

大学物理 B(1)

期末考试

6月14日（周三） 9:00 ~ 11:00

Outer ear

bones

nerves

Inner ear

membrane

每 3.5mm 可探测频率减半，35mm 范围是 $2^{10} \sim 1000$ ，底部是 20kHz，最上部为 20Hz。

音调和音质

音调和频率相关



音律

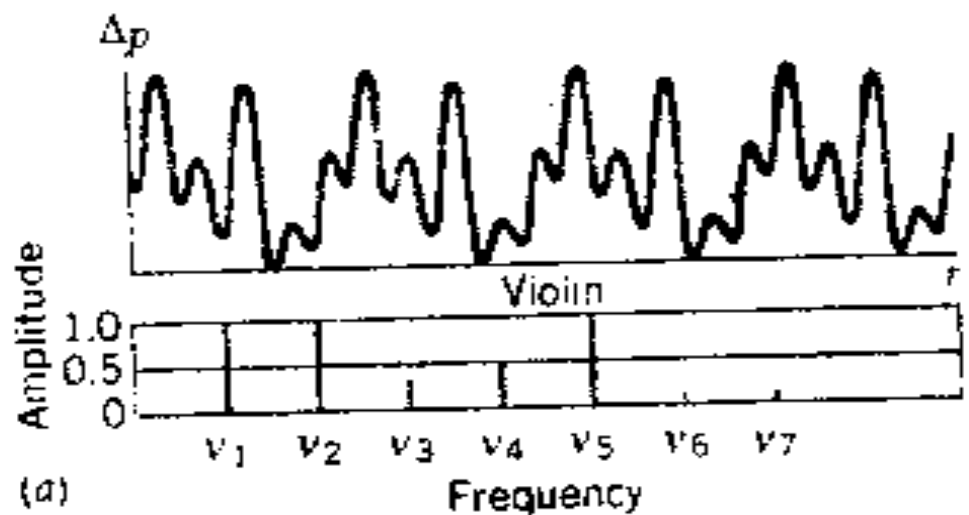
C_4 大调 $\nu=256\text{Hz}$, C_5 为 2ν , 大八度音之间分12半音阶, 则:

$$\begin{array}{ccccccccccccccc}
 C_4 & C^\sharp & D & {}^bE & E & F & F^\sharp & G & {}^bA & A & {}^bB & B & C_5 \\
 \nu & q & q^2 & q^3 & \dots & \dots & \dots & & & & & & 2
 \end{array}
 \quad q = 2^{1/12}$$

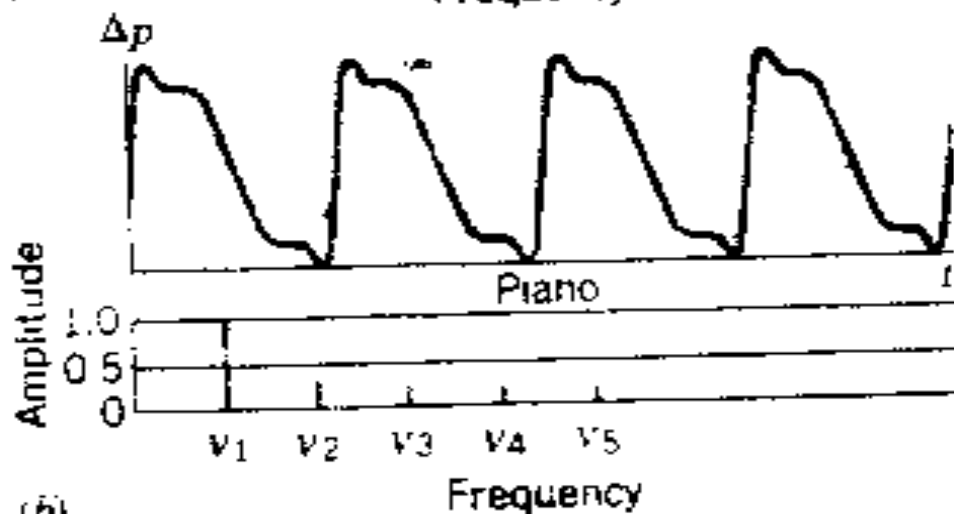
C大调大三和弦 C E G

$$\Delta_{CE} = (2^{1/3} - 1)\nu = 0.26 \nu \quad \Delta_{EG} = (2^{7/12} - 2^{1/3}) \nu = 0.24 \nu$$

音质与波形相关



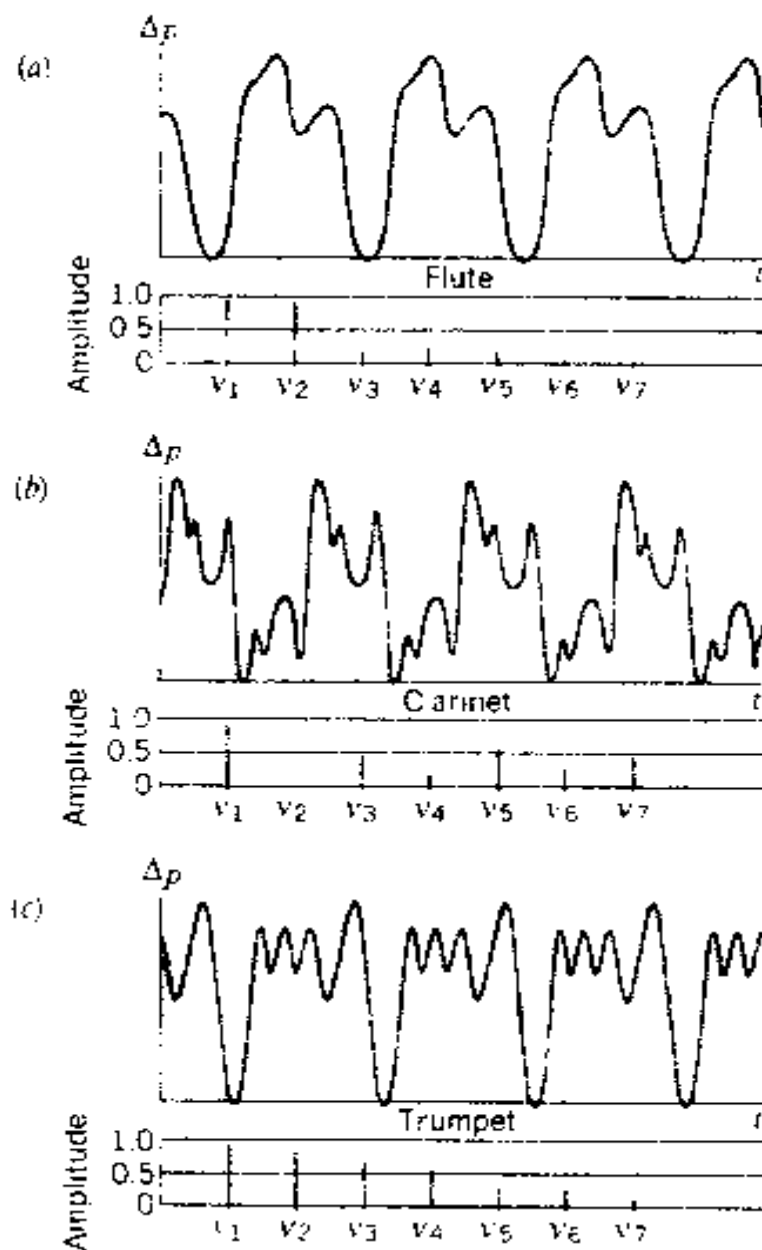
(a)



(b)

长笛、单簧管、小号 A 调

440Hz



两个声音声强级分别是20分贝和60分贝，声波强度相差多少？

- ☐ A 3倍
- ☐ B 40倍
- ☐ C 1千倍
- ☒ D 1万倍

提交

100个独立的相同声源同时发声，声强级达到100dB。若要声强级降至80dB，需要关闭 [填空1] 个电源

超声波

$\nu > 20000\text{Hz}$ 的声波

了解其应用

胎儿的超
声波影象
(假彩色)



