



JIN DAI WU LI XUE GAI LUN

近代物理学概论

耶 祖 林

武汉大学出版社

责任编辑 史新奎

封面设计 彭海平

ISBN 7-307-00000-8/O·1

定价：3.70元

近代物理学概论

鄒祖林

武汉大学出版社

近代物理学概论

郭祖林

•

武汉大学出版社出版 新华书店湖北发行所发行

湖北科学技术出版社黄冈印刷厂印刷

•

850×1168毫米 32开本 15,625印张 1插页 395千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

ISBN 7-307-00000-8/O·1

印数：1 000 定价：3.70元

内 容 简 介

本书是根据武汉大学无线电信息工程系讲授近代物理学的讲义改编的。全书分十一章，主要包括狭义相对论、原子物理与量子力学、原子核和基本粒子等近代物理学的基本内容，取材新颖，表述清晰，结构合理，物理概念突出，较繁复的数学推导放在附录部分，每章后面都附有习题，便于自学。

本书可作为理工科大学非物理专业近代物理学课程教材，也可供科技人员参考和广大青年读者自学之用。

环 球 出 版 社 出 版

序

19世纪末以来,物理学得到了突飞猛进的发展,不论在理论还是在实际应用方面都取得了许多极重要的成就.今天,自然科学技术的各个方面都离不开近代物理学的知识。为了满足非专攻物理专业的学生的需要,编者根据授课的讲义编写了这本书。

全书共分十一章,基本上可以分为四部分:相对论、原子物理和量子力学、原子核物理、基本粒子。其中,相对论部分带有一定的独立性,如果课时太紧的话,可以承认或不讲这部分内容,而直接引用其主要公式。为了不打断学生思路的连续性,一些数学推导放在附录部分处理。本书有一定数量的例题,每章末附有习题,便于学生自学。

本书在编写过程中得到了许多同志的帮助,特别是张承修教授和刘福庆教授仔细地审阅了书稿并提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于本书涉及的范围广,加上编者的水平有限,经验不足,一定会存在某些错误之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

一九八七年于珞珈山

目 录

绪论	(1)
第一章 狭义相对论	(4)
§ 1-1 伽利略变换	(4)
§ 1-2 经典力学的相对性原理	(9)
§ 1-3 电磁学定律与经典相对性原理	(11)
§ 1-4 迈克尔逊-莫雷实验	(14)
§ 1-5 狭义相对论的基本原理	(18)
§ 1-6 相对论时间膨胀	(25)
§ 1-7 相对论长度收缩	(29)
§ 1-8 同时的相对性	(31)
§ 1-9 时空间隔	(36)
§ 1-10 相对论动量	(39)
§ 1-11 相对论能量	(45)
§ 1-12 能量和动量的洛伦兹变换	(49)
§ 1-13 质能关系	(54)
§ 1-14 相对论与牛顿力学	(59)
习题	(61)
第二章 粒子和波	(64)
§ 2-1 黑体辐射	(64)

§ 2-2	光电效应	(70)
§ 2-3	光子的能量和动量	(74)
§ 2-4	康普顿效应	(76)
§ 2-5	德布罗意假设及其实验验证	(80)
§ 2-6	波函数	(86)
§ 2-7	波函数的几率解释	(87)
§ 2-8	海森伯测不准原理	(94)
	习题	(98)

第三章 玻尔的原子模型 (101)

§ 3-1	汤姆逊模型	(101)
§ 3-2	α 粒子散射实验	(104)
§ 3-3	卢瑟福模型	(107)
§ 3-4	原子光谱	(114)
§ 3-5	玻尔理论	(118)
§ 3-6	核运动的影响	(126)
§ 3-7	夫兰克-赫兹实验	(131)
§ 3-8	威尔逊-索末菲量子化通则	(134)
§ 3-9	索末菲模型	(137)
§ 3-10	对应原理	(141)
	习题	(143)

第四章 薛定谔方程及一维定态 (146)

§ 4-1	薛定谔方程	(146)
§ 4-2	定态薛定谔方程	(151)
§ 4-3	一维无限深势阱	(154)
§ 4-4	简谐振子势	(163)
§ 4-5	势垒贯穿	(172)

