

万有引力与航天高考新题鉴赏

马 剑

(南京第九中学 江苏 南京 210018)

(收稿日期:2016-04-01)

摘要:对2015年高考中“万有引力与航天”相关的创新试题进行分析,同时对现有发行杂志中存在的错误进行了修正.

关键词:万有引力与航天 高考 新题型

近期拜读了“2015 高考万有引力与航天类试题评析”^[1]一文,颇有感触.遂结合自己对教学内容的一些理解,再次对文中提及的一些新题加以鉴赏,以期对高三复习起到帮助.

【例 1】(2015 年高考天津卷) P_1 和 P_2 为相距遥远的两颗行星,距各自表面相同高度处各有一颗卫星 S_1 和 S_2 ,两卫星均做匀速圆周运动,图 1 中纵坐标表示行星对周围空间各处物体的引力产生的加速度 a ,横坐标表示物体到行星中心距离 r 的平方,两条曲线分别表示 P_1, P_2 周围的 a 与 r^2 的反比关系,它们左端点横坐标相同,则

- A. P_1 的平均密度比 P_2 的大
- B. P_1 的第一宇宙速度比 P_2 的小
- C. S_1 的向心加速度比 S_2 的大
- D. S_1 的公转周期比 S_2 的大

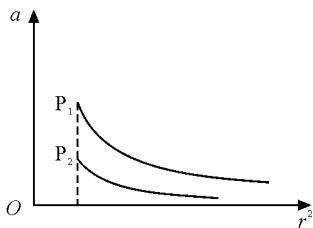
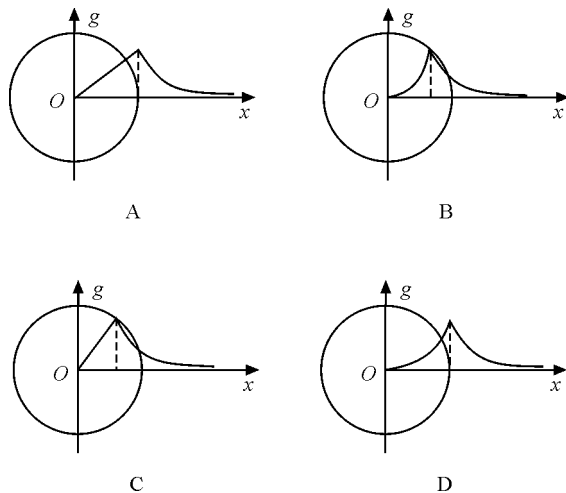


图 1 $a-r^2$ 关系曲线

评析:本题在“中心天体-环绕天体”模型基础上进行了创新,注重对学生分析图像数据能力的考查.在 $a-r^2$ 关系曲线中, P_1 和 P_2 曲线的左端点横坐标相同,可知 P_1 和 P_2 两颗行星的半径相同.但由于考生对行星内部及外部的加速度分布情况认识不到位,得出此条件还是有一定难度的.

先通过变式 1 讨论行星内部及外部的加速度分布情况.

变式 1:设地球是一质量分布均匀的球体, O 为地心.已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零.在下列 4 个图中,能正确描述 x 轴上各点重力加速度 g 的分布情况的是



解析:对地球外部一点,根据牛顿第二定律得 $a = G \frac{M}{x^2}$ (M 为地球质量, x 为地球外一点距离地球球心的长度),重力加速度与 x^2 成反比.在地球内部,距地球球心长度为 r 的一点

$$a = G \frac{M'}{r^2} = G \frac{\frac{4}{3}\pi r^3 \rho}{r^2} = \frac{4}{3}G\rho\pi r$$

重力加速度与距离球心的长度成正比.正确选项为 A.

故例 1, $a-r^2$ 关系曲线中 P_1, P_2 曲线的左端未

画出的应是星球内部的关系图像. 如果学生有这部分的知识储备, 再认真审题——图中纵坐标表示行星对周围空间各处物体的引力产生的加速度 a , 便能对两行星半径大小进行判断.

解答: A, C 正确.

对于选项 A, 选取两行星表面一点进行加速度大小比较, $a_1 > a_2$. 又因为 $a = G \frac{M}{r^2}$, 行星的半径相等, 因此 $M_1 > M_2$, 平均密度 $\rho_1 > \rho_2$. 选项 A 正确.

对于选项 B, 行星的半径相等, $v = \sqrt{gR}$, P_1 的第一宇宙速度比 P_2 的大. 选项 B 错误.

对于选项 C, S_1, S_2 到 P_1, P_2 球心的距离相等, 又因为引力产生的加速度数值大小与向心加速度的大小相等. 由 $a - r^2$ 关系曲线可以判断 S_1 的向心加速度比 S_2 的大. C 选项正确.

对于选项 D, 由

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

得

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

中心天体质量大的卫星周期小. D 选项错误.

