



Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach
Prírodovedecká fakulta
Ústav fyzikálnych vied

JÁN DEGRO

Školské experimenty s luxmetrom

Environmentálne vzdelávanie vo vyučovaní fyziky



Práca je určená pre študentov učiteľstva v kombinácii s fyzikou a pre ďalšie vzdelávanie učiteľov fyziky a taktiež pre každého záujemcu o životné prostredie.

Obsah

Školské experimenty s luxmetrom	3
1. Fotometrický zákon.....	4
Heuristický demonštračný experiment.....	4
Odvodenie fotometrického zákona.....	7
Laboratórne cvičenie	8
Pracovný list pre samostatnú prácu	11
2. Osvetlenie a zdravie	17
3. Námety na projekty	20
Osvetlenie na pracovnom stole	20
Vplyv tienidla na veľkosť intenzity osvetlenia	20
Osvetlenie u vás doma.....	21
Osvetlenie v škole	21
Závislosť intenzity osvetlenia od času po zapnutí žiarivky	22
Porovnanie klasických a úsporných svetelných zdrojov	22
Osvetlenie vonkajších priestorov	22
Literatúra	23

Titul: Školské experimenty s luxmetrom

Autor: doc. RNDr. Ján Degro, CSc.

Vydanie: Prírodovedecká fakulta, Univerzita P. J. Šafárika, Košice 2009

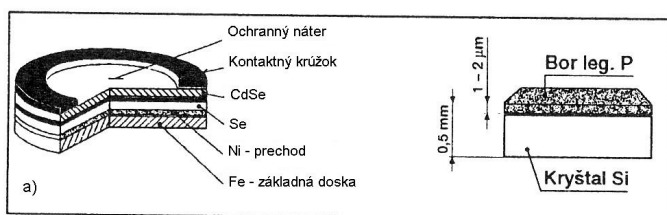
Učebný text bol spracovaný v rámci projektu KEGA č. 3/5272/07

Školské experimenty s luxmetrom

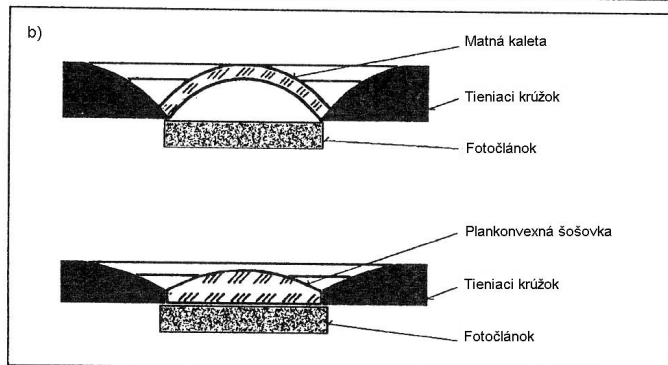
Meranie viditeľného žiarenia a svetelnej energie tak, aby sa výsledky čo najviac blížili zrakovému vnemu normálneho oka je hlavným cieľom *fotometrie*. Aby sa dosiahlo tohto cieľa, musíme vziať do úvahy nielen fyzikálne vlastnosti svetelných podnetov, ale i základné charakteristiky a funkcie zraku. Jednou z najdôležitejších úloh fotometrie je meranie intenzity osvetlenia.

Meranie intenzity osvetlenia sa realizuje luxmetrami. *Luxmeter* sa skladá z meracieho prístroja a snímača žiarenia (senzora). Snímač je tvorený selénovými alebo kremíkovými fotočlánkami. Schematické znázornenie hradlového fotočlánku je na obr.3.1.a Takýto fotočlánok ešte nie je vhodný na meranie osvetlenia, nakoľko nerešpektuje základnú požiadavku – nemá spektrálne vlastnosti (citlivosť) ľudského oka. Porovnanie citlivosti fotočlánkov a oka je znázornená na obr.3.2. Luxmeter, ktorý nemá fotočlánok s odpovedajúcou korekciou oka, by sa pre meranie vôbec nemal používať.

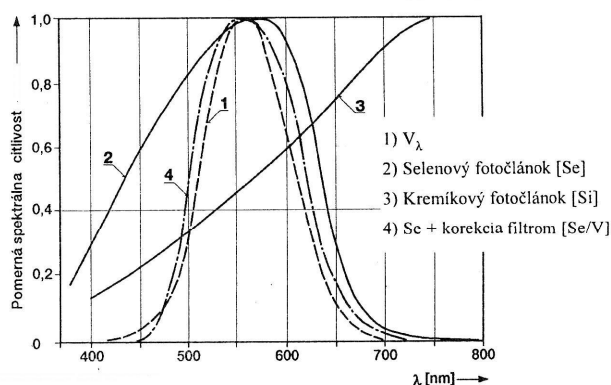
Pozornosť je potrebné venovať i ďalšej súčasti luxmetra a tou je kosínový nástavec. Na obr.3.1.b je znázornený kosínový nástavec podľa Hartig-Helwiega a nástavec podľa Reeb-Tosberga. Ak sa použije fotočlánok bez tohto kosínového nástavca, dochádza k chybe merania, ktorá sa zväčšuje s uhlom dopadu.



Obr.3.1.a Hradlový fotočlánok.



Obr.3.1.b Základné typy kosínových nástavcov.



Obr.3.2 Porovnanie citlivosti fotočlánkov a oka. V_λ - spektrálna citlivosť oka.

V tejto práci popíšeme experimenty s luxmetrom, ktoré je možno realizovať v školskej praxi, a to tak pri objavovaní nových zákonitostí, ako aj z hľadiska zisťovania správneho osvetlenia, teda hygieny pri práci so svetlom.

1. Fotometrický zákon

Heuristický demonštračný experiment

V tejto časti ukážeme ako „objaviť“ fotometrický zákon so žiakmi v triede. Takýmto prístupom môžeme na vyučovaní ukázať žiakom postup práce vedca pri objavovaní fyzikálnych zákonitostí. Uvedený experiment je potrebné realizovať pred teoretickým odvodením, keď žiaci daný zákon ešte nepoznajú. Ide o *heuristický demonštračný experiment*.

Úlohy:

- Určíme závislosť veľkosti osvetlenia E od vzdialenosti r od svetelného zdroja.
- Určíme závislosť veľkosti osvetlenia E od príkonu P svetelného zdroja.
- Určíme závislosť veľkosti osvetlenia E od uhlu dopadu svetla φ .
- Budeme so žiakmi premýšľať nad experimentálnymi závislosťami a použijúc poznatky z matematiky, a taktiež predchádzajúce skúsenosti z fyziky, sa pokúsime nájsť odpovedajúci matematický vzťah, funkciu popisujúcu daný jav.

Pomôcky:

luxmeter napr. UNITEST 93408, stolná lampa, žiarovky (25W, 40W, 60W), pravítko, uhlomer, biela nitka s farebnými značkami vo vzdialenostiach 0,05 m, program Excell

Postup a analýza:

Pre dosiahnutie najlepších výsledkov znížime vnútorné osvetlenie na minimum tak, že vypneme všetky svietidla (okrem stolnej lampy, s ktorou experimentujeme), zatemníme okná ak je to možné, alebo meriame večer, resp. v noci.

