实验题目

固定均匀弦振动的研究

空间科学与应用物理系

2007.12

[实验目的]

- 1． 了解固定均匀弦振动传播的规律；
- 2． 观察固定弦振动传播时形成驻波的波形；
- 3． 测定均匀弦线上的横波传播速度。

[仪器和用具]

- 固定均匀弦振动实验装置，钩码, 砝码6个。

仪器结构图

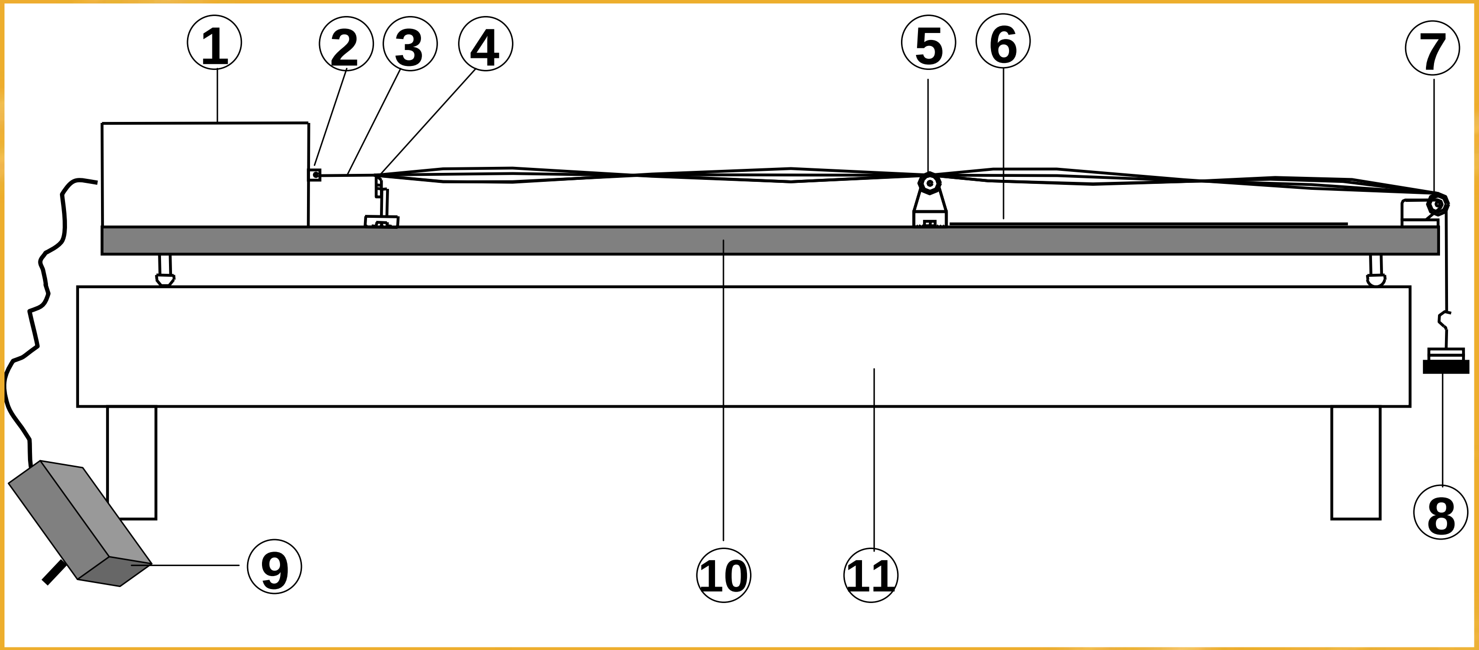
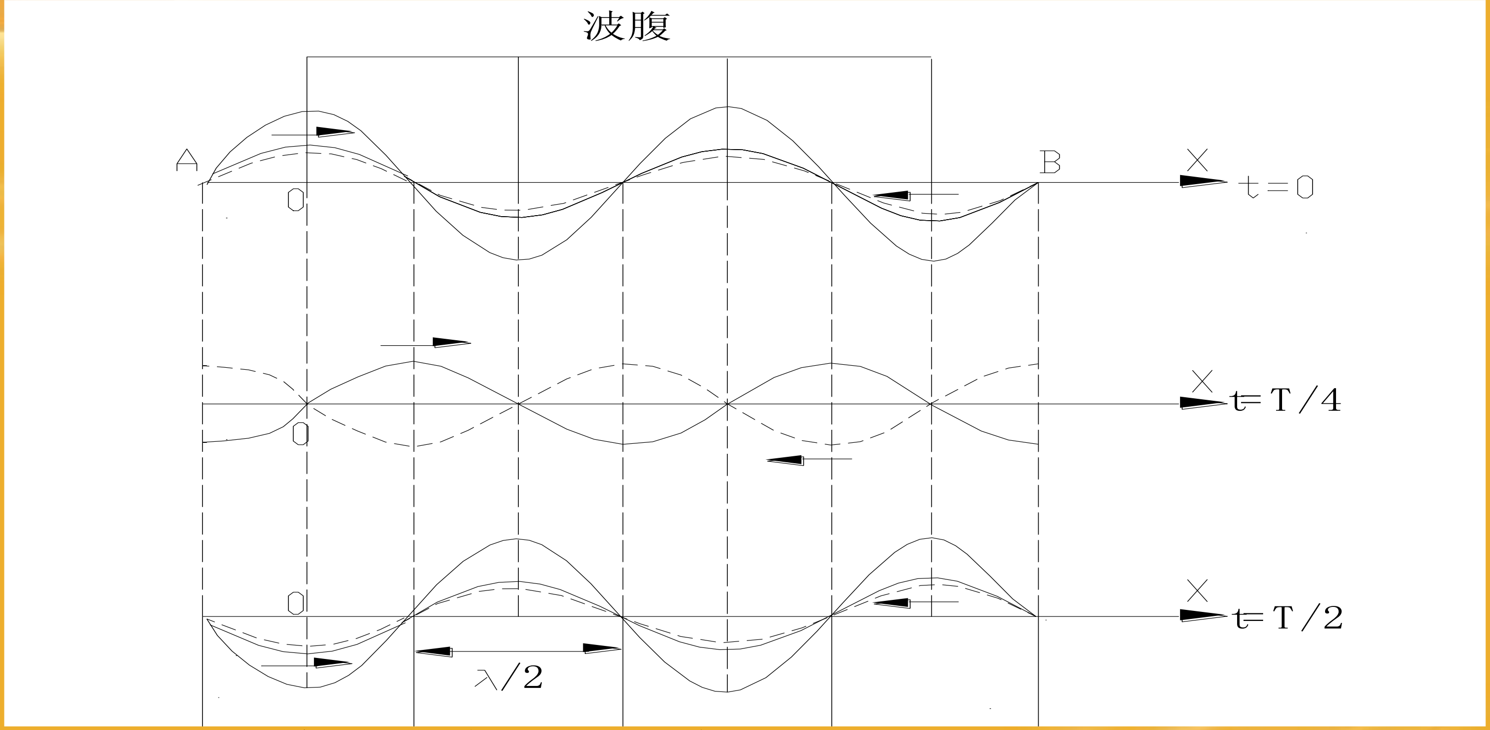


