

# 物理实验报告纸



SUSTech

明德求是  
日新自强

学号: 12313124 姓名: 姜海洋 日期: 2023.9.26 星期 二 上午

## 1. 实验名称

时间测量中随机误差的分布规律

## 2. 实验目的

认识多次重复等精度测量过程中随机误差的离散性和分布规律, 学习直接测量量的不确定度计算和表示方法.

## 3. 实验仪器

电子节拍器, 秒表

## 4. 实验原理

本实验使用秒表重复测量电子节拍器的周期  $T$ , 测量结果记为  $T_1, T_2, \dots, T_n$ . 如果测量次数足够多, 那么测量结果处于  $T$  附近的概率密度趋近于正态分布.

① 周期测量结果的概率密度函数的理论公式为  $p(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}]$ . 其中,  $\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$  表示周期测量值的平均值,  $\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^n (T_j - \bar{T})^2 / (n-1)}$  表示周期测量值的标准差.

② 测量结果处于置信区间  $[\bar{T}-\sigma, \bar{T}+\sigma]$ ,  $[\bar{T}-2\sigma, \bar{T}+2\sigma]$  和  $[\bar{T}-3\sigma, \bar{T}+3\sigma]$  内的置信概率  $P$  的理论值分别为 0.683, 0.954 和 0.997.

③ 计算周期<sup>测</sup>量的 A 类标准不确定度:  $u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ .

周期测量的 B 类标准不确定度:  $u_B = \sqrt{\Delta_{\text{估}}^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} / C$ . 其中,  $C$  为置信系数

不确定度的合成和扩展公式为:  $u_p = \sqrt{(t_p u_A)^2 + (k_p u_B)^2}$ .  $t_p$  和  $k_p$  分别为因子和包含因子

④ 周期测量结果的正确表达的理论公式为

$$T = \bar{T} \pm u_p \quad P = 0.95$$



扫描全能王 创建



# 物理实验报告纸



SUSTech

明德求是  
日新自强

学号: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_ 星期: \_\_\_\_\_ ☐上午 ☐下午

## 5. 实验内容:

- ① 用秒表测量电子节拍器周期, 测量  $n$  组数据,  $n=210$ .
- ② 计算测量结果的平均值  $\bar{T}$  和标准差  $\sigma$ .
- ③ 根据测量结果的离散程度和极限差  $R=T_{\max}-T_{\min}$ , 合理设置  $n$  区间步长  $\Delta T$  和个数  $K$ .
- ④ 统计区间  $[T_i-\Delta T/2, T_i+\Delta T/2]$  内的频数  $n_i$  (数据点个数), 概率  $P_i(n_i/n)$  和概率密度  $p_i(n_i/n/\Delta T)$ , 并绘制  $P_i$  随区间中值  $T_i$  变化的直方图.
- ⑤ 计算正态分布函数  $f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{(T-\bar{T})^2}{2\sigma^2}]$  在各中值  $T_i$  位置的函数值.
- ⑥ 在  $P_i \sim T_i$  直方图上添加  $f(T_i) \sim T_i$  散点图, 检验测量结果是否符合正态分布.
- ⑦ 分别统计测量结果出现在置信区间  $[\bar{T}-\sigma, \bar{T}+\sigma]$ ,  $[\bar{T}-2\sigma, \bar{T}+2\sigma]$  和  $[\bar{T}-3\sigma, \bar{T}+3\sigma]$  内的概率  $P$ , 并与理论值比较.
- ⑧ 计算测量结果的 A 类标准不确定度和 B 类标准不确定度, 并写出置信概率为  $P=0.95$  时的测量结果完整表达式.

## 6. 数据记录

用秒表测量电子节拍器周期, 记录 210 组周期测量数据.

原始数据见数据记录表.

## 7. 数据处理

- ① 用 excel 统计测量结果的平均值  $\bar{T}$  和标准差  $\sigma$ .  
详细结果见附表 1, 得到  $\bar{T}=3.0202s$ ,  $\sigma=0.1035$
- ② 由离散程度和极限差  $R=T_{\max}-T_{\min}$ , 设置  $n$  区间步长  $\Delta T=0.05s$ , 个数  $K=17$ .
- ③ 统计数据 (见附表 2), 计算正态分布函数 (见附表 2), 并绘制相应的直方图和散点图 (见附图 1). 检验发现测量结果基本符合正态分布.
- ④ 统计测量结果出现在置信区间内的概率, 并与理论值比较.

