

实验九 用单摆测量重力加速度



考情分析

考情调研

本实验属于新高考中的冷门力学实验，考查频度不是太高，考查难度不大。在2023年新课标卷和重庆卷考查了本实验

命题特征

1. **考读算**：读长度、算加速度以及作图求解。
2. **考数据**：数据处理和误差分析的方法。
3. **考变化**：计时方式、实验原理创新

一题通关

用单摆测定重力加速度的实验装置如图1所示。

【实验原理】

(1) 测出悬点 O 到小球球心的距离(摆长) l 及单摆完成 n 次全振动所用的时间 t , 则重力加速度 $g = \frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$ (用 l 、 n 、 t 表示)。

解析: 周期 $T = \frac{t}{n}$, 结合 $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, 推出 $g = \frac{4\pi^2 n^2 l}{t^2}$ 。

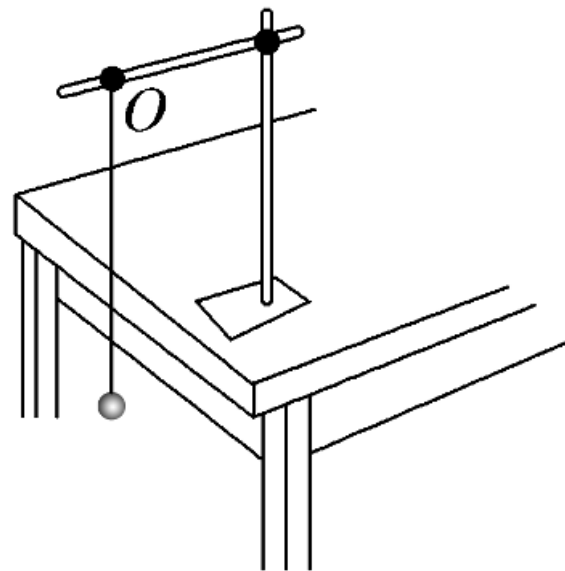


图1

【实验步骤】

(2) 用米尺测出摆长 l ，将摆球从平衡位置拉开一个很小角度（不超过 5° ），然后放开摆球，使摆球在竖直平面内摆动，用秒表测出全振动50次的时间，计算出平均完成一次全振动所用的时间，这个时间就是单摆的振动周期，改变摆长，重复做几次实验。

【注意事项】

(3) 组装单摆时, 应在下列器材中选用 AD (填选项前的字母)。

- A. 长度为1 m左右的细线
- B. 长度为30 cm左右的细线
- C. 直径为1.8 cm的塑料球
- D. 直径为1.8 cm的铁球

解析：单摆模型需要满足的条件是，摆线的长度远大于小球直径，小球应选择密度大，体积小的，这样可以降低空气阻力的影响，故选A、D。

【数据处理与误差分析】

(4) 下表是某同学记录的3组实验数据，并做了部分计算处理。

组次	1	2	3
摆长 l/cm	80.00	90.00	100.00
50次全振动时间 t/s	90.0	95.5	100.5
振动周期 T/s	1.80	1.91	
重力加速度 $g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$	9.74	9.73	

请计算出第3组实验数据中的 $T = \underline{2.01} \text{ s}$ ， $g = \underline{9.76}$
 m/s^2 。

解结果保留3位有效数字) $T = \frac{t}{n} = \frac{100.5\text{s}}{50} = 2.01 \text{ s}$ ，由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，解得 $g = 9.76\text{m/s}^2$ 。

(5) 用多组实验数据作出 $T^2 - l$ 图像, 也可以求出重力加速度 g 。已知三位同学作出的 $T^2 - l$ 图线的示意图如图2中的 a 、 b 、 c 所示, 其中 a 和 b 平行, b 和 c 都过原点, 图线 b 对应的 g 值最接近当地重力加速度的值。则相对于图线 b , 下列分析正确的是 **B** (选填选项前的字母)。

