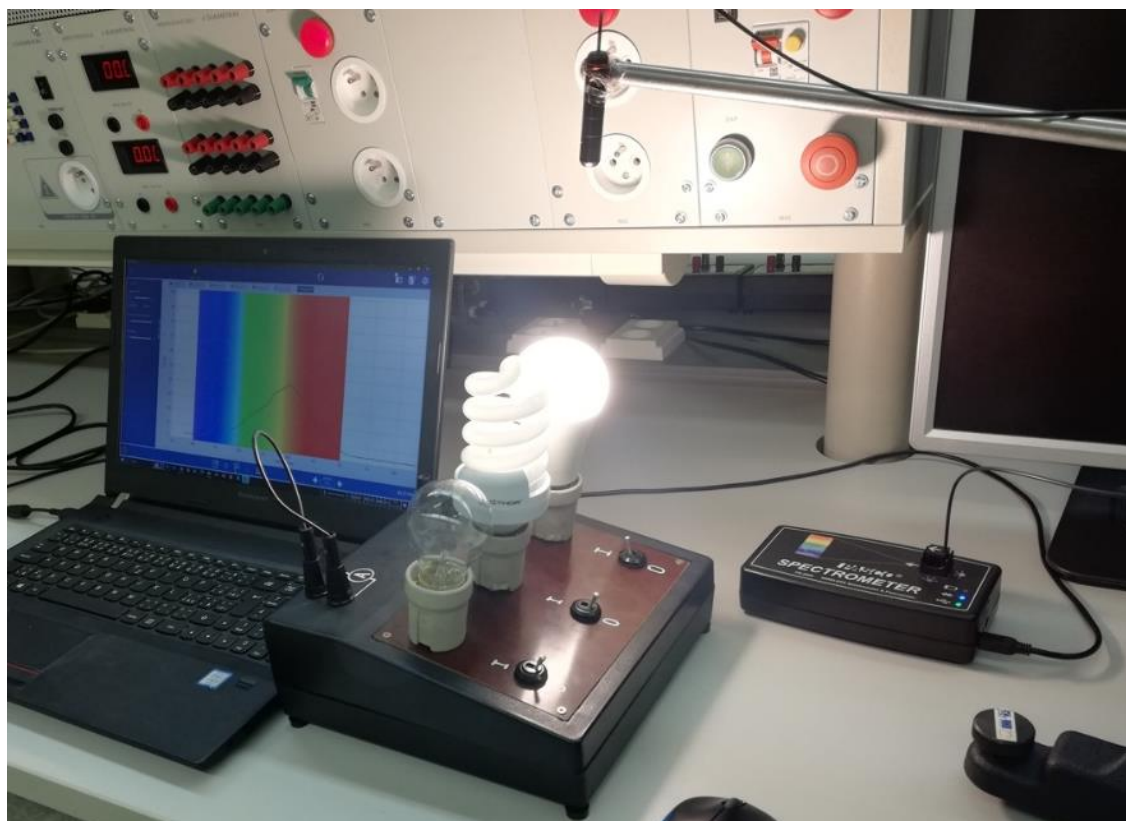
Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

MĚŘENÍ EMISE, ABSORPCE A FLUORESCENCE SVĚTLA OPTICKÝM SPEKTROMETREM PASCO

Milan Bečvář, Ondřej Štěpánek, Martin Vaněk

Střední škola spojů a informatiky Tábor

Bydlinského 2474, Tábor



Anotace

V této práci jsme shrnuli naše poznatky, získané z činnosti ve školním zájmovém kroužku optoelektroniky

Naším cílem bylo vytvořit pomocný učební text pro předměty Fyzika-optika, Telekomunikace a Sdělovací sítě pro přenos dat po optických vláknech.

K optoelektronickému měření vlastností světla různých zdrojů jsme používali spektrometr Pasco 2600 s optickým snímačem PS-2601.

Nejprve jsme měřili a vyhodnocovali emisi různých světelných zdrojů, dále jsme prováděli pokusy s absorpcí světla v roztocích, měřili absorbanci (míru pohlcování) světla různými roztoky a z toho vyhodnotili jejich složení i koncentraci a nakonec jsme také pozorovali zajímavý efekt fluorescence.

Pro každou oblast našich pokusů jsme nastudovali a vypsali potřebné teoretické podklady.

Měřením jsme si ověřili teoretickou přípravu.

Při týmové spolupráci jsme dodržovali zásady bezpečné práce.

Annotation

In this work, we summarized our findings, obtained from the activities in the optoelectronics hobby group, which was led by our subject teacher, Ing. Pavel Musila. Our goal was to create an auxiliary teaching text for the subjects Physics-Optics, Telecommunications and Communication Networks-Data Transmission over Optical Fibers. For optoelectronic measurement of light properties of various sources, we used a Pasco 2600 spectrometer with a PS-2601 optical sensor. First, we measured and evaluated the emission of various light sources, then we performed experiments with light absorption in solutions, measured the absorbance (rate of absorption) of light by various solutions and from this evaluated their composition and concentration, and finally we also observed an interesting fluorescence effect. For each area of our experiments, we studied and wrote down the necessary theoretical background. We verified our theoretical preparation by measuring. During teamwork, we followed the principles of safe work.

Klíčová slova

Spektrometr; rychlost, kmitočet a délka vlny světla; žárovka, výbojka, LED dioda, laserová dioda, optické vlákno, chromatická optická disperze, absorpce světla, fluorescence.

Key words

Spectrometer; speed, frequency and wavelength of light; incandescent lamp, discharge lamp, LED diode, laser diode, optical fiber, chromatic optical dispersion, light absorption, fluorescence.

Obsah

1. Teoretický úvod – vlastnosti světla	3
2. Bezpečnost práce v optoelektronické laboratoři	4
3. Popis spektrometru PASCO PS - 2600	4
4. Záměr pokusů s měřením emise	6
4.1 Měření žárovky a zářivky	7
4.2 Měření LED a LD diod	8
5. Pokusy s měřením absorpance světla	12
6. Měření fluorescence.....	14
7. Shrnutí parametrů použitých světelných zdrojů	15
8. Závěr	15

1. Teoretický úvod – vlastnosti světla

Světlo, které vnímá lidské oko je v podstatě elektromagnetické vlnění velmi vysokého kmitočtu, tedy velmi malé vlnové délky λ a to v rozsahu přibližně $\lambda = 400$ až 700 nm.

Mezi vlnovou délkou a kmitočtem světla platí vztah:

$$\lambda = c / f; \quad [\text{m, m/s, Hz}]$$

kde c je rychlost světla.