置信区间	$[\bar{T}-\sigma, \bar{T}+\sigma]$	$[\bar{T}-2\sigma, \bar{T}+2\sigma]$	$[\bar{T}-3\sigma, \bar{T}+3\sigma]$
概率	0.700	0.976	0.991
理论值	0.683	0.954	0.997

比较  
检验发现  
结果较接  
近理论值



扫描全能王 创建



# 物理实验报告纸



SUSTech

明德求是  
日新自强

学号: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_ 星期: \_\_\_\_\_ ☐ 上午 ☐ 下午

## ⑤ A类不确定度

标准

$$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.1035}{\sqrt{210}} = 0.0071 \text{ s}$$

B类标准不确定度

$$\Delta_{\text{估}} = 0.1 \times 2 = 0.2 \text{ s} \quad \Delta_{\text{仪}} = 0.01 \text{ s} \quad \text{正态分布置信系数取3, 即 } C=3$$

$$u_B = \sqrt{\Delta_{\text{估}}^2 + \Delta_{\text{仪}}^2} / C = \sqrt{0.2^2 + 0.01^2} / 3 = 0.0668 \text{ s}$$

不确定度的合成

$$t_{0.95} = 1.96 \quad k_{0.95} = 1.96$$

$$u_p = \sqrt{(t_{0.95} u_A)^2 + (k_{0.95} u_B)^2} = \sqrt{(1.96 \times 0.0071)^2 + (1.96 \times 0.0668)^2} = 0.13 \text{ s}$$

## ⑥ 测量结果完整表达式

$$T = 3.02 \pm 0.13 \text{ s}, P=0.95$$

## 8. 思考题:

① Q: 若测量结果偏离正态分布, 请分析其主要原因.

A: 1° 人为误差: 实验者在长时间测量时注意力紧张, 易疲惫, 且多人同时测量易产生相互干扰, 导致测量出现误差.

2° 测量次数有限

3° 测量仪器自身精度有限, 测量结果不完全准确.

② Q: 在不考虑系统误差的前提下, 多次等精度测量的随机误差分布有哪些特征?

A: 1° 对称性: 即正误差与负误差出现概率大致相等, 在均值处对称.

2° 有界性: 一定条件下, 标准差绝对值有一定限度.

3° 单峰性: 和平均值相差越大的数据出现概率越小.

4° 抵偿性: 标准差的算术平均值随  $n \rightarrow \infty$  而趋于零.



扫描全能王 创建

# 物理实验报告纸



明德求是  
日新自强

学号: \_\_\_\_\_ 姓名: \_\_\_\_\_ 日期: \_\_\_\_\_ 星期: \_\_\_\_\_ ☐ 上午 ☐ 下午

## 9. 实验结论:

本实验使用秒表重复测量电子节拍器的周期 $T$ , 并利用统计学方法计算得到电子节拍器的周期 $T$ 。由于测量次数有限, 测量者与测量仪器均有一定反应时间等因素, 随机误差分布与正态分布有一定偏离, 但总体基本符合正态分布规律。

经过210次测量, 待测节拍器的周期为  $T = 3.02 \pm 0.13 \text{ s}$ ,  $P = 0.95$ 。



扫描全能王 创建

# 物理实验报告纸



明德求是  
日新自强

学号: 12313124 姓名: 余世平 日期: 2023.9.26 实验室: P4119 星期 二 ☐ 上午 ☒ 下午

用秒表测量机械节拍器的周期, 记录数据, 见下表:

时间统计分布规律实验数据记录表 (单位:秒)

1	2.94	2.88	3.06	3.10	2.94	2.81	2.93	2.91	2.97	3.03
2	2.87	3.06	3.09	2.94	2.87	3.00	2.96	3.10	2.81	3.12
3	2.97	3.12	3.06	3.16	3.28	3.03	3.03	2.94	2.87	2.97
4	2.97	3.09	2.97	3.06	3.00	2.88	2.97	2.91	2.87	2.94
5	3.12	3.06	3.12	3.12	3.03	3.03	3.09	2.88	3.09	3.03
6	3.00	3.06	3.00	3.03	3.09	2.81	3.03	2.94	3.06	3.15
7	2.94	2.97	2.94	3.06	2.94	2.96	3.03	3.09	2.87	2.91
8	3.00	2.97	3.09	2.84	3.19	2.53	3.09	3.00	3.22	3.06
9	3.09	3.03	2.91	2.88	3.03	3.07	2.88	3.00	2.94	3.06
10	2.93	2.87	3.03	3.06	2.88	3.13	3.00	2.97	3.12	3.12
11	3.00	3.09	2.91	2.81	3.06	3.09	3.12	3.12	2.88	3.00
12	3.19	3.06	2.87	3.03	3.25	2.91	3.12	3.15	3.09	3.03
13	3.06	3.19	3.06	3.06	3.06	3.00	3.03	3.18	3.06	3.00
14	3.06	3.00	3.06	3.15	3.00	2.97	3.12	2.97	2.90	3.03
15	3.06	3.15	3.03	3.00	3.15	3.06	3.03	3.34	2.97	2.97
16	3.22	3.06	2.69	3.00	3.03	3.00	3.09	3.06	2.84	3.12
17	3.15	2.91	3.06	3.15	3.12	3.12	3.06	3.03	3.09	2.94
18	3.03	3.09	3.06	2.85	3.03	3.06	3.12	2.87	3.06	2.97
19	2.97	2.93	2.97	2.22	2.97	3.03	3.03	3.06	3.09	2.97
20	3.00	2.97	3.06	3.10	3.09	3.00	2.94	3.03	3.00	3.06
21	3.12	3.09	3.18	2.78	2.96	3.15	3.06	3.03	3.09	3.00

