

高等学校教学用书

# 大学物理学

上册

杨英伟 王辉棣 时庆云 主编

河南教育出版社

# 大学物理学

上册

杨英伟 王辉棣 时庆云 主编

河南教育出版社

一九八九年 郑州

## 大学物理学

主 编：杨英伟 王辉棣 时庆云  
责任编辑：范敬儒

河南教育出版社出版

郑州市中原区三元印刷厂印刷

河南省新华书店发行

850×1168毫米 32开本 16印张348千字

1989年10月第1版 1989年10月第1次印刷

印数1—7200册

ISBN 7 - 5347 - 0726 - 9 / O·15

---

定 价 6.40元

本书分上、下两册，上册包括力学、气体分子运动论两篇，电磁学篇的静电场和稳恒电流两章；下册包括电磁学篇的稳恒磁场和电磁感应两章，波动光学，近代物理两篇。全书共分十八章，各章都附有习题。

本书选材精炼，深入浅出，适合作为工科各专业和理科非物理专业的教材，也可作为物理专业师生的参考书。

## 大学物理学

### 上册

主编：杨英伟 王辉棣 时庆云

编委：冯仁选、周子英、张祖彦、刘刚、张允国、张延杰、  
肖绍武、张新政、岳优兰、梁彦天、薛瑞丰

机械工业出版社

北京 100045

## 前 言

《大学物理学》系河南省教委委托省物理学会编写的高等学校教材之一.本书是以《高等工业学校物理课程教学基本要求》为依据,参照理科院校非物理专业和各类专科学校物理课程教学大纲,针对河南省内大专院校物理教学的实际和教学要求编写的.全书分上、下两册,供工科、理科非物理专业和各类专科学校相应专业作为物理课程教材;本书也可作为电视大学、职工大学相应专业和物理专业师生的教学参考书.

《大学物理学》的编者,是由全省十余所高等院校选聘的有经验的教师.在编写过程中,吸取了河南省内各高等院校长期教学的基本经验,并广泛参阅了国内、外的物理教材.本书力图既求取诸家之长,又有自己的特色.全书在保持科学性、系统性,和保证大学物理基本内容要求的基础上精选内容.力求既扩大学生的知识面;又适用于不同类型、不同层次的学校;既兼顾教学内容的先进性,又在讲述基本理论、基本知识的同时,注意启迪学生的思想和培养学生的能力.

本书除绪论外,包括五个部分共分十八章.计划学时为 130~140 学时.其中习题课、讨论课所占学时,应不少于总教学时数的 10%.高等学校的教材,只是该课程教学的主要参考书.在实现教学基本要求的过程中,对教学内容的体系和先后次序.教学环节的安排等,应根据教学改革的精神,由各学校确定.对于不同的专业采用本书时,教学内容应作适当的调整.考虑多数工科专业的情况,本书没有把流体力学和交流电两部分写进去,理科的化学等专业可自行补上.本书最后一章“近代物理几个分支学科的简介”中,选编了固体、原子核、激光和超导等四个专题,考虑到这些分支学科与

现代高水平的技术发展联系紧密，这些内容对于开阔学生的思路，激发他们去掌握前沿科学知识、探索新理论、新技术等将大有裨益，所以这部分写得比较详细，篇幅也较大。各校可根据自己的实际情况，选讲其中一部分，或者不计入教学时数以科学讲座的形式进行，也可留给学生自己阅读。

参加本书的编者按姓氏笔划为序，分别列在本书上、下两册的封二中。其中头几名依次（不按姓氏笔划）为相应部分的编辑组长。杨英伟主编力学、气体分子运动论和热力学两部分；王辉棣主编电磁学部分；时庆云主编波动光学、近代物理两部分。全书由时庆云定稿统编。在全书定稿过程中，刘士垒、刘有锷、苏金凤、韩明、李仓、张延杰等，协助时庆云作了大量具体工作。

编者感谢河南省物理学会秘书郑浦对本书编辑出版过程所做的大量具体工作。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有缺点和错误，欢迎读者批评、指正。

编者 1988.12.

