

Metodický list: Michelsonův interferometr

Cíl:	Praktické představení modelu interferometru použitého Michelsonem a Morleym při slavném experimentu, který měl dokázat platnost éterové teorie.
Charakter aktivity:	demonstrační pokus
Potřebný čas:	25 minut
Cílová skupina:	SŠ studenti (fyzika – optika, speciální teorie relativity)
Vyučovací metody:	demonstrační pokus
Doporučené znalosti:	interference světla
Potřeby a materiál:	stavebnice O3Q s moduly: <ul style="list-style-type: none">• baterie,• laser,• čočka (15 mm),• dělič svazku,• zrcátko (2 ks),• stínítko,• varování před laserem,• deska, na níž se moduly umisťují

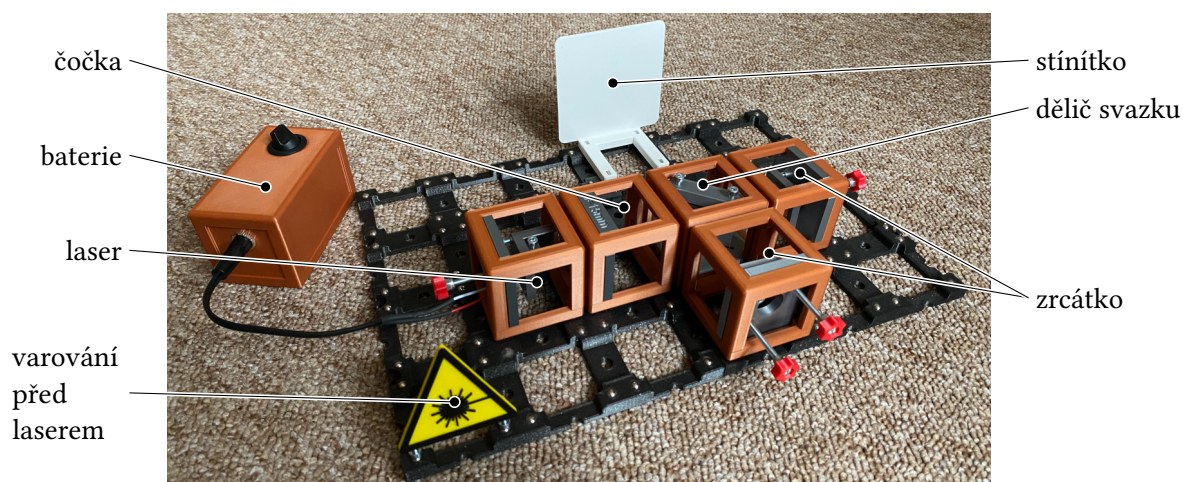
Toto je metodický list k aktivitě „Michelsonův interferometr“, která je z bezpečnostních důvodů (experiment využívá silný laser) primárně zamýšlena jako demonstrační pokus pro SŠ studenty v předmětu fyzika.

Naleznete zde doporučení k vedení tohoto demonstračního pokusu a náměty na otázky, které můžete položit studentům, i s odpověďmi na ně.

Bezpečnostní pokyny

Upozorňujeme, že součástí tohoto pokusu je i **laser třídy II**. Při experimentování tedy buďte obezřetní, abyste sebe nebo své okolí neohrozili.

- Laser používejte pouze při experimentu.
- Dráhu paprsku zkontrolujte ještě před zapnutím, aby nedošlo k nechtěnému odrazu mimo aparaturu.
- Neexperimentujte ve výšce očí.
- Zabraňte odrazům, které mohou způsobit hodinky, prsteny, náramky či telefony.



Obrázek 1 Fotografie sestavené aparatury

Před hodinou

Vyučující si před hodinou sestaví interferometr za pomoci obrázku 1 z modulů stavebnice O3Q:

- baterie,
- laser,
- čočka (15 mm),
- dělič svazku,
- zrcátko (2 ks),
- stínítko,
- varování před laserem,
- deska, na níž se moduly umísťují.

Pro snadnější nastavení interferometru do stavu, v němž lze vidět na stínítku interferenční obrazec, doporučujeme nejdříve sestavit aparaturu **bez čočky**, spustit laser a pomocí červených šroubů u modulů se zrcátky přizpůsobit polohu zrcátek tak, aby se dvě laserové stopy na stínítku **překrývaly**. Až poté, co stopy splynou, můžete mezi laser a dělič svazku umístit i čočku. Interferenční obrazec by se měl rovnou objevit, pokud se neobjeví, je potřeba ještě velmi citlivě poupravit nastavení poloh zrcátek pomocí červených šroubů.