- A. 出现图线 a 的原因可能是误将悬点到小球下端的距离记为摆长 l
- B. 出现图线 c 的原因可能是误将49次全振动记为50次
- C. 图线 c 对应的 g 值小于图线 b 对应的 g 值

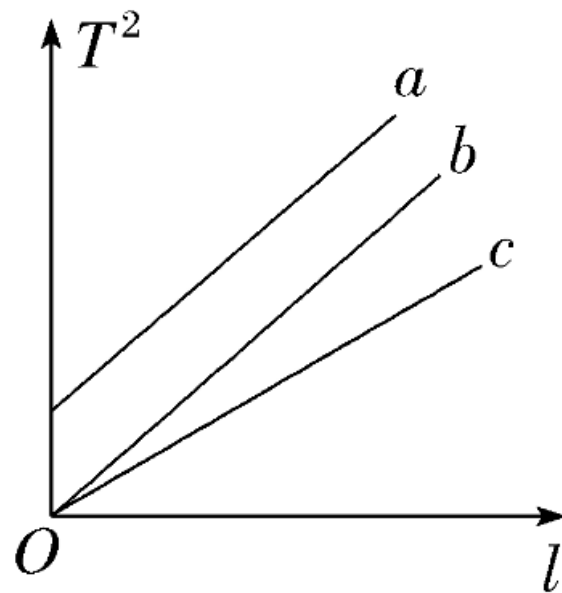


图2

解析：由 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，可得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}l$ ，可知 $T^2 - l$ 是过原点的直线，又 b 为正确的图像， a 与 b 相比，周期相同时，摆长更短，说明 a 对应测量的摆长偏小，A 错误； c 与 b 相比，摆长相同时，周期偏小，可能是多记录了振动次数，B 正确；图线的斜率 $k = \frac{4\pi^2}{g}$ ，斜率越小，测得的 g 值越大，C 错误。

1. 数据处理与分析

(1) 数据处理

公式法：摆长不变，重复测量几次， T 取平均值，根据公式 g

$$= \frac{4\pi^2 l}{T^2} \text{求解重力加速度。}$$

图像法：测出一系列摆长 l 及对应的周期 T ，画出 $T^2 - l$ 图像，

$$T^2 = kl, \text{ 斜率为 } k, g = \frac{4\pi^2}{k}。$$

(2) 误差分析

	产生原因	减小方法
偶然误差	测量时间(单摆周期)及摆长时产生误差	(1) 多次测量再求平均值 (2) 计时从单摆经过平衡位置时开始
系统误差	主要来源于单摆模型本身	(1) 摆球要选体积小, 密度大的 (2) 最大摆角要小于 5°

2. 注意事项

- (1) 选用1 m左右的细线。
- (2) 悬线顶端不能晃动，需用夹子夹住，保证顶点固定。
- (3) 小球在同一竖直面内摆动，且摆角小于 5° 。
- (4) 选择在摆球摆到平衡位置处开始计时，并数准全振动的次数。
- (5) 小球自然下垂时，用毫米刻度尺量出悬线长 l' ，用游标卡尺测量小球的直径，然后算出摆球的半径 r ，则摆长 $l = l' + r$ 。

