

Poznámky pro učitele

k modulu 07:

Difrakce a interference

S difrakcí lze provádět celou řadu na pohled zajímavých experimentů, kterými lze ukázat vlnovou povahu světla. Navíc však nabízí žákům jedinečnou příležitost provádět měření v nanometrových rozměrech, a to s použitím velmi jednoduchých prostředků.

Shrnutí: Žáci budou vytvářet difrakční obrazce a použijí je k měření.

Modul se skládá ze 3 kapitol:

- Difrakce na dvou štěrbinách pro měření vlnové délky laserového světla.
- Bude srovnávána difrakce na jediné štěrbině a tyčince. Žáci provedou měření tloušťky vlasu pomocí difrakčního obrazce.
- Difrakce na mřížce bude ilustrována na příkladu s diskem CD. Žáci poté postaví vlastní spektrometr a budou měřit spektrum kompaktní zářivky.

Určeno pro: Vyšší třídy středních škol (přibližný věk žáků 16 až 18 let)

Doba trvání: Pro první kapitolu je zapotřebí jedna a půl vyučovací hodiny (20 + 40 minut), pro druhou kapitolu a třetí stačí vždy jedna vyučovací hodina v délce 40 minut

Předchozí znalosti žáků:

- Konstruktivní a destruktivní interference vlnění
Demonstrace např. v malé demonstrační nádobě s vodou nebo u zvukového vlnění
- Světlo se chová jako vlnění
- Huygensův princip

Co se žáci naučí:

Poznátky

- Měřit vlnovou délku světla při dvouštěrbinovém (Youngově) experimentu
- Difrakce na jediné štěrbině a Babinetův princip
- Měření tloušťky vlasu pomocí difrakčního obrazce
- Jak vedl difrakční obrazec DNA k objevu její struktury
- Difrakce na mřížkách při odrazu a průchodu světla
- Jak fungují spektrometry
- Že se spektrum úsporných žárovek skládá z diskrétních barev – nalezl od spojitého spektra slunečního záření.

Dovednosti

- Bezpečná práce s laserem
- Provádění experimentů ve skupině
- Navrhování uspořádání pokusu pro přesná měření

Tento modul obsahuje:

- 3 pracovní listy
- 3 studijní listy
- Pravidla pro bezpečnou manipulaci s laserem

Kapitola 1 | Difrakce na dvou štěrbinách

Doporučený program hodiny pro experiment se dvěma štěrbinami

Žáci zopakují Youngův experiment s difrakcí na dvojici štěrbin. Dostanou poučení o bezpečné práci s laserovými zdroji světla, a poté budou pomocí difrakčního obrazce měřit vlnovou délku světla laseru. S využitím Huygensova principu a geometrických poznatků sami odvodí příslušné rovnice.

Časy v minutách	Činnost	Materiál
První hodina (část)		
0 – 15	Bezpečná práce s laserem	Pravidla bezpečnosti při práci s laserem
15 – 30	Práce ve skupině na úkolech první stránky pracovního listu „Světelné vlnění“	WS07.1 Laser Destička s difrakčními prvky <i>Souprava pomůcek neobsahuje:</i> Baterie pro laser, stínítko, kolíky na prádlo pro ustavení destičky
Domácí úkol	Bod 4 pracovního listu „Světelné vlnění“	WS07.1
Druhá hodina		
0 – 10	Pokračování práce ve skupině na úkolech pracovního listu „Světelné vlnění“ (druhá stránka)	WS07.1 Laser Destička s difrakčními prvky <i>Souprava pomůcek neobsahuje:</i> Baterie pro laser, stínítko, pravítko kolíky na prádlo pro ustavení destičky
30 – 39	Diskuse nad naměřenými výsledky	
39 – 40	Rozdání studijních listů	FS07.1

Popis doporučené vyučovací hodiny

Příprava

Nezapomeňte si před hodinou připravit baterie pro laser.

Bezpečná práce s laserem

Požádejte žáky, aby někdo z nich přečetl třídě pokyny pro bezpečnou práci s laserem. Poté s nimi promluvte o nezbytnosti těchto pravidel. Bezpečná manipulace s lasery představuje klíčovou část dovedností, které si žáci v tomto modulu mají osvojit. Žáci by pak měli podepsat prohlášení na listu pokynů pro bezpečnou manipulaci s laserem. Přestože tento úkon nemá právní platnost, představuje důležitý signál, že za bezpečnost práce s laserem mají žáci osobní odpovědnost.

