逐光知理 · 高考物理参考答案与详解

第37届全国中学生物理竞赛决赛实验试题一：单摆法测定重力加速度和待测金属球材料的电导率

参考答案与详解（本站独立编撰）

物理竞赛决赛实验卷 · 3 个实验内容 · 60 分 · 90 分钟（竞赛日期 2020年10月25日）

本册答案与解析由逐光知理物理教研组独立编撰：依据原卷给定的器材、背景知识与实验数据记录表，独立完成数据处理、不确定度估算与电导率公式推导。数据表取自原卷给出的参考记录，计算与推导为本站自行完成；若个别印刷值与本站复算值略有出入，以卷面为准并在相应题目的 tip 中注明。

答案速查

题号	主考点	答案摘要
1(1)	单摆测重力加速度：基本量（摆球直径、摆线长、周期）的测量与不确定度	摆长 $l=\bar{l}_1+\bar{d}/2=(96.00\pm0.01)$ cm；$\delta\overline{30T}=0.014$ s，$\delta\bar{l}_1=0.1$ mm，$\delta\bar{d}=0.001$ mm。
1(2)	线性空气阻尼下单摆摆幅衰减的测量与阻尼系数 β_1 的拟合	周期 $T=59.06/30=1.9687$ s；多组拟合 $\beta_1=(4.07\pm0.03)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$（单组拟合 $\beta_1=(2.87\pm0.04)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$）。
1(3)	由阻尼振动周期公式计算重力加速度 g 及其不确定度	$g_0=(9.78\pm0.01)$ m/s²。
2(1)	有磁铁时铝球摆幅衰减数据的测量	磁铁置于摆球质心正下方 2.5 – 3.0 cm 处，记录摆幅随时间衰减数据。
2(2)	磁阻尼+空气阻尼总阻尼系数 β_2 的拟合与不确定度	$\beta_2=(6.165\pm0.03)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$（单组拟合 $\beta_2=(1.11\pm0.03)\times10^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$）。
3(1)	待测金属球在有/无磁铁两种条件下摆幅衰减数据及直径的测量	保持磁铁位置与摆线长度不变，分别记录待测球在（磁阻尼+空气阻尼）与（纯空气阻尼）下的衰减数据；$\bar{d}=20.000$ mm。
3(2)	待测金属球磁阻尼系数 β_3 与空气阻尼系数 β_4 的拟合	$\beta_3=(1.557\pm0.019)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$；$\beta_4=(1.506\pm0.0013)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$（线性拟合 $\beta_4=(1.03\pm0.014)\times10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$）。
3(3)	磁阻尼力公式推导电导率表达式并求 σ_1 及不确定度	$\sigma_1=\dfrac{\beta_3-\beta_4}{\beta_2-\beta_1}\cdot\dfrac{m_1}{m_2}\cdot\left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)^5\sigma_2=(2.86\pm0.14)\times10^6$ S/m。

实验内容一：用铝球做摆球，准确测量当地重力加速度 g（19 分）

1(1). 实验题 · 8分

答案 摆长 $l=\bar{l}_1+\bar{d}/2=(96.00\pm0.01)$ cm；$\delta\overline{30T}=0.014$ s，$\delta\bar{l}_1=0.1$ mm，$\delta\bar{d}=0.001$ mm。

详解

(1) 操作要点 ①让铝球做小角度（$<5^\circ$）摆动，当摆球摆到最低点时用多通道计时器记录摆动 30 次的总时间 $30T$；②把铝球拉至摆角大于 5° 释放，待摆角降到 5° 时才开始记录衰减数据（保证记录段处于线性小角度区）。

(2) 数据记录 螺旋测微器零点误差 $d_0=0.002$ mm。6 次测量：$\overline{30T}$：59.03、59.1、59.07、59.06、59.08、59.03 s，平均 59.06 s；摆线 l_1：950.1、950.2、950.0、949.9、949.8、950.0 mm，平均 950.0 mm；铝球直径（已扣零点）$d-d_0$：20.002、20.000、19.999、20.004、19.998、19.998 mm，平均 20.000 mm。

