



# 大学物理（上册） 导学教程

李星 / 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 大学物理（上册） 导学教程

主 编 李 星  
副主编 马振宁 翟中海  
参 编 汪青杰 王 逊 王月华

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书是根据工科院校大学物理课程特点,并结合编者多年一线教学经验编写而成的。本书为上册,配套马文蔚等主编的《物理学》(第六版),包括质点运动学、牛顿定律、动量守恒定律和能量守恒定律、刚体转动和流体运动、静电场、静电场中的导体与电介质、振动、波动、气体动理论、热力学基础、相对论,共十一章内容。每章由授课章节、目的要求、重点难点、主要内容、例题精解等部分构成,书后精心编排了两套综合习题及答案。

本书适用于普通高等院校工科专业的学生,同时对成人教育相关专业的学员,以及高等院校物理教师也具有一定的参考价值。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理(上册)导学教程/李星主编. —北京:北京理工大学出版社,2020.3  
ISBN 978-7-5682-8234-5

I. ①大… II. ①李… III. ①物理学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第041020号

---

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京国马印刷厂

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/9

字 数/212千字

版 次/2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

定 价/25.00元

责任编辑/陆世立

文案编辑/赵 轩

责任校对/刘亚男

责任印制/李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前 言

大学物理是理工科各专业的一门重要基础课，同时也是全国硕士研究生入学考试相关专业的专业科目之一。与高中物理相比，大学物理的理论更加抽象，逻辑推理更加严密，由于许多物理问题的概念性、理论性、技巧性较强，又需要以高等数学为工具，运用物理学的基本概念和规律去分析和解决问题，因此学生普遍反映这门课程较难掌握。我们编写本书的目的就是帮助学生尽快明确学习要求，理清知识脉络，尽快完成学习方法和思维方式的转变，掌握解题的思路和方法，提高综合应用所学知识、分析问题和解决问题的能力，为后继课程的学习打下坚实的基础。

本书提纲挈领地对知识点进行了简洁、清晰、全面的归纳。题型主要采用选择题、填空题和计算题，题目难度适中，既能考察对物理基本概念、基本规律的理解，也能考查学生对物理知识的迁移能力和运用能力，具有较强的诊断意义，有利于促进大学物理课程的“教”和“学”。同时配合各部分教学多媒体课件以及演示实验等电子资源，引导学生对所学知识进行自我归纳和总结，以期产生新思考，发现新问题，并达到解决新问题的目的。

参加本书编写的工作人员分工如下：李星（第一章，质点运动学；第二章，牛顿定律；第三章，动量守恒定律和能量守恒定律）、汪青杰（第四章，刚体转动和流体运动；第十四章，相对论）、王逊（第五章，静电场；第六章，静电场中的导体与电介质）、马振宁（第九章，振动；第十章，波动）、翟中海（第十二章，气体动理论）、王月华（第十三章，热力学基础）。

在本书编写过程中，参考了相关的教材、教学辅导书和网络电子资料，章节序号与马文蔚等主编的《物理学》（第六版）各章节序号一致，其中根据一般院校教学大纲，略掉了部分章节。

由于编写时间仓促加之编者水平有限，书中难免出现疏漏和不当之处，恳请广大读者批评指正。

编 者  
2019 年 6 月

# 目 录

第一章 质点运动学	(3)
1-1 质点运动的描述	(3)
1-2 圆周运动	(6)
1-3 相对运动	(6)
第二章 牛顿定律	(8)
2-1 牛顿定律	(8)
2-2 物理量的单位和量纲 (略)	
2-3 几种常见的力	(8)
2-4 牛顿定律的应用举例	(8)
2-5 非惯性系 惯性力 (略)	
第三章 动量守恒定律和能量守恒定律	(11)
3-1 质点和质点系的动量定理	(11)
3-2 动量守恒定律	(11)
3-3 系统内质量移动问题 (略)	
3-4 动能定理	(14)
3-5 保守力与非保守力 势能 (上)	(14)
3-5 保守力与非保守力 势能 (下)	(18)
3-6 功能原理 机械能守恒定律	(18)
3-7 完全弹性碰撞 完全非弹性碰撞	(18)
3-8 能量守恒定律	(18)
3-9 质心 质心运动定律 (略)	
3-10 对称性与守恒律 (略)	
第四章 刚体转动和流体运动	(20)
4-1 刚体的定轴转动	(20)
4-2 力矩 转动定律 转动惯量	(20)
4-3 角动量 角动量守恒定律	(22)

