

农科物理学

(上册)

章志刚 周宝田等编



上海交通大学出版社

高等农、林、牧、水产院校试用教材

农 科 物 理 学

(上 册)

章志刚 周宝田等 编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是以全国农、林、牧、水产院校新制订的“高等农、林、牧、水产院校生物类专业物理教学大纲”为基础，并结合高等农业院校工程类专业对物理学科的要求而编写的。

本书内容包括力学、分子物理学与热力学、电磁学、振动与波动、光学和近代物理学基础等六篇。全书内容丰富，通俗易懂，不仅可作为高等农、林、牧、水产院校生物类专业、工程类专业教学用书，也可作为高等医科院校、师范院校生物类专业和中等专业学校师生的参考用书。

农 科 物 理 学

(上册)

出 版：上海交通大学出版社

(淮海中路1984弄19号)

发 行：新华书店上海发行所

印 刷：立信常熟印刷联营厂

开 本：787×1092(毫米) 1/32

印 张：11.25

字 数：251,000

版 次：1990年10月 第1版

印 次：1990年11月 第1次

印 数：1—7,700

科 目：233—303

ISBN7-313-00732-9/O·4

定 价：3.65元

前 言

本书是以全国农、林、牧、水产院校新制订的“高等农、林、牧、水产院校生物类专业物理教学大纲”为基础，并结合高等农业院校工程类专业对物理学科的要求而编写的。

本书以高中物理学为起点，以物理的基本理论、基本知识、基本技能为主要内容。在编写过程中，注意了把重点放在基本原理、基本概念的阐述上，充分运用学生已掌握的数学知识；并在保持物理学自身的系统性的同时，在选材上注意反映农、林、牧、水产院校的特点。

本书努力运用辩证唯物主义的观点来阐述本学科的基本规律，藉以培养学生正确的分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等农、林、牧、水产院校生物类专业、工程类专业教学用书，也可作为高等医科院校、师范院校生物类专业和中等专业学校师生的参考用书。

本教材由章志刚担任主编，周宝田、徐傅、王华金、马泽仁、张惠业、陶燕敏、王立雄担任副主编。本教材各章编写人员为：北京农学院周宝田（一、七章）、陈逢岩（二章）、冯春华（三章）、莽万里（四章）；浙江水产学院张惠业（五章）；塔里木农垦大学徐傅（六章）；仲恺农业技术学院王华金（八、九章）；湛江水产学院梁德余（十章）；天津农学院王立雄（十一章）；莱阳农学院刘文浩（十二章）；宁夏农学院李玉兰（十三章）、马泽仁（十七章）；上海农学院周鸣予（十四章）、章志刚（十五章）、陶燕敏（十八章）；青海畜牧兽医学院谷广昌（十六章）。

本教材由南京农业大学唐玄之教授、上海交通大学胡盘新

教授主审；在审稿过程中，上海大学杨锦文副教授、上海工业大学范培青副教授提出了许多宝贵的意见；上海农学院夏樟根、叶健两位老师审阅了本书的习题，特在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，经验不足，书中的缺点错误在所难免，恳请广大读者惠予批评指正。

绪 论

辩证唯物主义认为，自然界的万物无一不是由运动着的物质组成的。什么是物质？它可以是“实物”，如日月星辰，原子、电子等等；它也可以是“场”，如电场、磁场、重力场、引力场等等。总之，自然界中各种物质形式不一，但它们都是不依赖人们的意识而客观存在着的，并且能为人们所认识的。

物质和运动是不可分开的。运动是物质的存在方式，是物质的固有属性。没有运动的物质和没有物质的运动都是不存在的。天体的演化运行，生物的新陈代谢，以及人类的思维活动，都是物质运动的各种形式。对各种不同的物质运动形式的研究，形成了自然科学的各门学科。

物理学是研究物质运动的最基本、最普遍的规律以及这些规律在实践中应用的一门自然科学。机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等就是物理学所要研究的内容。物理学所研究的运动，普遍地存在于其它高级的、复杂的物质运动(如化学运动、生物运动等)形式之中，因此，物理学所研究的规律具有极大的普遍性。它是自然科学中重要的基础学科之一。

物理学的研究方法首先是通过对于自然界中所发生的现象进行观测和实验，以取得丰富的感性知识。所谓观察就是在自然条件下观察那些一时尚不了解、无法控制的自然现象；而实验则是在人为的条件下使现象反复重演，从而研究现象中各种因素之间的内在联系和因果关系，通过实验，找到影响现象的最主要的因素和最本质的东西。物理学的研究方法一般是在观察

