

2008-2009 第 1 学期《基础物理实验》期末试题 A

一、单项选择题 (每题 3 分, 共 30 分)

1. 在同一被测量的多次测量过程中, 保持恒定或以可以预知方式变化的那一部分误差称为 (b)。
- a. 仪器误差 b. 系统误差 c. 随机误差 d. 粗大误差
2. 平均值的标准 (偏) 差 $S(\bar{x})$ 的计算公式是 (D)。
- a. $\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{k-1}}$ b. $\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})}{k(k-1)}}$ c. $\sqrt{\frac{\sum(x_i - A)^2}{k}}$ d. $\sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{k(k-1)}}$
3. 用停表测量单摆周期, 启停一次秒表的误差 $\Delta_{\text{停表}}$ 不会超过 0.2s。实验测出 10 个周期的时间为 10T=22.02s, 则其不确定度 $u(T) =$ (a) 秒。
- a. 0.01 b. 0.1 c. 0.02 d. 0.2
- $u(T) = \frac{\Delta_{\text{停表}}}{10} = \frac{0.2}{10} = 0.02$

4. 欲用伏安法测量一阻值约 200Ω 的电阻, 要求测量结果的相对不确定度 $\frac{u(R)}{R} < 1\%$, 应选择下列 (a) 组仪器。(提示: 不计电表内阻的影响和 A 类不确定度)
- a. 电流表 1.0 级, 量程 10mA; 电压表 1.0 级, 量程 2V
- b. 电流表 1.5 级, 量程 10mA; 电压表 1.5 级, 量程 2V
- c. 电流表 2.5 级, 量程 15mA; 电压表 2.5 级, 量程 2V
- d. 电流表 0.5 级, 量程 50mA; 电压表 0.5 级, 量程 2V
- $R = \frac{U}{I}$ $\ln R = \ln U - \ln I$ $\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I}$

5. 某长度测量值为 2.130mm, 则所用仪器可能是 (c)。
- a. 毫米尺 b. 50 分度卡尺 c. 20 分度卡尺 d. 千分尺

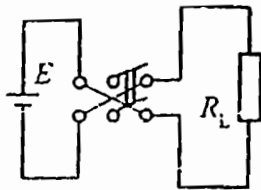
6. 已知 $N = x + \frac{1}{2}y^2$, 则其不确定度 (c)。
- a. $u^2(N) = u^2(x) + \frac{1}{2}y^2u^2(y)$ b. $u^2(N) = u^2(x) + \frac{3}{2}y^2u^2(y)$
- c. $u^2(N) = u^2(x) + \frac{9}{4}y^4u^2(y)$ d. $u^2(N) = u^2(x) + \frac{9}{4}u^2(y)$
- $\Delta N = \Delta x + \frac{1}{2} \cdot 2y \cdot \Delta y = \Delta x + y \Delta y$

7. $\frac{200 + (100 - 80)}{1010 \times (0.010 + 0.000251)} =$ (a)。
- a. 21 b. 21.2 c. 21.25 d. 22

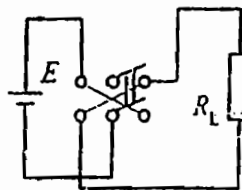
8. 用作图法处理数据时, 为保证精度, 至少应使坐标纸的最小分格和测量值的 (B) 相对应。
- a. 最后一位有效数字 b. 最后一位准确数字
- c. 第一位有效数字 d. 第二位有效数字

9. 下列关于测量的说法中 (b) 是错误的。
- a. 测量是为确定被测对象的量值而进行的一组操作
- b. 测量结果是根据已有信息和条件对被测量量值作出的最佳估计, 也就是真值的最佳估计
- c. 在相同测量条件下, 对同一被测量进行多次测量所得结果的一致性称为测量结果的重复性
- d. 在不同测量条件下, 对同一被测量进行多次测量所得结果的一致性称为测量结果的复现性

10. 以下第 10 题图示电路中, (d) 构成了换向电路。

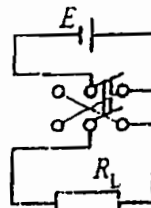


a.

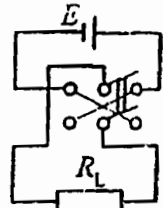


b.

第10题图



c.



d.

二、填空题 (每题3分, 共15分)

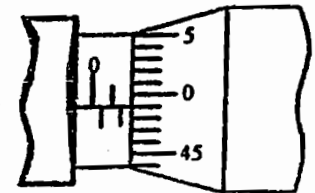
$$10 \times 0.1\% = 0.01\%$$

11. 利用量程为 10mA 的 0.5 级电流表 (其误差为均匀分布) 一次测得电路中的电流 I 为 5mA, 这一结果应完整表示为 $I \pm u(I) = (5 \pm 0.03) \text{mA}$.

12. 按有效数字运算法则计算 $\frac{200 \times 1000}{12.60 - 11.6} = 2.00 \times 10^5$

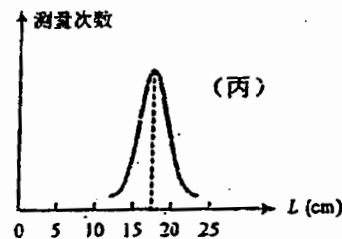
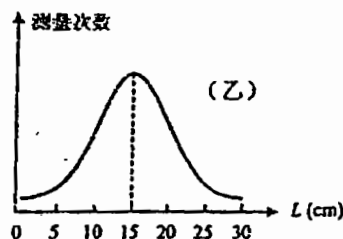
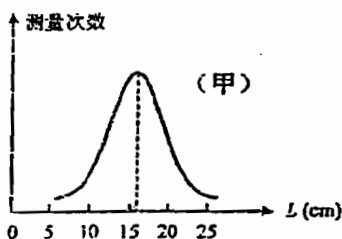
13. 计算 $y = \tan 60^\circ 3' = 1.7355 \pm 0.0016$

14. 用螺旋测微器测得线状元件的直径如第 14 题图所示, 则该元件的直径是 1.990 mm .



第14题图

15. 甲、乙、丙三人分别对一个长度为 15cm 的物体进行多次测量, 测量结果的分布情况如第 15 题图所示, 由此说明 丙 (甲, 乙, 丙) 测量的精密度最高。



第15题图

三、多项选择题 (每题3分, 共15分)

16. 对服从正态分布的随机误差, 下列说法哪些是正确的?

(BC)

- a. 绝对值大的误差比绝对值小的误差出现的概率大
b. 大小相等而符号相反的误差出现的概率相同
c. 在一定测量条件下, 误差的绝对值不超过一定限度
d. 误差的算术平均值随测量次数 k 的增加而趋于零

17. 下列说法中哪些是正确的?

