# 第三单元 曲线运动与万有引力定律

## 一、单元概述

本单元参考《2017年版高中物理课标》必修2的“曲线运动与万有引力定律”主题，主要由平抛运动的规律、匀速圆周运动的规律和万有引力定律及其应用等内容组成．本单元内容与必修1学过的匀变速直线运动、牛顿运动定律，构成比较完整的机械运动的基础知识；通过本单元的学习，可以进一步形成运动与相互作用的观念，为后续机械能及其守恒定律实例分析的学习做好知识与方法的储备．

在本单元学习中，学生经历将具体曲线运动抽象为运动模型的过程，体会建构物理模型的思维方式；在认识曲线运动速度方向、受力情况等规律的过程中，形成运动与相互作用的观念；在形成匀速圆周运动的线速度、角速度等概念的过程中，体会科学推理和类比的思维和方法；经历探究平抛运动特点的实验过程和探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量关系的实验过程，认识平抛运动的规律和匀速圆周运动的规律，体会实验探究和科学推理在物理研究中的作用，感受化繁为简的科学探究方法；在了解万有引力定律的发现过程中，认识科学探究包含大胆的想象和创新，体会物理学中统一性观念在科学认识中的重要意义；在万有引力定律的掌习过程中，进一步形成运动与相互作用观念，体会科学定律的重要作用，培养严谨认真、实事求是的科学态度．

本单元课程内容学习建议安排14课时．

## 二、内容要求

本单元对应《2017年版高中物理课标》必修2的“曲线运动与万有引力定律”主题，下表中的“标引”与《2017年版高中物理课标》【内容要求】下的序号一致，“内容”是根据【内容要求】提炼出的单元主要内容，“具体要求示例”是针对主要内容给出的表现性要求的示例．

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 标引 | 内容 | 具体要求例举 |
| 2.2.1 | 曲线运动 | **了解曲线运动．**能说出什么是曲线运动；能说出物体做曲线运动的条件；能说出曲线运动是一种变速运动；会用运动合成与分解的方法研究曲线运动，体会将复杂运动分解为简单运动的物理思想． |
| 2.2.2 | 探究平抛运动的特点（学生实验） | **会“探究平抛运动的规律”．**能简述实验目的；会用运动合成与分解的方法设计探究平抛运动规律的实验方案；能根据方案选择合适的实验器材；能按照设计的实验步骤完成相关实验操作；能根据实验数据描绘平抛运动轨迹；能根据实验数据得出相关结论． |
| 平抛运动 | **认识平抛运动．**能说出什么是抛体运动；能说出什么是平抛运动；能说出物体做平抛运动的条件；能说出平抛运动是匀变速曲线运动；会用运动合成与分解的方法描述平抛运动；能分析和计算生产生活中的平抛运动实例． |
| 2.2.3 | 匀速圆周运动 | **认识匀速圆周运动．**能说出什么是匀速圆周运动；知道匀速圆周运动是一种周期性运动． |
| 线速度、角速度、周期 | **了解线速度、角速度、周期．**能简述线速度的概念、线速度方向及其物理意义；能简述角速度的概念及其物理意义；能简述周期的概念及其物理意义；会用线速度、角速度、周期描述匀速圆周运动；能辨析线速度、角速度、周期在描述匀速圆周运动快慢时的不同物理意义；能说明线速度、角速度和周期三者之间的关系；能用线速度、角速度及周期三者之间的关系式进行简单的计算． |
| 探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系（学生实验） | **会“探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系”．**能简述实验目的、实验原理和实验装置的使用方法；能运用控制变量的方法，设计用DIS探究物体做匀速圆周运动的向心力与其半径、角速度、质量的关系的实验方案；能按照设计好的实验步骤独立完成相关实验操作；能根据实验数据描点作出 *F*-*r* 图像、*F*-*ω* 图像、*F*-*m* 图像；能根据 *F*-*ω* 图像猜想 *F*-*ω* 可能的关系，并选择合适的坐标系作出 *F*-*ω*2 图像来验证猜想；能分析实验数据并得出相关结论． |
| 向心力、向心加速度 | **了解向心力、向心加速度．**能说出受到向心力是物体做匀速圆周运动的条件；能说出向心力是按力的作用效果命名的；能简述匀速圆周运动向心加速度的大小和方向；能用向心加速度与线速度、角速度、周期的关系式进行简单计算；能用牛顿第二定律分析匀速圆周运动的向心力，并对实际的匀速圆周运动问题作出解释；能说明生产生活中的离心现象及其产生的原因． |
| 2.2.4 | 万有引力定律的发现过程 | **了解万有引力定律的发现过程．**能说出历史上的日心说、地心说以及它们的不足与成功之处；能简述万有引力定律的发现过程． |
| 万有引力定律 | **知道万有引力定律．**能说出万有引力定律的内容；能认识发现万有引力定律的重要意义，认识物理学中统一性观念在科学认识中的重要意义；能简述万有引力定律在天文学上的贡献，认识科学定律对人类探索未知世界的作用；能用万有引力定律进行简单计算；能用万有引力定律结合匀速圆周运动的规律，分析和计算天体运动． |
| 2.2.5 | 环绕速度 | **了解人造地球卫星的环绕速度．**能简述人造地球卫星环绕速度的物理意义；会计算人造地球卫星的环绕速度；能用万有引力定律结合匀速圆周运动规律分析人造地球卫星绕地球运行的速度、周期等． |
| 第二宇宙速度、第三宇宙速度 | **知道第二宇宙速度和第三宇宙速度．**能说出第二宇宙速度和第三宇宙速度的物理意义；能简述牛顿力学对航天技术发展的重大贡献；能简述我国航天技术的重大成就和发展前景． |

## 三、教学指引

### （一）内容结构导图

曲线运动

做曲线运动的条件

平抛运动

匀速圆周运动

运动和合成与分解

运动快慢描述

运动条件

相互关系

*v* = *ωr*

匀速圆周运动的应用

卡文迪许实验

万有引力定律

行星运动

宇宙速度与人造卫星

周期

*T*

向心加速度

*a* = = *ω*2*r*

向心力

*F* = *m*= *mω*2*r*

角速度

*ω* =

线速度

*v* =

### （二）任务设计举隅

本单元的任务设计思考路径是：在研读《2017年版高中物理课标》的基础上，发掘出学生完成本单元学习后能够处理的两项任务，将其作为本单元学习的核心任务，《2017年版高中物理课标》必修2“曲线运动与万有引力定律”主题的【内容要求】中有“例1 观察生活中的曲线运动，如投篮时篮球的运动轨迹．”“例2 了解铁路和高速公路拐弯处路面有一定倾斜度的原因．”和“例5 了解牛顿力学对航天技术发展的重大贡献．”等，它们直接反映出学生完成学习后的能力表现，根据学校的实际情况，选择合适的实验工具，考虑到学生素养水平需要根据学生在真实问题解决过程中的表现来确定，因此将单元的核心任务确定为“会用实验工具研究两种简单真实的曲线运动（平抛运动和匀速圆周运动）”和“追寻人类对行星运动规律及其运动原因的探索之旅”两项任务，在教学中核心任务还需要进一步分解，以利于逐步落实，具体的任务分解、相关的教学内容及课时安排详见下表．

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **核心任务（问题）及其分解** | **教学内容** | **课时安排** |
| 会用实验工具研究两种简单真实的曲线运动（平抛运动和匀速圆周运动） | 用实验仪器记录并研究小球（在行进中的自行车上释放）水平飞出后的运动规律 | 学会研究曲线运动的方法 | 曲线运动、运动合成与分解 | 1 |
| 描绘物体做平抛运动的轨迹、探究物体做平抛运动的规律 | 平抛运动 | 2 |
| 描述物体做匀速圆周运动的快慢 | 匀速圆周运动、线速度、角速度、周期 | 2 |
| 制作旋转飞椅的模型并研究其运动规律与受力情况 | 分析与描述做匀速圆周运动的物体的受力情况 | 向心力、向心加速度 | 2 |
| 研究生活中的匀速圆周运动（含汽车在高速公路上的转弯） | 生活中圆周运动的实例分析 | 1 |
| 会用实验工具研究自行车匀速行驶过程中的匀速圆周运动（小组研究并总结汇报） | 解决问题 | 1 |
| 追寻人类对行星运动规律及其运动原因的探索之旅 | 了解人类探索行星运动规律的历史进程 | 人类对行星运动探究的过程 | 1 |
| 了解牛顿发现万有引力定律的过程及定律内容 | 万有引力定律 | 1 |
| 了解万有引力定律在天文学、航天技术上的应用 | 万有引力定律的应用、环绕速度 | 2 |
| 收集有关人造地球卫星、神舟飞船、空间站、月球探测器、火星探洌器等我国航天事业发展的资料（含影像资料），写出调查报告并进行交流宣讲 | 交流宣讲 | 1 |

### （三）重点活动举隅

#### 1．单元活动

活动名称 制作旋转飞椅的模型并研究其运动规律与受力情况

活动资源 游乐园中旋转飞椅运动的视频，DIS 实验设备，细线、小球、支架、小马达和学生电源等其他相关物品，以及包含模型结构图、基本参数和工作原理（如细线偏转角控制的方法、运动快慢测量方法）等的制作设计方案．

活动系列

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **对应课时** | **活动过程** | **活动说明** |
| 第四课时 | **制作试验** 用准备好的物品完成旋转飞椅模型的制作，选择合适的转速，让模型做匀速圆周运动，使细线与竖直方向达到预设的角度．**测量描述** 用 DIS、秒表等仪器测量旋转飞椅模型做匀速圆周运动的快慢，并讨论用线速度、角速度、周期等不同物理量描述匀速圆周运动快慢的特点． | 学生经历制作、试验过程，知道什么是匀速圆周运动，通过问题“如何描述旋转飞椅运动的快慢？”引导学生体会用线速度、角速度、周期等物理量从不同角度来描述匀速圆周运动的快慢． |
| 第五课时 | **观察讨论** 观察旋转飞椅模型做匀速圆周运动，此时其细线偏转一定的角度，讨论其线速度、角速度与半径之间的关系． | 引导学生分析与讨论物体做匀速圆周运动的线速度、角速度与半径之间的关系． |
| 第七课时 | **探究讨论** 研究旋转飞椅做匀速圆周运动时其细线偏转角与匀速圆周运动角速度（线速度）的关系． | 在完成第六课时的学生实验“探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系”后，让学生学会用牛顿运动定律分析讨论旋转飞椅运动是由什么力提供向心力的，并探究细线偏转角与飞椅运动的角速度（线速度）之间的关系． |
| 第八课时 | **问题解决** 观看游乐园中旋转飞椅的运动视频，观测得到或教师给出相关数据（悬绳的长度、运行周期等）．运用匀速圆运动规律在生活实际中的运用，进一步运用运周运动的规律，研究并描述真实的旋转飞椅运动过程的动力学规律． | 这是匀速圆周运动描述的最后一节课，通过研究真实的旋转飞椅，让学生体会匀速圆周动规律分析汽车在高速公路上转弯等生产生活中的实例． |

设计意图 旋转飞椅是游乐场中很受欢迎的娱乐项目，围绕旋转飞椅设计的一系列活动，渗透了匀速圆周运动、线速度、角速度、周期、向心力、向心加速度等概念的学习和应用．在教师的引导下，学生可以围绕自制旋转飞椅模型的模拟运动不断深入地开展学习，从制作一个旋转飞椅的模型并使它旋转运动起来开始，到会用周期、线速度、角速度等物理量描述其做圆周运动的快慢，再到能分析旋转飞椅做匀速圆周运动的向心力、向心加速度．

#### 2．课时活动

**活动1 观察平抛运动的特点**

**活动资源** 提供（或课前制作）从匀速前进的自行车上释放的小球的运动轨迹视频（或频闪照片）．

**活动过程**

［观察讨论］观察视频中小球的运动轨迹，讨论分析小球运动特点，从视频中小球的运动轨迹，获得相等时间间隔的小球位置（或在频闪照片中获得一系列小球的位置），观察这些位置在水平和竖直两个方向的投影，并提出相关问题．

［计算分析］在完成学生实验“探究平抛运动的特点”后，用实验探究得到平抛运动规律，通过竖直方向自由落体运动规律计算小球的下落时间，再利用此时间计算自行车骑行的速度大小．

**活动说明** 该活动可作为学生实验“探究平抛运动的特点”课前的引导性活动，通过活动引导学生在实验探究中，将平抛运动分解为水平方向和竖直方向两个分运动进行研究，同时，可在学生完成实验后回到该活动，进一步运用平抛运动的规律测定自行车骑行的速度大小．

设计意图 平抛运动是学生首次涉及的一种曲线运动，是运用运动合成与分解方法进行研究的典型实例．本活动的设计是通过研究从匀速行进的自行车上释放的小球的运动规律，引导学生将一个复杂的曲线运动简化分解为两个不同方向上的直线运动．体会运动合成与分解的方法在曲线运动研究中的有效应用，同时理解平抛运动的特点．

**活动2 探究自行车匀速行驶过程中的匀速圆周运动**

活动资源 自行车、课前录制完成的该自行车正常骑行时的视频．

活动过程

［观察讨论］

（1）观看视频，观察自行车匀速行驶时各部件的运动情况，先明确哪些部件在做匀速圆周运动；然后分析做匀速圆周运动的各部件之间的相互关系，明确哪些部件是同轴传动的、哪些部件是接触传动的．

（2）理论分析，根据自行车各部件间的转动、传动关系，推导脚踏板转动一周过程中自行车前进距离的定量关系式，并说明推导的理论依据．

［测量计算］

（1）测量自行车中需要研究的部件的尺寸并记录；根据它们的定量关系式计算出脚踏板转动一周自行车前进的距离．

（2）实测自行车行进中脚踏板转动一周自行车前进的距离并记录．

（3）比较实际测量的结果和理论计算的数据，进行分析和评价．

活动说明 该活动是在完成匀速圆周运动内容的学习以后设置的一项综合探究性活动，要求掌生根据所学知识进行观察和理论计算，然后设计方案，并进行测量，得出结果，再比较理论值与测量值，分析差异产生的原因，最后形成研究报告，并进行交流展示．通过本活动，学生可以了解实验研究的一般过程，知道如何利用合适的方法、器材和测量手段获取数据，并学会分析、解释测量结果．

设计意图 匀速圆周运动的描述及其运动原因是本单元的重点，是运动与相互作用观念的延续和深化；从日常生活中的典型实例去体验这些物理原理，是引导学生构建匀速圆周运动模型的重要手段，也是培养学生科学探究能力的重要途径．本活动的设计意图是：（1）探究自行车匀速行驶时有哪些部件在做匀速圆周运动，并探究各转动部件的传动关系；（2）测定自行车脚踏板转动一周自行车前进的距离．

#### 3．学生实验

学生实验1 探究平抛运动的特点

方案一

主要器材 DIS电磁定位板、弹射器、平抛物体（信号源）、接球槽．

实验要点

（1）该实验方案是采用DIS电磁定位板直接记录做平抛运动的物体（信号源）经过连续相等时间间隔的位置，从而得到平抛运动的轨迹．

（2）根据电磁定位板记录的平抛物体（信号源）连续相等时间间隔的位置，分析和计算这些位置坐标在水平方向上和竖直方向上的数据，分别得到水平方向的匀速直线运动的规律和竖直方向的自由落体运动的规律，从而归纳平抛运动的特点．

（3）实验时首先要用水平仪调整电磁定位板的上边沿直至水平，以满足物体（信号源）抛出时初速度为水平方向；平抛物体（信号源）的顶盖面必须正对电磁定位板，否则数据点的位置可能有漂移；重复实验时，每次打开信号源后需重新设置抛出的零点位置．

方案二

主要器材 探究平抛运动竖直方向和水平方向分运动规律的实验装置（2套）、金属小球2个、铁架台、复写纸、方格纸等．

实验要点

（1）该实验由两部分内容组成．先探究平抛运动竖直方向分运动的规律，再探究平抛运动水平方向分运动的规律，所以要用2套装置．

（2）第一个实验是通过比较平抛小球和自由落体小球的下落时间，得出平抛运动竖直方向分运动是自由落体运动的结论．

（3）第二个实验是通过描出小球做平抛运动的轨迹，然后分析小球运动轨迹上的坐标，利用平抛运动竖直方向分运动是自由落体运动的规律，再根据分运动具有等时性的特点得出平抛运动水平方向分运动的规律．

（4）在第二个实验中，根据实验记录的位置点拟合平抛运动轨迹时，要光滑连接各数据点，形成一条平滑的平抛曲线．此实验注重对学生实验设计、实验条件控制（每次释放小球的要求等）和实验操作技能的培养，通过此实验使学生提升实验设计和实验探究能力．

学生实验2 探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系

**主要器材** 向心力实验装置（含无线力传感器、无线光电门传感器、挡光片等）、计算机等DIS实验设备．

实验要点

（1）本实验要研究多个物理量之间的关系，必须采用控制变量的方法，一是研究砝码质量*m*与其运动角速度 *ω* 定时，其受到向心力大小 *F* 与运动半径 *r* 的关系；二是研究砝码质量 *m* 与运动半径 *r* 一定时，其向心力大小 *F* 与运动角速度 *ω* 的关系；三是研究砝码运动半径 *r* 与角速度 *ω* 一定时，其向心力大小 *F* 与质量 *m* 的关系．

（2）为测量运动中物体的受力和速度，本实验采用无线力传感器和无线光电门传感器，测量的数据通过无线接收器传送至计算机．

（3）本实验用无线光电门传感器测出砝码通过挡光片时的线速度，进而得到旋臂旋转的角速度，通过调节电动机的转速，改变旋臂转动的角速度，当旋臂匀速转动时，即可得到砝码的角速度．

（4）本实验的重点在于培养学生根据给定的实验方案进行实验操作、记录数据、分析处理数据、发现运动规律、形成结论等诸方面的实验素养，并提升用物理术语、图表等方法交流探究过程和表述实验结论等能力．

## 四、评价示例

本单元评价包括四个部分：一是日常课堂活动评价，可以选择本单元的重点活动进行评价，例如对学生完成“探究自行车匀速行驶过程中的匀速圆周运动”的活动表现进行评价，建议围绕活动的两个学习过程展开：［观察讨论］环节可以从观察结果、分析过程等方面进行评价；［测量计算］环节可以从实践操作能力、结论分析与质疑能力等方面进行评价．二是日常作业评价，完成本单元学习后，学生或教师根据作业的正确率、订正率等情况，完成本单元的日常作业评价，三是对“探究匀速圆周运动向心力大小与半径、角速度、质量的关系”学生实验的评价，实验中可以根据学生作出的 *F*–*r* 图像、*F*–*ω* 图像、*F*–*m* 图像进行评价；根据 *F*–*ω* 图像选择合适的坐标作出 *F*–*ω*2 图像等实验过程和实验结果进行评价．四是单元检测，教师根据学生在规定的时间内完成本单元检测的情况给出测试的成绩，以下给出了部分课堂例题、课后作业及单元检测的示例，供教师参考使用．

### 示例1

某同学参加学校科技无人机小组“投弹”比赛，要求从无人机上释放的小球能投中地面上的定点．如图 3–1 所示，他控制无人机在距地面 *h* = 11 m高处以 *v*0 = 2 m/s 的速度向目标水平匀速飞行，要命中目标必须在恰当的时间释放小球．试分析讨论该同学应如何释放小球才能命中目标．

分析 如使用金属小球，因其质量大、体积小，故在运动过程中可以忽略其受到的空气阻力，金属小球脱离无人机后可认为它做平抛运动．小球要投中目标，必须在无人机到达目标上空之前提前释放，所以要根据无人机的飞行数据，运用平抛运动的规律计算这一提前量．可以根据自由落体运动的特点先求出小球下落的时间，再根据匀速直线运动的规律求出小球释放点与目标点之间的水平距离．

解答 建议该同学使用金属小球，金属小球释放后在空中运动的过程中可忽略空气阻力，视为只受重力，受力分析如图所示，由于无人机水平飞行，释放的小球因惯性而具有水平方向的初速度，所以小球在空中的运动是平抛运动．

平抛运动竖直方向分运动为自由落体运动．设小球下落的时间为 *t*，则有

*h* = *gt*2．

所以小球落地的时间为

*t* = = s ≈ 1.5 s．

平抛运动水平方向分运动为匀速直线运动，所以小球落地点与释放点之间的水平距离为

*x* = *v*0*t* = 2×1.5 m = 3.0 m

因此，该同学应控制无人机向目标水平飞行，当无人机与目标点水平距离约3 m 时释放小球才能命中目标．

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 平抛运动 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能根据具体情境，结合平抛运动规律解决物体做平抛运动的实际问题．达到水平二． |
| 科学思维中“科学论证” | 能对物体做平抛运动的规律进行分析和推理，获得结论并作出解释．达到水平三． |

说明 建议在学生学会运用合成与分解的方法分析平抛运动后，将本示例作为课堂例题使用．在教师点拨下，学生分析讨论，完成理论计算，有无人机活动条件的学校，可在实践中加以检验．本题着重培养在活动中运用物理知识解决实际问题的能力．

### 示例2

在如图所示某机械的传动装置中，内轮a和外轮b的转轴分别过各自圆心 O、Oʹ 且垂直于纸面．内轮a通过摩擦带动外轮b做无相对滑动的转动，则两轮转动方向\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_（选填“相同”或“相反”），角速度大小关系为*ω*a\_\_\_\_\_\_\_*ω*b。

O

Oʹ

a

b

分析 本题涉及的情境是比较典型的传动装置，由图示可如内轮以为逆时针转动，根据其通过摩擦带动外轮b做无相对滑动的转动，可得出外轮b的转动方向也是逆时针的，根据两者在传动中无相对滑动这一特性，可推得两轮边缘的线速度大小相等，再根据角速度与线速度的关系*v* = *ωr*，可得两轮的角速度*ω*与半径*r*成反比，因半径*r*a＜*r*b，得*ω*a＞*ω*b．

解答 相同 ＞

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 线速度、角速度 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能根据具体情境，结合匀速圆周运动规律解决物体运动的实际问题．达到水平二． |
| 科学思维中“模型建构” | 能在问题情境中应用匀速圆周运动的物理模型，对传动装置进行分析和推理，得出结论．达到水平二． |

说明 本示例建议作为“线速度、角速度、周期”的课后作业使用，也可以作为相关内容的考查使用．

### 示例3

a

b

c

如图所示为按比例画出的上海赛车场水平赛道俯视图，某赛车行驶时，赛道各处能提供赛车转弯的最大向心力大小相等．在赛道上 a、b、c 三个弯道中，赛车过弯极限速度的大小关系是（ ）

A．*v*a＜*v*b＜*v*c B．*v*a＜*v*c＜*v*b

C．*v*c＜*v*a＜*v*b D．*v*b＜*v*c＜*v*a

分析 本题首先要假设，赛车在各弯道行驶时可视为做相应的匀速圆周运动．再根据题图得到赛道上 a、b、c 三个弯道处的半径大小，才能判断赛车过弯的速度大小关系．因题中说明此上海赛车场赛道俯视图是按实际比例得出，所以可直接观察图中弯道的弯曲程度得出三处转弯半径的大小关系，有 *r*a＜*r*c＜*r*b．然后根据做匀速圆周运动向心力 *F* 与线速度 *v* 的关系式 *F* = *m* 可知，在向心力大小相等的前提下，半径越大，同一辆赛车的极限线速度大小越大，所以有 *v*a＜*v*c＜*v*b ，选项 B 正确．

解答 B

属性表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 向心力 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能根据具体情境，结合匀速圆周运动规律解决物体运动的实际问题．达到水平二． |
| 科学思维中“科学推理” | 能在实际情境中应用匀速圆周运动的物理模型，对赛车的运动进行分析和推理，得出结论，达到水平二． |

说明 本示例建议作为“向心力、向心加速度”的课后作业使用，也可以作为相关内容的考查使用．

### 示例4

如图所示，是线操控模型飞机飞行表演的场景，航模爱好者用长 *L* = 10 m 的操控线，拉着质量 *m* = 2 kg，翼展 *l* = 60 cm 的线操控模型飞机，使飞机在水平面内绕操控者做匀速圆周飞行，现测得操控线与水平面的夹角约为 30°，模型飞机每分钟飞行 10 圈，求：

（1）此时模型飞机飞行的线速度约有多大？

（2）操控线承受的拉力约有多大？

****分析 模型飞机在水平面内做匀速圆周运动，运动轨迹的圆心在操控者头顶正上方，与模型飞机在同一水平面上．根据实际情况，操控线固定在机翼端点，飞机重心在机身中央，所以飞机运动半径应考虑操控者手臂的长度和一个机翼的长度，设人手臂长 *d* 约为 0.8 m，则飞机运动半径为 *r* = （*L* + + *d*）cos30°，模型飞机运动过程中共受五个力的作用，其中运动切线方向的飞机动力和空气阻力相互平衡，使飞机的线速度大小保持不变；飞机还受到重力 *G*、空气对它的升力 *F*S（方向垂直于机翼平面）和操控线对它的拉力 *F* 的作用，这三个力的合力提供飞机做匀速圆周运动的向心力，水平指向运动轨迹的圆心（如图所示）．

**解答**（1）模型飞机每分钟飞行10圈，其匀速圆周运动的周期

*T* = = s = 6 s．

考虑操纵者手臂的长和机翼长，且飞机重心在机身中央，设人手臂长 *d* 约为0.8 m，飞机做匀速圆周运动的半径

*r* = （*L* + + *d*）cos30° = （10 + + 0.8）×cos30° m ≈ 9.61 m．

所以飞机的线速度大小约为

*v* = = m/s ≈ 10.1 m/s．

（2）模型飞机远动时，一般操控线与机翼在同一平面．除飞行切线方向受到的动力和空气阻力（此二力平衡）以外，飞机还受到重力 *G*、空气对它的升力 *F*S 和操控线对它的拉力 *F*，如图3-6所示．

建立直角坐标系，以指向匀速圆周运动轨迹的圆心方向为 *x* 轴正方向，以竖直向上为*y* 轴正方向，运用正交分解法建立动力学方程：*x* 轴方向的合力提供向心力；*y* 轴方向合力为零

*F*cos30° + *F*Ssin30° = *m*，…………①

*F*Scos30° − *F*sin30° − *mg* = 0．…………②

代入数值，联立①②，可解得

*F* = = N ≈ 8.6 N．

所以，操控线承受的拉力约为 8.6 N．

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 向心力、向心加速度 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能从物理学的视角解释模型飞机的运动情况，能应用匀速圆周运动的规律解决实际问题．达到水平三． |
| 科学思维中“模型建构” | 能根据模型飞机的运动情境，构建正确的物理模型，进行分析和推理，并获得结论，达到水平三． |

说明 本示例建议在学习“向心力、向心加速度”后作为课堂例题使用．教师通过分析、讲解、示范，让学生了解运用牛顿第二定律研究匀速圆周运动问题的一般步骤和规范．教师需要关注学生能否根据运动规律对物体进行受力分析，能否建立恰当的直角坐标系并列出方程进行求解．本题着重培养在具体情境中构建物理模型并运用物理知识解决问题的能力．

### 示例5

根据实际情况，估算下列两个事例中物体间的万有引力大小，并根据计算结果，分析比较物体间万有引力的应用领域．①用长为 5 m 的轻绳拔河的两位小学生之间；②地球和月球之间（已知地球质量约为 5.98×1024 kg，月球质量约为地球质量的 ，两者间的距离约为 3.84×108 m）．

**分析** 本题首先需要根据生活经验估测小学生的质量，计算他们的万有引力大小．然后将计算结果与小学生的重力，以及他们受到的其他力（如拉为、摩擦力等）的大小进行比较并阐述应用理由．

在之前研究物体机械运动的两个单元中，为什么都不用考虑物体间的万有引力？这是学习了万有引力定律以后应进一步思考的问题．而天体的运动主要由万有引力提供向心力，故研究天体运动时，万有引力不可忽略，本题的分析与解释可视为基于经验事实构建物理模型的过程，是对客观事物进行正确的科学思维与论证的过程．

**解答** 设小学生的质量约为 30 kg，两人拔河时质心相距约为 5 m．为粗略计算两人间的万有引力，忽略他们的形状和大小．根据万有引力定律，两人间的万有引力大小约为

*F*万 = *G* = 6.67×10−11× N ≈ 2.4×10−9 N；

地球与月球间的万有引力大小为

*F*ʹ万 = *G* = 6.67×10−11× N ≈ 2.0×1020 N．

可见，两人间的万有引力很小，远小于他们拔河时的拉力、摩擦力、重力等，所以我们研究地面上物体的机械运动时完全可以忽略万有引力．

而在研究天体运动时，天体间的万有引力都很大，为天体提供做圆周运动的向心力，所以，万有引力定律的主要应用领域是天体运动．

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 万有引力定律 | 物理观念中“运动与相互作用观念” | 能从物理学的视角解释生活中的万有引力现象，能应用万有引力定律解决简单的实际问题．达到水平二． |
| 科学思维中“科学论证” | 能在熟悉的问题情境中应用物理模型，能对生活中的万有引力现象进行分析和推理并获得结论，能用直接的证据表达自己的观点，达到水平二． |

**说明** 本示例建议作为“万有引力定律”的课堂例题使用．教师指导学生通过计算获得结论，并让学生体会万有引力定律的主要应用领域．本示例着重培养基于事实证据和科学推理提出自己的观点和结论的能力．

### 示例6

据报道：2003 年 10 月 15 日 9 时，我国“神舟五号”宇宙飞船（如图所示）在酒泉卫星发射中心成功发射，把中国第一位航天员杨利伟送入太空，飞船发射升空经历一系列变轨后，于 9 时 10 分进入预定轨道，开始绕地球运行，飞船在轨运行 14 圈后于次日 6 时 23 分返回地求，

根据以上消息，飞船绕地球运行可看作匀速圆周远动，地球半径 *R* = 6.37×106 m。试估算“神舟五号”飞船运行时距地面的高度和速度的大小；比较估算获得的速度大小与地球“环绕速度”大小，并对比较结果进行阐述。

分析 本题需根据研究的问题，从“报道”中获取有用的信息．根据“神舟五号”的入轨时间与返回时间之差以及绕地运行的圈数，可计算飞船运行的周期，然后运用飞船受到地球的万有引力提供飞船做匀速圆周运动的向心力这一原理列出计算式求解．同时，本题地球质量 *M* 未知，可以根据 *g* = ，用重力加速度 *g* 与地球半径 *R* 代换地球质量 *M*，然后求出飞船的高度和速度．最后的比较并阐述原因旨在使学生通过问题讨论，进一步理解“环绕速度”与人造地球卫星、飞船绕地运行速度之间的关系．

解答 由“报道”中所述的飞船入轨时间与返回时间之差可得到“神舟五号”运行的总时间 *t* 为 21 小时 13 分钟，则飞船绕地球运行的周期为

*T* = = s ≈ 5.46×103 s

设地球和飞船的质量分别为 *M* 和 *m*，飞船绕地球做匀速圆周运动的轨道距地面高为*h*．根据万有引力提供向心力

*G* = *m*(*R* + *h*)

又因为在地球表面，物体重力近似等于其受到地球的万有引力，即

*mg* = *G*

上述两式消去 *GM*，可得飞船距地面的高度

*h* = − *R* = ( − 6.37×106)m ≈ 3.3×105 m

根据匀速圆周运动的速度公式，得“神舟五号”飞船运行的速度

*v* = = m/s ≈ 7.7×103 m/s

所以，“神舟五号”飞船运行时距地面的高度为 3.3×105 m，即在约为 330 km 高处运行；运行速度的大小约为 7.7×103 m/s．

已知地球环绕速度 *v*1 = 7.9×103 m/s，可见“神舟五号”飞船绕地球做匀速圆周运动的速度小于地球环绕速度．

分析讨论：根据万有引力提供向心力

*G* = *m*，

得物体绕地球运行的速度大小 *v* 与运行半径 *r* 的关系为

*v*2 ∝ ．

可见，物体绕地球运行速度大小的平方 *v*2 与运行半径 *r* 成反比。

因为“神舟五号”飞船在地球上空运行，其运行半径一定大于地球半径，我们又知道，环绕速度是物体在地面附近绕地球做匀速圆周运动的速度，运动半径近似等于地球半径，所以，“神舟五号”飞船绕地球做匀速圆周运动的速度小于地球环绕速度．

通过本题我们可知，物体绕地球做匀速圆周运动的线速度大小随其运动半径的增大（运行轨道高度的升高）而减小．

**属性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 内容 | 涉及的主要素养 | 质量水平分析 |
| 万有引力定律的应用 | 科学思维中“科学推理” | 能在“报道”的情境中根据需要选用恰当的信息解决问题，能对神舟飞船的运动进行分析和推理，获得结论并作出解释．达到水平三． |
| 科学探究中“证据”“解释” | 能通过数据分析获得神舟飞船运行的规律，发现特点并形成结论，能用已有的物理知识进行解释．达到水平四． |

**说明** 本示例建议在学习“万有引力定律的应用、环绕速度”后作为课堂例题使用，教师指导学生通过计算获得结论，可让学生提出质疑，并尝试用已掌握的知识作出解释．本示例着重培养基于事实证据提出质疑的能力，以及用已有的物理知识进行科学推理并作出解释的能力．