20H以下：次声波



压电超声喷泉



清华大学出版社

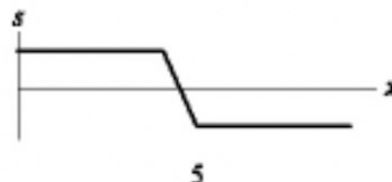
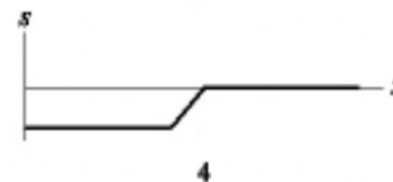
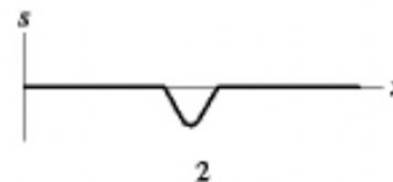
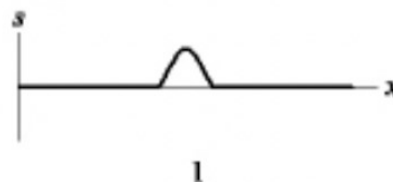
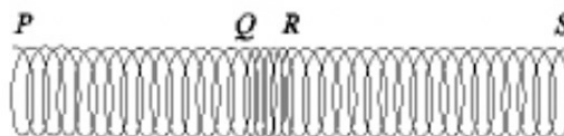
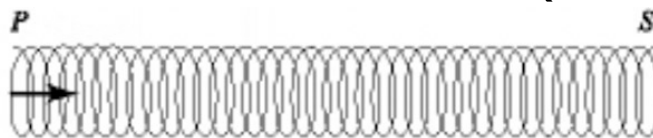


其它的应用

- 1) 加湿器;
- 2) 超声马达;
- 3) 空化和声致发光;
- 4) 声化学;
- 5) 超声探伤; (B超)
- 6) 超声治疗 (HIFU, 刺激脑神经, 杀死癌细胞);
- 7) 声纳; (海底地形)
- 8) 仿生; (杀蚊)
- 9) 超声洗涤;
- 10) 超声镊子;
- 11) 超声焊接;
- 12) 超声车刀 (刀口椭圆振动);
- 13) 超声切割, 手术;
- 14) 超声碎石等。



把一个弹簧左端迅速右移，然后固定。图型显示了QR之间一个脉冲波，RS部分的弹簧还没受到干扰。图型1-5中哪一个正确表明了位移 s 和位置 x 之间的关系？（位移向右为正）



A 1

B 2

C 3

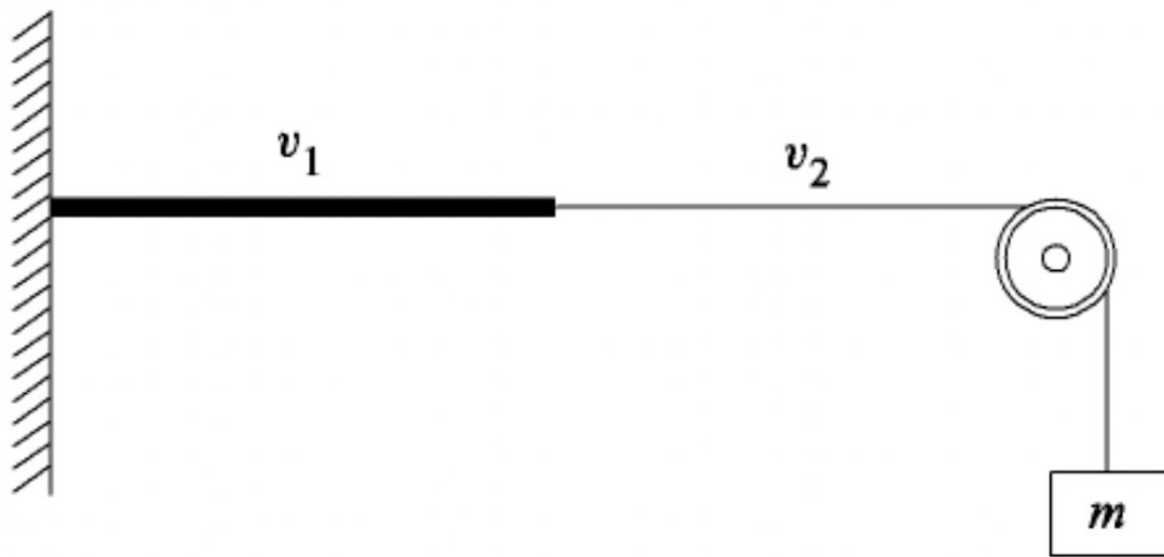
D 4

E 5

提交

一个悬挂的重物通过一个滑轮和一根由两部分组成的绳子连在一起。绳子两部分材料相同，但是是一部分的半径是另一部分的4倍。绳子被拨动一下，一个脉冲波沿绳子传播。在粗的部分速度为 v_1 ，细的部分速度为 v_2 ，则 $v_1/v_2 =$

- ☐ A 1
- ☐ B 2
- ☐ C 4
- ☐ D $1/2$
- ☒ E $1/4$





赛先生

分享

127

88

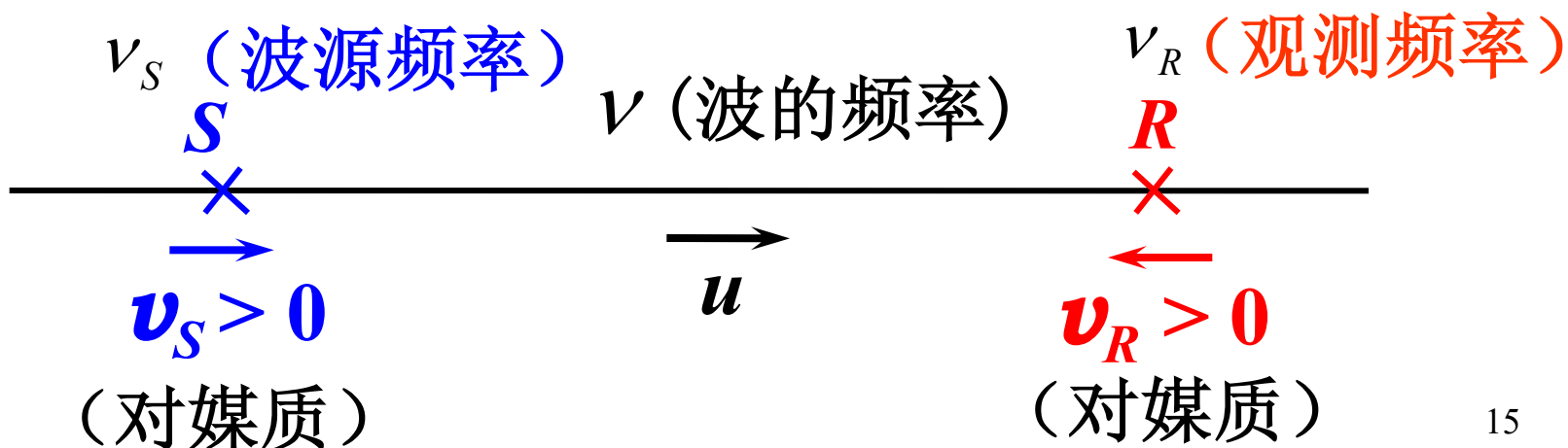


§ 7.9 多普勒效应 (Doppler effect)

