

第7章 声波的接收和散射的影响

7.1 声波的接收原理

7.2 刚性圆球的散射

*7.3 刚性圆柱体的散射

*7.4 非均匀介质的散射

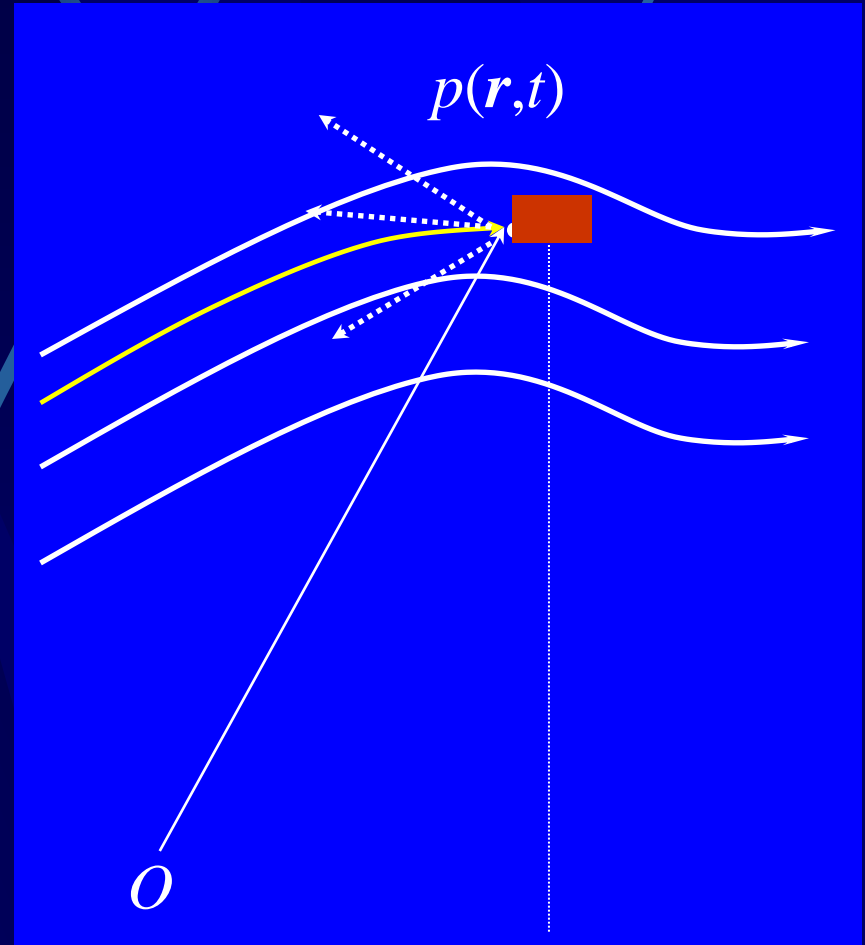
□如何测量空间一点 r 的声压?

