



Komunikačná akustika

L06: Smerové vlastnosti akustických vysielačov

prof. Ing. Jozef Juhár, PhD.

<http://kemt.fei.tuke.sk>

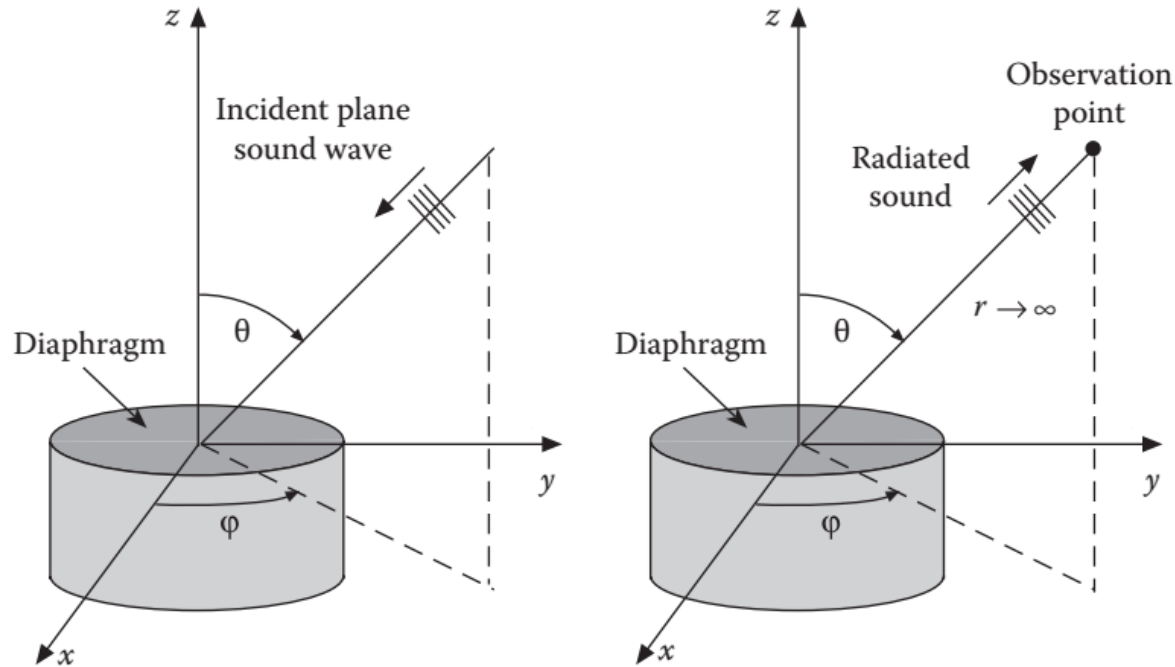
Základné typy „jednoduchých“ akustických vysieláčov

- sférické vysieláče
 - pulzujúca guľa (ak. vysieláč 0. rádu)
 - akustický dipól (ak. vysieláč 1. rádu)
 - sférické vysieláče druhého a vyšších rádov
- sústavy bodových zdrojov
 - rad bodových zdrojov na priamke alebo na krivke
 - pole bodových zdrojov na rovine alebo na krivej ploche
- piest
 - voľne kmitajúci
 - kmitajúci v nekonečnej stene
- kmitajúca priamka
- valcové vysieláče
 - pulzujúci valec
 - cylindrický dipól
 - oscilujúci valec

Smerové vlastnosti akustických vysieláčov

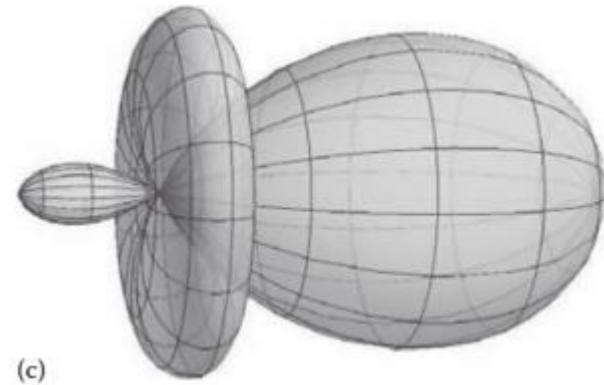
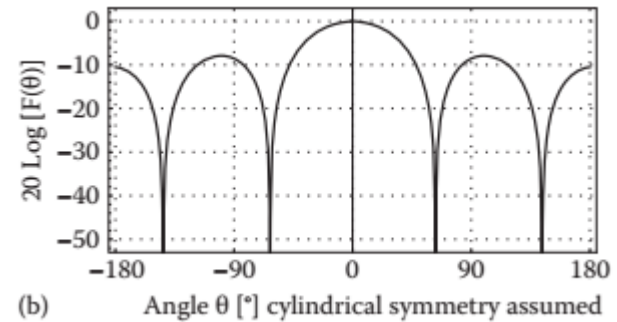
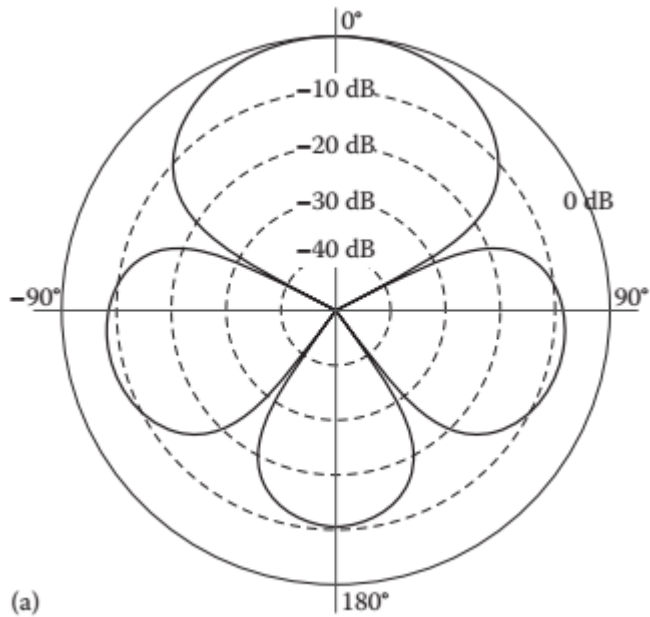
- Smerové vlastnosti akustických vysieláčov vyjadrujeme vo forme:
 - smerovej funkcie / smerovej charakteristiky
 - činiteľa / indexu smerovosti
 - vysielacieho uhla.
- Smerová funkcia/charakteristika $\eta(\alpha)$
 - Vyjadruje závislosť akustického tlaku pred vysieláčom od smeru vysielania akustického vysieláča, ktorý vyjadrujeme obyčajne uhlom, ktorý zvierá os vysieláča so spojnicou stredu vysieláča a definovaného bodu priestoru.
 - V prípade teoretických vysieláčov je možné ju vyjadriť aj vo forme analytickej funkcie, napr. $\eta(\alpha)=\cos(\alpha)$ v prípade akustického dipólu.
 - Najčastejšie sa zobrazuje vo forme smerovej charakteristiky (lineárnej, polárnej, trojrozmiernej „balónovej“)
- Činiteľ resp. index smerovosti
 -
- Smerový uhol
 - ...

Smerová funkcia a smerový diagram



- For a sending transducer, the directivity function $F(\theta, \varphi)$ is the relationship between the sound pressure in the far-field at angles (θ, φ) compared to the sound pressure in a reference direction, usually $(\theta, \varphi) = 0, 0$ for the same distance to the acoustic center of the transducer.
- The directivity function (θ, φ) for a receiver is the relationship between the receiver's electric output voltage in the far-field at angles (θ, φ) compared to the output for incoming sound at a reference direction, usually $(\theta, \varphi) = 0, 0$, and for the same distance to its acoustic center.

