

### Pracovní úkol

1. Pomocí fotometrického luxmetru okulibrujte normální žárovku (stanovte její svítivost). Pro určení svítivosti normální žárovky (a její chyby) vyneste do grafu závislost osvětlení na převrácené hodnotě kvadrátu vzdálenosti luxmetru od žárovky a proveďte lineární regresi.
2. Lummerovým - Brodhunovým fotometrem proměřte fotometrické diagramy žárovky 12 V / 35 W v horizontální i vertikální rovině. Jako normál použijte žárovku okulibrovanou v bodě 1. Naměřené výsledky zpracujte graficky. V grafu vyznačte chyby nepřímého měření.
3. Lummerovým - Brodhunovým fotometrem změřte směrovou závislost svítivosti plošného zdroje světla a ověřte platnost Lambertova zákona. Stanovte jas zdroje s relativní chybou výsledku.

### Teorie

Fotometrický luxmetr je objektivní fotometrické zařízení. Převádí dopadající světelný tok na fotodiodu na elektrický proud. Luxmetr ukazuje osvětlení  $E$  v jednotkách lux. Pro převedení osvětlení na svítivost  $J$  užijeme vztahu:

$$J = Er^2 \quad (1)$$

kde  $r$  je vzdálenost zdroje světla od fotodiody.

Lummerův-Brodhunův fotometr je subjektivním fotometrickým přístrojem. Funguje na principu porovnání jasu měřeného zdroje se zdrojem o známé svítivosti. Schematické znázornění přístroje je uvedeno v [1]-Obr.3.1-1. Každý ze dvou zdrojů osvětluje jednu stranu rozptýlné bílé desky. Světlo se na obou stranách odráží a dále odrazem přes zrcadla je směrováno do Lummerovy-Brodhunovy kostky. Po průchodu touto kostkou vidíme v lupě zaostřené na ní ve středu zorného pole světlo přicházející z levého povrchu desky. V okrajové části zorného pole pak vidíme světlo odražené z pravé strany desky. Při stejné barvě obou světelných zdrojů lze okem rozpoznat, kdy je jas stejný. Vyrovnání na stejný jas se provádí změnou vzdáleností  $r_n, r_m$  zdrojů od desky. Pro osvětlení  $E_m, E_n$  platí [1]:

$$E_m = \frac{J_m}{r_m^2} \quad E_n = \frac{J_n}{r_n^2} \quad (2)$$

kde  $J_n, J_m$  jsou svítivosti obou zdrojů.

Při vyrovnání jasu platí pro osvětlení  $E_m = E_n$ , a tak z rovnic (2) získáme vztah pro orčení svítivosti měřeného zdroje  $J_m$ .

$$J_m = J_n \frac{r_m^2}{r_n^2} \quad (3)$$

Svítivost plošných zdrojů  $J$  splňuje Lambertův zákon [1]:

$$J = J_0 \cos\vartheta \quad (4)$$

kde  $\vartheta$  je úhlová odchylka od normály plochy zdroje a  $J_0$  je konstanta nezávislá na směru.

Jas plošného zdroje  $B$  je dán jako [1]:

$$B = \frac{J}{S \cos\vartheta} \quad (5)$$

kde  $S$  je plocha zdroje.

Protože jas zdroje není závislý na směru, lze vztah (5) přepsat do tvaru:

$$B = \frac{J_0}{S} \quad (6)$$

### Výsledky měření

#### **Kalibrace normálové žárovky**

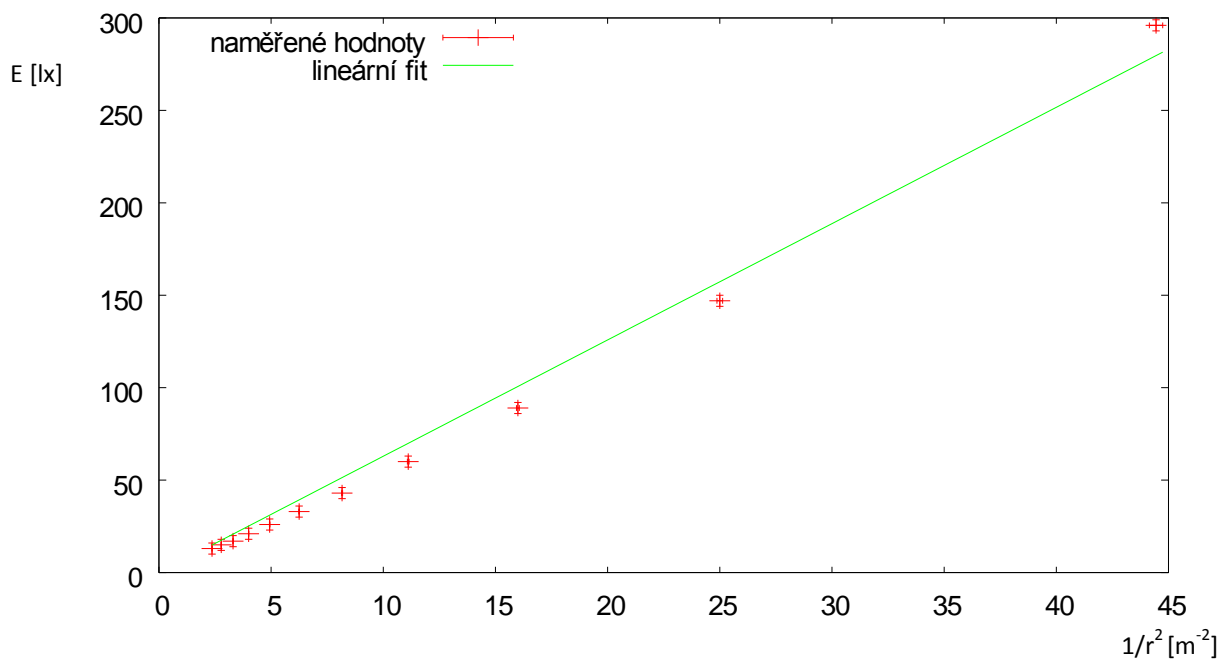
Nejprve jsem okulibrovala normálovou žárovku užívanou v dalších úkolech pomocí fotometrického luxmetru. Změřila jsem osvětlení fotodiody pro více vzdáleností  $r$  a výslednou hodnotu  $J_n$  našla pomocí lineární regrese ze vztahu (1). Do lineární regrese jsem nezahrnula první hodnotu naměřenou při vzdálenosti  $r=10\text{cm}$ . Tato hodnota hodně vybočuje z linerání závislosti.

Chybu určení vzdálenosti uvažuji  $\sigma_r = \pm 0,05 \text{ cm}$ . Při měření s luxmetrem jsem pozorovala odchylku  $\sigma_E = \pm 3 \text{ lx}$ .

**Tabulka I – Kalibrace normálové žárovky**

r [cm]	$r^{-2}$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	$\sigma_{\frac{1}{r^2}}$ [ $\text{m}^{-2}$ ]	E [lx]	$\sigma_E$ [lx]
10	100,00	1,000	850	3
15	44,44	0,296	296	3
20	25,00	0,125	147	3
25	16,00	0,064	89	3
30	11,11	0,037	60	3
35	8,16	0,023	43	3
40	6,25	0,016	33	3
45	4,94	0,011	26	3
50	4,00	0,008	21	3
55	3,31	0,006	17	3
60	2,78	0,005	15	3
65	2,37	0,004	13	3

Graf I - Kalibrace normálového zdroje



$$J_n = (6,29 \pm 0,16) \text{ cd}$$

### Fotometrické diagramy

V dalším úkolu jsem proměřila fotometrický diagram žárovky otočné v horizontální rovině. Ponechala jsem konstantní vzdálenost  $r_m$  měřené žárovky od fotometru. Natáčela jsem měřenou žárovku vždy o  $20^\circ$  v protisměru hodinových ručiček a hledala vzdálenost  $r_n$  normálové žárovky od fotometru, kdy jsou jas vyrovnaný. Každou hodnotu jsem změřila dvakrát. Stejným způsobem jsem měřila závislost ve vertikální rovině a také fotometrický diagram plošného zdroje.

Naměřené hodnoty jsou v Tabulkách II – IV a zaneseny v Grafech II – IV.