多普勒效应： 由于波源和观察者的运动，而使观测的频率不同于波源频率的现象。

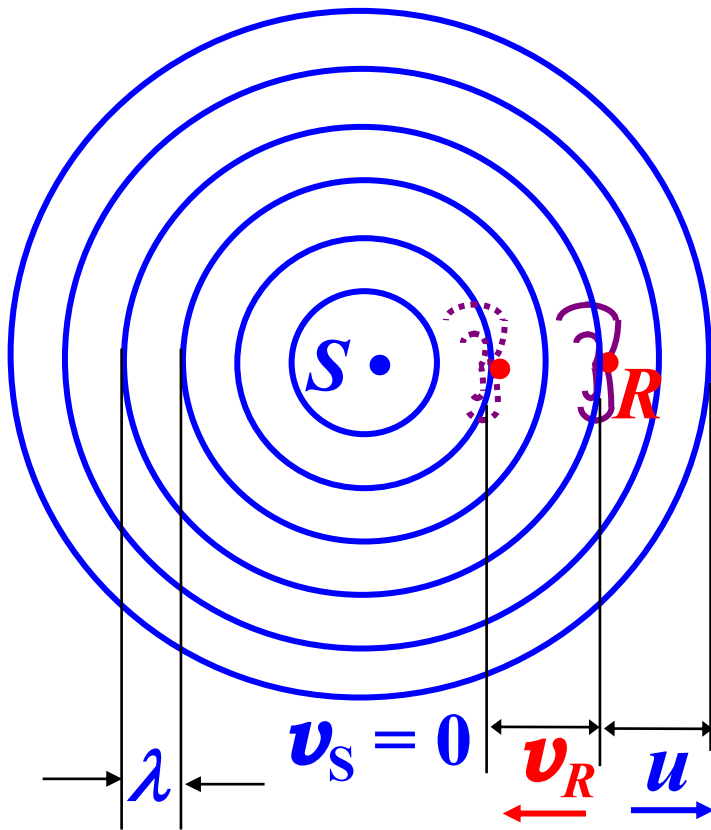
一. 机械波的多普勒效应

设运动在波源 S 和观测者 R 的连线方向上，以二者相向运动的方向为速度的正方向



(1) $\mathbf{v}_S = 0$, $\mathbf{v}_R \neq 0$, 媒质中波长 $\lambda = \lambda_s$

单位时间接收到完整波的个数



$$\nu_R = \frac{u + \mathbf{v}_R}{\lambda} = \frac{u + \mathbf{v}_R}{u} \nu_S$$

$$\left(\lambda = \frac{u}{\nu} = \frac{u}{\nu_S} \right)$$

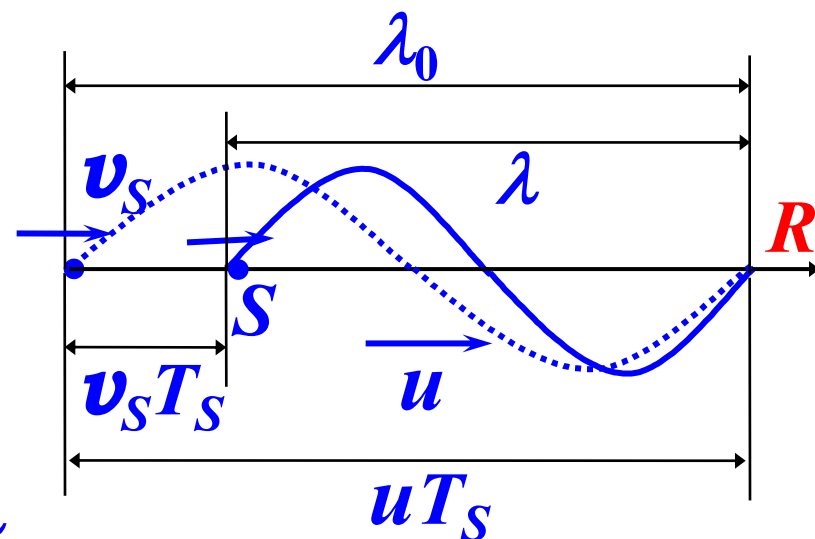
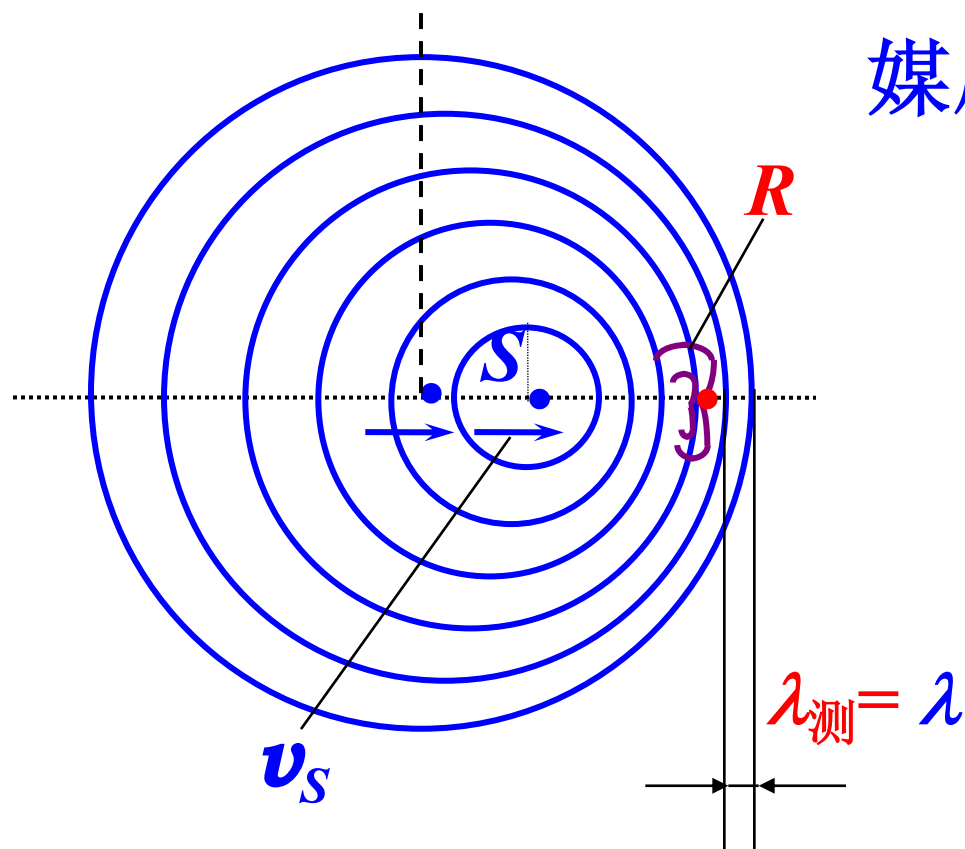
$$\mathbf{v}_R > 0 (R \text{ 接近 } S), \quad \nu_R > \nu_S$$

$$\mathbf{v}_R < 0 (R \text{ 远离 } S), \quad \nu_R < \nu_S$$

(2) $\mathbf{v}_R = 0$, $\mathbf{v}_S \neq 0$,

此时, $\mathbf{v}_R = \mathbf{v}$

媒质中波长发生变化



S 运动的前方波长缩短

$$\mathbf{v}_R = \mathbf{v} = \frac{u}{\lambda} = \frac{u}{(\mathbf{v}_S T_S)} = \frac{u}{u - \mathbf{v}_S} \mathbf{v}_S$$



水波的多普勒效应（波源向左运动）

(3) $\mathbf{v}_R \neq 0$, $\mathbf{v}_S \neq 0$, 此时, $\mathbf{v}_S \neq \mathbf{v} \neq \mathbf{v}_R$

$$\mathbf{v}_R = \frac{u + \mathbf{v}_R}{u} \mathbf{v} = \frac{u + \mathbf{v}_R}{u} \cdot \frac{u}{u - \mathbf{v}_S} \mathbf{v}_S = \frac{u + \mathbf{v}_R}{u - \mathbf{v}_S} \mathbf{v}_S$$

(R动S不动) (S动R不动)

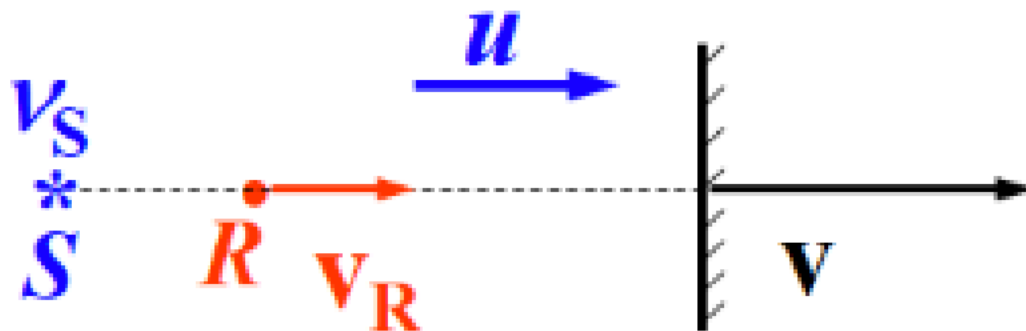
当 $\mathbf{v}_R = -\mathbf{v}_S$ 时 (无相对运动) , $\mathbf{v}_R = \mathbf{v}_S$

注意:

1. S 动 R 不动 $\longrightarrow \lambda \neq \lambda_0 \longrightarrow \mathbf{v}_R \neq \mathbf{v}_S$ }
 R 动 S 不动 $\xrightarrow[\lambda = \lambda_0]{\text{波对 } R \text{ 速度不是 } u} \mathbf{v}_R \neq \mathbf{v}_S$ } **本质不同**

