

Rozhledy matematicko-fyzikální

František Jáchim

Augustin Jean Fresnel (1788–1827)

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 96 (2021), No. 4, 45–52

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/149342>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2021

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>

- [9] *An Introduction to Iron. AZO materials*. Dostupné online: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=619>
- [10] Compression and tension strength of some common materials. *The Engineering Toolbox – Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications*. Dostupné online: https://www.engineeringtoolbox.com/compression-tension-strength-d_1352.html
- [11] Weisskopf, V. F.: Search for simplicity: Mountains, waterwaves, and leaky ceilings. *American Journal of Physics*, roč. 54 (1986), č. 2, s. 110–111.
- [12] Mikulčák, J., Charvát, J.: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Prometheus, Praha, 2006.
- [13] *Mars (planeta)*. Wikipedia. Dostupné online: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_\(planeta\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Mars_(planeta))
- [14] *TNT equivalent*. Wikipedia. Dostupné online: https://en.wikipedia.org/wiki/TNT_equivalent
- [15] *Tabulky nutričních hodnot*. nzip.cz. Dostupné online: <https://www.nzip.cz/clanek/612-tabulky-nutricnich-hodnot>
- [16] Bochníček, Z.: *Padající pružina*. In: Koudelková, V., Kácovský, V. (eds.): *Veletrh nápadů učitelů fyziky 25*, sborník z konference, MarfyzPress, Praha, 2020, s. 26–34. Dostupné online: https://vnuf.cz/2020/sbornik_VNUF_2020.pdf
- [17] Roll, P. G., Krotkov, R., Dicke, R. H.: The equivalence of inertial and passive gravitational mass. *Annals of Physics*, roč. 26 (1964), s. 442–517.
- [18] Rini, M.: Space tests of the equivalence principle. *Physics*, roč. 10 (2017), December 4, s. 133–133. Dostupné online: <https://physics.aps.org/articles/v10/s133>

Augustin Jean Fresnel (1788–1827)

František Jáchim, Základní škola Dukelská, Strakonice

Po Newtonových objevech z druhé poloviny 17. století se optika stala středem zájmu fyziků, neboť řadu jevů se nedařilo uspokojivě vysvětlit Newtonovým mechanickým modelem světla jako proudu částic. Zatímco v Anglii provedl několik základních pokusů podporujících domněnku o vlnové podstatě světla Thomas Young (1773–1829), ve Francii

se téměř stejnému tématu věnoval Augustin Jean Fresnel, který ovšem zpočátku neměl o práci svého anglického kolegy nejmenší tušení.

Augustin Jean Fresnel (obr. 1) patřící do galerie slavných francouzských fyziků se narodil 10. 5. 1788 v městečku Broglie v Normandii. Nejprve absolvoval lyceum *École centrale v Caen* a v 17 letech byl přijat na pařížskou polytechniku. Tam patřil k nejlepším studentům a stejně tak si počínal na současně studované *École nationale des ponts et chaussées* (Škola mostů a cest). Během studií přišel do styku s řadou vynikajících vědců tvořících zlaté období francouzské matematiky a fyziky. Byl zaujat pokusy Etienna Stephena Maluse (1775–1812), Françoise Dominiqua Araga (1786–1853), s nímž později úzce spolupracoval, i pracemi matematika Adrien-Marieho Legendra (1752–1833). Motivován těmito lidmi i současnými nerozřešenými otázkami fyziky podstatně přispěl k rozvoji optiky. Jeho přínos fyzice byl zhodnocen v roce 1818 cenou *Académie des Sciences*. O pět let později se stal řádným členem Francouzské akademie věd a v roce 1825 londýnské *Royal Society*. A. J. Fresnel zemřel 14. června 1827 ve Ville-d'Avray u Paříže.



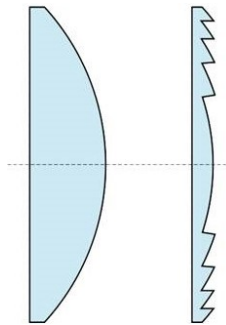
Obr. 1: Augustin Jean Fresnel (1788–1827)

Fresnelova cesta k objevům nebyla tak přímočará, jak by se z výše uvedeného výčtu kontaktů a cen zdálo. Protože byl royalista, těžko mohl být veřejně a vědecky činný v napoleonské Francii. Na straně royalistů stál i v době, kdy na půdu Francie vstoupil Napoleon po návratu z Elby netušíc, že je to jen na 100 dní. Napoleonské války silně omezily styky mezi Francií a Anglií, a to i v oblasti vědecké. Teprve v roce 1816 pronikly některé výsledky Fresnelových prací na anglickou půdu při návštěvě Araga

s Gay-Lussacem (1778–1850) u Thomase Younga (1773–1829). Naopak francouzští vědci byli překvapeni stejnými výsledky Youngovy práce na poli vlnové optiky. Jak Young uvádí ve svých *Přednáškách* z roku 1807, již tehdy se zabýval interferencí světla, tedy jevem vlnovým, ačkoli stále ještě dominovala Newtonova představa o částicové povaze světla. Počátek Fresnelovy cesty ke zkoumání světla ale začal ryze technickými činnostmi.

