

ŽILINSKÁ UNIVERZITA v Žiline
Fakulta riadenia a informatiky

SEMESTRÁLNAPRÁCA

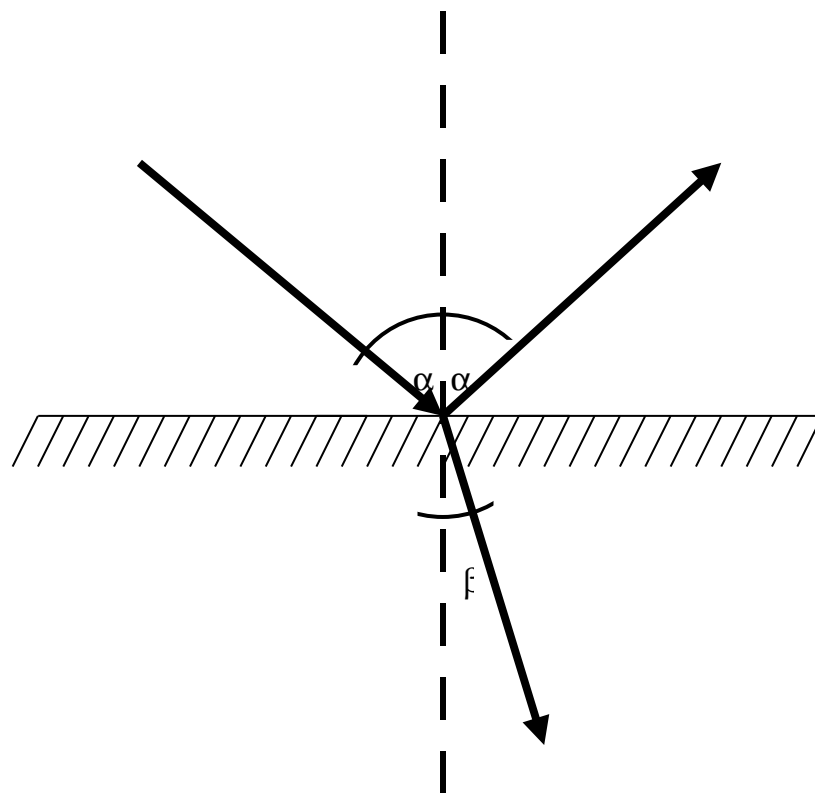
OPTIKA

Skupina : PZ5012

Filip Murcko

Optika ako časť fyziky zaoberajúca sa svetlom mala podobný osud ako termika. Svetlo podobne ako teplo dlho odolávalo pokusom o pochopenie jeho podstaty, preto sa považovalo za zvláštne ničomu inému nepodobne „fluidum“ a náuka o ňom, presnejšie náuka o jeho prejavoch, si udržiavala relatívnu samostatnosť. Podobne ako termika si vytvorila svoj špecifický pojmový aparát, pomocou ktorého bolo možné opísať všetky pozorované javy. Objav, že teplo je prejav mechanického pohybu atómov a molekúl, značil koniec samostatnosti termiky a organicky ju zaradil do mechaniky. Maxwellov objav elektromagnetického vlnenia ozrejmil podstatu svetla a vzhľadom na jeho elektromagnetickú podstatu povahu zmenil optiku na organickú súčasť náuky o elektrine a magnetizme.

Uvedený poznatok postavil pred fyzikov problém redukcie všetkých optických veličín a konštánt na elektromagnetické veličiny a konštanty. O ktoré najmä ide? V prvom rade sú to veličiny, ktoré umožňujú bilancie svetelných procesov z energetického hľadiska. Touto oblasťou sa zaoberá **fotometria**, ktorá si pre praktické potreby zaviedla rád charakteristických veličín, napr. tok, hustotu svetelného toku, svietivosť, osvetlenie atď. Všetky tieto veličiny si zachovali svoje opodstatnenie a význam aj po Maxwellovom objave, len pojem svetelná energia sa bližšie špecifikoval. Je to elektromagnetická energia, pre ktorú možno používať dva všeobecné vzorce – jeden pre hustotu energie (2), druhý pre intenzitu vyžarovania (3). Menej zreteľná bola situácia okolo materiálových optických konštánt, napr. index lomu.



Obr. 1 Odraz lomu svetla na rozhraní dvoch prostredí.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (1)$$

$$w = \frac{1}{2}(\epsilon E^2 + \mu H^2) \quad (2)$$

$$I = EH \sin \alpha \quad (3)$$

Index lomu sa zaviedol do fyziky v súvislosti s lomom svetla. (Pre odraz svetla platí jednoduchý zákon neobsahujúci žiadnu materiálovú konštantu: uhol odrazu sa rovná uhlu dopadu.) Keď svetlo dopadá na rozhranie dvoch materiálnych prostredí pod uhlom dopadu α (obr. 1), čiastočne sa lomí do druhého prostredia, a to pod uhlom β , pre ktorý platí známy **Snellov-Descartov zákon**

-zákon lomu: **Svetlo sa na rozhraní dvoch prostredí láme tak, že je splnená rovnica:**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n \quad (4)$$

kde n je index lomu.

