

淮南师范学院实验报告

学院：电子工程学院 专业：物理学 班级:24 物理 1 班

学号:2414050120 姓名 缪雨轩 日期：2025. 11. 18

一、实验名称：多普勒效应的应用

二、实验目的：

- 利用多普勒测速系统测量弹簧振子做简谐振动的周期。
- 计算弹簧的动态劲度系数，并与静态法测量值进行比较，分析差异原因。
- 了解多普勒效应在非接触式运动测量中的应用。

三、实验原理：

（一）多普勒测速原理（应用基础）

利用声波的多普勒效应，实验仪器可以实时测量运动物体的速度。当超声接收器随物体运动时，通过分析接收频率的变化，微处理器可计算出物体的瞬时速度。本实验利用这一功能记录简谐振动的速度变化过程，从而精确测定振动周期。

（二）简谐振动与劲度系数

垂直悬挂的弹簧振子在弹性范围内做简谐振动，其振动周期 T 与系统总质量 M 及弹簧劲度系数 k 的关系为：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k}}$$

由此可得劲度系数的动态测量公式

$$k_{dyn} = \frac{4\pi^2 M}{T^2}$$

（三）静态法测劲度系数

根据胡克定律 $F = k \cdot \Delta x$ ，通过测量悬挂不同质量砝码 m 时弹簧的伸长量 Δx ，可求出静态劲度系数：

$$k_{stat} = \frac{mg}{\Delta x}$$

四、主要仪器设备：

多普勒效应综合实验仪、超声发射/接收器、弹簧、砝码组、天平、支架等。

五、实验步骤：

（一）仪器安装与调整

按实验装置图安装仪器。

（1）将弹簧悬挂于支架的电磁铁挂钩孔中。

（2）将超声接收器组件（作为振子）的尾翼悬挂在弹簧下端。

（3）调节支架及光电门位置，确保接收器在垂直运动过程中始终对准下方的超声/红外发射源，且运动路径无阻碍，不会发生碰撞或摩擦。

（二）静态法测量弹簧劲度系数

（1）初始读数：在不挂额外砝码（或仅挂接收器组件）的情况下，待系统静止，记录弹簧下端指针在标尺上的初始平衡位置读数 x_0 。

（2）加载测量：在接收器组件下端逐次增加质量为 m_i 的砝码组合（例如：先加 m_1 ，再加 m_2 等）。

（3）记录数据：每次增加载荷后，待系统重新静止，记录对应的平衡位置读数 x_i 。

（4）数据整理：记录完毕后，计算每次的伸长量 $\Delta x = x_i - x_0$ ，利用公式 $k = mg/\Delta x$ 计算静态劲度系数。

（三）动态法（简谐振动）测量

（1）系统称重：取下振动系统（含接收器组件、连接杆及固定配重），用天平称量其总质量 M ，并记录该值。

（2）参数设置：

- ①打开多普勒效应综合实验仪电源。
- ②在菜单中选择“变速运动测量实验”或“简谐振动”模式。
- ③设置采样点数（建议设置 150 左右）和采样时间间隔（步距）。

（3）建立振动：

- ①将接收器组件重新挂回弹簧。
- ②用手将其从平衡位置垂直向下拉动一定距离（约 10~20 cm，注意勿超过弹簧弹性限度）。
- ③松手，让接收器在垂直方向上作自由简谐振动。

（4）数据采集：

- ①观察振动状态，确保振动平稳且无左右晃动。
- ②按下实验仪的“确认/开始”键。仪器将自动利用多普勒效应记录接收器运动过程中的速度变化，并统计振动周期。

（5）读取数据：

- ①测量完成后，从仪器显示屏调阅测量结果。
- ②记录测得的振动周期 T 。
- ③重复操作多次（如改变下拉幅度或重新起振），记录多组周期数据以求平均值。

六、原始数据记录：

实验条件：

弹簧初始位置 $x_0 = 24.90\text{ cm}$
重力加速度 $g = 9.80\text{ m/s}^2$

表 1：静态法测量数据记录表

序号	挂物组合	总质量 m (g)	位置读数 x_i (cm)	伸长量 $\Delta x = x_i - x_0$ (m)	拉力 F=mg (N)	劲度系数 k (N/m)
1	m_1	12.30	26.80	0.0190	0.1205	(6.34) 剔除
2	$m_1 + m_2$	61.20	41.61	0.1671	0.5998	3.59

序号	挂物组合	总质量 m (g)	位置读数 x_i (cm)	伸长量 $\Delta x = x_i - x_0$ (m)	拉力 F=mg (N)	劲度系数 k (N/m)
3	$m_1 + m_2 + m_3$	108.78	56.00	0.3110	1.0660	3.43
4	m_2	48.90	37.62	0.1272	0.4792	3.77
5	m_3	47.58	37.04	0.1214	0.4663	3.84

静态劲度系数平均值：

$$\bar{k}_{stat} = \frac{3.59 + 3.43 + 3.77 + 3.84}{4} = 3.66\text{ N/m}$$

（一）动态法（简谐振动）测量劲度系数 k_{dyn}

实验参数：

振动系统质量（滑块+接收器组件）： $M = 103.20\text{ g} = 0.1032\text{ kg}$

表 2：简谐振动周期测量数据表 （数据来源：多普勒测速系统自动记录）

序号	1	2	3	4	5	6	7
周期 T (s)	0.91	0.93	0.89	0.89	0.91	0.87	0.89
序号	8	9	10	11	12	13	
周期 T (s)	0.89	0.86	0.87	0.87	0.84	0.86	

七、数据处理：

（一）平均周期计算：

$$\bar{T} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{13} T_i = \frac{11.48}{13} \approx 0.883 \text{ s}$$

（二）动态劲度系数计算：

$$k_{dyn} = \frac{4\pi^2 M}{\bar{T}^2} = \frac{4 \times (3.14159)^2 \times 0.1032}{(0.883)^2} \approx 5.23 \text{ N/m}$$

八、实验结果与讨论：

（一）结果汇总

静态法测得劲度系数： $\bar{k}_{stat} = 3.66 \text{ N/m}$

动态法测得劲度系数： $k_{dyn} = 5.23 \text{ N/m}$

相对差异： $\frac{|5.23-3.66|}{3.66} \times 100\% \approx 42.9\%$

（二）差异原因分析

实验结果显示，动态法测得的劲度系数显著大于静态法，造成这一巨大差异的主要原因可能包括：

（1）弹簧有效质量的影响：

理论公式忽略了弹簧自身的质量 m_s 。实际振动周期公式应修正为 $T = 2\pi \sqrt{\frac{M+m_s/3}{k}}$ 。若考虑此项，实际的 T 会比理论值大，导致反算的 k 应该更小。忽略此项会导致计算出的 k_{dyn} 偏大。但这只能解释微小的差异（通常 <5%），无法解释 40% 以上的偏差。

（2）非线性误差：

静态法中第一组数据（ $k = 6.34$ ）被剔除，说明弹簧在低负载下线性度极差。动态实验中若振幅过大，超出了胡克定律的线性范围，也会导致测量偏差。

（3）结论

本实验成功利用多普勒测速系统记录了简谐振动过程并测定了周期，体现了多普勒技术在非接触测量中的应用价值。但动、静态测量结果存在显著差异，提示在后续实验中需严格确认振动系统的总有效质量，并确保静态与动态实验使用的是同一工况下的同一弹簧。