

全国民族院校统编教材

力学和电磁学

主 编 李俊儒
副主编 蔡 书
徐天璇

李津屏

中央民族学院出版社

全国民族院校统编教材

力学和电磁学

主 编	李俊儒	
	蔡 书	
副主编	徐天璇	李律屏

中央民族学院出版社

〔京〕新登字 184 号

责任编辑：邱 立

封面设计：金 文

力学和电磁学

※

中央民族学院出版社出版

(北京西郊白石桥路 27 号)

(邮政编码：100081)

新华书店北京发行所发行

北京朝阳北苑印刷厂印刷

850×1168 毫米 32 开 13 印张·335 千字

1993 年 11 月第 1 版 1993 年 11 月第 1 次印刷

印数：3000 册

ISBN 7—81001—505—2/G·224

定价：7.35 元

前 言

本书是根据 1991 年 3 月国家民委关于教材工作会议的精神，为全国民族院校大学预备班，特别是准备升入全国重点大学的预科理科班学生编写的物理教材。

本教材反映了教学改革、教材更新的精神，对于学生的基础知识较好的班级，本着删繁就简、重点突出的原则。本教材重点突出力学和电磁学两部分，对这两部分内容力求系统完整，以概念为主线，对于新引入的章节和内容用较大篇幅叙述。本书重点在于阐明力学和电磁学的基本概念和基本定律。部分章节采用微积分的方法对一些复杂问题进行分析。本书编选了较多的典型例题和习题，既有利于教学，又有利于启迪学生的思维，培养学生的应用和开创能力。为学生以后的大学学习打下坚实的基础。

书中内容是由全国几个民族院校预科部分教师共同编写。

其中第一、二章是西南民族学院蔡书和王礼祥编写；第三、四章是中央民族学院李律屏编写；第五、六两章是中央民族学院李俊儒编写；第七、八、九、十章是中央民族学院杨庆平编写；第十一、十二两章是中南民族学院徐天璇编写。全书由蔡书、李律屏、徐天璇、李俊儒初审，李俊儒审订。本书为全国各民院预科理科班的物理教材，也可作为其他高等工科院校、高等师专、职工大学 and 广播电视大学等学生的参考书，还可作为中专、中学物理教师教学参考书或自学者的课本。

本教材在编写和出版的过程中，得到有关领导和同志的大力支持和协作，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中如有错误和不妥之处，诚挚地欢迎广大读者批评指正。

编者

1991. 5

目 录

第一章 质点运动学.....	(1)
§ 1-1 力学单位制	(1)
§ 1-2 量纲	(4)
§ 1-3 矢量	(6)
§ 1-4 参照系和坐标系质点	(15)
§ 1-5 位置、位移、路程	(16)
§ 1-6 速度、速率、加速度	(20)
§ 1-7 直线运动	(25)
§ 1-8 曲线运动	(28)
§ 1-9 相对位移与相对速度	(35)
思考题与练习题	(37)
第二章 牛顿运动定律	(41)
§ 2-1 力的概念和常见力	(41)
§ 2-2 牛顿运动定律	(46)
§ 2-3 牛顿运动定律的应用	(50)
§ 2-4 惯性系和非惯性系	(59)
§ 2-5 物体的平衡	(62)
思考题与练习题	(72)
第三章 功和能	(79)
§ 3-1 功	(79)
§ 3-2 功率	(87)
§ 3-3 动能 动能定理	(89)
§ 3-4 势能	(94)
§ 3-5 系统的功能原理 机械能守恒定律	(100)
§ 3-6 能量守恒与转换定律	(101)

思考题与练习题	(106)
第四章 动量和动量守恒	(111)
§ 4-1 动量和动量定理	(111)
§ 4-2 动量守恒定律	(120)
§ 4-3 碰撞	(126)
思考题与练习题	(141)
第五章 机械振动	(145)
§ 5-1 简谐振动	(145)
§ 5-2 描述简谐振动的基本物理量	(148)
§ 5-3 简谐振动的旋转矢量表示法	(155)
§ 5-4 简谐振动的能量	(157)
§ 5-5 简谐振动的合成	(159)
§ 5-6 阻尼振动 受迫振动 共振	(167)
思考题与练习题	(170)
第六章 机械波	(175)
§ 6-1 机械波的产生和传播	(175)
§ 6-2 波长 波的周期和频率 波速	(177)
§ 6-3 平面简谐波	(181)
§ 6-4 简谐波的能量	(188)
§ 6-5 惠更斯原理	(192)
§ 6-6 波的干涉	(195)
§ 6-7 驻波	(199)
思考题与练习题	(202)
第七章 静电场	(204)
§ 7-1 电荷与物质结构	(204)
§ 7-2 库仑定律	(205)
§ 7-3 电场及电场强度	(206)
§ 7-4 电位及电位差	(210)