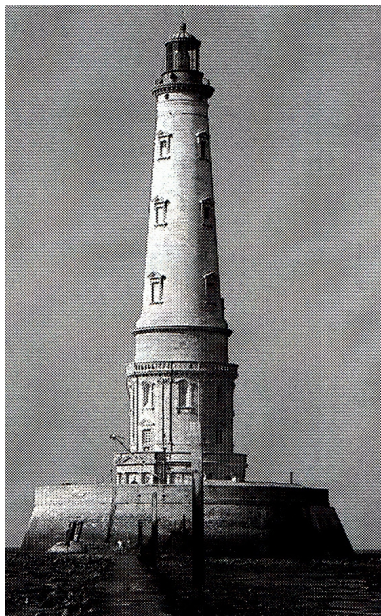
Majáky

Roku 1814, v době, kdy Fresnel končil své působení u Správy veřejných cest, poslal dopis F. D. Aragoovi s překvapivou žádostí, o jejímž motivu nevíme, aby mu sdělil všechny novinky o optice, zejména o polarizaci. Arago pozval Fresnela do Paříže a obstaral mu místo v Komisi pro majáky. Zde Fresnel navrhl výrazné změny v konstrukci majákových svítidel, která začal osazovat čočkou, která i při velké optické mohutnosti byla neobyčejně tenká. Její vynález byl opřen o poměrně jednoduchou myšlenku: Plně si uvědomil, že k lomu světla dochází pouze na rozhraní prostředí a že vnitřek čočky je jaksi zbytečný, pro požadované optické zobrazení postačí pouze zachovat segmenty s lámavou plochou (obr. 2).



Obr. 2: Čočky se stejnou optickou mohutností. Vlevo normální konvexní čočka, vpravo Fresnelova čočka

Poprvé byly osazeny v roce 1823 na maják Cordouan při ústí Gironde (obr. 3) a rychle našly uplatnění v řadě dalších majáků. Dnes jsou Fresnelovými čočkami osazována železniční návěstidla, nalezneme je i v optické soustavě školních zpětných projektorů a v koncentrátorech slunečního záření v solárních tavicích pecích.

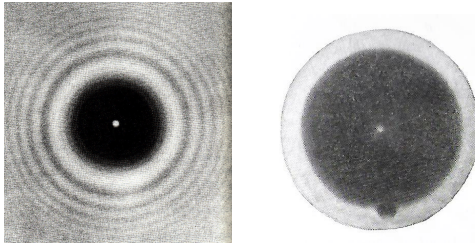


Obr. 3: Maják Fare de Cordouan při ústí francouzské řeky Gironde, první maják, jehož světla byla osazena Fresnelovými čočkami

Pokračovatel Thomase Younga

Mezi členy francouzské Akademie věd převládali zastánci Newtonovy korpuskulární teorie světla i v době, kdy už byly známé práce Christiaana Huygense (1629–1695) i Thomase Younga signalizující, že ryze částicový popis světla je nedostatečný pro řadu dalších jevů. Ke stěžejním Youngovým pokusům patří sledování ohybu světelných paprsků za tenkým vláknem nebo při průchodu štěrbinou. Ke cti slavných akademiků preferujících Newtonův popis před rodící se vlnovou teorií lze přičíst skutečnost, že v roce 1819 vypsali cenu na jednoznačné pojednání o difrakci světla. Práci napsal s využitím vlnových představ právě A. J. Fresnel – a cenu získal. Nezanikly však všechny pochybnosti. Jedním z pochybujících byl Siméon Denis Poisson (1781–1840), a právě on pomohl Fresnelovi jeho teorii potvrdit. Oč šlo? O malou hru světla a stínu: Jak bude vypadat stín za malou osvětlenou kuličkou. Pokud by byla Fresnelova vlnová teorie správná, do stínu za kuličkou by musely proniknout světelné vlny jdoucí kolem okraje kuličky, interferovat a v samém

středu kruhového stínu vytvořit – překvapivě – plně osvětlenou skvrnu. Tak to Poisson vypočítal z Fresnelova matematického popisu jevu. Fresnel tentokrát už spolupracující s Aragem provedl příslušný pokus, jímž získal na stínítku očekávaný obraz (obr. 4). Pokus s kuličkou doplňoval dřívější pokusy, jimiž byla difrakce demonstrována, a nedal se vysvětlit jinak než vlnovými vlastnostmi světla.