Pokud se interferenční obrazec na stínítku stále neobjevuje, vyzkoušejte některá z těchto doporučení:

- Zabraňte otřesům, na něž je interferometr velmi citlivý (mnohdy stačí dát ruce ze stolu).
- Pozorujte pečlivě. Může se stát, že proužky na první pohled přehlédnete.
- Zkontrolujte, zda jsou všechny moduly správně umístěny a vyrovnané.
- Odendejte modul s čočkou a zkontrolujte, zda se laserové paprsky na stínítku stále překrývají. Vložením modulu s čočkou mohlo dojít k drobné změně polohy některého jiného modulu.

Aktivita s interferometrem v hodině

V samotné hodině, jejímž tématem může být např.:

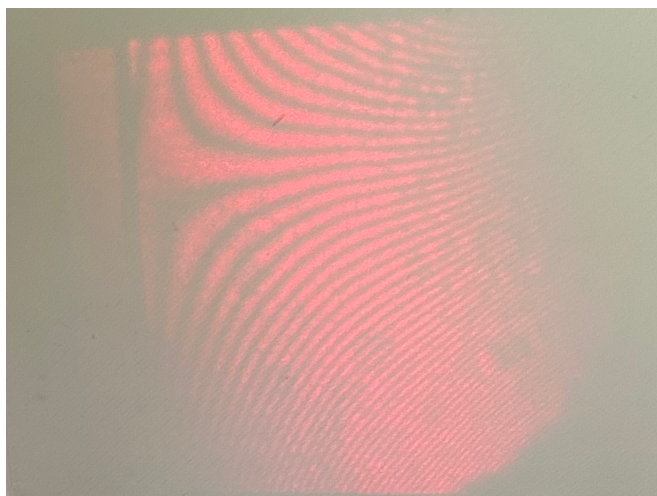
- interference světla v optice,
- představení éterové teorie, která předcházela Einsteinově speciální teorii relativity a k jejímuž vyvrácení interferometr přispěl,
- shrnutí klíčových fyzikálních témat k maturitě,

lze využít interferometr jako motivaci k položení otázek studentům, které se po objevení interferenčního obrazce na stínítku aparatury velmi přirozeně nabízejí.

Návrhy těchto otázek a úkolů, které můžete v hodině využít, jsou sepsány dále. U všech je navíc uvedena odpověď. Tím, že lze Michelsonův interferometr do výuky zařadit nejedním způsobem, nelze obecně říct, jakou dobu s ním zabere samotná aktivita v hodině.¹

Nakreslete, co vidíte na stínítku.

Na obrázku 2 je fotografie interferenčního obrazce, který vznikl na stínítku Michelsonova interferometru sestaveného pomocí stavebnice O3Q.



Obrázek 2 Interferenční obrazec na stínítku

Co jsou zač ony tvary/obrazce, které jsou vidět na stínítku?

Tyto útvary se nazývají interferenční obrazce.

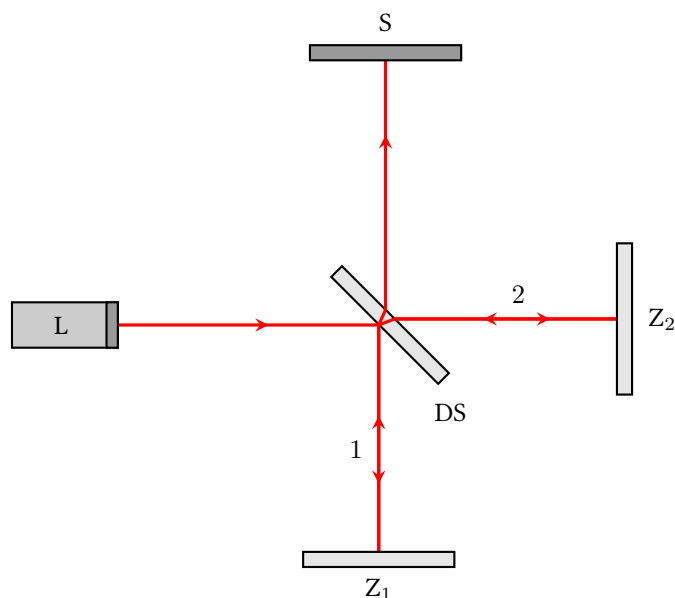
¹Při testování této aktivity na střední škole byl interferometr využit jednak ve vyučovací hodině, v níž se studenti seznámili s éterovou teorií a během níž se interferometru věnovalo přes 25 minut, jednak v hodině maturitního semináře, kde byly demonstrovány různé experimenty napříč fyzikou. Zde bylo interferometru věnováno cca 15 minut. V obou případech nebyly využity úplně všechny otázky a úkoly, které jsou v tomto metodickém listu navrženy, nýbrž jen výběr některých z nich.

Jak interferenční obrazce vznikají?

Interferenční obrazce vznikají interferencí dvou (či více) světelných vln dopadajících na stínítko. Aby tyto vlny spolu interferovaly a my byli schopni tento jev pozorovat, je potřeba, aby byla splněna podmínka koherence vln, tj. jejich fázový rozdíl byl konstantní (z toho plyne, že vlnové délky, resp. frekvence dopadajících vln musí být stejné).

