48 Rázy

48.1 SKLÁDÁNÍ DVOU VLN
48.2 ZÁZNĚJOVÉ TÓNY A MODULACE
48.3 POSTRANNÍ PÁSY
48.4 LOKALIZOVANÉ VLNOVÉ BALÍKY
48.5 AMPLITUDY PRAVDĚPODOBNOSTI PRO ČÁSTICE
48.6 VLNY V TROJROZMĚRNÉM PROSTORU
48.7 NORMÁLNÍ MODY

48.1 SKLÁDÁNÍ DVOU VLN

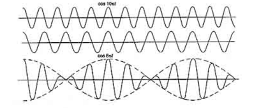
Nedávno jsme dost podrobně mluvili o vlastnostech světelných vln a jejich interferenci, tj. superpozici dvou vln z různých zdrojů. V těchto úvahách jsme předpokládali, že frekvence zdrojů jsou stejné. V této kapitole budeme mluvit o některých jevech, jež jsou důsledkem interference dvou zdrojů s *různými* frekvencemi.

Snadno se dovtípíme, co se stane. Postupujme tak jako dříve a předpokládejme, že máme dva stejné zdroje kmitající se stejnou frekvencí, jejichž fáze jsou nastaveny tak, že do určitého bodu P přicházejí signály se stejnou fází. Jde-li o světlo, bude v tomto bodě velmi jasné, je-li to zvuk, bude velmi hlasitý, pokud jde o elektrony, bude jich tam hodně. Budou-li přicházející signály posunuty o 180°, nebudeme mít v bodě P signál, neboť výsledná amplituda zde má minimum. Nyní předpokládejme, že někdo otáčí „regulátorem fáze" jednoho ze zdrojů a mění tak fázi v bodě P a tím i fázový rozdíl na tu či onu stranu, například tak, že nejprve je 0°, potom 180° atd. Pak se bude samozřejmě měnit i síla výsledného signálu. Bude-li se fáze jednoho signálu měnit vzhledem k fázi druhého signálu tak, že začne u nuly a bude postupovat k deseti, dvaceti, třiceti, čtyřiceti stupňům atd., naměříme v bodě P posloupnost silných a slabých „pulzací", protože při 360° fázovém posunu se amplituda opět změní na maximální. Samozřejmě tvrzení, že jeden ze zdrojů posouvá svou fázi vzhledem k druhému zdroji konstantní rychlostí, je rovnocenné tvrzení, že počet kmitů za sekundu se u těchto zdrojů mírně liší.

Nyní už známe odpověď: máme-li dva zdroje s málo odlišnými frekvencemi, dostaneme výsledné oscilace s pomalu pulzující intenzitou. To je vlastně celá podstata rázů.

Získaný výsledek lze snadno formulovat i matematicky. Předpokládejme například, že máme dvě vlny a na chvíli zapomeneme na všechny prostorové vztahy a budeme se prostě zajímat o to, co přichází do bodu P. Nechť z jednoho zdroje přichází $\omega_1 t$ a z druhého $\omega_2 t$, přičemž omegy nejsou přesně stejné. Ani amplitudy by nemusely být stejné, ale takový obecný případ budeme řešit až později; nejprve budeme amplitudy považovat za stejné. Celková amplituda v bodě P je součtem zmíněných dvou kosinů.

Kdybychom si nakreslili závislost amplitudy vlnění na čase, jako je to na *obr. 48.1*, viděli bychom, že tam, kde se setkají hřebeny vln, dostaneme silné vlnění; kde se setká hřeben a brázda, dostaneme prakticky nulu a kde se znovu setkají hřebeny, opět dostaneme silné vlnění.



Obr. 48.1 Superpozice dvou kosinových vln s frekvencemi v poměru 8:10. Přesné opakování obrazce v každém rázu není typické pro obecný případ

Z matematické stránky musíme pouze vypočítat součet dvou kosinů a výsledek určitým způsobem přeskupit. Mezi kosiny existuje řada vztahů, které není těžké odvodit. Víme, že

$$e^{i(a+b)} = e^{ia} e^{ib} \tag{48.1}$$

a reálnou částí e^{ia} je $\cos a$, imaginární částí $\sin a$. Vezmeme-li reálnou část z $e^{i(a+b)}$, dostaneme $\cos(a+b)$. Vynásobením dostaneme

$$e^{ia} e^{ib} = (\cos a + i \sin a)(\cos b + i \sin b),$$

tedy $\cos a \cos b - \sin a \sin b$ plus nějaké imaginární části. My však nyní potřebujeme pouze reálnou část, a proto máme

$$\cos(a+b) = \cos a \cos b - \sin a \sin b. \tag{48.2}$$

Změníme-li znaménko u b, dostaneme rovnici

$$\cos(a-b) = \cos a \cos b + \sin a \sin b, \tag{48.3}$$

protože kosinus nezmění znaménko, ale sinus ho změní. Sečteme-li tyto rovnice, ztratíme sinus