浙江大学

**物 理 实 验 报 告**

**实验名称： 用单摆测量重力加速度**

**指导教师：**

**班 级 号： 周一上午345节**

专业：\_\_\_\_\_计算机科学与技术\_\_\_ \_\_

班级：\_\_\_\_\_ 计科2105\_\_\_\_\_\_\_\_\_

姓名：\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_

学号：\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

实验日期:\_12\_月\_05\_日 星期一上午

**预习部分 认真书写**

|  |
| --- |
| 【实验目的】  单摆实验是一个经典的物理学实验，许多著名的物理学家都对单摆实验进行过细致的研究。本实验旨在基于不确定度均分原则，进行简单设计性实验基本方法的训练，根据已知条件和测量精度的要求，学会应用误差均分原则选用适当的仪器和测量方法，并学习累积放大法的原理和应用，分析基本误差的来源，提出进行修正和估算的方法。  本实验通过单摆来测量重力加速度，在实验过程中，需要掌握游标卡尺，螺旋测微仪，刻度尺和秒表的测量与读数（特别是有效位数的选取），并熟悉单摆装置的具体搭接方式与实验使用规则，巩固加深对单摆周期公式的理解。 |
| 【实验原理】  单摆在物理学中指在细线的一段系上一个小球（较重），另一端固定于悬点，注意需要固定不能产生松动，不然会导致摆线伸长，摆动会偏离一个平面，导致圆锥摆的产生等情况，影响实验测量。假设线的伸缩（非伸长）和质量可以忽略，小球的直径远小于线长，在摆动时可以看做质点，则这样的装置被称为单摆。   1. 单摆的近似的周期公式   由牛顿力学，单摆的运动可作如下描述。  我们首先可以得到，重力对单摆的力矩为：  IMG_256  其中m为质量，g是重力加速度，l是摆长，θ是单摆与竖直方向的夹角，注意，θ是矢量，这里取它在正方向上的投影。我们希望得到摆角θ的关于时间的函数，来描述单摆运动。由角动量定理可得：  IMG_256  其中I是单摆的转动惯量，β是角加速度。  IMG_256  于是我们可以简化到：  上式是一个[非线性](https://baike.baidu.com/item/%E9%9D%9E%E7%BA%BF%E6%80%A7?fromModule=lemma_inlink" \t "https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%95%E6%91%86/_blank)微分方程。所以严格地说上式描述的单摆的运动并不是[简谐运动](https://baike.baidu.com/item/%E7%AE%80%E8%B0%90%E8%BF%90%E5%8A%A8?fromModule=lemma_inlink" \t "https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%95%E6%91%86/_blank)。不过，在θ比较小时，近似地有sin θ ≈ θ。此时，上式转变为一个二阶常系数线性齐次微分方程，存在通解：  IMG_256  于是单摆的非线性的运动被线性地近似为[简谐运动](https://baike.baidu.com/item/%E7%AE%80%E8%B0%90%E8%BF%90%E5%8A%A8?fromModule=lemma_inlink" \t "https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%95%E6%91%86/_blank)，有等式：  IMG_256  IMG_256  T为单摆周期，l为摆长（注意1/2小球直径），g为所求重力加速度。   1. 不确定度均分原理   在间接测量中，每个独立测量的量的不确定度都会对最终结果的不确定度有贡献。如果已知各测量之间的函数关系，可写出不确定度传递公式，并按均分原理，将测量结果的总不确定度均匀分配到各个分量中，由此分析各物理量的测量方法和使用的仪器，指导实验。一般而言，这样做比较经济合理。对测量结果影响较大的物理量，应采用精度较高的仪器，而对测量结果影响不大的物理量，就可以不追求高精度仪器。  我们知道，如果我们所求物理量有如下乘积表达式， V=abc ，那么相对不确定度结果应该为 ，为了方便计算，我们往往采取两边平方的表示方法。因为相对不确定度的计算过程依靠取对数后求偏导实现，因而对于单摆周期公式而言，相对不确定度计算公式结果如下：    对于不确定度均分原理而言，摆长L与周期T对于最终g的不确定度贡献相同，因而两者的权重均为1/2，在后面的分析中我们可以看到，g不确定度的主要来源是周期时间上的统计误差，因为人判断的反应时间，需要一定的周期数量来弥补这一偏差，而长度测量方面的不确定度实际上远远小于工具带来的精确度限制。 |

