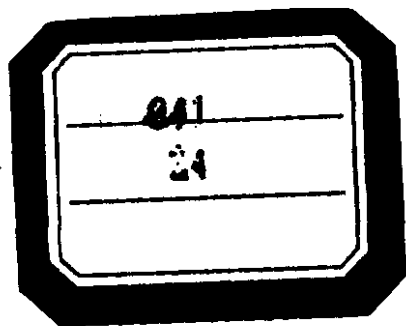


理论物理简明教程

主 编 赵之弦

副主编 马占卿 陈安军 熊永建

华中理工大学出版社



1743876

理论物理简明教程

主 编 赵之弦

副主编 马占卿 陈安军 熊永建

521/44/1/1



华中理工大学出版社



北师大图 B1354962

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

理论物理简明教程/赵之弦主编

武汉:华中理工大学出版社,1996年12月

ISBN 7-5609-1445-4

I. 理…

II. ①赵… ②马… ③陈… ④熊…

III. 理论物理学-高等学校-教材

IV. O41

理论物理简明教程

主 编 赵之弦

副主编 马占卿 陈安军 熊永建

责任编辑:叶翠华 田景敏

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:13.875 字数:345 000

1996年12月第1版 1996年12月第1次印刷

印数:1-1 000

ISBN 7-5609-1445-4/O·161

定价:12.80 元

(本书若有印装质量问题,请向承印厂调换)

内 容 简 介

本书将理论力学、电动力学、热力学统计物理、量子力学以简明的形式汇成一门理论物理学。

本书提供最基础的理论物理知识和尽可能多的研究方法,取材适当,概念准确,思路清晰.每章末配有习题及答案.本书可作为高校理论物理课程的教材或教学参考书.

前 言

为适应经济建设的发展,跟上科技进步的步伐,深化教学改革,我院物理系对物理专业课程结构尝试作调整*.拟用一学年时间讲授完理论物理,然后一部分学生进一步学习理论物理后续课程,另一部分学生加大技术工科课程分量,多学习些电子技术课程.这后者就需减少理论物理学时,并压缩其内容,但作为物理专业的毕业生又必须保证有本科理论物理水平.所以,我们将理论力学、电动力学、热力学统计物理、量子力学以简明的形式汇成一门理论物理学,编成此书作教材,以期达到上述目标.

本书提供最基础的理论物理知识和尽可能多的研究方法;内容精炼,数学推导浅近;为便于学生学习,每章配有适量的习题及参考答案.可供大学本、专科作理论物理的教材用.

本书是赵之弦同志主编,集体讨论,分头执笔写成的.第一篇理论力学由陈安军同志编写;第二篇电动力学由赵之弦同志编写;第三篇热力学统计物理由熊永建同志编写;第四篇量子力学由马占卿同志编写.全书由马占卿同志统稿,最后由赵之弦同志复核定稿.

在编写过程中,我们参考了许多优秀著作;中南工业大学李劲松教授、信阳师范学院戴启润副教授及沈岩副教授分别对部分内容进行了审阅,提出了不少宝贵意见和建议,在此谨致谢意.

限于编者水平,不妥之处难免,恳请读者批评指正.

编 者

1996年3月

* 本书成果得到世界银行贷款“师范教育发展”科研项目的资助.

目 录

第一篇 理论力学	(1)
第一章 质点动力学	(1)
§ 1.1 自由质点的运动微分方程	(1)
1.1.1 运动微分方程	(1)
1.1.2 自由质点动力学第一类问题	(2)
1.1.3 自由质点动力学第二类问题	(2)
§ 1.2 非自由质点的运动微分方程	(5)
1.2.1 自然坐标系的建立	(5)
1.2.2 加速度在自然坐标系中的分解	(6)
1.2.3 自然坐标系下非自由质点的运动微分方程	(7)
§ 1.3 质点在重力场中的抛射运动	(9)
§ 1.4 质点动量定理、动量矩定理和动能定理	(10)
1.4.1 质点动量定理	(10)
1.4.2 质点动量矩定理	(11)
1.4.3 质点动能定理	(12)
§ 1.5 质点在有心力场中的运动	(13)
1.5.1 质点在有心力场中运动的基本特点	(13)
1.5.2 质点在有心力场中的运动微分方程	(14)
1.5.3 关于行星运动的开普勒定律	(16)
§ 1.6 单自由度系统的机械振动	(17)
1.6.1 单自由度系统的自由振动	(17)
1.6.2 单自由度系统的阻尼振动	(18)
1.6.3 单自由度系统的受迫振动	(21)
习题	(26)
第二章 质点系动力学	(30)
§ 2.1 质点系动量定理及动量守恒定理	(30)
2.1.1 质点系动量定理	(30)
2.1.2 质心运动定理	(31)

