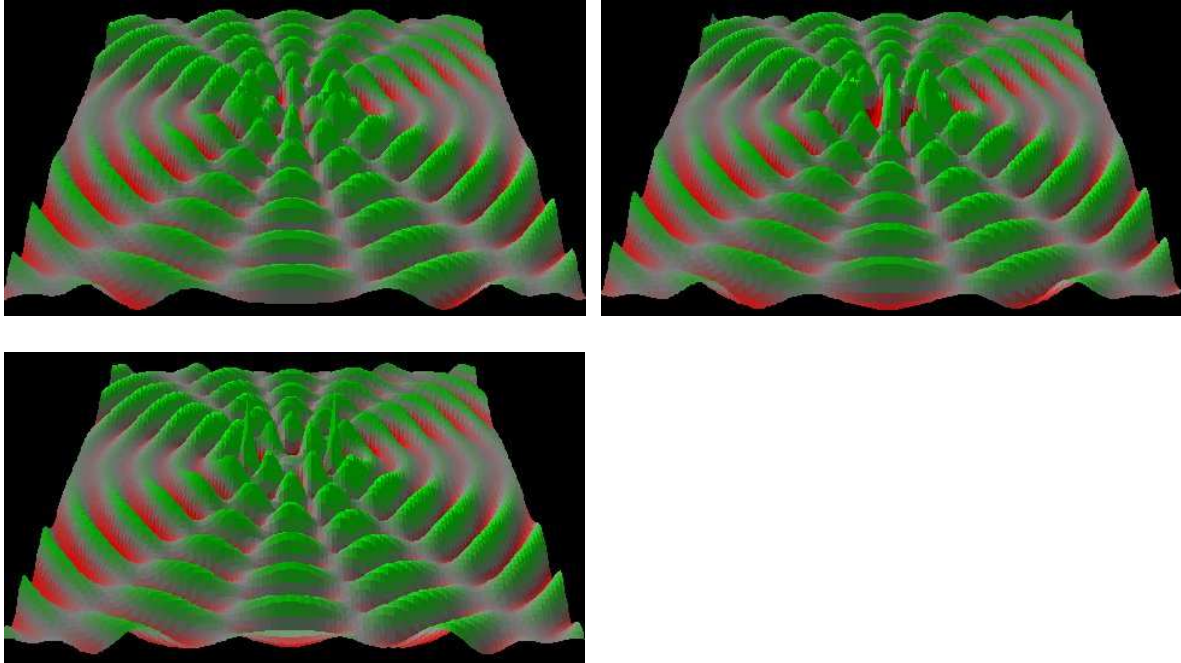


3.2.3 Interference

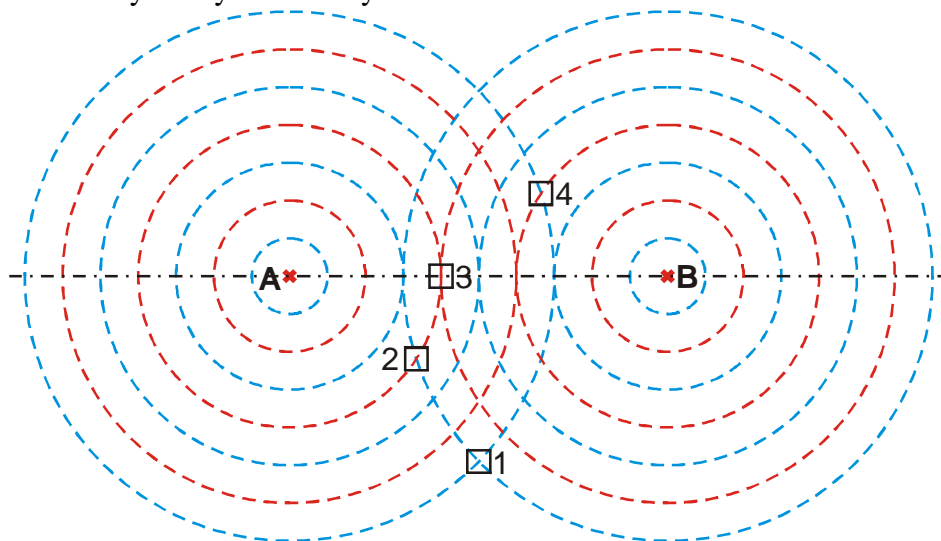
Předpoklady: 3202

Zatím jsme zkoumali vlnění jediného zdroje. Jak se změní situace, pokud máme zdroje dva?

