

## VLNOVÁ OPTIKA NETRADIČNE

Ivan Baník

Katedra fyziky, Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, Bratislava

**Abstrakt:** V článku sú opísané netradičné optické experimenty s CD platňou, ktorej záznamové pole reprezentuje pomerne kvalitnú odraznú optickú mriežku. Pokusy umožňujú zviditeľniť svetelné pole difragovaných lúčov. Opísané sú aj experimenty, pri ktorých sa okrem CD platne využíva aj dataprojektor. Tento prístroj môže mať vo výučbe fyziky aj špecifické možnosti uplatnenia. Je vhodný na optické demonštračné experimenty v rámci výučby vlnovej (ale aj geometrickej) optiky.

**Kľúčové slová:** vlnová optika, interferencia, experimenty, CD platňa, dataprojektor, vlnová dĺžka svetla.

### Úvod

Výučbu vlnovej optiky môžu vhodne spestriť netradičné optické experimenty, pri ktorých sa využíva CD platňa ako optická odrazná mriežka. Také experimenty, resp. aj merania si ľahko môže študent vykonať aj sám doma, čo nepochybne pôsobí motivačne. V školských podmienkach je výhodné použitie CD platne v spojení s dataprojektorom. Dataprojektor je moderný projekčný prístroj, ktorý sa čím ďalej tým viac uplatňuje nielen vo výučbe v školských podmienkach, ale aj v prezentačnej činnosti rôznych firiem a inštitúcií, pri príležitosti rôznych školení, seminárov i v reklamnej činnosti. V školských podmienkach sa v rámci výučby fyziky dajú uplatniť okrem jeho bežných projekčných možností a schopností aj jeho menej známe vlastnosti – jeho „talent“ pre živé optické experimenty a demonštrácie v rámci učiva z geometrickej i vlnovej optiky. Umožňuje to predovšetkým fakt, že dataprojektor je zdrojom intenzívneho svetelného žiarenia, ale aj to, že jeho žiarivý tok možno vhodne modifikovať prostredníctvom počítača. V článku uvedieme niekoľko konkrétnych možností uplatnenia dataprojektora vo výučbe optiky.

### 1. Jednoduché (domáce) pokusy a merania s CD platňou

#### Najjednoduchší spôsob merania vlnovej dĺžky svetla pomocou CD platne

Pri meraní vlnovej dĺžky svetla v domácich podmienkach umiestníme CD platňu na podlahu pod bodový zdroj svetla (Obr. 1a). Ním môže byť aj bežná sieťová žiarovka (bez lustra). Takmer celú CD platňu pri meraní zakryjeme (napríklad pohľadnicami, alebo iným, najlepšie tmavším papierom). Odkrytý je len menší obdĺžnik záznamového poľa platne. Dlhšia strana obdĺžnika má smer záznamových stôp na danom mieste.

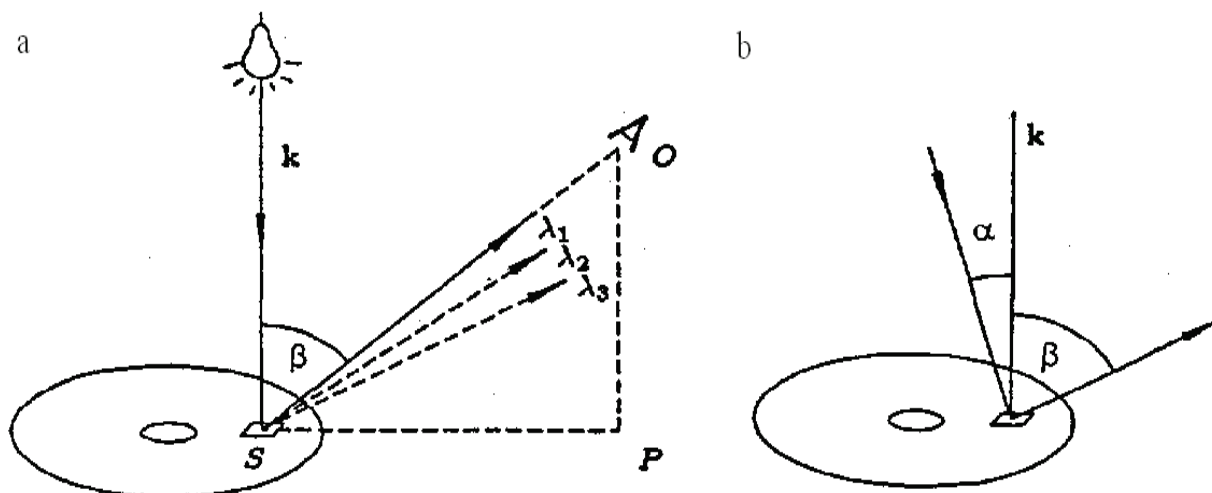
Svetlo dopadá na obdĺžnikovú plošku kolmo. Uhol dopadu je teda rovný nule ( $\alpha = 0$ ). Ak túto plošku pozorujeme pod meniacim sa uhlom  $\beta$  vzhľadom na kolmicu dopadu  $k$ , zistíme, že niekedy sa nám bude táto ploška javiť sfarbená. So zmenou uhla  $\beta$  sa jej sfarbenie pritom spojite mení. Tak je to pri žiarovke so spojitým spektrom.

Prvému maximu pre svetlo o vlnovej dĺžke  $\lambda$  zodpovedá uhol  $\beta$ , pre ktorý platí

$$\lambda = O_1O_2 \sin \beta_1$$

kde vzdialenosť  $O_1O_2$  predstavuje mriežkovú konštantu danej odraznej optickej mriežky (mriežky ( $O_1O_2 = 1,6$  mikrometra).

Ak chceme nájsť vlnovú dĺžku zodpovedajúcu zvolenej farbe (napr. červenej) obsaženej v spojitom spektre žiarovky, nájdeme taký uhol  $\beta$ , že pri pozorovaní z príslušného smeru sa nám osvetlená ploška CD platne javí práve tak, t.j. červeno sfarbená.



Obr. 1

Samotný uhol  $\beta$  (resp. rovno sinus tohto uhla) určíme v domácich podmienkach najlepšie z údajov o stranách pravouhlého trojuholníka  $SOP$ , kde  $S$  je stred osvetlenej plošky CD platne,  $O$  - oko pozorovateľa a  $P$  priemet bodu  $O$  na podlahu. Dĺžky strán uvedeného trojuholníka môžeme zmerať s dostatočnou presnosťou a zo zistených údajov - s použitím trigonometrickej funkcie - nájsť potom uhol  $\beta$ . Z tohto hľadiska je vhodné vykonať meranie v blízkosti zvislej steny, na ktorej môžeme vyznačiť polohy bodov  $O$ ,  $P$ ,  $S$  a príslušné vzdialenosti potom zmerať.

