

Molding the flow light, aneb jak se světlo šíří a rezonuje v nanostrukturách.

Pavel Kučera, Tomáš Holčák

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT
pa.licek@seznam.cz, tominholcak@gmail.com

Abstrakt: V tomto článku stručně shrneme vlastnosti spojené s interakcí elektromagnetické vlny s prostředím a jejím šířením. Následně se pokusíme přiblížit problematiku spojenou s látkami, které do jisté míry porušují základní vlastnosti šíření světla, těmto látkám říkáme metamateriály. V přírodě jsou nedostupné, jejich výroba je drahá a složitá, a proto zde sehrávají velkou roli počítače, které nám jejich prostřednictvím dovolují situace s těmito látkami spojenými simulovat. Prostřednictvím programu Ansys Lumerical si konkrétně ukážeme, jak se chová záření při interakci s metamateriálem se záporným indexem lomu.

1 Úvod

V dnešní době se přichází na mnoho objevů, které hýbou světem různými směry. Hodně oborů již předneslo, nebo se snaží potvrdit pravdivost svých objevů, teď se dostaly na řadu metamateriály. Co to vlastně je metamateriál? V 60. - 70. letech se vedly diskuze, jestli by vůbec mohl existovat materiál, který by měl záporný index lomu. První hypotetickou existenci záporného indexu lomu předpověděl sovětský fyzik Veselago v roce 1968. Na přelomu století byl jeho nápad potvrzen v roce 1996 J. B. Pendrym, který využil umělé vytvořenou rezonanční strukturu v oblasti mikrovln. Jedná se tedy o uměle vytvořený materiál, který dává nové rozměry vlastnostem jako jsou – permeabilita, permitivita a index lomu. Jelikož se v přírodě nevyskytuje je realizace prací s ním možná pouze za simulačních podmínek, proto nabývají na významu počítače a nástroje s nimi spojené. Umožňují nám tyto materiály efektivně a snadno navrhovat a ověřovat jejich vlastnosti.

2 Uvedení do problematiky

- **Vlastnosti světla**

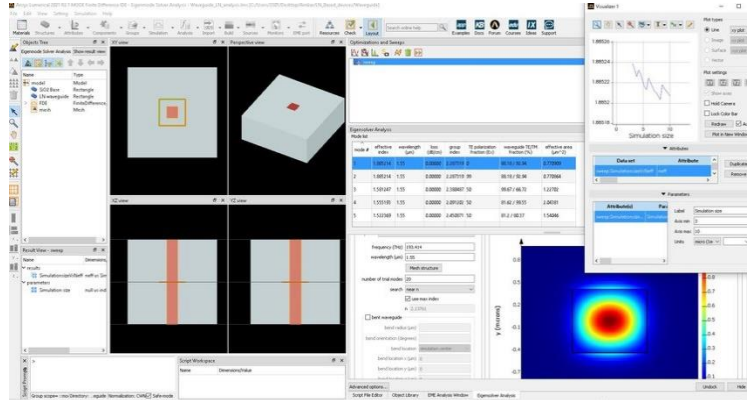
Index lomu – jedná se o bezrozměrnou fyzikální veličinu popisující šíření světla v látkách, konkrétně jeho elektromagnetických vlastností. Využívá se při určování např. lomu světla (Snellův zákon). Index lomu se pro vakuum udává 1, ostatní hodnoty jsou jiné a určují, kolikrát pomaleji se světlo šíří v daném prostředí.

$$n = \frac{c}{v}, \text{ nebo také } n = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}$$

Kde ε_r je relativní permitivita a μ_r je relativní permeabilita

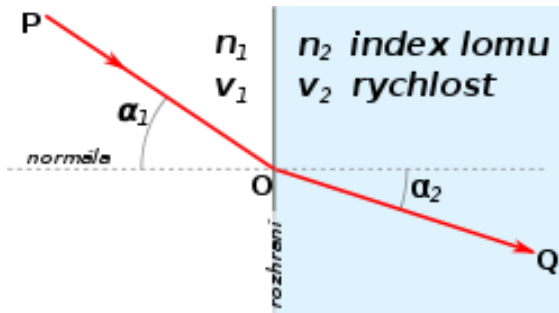
Pracovní prostředí

Chování objektů (struktur) v interakci s dopadajícím elektromagnetickým polem popisují Maxwellovy rovnice. Nalezení jejich řešení je často velmi složitá problematika, a proto je nutné použít numerické simulační nástroje, k tomu určené. Program námi využívaný nese název Ansys Lumerical, který využívá metodu FDTD (Finite-difference time-domain).

