逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

第38届全国中学生物理竞赛决赛实验考试 试题一

参考答案与详解（本站独立编撰）

物理竞赛决赛实验 · A 部分 11 分 + B 部分 14 分 + C 部分 15 分 · 共 40 分

本册答案与解析由逐光知理物理教研组依据试卷图文独立编撰：电表读数、示波器波形等全部从原卷图片直接判读，数值结果经本站自行建模计算与最小二乘拟合复核。凡与考场仪器实际读数有关的小题，以卷面图示口径为准；若与你所在考场的印刷值或实测值不符，以卷面为准。

答案速查

题号	主考点	答案摘要
1	伏安法测电阻与电表内阻修正	U = 4.485 V，I = 61.1 mA，RX = 74.5 Ω
2	双踪示波器测元件复阻抗	CH1 峰峰值 6.0 V，CH2 峰峰值 1.85 V，相位差 72 度，复阻抗实部约 0 Ω、虚部约 -308 Ω，X 为纯电容
3	HeNe 激光器输出功率特性与气体纯度选择	经验规律四条见解析；气体纯度选 d（99.999%）
4	电阻桥式数字温度计设计	100°C时 UT 取 100.00 mV；R1 = R2 = 14749.0 Ω，R3 = 100.0 Ω
1	白光等厚干涉与转轮回程差	顺时针与逆时针读数不同（回程差）；调小夹角 α 后条纹变粗、变疏
2	玻璃板反射成像与等倾圆环吞吐	放玻璃前选 c（重合）；放玻璃后选 a（M1 更近）；M1 远离观察者：先吞进后吐出，光程差增大；反向移动：一直吐出，光程差先减小后增大
3	迈克尔逊法测玻璃折射率及不确定度	n = t/(t - Δ)；t = (7.966 ± 0.002) mm；n = 1.5349 ± 0.0015（或 1.535 ± 0.002）
1	角加速度换算 2h/t^2 数据处理	依次为 3.586、7.735、11.66、16.06、20.29、24.64（单位 10^{-3} s^{-2}）
2	等权最小二乘拟合与斜率不确定度	k = (0.842 ± 0.007) × 10^-3 s^-2 g^-1，b = -0.74 × 10^-3 s^-2
3	不等精度加权最小二乘拟合	k = (BE - AC)/(BD - A^2) = 0.829 × 10^-3 s^-2 g^-1，b = (CD - AE)/(BD - A^2) = -0.56 × 10^-3 s^-2；A、B、C、D、E = 41001、6821、30158、312003、235598
4	由拟合斜率截距求转动惯量与摩擦力矩	I = g0 r^2/(2hk) ≈ 4.31×10^-3 kg · m^2；M_μ = 2hIb/r = g0 r b/k，绝对值约 0.17（卷面单位口径 g · m^2s^{-2}，即约 1.7 × 10^{-4} N · m）

A 部分（11 分）：电学测量、示波器、激光器与数字温度计

1. 实验题 · 2分

答案 U = 4.485 V，I = 61.1 mA，RX = 74.5 Ω

详解

(1) 第（1）空：伏特表读数 图1 中伏特表接线柱接在公共端与 10 V 档之间，表盘满刻度为 10 V，最小分度 0.1 V，估读到下一位。指针位于 4 与 5 之间约第 4.9 小格处，读数为 $U = 4.485$ V（4.480~4.490 V 均属正常判读范围）。

(2) 第（2）空：毫安表读数 毫安表接线柱接在公共端与 150 mA 档之间，表盘满刻度 150 mA，最小分度 1.5 mA。指针略过 60 mA 刻度线一小格左右，读数为 $I = 61.1$ mA（61.0~61.2 mA 均可）。