图1　仪器结构图

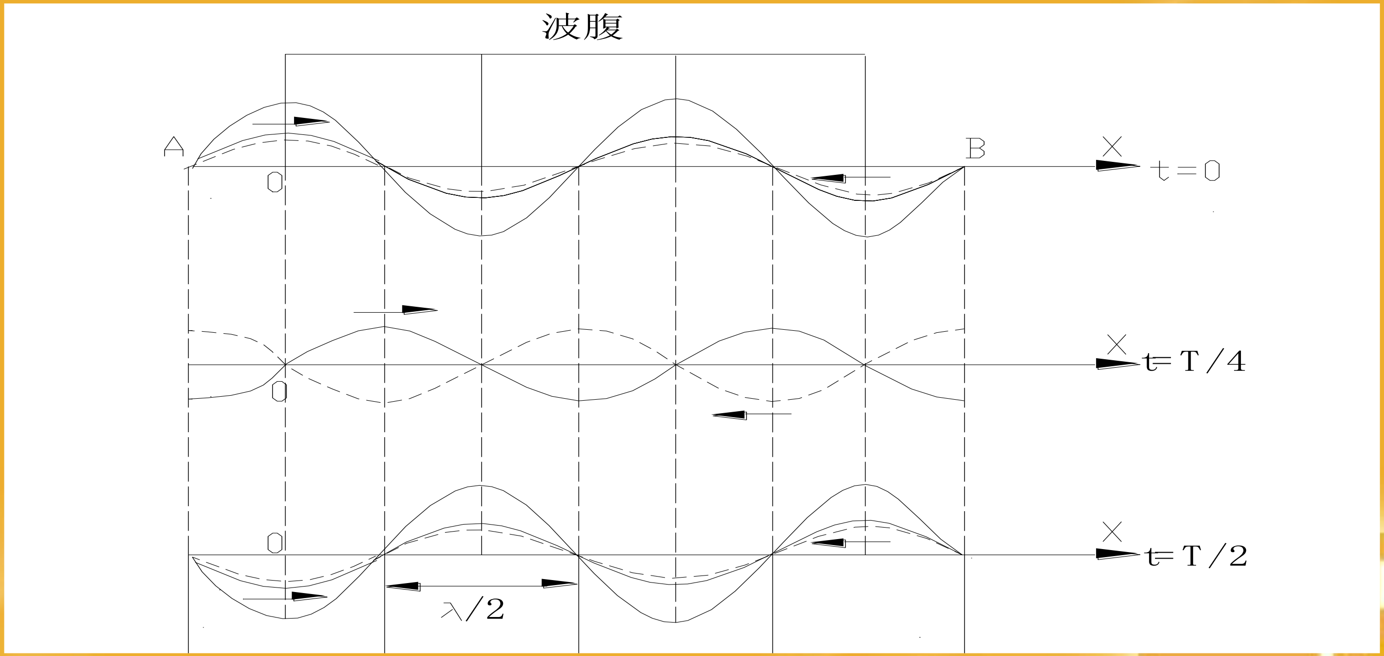
1、可调频率数显机械振动源；2、振动簧片；3、弦线；
4、可动刀口支架；5、可动滑轮支架；
6、标尺；7、固定滑轮；8、砝码与砝码盘；
9、变压器;10、实验平台；11、实验桌