4-4	力矩做功 刚体绕定轴转动的动能定理 .....	(22)
4-5	刚体的平面平行运动 (略)	
4-6	刚体的进动 (略)	
4-7	流体 伯努利方程 (略)	
4-8	万有引力的牛顿命题 (略)	
4-9	经典力学的成就和局限性 (略)	
<b>第五章</b>	<b>静电场 .....</b>	<b>(24)</b>
5-1	电荷的量子化 电荷守恒定律 .....	(24)
5-2	库仑定律 .....	(24)
5-3	电场强度 .....	(24)
5-4	电场强度通量 高斯定理 .....	(27)
5-5	密立根测定电子电荷的实验 (略)	
5-6	静电场的环路定理 电势能 .....	(29)
5-7	电势 (上) .....	(29)
5-7	电势 (下) .....	(33)
5-8	电场强度与电势梯度 .....	(33)
5-9	静电场中的电偶极子 (略)	
<b>第六章</b>	<b>静电场中的导体与电介质 .....</b>	<b>(35)</b>
6-1	静电场中的导体 .....	(35)
6-2	静电场中的电介质 .....	(35)
6-3	电位移 有电介质时的高斯定理 .....	(35)
6-4	电容 电容器 .....	(38)
6-5	静电场的能量 能量密度 .....	(41)
6-6	电容器的充放电 (略)	
6-7	静电的应用 (略)	
<b>第七章</b>	<b>恒定磁场 (略)</b>	
<b>第八章</b>	<b>电磁感应 电磁场 (略)</b>	
<b>第九章</b>	<b>振动 .....</b>	<b>(43)</b>
9-1	简谐振动 振幅 周期和频率 相位 .....	(43)
9-2	旋转矢量 .....	(43)
9-3	单摆和复摆 (略)	
9-4	简谐振动的能量 .....	(47)
9-5	简谐振动的合成 .....	(47)
9-6	阻尼振动 受迫振动 共振 (略)	
9-7	电磁振荡 (略)	
9-8	简述非线性系统 (略)	

<b>第十章 波动</b> .....	(50)
10-1 机械波的几个概念 .....	(50)
10-2 平面简谐波的波函数 .....	(50)
10-3 波的能量 能流密度 .....	(53)
10-4 惠更斯原理 波的衍射和干涉 .....	(53)
10-5 驻波 .....	(57)
10-6 多普勒效应 (略)	
10-7 平面电磁波 (略)	
10-8 声波 超声波与次声波 (略)	
<b>第十一章 光学 (略)</b>	
<b>第十二章 气体动理论</b> .....	(58)
12-1 平衡态 理想气体物态方程 热力学第零定律 .....	(58)
12-2 物质的微观模型 统计规律性 .....	(58)
12-3 理想气体的压强公式 .....	(58)
12-4 理想气体分子的平均平动动能与温度的关系 .....	(58)
12-5 能量均分定理 理想气体的内能 .....	(58)
12-6 麦克斯韦气体分子速率分布律 .....	(60)
12-7 玻耳兹曼能量分布律 等温气压公式 (略)	
12-8 分子的平均碰撞频率和平均自由程 .....	(60)
12-9 气体的迁移现象 (略)	
12-10 实际气体的范德瓦耳斯方程 (略)	
<b>第十三章 热力学基础</b> .....	(62)
13-1 准静态过程 功 热量 .....	(62)
13-2 热力学第一定律 内能 .....	(62)
13-3 理想气体的等体过程和等压过程 摩尔热容 .....	(64)
13-4 理想气体的等温过程和绝热过程 多方过程 .....	(64)
13-5 循环过程 卡诺循环 .....	(67)
13-6 热力学第二定律的表述 卡诺定理 .....	(70)
13-7 熵 熵增加原理 .....	(70)
13-8 热力学第二定律的统计意义 .....	(70)
13-9 信息熵简介 (略)	
<b>第十四章 相对论</b> .....	(72)
14-1 伽利略变换式 经典力学的绝对时空观 .....	(72)
14-2 迈克耳孙-莫雷实验否定绝对参考系的存在 (略)	
14-3 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换式 .....	(72)
14-4 狭义相对论的时空观 .....	(72)