# 目 录

绪论 .....	(1)
第一篇 牛顿力学基础 .....	(4)
第一章 质点运动学 .....	(5)
§ 1-1 几个基本概念 .....	(5)
§ 1-2 描述质点运动的物理量 .....	(7)
§ 1-3 应用举例 .....	(19)
§ 1-4 相对运动和伽利略变换 .....	(26)
习 题 .....	(43)
第二章 质点动力学 .....	(48)
§ 2-1 牛顿运动定律——惯性参照系中 的动力学规律 .....	(48)
§ 2-2 力学中常见的几种力 .....	(53)
§ 2-3 国际单位制和量纲 .....	(58)
§ 2-4 牛顿力学的解题程序 .....	(59)
§ 2-5 非惯性参照系中质点的运动规律 .....	(79)
§ 2-6 动量定理 .....	(89)
§ 2-7 角动量定理 .....	(95)
§ 2-8 动能定理 .....	(101)
§ 2-9 势能、机械能守恒定律 .....	(108)
§ 2-10 碰撞 .....	(114)
习 题 .....	(133)
第三章 刚体的转动 .....	(145)
§ 3-1 刚体 .....	(145)
§ 3-2 刚体的平动和转动 .....	(147)
§ 3-3 刚体定轴转动的描述 .....	(150)

§ 3-4	刚体动力学的基本定理	(152)
§ 3-5	刚体绕定轴转动时角动量的表示式 ——转动定律	(156)
§ 3-6	刚体绕定轴转动时动能定理的表示式	(163)
	习 题	(180)
第四章	简谐振动	(187)
§ 4-1	简谐振动	(188)
§ 4-2	简谐振动的能量	(199)
§ 4-3	简谐振动的合成	(202)
	习 题	(221)
第二篇	分子物理和热力学	(225)
第五章	气体分子运动论	(227)
§ 5-1	平衡状态、状态方程	(227)
§ 5-2	理想气体的压强公式	(230)
§ 5-3	温度的微观意义	(237)
§ 5-4	能量按自由度均分原理、理想气体的内能	(240)
§ 5-5	麦克斯韦速率分布律	(245)
§ 5-6	玻耳兹曼分布律	(251)
§ 5-7	分子碰撞和平均自由程	(254)
	习 题	(261)
第六章	热力学基础	(264)
§ 6-1	内能、功、热量	(264)
§ 6-2	热力学第一定律	(268)
§ 6-3	气体的摩尔热容	(270)
§ 6-4	热力学第一定律对理想气体的运用	(272)
§ 6-5	循环过程及热机的效率	(278)
§ 6-6	热力学第二定律	(285)
§ 6-7	熵、熵增加原理	(292)
	习 题	(301)



第三篇 电磁学 .....	(306)
第七章 静电场 .....	(307)
§ 7-1 电荷守恒定律、库仑定律 .....	(307)
§ 7-2 电场强度 .....	(311)
§ 7-3 高斯定理 .....	(320)
§ 7-4 静电场力的功、环流定理、电势 .....	(330)
§ 7-5 等势面、场强与电势的微分关系 .....	(339)
§ 7-6 静电场中的导体 .....	(345)
§ 7-7 静电场中的电介质 .....	(351)
§ 7-8 电容和电容器 .....	(360)
§ 7-9 电场的能量 .....	(366)
习 题 .....	(371)
第八章 稳恒电流 .....	(380)
§ 8-1 稳恒电流、电流密度 .....	(380)
§ 8-2 欧姆定律与焦耳——楞次定律的微分形式 .....	(383)
§ 8-3 电动势、一段含源电路的欧姆定律 .....	(390)
§ 8-4 基尔霍夫定律及其应用 .....	(396)
习 题 .....	(400)
附录一 国际单位制 (SI) 简介 .....	(406)
附录二 常用物理常数 .....	(409)

## 绪 论

直到十九世纪初,物理学还被称之为“自然哲学”。顾名思义物理学发展的初期是作为研究所有自然现象的科学,或者说是自然科学的同义语。自然界是由物质组成的,所谓物质就是客观存在。运动是物质的存在形式,物质的固有属性,自然现象则是各种物质运动的不同形态。自然科学是认识物质世界的基本属性,研究物质运动的基本规律的科学。随着人类对自然现象认识的深化和拓广,发现各种物质运动形式既服从普遍规律,也有各自的特殊规律。并且随着历史的进程,对于大幅度增长的自然科学知识,不宜再用“自然哲学”来概括,因此自然科学就按着物质运动形式的特殊规律性,被划分为各种不同的学科。从而物理学也就从最初研究一切自然现象的科学,变为仅限于研究物理现象的学科。物理现象通常是指机械运动,热运动,电磁运动,原子和原子核运动,以及基本粒子运动等物质运动的形态。由于这些最基本的运动形式,普遍地存在于其他高级的、复杂的运动形式(如化学的,生物的,……等)之中。因此,物理学所研究的物质运动规律,具有最大的普遍性,从而也就决定了物理学是其他所有自然科学的基础的地位。物理学是研究物质的基本结构、相互作用和运动形态的基本规律的一门学科。物理学研究的目的在于揭示物质各层次的内部结构和认识物质运动的普遍规律。

