

近代物理概论讲义

丁兴富 等编

中央广播电视大学出版社

近代物理概论讲义

中央广播电视大学物理组 编
《近代物理概论讲义》编写组

中央广播电视大学出版社

近代物理概论讲义
中央广播电视大学物理组 编
《近代物理概论讲义》编写组

※

中央广播电视大学出版社出版
新华书店北京发行所发行
武汉市江汉印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/32 印张 13.75 千字 282
1983年6月第1版 1983年10月第1次印刷
印数 1—58000
书号 13300·3 定价 1.20 元

前 言

这本讲义是为中央电大开设的近代物理课程编写的。第一编狭义相对论和第五编固体物理简介是教材。我们参考了某些远距离教学函授教材的特点，以单元为基本学习单位，平均一星期学习一个单元，在内容安排和编写方式上力争有利于自学。第二编原子物理和量子力学初步、第三编原子核物理简介和第四编基本粒子物理简介，是在两本借用教材（褚圣麟的《原子物理学》人民教育出版社，1979年和郭敦仁的《量子力学初步》人民教育出版社，1978年）的基础上编写的分单元的讲课提纲。

讲义第一编经曹昌祺教授审阅，第二编经喀兴林教授审阅，第三和第四编经高崇寿副教授审阅，第五编经甘子钊副教授审阅。审者对原稿提出了许多宝贵的意见。在编写过程中，还曾得到郭敦仁教授，李椿副教授，王殖东副教授等的指导和帮助，在此一并表示感谢。

在讲义编写中，我们曾参考了许多有关的教材和参考书，限于篇幅，未能在文中一一列举指明，仅在此对有关作者表示感谢。

讲义第一编、第二编和第四编由丁兴富执笔编写，第三编由金天允执笔编写，第五编由柳树政执笔编写。由于水平有限，经验不足，时间仓促，错误和不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者

1983年6月于北京

近代物理概论导言

这本概论讲义包括近代物理的两大支柱：狭义相对论、量子力学的基本概念和基本原理以及近代物理的几个主要分支：原子物理、原子核物理、基本粒子物理和固体物理的基础知识。

狭义相对论和量子理论都诞生在二十世紀的最初五年中。它们都是从十九世紀末经典物理学的危机中孕育产生出来的。

经典物理学(通常划分为力学、声学、热学、光学和电磁学等分支)发展到十九世紀八十年代，达到了它全盛的“黄金时代”，建立了完整的三大理论体系：机械运动(声波是弹性媒质中的机械波)服从牛顿力学；热运动服从热力学和经典统计物理；电磁场运动(包括光波，电磁波被认为是以太媒质的波动)服从麦克斯韦经典电动力学。当时绝大多数物理学家认为，运用经典理论，原则上可从电子、原子、分子在电磁场作用下的微观运动出发来说明物质的结构及其各种宏观性质。(在说明宇宙的构造演化时，只须再加上万有引力定律。)他们甚至以为经典物理是“最终的理论”，并宣布“科学的终结”。1900年，著名英国物理学家开尔文在一篇瞻望二十世紀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”。这就是说，物理世界的重要规律都已发现，今后的工作只是提高实验精度，在测量数据的小数点后面多添加几位有效数字而已。

然而，即使在当时，经典物理大厦也不是天衣无缝的。就

在同一篇文章中，开尔文说出了他的担心：“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”。这两朵乌云就是指当时经典物理无法解释的黑体辐射实验和迈克尔逊-莫雷实验。开尔文的担心是很有远见的，几乎就在经典物理达到全盛的同时，在十九世纪末和二十世纪初，物理学发展到了深入研究微观现象的新阶段。随着生产力的发展，随着技术和实验手段的改进，涌现出许多新的现象，新的发现和新的疑难。那两朵小小乌云迅速扩展，终于在两世纪之交演变成漫天乌云，引起了物理学界的一场暴风骤雨。1900年，为了解释黑体辐射实验，普朗克建立了量子理论。而迈克尔逊-莫雷实验和其他实验事实一起，否定了经典电磁理论的以太假说，为爱因斯坦建立狭义相对论(1905年)开辟了道路。这样，导致了近代科学史上著名的二十世纪物理学革命。