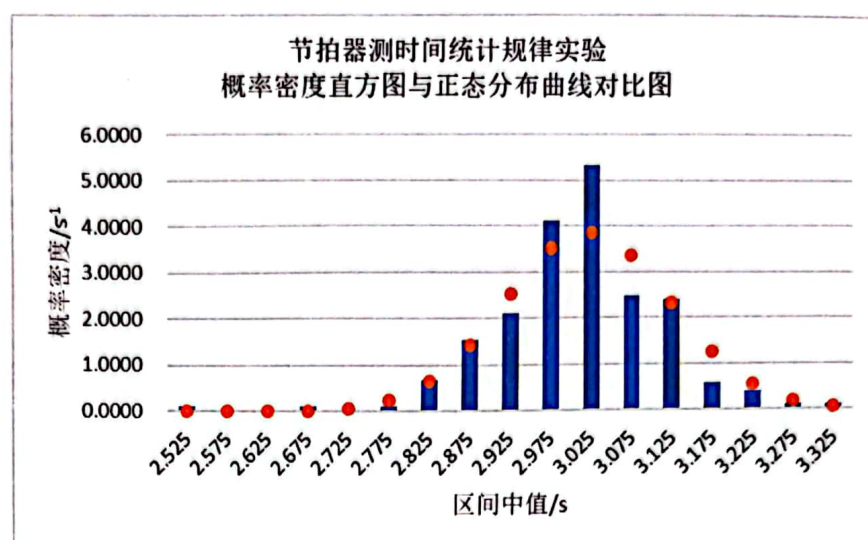
H. Zhang  
26 SEP 2023



扫描全能王 创建



列 1	
平均	3.0202
标准误差	0.0071
中位数	3.03
众数	3.06
标准差	0.1035
方差	0.0107
峰度	2.2799
偏度	-0.584
区域	0.81
最小值	2.53
最大值	3.34
求和	634.25
观测数	210



附图 1

附表 1

区间/s	区间中值/s	频数	概率	概率密度/s <sup>-1</sup>	正态分布/s <sup>-1</sup>
[2.50, 2.55)	2.525	1	0.0048	0.0952	0.0000
[2.55, 2.60)	2.575	0	0.0000	0.0000	0.0004
[2.60, 2.65)	2.625	0	0.0000	0.0000	0.0026
[2.65, 2.70)	2.675	1	0.0048	0.0952	0.0148
[2.70, 2.75)	2.725	0	0.0000	0.0000	0.0659
[2.75, 2.80)	2.775	1	0.0048	0.0952	0.2327
[2.80, 2.85)	2.825	7	0.0333	0.6667	0.6507
[2.85, 2.90)	2.875	16	0.0762	1.5238	1.4403
[2.90, 2.95)	2.925	22	0.1048	2.0952	2.5248
[2.95, 3.00)	2.975	43	0.2048	4.0952	3.5044
[3.00, 3.05)	3.025	56	0.2667	5.3333	3.8516
[3.05, 3.10)	3.075	26	0.1238	2.4762	3.3520
[3.10, 3.15)	3.125	25	0.1190	2.3810	2.3100
[3.15, 3.20)	3.175	6	0.0286	0.5714	1.2605
[3.20, 3.25)	3.225	4	0.0190	0.3810	0.5447
[3.25, 3.30)	3.275	1	0.0048	0.0952	0.1864
[3.30, 3.35]	3.325	1	0.0048	0.0952	0.0505

附表 2