2.1.3	质点系动量守恒定理	(32)
§ 2.2	质点系动量矩定理及动量矩守恒定理	(33)
2.2.1	质点系对固定点动量矩定理	(33)
2.2.2	质点系相对质心的动量矩定理	(34)
2.2.3	质点系动量矩守恒定理	(36)
§ 2.3	质点系动能定理 机械能守恒定理	(37)
2.3.1	质点系动能定理	(37)
2.3.2	机械能守恒定理	(38)
§ 2.4	二体问题	(39)
§ 2.5	变质量物体的运动	(40)
2.5.1	变质量物体的运动微分方程	(41)
2.5.2	火箭的运动	(41)
习题		(44)
第三章	刚体动力学	(48)
§ 3.1	刚体运动学基础	(48)
3.1.1	点速度合成定理	(48)
3.1.2	刚体的平面运动	(50)
3.1.3	刚体的定点转动	(52)
§ 3.2	空间力系的简化	(54)
3.2.1	空间力偶系及其简化	(54)
3.2.2	空间力系的简化	(55)
§ 3.3	平面运动刚体的运动微分方程	(56)
§ 3.4	定点转动刚体的运动微分方程	(59)
3.4.1	刚体的惯性积和惯性主轴	(59)
3.4.2	定点转动刚体的运动微分方程	(61)
§ 3.5	相对运动	(63)
3.5.1	加速度合成定理	(63)
3.5.2	相对运动动力学方程 惯性力	(70)
习题		(74)
第四章	分析力学基础	(80)
§ 4.1	约束 广义坐标 虚位移 理想约束	(80)
4.1.1	约束	(80)

4.1.2	广义坐标	(82)
4.1.3	虚位移	(83)
4.1.4	理想约束	(84)
§ 4.2	虚功原理	(85)
§ 4.3	达朗伯原理 动力学普遍方程	(86)
§ 4.4	拉格朗日方程	(87)
4.4.1	广义力	(87)
4.4.2	拉格朗日方程	(88)
§ 4.5	拉格朗日方程的初积分	(93)
4.5.1	循环积分	(93)
4.5.2	广义能量积分	(94)
§ 4.6	哈密顿正则方程	(96)
	习题	(101)
	参考文献	(105)
第二篇 电动力学		(106)
第五章 电磁现象的普遍规律		(106)
§ 5.1	库仑定律 静电场的散度和旋度	(106)
5.1.1	库仑定律	(106)
5.1.2	静电场的散度	(107)
5.1.3	静电场的旋度	(108)
§ 5.2	毕奥-萨伐尔定律 稳定磁场的散度和旋度	(108)
5.2.1	电荷守恒定律	(108)
5.2.2	毕奥-萨伐尔定律	(110)
5.2.3	稳定磁场的散度和旋度方程	(111)
§ 5.3	麦克斯韦方程组 洛伦兹力公式	(113)
5.3.1	麦克斯韦方程组	(113)
5.3.2	洛伦兹力公式	(116)
§ 5.4	介质中的麦克斯韦方程组	(117)
5.4.1	介质的极化	(117)
5.4.2	介质的磁化	(120)
5.4.3	介质中麦克斯韦方程组	(122)
5.4.4	介质的电磁性质方程	(123)

