

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

V. Šebesta

Příspěvek k pozorování ohybových úkazů Abbeových dalekohledem

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 67 (1938), No. Suppl., D26--D32

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/120785>

Terms of use:

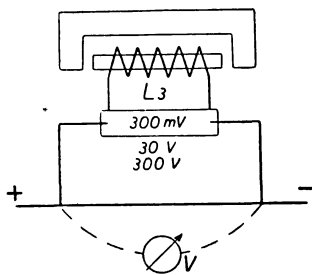
© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1938

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*.

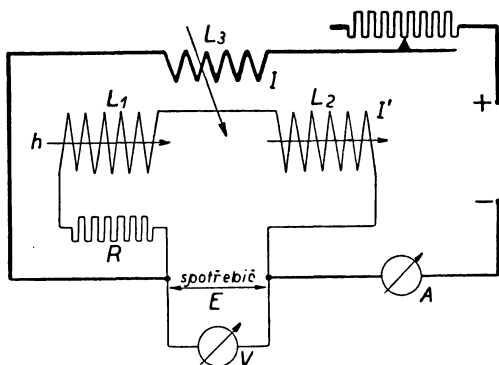


This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

do serie se spotřebičem, jehož výkon hledáme. Cívky L_1 a L_2 připojíme jakožto voltové do větve ke spotřebiči. Aby se výkon spotřebiče zapojením pevných cívek L_1 a L_2 zdatelně nezměnil, jest třeba zařadit k nim do serie velký neinduktivní odpor R .



Obr. 4.



Obr. 5.

Síla magnetického pole cívek L_1 a L_2 jest $h = kI' = k \frac{E}{R + r} = k''E$. Tato intenzita táhne proud I cívky L_3 silou $P = k_1 h I l = k_2 h I = k_3 E I = k_3 N$. Pak výkon $N = \kappa P$. Výkon jest úměrný tažné síle. Štupnice není u našeho přístroje graduována ve watech. Určíme-li však $\kappa = N_0 : P_0$ pro určitý výkon N_0 a odpovídající sílu P_0 , pak stačí pro jiný výkon čísla P na stupnici tímto κ násobiti.

Popsaný přístroj, který má, jak viděti, tak neobvyklé možnosti pro studium základních jevů a zákonů galvanometrie, osvědčí se jistě jako dobrá pomůcka učitelova při výkladu i při cvičeníh žákovských.

Jsme přesvědčeni, že praxe ukáže jeho veliké přednosti a že se jím vyplní opět jedna mezera mezi pomůckami našich škol.

Příspěvek k pozorování ohybových úkazů Abbeových dalekohledem.

Prof. Dr. Václav Šebesta, Příbram.

Ohybové úkazy Abbeovy demonstrovaly se do nedávna zpravidla jen na mikroskopu. Tak na př. k Zeissovu mikroskopu přidán je k tomu účelu kratší nástavec k vešroubování mezi objektiv a okulár, do nějž se stranou vkládají příslušné clonky. Pozorova-

nými předměty jsou optické mřížky, ovšem s poměrně značnou konstantou oproti mřížkám spektrálním. Jako na každé mřížce, vznikají i na oněch, jež se v tom případě kladou na stoleček mikroskopu, následkem ohybu světla řádová spektra, určitě rozložená, podle známého vztahu

$$(p + q) \sin \alpha_k = k \cdot \lambda,$$

kde značí p šířku štěrbin, q šířku neprůhledného pruhu mezi štěrbinami, tedy $p + q = l$ mřížkovou konstantu, α_k úhel mezi směrem dopadajícího světla a směrem, v němž vzniká řádové spektrum, k řád spektra a λ délku světelné vlny.

Ta z řádových spekter, jež vniknou do objektivu a postupují nerušeně dále, vytvářejí obraz mřížky, jež lze pozorovati okulárem. O teorii tohoto druhu zobrazování, t. j. zobrazení předmětů nesvítících, pojednáno je v naší literatuře v Kučerově *Geom. optice* na str. 443 nebo ve Strouhal-Novákové *Optice* na str. 271.

Vhodně upravenými clonkami dají se některá z oněch řádových spekter zachytiti tak, že „obraz“ mřížky vytvoří se jen ostatními zbylými spektry. Jak potom takový „obraz“ vypadá, poučí několik následujících slov.