对点训练

1. (2024·浙江台州校联考模拟预测) 某同学做“用单摆测量重力加速度”的实验装置如图所示。

(1) 下列实验操作正确的是 **B** (填正确选项前的字母)。

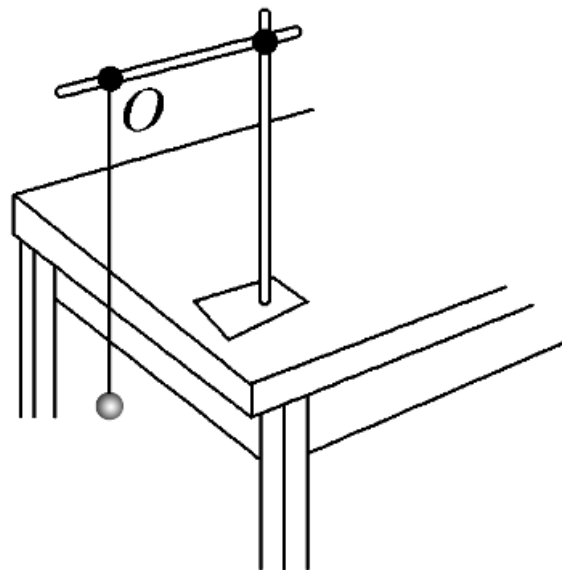
A. 小球运动到最高点时开始计时

B. 小球的摆角控制在 5° 以内

C. 用天平测出小球的质量

D. 测出单摆摆动5个周期的总时间 t ,

求得单摆的周期 $T = \frac{1}{5}t$

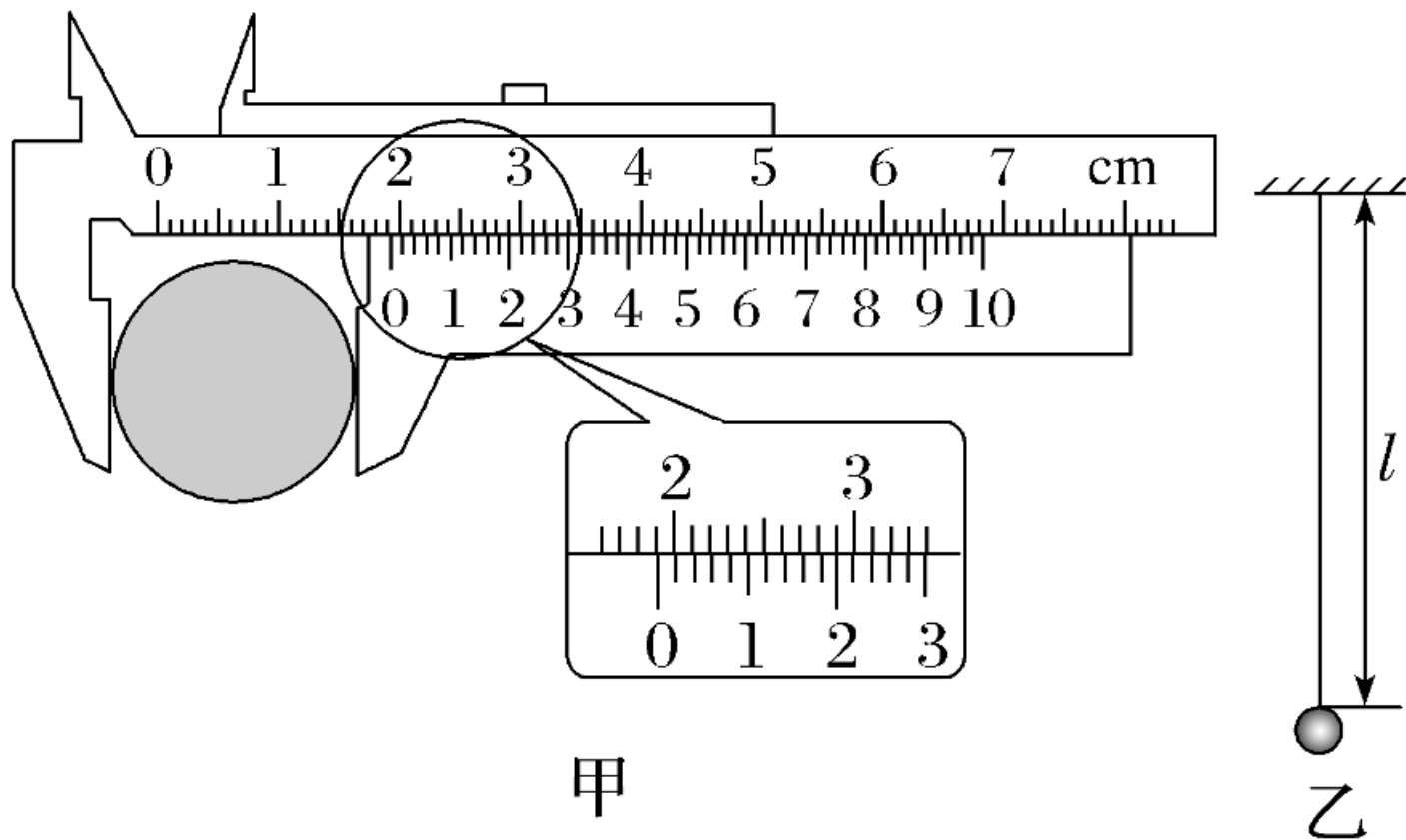


解析：应小球运动到最低点时开始计时，故A错误；小球的摆角控制在 5° 以内，故B正确；由单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ，可得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ 可知，测量重力加速度与小球质量无关，则无需测量小球质量，故C错误；测周期时，为了减小误差，一般测量30~50次全振动的的时间，再计算周期，故D错误。

(2) 实验器材中没有小铁球, 于是他用小铁块来代替小铁球进行实验。由于铁块形状不规则, 无法测出摆长, 他设计了如下的实验方法: 先测出使用某一长度摆线时单摆的周期 T_1 , 然后将单摆的摆线缩短 Δl , 再测出对应的周期 T_2 。请写出重力加速度的表达式 $\frac{4\pi^2 \Delta l}{T_1^2 - T_2^2}$ 。