Three graphical representations of the directivity characteristics of the same transducer



(a) shows a traditional polar plot, (b) an alternative “linear” plot, and (c) a “directivity balloon”.

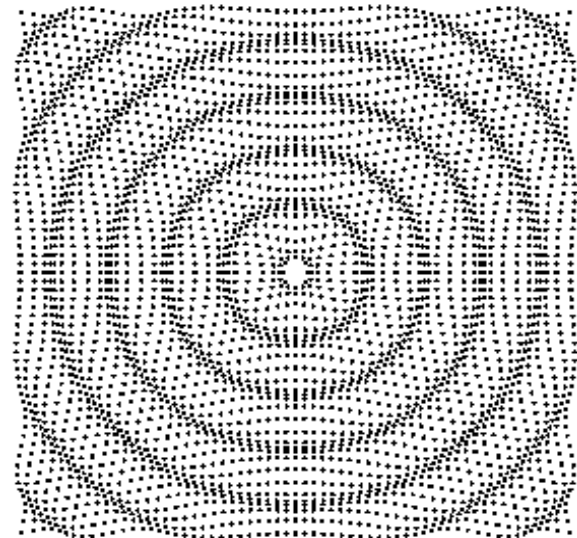
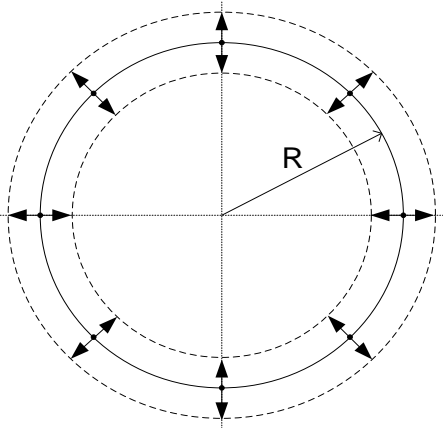
Directivity index and directivity factor

- **Directivity factor [Q(f)].** The directivity factor is the ratio of the intensity [6] on a designated axis of a sound radiator at a stated distance r to the intensity that would be produced at the same position by a point source if it were radiating the same total acoustic power as the radiator. Free space is assumed for the measurements. Usually, the designated axis is taken as the axis of maximum radiation, in which case $Q(f)$ always exceeds unity. In some cases, the directivity factor is desired for other axes where $Q(f)$ may assume any value equal to or greater than zero.
- **Directivity index [DI(f)].** The directivity index is 10 times the logarithm to the base 10 of the directivity factor:

$$DI(f) = 10 \cdot \log_{10} Q(f)$$

Akustický vysielateľ nultého rádu – pulzujúca guľa

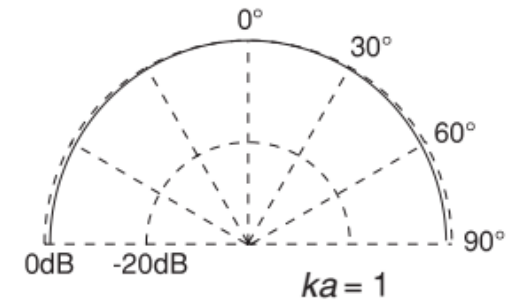
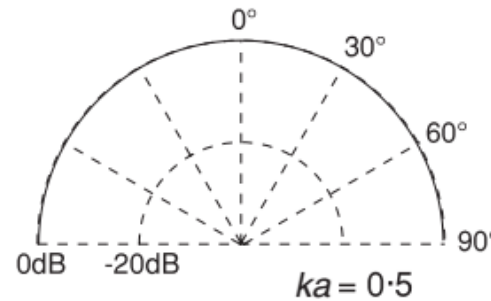
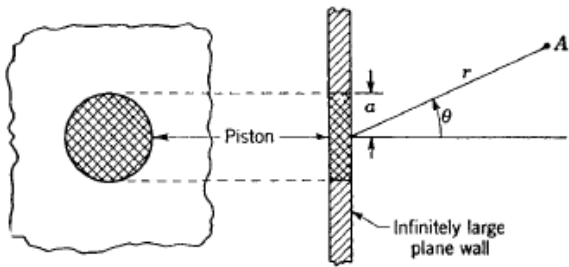
- Je základným typom akustického vysielateľa.
- Predstavujeme si ho ako guľu, ktorej povrch je v kontakte s prostredím a kmitá vo všetkých bodoch rovnakou radiálnou rýchlosťou (amplitúda aj fáza).
- Pulzujúca guľa má kludový polomer R , jej stred leží v počiatku súradnicovej sústavy ($r=0$) a výchylka kmitajúceho povrchu je nepatrná v porovnaní s polomerom R .
- Vysielateľ nultého rádu je zdrojom guľovej zvukovej vlny.



Piest v nekonečnej stene

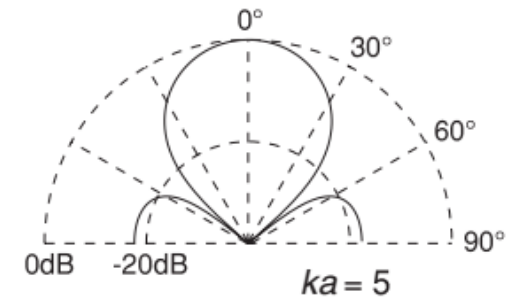
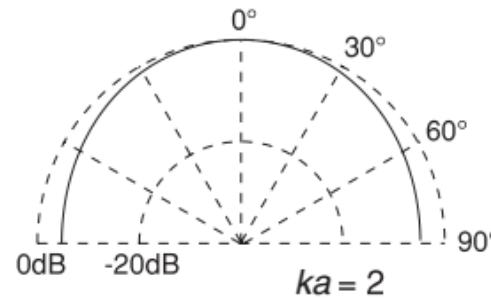
- Je základným teoretickým modelom jedného z najčastejšie sa vyskytujúcich reálnych akustických vysielačov – membrány.
- Úlohou „nekonečnej“ steny v tomto teoretickom modeli je oddeliť akustické priestory pred a za membránou, aby vplyvom ohybu vlny nedochádzalo k ich vzájomnému ovplyvňovaniu.
- Predpokladáme, že piest je dokonale tuhý (nevykazuje vlastné vibrácie), má nulovú hmotnosť a kmitá voľne a bez strát trením.
- Matematický model v nekonečnej stene potom vychádza z predpokladu, že piest sa skladá z nekonečného počtu bodových vysielačov, kmitajúcich súfazovo a akustický tlak v ľubovoľnom bode akustického priestoru dostaneme sčítaním príspevkov od všetkých elementárnych bodových vysielačov (čo je implementované integrovaním po celej ploche piesta)

Smerové charakteristiky bodového vysielača a piesta v nekonečnej stene

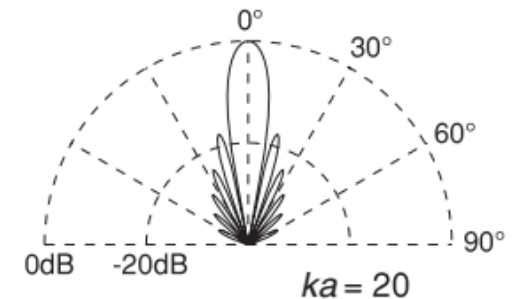
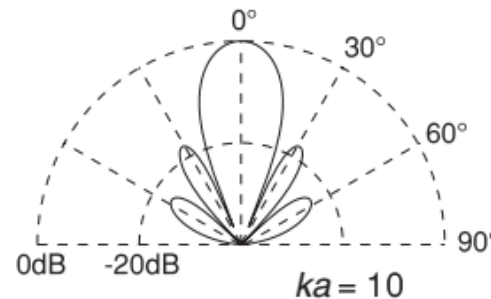