回顾人类对机械运动以及声、光、热、电、磁等现象的认识历史,可以清楚地知道:物理学的发展是和人类生存和生产活动休戚相关的。先民的捕猎、耕作、取暖、传呼、观测物候气象和原始的娱乐活动等,使人类积累了机械运动、声、光、热方面最初的物理知识,促进了灌溉、手工业和航海等的发展;十七、十八世纪,牛顿(Newton)力学和热力学的建立,适应了蒸汽机和机械工业发展的需要,促成了工业革命;十九世纪在电磁理论的推动下,人们制造了电

机、各种用电器和电讯设备,引起了工业电气化,使人类进入了应用电能的时代.至十九世纪末,当时所常见的物理现象,都可以从相应的理论得到满意的解释.物质的机械运动,在运动速度比光速小得多时,准确地遵从牛顿力学规律;电磁现象的规律被总结为麦克斯韦(Maxwell)方程;光的现象有光的波动理论,并且最后也被纳入电磁理论;热现象的理论有完整的热力学以及玻耳兹曼(Boltzmann)、吉布斯(Gibbs)等建立的统计物理学.二十世纪以前发展起来的这部分物理学,称为**经典物理学**.所谓经典物理学,并不意味着它的内容已经过时,力学、热学、电磁学、光学的基本原理和基础知识,至今仍然是物理学各学科发展的基础,是其他自然科学各学科以及各种技术学科的理论基础.

十九世纪末二十世纪初,由于工业的蓬勃发展,为物理学研究提供了先进的实验设备和精密的测试手段.人类对物质世界的认识,从宏观领域深入到运动线度为  $10^{-10}$  米数量级范围内,即所谓微观领域;从运动速度比光速小得多的运动延伸到接近光速的运动.二十世纪初,相对论和量子力学的建立,标志着物理学发展进入了一个新的时期.区别于经典物理学,以相对论和量子力学为支柱的新物理学,称为**近代物理学**.由于量子力学微观理论的成果,使人类进入了利用原子核能的时代.近代物理学推动了几乎所有自然科学各学科,和工程技术学科的飞速发展;直接促成了原子核、半导体、激光和超导等新兴技术的发明;甚至促使人们修正了对物质世界看法的基本哲学观点.

物理学是其他科学和生产技术发展的基础,其研究成果往往能变成改造世界的有力工具,以其特有的形式推动社会生产的不断发展.十九世纪以来,物理学长期处于整个自然科学的前沿,对科学技术的发展和革新起了巨大的促进作用.它的每一重大发现,都极大的推动了社会的生产和技术向前发展.当然,近代技术的形成和发展往往涉及自然科学的许多领域,但物理学所起的作用却具有更为直接的意义.物理学对人类生产和生活的影响是带有全局性和根本性的.历

史表明,物理学的发展使社会生产力的发展一次又一次地产生了质的飞跃。二十世纪以来,人们宣称进入了“电气化时代”、“原子能时代”、…等,这是人们公认:以物理学为先导的新技术变为时代标志的最好佐证。预计到二十世纪末,物理学仍将是基础科学的带头学科之一。

当代社会生产力的不断发展,向物理学提出了一系列新的要求。例如:开辟新能源,寻找能量转换、传递和存贮的新途径;研究巨量信息的提取、传输、加工和保存的新方法;发明新型材料、元件和器件。各门基础学科的发展也要求物理学提供新的概念、方法和研究手段。物理学本身也从分子、原子、核深入到基本粒子的研究,从研究简单运动形态,发展到研究各种复杂运动形态,直至研究生命过程等高级运动形态,并不断向其他学科渗透。同时,生产技术的不断发展,也为物理学提供了前所未有的大型、精密、复杂的实验条件,新现象、新规律不断涌现,物理学孕育着新的重大突破。