解析：根据题意，设单摆的周期为 T_1 时的摆长为 l ，则单摆的周期为 T_2 时的摆长为 $l - \Delta l$ ，由单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 可得 $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ， $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l - \Delta l}{g}}$ ，解得 $g = \frac{4\pi^2\Delta l}{T_1^2 - T_2^2}$ 。

2. (2023·重庆高考11题) 某实验小组用单摆测量重力加速度。所用实验器材有摆球、长度可调的轻质摆线、刻度尺、50分度的游标卡尺、摄像装置等。



(1) 用游标卡尺测量摆球直径 d 。当测量爪并拢时，游标尺和主尺的零刻度线对齐。放置摆球后游标卡尺示数如图甲所示，则摆球的直径 d 为 19.20 mm。

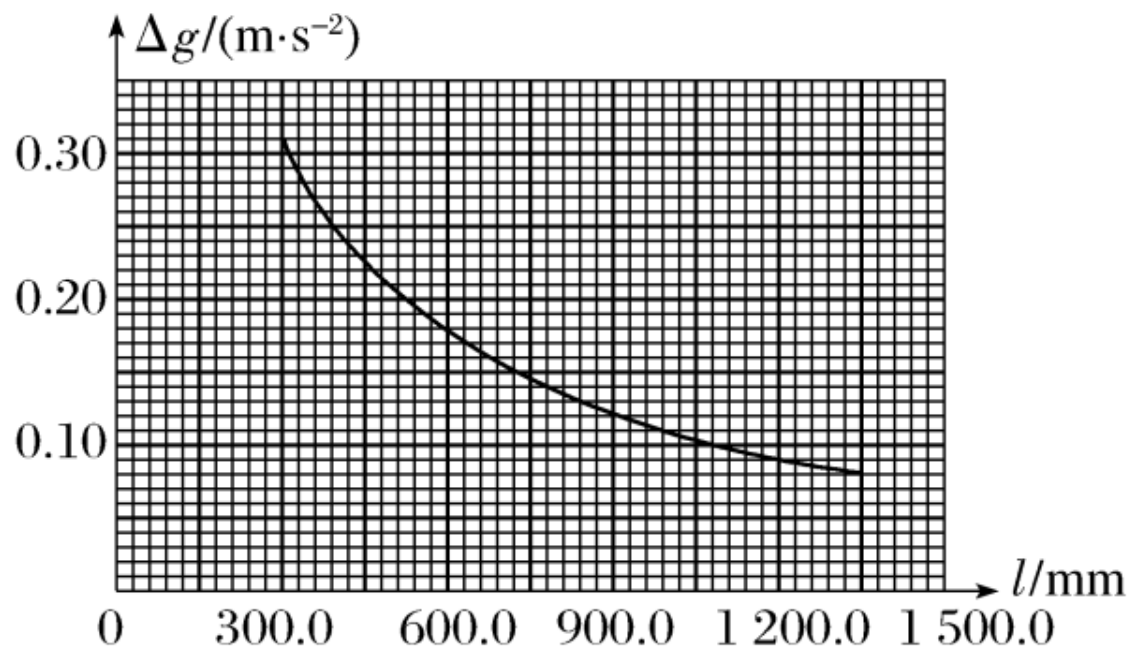
解析：用游标卡尺测量摆球直径 $d = 19 \text{ mm} + 0.02 \text{ mm} \times 10 = 19.20 \text{ mm}$ 。

