

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Boleslav Vávra

Ohyb světla tkaninou

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 58 (1929), No. 1-2, D1--D11

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/108922>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1929

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

BOLESLAV VAVRA:

Ohyb světla tkaninou.

I. Analogie lauegramů.

Tak zvané Laueovy ohybové fotogramy čili stručně lauegramy, pořízené ponejprv Friedrichem, Knippingem a Ewaldem, bývají uveřejňovány obyčejně bez jakéhokoli výkladu ve všech — i populárních — spisech jednajících o stavbě hmoty. V naší *Maškově* učebnici fyziky (1923, str. 215) jsou doprovozeny asi touto větou: »Vnikne-li do prostorové sítě (krystalu) úzký paprsek X -ový, rozdělí se v několik slabších svazků, které jsou souměrně kolem původního směru rozloženy; chybem v krystalech bylo dokázáno, že paprsky X mají vlny asi 10.000krát kratší než viditelné vlny světelné atd.« Student, hledající poučení ve Fysice *Novákově* (1921, str. 1064), dočte se, že z polohy nejsilnějších skvrn lauegramu se odvodí, že vlnové délky jsou několik setin Ångströmovy jednotky; další výklad o teorii *Braggů* na vznik lauegramů sotva dovede aplikovati. Za výklad zcela přijatelný pro středoškolského studenta bylo by možno pokládati stať o lauegramech v *Ježkově* Nástinu röntgenometrie krystalů (1923, str. 14 a násl.) s reprodukcemi lauegramů, kdyby nebyla zatěžkána mineralogickými pojmy přesahujícími horizont studentův. Velmi pěkný výklad *Braggův* (O povaze věci, překlad manž. Šinkových, 1927, str. 77—82) o zákonu odrazu X -paprsků na vnitřních strukturálních plochách krystalu není aplikován na vznik lauegramů. Metodický a dosti obšírný výklad *Posejpalův* v knize »Röntgenovy X -paprsky« (1925, str. 36—40) s ukázkami *Ulrichových* lauegramů (tab. I.) nejlépe by se hodil pro středoškolskou fyziku, kdyby plán vyučovací dával k tomu dosti času. [Jak se z lauegramu určí povaha krystalu a délky vlny paprsků X , jest popsáno v míře postačující k informaci fysika v knize *Glockerově*: Materialprüfung mit Röntgenstrahlen (1927, str. 215—225).]

Jest ovšem těžko uvěřiti, že student pochopí dosah celé věci, jakmile mu profesor ukáže několik lauegramů a řekne: Jsou to »ohybová spektra« (tak zní nápis pod obrázkem knihy *Maškovy*) a dokazují, že paprsky X jsou povahy vlnové, že jejich délka vlny jest několik setin Ångströmu, a že použitý krystal má takovou a takovou strukturu. Když není času na obšírnější výklady, zajisté zcela moudře omezili se autoři učebnice na pouhou poznámku. Avšak věc má

značnou důležitost nejen snad pro příštího medika nebo technika; na škole střední jde zajisté o principiální pochopení velkolepého objevu vědeckého s hlubokými důsledky praktickými. Mimo to profesor neunikne jistě otázkám bystřejších žáků, jmenovitě v praktiku. I bude dobře znázorniti věc aspoň nějakou *analogií*, třeba dosti vzdálenou, avšak vhodnou pro pochopení základní.

Již sám výklad *Posejpalův* začíná *mřížkou plošnou*. Zmínku o takové mřížce plošné má též *Höfler* (Physik, str. 389). Mřížku plošnou pořizoval *Strouhal* dvěma mřížkami přes sebe položenými (*Strouhal-Novák*, Optika, str. 677). V našich poměrech nutno se spokojiti jemnými tkaninami, jež dávají ohybová spektra zcela postačující, jak bude v dalším vyloženo, jmenovitě, použije-li se tkanin vyráběných dnes k zvláštním technickým účelům.

Tkaniny, jež se k demonstraci ohybových zjevů hodí, jsou: 1. jemné a dosti průsvitné látky hedvábné vyráběné pro dámské toalety, 2. mlynářská plátna, tak zvané *hedvábné gázy moučné*, 3. drátěná pletiva fosforobronzová, užívaná v zařízeních pro topení uhelným práškem a ve škrobárnách, barvírnách a chemických továrnách, tak zvaná *třídící síta*.