和实验的基础上，对物理现象进行分析、抽象、推理、判断和概括，从而建立物理定律和发展成为物理理论，并再回到实践中去加以检验，得到确认或给予必要的修正。

物理学作为自然科学的基础，也是现代科学技术的先导。历史告诉人们：物理学基础理论的重大进展能够带动整个科学技术的发展，引起重大的技术革命。17、18世纪牛顿力学和热力学的发展，不仅有力地推动了其它学科的进展，并且由于蒸汽机和机械工业的出现，引起了世界第一次工业革命；法拉第电磁感应现象的发现、电磁学基本规律的确立，导致了19世纪工业电气化的革命；原子核结构和核反应的研究，导致了原子武器的出现和原子能的开发利用；原子能级理论的确立，为激光、固体物理和半导体等研究奠定基础，从而促进了当代电子工业的新技术革命。物理学对科学技术的发展起了巨大的作用，而科学技术的发展和生产的需要又促进了物理学的发展，现代物理学已成为基础学科中发展最快、影响最深的一门学科。

农业科学技术、生物科学都与物理学存在着密切的关系。由于生物科学与物理学的紧密联系、相互渗透，从而形成一系列新兴的边缘科学，如分子生物学、分子遗传学、量子生物学、仿生学和生物控制论等等。物理学知识是深入研究生物科学、探索生命现象所必不可少的基础。近代物理学所提供的现代化的实验方法和手段，如电子计算机、电子显微镜、激光、同位素、质谱仪等等，为生物科学和农业科学技术的研究开辟了新的途径。要研究和掌握现代生物学的理论和实验技术，没有坚实的物理学基础，没有熟练的使用物理仪器和设备的实践能力是不行的。

物理学中许多重大发现，都为辩证唯物主义世界观提供了

丰富的内容和有力的证据。所以，通过物理学的学习，将有利于培养和树立辩证唯物主义世界观，并以它为指导，提高分析问题和解决问题的能力。作为高等农业院校的学生，物理学的思想和方法是必须具备的文化素质。打好扎实和必要的物理学基础，可为今后学好专业知识创造良好的条件。

物理学基本常数的计算值

重力加速度	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
万有引力常数	$G_0 = 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{s}^2 \cdot \text{kg}$
阿伏加德罗常数	$N_0 = 6.02 \times 10^{23} (1/\text{mol})$
普适气体常数	$R = 8.31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$
玻尔兹曼常数	$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
真空中的介电常数	$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$
真空中的磁导率	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$
真空中的光速	$c = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$
基本电荷	$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
电子静止质量	$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
质子静止质量	$m_p = 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
中子静止质量	$m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$
原子质量单位	$u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$
普朗克常数	$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$
电子荷质比	$e/m_e = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$
电子伏特	$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$
里德堡常数	$R = 1.097 \times 10^7 (1/\text{m})$
玻尔半径	$r_1 = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$
斯忒藩——玻尔兹曼常数	$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/K}^4 \cdot \text{m}^2$