【例 2】(2015 年高考山东卷) 如图 2, 拉格朗日点 L_1 位于地球和月球连线上, 处在该点的物体在地球和月球引力的共同作用下, 可与月球一起以相同的周期绕地球运动. 据此, 科学家设想在拉格朗日点 L_1 建立空间站, 使其与月球同周期绕地球运动. 以 a_1, a_2 分别表示该空间站和月球向心加速度的大小, a_3 表示地球同步卫星向心加速度的大小. 以下判断正确的是

- A. $a_2 > a_3 > a_1$ B. $a_2 > a_1 > a_3$
C. $a_3 > a_1 > a_2$ D. $a_3 > a_2 > a_1$

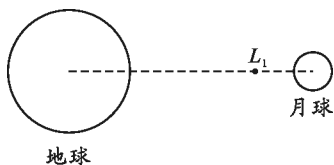


图 2 例 2 图示

分析: 本题考查了两个方面的知识运用. 在比较空间站和月球向心加速度的大小时可直接采用圆周运动的基本规律 $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$. 在周期相等的前提下, 月

球的半径大, 因此月球的向心加速度大, $a_2 > a_1$. 在比较同步卫星和月球向心加速度的大小时, 需要联系圆周运动与万有引力的基本规律

$$G \frac{Mm}{r^2} = ma_n \quad a_n = G \frac{M}{r^2}$$

月球的轨道半径大于同步卫星的轨道半径, 因此 $a_3 > a_2$, 综上所述正确答案选择 D.

【例 3】(2015 年高考安徽卷) 由 3 颗星体构成的系统(见图 3), 忽略其他星体对它们的作用, 存在着一种运动形式: 3 颗星体在相互之间的万有引力作用下, 分别位于等边三角形的 3 个顶点上, 绕某一共同的圆心 O 在三角形所在的平面内做相同角速度的圆周运动(图示为 A, B, C 3 颗星体质量不相同的一般情况). 若 A 星体质量为 $2m$, B 和 C 两星体的质量均为 m , 三角形边长为 a . 求:

- (1) A 星体所受合力大小 F_A ;
- (2) B 星体所受合力大小 F_B ;
- (3) C 星体的轨道半径 R_C ;
- (4) 三星体做圆周运动的周期 T .

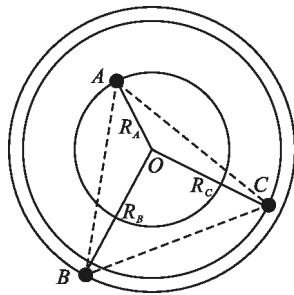


图 3 例 3 图示

分析: (1)、(2) 两问是求一个质点受到多个质点的万有引力. 解题方法是先用万有引力定律求各个质点的引力大小和方向, 再求矢量和.

对 A 有

$$F_{B \rightarrow A} = G \frac{2mm}{a^2}$$

$$F_{C \rightarrow A} = G \frac{2mm}{a^2}$$

$$F_A = 2\sqrt{3}G \frac{m^2}{a^2}$$

对 B 有

$$F_{A \rightarrow B} = G \frac{2m^2}{a^2}$$

$$F_{C \rightarrow B} = G \frac{m^2}{a^2}$$

令 B 为坐标原点, \vec{BC} 方向为 x 轴正方向, 垂直于 BC 向上为 y 轴正方向, 利用正交分解法(见图 4), 得

$$F_x = F_{C-B} + F_{A-B} \cos 60^\circ$$

$$F_y = F_{A-B} \sin 60^\circ$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{7}G \frac{m^2}{a^2}$$

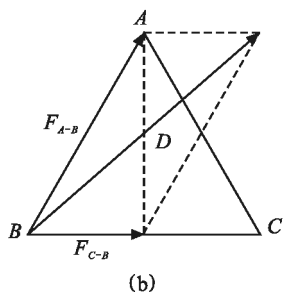
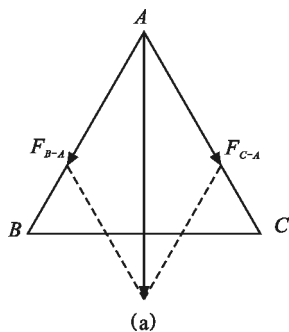


图 4

(3)、(4) 问是本题的新意所在, 由于 3 颗星体围绕同一圆心做圆周运动, (1)、(2) 两问已经可以判断出 A, B 两个星体的向心力方向, 交点 D 即此题目的圆心 O , 也是 BC 边中垂线的中点, 由几何关系可得

$$R_C = R_B = \frac{\sqrt{7}}{4}a$$

对任一天体而言, 万有引力提供圆周运动的向心力, 对 C 有

$$\sqrt{7}G \frac{m^2}{a^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} \frac{\sqrt{7}}{4}a$$

$$T = \sqrt{\frac{\pi^2 a^3}{GM}}$$

困惑: (1) 根据本题的示意图(见图 3), 三星体的轨道半径很明显是不等的, 但经过分析, 三星体的实际运行轨道应如图 5 所示, B 和 C 应在同一圆轨道

上, 经过查阅相关资料, 大多试题中采用是图 3, 文献[1]中采用的也是图 3. 若这是命题者故意而为之, 作为高考题, 笔者以为这样的做法不能被称作新意, 配置错误的插图会直接影响学生的作答, 影响思维逻辑的展开. 若这是试题在传播的过程中出现了错误, 那有必要立刻加以改正. (2) 题目中“绕某一共同的圆心 O 在三角形所在的平面内做相同角速度的圆周运动”这个条件该如何理解? 这个条件并没有直接指出 3 个星体都是在做角速度相等的匀速圆周运动, 这给学生解题也带来了无意义的思维障碍.

