

运行的人造地球卫星受重力情况分析

杨宇红

(武汉中学 湖北 武汉 430060)

(收稿日期:2019-03-02)

摘要:重力是万有引力的一个分力,另一个分力是向心力,那么运行的人造地球卫星绕着地球做匀速圆周运动,万有引力就等于向心力,另一个分力重力应该为零,还是仍然受重力呢?

关键词:运行的卫星 万有引力 是否受重力

在万有引力部分的学习中,教师常常给学生总结:若忽略地球自转影响,地球及附近跟着地球旋转的物体,万有引力等于重力;绕着地球旋转的卫星,万有引力等于向心力等于重力.结果是学生比较会做后一类,但对不可忽略地球自转影响,地球及附近跟着地球旋转的物体,万有引力和重力的关系时却产生困惑,那么,绕着地球旋转的卫星到底还受重力吗?

我们不妨先来看看重力的定义,人教版必修1教材上,只说“由于地球的吸引而使物体受到的力,叫做重力”;很多的国内外各种课本及参考书对重力概念的定义也是这样的.根据这种定义,重力概念的内涵有:

(1) 重力的本质来源是地球的引力.

(2) 重力是一个表观的概念,是物体随地球一起转动时受到地球的引力.

(3) 重力等于物体受地球的引力和随地球绕轴转动所需向心力的矢量差.

(4) 重力的方向总是竖直向下的.(不是垂直向下)

(5) 重力是由于地球的吸引产生的,但不能说重力就是地球的引力.可以认为重力是万有引力的一个分力,另一个分力是向心力.

在百度百科中,重力的释义也是“物体由于地球的吸引而受到的力叫重力.”并挖掘了重力概念的内涵:这个概念只适用于地面附近.若研究高空乃至地球以外的太空中物体的重力,那该怎么办?重力

概念需要提升、拓广和加深,这值得认真研究.要科学地研究重力,首先要明确重力的研究环境,即研究范围和参照系.为什么还用参照系?因为重力概念中隐藏着运动学的加速度.这是提升重力概念时被挖掘出来的“神秘”之处.约定研究重力要在静力学范围内,要以放置物体的支持物或物体自身为非惯性系.弹力、摩擦力、电场力等只作用在物体的局部,不能使物体获得重量.能使物体获得重量的力不只是万有引力,还有惯性力.因为它们都是同时作用在物体的每一个质元上.所以重力的概念被提升为:能使物体获得重量的万有引力和惯性力的共同作用叫重力.这是提升后重力概念的深邃之处.此时重力概念的适用范围远远地扩大,它适用于宇宙中的任何天体、人造天体和飞行器,当然包括地球.

在百度汉语及《现代汉语词典》中,对重力的基本释义是:(1)地球吸引其他物体的力,力的方向指向地心.物体落到地上就是这种力作用的结果.也叫地心引力.(2)泛指任何天体吸引其他物体的力,如月球重力、火星重力等.详细释义则为:(1)重大的力量.《史记·张仪列传》:“以重力相压,犹乌获之与婴儿.”(2)地球对地面物体的引力,也称地心引力或地摄力.从广义言,任何天体使物体向该天体表面降落的力都称为重力,如月球重力、火星重力等.

很明显百度汉语中的重力采用的是地面及附近跟着地球旋转的物体,且是忽略地球自转影响这一大众最常见情景下的结果,紧贴大众生活被多数人接受;而百度百科中“能使物体获得重量的万有引力

和惯性力的共同作用叫重力”和常见教材教辅中“可以认为重力是万有引力的一个分力,另一个分力是向心力。”其实是相同的意思,其更准确而且应用起来基本能解释所有的现象,最被物理工作者和学习者接受。

但按照这个思路,绕着地球做匀速圆周运动的卫星,万有引力就等于向心力,另一个分力重力应该为零。可是很多教辅和题目都说卫星仍然受重力,重力等于万有引力,只有离地球无穷远才不受重力,对为什么完全失重则无法自圆其说,含糊其辞。例如很多教辅都有下面这个习题。

