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:

- Určime závislosť veľkosti osvetlenia E od vzdialenosti r od svetelného zdroja.
- Určime závislosť veľkosti osvetlenia E od príkonu P svetelného zdroja.
- Určime 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 realizujme v niekoľkých krokoch:

Krok 1: Určíme závislosť intenzity osvetlenia E od vzdialenosti r od žiarovky. Počas merania je uhol dopadu svetla φ=0° 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,

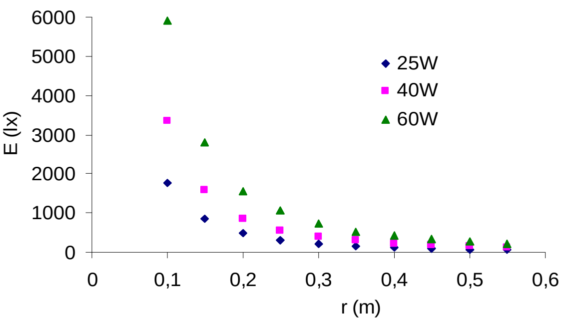
$$y = k \cdot x \qquad (1)$$

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

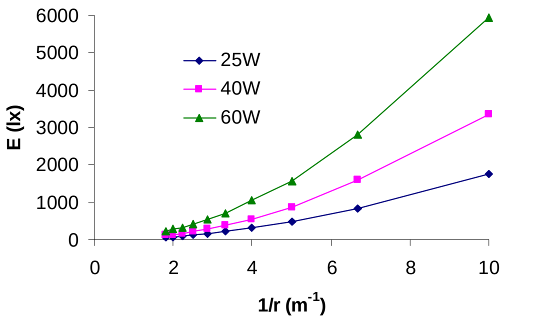
$$E = k \cdot x \qquad (2)$$

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 závisle 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

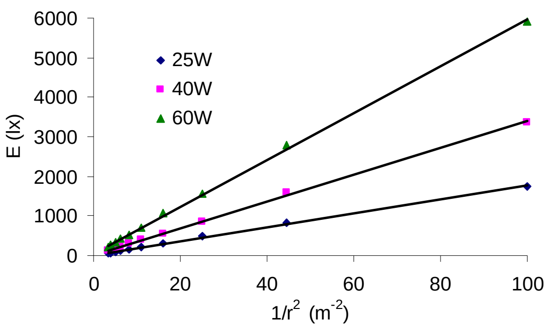
$$E \sim \frac{1}{r^2} \qquad (3)$$



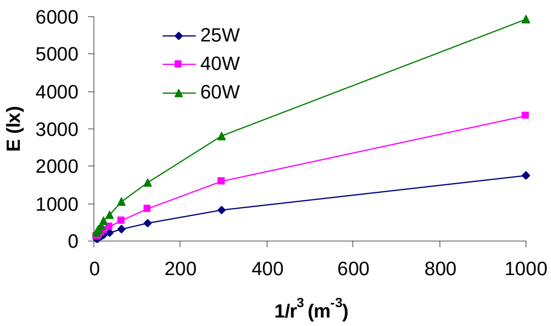
Obr.1 Závislosť osvetlenia *E* na vzdialenosti *r* od žiarovky, φ=0°.



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.

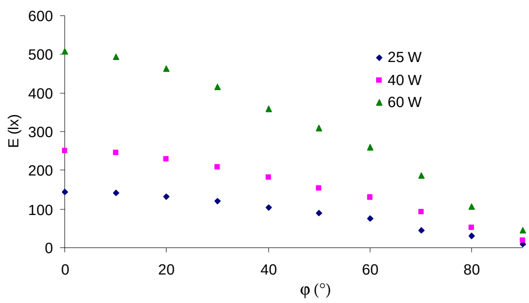


Obr.4 Závislosť osvetlenia *E* na veličine $1/r^3$, pre hodnoty z obr.1.

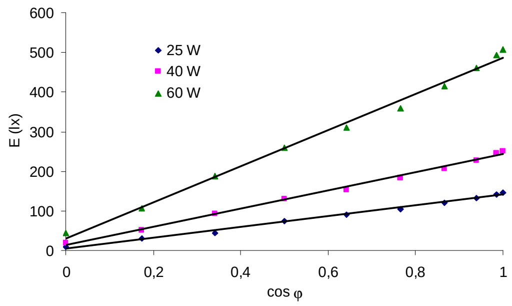
Krok 2: Položíme si ďalšiu otázku: A čo konštanta úmernosti *k* v rovnici (2)? Aký je jej fyzikálny význam? Môžeme rozmýšľať napr. nasledovne: Zo skúsenosti vieme, že svietivosť žiarovky je v určitom vzťahu k jej príkonu *P*(*I* –svietivosť; jednotka v SI je candela, cd), teda osvetlenie *E* taktiež 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 φ pre hodnoty z obr.5.

Krok 4: Mohli by sme opäť vyšetrovať (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 φ = 0° a minimálnu hodnotu pri φ = 90°. Z tohto dôvodu si vyberieme funkciu kosínus, $\cos\varphi$ ($\cos 0^0 = 1$, $\cos 90^0 = 0$). 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 φ = 90° (obr.6) sú spôsobené rozptylom svetla od lavice a okolitých predmetov. Môžeme teda písať

$$E \sim \cos\varphi . \tag{4}$$

Krok 5: Nakoniec môžeme uzavrieť, že pre osvetlenie platí

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

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.