**Poznámka:** Meranie sa dá urobiť aj tak, že ako svetelný zdroj použijeme malú žiarovku valcovej vreckovej lampy, z ktorej odmontujeme reflektor. Lampu položíme na vrch skrine tak, aby žiarovka trochu vyčnievala pred čelnú stenu skrine. CD platňu položíme pod žiarovku na podlahu (vo vodorovnej polohe). Na čelnej stene skrine potom vyznačíme polohu oka  $O$ , ktorej zodpovedá prvé interferenčné maximum. Smer kolmice dopadu je zvislý. Zhoduje sa so zvislou hranou skrine. Detaily ponecháme na čitateľa. V prípade monochromatického zdroja svetla sa osvetlená ploška CD platne javí osvetlenou len pri istej hodnote uhle  $\beta$ .

### Iné varianty merania

Meranie vlnovej dĺžky svetla pomocou CD platne možno vykonať aj vo všeobecnejšom usporiadaní znázornenom na (Obr. 1 b). Svetelný lúč dopadá pri ňom na platňu pod nenulovým uhlom  $\alpha$ . Príslušné interferenčné maximum objavíme pod uhlom  $\beta$ . Pre určenie vlnovej dĺžky - ako sa dá ľahko dokázať - platí

$$\lambda = O_1O_2 (\sin \beta - \sin \alpha)$$

Meranie sa dá vykonať aj pri osvetlení „z tej istej strany“ (Obr. 2 a,b). Uhol  $\alpha$  treba potom brať za záporný.

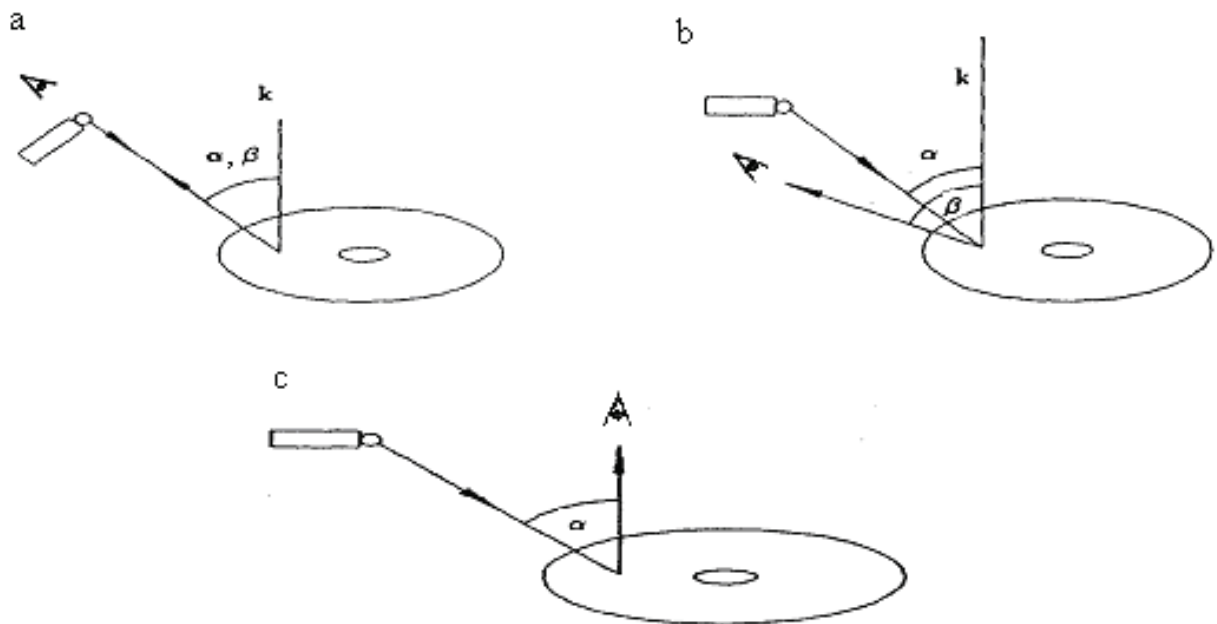
Príslušný vzťah pre určenie vlnovej dĺžky nadobúda potom tvar

$$\lambda = O_1O_2 (\sin \beta - \sin \alpha)$$

V špeciálnom prípade možno merať aj tak, že CD platňu osvetľujeme malým svetelným zdrojom (malou žiarovkou vreckovej batérie bez reflektora) umiestneným v tesnej blízkosti oka (Obr. 2 a). Žiarovku oprieme napríklad o sluchy, takže oko a žiarovka sa nachádzajú na rovnakej výškovej úrovni. Meranie potom spočíva v tom, že oko spolu so žiarovkou premiestňujeme, až kým sa nám „aktívne“ pole CD platne nejaví v želannej farbe, ktorej vlnovú dĺžku určujeme. V takejto situácii je v poslednom vzťahu  $\alpha = -\beta$ , takže

$$\lambda = 2 \cdot O_1 O_2 \sin \beta$$

Pri poslednom meraní sledujeme CD platňu z relatívne malej vzdialenosti, lebo intenzita svetla, ktoré sa dostáva do oka je menšia.



Obr. 2

Meranie sa dá uskutočniť aj tak, že oko je pri ňom umiestnené presne nad aktívnou ploškou CD platne (Obr. 2 c). Tentokrát sa pohybuje zdroj. Premiestňujeme ho, až kým sa nám pozorovaná ploška nejaví vhodne sfarbená. Pre určenie vlnovej dĺžky použijeme vzťah

$$\lambda = O_1 O_2 \sin |\alpha|$$

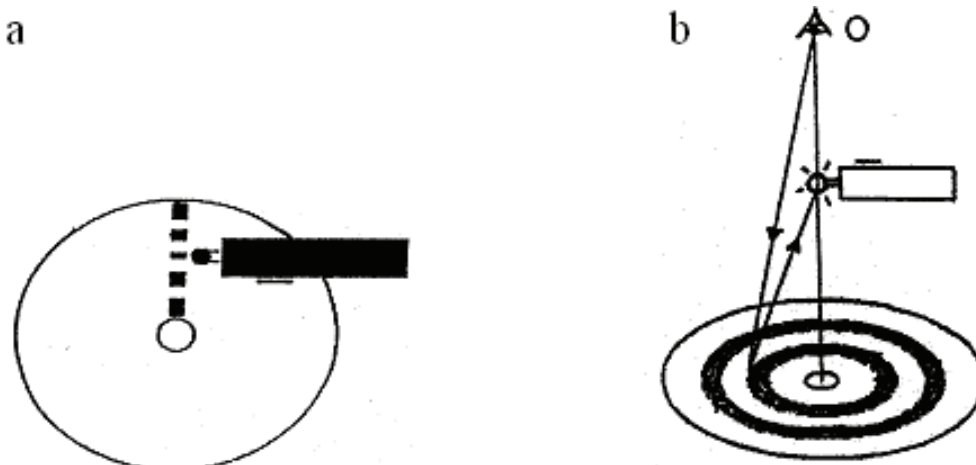
## Dva doplnujúce pokusy s CD platňou

### 1. pokus

Ak tesne pred CD platňu postavíme žiarovku malej vreckovej lampy (bez reflektora), môžeme pri pohľade v smere takmer kolmom na platňu pozorovať na záznamovom poli dosky interferenčné spektrum (Obr. 3 a). Nulté maximum reprezentuje normálny zrkadlový obraz žiarovky. Prvé a ďalšie maximá majú pre rôzne farby rôznu polohu, takže vzniká mriežkové spektrum a to po oboch stranách zrkadlového obrazu žiarovky.

