

Dvojtěrbina to není jen dvakrát tolik štěrbin

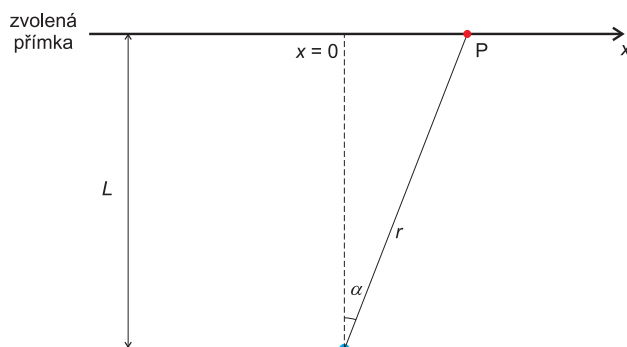
Začneme s vodou

1.) Nejprve pozorujte vlnění na vodě (reálně nebo pomocí appletu – dle vašeho výběru), které vytváří jeden zdroj. Popište toto vlnění slovy a zdůvodněte, že následující vztah dobře popisuje pozorované vlnění.

$$V(r, t) = \frac{V_{max}}{\sqrt{r}} \cos(konst_1 \cdot t - konst_2 \cdot r),$$

kde V je výška „vlny“ v daném místě a daném čase a V_{max} je maximální výška (výšku V měříme od „klidné“ hladiny, může tedy být kladná i záporná). Zkuste najít význam obou konstant ve vzorci. Jaký je směr šíření?

2.) Protože by bylo obtížné sledovat časový průběh vln na celé hladině, zkusme spočítat, jak bude vypadat amplituda vlnění podél přímky ve vzdálenosti L od zdroje. Tedy spočítat výšku vlny v místě P (viz následující obrázek).

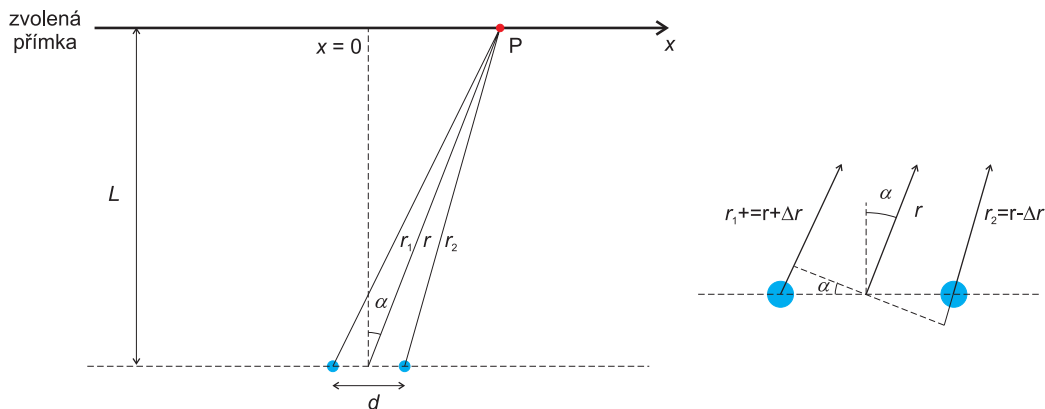


3.) Energie, kterou vlna přenáší, je úměrná druhé mocnině maximální výšky, kterou zde vlna dosahuje. Napište vztah, který popisuje energii, kterou vlnění „přináší“ na jednotlivá místa stěny. Načrtněte graf.

4.) A teď si vezmeme zdroje vlnění dva (resp. dvě štěrby, které fungují jako dva zdroje). Pozorujte a popište, co se děje.

5.) Jak určit výšku hladiny v daném místě a čase pro případ, že máme dva zdroje vlnění (viz obrázek)?

Pozn.: Zanedbejte, že se vlnění od zdrojů vzájemně maličko liší ve výškách vln – uvažujte průměr obou hodnot.

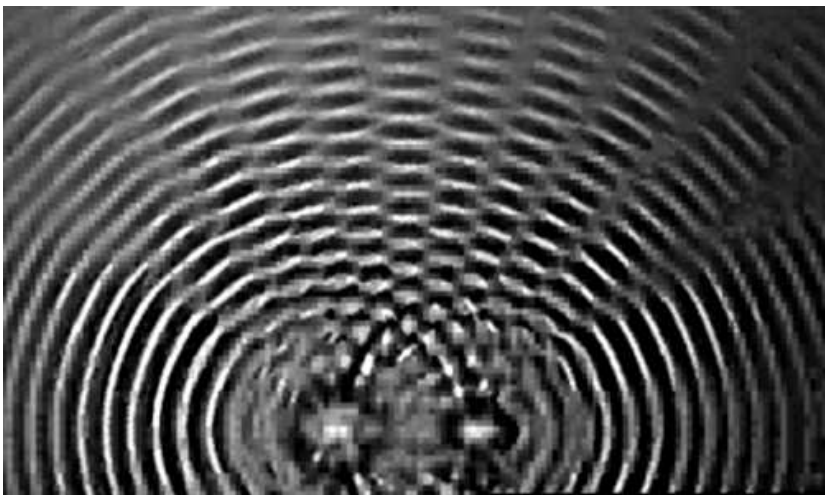


Při výpočtu je třeba sečíst v daném místě stěny (P) aktuální výšky vln od obou zdrojů. Při výpočtu se vám možná bude hodit vztah

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cos \frac{\alpha - \beta}{2}.$$

Výsledný vztah si pomyslně rozdělte na část, která určuje časový průběh vlnění v tomto místě, a část, která určuje maximální výšku, kterou vlna v tomto místě dosahuje.