§ 5.5 电磁场的边值关系	(124)
5.5.1 法向分量的跃变	(124)
5.5.2 切向分量的跃变	(125)
§ 5.6 电磁场的能量	(127)
习题	(132)
第六章 静电场和稳定磁场	(136)
§ 6.1 静电势 静电问题的唯一性定理	(136)
6.1.1 静电势	(136)
6.1.2 静电势的微分方程和边值关系	(138)
6.1.3 静电问题的唯一性定理	(139)
§ 6.2 镜像法	(141)
§ 6.3 分离变量法	(144)
§ 6.4 差分法	(149)
6.4.1 用差分方程代替偏微分方程	(149)
6.4.2 差分方程组的求解	(152)
§ 6.5 矢势 稳定磁场问题的唯一性定理	(155)
6.5.1 矢势	(155)
6.5.2 矢势微分方程与边值关系	(156)
6.5.3 稳定磁场的唯一性定理	(157)
习题	(162)
第七章 时变场	(166)
§ 7.1 电磁场的波动方程及电磁波传播的几个问题	(166)
7.1.1 电磁场的波动方程	(166)
7.1.2 平面电磁波	(168)
7.1.3 波的偏振	(169)
7.1.4 电磁波在导体中的传播	(170)
7.1.5 矩形波导	(173)
§ 7.2 迅变电磁场的势	(180)
7.2.1 矢势和标势	(180)
7.2.2 规范变换和规范不变性	(181)
7.2.3 达朗伯方程	(182)
7.2.4 推迟势	(184)

§ 7.3 电偶极辐射	(186)
7.3.1 辐射的一般讨论	(186)
7.3.2 电偶极辐射场	(187)
7.3.3 辐射能流密度和辐射功率	(191)
§ 7.4 非相对论运动带电粒子的辐射	(193)
7.4.1 李纳-维谢尔势	(193)
7.4.2 $v \ll c$ 时运动带电粒子的辐射场	(194)
§ 7.5 电磁动量	(197)
习题	(199)
第八章 狭义相对论	(202)
§ 8.1 相对论的基本原理 洛伦兹变换	(202)
8.1.1 爱因斯坦的基本假定	(202)
8.1.2 事件和两事件的间隔	(203)
8.1.3 洛伦兹变换	(205)
8.1.4 速度变换	(207)
§ 8.2 相对论的时空理论	(209)
8.2.1 同时的相对性	(209)
8.2.2 长度的收缩	(210)
8.2.3 时钟的变慢	(211)
8.2.4 因果律和相互作用的最大传播速度	(212)
§ 8.3 质能关系	(214)
8.3.1 几个四维量	(214)
8.3.2 能量关系	(217)
8.3.3 质能关系	(218)
习题	(222)
附录	(224)
参考文献	(227)
第三篇 热力学 统计物理学	(228)
第九章 热力学基本方程和热力学函数	(228)
§ 9.1 热力学系统的平衡状态	(228)
9.1.1 热力学系统	(228)
9.1.2 平衡态与状态参量	(229)

9.1.3	状态方程	(229)
9.1.4	准静态过程	(230)
9.1.5	广延量和强度量	(231)
§ 9.2	热力学定律	(231)
9.2.1	热力学第零定律	(231)
9.2.2	热力学第一定律	(232)
9.2.3	热力学第二定律	(232)
9.2.4	热力学第三定律	(233)
9.2.5	关于热力学定律的表述方式	(234)
§ 9.3	功、热量和熵	(234)
9.3.1	功的表达式	(234)
9.3.2	热量的计算	(236)
9.3.3	熵差的计算	(237)
§ 9.4	热力学函数	(238)
9.4.1	热力学基本方程	(238)
9.4.2	热力学函数	(239)
9.4.3	特性函数	(239)
9.4.4	解决热力学问题的一般思路	(241)
§ 9.5	麦克斯韦关系	(242)
9.5.1	麦克斯韦关系	(242)
9.5.2	麦克斯韦关系的应用	(243)
§ 9.6	磁介质的热力学性质	(245)
9.6.1	绝热去磁致冷效应	(245)
9.6.2	复杂磁介质	(246)
§ 9.7	辐射场的热力学性质	(246)
§ 9.8	热动平衡条件	(248)
9.8.1	开系的热力学方程	(248)
9.8.2	热动平衡判据	(249)
9.8.3	相平衡	(250)
习题		(252)
第十章	玻耳兹曼统计	(255)
§ 10.1	微观运动状态的描述	(255)