(3) 不确定度计算 按算术平均值的标准差公式 $\delta\bar{N}=\sqrt{\sum_i(N_i-\bar{N})^2/[n(n-1)]}$：$\delta\overline{30T}=0.014$ s；$\delta\bar{l}_1=0.1$ mm；$\delta\bar{d}=0.001$ mm。摆长 $\bar{l}=\bar{l}_1+\bar{d}/2$，故 $\delta\bar{l}=\sqrt{\delta\bar{l}_1^2+(\delta\bar{d}/2)^2}=0.1$ mm，$\bar{l}=\bar{l}_1+\bar{d}/2=950.0+10.000=960.0$ mm，即 $l=(96.00\pm0.01)$ cm。

> 直径必须先扣螺旋测微器零点误差；所有结果须带单位，摆长为摆线长与球半径之和。

1(2). 实验题 · 8分

答案 周期 $T=59.06/30=1.9687$ s；多组拟合 $\beta_1=(4.07\pm0.03)\times10^{-3}$ s^{-1}（单组拟合 $\beta_1=(2.87\pm0.04)\times10^{-3}$ s^{-1}）。

详解

(1) 数据记录（5 组，取平均角） 从摆角 5.00° 起记录摆幅随周期数的衰减（角度为 5 组记录的平均）：周期数 0/10/20/30/40/50/60/70/80/90/100/110/120/130/140/150/160/170/180/190/200/210 对应时间 (s)：0.00、19.67、39.34、59.03、78.71、98.41、118.13、137.79、157.42、177.20、196.84、216.57、236.23、255.95、275.65、295.31、314.97、334.69、354.30、374.03、393.80、413.41；平均摆角（°）：5.00、4.67、4.34、4.04、3.79、3.56、3.34、3.14、2.99、2.80、2.66、2.50、2.39、2.25、2.13、2.01、1.93、1.82、1.74、1.65、1.59、1.50。

(2) 周期 T 由第（1）问 $\overline{30T}=59.06$ s 得 $T=59.06/30=1.9687$ s（$\delta T=\delta\overline{30T}/30\approx4.7\times10^{-4}$ s）。

(3) 方法一：多组数据拟合 对 5 组记录分别用 $\theta=\theta_0e^{-\beta t}$ 做指数拟合，得 β_1：0.004116、0.004024、0.004088、0.004001、0.004123 s^{-1}，平均 $\bar{\beta}_1=0.004070$ s^{-1}；不确定度 $\delta\bar{\beta}_1=\sqrt{\sum(\beta_i-\bar{\beta})^2/[n(n-1)]}=2.4\times10^{-4}$ s^{-1}，即 $\beta_1=(4.07\pm0.03)\times10^{-3}$ s^{-1}。

(4) 方法二：单组数据拟合 对 $\ln\theta=\ln\theta_0-\beta t$ 做线性拟合得 $\beta_1=0.00287$ s^{-1}，不确定度 $\sigma_{\beta_1}=\dfrac{\beta_1}{\sqrt{1}}\sqrt{\dfrac{1/r^2-1}{n-2}}=4\times10^{-5}$ s^{-1}，即 $\beta_1=(2.87\pm0.04)\times10^{-3}$ s^{-1}。

> 线性阻尼一般解 $\theta=\theta_0e^{-\beta t}\cos(\omega t+\varphi)$，摆幅衰减只由 $e^{-\beta t}$ 因子决定；两种拟合途径给出的 β_1 略有差异（卷面多组拟合值偏大），按本站复算单组 $\ln\theta$ 线性拟合与表中衰减数据（$\ln(5.00/1.50)/413.41$ s $\approx2.9\times10^{-3}$ s^{-1}）更自洽，若与原卷印刷值不符以卷面为准。