Úvod

Aby z této vyučovací hodiny žáci načerpali co nejvíce, měli by být obeznámeni s principem interference vlnění. Můžete jim tento princip připomenout příkladem z rockového koncertu, kde dochází k interferenci basů z reproduktorů, jež stojí po obou stranách pódia. Někde uprostřed před pódium je pak místo, kde jsou basy hlasitější než v místě o několik kroků vzdáleném (bude-li třeba, vysvětlíte tuto skutečnost pomocí nákresu na tabuli). Jedná se o typické chování vlnění, které lze pozorovat i u světla. Neprozrazujte o mnoho více, protože žáci mají za úkol zjistit další skutečnosti sami.

Pracovní list „Světelné vlnění“

Projděte se žáky úkoly pracovního listu (WS07.1). Můžete jim podle svého uvážení popsat, jak svůj pokus prováděl sám Young (v oddílu Všeobecné základy). Pokračujte až k podnadpisu Příprava a pak rozdejte žákům lasery. Pokud s nimi někteří žáci nebudou zacházet řádně a podle předložených pokynů, nedovolte jim laser obsluhovat. Budou se moci i nadále aktivně podílet na práci ve skupině, ale nebudou se smět laseru dotýkat.

Pokud nemáte k dispozici vhodná stínítka, můžete místo nich použít samolepicí lístky z bločků na poznámky. Odstřihněte část lístku s lepidlem a nalepte ji na pevný předmět, který má nějakou svislou plochu (např. na krabičku na křídou). Toto uspořádání bude mít tu výhodu, že žáci budou moci psát nebo dělat značky přímo na tento papír.

Až budou mít všichni připraveno vhodné stínítko a vyzkoušejí funkčnost laseru, rozdejte optické destičky. Od této chvíle by žáci měli v maximální míře pracovat samostatně. Přecházejte mezi skupinami a v případě potíží žákům pomáhejte. Nezůstávejte však u jedné skupiny déle než několik minut. Snažte se obejít všechny. Oceňte dobré nápady a projeďte zájem o důvody, pro které žáci dané řešení zvolili, např. při uspořádání pomůcek v experimentu. Sledujte také, zda s laserem pracují bezpečně.

Až většina skupin dojde při práci až k bodu 3) pracovního listu, prodiskutujte jejich zjištění s celou třídou. Nechte žáky volně experimentovat, aby získali cit pro důležité parametry pokusu.

Domácí úkol

Alternativní možnost: Seznam vlivů, které žáci uvedli v odpovědi k bodu 3), můžete shromáždit a sepsat např. na tabuli. Žáci si pak tento seznam opíší a za domácí úkol dostanou ke každému bodu napsat vlastní poznámku k tomu, *jak* a *proč* daný vliv mění vzhled difrakčního obrazce. Pravděpodobně v tuto chvíli ještě nepřijdou na všechny odpovědi, ale některé z nich najdou později v této kapitole. Tento domácí úkol by měl být spíše dobrovolný, a nikoli povinný.

Aby se na začátku druhé hodiny ušetřil čas, požádejte žáky, aby odpověděli na otázky z bodu 4) na druhé straně pracovního listu. Přiměje je to k tomu, aby si vyhledali a nastudovali alespoň základy teorie kmitání, vlnění a interference.

Druhá hodina

Druhou vyučovací hodinu zahajte krátkou diskusí nad textem uvedeným v horní části druhé stránky pracovního listu. Tento popis má sloužit pouze k připomenutí znalostí. Doba, kterou si vyhradíte na tuto část, bude záviset na to, jak podrobný výklad interference jste už žákům

podali. Poté se žáky proberte jejich domácí úkol. Dbejte na to, aby všichni ve třídě porozuměli odpovědi na otázku v bodě 4).

Pomozte žákům pochopit smysl vyobrazení nad textem bodu 5). Pokud se ještě žáci neseznámili s Huygensovým principem, budete jim ho v tomto okamžiku muset vyložit. Pro kontrolu, zda tomuto principu porozuměli, se jich zeptejte, co by se stalo, kdyby změnili vlnovou délku dopadajícího světla. Na příkladu obrázku vpravo lze říci, že by to znamenalo změnu poloměru půlkruhů (čel světelné vlny), a tedy změnu úhlu ohybu světla a poloh difrakčních řádů.

Od bodu 5) nechte opět žáky pracovat v samostatných skupinách. Při měření v bodu 6) dbejte na to, aby žáci měřili vzdálenosti mezi drobnými stopami, a nikoli modulaci obrazce na dlouhou vzdálenost (podrobněji v otázce 2 v části „Možné dotazy žáků“).

