

大学物理学

(上)

章威廉 杨茂荣 主编

山东教育出版社

大学物理学

(上)

章威廉	杨茂荣	主 编
马裕民	高建华	副主编
黄玫清	张锡钧	
贺准城	陆敏 沈少华	主 审

山东教育出版社

1993年·济南

鲁新登字2号

大学物理学

章威廉 杨茂荣 主编

*

山东教育出版社出版

(济南经九路胜利大街)

山东省新华书店发行 山东人民印刷厂印刷

*

787毫米×1092毫米16开本 42.75印张 2插页 360千字

1989年8月第1版 1993年12月第2次印刷

印数6,711—11,710

ISBN 7—5328—0748—7/O·14

定价(上、下册)15.95元

前 言

本教材是根据国家教育委员会关于工科“大学物理”课程的基本要求，参考目前已出版的一些国内外大学物理教材，并根据我们多年的教学体会编写的。

在编写过程中，我们力求运用辩证唯物主义的观点来阐述物理概念和基本规律，并根据“确保经典物理，加强近代物理”的要求，既照顾到后继课程与本课程的联系，又考虑到本课程的独立性和系统性，以求突出物理概念，便于学生自学，达到培养提高学生分析问题和解决问题能力的目的。

为了贯彻因材施教的原则，我们加强了对基本概念、基本定律和理论的叙述，并适当地提高了力学的起点，对于经典物理在现代科学技术中的应用也作了适当的介绍。部分章节后面编有“科学家介绍”，可供有兴趣的学生阅读。

本教材可供教学时间为130~140学时的工科院校各专业及理科非物理专业的本科生使用，也作为电视大学、职业大学、函授大学等大学物理课的教材或教学参考书。

参加编写的人员有

山东工业大学：章威廉 陆 敏 马裕民 李富珮 李月芬 高建华
刘东红

山东师范大学：张锡钧

郑州工学院：丁宝玉 关智武 陈素琴

山东轻工学院：郑毓兴 杨茂荣 颜廷敏

山东工程学院：邢月绪 孙秀香

山东省广播电视大学：臧耀臣

济南市电视大学：黄玫清 聂昭民 赵丽娜

山东纺织工学院：李仲吉

北京印刷学院：张万漱

青岛建筑工程学院：薛祥立 陈 淳

全书由章威廉、杨茂荣主编，马裕民、高建华、黄玫清、张锡钧副主编，贺准城、陆敏、沈少华主审，并提出了修改意见，最后由章威廉统编和定稿。

由于时间所限，本书缺点错误和不妥之处，恳请批评指正。

编 者

1988年10月于济南

再 版 前 言

由山东工业大学等十所工科院校编写的《大学物理学》自1988年出版以来，已4年多了，一些兄弟院校也使用本书作为教材，深受师生们的好评。

本书这次修订再版时，注意到打好基础、精选内容、培养能力、利于教学几个方面，在系统安排和基本内容的选取上，注意和保持了第一版的特点，做了必要和适当的补充，并分为上、下两册出版。

在修订再版过程中，清华大学、上海交通大学、东南大学和山东师范大学等院校的同志，以及山东工业大学马裕民、高建华、夏恩淝等同志对本书第一版提出许多宝贵的意见和较详细的具体修改建议，对本书的修改工作帮助很大，使编者深受教益，在此表示衷心的感谢。

再版由马裕民、高建华、章威廉统稿，由于改编时间仓促，编者水平有限，书中必定还有不少错误和不妥之处，敬请使用本书的老师和同学们批评指正。

编 者

1993年11月于济南

目 录

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	1
§ 1—1 参照系 质点	1
§ 1—2 质点运动的描述	2
§ 1—3 圆周运动	11
§ 1—4 相对运动	15
思考题.....	16
习 题.....	17
自我检查题.....	19
* 科学家介绍 伽利略.....	20
第二章 牛顿运动定律	22
§ 2—1 牛顿运动定律	22
§ 2—2 力学中常见的几种力	24
§ 2—3 SI单位制的单位和量纲	25
§ 2—4 牛顿运动定律的应用举例	26
§ 2—5 惯性系与非惯性系	28
*§ 2—6 惯性力	29
思考题.....	33
习 题.....	34
自我检查题.....	37
运动学和牛顿定律习题课.....	40
* 科学家介绍 牛顿.....	44
第三章 功和能	46
§ 3—1 功 功率	46
§ 3—2 动能定理	49
§ 3—3 保守力 势能	53
§ 3—4 功能原理	57
§ 3—5 机械能守恒定律	59
§ 3—6 能量转换与守恒定律	61
思考题.....	62
习 题.....	63
自我检查题.....	65
第四章 动 量	68