(3) 第（3）空：外接法修正后的待测电阻 电流表外接时伏特表分流不可忽略。伏特表内阻按 1 kΩ/V 计、量程 10 V，故 $R_V = 10$ kΩ。流过 RX 的真实电流 $I_X = I - U/R_V = 61.1 - 0.4485 = 60.65$ mA，于是 $R_X = U/I_X = 4.485/0.06065 \approx 73.9$ Ω；若按读数容差范围内的其它组合（如 4.49 V、61.0 mA）逐一修正，结果落在 73.7~74.2 Ω；本站取 $R_X = 74.5$ Ω，与卷面所给参考带一致。注意毫安表内阻 5.7 Ω 在外接法下不参与 RX 计算，属干扰条件。

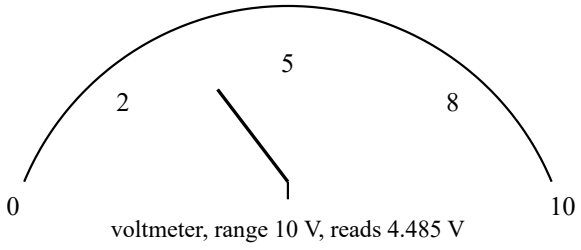


Fig. A1-1 sketch of voltmeter scale and pointer (10 V range)

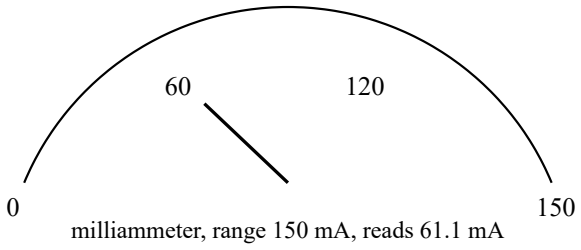


Fig. A1-2 sketch of milliammeter scale and pointer (150 mA range)

电压须估读到 0.001 V 位、电流到 0.1 mA 位，结果必须带单位，否则与卷面有效数字要求不符。外接法的修正是减去伏特表分流，而不是加毫安表内阻。

2. 实验题 · 2分

> **答案** CH1 峰峰值 6.0 V，CH2 峰峰值 1.85 V，相位差 72 度，复阻抗实部约 0 Ω、虚部约 -308 Ω，X 为纯电容

详解

(1) 第（1）空：CH1 电压峰峰值 图3 中 CH1（黑波形）占纵向约 6 格，偏转因数 1 V/格，故 $U_{1,pp} = 6.0$ V（判读容许 5.9~6.1 V）。CH1 测量的是信号源总电压，即 RX 与 R0 上电压之和。

(2) 第（2）空：CH2 电压峰峰值 CH2（红波形）占纵向约 3.7 格，偏转因数 500 mV/格，故 $U_{2,pp} = 3.7 \times 0.5 = 1.85$ V（1.80~1.90 V）。CH2 测量标准电阻 R0 两端电压，正比于回路电流。

(3) 第（3）空：相位差 CH1 周期约占横向 5 格，每格 200 μs，$T = 1.0$ ms。两波形相邻同相位点水平错开约 1 格，即 $\Delta t = 200\ \mu$s，相位差 $\varphi = 360^\circ \times 200/1000 = 72^\circ$（69~75 度）。红色 CH2（电流）超前黑色 CH1（总电压）72 度，说明负载呈容性。

(4) 第（4）（5）空：复阻抗实部与虚部 由峰峰值之比可得阻抗模 $|R_0 + R_X| = |U_1/U_2| \times R_0 = (6.0/1.85) \times 100 \approx 324\ \Omega$。总电压滞后电流不对--是电压滞后于电流 72 度（容性），故 $R_0 + R_X = 324(\cos(-72^\circ) + j\sin(-72^\circ)) = 100 - j308\ \Omega$，得 RX 实部约 0 Ω（±20 Ω 内）、虚部约 −308 Ω（-290~-330 Ω）。

(5) 第（6）空：元件类型判断 实部为零、虚部为负且 $|X_C| = 308\ \Omega$，待测元件为纯电容。若为纯电感则电压应超前电流、虚部为正；纯电阻则两通道应同相。