14-5	光的多普勒效应（略）	
14-6	相对论性动量和能量 .....	(74)
14-7	等离子体与受控核聚变（略）	
14-8	广义相对论简介（略）	
<b>第十五章 量子物理（略）</b>		
	综合习题（一） .....	(79)
	综合习题（二） .....	(103)
	参考答案 .....	(127)
	参考文献 .....	(135)

# 大学物理（上册）导学教程

学 号： \_\_\_\_\_  
姓 名： \_\_\_\_\_  
班 级： \_\_\_\_\_  
授课教师： \_\_\_\_\_



班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

授课章节	第一章 质点运动学 1-1 质点运动的描述	
目的要求	掌握描述质点运动的物理量：位置矢量、位移、速度、加速度；能借助直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度和加速度	
重点难点	位移、速度和加速度的计算；运动学两类基本问题	
<p><b>主要内容</b></p> <p>一、运动的描述</p> <p>1. 描述质点运动的基本物理量</p> <p>1) 位置矢量（位矢、矢径）</p> <p>位置矢量是描述质点在该时刻位置的物理量，在直角坐标系中，可表示为</p> $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ <p>2) 位移</p> <p>位移与时间间隔 <math>\Delta t</math> 相对应，是描述时间 <math>\Delta t</math> 内质点位置变化的物理量，表示为</p> $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = (x_2 - x_1)\mathbf{i} + (y_2 - y_1)\mathbf{j} + (z_2 - z_1)\mathbf{k}$ <p>运动方程：质点的位置和时间的函数关系，即</p> $\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$ <p>或</p> $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$ <p>运动方程在运动学中地位很重要，因为只要知道运动方程，便可以求得轨迹方程、速度和加速度等。</p> <p>3) 速度</p> <p>速度是描述质点位置变化快慢的物理量，即</p> $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$ <p>4) 加速度</p> <p>加速度是描述质点运动速度变化快慢的物理量，即</p> $\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt}\mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt}\mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt}\mathbf{k} \\ &= \frac{d^2x}{dt^2}\mathbf{i} + \frac{d^2y}{dt^2}\mathbf{j} + \frac{d^2z}{dt^2}\mathbf{k} \\ &= a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k} \end{aligned}$	<p><b>学习笔录：</b></p>	

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

## 二、运动学的两类基本问题

运动学的两类基本问题如下。

(1) 已知运动学方程  $\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$ ，求速度  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(t)$ 、加速度  $\mathbf{a} = \mathbf{a}(t)$ ，求解这类问题通常采用求导的方法。

(2) 已知加速度  $\mathbf{a}$  和初始条件  $\mathbf{r}_0$ 、 $\mathbf{v}_0$ ，求运动方程  $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ ，求解这类问题通常采用积分的方法。

积分方法解决问题的基本思路：

- ① 根据已知条件寻找变量的基本关系；
- ② 统一积分变量，并分离积分变量；
- ③ 等式两边同时积分，根据初始条件确定积分上下限；
- ④ 积分并整理得出结果。

