



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

全国高等农林院校“十一五”规划教材

普通物理学

第二版

陈德万 杨亚玲 主编

 中国农业出版社

面向 21 世纪 课程教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材

普通物理学

第二版

陈德万 杨亚玲 主编

中国农业出版社

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学 / 陈德万, 杨亚玲主编. —2版. —北京: 中国农业出版社, 2008. 6

面向 21 世纪课程教材. 全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-12694-7

I. 普… II. ①陈…②杨… III. 普通物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 080849 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 朱 雷 卫 洁

北京通州皇家印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

2000 年 6 月第 1 版

2008 年 7 月第 2 版

2008 年 7 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 820mm×1080mm 1/16 印张: 20.25

字数: 477 千字

定价: 30.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 陈德万（西南大学）

杨亚玲（西南大学）

副主编 王开明（四川农业大学）

李小毛（江西农业大学）

参 编 周 兵（云南农业大学）

林智群（湖南农业大学）

徐小慧（西南大学）



《大学体育》编委会

(第二版)

主 编：薛孝恩

副主编：王文清 刘虎平

编 委：(按姓氏笔画排序)

马成亮 王文清 刘虎平

刘月花 李 嵘 李鸿飞

杨 莉 吴炎兵 时玉英

张燕英 武纯刚 庞宇波

荆永根 郭 瑞 倪 利

龚晓东 梁耀宗 董新亚

薛孝恩

第二版前言

《普通物理学》自 2000 年出版以来，已 7 年有余。承蒙广大农林院校师生厚爱，许多师生通过不同方式，对本书提出了许多宝贵意见和建议，编者在此表示衷心的感谢。

为了适应面向 21 世纪高等农林院校物理教学形势的发展和需要，根据广大师生提出的建议，我们对本书做了必要的修订，修订时在保留原有风格和特色的基础上，考虑到许多农林院校物理学课时少的特点，对全书内容进行了较大的调整，以适应当前高等农林院校强化基础教育的新形势。为此我们做了以下工作：

第一，根据农林、生物学类学科物理学课时少的特点，进一步精选和组织教学内容，并注重前后内容的安排和衔接。

第二，注重对物理学基本概念，基础理论的阐述和对重要定理、公式推导思路进行扼要说明的同时，从中培养学生的科学素质和能力，力图掌握好理论与应用之间的关系。

第三，进一步把握好习题的数量，使习题的内容与该章的重点内容更加紧密的结合。

第四，为了进一步体现物理学与农林科学、生物学的结合。在物理窗口再增加有关这方面的内容：如生物电、生物磁学、生物节律等，以扩大学生科学视野，激发学生学习物理学的兴趣。

参加本书编写工作的有：陈德万（西南大学）、杨亚玲（西南大学）、王开明（四川农业大学）、李小毛（江西农业大学）、周兵（云南农业大学）、林智群（湖南农业大学）、徐小慧（西南大学）。重庆大学方祯云教授仔细认真审阅了本书，提出了许多宝贵意见，在此，谨致以衷心感谢。

限于编者水平，书中不当之处，在所难免，敬请读者批评、指正。

编者

2008 年 5 月

第一版前言

为了适应 21 世纪注重对学生科学素质和创造能力培养的需要和更好地发挥物理学科在农林、生物科学中的基础作用,本书是在通过实施教育部和农业部“高等农林教育面向 21 世纪物理教学内容和课程体系改革”的研究,并在中华农业科教基金的资助下,根据我们在农业院校长期讲授普通物理学的经验编写而成。

本书编写时,力求体现以下特点:

首先是起点较高,处理好与中学内容的衔接,避免重复。

其次,精选和组织好教学内容。我们根据普通物理学内容受历年来许多农业院校课时少的特点,精选了农业院学生所必须具备的基本物理基础知识,对重要的物理概念、理论进行必要的阐述,对重要的定理、公式的推导思路进行了扼要的说明,从中培养学生分析问题、解决问题的物理思想、研究方法,提高学生的科学素质和能力。我们认为,普通物理学不仅仅传授物理学基础知识,而且还会交给学生打开获取知识大门的钥匙。我们还紧密结合理论的应用,精选习题,尤其是结合物理学在农业科学、生物学中的应用,我们自编了部分例题和习题,以提高学生应用理论解决实际问题的能力,从而可激发学生学习物理学的积极性。

第三,适当地为物理学在生物学中的应用打开窗口和安装接口。我们介绍了物理学与生物学的结合与应用,如生物力学、生物系统热力学、化学势与水势、大气电场对生物的影响、环境磁场对生物的影响等。这对于提高学生学习物理学的兴趣,扩大科学视野以及在各自专业范围内的思路无疑是有帮助的。