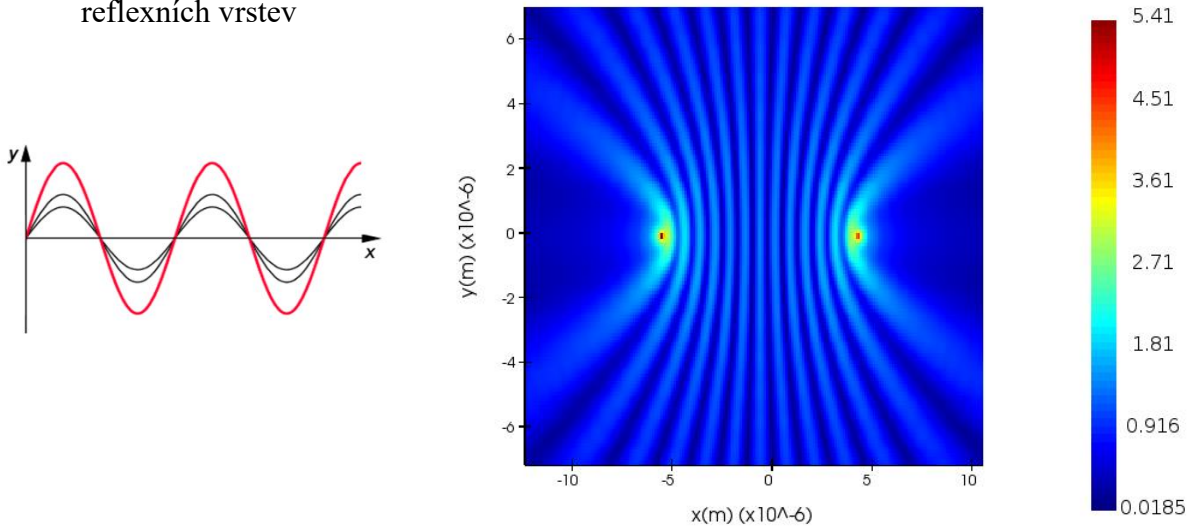


Zákony lomu a odrazu (Snellovy zákony)

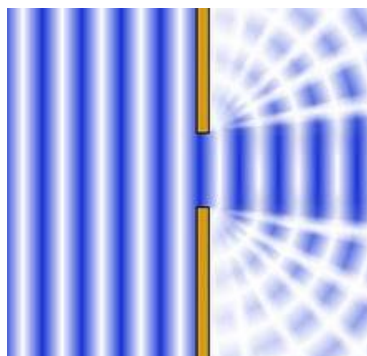
Platí tedy: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$



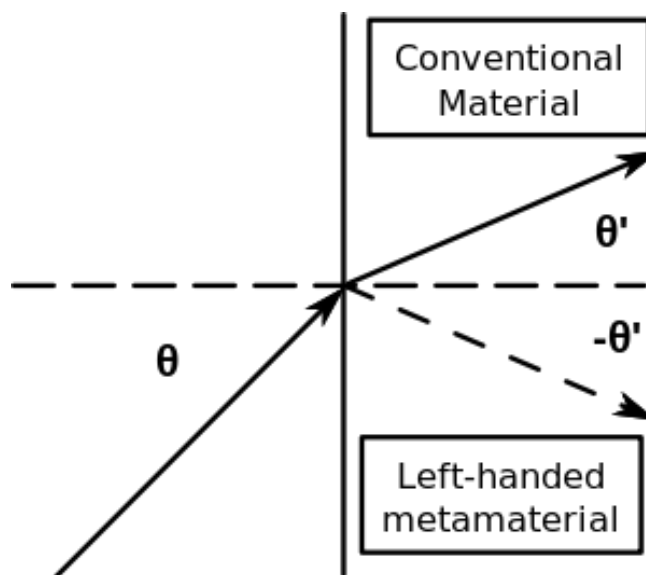
Interference světla – Jedná se o vzájemné prolínání, ovlivňování, a střetávání světelných vln. Tímto jevem je potvrzena vlnová podstata světla. Využívá se pro návrh reflexních vrstev