§ 4—1	动量 冲量 动量定理	68
§ 4—2	物体系(质点系)的动量定理	72
§ 4—3	动量守恒定律	73
§ 4—4	碰撞	74
★ § 4—5	火箭的飞行原理	79
	思考题	80
	习 题	80
	自我检查题	83
	守恒定律习题课	84
第五章	刚体的定轴转动	89
§ 5—1	刚体的平动、转动和定轴转动	89
§ 5—2	转动惯量及其计算	91
§ 5—3	力矩 转动定律	94
§ 5—4	力矩的功 刚体定轴转动中的动能定理	98
§ 5—5	角动量定理 角动量守恒定律	101
	思考题	105
	习 题	106
	自我检查题	109
	刚体定轴转动习题课	111

第二篇 分子物理学和热力学

第六章	气体动理论	116
§ 6—1	气体动理论的基本概念	117
§ 6—2	理想气体状态方程	118
§ 6—3	理想气体压力公式	120
§ 6—4	气体分子的平均平动动能与温度的关系	123
§ 6—5	能量按自由度均分定理 理想气体的内能	124
§ 6—6	麦克斯韦速率分布律	129
§ 6—7	气体分子的平均自由程	134
§ 6—8	真实气体的等温线	136
§ 6—9	范德瓦尔斯方程	138
§ 6—10	气体内的迁移现象及其基本规律	142
	思考题	145
	习 题	146
	自我检查题	148
第七章	热力学基础	151
§ 7—1	内能 功 热量	151
§ 7—2	热力学第一定律	153

§ 7—3	热力学第一定律对理想气体的应用	155
§ 7—4	热容量	159
§ 7—5	绝热过程	162
§ 7—6	循环过程	165
§ 7—7	卡诺循环	169
§ 7—8	热力学第二定律	172
§ 7—9	可逆过程和不可逆过程	173
§ 7—10	卡诺定理	175
§ 7—11	熵	177
§ 7—12	热力学第二定律的统计意义	181
	思考题	183
	习 题	185
	自我检查题	188
	分子物理学和热力学基础习题课	189

第三篇 电 磁 学

第八章 真空中的静电场	194
§ 8—1 电荷 库仑定律	194
§ 8—2 电场 电场强度	197
§ 8—3 电力线 电通量	201
§ 8—4 高斯定理	203
§ 8—5 静电场力的功 电势	208
§ 8—6 等势面 场强与电势间的关系	213
	思考题
	习 题
	自我检查题
真空中的静电场习题课	224
第九章 静电场中的导体和电介质	230
§ 9—1 静电场中的导体	230
§ 9—2 电容器 电容器的联接	237
§ 9—3 电介质的极化 电介质中的电场	241
§ 9—4 有电介质时的高斯定理 电位移	244
§ 9—5 电场的能量	248
	思考题
	习 题
	自我检查题
静电场中的导体和电介质习题课	260
第十章 稳恒电流	265

§10—1	电流 电流密度	265
§10—2	欧姆定律及其微分形式	266
§10—3	电源 电动势	269
§10—4	闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	270
	思考题	272
	习 题	273
	自我检查题	274
第十一章	稳恒电流的磁场	277
§11—1	基本磁现象	277
§11—2	磁感应强度	279
§11—3	毕奥-萨伐尔定律	281
§11—4	安培环路定理	286
§11—5	运动电荷的磁场	291
§11—6	磁场对载流导线的作用力 安培力	292
§11—7	平行长直电流间的相互作用力	297
§11—8	磁场对运动电荷的作用力 洛仑兹力	298
	思考题	303
	习 题	305
	自我检查题	310
	真空中稳恒电流的磁场习题课	313
第十二章	电磁感应	320
§12—1	电磁感应的基本定律	320
§12—2	动生电动势	322
§12—3	感生电动势 涡旋电场	328
§12—4	自感现象 互感现象	335
§12—5	磁场的能量	340
	思考题	342
	习 题	344
	自我检查题	349
	电磁感应习题课	351
第十三章	物质的磁性	355
§13—1	磁介质的磁化	355
§13—2	磁介质中的磁场 磁场强度	358
§13—3	铁磁质	362
	思考题	365
	习 题	366
	自我检查题	367
第十四章	电磁场理论的基本概念	368

§14—1 位移电流 全电流定律·····	368
§14—2 麦克斯韦方程组·····	371
思考题·····	373
习 题·····	373
自我检查题·····	374
* 科学家介绍 麦克斯韦·····	374