### 2. pokus

Pri tomto pokuse držíme žiarovku malej lampy nad stredom CD platne (Obr. 3 b). Nad ňou je umiestnené oko pozorovateľa. Žiarovkou opatrne pohybujeme, snažiac sa ju (i oko) dostať na os platne. Vo vhodnej polohe pozorujeme žiariace svetelné spektrálne kruhové obrazce, reprezentujúce prvé, prípadne druhé, resp. aj vyššie interferenčné maximá.

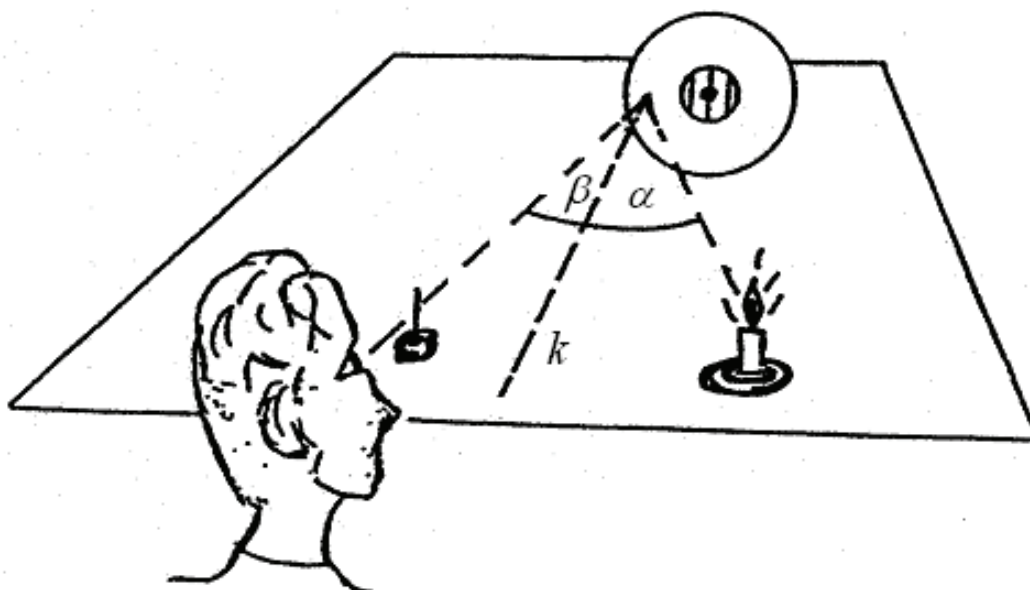


Obr. 3

Efekt sa dá využiť aj na meranie vlnovej dĺžky tej-ktorej farby. Pokus variujeme v rôznych polohách oka nad platňou i v rôznych polohách žiarovky.

### Stolová zostava s CD platňou

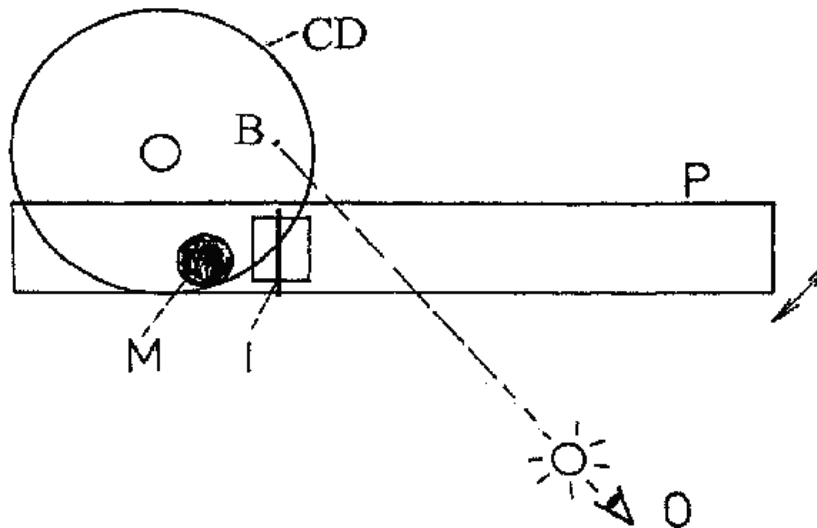
Pri tejto zostave merania vlnovej dĺžky svetla je CD platňa (držaná napríklad feritmi) vo zvislej polohe (Obr. 4). Na stole je umiestnený papier s vyznačenou kolmicou na platňu. Po stole premiestňujeme malú svietiacu žiarovku alebo sviečku a hľadáme uhol dopadu  $\alpha$  tak, aby sa nám sledované miesto na platni javilo sfarbené v tej farbe, akú skúmame. Chod lúčov vyznačíme na papieri a zmeriame.



Obr. 4

### Iná stolová zostava s CD platňou

V tomto prípade CD platňu postavenú vo vertikálnej rovine otáčame okolo zvislej osi pomocou pravítka, ku ktorému je platňa fixovaná pomocou dvoch feritov M (Obr. 5). Os otáčania je určená ihlou prichytenou o pravítko kúskom spofa-pásky. Hrot ihly I je zabodnutý do papiera (s vhodnou podložkou) nachádzajúceho sa na stole. Oko a svetelný zdroj sú na jednej úrovni a nemenia svoju polohu.



Obr. 5

Východzí stav pravítka s platňou je taký, že oko vidí v bode B zrkadliť žiarovku, čo zodpovedá chodu lúčov po kolmici dopadu lúča. Natáčaním platne pomocou pravítka (ako ramienka) hľadáme polohu, pri ktorej sa nám dané miesto platne (na osi otáčania) javí sfarbené v požadovanej farbe. Na papieri vyznačíme príslušný smer platne a zmeriame uhol  $\alpha$  natočenia. Tento stav zodpovedá prvému interferenčnému maximu. Vlnovú dĺžku určíme zo vzťahu

$$\lambda = 2 \cdot O_1 O_2 \sin \beta$$

kde  $\beta$  uhol, o ktorý sme museli pootočiť pravítko s platňou.