Nejjednodušší jest pozorovati tkaninou nějaký vzdálený bodový zdroj světelný. Ve škole možno jej snadno získati čtyřvoltovou žárovkou automobilovou, která jest napájena akumulátorem nebo zvonkovým transformátorkem dávajícím na sekundární straně dostatečnou intenzitu. Ze vzdálenosti aspoň 6 metrů můžeme pozorovati ohybový úkaz, o nějž nám jde, díváme-li se tkaninou na zdroj. Záleží na vzdálenostech *oko-tkanina-zdroj*, což dokážeme, pohybujeme-li z menší vzdálenosti tkaninou k zdroji při stálé poloze oka. Zajímavé úkazy dostaneme, klademe-li různým směrem přes sebe dvě, tři tkaniny téhož druhu. Že zjev záleží na struktuře tkaniny, snadno dokážeme, použijeme-li stejným způsobem známé skleněné desky poprášené plavuní. Ještě lépe vynikne zjev, díváme-li se tkaninou na vzdálený zdroj světelný dalekohledem (srovn. *Volkman*, Praxis der Linsenoptik, 1910, str. 91, *Hahn*, Physikalische Freihandversuche, díl III., str. 349, kde najdeme též použití mlynářského gázu k pokusům).

Toto subjektivní — třebaže skvělé — pozorování bude pro naše účely vhodné nahraditi objektivní demonstrací. Možno tu v hlavních rysech použítí s výhodou úpravy *Volkmannovy* (Zeitschrift f. d. phys. u. chem. Unterricht, 20, 1907, str. 26). Osvětlenou malou kruhovou štěrbinu promítneme čočkou na promítací stěnu a do cesty paprskům vsuneme tkaninu.

Do rámečku projekčního stroje vložíme plech s vhodnou kruhovou štěrbinou, jejíž velikost vyzkoušíme dříve, než začneme experimentovati, na různých otvorech v lepence. Objektív vyjmem, neboť by zobrazil otvor velmi zvětšený. Zobrazení otvoru na projekční ploše provedeme čočkou vhodně umístěnou mezi projekčním strojem a plochou. Netřeba používatí tuze silných zdrojů světelných. Zcela

postačí pro menší auditorium projekční žárovka 100 W, jejíž použití má i tu výhodu, že při pokusech netřeba manipulovati lampou. Pro tento případ osvědčí se pracovati bez kondensoru. Vzdálenost žárovky od kruhové štěrbinu volíme tak, aby obraz žhavého drátu žárovky, vytvořený štěrbinou na čočce, právě čočku kryl. Pracujeme-li však s obloukovou lampou a kondensorem, bude vždy účelno položit před ústí projekčního stroje černou lepenkovou rouru a čočku opatřiti štítem, aby se zachytilo všecko světlo vedlejší. Nejlépe ovšem k tomuto účelu by se hodila žárovka s bodovým světlem, která však nebývá všude po ruce. Obloukové lampy bez kondensoru k pokusům dále popsaným nelze dosti dobře použítí, neboť oblouk nesedí klidně na jednom místě a paprsky nejdou týmiž místy na čočce. Použijeme-li žárovky, ztrácíme sice do jisté míry modrou část spektra, ale za to získáváme možnost provésti pohodlněji měření ohybového zjevu. Proto uijeme obloukové lampy při přednášce a žárovky v praktiku. V každém případě budiž projekční stroj pečlivě přikryt, aby se odstranilo rušivé světlo. Přímého světla slunečního, které dá přirozeně jen úzký svazek paprsků, použití možno ke *zkoušení* tkaniny na různých místech tkaniny; pro *demonstraci* ohybového zjevu osvětlíme sluncem kruhovou štěrbinu tak, že ji postavíme do ohniska spojky.

Kruhových štěrbin jest dobře míti několik o různých průměrech. Menší (o průměru menším než 1 mm) poslouží při měření ohybového zjevu, větší pak při demonstraci značnějšímu počtu diváků. Při pokusech ohybových uijeme také obvyklých štěrbin podélných.

Tkaniny vkládáme do cesty paprskům hned za čočkou, aby se dala snadno změřiti vzdálenost tkaniny od projekční plochy. Aby byla možná snadná manipulace s tkaninami, napneme tkaniny do lepenkových rámečků velikosti tohoto časopisu, v nichž jsou vyříznuty kruhové otvory velikosti čočky promítací. Vyžehlenou tkaninu přilepíme na jeden rámeček, napneme ji pečlivě ve směru osnovy i útku a pak přelepíme druhým rámečkem. Zatíží-li se rámeček hned po zhotovení, tkanina se neskrčí. Rámečky upevníjeme v držáku Bunsenova stativu.

Drátěná pletiva naletujeme na rámeček z mosazného drátu o průměru 5 mm nebo plechu. Na tyto rámečky si pořídíme lepenkový štít s kruhovým otvorem velikosti čočky, kolem kterého seřídíme kapsu na zasouvání rámečků, podobnou zařízení na nástěnných kalendářích.