§ 7-5 高斯定理	(220)
§ 7-6 静电场中的导体	(222)
§ 7-7 电容和电容器	(225)
§ 7-8 电介质	(230)
思考题与练习题	(232)

第八章 稳恒电流 (235)

§ 8-1 电流强度 电流密度	(235)
§ 8-2 一段电路的欧姆定律及其微分形式	(237)
§ 8-3 电功率 焦耳定律及其微分形式	(239)
§ 8-4 电源及电动势	(240)
§ 8-5 丹聂尔电池 闭合电路欧姆定律	(241)
§ 8-6 电路分析与计算	(246)
§ 8-7 电压源与电流源 等效电源定理	(252)
§ 8-8 金属导电的经典电子论	(255)
思考题与练习题	(258)

第九章 稳恒磁场 (262)

§ 9-1 磁场及基本磁现象	(262)
§ 9-2 磁感应强度	(263)
§ 9-3 毕奥——萨伐尔定律	(266)
§ 9-4 磁场的高斯定理	(269)
§ 9-5 安培环路定理	(270)
§ 9-6 磁场对载流导线的作用	(273)
§ 9-7 运动电荷产生的磁场	(277)
§ 9-8 运动电荷在磁场中受力——洛伦兹力	(279)
§ 9-9 带电粒子在磁场中的运动	(282)
思考题与练习题	(289)

第十章 电磁感应 (293)

§ 10-1 电磁感应基本现象	(293)
-----------------------	-------

§ 10-2	楞次定律	(293)
§ 10-3	法拉第电磁感应定律	(294)
§ 10-4	动生电动势	(296)
§ 10-5	感生电动势	(298)
§ 10-6	交流发电机原理	(298)
§ 10-7	涡流 电磁阻尼 趋肤效应	(299)
§ 10-8	自感	(301)
思考题与练习题		(304)
第十一章 交流电 交流电路		(308)
§ 11-1	交流电动势的产生	(308)
§ 11-2	正弦交流电的三种表达方式	(310)
§ 11-3	交流电的有效值	(314)
§ 11-4	交流电路	(316)
§ 11-5	电阻、电感、电容串联的交流电路	(325)
§ 11-6	串联电路的谐振	(332)
§ 11-7	电阻、电感、电容并联的交流电路	(336)
§ 11-8	并联电路的谐振	(340)
§ 11-9	变压器	(344)
思考题与练习题		(347)
第十二章 电磁场和电磁波		(351)
§ 12-1	麦克斯韦的电磁场理论	(351)
§ 12-2	电磁振荡电路	(357)
§ 12-3	电磁波	(363)
§ 12-4	电磁波谱	(368)
思考题与练习题		(371)
练习题参考答案		(374)
学生实验		(383)
实验一 游标卡尺和螺旋测微器的使用		(384)

实验二	用气垫导轨验证加速度定律和 动量守恒定律.....	(386)
实验三	研究弹性碰撞 (斜碰)	(390)
实验四	弹簧振子的简谐振动.....	(392)
实验五	示波器的使用.....	(395)
实验六	直流电路工作状态分析， 电源的外特性.....	(397)
实验七	电阻的测量.....	(399)
实验八	交流电路中感性负载功率因数 的提高.....	(401)

第一章 质点运动学

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的变化，称为机械运动。行星绕太阳的转动、机器的运转等等都是机械运动，它们都遵从一定的客观规律。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

研究物体在位置变动时的轨道以及研究位移、速度、加速度等物理量随时间而变化的关系，但不涉及引起变化原因，称为运动学。本章研究质点运动学。

本章开始简单地介绍了学习物理学必须掌握的基础知识，就是单位制、量纲和矢量的概念。它们贯穿在物理学的各个部分，也是学习其它自然科学的基础知识，一定要给以足够的重视并能熟练地掌握。

§ 1—1 力学单位制

基本单位 导出单位 单位制 在物理学中量度物质的属性和描述其运动状态时所用的各种量称为物理量，凡是物理量都可以测量。为了表示物理量，单用数值表示是不行的，如我们用 a 这个数表示长度，到底表示的是 a 厘米或是 a 米，这就必须规定一定大小的量作为衡量标准，这个被作为标准的量就叫单位。物理学中的物理量很多，如果每个物理量都独立地选用一个单位，这样不仅麻烦，而且也无法进行实际应用。物理公式反映了物理量间的相互关系，同时也确定了物理量的单位关系。如果我们选定不多几个物理量的单位，就能够利用它们推导出其他物理量的单位，这些被任意选定的物理量叫基本物理量。基本物理量的单位叫基本单位。

