

FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně

KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY

8. ročník — 2001/2002

Vzorové řešení první série úloh (25 bodů)

Je možné, že dosud neznáte některé pojmy a veličiny použité v této sérii. Podrobně jsou vyloženy v učebnici fyziky pro čtvrtý ročník gymnázií. Nahlédnout můžete také do některého z přehledů fyziky, v lecčem pomohou i fyzikální tabulky.

Vzorové řešení úlohy č. 1 (6 bodů)

Kolik barev má světlo?

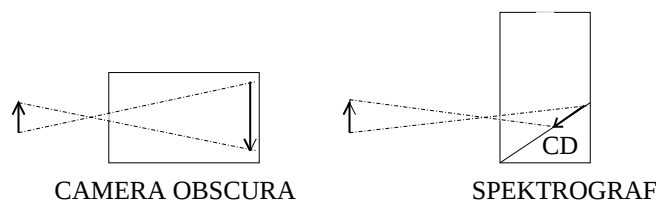
- Spektra denního světla, žárovky a svíčky jsou spojitá, obsahují všechny barvy od červené po fialovou (mluvíme pouze o viditelné části spektra).

Zářivka je výbojová trubice, jejíž stěny jsou pokryty luminoforem. Výbojem v trubici vzniká záření, které má z velké části krátkou vlnovou délku. To dopadá na luminofor, který pak vyzařuje ve viditelné oblasti (snaha je, aby se vzniklé záření co nejvíc podobalo dennímu světlu). Spektrum zářivky tedy závisí na použitém luminoforu, obvykle je spojitě ¹.

Obraz na monitoru nebo obrazovce se skládá z velkého počtu bodů různé barvy a jasů. Při bližším pohledu uvidíte, že každý takovýto bod je tvořen třemi částmi - červenou, modrou a zelenou. Barevný odstín, který vidíme z obvyklé vzdálenosti, vzniká složením těchto tří základních barev o různé intenzitě. Proto vidíme ve spektru tmavé pruhy (chybějící barvy).

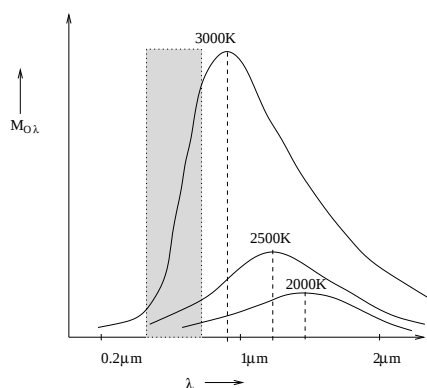
¹Rozdílná intenzita jednotlivých barev souvisí s četností odpovídajících přechodů elektronů v molekulách luminoforu.

- „Spektrograf“ funguje současně jako camera obscura (obr. 1). Ve spektru na disku tak uvidíme přímý obraz okna (rám, žaluzie, vzorek a záhyby na zácloně), případně i části ulice za oknem.



obr. 1

- Vláknó žárovky můžeme považovat za černé těleso. Závislost spektrální intenzity vyzařování černého tělesa na jeho teplotě je dána Planckovým vyzařovacím zákonem (obr. 2). Z obrázku je vidět, že čím je teplota černého tělesa vyšší, tím více těleso vyzařuje. Současně se maximum vyzařované intenzity posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám.



obr. 2

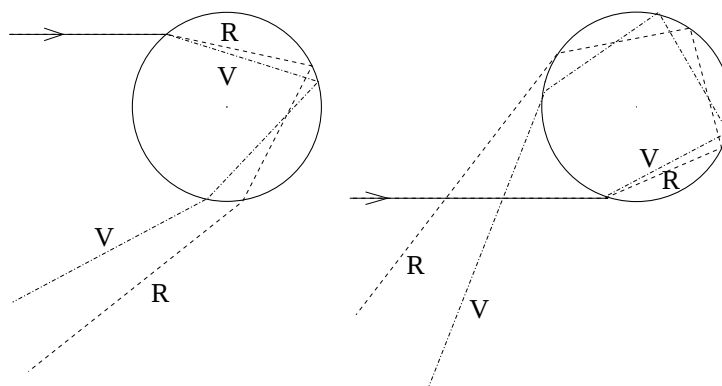
$M_{0\lambda}$ označuje spektrální intenzitu vyzařování černého tělesa (vyznačena je oblast viditelného světla)

Snižováním proudu ve vláknó žárovky snižujeme i teplotu vlákna, maximum intenzity ve spektru se tedy posouvá k delším vlnovým délkám (ubývá modré barvy a zvyšuje se podíl červené). Tento experiment není při pozorování pouhým okem příliš přesvědčivý, u slabého zdroje jste si barevného posunu nemuseli vůbec všimnout. Lépe by bylo spektrum vyfotografovat (stejná citlivost filmu).