Smerová charakteristika bodového vysielača je guľová

Smer vysielenia piesta v nekonečnej stene závisí od frekvencie (vlnovej dĺžky) a rozmerov piesta, čo je charakterizované súčinom ka



Pri $ka < 1$ (rozmary porovnateľné alebo menšie, než vlnová dĺžka) je piest takmer všesmerovým vysielačom



So zvyšujúcim sa súčinom ka sa smerovosť piesta zvyšuje

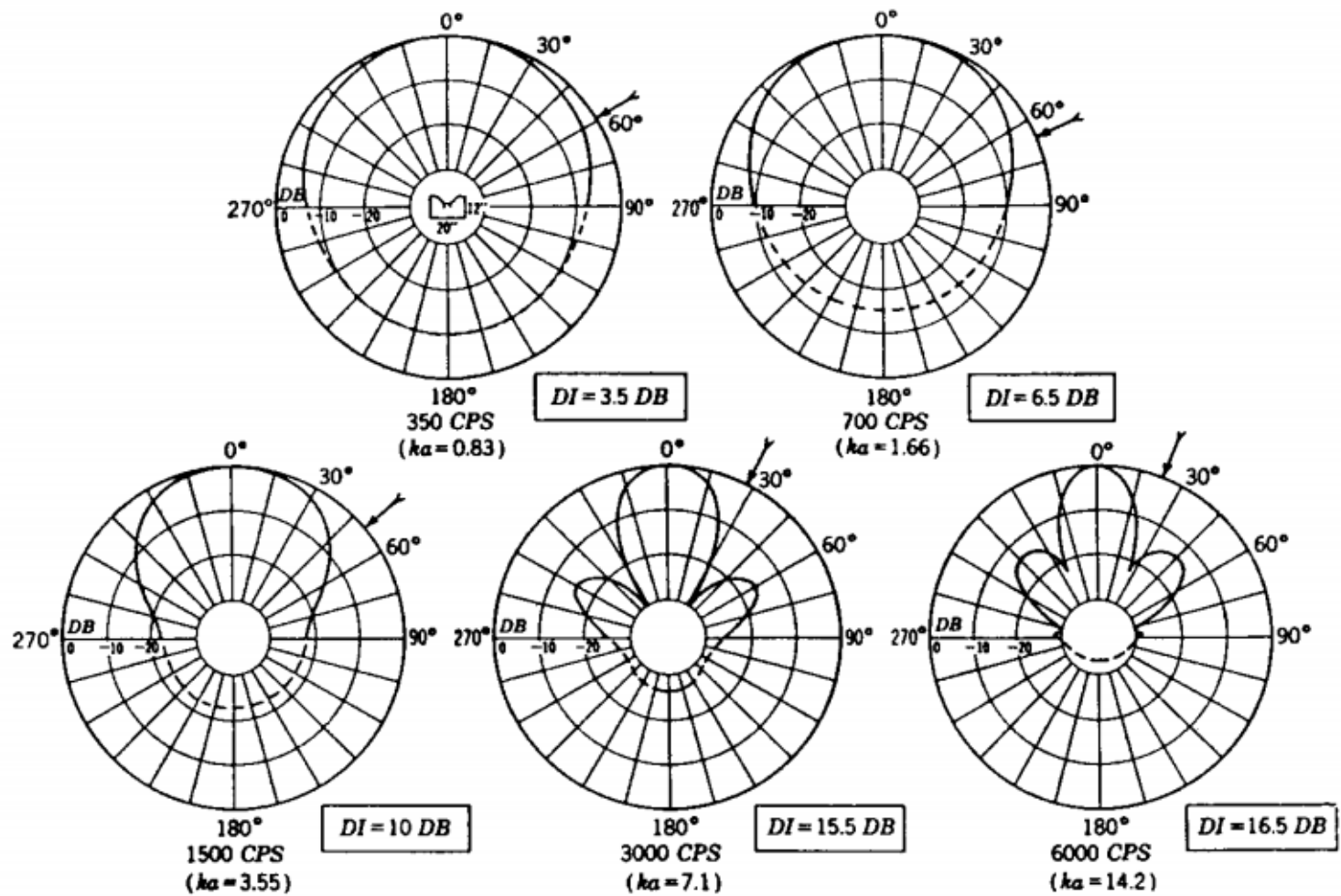
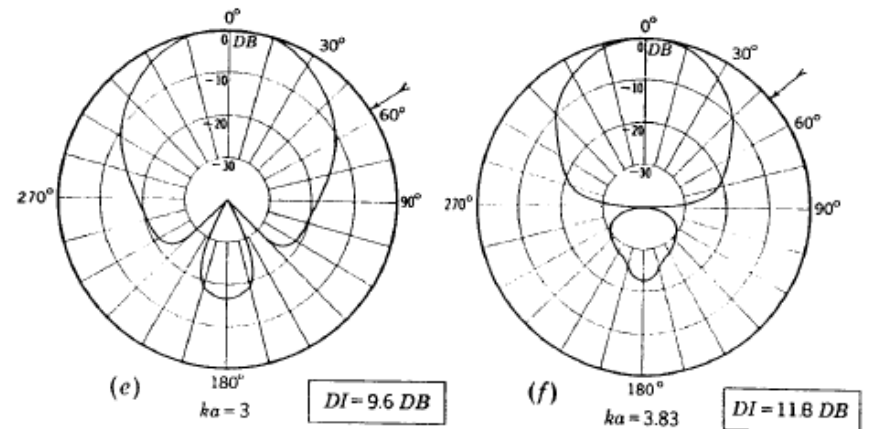
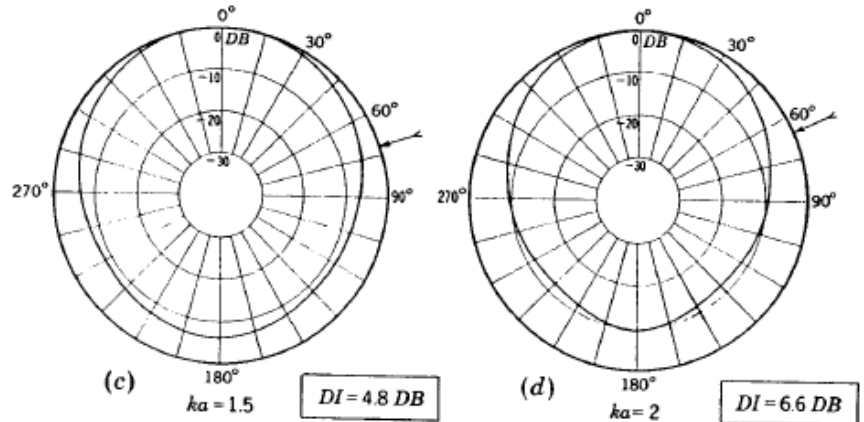
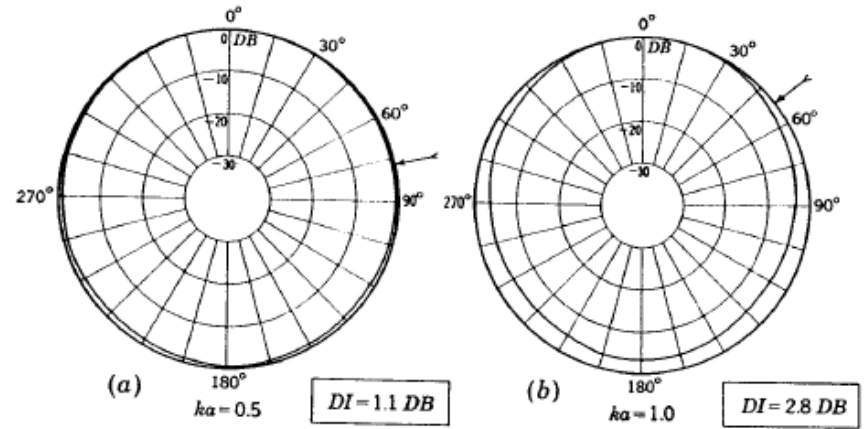
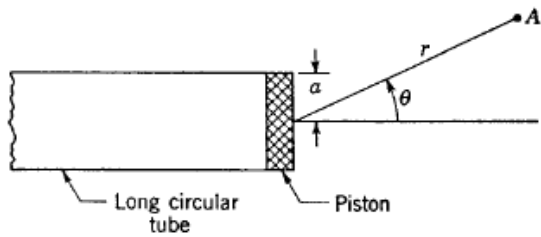


