

《万有引力定律》中几个应探究的问题

杨银海

《万有引力定律》这一章共三单元六小节,其中第六节《行星、恒星、星系和宇宙》为介绍性内容,知识点总量不多,课堂教学内容也相对单一,但完成整个章节教学后,学生对知识的掌握程度与教师的期望仍有一定距离,学生认为掌握本章知识不容易,特别是第四节《万有引力定律在天文学上的应用》和第五节《人造卫星宇宙速度》更觉困难。导致这一现象的原因是多方面的,以下几个问题是直接影响学生掌握本章知识的重要因素。

一、地球称量述理不够完善

称量地球质量,课本在第三节《引力常量的测定》中,只用一句话带过,即“可以用测定地球表面物体重力加速度的方法,测定地球的质量”,我们理解为因为 $GMm/R^2=mg$, 所以地球质量 $M=gR^2/G$, 但学生马上会质疑地球半径应如何计算,课本对此却并未提及。包括第四节《万有引力定律的应用》中天体质量 $M=4\pi^2 r^2/GT^2$ 的计算同样如此。物理教师总认为这是数学知识,没必要花太多精力,但学生却对此心存疑问。因此我认为,对地球质量的求解方法作一个简单介绍或说明是很有必要的。

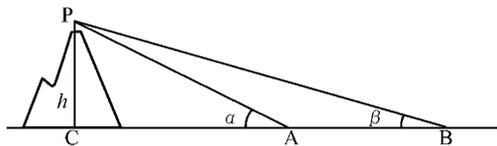


图 1

为此,我翻阅了不少物理参考书,但其解释均不令人满意。高中数学教材也没有这方面内容,在与高中数学教师进行探讨之后,我认为可用以下方法为学生讲解。

首先可借助海轮用数学方法求得海洋中被选定岛屿的高度 h (如图 1)。在海轮上看岛屿 P 点,测

得 A 点的仰角 α 、B 点的仰角 β , 读出海轮从 A 航行到 B 的里程。因为 $\tan\alpha=h/CA$, $\tan\beta=h/CB$, $AB=CB-CA=h/\tan\beta-h/\tan\alpha$, 所以 $h=AB(\tan\alpha\times\tan\beta)/(\tan\alpha-\tan\beta)$ 。随后可用相切法求地球半径: 人站在岛屿上的 P 点, 找到海平线的一个切点——岛屿 D (如图 2), 用海轮测出 CD 之间距离, $CD\approx PD$, O 为地球球心、D 为切点, PD 垂直于 OD。因 PDO 构成三角形, 得 $(R+h)^2=R^2+(PD)^2$, 所以地球半径 $R=[(PD)^2-h^2]/2h$ 。

虽然求解过程粗糙, 但这一方法可使学生明白: 在航海技术进步的年代, 利用数学知识可以求得地球半径, 而地球质量则必须是在卡文迪许测得引力常量以后, 代入 $M=gR^2/G$ 才能求得。

二、卫星运动速度探究不够

在课本第五节《人造卫星宇宙速度》第一部分内容人造卫星中, 描述了牛顿著作中所绘的一幅人造卫星图, 这里隐含着一个概念发射速度; 在第二部分内容宇宙速度中, 给出了一个速度公式 $v=\sqrt{GM/r}$, 这里又隐含着一个重要概念环绕速度; 后又提到“向高轨道发射卫星却比向低轨道发射卫星要困难”, 这里又隐含着发射速度、圆轨道与椭圆轨道、轨道变轨的概念; 最后又提到“三大宇宙速度”, 隐含着第一宇宙速度圆轨道, 第二、三宇宙速度椭圆轨道的概念。学过这一章后, 由于学生对卫星的几个速度概念不十分清楚, 也不知道圆、椭圆轨道之间如何变换, 因而难以掌握这些知识。下面就介绍“发射速度与卫星轨道的对应关系”和“椭圆轨道变轨成圆轨道的过程”。

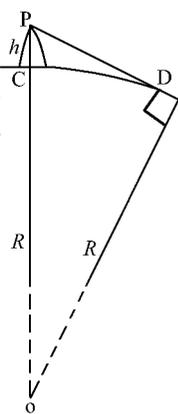


图 2

直方向上做平抛运动的小球与做自由落体运动的小球在同一时刻总是位于同一高度, 这说明作平抛运动的小球在竖直方向上的分运动是自由落体运动; 而在水平方向上, 做平抛运动的小球在相等的时间间隔内, 走过的路程相等, 这说明平抛运动的水平分运动是匀速直线运动。利用高速频闪数码照片还可

进一步分析平抛运动物体的飞行时间和水平位移与什么量有关。

随着科学技术的进步, 数码相机和计算机将不断更新换代, 并在现代化教学中日益普及。常规教学与现代技术的有机结合, 将为教育注入新的活力。

(黑龙江省齐齐哈尔大学物理系 161006)

发射速度与卫星轨道的对应关系 当发射速度小于 7.9 千米/秒时, 卫星做的是抛体运动, 速度越大, 卫星离地球越远; 当发射速度为 7.9 千米/秒时, 卫星做的是圆周运动, 卫星速度即第一宇宙速度; 当发射速度大于 7.9 千米/秒时, 卫星做的是椭圆运动, 速度越大, 远地点离地球越远。