Obr. 4: Fresnelova–Aragova–Poissonova stopa ve středu difrakčního obrazce

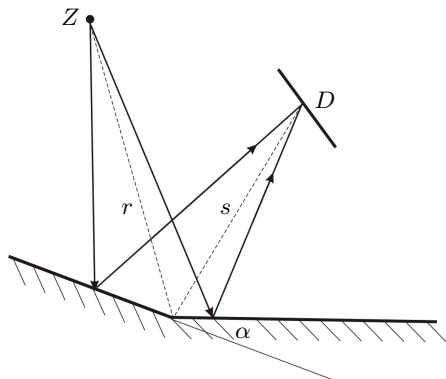
Kromě difrakce se Fresnel zabýval i interferencí světelných paprsků. Tyto pokusy už měl za sebou Young, Fresnel o nich nevěděl, a tak jeho experimenty mají půvab originality. K pozorování interference světla Fresnel provedl dva dále popsané pokusy.

Dva koherentní paprsky, které interferovaly na stínítku, získal pomocí dvou zrcadel, přičemž jedno z nich bylo nepatrně odchýleno od roviny druhého zrcadla (obr. 5). Koherentní paprsky poskytoval jediný zdroj Z . Kromě pozorování interferenčních kroužků na stínítku D Fresnel za předpokladu velmi malého úhlu α našel vztah pro určení vlnové délky světla:

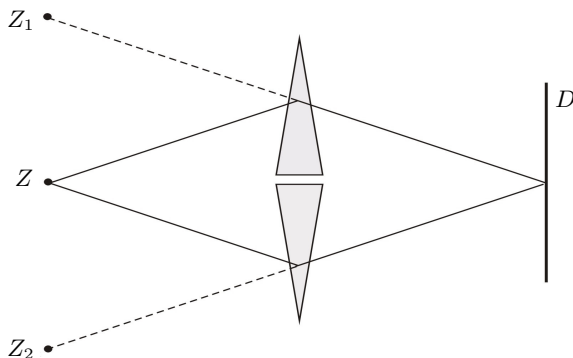
$$\lambda = \frac{2\alpha r}{r + s}.$$

Pokus dokázal ještě zjednodušit uspořádáním podle obr. 6. Pomocí dvou prizmatických hranolů s malými lámavými úhly opět docílil na stínítku interferenci koherentních paprsků ze zdroje Z , zdánlivě vycházejících ze dvou zdrojů Z_1 a Z_2 .

Když se dověděl o Youngových pokusech a pozorováních, nebyl zklaman. Navázal s Angličanem písemný styk a jeho pokusy ocenil. Šel však dále – pouhý kvalitativní popis Youngův doplnil teoretickým popisem prostřednictvím příslušného matematického aparátu.



Obr. 5: Pokus vedoucí k interferenci koherentních paprsků – Fresnelova zrcadla



Obr. 6: Pokus vedoucí k interferenci koherentních paprsků pomocí prismatických hranolů

Polarizace

Hlavní oblastí vědeckého zájmu se Fresnelovi stala polarizace. K dispozici měl pouze základní poznatky o dvojlomu světla v krystalu, získané asi před 150 lety při náhodilém pozorování, na něž nebylo dosud nijak navázáno. Na objasnění tohoto pozoruhodného jevu proto roku 1808 Francouzská akademie vypsala cenu. Ta k problému nejprve přilákala E. S. Maluse (1775–1812) zkoumajícího chod světla islandským vápencem, který přitom objevil polarizaci odrazem a spolu s J. B. Biotem (1774–1862) polarizaci lomem. Fresnel plně podpořil dosud opatrné úvahy o tom, že světlo je vlnění příčné, vyslovené již Youngem i Aragem, a z tohoto pohledu odvodil vztahy pro velikosti amplitud lomených i

odražených paprsků, jestliže dopadající světelné vlny jsou polarizovány (v rovině dopadu a v rovině kolmé na rovinu dopadu). Pro podíly velikostí amplitud odraženého a dopadajícího světla (index 1 – polarizace v kolmé rovině, index 2 – polarizace v rovině dopadu) nalezl vztahy

$$A_1 = \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad A_2 = \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \quad (1)$$

v nichž α a β jsou po řadě velikosti úhlů dopadu a lomu. Tyto vztahy zde uvádíme bez dalších podrobností.¹⁾ Jde nám zejména o to, abychom mohli čtenáři ukázat, jaký význam mají pro vysvětlení běžné situace, kterou nepochybně zná: Pohlédneme-li téměř kolmo na hladinu vody nebo na skleněnou desku z čirého skla, uvidíme svoji tvář. Sice slaběji než v zrcadle, ale přece. Už samotná existence odrazu je tak trochu podivná, vždyť zde máme dvě téměř dokonale průhledná prostředí – vodu a sklo. K objasnění spatření svého (slabšího) obrazu na vodní hladině uijeme právě Fresnelovy vztahy²⁾ (1).