FIG. 4.23. Measured directivity patterns for a typical 12-in. direct-radiator loudspeaker in a 27- by 20- by 12-in. rectangular box. The squares give the directivity index at $\theta = 0^\circ$. One angle of zero directivity index is also indicated.

- smerové vlastnosti piesta na konci akustickej trubice



- smerové charakteristiky voľne kmitajúceho piesta

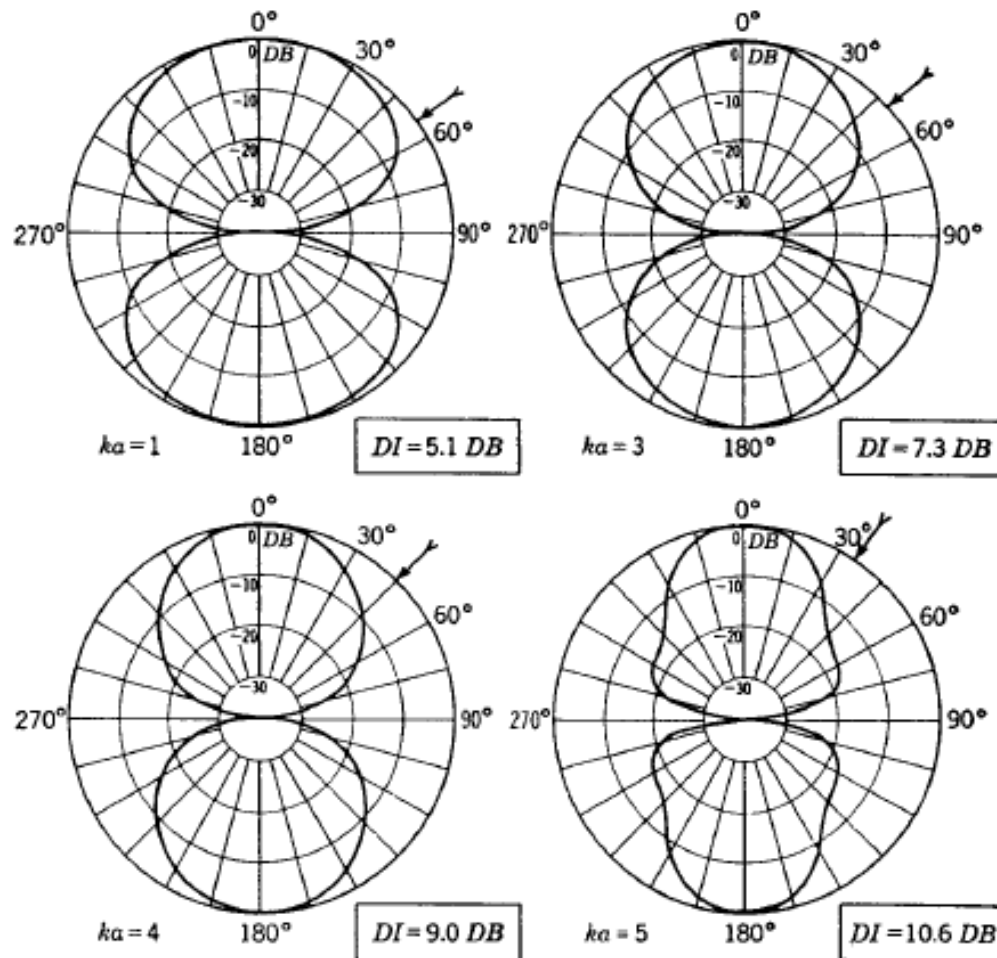
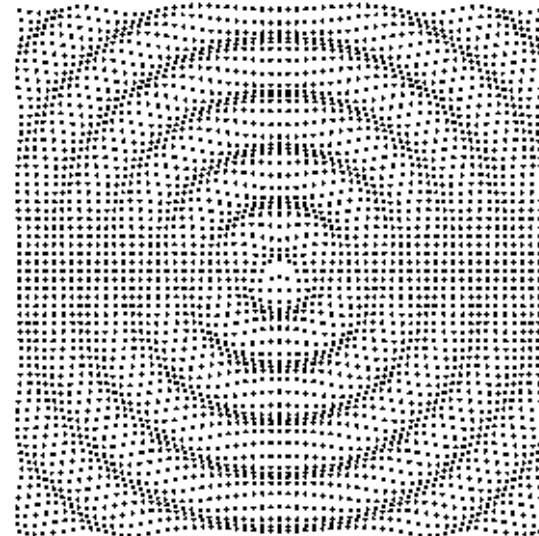
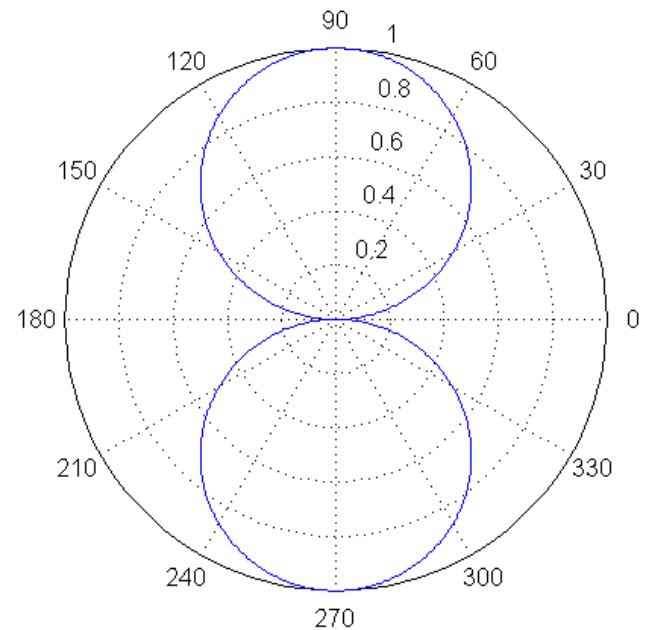
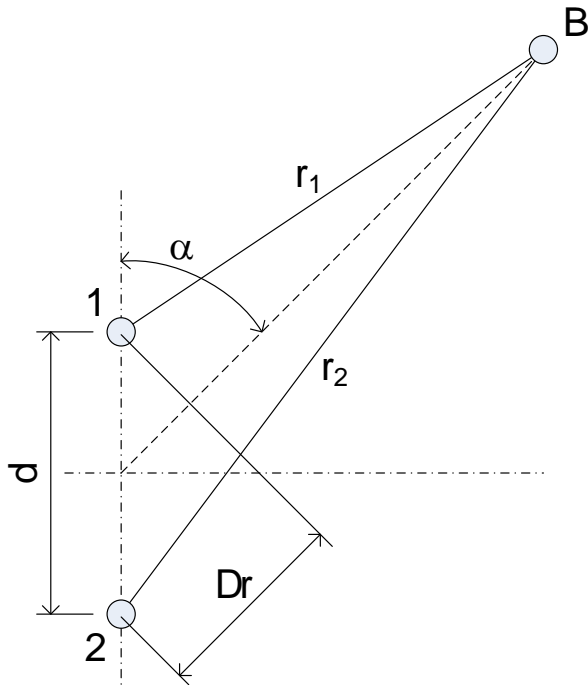