**预习部分 认真书写**

|  |
| --- |
| 【实验内容】  1、游标卡尺的使用  学会使用游标卡尺测量与读数，重复测量5次单摆摆球的直径，记录数据并计算平均值。  2、螺旋测微计的使用  学会使用螺旋测微计测量与读数，重复测量5次单摆摆球的直径，读数时估读一位，记录数据并计算平均值。  3、电子秒表的使用  使用电子秒表测量单摆摆动5个周期的时间（取小球经过最低点为起始终止位置），重复五次，记录实验数据并计算平均值。  4、根据不确定度均分原理，设计单摆测量重力加速度g  （1）根据误差均分原理，与虚拟实验过程中给出的数据，自行设计试验方案，合理选择测量仪器和方法，特别是计算摆动周期数的需求。  （2）测量重力加速度g，测量精度要求△g/g < 1%。  提供的器材及参数:  游标卡尺，螺旋测微仪，米尺，电子秒表，支架，细线(尼龙线)，钢球，摆幅测量标尺(提供硬白纸板自制)。  假设摆长l≈70.00cm；摆球直径D≈2.00cm；摆动周期T≈1.700s；米尺精度△米≈0.05cm；千分尺精度△千≈0.001cm；秒表精度△秒≈0.01s.  根据统计分析，实验人员开或停秒表反应时间为0.1s左右，所以实验人员开、停秒表总的反应时间近似为△人≈0.2s.  5、利用单摆测量重力加速度g  利用实验室提供的单摆仪，调整并确定合适的摆线长度，测量重力加速度。 |
| 【实验器材及注意事项】  实验器材：  铁架台、电子秒表、米尺、螺旋测微器、游标卡尺、铁球、细线、摆幅测量标尺。  注意事项：   1. 实验所使用单摆要符合理论要求，即选择密度较大，体积较小的小球，细、轻、不易伸长的细绳，并在每次测量时保证小球的摆动幅度在正负5度以内（仅学习使用秒表测量周期时不作摆动幅度要求）。 2. 单摆悬线上端要固定，用铁夹夹紧，以免小球进行摆动时引起绳子的长短变化或小球摆动不在同一平面，产生圆锥摆的情况产生；若产生圆锥摆，会影响重力加速度的测量精度，往往使重力加速度比标椎值大。 3. 计算单摆的摆动周期次数时，要以小球通过最低位置作为计时的起点和终点，且在按下计时器的同时数“零”，小球每两次经过最低位置，周期数加一，这样可以有效减少实验误差。 4. 根据不确定度的均分原则与g的精度要求，需要精确计算最少需要统计的周期个数，在此基础上可以取较大周期数在适当提升精度的同时，方便后期数据处理。 |

**数据结果 不得涂改**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 【实验数据与结果】（具体实验数据截图在“数据记录与草表”模块）   1. 使用游标卡尺测量小球直径  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 摆球直径/mm | 20.56 | 20.58 | 20.54 | 20.56 | 20.56 |   根据表中记录数据，我们可以得出小球的平均直径为 20.56mm.  根据计算A类不确定度为 0.007mm.  所以小球直径为 （20.56±0.01） mm.   1. 使用螺旋测微仪测量小球直径  |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 摆球直径/mm | 19.740 | 19.742 | 19.738 | 19.739 | 19.741 |   根据表中记录数据，我们可以得出小球的平均直径为 19.740 mm  根据计算A类不确定度为 0.0007 mm  所以小球直径为 （19.740±0.001） mm   1. 用秒表测量单摆周期   根据表中数据，单摆摆动五个周期所需的时间为9.52s，进而每摆动一个周期需要的时间是 1.90s.   |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | 测量次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | 时间/s | 9.52 | 9.53 | 9.52 | 9.52 | 9.51 |  1. 不确定度均分原理设计所需统计单摆周期数   根据相对不确定度计算公式 ，与虚拟实验过程中给出的不确定度，因为均分的原理，我们可以得到，将T≈1.700s带入，我们可以计算得到的数值，≈6\*10^-3，再通过△s/（△s为0.21s）计算得到要求的最小周期数n，n≈34.9，因为n取整，则为35，说明我们至少统计35个周期的摆动，才可以使时间测量方面带来的不确定度被稀释到满足精度要求。  虽然此时长度测量贡献的不确定度微乎其微，并不满足均分的效果，为了计算的方便且可以适当提高精度，本实验中我统一取50次单摆周期进行结果的计算。   1. 利用单摆测量重力加速度   IMG_256在本实验中，我取用绳长为1000.0mm，小球半径为20.398 mm，摆动周期数50，共用时间 100.71s 进行计算，根据单摆公式：  可以得到，g=9.83m/s^2，因为第五个实验只有一次测量，无法直接计算不确定度，我们暂取前面两个实验的不确定度结果，近似计算g的不确定度情况。  其中对于小球直径来说，Ua=0.009mm ，Ub=△仪/√3，所以Ub=0.0005mm（螺旋测微仪），所以对映的 U总=0.009mm，远小于米尺的仪器测量误差，因而可以忽略。  米尺的不确定度为U=△仪/√3，所以U=0.29mm（不存在A类不确定度，且第一位为2，可以保留两位不确定度数字）。  时间测量上的不确定度为 U=0.21s/50=0.004s，再根据公式 ，我们可以计算出g的不确定度，约为0.04m/s^2，因而重力加速度的数值为：  g = （9.83±0.04）m/s^2 . |