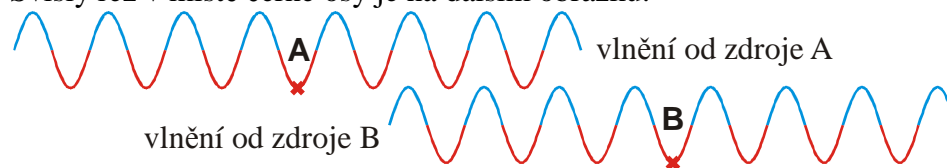


Ačkoliv do každého místa dospěje vlnění od obou zdrojů, na hladině vznikla místa, která se vůbec nevlní. Jak je to možné?

Př. 1: Na obrázku (pohled shora) je zachycena okamžitá situace vlnění způsobeného dvěma zdroji se stejnou frekvencí a stejnou počáteční fází („obě vlnění odstartovala v jednom okamžiku“). Vrcholy vln (místa s maximální kladnou výchylkou) jsou vyznačeny modrou čarou, prohlubně vln (místa s maximální zápornou výchylkou) jsou vyznačeny červeně. Urči v označených místech výšku výsledné vlny.

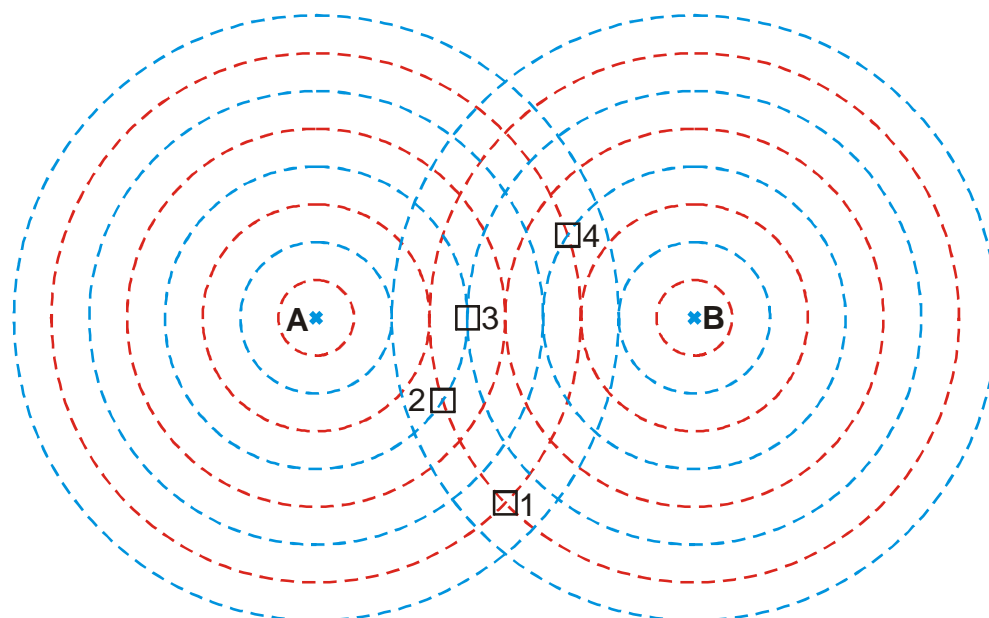


Svislý řez v místě černé osy je na dalším obrázku:



- Bod 1: Setkávají se zde dva vrcholy \Rightarrow vznikne vrchol s dvojnásobnou výškou.
- Bod 2: Setkává se zde prohlubeň od zdroje A a vrchol od zdroje B \Rightarrow vznikne místo s nulovou výchylkou.
- Bod 3: Setkávají se zde dvě prohlubně \Rightarrow vznikne místo s dvojnásobnou hloubkou.
- Bod 4: Setkává se zde vrchol od zdroje A a prohlubeň od zdroje B \Rightarrow vznikne místo s nulovou výchylkou.