Zjev ohybový jest dobře zachytiti na desce bílého neprůhledného celuloиду. Proti desce z mléčného skla má celuloidová deska tu výhodu, že jest lehká a nerozbitelná, proti papírové desce vyniká pak značnou odolností proti nárazům. Na celuloidové desce lze psáti inkoustovými tužkami a písmo toto se dá smýti. Zjev jest na celuloidové desce daleko skvělejší než na skle nebo na papíře.

Je-li vše toto v pořádku připraveno, netrvá celý pokus i s výkladem a konečným výpočtem ani půl hodiny. Vyzveme žáky, aby

pozorovali ostrý a bílý obrázek kruhové štěrbině na projekční ploše a vsuneme do cesty paprskům tkaninu. Obraz se rozletí ve čtverce zbarvených světelných skvrn, je-li tkanina pravidelná. Není-li tkanina stejně jemná ve směru osnovy a útku, vzniknou obdélníky, a je-li deformována, kosodélníky. Tento ohybový zjev se otáčí, točíme-li tkaninou kolem osy kolmé k její rovině, a prodlužuje se v jednom směru, skláníme-li tkaninu tak, aby se měnil úhel dopadu. Uživeme-li tkaniny jemnější, ohybový zjev se zvětší.

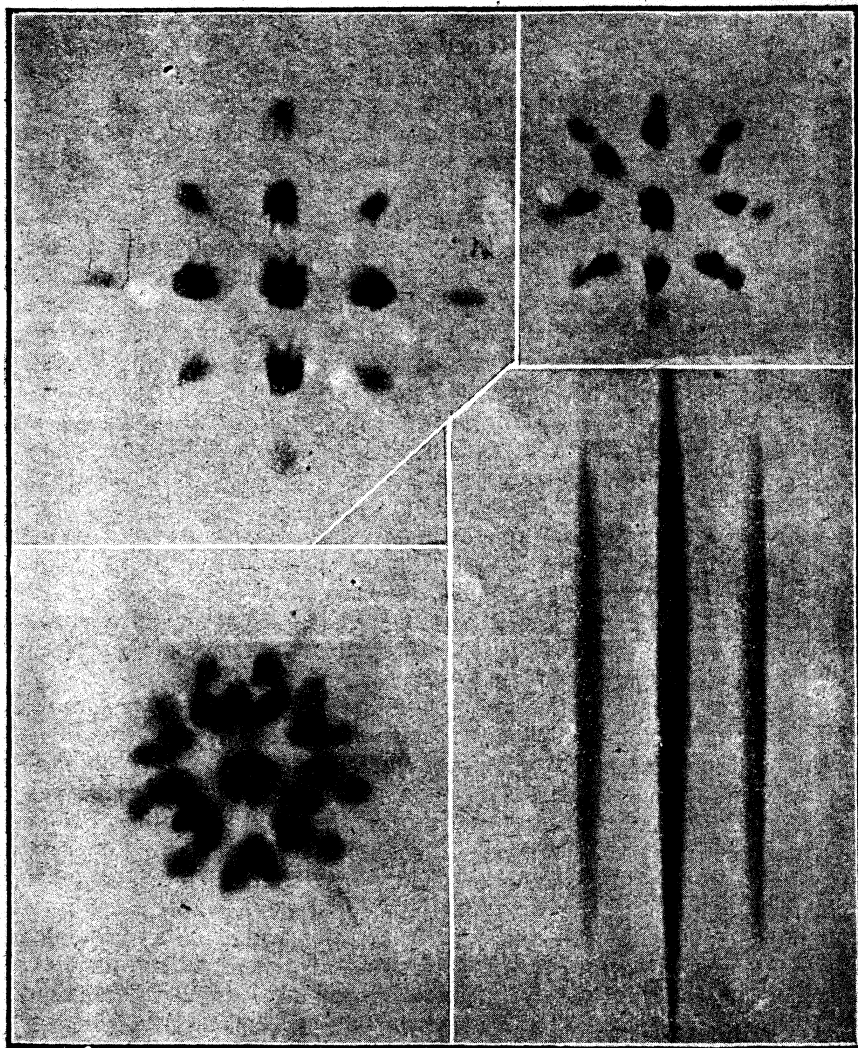
Pokus dokazuje, že 1. světlo jest povahy undulační, neboť jinak by nebyl možný ohyb, 2. z ohybového zjevu můžeme souditi jednak o struktuře tkaniny a jednak o její orientaci v prostoru, 3. vzdálenosti jednotlivých monochromatických obrazů štěrbině od středu ohybového zjevu, záleží jednak na jemnosti materiálu, jednak na délce vlny příslušného světla. Abychom názorně ukázali, že ohybový zjev záleží na struktuře materiálu, kterým světlo prošlo, použijeme hned také desky poprášené plavuní, tedy desky s ohybovými centry náhodně rozloženými. Jak k ohybovému zjevu dochází, bude žákům, kteří slyšeli již dříve o ohybu světla, beze všech dalších výkladů jasno; jest to prostě superposice dvou mřížkových spekter.