2. \mathbf{v}_R 、 \mathbf{v}_S 是对媒质而言, 且以**相向为正**。

【例】一静止声源S频率 $\nu_S=300\text{Hz}$ ，声速 $u=330\text{m/s}$ ，观察者R以速度 $\nu_R=60\text{m/s}$ 向右运动，反射壁以 $\nu=100\text{m/s}$ 的速度亦向右运动。求：R测得的拍频 ν_B



【解】 R收到的声源发射波的频率： $\nu_R = \frac{u - \nu_R}{u} \nu_S$

反射壁收到的声源发射波的频率： $\nu' = \frac{u - \nu}{u} \nu_S$

$$\nu'_R = \frac{u + v_R}{u + v} \nu' = \frac{u + v_R}{u + v} \frac{u - v}{u} \nu_S$$

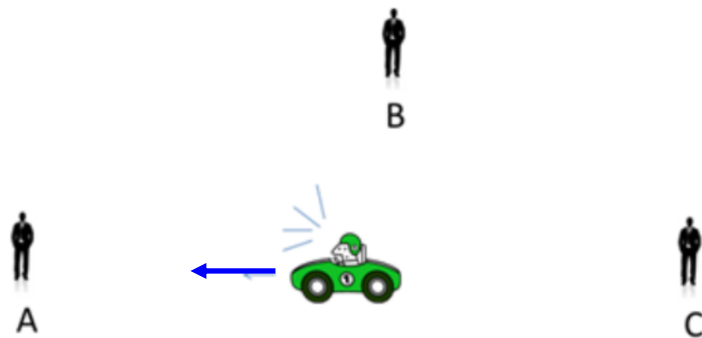
R收到的反射壁反射波的频率：

$$\nu'_R = \frac{u + v_R}{u + v} \nu' = \frac{u + v_R}{u + v} \frac{u - v}{u} \nu_S$$

R测得的拍频：

$$\begin{aligned} \nu_B &= |\nu_R - \nu'_R| = 2 \frac{v - v_R}{u + v} \nu_S \\ &= 2 \times \frac{100 - 60}{330 + 100} \times 300 \\ &\approx 55.8 \text{ (Hz)} \end{aligned}$$

一辆汽车行驶中鸣笛，正好被3个观察者ABC听到，如图所示。以下哪个描述是正确的



A

喇叭声波阵面在ABC处的运动速度不同，A处最快

B

喇叭声波阵面在ABC处的运动速度相同

C

A听到的喇叭声最尖

D

B听到的喇叭声最尖

E

C听到的喇叭声最尖

提交

火车鸣着笛以速度 v 从东向西进站。此时，站台上正刮着东南风，风速 V 。若空气中声速 u ，你站在站台上听到的汽笛声频率是火车上的人听到频率的

- ☐ A $u/(u-v)$
- ☒ B $(u+V/\sqrt{2})/(u-v+V/\sqrt{2})$
- ☐ C $(u+V)/(u-v/\sqrt{2} + V)$
- ☐ D $(u+V)/(u-v+V)$

提交

关于机械波的多普勒效应，下面说法正确的是

- ☐ A 机械波的多普勒效应，只决定于波源和观测者之间的相对运动
- ☒ B 机械波的多普勒效应，决定于介质中的波速和波源、观察者相对介质的速度
- ☒ C 不考虑相对论效应，机械波没有横向多普勒效应
- ☒ D 波源速度大于波速时，多普勒效应失效

二. 电磁波的多普勒效应

电磁波不同于机械波，不需要媒质。

只与源和接收器之间的相对运动有关

洛伦兹不变量 $\frac{\omega^2}{c^2} - \vec{k}^2 = 0$ $(k = \frac{2\pi}{\lambda})$

类比

$$c^2 t^2 - r^2$$

$$k_x' = \gamma(k_x - \beta \frac{\omega}{c})$$

$$k_y' = k_y$$

$$k_z' = k_z$$

$$\omega' = \gamma(\omega - c\beta k_x)$$

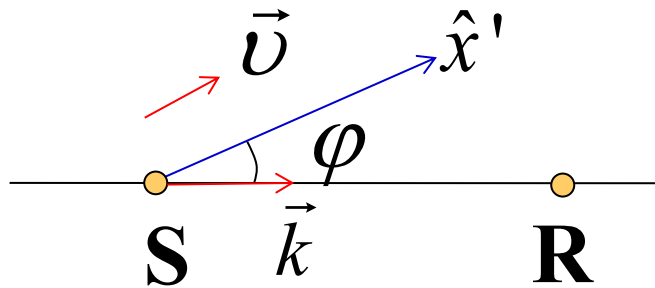
$$k_x = \gamma(k_x' + \beta \frac{\omega}{c})$$

$$k_y = k_y'$$

$$k_z = k_z'$$

$$\omega = \gamma(\omega' + c\beta k_x')$$

源沿 \hat{x}' 轴以速度 \vec{v} 运动 $\omega' = \gamma(\omega - c\beta k \cos \varphi)$



$$\omega = ck$$

$$\omega_R = \frac{\omega_s}{\gamma(1 - \beta \cos \varphi)}$$

多普勒效应

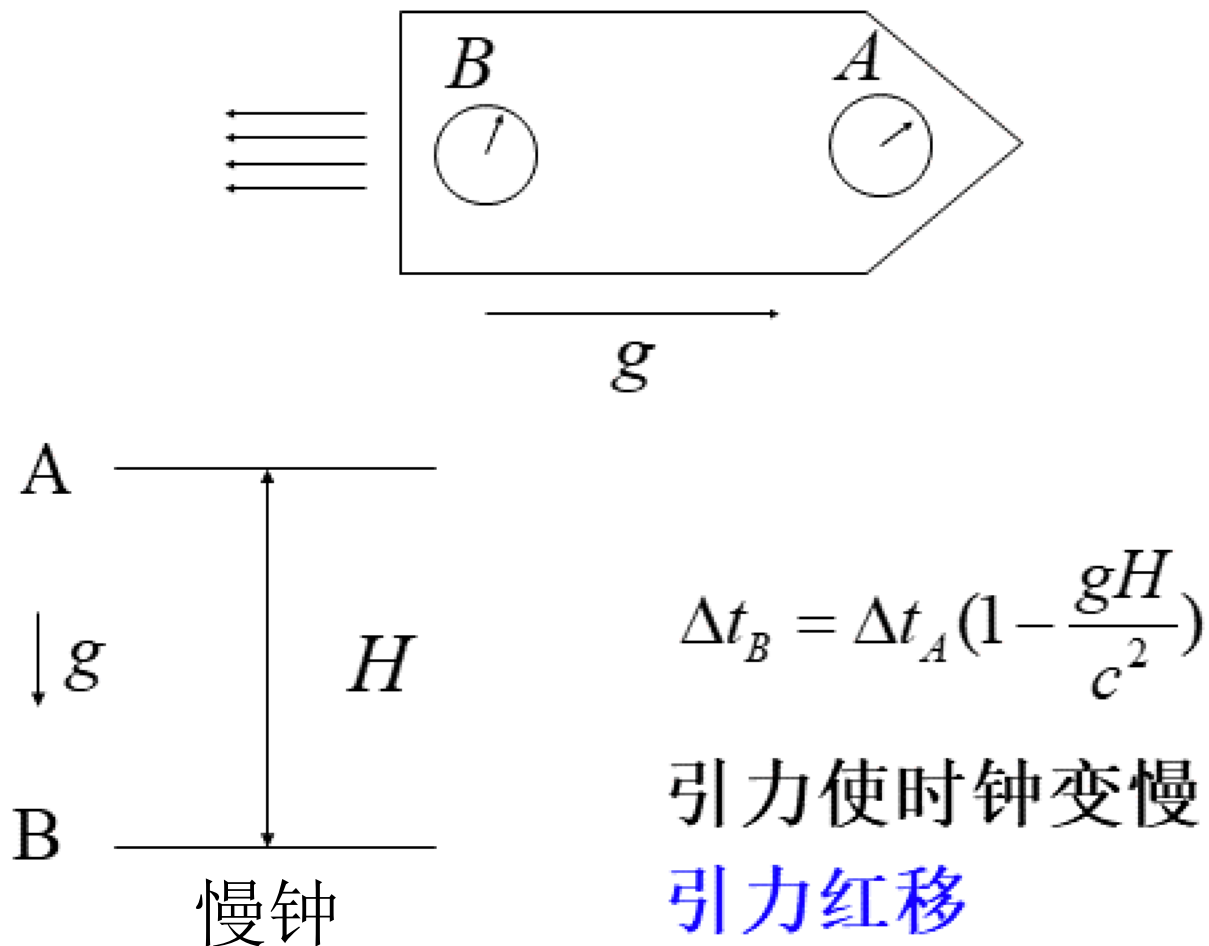
$$\nu_R = \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c - v \cos \varphi} \nu_S$$