Nechť se jedná na př. o mřížku o 20 otvorech příp. vrypech na 1 cm. Její řádová spektra odchyľují se od sebe o určitý úhel α . Jiná mřížka, na př. o 40 otvorech, příp. vrypech na 1 cm má řádová spektra svá uchýlená o úhel 2α od sebe, takže cet. par. padne její prvé řádové spektrum na místo druhého spektra 20vrypové mřížky, druhé na místo čtvrtého atd. Kdyby se však ze spektra 20vrypové mřížky odclonilo vhodnou clonkou prvé, pak třetí atd. řádové spektrum její, takže by se zobrazení dalo jen druhým, čtvrtým atd. řádovým spektrem, vidělo by oko pozorující okulárem jakožto „obraz“ její to, co této rozloze spekter odpovídá, t. j. mřížku o 40 vrypech na 1 cm, ač ve skutečnosti jest předmětem mřížka o 20 vrypech na 1 cm.

Obraz neodpovídá tedy předmětu. Podobně je tomu i v četných jiných případech a všechny ty zjevy slují ohybovými úkazy Abbeovými.¹⁾

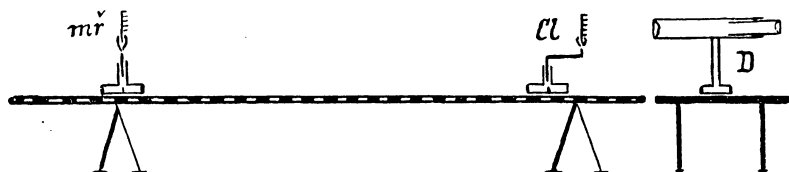
Ale nejen na mikroskopu dají se zjevy ty pozorovat. Všude tam, kde lze řádová spektra mřížek či pod. útvarů odcloniti a nechat tak vzniknouti obrazu ze zbylých spekter, objevují se analogické úkazy. Pochopitelně lákaly také k objektivní demonstraci a třebaže jsou celkem málo světelné, dají se objektivně ukázati.²⁾

¹⁾ E. Abbe (1840—1905) zabýval se vedle velmi četných jiných optických problémů také těmito zjevy, k nimž podal teoretické základy.

²⁾ U. Behn a W. Heuse (*Verh. d. d. ph. Ges.* 1906), A. Winkelmann (*Ann. d. Ph.* 1906), Lakeman a Groosmuller (*Z. f. Ph.* 1929), V. Šebesta (*Horn. Věst.* 1930).

V následujícím podávám několik pokusných případů, kdy lze úkazy ty pozorovati v jednoduchém dalekohledu, jakého se používá, na př. v laboratoři k odečítání výchylek na stupnici a jehož zvětšení jest asi 10—12násobné. Pozoruje se ovšem subjektivně, za to však jsou zjevy ostré a světelné, každá součástka pokusného uspořádání jest přímo viditelná a jejich polohy lze velmi snadno měniti. Případů, které lze tak demonstrovati, jest velká řada a každý experimentátor může si vše potřebné k tomu levně a snadno pořídit.

Sestavení pokusu znázorňuje dolejší schematický obrazec (obr. 1). Dalekohled *D* postaví se u jednoho konce jednoduché optické lavice asi 2metrové. Na druhém konci umístí se stativ nebo



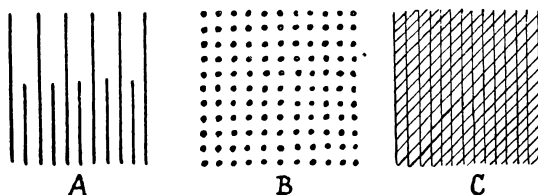
Obr. 1.

lépe jezdec, do něhož lze zachytiti mřížky nebo pod. předměty. Pozorovatel zaostří dalekohled na tyto předměty tak, že jejich struktura, t. j. počet vrypů, teček a pod. dá se v dalekohledu pohodlně určití. Do druhého jezdece *J* zasadí se vhodná clonka *Cl*. Pro mnohé pokusy jest účelné použití při tom pro clonku takového držátka, jak je to na obr. naznačeno, t. j. zahnutého dvakrát v pravém úhlu a otáčivého kol svislé osy jezdece. Pak lze otočením jeho buď dáti clonku stranou, nebo ji zase vrátiti zpět na dané místo. Správná poloha clonky pro typický ohybový úkaz udá se pošínováním jezdece *J* na lavici.