目 录

(上册)绪论.....	(1)
-------------	-------

第一篇 力学的物理基础.....	(1)
------------------	-------

第一章 质点力学.....	(1)
---------------	-------

§ 1-1 位置矢量 速度和加速度.....	(1)
------------------------	-------

§ 1-2 牛顿运动定律 非惯性系.....	(8)
------------------------	-------

§ 1-3 动量 动量守恒定律.....	(12)
----------------------	--------

§ 1-4 功 动能定理.....	(16)
-------------------	--------

§ 1-5 物体系的势能 机械能守恒定律.....	(19)
---------------------------	--------

第二章 刚体力学.....	(31)
---------------	--------

§ 2-1 刚体的定轴转动.....	(31)
--------------------	--------

§ 2-2 转动定律 转动惯量.....	(36)
----------------------	--------

§ 2-3 刚体的转动动能.....	(43)
--------------------	--------

§ 2-4 动量矩和冲量矩 动量矩守恒定律.....	(48)
----------------------------	--------

第三章 流体力学.....	(55)
---------------	--------

§ 3-1 理想流体的稳定流动.....	(55)
----------------------	--------

§ 3-2 伯努利方程及其应用.....	(57)
----------------------	--------

§ 3-3 实际流体的粘滞性.....	(64)
---------------------	--------

§ 3-4 泊肃叶定律 斯托克斯定律	(69)
第二篇 分子物理学和热力学基础	(77)
第四章 气体分子运动论	(78)
§ 4-1 理想气体状态方程	(78)
§ 4-2 气体分子运动论的基本概念	(82)
§ 4-3 理想气体的压强公式	(83)
§ 4-4 温度的微观解释	(90)
§ 4-5 气体分子的速率分布规律	(93)
§ 4-6 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	(100)
§ 4-7 分子碰撞和平均自由程	(107)
§ 4-8 气体内的输运现象	(110)
§ 4-9 范德瓦耳斯方程	(117)
第五章 热力学基础	(125)
§ 5-1 热力学第一定律	(125)
§ 5-2 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	(132)
§ 5-3 绝热过程	(138)
§ 5-4 循环过程 卡诺循环	(144)
§ 5-5 热力学第二定律及其统计意义	(151)
§ 5-6 卡诺定理	(160)
§ 5-7 熵	(161)
§ 5-8 熵增加原理	(169)
§ 5-9 熵与生命现象	(172)

第六章 液体的表面性质.....(180)

§ 6-1 液体的表面张力.....(180)

§ 6-2 弯曲液面的附加压强.....(187)

§ 6-3 接触角和毛细现象.....(192)

§ 6-4 土壤毛管水和气体栓塞.....(199)

第三篇 电磁学基础.....(206)

第七章 静电场.....(206)

§ 7-1 库仑定律.....(206)

§ 7-2 电场强度 场强叠加原理.....(208)

§ 7-3 电通量 高斯定理.....(216)

§ 7-4 静电场力的功 电势能.....(222)

§ 7-5 电势.....(224)

§ 7-6 等势面 场强与电势的关系.....(227)

§ 7-7 静电场中的导体.....(231)

§ 7-8 电容和电容器.....(236)

§ 7-9 电介质.....(241)

§ 7-10 电位移 有介质时的高斯定理.....(246)

§ 7-11 电场的能量.....(252)

第八章 电动势.....(264)

§ 8-1 电源的电动势.....(264)

§ 8-2 温差电动势.....(266)

§ 8-3 能斯特电势 生物电势*.....(271)

第九章 磁场.....(275)

§ 9-1	磁场 磁感应强度	(275)
§ 9-2	磁通量 磁场中的高斯定理	(278)
§ 9-3	毕奥—萨伐尔定律及其应用	(280)
§ 9-4	安培环路定理及其应用	(287)
§ 9-5	运动电荷在磁场中所受的力—洛伦兹力	(293)
§ 9-6	磁场对载流导线的作用	(299)
§ 9-7	磁介质	(303)
§ 9-8	磁与生物关系的简介	(311)
第十章	电磁感应 电磁场理论的基本概念	(325)
§ 10-1	电磁感应定律	(325)
§ 10-2	自感与互感 磁场能量	(334)
§ 10-3	位移电流 电磁场基本方程的积分形式	(341)

第一篇 力学的物理基础

第一章 质点力学

在物质的多种多样的运动形式中，最简单而又最基本的运动是物体位置随时间而变化的过程，称为机械运动。力学就是研究物体机械运动规律及其应用的学科，其中运动学是基础，动力学是核心。

§ 1-1 位置矢量 速度和加速度

一、参照系和坐标系 质点

(1) 参照系 要描述一个物体的机械运动，总得选择另一个或几个彼此之间相对静止的物体作参考，然后研究这个物体相对于这些参考物体是如何运动的，被选作参考的物体称为参照系。

在运动学中，参照系可以任意选择。例如在运动的火车中，相对于车厢是静止的物体，相对于地面却随火车一道前进。这就是运动描述的相对性。同一物体的运动在不同参照系中的描述是不同的。实际上这也说明了参照系之间存在着相对运动，反映了宇宙间任何物体都处于永恒的运动之中。运动是物质存在的形式、是物质的固有属性，这就是运动本身的绝对性。

(2) 坐标系 为了从数量上确定物体相对于参照系的位置

置，需要在参照系上选用一个固定的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系等。

(3) 质点 物体具有形状和大小。物体在运动时，物体上各点的位置变化存在着差异。但在某些情况下，物体运动时因其形状和大小所引起的位置变化的差异可以忽略不计，就近似地把这物体看作是一个具有质量而没有大小和形状的理想物体，称为质点。