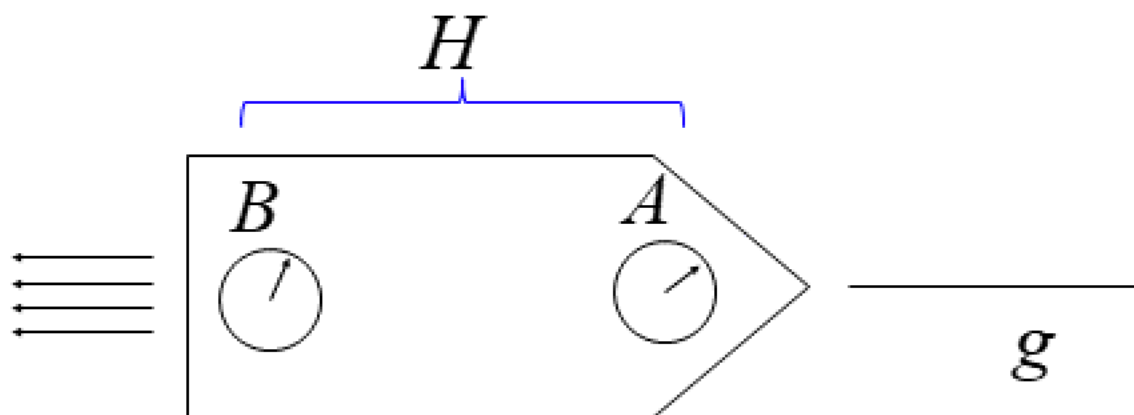
当 $\varphi = 0$ 时，相向运动， $\nu_R = \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} \nu_S$

当 $\varphi = \frac{\pi}{2}$ 时，有 $\nu_R = \sqrt{1 - \beta^2} \nu_S$

— 横向多普勒效应

The speed of clocks in a gravitational field





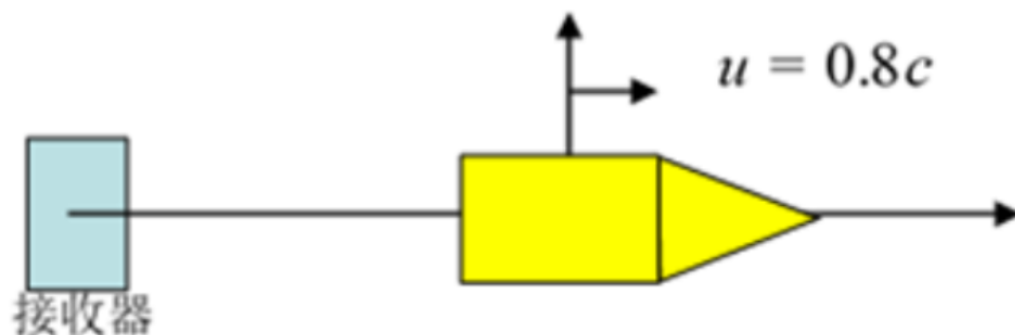
隔 Δt_A 发一信号 传播时间 $\approx \frac{H}{c}$

$$\Delta \nu_B = \frac{gH}{c} \quad \nu_B = \frac{\sqrt{c^2 - v^2}}{c - v} \nu_A$$

$$\Delta t_B = \frac{c - \Delta \nu_B}{\sqrt{c^2 - \Delta \nu_B^2}} \Delta t_A \approx \Delta t_A \left(1 - \frac{gH}{c^2}\right)$$

如图所示，飞船以 $0.8c$ 沿地面接收站与飞船连线方向向外飞行，飞船上光源以 $T_0=3s$ 的周期发光脉冲。求：地面接收站接收到的脉冲周期。

- ☐ A 1.8s
- ☐ B 3s
- ☐ C 5s
- ☐ D 5.8s
- ☒ E 9s



$$v_R = \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}} v_S = \sqrt{\frac{0.2}{1.8}} \times \frac{1}{3} = \frac{1}{9}$$