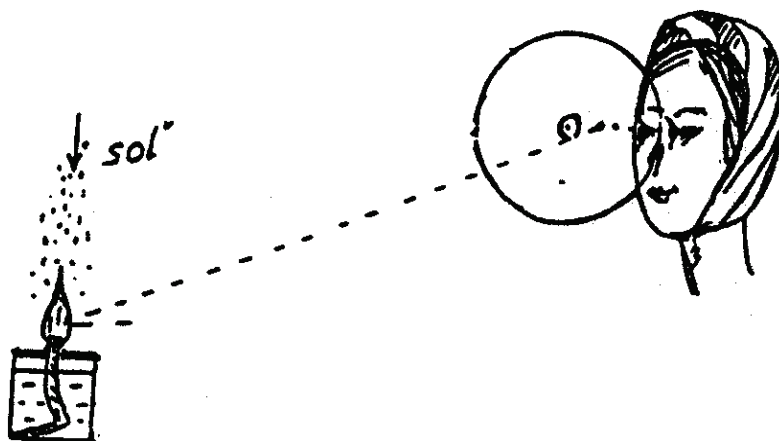
#### Poznámky:

Pri opísaných meraniach sme sa obmedzili na situácie, pri ktorých sme sledovali len prvé interferenčné maximá. Obdobné merania sa dajú robiť aj s „využitím“ druhého, resp. tretieho maxima. Druhému maximu zodpovedá dráhový rozdiel  $\delta = 2 \lambda$ , tretiemu rozdiel  $\delta = 3 \lambda$ .

#### Pozorovanie žltej sodíkovej čiary

Pomocou CD platne možno pozorovať v spektre aj žltú sodíkovú spektrálnu čiaru. Pri pozorovaní spojitého spektra plameňa liehového kahana pomocou CD-platne (Obr. 6) sypeme prstami do plameňa zrnká kuchynskej soli. Pozorujeme, že v tej oblasti spojitého spektra, kde sa nachádza žltá farba intenzívne bliká úzka žltá čiara. Ostatná časť spektra zostáva nemenná.

Sol' v plameni prispieva teda k intenzívnemu vysielaniu jedinej vlnovej dĺžky, zodpovedajúcej žltej farbe. Spôsobuje ho sodík uvoľňovaný pri rozklade kuchynskej soli NaCl. Pokus sa dá v zásade vykonať aj s plameňom sviečky. Jeho spektrum je však už intenzívnejšie a blikanie sodíkovej čiary je už menej výrazné.



Obr. 6

V domácich podmienkach možno pokus vykonať aj v kuchyni. Soľ sypeme do nevýrazného modravého plameňa bežného plynového šporáka. V tomto prípade sa sypanie zrníkov soli prejaví zmenou farby plameňa už pri bežnom pohľade (mení na jasne žltý).

Aby sme mohli pozorovať príslušné spektrum plynového plameňa (raz bez zrníkov soli, druhýkrát s nimi) s CD platňou, musíme plameňu dať podobu "líniového" svetelného zdroja. Z pomerne rozľahlého plameňa vymedzíme pomocou bokom postaveného tienidla-štrbinky (napríklad medzi dvoma plechovkami džusu) užší svietiaci pásik. Túto "slabo svietiacu" štrbinku pozorujeme potom pomocou CD platne v tmavej miestnosti. Pozorované spektrum samotného plynového plameňa je málo výrazné (málo intenzívne). Ak však do plameňa sypeme soľ, v spektre sa objavuje jasne blikajúca žltá sodíková čiara.

### Spektrá reklamných trubíc

S CD platňou - ako optickou mriežkou - môžeme preskúmať aj spektrá žiarení rôznych reklamných trubíc a výbojek. Stačí, ak sa prejdeme s CD platňou vo vrecku po večernom meste a sem tam vo vhodnej chvíľke a na vhodnom mieste túto platňu z vrecka vytiahneme. Postavíme si ju k očiam a pozrieme sa na spektrálne zloženie aktuálneho zdroja (Obr. 7).

HOTEL  
HOTEL  
HOTEL



Obr. 7

Pozorovateľ je otočený čelom k reklamným trubiciam. CD platňu drží pod úrovňou oka, naklonenú šikmo. V prvom rade platňu postaví tak, aby v oblasti platne, ktorá je priľahlá oku uvidel bežný zrkadlový obraz reklamných trubíc. Ten sa mu javí v pôvodnej originálnej farbe. Potom CD platňu, opretú jedným okrajom o tvár nakláňa viac a viac a to znižovaním jej odľahlej strany. Na záznamovom poli v oblasti blízko oka sa mu objaví naraz niekoľko paralelných reklamných nadpisov - každý v inej farbe. Sú to spektrálne obrazy príslušnej reklamy v jednotlivých farebných zložkách. Sú to fakticky prvé interferenčné maximá mriežkového spektra použitej mriežky pre príslušné vlnové dĺžky zastúpené vo svetle trubice.

Pri opísanom pozorovaní experimentátor odhalí vo svetle trubíc obvykle niekoľko diskretných vlnových dĺžok. Ide teda v podstate o čiarové spektrá vznikajúce pri elektrickom výboji v plynách. Väčšinou ide o 2-4 čiary spektra (farby).

Analýzou spektier reklamných trubíc by sme mohli v zásade určiť aj neznámy plyn, ktorým sú jednotlivé reklamne trubice naplnené. Museli by sme však najprv zmerať príslušné vlnové dĺžky jednotlivých farieb a mať poruke ešte aj katalóg spektier plynov.

Opísaným spôsobom môžeme sledovať aj spektrum relatívne malých a intenzívne žiariacich výbojek pouličného osvetlenia.

### Čiarové spektrum žiarivky.

Pri tomto pokuse priložíme CD platňu do bezprostrednej blízkosti oka. Na jej povrchu pozorujeme najprv odraz svetla žiarivky. Zmenou sklonu platne ľahko nastavíme polohu, pri ktorej uvidíme na platni čiarové spektrum žiarivky. Ak CD platňu od oka trochu vzdialíme a natáčame tak, aby sa obraz žiarivky približoval k stredu platni (kde však je otvor), zbadáme na platni ostré kruhové spektrálne čiary.