Jak již z tohoto nejjednoduššího případu ohybového zjevu tkaninou docíleného vysvítá, jest tu analogie s lauegramy přímo dána. Máme zde ohybový úkaz získaný prostupem světelného paprsku útvarem, jenž má danou strukturu, máme zde soustavu *monochromatických* skvrn, které jemnost, strukturu i orientaci útvaru prozrazují a z jejichž polohy možno nalézt i délku vlny světla, jak níže bude ukázáno. Podobnost s lauegramy vynikne ještě lépe, použijeme-li několika tkanin najednou.

Propustíme-li totiž světlo dvěma zkříženými tkaninami, dostaneme kolem centra kruh osmi zbarvených světelných skvrn, jejichž vzájemnou polohu můžeme měniti, měníce úhel osnov obou tkanin. Ohybový zjev na stěně přímo naznačuje strukturu obou tkanin i úhel otočení. Propustíme-li světlo třemi tkaninami, jejichž osnovy svírají úhel 60° , dostaneme kruh dvanácti zbarvených světelných skvrn. Poněvadž tkaniny zpravidla nepropouštějí dosti světla, řešíme věc tak, že půl kruhového otvoru rámečku pokryjeme tkaninou s osnovou daného směru a druhou půlku pak tkaninou s osnovou o 45° odchýlenou. V druhém případě pak každou třetinovou výseč kruhu pokryjeme tkaninou vhodně příříznutou tak, aby osnova běžela vždy směrem osy středového úhlu 120° výseče; obě strany pokryjeme tenkým celuloidem, aby se díly tkaniny neodchlipovaly. Při těchto pokusech dlužno ovšem pečovatí o to, aby světlo zasáhlo všechny tři výseče stejně. Jsou-li tkaniny k pokusu použité téhož druhu, ležť monochromatické obrazy štěrbině téhož řádu na kružnici (což, jak známo, plyne pro lauegramy z podmínky *Braggovy*). Natočíme-li rámeček s dvěma tkaninami tak, aby se změnil úhel dopadu, promění se kruh v elipsu.

Obr. 1.

Obr. 2.



Obr. 3.

Obr. 4.

Obr. 1. Třídící síto, počet nití 70 na 1 *cm*, $a = 404$ *cm*. Bez filtru, doba expozice 1 min. — Obr. 2. Dva skřížené hedvábné gázy moučné čís. 15, počet nití 59 na 1 *cm*, $a = 404$ *cm*. Modrý filtr, doba expozice 30 sec. — Obr. 3. Tři hedvábné gázy moučné, čís. 15, počet nití 59 na 1 *cm*, s osnovami o 60° odchýlenými, $a = 404$ *cm*. Modrý filtr, doba expozice 8 minut. — Obr. 4. Třídící síto, počet nití 70 na 1 *cm*, $a = 404$ *cm*, podélná štěrбина nestejně šířky. Modrý filtr, doba expozice 15 sec.

Ze zjevu ohybového jest ovšem přímo zřejmo, že poloha obrazů záleží na délce vlny použitého světla, avšak nebude na škodu, propustíme-li světlo barevnými filtry. Ihned jest patrno, že zelené obrazy leží hustěji než obrazy červené. Nejlépe se za filtry hodí barevné želatiny, které možno koupiti u papírníků v každé síle i barvě. Červenou a zelenou želatinou přelepíme na polovic větší otvor v rámečku. Rámečkem pohybujeme pak sem tam takovým způsobem, aby jednou světlo procházelo zelenou, po druhé červenou polovičkou; obrazy v ohybovém zjevu mění polohu.

Zajímavý úkaz nastane, užijeme-li najednou rámečku dvojbarevného a rámečku s dvěma tkaninami tak, aby hranice barev splývala s hranicí tkanin. Pak vytvoří jedna tkanina obrazy červené, druhá zelené, při čemž obě soustavy obrazů svírají úhel 45° a mají různé dimense. Zcela tak možno vytvořiti obraz dvojbarevný neb i trojbarevný rámečkem se třemi tkaninami, zakryjeme-li — třeba i dosti nepřesně — jednotlivé výseče různými filtry.

