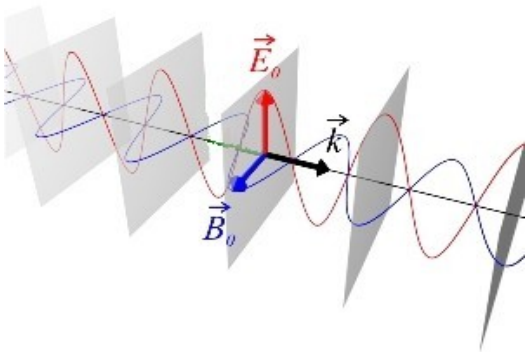
Jak poznávat mikrosvět pomocí optické difrakce

J. Kodys, F. Nedorost, J. Řehák

Abstrakt:

Na pracovišti KFE jsme zkoumali difrakci laserového záření na různých malých objektech. Výsledkem efektu difrakce jsou světelné difrakční obrazce, jejichž rozložení úzce souvisí s tvarem zkoumaných objektů. Zejména jsme se zabývali difrakcí na štěrbině, drátu, mřížce, motýlím křídle.

1 Úvod



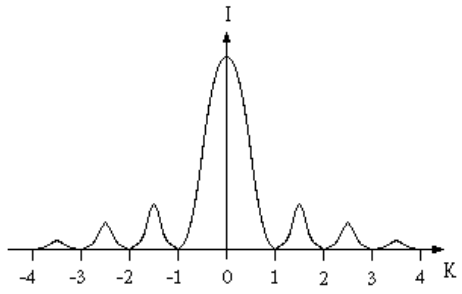
Obr 1: Světlo jako EM vlna, Eo - elektrické pole, Bo - magneticé pole, k - směr šíření vlny

Světlo se dá považovat za proudění částic, fotonů, nebo elektromagnetické vlnění. Elektromagnetické vlnění se skládá z elektrické a magnetické složky vlnění. Pro difrakci světla se používá teorie elektromagnetického vlnění, když se světlo nešíří přímočaře, ale za překážkami zahýbá. Vzniká interferencí jednotlivých vlnění, které se objevují za překážkou. Některé vlny se sečtou, jiné odečtou a důsledkem toho vznikají místa s různou intenzitou svitu. Difrakci pozorujeme zejména při dopadu světla na malé objekty. Při našem výzkumu jsme vyzkoušeli difrakci na různých jednoduchých i složitějších objektech. Jmenovitě: drát, nastavitelná štěrbina, čtverec, pěticípá hvězda, pětiúhelník, různé mřížky.

2.1. Difrakce na štěrbině a na drátu

Jeden z našich pokusů bylo vložení štěrbiny do dráhy laserového paprsku. V tomto pokuse jsme zjistili, že k difrakci dochází v kolmém směru na hranu vloženého objektu. Ze vzorce popisujícího rozložení difrakčního pole ve vzdálené oblasti jsme si odvodili podmínku pro polohy difrakčních minim(viz obr.2) a z této podmínky jsme si určily šířku štěrbiny.

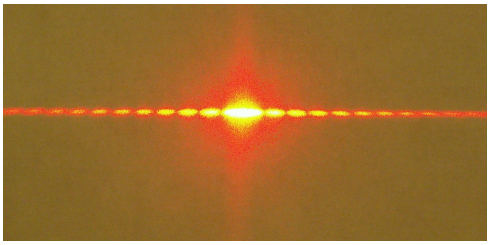
Zjištění velikosti štěrbiny výpočtem je mnohem přesnější (nm) než změření pomocí mikrometru(μm).



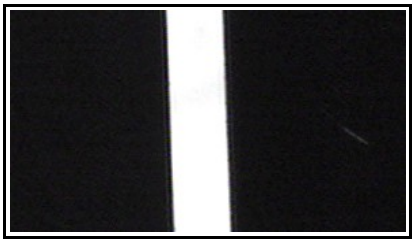
Obr 2: Průběh intenzity difrakčního pole za štěrbinou

$$I \propto sinc^2 \frac{ax}{\lambda z}, \quad \frac{ax}{\lambda z} = k\pi \rightarrow a = \frac{kz\lambda}{x}$$

I – intenzita světla
z – vzdálenost objektu od stínítka
x – souřadnice na stínítku (od počátku)
a – šířka štěrbiny
λ – vlnová délka
k – difrakční minima