(AB)

- a. 在不同的实验条件下, 系统误差和随机误差可以相互转化
b. 在给定的条件下, 系统误差的大小和符号不随测量次数而改变
c. 随机误差可以通过多次重复测量发现并消除
d. 一组测量数据中, 出现异常的值即为粗大误差, 应予以剔除

18. 指出下列关于仪器误差的叙述哪些是错误的 (按物理实验课的简化要求)?

(a, c)

(A, D)

- a. 磁电式仪表的仪器误差 = 等级% × 测量值 × 量程
 b. 箱式电桥 $\Delta_R = \text{等级}\% \left(\text{测量值} + \frac{\text{基准值}}{10} \right)$
 c. 千分尺的仪器误差等于最小分度的一半 ✓
 d. 游标卡尺的仪器误差等于游标精度的一半 ✓

19. 不确定度是在修正了可定系统误差以后, 将余下的全部误差按产生原因及计算方法不同分为 A、B 两类, 下面哪些属于 B 类分量. 由统计方法求得: a, b, c 由非统计方法求得: d
 (A, C, D)

- a. 由测量仪器产生的误差分量 ✓
 b. 同一条件下的多次测量值按统计方法计算的误差分量 ✓
 c. 由环境产生的误差分量
 d. 由测量条件产生的误差分量 ✓

20. 在现在使用的教材中, 用 $u = \sqrt{u_a^2 + u_b^2}$ 表示直接测量量的合成不确定度, 其中: $u_a = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$, $u_b = \frac{\Delta}{\sqrt{3}}$.

下面的理解哪些是正确的?

(C)

- a. u_b 仅是仪器误差的影响 ✓
 b. 一般 u_b 远大于 u_a ✓
 c. u_b 采用了近似均匀分布的处理 ✓
 d. 合成后的置信概率接近 68.3% ✓ (除去系统误差以后不是 68.3%)

四、实验类题 (12 题中任选 8 题, 每题 4 分, 共 32 分. 若多做, 按前 8 题给分)

21. (单项选择题) 在测定冰的熔解热实验中, 我们应用了牛顿冷却定律对系统散热进行修正. 当温度差较小时, 根据牛顿冷却定律, 下列说法中 (d) 是正确的.

- a. 系统散失的热量与温度成正比
 b. 系统散失的热量与温度差成正比
 c. 系统的散热速率与温度成正比
 d. 系统的散热速率与温度差成正比

22. (单项选择题) 测量低值电阻时, 通过电阻的电流通常比较大, 从而产生大量焦耳热. 由于电路各部分结构不均匀, 造成各部分温度也不均匀, 于是产生附加热电动势. 为了消除附加热电动势对测量的影响, 实验中应当 (b).

- a. 多测几组数据
 b. 电流正、反向测量取平均值
 c. 关掉电源, 过一会再测
 d. 用其它方法测量

23. (单项选择题) 标准电池在 20°C 时的电动势为 1.01860V, 如果环境温度改变为 18°C, 标准电池的电动势将为 (C).

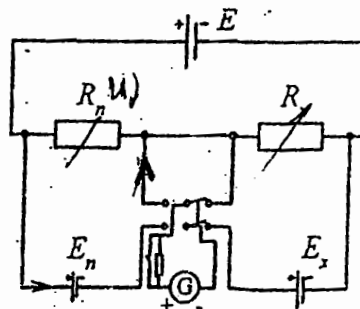
- a. = 1.5V
 b. = 1.01860V
 c. > 1.01860V
 d. < 1.01860V

$$E_2 = [1 + A(t - 20) + B(t - 20)^2]$$

24. (单项选择题) 自组法测干电池电动势的电路如第 24 题图所示. 在对 E_n 进行补偿调节时, 若发现检流计指针向 “+” 方向偏转, 则应当 (C).

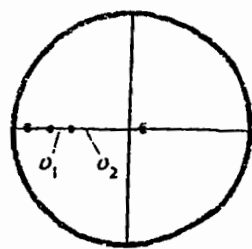
- a. 增大 R_n
 b. 减小 R_n
 c. 增大 R_x ✓
 d. 减小 R_x

R_n 已经调至最大
只调 R_x



第 24 题图

25. (单项选择题) 双棱镜干涉实验调凸透镜与测微目镜等高共轴时, 若观察到缩小像的中心 O_1 和放大像的中心 O_2 均在叉丝的左侧 (如第 25 题图), 则下面应按 (b) 进行调整。



第 25 题图

- a. 成小像时左调叉丝与 O_1 重合, 成大像时左调透镜使 O_2 与叉丝重合
- b. 成小像时左调叉丝与 O_1 重合, 成大像时右调透镜使 O_2 与叉丝重合
- c. 成小像时右调透镜使 O_1 与叉丝重合, 成大像时左调叉丝与 O_2 重合
- d. 成小像时右调透镜使 O_1 与叉丝重合, 成大像时右调叉丝与 O_2 重合

26. (单项选择题) 在分光仪实验中, 当调节望远镜叉丝套筒使绿“+”反射像正好落在叉丝平面上, 即叉丝与绿“+”字反射像无视差时, 说明 (a)

- a. 望远镜可以接收平行光了, ☒
- b. 平行光管可以出射平行光了
- c. 望远镜的光轴与中心轴垂直了 ☒
- d. 望远镜的光轴和载物台面都与中心垂直了

27. (多项选择题) 钢丝的杨氏模量与下列哪些因素有关?

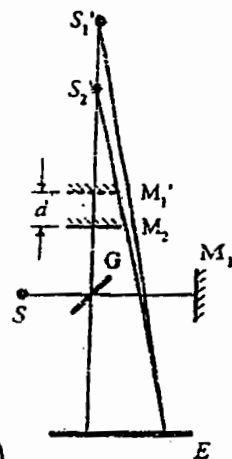
- a. 所加外力大小 ☒
- b. 钢丝伸长量 ☒
- c. 钢丝直径 ☒
- d. 材料性质 ☒

28. (多项选择题) 为了满足透镜成像公式 $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ 的成立条件, 一般应采取下列哪些措施?

