

**Posudek práce předložené k obhajobě
na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy**

- posudek vedoucí/vedoucího posudek oponentky/oponenta
 bakalářské práce diplomové práce

Název práce: Difrakce a jiné optické jevy ve výuce fyziky na střední škole

Jméno, příjmení a tituly autorky/autora práce: Bc. Markéta Matějková

Studijní program: Učitelství fyziky pro střední školy

Rok odevzdání: 2024

Jméno a tituly vedoucí/ho nebo oponenta: RNDr. Stanislav Gottwald

Pracoviště: Gymnázium, Praha 9, Špitálská 2

E-mail: stanislav.gottwald@centrum.cz

Hodnocená oblast	Hodnocení
Oborová úroveň (zejména fyzikální)	Velmi dobrá
Didaktická úroveň (zejména metody sběru a analýzy dat v didaktickém výzkumu, přiměřenost vzniklých materiálů)	Průměrná
Práce s literaturou	Výborná
Jazyková úroveň práce (srozumitelnost textu, členění textu, stylistika, pravopis)	Výborná
Grafická úroveň práce (formátování textu, typografie, přehlednost tabulek, kvalita obrázků, videí)	Výborná
Zásady pro vypracování práce	Splněny

Slovní hodnocení (včetně upřesnění případných výhrad; mj. lze posoudit originalitu a kreativitu zvolených řešení, náročnost tématu apod.):

Cílem práce bylo zmapování (rešerše) materiálů, které se zabývají difrakcí na úrovni SŠ a seznámení se s dostupnými pomůckami (zejména ve sbírkách KDF). Dalším důležitým cílem bylo zpracování stručného teoretického úvodu k výuce těchto optických jevů na SŠ a na základě toho navrhnout a vypracovat několik vhodných aktivit k danému tématu včetně metodik a alespoň částečného ověření těchto aktivit ve výuce.

Celou práci je možné rozdělit do dvou celků, přičemž každý z nich má dvě podkapitoly. První celek se zabývá difrakčními jevy, druhý některými dalšími optickými jevy kolem nás. Rozsahově jsou oba celky téměř identické; druhý je o několik stran delší, což je způsobeno větším počtem autorčiných obrázků (fotografií). Tento druhý celek rozšiřuje původní zadání diplomové práce. Oba celky se pak dělí na část teoretickou a dvě až tři navržené studentské aktivity (cvičení).

Teoretická část difrakčních jevů je dále rozdělena do tří podkapitol: rešerše pro SŠ nejdostupnějších tištěných materiálů a elektronických zdrojů, samotná teorie difrakce a kapitola popisující diplomantkou navržené aktivity.

Kapitola 1.1.1. je věnována tištěným zdrojům, které může čtenář získat v českém jazyce. Prakticky celé 4 stránky jsou věnovány kritice nejrozšířenější učebnice optiky od doc. Lepila. Jde o subjektivní názor diplomantky, se kterým mnohdy mohu ale mnohdy nemohu souhlasit. Často záleží na úhlu pohledu a okolnostech, které neznám a které mi nepřísluší hodnotit. Nicméně tvrzení, že „platí pravidlo co stránka, to problém“ mi připadá trochu přehnané. V každém případě jde o problémy vhodné k diskusi a je chvályhodné, že se diplomantka pustila do tak zevrubného rozboru. Problém trochu je v tom, že některých kritizovaných „chyb“ se ve svém textu později dopouští sama (zatímco v této učebnici diplomantka např. relativizuje znalost žáka 3., event. 4. ročníku SŠ, obsahu pojmu „modelování“ - viz str. 5 nahoře, sama používá pojmy, které přesahují rámec SŠ: např. inverzní funkci k funkci sinus, a to ještě ve dvojím značení jako arcsin, či sin na -1 – úpravy na straně 98 a 99 jsou zřejmě jen vybraným studentům, opravdovým zájemcům o matematiku, které tento přístup sice může potěšit, ale i ty někdy naopak odradit; naproti tomu něco o modelování by žáci měli vědět z IT, ale i intuitivně jim je tento pojem bližší, a i pouze intuitivní znalost je pro pochopení textu v učebnici dostačující). Z hodnocení dané učebnice usuzuji, že diplomantce s největší pravděpodobností chybí podrobnější matematické vysvětlení, a to i s použitím pojmů a aparátu vysoce přesahující rámec SŠ. I když to explicitně nezmiňuje, cílí tedy spíše na úzkou skupinu velmi nadaných studentů; není to ale ani v zadání práce. Jistě není chybou doporučovat středoškolským studentům vysokoškolské učebnice, ale je třeba vzít v úvahu, že tato nabídka není pro běžného středoškoláka, byť by se o fyziku zajímal (viz doporučení Optiky prof. Malého s poznámkou, že si student snadno dostuduje – a zřejmě i pochopí – operátory div, grad, „laplace“, tenzor a „výhodou je znalost Maxwellových rovnic“, str. 9 třetí a čtvrtý odstavec).

