



物理

巧用转换思想 突破设计性实验

北京市密云区第二中学 张然 陈微 蔡晓娟

近年来,物理高考试题更加注重创新性与发展性,考查学生发现问题、利用所学解决问题的能力。设计性实验是发展性试题的代表,而实验探究能力是物理核心素养中的重要组成部分。下面,我们通过几个例题梳理设计性实验的解题思路,明确转换思想的方法,希望对同学们的复习有所帮助。

一、设计性实验例题分析

【例题】地球上的每两个地方的重力加速度 g 大小是不同的,在赤道最小,在两极最大,其标准值是在北纬 45 度海平面上的值,大小为 9.80665m/s^2 。小明来到我国海南省三沙市游玩,离赤道已经很近了,他想测定一下当地的重力加速度,可以如何测量呢?请写出测量方案、测量的物理量和计算表达式。

【分析】首先,同学们要学会阅读题干,找出其中的重要信息。该题目的核心问题是测量重力加速度,实验仪器并没有限定,可以自由添加,那么对应的方案就不止一种。

其次,要展开思考,判断有没有可以直接测量重力加速度的仪器。有则直接测量,没有则考虑有没有我们已经学习过的间接测量重力加速度的方法,比如“利用单摆测量重力加速度”的方案。

若没有想到曾学习过的方法,同学们可以思考是否有含重力加速度的基本公式,如自由落体运动中的 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 、测量物理重力时的 $mg = F_{\text{拉}}$ 、近地公转卫星模型中的 $F_{\text{万}} = mg = m\frac{4\pi^2}{T^2}R$ 等。

最后是细化方案,要明确需要用到哪些装置,重点写出了哪些测量仪器、测量了哪些物理量,并根据测量的物理量推导出最终的计算表达式。

【详解】

方案一:利用单摆测量重力加速度,如图 1 所示。

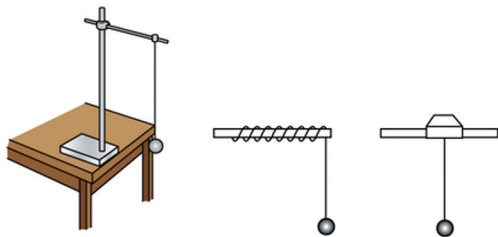


图 1

如图将小钢球、细线、铁架台等实验仪器组装好,用米尺测量出摆线悬挂点到小球中心的摆长 l 。将小球拉离竖直位置(摆角在 5 度左右),释放小球,让小球做单摆运动,用秒表测量出小球 n 次全振动的时间 t 。根据单摆周期公式 $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$,用累积法计算出单摆的周期 $T = \frac{t}{n}$,解得 $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \frac{4\pi^2 l n^2}{t^2}$ 。

方案二:利用天平和弹簧测力计分别测量重力加速度。

准备一个钩码,用弹簧测力计竖直拉起钩码,待钩码静止后测出钩码的重力 G ,再用天平测量出钩码的质量 m 。根据重力与质量关系 $G = mg$,解得 $g = \frac{G}{m}$ 。

方案三:滴水法测量重力加速度,如图 2 所示。

让水龙头的水一滴一滴地滴在正下方的盘子里,调节水龙头阀门,使一滴水开始下落的同时,恰好听到前一滴水落地时发出的清脆声音。用手机测量 n 滴水下落的总时间 t_n ,用刻度尺测量水龙头出水口到地面的高度 h ,多次测量取平均值。根据自由落体运动规律 $h = \frac{1}{2}gt^2$,用累积法计算出一滴水下落的时间 $t = \frac{t_n}{n}$,解得 $g = \frac{2hn^2}{t_n^2}$ 。

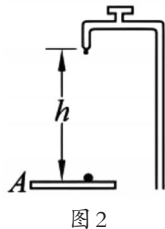


图 2

二、转换思想方法总结

根据上述例题,同学们可以发现,虽然我们并没有直接计算重力加速度的基本公式,但是我们曾学习过的一些公式中含有重力加速度。这个时候就可以利用已有公式推导出重力加速度的公式,以此作为我们测量的实验原理,根据它来设计实验方案。这种方法被称为转换法,转换的思想在我们高中阶段的学习中常有涉及。

