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

物 理 （ 实 验 ）

共 3 部分，满分 60 分

实验题目

根据下列给定的实验器材和内容，设计单摆实验，测定当地的重力加速度和待测金属球材料的电导率。

实验器材

0. 1. 单摆装置一套：包括一个半径为 90cm 的测角仪，量程为 -5.5° ~+5.5° ，分度值为 0.1° 。

0. 2. 带摆线的铝球一个（质量 m=11.346g、电导率 σ=3.767×10^7 S/m）；带摆线的待测金属球一个（质量 m=35.112g）。

0. 3. 螺旋测微器一把、卷尺一个，多通道计时秒表一个（使用方法详见“秒表使用说明书”）。

0. 4. 钕铁硼永磁铁一块。注意：磁铁为易碎物品，使用中请勿掉落地面。

0. 5. 秒表盒一个、泡沫板几块和扑克一副（可用于垫高磁铁）。

0. 6. 一次性口罩一个。

实验注意事项

0. 1、摆球的悬线较细，测量过程中不能用力拉扯摆线。

0. 2、摆球与悬线使用胶粘合，使用过程中不能人为拉扯，轻拿轻放，人为情况导致的球线分离不能更换摆球。

0. 3、不得在摆线等仪器上做任何标记。

0. 4、使用钕铁硼永磁铁时，请小心轻放，以免损坏，影响后续实验测量。

0. 5、实验结束，必须将仪器设备整理为初始状态。

0. 6、实验过程中全程高清视频监控，任何恶意损坏实验仪器等不当行为将每次扣 15 分。

0. 7、测量过程中请佩戴口罩，空气的流动对测量结果有影响。

基础知识

1. 1、线性阻尼振动

把一个金属小球拴在一根细长的线上，当细线质量远小于小球质量，小球的直径远小于细线的长度时，此装置可以看作是一单摆。略去空气的浮力以及摆线的伸长量，且当摆角较小时（小于等于 5° ），可以认为单摆的运动是简谐振动。较长时间观察单摆的运动就会发现，单摆的摆幅随着时间衰减，这是空气阻力在起作用。当小球摆动的速度很小时，空气阻力近似与摆动速度成线性关系，小球的运动称为线性阻尼振动，它的运动方程为 $\theta''+2\beta\theta+\omega_0^2\theta=0$，且有一般解 $\theta=\theta_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t+\varphi)$，其中 θ 为摆角，β 为阻尼系数，$\omega_0$ 为无阻尼简谐振动的固有角频率。线性阻尼振动的角频率 ω 与简谐振动的角频率 ω_0 之间满足 $\omega=\sqrt{\omega_0^2-\beta^2}$。

2. 2、运动金属球在梯度磁场中受到的磁阻尼力

梯度磁场指的是空间变化率（梯度）不为零的磁场。金属球在这样的磁场中运动时会在其内部产生涡旋电流，因此会受到外磁场的作用。这个作用总是与金属球的运动方向相反，称之为磁阻尼力。金属球在梯度磁场中运动时受到的磁阻尼力与金属球的电导率有关。如果金属球在一个梯度为 G（常数）的磁场中运动，磁阻尼力可以表达成：$F=\frac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5v$，其中 r 是金属球的半径，v 为金属球的运动速度，σ 为金属球材料的电导率。

一、 实验内容及要求

1. 使用铝球做为单摆摆球，准确测量长沙的重力加速度 g。（19 分）

(1) 选择合适的测量工具，多次测量铝球的直径 d、单摆摆线的长度 l_1，列出实验数据，求出平均值，并计算各物理量的不确定度。

(2) 设计合理的实验方案，观测铝球在线性空气阻尼作用下，摆幅随时间的变化，记录实验数据，计算周期 T；根据线性阻尼振动方程一般解的形式，拟合计算空气阻尼系数 β_1，分别估算两者的不确定度。

(3) 根据测量结果，利用阻尼振动周期的公式计算重力加速度 g，并估算其不确定度。

2. 测定铝球在磁阻尼作用下做单摆运动的阻尼系数。（9 分）

(1) 在摆球静止时，钕铁硼磁铁应放置在摆球质心的正下方 2.5cm-3.0cm 处，观测铝球在磁阻尼作用下，摆幅随时间的变化，记录实验数据。

(2) 根据实验数据拟合计算出此条件下单摆的阻尼系数 β_2，并估算其不确定度。

3. 测量待测金属球材料的电导率（32 分）

(1) 选择合适的摆长，分别在有、无磁铁条件下，观测待测金属球单摆摆幅随时间的变化，并记录实验数据。

(2) 根据上述测量结果分别计算出未知金属球在有、无磁铁时的阻尼系数 β_3 和 β_4，并估算这两个阻尼系数的不确定度。

(3) 根据上述实验测量结果以及磁阻尼力公式 $F=\frac{2\pi\sigma}{15}G^2r^5v$，推导出待测金属球材料电导率的计算公式，根据实验数据求出待测金属球材料的电导率 σ，并估算其不确定度。

4. 实验要求：

1 请学生自行调整测角仪（半径为 90cm）到合适的位置进行实验数据的测量。

2 写出实验原理、操作要点，列出实验数据，根据实验内容保留必要的数据处理过程。