——在 r 放置测量传声器。

问题：传声器的放置对原来的声场影响如何？

——由于放入了传声器， r 点的声是入射声+散射声。如果散射声足够小，可忽略不计，那么测量得到的声压近似等于原来的声压。

——传声器的散射特性如何？



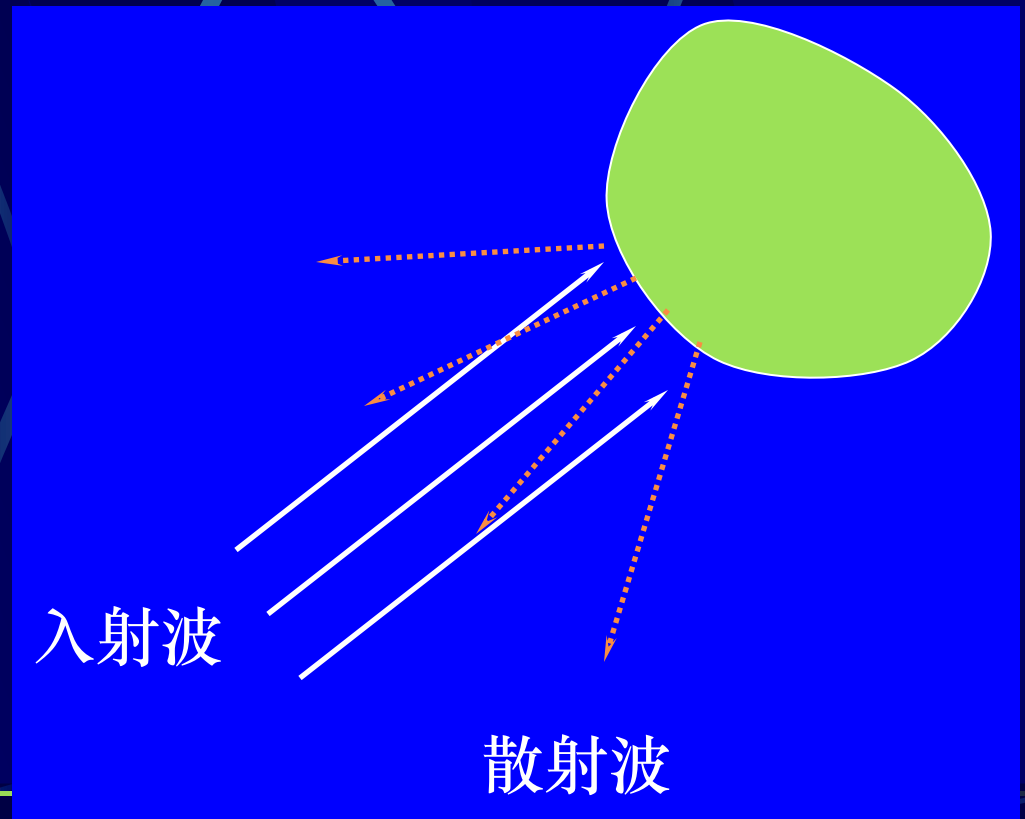
□如何探测物质分布？

波：电磁波（光波）；声波；物质波

电磁波雷达：飞机

声雷达：大气的流动、温度分布对声的传播有很大的影响！

海水中：只能传播声波，声波是唯一的探测潜艇的手段！



7.1 声波的接收原理

□ 压强式传声器

垂直入射

振膜受到的作用力

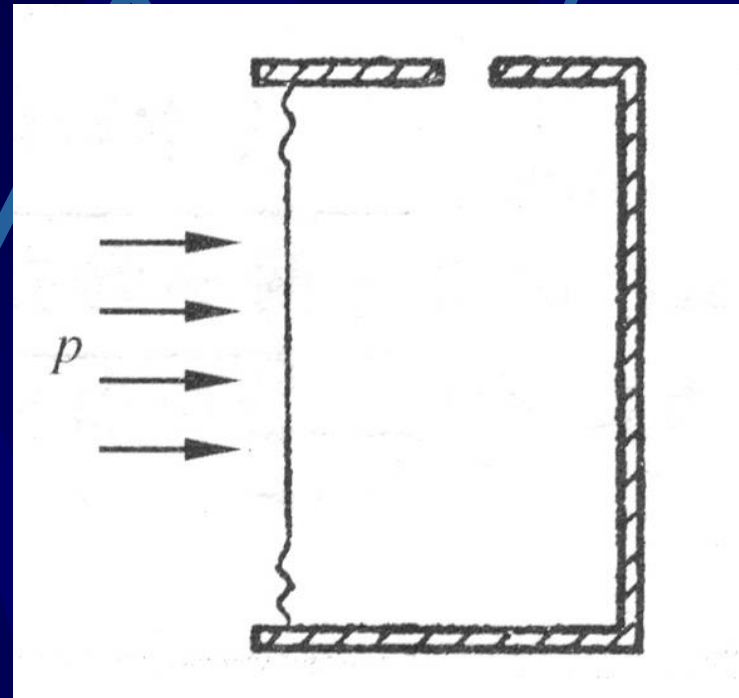
$$F = pS$$

倾斜入射

$$F = \int pdS$$

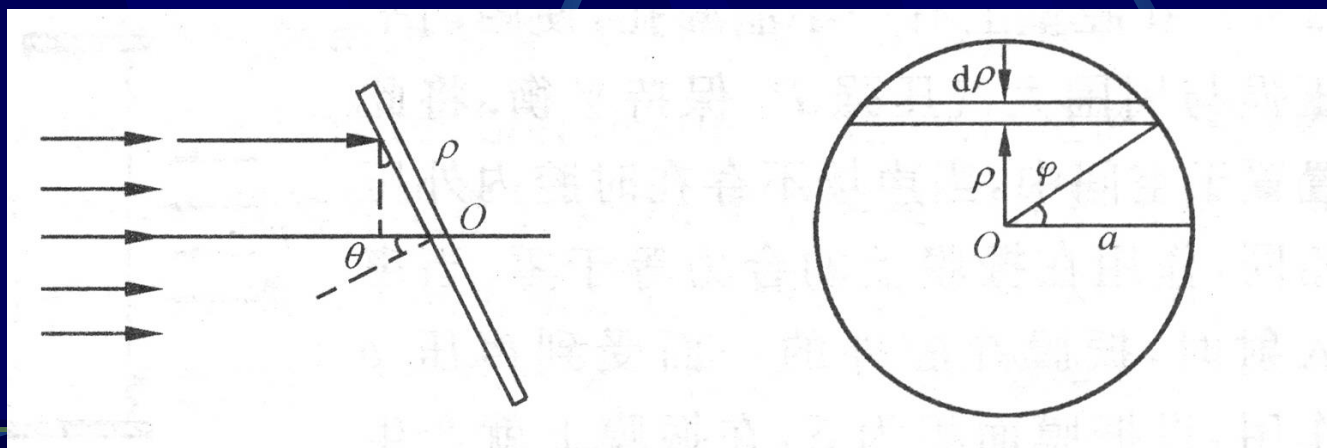
入射声波为

$$p = \frac{A}{r} \exp[i(\omega t - kr)]$$



假定声波的振幅在振膜上是均匀的（一般在远场接收——分母的不同可忽略），而振膜上各点到达声波的相位不同。距离振膜中心 ρ 的线上，声波的相位相同

$$p = \frac{A}{r} e^{i\omega t} \exp[-ik(r - \rho \sin \vartheta)]$$
$$= \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \exp(ik\rho \sin \vartheta)$$



$$F = \int p dS = \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \int \exp(ik \rho \sin \vartheta) dS$$

矩形面元

$$dS = 2\sqrt{a^2 - \rho^2} d\rho$$

$$F = \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \int_{-a}^a \exp(ik \rho \sin \vartheta \cos \psi) 2\sqrt{a^2 - \rho^2} d\rho$$

作积分变换

$$\rho = a \cos \psi \longrightarrow d\rho = -a \sin \psi d\psi$$

注意：根据几何意义，从 $0 \rightarrow 2\pi$ 积分，圆面扫过2次，故

$$\begin{aligned} F &= \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \left(\frac{1}{2} \right) a^2 \int_0^{2\pi} \exp(ika \sin \vartheta \cos \psi) 2 \sin^2 \psi d\psi \\ &= \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} a^2 \int_0^{2\pi} \exp(ika \sin \vartheta \cos \psi) (1 - \cos^2 \psi) d\psi \end{aligned}$$