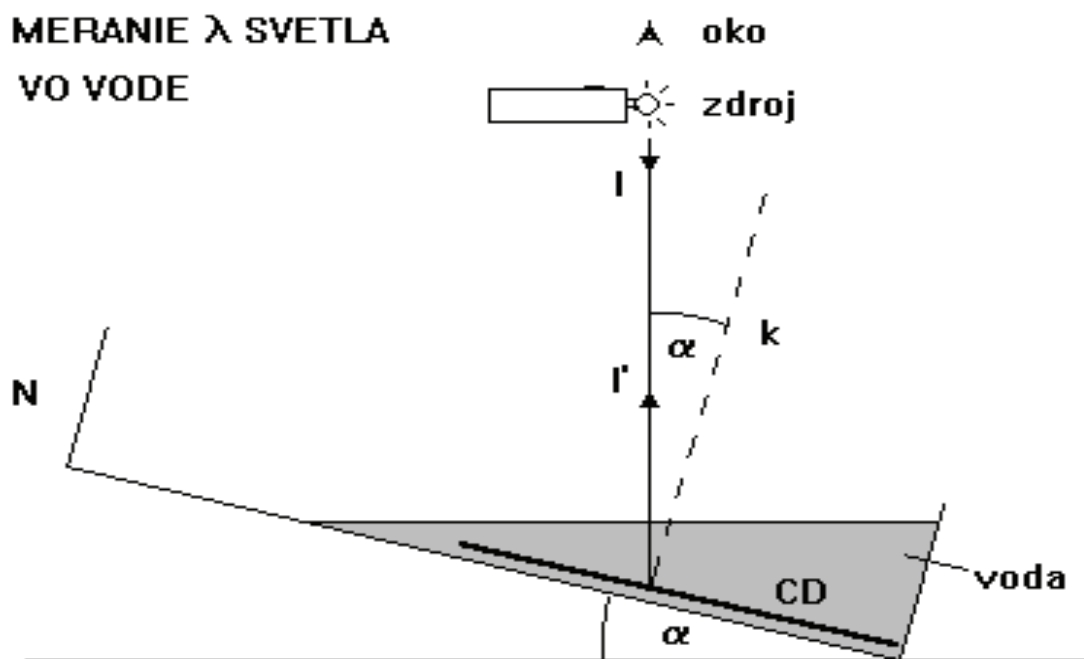
### Vlnová dĺžka svetla vo vode – jednoduché meranie pomocou CD-platne

Celkové usporiadanie pri meraní je na obr. 8. CD-platňa (alebo kúsok z nej) je pri meraní ponorená do vody nachádzajúcej sa v plytšej nádobe N. Nádobu pri meraní nakláňame.

Aktuálny svetelný lúč vychádzajúci z malej žiarovky postupuje zvisle nadol a dopadá kolmo na vodnú hladinu. Bez zmeny smeru pokračuje ďalej na záznamové pole CD-platne. Rysky optickej odraznej mriežky v mieste dopadu lúča na CD-mriežku sú pritom kolmé na rovinu nákrse. Oko pozorovateľa sleduje zvolené miesto CD platne pri postupnom nakláňaní platne. Ak je platňa vo vodorovnej polohe (na začiatku) vidí pozorovateľ pri zvislom pohľade dva prakticky totožné obrazy bodového zdroja – jeden obraz vznikajúci odrazom svetla na vodnej hladine a druhý, odrazom na platni ako zrkadle (nulté maximum).

Pri nakláňaní nádoby s platňou sa farba platne na aktuálnom mieste postupne mení. Pri istom sklone nadobudne dané miesto platne farebný odtieň zodpovedajúci nami sledovanej farbe (napr. červenej). V tejto situácii zmeriame uhol  $\alpha$  sklonu nádoby, ktorý zodpovedá prvému interferenčnému maximu príslušnej svetelnej vlny vo vode. (Tento uhol by bol presne rovnaký aj v prípade, keby sme celé meranie vykonali priamo vo vode, lebo rozhranie voda-vzduch v našej situácii nemení smer lúčov.) Vlnovú dĺžku svetla danej farby vo vode určíme z predtým uvedeného vzťahu platného pre náš špeciálny prípad

$$\lambda_V = \left| 2 O_1 O_2 \sin \alpha \right|$$

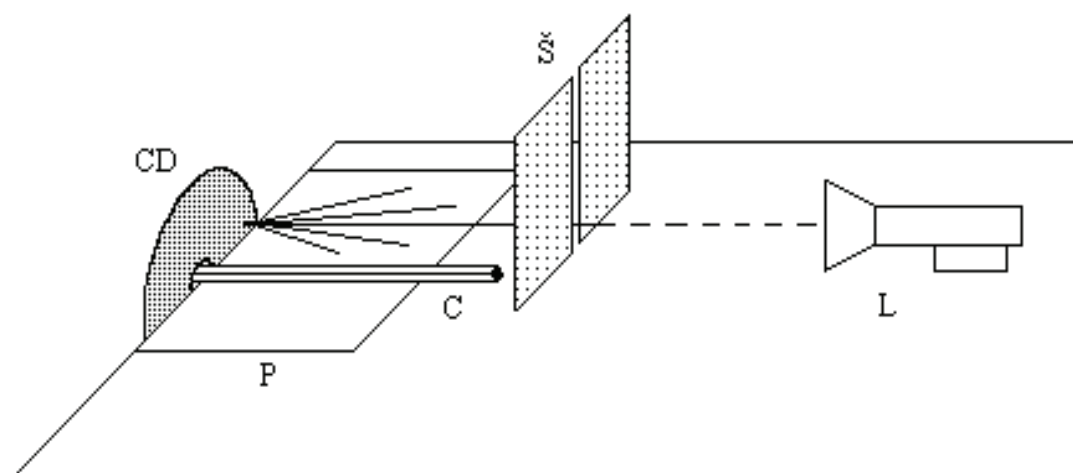


Obr. 8

Podobným spôsobom môžeme zmerať aj uhol  $\alpha = -\beta_j$  sklonu nádoby pre  $i$ -te interferenčné maximum, pričom pre vlnovú dĺžku svetla vo vode platí

$$\lambda_v = \left| \frac{2}{i} O_1 O_2 \sin \alpha \right|$$

### Difrakčný vejár s CD-mriežkou



Obr. 9



Experimentálna zostava je znázornená na obr. 9. Zdrojom svetla je obyčajná vrecková elektrická lampa L s reflektorom. Jej svetelný zväzok nasmerujeme na štrbinu Š vymedzenú napr. nejakými bežnými predmetmi z domácnosti. Môžu to byť dve knihy, dve čajové krabičky, dva CD-obaly a pod. Vymedzený svetelný zväzok dopadá na vhodné miesto záznamového poľa CD platne. Podložením lampy možno dosiahnuť zviditeľnenie odrazených difragovaných lúčov na papieri P umiestnenom na stole. Fixovanie CD platne vo zvislej polohe je veľmi jednoduché. CD platňa je svojim stredovým otvorom nasunutá na koniec ceruzy C prečnievajúci nepatrne za okraj stola.

