

# Jak poznávat mikrosvět pomocí optické difrakce

Adam Rygál<sup>1</sup>, Magdaléna Slunečková<sup>2</sup>, Aneta Šťastná<sup>3</sup>

1. Gymnázium a SOŠPg Jeronýmova Liberec, rygal.adam@gmail.com
2. Bilingválne gymnázium Milana Hodžu v Sučanoch, magdling@email.cz
3. Gymnázium Omská Praha, aneta.stastna@email.cz

## Abstrakt:

Pozorovali jsme difrakci světla na různých objektech a následně jsme pomocí ohybu světla zkoumali strukturu vzorků difrakčních mřížek a na základě difrakčních řádů jsme určili jejich periodu. Jak různé mřížky vypadají, jsme si ověřili pod optickým, elektronovým a AFM mikroskopem.

## 1 Úvod

Světlo si lze představit jako proud fotonů nebo jako elektromagnetické vlnění, skládající se z elektrické a magnetické složky. Toto vlnění se ohýbá na objektech o velikosti srovnatelné s vlnovou délkou světla. Jednotlivé vlny mezi sebou interferují a vytvářejí tak zajímavé obrazce. Tento jev dokážeme použít i naopak a na základě pozorovaných obrazců zkoumat strukturu malých objektů.

## 2 Difrakce

Difrakce je odklon směru světla, který nelze vysvětlit lomem ani odrazem. Analyzovali jsme difrakční obrazce jednoduchých objektů - štěrbin, drátku, kulového otvoru a různých difrakčních mřížek. Soustředili jsme se na určení period harmonických difrakčních mřížek.

### 2.1 Mřížková rovnice

Harmonická difrakční mřížka má pravidelnou strukturu vrypů tvořících řádky. Difrakční obrazec na stínítku závisí na vzdálenosti vrypů, které se říká perioda mřížky, a na vlnové délce dopadajícího světla. V rámci našeho miniprojektu jsme dostali šest mřížek a pomocí jejich obrazců jsme spočítali jejich periodu podle následujícího vzorce

$$\sin \Theta_m - \sin \Theta_i = m \frac{\lambda}{\Lambda},$$

ve kterém je  $\sin \Theta_m$  sinus úhlu odklonu m-tého řádu od kolmice,  $\sin \Theta_i$  je sinus úhlu mezi paprskem a kolmicí na mřížku. V našem případě byl tento úhel nulový, takže tento člen se rovnal nule. Na pravé straně rovnice je  $m$  řád maxima,  $\lambda$  vlnová délka světla a  $\Lambda$  je hledaná perioda mřížky.

### 2.2 Metoda měření pomocí laserů

Při našem pozorování jsme používali dva lasery: červený laser (Helium-neonový) s vlnovou délkou 633 nm a zelený laser (druhá harmonická Nd:YAGu) s vlnovou délkou 532 nm. Mřížku jsme vždy orientovali kolmo na zdroj záření. Pravítkem jsme měřili vzdálenosti

mezi mřížkou a difrakčním obrazcem a vzdálenosti středu difrakčního obrazce a středu maxima prvního řádu. Na základě těchto údajů jsme určili úhel  $\Theta_m$  a pomocí mřížkové rovnice jsme vypočítali periody mřížek (viz Tab. 1).

## 2.3 Ověření na základě difrakce bílého světla

Každá část bílého světla je ohýbána pod jiným úhlem, proto pod různými úhly pozorujeme rozličné barvy. Na základě dříve zjištěných period jsme vypočítali vlnové délky světla, které uvidíme kolmo na mřížkách pro úhel dopadu bílého světla  $42^\circ$  (viz Tab. 1), a následně ověřili pokusem.

Číslo mřížky	Průměrná perioda [nm]	Vlnová délka [nm]	Barva
1	942	631	červená
2	784	525	zelená
3	897	601	žlutá
4	728	487	modrá
5	844	565	žlutozelená
6	668	447	modrofialová

Tab. 1: Barvy světla a periody mřížek.