利用关系

$$\cos^2 \psi = \frac{1}{2}(1 + \cos 2\psi)$$

$$J_n(x) = \frac{1}{2\pi i^n} \int_0^{2\pi} e^{ix \cos \psi} \cos n\psi d\psi$$

$$J_{n+1}(x) = \frac{2n}{x} J_n(x) - J_{n-1}(x)$$

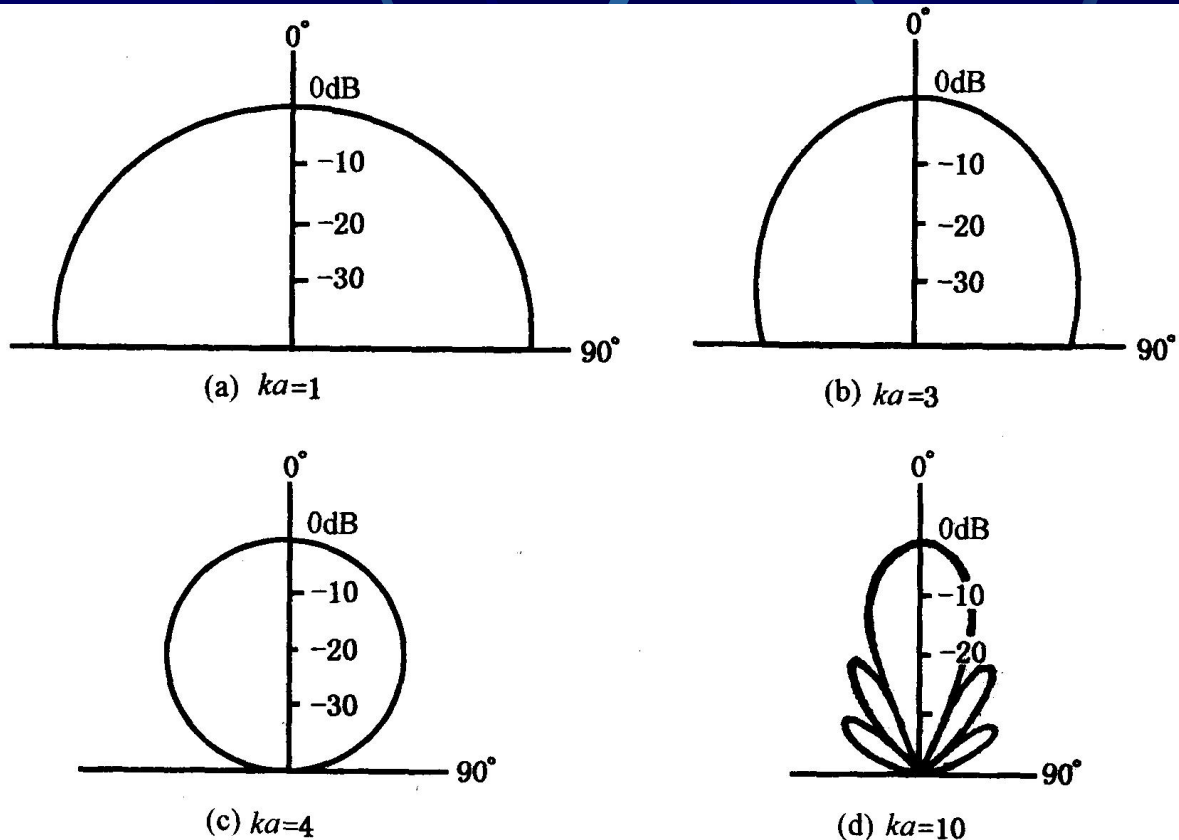
$$F = \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \left(\frac{1}{2} \right) a^2 \int_0^{2\pi} \exp(ika \sin \vartheta \cos \psi) 2 \sin^2 \psi d\psi$$

$$= \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} \pi a^2 [J_0(ka \sin \vartheta) + J_2(ka \sin \vartheta)]$$

$$= \frac{A}{r} e^{i(\omega t - kr)} S \left[\frac{2J_1(ka \sin \vartheta)}{ka \sin \vartheta} \right]$$

$$F = S e^{i(\omega t - kr)} \left[\frac{2J_1(ka \sin \vartheta)}{ka \sin \vartheta} \right] p$$

——传声器受力与声波的入射方向有关！——传声器的指向性！



低频

$$ka = \frac{2\pi a}{\lambda} \ll 1$$

$$\frac{2J_1(ka \sin \vartheta)}{ka \sin \vartheta} \approx 1$$

$$F \approx \frac{AS}{r} e^{i(\omega t - kr)}$$

——无指向性, 测量值等于入射声压值!

例: 振膜 $a=0.02\text{m}$

低频条件对应的频率

$$ka = \frac{2\pi fa}{c_0} \ll 1$$

$$f = \frac{c_0}{2\pi a} = 2700\text{Hz}$$

——测量声场时, 传声器要求对向声源!

