

Michelsonův–Morleyův experiment

J. Pohl*, J. Slabihoudek**

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*jarapohl@seznam.cz, **jakub.slabihoudek@seznam.cz

Klíčová slova

Albert Abraham Michelson, Edward Williams Morley, éter, interference, interferenční obrazec, koherentní záření, Michelsonův–Morleyův experiment, paprsek světla, rychlost světla, skládání vln elektromagnetického záření

Abstrakt

Článek stručně informuje o našem projektu z Fyzikálního semináře, ve kterém jsem se pokusili zopakovat Michelsonův–Morleyův experiment, jímž Albert Abraham Michelson a Edward Williams Morley v 80. letech 19. století vyvrátili existenci éteru.

1 Úvod

Naším projektem na Fyzikální seminář bylo zopakování Michelsonova–Morleyova experimentu. Využili jsme k tomu optickou laboratoř na půdě FJFI.

Od experimentu si slibujeme, že se nám podaří vyvrátit existenci éteru. Dále jsme si provedením tohoto experimentu chtěli odpovědět na následující otázky. Jak bude vypadat interferenční obrazec? Bude se měnit při různé délce ramen? Záleží na tom, aby obě ramena byla stejně dlouhá?

V této práci se nejprve stručně budeme zabývat historickým pozadím experimentu, pak vám popíšeme průběh experimentu, jak ho dělali Michelson a Morley, a nakonec vám prozradíme, jak jsme ho dělali my.

2 Éter

Éter je starobylá substance, která provází lidstvo a fyziku již od starověku. Ve starověku představoval éter tekutinu, která měla vyplňovat prostor za nebeskou klenbou, ve které se pohybovala nebeská tělesa. Ve středověku se éter vytratil z povědomí. Opět se o slovo přihlásil společně s otázkou: Co je světlo?

V roce 1704 Isaac Newton prohlásil, že světlo je proud částic. Jeho teorie byla přijata odbornou veřejností i přes značné nedostatky, například vůbec nevysvětloval, co způsobuje barvu a interferenci světla. Tyto jevy vysvětloval Christiaan Huygens svojí vlnovou teorií, ale jeho teorie se neprosadila. V roce 1801 provedl Thomas Young experiment, kterým prokázal, že se světlo chová jako vlnění.

Medium, které přenášelo světelné vlnění, nazvali éterem. Éter má vyplňovat naprosto celý vesmír. Je absolutně tuhý, protože rychlost světla je velmi vysoká a s rostoucí tuhostí (hustotou) prostředí roste i rychlost šíření vlnění, ale je i absolutně řídký, protože neklade pohybujícím se objektům žádný odpor. Z to bylo vyvozeno, že Éter je při pomalých změnách „řídký“, zatímco při rychlých změnách (šíření světla) je tuhý.

3 Albert Abraham Michelson

Narodil se v roce 1852 v Prusku. Dva roky po jeho narození se celá jeho rodina přestěhovala do USA, kde se nakonec zabydlela v San Franciscu. Už od dětství měl velký zájem o optiku, ten mu vydržel po celý jeho život.

Po studiích se vydal na studijní cestu po Evropě, při níž zavítal i do Berlína, kde uskutečnil svůj první pokus o změření vlivu éteru na rychlost světla pomocí tzv. interferometru, který si sám vyrobil. Po návratu do USA začal profesurovat na univerzitě v Chicagu. V roce 1887 se přestěhoval do Clevelandu, kde se potkal s Edwardem Williamsem Morleyem. V ten samý rok se spolu pokusili s drobnými technickými vylepšeními zopakovat Michelsonův pokus z Berlína (za tento pokus dostal v roce 1907 jako první Američan Nobelovu cenu za fyziku).

V roce 1892 změřil délku pařížského metru pomocí srovnání délky metru s délkou vlny kadmického světla. V letech 1892 až 1893 se vrátil k pokusu s interferometrem. Tentokrát měnil délku ramen a velikost vlnové délky světla (používal různých zdrojů světla). V období 1. světové války si zkonstruoval tzv. hvězdný interferometr, pomocí kterého jako první na světě měřil úhlové průměry hvězd. Roku 1923 se stal prezidentem Národní akademie věd USA. V této funkci působil až do roku 1927. Umírá v roce 1931 v Pasadeně.

4 Edward Williams Morley

Narodil se v roce 1838 v New Yorku. Jeho cesta k optice nebyla tak přímočará jako u Michelsona. Zpočátku se totiž zajímal především o chemii, až v průběhu magisterského studia zavítal k astronomii, a i k optice.

