

FYO - Fyzikální optika

Wienerův pokus

Marek Salát, xsalat00

2. března 2015

Obsah

1	Úvod	1
2	Otto Wiener	2
3	Stojaté vlny	3
4	Wienerův pokus	5
5	Popis aplikace	6
6	Závěr	8

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na Wienerův pokus. Je zde rozebrán život Otty Wienera a jeho příspěvků k experimentální fyzice. Jsou zde rozebrány stojaté vlny. V tomto článku je velmi dopodrobna popsán Wienerův experiment, který dokazuje, že světlo je tvořeno elektromagnetickým vlněním a dokázal, že v chemických procesech při výrobě fotografií má hlavní zásluhu elektrická část světla. Součástí je také ukázková aplikace, která simuluje zadaný experiment.

1 Úvod

Jméno Otty Wienera je často spojováno s pokusem, kterým dokázal existenci stojatých vlny. Nutno dodat, že okolo roku 1890, vědce velice poutala právě myšlenka stojatého vlnění. Zdálo se, že většina z nich tehdy nebyla přesvědčena o tom, že světlo je opravdu další forma elektromagnetického vlnění. Jednou z velkých překážek určitě byla velikost vln světla. Hertzovy radiové vlny dosahují vlnových délek v řádech metrů, zatímco viditelné světlo má vlnové délky mezi tří sty až sedmi sty nanometry, což jsou miliardtiny metru. Takové to vzdálenosti nemohou být pozorovány pouhým okem. Nebo mohou? Otto Wiener to díky svému nezměrnému důvtipu a vynalézavosti dokázal.

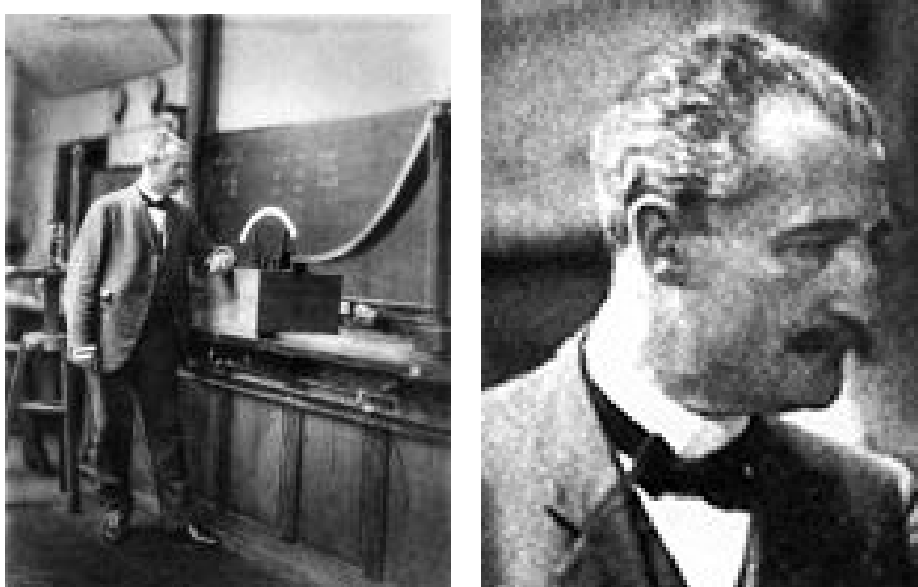
Určitě stojí za zmínku, že většina vědeckých článků té doby připouštěla (i v experimentech) v souladu s *Mechanickou teorií světla* (teorie vyvrácena Albertem Einsteinem v jeho teorii relativity), že světlo se šíří zatím neobjeveným prostředím zvaným *éter*. Že je světlo tvořeno elektromagnetickým vlněním, byla až dodatečná myšlenka v jeho práci.

Rok po Hertzově experimentu roku 1889, Otto Wiener provedl podobný experiment. Zjednodušeně řečeno vytvořil stojatou vlnu z monochromatického světla za pomoci stříbrné destičky a filmu. Přichozí vlna kolmá na zrcadlo mohla interferovat s vlnou odraženou, čímž vznikla stojatá vlna. Aby tento jev zachytil, použil průhledný film, položený na destičce pod velice malým úhlem.