基本物理量是由人们根据需要选定的，在不同学科中和不同时期，选定的基本物理量有所不同。1971 年前国际单位制中采用

的基本物理量是六个，即长度、质量、时间、电流、热力学温度和发光强度。1971年后又增加了物质的量摩尔，使基本物理量增加到七个。

国际单位制 由于所采取的基本量和基本单位不同，用来推导出单位的定义式也不同，存在着多种单位制。如物理学中以前通常采用绝对单位制。这种单位制是以长度、质量、时间为基本量，若它们的基本单位分别是米、千克、秒，则称为绝对米·千克·秒制或MKS制。鉴于国际上使用的单位制种类繁多，换算十分复杂，给科学技术的交流带来很多困难。为避免多种单位制并存，国际上制订了一种通用的适合一切计量领域的单位制，叫国际单位制。简称国际制，代号为SI。是1960年第十一届国际计量大会通过。并由国际度量衡会议决定，自1978年1月1日起实行。这是目前国际上普遍采用的一种新单位制。

我国国务院于1977年5月颁发了《中华人民共和国计量管理条例（试行）》，其中第三条规定：“我国的基本计量制度是米制，逐步采用国际单位制”。在我国国际单位制推行委员会的推行下，从1986年1月1日起，在全国已统一使用国际单位制。这样不仅使我国的计量制度进一步统一，而且有利于加强我国同各国人民的经济文化交流。

力学单位制 国际单位制规定了七个基本单位和两个辅助单位（见附表1）。在力学范围内规定的长度、质量和时间三个基本量，分别规定以米、千克和秒为基本单位。由各定义式推导出力学的一系列导出单位。如由 $v = \frac{dr}{dt}$ 、 $a = \frac{dv}{dt}$ 推导出速度和加速度的单位分别为米/秒和米/秒²；由牛顿第二定律 $F=ma$ 可推导出力的单位是千克·米/秒²，定为牛顿。由力学三个基本单位和导出单位组成了力学单位制。

附表 1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称		单位符号	定 义
	全称	简称		
长度	米	米	m	“米是光在真空中，在 299792458 分之一秒的时间间隔内所行进的路程的长度”。(1983 年 10 月第十七届国际计量大会上通过的新定义)
质量	千克	千克	kg	“千克是质量单位，等于国际千克原器的质量。”(1889 年和 1901 年第 1 届和第 3 届国际计量大会通过)
时间	秒	秒	s	“秒是铯-133 原子基态的两个超精细能级之间跃迁所对应的辐射的 9192631770 个周期的持续时间”(1967 年第十三届国际计量大会通过决议 1)
电流	安培	安	A	“安培是一恒定电流，若保持在处于真空中相距 1 米的两无限长而圆截面可忽略的平行直导线内，则此两导线之间产生的力在每米长度上等于 2×10^{-7} 牛顿。”(国际计量委员会，1946 年决议 2 通过，1948 年第 9 届国际计量大会批准)
热力学温度	开尔文	开	K	“热力学温度单位开尔文是水的三相点热力学温度的 $1/273.16$ ”(第十三届国际计量大会，1967 年决议 4)
物质的量	摩尔	摩	mol	“(1) 摩尔是一系统的物质的量，该系统中所包含的基本单元数与 0.012 千克碳-12 的原子数目相等。(2) 在使用摩尔时，基本单元应予以指明，可以是原子、分子、离子、电子及其它粒子，或是这些粒子的特定组合”。
发光强度	坎德拉	坎	cd	“坎德拉是在 101325 帕斯卡压力下，处于铂凝固温度的黑体的 $1/600000$ 平方米表面垂直方向上的光强度。”(第十三届国际计量大会，1967 年决议 5)

§ 1-2 量 纲

量纲 物理量可分为基本量和导出量，而导出量均由基本量组合而成。至于一个物理量是由哪些基本量组成和怎样组成的，表示这种关系的式子叫物理量的量纲式。量纲式中各基本量的幂指数叫做这个物理量对于所取基本量的量纲，量纲又叫做“因次”。