(2) 用摆线和摆球组成单摆, 如图乙所示。当摆线长度 $l = 990.1$ mm 时, 记录并分析单摆的振动视频, 得到单摆的振动周期 $T = 2.00$ s, 由此算得重力加速度 g 为 9.86 m/s² (保留3位有效数字)

解析: 单摆的摆长为 $L = 990.1 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 19.20 \text{ mm} = 999.7 \text{ mm}$,

根据 $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, 可得 $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$, 带入数据解得 $g \approx 9.86 \text{ m/s}^2$ 。

(3) 改变摆线长度 l ，记录并分析单摆的振动视频，得到相应的振动周期。他们发现，分别用 l 和 $l + \frac{d}{2}$ 作为摆长，这两种计算方法得到的重力加速度数值的差异大小 Δg 随摆线长度 l 的变化曲线如图所示。由图可知，该实验中，随着摆线长度 l 的增加， Δg 的变化特点是_____，原因是_____。

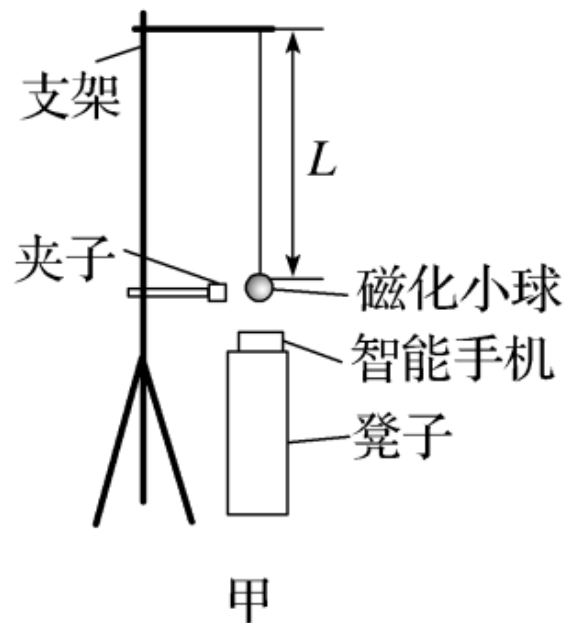


答案：见解析

解析：由图可知，随着摆线长度 l 的增加， Δg 逐渐减小，原因是随着摆线长度 l 的增加，则 $l + \frac{d}{2}$ 越接近于 l ，此时计算得到的 g 的差值越小。

