Experimenty z Interaktivní fyzikální laboratoře: Optika

JANA MACHALICKÁ

Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, Praha

Tento článek popisuje experimentální sadu *Optika*, kterou mohou studenti od školního roku 2016/2017 navštívit v Interaktivní fyzikální laboratoři na MFF UK. Zároveň je zde stručně shrnuto fungování této laboratoře.

Interaktivní fyzikální laboratoř

Interaktivní fyzikální laboratoř (dále IFL) zřizovaná od roku 2008 Matematicko-fyzikální fakultou Univerzity Karlovy je místo, kde si středoškolští studenti mohou za dozoru dvou lektorů vyzkoušet vlastníma rukama několik připravených experimentů. Experimentální sady jsou připraveny na návštěvu maximálně šestnácti studentů, kteří zde pracují po dobu 120 minut v několika skupinkách.

Studenti mají pro svou práci k dispozici pracovní listy, které je provází připraveným stanovištěm a mohou si do nich zapisovat své závěry. Některé experimentální sady jsou koncipovány tak, aby studenti za svoji návštěvu stihli obejít více stanovišť, u jiných experimentují po celou dobu na jediném stanovišti. Není cílem návštěvy, aby všichni stihli ve vyhrazeném čase všechny experimenty. I z tohoto důvodu děláme na konci návštěvy krátké shrnutí, kde má každá skupina za úkol formou krátké ústní prezentace shrnout svou práci na posledním dokončeném stanovišti.

V uplynulém školním roce 2016/2017 navštívilo IFL více jak 700 studentů z různých středních škol. Učitelé mohli pro své žáky vybírat z osmi experimentálních sad, které se zabývají mechanikou, elektřinou, magnetismem, termodynamikou a optikou.

Více informací o IFL, jejím fungování, volných termínech a experimentálních celcích včetně jednotlivých pracovních listů lze najít na webových stránkách laboratoře [1].

Experimenty z celku Optika

V rámci tohoto článku bude konkrétněji rozebrán experimentální celek Optika, který vznikl v rámci diplomové práce [2]. Tato sada se skládá ze čtyř sta-

novišť, která se snaží pokrýt probírané partie optiky na střední škole. Každé stanoviště je koncipováno přibližně na 35-40 minut. Experimenty v tamto celku jsou spíše kratší a méně náročné na provedení.

Zákon odrazu a lomu světla

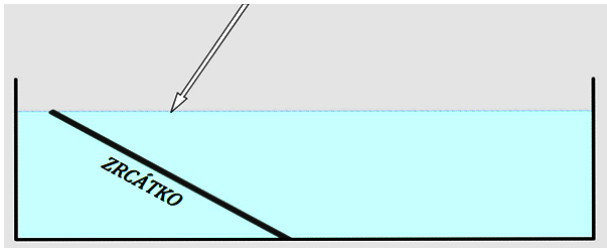
Na tomto stanovišti se studenti seznámí se zákony geometrické optiky a principem disperze světla. V první části stanoviště studenti plní jednoduchý úkol, při kterém odhadují chod laserového paprsku po odražení od zrcátka. Pro tento úkol mají k dispozici v pracovních listech obrázek úhloměru s vyznačeným paprskem. Po ověření jejich odhadu proměřují zákon odrazu pro několik dalších samostatně zvolených úhlů dopadu a vlastními slovy formulují zákon odrazu.

V druhé části stanoviště odvozují studenti pomocí skleněného půlválce zákon lomu světla. Sami si zvolí několik úhlů dopadu a z papírového úhloměru pod půlválcem odečítají úhel lomu. Po vyplnění připravené tabulky, která je navádí na výpočet poměru sinů úhlu dopadu a úhlu lomu, formulují zákon lomu světla. Na tomto místě je dobré udělat drobnou diskuzi o tom, proč poměr nevyjde vždy stejně a jaké nepřesnosti mohou měřené výsledky ovlivnit.