- 6.) Načrtněte si graf závislosti maximální výšky vlny podél stěny.
- 7.) Porovnejte výsledek výpočtu s pozorováním.
- 8.) Pro vlnění, které zachycuje následující obrázek vypočtete vzdálenost míst s „minimálním“ vlněním, která jsou nejbližše středu stěny. Potřebné údaje „změřte“ na obrázku. Ověřte výpočet měřením (nebo měření výpočtem).



9.) Napište vztah, který popisuje energii, kterou vlnění „přináší“ na jednotlivá místa stěny v případě dvou zdrojů. Načrtněte graf. (Jak již bylo řečeno, energie je úměrná druhé mocnině maximální výšky vlny v daném místě.)

A co světlo?

10.) Místo dvou zdrojů světla použijeme dvě štěrbin (dvojštěrbinu). Pozorujte a popište, jak vypadají obrazce, které vytváří světlo při průchodu dvěma štěrbinami. V čem se vlnění na vodě a světlo liší?

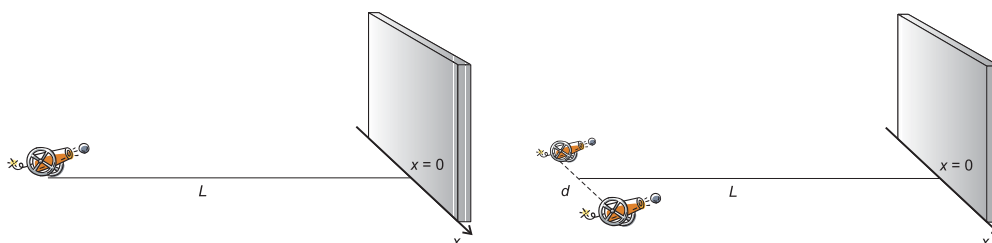
11.) Pokud je stěna hodně daleko od zdrojů (v porovnání s jejich vzájemnou vzdáleností) můžeme udělat v předchozích výpočtech následující zjednodušení:

$$\Delta r = \frac{d}{2} \sin \alpha \approx \frac{d}{2} \tan \alpha \approx \frac{d x}{2 L}$$

12.) Nakreslete graf intenzity světla (je úměrná energii) podél stínítka. Je nějaký zásadní rozdíl mezi tímto grafem a grafem energie vlnění na vodě?

„Rozvrzaná“ děla

Představte si, že máme dělo, kterým střílíme do zdi. Naše dělo je už trochu starší, takže i když se snažíme mířit přesně na střed stěny, dělo se při výstřelu od nastaveného směru často mírně odchýlí do strany, většinou velmi málo, někdy ale i víc. Vystřelené koule zůstávají ležet u stěny.



13.) Z děla vystřelíme velmi mnoho koulí. Jak bude přibližně vypadat závislost počtu koulí na vodorovné vzdálenosti od středu stěny x (viz předchozí obrázek vlevo)?

14.) Odhadněte, jak by vypadalo rozložení koulí u stěny, pokud bychom měli dvě děla vedle sebe (viz předchozí obrázek vpravo)

Elektrony

Program `dualismus.exe` znázorňuje, co vidíme na stínítku („stěně“), pokud na ni střílíme elektrony přes dvojštěrbinu (tj. podobně jako jsme to dělali u světla). Tyto dvě štěrby mohou představovat také jakési dvě „elektronová děla“.

15.) Spusťte si program `dualismus.exe` a stiskněte `Run`. Popište, jak to probíhá a jaký je výsledek.

16.) V čem se chování elektronu podobá vodě a v čem dělům?

Chci něco složitějšího...

Mnohem podrobnější diskuzi myšlenkových experimentů s elektrony, souvislostí s relacemi neurčitosti a delokalizací elektronu naleznete ve *Feynmanových přednáškách z fyziky 1* v kapitole 37 (s. 496-507) nebo v knize *Kvantový vesmír* od autorů P. Heye a P. Walterse (s. 9-18).

Výsledky odvození

Úloha 5

Po sečtení obou vln v daném místě dostaneme:

$$V = \frac{2V_{max}}{\sqrt{r}} \cos \frac{2 \sin \alpha}{2} \cos(konst_1 \cdot t - konst_2 \cdot r)$$

Úloha 10

$$V = \frac{2V_{max}}{r} \cos \frac{konst_2 d}{2L} \cos(konst_1 \cdot t - konst_2 \cdot r)$$

Poznámka: Světlo se šíří od bodového zdroje do celého prostoru, proto jeho amplituda ubývá nepřímo úměrně se vzdáleností. Narozdíl od vln na vodě, které se šíří pouze v rovině a pokles jejich amplitudy je tedy dán odmocninou ze vzdálenosti od zdroje. Tato skutečnost ale neovlivní „tvar“ obrazce na stínítku.

Použité materiály

- Koopman, L.: *Double slit experiment*, 2006

- Feynman, R.: *Feynmanovy přednášky z fyziky 1*, Fragment, Praha 2000
- Hey, P., Walters P.: *Nový kvantový vesmír*, Argo, Praha, 2005
- Vícha, V., Formánek P.: *Dualismus.exe* –
<<http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/2005/dalsi.cz.php>>
- *Physics Education Technology* – sada appletů pro použití ve výuce (nejen) fyziky, <<http://phet.colorado.edu>> – použit byl applet „*Wave interference*“