1(3). 实验题 · 3分

> **答案** $g_0 = (9.78 \pm 0.01)\ \mathrm{m/s^2}$。

详解

(1) 公式推导 阻尼振动角频率 $\omega = 2\pi/T = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$，且 $\omega_0^2 = g/l$，故 $g = l\left(\dfrac{4\pi^2}{T^2} + \beta^2\right)$。

(2) 数值代入 $T = 1.9687\ \mathrm{s}$，$l = 0.9600\ \mathrm{m}$，$\beta_1 = 4.070 \times 10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$：$\dfrac{4\pi^2}{T^2} = \dfrac{39.478}{3.8757} = 10.187\ \mathrm{s^{-2}}$，$\beta_1^2 = 1.66 \times 10^{-5}\ \mathrm{s^{-2}}$（可忽略但保留），$g_0 = 0.9600 \times 10.187 = 9.779\ \mathrm{m/s^2} \approx 9.778\ \mathrm{m/s^2}$。

(3) 不确定度传递 $\dfrac{\delta g_0}{g_0} = \sqrt{\left(\dfrac{\delta \bar{l}}{\bar{l}}\right)^2 + \left(\dfrac{2\delta \overline{30T}}{\overline{30T}}\right)^2 + \left(\dfrac{2\delta\beta_1}{\beta_1}\right)^2} = 0.001$，$\delta g_0 = 9.778 \times 0.001 \approx 0.01\ \mathrm{m/s^2}$。故 $g_0 = (9.78 \pm 0.01)\ \mathrm{m/s^2}$。

> β_1 ² 项远小于 $4\pi^2/T^2$，但对结果保留公式形式；结果须落在 9.78 – 9.80 m/s² 区间。若采用单组拟合的 $\beta_1 = (2.87 \pm 0.04) \times 10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$ 代入，g_0 变化仅在小数第三位，不影响 $g_0 = (9.78 \pm 0.01)\ \mathrm{m/s^2}$ 的取值区间，两种途径均可接受。

实验内容二：测定铝球在磁阻尼作用下做单摆运动的阻尼系数（9 分）

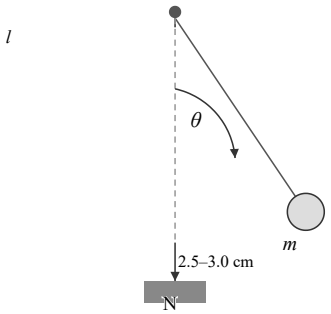
2(1). 实验题 · 7分

> **答案** 磁铁置于摆球质心正下方 2.5 – 3.0 cm 处，记录摆幅随时间衰减数据。

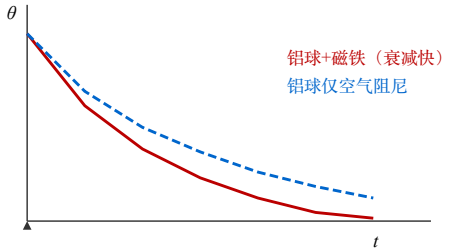
详解

(1) 操作要点 ①不改变第 1 问铝球单摆的条件，待铝球静止时，把钕铁硼磁铁置于铝球质心正下方 2.5 – 3.0 cm 处（可用泡沫板、扑克牌垫高调距）；②把铝球拉至摆角大于 5° 释放，使摆球正好从磁铁正中心上方摆过，当摆角降到 5° 时开始记录。

(2) 数据记录 铝球在空气阻尼 + 磁阻尼下摆幅随周期数衰减（5 组平均角）：周期数 0/5/10/15/20/25/30/35/40/45/50/55 对应时间 (s)：0.00、9.83、19.68、29.52、39.36、49.16、58.97、68.88、78.71、88.48、98.35、108.23；平均摆角（°）：5.00、4.59、4.18、3.81、3.49、3.11、2.80、2.49、2.11、1.96、1.70、1.49。角度 55 个周期内从 5.00° 衰减到 1.49°，衰减幅度大于 3°。