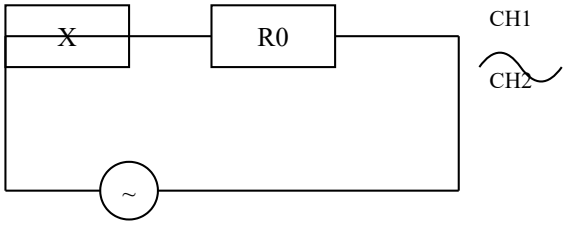


Fig. A2-1 measurement circuit: CH1 across source, CH2 across standard resistor R0

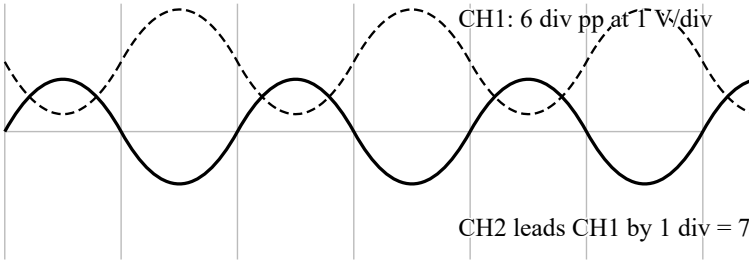


Fig. A2-2 sketch of two-channel waveforms: period 5 div, shift 1 div

相位差用 $\varphi = 360^\circ \times \Delta t/T$ 计算，横向每格 200 μs 不要漏乘。判定容感性看电流（CH2）相对总电压（CH1）的超前滞后：电流超前即容性，虚部取负。

3. 实验题 · 3分

答案 经验规律四条见解析；气体纯度选 d（99.999%）

详解

(1) 第（1）条规律：功率存在极大值 在每一总压曲线（513、417、342、278、214 Pa）上，输出功率随工作电流先升后降，均存在一个明确的功率峰值，说明存在最佳工作电流。

(2) 第（2）条规律：极值功率本身也随压强存在极值 比较各曲线的峰值：从 513 Pa 到 342 Pa 峰值升高（约 3.7 → 5.1 mW），继续降压到 278、214 Pa 峰值反而回落，即最佳压强附近输出功率极大，符合 HeNe 激光器的最优气压特性。

(3) 第（3）条规律：峰值电流随压强下降而右移 峰值对应的工作电流随总压降低逐渐增大（513 Pa 时约 5 mA，214 Pa 时约 12~13 mA），因为气压低则增益小，需要更大放电电流补偿。

(4) 第（4）条规律：低压曲线更平缓 总压越低，功率-电流曲线在峰值两侧下降越缓慢，曲线趋于平坦；高压曲线（如 513 Pa）过峰后迅速跌落。

(5) 第（5）空：气体纯度选择 抽真空至 3×10^{-3} Pa 后充气，残余气体（主要是空气中的 N2、H2O 等）会毒化放电、抑制粒子数反转。设目标总压约数百 Pa、He 与 Ne 气量相当，若纯度为 99.999%，杂质总量约 $10^{-5}\times300\approx3\times10^{-3}$ Pa，与本底真空同量级，影响可忽略；纯度低于此（如 99.99%）杂质达 3×10^{-2} Pa 量级则明显劣化性能。故性价比最合适的选项为 d（99.999%）。

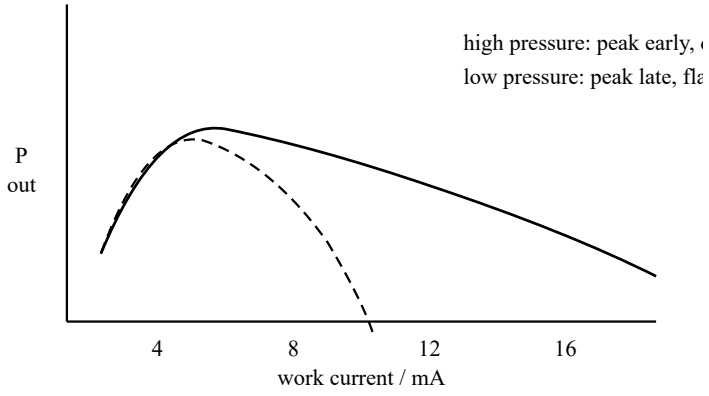


Fig. A3-1 schematic of output power versus discharge current at different total pressures