参加本书编写工作的有:陈德万、孙凡、习岗、祁铮,最后,由陈德万负责统稿和定稿。

本书编写中得到了西南农业大学左冰意教授、徐志朝教授、中国农业大学金仲辉教授的热情关注和指导,金仲辉教授仔细审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

编者

1998 年 12 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 连续体力学	1
第一节 刚体的定轴转动	1
一、刚体的运动	1
二、刚体定轴转动定理	5
三、转动中的功和能	9
四、刚体的角动量定理	11
第二节 流体力学	13
一、理想流体的定常流动	13
二、黏性流体的流动	17
第三节 液体的表面现象	21
一、液体的表面张力	21
二、毛细现象	25
习题	27
物理窗口	30
A. 生物力学	30
第二章 气体动理论	33
第一节 气体的压强和温度	33
一、理想气体的状态方程	33
二、气体动理论的研究方法	35
三、理想气体的压强	37
四、分子的平均平动动能与温度的关系	39
五、范德瓦耳斯方程	39
第二节 分子平均动能按自由度均分的统计规律	44
一、自由度	44
二、分子的平均动能按自由度均分原则	45
三、理想气体的内能	46
第三节 气体分子速率分布的统计规律	47

一、速率分布律	47
二、麦克斯韦速率分布律	48
三、麦克斯韦速率分布律的应用	49
四、麦克斯韦速率分布律的实验验证	51
第四节 气体分子能量分布的统计规律	51
一、玻尔兹曼分布律	51
二、在重力场中粒子按高度的分布	52
第五节 气体分子碰撞的统计规律	53
第六节 气体的输运规律	55
一、气体的扩散	55
二、气体的热传导	56
三、气体的内摩擦现象	57
习题	59
第三章 热力学	61
第一节 热力学第一定律及其对理想气体的应用	61
一、热力学系统	61
二、热力学过程	62
三、热力学第一定律	63
四、内能	64
五、功	64
六、热量	65
七、热力学第一定律对理想气体的应用	68
第二节 循环过程、卡诺循环	73
一、循环过程	73
二、卡诺循环	74
第三节 热力学第二定律	77
一、热力学过程的方向性	77
二、热力学第二定律	79
三、热力学第二定律的物理本质	80
第四节 熵与熵增加原理	83
一、态函数——熵	83
二、熵增加原理	86
第五节 热力学函数及应用	87
一、焓	88
二、自由能	88
三、吉布斯自由能	89

四、热力学函数的应用	90
习题	92
物理窗口	94
B. 化学势与水势	94
C. 生物系统热力学	99
第四章 静电场	101
第一节 电场强度	101
一、库仑定律	101
二、电场强度	102
三、高斯定理	110
第二节 电势	119
一、电势能	119
二、电势	121
三、电场强度与电势关系	126
第三节 静电场对电荷的作用	128
一、静电场对点电荷的作用 电泳	128
二、静电场对电偶极子的作用	129
第四节 静电场对导体的作用	131
一、导体的静电平衡	131
二、导体的电荷分布 尖端放电	132
第五节 静电场对电介质的作用	133
一、电介质的极化	133
二、电介质中的高斯定理	135
三、电容器 细胞电容	137
四、电介质电泳 细胞电融融合	139
第六节 静电场的能量	140
一、带电体系的静电能量	140
二、电场的能量	140
习题	142
第五章 稳恒电流	144
第一节 电流密度和电动势	144
一、电流 电流密度矢量	144
二、电流密度的微观意义	145
三、欧姆定律的微分形式	146
四、电源 电动势	147

第二节 基尔霍夫定律	148
一、基尔霍夫第一定律	148
二、基尔霍夫第二定律	149
习题	152
物理窗口	153
D. 生物电学	153
第六章 稳恒磁场	156
第一节 真空中的稳恒磁场	156
一、磁感应强度、磁场的高斯定理	156
二、毕奥—萨伐尔定律	161
三、安培环路定理	165
四、磁场对运动电荷的作用	170
五、磁场对载流导线的作用	174
第二节 磁介质中的磁场	177
一、磁介质	177
二、铁磁质	181
习题	182
物理窗口	186
E. 超导电性	186
F. 生物磁学	188
第七章 电磁感应	192
第一节 电磁感应的基本规律	192
一、电磁感应现象	192
二、法拉第电磁感应定律	193
第二节 动生电动势	194
第三节 感生电动势	196
一、感生电动势 涡旋电场	196
二、自感和互感	197
第四节 磁场的能量	199
第五节 麦克斯韦方程	202
一、位移电流	202
二、麦克斯韦方程组	203
三、电磁波	205

