

“神舟”五号载人飞船的专题课设计

李莹

(广州暨南大学华文学院 广东 510610)

专题课是物理教学中的一个重要环节,其内容要具备综合性、针对性和新颖性的特点。本文是关于“神舟”五号载人飞船的专题课设计,引导学生利用已学过的牛顿运动定律、圆周运动、能量、动量、光学等基本知识,研究“神舟”五号从发射到着陆整个过程中涉及的有关问题,通过探讨回答这些问题,使学生学会把已有知识再认识、再整合,掌握研究相关或类似问题的思想和方法。

录像学习使学生通过多媒体观看“神舟”五号载人飞船发射升空、轨道运行、定点回收的过程,同时阅读“神舟”五号的有关资料,使学生对载人飞船有一定的感性和理性认识。讨论让学生提出与载人飞船有关的物理问题,只需提问,不需回答。下面针对飞船运行的不同阶段研究相关的物理问题。

一、发射升空

问题 1: 火箭发射的时候,为什么是竖直发射而不是水平发射?

分析: 为了节能,穿越浓密大气层的路径越短越好。

问题 2: 发射出去的火箭,经过一段竖直上升过程,然后转弯入轨,方向为东,为什么? 其他方向可以吗?

分析: 向东发射可以最大限度利用地球自西向东自转速度,提高火箭运载能力,即提高它的有效载荷。火箭发射的卫星或飞船叫做火箭的有效载荷。

问题 3: 我国的“神舟”一、二、三、四号飞船都是晚上发射的,“神舟”五号飞船是 2003 年 10 月 15 日上午 9 时发射,对发射时间有什么要求?

分析: 火箭发射允许的时间范围叫做发射窗口,有的宽至几天,有的窄至几秒。一般试验发射都在夜晚,便于光学仪器跟踪监控,但发射各种专门用途的航天器,时间要求就极为严格了。“神舟”五号的发射窗口选在白天,主要是因为白天的气温有利于发射人员工作,且更能保证太空人的安全。

问题 4: “长征”二号 F 型火箭已经成功地将四艘“神舟”号无人飞船送入太空预定轨道。发射“神舟”五号所用的“长征”二号 F 型火箭长 58.3m,起飞重量 480t,起飞时,8 台发动机同时点火,总推力 600t。若火箭喷射燃料的速度为 1000m/s。求: 开始

时每 1s 喷出多少气体才能对火箭产生 600t 的推力? (取 $g = 10\text{m/s}^2$)

分析: 以喷出的气体为研究对象,设每秒喷出的气体质量为 Δm ,火箭对这部分气体的反作用力为 F ,气体对火箭的作用力为 F' ,由动量定理得:

$$F \Delta t = \Delta m v, \quad (1)$$

火箭刚开始发射时,火箭对地速度为零,气体对地速度为零, $F' = F = 600 \times 10^3 \times 10 = 6 \times 10^6 \text{N}$, (2)

由(1)、(2)式得 $\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{F'}{v} = 6 \times 10^3 \text{kg/s}$ 。

问题 5: 与发射卫星和导弹相比,“神舟”五号发射时的加速度小得多,这主要是为宇航员的安全和舒适着想。在加速上升的过程中,宇航员处于什么状态? 飞船在发射升空时,如果宇航员是站立的,则他的心血管系统会受到何种影响? 飞船发射升空时,宇航员采取什么姿势最好?

分析: 由牛顿第二定律可知,宇航员处于超重状态。飞船在发射升空时,如果宇航员是站立的,由于人处于超重状态,头部血压降低,下肢血压升高,使大量血液淤积在下肢静脉中,严重影响静脉血的回流,使心脏输出血量不足,造成头部供血不足,轻则引起视觉障碍,重则可能导致意识丧失。所以,飞船在发射升空时宇航员应采取平躺姿势。杨利伟在飞船发射升空的过程中在船舱的躺椅中平躺。

问题 6: 飞船发射升空时有一个加速过程,在加速过程中,宇航员处于超重状态,把这种状态下宇航员对座椅的压力与静止在地球表面时的重力的比值,称作耐受力值,用 k 表示。在选拔宇航员时,要求他在此状态的耐受力值为 $4 \leq k \leq 12$ (这次飞行杨利伟的 k 值约为 8)。求飞船在竖直向上发射时加速度值的变化范围。(地球表面重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$)

分析: 设宇航员对座椅的压力为 F ,座椅对宇航员的支持力为 F' ,由 k 的定义 $F/mg = k$,根据牛顿第二定律,且 $F = F'$, $F' - mg = ma$,所以 $a = (k - 1)g$; 因为 $4 \leq k \leq 12$,所以 $30\text{m/s}^2 \leq a \leq 110\text{m/s}^2$ 。

二、变换轨道

问题 1: 飞船在近地圆轨道运行时,由于极稀薄的空气的影响,飞行高度会缓慢降低,需要进行多次轨道维持。轨道维持就是通过控制飞船上的发动机

的点火时间和推力,使飞船能保持在同一轨道上稳定运行。如果不进行轨道维持,飞船轨道舱的轨道高度会逐渐降低,这时,飞船轨道舱的动能、重力势能、机械能的变化正确的是

- A. 动能、重力势能、机械能逐渐减小
- B. 重力势能逐渐增大,动能逐渐减小,机械能不变
- C. 重力势能逐渐减小,动能逐渐增大,机械能不变
- D. 重力势能逐渐减小,动能逐渐增大,机械能逐渐减小

分析:空气阻力对飞船做负功,飞船的机械能减小。在轨道减小的过程中,地球对飞船的万有引力做正功,其功大于克服空气阻力做的功,飞船的动能增大,重力势能减小,故机械能减小。所以选项D正确。

问题2 讨论怎样实现地球同步飞船的变轨发射?

分析:如图1,从节能角度出发,通常把飞船发射到低空轨道(轨道1),再过渡发射到高空轨道(轨道3)。具体过程为先用火箭将飞船发射到近地轨道,也叫停泊轨道,运行一周左右,在Q点启动卫星上的发动机在短时间向外喷射高速气体,瞬时加速,再关闭发动机,飞船脱离原轨道,进入过渡椭圆轨道(轨道2),在椭圆轨道某位置再次点火,飞船加速,调整速度的大小和方向,飞船在轨道3做圆周运动,这样就实现了飞船的变轨发射。

问题3:飞船在轨道2上从Q点到P点的过程中,速率将:

- A. 不变
- B. 增大
- C. 减少
- D. 无法确定

分析:根据万有引力定律和圆周运动规律:

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

因为 $R_Q < R_P$, $v_Q > v_P$, 答案为C。

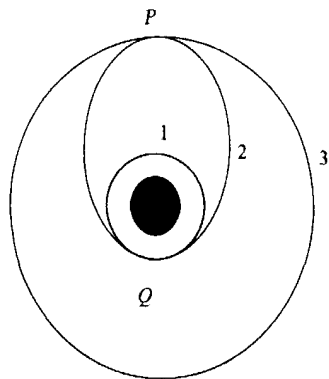


图1

问题4:飞船在轨道1、2、3上正常运行时,下列说法正确的是:

- A. 飞船在轨道3上的角速度小于在轨道1上的角速度。
- B. 飞船在轨道3上的速率大于在轨道1上的速率。
- C. 飞船在轨道2上经过P点的加速度等于它在轨道3上经过P点的加速度。
- D. 飞船在轨道1上经过Q点的加速度大于它在轨道2上经过Q点的加速度。

分析:根据万有引力定律和圆周运动规律 $GMm/R^2 = m\omega^2 R$, 得 $\omega = \sqrt{GM/R^3}$, 因为 $R_1 < R_3$, 所以 $\omega_1 > \omega_3$, 答案A正确。

根据万有引力定律和圆周运动规律: $GMm/R^2 = mv^2/R$, 得 $v = \sqrt{GM/R}$, 因为 $R_1 < R_3$, 所以 $v_1 > v_3$, 答案B错。

根据万有引力定律和牛顿第二定律: $GMm/R^2 = ma$, 得 $GM/R^2 = a$, 因为飞船在轨道1上经过Q点和在轨道2上经过Q点的半径相等, 所以两个加速度相等, 答案D错, 同理答案C对。

三、在轨运行

问题1:已知飞船在离地面高度为343km的轨道做匀速圆周运动,地球半径为6400km,地球表面重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$,问飞船的飞行速度是多少?

分析:根据万有引力定律和圆周运动规律: $GMm/(R+h)^2 = mv^2/(R+h)$, 在地球表面有 $GMm/R^2 = mg$, 由上两式得 $v = \sqrt{gR^2/(R+h)} = 7.7 \text{ km/s}$ 。这一速度接近于第一宇宙速度 7.9 km/s 。

这时可以向学生说明:第一宇宙速度是最大环绕速度,是飞船或卫星绕地球运动的最大运行速度,是近地发射的最小发射速度。事实上,飞船或卫星绕地球运动的环境速度小于第一宇宙速度。

问题2:宇航员杨利伟在围绕地球做圆周运动的宇宙飞船中,处于完全失重状态,下列说法正确的是:

- A. 宇航员仍受到重力作用。
- B. 重力正好提供向心力。
- C. 宇航员受力平衡。
- D. 宇航员不受任何力的作用。

分析:宇航员受到的万有引力完全用来提供做匀速圆周运动的向心力,处于完全失重状态,他对座椅的压力为零。答案为A、B。

问题3:飞船环绕地球飞行的过程中杨利伟看

到日出日落的次数为多少?

分析: 2003 年 10 月 15 日 9 时, 杨利伟乘坐“神舟”五号飞船在酒泉卫星发射中心起飞, 飞船在近地的圆形轨道上运行, 离地面高度为 343km, 于 16 日 6 时许在内蒙古中部主着陆场成功着陆。由 $GMm/R^2 = m \cdot 4\pi^2/T^2$ 和 $GMm/R^2 = mg$, 可算出飞船绕地球运动的周期 T 约为 90 分钟, 飞船每绕地球转动一周, 杨利伟可看到一次日出日落现象, 21 小时内, 能够看到的次数为 $n = 21 \times 60/90 = 14$ (次)。

四、飞船返回

从太空向地面返回一般经过下面几个过程: 轨道舱与返回舱分离—制动点火—推进舱与返回舱分离—进入稠密大气层(黑障区)—发出无线电信号—拉出减速伞和主伞—安全着陆。

问题 1: 飞船收到返回命令后, 发动机制动点火, 通过喷气使飞船做减速运动, 飞船应向什么方向喷气? 减速过程中飞船的高度怎样变化?

分析: 根据反冲原理, 应向飞船前行的方向喷气。飞船速度减小后, 向心力变小, 在万有引力的作用下, 高度降低。

问题 2: 飞船返回地球表面的过程中, 距离地面 80km 时, 处于无动力飞行状态的返回舱以 8000m/s 的速度飞行, 在随后的一段时间地面与其通讯暂时中断, 这就是黑障, 产生黑障的原因是什么?

分析: 飞船与大气剧烈摩擦, 在飞船四周产生了一个等离子壳, 使飞船暂时无法与地面通讯。

问题 3: 当飞船启动返回程序, 重 3t 的返回舱下降到距地面 20km 时, 它所受到的气动阻力近似等于它所受到的重力, 下降速度由超音速减到亚音速, 稳定在 200m/s 左右。打开降落伞使返回舱速度减小到 80m/s ~ 90m/s, 然后分离, 打开主伞使返回舱的速度最终减小到 10m/s 左右, 在返回舱离地面大约 1m 时启动反推力火箭, 使返回舱落地速度约为 2 ~ 3m/s, 则火箭的推力约为多大? ($g = 10\text{m/s}^2$)

分析: 将启动反推力火箭后飞船的运动近似看做匀减速直线运动, 由运动学公式和牛顿第二定律得: $v_1^2 - v_0^2 = 2as$, $mg - F = ma$, 解上两式得 $F = mg + (mv_0^2 - mv_1^2)/2s \approx 1.7 \times 10^5\text{N}$

问题 4: 在距地面 20km 时, 飞船返回舱的速度减为 200m/s, 然后匀速下降。此阶段中重力加速度为 g_1 , 返回舱受到的空气阻力为 $f = (1/2)\rho v^2 s$, 其中 ρ 为大气密度, v 是返回舱的运动速度, s 是与形状特征有关的阻力作用面积。当返回舱距地面

10km 时, 降落伞打开, 速度减小到 10m/s 时匀速下降, 返回舱距地面约 1m 时, 反推力火箭点火, 尽量使返回舱软着陆。(1) 用字母表示返回舱在速度为 200m/s 时的质量。(2) 分析从打开降落伞到反推力火箭点火前, 返回舱的加速度和速度的变化情况。

分析: (1) 根据牛顿第二定律和已知条件,

$$mg_1 - \frac{1}{2}\rho v^2 s = 0, \text{得 } m = \frac{\rho v^2 s}{2g_1}.$$

(2) 打开降落伞后, 阻力作用面积 s 增大, 返回舱的速度 v 减小, 阻力 f 增大, 由牛顿运动定律 $f - mg = ma$, 得 $a = f - mg/m$, ($f > mg$), 加速度 a 增大, 方向向上, 返回舱下落的速度不断减小。当返回舱所受阻力与重力相等时, 返回舱以 10m/s 的速度匀速下降, 此时加速度 a 为零。

问题 5: 杨利伟说: “飞船落地的瞬间感觉身体很重, 当时头朝下, 胸背感觉有压力。”杨利伟体重为 65kg, 飞船落地时速度约为 2m/s, 求落地时座椅对他的冲量。

分析: 根据动量定理, $I = 0 - mv = 65 \times 2 = 130\text{N} \cdot \text{s}$ 。

五、练习题

1. 在“神舟”五号飞行中, 由多个地面测控站和四艘“远望”号远洋航天测量船组成的测控网, 对其进行跟踪、测量和控制。这是利用了下列哪一种波?

A. 超声波 B. 次声波 C. 微波 D. 红外线

2. 中国成为第___个把人类送入太空的国家。

A. 一 B. 二 C. 三 D. 四

3. 不属于宇宙空间特点的是

A. 高真空 B. 高缺氧 C. 超低温 D. 低辐射

4. “神舟”五号绕地球做匀速圆周运动, 其速率最接近下列哪一个值

A. 9.5km/s B. 7.9km/s C. 11.2km/s D. 16.7km/s

5. 下列说法不正确的是

A. 火箭发射升空阶段, 飞船内宇航员载荷对座椅的作用力大于宇航员所受重力。

B. 火箭发射升空阶段, 飞船内座椅对宇航员载荷的作用力大于宇航员载荷对座椅的作用力。

C. 为了节省燃料, 火箭发射升空后向东南方向飞行。

D. 火箭发射的原理和我们放烟花类似, 都利用了反冲原理。

6. 宇航员若在轨道舱内做实验, 下列仪器能够正常使用的是

叠砖平衡的一种简单解法

曹 春 梅

(华北电力大学应用物理系 河北保定 071003)

叠砖的平衡问题(见图1)是一个有趣的力学平衡问题,本文利用质点系质心的定义,介绍一种较为简单的解法。

为保持本文的完整性,不妨重述叠砖的平衡问题: N 块完全相同的砖块以图1所示方式叠放在一起并保持平衡,每个砖块的长度为 l ,质量为 m ,求砖块突出部分的最大长度 $L_{\max}$ 。

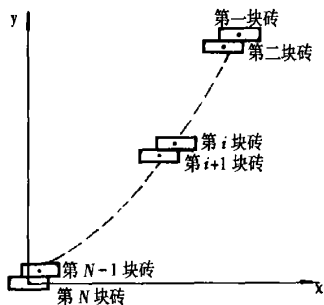


图 1

考察平衡时,前 $i-1$ 块砖、第 i 块砖和第 $i+1$ 块砖之间的关系。设第 i 块砖相对于第 $i+1$ 块砖

探出的长度为 d_i 。根据叠砖的平衡条件,前 $i-1$ 块砖作为一个整体,其质心位置的 x 坐标不得超过第 i 块砖右边缘位置的 x 坐标,取其临界平衡条件,即前 $i-1$ 块砖质心位置的 x 坐标与第 i 块砖右边缘位置的 x 坐标相同;同理,前 i 块砖质心位置的 x 坐标应与第 $i+1$ 块砖右边缘位置的 x 坐标相同。而前 i 块砖的质心位置的 x 坐标又可由第 i 块砖质心位置的 x 坐标及前 $i-1$ 块砖质心位置的 x 坐标求得,根据质心定义,有

$$(i-1)md_i = m(l/2 - d_i)。$$

由上式可知第 i 块砖对于第 $i+1$ 块砖右边缘探出的长度为

$$d_i = l/2i \quad (i = 1, 2, \dots, N-1),$$

从而可求得 N 块砖叠放在一起,其突出部分的最大长度 $L_{\max}$ 为:

$$L_{\max} = \sum_{i=1}^{N-1} d_i = \sum_{i=1}^{N-1} \frac{l}{2i} = \frac{l}{2} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{1}{i}。$$

成正比,比例系数为 k ,载人舱的质量为 m ,则次过程中载人舱的速度为_____。(2000年北京、安徽春季招生高考题)

10. 登上月球的宇航员在月球上不可能发生的事情是

- A. 月球上不能使用电风扇、风筝、哑铃
- B. 月球上夜空能看见流星
- C. 在月球上能把石块扔得比地球上远几倍,且能把羽毛和石块扔得一样远
- D. 摆钟将不准,步枪的瞄准装置需重新调整
- E. 托里拆利管内外水银的高度差不是 76cm,要小得多
- F. 羽毛和石块从同一高度同时释放,同时落地
- G. 月球上你能轻易举起 100kg 的重物
- H. 月球车不需要进行防腐、防锈处理

答案:1C 2C 3D 4B 5B 6A 7D 8吸收

9 $\sqrt{mg/k}$ 10B

- A. 水银温度计 B. 托盘天平
- C. 比重计 D. 水银气压计

7. “神舟”五号飞船环绕地球做圆周运动,轨道舱内空间是微重力环境,下列说法不正确的是

- A. 飞船内物体能漂浮在舱中,好像重力消失了一样。
- B. 飞船内物体也在绕地球做匀速圆周运动,地球对物体的万有引力恰好提供它所需要的向心力。
- C. 飞船内物体所受的重力与在地面时相比不会是数量级上的差别。
- D. 飞船内物体所受的重力远比在地面时小,可以忽略。

8. 飞船返回时,为防止进入大气层时飞船被烧坏,要在返回舱表面涂一层特殊的防热涂层,遇高温时汽化,_____(填吸收或放出)热量。

9. 由于空气阻力的作用,载人飞船的载人舱有一段匀速下落的过程,若空气阻力与速度的平方成