Jakým způsobem se pohybují světelné paprsky? Nakreslete si obrázek.

Situace je schematicky znázorněna na obrázku 3. Paprsek vychází z laseru L, pokračuje na dělič svazku DS, který je tvořen polopropustným zrcátkem, na němž se rozděluje na dva paprsky – paprsek 1 se od DS odráží ke zrcátku Z_1 , paprsek 2 vzniká průchodem skrz DS a putuje k zrcátku Z_2 . Paprsky 1 a 2 se od zrcátek Z_1 a Z_2 odráží zpět k DS. Na DS se samozřejmě paprsky opět rozdělí a část z nich se od DS odráží, část jím prochází – pro nás jsou ovšem důležité ty části obou svazků, které od DS pokračují na stínítko S.



Obrázek 3 Schéma interferometru

Proč jsou některé proužky světlé (červené) a jiné tmavé?

V místech, kde jsou proužky světlé dochází ke konstruktivní interferenci, na stínítko v tomto místě dopadají vlny, které jsou ve fázi, a intenzita světla na interferenčním obrazci je maximální.

Naopak na tmavých místech je interference destruktivní, na stínítko v tomto místě dopadají vlny, které mají navzájem opačnou fázi, a intenzita světla na interferenčním obrazci je minimální.

Na stínítku pozorujeme střídání světlých a tmavých proužků, tj. v různých místech dochází ke konstruktivní i destruktivní interferenci. Světelné vlny z obou paprsků totiž dorazí do různých míst na stínítku s různou fází, jelikož jednotlivé vlny k nim urazí různou dráhu. Jev je možné vizualizovat např. pomocí PhET apletu ze stránky <https://phet.colorado.edu/en/simulations/wave-interference>.

Co se stane, pokud pohnete s jedním ze zrcátek?

Pokud pohnete jedním ze zrcátek, mohou nastat v zásadě dvě věci. Buď dojde k zániku interferenčního obrazce, nebo dojde k posunu interferenčních proužků a interferenční obrazec se změní.

Změna umístění zrcátka totiž změní délku dráhy jednoho z paprsků, čímž pádem tento paprsek bude dopadávat na stínítko v jiné fázi než před manipulací se zrcátkem. Změna interferenčního obrazce je způsobena změnou fázového rozdílu vln, s nímž se na stínítku setkávají, čímž dojde ke změně rozložení maxim (světlých proužků) a minim (tmavých proužků) na stínítku.

Pokud pohneme zrcátkem příliš, zrušíme podmínku koherence dopadajících svazků světla, a proto obrazec zmizí zcela.

Co se stane, pokud do jednoho z ramen interferometru vložíte tenké sklíčko?

Obdobně jako v předchozí otázce dochází vložením tenkého sklíčka do dráhy jednoho z paprsků ke změně fáze, s níž tento paprsek dopadá na stínítko.

Vzdálenost, kterou paprsek urazí, je sice stejná se zrcátkem jako bez něj, nicméně jelikož sklíčko má vyšší index lomu než vzduch, bude jím světlo procházet pomaleji. Tento pomalejší průchod sklíčkem způsobí, že na stínítko dopadne „se zpožděním“ a s jinou fází.

Co se stane, pokud jedno ze zrcátek odstraníte?

Pokud bychom jedno ze zrcátek odstranili, jeden z paprsků by nebyl odražen zpět na dělič svazku, od něhož se odráží na stínítko. To znamená, že na stínítko by dopadala jediná světelná vlna a interferenci bychom nepozorovali.

Studenti si všimnou, že interferometr je citlivý na vibrace způsobující zničení interferenčního obrazce. Proč se vibrace na interferenčním obrazci projevují?

Vibrace způsobují změny vzdáleností zrcátek, děliče svazku a stínítka, a tím i změny fází, s nimiž jednotlivé paprsky dopadají na stínítko, čímž narušují koherenci a interferenční obrazec nepozorujeme.

Navrhněte, jak by se dalo těmto okolním rušivým vlivům zabránit.

Vlivu vibrací lze minimalizovat umístěním aparatury na nějaký tlumič. Michelson a Morley toto v roce 1887 realizovali umístěním interferometru na kamenný kvádr, který plovál na hladině rtuti, která vibrace minimalizovala.

Co by se dalo pomocí interferometru změřit?

Z historického hlediska Michelson zkonstruoval interferometr s cílem změřit rychlost Země vzhledem k absolutní inerciální soustavě spojené s éterem.

Kromě toho lze na interferometru měřit vzdálenosti, rovinnost ploch, index lomu tenkých filtrů nebo vlnovou délku světla.

V současnosti se interferometrie díky své velké přesnosti využívá při detekci gravitačních vln. Za tímto účelem mají ramena interferometrů v rámci výzkumného zařízení LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) délku 4 km.