Tiene a odrazy od objektov a postáv môžu mať za následok chyby v meraní. Tieto chyby môžu byť minimalizované držaním senzora v dostatočnej vzdialenosti od tela v horizontálnej polohe. Experiment realizujeme v niekoľkých krokoch:

Krok 1: Určíme závislosť intenzity osvetlenia E od vzdialenosti r od žiarovky. Počas merania je uhol dopadu svetla $\varphi=0^\circ$ a výkon P (napr. 25 W) stály. Hodnoty intenzity osvetlenia zaznamenávame do pripravenej tabuľky. Meranie zopakujeme pre ďalšie dve žiarovky (45 W a 60 W). Nakreslíme grafy $E = f(r)$, obr.1.

Zo závislosti na obr.1 môžeme vidieť, že intenzita osvetlenia E klesá s rastúcou vzdialenosťou r . Položíme si otázku: Aká funkcia odpovedá tomuto priebehu? Mohli by sme vyšetrovať rôzne druhy matematických funkcií. Avšak, keďže vedci vždy začínajú s najjednoduchšou funkciou, lineárnou funkciou,

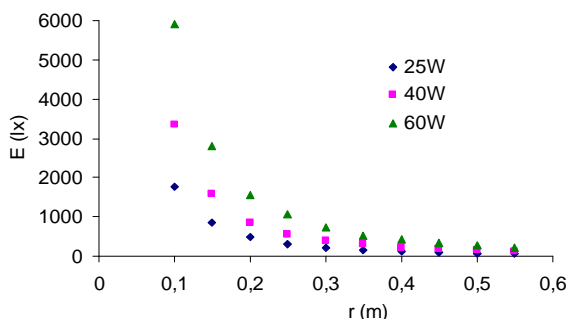
$$y = k \cdot x \tag{1}$$

preto budeme aj my postupovať rovnakým spôsobom. Pokúsime sa linearizovať závislosti pre údaje z obr.1.1. Položíme $y = E$ a $x = 1/r$, $x = 1/r^2$ a $x = 1/r^3$. Tým dostaneme

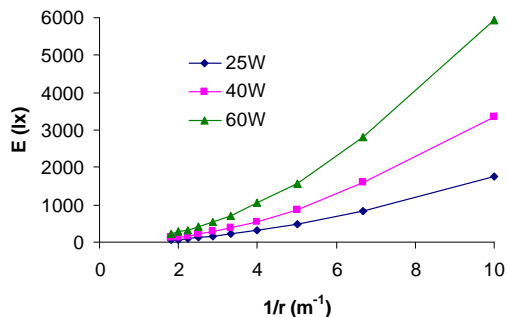
$$E = k \cdot x \tag{2}$$

Ak nakreslíme grafy $E = f(x)$ pre každú žiarovku, a pre každú substitúciu x , (obr.2, obr.3 a obr.4) môžeme zistiť, ktorá substitúcia resp. funkcia popisuje našu závislosť (jav). Vidíme, že E je lineárne závislé na x iba pre substitúciu $x = 1/r^2$, obr.3. Grafické preloženie priamok, získaných metódou najmenších štvorcov, cez merané body, potvrdzuje lineárnu závislosť (MS Excell). Použitím matematických poznatkov môžeme teda písať

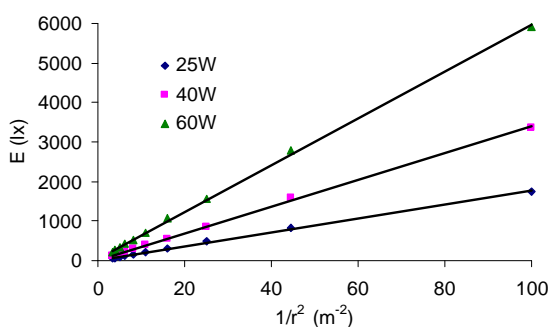
$$E \sim \frac{I}{r^2} \quad (3)$$



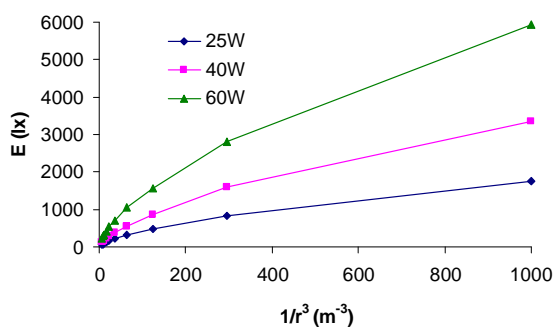
Obr.1 Závislosť osvetlenia E na vzdialenosti r od žiarovky, $\varphi=0^\circ$.



Obr.2 Závislosť osvetlenia E na veličine $1/r$, pre hodnoty z obr.1.



Obr.3 Závislosť osvetlenia E na veličine $1/r^2$, pre hodnoty z obr.1.



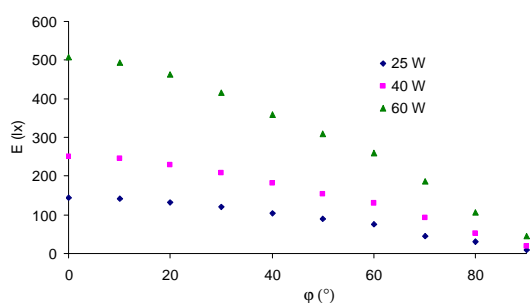
Obr.4 Závislosť osvetlenia E na veličine $1/r^3$, pre hodnoty z obr.1.

Krok 2: Položíme si ďalšiu otázku: A čo konštanta úmernosti k v rovnici (2)? Aký je jej fyzikálny význam? Môžeme rozmýšľať napr. nasledovne: Zo skúsenosti vieme, že svietivosť žiarovky je v určitom vzťahu k jej príkonu P (I –svietivosť; jednotka v SI je candela, cd), teda osvetlenie E taktiež musí (malo by) byť v určitom vzťahu k svietivosti I (vlastnosť svetelného zdroja). Budeme teda predpokladať, že konštanta k je rovná svietivosti I , teda ($k = I$, $E = I \cdot x$).

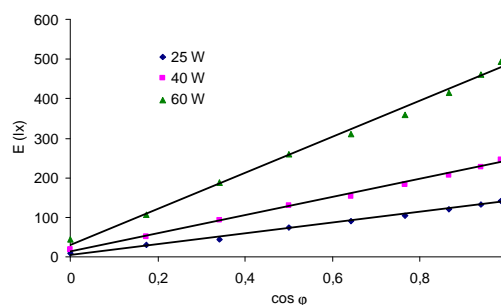
V matematike je konštanta úmernosti lineárnej závislosti úmerná sklonu (smernici) priamky. Sklon priamky môžeme určiť použitím metódy najmenších štvorcov pre súbory meraných údajov. Z fyzikálneho pohľadu, sklon priamky v lineárnej závislosti fyzikálnych veličín určuje ďalšiu fyzikálnu veličinu, ktorú sme priamo nemerali, ale ona popisuje daný jav. V našom prípade, to bude svietivosť zdroja I . Zistením smernice každej priamky na obr.3, získame svietivosť I jednotlivých žiaroviek: $I_{25W} = 18cd$, $R^2 = 0,9987$, $I_{40W} = 33cd$, $R^2 = 0,9994$, $I_{60W} = 59cd$, $R^2 = 0,9993$ (MS Excell). Použili sme svietidlo bez tieniaceho krytu.