Největší rychlost má šíření světla ve vakuu $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.

Naše oko vnímá každou jinou vlnovou délku jako jinou barvu, konkrétně například světlo s vlnovou délkou $\lambda = 450$ nm ($= 0,45$ μm) vnímáme jako modré, $\lambda = 530$ nm jako zelené a $\lambda = 670$ nm jako červené.

Součtovým (aditivním) mísením těchto základních barev světla vznikají všechny ostatní barvy, které známe například z duhového spektra. Smísením všech těchto barev v poměru, jak k nám přichází světlo ze Slunce dostávají naše oči vjem bílého světla.

Jinak je tomu s barvou předmětu, barviva nebo nátěru s barevnými pigmenty.

Například červený svetr vaší spolužačky se nám jeví jako červený proto, že z dopadajícího bílého světla se k nám odráží pouze světlo červené, zatímco ostatní barvy svetr pohlcuje (absorbuje).

To také znamená, že tento svetr nebude vůbec vidět při osvětlení čistě modrým světlem. (Těchto triků také často využívají kouzelníci-iluzionisté.)

V případě mísení barviv hovoříme o takzvaném subtraktivním čili rozdílovém mísení, při kterém se zvětšuje pohlcování barevných složek, barevná směs vytváří tmavší barvy až k barvě černé.

Rozložit světelné paprsky na jednotlivé barvy, lze například skleněným hranolem, který kratší vlnové délky světla láme pod větším úhlem, takže světlo dopadá na podložku za hranolem rozložené do barevných pruhů.

Podobně lze použít optickou mřížku, na které vzniká různý ohyb světelných paprsků podle jejich vlnové délky.

Oba principy jsou používány při konstrukci optických spektrometrů, které slouží k analýze měřeného dopadajícího světla.

Ve spektrometru Pasco PS-2600 jsou barevné pruhy rozloženého světla promítány na pás polovodičových fotodiod, které dopadající světlo dané barvy přeměňují na elektrické napětí a předávají tyto informace měřicí elektronické aparatuře, která prostřednictvím programového vybavení vytvoří spektrální diagram na zobrazovači tohoto měřicího systému.

Jen malá poznámka k přírodnímu efektu duhy při dešti. Na dešťových kapkách vzniká lom světla a mezi kapkami ohyb světla. Ten krásný duhový efekt nastane, když se správně sejde hustota deště, velikost kapek a vzdálenost pozorovatele, aby právě k němu dopadaly různě zalomené barvy z různých výšek dešťových vrstev nad sebou.

K měření a hodnocení úrovně osvětlení se používají fotometrické veličiny:

Světelný tok Φ [lm] je celkový zářivý tok viditelného světla z daného zdroje. Jednotkou je lumen.

Klasická žárovka s příkonem 100 W má světelný tok okolo 1700 lm.

Svítivost I [cd] má jednotku kandela (v angličtině znamená svíčka) a je to hustota světelného toku, tedy podíl vyzářeného světelného toku a prostorového úhlu vyzařování.

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / 1 \text{ sr}$$

kde sr je jednotka prostorového úhlu steradián.

Kandela je zařazena mezi základní jednotky mezinárodní soustavy SI. Běžná svíčka má svítivost přibližně 1 cd, žárovka 100 W má svítivost 170 cd. Moderní LED diody dosahují vysoké svítivosti (desítky cd) tím, že vyzařují světlo do malého prostorového úhlu. Pro snadnější představu obchodní katalogy uvádějí vyzařovací úhel v běžných stupních. Současné LED diody mají vyzařovací úhly od 30° do 8° .

Intenzita osvětlení E [lx] je pak dána poměrem světelného toku dopadajícího na jednotku osvětlované plochy.

$$E = \Phi / S ; [lx, lm, m^2]$$

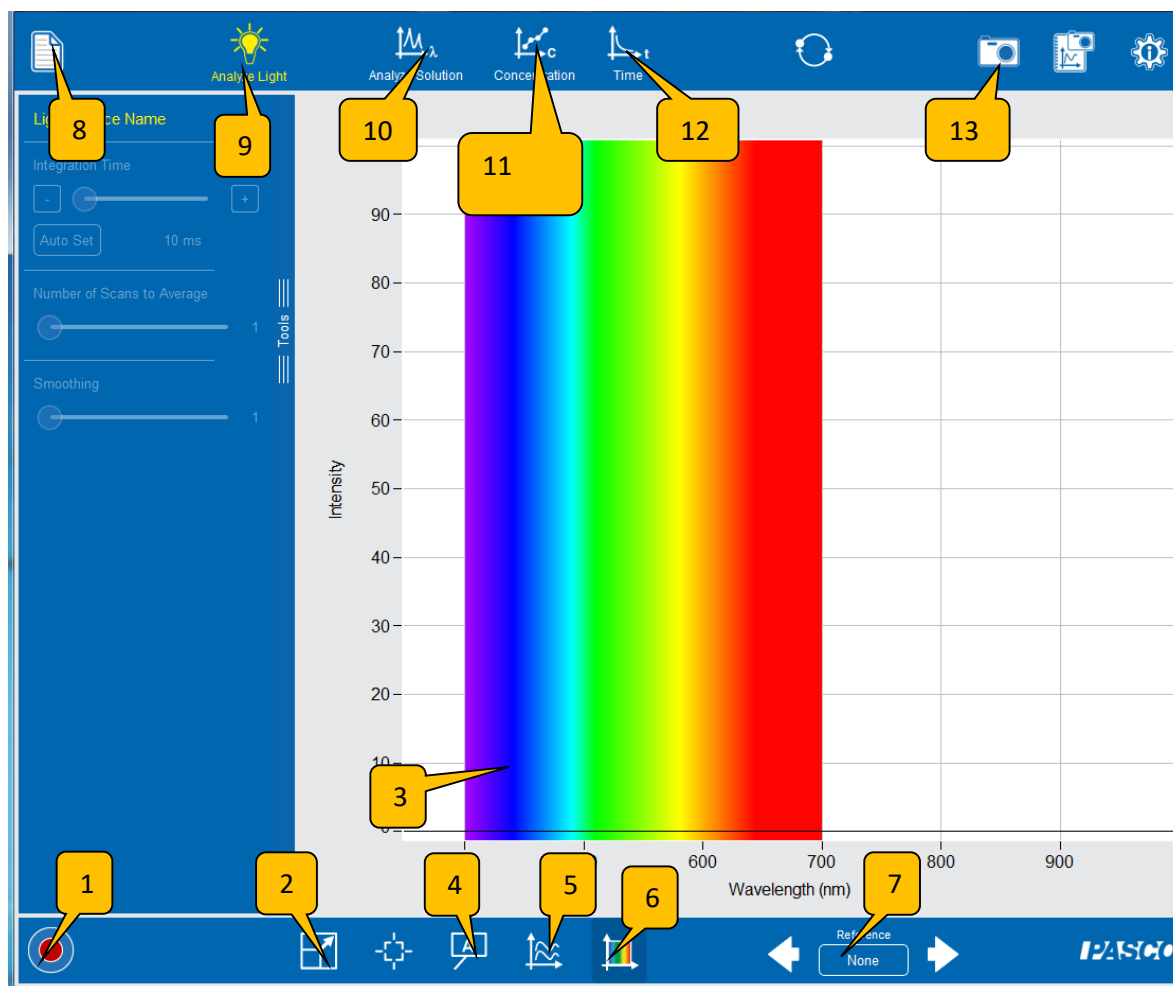
Intenzita osvětlení ubývá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje světla. Svíčka ze vzdálenosti 30 cm osvětluje přibližně intenzitou 10 lx. Pro rýsování potřebujeme aspoň 500 lx.