V tomto projektu se nejdříve podíváme na Wienerovu historii. Následně jsou zde rozebrány stojaté vlny, jako příprava pro rozbor Wienerova pokusu. Hlavní část této práce je věnována pokusu samotnému. Náplní projektu také bylo vytvoření ukázkové aplikace, která je zde popsána spolu s ovládáním a použitými technologiemi. Aplikace simuluje Wienerův pokus, což znamená, že uživatel může vidět dění v simulačním čase s použitím animací.

2 Otto Wiener

Otto Wiener se narodil roku 1862 učiteli deskriptivní geometrie na Karlsruheské střední škole Christianu Wienerovi a matce Paulíně Hausrathové (sestra protestantského kněze). Wienerova matka zemřela na tyfus. Chlapec osiřel ve věku tří let. [2]



Obrázek 1: Otto Wiener, experimentální fyzik vyfocen v Lipsku roku 1899.

Wiener studoval nejdříve v Karlsruhe, poté se přesunul do Berlína. Nakonec získal doktorát na Štrasburské univerzitě v roce 1887 pod vedením Augusta Kundta, za práci, která se zabývala změnou fáze (elektrické složky) světla při odrazu. V roce 1890 se stal kvalifikovaným lektorem „Stehende Lichtwellen“ (stojaté vlny). Wiener je znám především pro přínos v oblasti stojatých vln a také proto, že byl schopen změřit vlnovou délku světla (mimo jiné také šířku pŕhledného filmu). V roce 1895 byl povýšen a ve stejném roce (ve věku 32 let) se oženil s Linou Fennerovou. Roku 1895 Wiener přijal nabídku plného profesoriátu na Guessenské univerzitě. Jeho cílem zde bylo vybudovat nový institut fyziky. Zkušenosti z toho projektu využil v podobném projektu Lipské univerzity v roce 1899. [2]

Jak bylo napsáno výše Wienerovo jméno je povětšinou spojováno s experimenty, které demonstrují stojaté vlny. V roce 1888 Heinrich Hertz prokázal v Karlsruhelském institutu existenci elektromagnetických vln. Vlny, které detekoval, měly délku okolo osmi metrů. Rok později Wiener provedl podobný experiment s elektromagnetickými vlnami světla, které jsou přibližně milionkrát menší než vlny, které detekoval Hertz. [2]

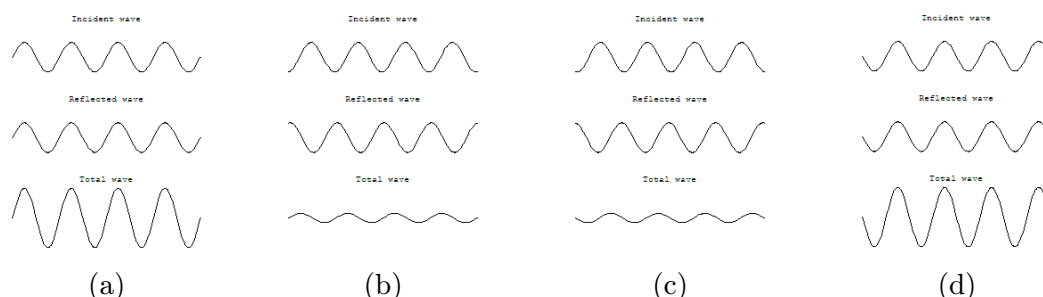
Poté co obdržel doktorát, bylo jeho cílem změřit absorpci světla na tenké průhledné kovové vrstvě. K provedení bylo zapotřebí znát šířku vrstvy filmu a změnu fáze světla při reflexi (odrazu). Díky tomuto výzkumu se stal Wiener průkopníkem v této oblasti. [2]

Stojaté vlny brzy našly uplatnění v Lippmannově barevné fotografii. Wiener měl také zálibu v technických problémech, především v letu ptáků, a byl velmi zaujat v leteckém průmyslu. Otto Wiener zemřel roku 1927 v německém Lipsku ve věku šedesáti čtyř let. [4]