□ 压差式传声器

垂直入射

振膜受到的作用力

$$F \approx (p_1 - p_2)S$$

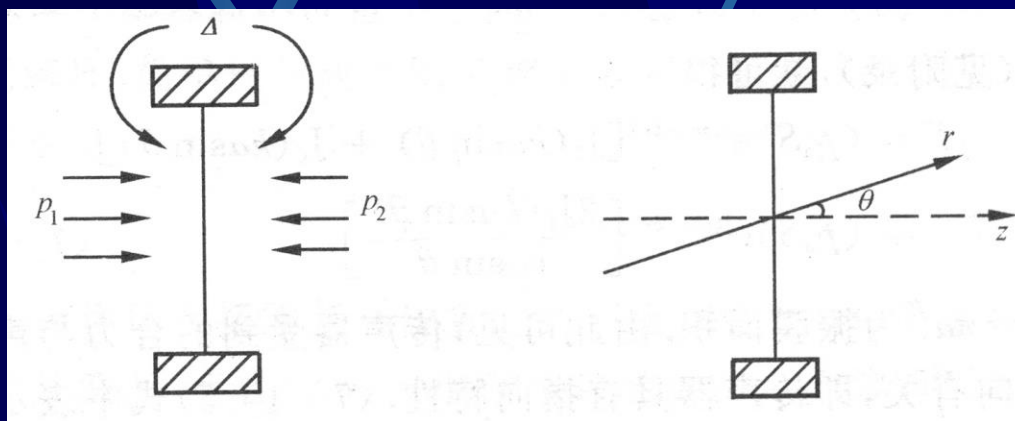
倾斜入射

入射声波为

$$p = \frac{A}{r} \exp[i(\omega t - kr)]$$

$$\begin{aligned} F &\approx -S \frac{\partial p}{\partial r} \Delta \cos \vartheta = S \frac{A(1 + ikr)}{r^2} \Delta \cos \vartheta \exp[i(\omega t - kr)] \\ &= S \frac{(1 + ikr)}{r} p \Delta \cos \vartheta \end{aligned}$$

——即使在低频，也有指向性！



□ 近场 $kr \ll 1$

$$(F)_N \equiv S \frac{1}{r_N} (p)_N \Delta \cos \vartheta$$

□ 远场 $kr \gg 1$

$$(F)_F = iSk(p)_F \Delta \cos \vartheta$$

比值

$$\frac{|(F)_N|}{|(F)_F|} \equiv \frac{c_0}{r_N \omega} \frac{|(p)_N|}{|(p)_F|} \gg 1$$

即使

$$|(p)_N| = |(p)_F| \rightarrow \frac{|(F)_N|}{|(F)_F|} \equiv \frac{c_0}{r_N \omega} \gg 1$$

例： $f=1000\text{Hz}$, $r_N=0.01\text{m}$

$| (F)_N | \approx 5.4 | (F)_F |$ —— 近场灵敏度更高!

□压差式传声器的特点

- 1、高、低频都有同样的指向性！ 2、近场有较高的灵敏度！
——较强的抗噪声能力！

□压差式与压强式传声器的比较

$$\frac{|(F)_{\text{压差}}|}{|(F)_{\text{压强}}|} = \frac{Sk\Delta \cos \vartheta}{S} = \frac{2\pi f}{c_0} \Delta \cos \vartheta \ll 1$$

例： $\vartheta=0$ ， $f=1000\text{Hz}$ ， $\Delta=2\times 10^{-2}\text{m}$

$$\frac{|(F)_{\text{压差}}|}{|(F)_{\text{压强}}|} = \frac{2\pi f}{c_0} \Delta \cos \vartheta \approx 0.37$$