Krok 3: Určíme závislosť intenzity osvetlenia E od uhlu dopadu svetla φ . Vzdialenosť r od žiarovky a príkon P (e. g. 25W) budú stále. Potom zopakujeme meranie pre ďalšie dve

žiarovky (45 W and 60 W). Nakreslíme graf $E = f(\varphi)$, obr.5, pre všetky žiarovky. Zo závislosti na obr.5 môžeme vidieť, že intenzita osvetlenia E klesá so zväčšujúcim sa uhlom dopadu svetla φ ale nie lineárne. Aká funkcia vyhovuje priebehom?



Obr.5 Závislosť osvetlenia E na uhle dopadu svetla φ , $r = 0,36$ m.



Obr.6 Závislosť osvetlenia E na $\cos \varphi$ pre hodnoty z obr.5.

Krok 4: Mohli by sme opäť vyšetovať (skúmať) vhodnosť rôznych druhov funkcií. Avšak, ak sa zaoberáme javom, ktorý závisí na uhle, potom v matematickom vzťahu sa vo väčšine prípadov, hlavne na stredných školách, vyskytuje kosínus alebo sínus (skúsenosť žiakov z predchádzajúcich ročníkov). Ktorá z týchto funkcií je vhodnejšia pre našu situáciu? Odpoveď môže byť určená faktom, že osvetlenie E nadobúda maximálnu hodnotu pri $\varphi = 0^\circ$ a minimálnu hodnotu pri $\varphi = 90^\circ$. Z tohto dôvodu si vyberieme funkciu kosínus, $\cos \varphi$ ($\cos 0^\circ = 1$, $\cos 90^\circ = 0$). Ak nakreslíme graf $E = f(\cos \varphi)$, obr.3.1.6, môžeme vidieť, že E je priamo úmerné $\cos \varphi$ (lineárna závislosť). Nenulové hodnoty E pre $\varphi = 90^\circ$ (obr.6) sú spôsobené rozptylom svetla od lavice a okolitých predmetov. Môžeme teda písať

$$E \sim \cos \varphi. \quad (4)$$

Krok 5: Nakoniec môžeme uzavrieť, že pre osvetlenie platí

$$E = \frac{I \cdot \cos \varphi}{r^2}, \quad (5)$$

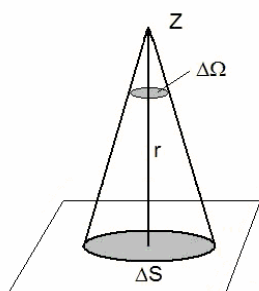
hoci rovnica (5) platí presne iba pre bodový svetelný zdroj. Táto rovnica je známa ako fotometrický zákon.

Za takýmto „objavením“ fotometrického zákone môže nasledovať teoretické odvodenie.

Odvozenie fotometrického zákona

Osvetlenie E plochy ΔS je definované ako podiel svetelného toku $\Delta\Phi$ dopadajúceho na túto plochu ΔS a veľkosti tejto plochy ΔS . Uvažujeme bodový zdroj Z . Nech r je vzdialenosť plochy od zdroja svetla, I je svietivosť zdroja svetla v smere plochy, $\Delta\Omega$ je priestorový uhol odpovedajúci ploche ΔS , α je uhol dopadu svetla. Potom na základe poznatkov z matematiky môžeme odvodiť fotometrický zákon pre prípad kolmého dopadu svetla a pre uhol dopadu rôzny od nuly.

- Uhol dopadu svetla je rovný nule:



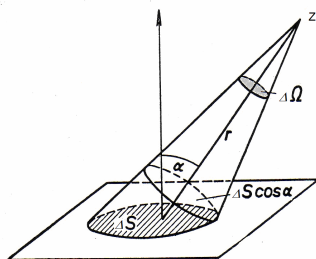
$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$

$$\Delta\Phi = I \cdot \Delta\Omega$$

$$\Delta S = r^2 \cdot \Delta\Omega$$

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \Delta\Omega}{r^2 \cdot \Delta\Omega} = \frac{I}{r^2}$$

- Uhol dopadu svetla je rôzny od nuly:



$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S \cdot \cos \alpha}{r^2}$$

$$\Delta\Phi = I \cdot \Delta\Omega = I \cdot \frac{\Delta S \cdot \cos \alpha}{r^2}$$

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}$$

Heuristický experiment „Objavenie“ fotometrického zákona učí študentov, ako študovať nejaký jav. *Metodický postup sleduje cestu vedeckej práce:* Študenti analyzujú jav, jeho význam pre život. Premýšľajú ako merať jav, veličinu. Merajú závislosti, hľadajú pre ne vhodné matematické vyjadrenie - funkcie. Priradia matematický vzťah, funkciu k tvaru krivky. Určujú sklon - smernicu kriviek grafu a snažia sa zistiť jej fyzikálny význam. Používajú štatistické metódy. Robia syntézu realizovaných experimentov. Všetky kroky tohto postupu sú dôležité, nemali by sme vynechať žiaden z nich.

Laboratórne cvičenie

Tento návod na laboratórne cvičenie predstavuje postup na *overenie platnosti* fotometrického zákona. Použijeme ho až potom, keď sme odvodili fotometrický zákon. Jedná sa o *overovací experiment*.

Úlohy:

1. Pre vybrané svetelné zdroje zmerajte závislosť veľkosti osvetlenia E od vzdialenosti r od svetelného zdroja a zostrojte graf závislosti $E = f(1/r^2)$.
2. Z nameraných hodnôt vypočítajte svietivosti I svetelných zdrojov rôzneho príkonu P . Údaje, príkon a svietivosť, zapíšte do tabuľky.
3. Pre vybrané svetelné zdroje zmerajte závislosť veľkosti osvetlenia E od uhla dopadu svetla φ a zostrojte graf závislosti $E = f(\cos \varphi)$.

Pomôcky:

luxmeter, žiarovky 25 W, 40W, 60 W, stolná lampa, pásové meradlo alebo drevené pravítko, veľký uhlomer, tenká nitka, fixka, drôt hrubý asi 2 mm, MS Excell

Fyzikálny princíp:

Každý zdroj elektromagnetického žiarenia vyžaruje do okolitého priestoru energiu. Vyžarovanie energie v podobe svetla posudzujeme buď subjektívne na základe účinkov na zrak, alebo objektívne, keď použijeme vhodné meracie prístroje. Veličiny, ktoré charakterizujú prenos energie optického žiarenia a jeho účinok na zrak, nazývame *fotometrické veličiny*. Ich meraním sa zaoberá fotometria. Dej na obr.1 charakterizujú tri fotometrické veličiny:

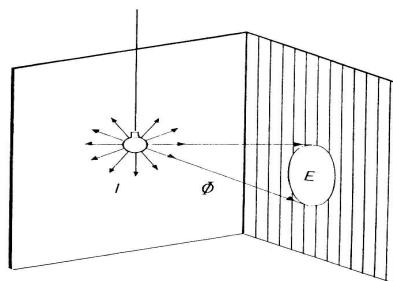
- svietivosť – vyjadruje vlastnosť zdroja svetla,
- svetelný tok – sa vzťahuje k prenosu svetla priestorom,
- osvetlenie – určuje účinky svetla pri jeho dopade na plochu telesa.

Svietivosť I je základná fotometrická veličina, jej jednotkou je kandela, značka cd (z lat. candela – sviečka). Jednotková svietivosť skutočne odpovedá približne svietivosti jednej sviečky.