FIG. 4.13. Directivity patterns for an unbaffled rigid circular piston of radius a located in free space at an angle θ a large distance r from the point of measurement A . For $ka < 1$, the directivity pattern is the same as that for the doublet. The boxes give the directivity index at $\theta = 0^\circ$. One angle of zero directivity index is also indicated by the arrow.

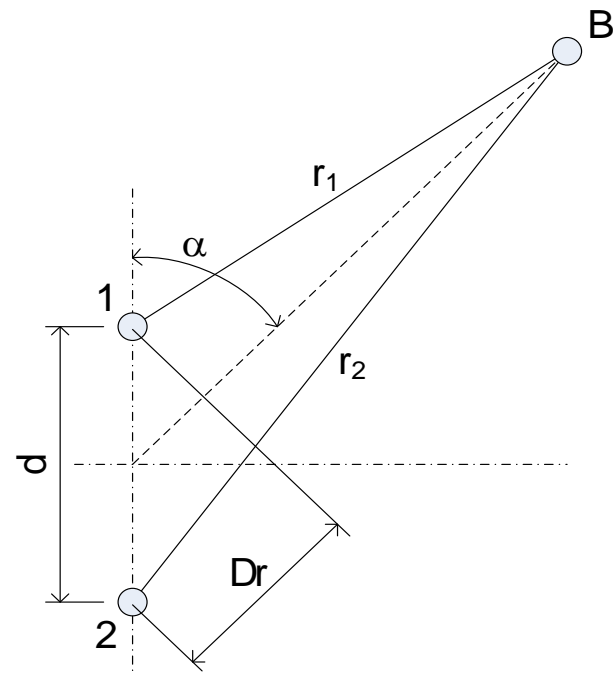
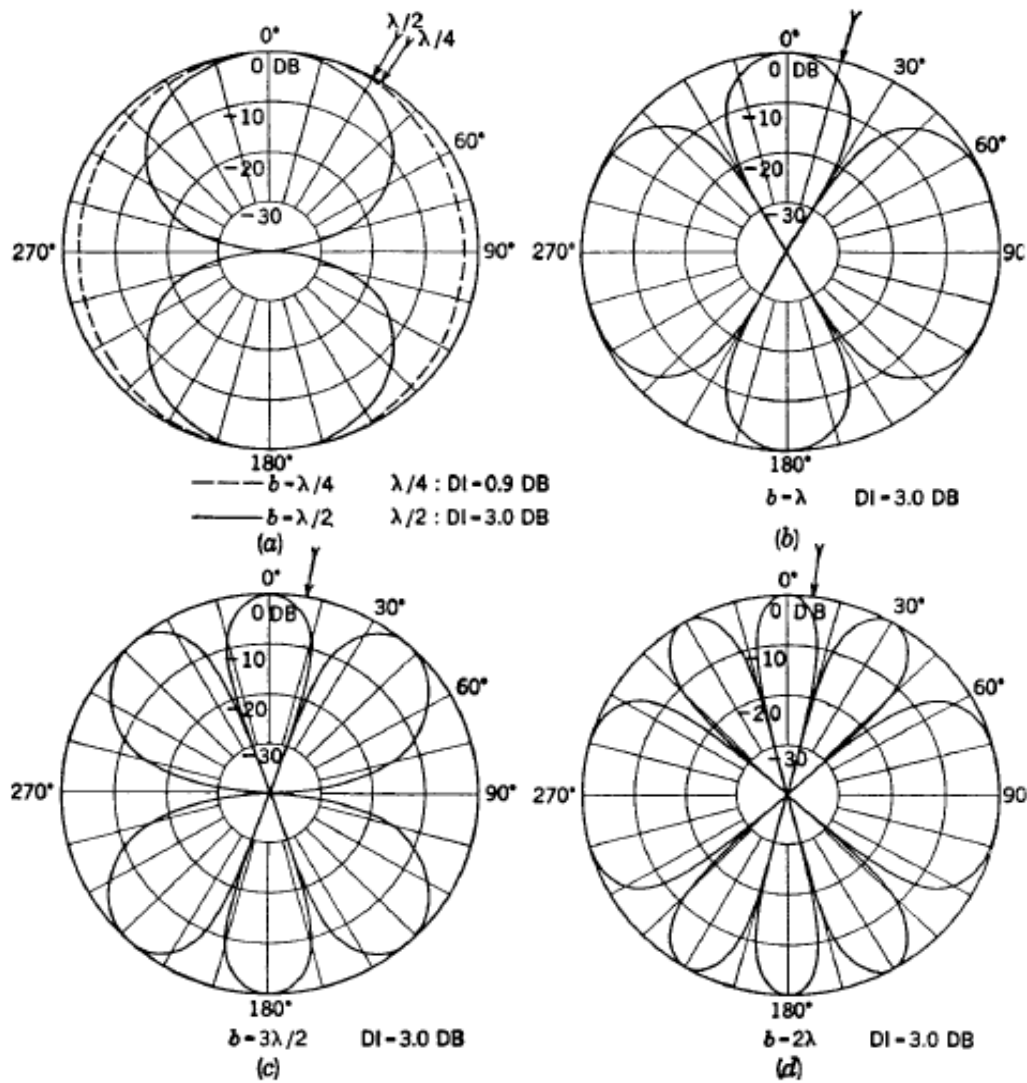
Akustický vysílač prvního řádu – akustický dipól

- dva bodové zdroje, vysílající v protifáze



$$\eta_1 = \frac{p(\alpha)}{p(0)} = \frac{{}_1\Phi(\alpha)}{{}_1\Phi(0)} = \cos \alpha$$