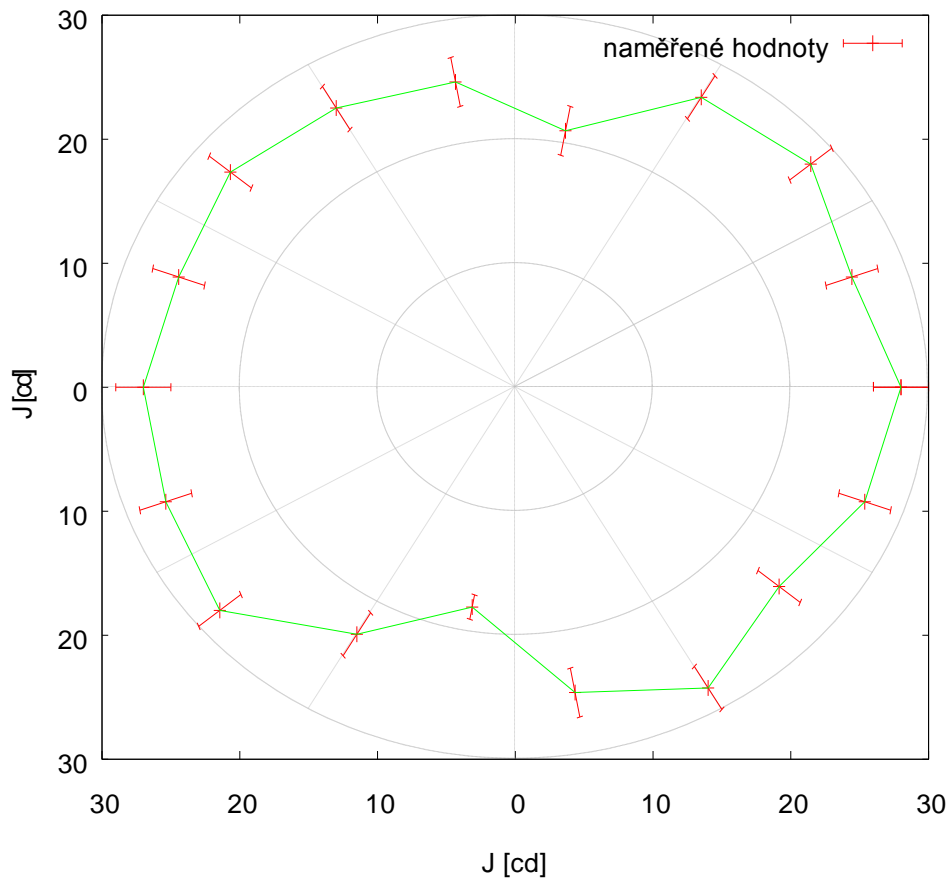
Chybu určení vzdálenosti  $r_{n1(\text{resp.}2)}$  uvažuji  $\sigma = \pm 0,05 \text{ cm}$ . Relativní chyba výsledné svítivosti J je součtem relativních chyb  $r_n$  a  $J_n$ .

$$r_{m1} = (50 \pm 0,050) \text{ cm}$$

**Tabulka II – fotometrický diagram žárovky v horizontální rovině**

$\vartheta$ [°]	$r_{n1}$ [cm]	$r_{n2}$ [cm]	$r_n$ [cm]	J [cd]	$\sigma_J$ [cd]
0	23,4	23,3	23,4	28,84	2,80
20	24,5	24,3	24,4	26,41	2,57
40	23,3	23,7	23,5	28,47	2,77
60	24,0	24,0	24,0	27,30	2,65
80	26,9	27,0	27,0	21,65	2,10
100	24,9	24,9	24,9	25,36	2,46
120	24,3	24,2	24,3	26,74	2,60
140	23,9	23,7	23,8	27,76	2,70
160	24,0	24,3	24,2	26,96	2,62
180	24,1	24,1	24,1	27,07	2,63
200	23,7	23,7	23,7	28,00	2,72
220	23,6	23,7	23,7	28,11	2,73
240	25,9	26,0	26,0	23,35	2,27
260	29,2	28,8	29,0	18,70	1,82
280	24,8	24,6	24,7	25,77	2,50
300	23,6	23,6	23,6	28,23	2,74
320	24,8	24,7	24,8	25,67	2,49
340	23,8	23,6	23,7	28,00	2,72