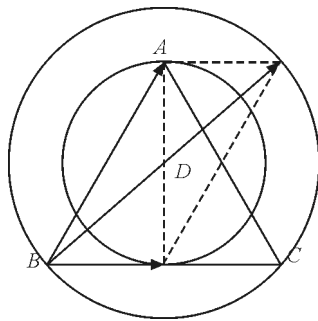


图 5

【例 4】(2015 年高考新课标 II 卷) 由于卫星的发射场不在赤道上, 同步卫星发射后需要从转移轨道经过调整再进入地球同步轨道. 当卫星在转移轨道上飞经赤道上空时, 发动机点火, 给卫星一附加速度, 使卫星沿同步轨道运行. 已知同步卫星的环绕速度约为 3.1×10^3 m/s, 某次发射卫星飞经赤道上空时的速度为 1.55×10^3 m/s, 此时卫星的高度与同步轨道的高度相同, 转移轨道和同步轨道的夹角为 30° , 如图 6 所示, 发动机给卫星的附加速度的方向和大小约为

- A. 西偏北方向, 1.9×10^3 m/s
- B. 东偏南方向, 1.9×10^3 m/s
- C. 西偏北方向, 2.7×10^3 m/s
- D. 东偏南方向, 2.7×10^3 m/s

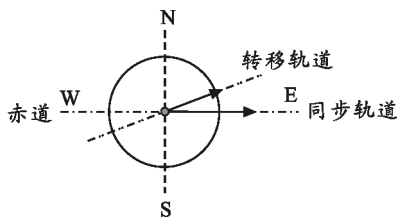


图 6

注重优秀传统文化 体现科技创新能力

——全国高考物理试题的新动向

黄英标

(长垣县教育体育局教研室 河南 新乡 453400)

(收稿日期:2016-04-14)

摘要:通过对深化高考考试内容改革方向的探讨,并结合2015年全国高考物理试题进行分析和解读,展望今后全国高考物理命题明显加重的考查方向.

关键词:高考 传统文化 创新能力

近日,教育部考试中心主任姜钢在《中国高等教育杂志》上刊登了名为“坚持以立德树人为核心深化高考考试内容改革”的文章,文中透露了今后深化高考考试内容改革的方向,社会主义核心价值观、依法治国理念、中华优秀传统文化和创新能力等4方面有望成为高考重点考查的内容,而后两个方面也为今后的高考物理命题、学生的备考提供了新的思考.笔者对涉及到后两个方面的内容进行了探究,并结合2015年全国高考物理试题进行分析和解读,以期对师生有所帮助.

【例1】(2015年高考全国新课标Ⅱ卷第18题)指南针是我国古代四大发明之一.关于指南针,下列说明正确的是

- A. 指南针可以仅具有一个磁极
- B. 指南针能够指向南北,说明地球具有磁场

分析:本题目考查的实为“速度的合成与分解”相关知识,与万有引力的基本规律无太直接的关联.这也正是此高考题的新意所在,考查学生分析问题处理问题的能力.

如图7,根据余弦定理

$$\Delta v = \sqrt{v_2^2 + v_1^2 - 2v_1v_2 \cos 30^\circ} = 1.9 \times 10^3 \text{ m/s}$$

东偏南方向.

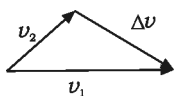


图7

点评:对考生而言,本题的难度可能更多在于对

C. 指南针的指向会受到附近铁块的干扰

D. 在指南针正上方附近沿指针方向放置一直导线,导线通电时指南针不偏转

分析:指南针有两个磁极,地磁场对放入的磁极有力的作用,指南针对放到其附近的铁块有力的作用,通电导线会产生磁场,使指南针发生偏转,所以选项B,C正确.

展望:该题用我国四大发明之一的指南针为切入点,考查磁场的基本性质、电流的磁效应.今后的高考物理试卷中将适当增加对中国传统文化进行考查的内容,如将四大发明、勾股定理等所代表的中国古代科技文明作为试题背景材料,体现中国传统科技文化对人类发展和社会进步的贡献,或将继续以选择题的形式出现.

【例2】(2015年高考全国新课标天津卷第4题)

插图的理解.插图上两个方向,应理解为转移轨道与同步轨道交点处卫星的线速度方向.作为高考题插图,不能直观地反映题目想表达的意思,无谓的增加考生思维负担,值得反思.

总结:高考题的创新是建立在课程标准及考试大纲标准之上的,所以在高三复习的早些时候,依然要重视学生对基础知识的掌握.到复习的后期,可适当地补充习题,拓展学生的知识面.对教师而言,要及时分析高考新题,做到与时俱进.

参考文献

- 1 章克文. 2015年高考万有引力与航天类试题评析. 物理教学探讨, 2015(9): 45 ~ 47