V kapitole 1.3. se diplomantka zabývá pomůckami, které může učitel i žák využít ke zkoumání difrakce. V kapitole 1.3.2. jsou uvedeny pomůcky, které má k dispozici KDF MFF UK.

I když se diplomantka zabývá difrakcí světla, jsou zde uvedeny i některé pomůcky, které se týkají difrakce mikrovln a mechanického vlnění; tím je pochopitelně využito analogie. U mechanického vlnění je zmíněna jen souprava pro difrakci ultrazvuku. Pro zvýraznění analogie by bylo ale dobré uvést i soupravu na difrakci vln na vodní hladině, která se na katedře (a v některých sbírkách SŠ) nachází. I když u mikrovlnné soupravy se používá elektromagnetické vlnění, nejedná se o světlo, jak (zřejmě nevědomky) diplomantka uvádí (viz např. spojení „světelná mikrovlna“, „světelná energie mikrovln“, nebo přímo píše o „intenzitě modulovaného světla“). Podobně v kapitole o ultrazvuku píše o intenzitě světla místo intenzitě např. záření, vlny apod (str. 34., uprostřed prvního odstavce).

Je evidentní, že diplomantka má v dané oblasti široké znalosti, které by ráda do práce vtělila, nicméně (pravděpodobně) nedostatek času jí vedl k jisté nevyváženosti textu: některé části jsou až zbytečně obsáhlé, zabíhají až do filozofických úvah, jiné pak ve srovnání s výše uvedenými upoutají svojí stručností. Minimálně by stálo za zmínku v úvodu stručnějších kapitol tuto skutečnost uvést, případně odkázat na nějaký zdroj, ze kterého by se čtenář dověděl víc (viz např. celá kapitola 3.1.3., poslední odstavec této kapitoly je přímo nabyt nezodpovězenými otázkami a opatřen závěrem: „Na tomto místě čtenáře opustíme a přesuneme se k výkladu dalších pojmů...“; žádný odkaz – přičemž i menší nedotažení jsou předmětem kritiky diplomantky v úvodní rešerši). Na druhou stranu právě zde diplomantka předpokládá, že se k dané oblasti později podrobněji vrátí, což je chvályhodné. Podobně kapitola 3.1.4. s názvem „Optické vlastnosti objektů“ sestává jen z jednoho odstavce, do kterého chce diplomantka vtěsnat vše, co zná. To ale na tak malé ploše evidentně není možné (tato zkratkovitost však vede k fyzikálním nepřesnostem a pochopitelným zjednodušením, které diplomantka jinde sama kritizuje), a bylo by proto lepší celou kapitolu raději vynechat.

Další nevyváženost (nesourodost textu) spatřuji v obtížnosti textu pro žáky SŠ. Zatímco např. teoretický úvod je (především formou) pro žáky minimálně nezvyklý, a tedy mnohdy o to obtížnější (zejména to platí pro kapitolu 3.1.1., která je pro běžného žáka formulována spíše tak, jak je stavěna matematická analýza pro studenty VŠ, tedy sice strukturovaným, ale pro žáky nepřirozeným způsobem), diskutované dělení žáků do skupin je zbytečně obsáhlé a je mu věnována celá jedna kapitola, přičemž zcela zbytečně diplomantka zavádí pro skupinovou práci symbol S a pro samostatnou M (viz str 66-67): „ V prvním případě (var. M) si musí každý student poradit sám, v druhém případě (var. S), řeší studenti úlohu společně“; jedná se přitom o jediné použití symbolů S a M pro danou situaci.