习题	206
第八章 振动和波	209
第一节 线性振动	210
一、简谐振动	210
二、阻尼振动	216
三、受迫振动 共振	218
第二节 振动的合成	220
一、一维线性振动的合成	220
二、二维线性振动的合成	222
第三节 平面简谐波	225
一、物体的弹性形变	225
二、机械波的产生和传播	227
三、平面简谐波的波动方程	230
第四节 波的能量	235
一、波的能量	235
二、波动能量的传播	236
三、波的吸收	237
第五节 惠更斯原理	238
一、惠更斯原理	238
二、波的衍射现象	239
三、波的反射现象	239
四、波的折射现象	240
第六节 波的干涉	241
一、波的叠加原理	241
二、波的干涉现象	241
三、驻波	244
习题	247
物理窗口	248
G. 非线性振动与混沌	248
H. 生物节律	252
第九章 光的波动性	254
第一节 光的干涉	254
一、光的相干条件	254
二、杨氏双缝干涉 洛埃镜	256
三、薄膜干涉	259

第二节 光的衍射	266
一、惠更斯—菲涅耳原理	266
二、夫琅和费单缝衍射和圆孔衍射	267
三、光栅衍射	273
四、X射线的衍射	277
第三节 光的偏振	279
一、光的偏振态	279
二、布儒斯特定律	283
三、光的双折射现象	284
四、波片、椭圆偏振光或圆偏振光、偏振光的检验	288
五、旋光现象	291
习题	292
物理窗口	295
I. 全息光学	295
J. 旋光与对称性破缺	296
习题参考答案	299
附录	306
参考文献	307

第一章 连续体力学

本章要求

1. 掌握描述刚体定轴转动的角位移、角速度和角加速度等概念, 以及它们和有关线量的关系;
2. 掌握力矩、转动惯量等概念和定轴转动定理, 并能应用定轴转动定理求解有关问题;
3. 会计算力矩的功、刚体的转动动能、在定轴转动的问题中能正确地应用机械能守恒定律;
4. 能正确理解和计算质点和刚体对定轴的角动量, 并能正确理解和应用定轴转动的角动量守恒定律;
5. 正确理解理想流体、流线、流管、定常流动、体积流量和质量流量等概念, 能正确理解和应用连续性原理及伯努力方程;
6. 了解流体的黏性、层流和湍流等概念及泊肃叶定律和斯托克斯公式;
7. 掌握液体的表面张力、表面能、弯曲液面下的附加压强差、润湿与不润湿等概念及产生的原因, 会计算弯曲液面下的附加压强差及毛细管内液面高度。

物质存在的三种状态: 固体 (solid)、液体 (liquid) 和气体 (gas) 统称为连续体或连续介质 (continous medium)。连续体力学不考虑物质的离散性质, 而把物质当作是均匀分布在一定空间区域里的, 从宏观上研究连续体的运动规律及力学性质。

第一节 刚体的定轴转动

刚体 (rigid body) 就是在外力作用下, 其形状和大小都不发生变化的物体。其特点是: 在运动过程中, 刚体的所有质点 (又称为质元) 之间的相对距离始终保持不变。因此, 刚体内各个部分之间的作用力即内力, 对刚体的整体运动不起作用。刚体是一种理想模型, 任何物体在外力作用下, 其形状和大小都要发生变化。但在所研究的问题中, 物体的形变不显著或并不重要, 我们就可把物体视为刚体。刚体的一般运动可视为平动 (translation) 和转动 (rotation) 的叠加。因此, 研究刚体的定轴转动 (fixed-axis rotation), 则为进一步研究物体的一般运动奠定了基础。

一、刚体的运动

刚体最简单的运动形式是平动和转动。在运动过程中, 如果刚体内的任意一条直线始终都保

持其方向不变,则这种运动称为刚体的平动,如图 1-1 所示。例如电梯的运动,汽缸中活塞的运动等都是平动。由定义不难看出,刚体做平动时,刚体上各质元的运动是完全相同的。即在任意一段时间内,各质元的位移相同,在任意一时刻,各质元的速度和加速度相同。因此,刚体内任意一个质元的运动都可以代表整个刚体的运动,我们可以把刚体当作一个质点来处理,用质点力学来研究它的运动规律。

