

Rozhledy matematicko-fyzikální

Rudolf Klepáček; Martin Macháček
Chemická analýza pomocí optických vláken

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 80 (2005), No. 2, 21–24

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146100>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2005

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

Chemická analýza pomocí optických vláken

Rudolf Klepáček, FJFI ČVUT Praha; Martin Macháček, Ondřejov

V chemické praxi je někdy potřeba rychle a levně zjistit koncentraci určité látky, např. škodliviny v ovzduší, ve vodě nebo v lidské krvi, živiny v tkáních apod. Nejčastěji se k tomu používají metody chromatografické a elektrochemické. Jejich výhodou je vysoká citlivost a dlouholeté zkušenosti, které s nimi máme. K jejich nevýhodám patří především to, že potřebné přístroje jsou drahé a náročné na obsluhu, ale i to, že neumožňují, aby se koncentrace sledovala spojitě.

V poslední době se však rozvíjejí i metody *optické*, které uvedené nevýhody nemají. V tomto článku si řekneme něco o optických metodách, které jsou založeny na použití speciálních optických vláken.

Optická vlákna

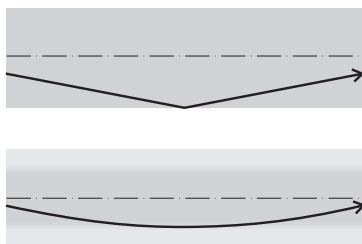
Nejprve zmíníme základní fakta o optických vláknech. *Optické vlákno* je v podstatě válcový vlnovod zhotovený z nějaké látky, která dobře vede světlo, např. z křemenného skla. Jak známo, když světlo dopadá na rozhraní dvou prostředí o různém indexu lomu, láme se. Při přechodu z prostředí s větším indexem lomu do prostředí s menším indexem lomu (např. ze skla do vzduchu) se světlo láme „od kolmice“. Dopadá-li však světlo na rozhraní pod velmi malým úhlem, přesněji řečeno, je-li úhel mezi kolmicí k rozhraní a dopadajícím paprskem větší než určitý *mezní úhel*, světlo do druhého prostředí vůbec neprojde a nastává *úplný odraz*.

Představme si nejdříve, že vlákno je z jednoho materiálu (obr. 1 nahoře). Prochází-li světlo takovým vláknem, je úhel mezi paprsky a osou vlákna velmi malý, takže při dopadu paprsku na stěnu vlákna (rozhraní mezi sklem a vzduchem) prakticky vždycky nastává úplný odraz a světlo nemůže vlákno opustit.

Jako výhodnější se však ukazuje trochu složitější struktura vlákna: Okolo *jádra* je ještě *plášť*; jádro má větší index lomu, plášť menší, ale index lomu pláště je samozřejmě stále ještě větší než index lomu vzduchu (obr. 1 dole). Pro názornost si lze představit, že je-li úhel mezi paprskem

a osou vlákna velmi malý, nastává opět úplný odraz, ale tentokrát paprsek mění svůj směr plynule, ne skokem.*) (Podobný úplný odraz s plynulou změnou směru paprsku nastává nad rozpálenou silnicí nebo půdou, dopadá-li na ně paprsek pod velmi malým úhlem. Proto v horkém létě vidíme z auta v dálce na silnici „kaluže“ a proto se také vzdálená protijedoucí auta na silnici „zrcadlí“. Obojí je způsobeno úplným odrazem světla na rozhraní chladnějšího, hustšího vzduchu ve výšce a teplejšího, řidšího vzduchu těsně nad rozpálenou zemí. Rovněž odrazy paprsků nad pouští, známá fata morgana, má podobný původ.)

Pro aplikace, o kterých v tomto článku píšeme, je důležité, že *část světla při úplném odrazu proniká z jádra do pláště a pak se zase vrací do jádra.*



Obr. 1. Světelný paprsek se šíří podél tenkého vlákna, mezi paprskem a osou vlákna (vyznačenou čerchovaně) je jen velmi malý úhel. Je-li vlákno z jednoho materiálu, pak se paprsek, když dopadne na rozhraní vlákno-vzduch, odrazí zpět do vlákna (horní obrázek). Má-li vlákno vnitřní jádro o vyšším indexu lomu obalené pláštěm o nižším indexu lomu, pak se místo ostrého úplného odrazu paprsek plynule „ohne“ a opět se vrátí zpět do vlákna (dolní obrázek).

Absorpce světla

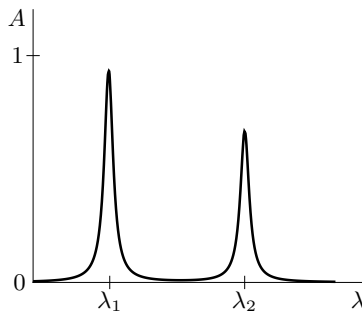
Jak známo, viditelné světlo je „směs“ elektromagnetických vlnění o vlnových délkách přibližně od 400 nm do 700 nm. Je-li v této „směsi“ zastoupeno jen vlnění o jedné vlnové délce (tedy vlnění přesně sinusové), vidíme ho jako světlo jedné spektrální barvy – např. vlnění o vlnové délce 490 nm je modrozelené světlo. Jsou-li ve „směsi“ zastoupena světla všech vlnových délek přibližně rovnoměrně, vidíme světlo bílé. Bílé světlo se tedy skládá z mnoha různých barevných složek.