### 例题精解

**例题 1：**已知一个质点的运动方程为  $\mathbf{r} = 2t\mathbf{i} + (2 - t^2)\mathbf{j}$  (单位为 m)。求：(1)  $t = 1$  s 和  $t = 2$  s 时质点的位置矢量；(2) 1 s 末和 2 s 末质点的速度；(3) 质点的加速度。

**解：**(1) 质点的位置矢量为： $t = 1$  s 时， $\mathbf{r}_1 = 2\mathbf{i} + \mathbf{j}$ ； $t = 2$  s 时， $\mathbf{r}_2 = 4\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$ 。

(2) 质点的速度为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2\mathbf{i} - 2t\mathbf{j}$$

$t = 1$  s 时， $\mathbf{v}_1 = 2\mathbf{i} - 2\mathbf{j}$ ，即  $v_1 = 2\sqrt{2}$  m/s， $\theta_1 = 45^\circ$  ( $v_1$  为  $t = 1$  s 时质点的速度大小， $\theta_1$  为  $\mathbf{v}_1$  与  $x$  轴的夹角)。

$t = 2$  s 时， $\mathbf{v}_2 = 2\mathbf{i} - 4\mathbf{j}$ ，即  $v_2 = 2\sqrt{5}$  m/s， $\theta_2 = -62^\circ 23'$  ( $v_2$  为  $t = 2$  s 时质点的速度大小， $\theta_2$  为  $\mathbf{v}_2$  与  $x$  轴的夹角)。

(3) 质点的加速度为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -2\mathbf{j}$$

**例题 2：**质点沿  $x$  轴运动，其加速度  $a = A(1 - Bt)$  ( $A$ 、 $B$  均为正常数)。  $t = 0$  时， $x_0 = 0$ ， $v = v_0$ ， $v_0$  与  $x$  轴同向，试求：(1)  $v = v(t)$ ；(2)  $x = x(t)$ 。

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

解：(1) 由  $a = \frac{dv}{dt}$  知  $dv = a dt = A(1 - Bt) dt$ ，两边积分得

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t A(1 - Bt) dt$$

于是求得

$$v = v_0 + At\left(1 - \frac{B}{2}t\right)$$

(2) 由  $v = \frac{dx}{dt}$  知  $dx = v dt = \left[v_0 + At\left(1 - \frac{B}{2}t\right)\right] dt$ ，两边积分得

$$\int_0^x dx = \int_0^t \left(v_0 + At - \frac{1}{2}ABt^2\right) dt$$

于是求得

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}At^2 - \frac{1}{6}ABt^3$$

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

授课章节	第一章 质点运动学 1-2 圆周运动；1-3 相对运动	
目的要求	能计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度、法向加速度和切向加速度；理解伽利略相对性原理，理解伽利略坐标变换和速度变换	
重点难点	圆周运动的角量描述，以及角量与线量之间的关系；相对运动问题	
主要内容	<p>一、圆周运动</p> <p>1. 圆周运动的角量表示</p> <p>(1) 角位置的表示符号为：<math>\theta</math>。</p> <p>(2) 角位移的表示符号为：<math>\Delta\theta</math>。</p> <p>(3) 角速度可表示为</p> $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ <p>若 <math>\omega =</math> 常量，则该运动为匀角速圆周运动，即匀速率圆周运动。 若 <math>\omega \neq</math> 常量，则该运动为非匀速率圆周运动。</p> <p>(4) 瞬时角加速度可表示为</p> $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ <p>若 <math>\alpha =</math> 常量，则该运动为匀变速圆周运动。 若 <math>\alpha \neq</math> 常量，则该运动为非匀变速圆周运动。</p> <p>2. 圆周运动的线量表示</p> <p>(1) 圆周运动的速度可表示为</p> $\mathbf{v} = v\mathbf{e}_t$ <p>(2) 圆周运动的加速度可表示为</p> $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = a_t\mathbf{e}_t + a_n\mathbf{e}_n = \frac{dv}{dt}\mathbf{e}_t + \frac{v^2}{R}\mathbf{e}_n$ <p>(3) 切向加速度的大小为 <math>a_t = \frac{dv}{dt}</math>，它是由速度大小变化引起的。</p> <p>(4) 法向加速度的大小为 <math>a_n = \frac{v^2}{R}</math>，它是由速度方向变化引起的。</p> <p>切向加速度 <math>a_n</math>、法向加速度 <math>a_t</math> 互相垂直，加速度大小为：<math>a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}</math>，方向为：<math>\varphi = \arctan \frac{a_n}{a_t}</math> (<math>\varphi</math> 是 <math>\mathbf{a}</math> 与 <math>\mathbf{a}_t</math> 的夹角)，不再指向圆心。</p>	学习笔录：