Keďže zdroj poskytuje zložené svetlo, difragované lúče vykazujú spektrálne sfarbenie, Výnimkou je len odrazený zväzok prislúchajúci nultému maximu. Ak zmeriame uhol niektorého z difragovaných lúčov pri kolmom dopade svetla na CD platňu, môžeme vlnovú dĺžku určiť zo vzťahu

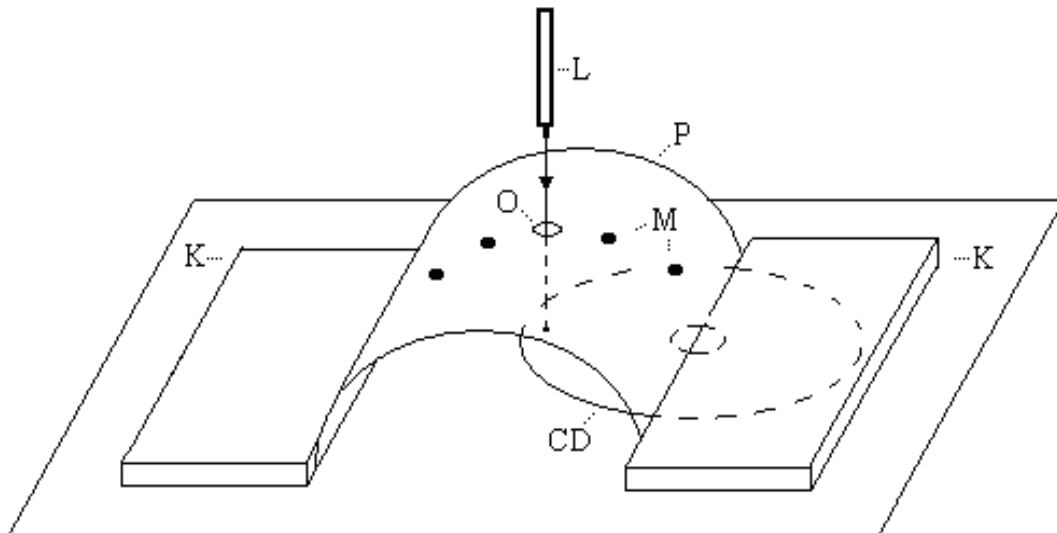
$$\lambda = \frac{O_1 O_2}{i} \sin \beta_i$$

kde  $i$  je rád maxima a  $O_1 O_2 = 1,6 \mu\text{m}$  (mikrometra) je príslušná mriežkova konštanta CD mriežky, ktorú vypočítame zo známej hustoty záznamových stôp CD platne rovnej 625 stôp na milimeter.

Ak zmeriame uhol  $\beta_1$  prislúchajúci prvému maximu  $i = 1$ , bude pre vlnovú dĺžku platiť

$$\lambda = O_1 O_2 \sin \beta_1$$

#### Difrakčné stopy na papierovom „oblúku“

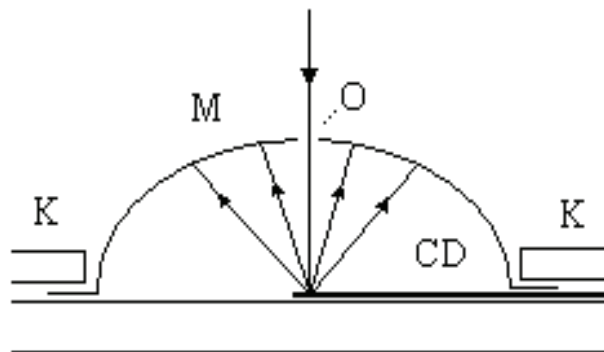


Obr. 10

Pri tomto pokuse je CD platňa položená na stole (Obr. 10). Nad ňou je postavený papierový oblúkovitý kryt P s nevelkým otvorom O v strede papierového listu. Okraje papiera sú na stole fixované pomocou dvoch kníh K. Cez otvor O v papieri dopadá na záznamové pole CD platne svetelný lúč vysielať laserom, alebo vreckovou elektrickou lampou. Na papieri pozorujeme vznik svetelných stôp prislúchajúcich jednotlivým svetelným maximám (Obr. 11). Difragované lúče ležia v jednej rovine kolmej na smer záznamových dráh na príslušnom mieste CD platne. Najvhodnejšie

miesto pre dopad svetla na CD platňu je oblasť blízko vonkajšieho okraja záznamového poľa CD platne.

V zobrazenej konštelácii na papieri nevidíme svetelnú stopu prislúchajúcu nultému maximu. Je to tak preto, že príslušný lúč vystupuje otvorom v papieri. Ak však dopadajúci lúč nepatrne vhodne nakloníme, objaví sa vedľa otvoru aj stopa prislúchajúca nultému maximu. Tá je pochopiteľne najintenzívnejšia.



Obr. 11

## 2. Optické experimenty s data-projektorom a CD platňou

### Čo treba urobiť pred pokusom

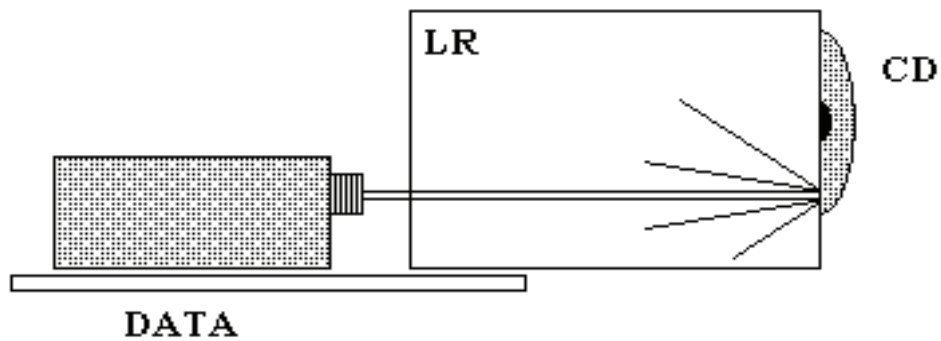


Obr. 12

Pred vlastným optickým pokusom vytvoríme na počítači (napr. aj priamo v power-pointe) rozmernejší obrazec vodorovnej, alebo zvislej bielej štrbiny na čiernom podklade (Obr. 12). Štrbina je umiestnená viac-menej v strednej časti obrazovky. Na projekčnej ploche sa po zaostrení dataprojektora objaví „svietiaci“ štrbina na tmavom neosvetlenom okolí.

### Interferenčné pokusy s dataprojektorom a CD platňou

Pri týchto pokusoch sa využíva interferencia svetla na odraznej CD-mriežke. Pokus je znázornený na obr. 13. Vykonáme ho tak, že tesne pred projektor umiestnime zvislú bielu rovinnú pracovnú plochu – lúčovú rovinu LR, ktorá je takmer rovnobežná s lúčmi vystupujúcimi z projektora. Pri správnom nastavení jej polohy dosiahneme stav, pri ktorom sa na nej objaví relatívne úzky a intenzívny lúč vychádzajúci z projektora. Ak tomuto lúču postavíme do cesty vhodne umiestnenú CD platňu tak, ako to ukazuje obr. 13, môžeme na doske pozorovať viaceré difragované lúče, zodpovedajúce jednotlivým interferenčným maximám. Všetky difragované lúče, okrem zväzku prislúchajúceho nultému maximu vykazujú aj určité spektrálne sfarbenie, nakoľko ide o zložené, nemonochromatické svetelné žiarenie projektora.