在国际单位制中，所有力学量都是由长度 (L)、质量 (M)、时间 (T) 这三个基本量组成的。任一力学量 Q 的量纲式都可写成：

$$[Q] = [L^\alpha M^\beta T^\gamma]$$

其中 α 、 β 、 γ 分别叫做物理量 Q 对于长度、质量、时间的量纲。例如速度、加速度、力的量纲式分别为：

$$[V] = \frac{[L]}{[t]} = [LT^{-1}]$$

$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = [LT^{-2}]$$

$$[F] = [m] [a] = [LMT^{-2}]$$

当单位制确定后，任何物理量都有它唯一确定的量纲和量纲式。

量纲式的作用 物理量的量纲式除表明导出量和基本量的关系外，还可以用来检验物理关系的正确性。在物理计算中，物理量的性质不会因数学运算而有所改变，因此，在一个物理关系式中，只有量纲相同的项才能相加、减和用等号联结，这称为量纲法则。因此检验各项的量纲，就可以明确等式是否正确。例如匀变速直线运动方程是：

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

上式的右方两项，前一项的量纲式是 $[LT^{-1}] \cdot [T] = [L]$ ，后面一项的量纲式是 $[LT^{-2}] \cdot [T] = [LT^{-1}]$ ，经检验这个公式前后两项量纲不同，所以不能相加、减，不符合量纲法则，可以

肯定这个公式是错误的。

但一个物理公式在量纲方面正确了,还不能肯定其正确性。式中数字系数正确与否,不能用量纲检验出来。如推导出关系式为:

$$a = v^2/s$$

如只用量纲法则去检验,是正确的。但公式却是错误的。故量纲可以用来初步检验物理关系式的正确性。

另外根据量纲法则,有时从量纲的分析,可以明确方程中某一比例系数(实际上是一物理量)的量纲,从而定出这比例系数的单位。例如在万有引力定律的表达式:

$$f = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

式中 G 表示万有引力常数, f 、 m 的 r 分别表示力、质量和距离。从 f 、 m 、 r 的量纲,可知 G 的量纲为 $L^3 M^{-1} T^{-2}$ 。

用量纲可以定出同一物理量不同单位之间的换算因数。例如力的量纲式为 LMT^{-2} , 力的单位从国际单位制换算为厘米克秒制时,可以写成:

$$\begin{aligned} 1N &= 1\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 1000\text{g} \times 100\text{cm} \cdot \text{s}^{-2} \\ &= 10^5 \text{gcms}^{-2} = 10\text{dyn} \end{aligned}$$

由此可得换算关系:

$$1N = 10^5 \text{dyn}$$

量纲式除了用来表示导出量和基本量的关系进行单位换算外,还有其它用途。例如利用量纲可为寻求复杂的物理规律提供线索等。

附表 2 常用力学量的量纲

物 理 量		单 位			量纲式	备 注
名 称	代号	名 称	中文代号	国际代号		
面 积	S	平方米	米 ²	m^2	$[L^2]$	
体 积	V	立方米	米 ³	m^3	$[L^3]$	
位 移	s	米	米	m	$[L]$	
速 度	v	米每秒	米/秒	m/s	$[LT^{-1}]$	
加速度	a	米每秒平方	米/秒 ²	m/s^2	$[LT^{-2}]$	
角速度	ω	弧度每秒	弧度/秒	rad/s	$[T^{-1}]$	
角加速度	β	弧度每秒平方	弧度/秒 ²	rad/s^2	$[T^{-2}]$	
转 速	n	1 每秒	1/秒	s^{-1}	$[T^{-1}]$	
频 率	f	赫兹	赫	Hz	$[T^{-1}]$	1 赫=1 1/秒
密 度	ρ	千克每立方米	千克/米 ³	kg/m^3	$[L^{-3}M]$	
力	F	牛顿	牛	N	$[LMT^{-2}]$	1 牛=1 千克·米/秒 ²
重 量	G	牛顿	牛	N	$[LMT^{-2}]$	
力 矩	M	牛顿米	牛·米	$N \cdot m$	$[L^2MT^{-2}]$	
动 量	P	千克·米每秒	千克·米/秒	$kg \cdot m/s$	$[LMT^{-1}]$	
冲 量	I	牛顿·秒	牛·秒	$N \cdot s$	$[LMT^{-1}]$	
压 强	P	帕斯卡	帕	Pa	$[L^{-1}MT^{-2}]$	1 帕=1 牛/米 ²
功	W	焦耳	焦	J	$[L^2MT^{-2}]$	1 焦耳=1 牛·米
能	E	焦耳	焦	J	$[L^2MT^{-2}]$	
功 率	P	瓦特	瓦	W	$[L^2MT^{-3}]$	1 瓦=1 焦/秒

