

Oddělení fyzikálních praktik při Kabinetu výuky obecné fyziky MFF UK

PRAKTIKUM III

Úloha č. IV

Název: **Měření fotometrického diagramu. Fotometrické veličiny a jejich jednotky**

Pracoval: **Jan Polásek**

stud. skup. **11**

dne **9.4.2009**

Odevzdal dne:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 – 5	
Teoretická část	0 – 1	
Výsledky měření	0 – 8	
Diskuse výsledků	0 – 4	
Závěr	0 – 1	
Seznam použité literatury	0 – 1	
Celkem	max. 20	

Posuzoval: dne

1 Pracovní úkol

1. Pomocí fotometrického luxmetru okulibrujte normální žárovku (stanovte její svítivost). Pro určení svítivosti normální žárovky (a její chyby) vynesete do grafu závislost osvětlení na převrácené hodnotě kvadrátu vzdálenosti luxmetru od žárovky a provedte 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.

2 Teoretická část

Fotometrie definuje a studuje veličiny charakterizující působení světelného záření na lidské oko.

Svítivost charakterizuje především bodový zdroj světla, tj. zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné vůči vzdálenosti, z níž zdroj studujeme. Je to základní fotometrická veličina v soustavě SI. Svítivost vyjadřuje schopnost bodového zdroje vyvolat v daném bodě zrakový vjem. Její jednotkou je kandela (cd).

Světelný tok Φ vysílaný bodovým zdrojem o svítivosti J do prostorového úhlu $d\Omega$ v daném směru je definován vztahem

$$d\Phi = Jd\Omega \quad (1)$$

Jednotkou světelného toku je lumen (lm).

Jas se zavádí pro plošné (nikoli bodové) světelné zdroje. Jestliže vezmeme na povrchu zdroje malou plošku S a představíme si z ní vystupující paprsek pod úhlem θ k normále, pak jasem zdroje v daném směru B_θ nazýváme světelný tok $d\phi$ vystupující z plošky S v tomto směru, vztažený na jednotkový prostorový úhel a na jednotkovou velikost plošky ($S \cos \theta$) viditelnou z daného směru:

$$B_\theta = \frac{d\phi}{S \cos \theta d\Omega} = \frac{J_\theta}{S \cos \theta} \quad (2)$$

kde J_θ je svítivost plošky S do vybraného směru.

U mnoha plošných zdrojů lze jejich svítivost popsat závislostí

$$J_\theta = J_0 \cos \theta \quad (3)$$

Takový zdroj se nazývá kosinový zářič a vztah (3) se nazývá Lambertův zákon.

Osvětlením E dané plochy se rozumí poměr světelného toku ϕ dopadajícího rovnoměrně na ozařovanou plochu a velikosti této plochy S :

$$E = \frac{d\phi}{dS} \quad (4)$$

Pokud je zdroj bodový o svítivosti J a a paprsky dopadají pod úhlem θ k normále osvětlované plochy, platí pro osvětlení

$$E = \frac{J}{r^2} \cos \theta \quad (5)$$

kde r je vzdálenost zdroje od plochy.

Fotometrickým diagramem rozumíme svítivost vynesenu pro různé směry od zdroje.

3 Výsledky měření

Během měření byly přístroje umístěny na liště, na které byla vyznačena vzdálenost po milimetrových dílcích.

Pro kalibraci referenčního světelného zdroje byl vždy v příslušné vzdálenosti r od něj umístěn luxmetr. Chybu určení r Měření osvětlení probíhalo na rozsazích 0 - 1000 lx a 0 - 200 lx. Výsledky tohoto měření jsou zaneseny do tabulky 1. V grafu 1 je znázorněna závislost osvětlení luxmetru na převrácené hodnotě čtverce vzdálenosti od zdroje. Lineární regresi provedenou na těchto hodnotách se dá zjistit hodnota svítivosti zdroje