Pro rychlejší žáky

Pokud část žáků ještě pracuje na měření, ale jiná již všechny úkoly pracovního listu vypracovala, můžete rychlejší žákům nabídnout následující pokus: dejte jim díl silné černé hliníkové fólie ze soupravy Photonics Explorer. Tu by měli položit na kus kartonu a propíchnout tenkou jehlou. Pak budou pozorovat difrakční obrazec tohoto otvoru, přičemž jim můžete položit tyto otázky: 1) s čím se skládá – interferuje – světlo při tomto pokusu, když je zde jen jeden otvor, a nikoli dvě štěrby 2) jak by vysvětlili tvar tohoto difrakčního obrazce 3) jak by se tvar difrakčního obrazce změnil, kdyby použili nebo vytvořili otvor s jinou velikostí nebo s jiným tvarem (např. oválným)? Nechte je tyto možnosti vyzkoušet.

Diskuse nad naměřenými výsledky

Shromážděte a sepište všechny zjištěné výsledky na tabuli. Nechte žáky odhadnout přesnost jejich měření, tj. např. o kolik nanometrů se jejich výsledek asi liší od skutečné hodnoty. Pak porovnejte jejich výsledky se skutečnou vlnovou délkou přibližně 655 nm. Vlivem výrobního postupu se vyzařovaná vlnová délka jednotlivých laserů může lišit o 3 až 4 nm.

Aby žáci o těchto rozměrech získali lepší představu, uveďte srovnání s tloušťkou obyčejného listu papíru (0,1 mm) a vysvětlete, že v jejich výpočtu figuroval rozměr 100krát menší. Zeptejte se jich, pro jaké praktické účely se může takto přesné měření hodit.

Zeptejte se také, jakým způsobem přistoupili ke zpřesnění svého měření. Možné odpovědi:

- vypočítat průměr z několika měření
- měřit namísto vzdálenosti mezi nultým a prvním řádem difrakce („a“) vzdálenost mezi dvěma prvními řády difrakce („a“ a „-a“, tj. řády na levé a na pravé straně) a hodnotu vydělit dvěma
- zvětšit vzdálenost mezi destičkou a stínítkem
- udělat si na stínítku v místě nultého řádu malou značku tak, aby bylo ostatní difrakční řády lépe vidět

atd.

Na konci hodiny rozdejte studijní list FS07.1.

Všeobecné základy

Youngův experiment

Na důkaz toho, že světlo je vlnění, provedl Young pokus, „který lze snadno zopakovat kdykoli, když svítí slunce, a s pomůckami, které má k dispozici každý.“ Jde o dobrý příklad, jak lze s omezenými prostředky dosáhnout velkého vědeckého průlomu.

Young píše: „V okenici jsem vytvořil malý otvor a zakryl jej kusem tlustého papíru, který jsem propíchl tenkou jehlou.“ Do dráhy paprsku pak rovnoběžně postavil hrací kartu, a rozdělil jej tak na dvě části. Ve stínu karty pak pozoroval interferenční proužky, které zmizely v okamžiku, kdy zakryl světelný paprsek na jedné straně karty.

Tento svůj pokus popsal v roce 1803 v publikaci „The philosophical transactions of the Royal Society of London“ na stranách 1 až 16.

Koherence

Interference a koherence spolu přímo souvisí: k interferenci dochází pouze díky koherenci. Míru koherence pak lze určit podle kontrastu interferenčního obrazce. Přesněji vyjádřeno, koherence znamená vztah mezi fyzikálními vlastnostmi dvou vln.

Má-li se tento vztah popsat podrobněji, je třeba uvést, že světlo se skládá z kmitů elektrického a magnetického pole. Tato pole se mohou ve vakuu míjet bez vzájemného působení. Proto se se světelnými paprsky při křížení ve vakuu nic nestane. V místě křížení je však lokální elektrické (a magnetické) pole – stejně jako všude jinde – součtem všech elektrických (a magnetických) polí přítomných zde v daném okamžiku. Např. dvě totožná stejně silná pole se vzájemně opačnými směry se sečtou s nulovým výsledkem: vzájemně se vyruší. Mají-li však dvě pole přesně totožnou orientaci, bude výsledné pole dvakrát silnější a intenzita světla dokonce čtyřikrát vyšší (intenzita je přímo úměrná kvadrátu elektrického pole).