Rôznymi cestami možno dokázať, že index lomu je určený podielom rýchlostí šírenia svetla v prvom a druhom prostredí, t.j.

$$n = \frac{v_1}{v_2} \quad (5)$$

Index lomu je teda vlastnosť dvoch stýkajúcich sa prostredí. Možno však zaviesť aj charakteristiku len jedného prostredia. Nazýva sa **absolútny index lomu** (N) a charakterizuje lom svetla z vákuu do daného prostredia. Je teda určený vzťahom:

$$N = \frac{c}{v} \quad (6)$$

Práve tento vzťah je vhodným východiskom k redukcii optických konštánt na elektromagnetické. Podľa vzťahu (1) sú totiž rýchlostí svetla vo vákuu, resp. v reálnom prostredí určené pomocou konštánt ϵ_0 , μ_0 , resp. ϵ a μ , také po dosadení do vzťahu (6) dostaneme výsledok:

$$N = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \cdot \frac{\sqrt{\epsilon \mu}}{1} = \sqrt{\frac{\epsilon \mu}{\epsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (7)$$

kde ϵ_r a μ_r sú relatívna elektrická permitivita, resp. relatívna permeabilita. Vo všeobecnosti lom svetla realizujeme na nemagnetických materiáloch (sklách), kde $\mu_r=1$, preto platí jednoduchý vzťah:

$$N^2 = \epsilon_r \quad (8)$$

Vidíme, že existuje veľmi jednoduchý prevod optických konštánt na elektrické a magnetické konštanty.

Dôležitou vlastnosťou indexu lomu je, že závisí od frekvencie svetla. V období pred elektromagnetickou teóriou svetla nebolo možné túto závislosť pochopiť, aj keď sa v praxi veľmi zreteľne prejavuje, napr. pri rozklade svetla na jednotlivé „farby“ lomom na sklenom hranole, pri vzniku dúhy a pod. Elektromagnetická teória má pre túto závislosť logické vysvetlenie. Elektróny v nevodivých látkach obiehajú okolo jadier atómov a predstavujú akési oscilátory. Elektromagnetická vlna dopadajúca na látku im vnucuje svoj vlastný rytmus. Výsledkom tohto vplyvu je zmena relatívnej elektrickej permitivity v závislosti od frekvencie dopadajúcej vlny, a teda prostredníctvom vzťahu (8) aj zmena indexu lomu.

Rovnako dobre vieme pochopiť aj fakt, že lesklý povrch kovu funguje ako dokonalé zrkadlo, t.j. odráža lúče dopadajúce na jeho povrch. Spočíva to v interakcii elektromagnetickej vlny s voľnými elektrónmi kovu, ktorá vedie k tomu, že index lomu sa stáva komplexnou veličinou. Takéto číslo však značí, že príslušný jav, t.j. v tomto prípade lom svetla, reálne nejestvuje. Ak sa však svetlo nemôže lomiť do prostredia, značí to, že sa musí odraziť, príp. absorbovať.

Existuje ešte jeden zaujímavý výsledok interakcie elektromagnetickej vlny s látkami, ktorý však na veľké prekvapenie vedcov nebolo možné vysvetliť na základe vlnovej povahy svetla. Je to **fotofekt**. To signalizovalo, že ani Maxwellova teória neobjasnila celú podstatu svetla. Naozaj, ďalší vývoj ukázal, že Maxwellovu teóriu elektromagnetickeho vlnenia bolo treba doplniť o nové skutočnosti, ktoré odporovali vlnovej podstate.

Vráťme sa však k javom, ktoré vieme vysvetliť na základe vlnovej povahy svetla. Sú to jednak javy, ktoré zahrňame do **geometrickej optiky** (zobrazovanie šošovky, jednoduché optické prístroje), jednak javy patriace do **vlnovej optiky** (interferencia, ohyb a polarizácia). O interferencii sme už hovorili, ohyb je jav, v ktorom dochádza k zmene smeru šírenia elektromagnetickej vlny a polarizácia je vlastnosť spojená s dráhou, ktorú opisuje koncový bod vektora elektrickej. resp. magnetickej intenzity. Ak je táto dráha eliptická, ide o elipticky polarizované svetlo. Ak je dráha kruhová, svetlo je kruhovo polarizované a ak je to priamka, svetlo je lineárne polarizované. Pre všetky uvedené procesy máme v súčasnosti vypracované adekvátne teórie, ktoré veľmi dobre súhlasia s pozorovaním. Sú však matematicky dosť náročné, preto ich tu nebudeme uvádzať.

