

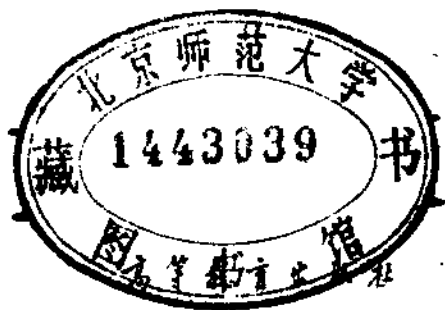
高等学校教材

# 物 理 学

上 册

刘克哲 编

J11/245/35



本书是为适应理科非物理类专业对物理课程的需求编写的。全书分上、下两册。上册的内容包括质点力学、刚体力学、流体力学、热学分子物理以及振动和波；下册的内容包括电磁学、几何光学、物理光学、原子的量子理论以及原子核和粒子。

本书语言通俗易懂，篇幅简短，同时又力求保持物理学自身的系统性和科学性，力求形象地阐明物理概念和物理规律，力求表述出物理学的主要内容。

本书经高等学校理科物理教材编审委员会于1984年10月评选为综合性大学、师范院校理科非物理类少学时（100~120学时）物理课程为教材，也可作师专理科非物理类物理课程的教材，并可供中学物理教师进修、自学使用。

高等学校教材  
物 理 学  
上 册  
刘克哲 编

高等教育出版社出版  
新华书店北京发行所发行  
北京印刷一厂印装

开本 $850 \times 1168$  1/32 印张10.375 字数260,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷

印数 00 001—6 300

·ISBN 7-04-000022-9/O·9

书号13016·01424 定价 2.15 元

## 前 言

本书的原稿是编者在1979-1984年对山东大学生物系等非物理专业讲课时使用的讲义。1984年10月，在按照高等学校理科物理教材编审委员会决定召开的、高等学校理科非物理类少学时《物理学》新编教材评选会议上，此讲义中选。会后，编者根据评选会议的意见，对讲义进行了全面的修改。1985年5月，原教育部委托北京大学、北京师范大学等七所高校的有关同志，对修改稿进行了复审。

评选会议所提出的120学时的物理学大纲，是编者修改原稿的依据。按照这个大纲的要求，本书力求以简明、准确的语言阐述物理学中的原理、定律、定理和定义，引导、启发学生理解物理学的基本概念和基本规律。在保证全书必要的系统性、完整性和科学性的基础上，尽量以简短的篇幅，反映物理学的主要内容。考虑到多数理科非物理类专业的普通物理课是在高等数学课之后开设的，本书一开始就使用微积分。矢量运算的讲解结合物理概念的需要进行。书中有20%左右的内容以“\*”号标出，使用该教材的老师可根据学时的多寡、专业的特点和学生的实际情况，决定是否讲授。“\*”部分内容无论讲授与否，都不影响全书的连贯性。

本书可作为教学时间在100学时左右的理科非物理类专业普通物理课程的教材，可供其他专业的师生参考，也可供中学物理教师进修、自学使用。

本书由北京师范大学梁绍荣教授和北京大学唐子健副教授担任主审工作，参加评选和审稿的还有内蒙古大学张纪生、云南大学罗新、华东师范大学余家荣、南京师范大学王庭珍和华中师范大学祝家清等同志。他们在评选时对原稿提出了十分详尽和具体的修

改意见，在审稿时又提出了非常宝贵的建议。在本书的编写和修改过程中，得到了山东大学余寿绵教授、陈鹏万副教授、马伯福副教授和孟尔熹副教授的帮助和关心。在此谨向他们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不当之处，希望使用本书的老师、同学和其他读者，随时提出宝贵意见。

刘克哲

一九八五年十二月于山东大学

# 上册目录

绪论	1
第一章 质点的运动	1
§ 1-1 质点与参照系	1
一、质点	1
二、参照系	5
§ 1-2 描述质点运动的物理量	6
一、时间	6
二、位置矢量	6
三、位移和路程	8
四、速度和速率	9
五、加速度	15
§ 1-3 质点运动的几种典型形式	18
一、匀速直线运动	18
二、匀变速直线运动	20
三、抛体运动	23
四、匀速圆周运动	26
五、变速圆周运动	29
*六、曲线运动	34
习题	35
第二章 牛顿运动定律	39
§ 2-1 牛顿第一运动定律	39
§ 2-2 牛顿第二运动定律	41
一、质量	41
二、牛顿第二运动定律	44
三、国际单位制和量纲	44
§ 2-3 牛顿第三运动定律	47
§ 2-4 力学中常见的几种力	50