质点运动是研究物体运动的基础。当进一步研究物体的运动时，人们常把整个物体看成由无数个质点组成，分析这些质点的运动，就可能弄清楚整个物体的运动。

二、位置矢量 速度和加速度

(1) 位置矢量 为了表示运动质点的位置，先选取参照系，再在其上选定坐标系的原点和坐标轴，参看图1-1。质点P在直角坐标系中的位置可用从原点O到P点的有向线段 $OP(=r)$ 来表示，矢量 r 叫做位置矢量，也叫矢径。相应的坐标 x 、 y 、 z 是 r 的三个分量。 r 的大小及方向余弦是

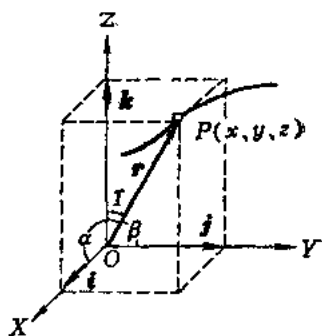


图1-1 位置矢量

$$r = |\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

或表示为 $\mathbf{r} = xi + yj + zk$ (i 、 j 、 k 为单位矢量)

(2) 运动方程 质点在空间的位置随时间而变化的函数式

称为运动方程，可以写作

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \quad (1-1a)$$

或 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) \quad (1-1b)$

运动质点在空间所经过的路径称为轨道。式(1-1a)是轨道的参数方程，消去 t 以后可得轨道方程。

(3) 位移 设曲线 $\widehat{AB}$ 是质点运动轨道的一部分(图1-2)。在时刻 t ，质点在 A 处，用 $\mathbf{r}_A$ 表示；在 $t + \Delta t$ 时刻，在 B 处，用 $\mathbf{r}_B$ 表示。在 Δt 时间内，质点位置的变化 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{AB}$ 称为质点的位移。

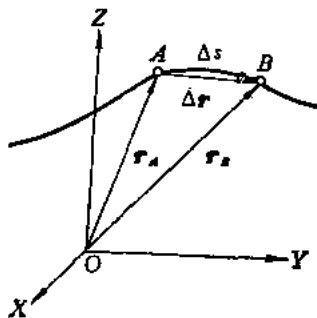


图1-2 位移

位移是矢量，服从矢量运算法则。它与矢径的关系是

$$\mathbf{r}_B = \mathbf{r}_A + \mathbf{AB} = \mathbf{r}_A + \Delta \mathbf{r}$$

注意区分位移和路程：位移是矢量， $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{AB}$ ；路程是标量， $\Delta s = \widehat{AB}$ 。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $|\Delta \mathbf{r}| \rightarrow \Delta s$ 。

(4) 速度 如图1-2所示，在 Δt 时间内，质点的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ ，则 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 称为质点在时间 Δt 内的平均速度，方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 相同。

· 质点在某时刻或某位置的瞬时速度 (以下简称速度) 等于当时间 Δt 趋近于零时平均速度的极限值, 可用数学式

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-2)$$

表示, 即质点的矢径对时间的一阶导数。速度的方向是 Δt 趋于零时, 平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 或 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向, 即沿轨道上质点所在处的切线并指向质点前进的方向, 参看图1-3。

在直角坐标系中速度的三个分量是

$$\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned} \quad (1-3a)$$

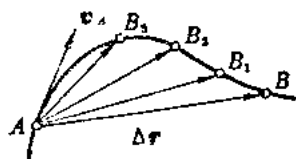


图1-3 质点在轨道上A点处的速度方向

速度 v 还可表示为

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \quad (1-3b)$$

速度 v 的大小为 $v = |\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ 。速度是矢量。

速度的大小叫做速率。($v = \frac{ds}{dt}$), 速率是标量。平均速率等于质点在单位时间内所走过的路程,

(5) 加速度 如图1-4所示, 若质点在时刻 t 位于A点, 速度为 $\mathbf{v}_A$, 在 $t + \Delta t$ 时刻, 位于B点, 速度为 $\mathbf{v}_B$, 在 Δt 时间内, 质点的速度增量为 $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A$, 则 $\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 称为质点在时间 Δt 内的平均加速度, 方向与 $\Delta \mathbf{v}$ 相同。