Když takové světlo dopadne na určitou látku, některé barevné složky, z nichž se skládá, se od látky mohou odrazit, jiné mohou látkou projít

*) Přesnější popis daného problému může zvědavý čtenář najít např. v monografii *Základy fotoniky* autorů B. E. Saleha a M. C. Teicha, kterou v roce 1994 vydalo nakladatelství Matfyzpress.

prakticky beze změny a ještě jiné se v ní mohou pohltit. Podle toho pak danou látku můžeme vidět jako barevnou. Jestliže např. látka odráží do našeho oka jen světlo o vlnové délce 490 nm, vidíme ji jako modrozelenou. Každá látka odráží, propouští a pohlcuje jiné barevné složky světla.

Toho využíváme v *absorpční spektroskopii* k identifikaci látek. Vzorek látky osvítíme bílým světlem a měříme intenzitu světla, které vzorkem prošlo, v závislosti na vlnové délce (tedy „intenzitu jednotlivých barev“). Zajímá nás při tom, jaký podíl záření o určité vlnové délce se v látce absorboval. Tento podíl se nazývá *spektrální koeficient absorpce* (česky též *spektrální pohltivost*) a označuje se A . Je zřejmé, že veličina A může nabývat hodnot od 0 do 1. Při $A = 0$ všechno světlo projde (absorpce je nulová), při $A = 1$ se naopak všechno světlo pohltí. Na obr. 2 vidíme, jak by mohl vypadat graf spektrálního koeficientu absorpce A v závislosti na vlnové délce λ . Takový graf bývá charakteristický pro určitou látku – to znamená, že když měřením určíme závislost A na λ , můžeme poznat, o kterou látku jde.



Obr. 2. Příklad, jak by mohl vypadat graf spektrálního koeficientu absorpce určité látky. Příslušná látka silně pohlcuje světlo v okolí vlnové délky λ_1 a slaběji pohlcuje světlo v okolí vlnové délky λ_2 . Světla ostatních vlnových délek pohlcuje jen velmi málo.

Optické senzory

Nejjednodušší postup, jak určit spektrální koeficient absorpce A , je nechat bílé světlo procházet průhlednou látkou a pak ho rozložit na spektrum. V tomto článku však chceme popsat jinou metodu – tu, která používá speciální optická vlákna. Vyžaduje sice náročnější zařízení, ale zato pak umožňuje rychlé, spojitě a dlouhodobé měření.

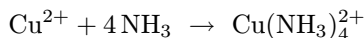
Podstatné pro tuto metodu je, že plášť optického vlákna může být *částečně propustný pro chemické látky*. Obohatíme ho určitou vhodnou látkou (*reagentem*) a pak ho vložíme do prostředí obsahujícího zkoumanou látku (*analyt*). Je-li prostředím vodný roztok, zkoumáme obvykle koncentraci určitého iontu. Když analyt proniká do propustného pláště, nastává chemická reakce mezi ním a reagentem. Výsledným produktem této reakce je látka, která má určitý charakteristický průběh veličiny A – tedy absorbuje světlo o určitých charakteristických vlnových délkách.

V praxi se jako materiál pláště často používá měkčené PVC. Mezi jeho dlouhými molekulami je totiž dost volného prostoru, do kterého se vejdou malé molekuly reagentu a do kterého mohou z okolí pronikat molekuly analytu. Jak se takové optické vlákno s pláštěm vyrábí? K směsi PVC a určitého rozpouštědla přidáme vhodný reagent. Do směsi namočíme jádro (např. vlákno z křemenného skla) a pomalu ho vytahujeme. Změkčovadlo se odpaří, PVC se uchytil na jádře a reagent zůstane v prostoru mezi jeho molekulami.

Jak už jsme řekli, když bílé světlo prochází vláknem, dostává se jeho část i do pláště, ve kterém je produkt této chemické reakce. Tento produkt pak částečně pohltí světlo určitých vlnových délek, takže světlo, které se vrací z pláště do jádra, nese už charakteristický „podpis“. Rozložíme-li ho na spektrum, poznáme, zda a v jaké koncentraci je v plášti určitý produkt, a tím také, zda a v jaké koncentraci je zkoumaný analyt okolo vlákna.

Na závěr uvedeme dva konkrétní příklady.

Chceme-li měřit koncentraci iontů mědi, použijeme jako reagent *amoniak*. Reakce měďnatých iontů s amoniakem probíhá ve vodném roztoku takto:



Jejím produktem je komplexní iont $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, který se projevuje charakteristickou modrou barvou. A právě tu můžeme určit spektrální analýzou vystupujícího světla.

Jiným příkladem je měření koncentrace vodíkových iontů H^+ , tedy vlastně měření pH (stupně kyselosti nebo zásaditosti roztoku). Při tom používáme jako reagent *niřskou modř*, modrozelené organické barvivo o sumárním vzorci $\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{N}_3\text{OCl}$, které svou barvu mění právě v závislosti na pH.