**Graf II - Fotometrický diagram žárovky v horizontální rovině**

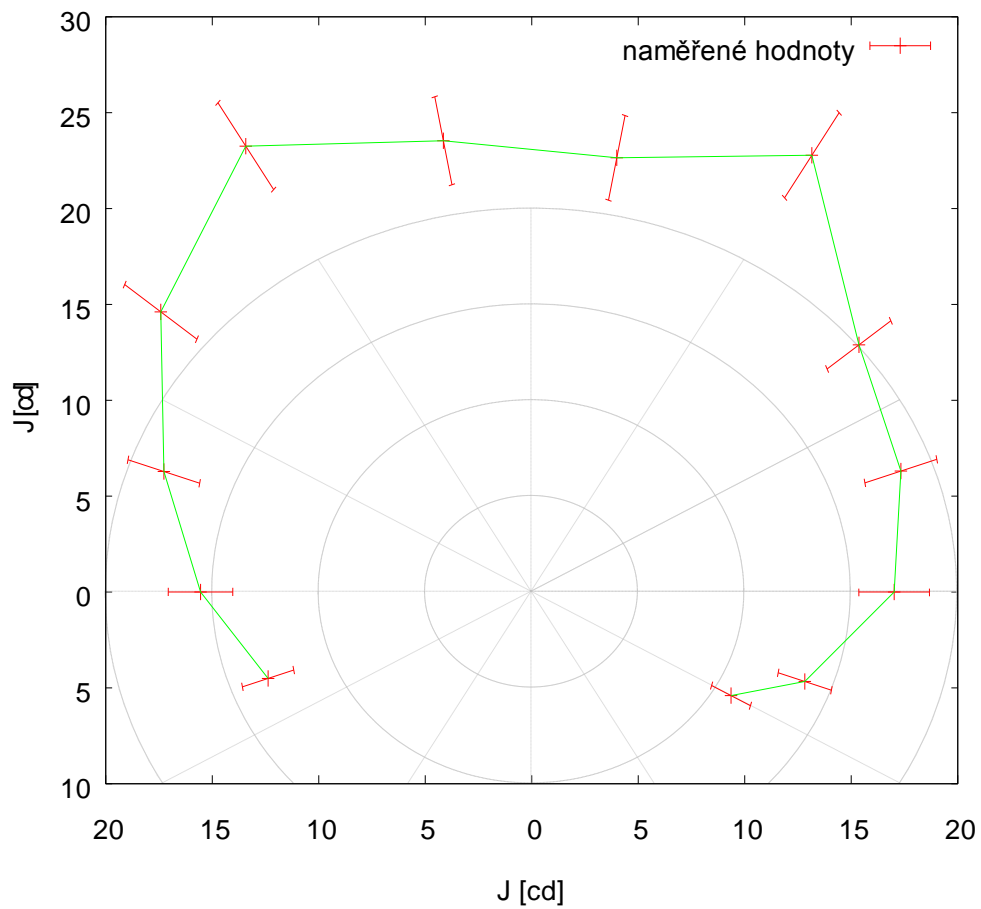


$$r_{m2} = (40 \pm 0,050) \text{ cm}$$

**Tabulka III – fotometrický diagram žárovky ve vertikální rovině**

$\vartheta$ [°]	$r_{n1}$ [cm]	$r_{n2}$ [cm]	$r_n$ [cm]	J [cd]	$\sigma_j$ [cd]
-30	38,1	38,2	38,2	10,80	1,05
-20	34,5	33,4	34,0	13,64	1,33
0	30,1	30,7	30,4	17,02	1,66
20	29,0	29,4	29,2	18,44	1,80
40	28,1	27,9	28,0	20,06	1,95
60	24,2	24,7	24,5	26,30	2,56
80	26,4	25,9	26,2	23,00	2,24
100	25,6	25,7	25,7	23,90	2,33
120	24,5	23,9	24,2	26,85	2,62
140	26,0	26,6	26,3	22,73	2,21
160	29,3	29,2	29,3	18,38	1,79
180	32,2	31,4	31,8	15,55	1,51
200	34,4	34,7	34,6	13,17	1,28

