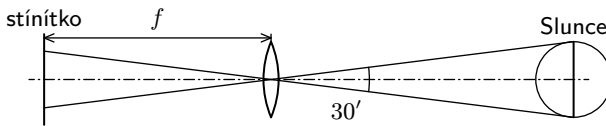


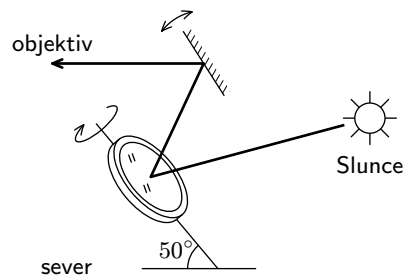
12. ročník, úloha II. S ... spektra, spektrografy a koutové odražeče (5 bodů; průměr ?; řešilo 52 studentů)

- Jak velký obraz Slunce se vytváří na štěrbině Ondřejovského spektrografu?
- Pokuste se přijít na důvod, proč se pro napájení spektrografu používají dvě zrcadla (coelostat), a nikoli jen jedno zrcadlo (heliostat).
- Jak dlouho čekali pozorovatelé na Zemi, než se jim vrátil signál vyslaný k Měsíci, který se na Měsíci odrazil od koutového odražeče?
- Dokažte, že tři na sebe navzájem kolmá zrcadla, použitá v koutovém odražeči, mají tu výhodnou vlastnost, že paprsek od nich odražený se šíří v přesně opačném směru, než přišel.
- Při noční jízdě automobilem pozorujeme na krajnici oranžové zářící předměty. Kde se bere energie na jejich „svícení“? Proč řidič nevidí ve zpětném zrcátku stejné svítící předměty?



Obr. 1

- Úhlový rozměr Slunce, jak jej vidíme ze Země, je přibližně $30'.$ ¹ Podívejme se tedy, jak objektiv s ohniskovou vzdáleností $f = 13,5\text{ m}$ zobrazí paprsky přicházející z okrajů slunečního kotouče. Na obrázku jsme si kvůli přehlednosti dovolili místo zrcadlového objektivu nakreslit čočkový, aby se nám nemíchal předmětový a obrazový poloprostor. Víme, že ostrý obraz vznikne v ohniskové rovině, neb Slunce je v porovnání s ohniskovou vzdáleností velmi daleko. Dále využijeme skutečnosti, že paprsky procházející středem čočky nejsou nijak ovlivněny. Z obrázku je patrné, že na stínítku vznikne obraz slunečního kotouče o průměru $d = 2 \operatorname{tg}(30'/2) \cdot f = 11,8\text{ cm}$. (Pro malé úhly α platí α v radiánech $= \sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$.)
- Důvod je docela jednoduchý — při pozorování Slunce je třeba, aby se jeho obraz na štěrbině spektrografu neotáčel s časem. S jedním zrcadlem však tuto podmínku nesplníme. (Celý spektrograf je velmi složité a velké zařízení (zabírá celou budovu) a proto potřebuje, aby do něj vstupoval obraz Slunce pořád ze stejného směru.)



Obr. 2

Coelostat na obrázku funguje následovně: první zrcadlo se během dne otáčí okolo osy, která je rovnoběžná se zemskou, opačným směrem než rotuje zeměkoule a poloviční úhlovou rychlostí. Vůči vodorovné rovině je tedy osa skloněná o úhel rovnající se zeměpisné šířce. Poloha druhého zrcadla se musí měnit během roku, neboť se mění tzv. deklinace Slunce. Prostě v létě cestuje Slunce po obloze vysoko a v zimě naopak nízko. Abychom světlo dostali do horizontálního dalekohledu musíme druhé zrcadlo vhodně natočit okolo vodorovné osy.

¹⁾ Toto je číslo dobré k zapamatování. Mimochodem, úhlový průměr Měsíce se mění od $29'$ do $33'$ a díky tomu můžeme vidět úplná nebo prstencová sluneční zatmění.