【例题】随着科学技术的发展,人类已经实现了载人航天飞行,试回答下列问题:

(1) 载人航天飞船做近地飞行时的速度约为 _____ km/s(已知地球半径 $R_{\text{地}} = 6\,400\text{ km}$,地球表面重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$)。

(2) 为了使飞船达到上述速度需有一个加速过程,在加速过程中,宇航员处于 _____ 状态。人们把这种状态下的视重与静止在地球表面时的重力的比值用 k 表示,则 $k = \underline{\hspace{2cm}}$ 。(设宇航员的质量为 m ,加速过程的加速度为 a) 选择宇航员时,要求他对这种状态的耐受力值为 $4 \leq k \leq 12$,说明飞船发射时加速度值的变化范围为 _____。

(3) 航天飞船进入距地球表面 $3R_{\text{地}}$ 的轨道绕地球做圆周运动时,质量为 64 kg 的宇航员处于 _____ 状态,他的视重为 _____ N;实际所受重力为 _____ N。

答案:(1)8 (2) 超重 $\frac{g+a}{g}$ $3g \sim 11g$ (3)

完全失重 0 40

解析:(1) 载人飞船近地飞行时,轨道半径近似等于地球半径,万有引力近似等于在地球表面的重力,提供其运行的向心力, $mg = m \frac{v^2}{R_{\text{地}}}$,故

$$v = \sqrt{gR_{\text{地}}} = \sqrt{10 \times 6.4}\text{ km/s} = 8\text{ km/s}$$

(2) 设在飞船向上加速过程中宇航员受支持力 F_{N} ,由牛顿第二定律

$$F_{\text{N}} - mg = ma$$

得

$$F_{\text{N}} = m(g+a) > mg$$

宇航员处于超重状态

$$k = \frac{F_{\text{N}}}{mg} = \frac{a+g}{g}$$

由题意 $4 \leq k \leq 12$,所以有 $3g \leq a \leq 11g$ 。

(3) 航天飞船在绕地球做匀速圆周运动时,重力完全用来提供向心力,宇航员处于完全失重状态,视重(对座椅的压力)为零,其实际所受重力也因离地高度增加而减少,为

$$G' = mg \left(\frac{R}{R+h} \right)^2 = \frac{1}{16} mg = 40\text{ N}$$

题中卫星到底受不受重力? 让众多的教师在讲解习题和学生学习时产生困惑。

笔者认为这是日常习惯和科学理论交织碰撞所致,就如同“百度汉语”和“百度百科”对重力解释的碰撞。从正规物理学角度来看矛盾是这样产生的:重力是万有引力的一个分力,另一个分力是向心力,而卫星的万有引力就等于向心力,那么另一个分力重力应该为零。但是地球附近每个位置都定义了与位置有关、由位置决定的重力加速度: $g = G \frac{M}{R^2}$, 或 $g' = \frac{GM}{(R+h)^2}$, 而万有引力 $G \frac{mM}{R^2}$ 或 $G \frac{mM}{(R+h)^2}$ 恰好等于卫星质量与当地重力加速度的乘积 mg 或 mg' , 但在多数人意识中, mg 或 mg' 就是卫星的重力,所以认为卫星还受重力,其实卫星质量与当地重力加速度的乘积并不是重力! 因为这个问题不影响具体解题及计算,而用“卫星加速度等于当地的重力加速度”也较好地解决了卫星内完全失重问题,所以就没有多少物理同仁深究罢了。查阅近 15 年各省市高考题,均未直接对此问题设问,应该也在回避这种不易确定答案的问题。

所以笔者认为,运行中的卫星受万有引力,万有引力等于卫星质量与当地重力加速度的乘积但不受重力,这是卫星内完全失重的根本原因。

以上个人拙见,欢迎大家批评指正,希望能让教师和学生找到更清晰的思路,更好地提高教学效率,理清学习者的思路。

参考文献

- 1 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理·必修 1. 北京:人民教育出版社,2010. 51
- 2 中国社会科学院语言研究所词典编辑室. 现代汉语词典. 北京:商务印书馆,2016