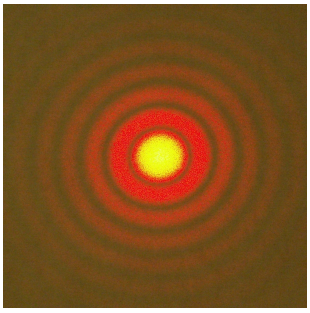


Obr 3: Difrakce na štěrbině



Obr 4: Snímek štěrbiny z mikroskopu

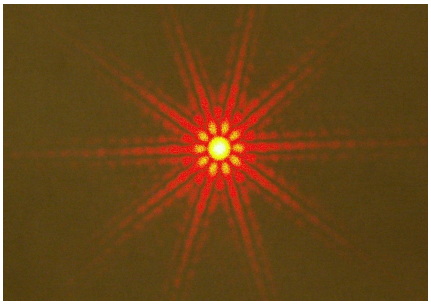
2.2 Další tvary objektů vložených do cesty laseru



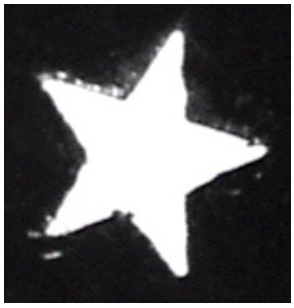
Obr 5: Difrakce na kruhové apertuře

Obr 6: Snímek kruhové apertury

Pozorovali jsme difrakci na kruhovém otvoru (viz. Obr.6). Na Obr. 5. Jsou zobrazeny Airyho soustředné kružnice.



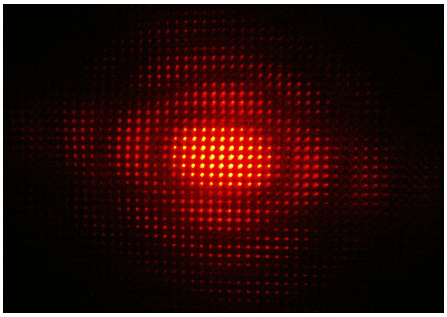
Obr 7: Difrakce na pěticípé hvězdě



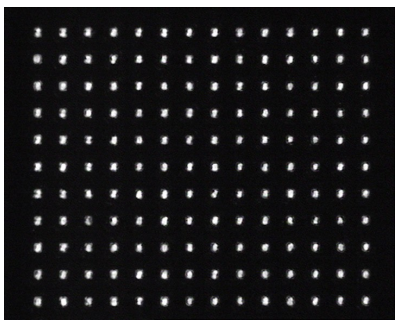
Obr 8: Snímek hvězdicové apertury

Na každé hraně pěticípé hvězdy došlo k ohybu světla, což se projevilo v difrakčním obrazci rozmáznutím ve směru kolmém na tuto hranu. Všimli jsme si, že pěticípá hvězda není středově symetrický objekt, ale vzniklý obrazec už středově symetrický je.

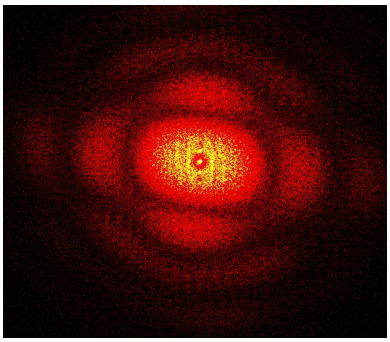
Pokud se jedná o pravidelnou 2D mřížku jsou zde pozorovatelné difrakční řády (body).
V případě, že se jedná o strukturu nepravidelnou difrakční řády se neobjevují a pozorujeme pouze difrakční pole elementárního objektu.