3 Stojaté vlny

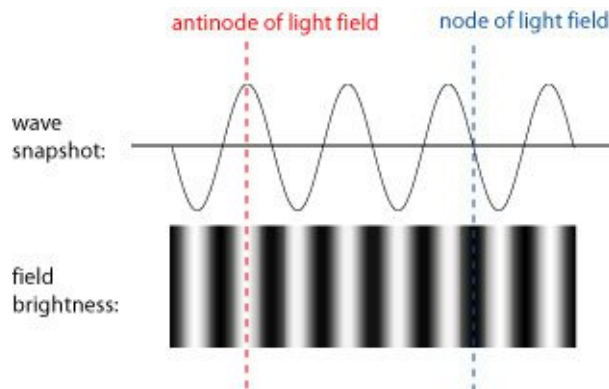
V roce 1890, byla myšlenka, že je světlo tvořeno elektromagnetickými vlnami relativně nová. J. C. Maxwell dokázal, že se elektromagnetické vlny šíří rychlostí světla. První člověk, který byl toto schopen demonstrovat a dokázat existenci elektromagnetických vln byl Heinrich Hertz. V roce 1887 dokázal, že jsou tyto vlny konzistentní s Maxwellovou teorií, dokázal měřit jejich rychlost, intenzitu elektrického pole a polarizaci. Dokonce se mu i podařilo vytvořit stojatou vlnu za pomoci zinkové destičky. [3]

Stojatá vlna vznikne interferencí dvou vln, monochromatické vlny s vlnou odraženou od zrcadla, na kterou mířila kolmo. Stojatá vlna pak osciluje nahoru a dolů bez zdálivého směru pohybu. Tento jev je znázorňuje následující série obrázků.



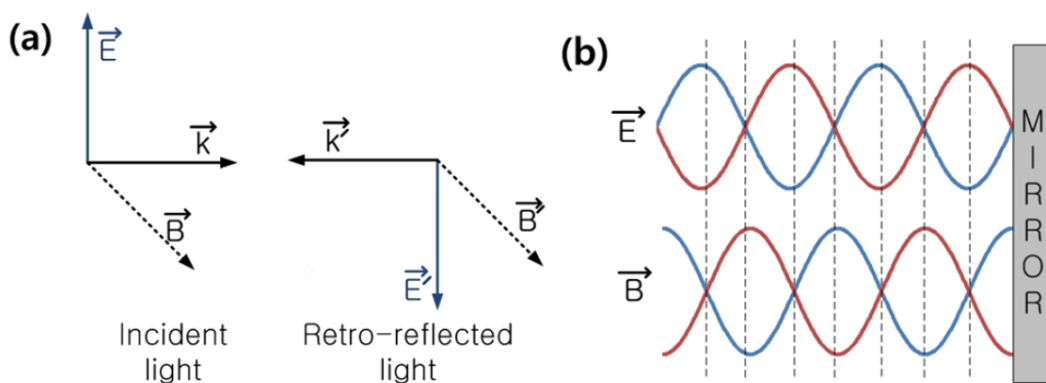
Obrázek 2: Ukázka principu stojaté vlny. První vlna směřuje zleva do prava, po odrazu změni fázi a směřuje zprava doleva (zobrazena jako druhá vlna). Výsledná stojatá vlna je vykreslena jako třetí.

Čtenář si může povšimnout, že u výsledné vlny jsou body, které neoscilují, stojí na místě, tyto body se nazývají uzly. Místa kde vlna kmitá nejvíce, mezi minimem a maximem, říkáme kmity. U viditelného světla je tato oscilace tak rychlá, že lidské oko detekuje pouze průměrnou světlost vlny. Světlo není tam, kde jsou uzly a místo se jeví jako tmavé, zatímco kmity se jeví jako světlé. Na obrázku 3 je znázorněno jak by takovéto chování mohlo vypadat.