Abychom oddělili obrazy konečných partií spektra, vyloučíme zelenou barvu vhodným filtrem a použijeme obloukové lampy, která dává dosti paprsků ve fialovém konci spektra. Z celé sádky barevných želatin, jako můžeme koupiti v obálce obsahující 10 kusů, vybereme dvě, které položeny na sebe absorbují zelenou barvu. K tomu stačí několik malých zkoušek před spektrem promítnutým na stěnu obvyklým způsobem. Zasadíme je do rámečku a vložíme do cesty paprskům. Pak ohybový zjev tkaniny vykazuje jen obrazy červené a modré, dobře odlišené, jejichž vzdálenost můžeme změřiti, je-li ohybový zjev dostatečně veliký.

Nejlépe ovšem jest »vyfotografovat« ohybový zjev přímo na fotografický papír přišpendlený na promítací stěnu. To ovšem předpokládá dobré zatemnění místnosti. Poněvadž však paprsky dlouhovlnného konce viditelného spektra nepůsobí na citlivou emulsi papíru, zůstává »fotografie« tato daleko za zjevem, který přímo očima vnímáme. Za to však takový jednoduchý fotogram umožní dosti přesné kvantitativní zpracování celého zjevu, ovšem jen pro paprsky chemicky aktivní. Při pořizování fotogramů použijeme ovšem nejjemnější tkaniny, kterou máme po ruce, aby vzdálenost rozhodujících skvrn byla co možno největší, a otvoru pokud možno malého, aby obrazy byly určité. Dobu expozice volíme jednou dosti malou (15—30 sek.), chceme-li fotogramu užiti pro měření, po druhé hodně dlouhou (4—8 min.), aby se zachytily detaily méně zřetelné.

Abychom ukázali, jak lze z dimensí ohybového zjevu vypočítati délku vlny použitého světla, musíme 1. změřiti vzdálenost promítací desky od tkaniny a , 2. změřiti dimense ohybového zjevu prvního řádu x , 3. spočítati niti připadající na jeden délkový centimetr tkaniny.

Při měření 1. zatížíme na stole, na němž stojí rámeček s tkaninou, pásmo měřické velkým závažím, pásmo napneme a stanovíme polohu rámečku i stěny. Měření 2. provedeme — nemáme-li foto-

gramu výše uvedeného — tak, že na projekční desku přišpendlíme čtvrtku milimetrového papíru a najdeme polohu centra ohybového zjevu i středu spektra prvního řádu, je-li ohybový zjev malý, nebo pracujeme-li s filtrem a velkým ohybovým zjevem, polohu příslušného barevného obrazu ve spektru prvního řádu. Body, jejichž polohu měříme, můžeme si na papírové desce označiti zapíchnutými špendlíky, při čemž si desku osvětlíme trochu zakrytou kapesní lampičkou. Určení 3. jemnosti, t. j. mřížkové konstanty d tkaniny provedeme buď mlynářskou lupou, která má výřez 1 cm^2 (při čemž niť počítáme jehlou), nebo promítneme kus tkaniny promítacím strojem zároveň s nějakým měřítkem (na př. s rozevřeným kontaktním měřítkem). U tkanin užívaných v technické praxi můžeme společnouti na udání továrny, která tkaninu dodala, a kontrolu provéstí dodatečně.

K výpočtu uijeme vzorce $d \sin \varphi = n\lambda$, který jest odvozen na str. 94 *Maškovy* učebnice (1923). Místo sinu vezmeme, ježto jde o velmi malý úhel, tangentu, t. j. $\text{tg } \varphi = x/a$.

Při skutečném pokuse školním užito bylo mlynářského gázu čís. 9 z továrny Augustina Kohouta v Kdyni. Podle udání ceníku, které bylo přezkoušeno mlynářskou lupou, má tato tkanina 19 nití na $\frac{1}{2}\text{ cm}$. Jest tedy její mřížková konstanta $\frac{1}{38}\text{ cm}$. Tkanina tato není nijak zvlášť jemná (v technické praxi používá se tkanin o mřížkové konstantě i $\frac{1}{100}\text{ cm}$), proto její ohybový zjev jest jen malých dimensí. Z toho důvodu byla měřena jen vzdálenost středu spektra prvního řádu od centra ohybového zjevu x . Bylo tedy

$$d = \frac{1}{38}\text{ cm}, x = 0.80\text{ cm}, a = 404\text{ cm}, n = 1,$$

což dosazeno do hořejší rovnice dává

$$\lambda = 5.50 \cdot 10^{-5}\text{ cm} = 5500 \text{ \AA} \doteq \frac{1}{2000}\text{ mm}.$$

Počítati λ pro červený a fialový konec spektra nemělo by smyslu při tak malých dimensích ohybového zjevu; spokojujeme se tudíž s odvozením aspoň řádové velikosti λ . To konečně stačí pro účely školního vyučování, neboť jde jen o informaci, jak vypočísti λ z ohybového zjevu.