**分析合理 善于思考**

|  |
| --- |
| 【误差分析】  1.首先，实验的误差必然来自于仪器的精度限制，虚拟实验的进行，这一点将是更加显著，毕竟实验操作性的错误不常发生，因而实验仪器的精度问题转变为较为显著的误差来源。  2.其次，人的主观性判断很大程度上影响着实验结果，在游标卡尺的读取和螺旋测微仪的读取中，对齐或估读的数值确定均存在较大的主观性，且在本实验中，时间测量往往是最大的不确定度变量，而时间测量的开始与停止的反应时间延迟，也在很大程度上收到主观差异的影响。  3.对于单摆的公式而言，本身就为了计算的方便，做了一些近似操作，虽然在数值较小时近似成立，但始终存在误差，从而会影响实验的精度。  4.小球的实际摆动中，并不保证在同一平面内摆动，会对周期计算产生影响，且空气阻力的存在，虽然不会直接影响周期，但可以通过改变小球的平面运动状态，间接的影响周期测量，从而影响试验精度。 |
| 【实验心得及思考题】  思考题：   1. 当测量不同精确度的测量对象时，根据什么原理选择测量仪器？   使用不确定度均分原理，该原理通过将测量结果的总不确定度均匀分配到各个分量中， 由此分析各个物理量的测量方法和所应使用的仪器，并指导实验。  一般情况下，自身测量误差较大或不确定度较高的物理量会选择精度较高的仪器进行数据结果的测量，或像本实验的时间测量一样，采取一些其他的方法降低不确定度与误差，而对那些对最终测量结果影响不大的物理量可以不采用高精度的测量仪器，因为其测量的不确定度适当上升并不会超过总不确定度的分配分量，虽然这样的平均化方法有些过于武断，但确实可以保证实验操作较高的经济性。   1. 为什么要测量单摆的多个周期时间？   通过不确定度的均分原则分析可以看出，因为人反应时间的存在和秒表计时的精度限制，若仅测量一个周期进行实验，会带入极大的计时误差，也就是不确定度；因为人反应时间和秒表精度误差的固定性，若统计多个周期后，用均值表示一个周期的时间花销，则可以稀释上述主要由人的反应时间带来的误差，且随着统计周期的提升，稀释的效果更明显，因而在实际测量单摆的过程中，我们需要一次测量多个时间周期的时间花销，以此减小时间统计上的不确定度，使最后g的计算更加准确。  3.调研重力加速度与你专业知识的关联？  我的专业是计算机科学与技术，在实际的生活应用中，计算机更偏向于一个计算工具，因而在一定程度上，计算机与重力加速度并无关联，但考虑到数值分析方面的知识，重力加速度数值的精确性在计算机计算中则显得无比重要。  首先，计算机对数值的贮存并不是精确无误的，因为浮点数等数据类型的设定，导致数据的存贮必然存在截断误差，如果存在除以小数的情况会导致这一截断误差被几何倍数放大，而重力加速度的测量过程本身就是一种截断，就目前计算机的精度而言，一般的数据都可以相对精确的贮存，因而在计算过程中，误差往往来自本身输入的变量，因而这对重力加速度的测量精度便提出了要求。测量仪器或是方法的存误，会导致重力加速度的精确度受限，不仅有计算上的舍入误差，更有精度不够的截断误差，这会在一些高精度的计算中使计算误差被放大，从而影响的计算结果，因而重力加速度的精确测量是计算机进行物理计算时的基础。  实验心得：  第一次线上做大物实验，还是好奇满满，虽然以前在生科导的实验中接触过线上实验的方式，但那些实验在结束后都会显示你的错误操作与具体扣分信息；但这次的大物实验却不是这样，它需要我自己去探索，究竟是什么地方出现了操作纰漏，经过一个上午的摸索，也是100完美完成实验。  虚拟实验，真的是不如线下实验课体验感好，但也算是有较高的仪器使用和操作还原度，至少还是可以学到或者重温一些知识，像螺旋测微仪在使用前需要零校准，单摆的计时起点和终点需要用最低点来把握......更重要的，是学到了不确定度均分原则这种处理方法与思想，一改以前不确定度计算的方法，用别样的方法去计算不同精确度的测量对象。  同样，这个方法的学习也有利于后续我们自己对实验的设计，通过给定的精确度条件，我们可以用不确定度均分原则在面对不同的测量物理量，更具针对性的选择使用何种精度的仪器，或者选用何种方法或何种数据处理技巧，这可以大大提升我们操作实验的经济性。 |

**仔细读数 认真记录**

|  |
| --- |
| 【数据记录及草表】  ed6ba73fae63752449012d584a4f91d  54cc3cd15190f2de99c996fb531aba6  4d95cf6a8edb8cfc55d2507ecd890b2  0cf6292b2441f439ff3d08a44f5bbe2    e3e59233f2a461a7fb35ff402262c46  教师签字： |