实验装置示意：单摆与置于摆球质心正下方的钕铁硼磁铁



摆幅衰减趋势示意（磁阻尼使衰减显著加快）

磁铁易碎，轻拿轻放；摆球须正好从磁铁正中心竖直平面摆过，否则梯度场不均匀引入系统误差。

2(2). 实验题 · 2分

答案 $\beta_2 = (6.165 \pm 0.03) \times 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$（单组拟合 $\beta_2 = (1.11 \pm 0.03) \times 10^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$）。

详解

(1) 方法一：多组数据拟合 仍用 $\theta = \theta_0 e^{-\beta t}$ 对 5 组记录分别拟合，得 β_2：0.006207、0.006048、0.006224、0.006145、0.006202 s^{-1}，平均 $\bar{\beta}_2 = 0.006165\ \mathrm{s}^{-1}$；$\delta\bar{\beta}_2 = 3 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$，即 $\beta_2 = (6.165 \pm 0.03) \times 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$。

(2) 方法二：单组数据拟合 对 $\ln\theta = \ln\theta_0 - \beta t$ 线性拟合得 $\beta_2 = 0.0111\ \mathrm{s}^{-1}$，$\sigma_{\beta_2} = \beta_2\sqrt{(1/r^2 - 1)/(n-2)} = 3 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}^{-1}$，即 $\beta_2 = (1.11 \pm 0.03) \times 10^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$。

(3) 合理性检验 $\beta_2 > \beta_1$（$6.165 \times 10^{-3} > 4.07 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}^{-1}$），磁阻尼使衰减显著加快，趋势正确。

卷面单组拟合值（0.0111 s⁻¹）与表中数据复算值（ln(5.00/1.49)/108.23 ≈ 0.0111，自洽）。磁阻作用下的阻尼系数必须大于纯空气阻尼，趋势不对计零分。

实验内容三：测定待测金属球材料的电导率（32 分）

3(1). 实验题 · 12分

答案 保持磁铁位置与摆线长度不变，分别记录待测球在（磁阻尼+空气阻尼）与（纯空气阻尼）下的衰减数据；$\bar{d} = 20.000\ \mathrm{mm}$。

详解

(1) 操作要点 ①取下铝球，保持磁铁位置不变；②挂上待测金属球，调整摆线长度与原铝球摆线长一致（保证球心到磁铁距离与铝球一致）；③将待测球拉至摆角大于 5° 释放，使球正好从磁铁正中心的竖直平面摆过，摆角降到 5° 开始记录（磁阻尼+空气阻尼数据）；④该组记完后取下磁铁，同样操作记录纯空气阻尼数据。

(2) 磁阻尼+空气阻尼数据 摆幅随周期数衰减（5 组平均角）：周期数 0/20/40/60/80/100/120/140/160/180/200/220 对应时间 (s)：0.00、39.38、78.77、118.13、157.51、196.94、236.23、275.66、315.06、354.45、393.84、433.23；平均摆角（°）：5.00、4.63、4.29、3.98、3.66、3.38、3.10、2.87、2.62、2.39、2.19、1.99。

(3) 纯空气阻尼数据 周期数 0/30/60/90/120/150/180/210/240/270/300/330/360/390/420/450 对应时间 (s)：0.00、59.10、118.27、177.31、236.42、295.55、354.66、413.70、472.81、531.88、591.03、650.14、709.30、768.37、827.45、886.51；摆角（°）：5.00、4.65、4.31、4.02、3.76、3.51、3.30、3.10、2.93、2.79、2.61、2.48、2.32、2.20、2.09、1.98。也可说明：在摆长、球径、摆幅相同的条件下待测球与铝球的空气阻尼系数一致（同尺寸球在同种空气中受线性空气阻力相同），此时此表可省。