另一种方法

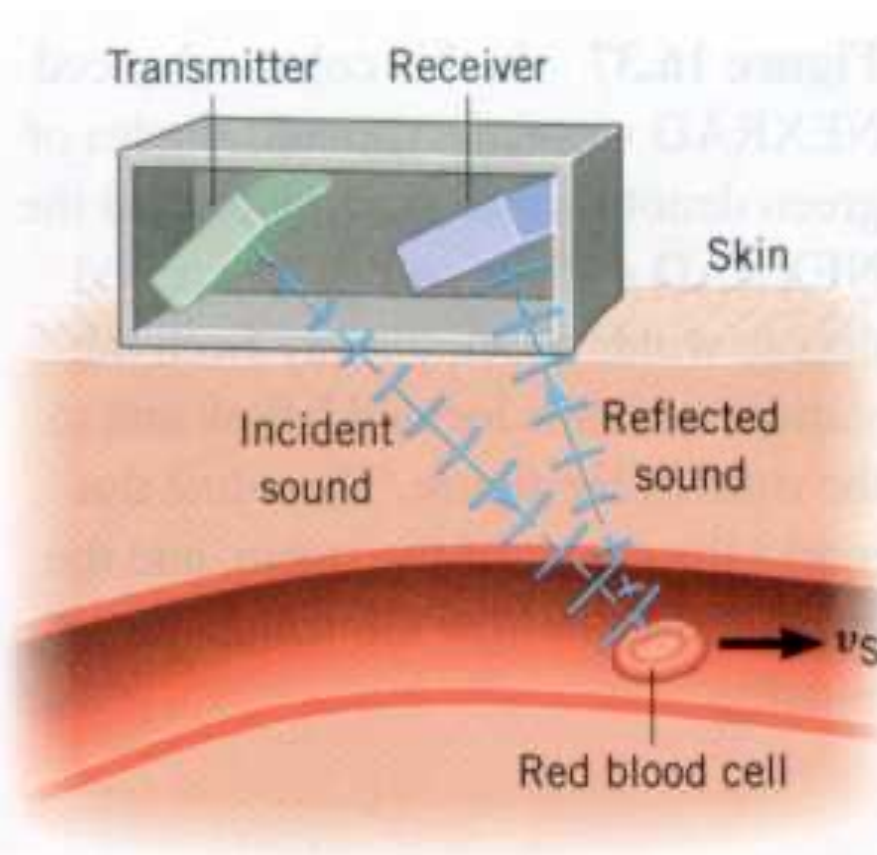
$$\gamma T_0 = 5s$$

$$\frac{0.8c * 5s}{c} = 4s$$

三. 多普勒效应的应用：▲测速



警察用多普勒测速仪测速

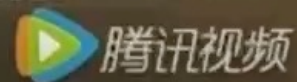


超声多普勒效应测血流速

WU, JINYUAN
4103399

DREYER MEDICAL AM
03/12/2015 10:27:08 AM

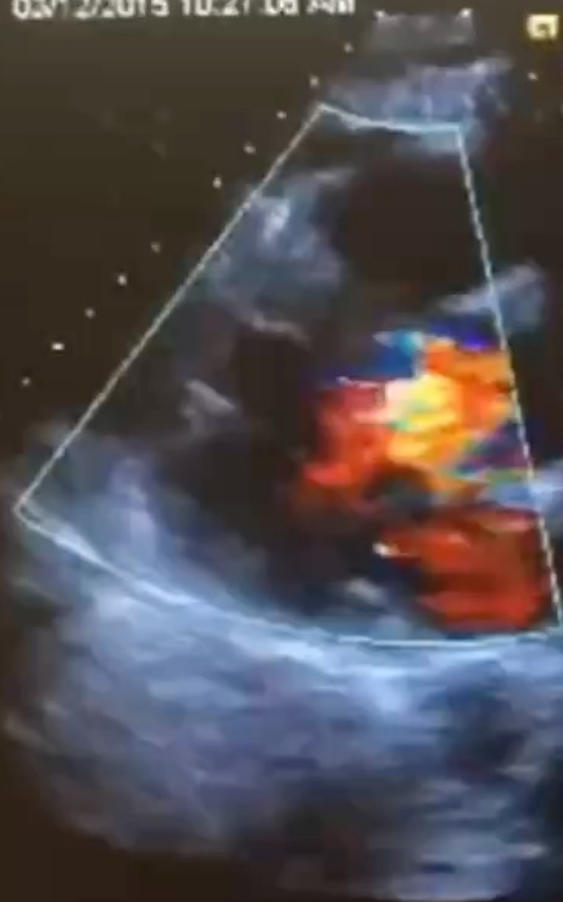
Cardiac / AM / 4V1c



0.77 m/s



0.77 m/s



18 fps / 180 mm

58 bpm / Gen Flow

136/78 mmHg

—2D—

H3.0MHz / 7 dB

TEQ: 1 / Offset: 0 dB

DR: 70 dB

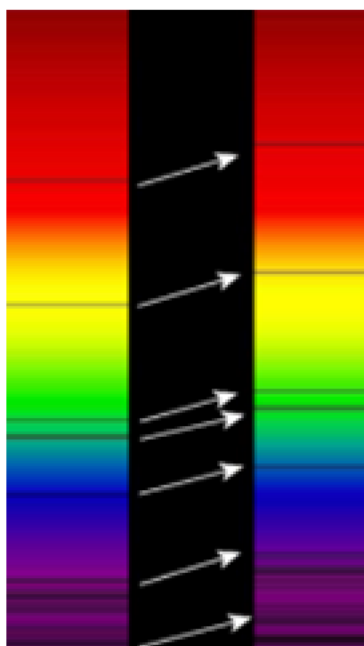
—Color—

CDV / 2.0 m/s

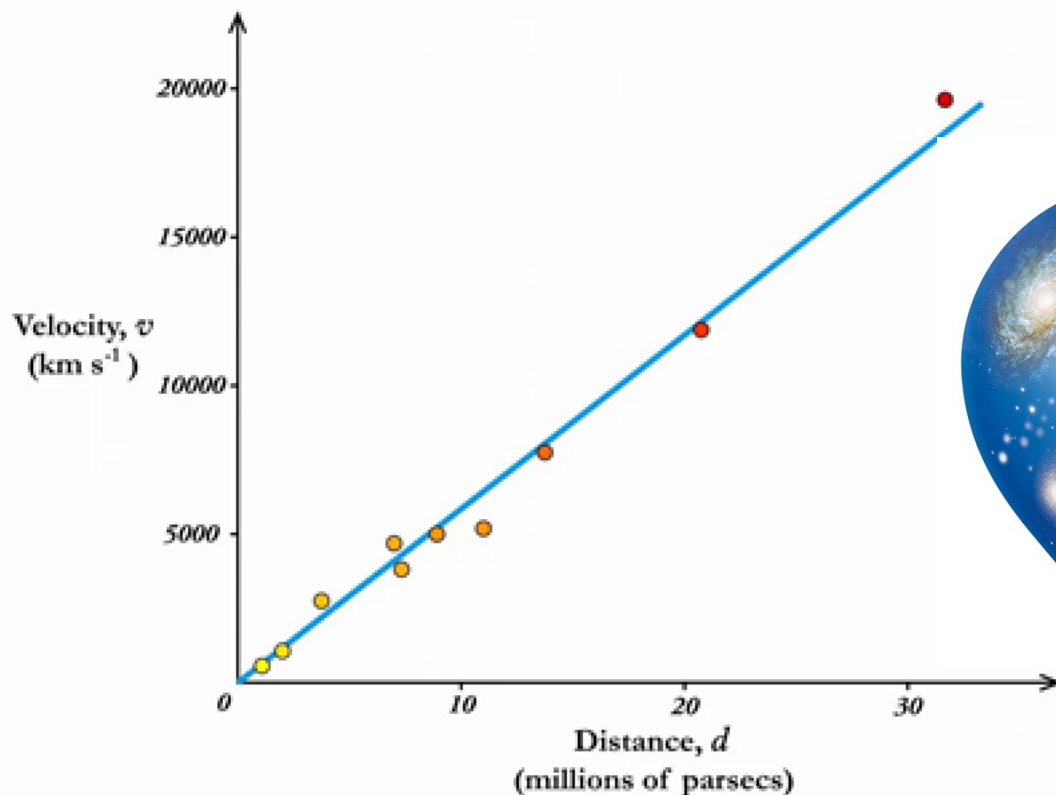
-1.5 dB

▲ 多普勒红移

星系退行



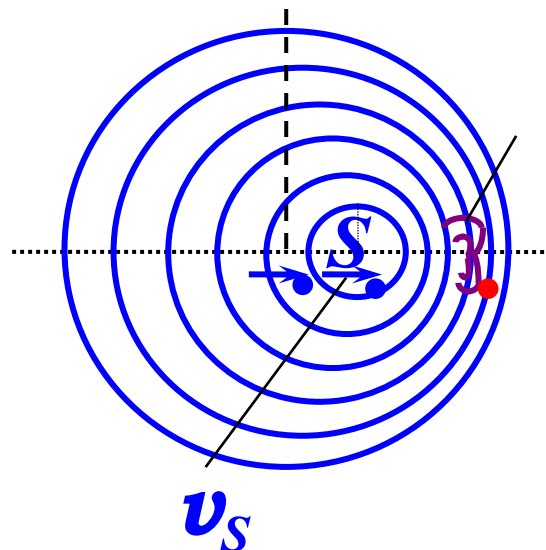
哈勃定律 $v = Hd$



宇宙膨胀，大爆炸产生

四. 激波

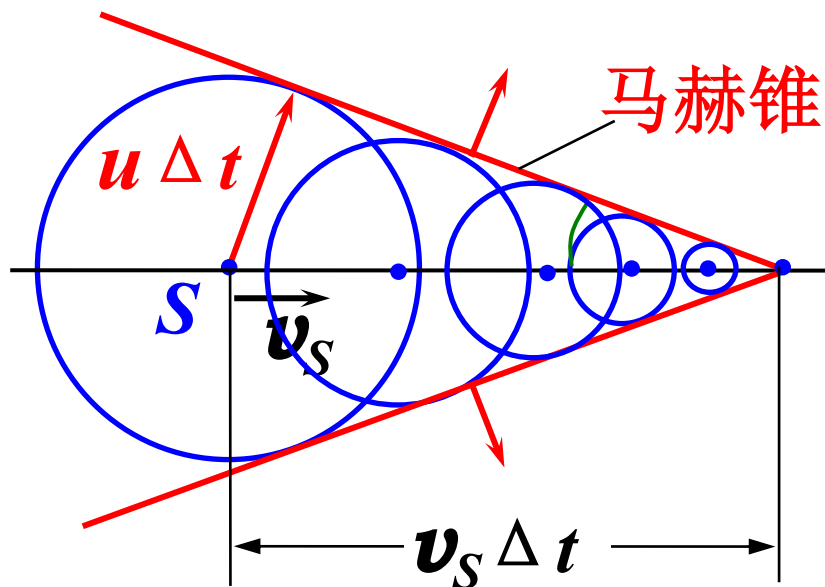
$$v_R = \frac{u}{u - v_S} v_S$$



$v_S > u$ 时, $v_R < 0$ —后发出的波面

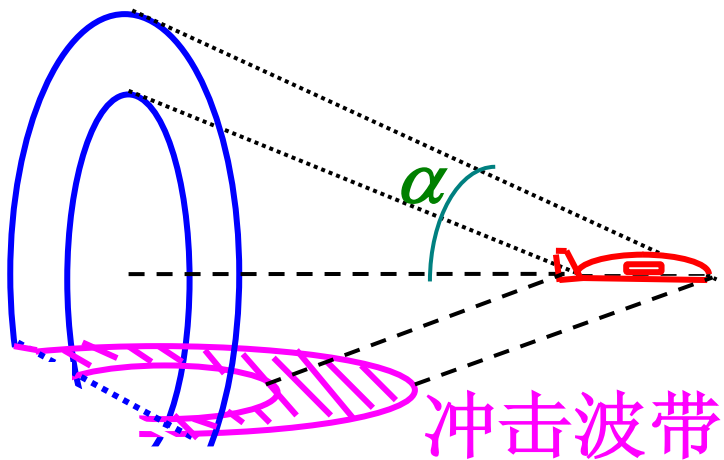
将超越先发出的波面,
形成锥形波阵面——

(冲击波) (shock wave)



$$\sin \alpha = \frac{u}{v_S}$$

$\frac{v_s}{u}$ — 马赫数(Mach number)