V další úloze studenti využijí naměřená data pro dopočítání úhlu dopadu ze zadaného úhlu lomu. Svůj výpočet mají ověřit experimentem. Tato úloha je zde zařazena především proto, aby studenty naučila ověřovat své hypotézy a výpočty pomocí experimentů. Studenti jsou pracovním listem vedeni i k zamyšlení nad tím, proč je důležité svítit laserovým paprskem na střed půlválce, z jakého důvodu se paprsek neláme při východu z půlválce apod.

Poslední část tohoto stanoviště se věnuje disperzi světla. Studenti nejdříve zkoumají závislost úhlu lomu na vlnové délce použitého laserového ukazovátka. Při tomto experimentu se ukazuje, jak závisí jeho výsledek na přesnosti a podmínkách měření. V navazujícím experimentu studenti ověřují svoji hypotézu o chodu paprsku bílého světla skrz nádobu s vodou a zrcátkem. Na zrcátko ponořené v kulovém akváriu svítí lampičkou tak, aby se světlo odrazilo na bílou stěnu.

Při zakreslování chodu paprsku do obrázku (obr. 1) byl zvolen chod dopadajícího paprsku zprava. Tento směr nebývá příliš obvyklý a studenti na to nejsou příliš zvyklí, proto je vhodné tuto obměnu do výuky občas zařadit.



Obr. 1 Obrázek pro zakreslení hypotézy o chodu bílého paprsku

Totální odraz

Další stanoviště, kterým studenti v rámci tohoto celku mohou projít, si klade za cíl seznámit je s principem totálního odrazu. V první části, zaměřené na ověření fyzikální teorie, zkoumají studenti chování paprsku při přechodu z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí. Pro úlohu je využíván papírový úhloměr, který lze dle potřeb přesouvat pod dnem nádoby s vodou. Studenti mají zadané dva konkrétní úhly dopadu a porovnávají chování paprsku na rozhraní. Na tento úkol navazuje hledání mezního úhlu na rozhraní voda-vzduch. Závěrečná otázka vede studenty k tomu, aby si uvědomili, že totální odraz může nastat jen při přechodu z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí.

Následující část přibližuje studentům princip funkce optického vlákna. Nejdříve zkoumají model optického vlákna vyrobeného z dlouhého brčka naplněného vodou. Aby voda z brčka nevytékala, používáme k jeho uzavření gelové kuličky, tzv. vodní perly, které slouží jako dekorace či náhrada za vodu pro řezané květiny. Dají se tedy sehnat ve vybraných květinářstvích či v internetových obchodech. Tuto kuličku vložíme do jednoho konce brčka s vodou a několik minut přidržíme, aby dostatečně nabobtnala. Poté totéž uděláme i s druhým koncem brčka. Tento model je pro studenty připravený dopředu, aby se jeho výrobou příliš nezdržovali.

Do připraveného modelu studenti posvítí laserovým ukazovátkem a sledují chod rovným i mírně zahnutým brčkem. Světlo sice prochází brčkem až na druhý konec, ale intenzita světla vystupujícího z brčka je velmi malá. Tento model slouží poměrně dobře k tomu, aby si studenti představili, co se uvnitř optického vlákna děje.

Navazující úloha, která je inspirována příspěvkem ve sborníku *Veletrhu nápadů učitelů fyziky* [3], už využívá skutečné optické vlákno. Studenti si jim svítí do krabičky vyplněné černým neprůsvitným igelitem, aby přečetli nápis uvnitř. Ke splnění tohoto úkolu je kvůli zručnosti i bezpečnosti nutná spolupráce více

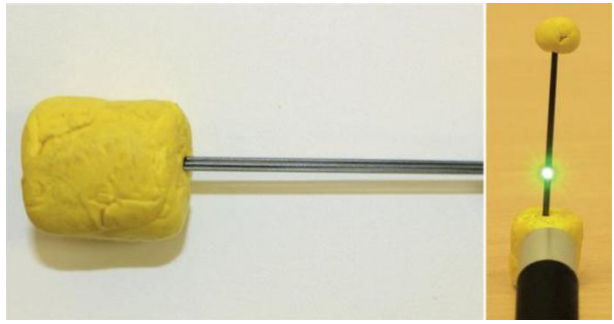
lidí. Na závěr této části se studentů ptáme, jak se chová ideální optické vlákno. V tuto chvíli jsou většinou všichni schopni na základě předchozích dvou experimentů zformulovat správnou odpověď.