一是伽利略对自由落体运动研究过程中的转换。伽利略所处的时代技术不够发达,无法直接测定瞬时速度,所以也就不能直接得到速度的变化规律。如果物体的初速度为 0,而且速度随时间的变化是均匀的, $v \propto t$,它通过的位移就与所用时间的二次方成正比,即 $x \propto t^2$ 。这样只要测出物体通过不同位移所用的时间,就可以检验这个物体的速度是否随时间均匀变化。此外,由于当时记录时间的工具仅仅是滴水计时法,所以不能测量快速运动的自由落体运动时间,伽利略又设计了倾斜轨道等效重力的实验,如图 3 所示。

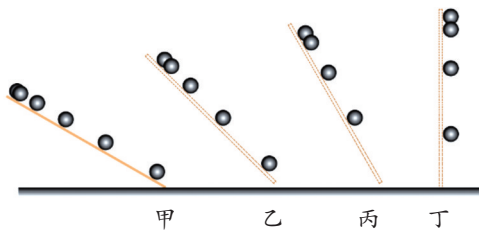


图 3

二是探究加速度与力、质量的关系实验。在探究加速度与合外力、质量之间的比例关系实验中,不同情境下的加速度值测量起来是比较繁琐的。而通过数学关系,可以不测量加速度的大小。当两个初速度为 0 的匀加速直线运动物体的运动时间相等时,它们的位移与加速度成正比,即位移比就等于加速度之比。这样能将测量加速度转换成测量位移,我们就有了更简单的实验方案,如图 4 所示。

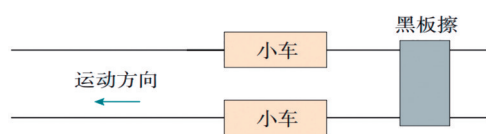


图 4 用黑白擦控制小车的动与停

三是验证动量守恒定律。验证碰撞前后动量是否守恒,需要测量碰撞前后两球的速度,可以通过平抛的知识,把速度测量转换成位移测量。如图 5 所示,让一个质量较大的小球从斜槽上某一位置由静止滚下,与放在斜槽末端的另一个大小相同、质量较小的小球发生正碰,之后两小球都做平抛运动。由于两小球下落的高度相同,所以它们的飞行时间相等。如果用小球的飞行时间作时间单位,那么小球飞出的水平距离在数值上就正比于它的水平速度。因此,只需测出不放被碰小球时,入射小球落地时飞行的水平距离 S_{OP} ,以及碰撞后入射小球与被碰小球落地时飞行的水平距离 S_{OM} 和 S_{ON} 。若在实验误差允许的范围内, $m_1 S_{OP} = m_1 S_{OM} + m_2 S_{ON}$,即可验证动量守恒定律。

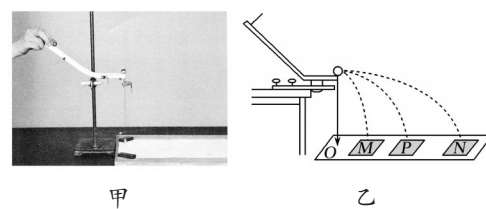


图 5

还有在探究影响库仑力的因素中,将库仑力大小转换成细丝偏离平衡位置的角度大小;在探究影响平行板电容器大小的因素中,将电容变化转换成两极板间电势差变化,再转换为静电计指针角度变化;在探究影响通电导线受力因素中,导线受力的大小转换成通电导线偏离竖直方向角度大小等。转换思想的核心就是从“无法测、不易测”到“可以测、方便测”,通过一些物理数学规律,将方案进行改变或转换,使一些看起来不可能实现的测量变成可能,使一些实验方案得以简化,使实验方案多样化。

三、设计性实验学法点拨

首先,同学们要重视教材。对教材中的典型实验、课后习题进行回顾,适当归类,尝试找出知识概念后隐藏的物理思想方法,体会应用这些思想方法研究问题时的具体过程,掌握实验设计的一般方法。

其次,要注意细节。实验设计注重实验原理的合理性,也关注实验的真实性和可行性。同学们对实验步骤的描述要尽量完整规范,在细节上

保障得分。

此外,同学们还要适当关注社会热点问题,注重物理与生活实际的联系。近年高考试题特别关注环保、能源、可持续发展、高科技、国内外时政大事等社会热点问题,尤其是我们国家已经开展的多次太空授课。同学们遇到此类试题时,要重视渗透科学、技术和社会协调发展的思想,突出科学性与人文性的有机结合。