2. Bezpečnost práce v optoelektronické laboratoři

- Měření vyžaduje soustředěnost a pečlivost.
- Pro napájení PC a tiskárny použijte pouze zásuvku s proudovým chráničem a nadproudovou ochranou 16 A / 30 mA.
- K napájení žárovek použijte bezpečnostní oddělovací transformátor 230V/230V.
- Všechny ostatní nepoužité elektrické zásuvky laboratorního stolu vypněte.
- Při manipulaci s laserovým ukazovátkem na sebe ani na nikoho jiného nesvíte!
- Chraňte před úrazem sebe i své spolupracovníky.
- Měření provádějte pod dohledem učitele

3. Popis spektrometru PASCO PS - 2600

Spektrometr Pasco-2600 je přístroj k měření spektrálních diagramů emise, absorpce i fluorescence světla s možností připojení k PC pomocí USB i Bluetooth nebo přes aplikaci k Smartphonu. Měřicí rozsah tohoto spektrometru je pro vlnové délky světla λ od 400 do 900 nm (0,4 – 0,9 μm). Jeho rozlišovací schopnost je 1 až 2 nm. Tento spektrometr je vybaven napájecím akumulátorem s kapacitou 2000 mAh, jehož nabíjení přes USB trvá až 8 hodin. Napájení akumulátorem umožňuje používat spektrometr i v terénu, nezávisle na napájecí energetické síti.



Obr. 1. Ovládací a zobrazovací panel spektrometru.

Vysvětlení ovládacích prvků řídicího panelu spektrometru z obr. 2:

- 1 - zapnutí aplikace,
- 2 - zvětšení zobrazení spektrogramu,
- 3 - zobrazovací plocha diagramu naměřeného spektra,
- 4 - doplnění textem,
- 5 - zobrazení bez barevného pozadí,
- 6 - zobrazení s barevným pozadím,
- 7 - zobrazení referenčních spektrálních čar základních prvků,
- 8 - uložení dokumentu,
- 9 - měření emisního spektra,
- 10 - měření absorbance a fluorescence roztoku,
- 11 - měření koncentrace roztoku,
- 12 - měření časových průběhů změn koncentrace,
- 13 - snímek naměřeného diagramu.

4. Záměr pokusů s měřením emise

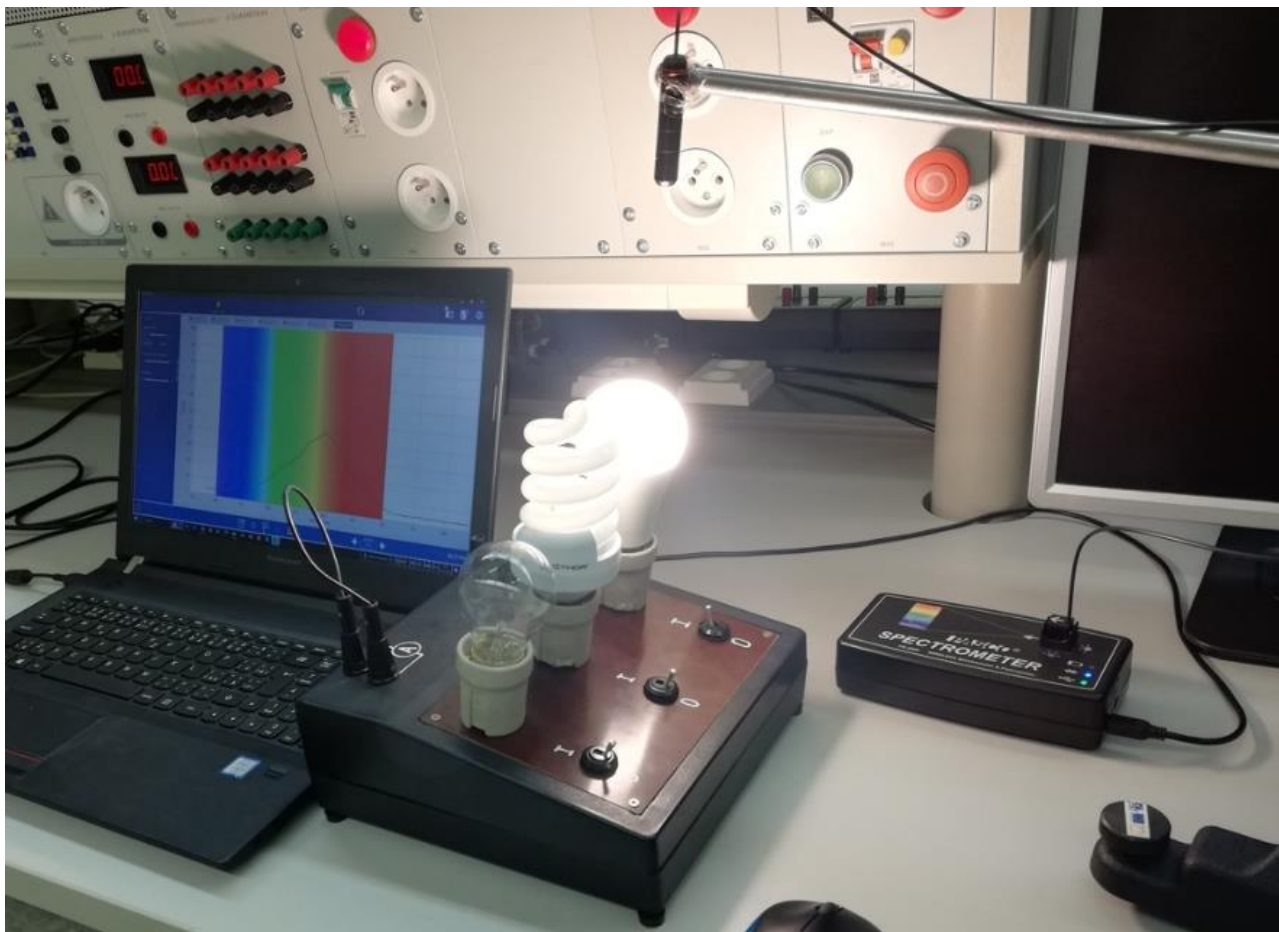
Sestavte výukový systém Pasco s optickým spektrometrem Pasco PS-2600.