$$J_z = (7,8 \pm 0,2) \text{ cd}$$

Fotometrický diagram byl měřen pomocí Lummerova - Brodhunova fotometru (schéma viz. [2], str. 163, obr. 3.1 - 1). Měřený zdroj byl vždy umístěn do pevné vzdálenosti r_m od přístroje a posuvem referenčního

zdroje o svítivosti J_z bylo dosaženo stejného osvětlení od obou zdrojů. Z takto získané vzdálenosti referenčního zdroje r_r je poté podle (5) určit svítivost měřeného zdroje jako

$$J_m = J_r \frac{r_m^2}{r_r^2}$$

Fotometr bylo možno převrátit, aby bylo možno zachytit jeho případnou nesymetrii. Zaznamenaná hodnota r_r je průměrem hodnot naměřených při obou polohách. Chybu určení vzdálenosti r_r odhaduji na $\pm 0,5$ cm.

Výsledky měření fotometrického diagramu 12V žárovky v horizontální rovině jsou zaneseny v tabulce 2. Žárovka byla umístěna ve vzdálenosti $r_m = 40$ cm. Výsledný fotometrický diagram je znázorněn v grafu 2.

Výsledky měření fotometrického diagramu 8V žárovky ve vertikální rovině jsou zaneseny v tabulce 3. Žárovka byla opět umístěna ve vzdálenosti $r_m = 40$ cm. Vzhledem k mechanickým možnostem držáku žárovky byla změřena závislost pouze v rozsahu 160° . Výsledný fotometrický diagram je znázorněn v grafu 3.

Plošným zdrojem byl kruh o průměru $d = (29 \pm 1)$ mm. Jeho vzdálenost od fotometru byla fixována na $r_m = 23$ cm. Výsledky tohoto měření jsou zaneseny do tabulky 4. Hodnota jasu B je vypočítána podle (2). Průměrná hodnota jasu plošného zdroje je

$$B = (3,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-3} \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \quad \eta = 11\%$$

V grafu 4 je znázorněn fotometrický diagram tohoto zdroje společně s teoretickými hodnotami pro ideální kosinový zářič se stejnou svítivostí v poloze $\theta = 0^\circ$ vypočítanými podle (3).

4 Diskuse

Jak je vidět z grafu 1, měření luxmetrem nebylo příliš přesné. Pro každý z rozsahů má naměřená závislost jiný sklon, což muselo být způsobeno chybou v luxmetru. Proložená závislost neprochází nulou (a to ani pokud proložíme jen hodnoty z libovolného z rozsahů přístroje). To může být způsobeno jednak tím, že vzdálenost změřená pomocí polohy úchytnů na liště nebyla skutečnou vzdáleností mezi přístrojem a zářičem, a jednak nechtěným světlem pronikajícím do kóje díky nedokonalému odstínění okolního světa.

Největší chyby při měření Lummerova - Brodhunovým fotometrem vznikají díky subjektivnímu určení bodu, kdy jsou obě plochy stejně osvětlené. Částečně je to zřejmě způsobeno rozdílným spektrem porovnávaných zdrojů.

Zaškrčený tvar v grafu 2 odpovídá očekávání. Místa s minimálním jasem odpovídají natočení žárovky, při kterém bylo její vlákno rovnoběžné s rovinou měření. Diagram je, také podle očekávání, symetrický.

Symetrický by měl být rovněž graf 3, pokud by bylo možno naměřit závislost pro celý rozsah $0^\circ - 360^\circ$.

Graf 4 ukazuje, že zdroj patrně není dobré nazývat kosinovým zářičem. Hodnoty se v rámci chyby neshodují s teoretickými hodnotami pro kosinový zářič a Lambertův zákon není dobře splněn. Také jas ukazuje, že to není kosinový zářič, neboť vykazuje směrovou závislost, která by u kosinového zářiče být neměla. To vše bude zřejmě způsobeno nedokonalým převedením světla žárovky na plochu.

5 Závěr

- Určil jsem svítivost normální žárovky

$$J_z = (7,8 \pm 0,2) \text{cd}$$

Závislost osvětlení na převrácené hodnotě kvadrátu vzdálenosti luxmetru od žárovky je vyznačena v grafu 1.