§ 1-3 矢 量

标量 在物理学中, 有一类物理量, 只具有数值大小 (包括有关的单位), 而不具有方向性。这些量之间的运算遵循一般的代数法则。这样的量叫物理标量。简称标量。例如体积、质量、温度、功、能等。

标量可以有正负之分，例如温度， $+10^{\circ}\text{C}$ 表示在冰点以上 10°C ， -10°C ，表示在冰点下 10°C ，但它们并不表示方向。有些标量只有正值，负值没有意义。例如用绝对温标表示温度只有正值，它说明在宇宙中不可能达到绝对零度这一事实。

矢量 一类物理量，既要由数值大小（包括有关单位），又要由方向才能完全确定。这些量之间的运算并不遵循一般的代数法则，而遵循特殊的运算法则。这样的量叫物理矢量。简称矢量。例如力是矢量，你要想确定某个力 F 的作用如何，必须知道力的大小和方向才行。速度也是矢量，如果有两辆汽车速度大小都是 10 米/秒，一辆向东行驶，一辆向西行驶，那么它们的运动状态大不相同，几分钟后它们就相距很远了。

在几何中有向线段就是一个直观的矢量，通常用空间中的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 来表示矢量。用长度 $|\overrightarrow{AB}|$ 表示大小，用端点的顺序 $A \rightarrow B$ 表示方向。如图 1-1， A 称为始点， B 称为终点，这个矢量记作 $\overrightarrow{AB}$ 或用黑体字母 $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{a}$ 表示。矢量的大小（长度的数值）称为它的模或绝对值，用记号 $|\overrightarrow{AB}|$ 或 $|\mathbf{A}|$ ， $|\mathbf{a}|$ 表示。

如果两矢量大小相同，方向一致，则这两个矢量相等，如图 1-2 所示。如果两矢量大小相等，方向相反，则这两矢量互为负矢量。如图 1-3 所示。

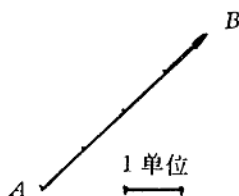


图 1-1

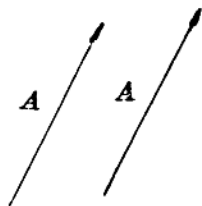


图 1-2 等矢量

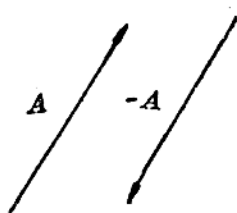


图 1-3 负矢量

在比较几个矢量之间的关系时，或对它们进行运算时，这些

矢量都要按相同的比例来画。且矢量可以在空间中平移，平移后矢量的大小方向仍保持不变。如图 1-4。

如果矢量 A_0 的数值大小（或模）等于 1，方向与矢量 A 相同。则 A_0 称为 A 方向上的单位矢量。矢量 A 也可以表示为

$$A = |A| A_0 \quad (1-1)$$

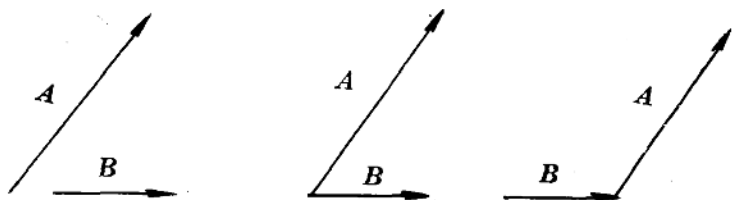


图 1-4 矢量平移

对于空间直角坐标系 ($oxyz$)，通常用 i 、 j 、 k 分别表示沿 x 、 y 、 z 三个坐标轴正方向的单位矢量。

矢量运算

1. 矢量加法

根据力学中关于力、速度及加速度的合成法则，我们定义两矢量和如下。

不在同一直线上的两矢量 OA 与 OB 的和是以这两矢量为两边所做的平行四边形的对角线长矢量 OC (图 1-5)，记为

$$OC = OA + OB$$

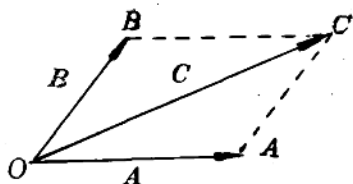


图 1-5

长度为零的这个特殊矢量，叫做零矢量，记作 0 ，其方向可看作任意的。长度相等而方向相反（互为负矢量）的两个矢量的和，就是零矢量，

对于矢量，加法交换律显然成立，即

$$OA + OB = OB + OA$$