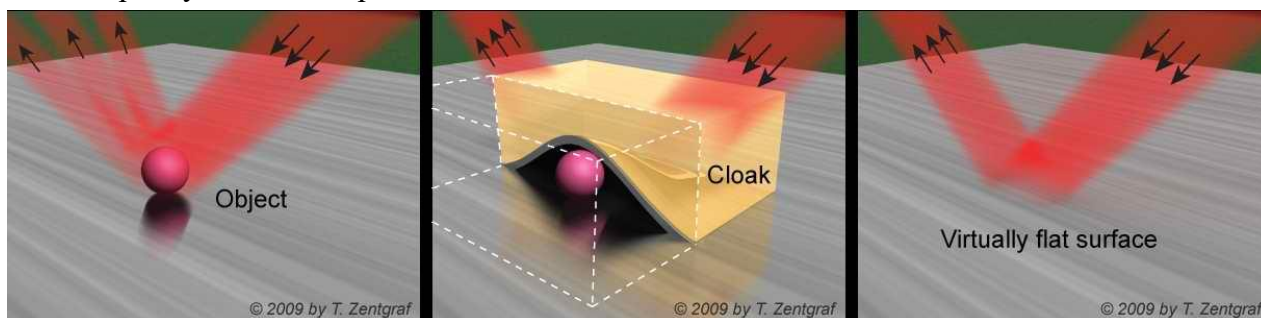
Difrakce světla – Ohyb a šíření světla do optického stínu.



Záporný index lomu – Díky znalosti Snellova zákona víme, jak by se dopadající záření mělo chovat. Pokud má ale látka vlastnosti záporného indexu lomu, vlna se šíří opačným směrem, než jakým se šíří tok její energie, a tento zákon popírá.

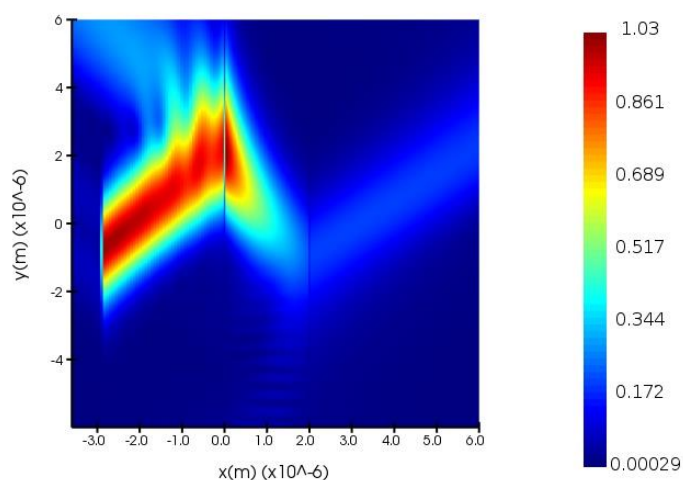


Princip opačného toku energie by se dal využít např. v maskovacích materiálech, nebo v planárních čočkách, které by umožňovaly subvlnové zobrazení, které je za hranicemi optických mikroskopů.



Naše provedení

Jedná se o názornou ukázkou Gaussova svazku dopadajícího na vrstvu, kde nastává záporný index lomu (Tyto vlastnosti se projevují pouze pro určité vlnové délky, tedy na ní striktně závisí).



3 Shrnutí

Seznámili jsme se se základními fyzikálními vlastnostmi šíření a interakce elektromagnetických vln, a na čem závisí. Zjistili jsme, jaký aplikační význam by vlastnosti metamateriálů mohly mít v praxi např. vývoj materiálů s vysokou absorpcí v širší oblasti vlnových délek, což by umožnilo zvýšit efektivitu solárních článků (pokud bychom byli

schopni metamateriály vyrábět). Dokázali jsme, pomocí programu Ansys Lumerical tuto problematiku simulačně potvrdit a ukázat, jak taková simulace vypadá.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat výhradně organizátorům našeho miniprojektu: Pavlu Kwiecienovi, Milanu Burdovi a Ivanu Richterovi. Dále také děkujeme hlavním organizátorům akce Vojtěchu Svobodovi, Karlu Kolářovi a Veronice Hendrychové, kteří nám umožnili podílet se na této akci.

Reference

- [1] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360041616614>
- [2] <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042096033>