

对第三宇宙速度的再解释*

徐继芳

(徐州市第三十六中学 江苏 徐州 221000)

(收稿日期:2017-05-09)

摘要:宇宙速度对中学生来说是比较抽象的概念,特别是对于第三宇宙速度,很多学生学习后对这个概念还是很模糊.从太阳对天体的万有引力提供天体运动所需的向心力入手,通过具体的分析与计算,得出第三宇宙速度的大小.

关键词:第三宇宙速度 万有引力 向心力

在人教版高中《物理·必修2》第六章第5节“宇宙航行”一节中,对第三宇宙速度是这样解释的:“在地面附近发射一个物体,要使物体挣脱太阳引力的束缚,飞到太阳系外,必须使它的速度等于或大于16.7 km/s,这个速度叫做第三宇宙速度.”在学到这一节内容时,有学生提出这样的疑问:为什么发射卫星达到第三宇宙速度就可以脱离太阳的束缚,而地球绕太阳的公转速度比这还大,却没有脱离太阳的束缚,而是围绕着太阳运转呢?下面是笔者对此作出的解释.

用 r 表示日地间的平均距离, M_s 表示太阳质量, m 表示地球质量, v 表示地球绕着太阳的公转速度,将地球绕着太阳的运动近似看作是匀速圆周运动,由万有引力提供天体运动所需的向心力得

$$G \frac{M_s m}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

即

$$v = \sqrt{\frac{GM_s}{r}}$$

将太阳的质量 $M_s = 2.0 \times 10^{30}$ kg,日地平均距离 $r = 1.5 \times 10^{11}$ m,万有引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11}$ N·m²/kg²,代入速度的表达式得

$$v \approx 29.8 \text{ km/s}$$

以太阳为参照物,当飞行器(设质量为 m')的发射速度为 v' 时,它将脱离太阳的束缚.忽略空气阻力以及其他星球引力的影响,应用机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2} m' v'^2 = \int_r^\infty \frac{GM_s m'}{r^2} dr$$

取无穷远处为势能零点,得到

$$\frac{1}{2} m' v'^2 = \frac{GM_s m'}{r}$$

所以

$$v' = \sqrt{\frac{2GM_s}{r}} = \sqrt{2} v \approx 42.2 \text{ km/s}$$

即飞行器脱离太阳引力所需的速度为飞行器随地球环绕太阳公转的速度乘以 $\sqrt{2}$,当然这其中包含了地球绕太阳的公转速度29.8 km/s.两者相减得

$$\Delta v = v' - v = 12.4 \text{ km/s}$$

所以当飞行物的发射方向与地球公转的方向相同时,便可充分利用地球公转的速度.飞行器在离开地球时只需要相对于地球有12.4 km/s的速度便可以脱离太阳系,相应的动能为 $\frac{1}{2} m' \Delta v^2$,既要摆脱地球引力又要摆脱太阳引力束缚所需要的总动能为

$$E_k = \frac{1}{2} m' v_3^2 = \frac{1}{2} m' \Delta v^2 + \frac{1}{2} m' v_2^2$$

即

$$v_3^2 = \Delta v^2 + v_2^2$$

其中 v_2 为以地球为参照物的第二宇宙速度11.2 km/s.所以第三宇宙速度

$$v_3 = \sqrt{\Delta v^2 + v_2^2} = 16.7 \text{ km/s}$$

教材上所说的第三宇宙速度是以地球为参照物,且发射方向与地球的公转方向相同的速度,而地球的公转速度29.8 km/s是以太阳为参照物的.

参考文献

- 1 人民教育出版社.普通高中课程标准实验教科书 物理·必修2.北京:人民教育出版社,2010.44
- 2 钟锡华,周岳明.力学.北京:北京大学出版社,2000.81~83

* 江苏省教育科学“十三五”立项课题“聚焦课堂细节的高中教学微创新研究”的阶段性研究成果之一,项目编号:D/2016/02/141

作者简介:徐继芳(1979-),女,中教一级,主要从事中学物理教学.