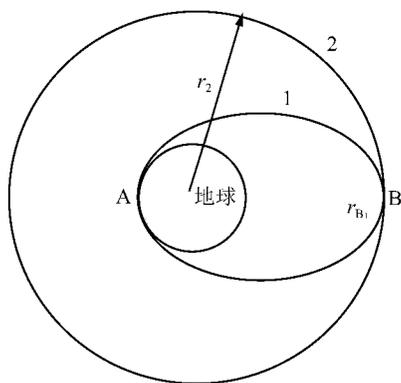


图 3

椭圆轨道如何实现变轨 当卫星发射速度大于 7.9 千米/秒时, 其轨道为椭圆, 到达距地球最远点 B 后, 仍以椭圆轨道运行, 如何实现变轨、变椭圆轨道为圆轨道呢? 具体分析如下: 卫星以大于 7.9 千米/秒的速度从 A 点发射, 沿椭圆轨道到 B 点(如图 3), 由于机械能守恒, 动能减少、势能增加, 推出 $v_{A_1} > v_{B_1}$ 。卫星沿椭圆轨道到 B 点的速度 v_{B_1} 与沿环绕轨道经过 B 点的速度不相等。推理如下: 卫星沿不同轨道所受万有引力一样、向心加速度也一样, 由于运动半径不一样($r_{B_1} < r_2$), 推出 $a_{B_2} = v_{B_2}^2 / r_2 = a_{B_1} = v_{B_1}^2 / r_{B_1}$, 所以 $v_{B_1} < v_{B_2}$ 。要实现轨道从椭圆形变为圆形, 卫星需要点火提速, 使速度由 v_{B_1} 达到 v_{B_2} 。

通过变轨的学习, 学生会进一步明白: 虽然卫星的环绕速度 $v = \sqrt{GM/r} < \sqrt{GM/R}$ 为卫星的第一宇宙速度 7.9 千米/秒, 但其发射速度是小于 7.9 千米/秒。由此可推出: 第一宇宙速度是圆周运动, 第二、三宇宙速度是非圆周运动。

当然, 上述分析是一种纯粹的理想化过程, 与实际情况存在一定差距, 如卫星发射不是一个冲力的作用, 而是持续的动力作用, 其轨道不是严格的椭圆, 变轨也没有那么明确。卫星发射其实是边运动边修正的过程。

三、知识拓展有待开发

《万有引力定律》这一章节, 与动力学知识关系紧密, 例如加速度、超重与失重等。如加以开发, 有

助于学生拓展思维、巩固知识。

加速度的应用 如高空中有有一个点, 一颗卫星做环绕运动经过此点, 另一颗卫星在此点竖直跌落(初速度为零), 二者的加速度在此点是否相等? 不少同学选择不相等。理由是: ①运动轨迹不同: 卫星圆周运动是曲线运动, 卫星跌落是直线运动; ②物理量变化不同: 匀速圆周运动的加速度是变量, 大小不变、方向时刻改变, 跌落运动的加速度是恒量, 方向不变、大小也不变, 只有在万有引力大小因距离变化而产生足够大的变化时, 其加速度才会改变。错误原因是, 学生不知道牛顿第二定律的适用范围。牛顿第二定律既适用于曲线运动、又适用于直线运动, 用公式比较即得 $a_{\text{圆周}} = F_{\text{万}} / M = a_{\text{直线}} = F_{\text{万}} / M$ 。

超重与失重的应用 学生知道物体在做自由落体运动时处于完全失重状态; 在做环绕圆周运动的卫星中, 物体是否处于失重状态, 有些学生还是不清楚, 不少学生认为超重与失重只发生在加速或减速的直线运动中, 不知道曲线运动中也有失重和完全失重。其实, $F_{\text{万}} = ma = mv^2/r$ 既适用于直线运动、又适用于曲线运动。

实际情况中的卫星坠落不可能是无初速直线跌落, 而是螺旋形运动过程, 是由切线圆周运动和法线直线下落运动复合而成, 所以它既有切向加速度、又有法向加速度。通过上述知识的拓展, 学生就能明白坠落卫星中的物体处于双重失重状态中。

显而易见, 《万有引力定律》整个章节在知识内容的完整性方面存在一定问题, 而教师在教学中如对知识加以探究和拓展, 则能很好地弥补这一缺陷。

(浙江省上虞春晖中学 312353)

科苑快讯

雨滴能够产生巨大反弹力

简单系统的背后也可能隐藏着复杂的物理原理。法国巴黎高等师范学校(Ecole Normale Supérieure)的丹尼斯·巴尔托洛(Denis Bartolo)和同事们发现, 下落的雨滴也有令人惊异之处。雨滴在击打抗水表面时, 能够产生 40 倍于撞击速度的喷流。巨大的反弹力来自流体动力的不稳定性, 这种不稳定性与雨滴撞击抗水表面时, 形成的一个空气漩涡有关。这是集合现象怎样产生非常有效的上转换作用的极好实例, 而且可能将有令人感兴趣的用途。

(高凌云译自 CERN Courier, 2006 年第 5 期)

现代物理知识