

在多角度提问与解惑中培养质疑创新能力

——以“平抛运动实验系统误差分析”教学为例

蔡 钊 (华南师范大学附属中学 广东 511000)
陈继红 陈信余 朱燕明 (广州市教育研究院 广东 511000)
曹卫东 (广州大学附属中学 广东 511400)

摘 要 引导、启发学生对平抛运动实验的误差进行多角度思考、提问,通过深入分析、计算、论证让学生经历体验调用已有知识分析问题的过程并养成习惯,体验提出问题、解决问题的思维路径,为培养质疑创新能力提供一种教学方式。

关键词 平抛运动 误差分析 质疑创新 科学思维

文章编号 1002-0748(2023)11-0018

中图分类号 G633·7

文献标识码 B

质疑创新是科学思维的重要组成部分,是较高层次的素养之一,而提出问题是质疑的直观表达。爱因斯坦说过:“提出一个问题往往比解决一个问题更重要,因为解决问题也许仅是一个数学或实验上的技能而已。而提出新的问题,新的可能性,从新的角度看旧的问题,却需要创造性的想象力。”^[1]

本文将以平抛运动实验误差分析为载体,不断引导学生提出问题,并通过运用物理规律和数学工具不断解决问题,以此为主要线索展开教学活动。

实验误差分析是实验教学的一个重难点,也是对实验过程进行审视、反思的重要环节^[2]。在该环节,如果能够正确引导学生针对实验的步骤、器材、原理等各个方面进行审视,针对各个环节的误差提出问题,并针对这些问题展开教学活动,启发学生搜索、应用原有知识进行全方位分析,逐渐形成提出问题、分析问题、解决问题的能力。

下面,以平抛运动实验的误差分析为例。

用如图 1 所示的装置研究平抛运动,相关实验的内容如下:

(1) 将斜轨固定在桌面上,反复调节斜轨末端成水平;

(2) 在末端出口处安装光电门并调节其到适当位置。将贴有坐标纸的木板紧靠在斜轨出口处竖直放置,并在坐标纸上将出口处标为 O 点,过 O 点作水平线为 x 轴、竖直线为 y 轴;

(3) 用螺旋测微器测量小球的直径 d,读数如图 2 所示,则 $d = 6.200 \text{ mm}$;

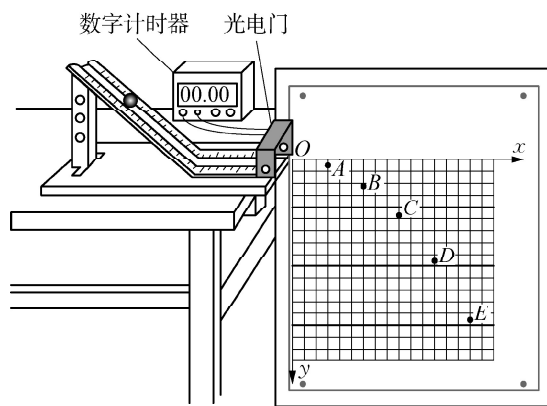


图 1

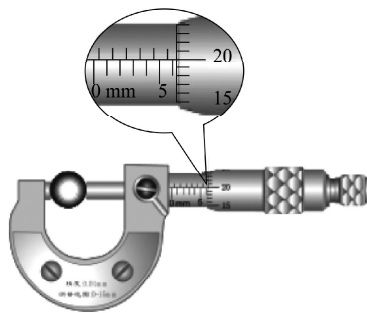


图 2

(4) 从斜轨上释放小球,用每隔 $\frac{1}{30} \text{ s}$ 曝光一次的频闪照相机正对着木板照相;

(5) 从数字计时器读得小球通过光电门的遮光时间为 $6.2 \times 10^{-3} \text{ s}$;

(6) 根据频闪照片中记录的信息,在图 1 的坐标

纸上标出小球离开斜轨后的 5 个连续位置, A、B、C、D、E, 读得 A、E 两位置间的水平距离为 12.00 cm。

完成了以上实验内容后, 师生共同根据小球的直径 d 以及它过光电门的时间, 求出小球的初速度 $v_1 = \frac{d}{t} = \frac{6.2 \times 10^{-3} \text{ m}}{6.2 \times 10^{-3} \text{ s}} = 1.0 \text{ m/s}$, 而根据 A、E 间的距离和频闪照相的时间间隔求得平抛运动的水平速度为 $v_2 = \frac{x}{4T} = \frac{0.12 \text{ m}}{4 \times \frac{1}{30} \text{ s}} = 0.9 \text{ m/s}$ 。