- Chcete-li pozorovat rozklad slunečního světla, stačí, když přimhouříte oči (řasy tvoří difrakční mřížku), podobně jej uvidíte třeba na vlasech, zvířecí srsti, stéblech trávy, ptačím perí...

Nejpopulárnějším příkladem rozkladu světla je nepochybně duha, jev pozorovatelný na obloze, když sluneční světlo dopadá na kapky deště. Rozklad světla

nastává díky disperzi (index lomu světla závisí na vlnové délce). Při průchodu optickým rozhraním se tak jednotlivé spektrální složky záření lámou různě. Na obrázku 3 je zakreslen průchod slunečních paprsků kapkou vody (V označuje fialovou a R červenou část spektra). Paprsek se v kapce může odrážet, při každém takovém odrazu ale současně část světla rozhraním projde - čím více odrazů, tím je paprsek slabší. Jedním odrazem v kapce vzniká primární, nejintenzivnější oblouk duhy, slabší sekundární oblouk (s obráceným pořadím barev) vzniká dvěma odrazy. Další oblouky již nejsou tak zřetelné. Je zřejmé, že každý vidíme svou vlastní duhu a snaha najít kouzelné údolí, kde duha začíná, je předem odsouzena k nezdaru.



obr. 3

Mnozí jste jako další příklad rozkladu světla uváděli olejovou skvrnu na vodě nebo mýdlové bubliny. Jedná se ale o poněkud odlišný jev - „duha“ tu vzniká interferencí světla na tenké vrstvě (olej, mýdlová blanka).

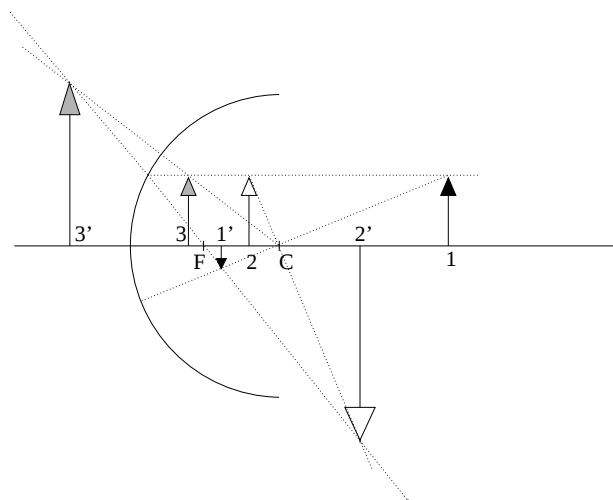
Vzorové řešení úlohy č. 2 (4 body)

Příliš rychlý obraz?

Úkolem bylo zkoumat obraz kyvadla a jeho pohyb. Konstrukcí obrazu kyvadla v každém časovém okamžiku dostaneme jeho trajektorii. Nejprve se tedy podívejme na vlastnosti zobrazování v dutém zrcadle, kterým můžeme použitou naběračku aproximovat.

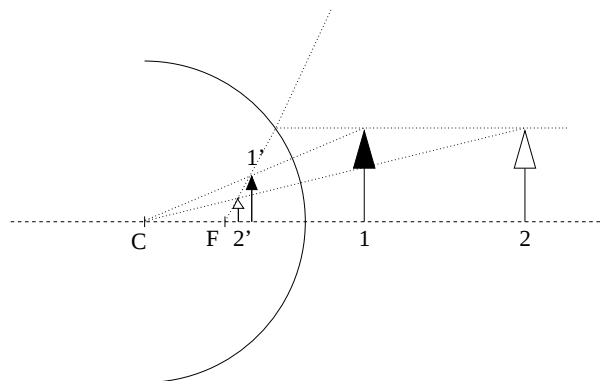
Vlastnosti obrazu v závislosti na poloze vzoru spolu s chodem paprsků² ukazuje obrázek 4. Je-li oběhová rovina kyvadla nad středem křivosti zrcadla C , je obraz zmenšený, reálný a převrácený. V porovnání s polohou kyvadla můžeme potom říci, že se obraz předbíhá (opožďuje) o půl periody před kyvadlem.