V praktiku bylo použito fosforobronzového pletiva, majícího podle udání elektrárny 4900 otvorů na 1 cm^2 , tedy mřížkovou konstantu $d = \frac{1}{70}\text{ cm}$. Světlo žárovky bylo propuštěno modrým filtrem, aby se dostaly obrazy určité. Ohybový zjev byl zachycen na fotografickém papíře krátkou expozicí a jeho dimense byly změřeny, když papír důkladně oschl. Bylo nalezeno

$$x = 1.17\text{ cm}, a = 404\text{ cm}.$$

Výpočet dává $\lambda = 4100 \text{ \AA}$, což jest zajisté dobrý výsledek.

Tímto výpočtem délky vlny světla jest dosaženo takové analogie s lauegramy, že výklad o mřížce prostorové může býti budován bez neshody.

Určení délky vlny předpokládá, že známe mřížkovou konstantu tkaniny. Pochopí tedy žáci snadno, že měl-li Laue počítati z ohybového zjevu délku vlny paprsků X , musil znáti mřížkovou konstantu prostorové mřížky krystalu použitého. Sotva bude učitel vykládáno ve zlé, zmínil-li se pro bystřejší žáky o výpočtu mřížkové konstanty pro kamennou sůl (Ježek 26, Posejpal 42), když již síť v krystalu kamenné soli jest v učebnici (Mašek 215) vyobrazena. [Mřížková konstanta krystalu určuje se dnes metodou otáčivého krystalu (Glocker 231).]

Jakkoli se může zdáti bizarní myšlenka měřiti délku vlny světla pomocí mlynářských pláten nebo drátěných sít, přece nelze upříti uvedené metodě jistou názornost; použití prostředků nejjednodušších zajisté pochopení jen usnadňuje.

Konečně bude dobře učiniti závěr, který se z těchto pokusů sám nabízí. Můžeme zajisté na jejich základě — ovšem jen v přiblížení velmi hrubém — říci: délka vlny paprsků viditelného spektra má se k délce vlny paprsků X asi tak, jako vzdálenost nití v jemné tkanině k vzdálenosti (sousedních, nestejnomyenných) iontů v krystalu. Neboť skutečně tisíce Ångströmů mají se k setinám Å jako tisíce centimetru k stomiliontinám centimetru. Tím číselná udání délek vln, která jsou pro značné procento studentů právě jen a jen ciframi, nabývají jakéhosi reálného smyslu.

Netřeba snad připomínati, že ohybový zjev tkaninou vytvořený jest přece jen dosti vzdálenou analogií lauegramů, neboť chybí zde právě rozhodující třetí rozměr, jenž činí zjev tak bohatým.

Jest pochopitelné, že z ohybových zjevů tkanin různé jemnosti můžeme odvoditi počet nití na jednom délkovém centimetru. O tomto určování jemnosti tkanin bude řeč níže.

II. Tkaniny používané v technické praxi.

Mlynářská plátna, tak zvané *hedvábné gázy moučné*, hotoví továrna Kohoutova v Kdyni ve dvou kvalitách, nelíšících se sice počtem nití na jednom délkovém centimetru, ale za to flouškou nití. Kvalita xxx má niti silnější a tudíž otvory menší než kvalita x. Jakost x jest pro válcové, jakost xxx pro rovinné vysévače. Snadno ukážeme, že dimense ohybového zjevu jsou tytéž pro plátna obou kvalit o stejném počtu nití. Jemnost hedvábných gázů moučných udává se čísly. Přehled těchto gázů, hodících se k ohybovým pokusům, jest tento:

| | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Číslo | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Počet nití na délkovém centimetru | 38 | 44 | 46 | 48 | 52 | 54 | 59 |

Jemnější plátna než čís. 15 nejsou v obchodě k dostání. Pro účely optické hodí se ovšem lépe plátna jakosti x, protože propouštějí více světla.