K měření emisního spektra žárovek použijte měřicí přípravek žárovek a přijímací optický snímač PS-2601.

Aktivujte aplikaci Pasco Spectrometry.

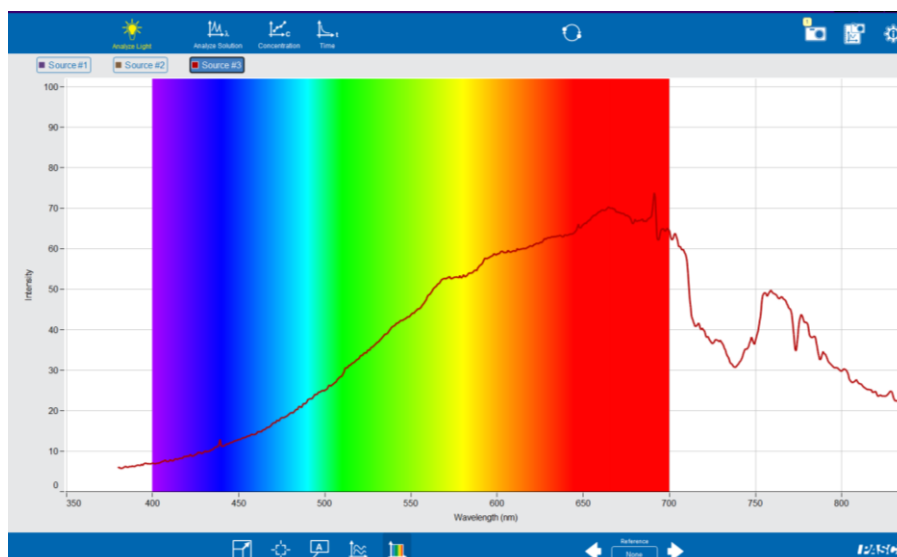
Změřte, zaznamenejte a zobrazte spektrální diagramy vyzařování světla žárovky, zářivky, LED žárovky, LED diod, laserového ukazovátka.

porovnejte jejich světelné spektrum, intenzitu vyzařování a účinnost.



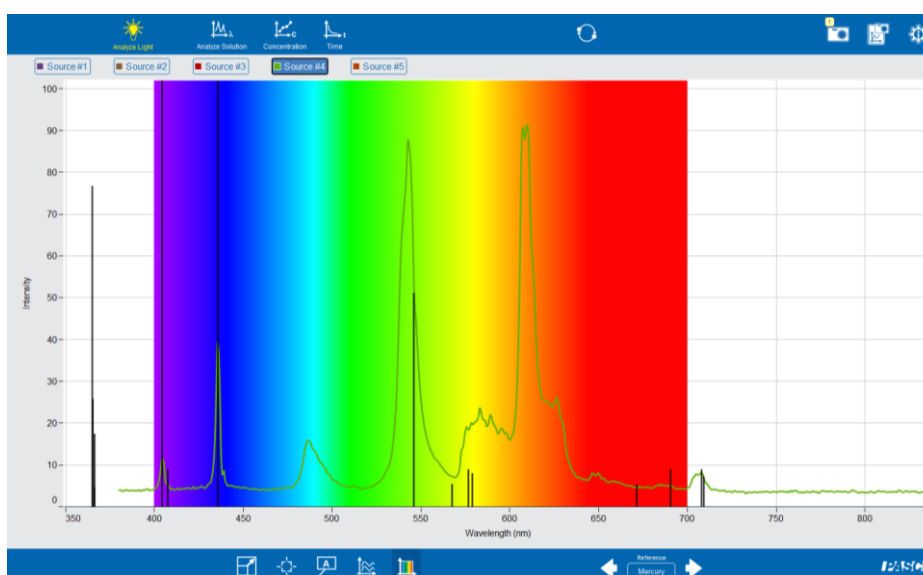
Obr. 2. Měření spektrometrem

4.1 Měření žárovky a zářivky



Obr. 3. Spektrogram klasické žárovky 25W, 230V ve vzdálenosti 5 cm.

Poznámka: Na spektrogramu je zřejmé, že převažuje červená složka světla a dále silné vyzařování nežádoucího tepla (infračervené záření vlnové délky $\lambda = 700$ až 800 nm). Světelná účinnost je 8%.



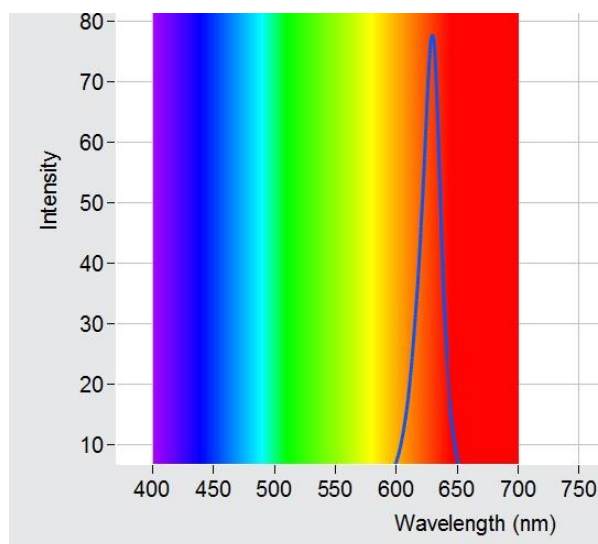
Obr. 4. Úsporná mini-zářivka 20W, 230V, 2700K, ve vzdálenosti 20 cm.