根据上述结果, 多数学生可能提出的问题: 该实验的误差多大? 根据计算可知 $\eta = \frac{v_1 - v_2}{v_1} \times 100\% = 10\%$ 。按照实验原理, v_1 应该等于 v_2 , 为什么会有这么大的误差呢? 面对一个物理现象, 多数学生凭直觉提出的问题往往比较容易解决, 这些问题处于学生群体思维能力平均水平的层次, 解决这些问题只是完成对一个知识或现象的认知, 可能无法对学生的思维层次造成影响或提升。而教学过程中, 教师往往需要预判学生可能提出的问题, 或者引导学生提出有价值的问题, 通过解决这些有价值的问题, 才能使学生的思维层次得到提升。

下面, 从提出问题与解决问题的过程来探讨培养质疑创新能力的一种策略。

1 小球在斜面轨道上受到的摩擦阻力

这是多数学生首先可能提出的问题: 这个误差有没有可能是轨道斜面上的摩擦阻力造成的?

这个问题要从实验原理进行思考, 小球每次从斜面上同一位置释放, 到达光电门开始遮光的过程中, 摩擦阻力做功相同, 小球开始遮光的速度相同。因此, 只要保证小球每次释放的位置相同, 小球遮光之前的摩擦阻力便不会造成该误差。

是不是小球运动过程中受到的摩擦阻力造成的?

2 小球平抛运动过程中的空气阻力

学生可能提出的第二个直接问题是: 该误差是不是平抛运动过程中空气阻力造成的? 不仅仅是学生, 多数教师也会认为是空气阻力造成了这个误差。

笔者近些年来养成了这样的习惯: 慎重对待直觉问题, 对可以论证的直觉问题, 总是想方设法用数学的工具进行论证^[3]。一些问题往往在师生共同探讨、论证中, 获得令学生信服的答案, 而这个过程也恰恰培养了学生质疑、论证的思维习惯。

师生共同探讨空气阻力的问题: 由空气阻力公

式: $f = \frac{1}{2} C_D \rho S v^2$, 其中速度较小, C 的值可以取 0.40^[4], 空气密度 ρ 为: 1.29 kg/m^3 , 铁球的密度为 $\rho_{\text{铁}} = 7.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 假设小球整个过程均以最大水平速度 $v_1 = 1 \text{ m/s}$ 运动(即预估最大阻力)。

由小球从 A 到 E 的时间: $\Delta t = \frac{1}{30} \times 4 \text{ s} = \frac{2}{15} \text{ s}$, 由动量定理: $f \Delta t = m \Delta v$, 由此造成的水平速度变化量满足: $\frac{1}{2} C_D \rho S v^2 \Delta t = \rho_{\text{铁}} \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta v$, 利用 $S = \pi r^2$, $r = d/2 = 3.100 \text{ mm}$, 解得: $\Delta v = 0.00105 \text{ m/s}$, 造成的相对误差为: $\eta = \frac{\Delta v}{v} \times 100\% = 0.105\%$ 。不难发现空气阻力不是造成误差的主要原因! 师生共同算出这个结果时, 可以从学生脸上看到一脸疑惑又信服的表情。

3 从小球遮光结束到离开轨道水平部分的摩擦阻力

上述两个常见且最容易想到的因素都被通过分析、计算证实不是造成该实验误差的主要原因, 而多次重复该实验, 这个误差总是存在, 且接近 10%, 那么造成误差的原因是什么呢? 教师继续引导学生思考。

有学生将线索指向图 3 所示的位置: 当小球经过光电门时, 它遮光结束后在水平轨道还运动了一段小距离后才离开轨道, 有没有可能是这个原因造成了误差呢?

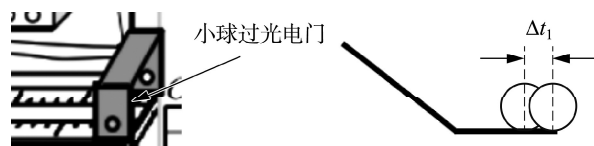


图 3

师生共同计算: 小球从斜面滚动而下, 滚动摩擦因数较小, 可以设为 0.02, 设小球在该段距离经历的时间为 $\Delta t_1 = 6.2 \times 10^{-3} \text{ s}$, 即可以认为小球离开光电门的时间也等于 $6.2 \times 10^{-3} \text{ s}$ (数量级相同即可, 实际应小于该时间)。由此造成的速度变化量满足: $\mu mg \Delta t_1 = m \Delta v_1$, 可得 $\Delta v_1 = 1.24 \times 10^{-3} \text{ m/s}$, 相对误差为: $\eta = \frac{\Delta v_1}{v} \times 100\% = 0.0124\%$, 由于计算时预估较大, 所以该误差应该不是造成“10%”的主要因素!