一、万有引力 .....	50
二、弹性力 .....	53
三、摩擦力 .....	55
*§ 2-5 惯性系和非惯性系 .....	58
习题 .....	61
<b>第三章 功和能</b> .....	<b>64</b>
§ 3-1 功 .....	64
一、功 .....	64
二、功率 .....	67
§ 3-2 动能 .....	82
§ 3-3 势能 .....	72
一、引力势能和重力势能 .....	75
二、弹性势能 .....	76
三、保守力 .....	76
*四、势能曲线 .....	77
§ 3-4 机械能守恒和转换定律 .....	80
一、功能原理 .....	80
二、机械能守恒和转换定律 .....	82
习题 .....	88
<b>第四章 动量守恒定律</b> .....	<b>91</b>
§ 4-1 动量和动量定理 .....	91
§ 4-2 动量守恒定律 .....	94
§ 4-3 碰撞 .....	97
一、碰撞现象 .....	97
二、弹性碰撞 .....	98
三、完全非弹性碰撞 .....	100
习题 .....	101
<b>第五章 刚体力学</b> .....	<b>105</b>
§ 5-1 刚体的运动 .....	105
一、平动和转动 .....	105
二、质心 .....	106

三、质心运动定理 .....	108
四、刚体的定轴转动 .....	110
§ 5-2 转动动能和转动惯量 .....	111
一、刚体的转动动能 .....	111
二、刚体的转动惯量 .....	112
§ 5-3 力矩及其对刚体的作用 .....	115
一、在定轴转动中刚体所受的力矩 .....	115
二、力矩作的功 .....	117
三、转动定律 .....	119
§ 5-4 角动量守恒定律 .....	123
一、角动量的概念 .....	123
二、角动量定理 .....	127
三、角动量守恒定律 .....	128
*§ 5-5 进动 .....	130
习题 .....	183
<b>第六章 流体力学</b> .....	137
§ 6-1 流体的压强 .....	137
§ 6-2 理想流体的运动 .....	139
一、几个概念 .....	139
二、理想流体的连续性方程 .....	142
三、伯努利方程 .....	143
§ 6-3 粘滞流体的运动 .....	149
一、流体的粘滞性 .....	149
二、粘滞流体的运动规律 .....	153
*三、雷诺数 .....	155
*四、斯托克斯粘滞阻力定律 .....	155
习题 .....	156
<b>第七章 气体分子运动论</b> .....	160
§ 7-1 气体的微观模型 .....	160
§ 7-2 理想气体及其状态描述 .....	163
一、理想气体 .....	163
二、理想气体状态的描述 .....	164

三、混合理想气体的状态方程 .....	167
§ 7-3 理想气体的压强公式 .....	168
§ 7-4 温度 .....	170
一、温度的宏观意义 .....	170
二、温度的微观解释 .....	171
§ 7-5 理想气体的内能 .....	174
一、分子运动自由度 .....	174
二、能量按自由度均分定理 .....	176
三、理想气体的内能 .....	178
§ 7-6 麦克斯韦速率分布律 .....	179
一、麦克斯韦速率分布律 .....	179
二、用速率分布函数求分子速率的统计平均值 .....	182
*三、麦克斯韦速率分布律的实验验证 .....	184
§ 7-7 气体分子的平均自由程 .....	185
*§ 7-8 气体内的迁移现象 .....	189
一、粘滞现象 .....	189
二、热传导现象 .....	194
三、扩散现象 .....	195
§ 7-9 范德瓦耳斯方程 .....	197
一、范德瓦耳斯方程的导出 .....	198
*二、范德瓦耳斯等温线和临界点 .....	201
习题 .....	204
<b>第八章 热力学概述</b> .....	<b>207</b>
§ 8-1 热力学第一定律 .....	207
一、热力学中的基本概念 .....	207
二、热力学第一定律 .....	211
§ 8-2 热力学第一定律对理想气体的应用 .....	212
一、等容过程 .....	212
二、等压过程 .....	214
三、等温过程 .....	215
四、绝热过程 .....	216
§ 8-3 卡诺循环和卡诺定理 .....	220