Pro velmi malý úhel dopadu – což je úhel „našeho pohledu“ – jsou hodnoty goniometrických funkcí sinus a tangens prakticky rovny a dokonce je můžeme považovat za rovné argumentům. Oba vztahy (1) pak přecházejí na jednoduchý poměr $\frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta}$. Protože pro malé úhly platí

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\alpha}{\beta} = n,$$

kde n je index lomu³⁾, dostáváme úpravou pro amplitudu lomeného i odraženého paprsku

$$A = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} = \frac{n\beta - \beta}{n\beta + \beta} = \frac{n - 1}{n + 1}.$$

Protože intenzita vlnění je úměrná druhé mocnině amplitudy, pro zjištění, kolik světla se odrazí, uijeme vztah:

$$A^2 = \frac{(n - 1)^2}{(n + 1)^2}. \quad (2)$$

Jestliže budeme uvažovat rozhraní vzduch-voda, tedy např. kolmý pohled na hladinu vody, při indexu lomu vody $n = 1,33$ dostáváme po

¹⁾Zvídavého čtenáře zde odkazujeme na výklad v [3, str. 444–446].

²⁾Takto se v učebnicích nazývají.

³⁾Zde čtenář nepochybně vnímá Snellův zákon lomu.

dosazení $A^2 \approx 0,02$, tzn., že odraženého světla jsou asi 2 %. Dosadíme-li do výrazu (2) poměrně velký index lomu diamantu $n = 2,42$, dostáváme hodnotu výrazu (2) rovnou 0,17. Diamant odrazí asi 17 % světla, přibližně osmkrát více než voda nebo sklo.⁴⁾

Základní pokusy s polarizovaným světlem prováděl Fresnel spolu s Aragem. Na rozdíl od Younga získali dvě koherentní, avšak různě polarizované světelné vlny tak, že světlo nechali procházet destičkou z dvojlomné látky (selenit – odrůda sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a sledovali, jak spolu interferují dvě polarizované světelné vlny (polarizované lineárně ve vzájemně kolmých rovinách) a světelná vlna polarizovaná s nepolarizovanou. Dokázali, že světelné vlny polarizované ve vzájemně kolmých rovinách neinterferují. Z toho učinili závěr, že světlo je příčné vlnění.

Fresnelovo zkoumání polarizace přineslo obecnější výsledek než pouhý popis jevu. Pokud byla s jistou opatrností přijímána i vlnová povaha světla, mělo se za to, že světlo je mechanické vlnění podélné. Za tohoto předpokladu se ovšem nedařilo vysvětlit takový jev, jakým je polarizace. Fresnel zavedl předpoklad, že světlo je vlnění příčné, a z této premisy našel příslušnou teorii včetně matematického popisu, která byla plně v souladu s provedenými pokusy. Je považován také za objevitele kruhové a eliptické polarizace. Patrně vrcholem potvrzení vlnové povahy světla bylo roku 1850 Foucaultovo měření rychlosti světla v prostředích opticky hustších, než je vzduch.

Fresnelovo dílo je obdivuhodné, uvážíme-li, že trvale neuspokojivý zdravotní stav mu vymezil pouze 39 let života. Zemřel 14. června 1827 v městečku Ville-d'Avray nedaleko Paříže. V roce 2022 si připomeneme 195 let od jeho úmrtí.

Literatura

- [1] Štoll, I.: *Dějiny fyziky*. Prometheus, Praha, 2009.
- [2] Kraus, I.: *Fyzika v kulturních dějinách Evropy (díl Romantici a klasikové)*. ČVUT, Praha, 2009.
- [3] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M.: *Feynmanovy přednášky z fyziky (díl 1.)*. Fragment, Praha, 2013.
- [4] Lipson, H.: *The Great Experiments in Physics*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 1972.
- [5] Friš, S. E., Timoreva, A. V.: *Kurz fyziky III*. NČ SAV, Praha, 1954.

⁴⁾Připojme zde rychlosti světla v různých prostředích: např. ve vakuu 300 000 km/s, ve vodě 225 000 km/s, v diamantu 124 000 km/s.