Obrázek 3: Intenzita světla pro kmity a uzly. Kmity jsou světlá místa. Uzly jsou tmavá místa.

Jistě stojí za zmínku, že vzdálenost mezi uzly a kmity je právě polovina vlnové délky. Pozice uzlů a kmitů je určena tím zda-li vlna po odrazu mení či nemění znaménko (fázi). Změna fáze je znázorněna na obrázku 4.

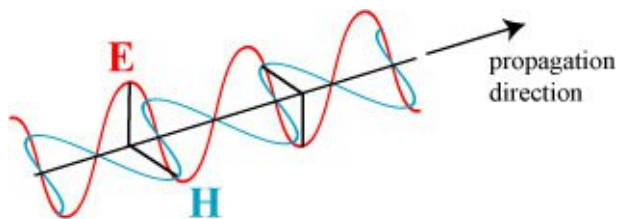


Obrázek 4: Změna fáze světla při odrazu.

Paprsek světla je tvořen dvěma částmi. Jedná se o elektrickou složku E a magnetickou složku H . Obě tyto složky oscilují se stejnou vlnovou délkou, frekvencí a jsou ve fázi (viz obrázek 5), mohou také indukovat jak elektrické tak magnetické síly podle Lorentzova zákona. [3]

$$F = e(E + \frac{v}{c} \times B) \quad (1)$$

V optice se můžeme setkat s tím, že u světla se znázorňuje pouze jeho elektrická část. Také polarizace světla je určena podle směru elektrické složky. Magnetická složka je povětšinou ignorována.

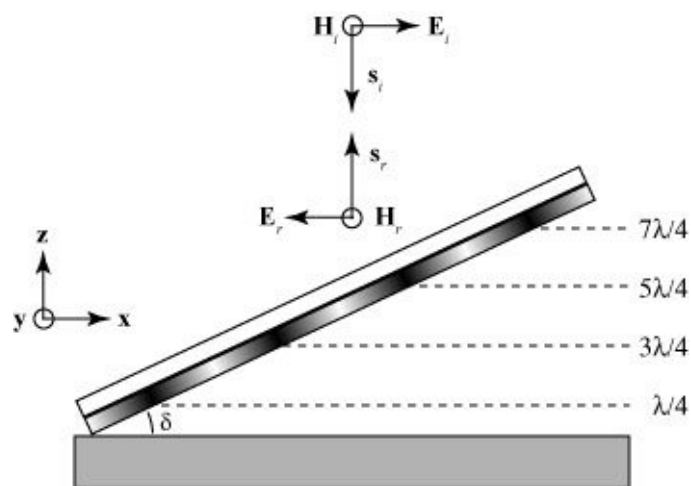


Obrázek 5: Propagace elektrické a magnetické části světla.

4 Wienerův pokus

V roce 1890 nebyla úplně známá struktura atomu a nebylo zcela zřejmé jak světlo interaguje s hmotou. Hlavní otázkou bylo, zda-li v chemických procesech při výrobě fotografie je spíše zapojeno E nebo H . Jak se chová světlo pokud se odráží kolmo z povrchu a jak to ovlivňuje fázi. Wiener, především inspirován Hertzem, doufal, že najde odpovědi na tyto otázky a pokud to bude možné, demonstrovat stojaté vlnění. Jak již asi tušíte, Wiener uspěl. Separoval kmity, v intervalech přibližně $2 \cdot 10^{n+1} \text{ cm}$ před stříbrnou destičkou, vytvořené kolmo přicházejícím monochromatickým světlem. Wiener dokázal, že jsou to uzly, které leží na povrchu zrcadla a ne kmity. Odvodil tak, že při odrazu musí dojít ke změně fáze. Nezapomínáje, že tímto také dokázal, že právě elektrická složka světla má vliv na fotosensitivní vrstvu. Wienerův ohromující úspěch byl přijat a je dodnes považován za mistrovské dílo v experimentální fyzice.

Wiener navrhl následující pokus, popsán níže, za účelem objasnění role elektrického pole v optice. **6**



Obrázek 6: Nákres Wienerova pokusu.