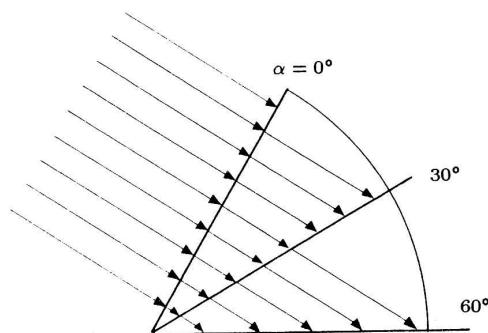
Svetelný tok Φ vyjadruje intenzitu zrkového vnemu normálneho oka, vyvolaného energiou svetelného žiarenia, ktoré prejde za jednotku času určitou plochou priestoru, ktorým sa svetlo šíri. Jednotkou svetelného toku je *lumen*, značka lm.

Osvetlenie E závisí na časti svetelného toku Φ , ktorý dopadne na plochu s obsahom ΔS . Osvetlenie je definované vzťahom

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}$$



Obr.1 K výkladu fotometrických veličín.



Obr.2 Závislosť osvetlenia plochy na uhle dopadu svetla.

Jednotkou osvetlenia je *lux*, značka lx.

Zo skúsenosti vieme, že so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od zdroja svetla osvetlenie plochy klesá. Závisí taktiež na uhle dopadu φ , pod ktorým svetlo popadá na plochu. Najviac je osvetlená plocha, na ktorú svetelné lúče dopadajú kolmo. Ak sú svetelné lúče s plochou rovnobežné, osvetlenie je nulové. Pre osvetlenie platí rovnica

$$E = \frac{I \cdot \cos \varphi}{r^2},$$

kde r je vzdialenosť od zdroja svetla. Z hľadiska potrieb praxe je osvetlenie najdôležitejšou fotometrickou veličinou.

K meraniu osvetlenia obvykle používame prístroje založené na vnútornom fotoelektrickom jave, teda na priamej premene energie žiarenia na elektrickú energiu. Prístroj na meranie osvetlenia sa nazýva *luxmeter*.

Postup merania:

- Svetidlo (stolovú lampu) upevnite na pracovnom stole tak, aby svetelný zdroj bol vo výške asi 0,5 m metra nad stredom stola. Do svetidla založte vybraný svetelný zdroj napr. 25 W žiarovku. Tenkú nitku, na ktorej ste si vyznačili vzdialenosti po 0,05 m, pripevnite na vrchol lampy a spustite dole (aby bola trochu napnutá). Pozdĺž tejto nitky budete merať intenzitu osvetlenia E v závislosti od vzdialenosti r od svetelného zdroja. Meranie vykonajte pre žiarovky rôznych príkonov. Merané hodnoty osvetlenia zapíšte do tabuliek.

$P = \dots\dots\dots W$, $\varphi = 0^\circ$.

i	r (m)	I/r^2 (m ²)	E (lx)	I (cd)
1				
2				
.				
.				
.				
10				
				$\bar{I} =$

- Z drôtu si vyrobte niečo podobné ako gril na opekanie. V strede urobte (kruhový závit) slučku, na ktorú upevníte senzor svetla. Jeden koniec drôtu ohnete do pravého uhla, ten bude ukazovať na veľkom drevenom pravítku, postavenom kolmo na stole, uhol dopadu svetla. Na druhom konci si urobíte „rukoväť“. Prípravok potom upevnite pevne na dve podstavy tak, aby sa ním dalo otáčať okolo pozdĺžnej osi. Do svetidla založte vybraný svetelný zdroj napr. 25 W. Postupne zväčšujte uhol dopadu svetla a merajte intenzitu osvetlenia E . Meranie vykonajte pre žiarovky rôznych príkonov. Merané hodnoty osvetlenia zapíšte do tabuliek

$P = \dots\dots\dots W$, $r = 0,5$ m.

i	φ (°)	$\cos \varphi$	E (lx)
1			
2			
.			
.			
.			
10			

Spracovanie výsledkov:

- Z nameraných hodnôt zostrojte graf závislosti $E = f(I/r^2)$. Použite MS Excell.
- Svietivosť zdroja vypočítajte podľa vzťahu $I = r^2 \cdot E$, $\cos 0^\circ = 1$.
- Vypočítajte priemernú hodnotu svietivosti pre každý svetelný zdroj a doplňte tabuľku

P [W]	I [cd]
25	
40	
60	

- Zostrojte graf závislosti $I = f(P)$.
- Z nameraných hodnôt zostrojte graf závislosti $E = f(\cos \varphi)$.

Poznámka:

Pre dosiahnutie najlepších výsledkov znížte vnútorné osvetlenie na minimum tak, že vypneme všetky svietidla (okrem stolnej lampy, s ktorou experimentujeme), zatemnite okná ak je to možné, alebo merajte večer, resp. v noci (alebo v zime na nulte hodine).

Tiene a odrazy od objektov a postáv môžu mať za následok chyby v meraní. Tieto chyby môžu byť minimalizované držaním senzora v dostatočnej vzdialenosti od tela v horizontálnej polohe.

Na kreslenie grafov použite program MS Excell, alebo použite milimetrový papier.

Otázky:

1. Uveďte, aké sú hygienické normy pre veľkosť intenzity osvetlenia pre školské priestory a pre niektoré druhy činnosti napr. čítanie, experimentálna činnosť?
2. Vymenujte, aké svetelné zdroje poznáte?

Pracovný list pre samostatnú prácu

Fotometrický zákon

Meno a priezvisko:.....

Dátum:.....

Škola:.....

Trieda:.....

Motivácia: Zo skúsenosti viete, že intenzita osvetlenia plochy, napr. strany knihy, klesá so zväčšujúcou sa vzdialenosťou od zdroja svetla a taktiež klesá so zväčšujúcim sa uhlom dopadu svetla na plochu. Túto skutočnosť popisuje fotometrický zákon. Realizáciou nasledujúceho experimentu môžete sami nájsť funkciu, ktorá je matematickým vyjadrením uvedeného zákona.

Bezpečnosť pri práci! Keďže pri tejto experimentálnej úlohe pracujete s napätím 220 V, dodržujte bezpečnostné predpisy pre prácu s domácimi elektrickými spotrebičmi. Kvôli bezpečnosti pri práci, žiarovky vymieňajte iba ak je zástrčka svietidla vytiahnutá zo zásuvky!

Pomôcky: luxmeter, stolná lampa, žiarovky (25W, 40W, 60W), pravítko, uhlomer, biela nitka s farebnými značkami vo vzdialenostiach napr. 0,05 m, programy MS Excell, MS Word

Postup a analýza: Pre dosiahnutie najlepších výsledkov znížte vnútorné osvetlenie na minimum tak, že vypnete všetky svietidla, zatemníte okná, ak je to možné, alebo merajte večer, resp. v noci. Tiene a odrazy od objektov a postáv môžu mať za následok chyby v meraní. Tieto chyby možno minimalizovať držaním senzora v dostatočnej vzdialenosti od tela v horizontálnej polohe.

Stolnú lampu upevnite na stôl. Zdroj svetla nastavte do výšky cca 0,5 m nad stredom stola. Do blízkosti zdroja svetla upevnite nitku, na ktorej sú značky a spustíte ju voľne dole. Napnutie nitky zabezpečíte zavesením závažia na jej opačný koniec.