国家经济的繁荣,需要高水平的技术。物理学提供了技术所必需的基础科学的基础,而基础科学一直是新技术的推动力,今天在物理学上保持领先地位,对于明天在技术上占据领先地位是最重要的。一些技术发达国家,把获得最前沿的科学知识和保持物理学上的领先地位,视为极端重要的国家利益。

在大学里,理、工科各专业把物理学作为一门必修的基础课,其目的决不是仅限于为学习后继专业课提供必要的物理知识。物理学本身必将吸引有才能的学生,渴望从物理学最基本的水平上去了解自然界和宇宙,掌握前沿科学知识,而这种渴望正是人类始终不渝的欲望。由于精密的实验测量,严谨的抽象思维,周密的逻辑推理和严格的数学分析等物理学研究的特点,学生通过物理学的学习和训练,有利于他们掌握近代实验方法和数学工具;有利于培养他们的透澈地分析问题、敏捷地思维和探索能力。物理课在培养学生过程中的作用是切切不可忽视的。

## 第一篇 牛顿力学基础

力学是物理学中最古老,发展最完美的部门.力学是研究物体的空间位置随时间变化——机械运动——的学科.

本篇仅限于讨论经典力学.经典力学是经典物理的一部分,其研究对象是由大量分子组成的物体.而其运动速率则仅限于研究远比光速小的情况.

经典力学中直接以牛顿运动定律为基础研究力学规律的学科称为牛顿力学.牛顿力学着眼于—质点所受外力以及由此引起的质点动量变化间的关系.其基本物理量是力和动量.二者都是矢量,所以也称为矢量力学.

力学中研究物体位置如何随时间变化,但不涉及产生这些变化的条件的部分称为运动学.在运动学的基础上,再考虑到产生该运动的条件则是动力学部分研究的内容.

本篇介绍牛顿力学的基础知识,第一,二章讨论质点力学,第三章讨论刚体的定轴转动,第四章讨论简谐振动的基础知识.

# 第一章 质点运动学

## § 1-1 几个基本概念

### 一、运动的绝对性和相对性

人坐着“不动”相对地球是静止的,但相对太阳则随同地球自转和公转,其公转约以  $30\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  的高速运动.整个太阳系还以  $200\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$  的速率向着织女与帝座之间的某个方向疾驰而去.事实上,整个银河系也在不停地运动.宇宙间的物体都在永恒地运动着,没有发现绝对静止的物体,这就是运动的绝对性.正因为运动是绝对的,所以描述物体的运动只能是相对的,也就是在描述物体的运动时必须先选定作为标准的物体(或相对静止的几个物体),然后描述运动物体相对标准物体的运动状况;这个被选作标准的物体(或相对静止的几个物体)称为参照物.正如前面提到的例子,人相对地球是静止的,相对地轴是作圆周运动,相对太阳则人的运动轨迹是摆线.如果不先选定参照物,人的运动情况就无法描述了.

我们选定参照物仅仅着眼于它的位置,并不涉及参照物本身的其它性质.因此,我们把与参照物紧密联系的位置称为参照系.对于参照物本身,则应当看作是与参照系相固结的某些物体,而谈论参照系与物体间的相互作用是没有什么意义的.

为了定量地描述物体的运动,通常将数学上抽象的坐标系牢固地和参照系联结在一起,这样就把相对参照系的运动转化为相对坐标系的运动了.坐标系是参照系的数学抽象,是参照系的代表,因此只

有固结于参照系的坐标系才具有实际的物理意义。

综合上面的讨论,我们可以得出:(一)因为运动是绝对的,所以描述运动只能是相对的,也就是说物体的运动只能相对一定的参照系(或坐标系)方能得到确定的描述。(二)同一物体的同一运动相对不同的参照系可以有不同的描述。(三)涉及物体运动的物理规律,其表述必须要考虑参照系的选定。

## 二 质点

质点是一种理想模型,它的性质可以归纳为

- (一)有位置而无大小;
- (二)具有质量;
- (三)质点间可以互相作用——如互相吸引,排斥,碰撞等。

上面第一个性质和几何点的性质是一致的,而后面两个性质则和几何点完全不同,实际物体不可能同时具备上述三个性质,但在某些情况下,实际物体可以近似地当作质点处理,什么条件下实际物体可以抽象为质点呢?其判断标准是