- a. 选用小物体 ☒
- b. 选用薄透镜 ☒
- c. 进行等高共轴调节 ☒
- d. 在透镜前加光阑 ☒

29. (判断对错题) 试判断下列关于牛顿环干涉实验的叙述正确与否。对者在括号中打“√”, 错者打“×”。

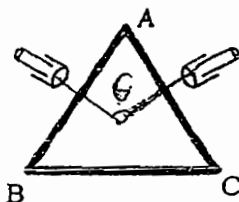
- a. 当照射光源为白光时, 将看不到任何干涉条纹 (×)
- b. 读数显微镜调焦是调节像距 (√)
- c. 在计数条纹级次时, 其干涉条纹的中心级次可从任何数算起 (×)
- d. 要自上而下调节读数显微镜焦距 (×)



第 30 题图

30. (填空题) 用迈克尔逊干涉仪观察点光源的非定域等倾干涉条纹 (如第 30 题图), 若发现条纹过密, 应该改变动镜位置使 d ↓ (增大、减小), 这时会观察到条纹 内 (内缩、外扩) $2d \sin \theta = k\lambda$

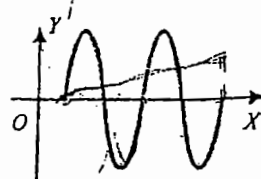
31. (填空题) 用分光仪测棱镜顶角的另一种方法是自准法: 将望远镜对准棱镜的光学面 AB (如第 31 题图), 并使反射回来的绿十字与上叉丝重合, 读出此时的左窗读数 $\phi_{\text{左}} = 53^\circ 11'$, $\phi_{\text{右}} = 233^\circ 15'$; 在 AC 面重复上述过程, 相应的读数为 $\phi'_{\text{左}} = 173^\circ 15'$, $\phi'_{\text{右}} = 353^\circ 17'$ 。则角 A 的计算公式是 $\frac{\phi_{\text{左}} - \phi_{\text{右}}}{2} - \frac{\phi'_{\text{左}} - \phi'_{\text{右}}}{2} + 180^\circ$



第 31 题图

(用 $\phi_{\text{左}}$ 、 $\phi_{\text{右}}$ 、 $\phi'_{\text{左}}$ 和 $\phi'_{\text{右}}$ 表出), 数值计算结果 $A = 56^\circ 47'$

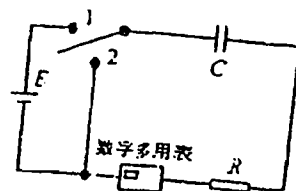
32. (填空题) 当示波器 Y 轴输入信号的频率为 600Hz, 屏上出现第 32 题图所示二个完整的波形。试给出相应的锯齿波扫描频率 $f_s = 300$ Hz



第 32 题图

五、计算题 (8 分)

33. 测量电容的电路如第 33 题图所示。其中电源电压为 6V, 电阻 $R=12\text{k}\Omega$, 串在电路中的数字多用表调至微安档。实验时先将开关接 1 对电容进行充电, 当充电结束后, 将开关迅速扳到 2, 每隔一段时间记录一次电流值, 测量数据如下表所示:



第 33 题图

t/s	0	5.00	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00
$I/\mu\text{A}$	498	370	280	220	165	95	50	22	16	10	5

已知电容放电满足关系式 $I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, 试用一元线性回归法计算电容器的电容 $C \pm u(C)$. (不考虑 B 类不确定度; 电阻 R 按常数处理) $\ln I = \ln I_0 - \frac{t}{RC}$

【提示: 对直线 $y = a + bx$, 有回归系数公式 $b = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}$, $a = \bar{y} - b\bar{x}$, 相关系数 $r = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}}$

$$u_x(b) = b \sqrt{\frac{1}{k-2} \left(\frac{1}{r^2} - 1 \right)}, \quad u_x(a) = \sqrt{x^2} \cdot u_x(b)$$

$$\ln I = y, \quad t = x, \quad a = \ln I_0, \quad b = -\frac{1}{RC}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} t_i = 34.5455, \quad \bar{y} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} \ln I_i = 4.22727$$

$$\bar{x}^2 = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} t_i^2 = 1877.2727$$

$$\bar{y}^2 = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} (\ln I_i)^2 = 17.94814$$

$$\bar{xy} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} t_i \ln I_i = 166.1254$$

$$b = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2} = \frac{166.1254 - 34.5455 \times 4.22727}{1877.2727 - 34.5455^2} = \frac{106.62540}{-0.05762} = -1851.41$$

$$r = \frac{\bar{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}} = \frac{106.62540 - 34.5455 \times 4.22727}{\sqrt{(1877.2727 - 34.5455^2)(17.94814 - 4.22727^2)}} = -0.99829$$

$$u_x(b) = b \sqrt{\frac{1}{k-2} \left(\frac{1}{r^2} - 1 \right)} = -0.05762 \times \sqrt{\frac{1}{11-2} \left(\frac{1}{(-0.99829)^2} - 1 \right)} = -1.12416 \times 10^{-3}$$

$$\text{由于 } b = -\frac{1}{RC}, \quad R = 12\text{k}\Omega, \quad \text{故 } C = -\frac{1}{Rb} = -\frac{1}{12 \times 10^3 \times (-0.05762)} \text{ F} = 1.4463 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$u(C) = \frac{1}{Rb^2} u_x(b) = \frac{1}{12 \times 10^3 \times (-0.05762)^2} \times (-1.12416 \times 10^{-3}) \text{ F} = \frac{2.823 \times 10^{-5} \text{ F}}{0.001111} = 0.02823 \times 10^{-3} \text{ F}$$

$$\text{所以电容器电容为 } C \pm u(C) = (1.45 \pm 0.03) \times 10^{-3} \text{ F}$$

100

第一部分 物理实验经典试题选编

94 级物理实验试题

1. 计算器得出 $\cos 30^\circ 3' = 0.86558874$, 根据不确定度传递的一般原则, 应有几位有效数字?

解: $y = \cos x = \cos 30^\circ 3' = 0.865588741$

$$dy = -\sin x dx, \Delta y = -\sin x \Delta x$$

$$\Delta x = 1' = \frac{1^\circ}{60} = \frac{1}{60} \times \left\{ \frac{\pi}{180} \right\} = 0.00029$$

$$\Delta y = -\sin x \Delta x = -\sin 30^\circ 3' \cdot 0.00029 = -0.000145$$

$$y = 0.8656 \pm 0.0001$$

有四位有效数字。

(注意: 角度的计算题求不确定度时要化为弧度)

2. 分别用米尺 (钢板尺), 最小分度 0.05mm 游标卡尺和千分尺测量同一长度, 如果示值都是 5mm , 写出这三个结果 (不要求写出不确定度): 米尺 5.0mm , 游标卡尺 5.00mm , 千分尺 5.000mm .