一、可逆过程和不可逆过程	220
二、循环过程	221
三、卡诺循环	225
*四、卡诺定理	227
§ 8-4 热力学第二定律	228
一、热力学第二定律的两种表述	228
二、热力学第二定律的实质	230
三、热力学第二定律的统计意义	232
习题	234
<b>第九章 液体和固体的基本性质</b>	<b>237</b>
§ 9-1 液体的表面性质	237
一、表面张力	237
二、弯曲液面下的附加压强	240
三、与固体接触处液面的性质	242
四、毛细现象	243
§ 9-2 固态、液态和气态间的相变	246
一、气、液相变	246
二、固、液相变	248
三、固、气相变,三相点	249
*§ 9-3 晶体结构和晶体中粒子的相互作用	250
一、晶体结构的一般概念	250
二、晶体中粒子的相互作用	253
*§ 9-4 固体的力学性质	255
一、固体在外力作用下的一般情况	255
二、固体的弹性形变	257
三、固体的范性形变	259
习题	261
<b>第十章 振动</b>	<b>263</b>
§ 10-1 简谐振动	263
一、简谐振动定义	263
二、简谐振动的矢量图示法	265
三、描述简谐振动的物理量	268

*§ 10-2 简谐振动的能量 .....	270
§ 10-3 简谐振动的合成 .....	273
一、同一直线上两个同频率简谐振动的合成 .....	273
*二、同一直线上两个频率相近的简谐振动的合成 .....	275
*三、两个相互垂直的简谐振动的合成 .....	279
§ 10-4 阻尼振动、受迫振动和共振 .....	283
一、阻尼振动 .....	283
二、受迫振动 .....	285
三、共振 .....	287
习题 .....	289
<b>第十一章 波</b> .....	<b>293</b>
§ 11-1 关于波动的基本概念 .....	293
一、波的产生和传播 .....	293
二、横波和纵波 .....	296
三、波线、波面和波阵面 .....	297
四、波速、波长以及波的频率和周期 .....	297
§ 11-2 简谐波 .....	300
一、平面简谐波的表示 .....	300
*二、波的能量 .....	302
*三、能流和能流密度 .....	305
§ 11-3 波动遵从的基本原理 .....	306
一、波的叠加原理 .....	306
二、惠更斯原理 .....	306
§ 11-4 波的干涉、反射和折射 .....	307
一、波的干涉 .....	307
二、驻波 .....	310
三、波的反射和折射 .....	312
§ 11-5 多普勒效应 .....	316
习题 .....	319

## 绪 论

物理学是研究包括机械运动、热运动、电磁运动、原子、原子核和粒子运动在内的物质运动最基本形态，以及它们之间相互转化的一门基础学科。物理学研究的目的在于认识这些运动的客观规律，揭示物质的不同层次的内部结构。尽管从事不同专业工作的读者学习这门科学的目的可能有所不同，但就总体而言，物理学可以在以下几个方面作出自己的贡献。

首先，物理学所研究的物质运动，普遍地存在于物质的复杂运动形态之中，所以，了解物质运动最基本形态的规律，是深刻认识复杂运动的起点或途径。物理学也因此而成为自然科学和技术科学中多个学科的理论基础或支柱。同时，由于物理学与自然科学其他领域和技术越来越广泛地结合，从而促成了一个又一个新兴学科的出现。学习物理学，对于从事自然科学各个学科、技术科学的各个部门和这些新兴学科的工作是十分必要的。

其次，物理学总是以其特有的方式推动着人类社会生产的发展。在十八世纪，由于力学与生产的结合，使机器和蒸汽机得到改进和推广，引起了第一次产业革命；在十九世纪，电磁学的研究成果成为人类进入电气时代的基石；二十世纪以来，原子和原子核物理以及量子力学的创立，是人类的认识从宏观世界深入微观世界的一个重大突破，它们不仅成功地解释了原子结构、元素周期性和化学键等重大课题，并且已经用来描述固体和液体内部微观粒子的运动规律，成为材料科学的理论依据，促使新材料、新器件、新能源、新的通讯和控制手段如雨后春笋般地涌现，为人类社会又一次产业革命的到来，提供了物质基础。

最后，物理学对自然现象和过程的分析方法和定量描述方法，

以及较为系统和完整的物理学理论体系的建立过程，对于自然科学中其他学科也都起到借鉴作用。凡从事不同专业工作的读者都可以从中受到启迪，以便在自己的专业天地里进行创造性的劳动。

物理现象的规律性是以一定的原理、定律或定理来反映的，而物理原理、定律和定理则表征了该物理现象中若干物理量之间的关系。物理学是一门实验科学，对于一个现象或一个过程，物理学常常根据实验和观察去寻找或定义一定的物理量，再通过实验和观察去确定各物理量之间的联系。有些比较复杂的现象或过程，常常为分析的方便，将主要矛盾突出，将其次要矛盾忽略，而代之以一个理想化的模型，从中得出现象或过程的基本规律。然后，将所得到的规律再回到实验中去，使其与实验结果相比较，观察其正确程度，并进行必要的修正。如质点、刚体、弹性碰撞、理想流体、理想气体和点电荷等，都是为此目的而引入的理想化模型，实践表明，这是一种成功的科学研究方法。