- (一)要求的测量精确度;
- (二)研究物体运动的目的。

在研究物体的一定运动时,物体的形状、大小会对运动产生某些影响,这种影响如果是预定精确度所允许的,那就可以忽略这种影响而将物体抽象为质点,例如子弹穿过大气,如果要求的精确度不高,就可把子弹作为质点处理,如果要求的精确度高,就必须考虑子弹形状、大小对运动的影响,而不能当作质点处理了。

此外,还要强调的另一个判断标准是研究运动的目的,例如当研究地球公转时,我们把地球当作质点,而当研究地球的自转时,同一个地球就不能当作质点处理了。

总起来说就是:在要求的测量精确度内,物体的大小对所研究运动的影响可以忽略不计,可以把物体抽象为质点,物体的质量即为质点的质量。

我们研究质点模型,首先是因为有些实际物体可以近似地当作质点处理,其次是那些不能抽象为质点的物体,也可以看成是由许多质点组合而成的质点系.因此可以把力学分为质点力学和质点系力学两部分.这样看来质点模型就具有重要的基础意义了.我们在第一、二章讨论质点的运动情况.

### 三、牛顿力学的时空观

在牛顿力学中,时间和空间被看作是不依人们意志为转移的客观存在,这种观点是唯物主义的.但是,牛顿力学的时空观却认为时间和空间是绝对的,空间只是空无一物的“容器”,而时间则独自地均匀流逝,二者都独立于物质客体的运动,两者之间也彼此分开互不关联.实际上,正是物体运动的广延性体现了空间,运动的持续性体现了时间,脱离物质客体的运动就谈不上时间和空间,时空概念也就变得无从捉摸.狭义相对论反映了时空对物体运动的依赖关系,其正确性已为实验所证明,时间和空间都和物质客体的运动紧密相关,两者通过物体的运动而相互依赖不能彼此分开.绝对时空的观点是不正确的,和客观事实不符.但是,当物体的运动速率远比光速为小时,由于绝对时空观所引起的误差很小,完全可以忽略不计,后面对物体运动的讨论,都是基于这种观点进行的.

## § 1-2 描述质点运动的物理量

### 一、位矢和运动方程

要了解质点运动的情况,就需要知道质点在任意时刻相对某参照系的位置,用数学语言说,就是要知道位置作为时间函数的表达式,这样的表达式称为运动方程

质点相对某坐标系(参照系的数学抽象!)的位置可用由坐标原点指向质点所在位置的矢量  $\mathbf{r}$  表示,称为位置矢量,简称位矢.运动方程



则为:

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

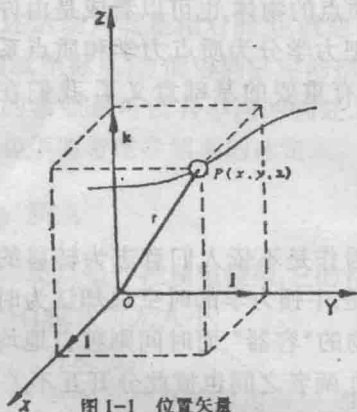


图 1-1 位置矢量

位矢沿直角坐标系三个坐标轴方向的分量大小等于质点所在位置的三个坐标值  $x, y, z$ , 所以

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

式中  $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$  分别表示沿  $x, y, z$  三轴的单位矢量, 即方向分别指向三坐标轴正方向, 大小为 1 的矢量, 因之质点的运动方程也可写为

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

如果  $z = 0$ , 即质点仅在  $x$  轴和  $y$  轴决定的平面内运动, 则运动方程可简化为

$$x = x(t), \quad y = y(t),$$

如果质点沿  $x$  轴运动, 则运动方程为

$$x = x(t).$$

将运动质点在空间经过的各位置依次连成的曲线, 称为质点的运动轨迹或轨道, 表示此轨道的方程式称为轨迹方程式. 由运动方程 (从数学角度可以认为是以  $t$  为参数的轨迹方程) 消去  $t$ , 即可得出轨迹方程 (两空间曲面的交线):

$$\begin{cases} F_1(x, y) = 0 \\ F_2(y, z) = 0 \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} F_2(y, z) = 0 \\ F_3(z, x) = 0 \end{cases} \text{ 或 } \begin{cases} F_3(z, x) = 0 \\ F_1(x, y) = 0 \end{cases}$$

如为平面曲线 (若在  $xy$  平面内) 则为

$$F(x, y) = 0$$

关于运动方程和轨迹方程提出下面几点注意:

(一) 质点的位置 (因之轨迹的形状) 是相对某一参照系而言的, 否则就