Od dětství trpěl mnoha nemocemi, proto ho až do jeho devatenácti let vzdělával otec doma. Už v roce 1860 z univerzitní observatoře poprvé přesně stanovil zeměpisnou šířku. Na žádost svého otce se po studiích zapsal do teologického semináře (dokonce pak později kázal v malé farnosti v Ohio). Než se stal v roce 1868 profesorem chemie (spolu s chemií vyučoval i botaniku a geologii) na univerzitě Ohio, učil dva roky na soukromé škole. Když se univerzita přestěhovala do Clevelandu, přesídlil spolu s ní i Morley. Od roku 1873 přednášel chemii na Clevelandské univerzitě medicíny. Po 15 letech z této pozice odstoupil, aby měl více času na svůj výzkum.

Spíše než experimentem prováděným s Michelsonem v roce 1887 v Clevelandu se do historie vědy zapsal spočítáním atomové hmotnosti kyslíku v roce 1895, kterou vyjádřil poměrem atomových hmotností kyslíku a vodíku, což se v roce 1995 stalo Národní kulturní chemickou památkou Americké chemické společnosti. Ke konci života se přestěhoval na venkov do Connecticutu, kde si postavil malý dům s laboratoří, ve které zkoumal minerály a nerosty. Umírá roku 1923 v nemocnici v Hatfordu.

5 Michelsonův–Morleyův experiment

5.1 Historický kontext

Inspirací při vymýšlení tohoto experimentu a sestavování interferometru, kterým vliv éteru na rychlost světla později měřil, byla Michelsonovi Foucaultova metoda měření rychlosti světla, se kterou se setkal již na vysoké škole, když si připravoval pokus na seminář z fyziky. Touto metodou se Léon Foucault pokusil změřit rychlost světla. Pouštěl světelný paprsek z bodu A

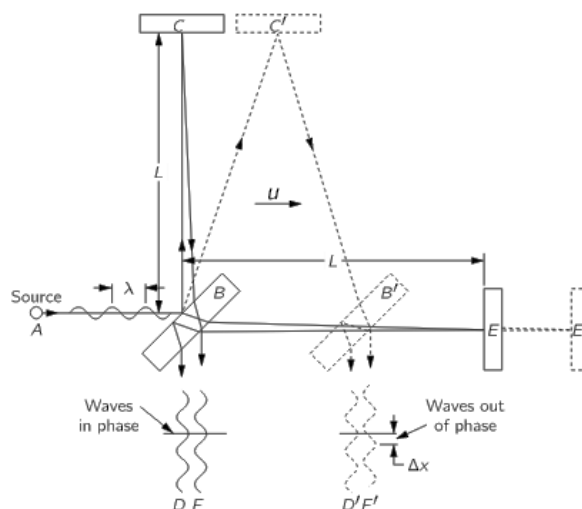
do rotujícího zrcadla, kde se paprsek odrazil a dopadl na bod B, který byl díky rotaci zrcadla jinde než bod A, kde byl umístěn zdroj záření. Vzdálenost bodu A od zrcadla a vzdálenost bodu B od zrcadla je shodná. To, jaká bude vzdálenost mezi body A a B, záleží na tom, jaká je vzdálenost bodů A a B od zrcadla a na rychlosti otáčení zrcadla, popř. úhlové frekvenci zrcadla.

První pokusy nejprve provedl Michelson sám v Berlíně v letech 1880–1881 na své studijní cestě po Evropě. Z výsledku experimentu byl zklamaný, protože si myslel, že jeho ideje o funkci experimentu jsou špatné, a že tedy nedokáže měřit vliv éteru na rychlost světla (později se však ukázalo, že není chyba ani v Michelsonovi ani v experimentu, ale jednoduše v tom, že žádný éter neexistuje).

V roce 1884 upozornil Michelsona Hendrik Antoon Lorentz na nedostatky jeho experimentu. Proto se Michelson rozhodl pokus zopakovat společně s Edwardem Morleym v roce 1887 v Clevelandu. Druhý experiment se od prvního lišil drobnými technickými vylepšeními, které udělal Edward Morley (zabýval se především experimentální oblastí fyziky, měl tedy s navrhováním i prováděním experimentů více zkušeností než Michelson). Druhý pokus ale dopadl stejně jako ten první, a tak byl Michelson se svými výsledky stále nespokojený. Hendrik Antoon Lorentz se snažil vyložit výsledky Michelsonova a Morleyova experimentu na základě kontrakce délek, ale ostatní fyzici tomu nedávali velkou váhu.