Dva bodové zdroje vysielaajúce vo fáze



- rad bodových zdrojov, vysielaucich vo fáze

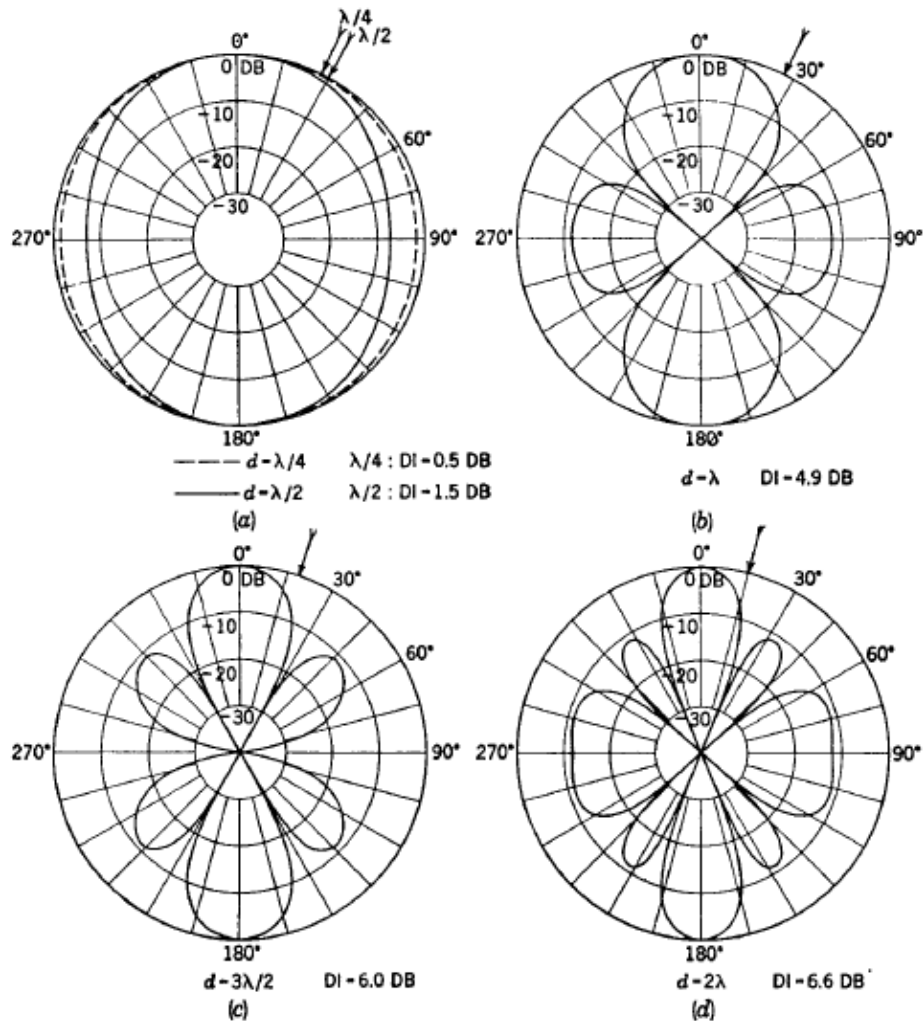
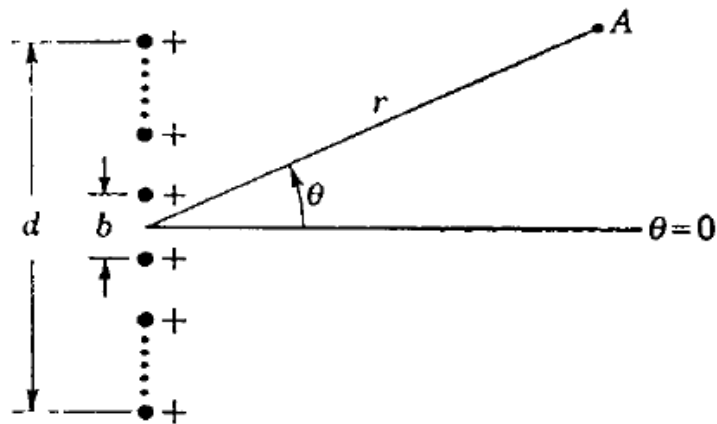


FIG. 4.5. Directivity patterns for a linear array of four simple in-phase sources evenly spaced over a length d . The boxes give the directivity index at $\theta = 0^\circ$. One angle of zero directivity index is also indicated by the arrow.

- Parabolický megafón

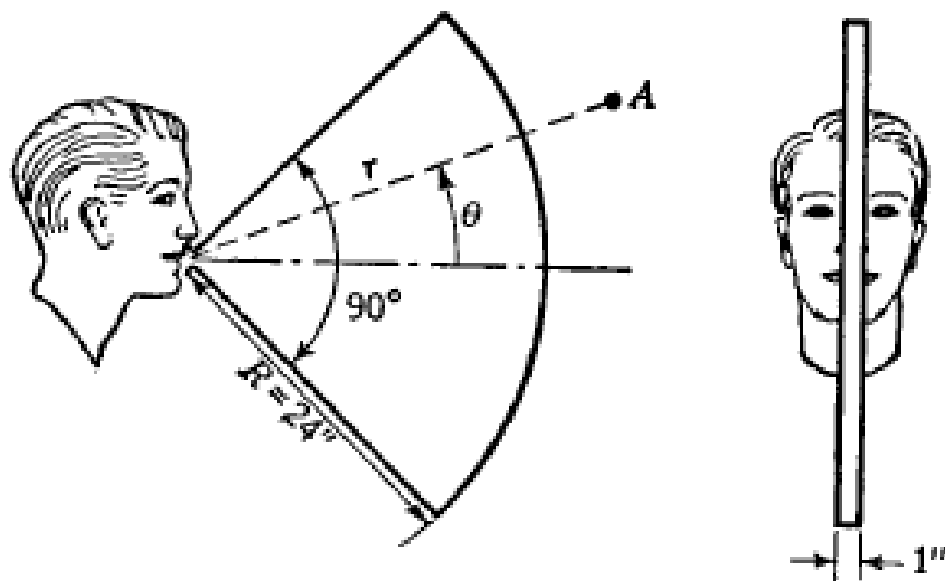


FIG. 4.14. Parabolic megaphone suitable for use by a cheerleader in a football stadium.