Drátěná pletiva fosforobronzová používaná v zařízeních na topení uhelnou moučkou, v barvárnách, škrobárnách a chemických

továrnách, tak zvaná *třídící síta* jsou dvoji. Zahraniční třídící síta dodává firma Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Prof. Dr. H. Seger u. E. Cramer, G. m. b. H., Berlín IV., W 21. Síta této firmy jsou úředně cejchovaná a jedna normální sada sít stojí asi 1400 Kč. Proto bude lépe požádati o ústřížky sít nějaký průmyslový závod, který jich potřebuje. Jemnost těchto sít jest udávána počtem nití na 1 *cm* nebo počtem ok na 1 *cm*². Hlavní druhy třídících sít uvádí *Šuchman* (Strojnický obzor 1928, str. 16).

| Počet ok na 1 <i>cm</i> ² | Tloušťka drátu v <i>mm</i> | Světlost ok v <i>mm</i> |
|--------------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 900 | 0·11 | 0·23 |
| 2500 | 0·075 | 0·128 |
| 4900 | 0·055 | 0·095 |
| 6400 | 0·050 | 0·075 |

V tuzemsku vyrábí síta firma Hutter & Schrantz, Praha VII, Rudolfova 9. Pro naše účely hodí se fosforobronzové tkaniny, jejichž jakost jest označena *J*. Jemnost tkaniny udává se číslem, jež značí počet nití na jeden vídeňský palec. Síta tato propouštějí hodně světla. Jsou k dostání v družích uvedených v tabulce.

| Počet nití na 1 vídeňský palec | Tloušťka drátu v <i>mm</i> | Světlost ok v <i>mm</i> |
|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 100 | 0·10—0·11 | 0·158 |
| 110 | 0·09—0·10 | 0·145 |
| 120 | 0·08—0·09 | 0·134 |
| 140 | 0·07—0·08 | 0·013 |
| 150 | 0·06—0·07 | 0·110 |
| 165 | 0·06—0·07 | 0·100 |
| 180 | 0·05—0·06 | 0·091 |
| 200 | 0·04—0·05 | 0·086 |
| 220 | 0·03—0·04 | 0·080 |
| 250 | 0·03 | 0·075 |

Tkaniny jsou 1 *m* široké a stojí metr čís. 130/ 90 Kč, metr čís. 250/ 356 Kč.

Zasazení jemné tkaniny drátěné do rámečku jest věc dosti svízelná a lépe jest svěřiti tuto práci klempíři. Nutno mu ovšem dodatí tkaninu úplně rovnou, neboť by ji poškodil, kdyby ji klempířskou paličkou narovnával. Dobře jest však aspoň jednu tkaninu hodně pomačkatí a ukázati její ohybový zjev. Mlynářská plátna nejsou tak choulostivá jako tkaniny drátěné, za to však jemnost drátěných sít jest vyšší.

III. Určení jemnosti tkaniny z ohybového zjevu.

Provedeme-li ohybový pokus s několika různými tkaninami, jejichž mřížkové konstanty známe, ukáže se, že vzdálenost spekter prvního řádu od centra ohybového zjevu jest přímo úměrna počtu

nití na délkovém centimetru, tedy nepřímou úměrnu mřížkové konstantě.

Toho použití můžeme k určení jemnosti předložené tkaniny, máme-li tkaninu o známém počtu nití. Tak na př. pro tkaninu o 70 nitích bylo změřeno $x_1 = 1.17 \text{ cm}$, pro ústřížek mlynářského plátna, který opomenutím nebyl označen, bylo $x_2 = 1.00 \text{ cm}$; nazveme-li počet nití tkaniny předložené q , platí úměra

$$1.17 : 1.00 = 70 : q,$$

z níž jest $q = 59$. Z toho tedy můžeme souditi, že ústřížek jest z mlynářského gázu čís. 15.

Máme-li tkanin dosti, určíme pro každou počet nití na délkovém centimetru, který nanášíme do grafu jako úsečku, i vzdálenost spekter prvního řádu od centra ohybového zjevu, kterou nanášíme jako pořadnici. Příмка grafu vyjadřuje pak závislost dimense ohybového zjevu na jemnosti tkaniny a poslouží nám dobře k určení jemnosti jakékoli tkaniny, jež nám bude ke zkoušení předložena. Změříme jen její ohybový zjev a z grafu odčítáme počet nití na centimetru. To ovšem předpokládá, že štěrbinu, čočka i projekční stěna zůstanou na svém místě a že různé tkaniny vkládáme na totéž místo. Věc se dá snadno zařídit tak, že tkaniny napíná jeden praktikant prsty přes pevný rámeček a druhý měří ohybový zjev.

K takovému měření hodí se dobře štěrbinu podélná; ohybový zjev jest pak úplně totožný s ohybovým zjevem mřížky. Ovšem je nutno pečovati o to, aby osnova tkaniny byla rovnoběžná se štěrbinou, kdežto při štěrbině kruhové netřeba vůbec na směr osnovy dávat pozor. Za to však jest měření snazší, neboť barevné čáry jest lépe viděti než barevné body. Můžeme tedy použití vhodného filtru. Nejlépe se k tomu hodí nahoře popsany filtr, absorbující zelené světlo; měříme pak vždy vzdálenost mezery mezi čarou červenou a modrou od čáry centrální.