引入或定义一个物理量，必须做到两点，一是规定一种测定这个物理量的方法或标准，二是给它规定一种量度的单位。目前国际上已选定了七个物理量作为基本量，规定了它们的测量方法和单位，在此基础上建立了国际单位制(SI)。物理学中其他量的单位，都是基本单位的导出单位。

从数学角度而言，在普通物理课程中物理量大致可分为两类，其中一类是标量，在这类物理量中还可以分为两种，一种只具有正值，如质量、速率、动能、温度和频率等，另一种则既有正值，也有负值，如电流强度、电动势、功和电量等。标量物理量的计算遵从代数运算法则。另一类是矢量，这类物理量不仅有大小的不同，还有方向的差异，如力、位移、电场强度和能流密度等。矢量物理量的计算遵从平行四边形(或三角形)法则，当矢量物理量只具有正、反两个方向时，可以把它看作为标量，并可用代数法则进行运算。但

在一般情况下,必须注意矢量物理量的方向性。在物理学中还会遇到一种被称为张量的物理量,它是在一定的坐标系之下,由若干个数值组成矩阵来表示的物理量,如各向异性的电介质的极化率、铁磁质的磁化率和弹性体的应力等,它们遵从矩阵的运算法则。张量物理量在一般普通物理教材中涉及甚少。

鉴于物理学的上述特点,学习物理学必须正确理解物理理论和概念,掌握现象和过程的物理图象,弄清定律和定理的条件、适用范围和应用方法。通过物理课程的学习,可以在科学实验能力、计算能力和抽象思维能力等方面得到严格训练,从而能提高提出问题、分析问题和解决问题的本领。

在物理学所研究的物质运动形态中,机械运动不仅是最简单的,而且也是深入学习物理学的基础。所以,我们的课程也就从讨论机械运动开始,然后由简单到复杂,逐步对热学和分子物理、振动和波、电磁学、光学以及原子、原子核和粒子物理进行讨论和学习。

# 第一章 质点的运动

力学以机械运动规律及其应用为研究对象。所谓机械运动，是一个物体相对于另一个物体的位置，或一个物体内某一部分相对于其他部分的位置，随时间的变化过程。宇宙中天体的运动，火箭和人造卫星的轨道，炮弹和导弹的弹道，以及气泡室中显示粒子径迹的分析和计算等，都属于力学的范围。

本章所要讨论的中心问题是，如何描述物体的运动。为此必须定义表征质点运动的物理量，如位置矢量、位移、速度和加速度等，然后将介绍质点常见的几种运动形式。

## § 1-1 质点与参照系

### 一、质点

力学中的质点，是没有体积和形状，而只具有一定质量的理想物体。质点是力学中十分重要的概念。我们知道，任何实际物体，大至宇宙中的天体，小至原子、电子以及原子核中的粒子，都具有一定的体积和形状。如果在我们研究的问题中，物体的体积和形状无关紧要，我们就可以把这个物体看作为一个质点。例如，地球相对于太阳的运动，由于地球既公转又自转，地球上各点相对于太阳的运动是各不相同的。但是，考虑到地球到太阳的距离约为地球直径的一万多倍，以致在研究地球的公转时，可以忽略地球大小和形状对这种运动的影响，认为地球上各点的运动情形基本相同。这时可以把地球看成为一个质点。

另外，对于同一个物体，由于研究的问题不同，有时可以把它看作为一个质点，有时则不能。不过，在不能将物体看作为一个质点的时候，却总可以把这个物体看作为是由许多质点组成的，对于

其中的每一个质点都可以运用质点运动的结论,叠加起来就可以得到整个物体的运动规律。可见,质点的运动规律——质点力学,是整个力学的基础。

## 二、参照系

在力学范围内所说的运动,是指物体位置的变动。宇宙中的一切物体都处于永恒的运动中,绝对静止的物体是不存在的。显然,一个物体的位置及其变动,总是相对于其他物体而言的,否则就没有意义,这便是机械运动的相对性。因此,为了描述一个物体的运动情形,必须选择另一个运动物体或几个相互间保持静止的物体群作为参考物。只有先确定了参考物,才能明确地表示被研究物体的运动情形。研究物体运动时被选作参考物的物体或物体群,称为参照系。例如,研究地球相对于太阳的运动,常选择太阳作参照系;研究人造地球卫星的运动,常选择地球作参照系;研究河水的流动,常选择地面作参照系等。