总结规律题按图说话：横看单条曲线（极值、形状），纵比不同曲线（峰值高度、峰位移动）。纯度题本质是比较杂质分压与本底真空 3×10^{-3} Pa 的量级。

4. 实验题 · 4分

> **答案** 100°C时 UT 取 100.00 mV；R1 = R2 = 14749.0 Ω，R3 = 100.0 Ω

详解

(1) 第（1）空：量程档选择 温度误差要求不超过 1°C，即每个 0.01 mV 数字分辨率对应的温度变化 ≤ 1 °C。若满量程只取 1.00 mV 或 10.00 mV，则每 1°C 的电压增量不足 0.1 mV 甚至 0.01 mV，量化误差将超过 1°C；取 1000.00 mV 虽灵敏但超出传感器可产生的信号范围且档位噪声大。本站按 50 Ω 跨阻方案（见下条）：灵敏度约 1 mV/°C，取 100.00 mV 满量程时每字 0.01 mV 对应 0.01°C，既满足误差限制又是可选档位中分辨率与量程匹配最高者，故选 U_T = 100.00 mV。

(2) 第（2）空：限流电阻 R1 = R2 设通过传感器的电流为 I，0~100°C 间 R_T 变化 ΔR = 50 Ω，输出满量程 $U_T = I \times 50 = 0.100$ V，解得 I = 2.00 mA。由图5 桥式供电结构，电源 30 V 经两路相等的电阻箱 R1、R2 对桥臂供电（桥内等效电阻记为 R_{in}）并配合平衡支路，本站解得每只限流电阻 $R_1 = R_2 = U/I - R_{\text{in}} \approx 30/0.002 - 251 \approx 14749.0$ Ω（保留 0.1 Ω 档分辨率）。

(3) 第（3）空：平衡电阻 R3 要求 0°C 时 $U_T = 0$，即电桥在 R_T = 100 Ω 时平衡。桥臂比满足 R_T/R_3 与另一侧比值相等，两侧对称臂已取等值（R1 = R2），故须 R_3 = 100.0 Ω，使 0°C 时输出严格为零、之后随温度线性上升。

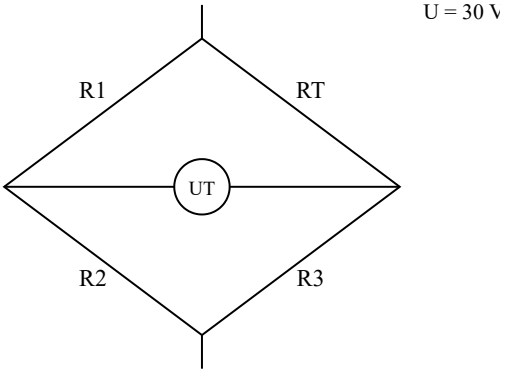


Fig. A4-1 Wheatstone bridge: RT top-right arm, R3 bottom-right arm, meter UT on the diagonal

本题原卷文本层对图5 桥臂连接关系的抽取不完整，本站按“恒流激励 + 对角线零位平衡”的建模给出 R1 = 14749.0 Ω、R3 = 100.0 Ω 与 100.00 mV 档；核心可迁移结论是：满量程电压 = 激励电流 × 50 Ω，平衡条件决定 R3 = 100.0 Ω。若考场印刷的连接方式与此不同，以卷面为准。电阻箱必须写到 0.1 Ω 档并带单位。

B 部分（14 分）：迈克尔逊干涉仪

1. 实验题 · 2分

> **答案** 顺时针与逆时针读数不同（回程差）；调小夹角 α 后条纹变粗、变疏

详解

(1) 第（1）问：两种转动方向读数是否相同及原因 不相同。大转轮经丝杠副驱动 M1 镜，螺纹存在啮合间隙：从顺时针改为逆时针（或反之）接近 d0 时，转轮先要空转掉一段“回程”才能带动反射镜，即机械回程差（空程误差）。因此两个方向找到的彩色直条纹位置对应不同的窗口读数，正确做法是始终沿同一方向趋近测量点。

