

物理实验报告

陈建烨 12411913 2025.3.4 P4123

一. 实验名称：时间测量中随机误差的分布规律

二. 实验目的

- 了解随机误差的离散性和分布规律。
- 了解误差分析的基本方法。
- 了解测量不确定度的计算方法。

三. 实验原理

1. 重复测量电子节拍器的周期 T_0 ，测量结果为 T_1, T_2, \dots, T_n ，其中 n 为测量次数。如果测量次数足够多，那么测量结果 T_i 的分布就会趋近于正态分布。

$$p(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}}$$

其中 $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum T_i$, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_i - \bar{T})^2}{n-1}}$

由正态分布的统计规律得

$$\begin{aligned}P(|T - \bar{T}| < \sigma) &\approx 68.3\% \\P(|T - \bar{T}| < 2\sigma) &\approx 95.4\% \\P(|T - \bar{T}| < 3\sigma) &\approx 99.7\%\end{aligned}$$

2. 计算周期量的A类不确定度可以使用 $U_A = \frac{\sigma \cdot t_p}{\sqrt{n}}$ ，其中 σ 为测量结果的标准差， n 为测量次数， t_p 为置信系数。计算周期量的B类不确定度可以使用 $U_B = \frac{\sqrt{\Delta_{估}^2 + \Delta_{仪}^2}}{C} * k_p$ ，其中 C 、 k_p 为置信系数。所以 $U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$ 。

3. 节拍器周期 T_0 的测量值为 $T_0 = \bar{T} \pm U$, $P = 0.95$ 。

四. 实验仪器

- 电子节拍器
- 秒表

五.实验内容

- 1.用秒表测量电子节拍器周期 T_i ，测量次数为 $N = 200$ 。
- 2.计算周期量的平均值 \bar{T} 和标准差 σ 。
- 3.根据测量结果的离散程度和极差 $R = \max(T_i) - \min(T_i)$ ，设置合理步长 ΔT ，个数为 M 。
- 4.统计每个区间的频数 N_i ，计算频率 $f_i = \frac{N_i}{N}$ 和概率密度 $p_i = \frac{f_i}{\Delta T}$ ，绘制概率分布直方图 $p - T$ 。
- 5.计算正太分布函数 $p(T)$ ，并绘制正太分布曲线。
- 6.在 $p - T$ 图中绘制 $p(T)$ 正太分布的散点图，检验测量结果是否符合正太分布。
- 7.分别统计在 $|\bar{T} - \sigma|$ 、 $|\bar{T} - 2\sigma|$ 、 $|\bar{T} - 3\sigma|$ 范围内的概率，与理论值比较
- 8.计算周期量的A类不确定度 U_A 和B类不确定度 U_B ，计算周期量的总不确定度 U ，得出结论

六.实验数据

见时间统计分布规律实验数据记录表

七.数据处理

基本统计量

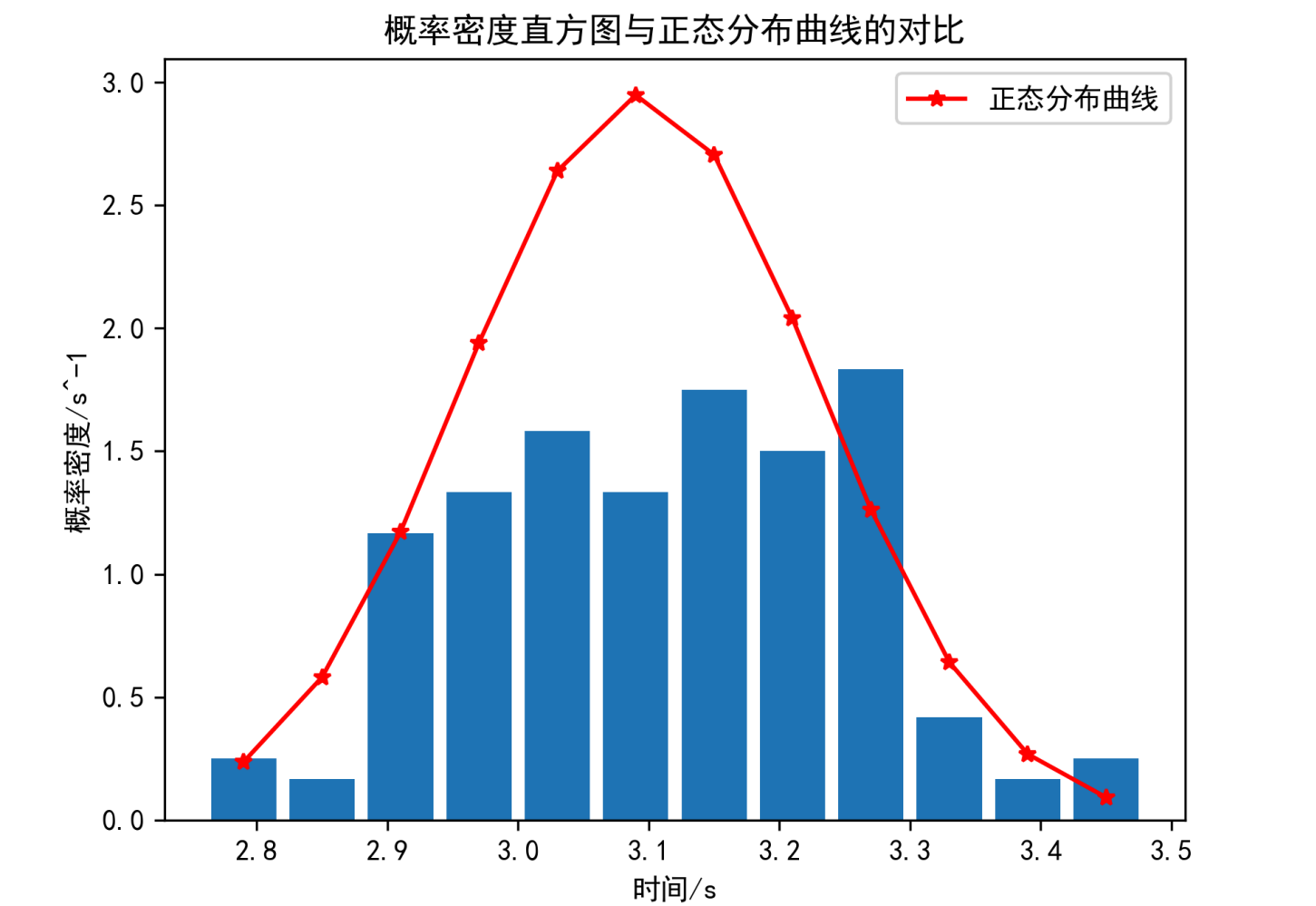
$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum T_i = 3.09s, \sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_i - \bar{T})^2}{n-1}} = 0.135s, R = \max(T_i) - \min(T_i) = 0.72s$$