Vysvětlivka: Do spektrogramu je promítnuto referenční spektrum elektrického výboje rtuti (mercury), které dokazuje, že trubice zářivky obsahuje rtuťové páry. Bledě modrou a ořazovou barvu zářivka vyzařuje prostřednictvím bílého prášku (luminoforu) na vnitřním povrchu trubice. Luminofor převádí ultrafialové záření rtuťového výboje $\lambda = 365$ nm na viditelné světlo. Je to vlastně druh fotoluminiscence vyvolané elektrickým výbojem.

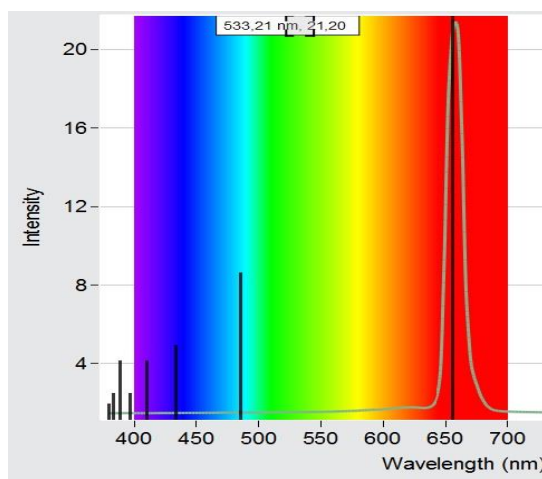
Tepelné záření je minimální. Světelná účinnost je 40 %.

Poznámka: Při fotoluminiscenci jsou elektrony excitovány elektromagnetickým zářením. Elektrony pak relaxují na základní energetickou hladinu, přičemž vyzařují přebytečnou energii ve formě elektromagnetického záření o nižší energii - větší vlnové délce. Potom, co přestane působit excitační záření, luminiscence buď zaniká téměř okamžitě, pak mluvíme o fluorescenci, anebo trvá podstatně déle - fosforescence.

4.2 Měření LED a LD diod



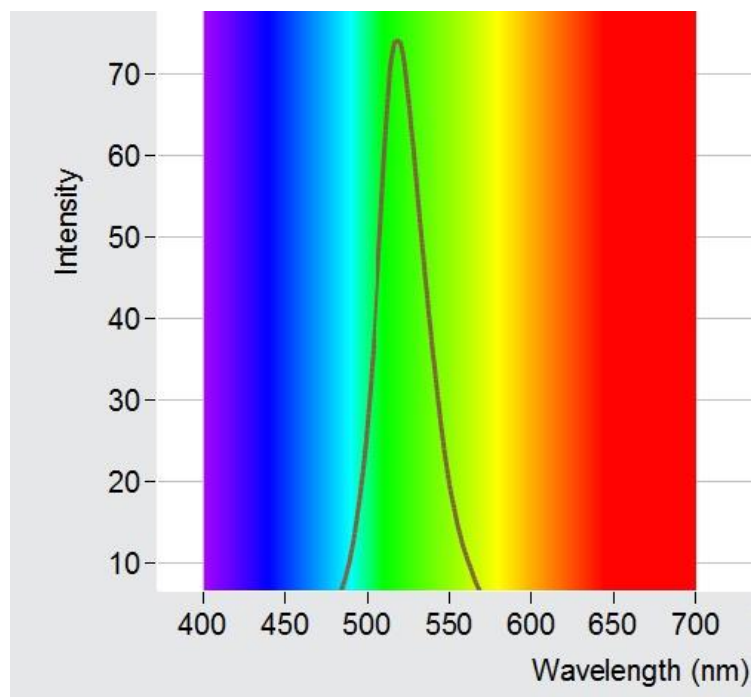
Obr. 5. Naměřený spektrální diagram červené LED diody 72 cd, 8° ze vzdálenosti 5cm.



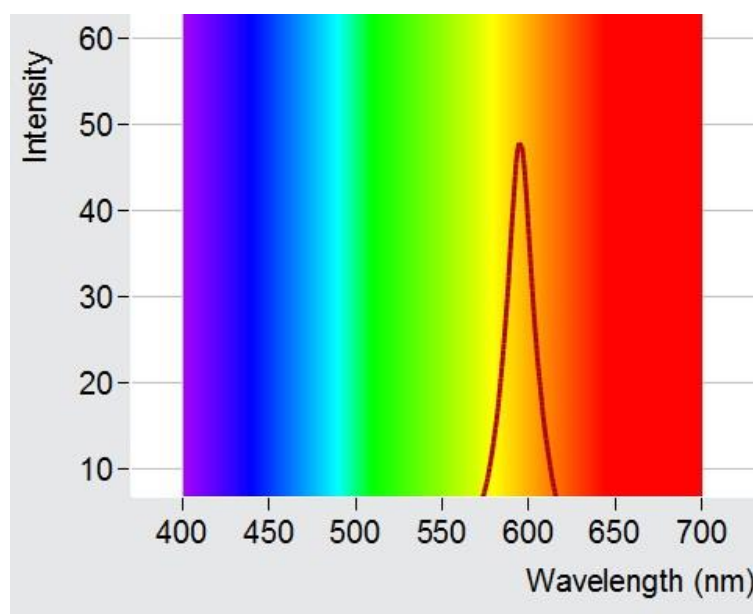
Obr. 6. Naměřený spektrální diagram červeného laserového ukazovátka ve vzdálenosti 5cm.

Komentář: Porovnáním dvou posledních spektrogramů jsme potvrdili, že laserová dioda (LD) má podstatně užší spektrum světla než klasická LED.

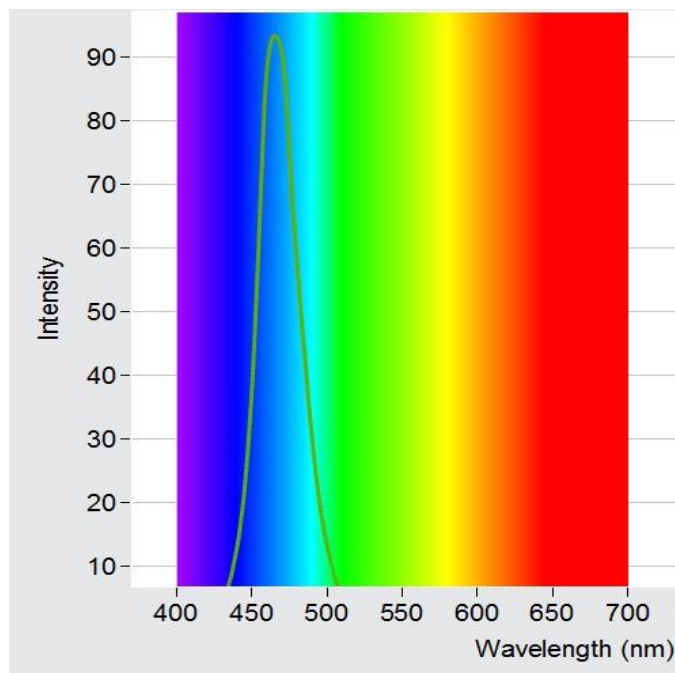
Tato vyšší "čistota" barvy světla (malý rozptyl vlnových délek světla) je podmínkou pro rychlý přenos dat po optických vláknech (tak zvaná malá chromatická disperze světelných paprsků v optických vláknech).