**Graf III - Fotometrický diagram žárovky ve vertikální rovině**

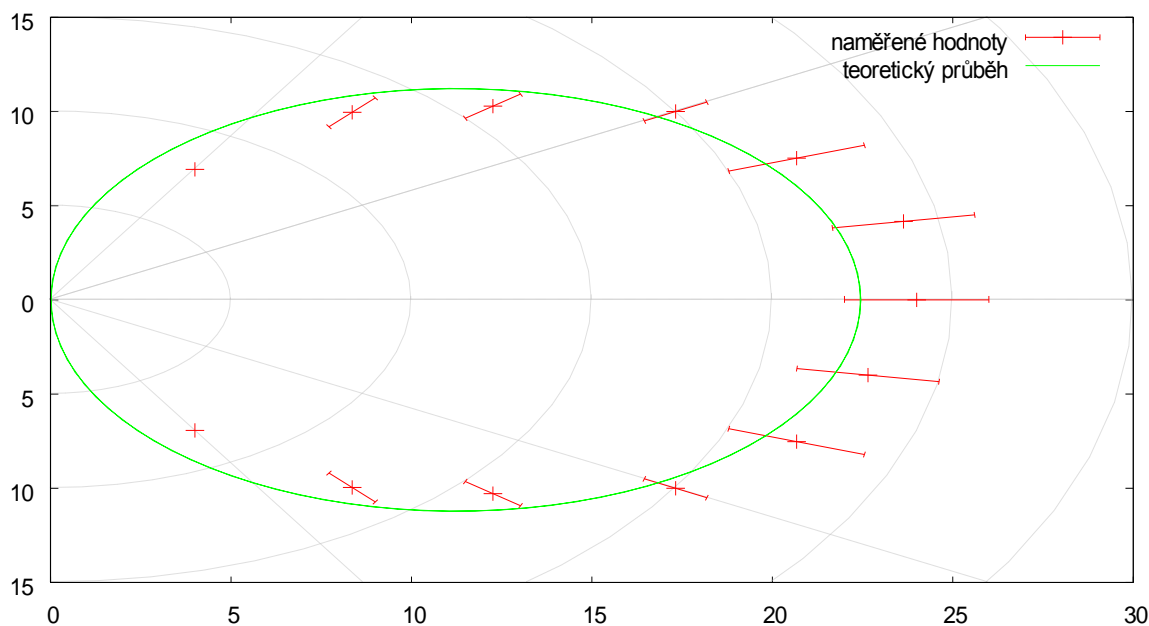


$$r_{m3} = (20 \pm 0,050) \text{ cm}$$

**Tabulka IV – fotometrický diagram plošného zářiče**

$\vartheta$ [°]	$r_{n1}$ [cm]	$r_{n2}$ [cm]	$r_n$ [cm]	$J$ [cd]	$\sigma_j$ [cd]
-60	42,6	41,9	42,3	8,81	0,87
-50	33,9	34,0	34,0	13,64	1,35
-40	30,6	30,7	30,7	16,74	1,65
-30	28,0	28,0	28,0	20,06	1,98
-20	26,7	26,4	26,6	22,31	2,20
-10	25,9	25,4	25,7	23,90	2,36
0	25,1	25,3	25,2	24,76	2,44
10	25,2	25,6	25,4	24,37	2,40
20	26,7	26,3	26,5	22,39	2,21
30	27,8	27,9	27,9	20,27	2,00
40	30,6	30,6	30,6	16,79	1,66
50	33,7	33,9	33,8	13,76	1,36
60	42,7	41,3	42,0	8,91	0,88

Graf IV - Fotometrický diagram plošného zářiče



Naměřené hodnoty jsem fitovala závislostí (4). Konstanta nezávislá na směru má hodnotu:

$$J_0 = (22,5 \pm 0,6) \text{ cd}$$

Tuto hodnotu jsem použila do vztahu (6) pro výpočet jasu plošného zdroje.

Naměřila jsem průměr kruhové plochy zdroje:  $d = (2,845 \pm 0,004) \text{ cm}$

$$B = (3,5 \pm 0,1) \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$$

#### Diskuze

Při kalibraci normálového zdroje jsem naměřila osvětlení fotodiody pro 12 různých vzdáleností. Musela jsem ze zpracování lineární regrese vymout hodnotu naměřenou pro vzdálenost  $r=10 \text{ cm}$ , protože hodně vybočovala z očekávané lineární závislosti. Jak je vidět na Grafu I, chyba jednoho měření je zvolena malá a v rámci chyby se s proložením neshoduje. Chyba fitu je pouze  $\eta=2,5\%$ .

Fotometrické diagramy jsou zaneseny v Grafech II – IV. Diagramy se shodují s očekávaným teoretickým průběhem. Chyba jednoho měření byla trochu eliminována proměřením dvou

hodnot pro každý úhel natočení žárovky či plošného zdroje. U plošného zářiče jsem proložila naměřený diagram vztahem (4) jak je vidět v Grafu IV. Podle mého měření se platnost Lambertova zákona potvrdila. Odchylka naměřených veličin od této závislosti je  $\eta=2,5\%$ . Chyba určení jasů plošného zářiče je  $\eta=3\%$ .

#### *Závěr*

V tomto praktiku jsme se seznámili s metodami měření základních fotometrických veličin. Změřili jsme svítivost normálové žárovky:  $J_n = (6,29 \pm 0,16) \text{ cd}$   
Proměřili jsme fotometrické diagramy žárovky v horizontální a vertikální rovině. Jsou vyneseny v Grafech II a III. Fotometrický diagram plošného zdroje je zanesen v Grafu IV. Určili jsme jas plošného zářiče  $B = (3,5 \pm 0,1) \text{ cd.m}^{-2}$

#### *Použitá literatura*

[1] I. Pelant a kolektiv – Fyzikální praktikum III, Optika; matfyzpress; 2005