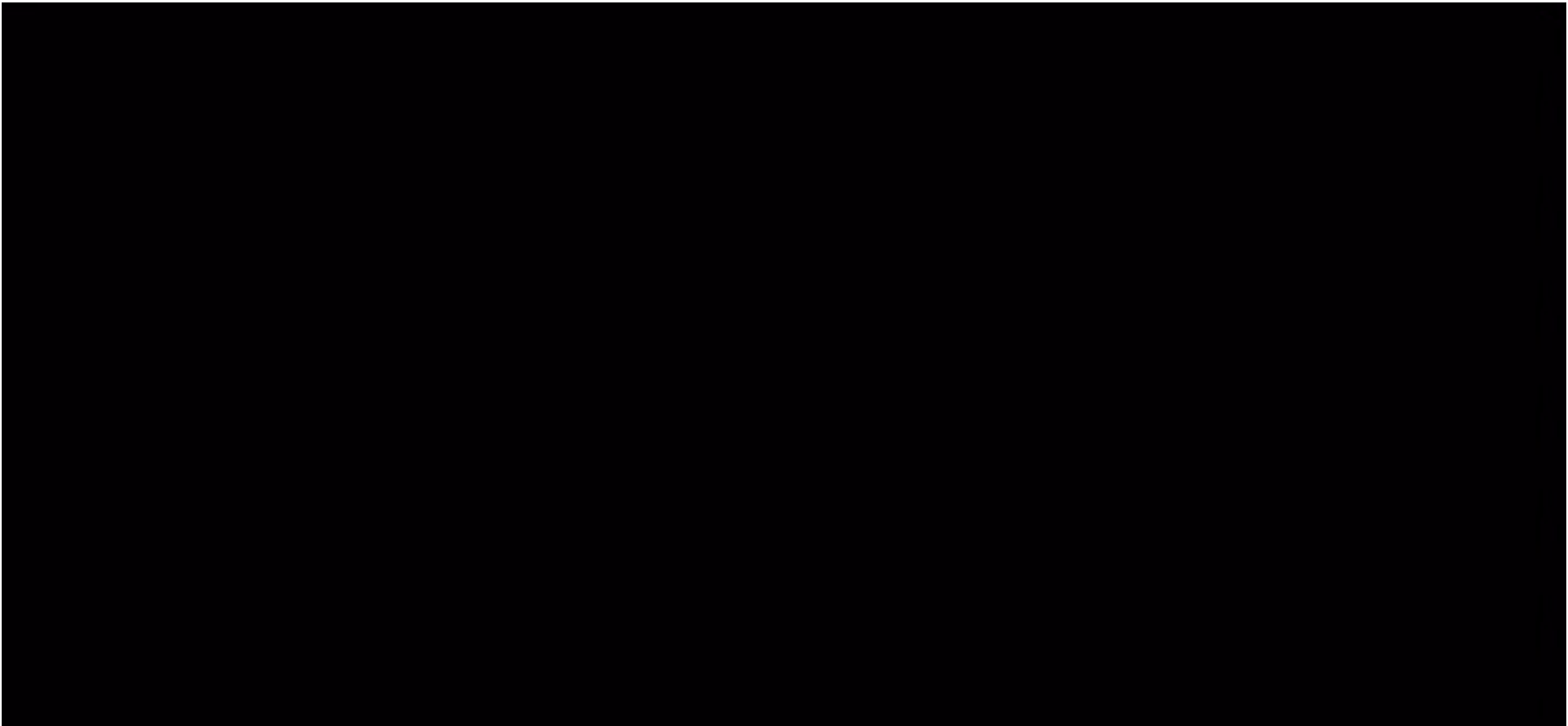


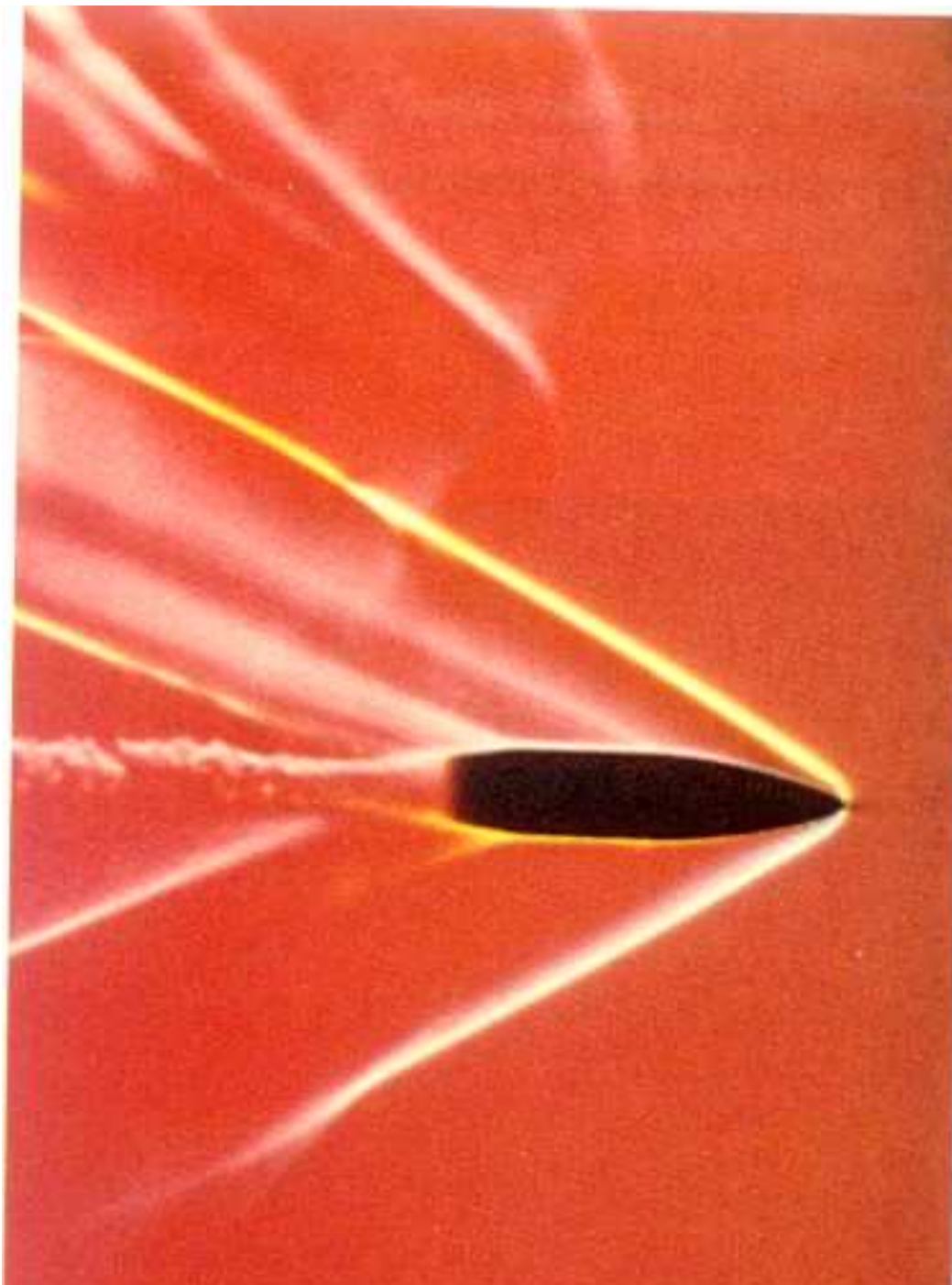
对超音速飞机的最小
飞行高度要有一定限制。



物体穿越音障后, 周围压强陡降, 潮湿的天气, 有水汽凝结



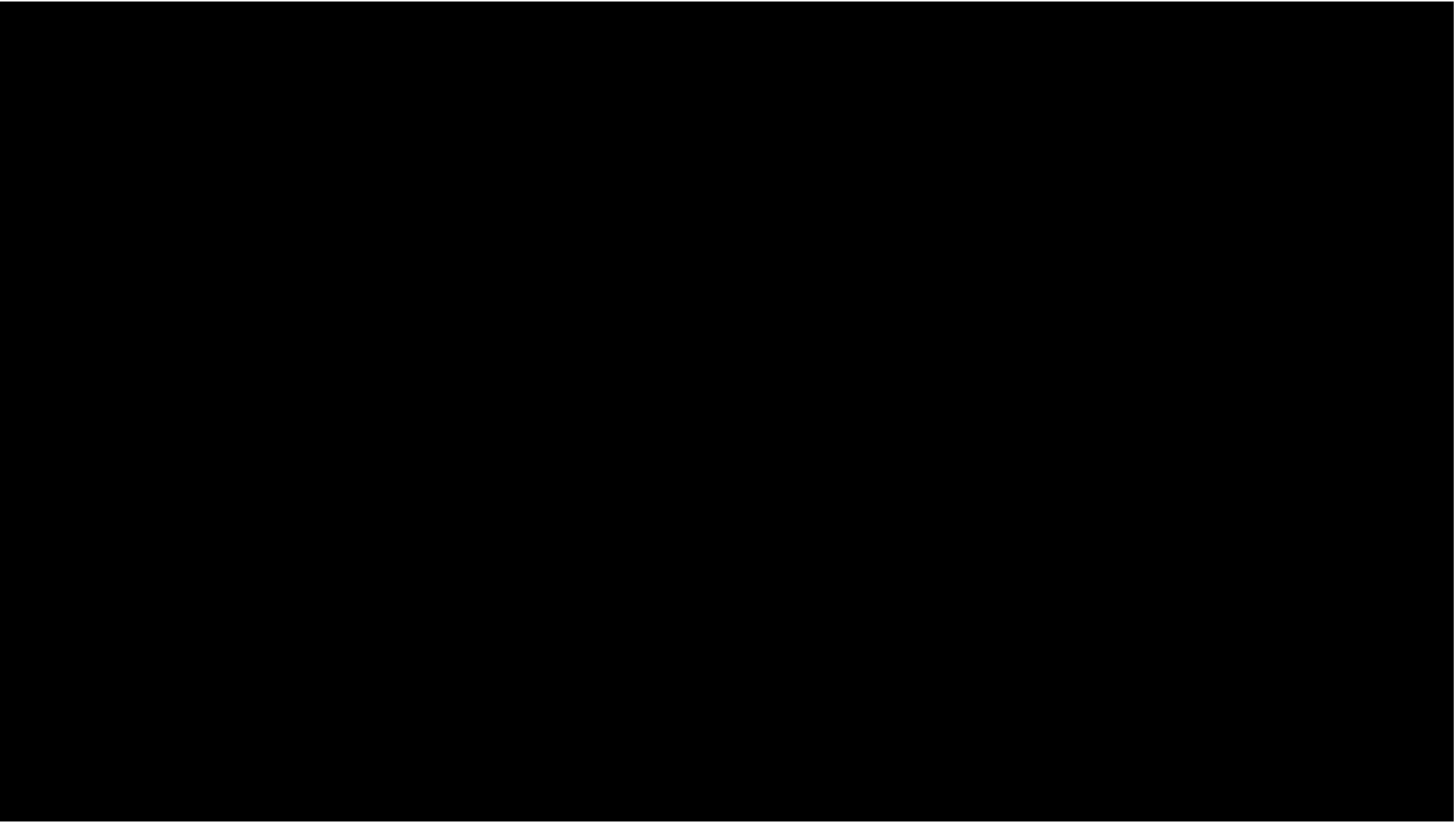




超音速的子弹
在空气中形成
的激波
(马赫数为2)



2015年11月，中国
“DF-ZF”高超音速
滑翔载具搭载在一枚
弹道导弹上升空
(100km高空)。滑翔