3. 精密度高表示测量结果的 随机 误差小, 正确度高表示测量结果的 系统 误差小, 准确度高表示测量结果与 真值 相符合的程度高。

4. 甲乙两个同学用最小分度为 1mm 的米尺测同一圆柱的直径 D , 各测 5 次, 得其平均值均为 5.00cm , 但随机误差引起的不确定度 (标准差) 不相同, 甲为 0.07mm , 乙为 0.4mm , 则甲的测量结果是 $5.00 \pm 0.03\text{cm}$, 乙的测量结果是 A 表。
 $5.00 \pm 0.05\text{cm}$ 。

米尺的仪器误差是长度值的一半。

甲 $u_a(L) = 0.07\text{mm}, u_b(L) = \frac{0.5\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.2889\text{mm}$

$$U(L) = \sqrt{u_a^2(L) + u_b^2(L)} = 0.0297\text{cm}$$

测量结果: $5.00 \pm 0.0297\text{cm}$, 修约 $5.00 \pm 0.03\text{cm}$

乙 $u_a(L) = 0.4\text{mm} \quad u_b(L) = \frac{0.5\text{mm}}{\sqrt{3}} = 0.2887\text{mm}$

$$u(L) = \sqrt{u_1^2(L) + u_2^2(L)} = 0.493 \text{ mm}$$

测量结果: $5.00 \pm 0.0493 \text{ cm} = 5.00 \pm 0.05 \text{ cm}$

5. 用千分尺测量金属球的直径一次, 得 $D = 5.002 \text{ mm}$, 若千分尺的仪器误差按最小分度的一半计算, 则直径的相对不确定度 $u(D)/D = \underline{0.058\%}$, 其体积的相对不确定度

$$u(V)/V = \underline{0.17\%}$$

解:

$$u(D) = \frac{0.005 \text{ mm}}{\sqrt{3}} = 0.002886 \text{ mm}$$

相对不确定度

$$\frac{u(D)}{D} = 0.058 \%$$

(相对不确定度保留两位有效数字)

$$V = \frac{4\pi}{3} \left(\frac{D}{2}\right)^3 = \frac{\pi D^3}{6} \quad \ln V = \ln \frac{\pi}{6} + 3 \ln D$$

求全微分:

$$\frac{dV}{V} = \frac{3dD}{D} \quad \underline{0.017\%}$$

$$\frac{u(V)}{V} = \frac{3u(D)}{D} = 0.17\%$$

95 级物理实验试题

1. 按有效数字运算法则, $75000 \div (17.00 - 1.0) = \underline{4.69 \times 10^3}$ 。

2. 一量 $H = xy^2$ 测得 $x = 15.0 \text{ cm}$, $y = 10.0 \text{ cm}$, x 与 y 的相对不确定度均为 1%, 则测得结果

$$H \pm u(H) = \underline{(1.50 \pm 0.03) \times 10^3 \text{ cm}^3} \quad \frac{u(H)}{H} = \sqrt{\frac{u^2(x)}{x^2} + \frac{4u^2(y)}{y^2}}$$

$$H = xy^2 \Rightarrow \ln H = \ln x + 2 \ln y \Rightarrow \frac{dH}{H} = \frac{dx}{x} + \frac{2dy}{y} \Rightarrow$$

微分法

$$\frac{u(H)}{H} = \sqrt{\frac{u^2(x)}{x^2} + \frac{4u^2(y)}{y^2}}$$

$$4.75 \cdot \frac{u(H)}{1500} = \sqrt{(0.01)^2 + 4(0.01)^2} \Rightarrow u(H) = 33.54$$

$$H \pm u(H) = (1.50 \pm 0.03) \times 10^3 \text{ cm}^3$$

(要求用误差传递公式计算最大不确定度 ΔH)

3. 一量 $Y = 2A - B$, A, B 为独立测量量, 则 Y 的最大不确定度为 $\varepsilon = \Delta Y / Y = 2\Delta A / A + \Delta B / B$ 是否正确?

答: 肯定不正确, 因为 $\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{2\Delta A}{A}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2}$ 。

平方和

(求不确定度和相对不确定度的公式很重要, 希望大家熟记!)

96 级物理实验试题

1. 甲、乙、丙三人用同一千分尺测同一物长度一次, 其结果 $H \pm u(H)$ 为

$$u(H) = \frac{\Delta}{\sqrt{3}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003$$

甲: $(1.383 \pm 0.002) \text{cm}$ 乙: $(1.382 \pm 0.002) \text{cm}$ 丙: $(1.383 \pm 0.0002) \text{cm}$

你的意见如何?

A、甲正确 B、乙正确 C、丙正确 D、三人都不正确

答: 都不正确!

$$\Delta_{\text{仪}} = 0.0005 \text{cm}, u(H) = 0.0005 / \sqrt{3} = 0.0003, H \pm u(H) = 1.3830 \pm 0.0003.$$

(区分仪器误差限和 b 类不确定度, 不是一个概念! $u_b = \Delta b / \sqrt{3}$)

2. 根据有效数字运算法则, 下面运算中哪个结果是错误的? C.

A、 $60.4 + 120.32 = 180.7$ B、 $60.40 - 58.30 = 2.10$

C、 $80.00 \times 1.20 = 96.00$ D、 $4000 \div 100 = 40.0$

答: C, 正确解为 $80.00 \times 1.20 = 96.0$ 。

3. 根据一组测量数据 $x_i, y_i (i = 1, 2, \dots, k)$, 按最小二乘原理求出的最佳直线 $y = a + bx$

到 $a+bx$ 距离最短

应满足 $\sum_{i=1}^k [y_i - (a + bX_i)]^2$ 为最小。

4. 一计算式 $Y = 1 + a/b$, 其中 “1” 为常数, $a = 1.000 \text{cm}, b = 20 \text{cm}$, 若要求 Y 有五位有效数字, 按有效数字运算法则, b 应有 3 位有效数字。

反推法: $a/b = 0.05, Y = 1 + a/b = 1.05$, 有五位有效数字是 1.0500, 那么

$a/b = 0.0500$ 应该有三位有效数字, a 已有四位, b 应是三位。1 为无穷位有效数字。

5. 用计算器得出 $e^{0.0024} = 1.0024029$, 根据不确定度合成的一般原则, 有效数字最多可写成

$e^{0.0024} = 1.0024$ 是否正确? 为什么? $dy = e^x dx$ $\Delta x = 0.0001$
 $\therefore \Delta y = e^x \cdot \Delta x$

正确, 过程自己推导。

$\therefore \Delta y \rightarrow 0.0001$

\therefore 有四位小数。

6. 一同学自组电桥电路测电阻 R_x , 所用另外三个电阻 R_i , R_b , R_n 中, R_n 为准确度等级

$a = 0.1$ 的电阻箱, 可作为标准电阻使用, 另两个电阻 R_i, R_b 不知其准确值, 调节 R_n ,

当 $R_n = 100.2 \Omega$ 时电桥达到平衡, 交换 R_x 和 R_n 位置, 再调 R_n 为 100.4Ω 时电桥重新平

衡, 又测得该电桥灵敏度 $S = 2$ 格/ Ω , 已知电阻箱仪器误差 $\Delta_{\text{仪}}(R_n) = a\% \cdot R_n$, 求