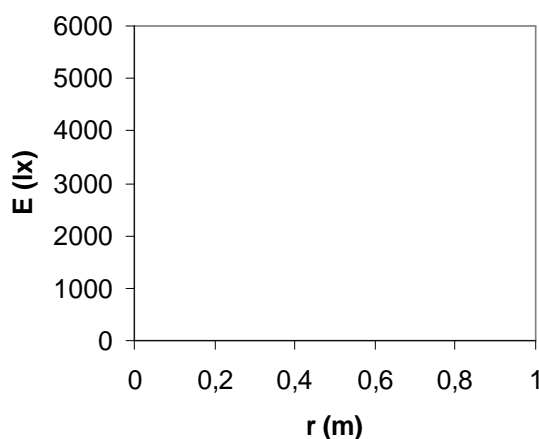
Experiment realizujte v dvoch etapách:

Etapa A: Závislosť osvetlenia od vzdialenosti.

Krok 1: Do pripravenej súradnicovej sústavy (obr.1) nakreslite vami predpokladaný priebeh závislosti intenzity osvetlenia E plochy od vzdialenosti r od svetelného zdroja. Nakreslite dve krivky pre dva rôzne príkony žiarovky.

Krok 2: Vyberte si jeden svetelný zdroj (napr. 25 W) a ten založte do svietidla. Uhol dopadu svetla na vodorovnú plochu stola nech je 0° . Zmerajte závislosť intenzity osvetlenia E od vzdialenosti r od žiarovky. Meranie osvetlenia zopakujte trikrát pre každú vzdialenosť. Údaje zapíšte do tabuliek 1, 2, a 3.

Experiment zopakujte pre 40 W a 60 W žiarovku.



Obr.1 Predpokladaný priebeh závislosti $E = f(r)$.

Tab.1: $P = \dots 25 \dots W, \varphi = 0^\circ$

k	r (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

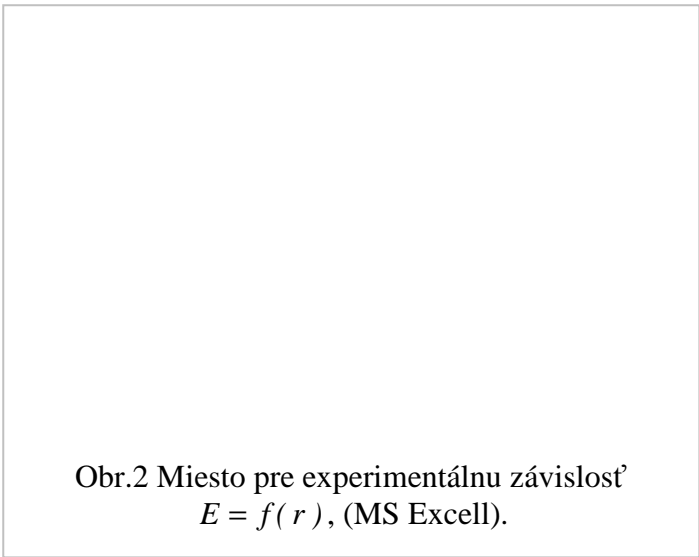
Tab.2: $P = \dots \dots \dots W, \varphi = 0^\circ$

k	r (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

Tab.3: $P = \dots \dots \dots W, \varphi = 0^\circ$

k	r (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

Krok 3: Pre spracovanie nameraných dát použite program MS Excell. Do jedného grafu vyneste závislosti $E = f(r)$, pre všetky tri žiarovky. Graf vložte do programu MS Word, upravte jeho veľkosť pre nalepenie do pracovného listu, obr.2, a vytlačte. Uvedenú závislosť porovnajte s vašou predpoveďou na obr.1. Diskutujte priebeh závislostí.



Obr.2 Miesto pre experimentálnu závislosť $E = f(r)$, (MS Excell).

Krok 4: Aby ste zistili, aká matematická funkcia odpovedá nameranému priebehu $E = f(r)$, musíte merané body preložiť krivkou (funkciou) tak, aby čo najlepšie kopírovala merané dáta (vedci používajú pojem fitovať). Musíte teda nájsť funkciu, ktorej priebeh bude najlepšie fitovať merané dáta. Na fitovanie sa využívajú štatistické programy, ktoré využívajú metódu najmenších štvorcov. Uvedenú funkciu má aj program MS Excell (pridať trendovú čiaru). Ak sa fitujú merané dáta lineárnou funkciou, zvykne sa hovoriť, že závislosť linearizujeme..

Fitujte merané dáta funkciou $E = k \cdot x$, pričom x bude funkciou r , v akom tvare to sa pokúste zistiť úvahou. Môžete použiť napr. $x = 1/r$, $x = 1/r^2$ a $x = 1/r^3$.

Postup pri fitovaní: V programe MS Excell zostrojíte tabuľky podľa vzoru (tab. 4, 5 a 6). Do prázdneho miesta v záhlaví zapíšete vami vybraný funkcie pre x . Potom pre každú tabuľku zostrojíte grafy $E = k \cdot x$, pre všetky tri substitúcie. Grafy preneste do MS Wordu, upravte na vhodnú veľkosť, vytlačte ich a vlepíte na pripravené miesto.

Tab.4:

k	r (m)	x =	E_{25w} (lx)	E_{40w} (lx)	E_{60w} (lx)
2					
3					
.					

Tab.5

k	r (m)	x =	E_{25w} (lx)	E_{40w} (lx)	E_{60w} (lx)
1					
2					
3					
.					

Tab.6:

k	r (m)	x =	E_{25w} (lx)	E_{40w} (lx)	E_{60w} (lx)
1					
2					
3					
.					

$x = 1/r$

$x = 1/r^2$

$x = 1/r^3$

Obr.3 Miesto pre grafy po fitovaní.

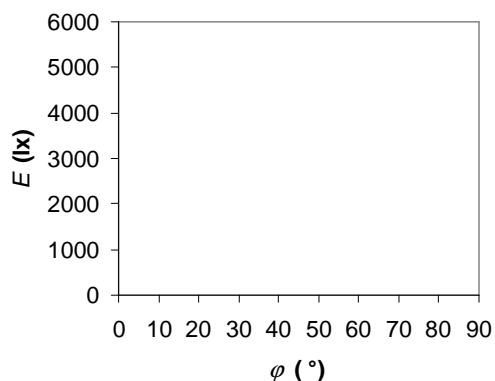
Krok 5: Na základe grafov na obr.3 rozhodnite, ktorá funkcia – substitúcia, popisuje danú závislosť. Svoju odpoveď napíšte na prázdne miesto:

Krok 6: Na základe analýzy výsledkov v 1. etape doplňte:

$E \sim \dots\dots\dots$

Etapa B: Závislosť osvetlenia od uhla dopadu.

Krok 1: Do pripravenej súradnicovej sústavy (obr.4) nakreslite vami predpokladaný priebeh závislosti intenzity osvetlenia E plochy od uhla dopadu svetla φ . Nakreslite dve krivky pre dva rôzne príkony žiarovky.



Krok 2: Vzďialenosť r žiarovky od plochy (napr. 0,05 m) a príkon P (napr. 25W) budú stále. Zmerajte závislosť osvetlenia E od uhla dopadu svetla φ . Pre každú hodnotu uhla dopadu zmerajte osvetlenie tri krát. Údaje za píšete do tab.7, 8 a 9. Experiment zopakujte pre 40 W a 60 W žiarovku.