在运动学中,参照系的选择不是唯一的,原则上是可以任意选择的。但是,对于同一个物体的运动,选择不同的参照系,描述运动的结论是不同的。例如,人造地球卫星的运动,若以地球中心为参照系,运动轨道是圆或椭圆,若以太阳为参照系,运动轨道是以地球公转轨道为轴线的螺旋线。那么,在研究物体运动时,究竟应该选择哪一个物体或物体群作为参照系呢?这要根据问题的性质、计算和处理上的方便来决定。在上述人造地球卫星的例子中,显然选择地球中心作参照系比选择太阳作参照系要方便得多,结论也要简洁得多。在题意和问题性质允许的情况下,可选择使问题的处理尽量简化的参照系。

为了把运动物体在每一时刻相对于参照系的位置定量地表示出来,就要在参照系上建立适当的坐标系,坐标系的原点可取在参照系的一个固定点上。常用的坐标系为直角坐标系,它为有三条标有刻度的、相互垂直的坐标轴,这三条坐标轴相交于一坐标原

点。另外，还有极坐标系、球坐标系和柱坐标系等。

## § 1-2 描述质点运动的物理量

### 一、时间

“时间”这个词在我们生活中随时都能遇到。在物理学中，它代表一个重要的物理量，是七个基本物理量之一。但是，在生活的习语中，时刻和时间间隔（简称为时间）这两个概念常被混淆。例如，有人问：“飞机什么时间起飞？”又问：“飞机从上海到北京飞行多少时间？”在这两句话中，“时间”的含义是完全不同的。前一句话中的“时间”，指的是物理学中“时刻”的概念，表示飞机起飞那一瞬间时钟的读数。而后一句话中的“时间”，指的是物理学中“时间间隔”的概念，表示飞机从上海起飞那一瞬间时钟的读数与飞机连续飞行到北京机场着陆那一瞬间时钟读数之间的间距。

在某一坐标系中考察质点的运动时，质点的某个位置是与某一时刻相对应的，而质点运动所经过的路程则是与某一段时间相对应的。时间是标量，单位是秒(s)。

### 二、位置矢量

图 1-1 中的  $P$  点代表我们所讨论的质点， $O$  点代表参照系上的一个固定点，以此点作为坐标原点、并建立坐标系  $O-xyz$ 。 $P$  点在任意时刻的位置，可用从坐标原点  $O$  到  $P$  点所引的有向线段  $OP$  来表示。 $OP$  可用一个矢量  $r$  来代表，这个矢量  $r$  就称为质点  $P$  的位置矢量，简称矢径。

一个质点的位置为什么要用一个矢量，而一般不用标量来表示呢？在生活中，我们常需要查问某一目的地在何处，若回答这个目的地在“东南方向，离此 12”里处，我们便能很容易地到达目的地。但若只回答这个目的地在“离此 12 里”的地方，我们只能断定此目的地在以此处为中心、以 12 里长为半径的圆周上任意地方。由此可见，方向和距离是确定一个目标的两个必不可少的条件，而



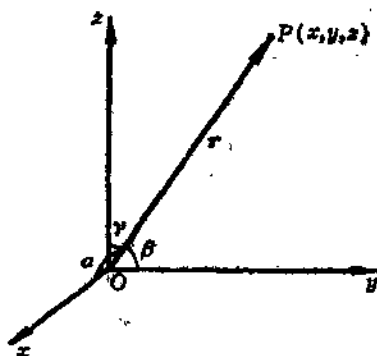


图 1-1

这两个条件正是位置矢量所具有的两个特征。

如果质点  $P$  的位置矢量  $r$  的分量为  $x, y$  和  $z$ , 则  $r$  可表示为

$$r = xi + yj - zk \quad (1-1)$$

式中  $i, j$  和  $k$  分别为沿  $x$  轴、 $y$  轴和  $z$  轴的单位矢量, 位置矢量  $r$  的大小可由下式决定:

$$r = |r| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1-2)$$

位置矢量  $r$  的方向可用它的方向余弦来表示:

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r} \quad (1-3)$$

这三个方向余弦由下面的关系相联系:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (1-4)$$

运动质点在空间的位置是随时间而变化的, 所以位置矢量  $r$  是时间  $t$  的函数, 可以表示为

$$r = r(t) \quad (1-5)$$

或写成分量形式:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$