Naše stručné informácie o optike by neboli úplné, keby sme nespomenuli ešte jednu jej časť, ktorá sa najmä v posledných rokoch veľmi intenzívne rozvíja. Nazýva sa **nelineárna optika**. Jej názov vystihuje skutočnosť, že harmonické oscilátory v látkach, t.j. elektróny pohybujúce sa okolo jadier, sa pod účinkom dopadajúcej vlny nesprávajú ako lineárne, ale ako nelineárne oscilátory. Aký je v tom rozdiel? Ľahko to pochopíme, keď si uvedieme niektoré konkrétne údaje. Elektrické pole pôsobiace na elektróny v atómoch má intenzitu okolo 10^{10} V.m

¹. Intenzita elektrickej zložky svetelného lúča pochádzajúceho aj z veľmi výkonného klasického zdroja neprevyšuje $10^3 \text{ V}\cdot\text{m}^{-1}$. Z toho vyplýva, že takáto vlna môže len nepatrne ovplyvniť elektróny atómov na ich dráhach. Ich výchylky sú – podobne ako v prípade len malo natiahnutej pružinky – priamo úmerné pôsobiacej sile. Vzťahy medzi silou a výchylkou sú teda lineárne, a preto aj celá optika, ktorá sa zakladá na takýchto javoch sa nazýva lineárna optika.

V posledných desiatkach rokov sa však objavil zdroj, ktorý je schopný generovať elektromagnetické vlnenie s intenzitou porovnateľnou s intenzitou vnútroatómového elektrického poľa. Nazýva sa **laser**. Takéto svetlo zapríčiňuje také veľké poruchy v dráhach elektrónov, že vzťahy medzi silou a výchylkou už nie sú lineárne, ale obsahujú aj členy s druhou, treťou, príp. aj s vyššími mocninami výchylky. Sú teda nelineárne a optika, ktorá takéto javy skúma, sa nazýva nelineárna optika. Jej najdôležitejšími javmi sú najmä tieto:

- a) Generácia „vyšších harmonických“. Jednoduchšie povedané, ide tu o generáciu novej elektromagnetickej vlny s dvojnásobnou, príp. aj s viacnásobnou frekvenciou. Tak sa môže stať, že laserové žiarenie z infračervenej (a preto neviditeľnej) oblasti vybudí v nelineárnom prostredí aj viditeľné svetlo. Generácia druhej harmonickej sa prvý raz pozorovala roku 1961 pri prechode žiarenia z rubínového lasera kremeňom, generácia tretej harmonickej pri prechode tohto žiarenia kryštálom vápenca.
- b) Samofokusácia laserového lúča. Tento jav sa vyznačuje tým, že namiesto bežne pozorovaného rozptylu lúča v prostredí sa tu pozoruje jeho fokusácia do úzkeho zväzku. Tento jav je výsledkom toho, že index lomu sa v nelineárnej optike sáva závislým nielen od frekvencie dopadajúcej vlny, ale aj od jej amplitúdy. Potom to vyzerá tak, že v strede lúča, kde je jeho intenzita najväčšia, je aj index lomu najväčší a smerom k okrajom sa jeho veľkosť znižuje. To má za následok, že lúč smerujúci nabok sa od prostredia s menším indexom lomu odráža „od kolmice“, t.j. vracia sa späť do stredu. Miesto rozptylu nastane spontánna fokusácia.

Uvedený jav má význam nielen v tom, že zvyšuje prenikavosť laserového lúča, ale aj v tom, že na základe tohto poznatku sa vyrábajú umelé **svetlovody**, ktoré na rovnakom princípe, umožňujú vedenie svetla aj po ľubovoľne poskrúcaných vláknach. Tento jav je základom v súčasnosti veľmi intenzívne sa rozvíjajúcej **optoelektroniky**.

Na záver spomenieme ešte jeden zaujímavý jav z nelineárnej optiky. Nazýva sa **holografický záznam obrazu**. Keď použijeme na zobrazenie laserový lúč, umožní nám to zaznamenať nielen plošné, ale aj priestorové detaily predmetov na tzv. **holograme**. Jeho presvietením laserovým lúčom s rovnakou vlnovou dĺžkou, akú malo elektromagnetické vlnenie pri vyhotovení hologramu, získame priestorový (virtuálny, t.j. neskutočný) obraz zaznamenaného predmetu.

Zoznam použitej literatúry:

Evolúcia vesmíru a prírodné vedy (Július Krempaský)
Wikipédia,