- Proměřil jsem fotometrický diagramy 12V žárovky v horizontální rovině a 8V žárovky ve vertikální rovině. Výsledky jsou zaneseny v tabulkách 2 a 3 graficky znázorněny v grafech 2 a 3.
- Proměřil jsem směrovou závislost svítivosti plošného zdroje světla a zjistil neplatnost Lambertova zákona pro tento zdroj. Výsledky jsou zaneseny v tabulce 4 a graficky znázorněny v grafu 4.

6 Literatura

- [1] <http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>, studijní text a pokyny k měření k úloze 17
- [2] I. Pelant a kolektiv, Fyzikální praktikum III. optika, MATFYZPRESS 2005
- [3] J. Englich, Zpracování výsledků fyzikálních měření, web, Praha, 2000

Tabulka 1: závislost osvětlení na převrácené hodnotě kvadrátu vzdálenosti luxmetru

r [cm]	E [lx]	r [cm]	E [lx]
10	820 ± 4	28	70 ± 2
12	560 ± 4	30	55 ± 2
14	400 ± 4	35	40 ± 2
16	280 ± 4	40	30 ± 2
18	200 ± 2	45	20 ± 2
20	155 ± 2	50	15 ± 2
22	125 ± 2	60	10 ± 2
24	100 ± 2	67	5 ± 2
26	85 ± 2		

Tabulka 2: Horizontální fotometrický diagram 12V žárovky

θ [°]	r [cm]	J [cd]	θ [°]	r [cm]	J [cd]
0	21,9	26 ± 2	180	21,9	26 ± 2
10	22,2	25 ± 2	200	22,3	25 ± 1
20	22,0	26 ± 2	220	22,4	25 ± 1
30	22,3	25 ± 1	240	22,8	24 ± 1
40	22,3	25 ± 1	260	27,5	16 ± 1
50	22,7	24 ± 1	270	23,6	22 ± 1
60	22,4	25 ± 1	280	22,5	24 ± 1
70	23,9	22 ± 1	290	22,4	25 ± 1
80	28,0	16 ± 1	300	22,2	25 ± 2
90	25,0	20 ± 1	310	22,0	26 ± 2
100	23,3	23 ± 1	320	22,2	25 ± 2
120	22,2	25 ± 2	330	21,8	26 ± 2
140	22,1	25 ± 2	340	21,5	27 ± 2
160	21,8	26 ± 2	350	21,7	26 ± 2

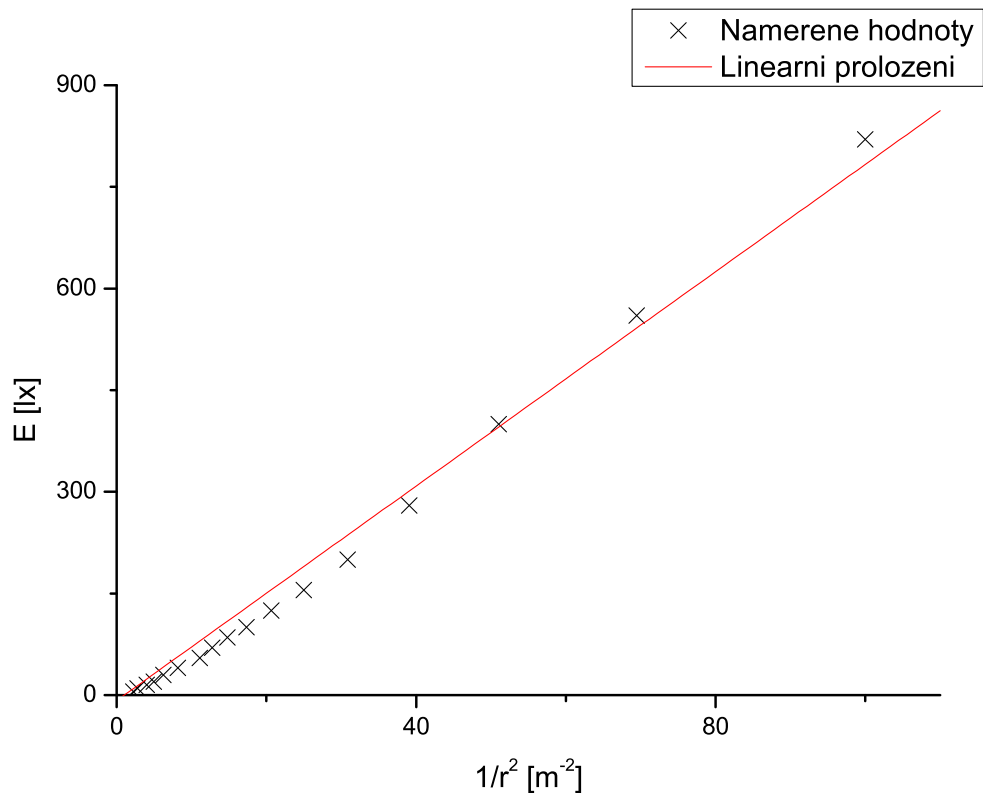
Tabulka 3: Vertikální fotometrický diagram 8V žárovky