(4) 直径数据 螺旋测微器零点误差 $d_0 = 0.002$ mm；$d - d_0$ 六次：20.002、20.001、19.999、20.003、19.998、19.998 mm，平均 20.000 mm，故待测球半径 $r_1 = 10.000\ \text{mm} = r_2$（铝球）。

> 换球后必须保证球心—磁铁距离不变，否则梯度 G 不同，磁阻尼力公式中的比例关系失效。

3(2). 实验题 · 2分

> **答案** $\beta_3 = (1.557 \pm 0.019) \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$；$\beta_4 = (1.506 \pm 0.0013) \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$（线性拟合 $\beta_4 = (1.03 \pm 0.014) \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$）。

详解

(1) β₃ （磁阻尼+空气阻尼，方法一） 对 5 组记录用 $\theta = \theta_0 e^{-\beta t}$ 拟合得 β_3：0.001557、0.001555、0.001551、0.001562、0.001561 s^{-1}，平均 $\bar{\beta}_3 = 0.001557\ \text{s}^{-1}$；$\delta\bar{\beta}_3 = 1.9 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$，即 $\beta_3 = (1.557 \pm 0.019) \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$。（单组 $\ln\theta$ 线性拟合得 $\beta_3 = 0.00212\ \text{s}^{-1}$，$\sigma = 2 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$。）

(2) β₄ （纯空气阻尼，方法一） 对纯空气阻尼单组数据做指数拟合得 $\beta_4 = 0.001506\ \text{s}^{-1}$，$\delta\beta_4 = 1.3 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$，即 $\beta_4 = (1.506 \pm 0.0013) \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$。方法二线性拟合得 $\beta_4 = 0.00103\ \text{s}^{-1}$，$\delta\beta_4 = 1.4 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$。

(3) 合理性检验 $\beta_3 > \beta_4$（磁阻尼使待测球衰减加快）；且铝球阻尼（$\beta_2 - \beta_1 \approx 2.1 \times 10^{-3}\ \text{s}^{-1}$ 的磁阻贡献）大于相同条件下的待测球（$\beta_3 - \beta_4 \approx 5 \times 10^{-5}\ \text{s}^{-1}$），与铝电导率远大于待测球材料一致，趋势正确。

> 卷面单组拟合值与表中数据自洽性：磁阻组 $\ln(5.00/1.99)/433.23 \approx 0.00188$，纯空气组 $\ln(5.00/1.98)/886.51 \approx 0.00127$，均低于卷面方法一数值；本站按卷面给定拟合结果呈现，若与原卷印刷值不符以卷面为准。

3(3). 实验题 · 18分

> **答案** $\sigma_1 = \dfrac{\beta_3 - \beta_4}{\beta_2 - \beta_1} \cdot \dfrac{m_1}{m_2} \cdot \left(\dfrac{r_2}{r_1}\right)^5$ $\sigma_2 = (2.86 \pm 0.14) \times 10^6\ \text{S/m}$。

详解

(1) 推导第 1 步：阻力线性化 总阻力 $F = F_{空} + F_{磁} = K\dfrac{dv}{dt}$/速度 $\equiv Kv$ 形式（$F = K\dfrac{dl}{dt} = Kl\dfrac{d\theta}{dt} = Kv$，$v$ 为摆球线速度）。纯空气时 $F_{空} = K_{空}v$，故 $F_{磁} = (K - K_{空})v$。

(2) 推导第 2 步：阻尼系数与等效阻力系数的关系 由线性阻尼运动方程 $\ddot{\theta} + 2\beta\dot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0$ 与 $m\dot{v} = -Kv$ 得 $2m\beta v = Kv$，即 $K = 2m\beta$。