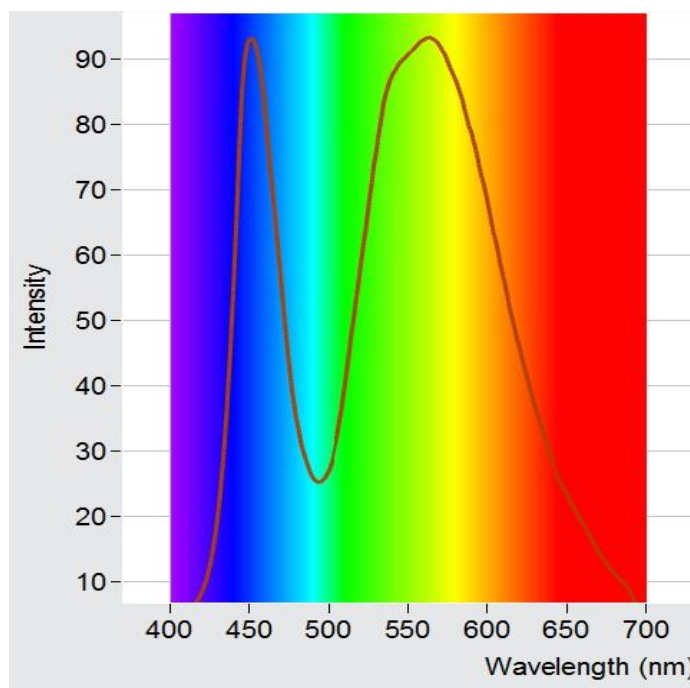
Obr. 7. Naměřený spektrální diagram zelené LED diody 72 Cd, 8° ze vzdálenosti 3 cm.



Obr. 8. Naměřený spektrální diagram žluté LED diody 72 Cd, 8° ze vzdálenosti 3 cm.

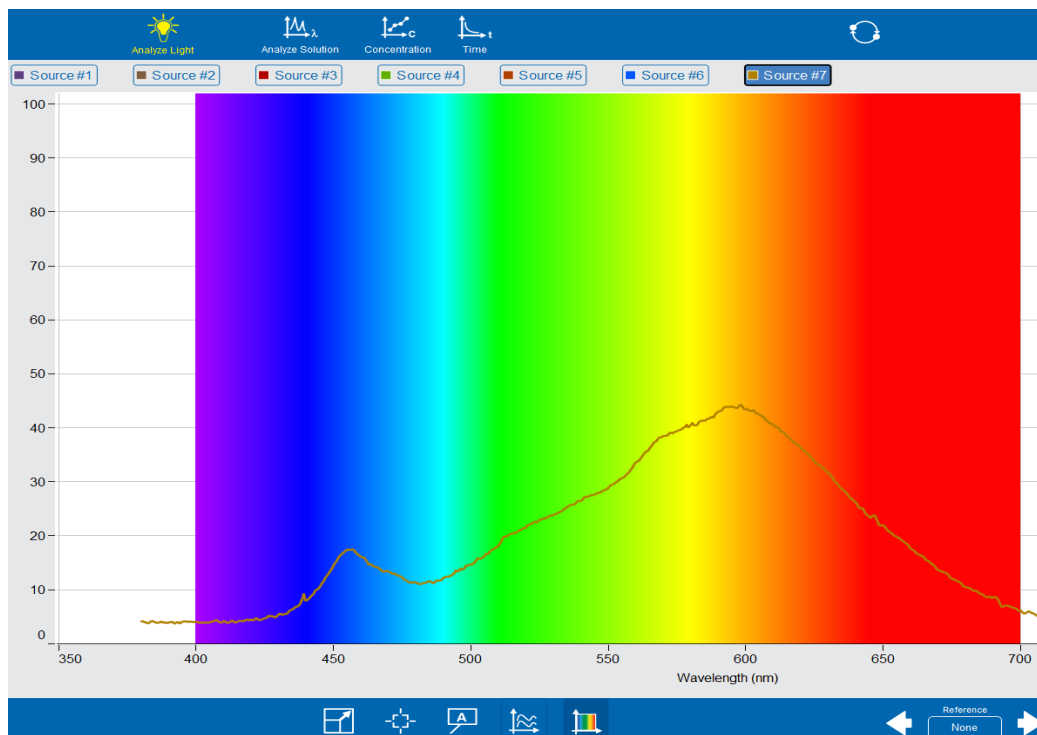


Obr. 9. Naměřený spektrální diagram modré LED diody 72 Cd, 8° ze vzdálenosti 5 cm.