载具随后与推进器分
离，以极高速度——
5马赫到10马赫之间
飞行，即每小时**6173**
公里到 **12359**公里。





炸弹爆炸冲击波

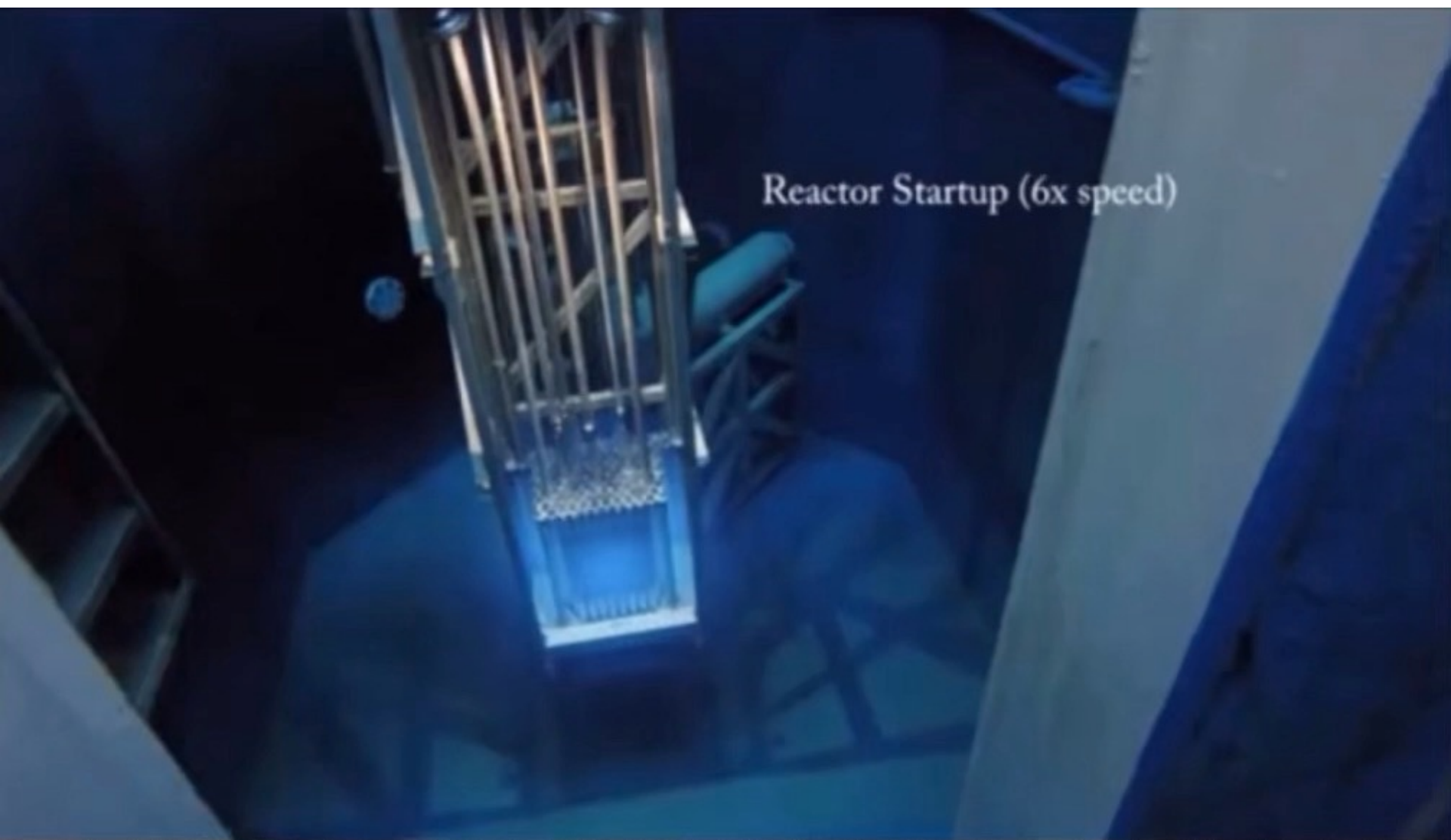
核弹爆炸冲击波

海啸(tsunami) --- 地震可能引发海面上冲击波，到达海岸的时候形成海啸

电磁激波

——切伦科夫辐射(Cherenkov radiation):

高能带电粒子在介质中的速度超过光在介质中的速度时，将发生锥形的电磁波——切伦科夫辐射。



蓝光是高能电子速度超过液体中光速引起的切伦科夫辐射