$R_x \pm u(R_x) = ?$ $R_x = \frac{R_n \cdot R_b}{R_i \cdot R_b}$ $R_x' = \frac{R_n' \cdot R_i}{R_b \cdot R_i}$ $\therefore R_x^2 = R_n \cdot R_n' \therefore R_x = \sqrt{R_n \cdot R_n'}$

解: 此题参照第四章的数据处理示例中电桥实验。

$\frac{u(R_x)}{R_x} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{u(R_n)}{R_n}\right)^2 + \left(\frac{u(R_n')}{R_n'}\right)^2}$

$u(R_x) = \frac{R_x}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{a\%}{100}\right)^2 + \left(\frac{a\%}{100}\right)^2}$

7. 金属电阻随温度变化的关系在温度不太高时是 $R = R_0(1 + \alpha t)$, 已测得某材料温度 t 变化

的实验数据如下表示。实验中的测量误差满足 $\Delta R \ll \Delta t$ 。要说明如何用归纳法求出电阻温度系数 α 和 0°C 时的电阻值。(只要求说明方法, 不要求给出线形回归的计算方式和结果)

$t / ^\circ\text{C}$	77.0	72.0	67.0	62.0	57.0	52.0	47.0
$R(\Omega)$	0.3616	0.3530	0.3490	0.3440	0.3380	0.3325	()

答: 由于测量误差满足 $\Delta R \ll \Delta t$, 故选与 R 有关的量为 x , 与 t 有关的量为 y ,

$R = R_0(1 + \alpha t)$ 变成 $t = \frac{R}{\alpha R_0} - \frac{1}{\alpha}$, 令 $y = t, x = R$, 由 $y = bx + a$ 可得:

$b = \frac{1}{\alpha R_0}, a = -\frac{1}{\alpha}$ 。用一元线性回归公式 $b = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \bar{y}}{\bar{x}^2 - x^2}$, $a = \bar{y} - b \bar{x}$ 计算出 a, b 后,

$\alpha = -\frac{1}{a}, R_0 = -\frac{b}{a}$ 。

8. 有一只 0.5 级电压表, 当量程选为 7.5V , 读数为 7.00V 时, 其测量结果的不准确度为

C。

A、 $\Delta U = 0.035\text{V}$ B、 $u(U) = 0.02\%$ C、 $\Delta U = 0.04\text{V}$ D、 $u(U) = 0.022\%$

$\alpha\% \cdot \frac{U_x}{U_m} = \text{相对不确定度}$

选 C。因为 $\Delta_{\text{仪}} = N_m \times a\% = 7.5 \times 0.5\% = 0.0375\text{V}$, 故 $u(U) = \Delta_{\text{仪}} / \sqrt{3}$

$$= 0.0216 \approx 0.02V。$$

9. 已知 t 有三位有效数字, C_0 有四位有效数字, $d_0 = 16.50cm$, $d_1 = 10.45cm$, 按有效数字

运算法则, $R_x = t / [(C_0 \ln(d_1 / d_0))]$ 有几位有效数字?

$$\text{由 } Y = \ln(d_1 / d_0) = \ln d_1 - \ln d_0 = -0.456758$$

$$\text{有 } dy = \sqrt{\left(\frac{d d_1}{d_1}\right)^2 + \left(\frac{d d_0}{d_0}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.01}{16.50}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{10.45}\right)^2} = 0.001133$$

$$\text{故 } y \pm u(y) = -0.457 \pm 0.001 \quad ?$$

10. 在声速测量实验中, 接受换能器连续读出 10 个振幅极大的位置(单位: cm): 3.900, 4.456, 4.904, 5.426, 5.930, 6.450, 6.978, 7.502, 8.026, 8.526。请你用逐差法算出空气中的声波的波长 λ 。

解: 距离为 L , 声波个数为 n , 则有 $L = \frac{n\lambda}{2} + L_0$, 令 $n = x, L = y$, 比较 $y = bx + a$, 有

$$\frac{\lambda}{2} = b, \lambda = 2b; \text{ 用公式 } b = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{y_{n+j} - y_n}{x_{n+j} - x_j} \quad (n \text{ 取 } 5). \quad = 0.51464$$

11. ZX-21 电阻箱的铭牌如下表所示, 若选用的电阻值 $R = 78.5k\Omega$, 其结果应表述为

$$R \pm u(R) = (78.50 \pm 0.05)k\Omega \quad \text{选用电阻值为 } 78.5\Omega \text{ 时, 其结果又应表述为 } (78.5 \pm 0.1)\Omega$$

$\times 10000$	$\times 1000$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 1$	$\times 0.1$
1000	1000	1000	2000	5000	5000×10^{-6}

$$(1) \quad \Delta_{\text{仪}}(R) = 78.5k\Omega \times 0.1\% = 0.0785k\Omega$$

$$u(R) = \Delta_{\text{仪}}(R) / \sqrt{3} = 0.0453k\Omega$$

$$R \pm u(R) = (78.50 \pm 0.05)k\Omega$$

$$(2) \quad \Delta_{\text{仪}}(R) = 70 \times 0.2\% + 8 \times 0.5\% + 0.5 \times 5\% = 0.205\Omega$$

$$u(R) = \Delta_{\text{仪}}(R) / \sqrt{3} = 0.018\Omega$$

$$R \pm u(R) = (78.5 \pm 0.1)\Omega$$

99 级物理实验试题

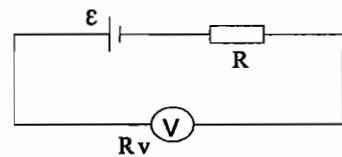
1. 测量电压表内阻 R_V 的线路如图所示。 R 为电阻箱， E 为稳压电源，其内阻可忽略不计。

实验测得一组不同 R 值时的电压表读数 v (见下表)。试用一元线性归纳法 (不要求计算相关系数和不确定度) 求出 R_V 。

R	20.0	50.0	100.0	200.0	300.0	400.0
v/V	2.80	2.72	2.60	2.38	2.20	2.04

(一元线性回归的计算公式为: $b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}$)

解: $a = \bar{y} - b\bar{x}$



$$v = E \times \frac{R_V}{R_V + R_x} \Rightarrow \frac{1}{v} = \frac{R_V + R_x}{E \cdot R_V} = \frac{R_x}{E \cdot R_V} + \frac{1}{E}$$

$y = a + bx$ 令 $y = 1/v$, 则 $x = R_x$ (由于 R_x 的有效数字多, 精度高, 故 R_x 用做 x)

$$a = 1/E, \quad b = 1/E \cdot R_V, \quad R_V = a/b.$$

i	1	2	3	4	5	6	平均
v	2.8	2.72	2.6	2.33	2.2	2.04	2.448333
y	0.357143	0.367647	0.384615	0.429185	0.454545	0.490196	0.413889
x	20	50	100	200	300	400	178.3333
xy	7.142857	18.38235	38.46154	85.83691	136.3636	196.0784	80.37762
x^2	400	2500	10000	40000	90000	160000	50483.33

$$b = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} = 0.000352,$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 0.351192,$$

$$R_V = a/b = 997.7\Omega.$$

(用各种处理方法时, 大家一定要参照书上数据处理的实例, 注意注意该列表的一定要列出; 画图时曲线的性质一定要正确, 试验点一定要用符号标出, 具体方法参照书本!)