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

### 3. 圆周运动的角量和线量的关系

圆周运动的角量和线量的关系可表示为

$$v = R\omega, a_t = R\alpha, a_n = R\omega^2$$

### 二、相对运动

一个质点相对于两个相对作平动的参考系的速度间的关系为

$$\mathbf{v}_{\text{绝对}} = \mathbf{v}_{\text{相对}} + \mathbf{v}_{\text{牵连}}$$

式中： $\mathbf{v}_{\text{绝对}}$ 是质点相对于绝对坐标系（定坐标系）的速度，称为绝对速度； $\mathbf{v}_{\text{相对}}$ 是质点相对于动坐标系的速度，称为相对速度； $\mathbf{v}_{\text{牵连}}$ 是动坐标系相对于定坐标系的平动速度，称为牵连速度。

### 例题精解

**例题 3：**一质点运动方程为  $\mathbf{r} = 10(\cos 5t)\mathbf{i} + 10(\sin 5t)\mathbf{j}$  (单位为 m)，求：(1)  $a_t$ ；(2)  $a_n$ 。

**解：**(1) 易知  $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = -50(\sin 5t)\mathbf{i} + 50(\cos 5t)\mathbf{j}$ ，则质点的速度大小为

$$v = |\mathbf{v}| = \sqrt{(-50\sin 5t)^2 + (50\cos 5t)^2} = 50 \text{ m/s}$$

于是，切向加速度的大小为

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 0$$

(2) 法向加速度的大小为  $a_n = \sqrt{a^2 - a_t^2} = a = 250 \text{ m/s}^2$ 。

**例题 4：**某人骑自行车以速率  $v$  向西行驶，北风以速率  $v$  吹来（对地面），问骑车者感到风速及风向如何？

**解：**设风为运动物体，则绝对速度： $|\mathbf{v}_{\text{风对地}}| = v$ ，方向向南；牵连速度： $|\mathbf{v}_{\text{人对地}}| = v$ ，方向向西。

由伽利略速度变换有： $\mathbf{v}_{\text{风对人}} = \mathbf{v}_{\text{风对地}} - \mathbf{v}_{\text{人对地}}$ ，于是得， $\mathbf{v}_{\text{风对人}} = \mathbf{v}_{\text{风对地}} - \mathbf{v}_{\text{人对地}}$ ，如图 1-1 所示。

因为  $|\mathbf{v}_{\text{人对地}}| = |\mathbf{v}_{\text{风对地}}| = v$ ，所以  $\alpha = 45^\circ$ ，得出  $|\mathbf{v}_{\text{风对人}}| = \sqrt{|\mathbf{v}_{\text{人对地}}|^2 + |\mathbf{v}_{\text{风对地}}|^2} = \sqrt{2}v$ 。