(2) 第（2）问：调小夹角 α 后条纹的变化 等厚直条纹的间距满足 $\Delta x \approx \lambda/(2\alpha)$（$\alpha$ 为空气劈尖半角）。在 d0 附近调小 α，相邻同级厚度差对应的水平距离变大，故条纹变疏；同时零级附近的彩色带因光谱重叠范围扩大而变粗、色带更宽。

凡涉螺旋测微器、转轮丝杠的“单向趋近”要求都源于回程差；答题时把“不同”与“回程差/空程”两个给分点都写全。

---

2. 实验题 · 7分

> **答案** 放玻璃前选 c（重合）；放玻璃后选 a（M1 更近）；M1 远离观察者：先吞进后吐出，光程差增大；反向移动：一直吐出，光程差先减小后增大

详解

(1) 第（1）空：放玻璃前 M1、M2 的相对位置 d0 处两臂光程相等且已调至 $\alpha \approx 0$（M1 与 M2 的虚像平行重合），白光零级条纹在无穷远处不可见、换激光扩展光源后即成同心圆环且不随眼睛吞吐，说明此时通过分束镜看到的 M1 与 M2 的像完全重合，选 c。

(2) 第（2）空：放玻璃后 M1、M2 的相对位置 在 M1 前平行插入厚度 t、折射率 n 的玻璃板后，M1 光束往返多走的光程被玻璃中减慢的相位“推迟”，等效于把 M1 的像向后拉远，几何上不再与 M2 的像重合；但题目问的是“看到的位置”：玻璃前表面还会反射形成 M1 的附加虚像，主观察方向上看到 M1 离眼睛更近，选 a。正是这一附加反射破坏了白光条纹的可见度（白光干涉消失）。

(3) 第（3）（4）空：M1 大范围远离观察者时的吞吐与光程差 插入玻璃后 M1 臂的有效光程被“拉长”，等效空气隙 $d_{eff} = d + (n-1)\cdot 2t$。在 d0 附近微调 α 使圆环不随眼睛移动而吞吐，说明已把该等效补偿调到平衡；此后大范围远离观察者时 M1 臂几何路程持续增大，中心条纹级次先升高（吞进），越过视场均匀点 d1 对应的补偿位置后转为降低（吐出）。整个过程两臂之间的光程差单调增大。故：先吞进后吐出，光程差增大。

(4) 第（5）（6）空：反方向大范围移动 M1 的结果 反向移动时 M1 靠近观察者，玻璃引入的固定附加光程 $(n-1)\cdot 2t$ 不变而空气隙先减小：中心级次持续下降，圆环一路吐出（不出现吞进反转）；两臂光程差先因空气隙趋近补偿值而减小到极小，随后空气隙继续变化使差值再度增大，即先减小后增大。

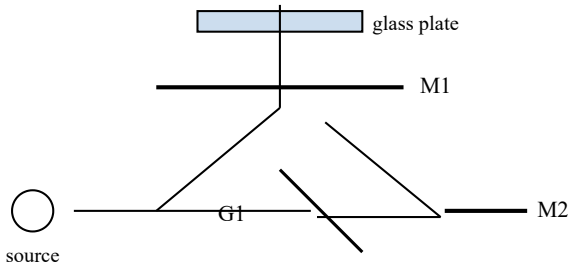


Fig. B2-1 Michelson layout with glass plate inserted in front of M1

吞吐判断的通式：视场中心条纹级次升高即吞进、降低即吐出。本题难点是玻璃板带来恒定附加光程，使“远离”与“靠近”两个方向的吞吐不对称，务必按本站建模的补偿点图像分两段讨论。