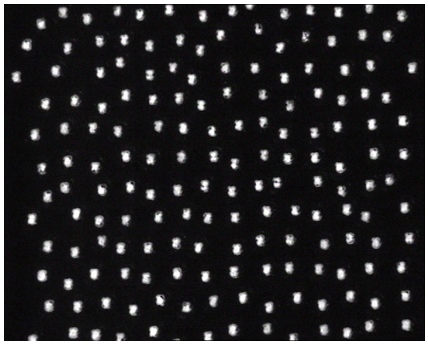
Obr 9: Difrakce na 2D mřížce



Obr 10: Snímek pravidelné 2D mřížky



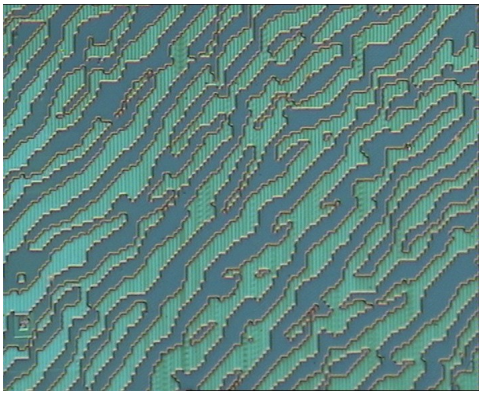
Obr 11: Difrakce na nepravidelné mřížce



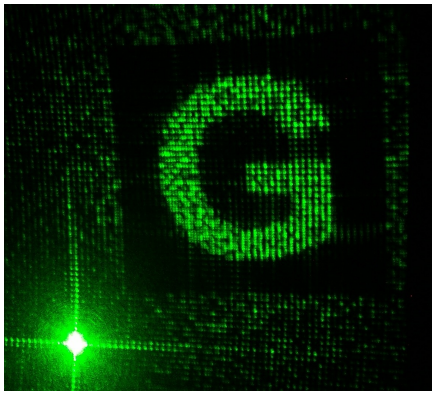
Obr 12: Snímek nepravidelné mřížky

2.3 Hologramy

Hologramy vznikají optickým záznamem interferenčního pole dvou vln – signální a referenční. Při jejich rekonstruování se uplatňuje jev optické difrakce. U některých hologramů jsou pak výsledné obrazce Fourierovou transformací prosvětlené struktury hologramu. Pomocí zpětné Fourierovy transformace výsledného obrazce jsme schopni vypočítat tvar této struktury. Vypočtená struktura takového obrazce nemusí vůbec připomínat původní objekt, vypadá podobně jako struktura na obr. 13.

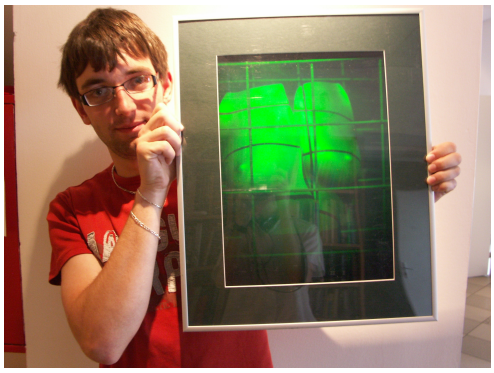


Obr 13: Počítačem generovaná difraktivní struktura



Obr 14: Rekonstruovaný hologram

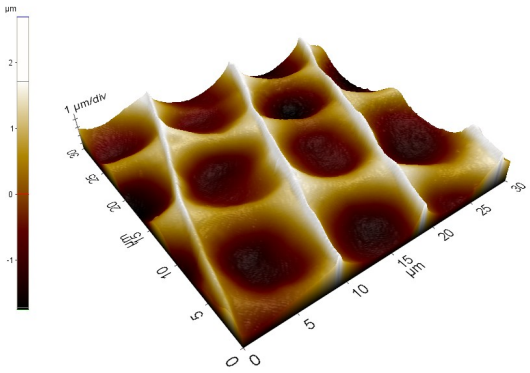
Obr 15: Hologram bez nasvícení



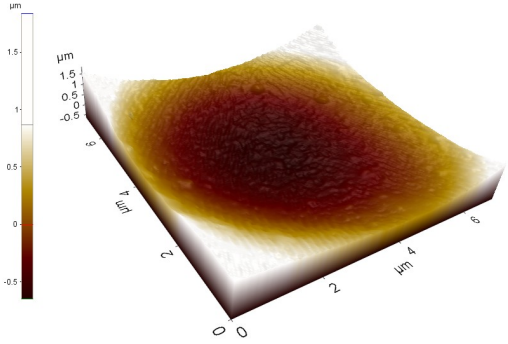
Obr 16: Spolupracovník (držák) F. Nedorost s nasvíceným hologramem

2.4. Difrakční mřížky v přírodě

Optickou difrakci lze pozorovat i v přírodě, konkrétně na křídlech některých druhů motýlů a na broucích. Tyto struktury jsou tak složité, že člověk zatím není schopen je napodobit a vyrobit, může je pouze zkoumat. Snímky na obrázcích 17,18 byly pořízeny pomocí AFM mikroskopu.



Obr 17: mřížka na šupině ze křídla motýla(Papilio palinurus)



Obr 18: jeden díl mřížky na šupině ze křídla motýla(Papilio palinurus)

3 Závěr

Na světlo se dá pohlížet jako na elektromagnetické vlnění nebo proud částic fotonů. Teorie o elektromagnetickém vlnění se používá při difrakci světla neboli ohybu světla, když se světlo nešíří přímočaře, ale za překážkami zahýbá. K difrakci světla dochází např. při pozorování hologramů, v přírodě na křídlech motýlů. S hologramy se dnes můžeme setkat nejčastěji na samolepkách a ochranných prvcích proti padělání. Po seznámení se s difrakcí jsme nyní schopni usoudit na základě tvaru promítnutého obrazce jak vypadá objekt, na který dopadá světlo.

Poděkování

Děkujeme pořadatelům a sponzorům Týdne vědy za možnost bádání nad tímto velmi zajímavým tématem. Dále pak supervizorům M. Květoňovi a D. Najdkovi.

Reference:

[1] FYZMATIK.PISE.CZ.: *Přenos energie em. vln* 22.10.2009

[2] P. MALÝ, *Optika* nakladatelství Karolinum 2008 strana:109-115

[3] IDAV.UCDAVIS.EDU *Sampling Theory 101*