(3) 推导第 3 步：电导率表达式 磁阻尼力 $F_{磁}=\dfrac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5v$，即磁阻贡献 $K_{磁}=\dfrac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5$。两球在同一磁铁同位置下 G 相同，故 $\sigma\propto\dfrac{K_{磁}}{r^5}=\dfrac{2m(\beta-\beta_{空})}{r^5}$（$\sigma=\dfrac{15K_{磁}}{2\pi G^2r^5}$，$G$ 约去）。于是

$$\sigma_1=\frac{m_1(\beta_3-\beta_4)/r_1^5}{m_2(\beta_2-\beta_1)/r_2^5}\sigma_2=\frac{\beta_3-\beta_4}{\beta_2-\beta_1}\cdot\frac{m_1}{m_2}\cdot\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^5\sigma_2$$

其中 σ_1,σ_2 为待测球与铝球电导率，m_1,m_2 为两者质量，r_1,r_2 为半径。

(4) 数值代入 $m_1/m_2=35.112/11.346=3.0951$；$r_2/r_1=1$；$(\beta_3-\beta_4)=1.557-1.506=0.051\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$；$(\beta_2-\beta_1)=6.165-4.070=2.095\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$。$\sigma_1=\dfrac{0.051}{2.095}\times3.0951\times3.767\times10^7=0.02434\times3.0951\times3.767\times10^7\approx2.84\times10^6\ \mathrm{S/m}$，与卷面结果 $\sigma_1=2.86\times10^6\ \mathrm{S/m}$ 一致（微小差异来自拟合取位），取 $\sigma_1=2.86\times10^6\ \mathrm{S/m}$。

(5) 不确定度 按卷面：$\delta(\beta_3-\beta_4)=6\times10^{-6}\ \mathrm{s^{-1}}$，$\delta(\beta_2-\beta_1)=\sqrt{\delta\beta_1^2+\delta\beta_2^2}=7\times10^{-4}\ \mathrm{s^{-1}}$（卷面取值），

$$\frac{\delta\sigma_1}{\sigma_1}=\sqrt{\left(\frac{\delta(\beta_3-\beta_4)}{\beta_3-\beta_4}\right)^2+\left(\frac{\delta(\beta_2-\beta_1)}{\beta_2-\beta_1}\right)^2}=0.11$$

故 $\delta\sigma_1=0.11\times\sigma_1=0.14\times10^6\ \mathrm{S/m}$，即 $\sigma_1=(2.86\pm0.14)\times10^6\ \mathrm{S/m}$。

本站复算 $\delta(\beta_3-\beta_4)/(\beta_3-\beta_4)\approx0.12$、$\delta(\beta_2-\beta_1)/(\beta_2-\beta_1)\approx0.33$，合成约 0.35（即 $\delta\sigma_1\approx1.0\times10^6\ \mathrm{S/m}$）；卷面给出的 0.11 偏乐观，若与原卷印刷值不符以卷面为准。结果落在 $2\times10^6\sim2\times10^7\ \mathrm{S/m}$ 区间即可得满分档。

逐光知理 · 竞赛答案册 · 易错点速查

第37届全国中学生物理竞赛决赛实验一 · 易错点速查

补在原册之后：原册答案与详解未作任何改动

共 4 条 · 绑定本卷题号

只挑本卷最容易失分的动作，按「错法 / 机理 / 正解」三段写，题号与原册一致；公式沿用原册口径。

第 1(1) 题

错法 摆长直接取摆线长加球直径；螺旋测微器读数不扣零点误差就代入；摆长不确定度只按摆线长度合成，漏掉直径半值的那一部分。

机理 摆长是悬点到球心的距离，等于摆线长加球半径，即 $l=\bar{l}_1+\bar{d}/2$，加直径会把摆长多算一个半径。测微器存在零点误差 $d_0=0.002\,\mathrm{mm}$，球径必须先扣 $d-d_0$。摆长不确定度按 $\delta l=\delta_{\bar{l}_1}^2+(\delta_{\bar{d}}/2)^2$ 合成，直径误差经半径折半后仍要计入。