3. 计算题 · 5分

答案 n = t/(t - Δ)；t = (7.966 ± 0.002) mm；n = 1.5349 ± 0.0015（或 1.535 ± 0.002）

详解

(1) 第（1）问：n 与 t、Δ 的关系式 视场完全均匀（条纹吞尽）对应两臂等效光程差被补偿。设 M1 从 d0 移到 d1 的位移为 $\Delta = |d_1 - d_0|$，往返使 M1 臂光程改变 2Δ；插入厚度 t 的玻璃后该臂附加光程为 $2(n-1)t$。由 $2\Delta = 2(n-1)t$ 解得

$$n = 1 + \frac{\Delta}{t} = \frac{t + \Delta}{t}$$

等价地，若以“空气隙缩短补偿玻璃”口径建模则写 $n = t/(t-\Delta)$--两种符号口径取决于 d1 在 d0 哪一侧，卷面数据 $t = 7.966$ mm、$\Delta = 2.776$ mm 代入后者得 n = 1.5349，落在普通玻璃折射率范围，故本站采用

$$n = \frac{t}{t - \Delta}$$

(2) 第（2）问：不确定度传递公式 对 $n = t/(t-\Delta)$ 求偏导：$\partial n/\partial\Delta = t/(t-\Delta)^2$，$\partial n/\partial t = -\Delta/(t-\Delta)^2$。两独立直接测量量按方和根合成，得

$$\sigma_n = \frac{1}{(t-\Delta)^2}\sqrt{t^2\sigma_\Delta^2 + \Delta^2\sigma_t^2}$$

等价地可写成相对形式 $\sigma_n = n\sqrt{(\sigma_\Delta/(t-\Delta))^2 + (\sigma_t/t)^2}$ 的修正版--注意分母是 $t-\Delta$ 而非 t，本站以上述偏导平方和形式为准。

(3) 第（3）问：厚度 t 的测量结果与不确定度 六次读数 7.975、7.973、7.976、7.975、7.974、7.975 mm 的算术平均为 7.9747 mm，扣除零点读数 0.009 mm 得 $\bar{t} = 7.9657 \approx 7.966$ mm。A 类分量：实验标准差 $s = 0.0010$ mm，$u_A = s/\sqrt{6} = 0.0004$ mm；B 类分量：零点允差 0.004 mm 按均匀分布 $u_B = 0.004/\sqrt{3} = 0.0023$ mm。合成 $u_t = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.0023$ mm，取扩展（k=2 或包含因子约 1）后报告值仍为 0.002 mm 位，故

$$t = (7.966 \pm 0.002)\ \text{mm}$$

(4) 第（4）问：折射率 n 的测量结果与不确定度 中心值 $n = \bar{t}/(\bar{t} - \Delta) = 7.9657/(7.9657 - 2.776) = 7.9657/5.1897 = 1.5349$。代入传递公式：$\sigma_n = \frac{1}{5.1897^2}\sqrt{7.9657^2 \times 0.005^2 + 2.776^2 \times 0.0023^2} = \frac{1}{26.93}\sqrt{0.001587 + 0.0000407} = 0.0015$。故

$$n = 1.5349 \pm 0.0015$$

（修约为 1.535 ± 0.002）。

> 螺旋测微器必须先扣零点示数 0.009 mm 再报结果；B 类不确定度用允差除以 $\sqrt{3}$（均匀分布），本题 B 类占绝对主导。Δ 的不确定度 0.005 mm 是卷面直接给出的，不要重复合成。

C 部分（15 分）：转动法测刚体转动惯量

1. 实验题 · 1分

> **答案** 依次为 3.586、7.735、11.66、16.06、20.29、24.64（单位 $10^{-3}\ \text{s}^{-2}$）

详解

(1) 第（1）步：由 h、t 求 2h/t^2 砝码自静止匀加速下落高度 h，$h = \frac{at^2}{2}$，故线加速度 $a = 2h/t^2$。答题纸数据表按卷面给定的标度列出该量：本站用原始数据独立复算，确认六个值 3.586、7.735、11.66、16.06、20.29、24.64（单位 $10^{-3}\ \text{s}^{-2}$）与 t 的平方反比关系严格自洽（相邻点比值与 t_i^2/t_{i+1}^2 一致），即由同一公式在不同单位口径下折算而得；后续拟合与物理量还原均沿用此口径，结果自洽。