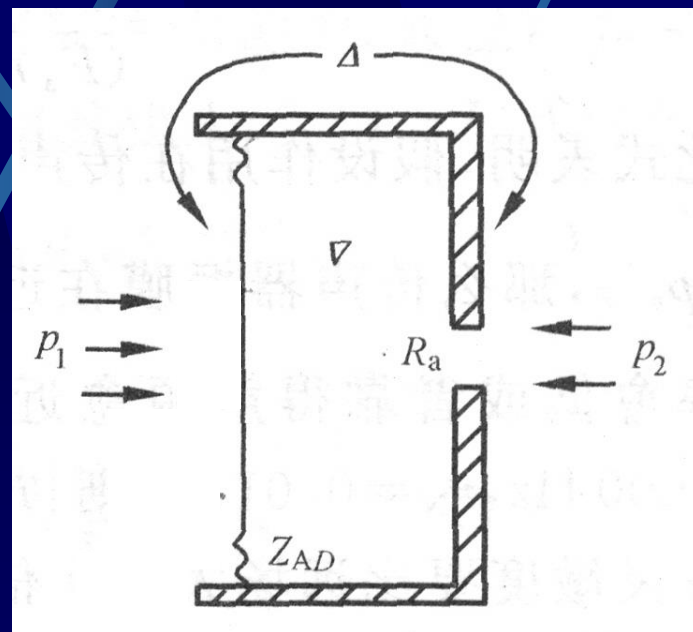
——压差式传声器灵敏度低于压强式传声器！

□ 压强-压差式复合传声器

■ 振膜上的作用力

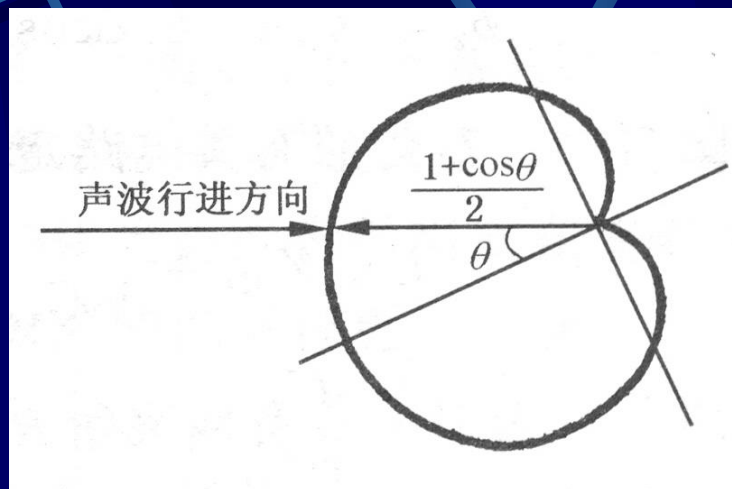
$$F = GS(1 + B \cos \vartheta) p$$

—— G, B 与传声器声学元件参数有关，适当选择参数，可使



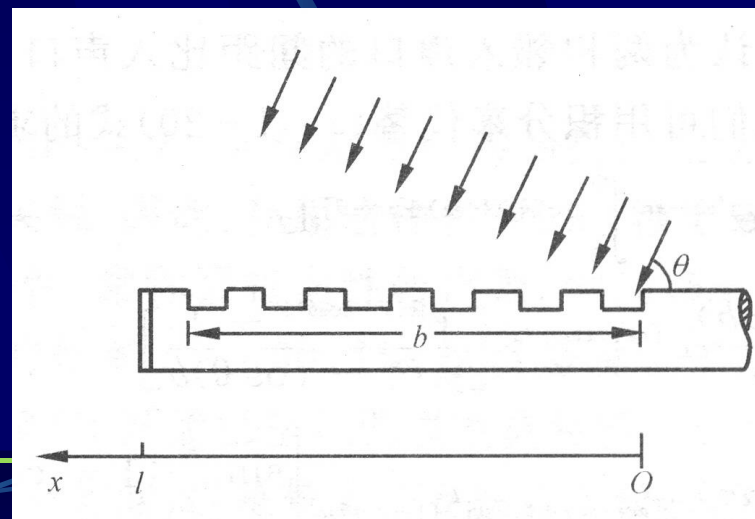
$$F = GS \begin{cases} p, & B = 0, & \text{—压强型} \\ p(1 + \cos \vartheta), & B = 1, & \text{—压强-压差复合型} \\ p \cos \vartheta & B \gg 1, & \text{压差型} \end{cases}$$

■ 压强-压差式复合传声器的指向性



——**心形指向性**——只对正前方半球范围内的入射声发生响应——**单向传声器**——舞台演出使用!

□ 多声道干涉传感器



■振膜上的作用力

$$F = ab e^{-ikl} e^{ikb(1-\cos\vartheta)/2} D(\vartheta)$$

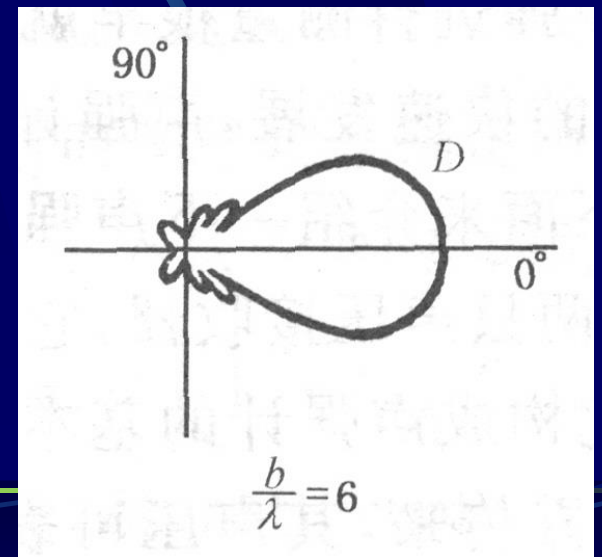
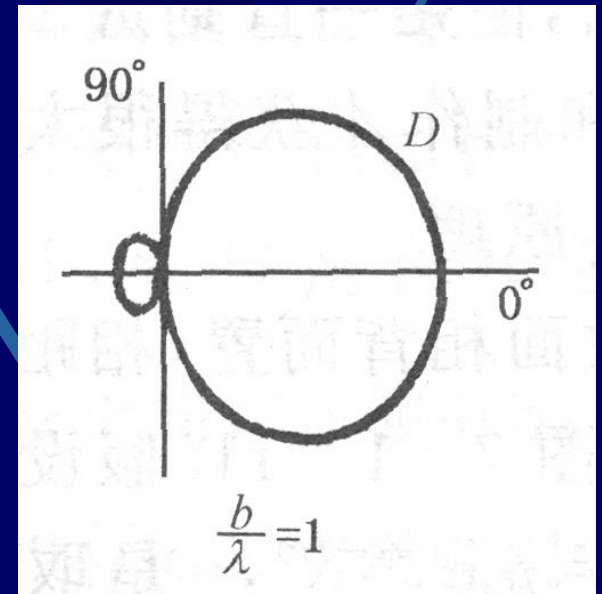
■传声器的指向性