Clonky a mřížky lze si pořídití buď z drátu nebo nakreslití je příp. ofotografovati ji z většího výkresu na diapositivní desku. Drátěné zhotoví se známým způsobem takto. V mosazné plechové deštičce as 1 mm silné rozměrů na př. 5krátě 6 cm vyřízne se okénko 2krát 3 cm. Na každém užším okraji přiletuje se silnější mosazný drát opatřený vhodně hustými šroubovými závity. Kol okénka navine se po rýhách tenký železný nebo mosazný drát a konce jeho se přiletují k plechu. Na to se také všechny závity na užších okrajích k němu přiletují a konečně se jedna strana (řada) drátů upiluje. Zbývající dráty tvoří ohybovou mřížku příp. clonku. Podle toho, jak silného drátu se použije a jak husté jsou závity, je mřížková konstanta různá. Zvláště výhodné jsou mřížky, jichž štěrbiný jsou oproti tloušťce drátů malé; těch lze s prospěchem

užití jako mřížek předmětových. Clonka, již jsem v pokusech níže uvedených použil, byla zhotovena z drátu 0,6 mm silného, mřížková konstanta byla 1 mm, všech drátů bylo 19; osvědčila se velmi dobře.

Mřížky na skle mohou býti ovšem velmi rozmanité. Lze je na skle přímo narýsovat nebo obdržeti cestou fotografickou. Několik případů uvádím v obr. 2. Tak mřížka *A* sestává s polovice štěrbin



Obr. 2.

asi 0,3 mm širokých, od sebe asi 1 mm vzdálených, kdežto ve druhé polovině je mřížka dvakrátě řidší. Celá mřížka má rozměry asi 2krát 2 cm. Byla zhotovena ofotografováním z většího výkresu na diapositivní desku. Mřížku *B* tvoří soustava teček ve vodorovném i svislém směru asi 1 mm od sebe vzdálených, mřížku *C* dvě soustavy štěrbin pod úhlem 45° se protínajících, takže vznikají malé koso-délníčky. Vzdálenost jedné jest asi 2 mm, druhé asi 1,5 mm od sebe. Obě připraveny fotograficky. Ve všech případech lze použití stejně dobře jak negativů tak pozitivů. Podobným způsobem dají se poříditi také jiné případy v obr. neudané, na př. mřížky ze štěrbin rozbíhavých, soustředných kružnic, trojúhelníků, kroužků, písma a pod.

Kromě uvedených již clonky drátěné osvědčily se mi clonky narýsované přímo na skle. Z nich jedna měla stejnou šířku (asi 1 mm) štěrbin i neprůhledných pruhů, druhá štěrbin dvakrátě užší. Tato poslední propouštěla při jednoduché předmětové mřížce každé třetí její spektrum řádové, takže počet jejich štěrbin se jevil pak trojnásobným.

Pozorování lze konati výhodně při světle bílém, t. j. zírati na mřížky proti obloze. Optická lavice postaví se v tom případě směrem k volnému oknu. Pro pokusy se světlem monochromatickým hodí se velmi dobře natriový hořák; ale také lze bílé světlo oblohy propustiti barevným filtrem na př. Wrattenovým, jenž vymezuje z vidma úzký pruh barevný. Tehdy jsou sice úkazy tmavější, přece však za světlé oblohy dosti zřetelné.

Jak známo, překládají se další řádová spektra přes sebe, a proto se ve světle bílém pozoruje často ohybový úkaz zbarvený, zejména tehdy, není-li poloha clonky správná.

Podávám nyní některé z pokusných výsledků:

1. Předmětem budiž mřížka A umístěná na konci lavice, tedy ve vzdálenosti asi 2 m od dalekohledu. Jezdec, v němž se upevní clonka Cl ze silnějšího drátu, postaví se na lavici blízko dalekohledu. Nejprve se clonka se svým držátkem pootočí rukou poněkud stranou, tak aby se dalekohled mohl zaostřit na mřížku. Počet čar mřížky se odpozoruje. Na to se clonka pootočí zase nazpět do centrální polohy. Ukáže se, že nyní počet čar v řidší polovině dvojnásobný, kdežto v polovině hustší zůstane stejný. Kdyby se ukaz nejevil dosti ostře, pošnuje se jezdcem se clonkou v jednom či druhém směru, až se obraz stane nejzřetelnějším. Je-li poloha clonky, jako v tomto případě, blízko pozorovateli, může ji z jezce vyjmouti a stáčetí ji rukou v její rovině zachovávajíc při tom její centraci. Když se tak clonkou otočí o úhel asi 60° , objeví se v hustší polovině čtyřnásobný počet čar, v řidší přistoupí ke každé čáře dvě postranní. Při otočení o 90° zmizí ovšem ukaz z obou půlek, clonka je bez vlivu, mřížku je viděti normálně. Jiné clonky dávají úkazy poněkud změněné. Konečně lze použítí na místo clonky jednoduché šterbiny regulační, jaké jsou při spektrálních přístrojích. Zúží-li se její šířka asi na $\frac{3}{4}$ mm, splyne hustší polovina v jedinou plochu slabě a stejnoměrně osvětlenou, čáry vůbec nejsou patrný, v polovině řidší jeví se ještě, byť již jen málo zřetelně, čáry jako dřív. Použije-li se silnějšího okuláru, než je v dalekohledu, na př. některého z mikroskopu, dá se ukázati, že zvětšení řidší poloviny je sice větší, kdežto hustší zůstává stále bez detailů; tak by se dalo demonstrovati zvětšení užitekve a prázdné.

Pošnuje-li se jezdcem s drátěnou clonkou z původní polohy u dalekohledu po optické lavici směrem od něho, mizí částečně příslušný ukaz a přechází v jiný. Nalézá-li se clonka ve vzdálenosti asi 60 cm od dalekohledu, ztrojnásobí se počet řidších čar, kdežto obraz hustší poloviny stane se neurčitým. Pošine-li se clonka na 1 m od dalekohledu, vznikne obraz podobný jako při stočení clonky o 60° v původní vzdálenosti od dalekohledu.

Jak patrnó z těchto pokusů, odpovídá struktura obrazu tomu systému řádových spekter, které vytvořeny byvši předmětem, projdou danou clonkou; nemusí však obraz se shodovati s předmětem. Má-li předmět velmi jemnou strukturu, kdy již prvé řádové spektrum je tak odchýleno, že do objektivu se nedostane, nerozliší ani ten nejúčinnější přístroj, dalekohled či mikroskop, jeho struktury; rozlišovací schopnost jejich má - jak známo - svou mez.

Pokusu se šterbinovou mřížkou lze použítí ke kvantitativnímu sledování úkazu — třeba jen s orientační přesností. Jednoduchá mřížka šterbinová měž konstantu l . Pro k -té řádové spektrum platí, jak uvedeno

$$\lambda = \frac{l \sin \alpha_k}{k}.$$

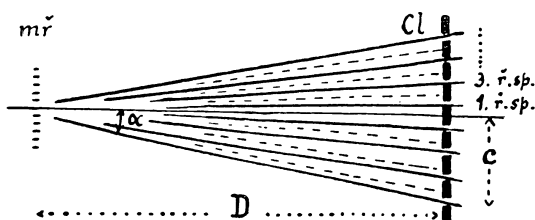
Protože jest (obr. 3) — odclání-li se na př. každé druhé spektrum—

$$\sin \alpha_n \doteq \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{c_n}{D},$$

vychází

$$\lambda = \frac{lc_n}{kD}.$$

Z této rovnice lze počítati délku vlny použitého světla. Mřížka se osvětlí na př. hořákem natriovým nebo barevným světlem z Wrattenových filtrů a clonkou se pošinouje tak po lavici, až se počet čar ostře zdvojnásobí. Častějším pozorováním lze nabýti náležitého



Obr. 3.