Obvykle se součet hodnot polí mění tak rychle, že změny nevidíme. Pouze v případech, kdy jsou překrývající se pole synchronizovaná po delší dobu – alespoň v řádu desetin sekundy – dokážeme tento jev okem postřehnout. K tomu může dojít tehdy, jsou-li skládající se světelné paprsky totožné, jako v případě, kdy vycházejí z téhož laserového zdroje. Díky způsobu, jakým světlo v laseru vzniká kmitají pole v laserovém paprsku synchronně a se stejnou orientací a frekvencí.

Sluneční záření se naopak skládá z mnoha krátkovlnných fragmentů, které spolu vzájemně nesouvisí. V zásadě spolu tyto fragmenty interferují rovněž, ale nevznikají přitom stálé interferenční obrazce. Proto se sluneční světlo pokládá za nekoherentní, kdežto světlo laseru je koherentní (viz také oddíl „Možné dotazy žáků“, otázka č. 3).

Možné dotazy žáků

1) Když byly představy všech vědců zmíněných v úvodu později vyvráceny, proč se o nich učíme?

Věda není pouze kázáním pravdy. Věda spočívá v pozorování a tvorbě modelů, které co nej přesněji popisují sledované procesy. S pokrokem vědy pak mohou dnešní modely postupně zastarat nebo být opraveny. Proto je důležitější znát a chápat vědecký postup práce než si pamatovat všechny podrobnosti o jeho aktuálních výsledcích.

2) Odkud se v difrakčním obrazci bere modulace obrazce na dlouhou vzdálenost?

Stopy této modulace na dlouhou vzdálenost přetrvávají v obrazci i v případě, kdy jednu ze štěrbin zakryjete, přestože drobné stopy zmizí (nechte to žáky vyzkoušet s políčkem ②). Je proto zřejmé, že jde o výsledek interference světla procházejícího různými místy téže štěrbiny. Drobné stopy jsou naproti tomu výsledkem interference světla prošlého oběma štěrbinami.

V další kapitole se bude difrakce na jedné štěrbině probírat podrobněji.

3) Jak mohl Young tento pokus provést bez laseru?

Interferenční proužky mohou vznikat pouze při osvětlení zdrojem koherentního světla. Téměř ve všech případech jsou lasery zdrojem vysoce koherentního světla, kdežto sluneční světlo má z principu velmi nízký stupeň koherence. Young tento problém překonal pokusnou prací se slunečním zářením, které prošlo velmi malým otvorem. Čím větší je pak vzdálenost od otvoru, tím koherentnější je toto záření: zdánlivě totiž vychází z jediného bodu (a je tedy ve fázi), namísto z plošného zdroje, kde paprsky z různých míst nemusejí být ve fázi. Světlo v Youngově pokusu proto bylo prostorově koherentní.

Sluneční záření se skládá z paprsků mnoha různých vlnových délek. Jelikož se světlo s větší vlnovou délkou (např. červené) na okraji téhož předmětu (v Youngově experimentu na hraně hrací karty) ohýbá výrazněji než světlo s kratší vlnovou délkou (např. modré), pozoroval Young barevné interferenční proužky. Mnohem snazší je však provádět tento pokus se světlem o jediné vlnové délce.

Kapitola 2 | Difrakce na jediné štěrbině (volitelné téma)

Doporučený program hodiny pro experiment s jedinou štěrbinou

Žáci budou porovnávat difrakční obrazec vznikající za jedinou štěrbinou s obrazcem za tyčinkou (vlákem) téže tloušťky (inverzní maska, Babinetův princip). Pak s využitím difrakčního obrazce vlastního vlasu změří tloušťku tohoto vlasu. Rychlejší žáci se také dovědí, jak difrakční obrazec kyseliny DNA posloužil k zjištění stavby její molekuly.

Časy v minutách	Činnost	Materiál
0 – 5	Úvod	
5 – 30	Práce ve skupině na pracovním listu „Světlo – král nanosvěta“	WS07.2 Laser Destička s difrakčními prvky <i>Souprava pomůcek neobsahuje:</i> Baterie pro laser, stínítko, pravítko, držák destičky, vlas
30 – 40	Rozdejte žákům a proberte s nimi studijní list	FS07.2

Popis doporučené vyučovací hodiny

Úvod

Tato lekce navazuje na předchozí hodinu s výkladem o dvou štěrbinách. Lze ji tedy probrat např. v druhé části dvojhodiny. Žáci by proto měli být obeznámeni s pravidly bezpečné manipulace s laserem. Pracovní list však má takovou podobu, aby s ním bylo možné pracovat i samostatně. V takovém případě musíte ještě před zahájením experimentů (viz kapitola 1) ve třídě probrat pravidla bezpečné práce s laserem.