△△△△

2. 用 mm 分度的钢卷尺测得某距离的长度 \tilde{h} 为 126.38cm 。其不确定度由两个分量合成：一是来自仪器误差，一是来自测量的误差。已知后者带入的不确定度 $u(h) = 0.03\text{cm}$ ，若仪器误差限按最小分度的一半，试写出结果的正确表述？

解：

$$\Delta_{\text{仪}}(h) = 0.05\text{cm} \Rightarrow u_b(h) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.02887\text{cm}$$

$$U(h) = \sqrt{U_a^2(h) + U_b^2(h)} = 0.0416\text{cm}$$

$$h \pm u(h) = 126.38 \pm 0.04\text{cm}$$

3. 对下列数据

$$m_1 = 3147.226\text{g}, \quad u(m_1) = 0.312\text{g}, \quad m_2 = 100.4211\text{g},$$

$$u(m_2)/m_2 = 0.015\%,$$

$$m_3 = 1.326\text{g}, \quad u(m_3) = 0.0044\text{g}, \quad m_4 = 604.279\text{g},$$

$$u(m_4)/m_4 = 1/5000;$$

- (1) 按不确定度和有效数字的关系，其测量结果的正确表达应写成：

$$\underline{(3147.2 \pm 0.3)\text{g}}; \quad \underline{(100.42 \pm 0.02)\text{g}}; \quad \underline{(1.326 \pm 0.004)\text{g}}; \quad \underline{(604.3 \pm 0.1)\text{g}}.$$

- (2) 按精度的高低列出次序为： $\underline{m_3 < m_4 < m_2 < m_1}$

相对不确定度越小，精度越高。

4. $Y = \ln d, d = 12.35\text{cm}$, 按有效数字运算法则，Y 有 _____ 有效数字；若

$$Y = \ln d, u(d) = 0.05\text{cm}, Y \text{ 有 } \underline{\hspace{1cm}} \text{ 有效数字。} \quad \text{微分法则}$$

$$(A) 5 \text{ 位} \quad (B) 4 \text{ 位} \quad (C) 3 \text{ 位} \quad (D) 2 \text{ 位}$$

$$\text{解: (1) } Y = \ln d = 2.513656, \text{ 则 } dy = \frac{dY}{d}, \quad u(Y) = \frac{u(d)}{d} \cdot 0.01/12.35 = 0.0008097$$

$$Y \pm u(Y) = 2.513656 \pm 0.0008097 = 2.5137 \pm 0.0008, Y \text{ 有 } 5 \text{ 位有效数字}$$

$$(2) Y = \ln d = 2.513656, \quad u(Y) = u(d)/d = 0.05/12.35 = 0.00405$$

$$Y \pm u(Y) = 2.513656 \pm 0.00405 = 2.514 \pm 0.004, Y \text{ 有 } 4 \text{ 位有效数字}$$

5. (判断题) DT9923 型数字三用表测量电压的准确度可表示为 $\Delta U = 0.05\%N_x + 3\text{字}$ 。

若电压表的读数为 31.72V, 则其不确定度为

$u(U) = 0.05\% \times 99.99 + 3 \times 0.01 = 0.08V$ 。(99.99V 是电压表的满度值, 0.01V 是电压表的最小量化单位)

解: $\Delta_{\text{仪}}(U) = 0.05\% \times 31.72 + 3 \times 0.01 = 0.0459V$

$$u(U) = \Delta_{\text{仪}}(U) / \sqrt{3} \approx 0.026V$$

6. (判断题) 已知 $V = 3.14L(D_1 + D_2)(D_1 - D_2)/4$, 测得 $L = (10.00 \pm 0.05)cm$,

$D_1 = (3.00 \pm 0.01)cm$, $D_2 = (2.00 \pm 0.01)cm$ 。其中 L 的测量结果对 V 的精度影响最大。(×) (对 V 全微分, 求各不确定度分量的系数)

7. 某试验中观察到的干涉条纹是一组等间距的平行线段, 测微目镜连续读出 10 个条纹位置的结果是 (单位: 毫米) 1.488, 1.659, 1.904, 2.170, 2.385, 2.551, 2.800, 3.060, 3.470。试计算条纹间距。

解: 设 10 个条纹间距的位置为 h, 即 $h = 10L$

有 $s = ih + S_0$ 设 $s = y, i = x$, 则 $b = h, a = S_0$

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5
y	1.488	1.639	1.904	2.17	2.385	2.551	2.8	3.06	3.47	2.3852
xy	1.488	3.278	5.712	8.68	11.925	15.306	19.6	24.48	31.23	13.522
x ²	1	4	9	16	25	36	49	64	81	31.667

$$b = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}} = \frac{11.926 - 13.522}{25 - 31.667} = 0.239mm$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \dots \dots \dots h = b \dots \dots \dots a = S_0$$

? $l = h/10 = b/10 = 0.0239mm$

2001 级物理实实验试题(期末)

1. $\tan 45^\circ 1'$ 有 C 位有效数字; $20 \lg 1585$ (20 是准确数字) 有 位有效数字。

(A) 2 位 (B) 3 位 (C) 4 位 (D) 5 位

2. 有量程为 7.5v, 1.5 级的电压表和 $\Delta = 1.0\%Nx + 2$ 字, 量程为 20v 的数字电压表测量某电压, 读数均为 5.08v, 它们的不确定度应分别写成 $u(V) = \underline{C}$ v 和 \underline{A} v。

(A) 0.04 (B) 0.05 (C) 0.06 (D) 0.07

3. 已知 $f = \ln R$, $R = 36.01 \pm 0.01$, 则 $\frac{u(f)}{f} = \underline{2.0077\%}$ 若 $f = \frac{E}{V} - 1$, 且 $E =$

(3.000 ± 0.002) v, $V = (2.954 \pm 0.002)$ v. 则 $f \pm u(f) = \underline{0.001557 \pm 0.00001}$

4. 铜棒长度随温度的变化关系如下表所示。为了用作图法其线膨胀系数, 画图最少应当在 的方格纸上进行; 为了把图形充分展开, 可把它画在 $8 \times 16\text{cm}$ 的方格纸上, 这时应取 1mm 代表 ; 如果在拟合直线的两头, 读出两个点的坐标是

$(t_1, l_1), (t_2, l_2)$, 则 $a = \frac{l_1 - l_2}{t_2 - t_1}$. 铜棒长度 $l_t = l_0(1 + at)$.