10.1.1	全同近独立粒子系	(255)
10.1.2	μ 空间	(256)
10.1.3	相格	(256)
10.1.4	几个例子	(257)
§ 10.2	宏观态与微观态	(258)
10.2.1	宏观态与微观态的关系	(258)
10.2.2	微观态数	(259)
§ 10.3	等几率原理	(260)
10.3.1	等几率原理	(260)
10.3.2	热力学几率	(261)
10.3.3	最可几分布	(261)
§ 10.4	玻耳兹曼分布	(262)
10.4.1	玻耳兹曼分布	(262)
10.4.2	配分函数	(264)
§ 10.5	热力学公式	(265)
10.5.1	内能	(265)
10.5.2	状态方程	(265)
10.5.3	熵	(266)
10.5.4	熵的统计意义	(267)
10.5.5	统计物理的一般方法	(268)
§ 10.6	单原子分子理想气体	(268)
10.6.1	配分函数	(268)
10.6.2	热力学函数	(269)
10.6.3	吉布斯详谬	(270)
10.6.4	麦克斯韦速度分布律	(270)
10.6.5	重力场中粒子按高度的分布	(272)
§ 10.7	热容量的经典理论	(273)
10.7.1	能量均分定理	(273)
10.7.2	经典气体的热容量	(274)
10.7.3	经典固体的热容量	(275)
§ 10.8	量子的玻耳兹曼分布	(276)
§ 10.9	量子论对热容量的修正	(278)

10.9.1 固体的热容量	(278)
10.9.2 气体的热容量	(280)
习题	(281)
第十一章 玻色统计和费米统计	(283)
§ 11.1 玻色子、费米子和定域子	(283)
§ 11.2 玻色分布与费米分布	(285)
11.2.1 玻色系统与费米系统的热力学几率	(285)
11.2.2 玻色分布与费米分布	(286)
§ 11.3 热力学公式	(287)
11.3.1 巨配分函数	(288)
11.3.2 宏观热力学量	(288)
§ 11.4 光子气体	(290)
11.4.1 光子气体的分布函数	(290)
11.4.2 能量按频率的分布	(290)
11.4.3 光子气体的热力学量	(291)
§ 11.5 金属中的自由电子	(292)
11.5.1 金属的自由电子模型	(292)
11.5.2 费米能	(293)
11.5.3 电子气体的热容量	(294)
§ 11.6 三种分布的关系	(296)
11.6.1 分布函数的比较	(296)
11.6.2 $A \gg 1$ 的微观意义	(296)
11.6.3 $A \gg 1$ 的宏观意义	(297)
习题	(299)
第十二章 系综统计理论	(301)
§ 12.1 系综的基本概念	(301)
12.1.1 Γ 空间	(301)
12.1.2 系综的概念	(302)
12.1.3 分布函数	(303)
12.1.4 量子系统	(304)
§ 12.2 微正则分布	(304)
12.2.1 微正则分布	(304)

12.2.2 热力学公式	(305)
§ 12.3 正则分布	(306)
12.3.1 正则分布	(306)
12.3.2 配分函数	(307)
12.3.3 经典系统	(307)
12.3.4 热力学公式	(308)
§ 12.4 巨正则分布	(310)
12.4.1 巨正则分布	(310)
12.4.2 巨配分函数	(311)
12.4.3 热力学公式	(312)
§ 12.5 用巨正则分布导出最可几分布	(313)
§ 12.6 三种系综的关系	(315)
12.6.1 正则分布的能量涨落	(315)
12.6.2 巨正则分布的粒子数涨落	(316)
12.6.3 三种系综的关系	(317)
习题	(319)
参考文献	(320)
第四篇 量子力学	(321)
第十三章 波函数和薛定谔方程	(321)
§ 13.1 量子力学的诞生	(321)
§ 13.2 波函数及其统计解释	(324)
13.2.1 波粒二象性的相容	(324)
13.2.2 几率波	(325)
13.2.3 对波函数的基本要求	(327)
§ 13.3 态叠加原理	(328)
13.3.1 量子态与波函数	(328)
13.3.2 态叠加原理	(328)
§ 13.4 薛定谔方程	(330)
13.4.1 方程的引进	(330)
13.4.2 几率流密度	(332)
习题	(335)
第十四章 定态薛定谔方程的应用	(336)