Možná, že někteří žáci zkoušeli v minulé vyučovací hodině pracovat s některou dvojitou štěrbinou. Pokud ano, připomeňte jim, co viděli, a vyzvěte je, ať se o své poznatky podělí s ostatními. Vysvětlete třídě, že interferovat může nejen světlo za dvěma různými štěrbinami, ale také paprsky, které prošly různými místy jedné a téže štěrbin. Podrobnější výklad je pak uveden na studijním listu, který žáci dostanou krátce po hodině.

Pracovní list „Světlo – král nanosvěta“

Řekněte žákům, že tento pracovní list jim má ukázat, jak lze interferenční obrazce použít ke zkoumání nepatrných předmětů. Pokud jste už pracovní list na téma dvojitě štěrbin se žáky probírali, vyzvěte je, ať si prohlédnou políčka ③ a ④ na destičce, kterou zřejmě ještě mají před sebou. V takovém případě můžete úvod pracovního listu přeskočit a přejít přímo k bodu 1).

Babinetův princip (body 1 a 2 pracovního listu)

Body 1) a 2) pracovního listu mají žáky přivést k poznání, že difrakční obrazce štěrbin a tyčinky (vlákna) o shodné tloušťce jsou totožné. Následkem omezení při výrobě může být šířka štěrbin v rozmezí 53 až 57 μm , přičemž tloušťka tyčinky/vlákna se může pohybovat od 57 do 61 μm . Jejich difrakční obrazce tedy nebudou dokonale totožné, ale jejich shoda bude dostatečná na to, aby byl tento jev zřejmý.

Měření tloušťky vlasu

V bodu 4) pracovního listu použijí žáci vzorec z bodu 3) k měření tloušťky vlastního vlasu. Tento úkol představuje především cvičení zaměřené na přípravu a provedení přesného měření – tedy základní součásti vědecké práce. Proto vedte žáky k diskusi ve skupinách o tom, jak by mohli zvýšit přesnost tohoto měření.

Pro orientaci: normální vlas z hlavy má tloušťku 60 až 80 μm . Když budete procházet mezi skupinami, pomozte žákům získat představu o takovém rozměru. Můžete např. uvést srovnání s velikostí jednoho milimetru a s vlnovou délkou světla použitého laseru.

Objev stavby DNA

Zbývajíc část pracovního listu je určena pro rychlejší žáky, kteří zvládli měření tloušťky vlasu dříve. V tomto pokusu se ukazuje, jak vědci Franklinová, Crick a Watson dokázali odvodit trojrozměrnou strukturu DNA z jejího difrakčního obrazce.

Bod 7) klade zdánlivě prostou otázku. Aby na ni našli vhodnou odpověď, je nutné, aby žáci difrakci správně pochopili a vstřebali i zkušenosti z praktického měření.

Rosalind Franklinová totiž použila elektromagnetické vlny o výrazně kratší vlnové délce. Tato metoda spočívá v rentgenové difrakci, k níž slouží záření o vlnové délce mezi 0,1 a 5 nm.

Studijní list

Až vyberete zpět experimentální pomůcky, rozdejte žákům studijní list FS07.2 a vysvětlete, jak s ním pracovat.

Nákresy na studijním listu by vám měly usnadnit výklad toho, jak byl odvozen vzorec v bodu 3 pracovního listu. V podstatě jde o stejný geometrický postup založený na podobnosti trojúhelníků jako v případě dvojitých štěrbin (pracovní list WS07.1).

Je málo pravděpodobné, že by vaši žáci někdy v praktickém životě potřebovali znát přesné vzorce pro difrakci na jediné štěrbině nazpaměť. Měli by si ale pamatovat, že difrakce je užitečný nástroj k analýze a měření velmi malých předmětů.

Všeobecné základy

Babinetův princip

Přesný fyzikální výklad pozadí tohoto jevu je náročný a vyžaduje vyšší matematiku. Hlavní je, aby si žáci zapamatovali, že předměty s komplementárními optickými vlastnostmi (jeden průhledný, druhý ve stejných místech neprůhledný) dávají stejný difrakční obraz – s výjimkou středu a celkové intenzity. Celková intenzita paprsku za maskou závisí na tom, do jaké míry předmět zastíní původní paprsek.