第四篇 振动与波动

第十五章 振 动 ·····	376
§15—1 简谐振动·····	377
§15—2 谐振动的能量·····	388
§15—3 同方向谐振动的合成·····	390
§15—4 相互垂直的、同频率的谐振动的合成·····	392
§15—5 阻尼振动 受迫振动 共振·····	394
思考题·····	395
习 题·····	396
自我检查题·····	398
第十六章 波 动 ·····	401
§16—1 机械波的产生和传播·····	401
§16—2 平面简谐波的波动方程·····	403
§16—3 波的能量 能流密度·····	410
§16—4 惠更斯原理·····	412
§16—5 波的迭加原理 波的干涉·····	415
§16—6 驻波·····	420
思考题·····	423
习 题·····	424
自我检查题·····	428
机械振动与机械波习题课·····	430
第十七章 电磁振荡和电磁波 ·····	435
§17—1 振荡电路 电磁振荡·····	435
§17—2 电磁波的产生和辐射·····	438
§17—3 电磁波的基本性质·····	439
§17—4 电磁波的能量·····	440
§17—5 电磁波谱·····	441
思考题·····	443
习 题·····	443
自我检查题·····	444
第十八章 波动光学 ·····	446

§18—1	光的相干性	446
§18—2	由分波阵面法产生的光的干涉	448
§18—3	光程	451
§18—4	由分振幅法产生的光的干涉	453
§18—5	劈尖的干涉 牛顿环	458
§18—6	迈克耳逊干涉仪	463
§18—7	光的衍射现象	465
§18—8	惠更斯-菲涅耳原理	465
§18—9	单缝的夫琅和费衍射	466
§18—10	衍射光栅	470
§18—11	圆孔衍射 光学仪器的分辨率	475
§18—12	X射线的衍射	477
§18—13	光的偏振 自然光和偏振光	479
§18—14	起偏和检偏 马吕斯定律	481
§18—15	反射光和折射光的偏振	483
§18—16	光的双折射现象	485
* §18—17	偏振光的干涉	489
* §18—18	人为双折射	493
* §18—19	旋光现象	494
附录18—1	夫琅和费单缝衍射的光强分布	496
思考题		498
习题		501
自我检查题		505
波动光学习题课		508
* 科学家介绍 菲涅耳		513

第五篇 近代物理学基础

第十九章	狭义相对论基础	515
§19—1	伽利略变换 经典力学时空观	516
§19—2	迈克耳逊-莫雷实验	518
§19—3	狭义相对论的基本假设	520
§19—4	洛伦兹变换	521
§19—5	狭义相对论的时空观	523
§19—6	洛伦兹速度变换	526
§19—7	相对论动力学基础	528
思考题		534
习题		534
自我检查题		535

* 科学家介绍 爱因斯坦	536
第二十章 光的量子性	538
§20—1 热辐射.....	538
§20—2 基尔霍夫定律.....	540
§20—3 绝对黑体的辐射定律.....	541
§20—4 普朗克量子假说.....	542
§20—5 光电效应.....	546
§20—6 康普顿效应.....	552
思考题	556
习 题	556
自我检查题	558
* 科学家介绍 普朗克	559
第二十一章 原子的量子理论	561
§21—1 原子的有核模型.....	561
§21—2 原子光谱的规律.....	563
§21—3 玻尔的氢原子理论.....	566
§21—4 实物粒子的波粒二象性.....	573
§21—5 波函数及其统计解释.....	575
§21—6 测不准关系.....	578
§21—7 薛定谔方程.....	581
§21—8 薛定谔方程的应用.....	582
§21—9 氢原子.....	586
*§21—10 电子自旋.....	588
*§21—11 泡利不相容原理和原子的电子壳层结构.....	590
思考题	593
习 题	594
自我检查题	595
* 科学家介绍 玻尔	596
德布罗意	598
薛定谔	599
第二十二章 激 光	600
§22—1 自发辐射和受激辐射.....	600
§22—2 激光原理.....	603
§22—3 激光器.....	606
§22—4 激光的特性和应用.....	608
习 题	610
第二十三章 固体的能带结构	611
§23—1 固体的能带.....	611

§23—2	绝缘体、导体和半导体.....	613
§23—3	本征半导体和杂质半导体.....	614
§23—4	$p-n$ 结和其他半导体器件	616
§23—5	超导电性简介.....	618
	习 题	620
	习题答案	621