Smerové charakteristiky parabolického megafónu

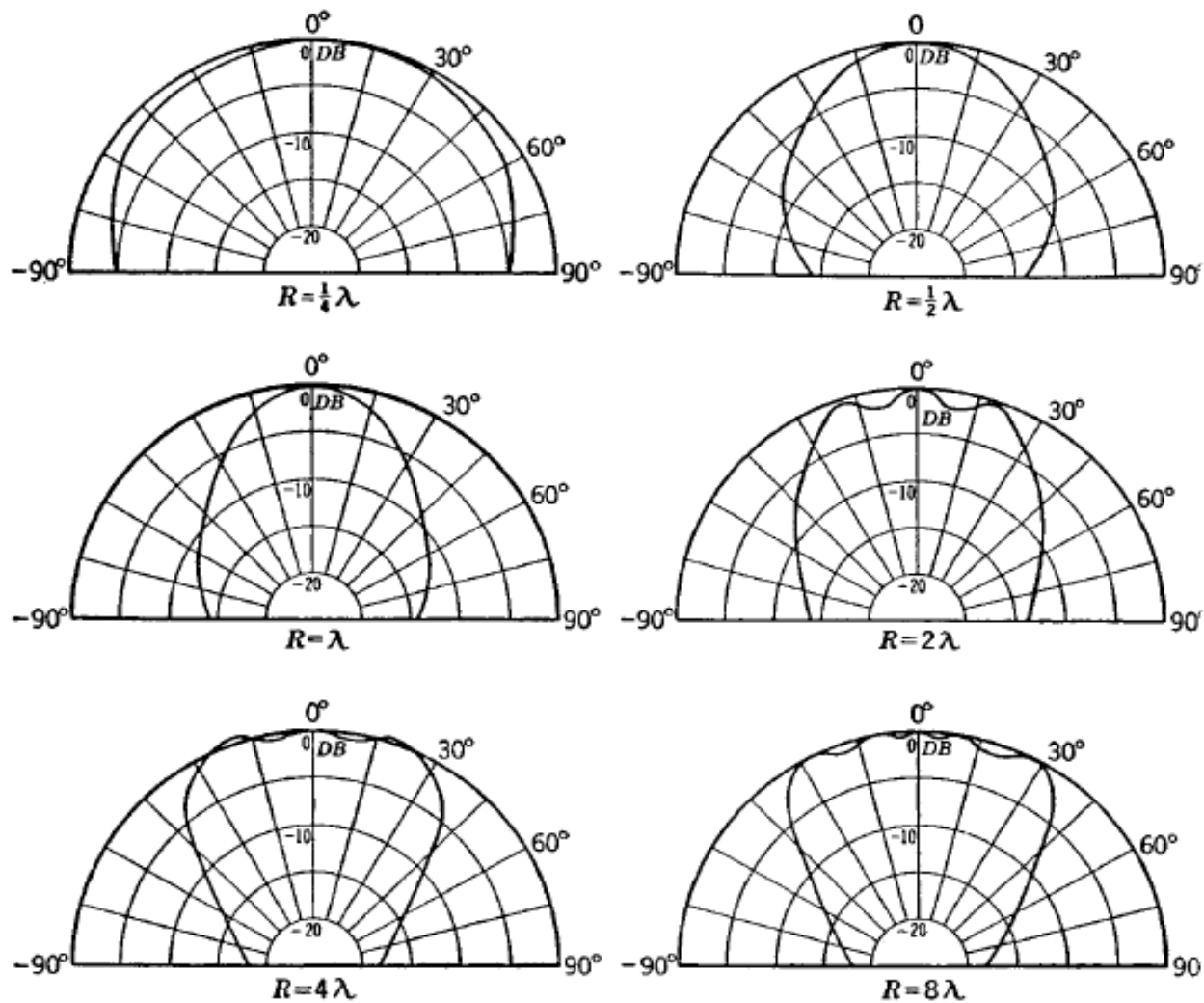
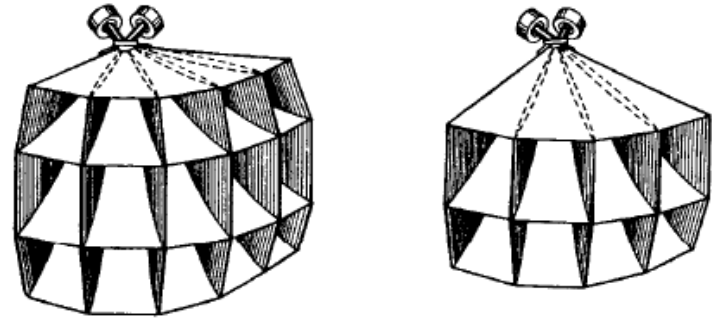


FIG. 4.15. Directivity patterns for the parabolic megaphone of Fig. 4.14 in the plane containing the arc of the opening.



(a)

(b)

FIG. 4.16. Multicellular horns with curved radiating fronts. (a) $3 \times 5 = 15$ cells
(b) $2 \times 4 = 8$ cells.

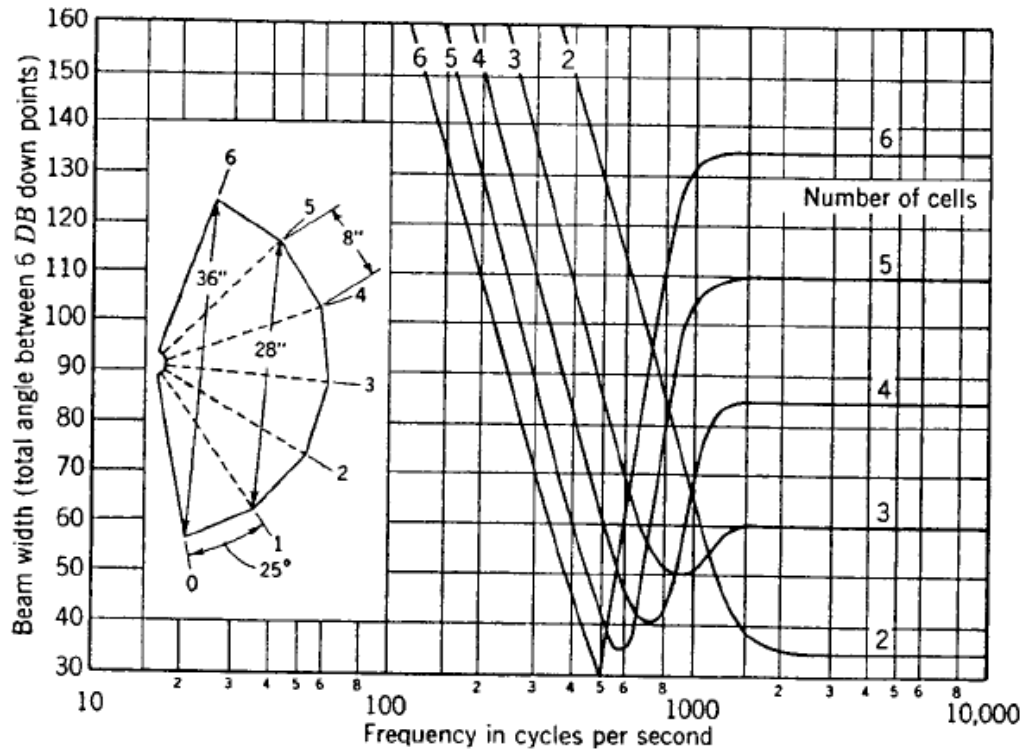
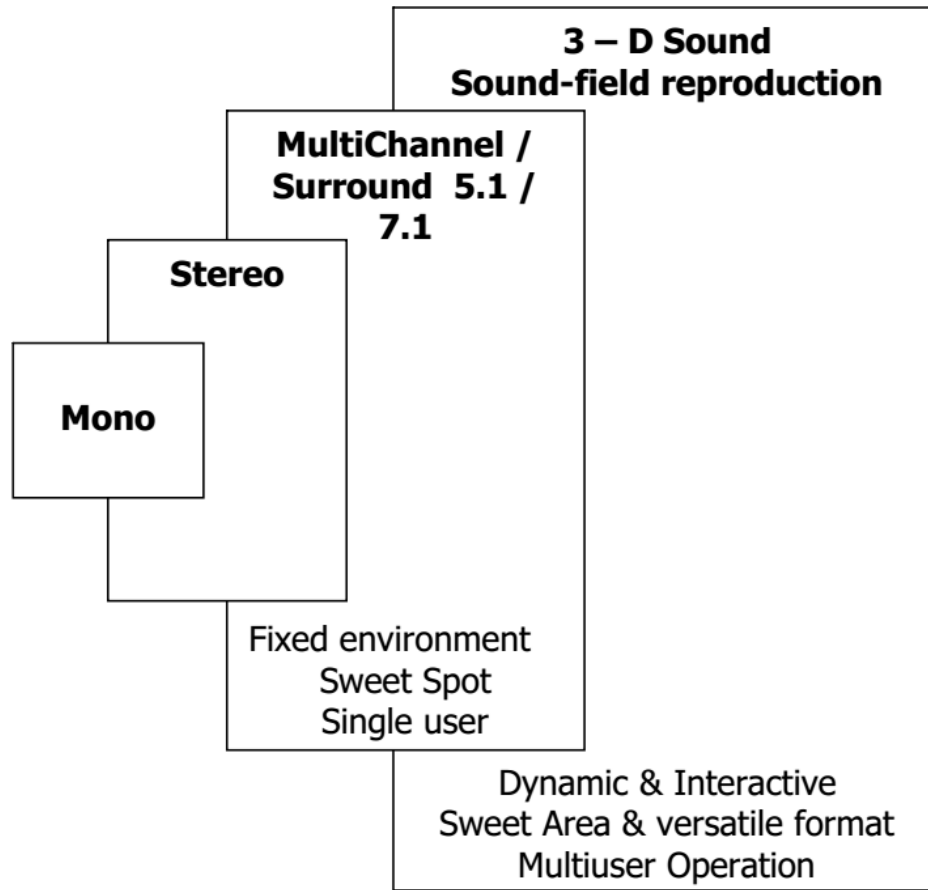
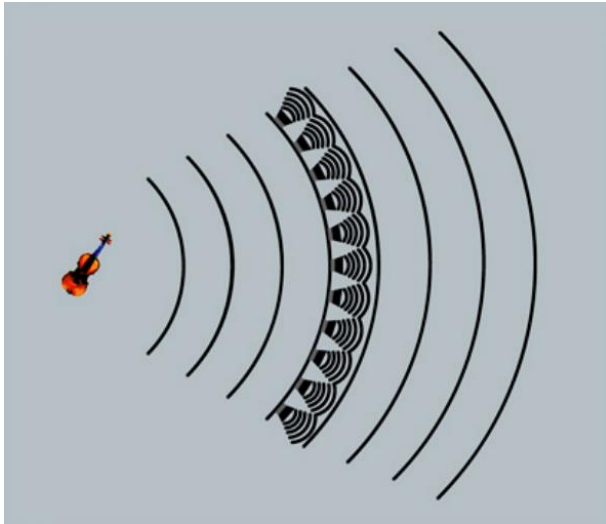