Přesnější formulace Babinetova principu zní, že součet pole za maskou a pole vzniklého za jejím komplementárním protějškem dává opět původní paprsek – jako kdyby jej žádná maska nestínila. To se může na první pohled zdát triviální. Žáci se vás ale budou ptát, co se děje se světlem, které se šíří za maskou mimo oblast středu. U obou difrakčních obrazců – od masky a jejího inverzního protějšku – jsou polohy světlých míst shodné. Intuitivně bychom však nikdy nečekali, že složením obou obrazců vznikne původní stopa na stínítku vytvořená nezastíněným paprskem. Přesto: sečtou-li se obě pole (za první maskou i za jejím inverzním doplňkem), veškeré světlo v těchto okrajových bodech bude interferovat destruktivně, vyruší se, tato místa zůstanou tmavá, a jasná zůstane pouze středová stopa. Z toho můžeme vyvodit, že ve skutečnosti tato dvě difrakční pole nejsou totožná: jejich složky elektrického pole mají totiž opačnou orientaci.

Kapitola 3 | Difrakce na mřížkách a optická spektroskopie

Doporučený program hodiny pro difrakci na mřížce

Žáci se seznámí se dvěma typy difrakčních mřížek: odrazovou a propustnou. K rozboru spektra úsporné zářivky použijí oba typy mřížek. Na konci hodiny se pak difraktivní optické prvky představí jakožto příklady rozmanitých aplikací řízené difrakce.

Časy v minutách	Činnost	Materiál
0 – 5	Úvod	Disky CD
5 – 35	Práce ve skupině s pracovním listem „Barvy ukryté v bílé“	WS07.3 Destička s difrakční mřížkou <i>Souprava pomůcek neobsahuje:</i> Sluneční světlo, úspornou zářivku, průsvitnou lepenku, disky CD, nůžky
35 – 39	Ukázka difraktivních optických struktur	Plastová destička s difraktivními optickými strukturami
39 – 40	Rozdání studijních listů	FS07.3

Popis doporučené vyučovací hodiny

Příprava

Při tisku pracovních listů dbejte na to, abyste měli všechny volby změny velikosti předlohy v nabídce tisku zakázané. Máte-li možnost vytisknout třetí stránku na silnější papír, udělejte to.

Ještě před vyučovací hodinou si připravte několik svítidel se žárovkami. Tato svítidla by neměla mít stínítka a žárovky by mělo být možné umístit jen těsně nad desku lavice. To pak výrazně usnadní žákům realizovat při posledním pokusu přesné měření.

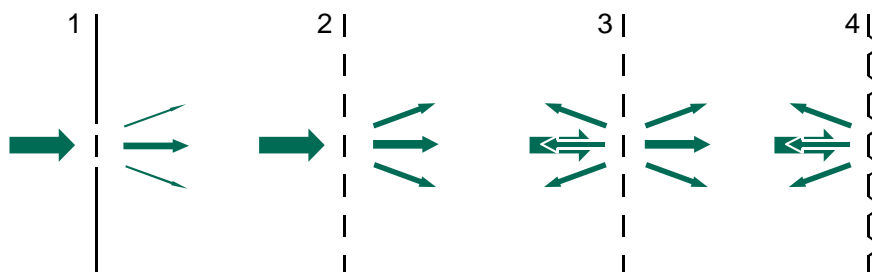
Úvod

V prvních několika minutách připomeňte žákům dvouštěrbinový experiment. Otázkami je vedte k poznatku, že difrakční úhel závisí na vlnové délce světla, a že tento jev lze použít k oddělení různých vlnových délek světla.

Rozdejte žákům disky CD a dejte jim minutu či dvě na pozorování barevných proužků, které na nich vznikají. Dokáží žáci odvodit souvislost mezi tímto jevem a dvouštěrbinovým experimentem, o němž jste právě mluvili?

Pracovní list “Barvy ukryté v bílé”

Rozdejte pracovní list WS07.3 a se žáky proberte jeho úvod. Vazbu mezi dvouštěrbinovým experimentem a difrakcí na CD jim můžete nastínit pomocí několika rychlých nákrešů:



- 1) Difrakce na dvojici štěrbin: maskou projde jen malé množství světla a stopy difrakčních řádů jsou velmi slabé
- 2) Difrakce na mřížce: maskou prochází větší množství světla a stopy difrakčních řádů jsou jasnější
- 3) Má-li difrakční mřížka odrazivý povrch, budou stopy difrakčních řádů viditelné i při odrazu
- 4) Na disku CD jsou drobné prohlubně seřazené za sebou ve velmi dlouhé spirále, kde je rozteč mezi stopami přesně $1,6\text{ }\mu\text{m}$. Prohlubně jsou vytvořeny tak, aby se od nich odrazilo menší množství světla paprsku čtecí hlavy než od plochy bez prohlubní (tímto rozdílem v intenzitě odraženého světla je zakódována digitální informace). Díky velké přesnosti stop pak disk CD funguje jako odrazová difrakční mřížka s kruhovým uspořádáním.