Obr. 13

Príslušné „difrakčné“ uhly  $\beta_i$  zodpovedajúce jednotlivým maximám príslušnej farebnej zložky (pri kolmom dopade svetla) môžeme zmerať (od kolmice dopadu), alebo aspoň odhadnúť a na základe toho vypočítať vlnovú dĺžku svetla pre jednotlivé farebné zložky. Z nameraného uhla  $\alpha_i$  pre  $i$ -te maximum určíme vlnovú dĺžku na základe vzťahu

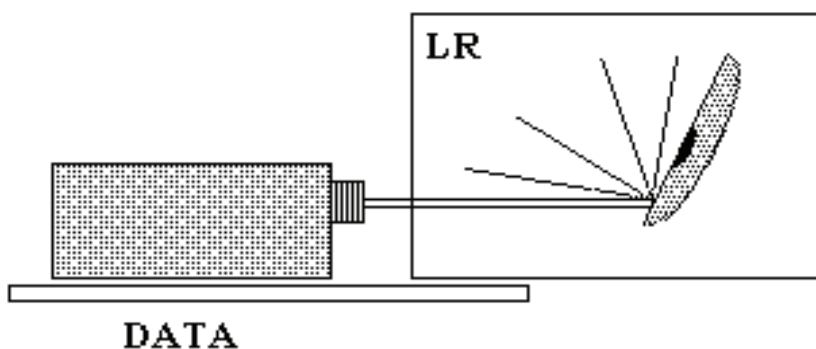
$$\lambda = \frac{O_1 O_2}{i} \sin \beta_i$$

kde  $O_1 O_2 = 1,6 \mu\text{m}$  (mikrometra) .

Ak zmeriame uhol  $\beta_1$  prislúchajúci prvému maximu  $i = 1$ , bude pre vlnovú dĺžku platiť

$$\lambda = O_1 O_2 \sin \beta_1$$

Pri zmene sklonu CD-platne sa mení aj interferenčný zväzok.

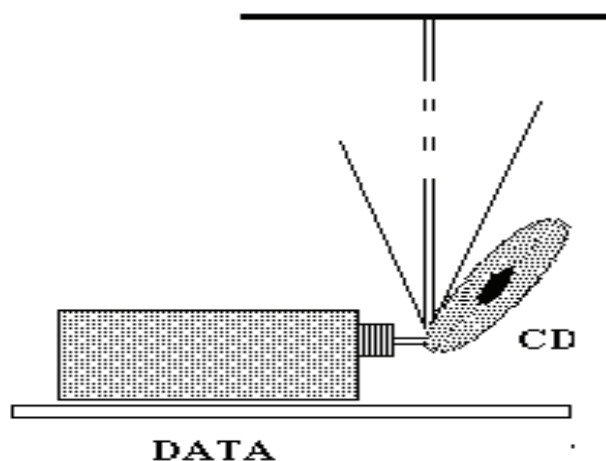


Obr. 14

Pre pozorovanie tohto efektu je však vhodnejšie usporiadanie znázornené na obr. 14, pri ktorom sa využíva iba polovica CD platne tvaru polkruhu, ktorú získame rozstrihnutím CD-platne pomocou trochu masívnejších nožníc. Takýto CD-polkrh môžeme potom umiestniť na ľubovoľné miesto lúčovej roviny LR, ktorým prechádza svetelný lúč. Pri natáčaní CD-polkruhu môžeme pozorovať difragované lúče pri rôznych uhloch dopadu lúča na odraznú CD-mriežku. Príslušné uhly  $\beta_i$  prislúchajúce jednotlivým interferenčným maximám môžeme zmerať a na základe toho vypočítať vlnovú dĺžku svetla pre jednotlivé farebné zložky. Pre vlnovú dĺžku platí vzťah

$$\lambda = \frac{O_1 O_2}{i} (\sin \beta_i \mp \sin \alpha)$$

kde  $\alpha$  je uhol dopadu. Horné znamienko platí, ak difragovaný lúč leží na opačnej strane od kolmice dopadu, ako lúč dopadajúci. Ak odrazený lúč – zodpovedajúci nultému maximum – usmerníme do smeru kolmého na dopadajúci lúč, bude uhol dopadu rovný 45 stupňov.



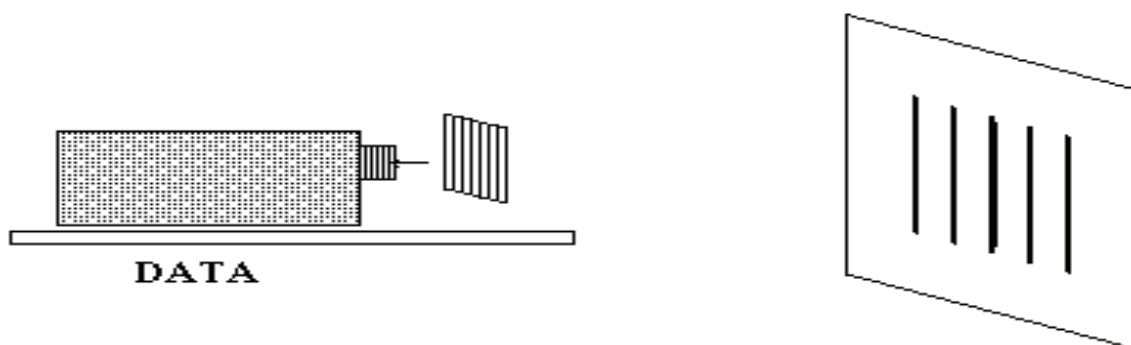
Obr. 15

### Pokus s CD-spektrum na plafóne

Pri tomto pokuse (Obr. 15) sa zaoberáme bez lúčovej roviny. CD platňu postavíme tesne pred projektor v sklonenej polohe so sklonom asi 45 stupňov tak, aby svetlo z projektoru dopadalo na ňu v jej najnižších častiach. Interferenčné spektrum prvého rádu pozorujeme na povale-plafóne v miestach nad projektorom.

## 3. Ďalšie pokusy s dataprojektorom

### Interferencia svetla na transparentnej optickej mriežke



Obr. 16

Pri tomto pokuse vychádzame zo situácie, keď je na projekčnej ploche na začiatku ostro zobrazená relatívne úzka, v tomto prípade zvislá svietiacia štrbina. Ak v takomto stave postavíme tesne pred objektiv dataprojektoru transparentnú optickú mriežku s ryskami rovnobežnými so štrbinou (Obr. 16), na projekčnej ploche sa vytvorí

interferenčný obrazec. Pozorujeme na ňom niekoľko interferenčných maxím a miním. Hustota maxím a miním závisí, pochopiteľne, od mriežkovej konštanty mriežky. Vhodné sú mriežky už aj s desiatkou čiar na jeden milimeter.