²Takto se ovšem chovají pouze paraxiální paprsky (tj. ty, které procházejí blízko optické osy zrcadla). Mimo paraxiální oblast se již uplatňuje tzv. kulová vada zrcadla a obraz se deformuje.



obr. 4

Budeme-li oběhovou rovinu kyvadla přibližovat k zrcadlu, bude se obraz zvětšovat. V okamžiku, kdy střed křivosti bude ležet v oběhové rovině, bude absolutní hodnota zvětšení rovna jedné, při dalším přibližování bude dále růst. Když se kyvadlo dostane před ohnisko zrcadla F , bude obraz nереálný, přímý a zvětšený (díky této vlastnosti dutých zrcadel přicházejí mnozí mužové a ženy do společnosti dokonale upraveni - v kosmetickém zrcadle nepřehlédnou sebemenší maličkost).



obr. 5

Úloha přímo vybízela k experimentování. Je možné kyvadlo rozkývat různě vzhledem k poloze naběračky: nejjednodušší případ je ten, kdy se osa rotace kyvadla shoduje s optickou osou zrcadla (střed křivosti zrcadla leží na ose rotace). Obraz má potom konstantní velikost, „pouze“ obíhá kolem této osy. Zajímavější případ nastane, pokud budou osy navzájem různé. Tehdy je možné pozorovat i změnu velikosti obrazu.

Obrátíme-li naběračku, budeme řešit obdobný problém. Nyní ovšem naběračku aproximujeme vypuklým zrcadlem. Vlastnosti obrazu v daný časový okamžik opět určuje poloha vzoru a vlastnosti zobrazení - vypuklé zrcadlo vytváří vždy přímý, nереálný a zmenšený obraz (obr. 5). Proto se obraz kyvadla nepředbíhá (chová se slušně :-). Vypuklé zrcadlo se s výhodou používá v dopravě – zobrazí vzpřímeně velkou část prostoru.

Vzorové řešení úlohy č. 3 (8 bodů)

Mizející tužka

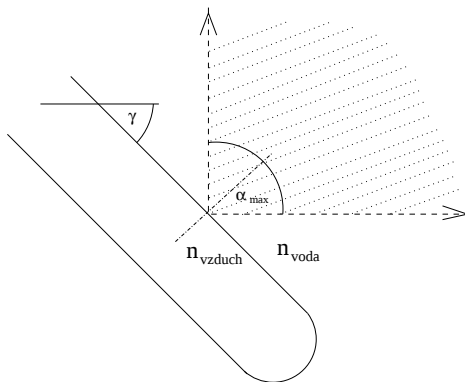
To, že tužku při určitém náklonu zkumavky neuvidíme, znamená, že do našeho oka nedopadlo žádné světlo odražené z tužky. Tato myšlenka bude určovat náš další postup. Pro jednoduchost předpokládejme, že stěny zkumavky jsou velmi tenké. Světlo, které se od tužky odrazilo, prochází z prostředí s menším indexem lomu (vzduch) do prostředí s větším indexem lomu (voda). Chování paprsků světla na rozhraní dvou prostředí popisuje Snellův zákon rovnicí

$$n_{vzduch} \cdot \sin(\alpha_{vzduch}) = n_{voda} \cdot \sin(\alpha_{voda}).$$

Paprsek procházející ze vzduchu do vody se bude lámat ke kolmici. V tabulkách najdeme $n_{vzduch} = 1$, $n_{voda} = 1.33$.

$$\sin(\alpha_{voda}) = \frac{1}{1.33} \sin(\alpha_{vzduch})$$

Když tuto rovnici blíže prozkoumáme, zjistíme, že α_{voda} nemůže být nikdy větší než $\alpha_{max} = 48.8^\circ$. To znamená, že paprsky ze zkumavky vycházejí nejvýše pod tímto úhlem (měřeným od kolmice). Záleží již jen na poloze naše ho oka, zdali tužku uvidíme. Máme-li oči ve stejné výšce jako zkumavka, bude v okamžiku zmizení tužky hledaný úhel $\gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha_{max} = 90^\circ - 48.8^\circ = 41.2^\circ$.