Proč při používání heliostatu dochází ke stáčení obrazu si osvětlíme na dvou příkladech. Představme si nejprve, že je rovnodennost a poledne. Slunce v tu dobu svítí nad jižním obzorem ve výšce 40° . A ještě předpokládejme, že na slunečním kotouči je nakreslena svislá úsečka, která nám bude indikovat otočení kotouče. Jediné zrcadlo heliostatu stačí natočit k jižnímu obzoru, sklonit o 20° vůči vodorovné rovině a poslat světlo do horizontálního dalekohledu jehož objektiv je otočen k severu. Ale o šest hodin později, když Slunce zapadá, bude situace jiná. Úsečka na kotouči *nebude* kolmá k obzoru, zrcadlo musí být postaveno svisle, protože Slunce je na obzoru a my vlastněme horizontální dalekohled. Je zřejmé, že na stínítku nemůžeme získat stejnou svislou úsečku jako v poledne.

Celostat nám však pomůže: po odrazu na prvním zrcadle bude úsečka ve stejné rovině jako jsou středy zrcadel a objektivu (proč tomu tak je nám pomůže pochopit představa roviny určené středy zrcadel a středem slunečního kotouče). Tu nepříjemnost, že paprsky po odrazu směřují vysoko do nebes a nikoli do dalekohledu, snadno napravíme druhým zrcadlem.

Doufáme, že jsme vás nezklamali tím, že jsme neuviedli žádné „matematické“ řešení, ale spíše návod, abyste přesvědčili sami sebe, že je to správné řešení. Pro jiné denní a roční doby je situace ještě trochu náročnější na prostorovou představivost, ale myslíme, že to přesto můžeme nechat na vás.

- c) Označme vzdálenost mezi pozorovatelem na Zemi a místem, kde je umístěn koutový odražeč jako d . Pak musel světelný signál procestovat dráhu $2d$ a při rychlosti jakou cestoval mu to trvalo $2d/c \doteq 2,6$ s, pokud vezmeme, že vzdálenost povrchů Z–M je 380 000 km (v tabulkách udávaná vzdálenost Z–M je vzdálenost středů). Provedeme-li měření opravdu přesně, lze určit vzdálenost mezi pozorovatelem a místem, kde je koutový odražeč umístěn, s přesností lepší než 1 cm.
- d) Mějme paprsek, který se šíří v prostoru směrem, který můžeme charakterizovat jednotkovým vektorem (x, y, z) . Nechť dopadne na zrcadlo, které je umístěno v rovině xy , tj. kolmé k ose z . Co se stane se směrovým vektorem paprsku? Změní se jeho složka ve směru osy z , směr šíření ve směru x a y se nezmění a složky vektoru zůstanou zachovány. Dostaneme paprsek se směrovým vektorem $(x, y, -z)$. Ve směrovém vektoru změni znaménko a složka, která je kolmá k rovině zrcadla.

Zavedme si v prostoru kartézský souřadný systém tak, že jednotlivá zrcátka v koutovém odražeči budou splývat s rovinami xy , yz a xz . Pokud se paprsek odrazí od všech třech zrcátek, změni se postupně všechny tři složky jeho směrového vektoru. Z původního vektoru (x, y, z) dostáváme vektor $(-x, -y, -z) = -(x, y, z)$, což je vektor přesně opačného směru než vektor, který do odražeče přišel.

- e) To, co vidíme v noci na okraji cest jsou odrazky na patnících kolem silnic. Vlevo jsou bílé a vpravo oranžové, aby řidič hned poznal, jestli má patník objet zprava (příkopem) nebo zleva (po silnici) v případě oranžové odrazky.

Odrážka je další aplikací koutového odražeče. Že je její barva jiná, než barva dopadajícího světla, je způsobeno tím, že před vlastní odraznou plochou je příslušně zbarvený průhledný materiál.

U okrajů vozovky tedy vidíme světlo, které pochází z našich vlastních reflektorů a odráží se v koutovém odražeči (=odrážka). Za automobilem nic vidět není, protože vzadu není dostatečně silný zdroj světla, které by se mohlo odrážet zpět (koncová světla nejsou směrová a mají menší výkon než čelní reflektory).

Některé „svítící“ dopravní značky a reklamy nejsou z koutových odražečů, ale z drobných skleněných kuliček. Posvítíme-li na kuličku, ne všechny paprsky se odrazí přesně zpět. Existují však některé paprsky, které se odrazí zpět, a ty pak vytváří dojem, že značka svítí.

Miroslav Brož & Jan Hradil