[实验原理]



- 设一均匀弦线，一端由劈尖A支住（见图3），另一端由劈尖B支住。对均匀弦线扰动，引起弦线上质点的振动，于是波动就由A点沿弦线朝B点方向传播，称为入射波，再由B点反射沿弦线朝A点传播，称为反射波。

- 一列持续的入射波与其反射波在同一弦线上沿相反方向传播时，将会相互干涉，移动劈尖B到适当位置。弦线上的波就形成驻波。这时，弦线上的波被分成了几段，且每段波两端的点始终静止不动，而中间的点振幅最大。这些始终静止的点称为波节，振幅最大的点称为波腹。



- 下面用简谐波表达式对驻波进行定量描述。设沿X轴正方向传播的波为入射波，沿X轴负方向传播的波为反射波，取它们振动相位始终相同的点作坐标原点，且在x=0处，振动质点向上达最大位移时开始计时，则它们的波动方程分别为：
- $\boxed{Y_1 = A\cos 2\pi(ft - x/\lambda)}$ $\boxed{Y_2 = A\cos 2\pi(ft + x/\lambda)}$
- 式中A为简谐波的振幅， f为频率， λ为波长， x为弦线上质点的坐标位置。
- 两波叠加后的合成波为驻波，其方程为：
- $\boxed{Y = Y_1 + Y_2 = 2A\cos 2\pi(x/\lambda)\cos 2\pi ft}$ (1)
- 由式(1)可知，入射波与反射波合成后，弦上各点都在以同一频率作简谐振动，它们的振幅为
- ｜2Acos2π(x/λ)｜,即驻波的振幅与时间t无关,而与质点的位置x有关(见前图)。

$$\boxed{Y_1 + Y_2 = 2A\cos 2\pi(x/\lambda)\cos 2\pi ft}$$

因为在波节处振幅为零，即

$|\cos 2\pi(x/\lambda)| = 0$

$2\pi(x/\lambda) = (2K+1)(\pi/2)$ (K=0, 1, 2, 3, ……)

所以可得波节的位置为

$X = (2k+1)(\lambda/4)$ (2)

而相邻两波节之间的距离为:

$$\boxed{x_{k+1} - x_k = \lambda/2} \qquad (3)$$

又因为波腹处的质点振幅为最大, 即

$|\cos 2\pi(x/\lambda)| = 1$

$2\pi(x/\lambda) = k\pi$ (k=0, 1, 2, 3, ……)

所以可得波腹的位置为

$x = k(\lambda/2)$ (4)

同理可知，相邻两波腹间的距离也是半个波长。因此, 在驻波实验中, 只要测得相邻两波节或相邻两波腹间的距离, 就能确定该波的**波长**。

在一根拉紧的弦线上，其中张力为T，线密度为 μ，则沿弦线传播的横波应满足下述运动方程：

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T\partial^2 y}{\mu\partial x^2} \qquad (6)$$

式中x为波在传播方向（与弦线平行）的位置坐标，为振动位移。将（1）式与典型的波动方程

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = V^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

相比较，即可得到波的传播速度：$V = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$

若波源的振动频率为 f，横波波长为 λ，由于 $V = f\lambda$，故波长与张力及线密度之间的关系为：

$$\boxed{\lambda = \frac{1}{f}\sqrt{\frac{T}{\mu}}} \qquad (7)$$

为了用实验证明公式（7）成立，将该式两边取对数，得：

$$\boxed{\log \lambda = \frac{1}{2}\log T - \frac{1}{2}\log \mu - \log f}$$

实验内容：

1、若固定频率及线密度 μ，而改变张力T，并测出各相应波长 λ，对log λ-logT做线性拟合，若其斜率值为 $\frac{1}{2}$，则证明了 $\lambda \propto T^{1/2}$的关系成立。书上表1。

2、固定线密度 μ 及张力T，改变振动频率 f，测出各相应波长 λ，对log λ-log f 做线性拟合，若其斜率值为-1的直线就验证了 $\lambda \propto f^{-1}$的关系。书上表**2**。

（使用**origin**软件处理数据，求斜率、相关系数）单位用国际单位制

3、实验内容中的**3**、**4**，线密度、波速各计算一个，不做不确定度分析。

[注意事项]

1. 须在弦线上出现振幅较大而稳定的驻波时，再测量驻波波长。

2. 张力包括砝码与砝码盘的质量，砝码盘的质量用天平称量。

3. 当实验时，发现波源发生机械共振时，应减小振幅或改变波源频率，便于调节出振幅大且稳定的驻波。