5.2 Teoretická část experimentu

„Michelsonův—Morleyův experiment byl zrealizován pomocí přístroje, jehož schéma je na obrázku 1. Přístroj se skládal ze zdroje světla A, polopropustného zrcadla B ve shodných vzdálenostech L. Dopadající paprsek světla se na polopropustném zrcadle B rozdějí a takto rozdějené paprsky letí k zrcadlům po navzájem kolmých drahách, odkud se odrážejí zpět k bodu B. Po dopadu na B se paprsky opět spojí jako superpozice dvou paprsků D a F. Jakmile světlo z B do E a zpět za stejný čas jako z B do C a zpět, tak vylétající paprsky F a D budou ve fázi a vznikne interference. Když se přístroj nachází v éteru, který je v pokoji, časy letů paprsků by se měli navzájem přesně rovnat, ale jakmile se pohybuje vpravo rychlostí u, časy by měli být rozdílné.“ [8]



Obrázek 1: Schématický náčrt Michelsonova–Morleyova experimentu

Pokud by éter existoval, interferenční obrazec by se po otočení celého interferometru o 90° měl změnit, právě díky tomu, že se změnila i rychlost a doba šíření paprsku šířícího se směrem

kolmým na směr pohybu Země kolem Slunce. Přičemž rychlost tohoto paprsku byla ovlivněna právě éterem.

Michelson a Morley ale zjistili, že rychlost světla ve směru pohybu Země kolem Slunce a rychlost světla ve směru kolmém na pohyb Země kolem Slunce je stejně velká. Z toho i dál plyne, že rychlost světla je ve všech směrech stejná, a proto jí žádný éter neovlivňuje.

5.3 Praktická část experimentu

Pomůcky: 2 klasická zrcadla, 1 polopropustné zrcadlo, zdroj záření (nejlépe koherentního), stínítko, dvě ramena na otočné desce

K provedení experimentu jsou potřeba dvě stejně dlouhá ramena, která jsou ve svých středech k sobě pevně připojená, tak aby mezi nimi byl pravý úhel (jsou tedy sestavena do podoby rovnoramenného kříže). Na místo spoje ramen umístíme polopropustné zrcadlo. Na první dvě ramena umístíme klasická zrcadla na třetí rameno umístíme zdroj záření (laser) a na čtvrté stínítko.

6 Naše verze experimentu

Naším původním záměrem bylo zkonstruovat přesnou podobu Michelsonova–Morleyova experimentu. Nakonec kvůli nedostatku času i složitosti naplánování výroby aparatury potřebné k experimentu a po poradě s panem inženýrem Svobodou, jsme využili školní optické laboratoře. Velkým plusem bylo, že jsme pracovali se špičkovými zařízeními. Náš experiment měla ale velkou nevýhodu, protože jsme bohužel nesestavili otočnou soustavu dvou ramen, ale místo toho použili optický stůl. Kvůli tomu, že se s aparaturou nedalo otáčet, jsme nemohli potvrdit či vyvrátit existenci éteru.

7 Závěr

Albert Michelson a Edward Morley svým experimentem zjistili, že rychlost světla nezávisí na směru, kterým se světlo pohybuje. Na základě tohoto experimentu bylo později zjištěno, že elektromagnetické záření není vlněním látkové substance (na rozdíl od mechanického). Díky tomuto experimentu byla i v budoucnu vyvrácena existence éteru.

Při našem experimentu jsem zjistili, že je jedno jakou délku ramena mají, dokonce při průběhu experimentu nezáleželo ani na tom, jestli mají obě ramena shodnou vzdálenost (s ohledem na to, že jsme byly limitováni velikostí optického stolu, jsme nemohli vyzkoušet rozdíl mezi délkami ramen větší jak 50 cm). Shodli jsme se, že podoba interferenčních obrazců se s měnící se délkou ramen nemění.

Přestože se nám povedlo vytvořit interferenční obrazec na stínítku, nemůžeme v důsledku toho konstatovat, zdali éter existuje či nikoli, protože naše soustava ramen (nebala to klasická ramena, ale pouze optický stůl, na který jsme umísťovali vhodnou aparaturu) nebyla otočná.

8 Reference

[1] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, *Feynmanove přednášky z fyziky I*. Alfa, Bratislava (1986)

- [2] kol. autorů, *Albert Abraham Michelson*,
https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Albert_Abraham_Michelson&oldid=14768452
- [3] kol. autorů, *Edward Morley*,
https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Edward_Morley&oldid=16609028
- [4] kol. autorů, *Michelsonův–Morleyův experiment*, https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Michelson%C5%AFv%E2%80%93Morley%C5%AFv_experiment&oldid=15633067
- [5] W. A. Fowler, *Albert Abraham Michelson*.
<https://history.aip.org/history/exhibits/gap/Michelson/Michelson.html#michelson1>
- [6] R. Carl, *A bit of history: Michelson*, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Relativ/mmhist.html#c1>
- [7] L. Motta, *Experiment Michelson–Morley*,
<http://scienceworld.wolfram.com/physics/Michelson-MorleyExperiment.html>
- [8] Fowler, M. *Experiment Michelson–Morley*,
<http://www.phys.virginia.edu/classes/109N/lectures/michelson.html>.