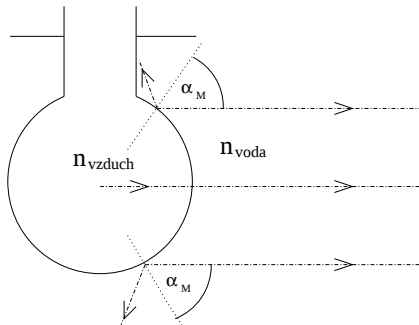
obr. 6

Paprsky se ze zkumavky mohou dostat pouze do vyšrafované části prostoru.

Ti z vás, kteří experiment provedli, viděli zvláštní jev. Je-li zkumavka v poloze, kdy tužka není vidět, vypadají její stěny jako potažené rtutí (stříbřitě se lesknou). To je způsobeno tím, že se do našeho oka od zkumavky odráží světlo ze všech možných směrů. Někteří z vás dokonce pozorovali na zkumavce odrazy předmětů nad hladinou. Tento jev se nazývá totální odraz.

Vícenásobným použitím Snellova zákona lze ukázat, že ani tlustá stěna zkumavky neovlivní výsledek.

Pokud jde o kulovou baňku, při libovolném náklonu vždy uvidíme pouze prostřední část tužky.



obr. 7

Vzorové řešení úlohy č. 4 (7 bodů)

Bunsenův fotometr

Nejdřív trocha teorie. Osvětlení E je fotometrická veličina, která je definovaná jako poměr světelného toku $\Delta\Phi$ a plochy ΔS , na kterou záření dopadá. Jednotkou odvětlení je lux.

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

Světelný zdroj charakterizuje jeho svítivost I (jednotkou je kandela) - světelný tok vyslaný zdrojem do jednotkového prostorového úhlu $\Delta\Omega$.

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}$$

A nyní k pokusu samotnému. V místě, kdy skvrna zmizí, je osvětlení stínítka z obou stran stejné (olej karton zprůhlední, což umožňuje průběžné srovnávání osvětlení stínítka od obou zdrojů). Budeme předpokládat, že svítivost svíček je stejná (použili jsme stejné svíčky). Svítivost jedné svíčky označme I_0 . Když nahradíme malou plochu stínítka příslušnou částí kulové plochy (pro srovnání osvětlení nám opravdu stačí malá ploška na stínítku) a použijeme vztah pro osvětlení, dostaneme:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} = \frac{I\Delta\Omega}{\Delta S} = \frac{I\Delta\Omega}{L^2\Delta\Omega} = \frac{I}{L^2},$$

kde L je vzdálenost stínítka od zdroje.

Pro bod, ve kterém je osvětlení obou stran stínítka stejné (nevidíme skvrnu), tedy musí platit:

$$\frac{I_A}{L_A^2} = \frac{I_B}{L_B^2}$$

Svítivost v obou bodech určíme jako součet svítivostí všech svíček v daném bodě, takže

$$\frac{I_0}{L_A^2} = \frac{nI_0}{L_B^2}.$$

Osvětlení stínítka je tedy přímo úměrné svítivosti zdroje a nepřímo úměrné druhé mocnině vzdálenosti od zdroje.

Podívejme se teď na tabulku naměřených hodnot (vzdálenost mezi body A, B byla 1 metr, zjištěné vzdálenosti L_A, L_B jsou aritmetickým průměrem z pěti měření):

n	1	2	3	4	5	6
L_A [m]	0.508	0.389	0.346	0.319	0.280	0.257
L_B [m]	0.492	0.611	0.654	0.681	0.720	0.743

Zvyšováním počtu svíček v bodě B se hledaná poloha stínítka posunuje blíž k bodu A . Odtud je zřejmé, že osvětlení je úměrné svítivosti zdroje a klesá se vzdáleností:

$$E = \frac{I}{f(L)}, \quad E_A = E_B \Rightarrow \frac{I_0}{f(L_A)} = \frac{nI_0}{f(L_B)} \Rightarrow n = \frac{f(L_B)}{f(L_A)},$$

kde $f(L)$ je rostoucí funkce.