Př. 2: Odhadni jak se situace změní po uplynutí doby rovné polovině periody vlnění.

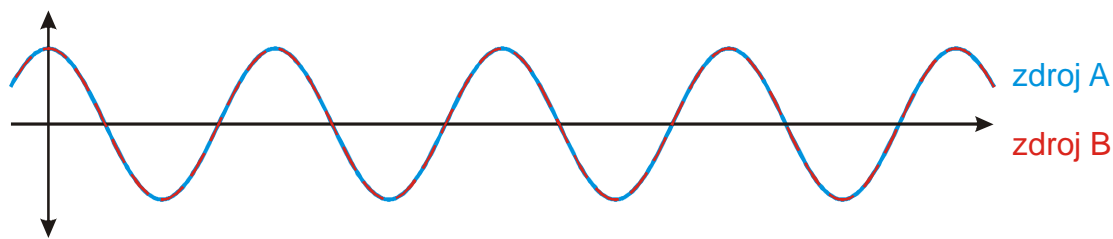


Vlnění se posune o polovinu vlnové délky \Rightarrow všechny kružnice na obrázku změní barvu (z vrcholů se stanou prohlubně a naopak), objeví se dvě nové modré kružnice.

- Bod 1: Setkávají se zde dvě prohlubně \Rightarrow vznikne místo s dvojnásobnou hloubkou.
- Bod 2: Setkává se zde vrchol od zdroje A a prohlubeň od zdroje B \Rightarrow vznikne místo s nulovou výchylkou.
- Bod 3: Setkávají se zde dva vrcholy \Rightarrow vznikne vrchol s dvojnásobnou výškou.
- Bod 4: Setkává se zde prohlubeň od zdroje A a vrchol od zdroje B \Rightarrow vznikne místo s nulovou výchylkou.

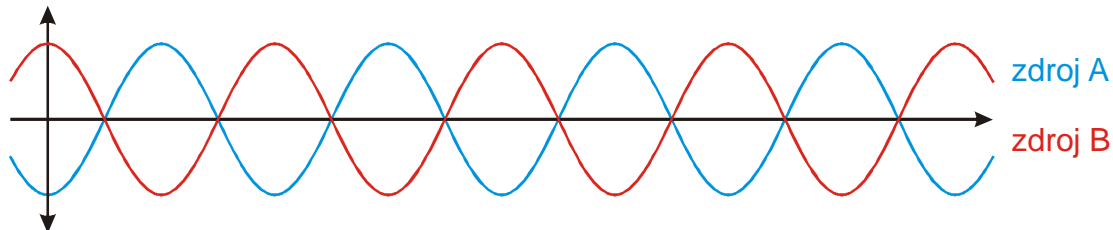
Př. 3: Nakresli časový průběh vlnění od obou zdrojů a výsledného vlnění v bodech 1,2,3. Okamžik, ve kterém byla zaznamenána situace na obrázku v příkladu 1, považuj za čas 0.

Bod 1:



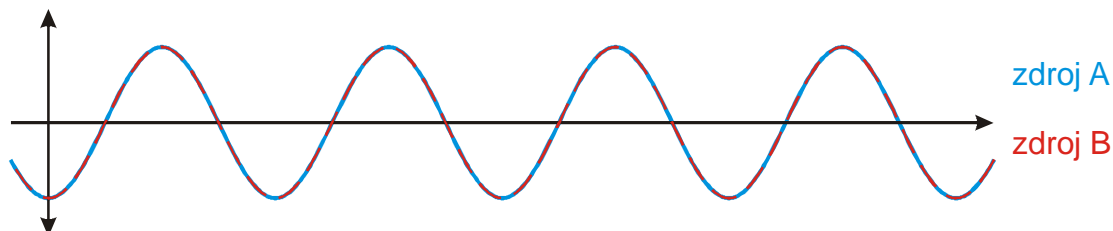
⇒ obě vlnění mají vždy stejnou fázi a vždy se sčítají.