概率密度直方图与正态分布曲线的对比

将数据分为 $M = 12$ 个区间，步长 $\Delta T = 0.06s$ ，区间范围为 $[2.88, 3.54]$ ，数据处理见下表

| 区间 | 频数 | 频率 | 概率密度 | 正态分布 |
|--------------|----|------|------|------|
| [2.76, 2.82] | 3 | 0.01 | 0.25 | 0.24 |
| (2.82, 2.88] | 2 | 0.01 | 0.17 | 0.58 |
| (2.88, 2.94] | 14 | 0.07 | 1.17 | 1.17 |
| (2.94, 3.00] | 16 | 0.08 | 1.33 | 1.94 |
| (3.00, 3.06] | 19 | 0.10 | 1.58 | 2.64 |
| (3.06, 3.12] | 16 | 0.08 | 1.33 | 2.95 |
| (3.12, 3.18] | 21 | 0.10 | 1.75 | 2.71 |
| (3.18, 3.24] | 18 | 0.09 | 1.50 | 2.04 |
| (3.24, 3.30] | 22 | 0.11 | 1.83 | 1.26 |

| 区间 | 频数 | 频率 | 概率密度 | 正态分布 |
|--------------|----|------|------|------|
| (3.30, 3.36] | 5 | 0.03 | 0.42 | 0.64 |
| (3.36, 3.42] | 2 | 0.01 | 0.17 | 0.27 |
| (3.42, 3.48] | 3 | 0.01 | 0.25 | 0.09 |



结果基本符合正态分布

检验 $1\sigma, 2\sigma, 3\sigma$ 范围内的概率

| 范围 | 频数 | 实验值 | 理论值 |
|--|-----|-------|-------|
| $(\bar{T} - \sigma, \bar{T} + \sigma)$ | 133 | 66.5% | 68.3% |
| $(\bar{T} - 2\sigma, \bar{T} + 2\sigma)$ | 191 | 95.5% | 95.4% |
| $(\bar{T} - 3\sigma, \bar{T} + 3\sigma)$ | 200 | 100% | 99.7% |

计算不确定度

$$U_A = \frac{\sigma * t_p}{\sqrt{n}} = \frac{0.135 * 1.96s}{\sqrt{200}} = 0.019s$$

$$U_B = \frac{\sqrt{\Delta_{估}^2 + \Delta_{仪}^2}}{C} * k_p = \frac{\sqrt{0.01^2 + 0.2^2}}{1} * 1.96 = 0.39s$$

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_B^2} = \sqrt{0.019^2 + 0.39^2} = 0.39s$$

计算周期量的测量值

$$T_0 = \bar{T} \pm U = 3.09 \pm 0.39s$$

八.误差分析

- 1.测量时反应时间的误差
- 2.实验人员的心态变化导致的误差
- 3.秒表仪器和电子节拍器的误差

九.实验结论

重复使用秒表测量电子节拍器的周期T,并使用统计学方法可以求得较准确的周期T。实验中随机误差大致符合正态分布,且在 $|\bar{T} - \sigma|$ 、 $|\bar{T} - 2\sigma|$ 、 $|\bar{T} - 3\sigma|$ 范围内的概率与理论值相符。200次重复测量后,周期量的测量值为 $T_0 = \bar{T} \pm U = 3.09 \pm 0.39s(p = 0.95)$

十.思考题

- 1.仪器精度不足,实验员操作不当导致误差较大,实验环境导致实验员分心导致反应变慢
- 2.随机误差基本服从以0为均值的正态分布,随机分布误差的概率密度趋近一个确定值,随机误差对精确测量结果的影响变小