Třetí část stanoviště se zabývá fata morgánou, která nastává právě díky totálnímu odrazu. Studenti nejdříve sledují zespodu vodní hladinu tak, aby viděli převrácený obraz hořící svíčky umístěné za nádobou. To pak zakreslují do připraveného obrázku.

Lepší přiblížení fata morgány přináší další experiment s cukerným roztokem ve velkém akváriu. Do této nádoby nalijeme přibližně 2,5 l vody. Do kádinky si připravíme 50 g cukru, zalijeme ho 50 ml horké vody a pořádně rozmícháme. Tento roztok pak opatrně po stěně vlijeme do akvária, aby se roztok s vodou příliš nepromíchal a klesl ke dnu. Tím nám vznikne prostředí, jehož optická hustota je největší u dna a nejmenší u hladiny [4]. Laserovým paprskem svítí studenti z boku nádoby mírně nahoru a pozorují trajektorii paprsku, která se postupně zakřivuje díky rozdílným optickým hustotám kapaliny. Chod paprsku pak zakreslují do připraveného obrázku.

Interference a difrakce světla

Třetí stanoviště se věnuje přiblížení Youngova experimentu a difrakci světla na tenkém drátku a optické mřížce. V první části pro napodobení historického experimentu využíváme laserové ukazovátko a tři tuhy do mikrotužky. Tuhy jsou zafixovány modelínou tak, aby byly rovnoběžné a těsně vedle sebe (obr. 2). Nepatrné mezery mezi tuhami nahrazují dva zdroje koherentních vlnění, která spolu budou interferovat a na stínítku vznikne interferenční obrazec. Tuto pomůcku studenti využívají, aby zjistili, jak závisí podoba interferenčního obrazce na vlnové délce použitého laseru.



Obr. 2 Vlevo detail zafixovaných tuh, vpravo uspořádání experimentu

V další úloze studenti zkoumají závislost podoby difrakčního obrazce na tloušťce drátku a na vzdálenosti drátku od stěny. Poslední část se věnuje difrakci na optické mřížce. Nejdříve pouze kvalitativně zkoumají závislost podoby obrazce na vzdálenosti mřížky od stínítka a na orientaci mřížky. Na to navazuje kvantitativní experiment, při kterém studenti měří mřížkovou konstantu CD a DVD. Jako stínítko je připravena zalaminovaná čtvrtka s měřítkem pro jednodušší měření vzdáleností maxim a otvorem na laserové ukazovátko. Studenti si sestaví experiment tak, aby zalaminovaná čtvrtka na laseru byla rovnoběžně s diskem, laserový paprsek mířil do středu záznamu na disku a maximum 0. řádu splývalo s paprskem vystupujícím z ukazovátka (obr. 3). Čtvrtku je možné natočit tak, aby měřítko procházelo oběma maximy 1. řádu a měření této vzdálenosti tak bylo jednodušší.