Bod 2:



⇒ obě vlnění mají vždy opačnou fázi a vždy se odečítají.

Bod 3:

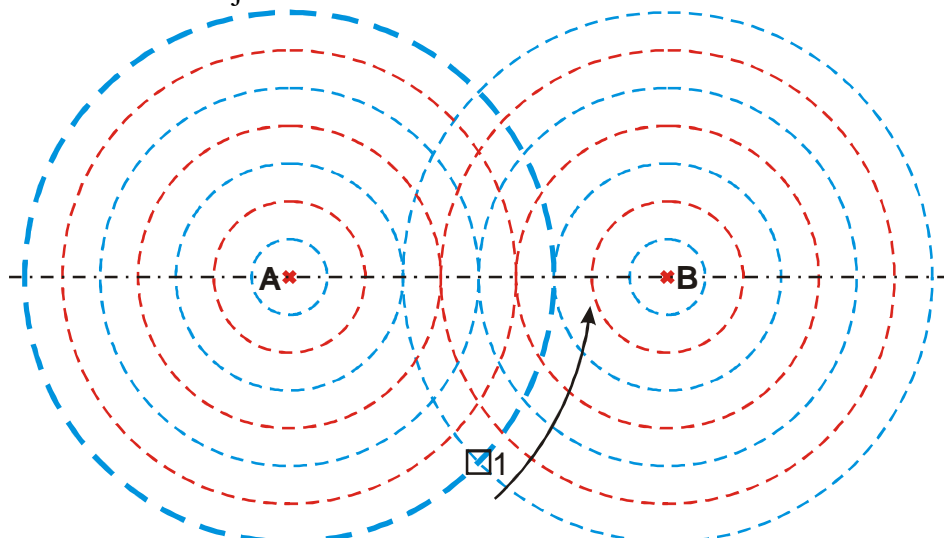


⇒ obě vlnění mají vždy stejnou fázi a vždy se sčítají.

⇒ mají-li oba zdroje stejnou frekvenci, pak místa, kde se vlny „odčítají“, i místa, kde se vlny „sčítají“, „zůstávají na místě“.

Jak poznáme, zda se v určitém místě budou vlnění sčítat nebo odčítat?

1. pohled: O tom, zda v určitém místě nastane „sčítání“ nebo „odčítání“ rozhoduje poloha vzhledem ke zdrojům vlnění.



Procházíme průsečíky největšího vrcholu od zdroje A z bodu 1 s vrcholy a prohlubněmi od zdroje B. Vzdálenost od zdroje A se nemění, vzdálenost od zdroje B se postupně zmenšuje, v nakreslených bodech vždy o polovinu vlnové délky. Každá tato změna změní „sčítání“ na