Pri určení strednej hodnoty vlnovej dĺžky svetla vychádzame v prípade optickej mriežky nevelkej hustoty z obvyklého vzťahu

$$\lambda = \frac{O_1 O_2 y}{d}$$

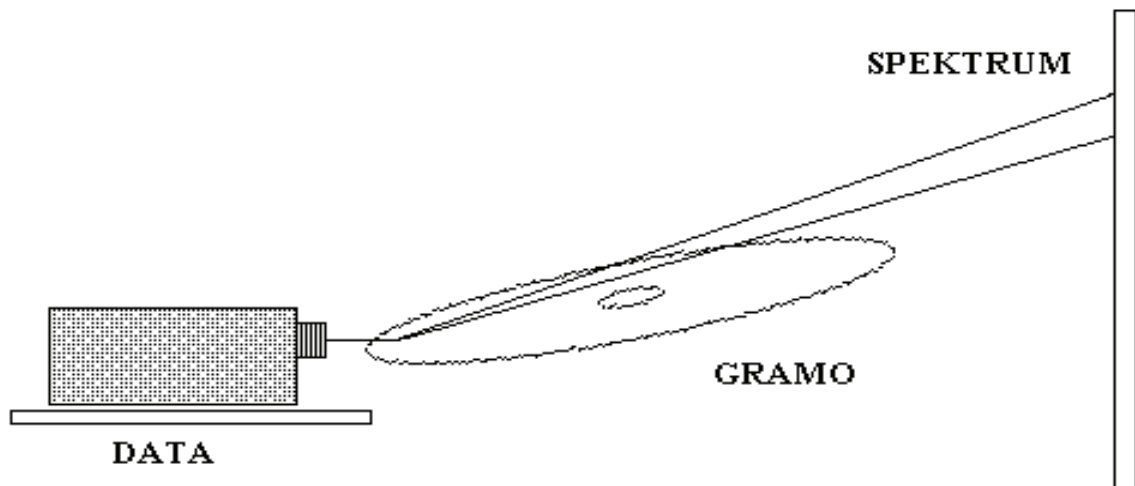
kde  $O_1 O_2$  je príslušná mriežkova konštanta,  $y$  je vzdialenosť susedných interferenčných maxím na projekčnej ploche a  $d$  je vzdialenosť od mriežky k projekčnej ploche.

Ak ide o mriežky so značne vyššou hustotou, interferenčný obrazec možno lepšie pozorovať na bielom tienidle umiestnenom bližšie k projektoru. V takých situáciách - kedy ide o väčšie difrakčné uhly - treba pri výpočte vlnovej dĺžky použiť vzťah (1, resp. 2).

### Interferencia svetla na gramo-platni

Pri tomto pokuse (Obr. 17), dopadá svetlo na gramoplatňu pod veľkým uhlom dopadu – blízky 90 stupňov. Difrakčné spektrum pozorujeme na stene, resp. projekčnej ploche umiestnenej – ako obvykle - vo väčšej vzdialenosti od projektoru. Pri zmene sklonu gramoplatne sa pozorované spektrum premiestňuje, pričom sa mení aj jeho šírka.

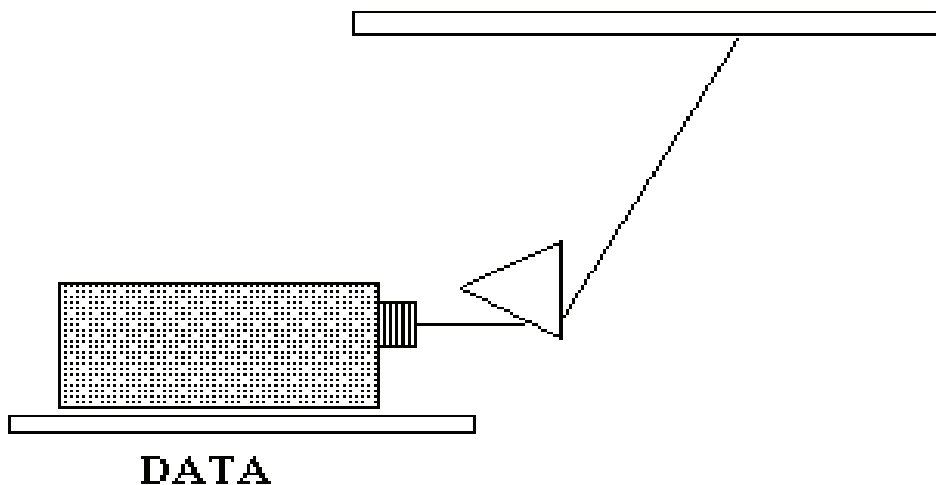
V zásade môžeme gramoplatňu postaviť aj do šikmejšej polohy, pri ktorej sa príslušné spektrum zobrazí na plafóne. V tejto situácii je však spektrum relatívne úzke a menej výrazné. Výraznejšie je len pri väčšej výškovej dimenzii miestnosti.



Obr. 17

**Poznámka:** Dataprojektor možno využiť aj pri viacerých lúčových pokusoch z geometrickej optiky. Do tejto skupiny pokusov patria pokusy, pri ktorých sa demonštruje zákon odrazu, lomu, posunutie lúčov pri prechode planoparalelnou doskou a pod. V niektorých prípadoch je vhodné na počítači vytvoriť sústavu viacerých navzájom rovnobežných štrbín, čo umožní získať na lúčovej rovine LR (ktorou môže byť aj stena) sústavu navzájom rovnobežných lúčov. Tie necháme potom dopadať na zrkadlo, lámavú plochu a pod.

## Spektrum vytvorené pomocou hranola



Obr. 18

Usporiadanie pokusu je na obr. 18. Aj pri tomto pokuse zobrazíme na projekčnej ploche najprv svietiacu - v tomto prípade vodorovnú - štrbinu. Hranol, otočený lámavou hranou smerom nadol, umiestníme tesne pred projektor. Spektrum sa pozoruje buď na povale-plafóne, alebo na papieri, vhodne postavenom do cesty lúčom. Pri využití zvisle postavennej svietiacej štrbiny musí byť lámavá hrana hranola tiež zvislá.

### Záver

Optické pokusy a merania s CD platňou, ako aj fyzikálne demonštrácie s využitím dataprojektora môžu značne oživiť vyučovací proces a prispieť k zvýšeniu atraktívnosti fyziky ako celku. Väčšina pokusov s CD platňou sa dá realizovať pritom aj v domácich podmienkach, čo pomáha zlepšiť imidž fyziky v očiach verejnosti.

### Literatúra:

- [1] BANÍK Ivan - BANIK Rastislav - CHOVANCOVÁ Marcela. 2008. *Fyzikálny kaleidoskop*. 1. Vyd. Bratislava: Vyd. STU, 2008. 336 s. ISBN 978-80-227-2894-2
- [2] BANÍK Ivan - BANIK Rastislav. *Kaleidoskop učiteľa fyziky* č. 1-10. Vyd. MC. Bratislava 1992-2000

### Adresa autora

Ivan Baník, prof., RNDr., CSc.  
 katedra fyziky, Stavebná fakulta STU  
 813 68 Bratislava, Radlinského 11,  
 e-mail: [ivan.banik@stuba.sk](mailto:ivan.banik@stuba.sk)