## 3. Pozorování pomocí mikroskopů

### 3.1 Optický a elektronový mikroskop

Pomocí mikroskopů můžeme pozorovat i složitější struktury. Kromě našich mřížek jsme optickými mikroskopy pozorovali i hologramy a motýlí křídla, která jsme pozorovali také pod elektronovým mikroskopem (viz Obr. 1).

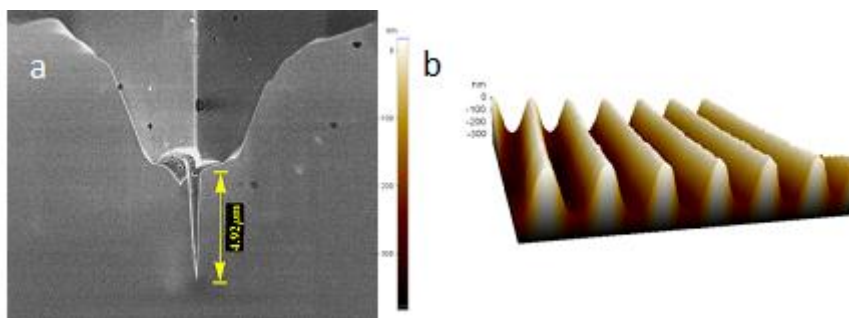


Obr. 1: Difraktivní struktury: a) harmonická difrakční mřížka a b) hologram v optickém mikroskopu a c) detail motýlího křídla v elektronovém mikroskopu.

### 3.2 AFM mikroskop

Naše pozorování a výpočty jsme si ověřili i na AFM mikroskopu. Tento mikroskop pracuje na principu tenkého hrotu kmitajícího nad zkoumaným povrchem (viz Obr. 2 a). Špičku hrotu tvoří jediný atom, který je dostatečně citlivý na meziatomární síly, které vznikají při přiblížování k látce. Posunování hrotu je zajištěno piezoelektrickými krystaly, které mění svůj objem pomocí elektrického proudu.

Podle vychýlení hrotu jsme zaznamenali povrchovou strukturu mřížky a tedy i periodu (viz Obr. 2 b).



Obr. 2: AFM mikroskop: a) hrot AFM mikroskopu (4,92  $\mu\text{m}$ ), b) struktura mřížky pod AFM mikroskopem

## 4. Získaná data

Vzdálenosti mezi vrypy mřížky, změřené různými metodami, se lišily řádově o desítky nm (viz Tab. 2). Tyto nepřesnosti byly dané obtížností určení středu maxima a dále nepřesným měřením vzdáleností u difrakčního měření a data z AFM mikroskopu byla pořízena jen s přesností na desítky nm, jelikož přístroj nebyl dostatečně kalibrován.

Číslo mřížky	Perioda [nm]		
	Červený laser	Zelený laser	AFM mikroskop
1	937	947	965
2	785	784	800
3	900	893	900
4	730	725	750
5	839	849	850
6	671	665	670

Tab. 2: Perioda mřížek změřená různými metodami

## 5 Shrnutí

Difrakce světla je jev, který nám umožňuje změřit strukturu jednodušších mikroskopických objektů bez použití složitějších přístrojů (např. optického, elektronového a AFM mikroskopu). Nejsložitější struktury difrakčních mřížek pozorujeme v přírodě například na křídlech některých motýlů (viz Obr. 1 c).

## Poděkování

Děkujeme vedoucím projektu Ing. Milanu Květoňovi, PhD. a Ing. Jiřímu Dědičovi za teoretickou i praktickou pomoc při vypracovávání projektu i za jejich nekonečnou trpělivost. Další poděkování patří studentu FJFI Janu Patákovi za provedení měření na AFM mikroskopu a Ing. Filipu Novotnému za měření na elektronovém mikroskopu. V neposlední řadě chceme poděkovat organizátorům Týdne vědy na Jaderce za tuto skvělou a užitečnou akci.