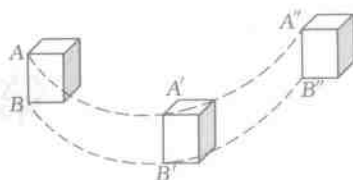


图 1-1 刚体的平动

应该指出:首先刚体做平动时,并不意味着刚体上各质元的轨道为直线。其次刚体做平动时,必须是刚体内的任意一条直线都始终保持其方向不变,而绝不是刚体内的一条特殊的直线保持其方向不变。例如,刚体做定轴转动时,在刚体内作一条垂直于圆周所包围平面的直线,在运动过程中其方向始终保持不变,显然刚体的这种运动不是平动。

在运动过程中,如果刚体上各质元都绕同一直线做圆周运动,则这种运动称为刚体的转动,而该直线称为刚体的转轴。例如骑自行车时车轮的运动,开窗时窗的运动等都是转动。如果转轴是固定不动的,则这种转动称为定轴转动,如图 1-2 所示。只有刚体做平动时,才能说刚体的速度、加速度为多少。否则,在刚体的一般运动过程中,笼统地说刚体的速度、加速度是毫无意义的。本节研究刚体的定轴转动。

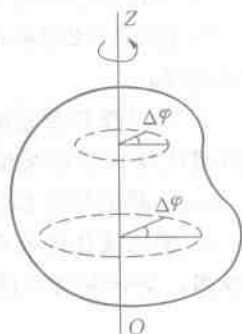


图 1-2 刚体的定轴转动

刚体做定轴转动时有如下特点:

首先,刚体上各个质元都在做圆周运动,但各个质元到转轴的距离和速度却不一定相同。

其次,各个质元做圆周运动的平面与转轴垂直,圆心在其轴线上。

最后,从各个质元所在位置到转轴 OZ 的垂直连线,在相同的时间内转过的角度都相同。

根据刚体定轴转动的特点,我们不能像研究质点运动那样,用线量如坐标、速度、加速度等物理量来描写质点的运动,而是用角量如角坐标、角位移 (angular displacement)、角速度 (angular velocity) 和角加速度 (angular acceleration) 等物理量来描写刚体的定轴转动。

为了描述刚体在转动过程中的位置,通常取任意一垂直于定轴的平面作为转动平面,如图 1-3 所示。 O 点为该转动平面与转轴的交点,平面上各质元都绕 O 点做圆周运动。如果在任一时刻能确定,在转动平面上任一点的位置,则整个刚体在该时刻的位置就确定了。下面介绍描写刚体定轴转动的物理量。

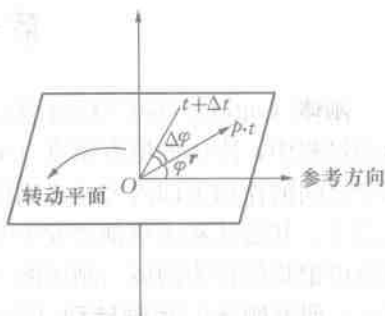


图 1-3 转动平面

在转动平面上取一参考方向,在时刻 t ,由 O 点向 p 点的位置所作的有向线段称为矢径,用 r 表示,它与参考方向的夹角 φ 就表示 p 点在时刻 t 的位置。 φ 确定后, p 点的位置就确定了,从而整个刚体的位置也就确定了。角 φ 称为角坐标;它是描述定轴转动中,刚体的位置的物理

量, 其单位为弧度 (rad)。因此刚体做定轴转动时, 其角坐标 φ 随时间变化的函数关系式称为刚体做定轴转动的运动方程, 即

$$\varphi = \varphi(t) \quad (1-1)$$

在时刻 t 时, p 点的角坐标为 φ , 在时刻 $t + \Delta t$ 时, p 点的角坐标为 $\varphi + \Delta\varphi$, 则末时刻角坐标与初始时刻角坐标之差, 即 $\Delta\varphi$ 称为刚体在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 内的角位移, 它是描述刚体位置变化的物理量。

刚体的角位移与所需时间之比值称为刚体在该时间间隔内的平均角速度, 用 $\bar{\omega}$ 表示。即

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (1-2)$$

一般说来, 在转动过程中, 在相同时间 Δt 内, 角位移 $\Delta\varphi$ 不相等, 这就是变速转动。为了精确地描写刚体的转动快慢情况, 引入了瞬时角速度这个概念。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均角速度的极限值称为刚体在时刻 t 的瞬时角速度, 简称角速度。即