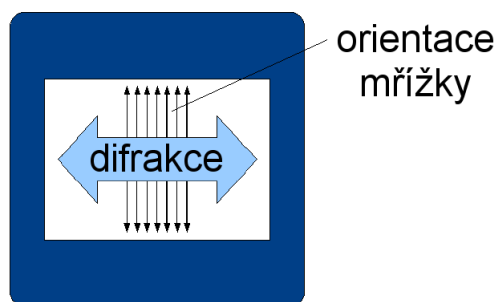
Použití disku CD jako spektrografu

Předved'te žákům, jak lze disk CD použít ke kvalitativnímu rozboru spektra světelného zdroje. V bodu 2) pracovního listu by měli žáci poznat, že spektrum slunečního záření (a také, máte-li ještě nějakou k dispozici, vláknové žárovky) je zdánlivě spojité, kdežto spektra úsporných zářivek se skládají z diskrétních pásů barev. Počet barev a středy intervalů jejich vlnových délek závisí na konkrétním modelu, který použijete. Nejčastěji se setkáte s červenou, oranžovou, zelenou, tyrkysovou a tmavě modrou.

Tvorba spektrometru

Na obrázku v bodu 6) je vyobrazena konstruktivní interference ve směru maxima prvního difrakčního řádu. Ve středu levého nákreš je patrné, jak je v místech, kde světlo musí projít tlustší částí fólie, čelo vlny opožděné. Nákreš vpravo zobrazuje tutéž situaci při použití větší vlnové délky, při níž se zvětší difrakční úhel.

Otázka bodu 7) má žákům vštípit jednoduchý, ale užitečný poznatek: u lineární mřížky je difrakční obrazec orientovaný kolmo k mřížce. Tento příklad lze použít i u disku CD. V takovém případě se můžete zeptat žáků, jakou orientaci mají řady prohlubní na disku (ve dlouhé spirále podobně jako na gramodesce, ale v menším provedení).



Na třetí stránce pracovního listu dostanou žáci možnost vytvořit vlastní spektrometr. Tento pokus má především didaktický účel. Ukazuje funkci spektrometru a umožňuje žákům využít poznatky, které o difrakci získali, formou kvantitativního měření. Konstrukce spektrometru – zejména jeho geometrické provedení – byla volena tak, aby byly fyzikální a matematické aspekty problému co nejjednodušší a nejzřejmější. V důsledku toho má toto zařízení jen omezené rozlišení a i velmi přesně změřená hodnota tak může mít odchylku od skutečné hodnoty v řádu asi 10 mm.

V ideálním případě by kompaktní žárovka měla být pouze několik centimetrů nad deskou lavice. Žáci by měli svůj list spektrometru položit naplocho na lavici. Kdyby v trojúhelníkovém otvoru nebyla průsvitná páska, procházející světlo lampy by mělo dopadat do okolí značky 7 cm na stupnici. Žáci s pak budou dívat přes difrakční mřížku ve výšce desky lavice a měli by vidět trojúhelníky v barvách, které určili již dříve pomocí disku CD v bodu 2). Aby bylo měření přesné, je zapotřebí dobrá týmová spolupráce.

Pro rychlejší žáky

Rychlejší žáci pak mohou ještě odhadovat přesnost měření. Co na ni má vliv? Které z těchto vlivů lze a které nelze zmírnit provedením několika měření s vypočtením průměru? Dokáží žáci uvést obvyklou míru nejistoty tohoto měření v procentech nebo v nanometrech?

Difraktivní optické struktury

Propustná mřížka použitá v předchozím experimentu, je jednoduchým příkladem difraktivní optické struktury. V balíčku DVD Photonics Explorer najdete dvě plastové karty s několika dalšími difraktivními optickými strukturami. Na stejném principu, podle něhož se světlo laseru procházející mřížkou odchýlí do jasných lineárních stop (difrakčních řádů), vytvářejí tyto struktury ze světla laseru složitější dvourozměrné obrazce. Když tyto rozmanité struktury na kartě prosvítíte a obrazy promítnete na stínítko nebo bílou stěnu, dáte žákům velmi atraktivní formou představu o jedné z mnoha aplikací fyzikálních jevů, které právě studovali.

Na konci hodiny rozdejte studijní list FS07.3.