(189) 习题	(178)
第五章 量子力学中的力学量	(181)
§ 5-1 算符	(181)
§ 5-2 算符的本征值和本征函数	(185)
§ 5-3 力学量的算符表示	(193)
§ 5-4 力学量测量结果的几率 平均值	(199)
§ 5-5 不同力学量同时有确定值的条件	(211)
习题	(218)
第六章 单电子原子	(219)
§ 6-1 球坐标中的薛定谔方程	(219)
§ 6-2 本征值和本征函数	(226)
§ 6-3 氢原子核外电子的几率分布	(234)
§ 6-4 轨道角动量	(240)
§ 6-5 轨道磁矩	(247)
§ 6-6 史特恩-盖拉赫实验和电子自旋	(251)
§ 6-7 自旋-轨道相互作用	(259)
§ 6-8 总角动量	(262)
§ 6-9 自旋-轨道相互作用能和氢原子能级的精细结构	(265)
习题	(270)
第七章 多电子原子	(271)
§ 7-1 全同粒子体系	(271)
§ 7-2 泡利原理	(275)
§ 7-3 氦原子	(278)
§ 7-4 自洽场方法简介	(285)

(871) § 7-5 元素周期表.....图 (292)

§ 7-6 碱金属原子.....(296)

(181) § 7-7 具有两个以上价电子的原子.....(304)

(181) § 7-8 塞曼效应.....(313)

(681) § 7-9 原子的激发与辐射.....(321)

(201) § 7-10 激光.....(325)

(201) 习题.....(329)

第八章 固体的能带结构.....(331)

§ 8-1 晶体及其分类.....(331)

(611) § 8-2 晶体的能带结构.....(334)

(611) § 8-3 导体、半导体和绝缘体.....(337)

(291) § 8-4 本征半导体和杂质半导体.....(340)

(181) § 8-5 p-n结及其他半导体器件.....(343)

(611) 习题.....(349)

第九章 X射线.....(350)

(611) § 9-1 X射线的产生.....(350)

(181) § 9-2 X射线发射谱.....(351)

§ 9-3 莫塞莱定律.....(359)

(601) § 9-4 X射线的吸收.....(362)

(611) 习题.....(365)

第十章 原子核.....(366)

(111) § 10-1 原子核的某些基本性质.....(366)

(611) § 10-2 核力简介.....(376)

(811) § 10-3 原子核结构模型简介.....(384)

(181) § 10-4 原子核衰变.....(396)

§ 10-5	原子核反应	(412)
§ 10-6	重核的裂变	(421)
§ 10-7	轻核的聚变	(426)
	习题	(430)
第十一章 基本粒子		(434)
§ 11-1	正电子	(434)
§ 11-2	光子和电磁相互作用	(438)
§ 11-3	π 介子和强相互作用	(440)
§ 11-4	弱相互作用	(443)
§ 11-5	同位旋	(446)
§ 11-6	μ 子	(447)
§ 11-7	强子	(449)
§ 11-8	守恒定律	(455)
§ 11-9	夸克(层子)模型	(460)
	习题	(468)
附录A	(3.8)式的推导	(470)
附录B	简谐振子的能级和波函数	(473)
附录C	球坐标中的角动量算符和拉普拉斯算符	(481)
附录D	基本常数	(486)
附录E	希腊字母表	(487)
附录F	稳定粒子表	(488)

绪 论

物理学的发展可以分为两个时期，19世纪末以前是经典物理学时期，从那时起一直到现在是近代物理学时期。

在经典物理学时期，由于客观条件的限制，物理学家们只能用比较简单的仪器设备对物理现象进行研究，因此，经典物理学的发展经历了漫长的道路。19世纪，欧洲各资本主义国家的工业生产有了很大的发展，进而促进了科学的发展。到19世纪末，经典物理学（通常划分为力学、热学、声学、光学和电磁学等分支）已经发展到相当完善的阶段，建立了完整的三大理论体系，这就是力学、热力学及统计物理学、电动力学，并且应用这些理论能够解决许多重大问题。于是，当时绝大多数物理学家认为，物理现象基本弄清，重要定律已全被发现，理论已经完备，留给后人做的工作只不过是把已有的实验做得更精确些，在测量数据的小数点后面多添加几位有效数字而已，以后的进展只不过是次要问题的补充罢了。例如，1900年，著名的英国物理学家开尔文在一篇展望20世纪物理学的文章中宣称：“在已经基本建成的科学大厦中，后辈物理学家只要做一些零碎的修补工作就行了”。