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (1-3)$$

角速度是矢量, 作角速度矢量时, 规定在转轴上画一有向线段, 使其长度按一定比例代表角速度的大小, 它的方向与刚体转动方向成右手定则关系。即使右手四指弯曲的方向与刚体的转动方向一致, 而与四指垂直的拇指所指的方向就表示角速度的方向。在图 1-3 所示的转动情况下, 角速度的方向沿转轴竖直向上。在定轴转动中, 由于刚体只有两个转动方向, 故可用正负号来表示角速度的方向。将一坐标轴如 Z 轴标在转轴上, 且一般规定向上为 Z 轴正方向。若刚体以逆时针方向转动, 角速度方向与 Z 轴正方向相同, 则 ω 为正, 反之为负。角速度是描述刚体的位置变化快慢和方向的物理量, 其单位为弧度/秒 ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$), 一般写为 1/秒 (s^{-1})。

为了描述刚体在转动过程中角速度的变化, 我们引入了角加速度这个物理量。在转动过程中, 刚体的角速度的变化 $\Delta\omega$ 与其所需时间 Δt 之比值定义为刚体在该时间间隔内的平均角加速度。用 $\bar{\beta}$ 表示。即

$$\bar{\beta} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (1-4)$$

一般说来, 平均角加速度只是粗略地描写了刚体的角速度变化情况。为了精确地描写刚体的角速度变化情况, 我们引入了瞬时角加速度。在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均角加速度的极限值定义为刚体在该时刻 t 时的瞬时角加速度, 简称角加速度。即

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (1-5)$$

角加速度是矢量, 其方向与 $\Delta\omega$ 的方向相同。在定轴转动中, 我们用正负号表示角加速度的方向。根据 β 的正负可确定刚体是加速转动或减速转动。当 $\omega \cdot \beta > 0$ 时, 刚体做加速转动, 反之, 为减速转动。角加速度的单位为弧度/秒² ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$), 一般写成 1/秒² (s^{-2})。

刚体在定轴转动过程中, 若 ω 保持不变, 则称为匀速转动, 否则称为变速转动。若 β 保持不变, 则称为匀变速转动, 否则称为非匀变速转动。

刚体做定轴转动时, 刚体内各点都做圆周运动。为此, 我们在转动平面上任取一点如 p 点, 求出 p 点的速度、加速度与刚体做定轴转动时的角速度、角加速度之间的关系。

设在 dt 时间内 p 点经过的路程为 ds , 而刚体的角位移为 $d\varphi$, 如图 1-4 所示。由弧长与所对应的圆心角之间的关系可得

$$ds = r d\varphi \quad (1-6)$$

由此可得 p 点的速度与刚体的角速度之间的关系为

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\varphi}{dt} = r\omega \quad (1-7)$$

写成矢量式

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r} \quad (1-8)$$

即 $\mathbf{v}$ 与 $\boldsymbol{\omega}$ 和 $\mathbf{r}$ 成右手定则关系, 其中 $\mathbf{r}$ 为 p 点的矢径。

将式 (1-7) 两边对时间 t 求导, 即得 p 点的切向加速度 a_t 与刚体的角加速度 β 的关系。

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(r\omega) = r \frac{d\omega}{dt} = r\beta \quad (1-9)$$

由质点做圆周运动的向心加速度 (亦即法向加速度) 公式可得 p 点的法向加速度 a_n 为

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r \quad (1-10)$$

由上面讨论可知, 刚体做定轴转动时, 刚体内各点的位移、速度、切向加速度和法向加速度是不相同的, 而各点的角位移、角速度和角加速度则是相同的。因此角量是描述整个刚体做定轴转动时运动状态的物理量。

例 1.1 设一半径为 R 的飞轮以角加速度 β 做匀变速转动, 在 $t=0$ 时, 飞轮的角速度为 ω_0 , 角坐标为 φ_0 。求在时刻 t 时:

- (1) 飞轮的角速度和角坐标;
- (2) 在飞轮边缘上一点的速度、切向加速度和法向加速度。

解 (1) 由 $\beta = \frac{d\omega}{dt}$ 和初始条件可得

$$\int_{\omega_0}^{\omega} d\omega = \int_0^t \beta dt$$

积分得在时刻 t 时, 飞轮的角速度为

$$\omega = \omega_0 + \beta t$$

由 $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ 和初始条件, 并将上式代入积分得

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} d\varphi = \int_0^t \omega dt = \int_0^t (\omega_0 + \beta t) dt$$

即在时刻 t 时, 飞轮的角坐标为

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$$

在时间 $0 \sim t$ 内飞轮的角位移为

$$\varphi - \varphi_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \beta t^2$$

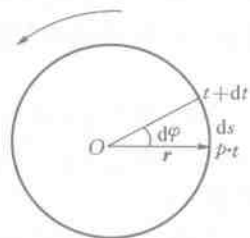


图 1-4 求线量与角量的关系