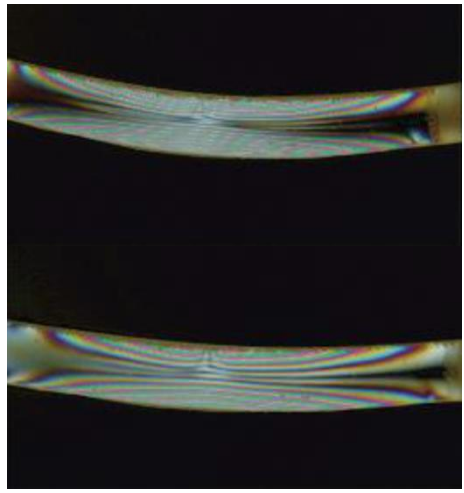
Obr. 3 Uspořádání experimentu s laserem vystupujícím ze středu čtvrtky

K dopočtení mřížkové konstanty mají studenti v pracovních listech zadaný vhodný vzorec a rozkreslený obrázek, aby věděli, které vzdálenosti mají měřit. Po dopočítání mřížkové konstanty u obou disků ještě počítají počet drážek. V závěru diskutujeme, proč má DVD více drážek než CD.

Polarizace světla

Na posledním stanovišti tohoto celku se studenti seznamují s praktickým využitím polarizovaného světla. V první části se pomocí polarizačních fólií učí rozeznat lineárně polarizované světlo, zkoumají polarizaci odrazem a zkouší udělat fotografii za použití polarizační fólie tak, aby na ní nebyly vidět odrazy světla. Pro některé úkoly jsou na stanovišti připravené upravené brýle, které se dají zakoupit v multiplexu Cinema City. Původní fólie je nahrazena dvěma kusy lineární polarizační fólie, které jsou vystřiženy tak, aby na levém i pravém oku byla stejná orientace. Brýle stačí už jen nasadit a nakláněním hlavy k rameni je poznat, zda nám do oka dopadá lineárně polarizované světlo. Studenti s nimi mohou zkoumat i polarizaci odrazem od různých povrchů v místnosti.

Jako zdroj lineárně polarizovaného světla je v dalších částech používán bíle svítící LCD monitor. V druhé části stanoviště zkoumají studenti foto-elasticimetrii. Nejdříve přes polarizační brýle pozorují různé pomůcky z průhledného plastu proti LCD monitoru a vyhodnocují, v kterých místech jsou nejvíce mechanicky namáhány. Nakonec pozorují mechanické napětí v pružné součástce z pryskyřice, která má po různém ohýbání tendenci vracet se do původního tvaru, přičemž se mění i mechanické napětí v součástce (obr. 4).



Obr. 4 Změna mechanického napětí v součástce z pryskyřice při změně tvaru

Poslední experiment, se kterým se studenti v rámci tohoto celku mohou setkat, se věnuje stáčení roviny polarizace. Jako zdroj polarizovaného světla je opět využit LCD monitor a opticky aktivní látkou je zde cukerný roztok. Pro měření úhlu stočení je použit otočný polarizační filtr s úhloměrem. Kyvetu s vodou studenti umístí mezi monitor a polarizační filtr a postupně do ní přidávají lžičkou cukr. Měření probíhá pouze kvalitativně, množství cukru přidávaného do kyvety s vodou studenti nijak neváží. Vodu je vhodné předem dostatečně ohřát, aby se cukr dobře rozpouštěl.

Závěr

V příspěvku byla prezentována čtyři stanoviště z nové experimentální sady v Interaktivní fyzikální laboratoři. Stav, který je zde popisován, je platný ke konci školního roku 2016/2017, všechny experimentální celky se však neustále vyvíjejí.

Literatura

[1] Interaktivní fyzikální laboratoř: Interaktivní fyzikální laboratoř na MFF UK. [Online] [Citace: 22. 8. 2017.] Dostupné z: http://kdf.mff.cuni.cz/ifl/.

[2] Machalická J.: Experimentální sady z optiky pro Interaktivní fyzikální laboratoř. Diplomová práce. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta, 2017.

[3] Horváthová M.: Jednoduché pokusy s optickými vlákny. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 7. [Online] 2013. [Citace: 29. 8. 2017] Dostupné z: http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/18-07-Horvathova.html.

[4] Boxan M.: Zakřivení paprsku světla. Vím proč. [Online] 2015. [Citace: 29. 8. 2015] Dostupné z: https://www.vimproc.cz/?page=record&id=528.