到这里, 有些学生开始陷入“苦苦思索”中, 有些学生开始气馁了……

直到有学生提出这样一个问题: 有没有可能是小

球从轨道离开时速度方向与坐标纸不平行造成的?

4 小球平抛运动轨迹平面与坐标纸不平行

学生们显然觉得这个可能是主要因素! 于是开始动笔算起来: 若小球初速度与木板夹角为 3° (该角度已经是估计得很小), 小球在木板方向的投影为:

$$v_x = v_1 \cos 3^\circ, \text{ 造成的相对误差为: } \eta = \frac{v_1 - v_x}{v_1} \times 100\% = 0.14\%.$$

0.14%, 这个结果显然令人失望! 于是继续寻找: 夹角为 5° , 则误差为 0.38%; 若 10° , 误差为: 2.52%……, 显然, 这又不是造成误差 10% 的主要原因!

有同学提出: 有没有可能是摄像机不正对木板造成的?

这个问题的计算与轨道平面与坐标纸不平行类似, 不再赘述。这又令学生再次经历由希望到失落的过程。

5 小球经过光电门时, 球心与光线不在同一直线

这个问题笔者也百思不得其解, 但作为教师, 笔者认为学生的观察能力、思维潜力如果得到适当的启发应该能够超过教师。基于这个认知, 笔者引导学生对实验装置的各个细节以及实验原理进行全方位观察和思考, 直到找到真实的原因。

师生经过思索、探讨, 有学生提出这样一个问题: 会不会是小球经过光电门时, 光线并不是对着圆心所在水平面的直径?

于是, 师生将小球放在光电门处, 的确如此, 光

(上接第 17 页)

个“瞬移”的过程, 这样的过程实际上并不存在, 也会引入计算的难题。当考虑更真实的情况, 如考虑弹簧的质量, 或认为作用于弹簧的力使弹簧缓慢地伸长 d 时, 这样的能量“损失”的假象自然也就不存在了。可见, 建构理想模型时应深入考虑问题的物理原理, 注意关键要素的保留, 规避脱离现实情况与物理意义的瞬时过程。

3 总 结

电容器的充电需要一个连续的暂态过程, 而理想电容器充电过程模型忽略了电路中电荷量不可突变这一关键要素, 将这一过程变为“瞬时”过程, 引发了能量“损失”的假象。当考虑更贴近真实情况的连

线的位置如图 4 所示对着球心上方的某个位置。

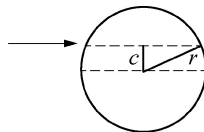


图 4

师生共同计算: 假设小球遮光的位置在球心以上 $c = 1 \text{ mm}$ 的位置, 则小球遮光的长度 L 应该等于:

$$L = 2\sqrt{r^2 - c^2} = 5.87 \times 10^{-3} \text{ m}, \text{ 由此计算初速度:}$$

$$v'_1 = \frac{L}{t} = \frac{5.87}{6.2} \text{ m/s} = 0.947 \text{ m/s}, \text{ 造成的误差:}$$

$$\eta = \frac{v_1 - v'_1}{v_1} \times 100\% = 5.6\%.$$

若 $c = 1.5 \text{ mm}$, 则误差为: 12.5%! 显然, 这就是造成误差 10% 的主要原因!

上述寻找误差原因的整个过程, 都是基于反复引导提出问题、解决问题展开的思维过程, 该过程对学生误差分析能力的提升、思维能力的提升具有较大的作用, 同时, 对培养学生质疑创新能力, 应该有积极的作用!

参考文献

- [1] 张庆林, 邱江. 思维心理学[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2008: 227—228.
- [2] 蔡钳. 由“铁球下落”引发的思考[J]. 物理教师, 2022, 43(07): 61—63.
- [3] 郑维鹏. 测定电源的电动势和内阻实验误差分析方法探讨及拓展[J]. 物理教师, 2010, 31(07): 31—32.
- [4] 周雨青, 叶兆宁, 吴宗汉. 球类运动中空气阻力的计算和分析[J]. 物理与工程, 2002(01): 55—59.

续暂态过程时, 这种能量“损失”问题便消除了。可见, 理想模型的构建需要全面深入地物理过程进行考量, 不能为了简化问题直接忽略问题的关键因素, 致使理想模型脱离物理意义, 引发更复杂的系列问题。

参考文献

- [1] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2018.
- [2] 张学文. 由一道电容器充电问题引起的思考[J]. 物理教学, 2020, 42(01): 27—29.
- [3] 浦仕毕, 马广明. 也谈电容器充电过程中的能量转换与损失[J]. 中学物理教学参考, 2022, 51(13): 31—33.
- [4] Mita K, Boufaida M. Ideal capacitor circuits and energy conservation [J]. American Journal of Physics, 1999, 67(8): 737—739.