这种认为经典物理学的理论是“最终理论”的观点当然是错误的。从理论上讲，辩证唯物主义认为，在绝对的总的宇宙发展过程中，各个具体过程的发展都是相对的，因而在绝对真理的长河中，人们对于在各个一定发展阶段上的具体过程的认识只具有

相对的真理性。物理学作为一门科学，当然也会不断发展。事实上，当时生产力的巨大发展对科学实验不断提出了新的要求，促使科学实验进入到一个新的发展阶段。人们发现，有些新的实验现象如迈克尔逊-莫雷实验及黑体辐射实验用经典理论不能得到圆满的解释。正因为如此，在同一篇文章中，开尔文也说出了他的担心：“但是，在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云”。不过，他万万没有料到，正是由于那两朵小小乌云的迅速扩散，终于在19世纪末、20世纪初演变为漫天乌云，在物理学领域引起了一场暴风雨，出现了一场意义重大的革命。以后我们会看到，正是热辐射实验导致普朗克于1900年建立了量子理论，随后，薛定谔等人于1925年创立了量子力学，正是迈克尔逊-莫雷实验和其他实验事实一起，导致爱因斯坦于1905年建立了狭义相对论。从此以后，物理学得到了突飞猛进的发展，进入了一个新的时期——近代物理学时期。

量子力学和相对论是近代物理学的两大理论支柱。通常，近代物理学还包括原子物理、固体物理、原子核物理、基本粒子物理学分支学科的基础知识。正因为如此，应用近代物理学的知识可以对各类固体材料、半导体、激光、超导、超流、新能源等进行研究。从某种意义上说，任何现代生产技术都离不开近代物理学。不仅如此，近代物理学的基本理论对其他学科（如近代化学、近代生物学、近代宇宙学…）也产生了深刻的影响。因此，有人说近代物理学是整个自然科学和现代技术的基础，这丝毫不过分。另一方面，通过对近代物理学的学习，可以大大加强人类对自然界的认识，当然也极大地改变了人类对自然界的支配地位，标志着人类认识的巨大进步。例如，对于物质的存在方式及运动形式，时间和空间，物质和真空，实物和场，粒子和波，连续和间断，质量和能量，物质结构的层次和自然界的发展历史等一系列基本问题，近代物理学都能给予比经典物理学更圆满的解释。

答，它给人们提供了一幅关于物质世界更全面、更深入因而也更真实的“图画”。因此，近代物理学也改造了人们的思想方法，对哲学思想和其他社会思想产生了深刻的影响。

值得注意的是，近代物理学与经典物理学并非毫不相关，恰恰相反，二者是互相联系的。在学习经典物理学时我们已经看到，如果讨论的对象是低速运动的宏观物体，用经典物理学就已经能够很精确地描述它们了，而且这样做往往比较简单。但是，在讨论高速运动的物体及微观领域的问题时，必须应用近代物理学，否则将导致错误的结论。总之，它们有不同的适用范围，不存在经典物理学是错误的而近代物理学是正确的这样的问题。现在，普遍的看法是：经典力学和电磁学是近似的理论，它们包含在量子力学与相对论这样更广泛的理论之中。这也提醒人们：任何理论都不是永恒的真理。可以预言，将来某个时候人们会发现，量子力学和相对论也还是近似的理论，可以将它们纳入一个更普遍的、能够更有效地描述更广阔范围的物理现象的理论之中。当然，无法肯定应该到哪里去寻找这些理论，但是，一般说来，对科学尖端的探索常会导致意料不到的发现。有人猜测，这些理论有可能通过那些探索物质结构更深层次的物理学家们揭示出来，也有可能被天体物理学家在观测宇宙的未知部分时找到。

第一章 狭义相对论

相对论主要是关于时空的理论。相对论时空观的建立是人们对物理现象认识上的一个飞跃。相对论是现代物理学的两大理论支柱之一，是许多基础科学和现代工程技术所不可缺少的理论基础。相对论分为狭义相对论和广义相对论。局限于惯性参考系的理论称为狭义相对论，推广到一般参考系和包括引力场在内的理论称为广义相对论。本章仅限于讨论狭义相对论（以下简称相对论），主要包括以下内容：