$$|D(\vartheta)| = \left| \frac{\sin \frac{\pi b}{\lambda} (1 - \cos \vartheta)}{\frac{\pi b}{\lambda} (1 - \cos \vartheta)} \right|$$

——与长度 b 与波长的比值有关

■低频： $|D(\vartheta)| \approx 1$

■高频：有很强的指向性！



例： $b=0.34\text{m}$, $\lambda=b=0.34\text{m}$  $f=1000\text{Hz}$

——1000Hz以上开始已有很好的指向性！ ——强指向性——强的抗噪声能力！ ——噪声环境中提取远距离声信号！ ——电视广播现场录音！

□ 声强计原理

声压：标量——测量空间一点的声压，无法知道声波的来源和去向！

声强：矢量——声能流的方向——能够有效提供噪声源的重要信息！

■ **声强的测量**：必须测量空间一点的声强以及某待测方向的速度分量！

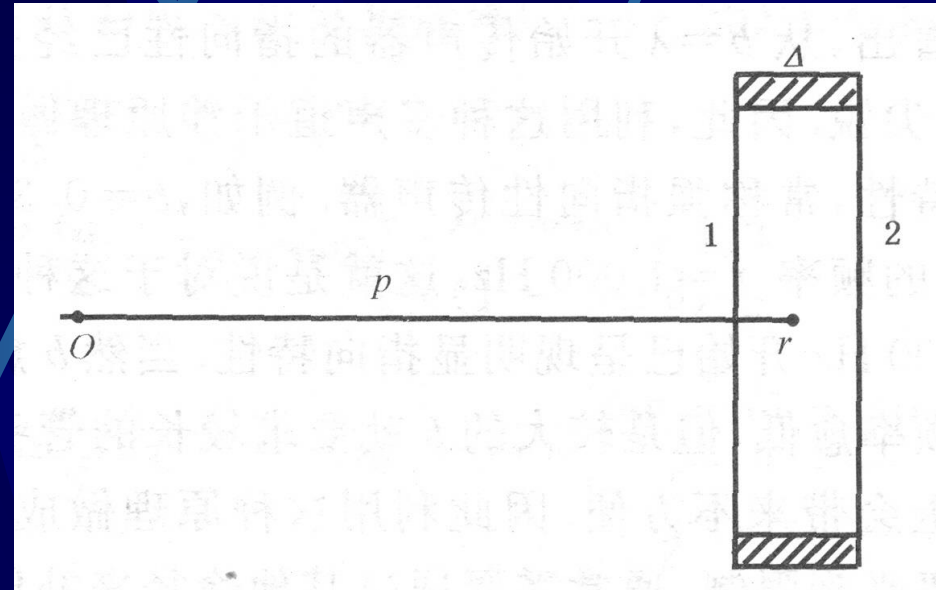
■ **声强计的结构**

设入射声压为

$$p = p_0 \exp[i(\omega t - kr)]$$

面1和面2接收到的声压为 p_1 和 p_2 ，那么 r 点的压强和 r 方向的梯度近似为

$$p \approx \frac{1}{2}(p_1 + p_2); \quad \frac{\partial p}{\partial r} \approx \frac{1}{\Delta}(p_1 - p_2)$$



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/088133115030006030>