Monochromatická polarizovaná vlna směřuje kolmo na odrazovou plochu (stříbrná destička). V tomto projektu předpokládáme dokonalé zrcadlo (z důvodu zachování jednoduchosti). Vlna mířící na zrcadlo společně s odraženou vlnou vytvoří stojatou vlnu. Wiener použil tenký film (film by měl být výrazně tenčí než vlnová délka světla). Na filmu se mohly objevit dva vzory. Pokud se podíváte na obrázek 6, na výsledném filmu mohly být světlé a tmavé vertikální čáry, v případě, že film ovlivňuje elektrická část světla (to proto, že v prostoru z pohledu zhora, stejně jako na obrázku, se střídají světlé a tmavé proužky ve směru osy z). Pokud by se na filmu objevily horizontální světlé a tmavé proužky, znamenalo by to, že film byl ovlivněn magnetickou částí světla (to proto, že v prostoru z pohledu zhora, stejně jako na obrázku, se střídají světlé a tmavé proužky ve směru osy y). Pokud by byl film pod úhlem 0 (rovnoběžně se zrcadlem) nejenom, že by výsledek nešel vidět pouhým okem, ale také by byl film buď světlý nebo tmavý. Zde Wiener použil chytrý trik, při kterém film natočil o malý úhel. To způsobilo, že film nyní *prořezává* světlé a tmavé vsrty, čímž dochází k projekci intenzit stojaté vlny na film.

Na povrchu zrcadla, musí být elektrická část světla rovna nule, zatímco magnetická část zde nabývá svého maxima. Jednoduše se dá vypočíst, že maxima elektrické složky v ose z budou

$$z = m\lambda/4, \quad m = 1, 3, 5, \dots \quad (2)$$

zatímco maxima magnetické složky se nachází

$$z = m\lambda/4, \quad m = 2, 4, 6, \dots \quad (3)$$

Kde λ vyjadřuje vlnovou délku světla. Z rovnic vyplývá, že maxima elektrické a magnetické složky se objevují v jiných bodech prostoru. Pozorováním filmu, může být pomocí světlých a tmavých proužků vyvozeno, zda-li má vliv elektrická nebo magnetická složka světla v chemických procesech při tvorbě fotografie.

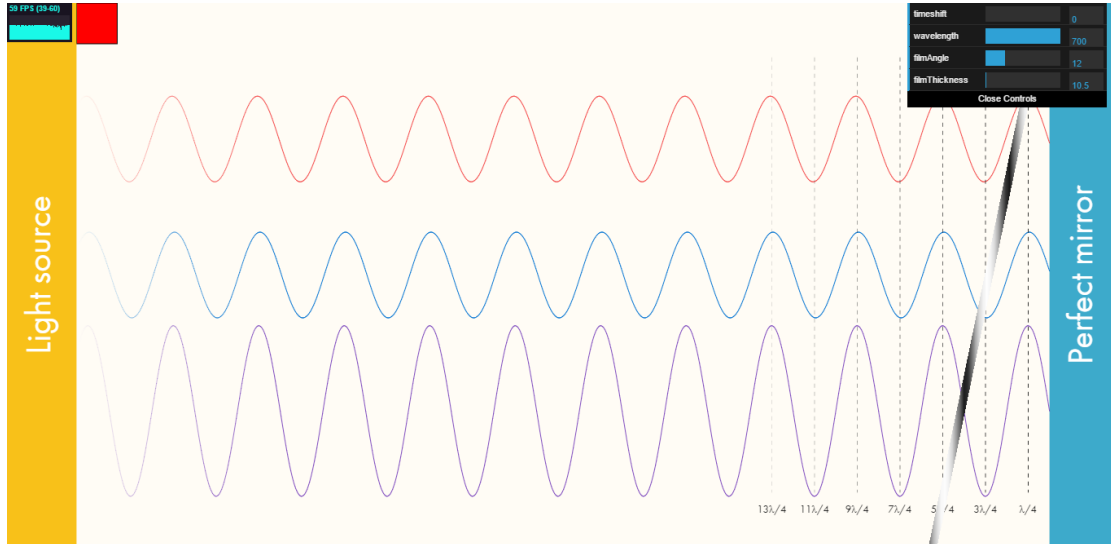
Wiener tímto demonstroval, v souladu s elektromagnetickou teorií, že elektrická část světla je hlavní (důležitější) částí.