- (1) 相对论的基本原理和洛伦兹变换；
- (2) 相对论时空观；
- (3) 相对论力学。

§ 1-1 伽利略变换

为了描述物体的运动，需要测量位置和时间，这必定涉及到参考系。也就是说，物理规律需要借助于一定的参考系方能表述清楚。一般说来，运动规律可以用任何参考系表述，不过，为简单起见，我们只考虑对惯性定律成立的参考系，这样的参考系叫做惯性参考系或简称惯性系。

为了研究在不同惯性系中位置测量和时间测量的关系，在以后的讨论中，我们引进两个惯性系 Σ 和 Σ' ，如图1-1所示，两个

观察者分别在这两个参考系中观察。设某物体位于 P 点，它在 Σ 系中的坐标是 (x, y, z) ；在 Σ' 系中的坐标是 (x', y', z') 。由图可见，在 Σ 系中， Σ' 系的原点 O' 的坐标是 $(x_0, 0, 0)$ ，因而有以下关系：

$$\begin{aligned} x &= x' + x_0, \\ y &= y', \\ z &= z'. \end{aligned} \quad (1.1)$$

而在 Σ' 系中， Σ 系原点 O 的坐标是 $(x_0', 0, 0)$ ，因此，有

$$\begin{aligned} x' &= x + x_0', \\ y' &= y, \\ z' &= z. \end{aligned} \quad (1.2)$$

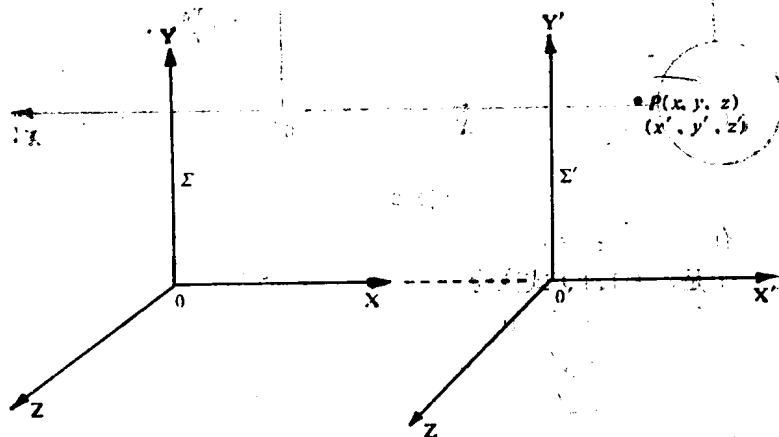


图1-1

自然，我们在得出以上两式时，还必须假定空间是绝对的、均匀的、各向同性的。

测量时间需要时钟。我们假定，在每个坐标系的原点各放置

合时钟，而且，当坐标系的原点重合时，两台时钟的读数均为零；在运动过程中，两台钟相对静止，钟的快慢也完全一样。注意，并未假定钟的速率如何随运动而改变。

现在，设 Σ' 系相对于 Σ 系以速度 v 沿 X 轴正向作匀速直线运动，如图 1-2 所示。速度 v 可以通过 0 处的钟测量出来，由速度的定义式

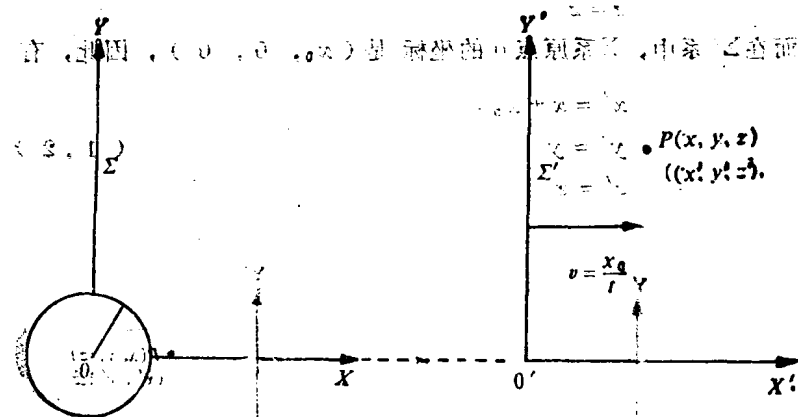


图 1-2

有 $x_0 = vt$
于是，(1.1) 式变为

$$\begin{aligned}x &= x' + vt' \\y &= y' \\z &= z'\end{aligned}$$

即

$$x' = x - vt'$$

同样，如果设 Σ 系相对于 Σ' 系以速度 v 沿 X' 轴负向作匀速