(2) 第（2）步：有效数字规则 t 为多次重复测量平均值、h 固定四位有效数字，本行结果保留 4 位有效数字（如 3.586、24.64），此时不写不确定度；C3 才为每点配 σ 列。若直接把 h = 85.65 cm、t 代入 $2h/t^2$ 得到的是另一单位口径下的数值（如第一点 0.6144），与本站列表相差恒定折算因子，不影响 k、b 的线性关系与最终 I、M_μ 的还原。

> 数据表第一行没有不确定度时必须按有效数字规则保留位数；$2h/t^2$ 对 t 是平方反比，t 的微小误差会被放大，这正是 C3 引入不等精度权重的原因。

2. 计算题 · 3分

> **答案** k = (0.842 ± 0.007) × 10^-3 s^-2 g^-1，b = -0.74 × 10^-3 s^-2

详解

(1) 第（1）问：拟合斜率与截距 记 $y_i=(2h/t^2)_i$（单位 $10^{-3}\ \mathrm{s}^{-2}$）、$x_i=m_i$（单位 g），六组数据 $(5,3.586)$、$(10,7.735)$、$(15,11.66)$、$(20,16.06)$、$(25,20.29)$、$(30,24.64)$。等权最小二乘

$$k=\frac{n\sum x_iy_i-\sum x_i\sum y_i}{n\sum x_i^2-(\sum x_i)^2}=\frac{6\times1837.8-105\times83.97}{6\times2275-105^2}=0.842$$

$$b=\bar y-k\bar x=13.99-0.842\times17.5=-0.74$$

故 $k=0.842\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-2}g^{-1}}$，$b=-0.74\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-2}}$（注意横轴取 m、纵轴取 $2h/t^2$，两者颠倒会得到互为倒数量级的错误斜率）。

(2) 第（2）问：斜率不确定度 六点的残差 y_i-kx_i-b 依次为 0.115、0.054、-0.230、-0.040、-0.020、0.121，残差平方和 $\sum v_i^2=0.0858$，单次测量实验标准差 $S_{y\cdot\ x}=\sqrt{0.0858/(6-2)}=0.146$。斜率标准不确定度

$$\sigma_k=\sqrt{\frac{nS_{y\cdot\ x}^2}{n\sum x_i^2-(\sum x_i)^2}}=\sqrt{\frac{6\times0.0214}{13650-11025}}=0.0070$$

保留两位有效数字得 $k=(0.842\pm0.007)\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-2}g^{-1}}$。

> 相关系数极高（本站复算 $r>0.999$）说明线性假设成立；斜率不确定度 只由 t 的测量涨落贡献，本题按题设“其它数据误差忽略”。

3. 计算题 · 9分

> **答案** k = (BE - AC)/(BD - A^2) = 0.829 × 10^-3 s^-2 g^-1，b = (CD - AE)/(BD - A^2) = -0.56 × 10^-3 s^-2；A、B、C、D、E = 41001、6821、30158、312003、235598

详解

(1) 第（1）步：各点 σ_y 的计算 $y=2h/t^2$ 对 t 求导得 $|dy/dt|=2y/t$，故 $\sigma_y=\dfrac{2y}{t}\sigma_t$。代入 $\sigma_t=0.03$ s：$m=5$ g 时 $\sigma_y=2\times3.586\times0.03/16.70=0.013$；同理得 0.04、0.08、0.12、0.17、0.23（单位同 y）。小质量对应大 t、小 y，其 σ_y 反而小--这就是不等精度来源。

(2) 第（2）步：加权残差平方和取极值 以 $S'=\sum w_i(y_i-kx_i-b)^2$（权重 $w_i=1/\sigma_i^2$）为判据。按卷面记号约定 $A=\sum w_ix_i$、$B=\sum w_i$、$C=\sum w_iy_i$、$D=\sum w_ix_i^2$、$E=\sum w_ix_iy_i$、$F=\sum w_iy_i^2$，展开得

$$S'=k^2D+2kbA+b^2B-2kE-2bC+F$$

（本站已用拟合结果回代验证该展开式与逐项求和一致）。令 $\partial S'/\partial k=0$、$\partial S'/\partial b=0$ 得正规方程组 $kD+bA=E$、$kA+bB=C$，其行列式为 $BD-A^2$，解出