Wiener měl před sebou ještě jednu překážku a tou byl film. Ten nejenom, že musel být průhledný, aby mohlo světlo procházet zkrz, ale také musel být dostatečně tenký (významně tenčí než vlnová délka světla). Wiener ve svém experimentu použil film, který byl asi 30x tenčí než vlnová délka světla které používal (sodiová oblouková lampa, přibližně s 600 nm). Film měl tehdy přibližně okolo 20 nm.

5 Popis aplikace

K demonstrování Wienerova pokusu jsem vytvořil aplikaci, která znázorňuje šíření elektrické části světelné vlny, simulace odrazu této vlny a součet obou vln (ukázka

stojatého vlnění). Pohyb vln je animován. Na obrázku 7 je příchozí vlna vycházející ze zdroje světla (žlutá destička v levo) označena červeně. Odražená vlna od zrcadla (modrá destička v pravo) je zvýrazněna barvou červenou. Výsledné stojaté vlně jsem přiřadil barvu fialovou. Nedílnou součástí je také film, na kterém je vykreslena aktuální intenzita světla.



Obrázek 7: Ukázka aplikace.

V aplikaci je možné nastavit rychlost simulace, případně simulaci úplně zastavit, pomocí *timeshift*. Dále může uživatel zvolit vlnovou délku světla pomocí *wavelength*. Uživatel také vidí barvu zvoleného světla podle vlnové délky a to v levém horním rohu. Také je zde možnost nastavit úhel filmu (úhly jsou záměrně přechnané, v reálném experimentu by byly okolo 0,001 stupňů). A v neposlední řadě může uživatel zvolit šířku filmu. Přerušované vertikální čáry označují místa maxim (kmitů) stojaté vlny v bodech.

$$z = m\lambda/4, \quad m = 1, 3, 5, \dots \quad (4)$$

Aplikace je napsána pomocí *HTML5* a především pomocí prograovacího jazyka *javascript*. K vykreslování nebyly použity žádné externí knihovny a je použito výhradně nativní *API 2D context* a *canvas*. Celé zobrazení je responzivní (přispůsobuje se velikosti obrazovky).

Nabídku ovládacích prvků je možné skrýt stiskem klávesy *h*. Ovládací elementy byly vytvořeny knihovnou *dat.gui*. Měření statistik zajišťuje knihovna *stats*.

6 Závěr

V této práci byla rozebrána historie Otty Wienery. A to jak jeho důležitost pro experimentální fyziku tak i pro obyčejný život. Byl předveden důvtip zmiňovaného fyzika, který za svou práci v oblasti stojatých vln byl několikrát nominován na Nobelovu cenu. Byly zde rozebrány stojaté vlny a velice podrobně princip Wienerova pokusu. Představil jsem také webovou aplikaci, která čitelně znázorňuje a simuluje Wienerův pokus.

Práce Otty Wienera je dokolanou ukázkou rčení „*V jednoduchosti je krása*“.

4 2 1 3

Literatura

- [1] Hwan Hong Lim Krishnamoorthy Pandiyan Minsung Kim, Byoung Joo Kim and Myoungsik Cha. Demonstration of a standing light wave with a laser pointer. Technical report, Department of Physics, Pusan National University, Busan 609-735, 2010.
- [2] Complete Dictionary of Scientific Biography. Wiener, otto. <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830904649.html>, 2015.
- [3] Skullsinthestars. Classic science paper: Otto wiener's experiment (1890). <http://www.encyclopedia.com/doc/1G2-2830904649.html>, 2008.
- [4] Wikipedia. Otto Wiener (physicist). http://en.wikipedia.org/wiki/Otto_Wiener_%28physicist%29, 2014. [Online].