第一篇 力 学

物质的运动形式是多种多样的。其中最简单而又最基本的运动是机械运动。所谓机械运动就是物体空间位置的变化，如行星绕太阳的转动，机器的运转，火车在铁路上行驶等等都是机械运动。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

本篇第一章是运动学的内容，是从几何观点来研究物体的运动，不考虑引起变化的原因。第二章至第五章是动力学内容，联系产生或改变运动的原因来研究运动。

第一章 质点运动学

基 本 要 求

1. 正确理解描写质点运动的基本物理量——坐标、位移、速度和加速度。
2. 掌握由运动方程求解位移、速度和加速度及由速度或加速度和初始条件求解运动方程。
3. 理解和正确应用伽里略速度合成定理。

§ 1—1 参照系 质点

一、参照系和坐标系

自然界中的一切物体都在运动，为了描述一个物体的机械运动，必须另选一个认为不动的物体作为参考，然后研究物体相对于被选作参考的物体是如何运动的。这个被选作参考的物体通常称为参照系，在运动学中参照系的选择可以是任意的，但要考虑问题的性质和研究的方便。例如，当研究物体在地面上的运动时，则选择地球为参照系。一个星际火箭刚发射时，主要研究它相对于地面的运动，所以把地面选作参照系。但是当火箭进入绕太阳运行的轨道时，为研究方便起见，我们就以太阳为参照系。

同一物体的运动，由于我们所选的参照系不同，对物体运动的描述就不相同。例如，在作匀速直线运动的车厢中的自由落体，如以车厢作参照系，它作直线运动；如以

地面作参照系，它作抛物线运动；如以太阳作参照系，运动的描述就更为复杂。物体运动的形式随参照系的不同而不同，这一事实称为运动描述的相对性。

选定了参照系后，为了定量地说明物体相对于此参照系的位置，就需在此参照系上选择一个固定的坐标系，该物体的位置就可以用它在这个坐标系中的坐标来描述。

二、质点

质点是具有质量而不考虑大小和形状的理想物体，这是从具体事物中抽象出来的一个简化的概念。在某些问题中如果物体本身的大小不是一个决定性的因素，那么这时可以把它看作一个质点。例如，研究地球绕太阳的公转时，由于地球的平均半径（约为 $6.4 \times 10^3 \text{ km}$ ）比地球与太阳间的距离（约为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ）小得多，所以地球上各点相对于太阳的运动可视为相同，一点的运动，能代表全体的运动，因此可将地球看作一个质点。但是在研究地球的自转时，如果仍然把地球看作一个质点，那么就没有实际意义了。

§ 1—2 质点运动的描述

一、位置矢量

研究质点在空间运动时，通常采用直角坐标系，如图 1—1 所示。为了描述质点在时刻 t 的位置 P ，可从原点向 P 点引一矢量 $r = \overrightarrow{op}$ ， r 叫位置矢量，也叫矢径，矢径的端点就是质点的位置， r 的方向表明了 P 点相对于坐标轴的方位， r 的大小（即它的模）表明了原点 O 到 P 点的距离。显然，方位和距离都知道了， P 点的位置也就确定了。质点在运动时，它的位置随时间而变化，即矢径 r 为时间的函数。

$$\begin{aligned} r &= r(t) \\ &= x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \quad (1-1) \end{aligned}$$

上式表示质点的运动规律，称为质点的运动方程。知道了质点的运动方程，就可以求出质点在各个时刻的坐标，因而就可以画出质点运动的路线，质点运动的路线称为质点运动的轨道。从运动方程中消去参数 t ，就得到质点的轨道方程

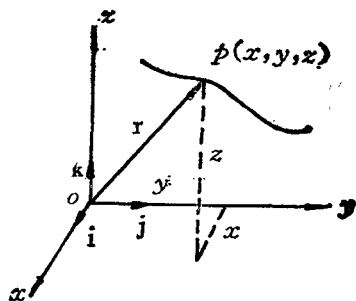


图 1—1

二、位移

设质点在如图 1—2 所示的曲线上运动，在时刻 t 质点位于 P 点处，矢径为 r_1 ，在时刻 $t + \Delta t$ ，质点运动到 Q 点，矢径为 r_2 ，在 Δt 时间内，质点位置的变化可用有向线段 $\Delta r = \overrightarrow{PQ}$ 来表示，叫做质点的位移。它是描述质点位置变动的大小和方向的物理量，可表示为

$$\Delta r = r_2 - r_1$$

位移是矢量，其大小就是 P 、 Q 两点间的直线距离，其方向由 P 指向 Q 。位移表示物体位置的改变，并不是质点所经历的路程。路程是标量，是指质点在其轨道上经过的路径的