$\mathbf{v}_{\text{风对人}}$  的方向：来自西北  $45^\circ$ ，或南偏东  $45^\circ$ 。

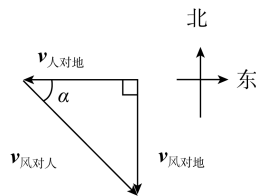


图 1-1 例题 4 图

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

授课章节	第二章 牛顿定律 2-1 牛顿定律; 2-3 几种常见的力; 2-4 牛顿定律的应用举例	
目的要求	掌握牛顿运动定律及其适用条件; 能用微积分方法求解一维变力作用下简单的质点动力学问题	
重点难点	牛顿第二定律及其应用	
<p><b>主要内容</b></p> <p>一、牛顿运动定律</p> <p>1. 牛顿第一定律</p> <p>牛顿第一定律可表示为</p> $\mathbf{F} = 0 \text{ 时, } \mathbf{v} = \text{恒量}$ <p>说明: (1) 该定律反映了物体的惯性, 故也叫作惯性定律; (2) 该定律给出了力的概念, 指出了力是改变物体运动状态的原因。</p> <p>2. 牛顿第二定律</p> <p>牛顿第二定律可表示为</p> $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ <p>说明: (1) <math>\mathbf{F}</math> 为合力; (2) <math>\mathbf{F}</math> 为瞬时关系; (3) 矢量关系; (4) 只适用于质点; (5) 解题时常写为</p> $\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow \begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \\ F_z = ma_z \end{cases} \quad (\text{直角坐标系})$ $\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow \begin{cases} F_n = ma_n = m \frac{v^2}{r} (\text{法向}) \\ F_t = ma_t = m \frac{dv}{dt} (\text{切向}) \end{cases} \quad (\text{自然坐标系})$ <p>3. 牛顿第三定律</p> <p>牛顿第三定律可表示为</p> $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ <p>说明: (1) <math>\mathbf{F}_1</math>、<math>\mathbf{F}_2</math> 在同一直线上, 但作用在不同物体上; (2) <math>\mathbf{F}_1</math>、<math>\mathbf{F}_2</math> 同时产生, 同时消失, 互不抵消。</p>	<p><b>学习笔录:</b></p>	

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 任课教师：\_\_\_\_\_

## 二、力学中常见的3种力

### 1. 万有引力

万有引力：任何物体之间都有相互吸引力，这个力叫作万有引力，它的大小与各个物体的质量成正比，而与它们之间距离的平方成反比，例如，质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$  的两个物体，相距  $r$  时，它们之间的万有引力为

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-2} \text{ 为万有引力常量})$$

注意：万有引力是非接触力，在处理问题时经常作为变力处理。

重力是地球对地面附近物体的万有引力，地面附近的重力加速度约为

$$g = G \frac{M}{R^2} = 9.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

### 2. 弹性力

两个物体相互接触，彼此发生挤压形变时产生的力，称为弹性力。压缩或拉伸弹簧时，产生弹性力，在弹性限度内，弹性力  $f = -kx$ ；两物体相互挤压时，产生正压力  $N$ ；绳索被拉伸时，出现张力  $T$ ，一般说来，绳上各点的张力不等，只有轻绳或绳做水平匀速运动时，绳上各点的张力才相等。

### 3. 摩擦力

当物体间有相对滑动时，出现滑动摩擦力  $f = \mu N$  ( $\mu$  是动摩擦因数)；当物体间仅有相对滑动趋势时，存在静摩擦力，其值的范围是  $0 \sim \mu_0 N$  ( $\mu_0$  是最大静摩擦因数)，而静摩擦力的大小只能由平衡条件或牛顿第二定律来确定。

## 三、牛顿运动定律常见类型题

牛顿运动定律有以下两种常见类型题：

- (1) 根据物体运动状态分析受力，解方程的问题；
- (2) 物体受力和描述物体运动状态的物体量之间的互求问题。

### 例题精解

**例题 1：**桌面上放置一个固定圆环带，半径为  $R$ ，一个物体贴着环带内壁运动。物体与环带内壁的动摩擦因数为  $\mu_1$ ，与桌面的动摩擦因数为  $\mu_2$ ，如图 2-1 所示。物体以初速度  $v_0$  开始运动，求物体运动的路程。

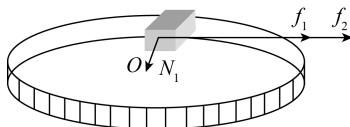


图 2-1 例题 1 图