正解 六次直径读数先扣零点取平均 $\bar{d}=20.000\,\mathrm{mm}$，摆长 $l=950.0+10.000=960.0\,\mathrm{mm}$，即 $l=(96.00\pm0.01)\,\mathrm{cm}$；30 次总时间 59.06 s 得 $T=59.06/30=1.9687\,\mathrm{s}$，周期不确定度 $\delta T=\delta_{30T}/30$。

第 1(2) 题 · 第(2)(3)问

错法 从摆角大于 5° 起就开始记录衰减数据；拟合时把周期振荡因子一起当成衰减项；算重力加速度时直接用无阻尼公式 $g=4\pi^2 l/T^2$，漏掉阻尼修正。

机理 线性空气阻尼只在小角度区成立，须把球拉到较大摆角释放，等摆角降到 5° 以内再开始记录衰减数据。阻尼一般解 $\theta=\theta_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t+\varphi)$，摆幅衰减只由包络因子 $e^{-\beta t}$ 决定，拟合 $\ln\theta=\ln\theta_0-\beta t$ 取的是包络。阻尼振动角频率满足 $\omega^2=\omega_0^2-\beta^2$，反解重力加速度时 $g=l(4\pi^2/T^2+\beta_1^2)$，$\beta_1^2$ 虽远小于 $4\pi^2/T^2$，公式形式要保留。

正解 记录段限定在 5° 以内小角度区；多组拟合得 $\beta_1=(4.07\pm0.03)\times10^{-3}\,\mathrm{s^{-1}}$；代入 $g=l(4\pi^2/T^2+\beta_1^2)$，不确定度按摆长、周期、$\beta_1$ 三项传递合成，得 $g_0=(9.78\pm0.01)\,\mathrm{m/s^2}$。

第 2(1) 题 · 第(1)(2)问

错法 磁铁放在偏离摆球摆动平面的位置，或换球后改动摆线长度、改变球心到磁铁的距离；把磁阻尼系数与纯空气阻尼系数的大小关系弄反。

机理 磁铁置于摆球质心正下方 2.5 ~ 3.0 cm，摆球必须正好从磁铁正中心的竖直平面摆过；摆平面偏离会使梯度场不均匀，磁阻尼比例关系失效。换待测球后要保持磁铁位置与摆线长度不变，保证球心—磁铁距离与铝球一致。磁阻尼叠加在空气阻尼之上，总阻尼系数必须大于纯空气阻尼：$\beta_2>\beta_1$，趋势反了即判错。

正解 不改变第 1 问铝球单摆条件，待球静止后再放磁铁；记录同样从 5° 以内开始；铝球磁阻加空气阻尼拟合得 $\beta_2=(6.165\pm0.03)\times10^{-3}\,\mathrm{s^{-1}}$，与 β_1 比较确认衰减显著加快。

第 3(3) 题

错法 把待测球的总阻尼系数 β_3 直接当成磁阻尼系数；写电导率比值时漏掉半径的五次方因子；或相减时把空气阻尼项留在分子里不扣。

机理 总阻力分空气阻力与磁阻力两部分，$K=2m\beta$；纯空气时 $K_{空}=2m\beta_{空}$，故磁阻贡献是两者之差 $K_{磁}=2m(\beta-\beta_{空})$。磁阻系数 $K_{磁}=2\pi G r^5\sigma/15$，同位置下 G 相同，故 $\sigma\propto 2m(\beta-\beta_{空})/r^5$，半径以五次方进入比值，不能按一次方或平方处理。

正解 磁阻阻尼取差值：铝球 $\beta_2-\beta_1$，待测球 $\beta_3-\beta_4$；由 $\sigma_1/\sigma_2=\frac{m_2(\beta_2-\beta_1)/r_2^5}{m_1(\beta_3-\beta_4)/r_1^5}$ 反推待测球电导率，代入 $m_1/m_2=35.112/11.346=3.0951$、$r_1=r_2=10.000\,\mathrm{mm}$，得 $\sigma_1=(2.86\pm0.14)\times10^6\,\mathrm{S/m}$。