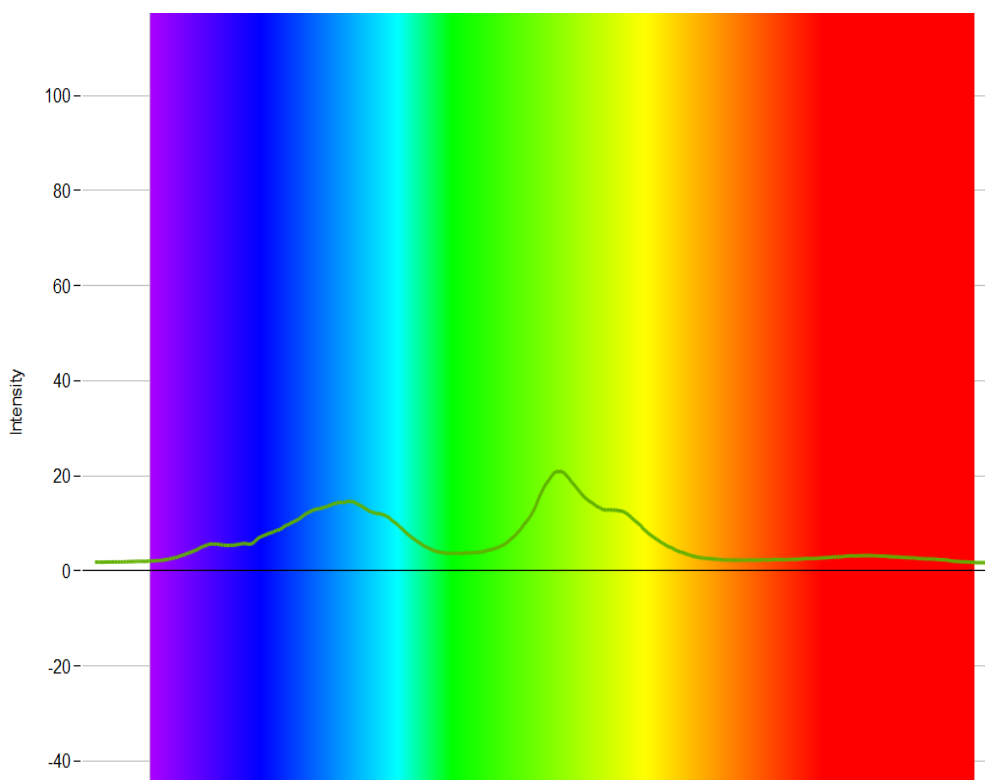


Obr. 10. Naměřený spektrální diagram bílé LED diody 72 Cd, 8° ze vzdálenosti 5 cm.

Poznámka: Teprve po dvaceti letech vývoje se podařilo začít hromadně vyrábět modré LED diody, což umožnilo produkovat bílé LED a provést technickou revoluci v osvětlovací technice. Bílé LED jsou vlastně dvě až tři LED vhodných barev, integrované těsně vedle sebe do jednoho pouzdra. Podle zastoupení jednotlivých barevných složek získáváme bílé světlo od studeného do teplého odstínu. Ve studené bílé převažuje modrá složka světla, v teplé pak převažuje červená.



Obr. 11. LED žárovka 15W, 230V, 3000K (teplá bílá), vzdálenost 20 cm



Obr. 12. Spektrum světla datového projektoru NEC

Komentář: Ve světelném spektru některých typů datových projektorů chybí červená složka, a proto vidíme barevné podání obrazu na projekčním plátně jinak než na monitoru.

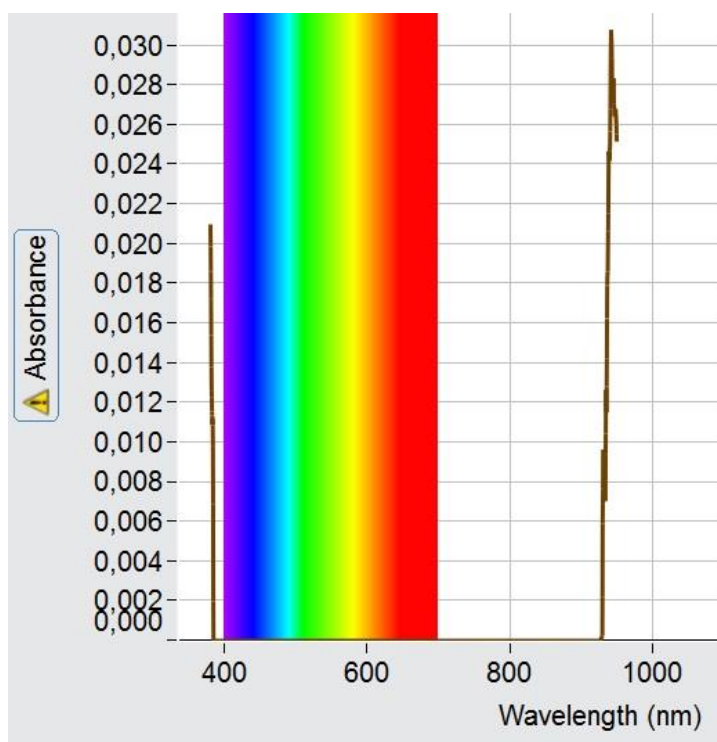
5. Pokusy s měřením absorbance světla

Absorbance je míra pohlcování světla.

Atomy prvků, molekuly sloučenin, jejich roztoky, tekuté směsi, disperze apod. specificky pohlcují různé barvy (světlo různých vlnových délek).

Změřením spektra absorbovaného světla lze tak určit složení roztoku neznámé látky a podle míry absorpce pak zjistit koncentraci látky v roztoku. Spektrometr je tedy velmi silný nástroj při chemických rozborech roztoků i forenzních analýzách např. i v kriminalistice.

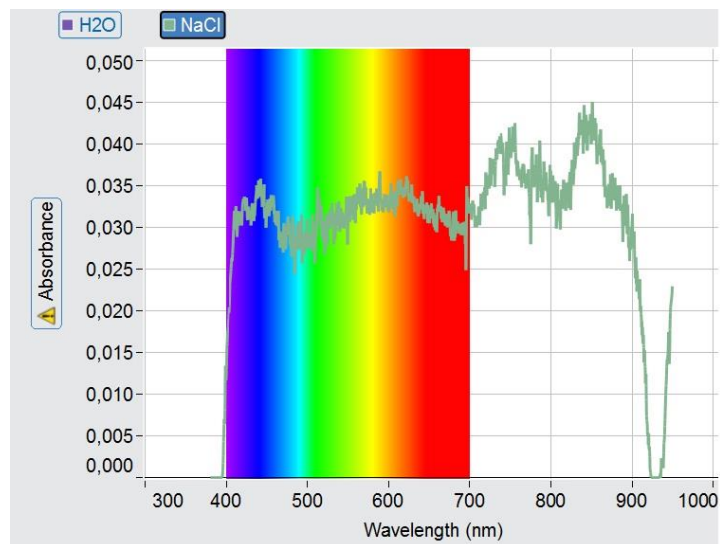
V této části měření budeme do spektrometru vkládat speciální nádoby (kyvety) s připravenými referenčními roztoky sloučenin, budeme zaznamenávat spektrální diagramy absorbance světla tak, aby podle získaných spektrogramů bylo možné porovnáním určit složení neznámého roztoku.



Obr. 13. Naměřený spektrální diagram absorbance destilované vody.