$t/^\circ\text{C}$	10.0	20.0	25.0	30.0	40.0	45.0	50.0
l/mm	2000.36	2000.72	2000.80	2001.07	2001.48	2001.60	2001.80

5. 气体的状态方程 $PV = \frac{M}{u}RT$, $M = 110\text{g}$, $T = 318.15\text{K}$ 的某种气体。已知气体常数

$R = 8.31 \times 10^{-2} \text{ pa} \cdot \text{L} / \text{mol} \cdot \text{K}$, 按逐差法的计算公式和结果分别是

$u = \underline{\hspace{2cm}}$, 29.6 J/mol

i	1	2	3	4	5	6
$P_i / \text{大气压}$	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
V_i / L	25.3	19.8	16.5	14.5	12.4	11.2

6. 双棱镜测波长的计算公式为 $\lambda = \frac{\Delta x \sqrt{bb'}}{S + S'}$, 对实验数据进行处理的结果如下表所示。

$\Delta x = 0.28144\text{mm}$	$b = 5.9325\text{mm}$	$b' = 0.7855\text{mm}$	$S = 27.65\text{cm}$	$S' = 75.90\text{cm}$
$u(\Delta x) = 2.010 \times 10^{-4} \text{mm}$	$\Delta_1(b) / b = 0.025$	$\Delta_1(b') / b' = 0.025$	$\Delta_1(S) = 0.5\text{cm}$	$\Delta_1(S') = 0.5\text{cm}$
	$\Delta_2(b) = 0.005\text{mm}$	$\Delta_1(b') = 0.005\text{mm}$	$\Delta_s(S) = 0.05\text{cm}$	$\Delta_s(S') = 0.05\text{cm}$

注: 下标 1 来自方法误差, 下标 2 来自仪器误差。

要求:

(1) 给出测量结果的正确表达 (包括必要的计算公式)。

(2) 定量讨论各不确定度的分量中, 哪些是主要的, 哪些是次要的, 哪些是可以忽略的? 如果略去次要因素和可以忽略项的贡献, 不确定度的计算将怎样简化? 结果如何?

7. 热敏电阻随温度的变化满足关系 $R_t = Be^{A/T}$, 其中 A, B 是待定系数, T 是绝对温度。

实验测得 $R_t - t$ (摄氏温度) 的关系如下表所示。试用一元线性回归方法求出 $t = 50^\circ\text{C}$ 时的电阻值。不要求提供回归系数的计算公式和数值结果, 但必须给出具体的过程说明和别的计算公式。

$t/^\circ\text{C}$	21.28	28.08	36.07	47.97	56.44	64.95	75.41	81.46	87.79
R_t/Ω	4599.9	3700.0	2865.9	1977.9	1557.9	1224.9	914.90	790.60	670.60

2002 级《基础物理实验》 期末试题

一. 选择填空 (必做, 每题 4 分, 共 16 分)

1. $1 + \frac{0.005}{\pi}$ 有 B 位有效数字 (1 是准确数字); $20\lg 200$ 有 B 位有效数字 (\lg 为以 10 为底的常用对数, 20 是准确数字)。

A、3; B、4; C、5; D、6

2. 用准确度 $\frac{\Delta R}{R} = 5\%$ 的金属膜电阻构成一个 200Ω 的电阻, 如用两个 100Ω 的电阻串联组成,

则其相对不确定度 $\frac{u(R)}{R} = \underline{\hspace{2cm}}$; 如用一个 200Ω 的电阻来充当, 则其相对不确定度

$\frac{u(R)}{R} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

A、10% B、5.8% C、5.0% D、4.1% E、2.9% F、2.0%

3. 用测微目镜测量干涉条纹宽度 ($d \approx 0.1\text{mm}$), 如果读取的是 10 个条纹的间距, 则 $\frac{u(d)}{d} \approx \underline{\hspace{2cm}}$, 如果只测一个条纹间距, 则 $\frac{u(d)}{d} \approx \underline{\hspace{2cm}}$ 。

A、0.0005 B、0.005 C、0.05 D、0.0029 E、0.029 F、0.29

4. 某物理量的计算公式 $Y = \frac{A}{A-B}$, A 和 B 是独立观测量。则 Y 的不确定度计算式中 A 是正确的。

A. $\frac{u(Y)}{Y} = \sqrt{\left[\frac{1}{A} + \frac{1}{A-B}\right]^2 u^2(A) + \frac{u^2(B)}{(A-B)^2}}$

B. $u(Y) = \frac{\sqrt{B^2 u^2(A) + A^2 u^2(B)}}{(A-B)^2}$

C. $\frac{u(Y)}{Y} = \frac{u(A)}{|A|} + \frac{u(A)}{|A-B|} + \frac{u(B)}{|A-B|}$ D. $\frac{u(Y)}{Y} = \sqrt{\left[\frac{1}{A^2} + \frac{1}{(A-B)^2}\right] u^2(A) + \frac{u^2(B)}{(A-B)^2}}$

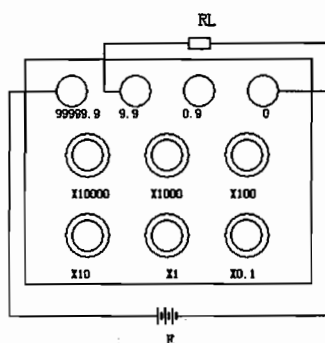
E、没有一个

二. 判断正误与改错(就各题划线部分的内容作出判断,在空格处重复或改写划线部分,使之与原文字构成完整的叙述,改写其他部分不给分。必做,每题5分,共15分)

5. 用1.5V0.5级的电压表去测量~0.5V的电压,通常应有4位有效数字;而用1.5V2.5级的电压表去测,则有3位有效数字。

(答) _____;

6. 电阻箱的仪器误差限 $\Delta_{\text{仪}} = \sum(\alpha_i \% * R_i) + R_0$, 具体数值如下表(铭牌)所示。



$\times 10000$	$\times 1000$	$\times 100$	$\times 10$	$\times 1$	$\times 0.1$
1000	1000	1000	2000	5000	50000×10^{-6}
$R_0 = (20 \pm 5) \text{ m}\Omega$					

用它的9.9Ω的抽头可以构成分压电路。以下两种方式(一是×100挡位和×1挡位置1,其余置0;一是×10挡位和×0.1挡位置1,其余置0)获得的分压比相同,但前者的准确度要比后者略高一点。

(答) _____;

7. $X = L \cdot \frac{1}{2} D^3$ 其相对不确定度的计算公式为: $\frac{u(X)}{X} = \sqrt{\left[\frac{u(L)}{L}\right]^2 + \left[\frac{3u(D)}{D}\right]^2}$, $Y = \frac{1}{5} ab^3$