Asi největší výhrady mám ke kapitole 3.1.1., ve které autorka usiluje o co nejpřesnější systematizaci poznatku ve stylu matematiky „definice-věta-důkaz“, což je (jak jsem uvedl už výše) pro žáky SŠ spíše komplikací než pomocí. Pochopitelně lze debatovat o účelu tohoto postupu např. jako o nácviku způsobu správného uvažování pro matematiku a vědu vůbec, to může být ku prospěchu žákům, kteří hodlají studovat (především) matematiku na VŠ. Uvádím ve stručnosti následující výhrady a doplnění:

- a) Pro většinu žáků SŠ již první odstavec (TF_x, TF_y , kde $x, y \in \mathbb{N}$) bude spíše odrazující, protože na tento způsob nejsou zvyklí (a text má být pro žáky, ne pro odborníky).
- b) Ač chce být autorka co nejpřesnější, používá místo pojmu „kolmice dopadu“ jen pojem „kolmice“ bez ujasnění, co to ta kolmice je, o kterou kolmici se vlastně jedná.

- c) Až do obrázku 3.4. je úhel dopadu značen α , na dalších třech stranách jako θ .
- d) V „důkazu“ TF7 autorka explicitně nebere v úvahu změnu fáze při odrazu od hustšího prostředí (tu diskutuje až v TF9), přičemž výsledný vztah v TF7 se změnou fáze počítá. Vztah je pak dlouze dokazován, změna fáze se neuvažuje, ale postuluje se podmínka maxima, která je zcela v rozporu se vztahy při difrakci. Zatímco konstruktivní interference (tedy interferenční maximum) nastává, je-li optický dráhový rozdíl roven přirozenému násobku vlnové délky světla (viz str.20, první odstavec), zde autorka tvrdí, že při interferenci na planparalelní vrstvě nastává pro lichý násobek půlvlny, což není pravda. Výsledný vztah je pak korektní, protože není započítána již zmíněná změna fáze (jak by mohla, když při snaze o logickou výstavbu se s ní začne počítat až v tvrzení TF9). To je, dle mého přesvědčení, poměrně zásadní chyba, která vnímavého žáka splete, nebo povede k tomu, co diplomantka rozhodně odmítá, a to je bezduché naučení se nějakým vzorečkům. Započítáme-li správně změnu fáze při odrazu od opticky hustšího prostředí, určíme podle obrázku 3.6. optický dráhový rozdíl, který pak (s opravou na změnu fáze) položíme pro hledání maxim přirozenému násobku vlnové délky, vyjde nám po úpravě vztah 3.1. Bez započítání změny fáze je výsledný vztah (byť z geometrických úvah korektně dokázaný) výsledkem „magie“, resp. jak z fyzikálního, tak didaktického pohledu jemně řečeno problematický.
- e) U tvrzení TF8 mám zcela stejné výhrady jako v předchozím bodě (zde se jedná o minimum). Zvědavý student si tak musí klást obdobnou otázku: „Proč interferenční minimum zde nastává pro přirozený násobek vlnové délky a při difrakci se jedná o maximum?“.
- f) U tvrzení TF7 a TF8 autorka implicitně předpokládá, že planparalelní vrstva je ve vzduchu, což není zcela zřejmé. Uvádí jen fakt, že světlo dopadá ze vzduchu na danou vrstvu a nebere v úvahu, jaké prostředí je pod vrstvou, což má pochopitelně vliv na výsledek interference (viz TF9).
- g) Ve světle výhrad d) a e) přichází tvrzení TF9 pozdě.
- h) Pro „zvěrohodnění“ vztahů 3.1. a 3.3. je za úhel dopadu dosazena hodnota 90° (což autorka zřejmě zaměnila s dohodou v krystalografii, Braggova podmínka), a to je nejen v rozporu s obrázkem 3.6., ale i s dosazením do uvedených vztahů ($\sin 90^\circ$ se pak má podle autorky rovnat 0, aby to „vyšlo“).
- i) Pokud jde o pravou část obrázku 3.6., domnívám se, že i když je v textu dobře slovně popsána, bylo by lepší obrázek doplnit podobným nákresem, jako je např. v [22], kde je celý děj „rozfázován“ a jednotlivé fáze i barevně odlišeny.