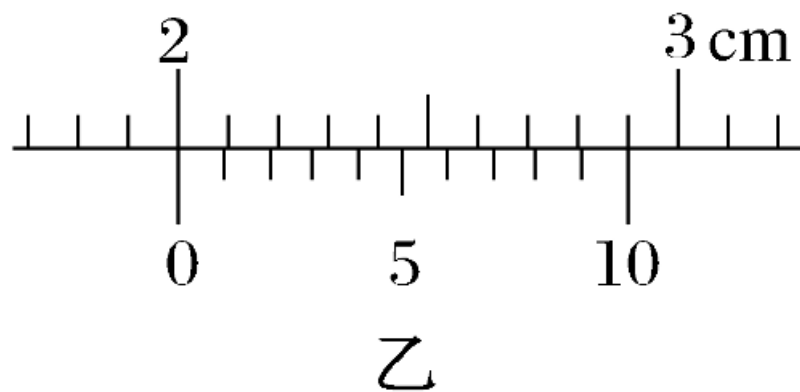
创新拓展

【典例】 (2024·福建宁德模拟预测) 某智能手机中的“磁传感器”功能可实时记录手机附近磁场的变化, 磁极越靠近手机, 磁感应强度越大。宁德某中学的小宁在家里用手机、磁化的小球、支架、塑料夹子等实验器材组装成如图甲所示的装置来测量重力加速度, 实验步骤如下;

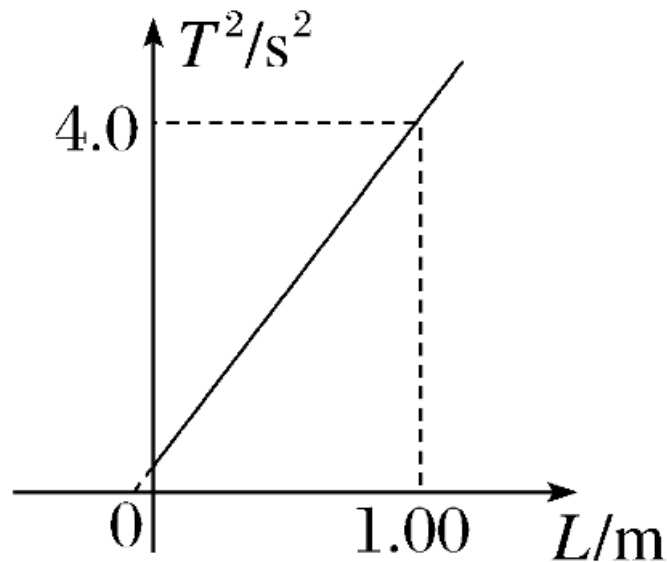


- ①把智能手机正面朝上放在悬点的正下方，接着往侧边拉开小球，并用夹子夹住。
- ②打开夹子释放小球，小球运动，取下夹子。
- ③运行手机“磁传感器”功能，手机记录磁感应强度的变化。
- ④改变摆线长和夹子的位置，测量出各次实验的摆线长 L 及相应的周期 T 。
 - (1) 利用智能手机测得第1个到第 N 个磁感应强度最大值之间的时间间隔为 t ，则单摆周期 T 的测量值为_____。

(2) 实验中用游标卡尺测量小球直径如图乙所示, 则小球直径为____cm。



- (3) 得到多组摆线长 L 及相应的周期 T 后,作出了 $T^2 - L$ 图像,如图丙所示,根据图中数据可得当地重力加速度 $g = \underline{\hspace{2cm}} \text{m/s}^2$ 。(结果保留3位有效数字)



丙

- (4) 查表可知宁德地区的重力加速度为 9.79 m/s^2 ,则本实验的相对误差为 $\underline{\hspace{2cm}}\%$ 。(结果保留2位有效数字)

三步稳解题

(1) 分析实验目的：利用手机、磁化的小球等实验器材来测量当地的重力加速度。

(2) 确定实验原理：

①利用手机中的磁传感器记录磁感应强度的变化规律，确定单摆的周期；

②利用 $T^2 - L$ 图像求当地的重力加速度。

(3) 制定数据处理方案：根据单摆的周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L+r}{g}}$ 得出 $T^2 =$

$$\frac{4\pi^2}{g}(L+r), \text{ 结合 } T^2 - L \text{ 图像得斜率 } k = \frac{4\pi^2}{g}, \text{ 求 } g = \frac{4\pi^2}{k}。$$