FIG. 4.17. Beam widths of multicellular horns constructed as shown in the insert and as sketched in Fig. 4.16.

Technical Evolution of Sound Production & Reproduction

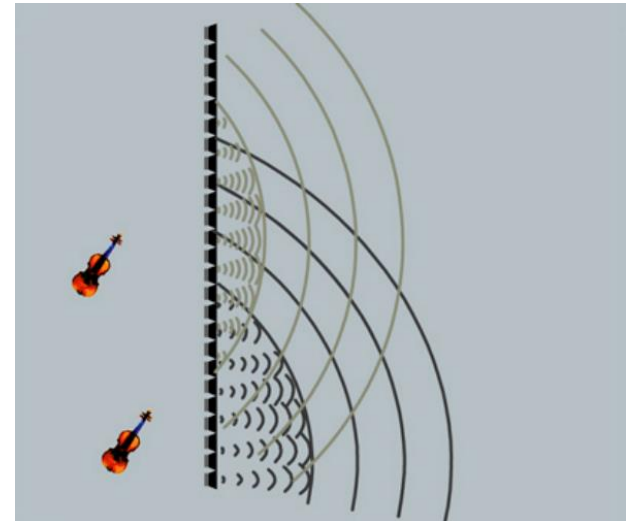


Wave Field Synthesis (WFS) - Concept

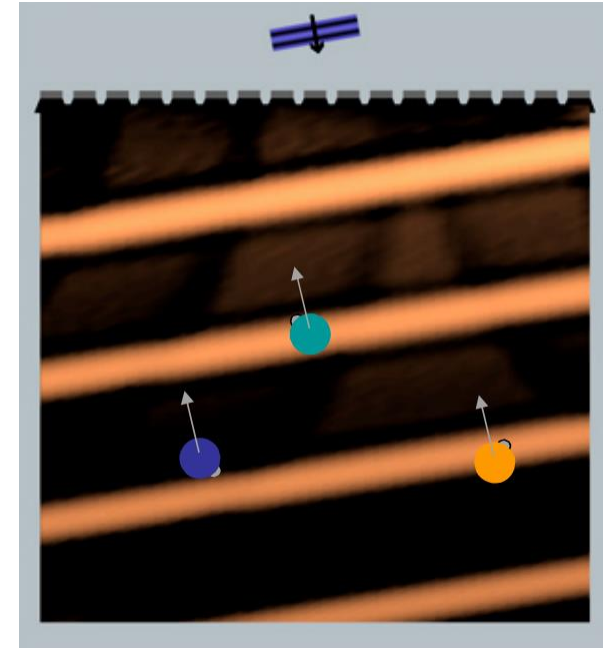
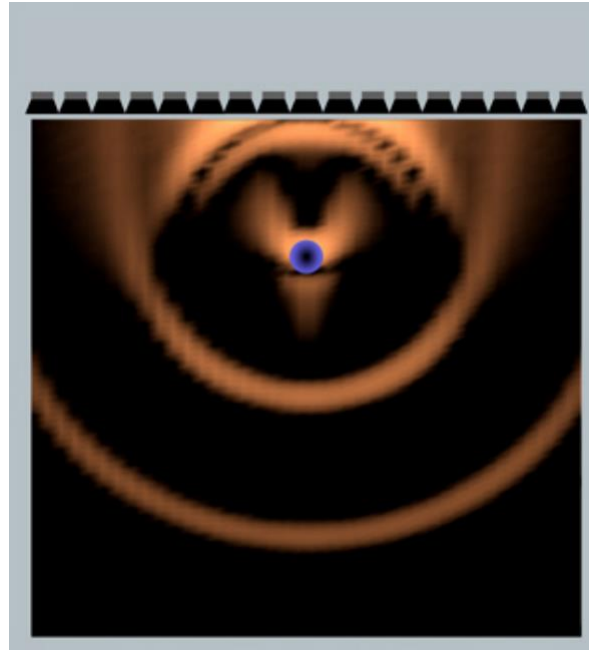
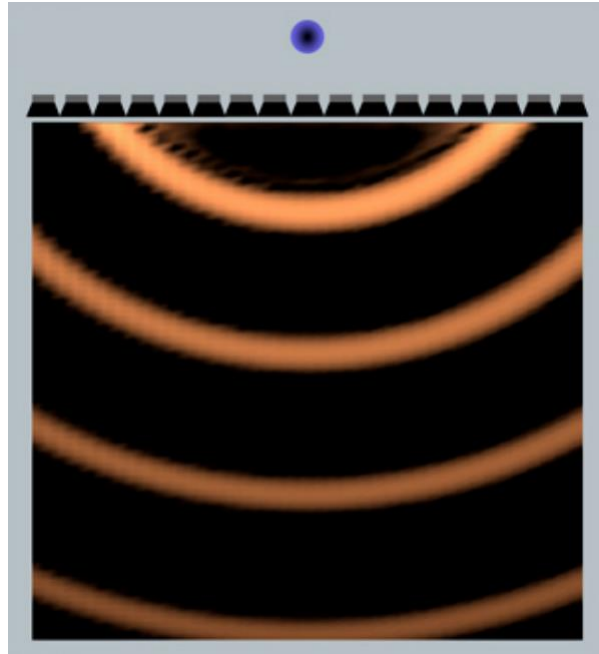


Huygens' principle: wave fronts emitted by the primary source (violin) behave as an ensemble of secondary sources located along the wave front.

- Distribution of secondary sources located on the boundary between the source domain and the receiver domain.
- DSP control (delay, gain, filter) applied to the transducer array in order to shape the wave field according to the primary source location.



WFS reproduction, typical sources



Otázky

1. Jednou vetou definujte, čo je akustický vysielateľ.
2. Smerová charakteristika akustického dipólu má tvar:
 - a) guľový
 - b) osmičkový
 - c) štvorlístkový
3. akustický dipól tvoria
 - a) dva bodové zdroje, vysielajúce vo fáze
 - b) dva bodové zdroje, vysielajúce v protifáze