Obr.4 Predpokladaný priebeh závislosti $E = f(\varphi)$.

Tab.7: $P = ..25...W, r = 0,05 m$

k	φ (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

Tab.8: $P =W, r = 0,05 m$

k	φ (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

Tab.9: $P =W, r = 0,05 m$

k	φ (m)	E_1 (lx)	E_2 (lx)	E_3 (lx)	\bar{E} ozn. E (lx)
1					
2					
3					
.					
.					
.					

Krok 3: Pre spracovanie nameraných výsledkov použite program MS Excell. Do jedného grafu vynesite závislosti $E = f(\varphi)$, pre všetky tri žiarovky. Graf vložte do programu MS Word, nastavte jeho vhodnú veľkosť, pre vlepenie do pracovného listu obr.5 a vytlačte. Uvedenú závislosť porovnajte s vašou predpoveďou na obr.4. Diskutujte priebeh závislostí.

Krok 4: Aby ste zistili, aká matematická funkcia odpovedá nameranému priebehu $E = f(\varphi)$, musíte danú závislosť fitovať. Použijeme opäť lineárnu funkciu $E = k \cdot x$. Navrhnite, ktorú matematickú funkciu by ste použili na linearizáciu:
Zdôvodnite prečo?(napíšte na prázdne miesto):

.
.
.
.
.

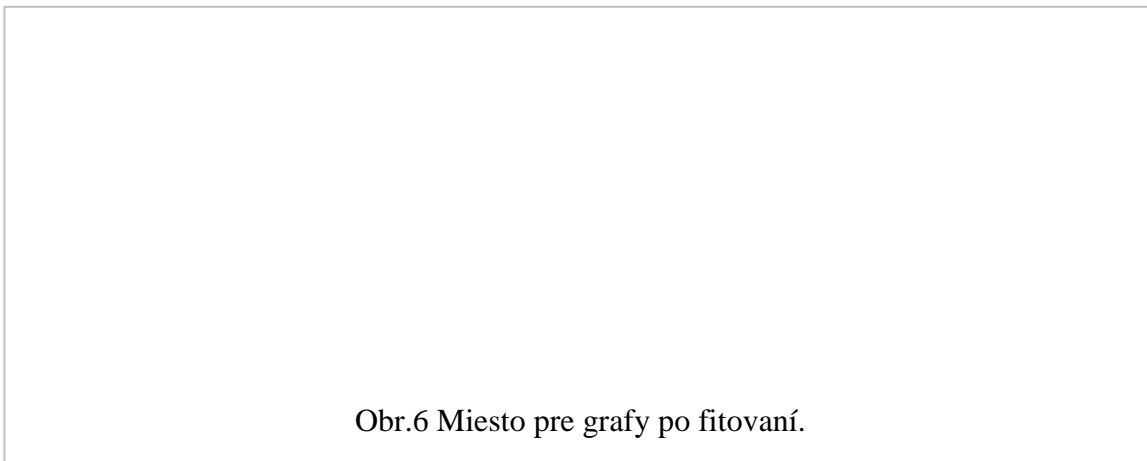
Postup pri fitovaní: V programe MS Excell zostrojte tabuľky podľa vzoru (tab.10, 11 a 12). Do prázdneho miesta v záhlaví zapíšte vami vybrané tvary funkcie pre x . Potom pre každú tabuľku zostrojte grafy $E = k \cdot x$, pre všetky substitúcie. Grafy preneste do MS Wordu, upravte na vhodnú veľkosť, vytlačte ich a vlepте na pripravené miesto.

Tab.10:

k	φ (m)		E_{25W} (lx)	E_{40W} (lx)	E_{60W} (lx)
1					
2					
3					
.					

Tab.11:

k	φ (m)		E_{25W} (lx)	E_{40W} (lx)	E_{60W} (lx)
1					
2					
3					
.					



Obr.6 Miesto pre grafy po fitovaní.

Obr.5 Miesto pre experimentálnu závislosť $E = f(\varphi)$, (MS Excell).

Krok 5: Na základe grafov na obr.6 rozhodnite, ktorá funkcia – substitúcia, popisuje danú závislosť. Svoju odpoveď napíšte na prázdne miesto:

Krok 6: Na základe analýzy výsledkov v 2. etape doplňte:

$$E \sim \dots\dots\dots$$

Zhrnutie prvej a druhej etapy: Zhrňte výsledky oboch etáp a napíšte, ako závisí intenzita osvetlenia od vzdialenosti svetelného zdroja a od uhla dopadu:

$$E =$$

Diskutujte medzi sebou nasledovné otázky:

Aký je fyzikálny význam konštanty úmernosti k ?

Ako by ste určili veľkosť tejto konštanty?

Výsledky diskusie konzultujte s učiteľom.

2. Osvetlenie a zdravie

Dobré svetlo a vhodné osvetlenie sú nevyhnutným predpokladom pre bezpečnú prácu bez nehôd a pre trávenie voľného času. Norma STN EN 12464-1 definuje štandardné hodnoty nominálneho osvetlenia E v luxoch, vnútri pracovných priestorov. Tab.1 ukazuje niekoľko hodnôt intenzity osvetlenia E vnútri školských priestorov. Štandardné hodnoty sú referenčné hodnoty. Všeobecne sa vzťahujú k horizontálnym pracovným plochám vo výške 0,85 m nad podlahou.

Tab.1 Štandardné hodnoty nominálneho osvetlenia E pre rôzne typy priestorov vnútri školských budov (STN EN 12464-1)

Typ priestoru	E (lx)	Typ priestoru	E (lx)
Počítačová učebňa	300	Vstupná hala	200
Prednášková miestnosť	500	Schody	150
Demonštračný stôl	500	Školská jedáleň	200
Miestnosť na rysovanie	750	Školská kuchyňa	500
Laboratórium, praktické cvičenia	500	Telocvičňa, plaváreň (všeobecné použitie)	300
Knižnica: čítareň	500	Komunikačné priestory, chodby	100

Je osvetlenie v našom lokálnom životnom prostredí správne (zdravé)? Táto otázka má silný motivačný náboj. Túto otázku transformujeme do nasledovných úloh:

- Určte veľkosť intenzity osvetlenia E v rôznych častiach školy: v triede, v laboratóriu, na schodoch, vo vstupnej hale, v jedálni, kuchyni, v telocvični a pod. *Porovnajte* namerané hodnoty s hygienickými normami (Európska norma EN 12464-1). *Navrhnite zmeny*, ktoré by ste urobili v prípade veľkých rozdielov.
- Nakreslite plán vašej izby (bytu) a vyznačte umiestnenie svetelných zdrojov. Určte veľkosť intenzity osvetlenia E na pracovných miestach a miestach oddychu. *Porovnajte* namerané hodnoty s hygienickými normami (Európska norma EN 12464-1). *Navrhnite zmeny*, ktoré by ste urobili v prípade veľkých rozdielov.

Experiment a analýza výsledkov

Profesionálne meranie osvetlenia (denného, umelého a združeného) na pracovných miestach realizujú niektoré inštitúcie napr. Regionálne ústav verejného zdravotníctva. Požiadavky na meranie osvetlenia sú určené predpismi a normami napr. Nariadenie Ministerstva zdravotníctva SR a Nariadenie vlády SR.