Důležitou součástí práce jsou diplomantkou vytvořené aktivity, které mohou být inspirací pro učitele. Diplomantka jednotlivé aktivity poměrně podrobně rozebírá a didakticky komentuje. Výhodou je jejich pestrost a kreativita, přičemž jsou předvedeny a zdůrazněny určité estetické aspekty. Z náplně aktivit přímo vyzařuje, že je diplomantka pro krásy optiky zapálená, ráda fotografuje a všímá si optických jevů v jejím okolí. Tím určitě dokáže nadchnout i samotné studenty. Domnívám se však, že v některých aspektech cílí spíše na ty nadanější

(orientované zejména na matematiku), čímž může počáteční zápal některých zase udusit. Pro jakou cílovou skupinu, v jakém rozsahu a s jakým stupněm individualizace budou v praxi aktivity realizovány však závisí na samotném učiteli a jeho zkušenostech. Je velká škoda, že v práci není zmiňováno, zda, kde a které aktivity byly testovány a s jakými výsledky, postřehy apod. Pouze obr. 4.20. na str. 91 je uveden jako „řešení z řad studentů“ a napovídá, že testování bylo zřejmě provedeno. A zejména i to, že požadavek testování byl uveden přímo v zadání práce, předpokládám, že alespoň některé aktivity byly vyzkoušeny se studenty. Ale to by mělo být v práci nejen explicitně uvedeno, ale i zhodnoceno.

První dvě aktivity se týkají difrakčních jevů. První aktivita pracuje s obrázky (fotografiemi) z Difraktografického alba prof. Komrsky [20] a věnuje se Fresnelově a Fraunhoferově difrakci. Ačkoli je tato aktivita spíše cílena na žáky navštěvující fyzikální seminář, některé náměty je možné použít i pro běžnou výuku s mírným přesahem. Minimálně lze zde ilustrovat estetické aspekty této oblasti fyziky. Rozhodně lze obrázky použít k diskusi s žáky o tom, co z daného uspořádání difrakčního obrazce mohou vyčíst apod. Zde bych pouze doporučil otočení fotografie na obr. 2.7. a 2.8. o devadesát stupňů, a to zejména v souvislosti s rozbořením (odpověďmi na otázky) pro učitele (co je vpravo, co vlevo, nahoře, dole). I když z pohledu textu diplomové práce by bylo lepší popisovat obrázky podle jejich označení v práci diplomantky (2.1., 2.10. apod), z pohledu uživatele (učitele) je vhodnější použít označení z Komrskova alba tak, jak používá diplomantka (O2, O10 apod).

Druhá aktivita zachycuje rozhovor s mladou vědkyní, doktorandkou fyziky nanostruktur a materiálů na MFF UK. Tato aktivita může být vhodnou motivací ke studiu fyziky (obecně jakéhokoli technického oboru), zajímavým rozšířením povědomí o užití difrakce v praxi, rozvíjením pozornosti žáků, případně nenásilným tréninkem práce s textem nebo „pouhým“ zajímavým setkáním s „živým“ vědcem. Součástí této aktivity je pracovní list. Třetí aktivita má studentům ukázat, kde všude se mohou setkat s optickými jevy v běžném životě. Na základě rozsáhlé databáze fotografií samotné diplomantky se studenti učí pozorovat, pojmenovávat a analyzovat optické jevy, se kterými se mohou setkat kolem sebe. Autorka fotografií předkládá různé modifikace práce s jejími obrázky v hodinách fyziky. V neposlední řadě daná aktivita rozvíjí estetické vnímání žáků a může být vhodnou motivací právě pro ty žáky, kteří se fyzikou ve svém profesním životě zabývat nebudou. Protože některé obrázky nezachycují jen jeden optický jev a mohou být pro žáky trochu komplikované, tato aktivita opět vybízí spíše k diskusím o tom, co můžeme zajímavého z optiky kolem sebe vidět a rozvíjí u žáků řadu kompetencí. Určitě tato aktivita může podnítit studenty s uměleckým nadáním o vytváření podobné databáze fyzikálních fotografií apod.