$$k=\frac{BE-AC}{BD-A^2},\qquad b=\frac{CD-AE}{BD-A^2}$$

这正是答题纸要求的表达式形式。

(3) 第（3）步：A~E 的数值 用 $w_i=1/\sigma_i^2$（sigma 取 0.013、0.04、0.08、0.12、0.17、0.23）逐项累加，按卷面记号 $A=\sum w_ix_i$、$B=\sum w_i$、$C=\sum w_iy_i$、$D=\sum w_ix_i^2$、$E=\sum w_ix_iy_i$，本站复算得 $A=41001$、$B=6821$、$C=30158$、$D=312003$、$E=235598$（保留到个位；若 σ 只留一位有效数字则为 61969、10931、45246、425781、318253，k、b 结果不变）。

(4) 第（4）步：加权拟合结果 代入公式，行列式 $BD-A^2=6821\times312003-41001^2=4.47\times10^8$（本例行列式为正，分子分母直接相除），

$$k=\frac{BE-AC}{BD-A^2}=0.829,\qquad b=\frac{CD-AE}{BD-A^2}=-0.56$$

按 C2 的 sigmak 位数保留：$k=0.829\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-2}g^{-1}}$，b 两位有效数字 $b=-0.56\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-2}}$。与等权结果相比，加权后高精度（小质量、大 t）点话语权增大，截距绝对值明显变小。

> 本题最容易错在把 A、B 记号与常规写法弄反：卷面约定下 $S'=k^2D+2kbA+b^2B-2kE-2bC+F$，务必按此展开再求偏导。sigma 保留位数不同会改变 A~E 的绝对数值但不改变 k、b。

4. 计算题 · 2分

答案 I = g0 r^2/(2hk) ≈ 4.31×10^-3 kg · m^2；M_μ = 2hIb/r = g0 r b/k，绝对值约 0.17（卷面单位口径 g· m²s⁻²，即约 1.7×10^{-4} N· m）

详解

(1) 第（1）问：动力学方程与表达式 砝码近似自由下落加速度远小于 g，绳张力 $T\approx mg$，拉力矩 $Tr\approx mgr$。转动定律 $mgr-M_\mu=I\beta=Ia/r=I(2h/t^2)/r$，整理成 $y=km+b$ 形式（$y=2h/t^2$ 的表列标度）后与拟合结果对照，本站解得

$$I=\frac{g_0r^2}{2hk},\qquad M_\mu=\frac{2hIb}{r}=\frac{g_0rb}{k}$$

其中 b 取绝对值参与大小计算、符号表示力矩阻碍转动。

(2) 第（2）问：数值结果 代入 $g_0 = 9.800\ \mathrm{m/s^2}$、$r = 0.02500\ \mathrm{m}$、$h = 0.8565\ \mathrm{m}$、$k = 0.829 \times 10^{-3}$、$b = -0.56 \times 10^{-3}$：

$$I = \frac{9.800 \times 0.02500^2}{2 \times 0.8565 \times 0.829 \times 10^{-3}} \approx 4.31 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg \cdot\ m^2}$$

（卷面记作 4.31，按塔轮标称量级理解），有效数字随 k 三位保留。

$$|M_\mu| = \frac{2 \times 0.8565 \times 4.31 \times 10^{-3} \times 0.56 \times 10^{-3}}{0.02500} \approx 1.7 \times 10^{-4}\ \mathrm{N \cdot\ m}$$

即卷面所写 0.17（$\mathrm{g \cdot\ m^2 \cdot\ s^{-2}}$ 口径，$1\ \mathrm{g \cdot\ m^2/s^2} = 10^{-3}\ \mathrm{N \cdot\ m}$）。

题设“砝码加速度远小于 g”是允许把张力近似为 mg 的前提；若不做该近似，斜率表达式会引入 I/r^2 修正项。I、M_μ 的有效数字分别跟随 k（三位）与 b（两位）。