Abychom docílili při měření větší přesnosti, použijeme štěrbinu nestejně široky. Tenký list černého neprůhledného celuloidu částečně přestřihneme tak, aby zůstal souvislým na dosti značné délce. Horní souvislý konec a jednu dolní polovici přibijeme na lepenku, v níž jsme dříve vyřízli širší štěrbinu podélnou; druhou polovici malinko nakrčíme a pak teprve přibijeme. Tento rámeček vložíme do cesty paprskům. Je-li štěrbinu úzká, zastrčíme mezi lepenku a celuloid ústřížek papíru, který volíme tak silný, aby se štěrbinu rozevřela podle potřeby. Šířka takové štěrbinu přechází na souvislém konci celuloidu až k nule. Posouváním celého rámečku dostaneme na stěně vždy obraz štěrbinu žádané jemnosti.

Zajímavý úkaz nastane, natočíme-li tkaninu, takže její osnova svírá se štěrbinou nějaký úhel. Vzniknou nové obrazy štěrbinu, které se vzdalují, když se úhel osnovy tkaniny a štěrbinu zvětšuje. Zjev snadno pochopíme z ohybového zjevu štěrbinu kruhové, představíme-li si, že by se celý zjev pohyboval směrem štěrbinu.

Toto objektivní pozorování má ovšem tu vadu, že měření nikdy nelze provést s dostatečnou přesností, nechceme-li fixovat zjev na fotografických papírech. Neboť při měření musíme státi na té straně, odkud světlo přichází. Daleko pohodlnější jest metoda *spektroskopická*, pro niž nám postačí i zcela malý ústřížek tkaniny. Ústřížkem tkaniny, který jednoduše držíme v ruce, zakryjeme čočku kolimátoru spektroskopu, před jehož šterbinou hoří natriový plamen. Čára se ohybem světla v tkanině rozletí na tři čáry, je-li osnova rovnoběžná se šterbinou. Natáčíme-li trochu tkaninu, vidíme, jak se ještě každá čára rozdělí. Nutno tedy natáčet tak dlouho, až uvidíme jen tři čáry, z nichž střední jest čára D v původní poloze a ostatní dvě jsou obrazy šterbiny v spektrech prvního řádu. (Jen u tkanin velmi jemných podaří se nám zachytiti i čáry ve spektrech druhého řádu.) Odečteme-li polohy těchto čar, najdeme vzdálenost čáry ohybem vzniklé od čáry centrální, a to v dílech stupnice spektroskopu. Provedeme-li toto měření pro několik tkanin známých mřížkových konstant a sestrojíme graf nahoře uvedený, určíme snadno jemnost tkaniny, jejíž mřížkovou konstantu neznáme. Bylo určeno na př.:

| Druh tkaniny | Počet nití na 1 cm | Polohy čar D | | | Vzdálenost y čar od centrální čáry |
|---------------------------|-----------------------|----------------|---------|-------|---|
| | | levé | střední | pravé | |
| Mlynářský gáz čís. 9 | 38 | 17·10 | 17·75 | 18·40 | 0·65 |
| Třídící síto čís. 130 J | 49 | 16·90 | 17·75 | 18·60 | 0·85 |
| Neznámá tkanina | q | 16·75 | 17·75 | 18·75 | 1·00 |
| Třídící síto čís. 250 J | 95 | 16·10 | 17·75 | 19·40 | 1·65 |

Naneseme-li do grafu počet nití jako úsečku a vzdálenost y jako pořadnici, dostaneme přímku, na níž pro $y = 1·00$ najdeme ihned $q = 59$, z čehož určíme neznámou tkaninu jako mlynářský gáz čís. 15.

Pánům: red. prof. Friedrichovi, řed. inž. Šuchmanovi, tov. inž. Zmrzlému a řed. inž. Matesovi děkuji za cenné informace, jichž jsem použil.

V Českých Budějovicích dne 14. dubna 1928.

Dr. JAN BŘEZINA:

O fyzikálních cvičeních žactva středoškolského.

(Zpráva historicko-statistická, přednesená 27. května 1928 o VI. sjezdu přírodozpytců v Praze.)

O 5. sjezdu přírodozpytců mluvil jsem s tohoto místa »O vzniku a rozvoji fys. praktika« na našich středních školách. Dnes stojím zde zvláštním řízením osudu opět, abych o téměř předmětu pojednal, ale za změněných poměrů. Budu mluvití větším dílem slovy,