

## 第六章第四节万有引力理论的成就

[学习目标]

1. 了解万有引力定律在天文学上的重要应用.
2. 会用万有引力定律计算天体质量, 了解“称量地球质量”“计算太阳质量”的基本思路.
3. 掌握运用万有引力定律和圆周运动知识分析天体运动问题的思路.

任务一: 仔细阅读课本, 写出下列问题的答案。

### 一、天体的质量和密度的计算

#### 1. 天体质量的计算

(1) “自力更生法”: 若已知天体(如地球)的半径  $R$  和表面的重力加速度  $g$ , 根据物体的重力近似等于天体对物体的引力, 得  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ , 解得天体质量为  $M = \frac{gR^2}{G}$ , 因  $g$ 、 $R$  是天体自身的参量, 故称“自力更生法”。

(2) “借助外援法”: 借助绕中心天体做圆周运动的行星或卫星计算中心天体的质量, 常见的情况:

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{2\pi}{T}^2 r \quad M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}, \text{ 已知绕行天体的 } r \text{ 和 } T \text{ 可以求 } M.$$

#### 2. 天体密度的计算

若天体的半径为  $R$ , 则天体的密度  $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ , 将  $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$  代入上式可得  $\rho = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$ .

特殊情况, 当卫星环绕天体表面运动时, 其轨道半径  $r$  可认为等于天体半径  $R$ , 则  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ .

注意: (1) 计算天体的质量的方法不仅适用于地球, 也适用于其他任何星体. 要明确计算出的是中心天体的质量.

(2) 要注意  $R$ 、 $r$  的区分. 一般地  $R$  指中心天体的半径,  $r$  指行星或卫星的轨道半径. 若绕“近地”轨道运行, 则有  $R=r$ .

任务二: 仔细阅读课本, 完成下列问题。

### 二、天体运动的分析与计算

1. 基本思路: 一般行星或卫星的运动可看作匀速圆周运动, 所需向心力由中心天体对它的万有引力提供.

#### 2. 常用关系

$$(1) G \frac{Mm}{r^2} = ma_{\text{向}} = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

(2)  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$  (物体在天体表面时受到的万有引力等于物体重力), 整理可得:  $gR^2 = GM$ , 该公式通常被称

为黄金代换式.

3. 四个重要结论: 设质量为  $m$  的天体绕另一质量为  $M$  的中心天体做半径为  $r$  的匀速圆周运动.

(1) 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$  得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $r$  越大,  $v$  越小.

(2) 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$  得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $r$  越大,  $\omega$  越小.

(3) 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{2\pi}{T}^2 r$  得  $T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $r$  越大,  $T$  越大.

(4) 由  $G\frac{Mm}{r^2} = ma_{\text{向}}$  得  $a_{\text{向}} = \frac{GM}{r^2}$ ,  $r$  越大,  $a_{\text{向}}$  越小.

以上结论可总结为“一定四定, 越远越慢”.

任务三: 完成下列例题, 体会万有引力定律的应用.

【例 1】



图 6-4-1

如图 6-4-1 所示,  $a$ 、 $b$ 、 $c$  是地球大气层外圈圆形轨道上运动的三颗卫星,  $a$  和  $b$  质量相等, 且小于  $c$  的质量, 则( )

- A.  $b$  所需向心力最小
- B.  $b$ 、 $c$  的周期相同且大于  $a$  的周期
- C.  $b$ 、 $c$  的向心加速度大小相等, 且大于  $a$  的向心加速度
- D.  $b$ 、 $c$  的线速度大小相等, 且小于  $a$  的线速度

答案 ABD

解析 因卫星运动的向心力是由它们所受的万有引力提供, 而  $b$  所受的引力最小, 故 A 对;

$$\text{由 } \frac{GMm}{r^2} = ma, \text{ 得 } a = \frac{GM}{r^2}.$$

即卫星的向心加速度与轨道半径的平方成反比, 所以  $b$ 、 $c$  的向心加速度大小相等且小于  $a$  的向心加速度, C 错;

$$\text{由 } \frac{GMm}{r^2} = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}, \text{ 得 } T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}.$$

即人造地球卫星运动的周期与其轨道半径三次方的平方根成正比, 所以  $b$ 、 $c$  的周期相等且大于  $a$  的周期, B 对;

$$\text{由 } G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}, \text{ 得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}.$$

即地球卫星的线速度与其轨道半径的平方根成反比, 所以  $b$ 、 $c$  的线速度大小相等且小于  $a$  的线速度,

D 对.

【例 2】 地球的两颗人造卫星质量之比  $m_1 : m_2 = 1 : 2$ , 轨道半径之比  $r_1 : r_2 = 1 : 2$ . 求:

- (1) 线速度大小之比;
- (2) 角速度之比;
- (3) 运行周期之比;
- (4) 向心力大小之比.

答案 见解析

解析 设地球的质量为  $M$ , 两颗人造卫星的线速度分别为  $v_1$ 、 $v_2$ , 角速度分别为  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ , 运行周期分别为  $T_1$ 、 $T_2$ , 向心力分别为  $F_1$ 、 $F_2$ .

(1) 根据万有引力和圆周运动规律  $G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ .

$$\text{得 } v = \sqrt{\frac{GM}{r}}, \text{ 所以 } \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{\frac{GM}{r_1}}{\frac{GM}{r_2}}} = \sqrt{\frac{r_2}{r_1}} = \sqrt{\frac{2}{1}} = \frac{\sqrt{2}}{1}$$

故二者线速度之比为  $\sqrt{2} : 1$ .

(2) 根据圆周运动规律  $v = \omega r$  得  $\omega = \frac{v}{r}$

所以  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} = \frac{2\sqrt{2}}{1}$ , 故二者角速度之比为  $2\sqrt{2} : 1$ .

(3) 根据圆周运动规律  $T = \frac{2\pi}{\omega}$ , 所以  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{1}{2\sqrt{2}}$

故二者运行周期之比为  $1 : 2\sqrt{2}$ .

(4) 根据万有引力充当向心力公式  $F = G \frac{mM}{r^2}$

所以  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} \cdot \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{2}{1}$

故二者向心力之比为  $2 : 1$ .

# 高考理综物理模拟试卷

注意事项:

1. 答题前, 考生先将自己的姓名、准考证号填写清楚, 将条形码准确粘贴在考生信息条形码粘贴区。
2. 选择题必须使用 2B 铅笔填涂; 非选择题必须使用 0.5 毫米黑色字迹的签字笔书写, 字体工整、笔迹清楚。
3. 请按照题号顺序在各题目的答题区域内作答, 超出答题区域书写的答案无效; 在草稿纸、试题卷上答题无效。
4. 保持卡面清洁, 不要折叠, 不要弄破、弄皱, 不准使用涂改液、修正带、刮纸刀。

## 一、单项选择题

1. 如图所示, 质量相等的甲、乙两个小球, 在光滑玻璃漏斗内壁做水平面内的匀速圆周运动, 甲在乙的上方。则它们运动的

- A. 向心力  $F_{甲} > F_{乙}$
- B. 线速度  $v_{甲} > v_{乙}$
- C. 角速度  $\omega_{甲} > \omega_{乙}$
- D. 向心加速度  $a_{甲} > a_{乙}$

2. 一含有理想变压器的电路如图所示，图中电阻

和

的阻值分别为

、

和

为理想交

,

流电流表,

为正弦交流电压源, 输出电压的有效值恒定.

当开关

断开时, 电流表的示数为

；当

闭合

时, 电流表的示数为

. 该变压器原、副线圈匝数比为( )

A. 2    B. 3    C. 4    D. 5

3. 关于感应电动势和感应电流, 下列说法中正确的是 ( )

- A. 只有当电路闭合, 且穿过电路的磁通量变化时, 电路中才有感应电动势
- B. 只要穿过闭合电路中的磁通量不为零, 闭合电路中就一定有感应电流发生
- C. 不管电路是否闭合, 只要穿过电路的磁通量变化, 电路中就有感应电动势

D. 不管电路是否闭合，只要穿过电路的磁通量变化，电路中就有感应电流

4. 下面是某电热水壶的铭牌，由此可知该电热水壶正常加热 1 min 产生的热量为( )

A.  $1.80 \times 10^3$  J    B.  $1.10 \times 10^4$  J    C.  $1.32 \times 10^4$  J    D.  $1.08 \times 10^5$  J

5. 国务院批复，自 2016 年起将 4 月 24 日设立为“中国航天日”。1970 年 4 月 24 日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号，目前仍然在椭圆轨道上运行，其轨道近地点高度约为 440 km，远地点高度约为 2060 km；1984 年 4 月 8 日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空 35786 km 的地球同步轨道上。设东方红一号在远地点的加速度为  $a_1$ ，东方红二号的加速度为  $a_2$ ，固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为  $a_3$ ，则  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  的大小关系为：( )

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

6. 如图所示，带电小球 a 由绝缘细线 PM 和 PN 悬挂而处于静止状态，其中 PM 水平，地面上固定一绝缘且内壁光滑的圆弧细管道 GH，圆心 P 与 a 球位置重合，管道底端 H 与水平地面相切，一质量为 m 可视为质点的带电小球 b 从 G 端口由静止释放，当小球 b 运动到 H 端时对管道壁恰好无压力，重力加速度为 g。在小球 b 由 G 滑到 H 过程中，下列说法中正确的是

A. 小球 b 所受库仑力大小始终为  $2mg$

B. 小球 b 机械能逐渐减小

C. 小球 b 加速度大小先变大后变小

D. 细线 PM 的拉力先增大后减小

## 二、多项选择题

7. 如图所示，在正交的匀强电场和匀强磁场中，电场方向竖直向上，磁场方向垂直于纸面向里，带电粒子 B 静止在正交的电磁场中，另一带电粒子 A 以一定的水平速度沿直线向右运动，与粒子 B 碰撞后粘在一起，碰撞过程中粒子的电荷量没有损失，两个粒子的质量相等，则下列说法正确的是

A. 粒子 A 带负电，粒子 B 带正电

B. 粒子 A 的带电量一定小于粒子 B 的带电量

C. 两粒子碰撞后仍沿直线运动

D. 两粒子碰撞后会做向上偏转运动

8. 如图，滑块 a、b 的质量均为  $m$ ，a 套在固定竖直杆上，与光滑水平地面相距  $h$ ，b 放在地面上. a、b 通过铰链用刚性轻杆连接，由静止开始运动. 不计摩擦，a、b 可视为质点，重力加速度大小为  $g$ . 则( )

A. a 落地前，轻杆对 b 一直做正功

B. a 落地时速度大小为

C. a 下落过程中，其加速度大小始终不大于  $g$

D. a 落地前，当 a 的机械能最小时，b 对地面的压力大小为  $mg$

9. 如图所示，有一台交流发电机 E，通过理想升压变压器  $T_1$  和理想降压变压器  $T_2$  向远处用户供电，输电线的总电阻为  $R$ 。  $T_1$  的输入电压和输入功率分别为  $U_1$  和  $P_1$ ，它的输出电压和输出功率分别为  $U_2$  和  $P_2$ ；  $T_2$  的输入电压和输入功率分别为  $U_3$  和  $P_3$ ，它的输出电压和输出功率分别为  $U_4$  和  $P_4$ 。 设  $T_1$  的输入电压  $U_1$  一定，当用户消耗的电功率变大时，有( )

A.  $U_2$  变小，  $U_4$  变大

B.  $U_2$  不变，  $U_3$  变小

C.  $P_1$  变小，  $P_2$  变小

D.  $P_2$  变大，  $P_3$  变大

10. 如图所示为某小型水电站的电功率输送示意图，输电线总电阻为  $r$ ，升压变压器、降压变压器均为理想变压器。假设发电机的输出电压不变。则下列说法正确的是( )

- A. 若使用的电灯减少，则发电机的输出功率不变
- B. 若使用的电灯减少，则发电机的输出功率将减小
- C. 若使用的电灯增多，则降压变压器的输出电压不变
- D. 若使用的电灯增多，则降压变压器的输出电压将减小

### 三、实验题

11. 滑板运动是青少年喜爱的一项活动。如图所示，滑板运动员以某一初速度从 A 点水平离开  $h=0.8\text{m}$  高的平台，运动员（连同滑板）恰好能无碰撞的从 B 点沿圆弧切线进入竖直光滑圆弧轨道，然后经 C 点沿固定斜面向上运动至最高点 D。圆弧轨道的半径为  $1\text{m}$ ，B、C 为圆弧的两端点，其连线水平，圆弧对应圆心角  $\theta=106^\circ$ ，斜面与圆弧相切于 C 点。已知滑板与斜面间的动摩擦因数为  $\mu$

= ，  $g=10\text{m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ ，不计空气阻力，

运动员（连同滑板）质量为  $50\text{kg}$ ，可视为质点。试求：

- (1) 运动员（连同滑板）离开平台时的初速度  $v_0$ ；
- (2) 运动员（连同滑板）通过圆弧轨道最底点对轨道的压力；
- (3) 运动员（连同滑板）在斜面上滑行的最大距离。

12. (1) 在“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”的实验中，下列器材需要的有\_\_\_\_\_。

- A. 干电池组
- B. 滑动变阻器
- C. 学生电源
- D. 直流电压表
- E. 多用电表
- F. 条形磁铁
- G. 可拆变压器（铁芯、两个已知匝数比的线圈）

(2) 变压器的工作原理是：\_\_\_\_\_。

(3) 如图，当左侧线圈“0”“16”间接入 12V 电压时，右侧线圈“0”“4”接线柱间输出电压可能是\_\_\_\_\_。

A. 6V

B. 4.3V

C. 2.6V

#### 四、解答题

13. 将输入电压为 220V，输出电压为 55V 的理想变压器改绕成输出电压为 110V 的变压器，副线圈原来是 50 匝，原线圈匝数不变，求：副线圈新增匝数为多少匝？

14. 如图所示，物块 A、B、C 的质量分别为  $2m$ 、 $2m$ 、 $m$ ，并均可视为质点，三个物块用轻绳通过轻质滑轮连接，在外力作用下现处于静止状态，此时物块 A 置于地面，物块 B 与 C、C 到地面的距离均是  $L$ ，现将三个物块由静止释放。若 C 与地面、B 与 C 相碰后速度立即减为零，A 距离滑轮足够远且不计一切阻力，重力加速度为  $g$ 。求：

(1) 刚释放时 A 的加速度大小及轻绳对 A 的拉力大小；

(2) 物块 A 由最初位置上升的最大高度；

(3) 若改变 A 的质量使系统由静止释放后物块 C 能落地且物块 B 与 C 不相碰，则 A 的质量应满足的条件。

#### 【参考答案】

#### 一、单项选择题

题号	1	2	3	4	5	6
答案	B	B	C	D	D	D

#### 二、多项选择题

7. BD

8. DB

9. BD

10. BD

三、实验题

11. (1) 3m/s (2) 2150N (3) 1.25m

12. CEG 电磁感应 C

四、解答题

13. 50 匝

14. (1)

,

(2)

(3)

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/617144143166010003>