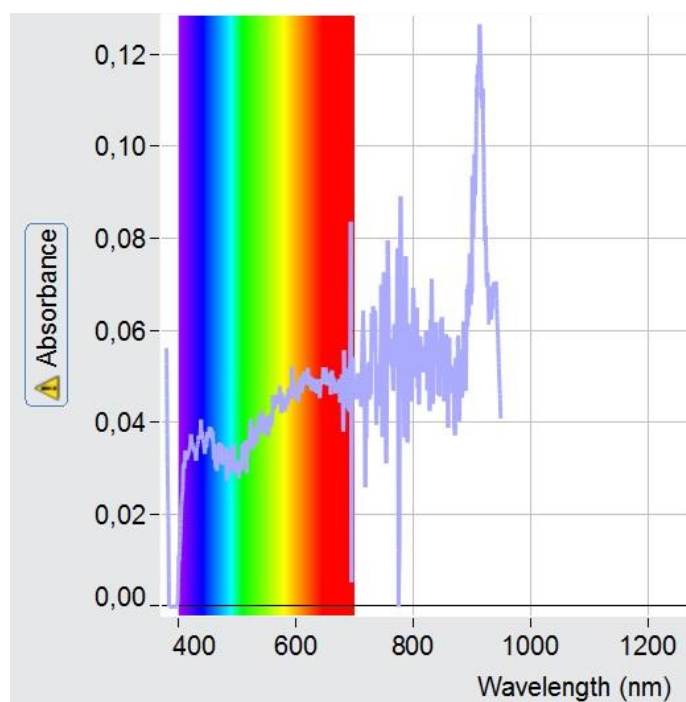
Poznámka: Na spektrogramu vidíme, že absorbance světla destilovanou vodou je našim školním spektrometrem prakticky neměřitelná.

Černé svislice na spektrálním diagramu ohraničují pásmo měřitelných vlnových délek našeho spektrometru.



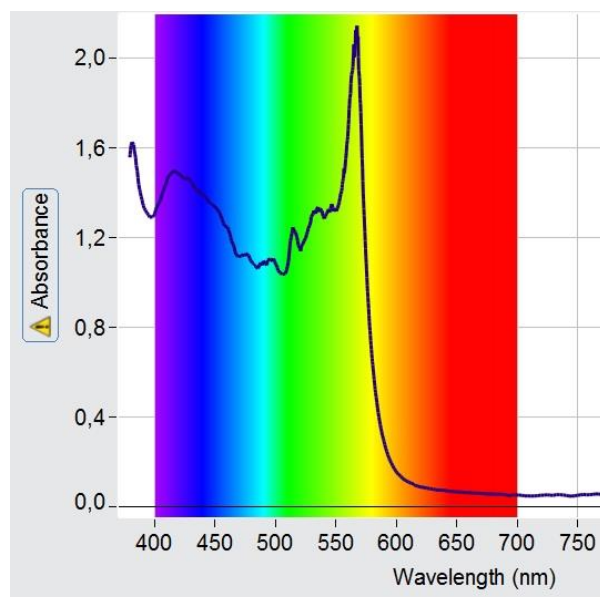
Obr. 14. Naměřený spektrální diagram absorbance nasyceného vodního roztoku NaCl.

Vysvětlivka: Diagram ukazuje, že roztok kuchyňské soli (NaCl) v destilované vodě pohlcuje všechny barvy světla a ještě výrazněji infračervené záření ($\lambda = 700$ až 900 nm).



Obr. 15. Naměřený spektrální diagram absorbance technického lihu.

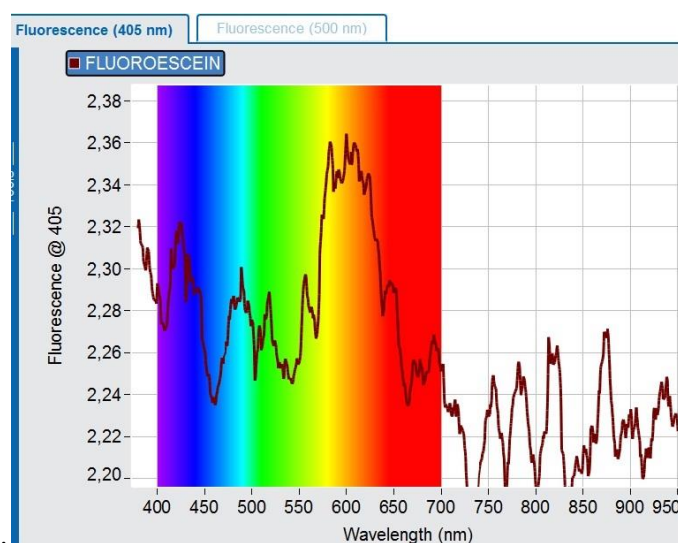
Komentář: Čím větší vlnová délka záření, tím více je etylalkoholem pohlcováno.



Obr. 16. Naměřený spektrální diagram absorpance lihového roztoku fluoresceinu.

Poznámka: Tento spektrogram vysvětluje proč má roztok fluoresceinu oranžově-červenou barvu, jelikož tuto barvu nepohlcuje.

6. Měření fluorescence



Obr. 17. Naměřený spektrální diagram fluorescence lihového roztoku fluoresceinu vybuzené světlem s vlnovou délkou 405 nm.

Vysvětlení: Vzorek roztoku fluoresceinu je v kyvetě spektrometru osvětlován světlem s vyšší energií ($\lambda = 405 \text{ nm}$) a excituje tak jeho elektrony na vyšší oběžné dráhy. Při návratu na původní orbity pak excitované elektrony vyzařují přebytek své energie jako světlo s nižší energií (s delší vlnovou délkou $\lambda = 420 \text{ až } 930 \text{ nm}$).

7. Shrnutí parametrů použitých světelných zdrojů

El. příkon žárovek: klasická žárovka – 25W,
úsporná mini-zářivka – 20W,
klasická zářivková trubice – 20W,
LED žárovka – 15W.

Vyzařovaný světelný tok žárovek: klasická žárovka – 200 lm (Lumenů),
úsporná mini-zářivka – 1 150 lm,
klasická zářivková trubice – 1 800 lm,
LED žárovka – 1 520 lm.

Barevná teplota žárovek: klasická žárovka – 2 400 K (Kelvinů),
úsporná mini-zářivka – 2 700 K,
klasická zářivková trubice – 3 800 K,
LED žárovka – 3 000 K.

Světelná účinnost svítidel: klasická žárovka – 8 %
úsporná mini-zářivka – 45 %,
klasická zářivková trubice – 40 %,
LED žárovka – 80 %.

8. Závěr

Měření nám rozšířilo znalosti i vědomosti z optoelektroniky.

Získali jsme dovednosti s obsluhou měřicí aparatury.

Naše pokusy se školním spektrometrem byly zajímavé, zábavné i poučné.

Milan Bečvář, Ondřej Štěpánek, Martin Vaněk – studenti SŠSI Tábor, ročník DIT3,
studijní obor Digitální technologie.

V Táboře 7.5.2025