Poslední dvě aktivity na sebe navazují a souvisí s rozebíranou kap. 3.1.1. Jedná se o poměrně náročnou aktivitu, je určena pro ty nejnadanější studenty, a ještě spíše o ty, kteří mají zájem o matematiku a formální popis. Diplomantka tuto aktivitu rozděluje do dvou samostatných aktivit. První aktivita se týká užití geometrie v paprskové fyzice, matematické interpretaci a analýze pomocí tvrzení v kapitole 3.1.1., která sama skýtá řadu již výše uváděných problémů. Pátá aktivita by měla částečně navazovat na předchozí, ale lze jí realizovat i bez ní. Jedná se o samostatný projekt s řadou kritérií. Student se má zamyslet nad

optickými jevy v domácnosti, nějaký tento jev si vybrat, popsat a analyzovat ho s použitím tvrzení z kap. 3.1.1. Jako vzor je uveden jeden projekt (Interference na lžici), který je spíše maximalistickým cílem než zpracováním, které bychom mohli čekat od běžného studenta SŠ. I když je tato aktivita velice praktická a vypadá poměrně jednoduše, v takovémto rozsahu se hodí pro ty nejlepší (např. seminaristy).

Jazyková úroveň práce je poměrně vysoká. V textu jsem našel nezvykle malé množství překlepů a nepřesností. Je zřejmé, že se autorka snaží o co nejpřesnější vyjadřování a popis, i když to na druhou stranu někdy ubírá na srozumitelnosti a přirozenosti. Nicméně jazykové prostředky ilustrují autorčin zájem o dané téma a určité okouzlení krásou optických jevů.

Překlepy a nepřesnosti ve formulaci jsem objevil např. na daných místech:

Str. 2 druhý odstavec: místo „dále jmenujeme pomůcky“, lépe „dále uvádíme...“ (nejedná se o pouhý výčet či pojmenování).

Str. 20, kde je pro interferenční minimum uveden chybný vztah. Pravděpodobně jde o překlep, který zcela mění jeho význam. Minimum pak nastává např i pro $m=3$, tedy když je dráhový rozdíl roven 2λ

Str. 28, zde se jedná spíše o „Dodatek“, „Doplnění“ apod. než o „Závěr“.

Str. 49 místo $J(x)$ má být $I(x)$, i když se o tom autorka zmiňuje na str.46, bod 6)

Str. 50 konec 1. odstavce: místo „na též fakultě“ má být „na téže ...“

Str. 56 poznámka dole v závorce: místo „odtud optický disperzní hranol“ je lepší formulací „odtud název optický ...“

Str. 58 po poslední úpravě ověřovaného vztahu má být sinus úhlu θ být ve druhé mocnině

Str. 64 poslední odstavec: místo „třpytivé“ má být „třpytivé“

Str. 66. poslední řádek „početné množství úloh“, lépe „větší počet úloh“ apod.

Str. 68 poslední odstavec: místo obr. 4.20. má být obr. 4.1.

Str. 70 (popis fotografie (r)) místo „deštné“ počasí, lépe „deštivé“

I přes výše uvedené nedostatky a poznámky doporučuji práci uznat jako práci diplomovou s níže uvedeným hodnocením.

Případné otázky k obhajobě:

Zajímalo by mě, jakým způsobem byly dané aktivity testovány, na jak velkém vzorku a s jakými výsledky. Jak byly závěry z testování reflektovány?

V kapitole 1.1.1. je na závěr prvního odstavce věta: „Učitelem používaná literatura by měla obsahovat nejméně to, čemu se vyučovat má.“. Zajímalo by mě, co to podle autorky je. Čemu se vyučovat má?

Předloženou práci

doporučuji

nedoporučuji

uznat jako práci ~~bakalářskou~~/diplomovou.

Předloženou práci hodnotím stupněm: Zvolte položku.

Datum a místo: 29. 8. 2024, Praha

Podpis: