# 第四单元 圆周运动 万有引力

# 一、概述

本单元基础型课程的内容由描述匀速圆周运动的物理量、匀速圆周运动规律及万有引力定律等组成；拓展型课程的内容由向心加速度、向心力及圆周运动的应用等组成。本单元内容与其他周期运动的知识有一定的联系，万有引力定律也是以后学习宇宙这一单元的基础。

在本单元学习中，要根据“周期性”的运动特征，感受用线速度、角速度、周期等物理量从不同角度描述匀速圆周运动的快慢的方法。在探究向心力由哪些因素决定的实验中，要感受控制变量的探究方法。在对匀速圆周运动应用的实例分析中，要感受匀速圆周运动规律的研究在现实生活和生产实际中的重要作用。要在学习卡文迪什实验的过程中，感受微小量放大的实验方法。

本单元基础型课程需7课时，拓展型课程需6课时。

# 二、学习内容与要求

## （一）内容与水平

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **编号** | **基础型** | **拓展型** | **学习水平** |
| 4.1.1 | 匀速圆周运动 |  | B |
| 4.1.2 | 线速度 角速度 周期 |  | B |
| 4.1.3 | 万有引力定律 |  | B |
| 4.2.1 |  | 向心加速度 向心力 | B |
| 4.2.2 |  | 圆周运动的应用 | C |

## （二）导图：

匀速圆周运动

定义、运动性质

运动的条件

向心力：



向心加速度：



实例分析

描述的物理量

线速度：



角速度：



周期：



关系：



万有引力定律

定律内容 

卡文迪什扭秤实验

转速：

匀速圆周运动

描述的物理量

线速度：

*v*＝＝

线速度方向：质点所在圆周位置上的切线方向

角速度：

*ω*＝＝

周期：

*T*＝＝

关系：

*v*＝*ωr*

转速：*n*＝

圆周运动

条件：受到向心力

## （三）要求

4.1.1 理解匀速圆周运动。①知道圆周运动的概念；②知道圆周运动是周期运动；③知道质点做圆周运动的条件；④知道做匀速圆周运动的质点速度大小不变、方向不断变化；⑤理解匀速圆周运动是变速运动；⑥能在实际问题中认识匀速圆周运动。

4.1.2 理解线速度，理解角速度，理解周期。①知道线速度的概念；②知道角速度的概念；③知道周期的概念；④理解线速度、角速度、周期是描述匀速圆周运动快慢的物理量；⑤能用线速度、角速度的公式进行简单的计算；⑥理解线速度、角速度及周期三者之间的相互关系；⑦能用线速度、角速度及周期间的关系式进行简单的计算。

4.1.3 理解万有引力定律。①知道万有引力的概念；②知道卡文迪什扭秤实验，感受物理测量中微小量放大的科学方法；③知道万有引力定律的内容；④能用万有引力定律进行简单的计算。

4.2.1 理解向心力，理解向心加速度。①知道质点做匀速圆周运动的条件；②知道向心力是按照力的作用效果命名的；③理解向心力的大小与哪些因素有关；④能用向心力与线速度、角速度的关系式进行计算。⑤知道向心加速度的概念；⑥理解向心加速度与向心力的关系。

4.2.2 掌握圆周运动的应用。①能分析做匀速圆周运动的物体的受力情况，判断向心力；②能联系牛顿第二定律用匀速圆周运动的规律对实际问题作出分析与解释。

**说明：**

关于向心力的计算，仅限于由一个力直接提供向心力的情况。

# 三、学习指引（基础型）

## （一）实验指要

本单元没有必做的学生实验，但教材中的“自主活动”和“探索研究”栏目编排了一些要求动手、观察、测量、探究的小实验，学习时要加以关注。

## （二）应用示例

**例题1** 上海的地理纬度约为北纬30°，地球半径取6.4×106 m，由于地球自转，上海地区地面上的物体随地球自转做圆周运动的角速度和线速度的大小分别有多少？

*r*

*R*

30°

**分析**：处于北纬30°的上海地区的物体随地球自转做匀速圆周运动半径不是地球半径，而是该圆周对应的半径；其周期就是地球自转周期24小时。确定了这两个物理量，就可以运用角速度和线速度的定义式来求解。

**解答**：北纬30°的物体随地球自转做匀速圆周运动的半径*r* = *R*cos30°

地球自转周期*T* = 24 h = 86 400 s。

角速度的大小

*ω* = = rad/s≈7.3×10-5 rad/s。

线速度的大小

*v* = = m/s≈4.0×102 m/s

**说明**：本题考查匀速圆周运动的线速度、角速度、周期的概念，要求在理解线速度、角速度、周期的概念的基础上，能用公式进行简单计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.1.2理解线速度、理解角速度、理解周期。

**学习要求**：4.1.2 ①知道线速度的概念；②知道角速度的概念；③知道周期的概念；⑤能用线速度、角速度的公式进行简单的计算。

**学习水平**：理解（B）。

**例题2**如图所示，转轴O1上固定有两个半径分别为*R*和*r*的轮，用皮带传动O2轮，O2的轮半径是*r′*，若O1上的两轮每秒钟转了5圈，*R* = 1 m，*r* = *r′* = 0.5 m，A、B、C分别是三个轮边缘上的点，则：

O1

A

*r*

*R*

*r*′

B

C

O2

（1）大轮转动的角速度的大小*ω* = \_\_\_\_\_\_\_\_\_rad/s；

（2）A、C两点的线速度的大小分别是*v*A = \_\_\_\_\_\_\_\_\_m/s，*v*C = \_\_\_\_\_\_\_\_\_ m/s。

**分析**：本题首先根据角速度的定义式求出大轮转动的角速度；然后，根据皮带传动装置的特点：同轴转动角速度相等，皮带传动线速度相等。分析得出A、B的角速度相等，B、C的线速度相等，再根据他们之间的相互关系求解。

（1）大轮的角速度的大小

*ω* = = 2π*n* = 2π×5 rad/s = 31.4 rad/s

（2）A点的线速度的大小

*v*A = *ωr* = 31.4×0.5 m/s = 15.7 m/s

因A、B同轴转动，角速度相等，所以

*v*B = *v*A = ×15.7 m/s = 31.4 m/s

因为皮带传动关系，B、C线速度相等，所以

*v*C = *v*B = 31.4 m/s

**解答**：（1）31.4；（2）15.7，31.4

**说明**：本题考查匀速圆周运动的线速度、角速度及周期三者之间的相互关系，要求在理解线速度、角速度、周期的概念的基础上，能用线速度、角速度及周期间的关系式进行简单计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.1.2理解线速度、理解角速度、理解周期。

**学习要求**：4.1.2 ①知道线速度的概念；②知道角速度的概念；⑤能用线速度、角速度的公式进行简单的计算；⑥理解线速度、角速度及周期三者之间的相互关系；⑦能用线速度、角速度及周期间的关系式进行简单的计算。

**学习水平**：理解（B）。

**例题3** 已知地球质量为*M*、半径为*R*，万有引力恒量为*G*。一颗质量为*m*的人造卫星，在地面发射架上受到地球的万有引力为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；当此卫星被发射至距地面5*R*的高处绕地球运行，它受到地球的万有引力是在发射架上时的\_\_\_\_\_\_倍。

**分析**：本题地球质量、半径均已知，不难求在发射架上的人造卫星受到地球的万有引力。当此卫星在距地面5*R*的高处绕地球运行时，它与地球间的距离是地球半径的6倍。

根据万有引力定律公式，人造卫星在地面受到的万有引力为：*F* = *G*

当*M*、*m*不变时，万有引力 *F*∝。所以

*F*′ = *F* = *F*

**解答**：*G*，

**说明**：本题考查万有引力定律的内容，要求在理解万有引力定律的内容及其公式的基础上，能进行简单的计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.1.3理解万有引力定律。

**学习要求**：4.1.3 ①知道万有引力的概念；③知道万有引力定律的内容。④能用万有引力定律进行简单的计算。

**学习水平**：理解（B）。

# 四、评价示例（基础型）

## （一）评价建议

单元评价包括日常作业评价、实验评价、单元测试和活动评价等几部分，其中日常作业评价和单元测试的方式与方法具体可参考第一单元；活动评价如课题研究、文献综述等可由学生、家长和教师根据活动过程中的批判性思考、同伴协作和团队合作、演讲表现等方面，完成对学生的学习兴趣、学习习惯和学业成果等维度的评价。

## （二）活动示例

### 探索与研究——自行车中的圆周运动

以小组合作的形式，开展对自行车各转动部件的传动关系的探究，观察猜想、设计实验、分析数据、比较评价。各小组完成研究后，制作演示文稿进行交流展示。

## （三）检测示例

### 填空题

1. 一个质点沿直径为10 cm的圆周做匀速圆周运动，1秒钟运动了两周，则该质点的周期为\_\_\_\_\_\_\_\_s，角速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_rad/s，线速度大小为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_m/s。
2. A、B两物体相距*L*时，它们之间的万有引力为*F*；当它们相距4*L*时，万有引力为\_\_\_\_\_\_\_\_\_，它们各自所受的万有引力是一对\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_力。

S

P

O

Q

O′

1. 如图所示，大轮通过皮带拉着小轮转动，皮带和两轮之间无滑动，大小轮的半径之比为3∶2，P、Q分别为两轮边缘上的点，S点为大轮半径的中点。则P、Q两点的角速度之比为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_；S、Q两点的线速度的大小之比为\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。
2. 卡文迪什实验的重大意义在于\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

### 单选题

1. 匀速圆周运动是一种（ ）

（A）匀速运动 （B）匀加速运动

（C）匀加速曲线运动 （D）变加速曲线运动

1. 对于匀速圆周运动的物体，下列说法中错误的是（ ）

（A）线速度不变 （B）角速度不变 （C）周期不变 （D）转速不变

1. 如图所示为自行车的链传动示意图，牙盘（大齿轮）和飞轮（小齿轮）用链条相连，A、B 分别为牙盘和飞轮边缘上的两点，A、B 两点半径分别为 *r*A、*r*B，线速度的大小分别为 *v*A、*v*B，角速度的大小分别为 *ω*A、*ω*B。当自行车牙盘转动时（ ）

（A）因 *r*A > *r*B，则 *v*A > *v*B

（B）无论 *r*A、*r*B 大小，有 *v*A < *v*B

（C）因 *r*A > *r*B，则 *ω*A < *ω*B

（D）无论 *r*A、*r*B 大小，有*ω*A = *ω*B

1. 地球绕太阳和月球绕地球运行都可近似看作是匀速圆周运动，地球和月球的绕行的角速度之比大约是（ ）

（A）1∶12 （B）12∶1 （C）1∶30 （D）30∶1

### 计算题

1. “直-5”是我国制造的第一种多用途直升机，其起飞时旋翼转速为150 r/min，旋翼直径21 m，则直升机起飞时旋翼转动的角速度多大？旋翼边缘的线速度多大？
2. 如图所示，自行车上连接踏脚板的连杆长*R*1 = 20 cm，由踏脚板带动的大齿盘的半径*r*1 = 10 cm，通过链条链接的小齿盘的半径*r*2 = 4 cm，后轮半径*R*2 = 30 cm，小齿盘带动后轮转动使自行车前进。如果脚踏以每分钟30转匀速转动，求：

（1）脚蹬踏脚板的的角速度的大小；

（2）链条传动的速度的大小；

（3）后轮转动的转速。

# 五、学习指引（拓展型）

## 应用示例

**例题1** 如图所示，甲轮和乙轮半径之比是2∶1，A、B两点分别为甲乙两轮的边缘上的点，C点在甲轮上，它到转轴的距离是甲轮半径的1/3，甲轮以角速度*ω*转动，皮带不打滑， 求A、B、C三点：

B

A

O1

C

甲

乙

O2

（1）线速度大小之比；

（2）角速度大小之比；

（3）向心加速度大小之比。

**分析**：本题是皮带传动装置的典型问题，其特点是同轴转动角速度相等，皮带传动线速度相等。所以有A、B两点的线速度大小相等，则A、B两点的角速度与他们的半径成反比；A、C两点的角速度大小相等，则A、C两点的线速度与他们的半径成正比。 而只要得到线速度或角速度的比，就可以根据向心加速度的公式得到向心加速度的比值。

**解答：**

（1）、（2）因A、B为皮带传动关系，有*v*A = *v*B，所以

 = = ；

又因A、C同轴转动，有*ω*A = *ω*C，所以

 = = 3。

综上结论，有：*v*A∶*v*B∶*v*C = 3∶3∶1；*ω*A∶*ω*B∶*ω*C = 1∶2∶1

（3）因向心加速度*a* = ，且*r*A∶*r*B∶*r*C = 6∶3∶2，所以

*a*A∶*a*B∶*a*C = 3∶6∶1

**说明：**本题考查匀速圆周运动的线速度、角速度及向心加速度三者之间的相互关系，要求在理解线速度、角速度、向心加速度的概念的基础上，能用线速度、角速度及向心加速度间的关系式进行简单计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.1.2理解线速度、理解角速度、理解周期。4.2.1理解向心力，理解向心加速度。

**学习要求**：4.1.2 ⑤能用线速度、角速度的公式进行简单的计算；⑥理解线速度、角速度及周期三者之间的相互关系；⑦能用线速度、角速度及周期间的关系式进行简单的计算。

4.2.1⑤知道向心加速度的概念；⑥理解向心加速度与向心力的关系。

**学习水平**：理解（B）。

**例题2** 如图所示，光滑水平面上钉有两根相距为*l*的铁钉O和O′，一段长为2*l*的细线一端系于O点，另一端连一质量为*m*的小球，小球位于O′O的延长线上。若小球以垂直于细线，平行于水平面的速度*v*开始运动，求：

2*l*

*l*

O

O′

（1）细线接触到铁钉O′后，小球的角速度的大小；

（2）细线接触到铁钉O′后，细线受到的拉力的大小；

（3）小球从开始运动到小球与铁钉O相碰的过程中，所经历的时间。

**分析**：小球在细线的拉力作用下提供向心力做圆周运动，其线速度保持不变，当细线接触到铁钉O′后，运动半径减为*l*，然后就可以根据角速度与线速度的关系及向心力的公式求解。在整个运动过程中，小球运动的时间是以O为圆心的匀速圆周运动的周期的一半和以O′为圆心的匀速圆周运动的周期的一半之和。

**解答**：

（1）细线接触到铁钉O′后，小球的线速度大小不变，圆周运动的半径*r*′ = *l*，所以小球的角速度大小

*ω*′ = =

（2）细线接触到铁钉O′后，细线的拉力提供小球的向心力，所以细线的拉力大小为

*F* = *m* =

（3）以O为圆心做匀速圆周运动过程，运动时间为

*t* = = =

以O'为圆心做匀速圆周运动过程，运动时间为

*t*′ = = =

所以，运动的总时间：*t*总 = *t*+*t*′ =

**说明**：本题考查匀速圆周运动规律中的角速度、向心力及运动周期的规律，要求在理解角速度的概念、理解向心力的大小与哪些因素有关的基础上，根据运动实际情况能进行简单的计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.1.2理解角速度，理解周期；4.2.1理解向心力。

**学习要求**：4.1.2 ⑥理解线速度、角速度及周期三者之间的相互关系；

4.2.1②知道向心力是按照力的作用效果命名的；③理解向心力的大小与哪些因素有关；④能用向心力与线速度、角速度的关系式进行计算。

**学习水平**：理解（B）。

**例题3** 特技飞行的飞机在竖直平面内做半径为490 m的圆周运动，飞行员的质量为80 kg。当飞机飞至轨道最高点时，飞行员对座椅的弹力恰好为零，则此时飞机飞行速度的大小为多大？（重力加速度*g* = 10 m/s2）

**分析：**飞机在竖直平面内做圆周运动至轨道最高点时飞行员对座椅的弹力恰好为零，根据牛顿第三定律，座椅对飞行员无弹力，此时飞行员只受重力的作用，重力提供飞行员随飞机做圆周运动的向心力。

**解答：**因座椅对飞行员的弹力为零，此时飞行员的重力提供飞行员随飞机做圆周运动的向心力，得

*mg* = *m*，

*v* = = m/s = 70 m/s

**说明：**本题考查匀速圆周运动向心力的规律，要求在理解向心力的大小与哪些因素有关的基础上，根据实际情况能进行简单的计算。因此学习水平为：理解（B）。

**学习内容**：4.2.1理解向心力。

**学习要求**：4.2.1②知道向心力是按照力的作用效果命名的；③理解向心力的大小与哪些因素有关；④能用向心力与线速度、角速度的关系式进行计算。

**学习水平**：理解（B）。

# 六、评价示例（拓展型）

## （一）活动示例

### 探究与归纳——用DIS探究向心力与哪些因素有关

根据生活经验，猜想向心力与哪些因素有关，分组讨论实验方案；利用提供的向心力实验仪运用控制变量的方法进行实验，采集实验数据，探究分析并得出正确结论。

## （二）检测示例

### 填空题

1. 甲、乙两个质点都作匀速圆周运动，甲的质量是乙的2倍，甲的速率是乙的4倍，甲的圆周半径是乙的2倍，则甲的向心加速度大小是乙的\_\_\_\_\_\_\_倍。甲的向心力大小是乙的\_\_\_\_\_\_\_\_倍。
2. 如图所示，一圆环圆心为O，若以它的直径AB为轴作匀速转动，圆环上P、Q两点的线速度大小之比是\_\_\_\_\_\_\_；若圆环的半径是20 cm，绕AB轴转动的周期是1 s，环上Q点的向心加速度大小是\_\_\_\_\_\_\_\_m/s2。

B

Q

P

60°

A

30°

O

【解析】（1）在同一转体上各质点角速度相同，即*ω*P = *ω*Q，两点做圆周运动的半径之比为*R*sin60°∶*R*sin30° = ∶1，由*v* = *ωr*可知，两点的线速度大小之比为∶1。

（2）*a*向 = ()2*r* = ()2*R*sin30° = ()2×0.2×0.5 m/s2 = 0.4π2 m/s2

1. 我国“嫦娥一号”和“嫦娥二号”绕月行器的圆形轨道距月球表面分别约为200 km和100 km，它们的线速度大小分别为*v*1和*v*2，*v*1、*v*2的比值为\_\_\_\_\_\_\_，它们的飞行周期之比*T*1∶*T*2 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。（月球半径取1700 km）

【解析】（1）两者绕行的轨道半径之比*r*1∶*r*2 = 1700+200∶1700+100 = 19∶18；由*v* = 可得：*v*1∶*v*2 = ∶；

（2）由*T* = 可得：*T*1∶*T*2 = ∶。

### 单选题

1. 物体做匀速圆周运动时（ ）。

（A）必须受到恒力的作用 （B）所受合力大小可能变化

（C）所受合力必须等于零 （D）所受合力大小不变，方向不断变化

1. 关于向心加速度的物理意义，正确的是（ ）。

（A）描述的是线速度方向变化的快慢

（B）描述的是线速度大小变化的快慢

（C）描述的是向心力变化的快慢

（D）描述的是角速度变化的快慢

1. 如图所示，反映甲、乙两球分别作匀速圆周运动时向心加速度随半径的变化关系（其中甲的图线是双曲线）。由图像可知（ ）。

*O*

乙

甲

*a*

*R*

（A）甲球运动时，线速度大小是变化的

（B）甲球运动时，角速度大小保持不变

（C）乙球运动时，角速度大小保持不变

（D）乙球运动时，线速度大小保持不变

【解析】AB．甲的图线是双曲线，因此*a*与*R*成反比，由*a* = 可知，甲的线速度应保持不变，选项A、B错误；

CD．乙的图线是正比例图线，即*a*与*R*成正比，由*a* = *ω*2*R*可知，乙的角速度应保持不变，选项C正确。

正确选项为C。

1. 如图所示，小物体A与圆柱保持相对静止，跟着圆盘一起作匀速圆周运动，则A受力情况是受（ ）。

（A）重力、支持力

（B）重力、向心力

（C）重力、支持力和指向圆心的摩擦力

（D）重力、支持力、向心力和摩擦力

1. 小球用长为*l*的线悬挂在O点，在O点正下方*l*/2处有一光滑的钉子O′，把小球拉到与O′在同一水平面的位置并释放，如图所示。当小球第一次通过最低点P时（ ）。

（A）小球速率突然减小

（B）小球的向心加速度突然减小

（C）小球的向心加速度不变

（D）小球受到的向心力突然增大

【解析】A．向心加速度**只改变速度的方向，不改变速度的大小**，因此通过最低点P时，小球的速率并不会发生变化，选项A错误；

BC．在通过P的瞬间，小球的运动半径突然增大，由*a*向 = 可知，向心加速度减小，选项B正确、C错误。

D．由*F*向 = *ma*向可知，向心力突然减小，选项D错误。

正确选项为B。

### 计算题

1. 如图所示，半径为*r*的圆筒绕竖直中心轴OO′转动，小物块A靠在圆筒的内壁上，它与圆筒的摩擦因数为*μ*，现要使A不下落，则圆筒转动的角速度*ω*至少应为多大？

【解析】A物块的受力如图所示，内壁对A的弹力作为向心力，由正交分解法可得：

竖直方向：*mg* = *f* = *μN* （1）

*N*

*f*

*mg*

水平方向：*N* = *mω*2*r* （2）

由（1）得：*N* = ，代入（2）式，得：*ω* = 。