θ [°]	r [cm]	J [cd]	θ [°]	r [cm]	J [cd]
0	24,2	21 ± 1	90	21,5	27 ± 2
10	23,4	23 ± 1	100	21,7	26 ± 2
20	23,1	23 ± 1	110	21,6	27 ± 2
30	23,0	23 ± 1	120	21,7	26 ± 2
40	22,2	25 ± 2	130	22,7	24 ± 1
50	21,9	26 ± 2	140	22,8	24 ± 1
60	21,9	26 ± 2	150	23,3	23 ± 1
70	22,0	26 ± 2	160	24,0	22 ± 1
80	21,9	26 ± 2			

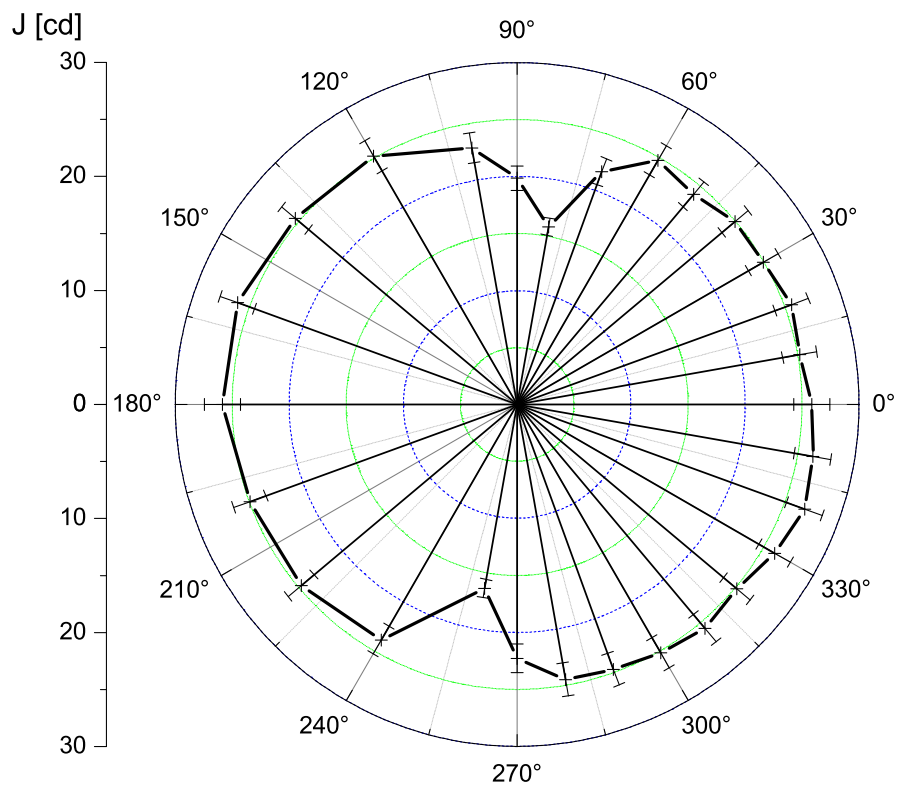
Tabulka 4: Směrová závislost svítivosti a jas plošného zdroje