答案: (1) $\frac{2t}{N-1}$ (2) 2.00 (3) 9.96 (4) 1.7

解析: (1) 测得第1个到第 N 个磁感应强度最大值之间的时间间隔为 t , 则单摆周期 T 的测量值为 $T = \frac{t}{\frac{N-1}{2}} = \frac{2t}{N-1}$ 。

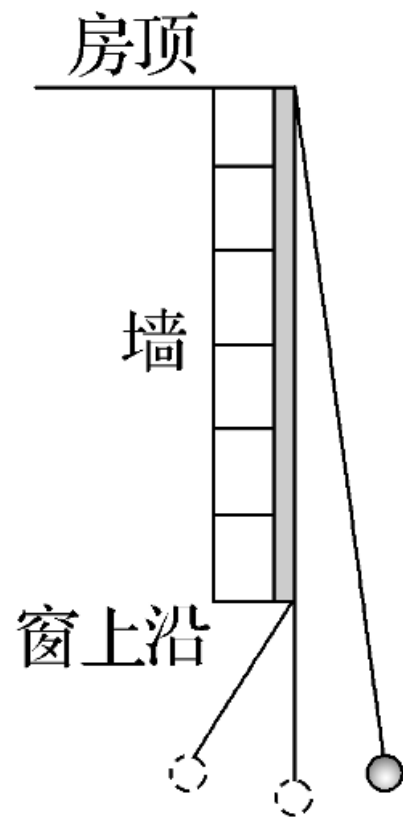
(2) 摆球直径为 $d = 20 \text{ mm} + 0 \times 0.1 \text{ mm} = 20.0 \text{ mm} = 2.00 \text{ cm}$ 。

(3) 根据单摆周期公式可得 $T = 2\pi\sqrt{\frac{L+r}{g}}$, 整理可得 $T^2 = \frac{4\pi^2}{g}(L+r)$, 其中 $r = \frac{d}{2} = 1.00 \text{ cm}$, 对比图丙可得 $k = \frac{4\pi^2}{g} = \frac{4.0}{1.00+0.01} \text{ s}^2/\text{m}$, 解得 $g \approx 9.96 \text{ m/s}^2$ 。

(4) 查表可知宁德地区的重力加速度为 9.79 m/s^2 , 则本实验的相对误差为 $\eta = \frac{9.96-9.79}{9.79} \times 100\% \approx 1.7\%$ 。

对点训练

1. (2024·福建泉州模拟预测) 一端固定在房顶的一根细线垂到三楼窗沿下, 某同学为了测量窗的上沿到房顶的高度, 在线的下端系了一小球, 发现当小球静止时, 细线保持竖直且恰好与窗子上沿接触。打开窗子, 让小球在垂直于窗口的竖直平面内摆动, 如图所示。



(1) 为了测量小球摆动的周期，他打开手机里的计时器，在某次小球从窗外向内运动到达最低点时数1，同时开始计时，随后每次小球从外向内运动到最低点依次数2、3、4、 \cdots ，数到 n 时，手机上显示的时间为 t ，则小球摆动的周期 T 为 $\frac{t}{n-1}$

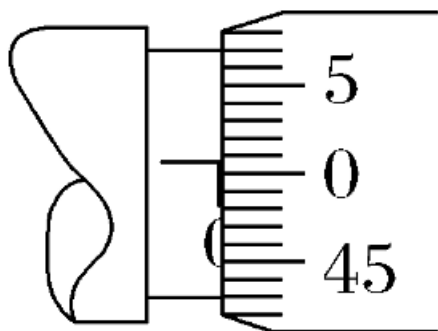
·
解析：从小球第1次从外向内通过最低点开始计时，第 n 次从外向内通过最低点用时 t ，故周期为 $T = \frac{t}{n-1}$ 。