Pretože osvetlenie je jeden z veľmi dôležitých faktorov životného prostredia a profesionálne meracie metódy nie je ľahké realizovať v podmienkach vyučovacieho procesu, je vhodné začať realizovať jednoduché experimenty s luxmetrom pre mapovanie osvetlenia na rôznych miestach školy.

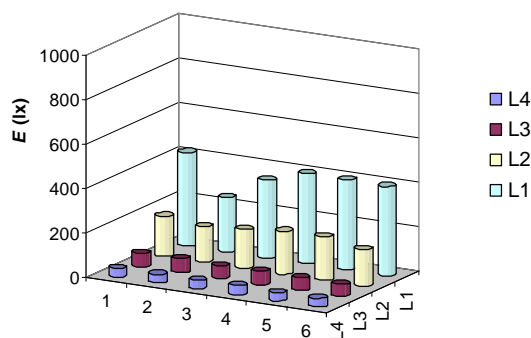
Ukážeme výsledky osvetlenia v učebniach na pracovných stoloch, kde študenti trávajú veľa času počas dňa. Takýto pilotný experiment môže byť dobrým východiskovým bodom pre ďalšie merania a diskusie.

Osvetlenie v triede: Obr.1 ukazuje závislosť intenzity osvetlenia E lavíc od polohy lavice v miestnosti. Miestnosť je osvetlená denným svetlom, bez umelého osvetlenia. *Podmienky experimentu:* spojíte zatiahnutá obloha (rovnomerné rozptýlené slnečné svetlo), ročné obdobie - zima, čas - 9 hodín predpoludním, štyri rady lavíc v miestnosti (L1-L4), šesť lavíc

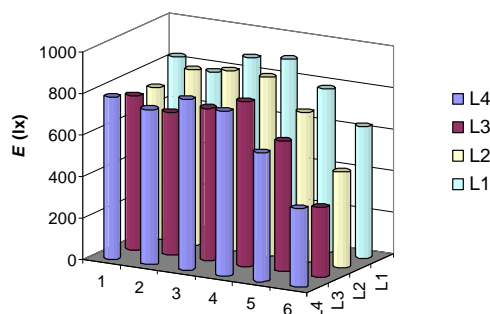
v každom rade (1 až 6), steny – biela farba, zadná stena (vpravo na obrázku) – hnedá skriňa, orientácia miestnosti - na západ. Meranie osvetlenia bolo realizované na povrchu lavíc. Tabuľa je na ľavej strane a okná na zadnej strane obrázku (grafu). Okná tvoria skoro celú vonkajšiu stenu miestnosti (nová budova). Obr.2 ukazuje rovnakú situáciu, s tým rozdielom, že umelé osvetlenie je zapnuté.

Na základe experimentálnych údajov môžeme povedať, že osvetlenie v triede, za daných poveternostných podmienok spĺňa normu (hygienické predpisy) iba ak použijeme umelé osvetlenie.

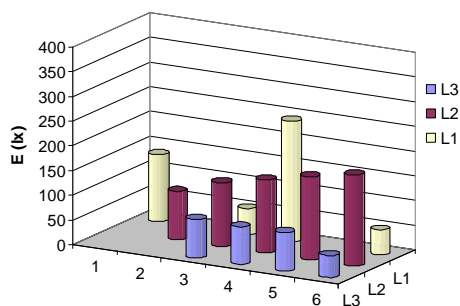
Osvetlenie v laboratóriu: Obr.3 a obr.4 ukazujú podobné merania, ako je uvedené vyššie, ale v laboratóriu. V laboratóriu je 13 laboratórnych stolov. Stoly sú v troch radoch L1, L2 a L3. Stoly v radoch L1 a L3 sú umiestnené rovnobežne a tesne so stenou. Stoly v rade L2 sú v strede miestnosti. Z toho tri stoly sú priamo v rohoch miestnosti. Laboratórium je rohová miestnosť orientovaná na sever. Dve okna sú na zadnej strane a jedno na pravej strane obrázku. Meranie bolo realizované za rovnakých podmienok ako v predchádzajúcom prípade o jedenástej hodine predpoludním.



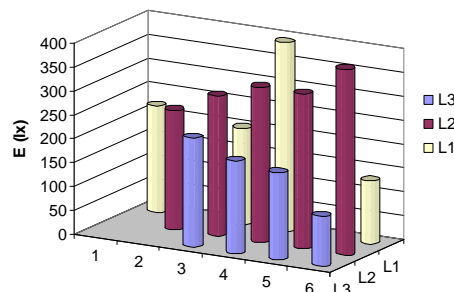
Obr.1 Závislosť osvetlenia E stolov od ich polohy v prednáškovej miestnosti: denné osvetlenie, umelé osvetlenie vypnuté, L – rady stolov, zatiahnutá obloha.



Obr.2 Závislosť osvetlenia E stolov od ich polohy v prednáškovej miestnosti s denným a umelým osvetlením, L – rady stolov, zatiahnutá obloha.



Obr.3 Závislosť osvetlenia E stolov od ich polohy v laboratóriu: denné osvetlenie, bez umelého osvetlenia, L- rady stolov (zatiehnutá obloha).



Obr.4 Závislosť osvetlenia stolov E stolov od ich polohy v laboratóriu: denné a umelé osvetlenie L- rady stolov (zatiehnutá obloha).

Na základe nameraných hodnôt, obr.3, a obr.4 môžeme vidieť, že v laboratóriu osvetlenie neodpovedá hygienickým normám. Laboratórium je umiestnené v starej budove (historickej). Táto miestnosť má menšie okná ako trieda v novej budove, je 4 m vysoká, hrúbka steny 0,5 m, lampy sú osadené ekonomicky úspornými žiarivkami a tie sú príliš vysoko nad stolmi.

Z vyššie uvedených výsledkov (obr.1 až obr.4) a tiež ďalších experimentov realizovaných za rôznych podmienok, napr. rôzne počasie, ročné obdobie, rôzna časť dňa, rôzne miestnosti, môžu žiaci urobiť záver:

Osvetlenie mojej lavice závisí na:

- *vonkajšom osvetlení* (napr. počasie, časti dňa) a na
- *architektúre školskej budovy* (napr. priestorová orientácia budovy vzhľadom na svetové strany, počet a veľkosť okien, počet a kvalita svetelných zdrojov, teda lúčov).

V prípade, ak osvetlenie niektorých priestorov nespĺňa hygienické normy, môžeme so žiakmi rozvinúť diskusiu o možných príčinách nevhodného osvetlenia. Potom žiaci môžu navrhovať možné riešenia.

Uvedené námety sú v hodné pre projektové vyučovanie.

3. Námety na projekty

Pri návrhu a realizácii projektov môže byť nápomocná práca napr. Environmentálne vzdelávanie vo vyučovaní fyziky (Degro, J.: 2006) a taktiež príloha tejto práce, kde sú uvedené ukážky experimentálnych výsledkov niektorých experimentov.

Osvetlenie na pracovnom stole

Motivácia:

Pri učení potrebujete, aby váš pracovný stôl bol správne osvetlený. Dôležitá je pritom nielen veľkosť intenzity osvetlenia, ale aj jeho rovnomernosť.

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre vyhodnotenie osvetlenia na pracovnom stole pri dennom, združenom a umelom osvetlení.
- Merané výsledky porovnajete s hygienickými normami.
- V prípade nesprávneho osvetlenia navrhnete riešenie.