θ [°]	r [cm]	J [cd]	B $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	θ [°]	r [cm]	J [cd]	B $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$
60	64,4	$1,0 \pm 0,1$	3000 ± 200	-10	38,0	$2,8 \pm 0,3$	4300 ± 500
50	54,8	$1,4 \pm 0,1$	3200 ± 200	-20	40,4	$2,5 \pm 0,3$	4000 ± 400
40	48,6	$1,7 \pm 0,1$	3400 ± 300	-30	43,1	$2,2 \pm 0,2$	3900 ± 400
30	44,0	$2,1 \pm 0,2$	3700 ± 300	-40	46,5	$1,9 \pm 0,2$	3700 ± 300
20	41,2	$2,4 \pm 0,2$	3900 ± 400	-50	52,4	$1,5 \pm 0,1$	3500 ± 300
10	39,7	$2,6 \pm 0,3$	4000 ± 400	-60	62,6	$1,0 \pm 0,1$	3200 ± 200
0	38,5	$2,8 \pm 0,3$	4200 ± 400				

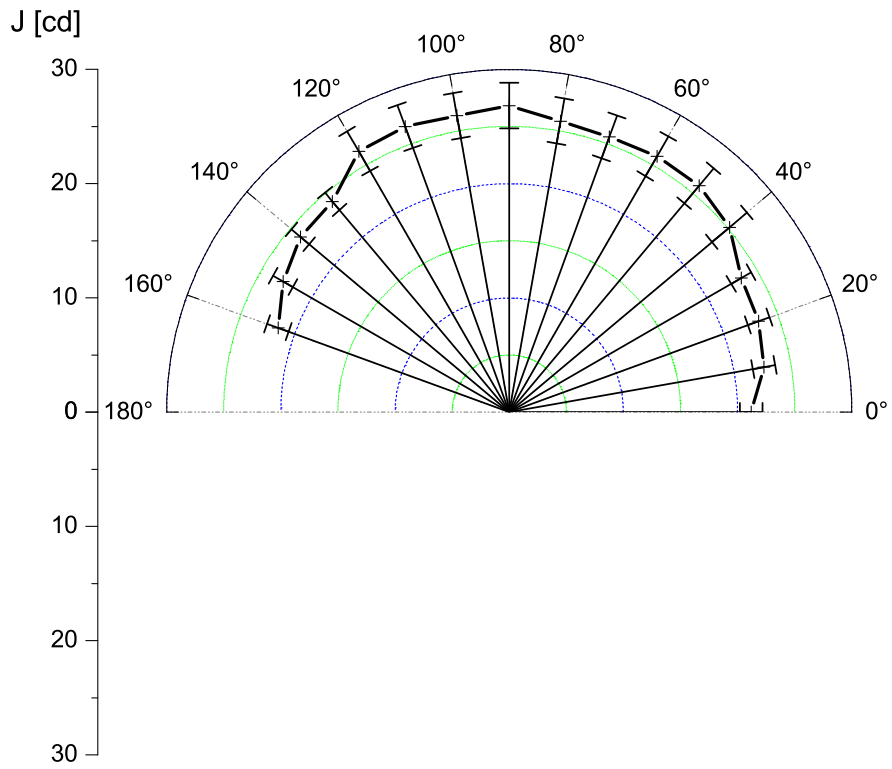
Graf 1: Závislost osvětlení na převrácené hodnotě kvadrátu vzdálenosti luxmetru



Graf 2: Horizontální fotometrický diagram 12V žárovky



Graf 3: Vertikální fotometrický diagram 8V žárovky



Graf 4: Směrová závislost svítivosti plošného zdroje