则其不确定度: $u(Y) = \frac{1}{5} \sqrt{u^2(a) + 9u^2(b)}$

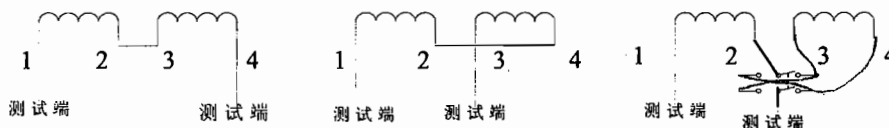
(答) _____;

三. 填空题(必做,每题5分,共15分)

8. 视差是指观察远近不同的物A和B时,随观察者视线的移动将观察到A相对B有运动的现象。若眼睛向一侧移动时,A亦向相对于B运动,说明距离观察着_____。

9. 在师零电路中,为了避免电流计受大电流的冲击,可以采用两种保护电路。请你画出它们的原理图,并说明相应元件的取值原则。

10. 用双刀双掷开关可以实现两个线圈的顺接与反接的电感测量。请你按照图示要求在右测补线完成换接功能。



四. 问答题(必做,共18分)

11. (本题6分) 质 $m = (137.57 \pm 0.02) \text{ g}$ 的小球,测得其直径 $d = (30.89 \pm 0.04) \text{ mm}$ 。试

给出其密度的测量结果。

12. (本题 12 分)

(1) 已知函数 $Y=bX$, X 的测量误差远小于 Y , 对它们进行等精度测量的结果是

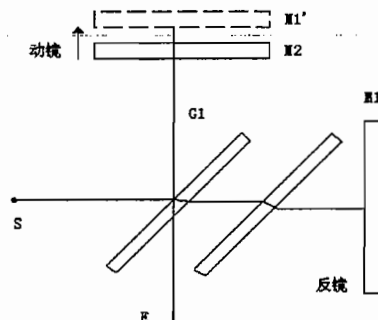
$$(X_1, Y_1; X_2, Y_2; \dots; X_K, Y_K), \text{ 试用最小二乘法证明 } b \text{ 的最佳拟合值是: } b = \frac{\sum_i X_i Y_i}{\sum_i X_i^2}$$

(2) 氢原子光谱的巴尔末系遵循规律, $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 式中 $n=3, 4, 5, 6$; 称为里德伯常数。实验测得对应的波长分别为 656.0, 485.5, 436.0 和 410.2nm。试利用前题的结果, 按最小二乘法计算出的拟合值 (不要求计算相关系数和不确定度)

五. 选做题 (8 题中任选 6 题。每题 6 分, 满分 36 分。若多做, 按前 6 题给分)

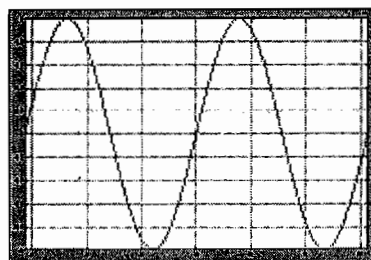
13. (选择填空) 用迈克尔逊干涉仪观察点光源的非定域干涉条纹。当动镜 M_2 靠近 M_1' 并超过时, 下述说法中, D 和 F 是正确的。

- A、条纹一直吐出 B、条纹一直吞进 C、条纹由吐出=>吞进
D、条纹由吞进=>吐出
E、随着动镜与定镜距离的缩小, 条纹越来越密集
F、随着动镜与定镜距离的缩小, 条纹越来越粗疏。



14. (填空) 在分光仪上对望远镜做自准调节时, 如果视野中黑十字的叉丝像不清楚, 应当调节 目镜; 如果叉丝像清楚, 但反射回来的绿十字不清楚, 应当调节 叉丝分划板套筒; 如果两者不共面, 一般应当调节 望远镜筒。

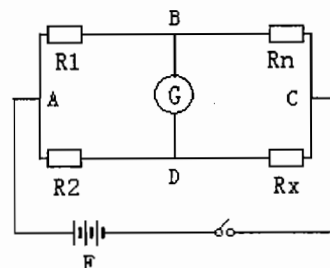
15. (填空) 用示波器进行读数时, 微调旋钮应处于 校准。如果此时的 X 轴取 10s/div, Y 轴取 5mV/div, 则右图所示的波形是一个频率 $f \approx$ 30 Hz, 振幅 $A \approx$ 1.5 的正弦波。



16. (判断正误并改错) 在非涅尔双棱镜实验中, 调节同轴等高时, 如发现白屏远离激光束时, 光点位置向上移动。这时应当将光源向下平移; 观察双缝像时, 如发现只能看到缩小像看不到放大像, 这时应当将测微目镜向后推移, 以增加它与光源的距离。

17. (问答) 自组电桥实验的检流计始终不偏转。如果连线是正确的, 请你指出因操作不当或断路故障的三种典型原因 (要求指出具体的支路位置或开关旋钮);

- (1)
(2)



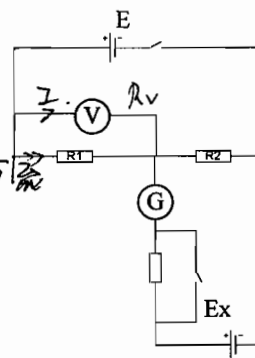
(3)

18. (问答) 某人设计的补偿法测干电池电动势的电路如右

图示, 当检流计示零时, $E_x = \frac{V}{R_1} R_2$ 这样做有什么缺点? 定

量给出由此造成的相对误差 (设电压表内阻为 R_V)。

电表分流



19. (填空) 滑块 m_1 自左向右运动经过光电门 2 后与静止滑

块 m_2 发生碰撞 ($m_1 > m_2$), 用数字毫秒计 Δt_1 的档测量 m_1

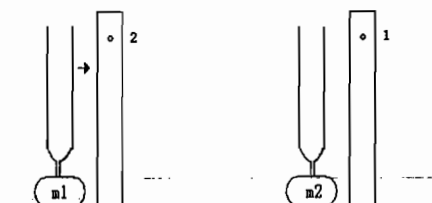
与 m_2 碰撞前后的运动速度。若滑块上 U 型挡光杆的距离为 Δl , 数字毫秒计给出的挡光

时间为, $p_{11}, p_{12}, p_{21}, p_{22}$ 则碰撞 m_1 发生前滑块的运动速度

$v_1 =$ _____; 碰撞发生后 m_1 的运动速度

$v_1' =$ _____; m_2 的运动速度

$v_2' =$ _____。



20. (问答) 透镜的中心和其支架刻线位置不重合会给透镜焦距的测量造成系统的误差。为了减少这种误差, 自准法中采取了什么措施? 共轭法呢?