Zvolme konkrétní tvar $f(L)$ a dosadíme do předchozího vztahu:

n	1	2	3	4	5	6
$\frac{f(L_B)}{f(L_A)} \quad f(L) = L$	0.968	1.570	1.890	2.135	2.571	2.891
$\frac{f(L_B)}{f(L_A)} \quad f(L) = L^2$	0.938	2.468	3.572	4.557	6.612	8.358

Kvadratická závislost vyhovuje rovnici lépe, i když by se mohlo zdát, že odchylky jsou přeci jen příliš velké. Je třeba si uvědomit, že jsme se dopustili řady zjednodušení. Tak například svítivosti svíček nejsou úplně stejné a mění se s časem, svíčky nejsou v jednom bodě... V rámci výše uvedeného jsou výsledky experimentu uspokojivé.

Vzorové řešení úlohy č. 5 - prémiové

Ohnisková vzdálenost tenké rozptylky

Předmět nejdříve zobrazíme spojnou čočkou, jejíž ohniskovou vzdálenost známe (obr. 8). Obraz je reálný, můžeme ho tedy zachytit na stínítku. Zobrazovací rovnice čočky je ³

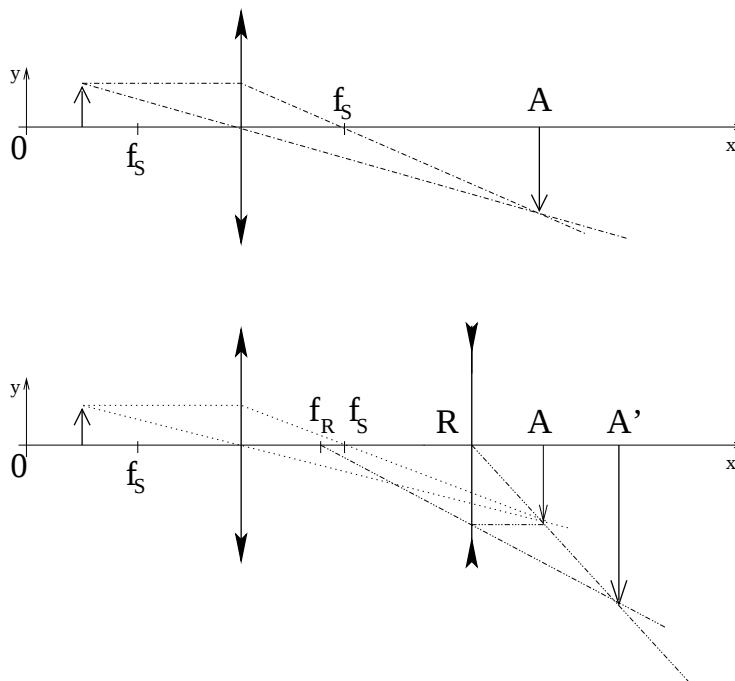
$$\frac{1}{a_s} + \frac{1}{a'_s} = \frac{1}{f_s},$$

kde a_s je předmětová a a'_s obrazová vzdálenost. Pak mezi spojkou a obraz vložíme rozptylku. Obraz vytvořený spojkou je vlastně předmětem pro rozptylku. Je-li optická mohutnost soustavy spojka - rozptylka kladná, bude i tentokrát obraz reálný. Zobrazovací rovnice pro rozptylku je

$$\frac{1}{a_r} + \frac{1}{a'_r} = \frac{1}{f_r}.$$

Ze známých poloh obou obrazů (A, A') a rozptylky (R) pak snadno spočítáme ohniskovou vzdálenost rozptylky:

$$a_r = R - A, \quad a'_r = A' - R$$
$$f_r = \frac{(R - A)(A' - R)}{(A' - R) + (R - A)} = \frac{(R - A)(A' - R)}{A' - A}.$$



obr. 8

³Je nutné dodržovat znaménkovou konvenci. Předmětová vzdálenost je kladná, pokud leží předmět vlevo od čočky, obrazová vzdálenost je kladná, pokud leží obraz vpravo od čočky. Ohnisková vzdálenost spojky je kladná, rozptylky záporná.