Návod na realizáciu experimentu:

Urobte náčrt časti izby s miestom pracovného stola. Zaznačte si: typ svietidla, druh osvetlenia, typ svetelného zdroja a jeho príkon, druh povrchu a farbu stien.

Na celú plochu svojho pracovného stola prilepte veľký papier, najlepšie milimetrový. Zostrojte na ňom štvorcovú sieť 5x5 cm. Zvoľte si sieť bodov, v ktorých budete merať osvetlenie. Body voľte tak, aby pokryli celú plochu stola. Namerané hodnoty zapíšte do tabuľky a zostrojte graf pomocou programu MS Excell.

Zhodnoťte kvalitu osvetlenia v jednotlivých častiach stola. Ak nie sú splnené hygienické normy, navrhnete riešenie.

Ako zdroj svetla v stolnej lampe použijete rôzne typy svetelných zdrojov napr. žiarovka číra, mliečna (matná), resp. žiarovka bodová.

Použijete taktiež zdroje rôzneho príkonu. Ak budete experiment realizovať v škole, vaším pracovným stolom bude školská lavica.

Vplyv tienidla na veľkosť intenzity osvetlenia

Motivácia:

Zo skúsenosti viete, že tienidlo chráni zrak pred oslnením a usmerňuje lúče na pracovnú plochu.

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre meranie závislosti veľkosti intenzity osvetlenia od vzdialenosti od svetelného zdroja pre stolnú lampu s tieniacim krytom a bez neho.
- Výsledky porovnajete.
- Merania vykonajte pre rôzne typy a výkony svetelných zdrojov.

Osvetlenie u vás doma

Motivácia:

V médiách sa niekedy objavujú správy, ktoré hovoria o tom, ako sa ľuďom, hlavne deťom, zhoršuje zrak. Jednou z príčin je aj kvalita osvetlenia v bytoch a domoch. Máte doma správne osvetlenie?

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre vyhodnotenie osvetlenia v priestoroch u vás doma, pri dennom, združenom a umelom osvetlení.
- Merané výsledky porovnajete s hygienickými normami.
- V prípade nesprávneho osvetlenia navrhnete riešenie.

Návod na realizácia experimentu:

Nakreslite plán vašej izby (bytu) a vyznačte umiestnenie svetelných zdrojov. Zaznačte si: typy svietidiel, druhy osvetlenia, typy svetelných zdrojov a ich príkon, druh povrchu a farbu stien, druh a farbu povrchu.

Určte veľkosť intenzity osvetlenia E na pracovných miestach, na miestach oddychu a na ostatných miestach (napr. chodba, pivnica).

Osvetlenie v škole

Motivácia:

V škole trávite väčšinu času dňa. Počas vyučovania sú kladené veľké nároky na vaše oči. Odborníci hovoria o tzv. zrakovom výkone. V prípade nevhodného osvetlenia zrakový výkon klesá a oči sa rýchlo unavia. Mali ste pocit zrakovej únavy? Je osvetlenie vo vašej škole správne.

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre vyhodnotenie osvetlenia v priestoroch vašej školy, pri dennom, združenom a umelom osvetlení.
- Merané výsledky porovnajete s hygienickými normami.
- V prípade nesprávneho osvetlenia navrhnete riešenie.

Návod na realizácia experimentu:

Nakreslite plán triedy a školy a vyznačte umiestnenie svetelných zdrojov. Zaznačte si: typy svietidiel, druhy osvetlenia, typy svetelných zdrojov a ich príkon, druh povrchu a farbu stien, druh a farbu povrchu.

Určte veľkosť intenzity osvetlenia E v rôznych častiach školy: v triede, v laboratóriu, na schodoch, vo vstupnej hale, v jedálni, kuchyni, v telocvični a pod.

Závislosť intenzity osvetlenia od času po zapnutí žiarivky

Motivácia:

Zo skúsenosti viete, že ak zapnete svietidlo so žiarivkou, tak intenzita osvetlenia pomaly stúpa, a až po chvíli nadobudne stálu hodnotu.

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre zmeranie závislosti veľkosti intenzity osvetlenia E od času t po zapnutí.
- Merania vykonajte pre rôzne typy a príkony žiariviek.
- Porovnajete výsledky merania.

Poznámka:

Meranie časových závislostí vám uľahčí natočenie videozáznamu displeja luxmetra počas merania. Vyhodnotenie merania môžete urobiť na počítači analýzou videozáznamu.

Porovnanie klasických a úsporných svetelných zdrojov

Motivácia:

Zo skúsenosti viete, že ak ste doma vymenili klasickú žiarovku za jej ekvivalent, úspornú žiarivku, zdalo sa vám, že intenzita osvetlenia nie je rovnaká.

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre potvrdenie resp. vyvrátenie tohto tvrdenia.
- Výsledky diskutujte v skupine a potom s učiteľom.

Poznámka:

Pre porovnanie svetelných zdrojov z hľadiska osvetlenia je vhodné mať k dispozícii viac kusov z jedného typu zdroja, najlepšie z rôznych predajní. Môžete tak porovnať ako sa líšia zdroje kus od kusa.

Osvetlenie vonkajších priestorov

Motivácia:

Keď sa prechádzate večer vonku, vidíte, že rôzne miesta sú osvetlené rôznou intenzitou osvetlenia. Niekedy je osvetlenie príliš silné (plytvanie energiou) a inokedy zase slabé (nebezpečné pre pobyt v noci).

Cieľ:

- Navrhnete projekt pre zmapovanie vonkajšieho domáceho a verejného osvetlenia.
- Výsledky diskutujte v skupine a potom s učiteľom.

Literatúra

1. Degro, J.: School experiments with a luxmeter. Phys. Educ. 42 (2007), 275-280
2. Degro, J.: Environmentálne vzdelávanie vo vyučovaní fyziky. PF UPJŠ Košice, 2006
3. Degro, J.: Vybrané kapitoly z environmentálnej fyziky. Diel 1. PF UPJŠ Košice 2006
4. Fuka, J., Havelka B.: Optika 1, SPN Praha 1961.
5. Habel, J. a kolektív: Světelná technika a osvětlování. FCC Public Praha, 1995
6. Krajník, R.: Svetlo a osvetlenie. Diplomová práca. PF UPJŠ Košice, 2006
7. Lepil, O., Kupka, Z.: Fyzika pro gymnázia. Optika. Prometheus Praha, 1993
8. Ministerstvo zdravotníctva SR: Metodická príručka. Meranie a vyhodnocovanie osvetlenia. Bratislava, August 1997.
9. Nariadenie vlády SR č. 269/2006 z 19 apríla 2006 o podrobnostiach o požiadavkách na osvetlenie pri práci. Zbierka zákonov, časť 96, str. 1589-94, 2006
10. Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL Praha, 1999
11. STN 36 004 Umelé svetlo a osvetlenie. Všeobecné ustanovenia.
12. STN 36 0015 Meranie umelého osvetlenia.
13. STN 12 193 (36 0074) EN 12464-1 Osvetlenie pracovných miest. Časť 2. Vnútorne pracovné miesta.
14. Unitest - Digitale Luxmeter: Instruction Manual: Cat.No. 93408/93421, 2003
15. Zbierka zákonov č. 261/2006: Nariadenie vlády SR o podrobnostiach a požiadavkách na osvetlenie, 19 apríl 2006
16. <http://exphys.science.upjs.sk/degro/pokus/pokusy.html>