Všeobecné základy

„Bílá“ barva úsporných zářivek

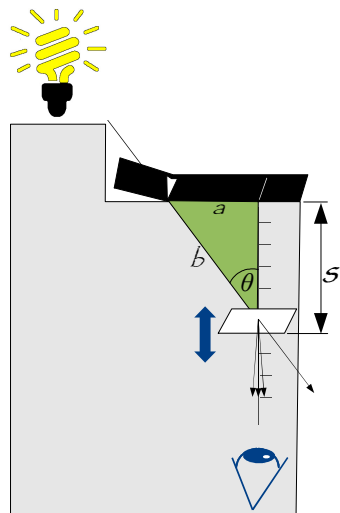
Kompaktní zářivky vytvářejí světlo prostřednictvím elektrického výboje v plynu: volné elektrony jsou v něm urychlovány elektrickým polem v ionizovaném plynu. Při srážce těchto urychlených elektronů s ionty dochází k excitaci těchto iontů kinetickou energií elektronů. Ionty pak tuto dodanou energii vyzaří ve formě elektromagnetického vlnění. Toto záření je však v ultrafialovém spektru (vlnové délky 254 nm). To není k osvětlení místností vhodné, a dokonce našemu oku škodí. Proto je vnitřek trubice pokrytý luminoforem, který pohlcuje ultrafialové světlo a energii opět vyzaří ve formě viditelného světla. Různé luminofoxy opět vyzařují energii na různých diskretních vlnových délkách, zejména na těch, které žáci pozorovali v bodu 2). Typ směsi luminoforů pak určuje barvu světla, tj. zda jeho bílá bude „teplejší“ (do oranžova) nebo „studenější“ (více modrých tónů).

Každý výrobce má pro mísení luminoforů svůj předpis, který se dokonce může lišit i u jeho jednotlivých výrobních linek. Proto se liší i spektra různých zářivek. Pro přibližnou orientaci lze uvést následující výsledky měření na jediné zářivce (měření bylo provedeno pomocí profesionálního spektrometru):

Barva	Střed intervalu vlnové délky
červená	612 nm
oranžová	řada slabých čar, asi 575 – 595 nm
zelená	546 nm
tyrkysová	487 nm
tmavě modrá	436 nm

Výpočet vlnové délky pomocí vzorce uvedeného v bodu 9)

Možná vás zajímá, zda je vzorec v bodu 9) jen přibližnou aproximací, zejména vzhledem k tomu, světlo na mřížku nedopadá pod pravým úhlem. Jak ukáže následující výklad, tento vzorec ve skutečnosti dává přesné výsledky.



Pro skutečně přesný model by bylo nutné použít vyšší matematiku (vyřešit Fresnelův-Kirchhoffův difrakční integrál). Ve většině situací však tento geometrický model – uváděný ve školních učebnicích – dává výsledky s dostatečnou přesností. Podle tohoto modelu má rovnice mřížky pro difrakční maxima v obrazci vytvořeném světlem dopadajícím pod určitým úhlem následující tvar:

$$\sin(\alpha_m) = \sin(\theta) + m \frac{\lambda}{d}$$

kde d je mřížková konstanta, λ je vlnová délka světla, m je číslo difrakčního řádu a α_m je úhel, který svírá směr m tého difrakčního řádu s normálou ke mřížce. V našem uspořádání pozorujeme $m=-1$. řád difrakce ve směru normály ke mřížce,

takže $\sin \alpha_{-1}=0$. Vzorec se proto zjednoduší následovně:

$$\frac{\lambda}{d} = \sin(\theta) = \frac{a}{b}$$

kde a/b je prostě poměr protilehlé odvěsny (a : vzdálenost mezi osou vystřiženého trojúhelníku a bílou čarou) k přeponě (b : vzdálenost mezi osou vystřiženého trojúhelníku a bodem, kde mřížka protíná stupnici).

Možné dotazy žáků

1) Jaký je rozdíl mezi difraktivní optickou strukturou a hologramem?

I hologram je difraktivní optická struktura. Ne všechny difraktivní struktury jsou však současně hologramy. Holografie je jednou z cest, jak vytvářet difraktivní optické struktury, především záznamem interference světelných vln na médium, jako např. fotografický film.

Optické struktury na plastových kartách v sadě Photonics Explorer jsou vyrobeny odlišným postupem: byly vytvořeny pomocí počítače a pak přeneseny do tvrdého materiálu pomocí velmi přesného zařízení (iontovým nebo elektronovým paprskem). Výsledkem je povrch podobný razítku s velmi jemným strukturovaným povrchem. Tento reliéfní tvrdý povrch se pak za vysoké teploty obtiskl do plastu, čímž vznikly struktury, jež vidíte na kartách.