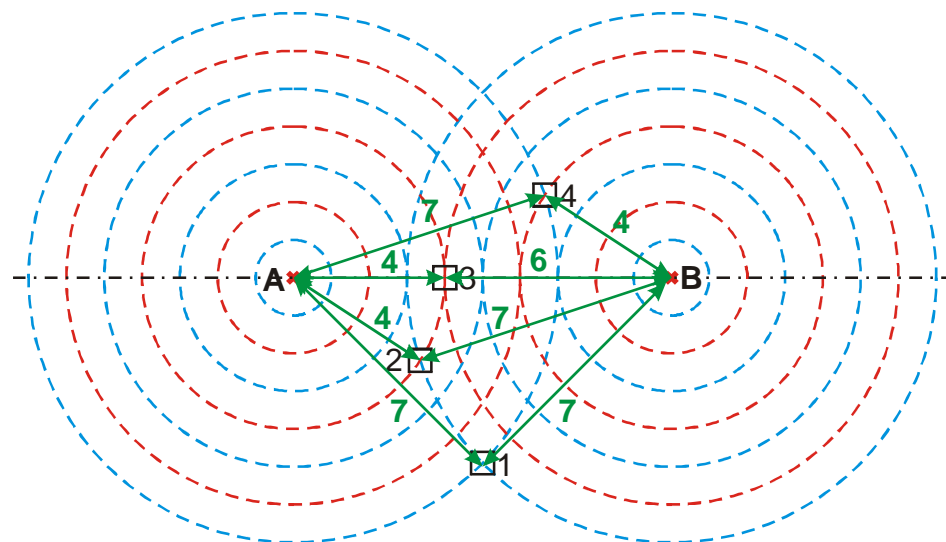
„odčítání“ (nebo obráceně) \Rightarrow záleží na tom, zda se rozdíl vzdáleností od obou zdrojů rovná celé vlnové délce (sudému počtu půlvln) nebo její polovině.

2. pohled: O tom, zda v určitém místě nastane „sčítání“ nebo „odčítání“ rozhoduje fázový rozdíl obou vln, který závisí na dráhovém rozdílu od obou zdrojů.

Je-li dráhový rozdíl (rozdíl vzdáleností místa od obou zdrojů):

- roven sudému počtu půlvln – obě vlnění mají v bodě stejnou fázi (dělají s hladinou to samé) a vytvářejí větší vlnu (**interferenční maximum**),
- roven lichému počtu půlvln – obě vlnění mají v bodě opačnou fázi (dělají s hladinou to obrácené) a vytvářejí menší vlnu (**interferenční minimum**),
- pokud fázový rozdíl nedosahuje přesně jedné z těchto hodnot, nebude skládání ani rušení úplné a bude záležet na tom, čemu je fázový rozdíl bližší.

Př. 4: Urči dráhový rozdíl vlnění na obrázku. Porovnej jeho velikost s naznačenou interferencí.



Dráhové rozdíly:

bod 1: $7 - 7 = 0 \Rightarrow$ sudý počet půlvln \Rightarrow interferenční maximum,

bod 2: $7 - 4 = 3 \Rightarrow$ lichý počet půlvln \Rightarrow interferenční minimum,

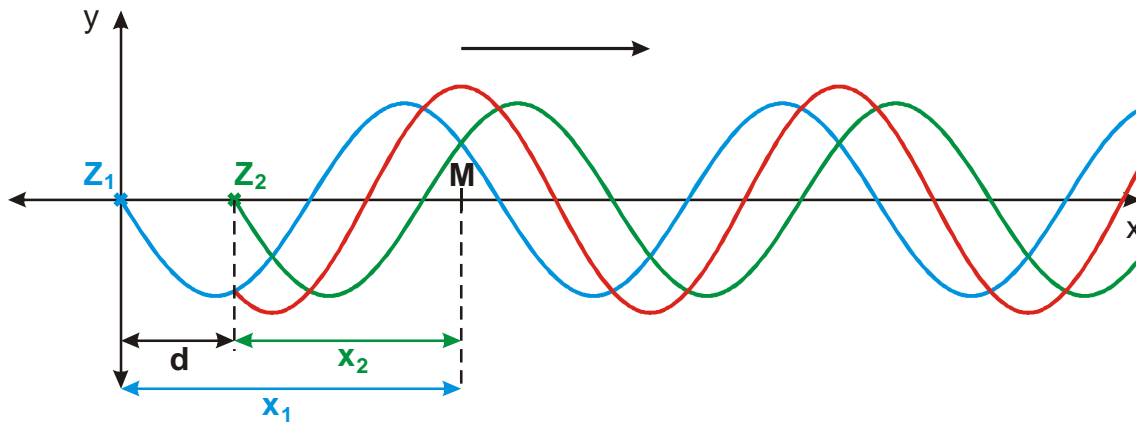
bod 3: $6 - 4 = 2 \Rightarrow$ sudý počet půlvln \Rightarrow interferenční maximum,

bod 4: $7 - 4 = 3 \Rightarrow$ lichý počet půlvln \Rightarrow interferenční minimum.