§ 14.1	定态的概念及特点	(336)
§ 14.2	一维无限深势阱	(337)
§ 14.3	势垒贯穿	(341)
§ 14.4	线性谐振子	(345)
§ 14.5	氢原子	(348)
习题		(354)
第十五章	量子力学中的力学量	(356)
§ 15.1	线性厄密算符	(356)
15.1.1	算符	(356)
15.1.2	线性算符	(356)
15.1.3	厄密算符	(357)
15.1.4	算符间的对易关系	(358)
§ 15.2	力学量用算符表示	(359)
15.2.1	算符的物理意义	(359)
15.2.2	可观测量的条件	(360)
15.2.3	可观测量的平均值	(361)
15.2.4	不同可观测量同时具有确定值的条件	(364)
15.2.5	守恒量	(365)
§ 15.3	量子力学中的常用算符	(365)
15.3.1	坐标算符	(365)
15.3.2	动量算符	(366)
15.3.3	能量算符	(367)
15.3.4	角动量算符	(368)
§ 15.4	量子力学的矩阵表述	(369)
15.4.1	状态的矩阵表示	(369)
15.4.2	算符的矩阵表示	(373)
15.4.3	重要公式的矩阵表示	(375)
15.4.4	么正变换	(378)
习题		(381)
第十六章	微扰理论	(384)
§ 16.1	非简并定态微扰理论	(384)
§ 16.2	简并定态微扰理论	(388)

§ 16.3 含时微扰理论	(392)
§ 16.4 光的吸收和发射	(395)
16.4.1 光的吸收和受激发射	(395)
16.4.2 自发辐射的爱因斯坦理论	(398)
16.4.3 选择定则	(399)
习题	(401)
第十七章 自旋及全同粒子体系	(403)
§ 17.1 电子的自旋算符和自旋波函数	(403)
17.1.1 自旋概念	(403)
17.1.2 自旋算符	(404)
17.1.3 电子波函数	(406)
§ 17.2 中心力场中的电子	(407)
17.2.1 总角动量	(407)
17.2.2 角动量的表象	(408)
§ 17.3 塞曼效应	(410)
17.3.1 强磁场中的简单塞曼效应	(410)
17.3.2 弱磁场中的复杂塞曼效应	(412)
§ 17.4 全同粒子的特性	(413)
§ 17.5 泡利原理 全同粒子体系波函数	(415)
§ 17.6 双电子体系(氦原子)	(418)
习题	(421)
参考文献	(423)
常用物理常数简表	(424)

第一篇 理论力学

第一章 质点动力学

质点动力学是理论力学中讨论的最简单最基本的动力学问题. 一般情况下, 按质点运动时是否受到约束(来自其它物体的限制)而分为自由质点和非自由质点. 自由质点是指运动时不受约束的质点, 如人造地球卫星、飞行中的炮弹等; 反之, 如果其运动受到约束的质点称为非自由质点. 因而质点动力学可分为自由质点和非自由质点动力学两大类. 质点动力学在实际应用中解决两类问题: 第一类问题, 已知质点的运动, 求作用在质点上的未知力; 第二类问题, 已知作用在质点上的力, 求质点的运动.

§ 1.1 自由质点的运动微分方程

1.1.1 运动微分方程

对给定的某一自由质点, 其质量为 m , 作用在质点上的合力 F , F 可以是恒定的, 也可以是坐标、速度和时间的函数. 由牛顿第二定律, 自由质点运动微分方程的矢量形式为

$$m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, \dot{\mathbf{r}}, t), \quad (1.1.1)$$

在空间直角坐标中的投影形式为

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= F_x(x, y, z; \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}; t), \\ m\ddot{y} &= F_y(x, y, z; \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}; t), \\ m\ddot{z} &= F_z(x, y, z; \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}; t). \end{aligned} \right\} \quad (1.1.2)$$