cviku v zaostřování. Vzdálenost D mřížky od clonky se pak odečte a hodnota její dosadí se do rovnice pro λ . Výsledek má ovšem souhlasit s délkou vlny použitého světla. Udávám několik příkladů. Předmětová mřížka měla konstantu $l = 0,50$ mm, jak jsem v mikroskopu zjistil. Počet štěrbin byl 8, šířka jedné štěrbiny jen asi 0,1 mm. Mřížka postavena do vzdálenosti 130 cm od dalekohledu. Pro natriové světlo vycházelo z několika pokusů průměrně $D = 450$ mm. Na drátěné clonce připadalo 15. řádové spektrum do vzdálenosti $c_{15} = 8,0$ mm od středu. Dosazením vychází $\lambda = 0,593 \mu$, což s délkou vlny natriového světla souhlasí. Pro červený filtr Wrattenův No. 71 určeno podobně $D = 420$ mm. Vyjde pak $\lambda = 0,635 \mu$ jakožto průměrná délka vlny pro červenou barvu filtru. Ke srovnání uvádím $\lambda_g = 0,6563 \mu$ pro červenou čáru vodíkovou. Pro zelenomodrý filtr Wrattenův No. 75 naměřil jsem $D = 590$ mm, z čehož plyne pro dotýčnou barvu $\lambda = 0,452 \mu$. Pro vodík jest $\lambda_z = 0,4861 \mu$ a $\lambda_m = 0,4341 \mu$.

2. Předmětem budiž mřížka tečková. Clonka ze silnějšího drátu umístí se opět v blízkosti dalekohledu. Úkaz je zde obzvláště zajímavý a ostrý. Jsou-li dráty clonky vertikální, objeví se dvojnásobný počet teček ve směru vodorovném, ve svislém směru zůstane počet teček stejný. Otáčí-li se pak clonkou v její rovině uchylují se ony „přespočetné“ tečky ze svých míst, po otočení

o 45° je vidět zdvojnásobený počet teček ve směru úhlopříčném, a obdobný úkaz nastane po otočení o 90° . Pokus daří se velmi dobře.

3. Předmětem budiž mřížka kosodélníková. Clonka táž. Podle toho jak jsou orientovány dráty clonky vůči jedné či druhé soustavě štěrbin, ukazuje se v souhlase s příp. 1. a 2. zmnohonásobení jejich příp. nezměněný počet, a mění se tudíž při otáčení clonky v její rovině obraz velmi pestře a zajímavě.

Dalších případů neuvádím, a také toho zajisté není zapotřebí. Každý případně sám na mnoho jiných. Budiž jen poznamenáno, že předmětové mřížky lze umístiti v různých vzdálenostech od dalekohledu; následkem toho nutno změnit ovšem i polohu clonky pro daný ohybový úkaz. To vše se zjistí pokusně velmi snadno. Před mřížku předmětovou lze někdy s výhodou postavit širší štěrbinu do vzdálenosti několika cm k odclonění postranního světla.

Konečně podotýkám, že je i pouhým okem možno do jisté míry postřehnouti výše uvedené úkazy. Dívá-li se totiž pozorovatel na předmětovou mřížku tečkovou nebo štěrbinovou proti bílé obloze ve vzdálenosti odpovídající jeho dálece zřetelného vidění, nebo o něco větší, na př. 40 cm, a dá-li těsně před oko jemnější mřížku drátěnou jakožto clonku, spatří obdobné, byť ne tak čisté a zřetelné úkazy, jako je poskytuje dalekohled.

Uvedené pokusy spadají pod t. zv. zobrazování předmětů nsvítících, jak již bylo nahoře podotčeno. Ale problém ten přece jen není — obecně vzato — tak jednoduchým, jak by se snad mohlo zdáti na prvý pohled a proto je na místě náležitá opatrnost při úvahách o důsledcích a aplikacích těchto zjevů. Jedná se totiž při tom hlavně o to, zda předmět nsvítící jest osvětlen jen z jedné strany, či z více stran. Odkazují v té věci čtenáře na nejdůležitější práce z posledních let:

1. H. Siedentopf: „Über die optische Abbildung von Nichtselbstleuchtern“, v níž se jedná o zobrazování diatomeí ve tmavém poli a o srovnání rozlišovací mohutnosti oproti poli jasnému (Zeitschr. f. Phys. 50 (1928)), dále

2. M. Berek: „Über die wirkliche Abbildung von Nichtselbstleuchtern u. ihre Grenzen“ (Zeitschr. f. Phys. 53 (1929)).

3. H. Boas: „Über die opt. Abbildung von Nichtselbstleuchtern“ (Zeitschr. f. Phys. 52), kde se pojednává o těchto otázkách a diskutují se výsledky Siedentopfovy. Konečně na

4. Hdb. d. Phys. XVIII, str. 271.

Z fyzikálního ústavu vys. školy báňské v Příbrami.