Výsledky odpovídají řešení příkladu 1.

Můžeme situaci popsat i matematicky?

Fotografie situace v konkrétním okamžiku (červeně je vyznačena výška vlnění vzniklého složením vlnění ze zdrojů Z_1 a Z_2):



- první vlnění v bodě M : $y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right)$
- druhé vlnění v bodě M : $y = y_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right)$

Rozdíl fáze: $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda} \right) - 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda} \right) = 2\pi \frac{t}{T} - 2\pi \frac{x_2}{\lambda} - 2\pi \frac{t}{T} + 2\pi \frac{x_1}{\lambda}$

$\Delta\varphi = 2\pi \frac{x_1}{\lambda} - 2\pi \frac{x_2}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} (x_1 - x_2) = \frac{2\pi}{\lambda} d \Rightarrow$ o interferenci rozhoduje dráhový rozdíl d .

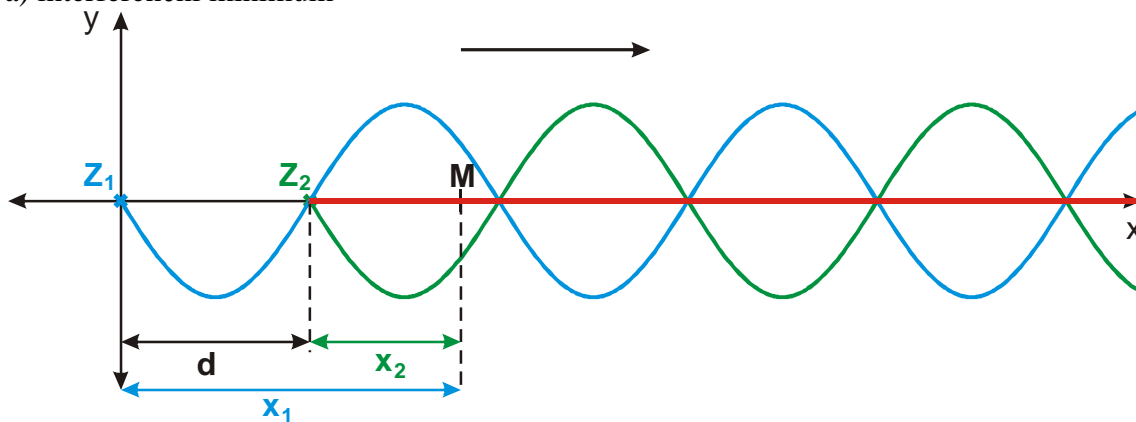
- d – sudý počet půlvln: $d = 2k \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d = \frac{2\pi}{\lambda} 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = 2k\pi \Rightarrow$ obě vlnění přicházejí do bodu M se stejnou fází a vytváří interferenční maximum („pomáhají si“),
- d – lichý počet půlvln: $d = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} d = \frac{2\pi}{\lambda} (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\pi \Rightarrow$ obě vlnění přicházejí do bodu M s opačnou fází a vytváří interferenční minimum („škodí si“).

Stejný závěr jako před chvílí bez matematiky.