长度, 是曲线 PQ 的长度 Δs 。一般情况下, $\Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$, 只有在 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, Δs 与 $|\Delta \mathbf{r}|$ 才视为相等。

三、速度

设质点在如图 1—3 所示的曲线上运动, 若在 Δt 时间内质点的位移为 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$,

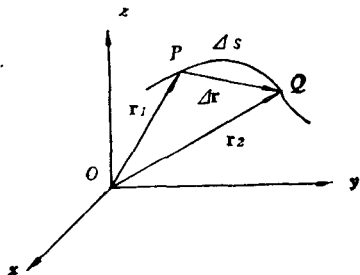


图 1—2

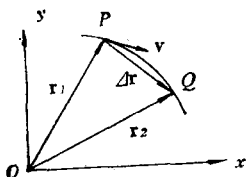


图 1—3

则位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与时间 Δt 的比值 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 称为质点在此时间内的平均速度, 以 $\bar{\mathbf{v}}$ 表示, 即

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad (1-2)$$

平均速度是矢量, 其大小为 $\frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t}$, 其方向就是位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, (1—2)式的极限, 即质点矢径对时间的变化率称为在时刻 t 质点的瞬时速度, 简称速度, 它是描述质点位置变化的快慢和方向的物理量, 用 $\mathbf{v}$ 表示, 即

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \quad (1-3)$$

速度是矢量, 它的方向为 $\Delta t \rightarrow 0$ 时位移 $\Delta \mathbf{r}$ 的极限方向。参看图 1—3 可知, 位移 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{PQ}$ 沿着割线 PQ 方向, 当 Δt 趋于零时, Q 点趋近于 P 点, 而 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向最后将与质点运动轨道在 P 点的切线一致。因此, 质点的速度的方向, 沿着运动轨道上质点所在点的切线方向, 并向质点前进的方向。

速度的大小叫速率, 以 v 表示, 即

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} \quad (1-4)$$

用 Δs 表示在 Δt 时间内质点沿轨道所经过的路程。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $|\Delta \mathbf{r}|$ 和 Δs 趋于相等, 从而可以得到

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \mathbf{r}|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (1-5)$$

亦即速率等于质点所走过的路程对时间的变化率。

将(1—1)式代入(1—3)式, 可求得瞬时速度在 x 、 y 轴上的分量分别为

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} \quad (1-6)$$

式中 $v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, 则速度的大小为

$$|\mathbf{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \quad (1-7)$$

速度的方向可用图 1-4 中的 θ 角表示, 即

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{v_y}{v_x} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} \quad (1-8)$$

四、加速度

质点在轨道上运动时, 质点速度的大小和方向通常都随时间而变化, 加速度就是描述速度随时间而变化的快慢和方向的一个物理量。如图 1-5 所示, 以 $\mathbf{v}_1$ 和 $\mathbf{v}_2$ 分别表示质点在时刻 t 和时刻 $t + \Delta t$ 时的速度, 从速度矢量图可以看出, 在时间 Δt 内质点速度的增量为

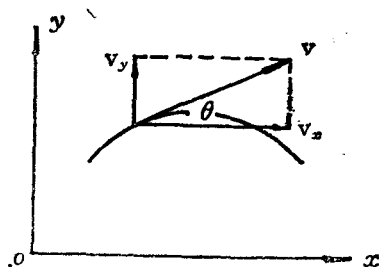


图 1-4

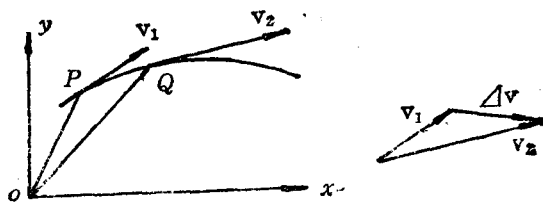


图 1-5

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$$

则在这段时间内的平均加速度 $\bar{\mathbf{a}}$, 由下式定义:

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \quad (1-9)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度趋近于一极限, 即速度对时间的变化率, 称质点在时刻 t 的瞬时加速度, 简称加速度, 用 $\mathbf{a}$ 表示, 即

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} \quad (1-10)$$

加速度是矢量, 它的方向为 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向, 所以加速度 $\mathbf{a}$ 总是指向曲线凹的一侧。加速度矢量既反映了速度大小的变化, 又反映了速度方向的变化情况。

加速度在直角坐标系中的表示式为