(2) 该同学用钢卷尺测量出摆动中小球球心到窗上沿的距离, 记作 L 。则用小球摆动的周期 T 、 L 和当地的重力加速度 g , 可将窗的上沿到房顶的高度表示为 $\frac{gT^2 - 2\pi T\sqrt{gL}}{\pi^2}$ 。

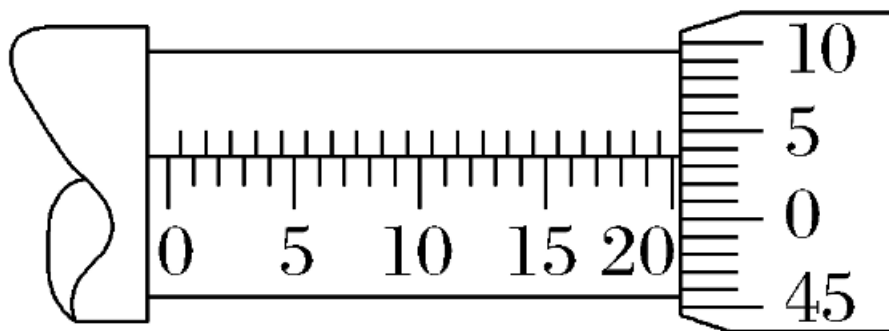
解析: 以窗上沿为悬点的单摆周期为 $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$, 以房顶为悬

点的单摆周期为 $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{L+h}{g}}$, 其中有 $T = \frac{1}{2}(T_1 + T_2)$, 联立

解得 $h = \frac{gT^2 - 2\pi T\sqrt{gL}}{\pi^2}$ 。



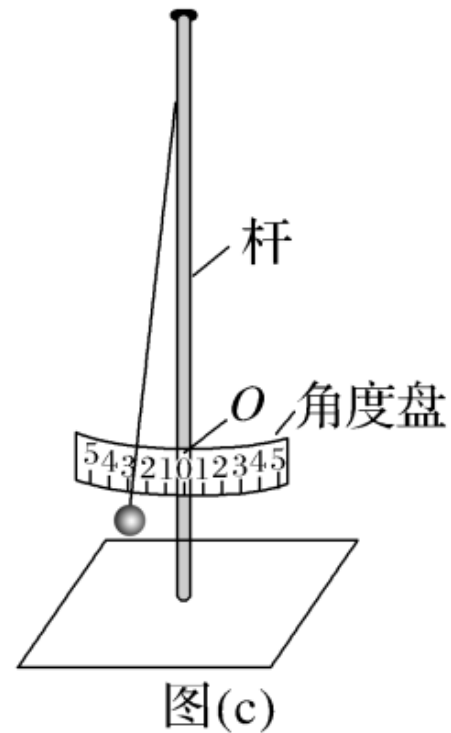
图(a)



图(b)

解析：题图 (a) 中，螺旋测微器固定刻度读数为0.0mm，可动刻度读数为 $0.8 \times 0.01 \text{ mm} = 0.008 \text{ mm}$ ，所以读数为0.008 mm；题图 (b) 中，螺旋测微器固定刻度读数为20.0 mm，可动刻度读数为 $3.5 \times 0.01 \text{ mm} = 0.035 \text{ mm}$ ，所以读数为20.035 mm；摆球的直径 $d = 20.035 \text{ mm} - 0.008 \text{ mm} = 20.027 \text{ mm}$ 。

(2) 单摆实验的装置示意图如图(c)所示, 其中角度盘需要固定在杆上的确定点 O 处, 摆线在角度盘上所指的示数为摆角的大小。若将角度盘固定在 O 点上方, 则摆线在角度盘上所指的示数为 5° 时, 实际摆角 大于 5° (填“大于”或“小于”)。



图(c)

解析：角度盘固定在 O 点时, 摆线在角度盘上所指角度为摆角大小, 若将角度盘固定在 O 点上方, 由几何知识可知, 摆线在角度盘上所指的示数为 5° 时, 实际摆角大于 5° 。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
<https://d.book118.com/616141104050011005>