Př. 5: Navrhni takovou vzájemnou polohu zdrojů v předchozích obrázcích, aby:

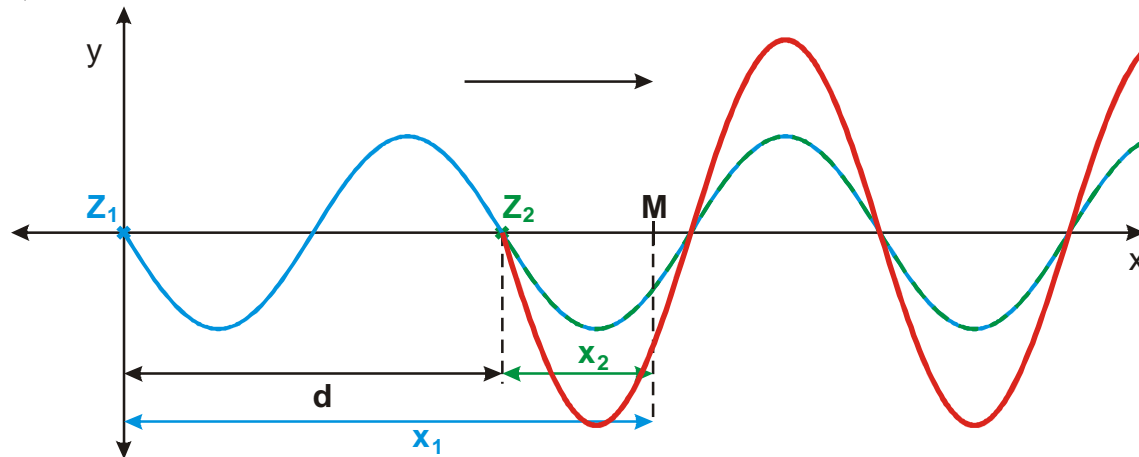
- ve všech bodech na ose x nastávalo interferenční minimum,
- ve všech bodech na ose x nastávalo interferenční maximum.

a) interferenční minimum



Z obrázku vidíme, že pro všechny body na ose x platí $d = \frac{\lambda}{2} = (2 \cdot 0 + 1) \frac{\lambda}{2}$ (podle podmínek první možnost pro interferenční minimum $(2k + 1) \frac{\lambda}{2}$).

b) interferenční maximum



Z obrázku vidíme, že platí $d = \lambda = 2 \cdot 1 \cdot \frac{\lambda}{2}$ (podle podmínek první možnost pro interferenční minimum $d = 2k \frac{\lambda}{2}$)

Pozor: Výsledky předchozího příkladu se týkají pouze bodů ležících na ose x (na které leží oba zdroje vlnění). Pro všechny ostatní body roviny by vyhodnocení situace bylo podstatně složitější (a mimo naše možnosti, protože v rovnici postupného vlnění neumíme popsat body mimo osu x).

Dodatek: To, že pro body na celé přímce nastává interferenční maximum neznamená, že hladina nebude nikdy v rovnovážné poloze. Znamená to, že bude kmitat s dvojnásobnou amplitudou.

Př. 6: Vysvětli, proč při modelování interference nedochází v blízkosti obou zdrojů k úplnému vyrušení vlnění interferencí.

Model zobrazuje vlnění v blízkosti zdrojů \Rightarrow intenzita vlnění se se vzdáleností od zdrojů zmenšuje \Rightarrow v místech, kde nastává interferenční minimum nedojde k úplnému útlumu kmitů, protože vlnění od bližšího zdroje je intenzivnější.

Př. 7: Popiš interferenci z hlediska zákona zachování energie. Není vznikem interferenčních minimum porušován?

Interference změnila distribuci energie v prostředí. V některých místech se intenzita vlnění sníží, ale energie se přesune do míst s vyšší výchylkou.

Př. 8: Odhadni, jak by se situace změnila, kdyby zdroje vlnění nekmitaly se stejnou fází, ale jeden z nich by byl fázově posunutý o π (kmital by v protifázi, vždy s opačnou výchylkou než druhý zdroj).

Kdyby zdroje kmitaly s opačnou fází všechny dráhové rozdíly by se změnilo o půl vlnové délky \Rightarrow interferenční obrazec by se obrátil (v místech interferenčních maxim by byly interferenční minima a obráceně).

Shrnutí: Při sčítání vlnění od více zdrojů se stejnou frekvencí dochází k interferenci: objeví se místa, kde je výsledné vlnění zesíleno i místa, kde je zeslabeno.