我们可从下面两个主要方面来理解这场物理学革命。首先，近代物理以相对论和量子力学为其理论核心，它们对经典物理学的原理作了根本改造，并且被广泛地应用于物理学的所有领域：原子物理、原子核物理、基本粒子物理、凝聚态物理（固体物理及其各个分支等）、等离子体物理等，从而促进了对各类固体材料、半导体、激光、超导、超流、新能源等的研究。可以说，我们这个二十世纪世界的现代生产技术一刻也不能离开近代物理。不仅如此，近代物理的基本理论已经对其他自然科学学科（比如近代化学、近代生物学、近代宇宙学……）产生了不可磨灭的影响。所以，认为近代物理是整个自然科学和现代技术的基础，是很有道理的。其次，相对论和量子力学以及近代物理在各个科技领域取得的成就极大地深化了人

类对自然界的认识,同时,也极大地改变了人类对自然界的支配地位,它标志了人类认识的巨大进步。对于物质的存在方式及其运动形态,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,物质的结构层次和自然界的发展历史等等基本问题,近代物理的解答(它的原理和观念)比之经典物理是一次质变和飞跃。近代物理给我们提供了一幅更全面、更深入、从而也就是更真实的关于物质世界及其历史的“图画”。近代物理改造了人类的思想方法,并对哲学思想和其他社会思想产生了深刻的影响。

所以,作为一个中学理科教师,或者作为一个工程技术人员,对于物理学的近代发展及其新成就有所了解,是完全必要的。通过本课程的学习,希望能给读者提供一个近代物理的基础,以便在今后的教学或工作实践中,能够通过自学和进修,进一步提高业务能力和学术水平。

为此目的,本教程分为五编。第一编狭义相对论,介绍相对论(本教程专指狭义相对论)的基本概念和基本原理。第二编原子物理和量子力学初步,以原子结构为中心,在分析实验事实的基础上,讲述量子力学的基本概念、基本原理、基本处理方法及其结果。第三、四、五编分别介绍原子核物理、基本粒子物理、固体物理的基本理论和基础知识。

本课程要求读者已经具备了普通物理和微积分的知识。考虑到读者尚没有学过其他理论物理课程,本教程简化了数学工具,突出了物理内容。

我们对于学习方法提几点建议。其一,近代物理的内容,尤其是相对论和量子力学的观念和原理是比较抽象的。大家

知道,相对论力学是关于高速(接近光速)运动的力学;而量子力学是关于微观世界的力学.这两方面离开人类的日常生活经验都相当遥远.所以,在学习中应注意培养自己的抽象思维能力和逻辑思维能力,而不能事事要求直观性和经典物理图象.其二,每一种理论都有它自己的发展历史和实验依据.近代物理也不例外.我们应从历史的联系中,从实验基础的背景上,去了解它们.第三,就是要提高自学能力,养成自学习惯.近代物理是一门大学中高年级的理论课程,尤其要强调自学的重要性.本讲义的编写在便于自学方面作了一些努力,希望读者注意并利用这些特点.

目 录

近代物理概论导言	1
第一编 狭义相对论	1
第1单元 狭义相对论基本原理的提出	1
学习指南	1
目的要求	2
本单元有关概念、原理总表	3
§ 1.1 狭义相对论前言	4
§ 1.2 单元引言	5
§ 1.3 经典时空观念和伽利略相对性原理	6
§ 1.4 狭义相对论产生的实验基础和历史条件	14
§ 1.5 狭义相对论基本原理	23
小结	37
作业题	39
练习题解答	41
作业题答案和提示	43
第2单元 相对论时空观	45
学习指南	45
目的要求	45
本单元有关概念、原理总表	46
§ 2.1 单元引言	47
§ 2.2 相对论速度变换法则	47
§ 2.3 同时的相对性	55
§ 2.4 相对论长度收缩	58
§ 2.5 相对论时钟延缓	63
§ 2.6 时序和因果律	73
小结	81

作业题	84
练习题解答	89
作业题答案和提示	93
第3单元 相对论力学	96
学习指南	96
目的要求	96
本单元有关概念、原理总表	97
§ 3.1 单元引言	98
§ 3.2 相对论力学的建立	98
§ 3.3 相对论动力学基本方程及其经典极限	
相对论质量和相对论动量	109
§ 3.4 相对论动能定理 相对论质能关系	114
§ 3.5 相对论动量与能量关系 相对	
论能量 动量守恒定律	118
小结	126
作业题	129
练习题解答	131
作业题答案和提示	133
第二编—第四编编写体例说明	136
第二编 原子物理和量子力学初步	137
第4单元 旧量子论	137
§ 4.1 氢原子光谱规律	138
§ 4.2 黑体辐射和普朗克量子理论	140
§ 4.3 爱因斯坦的光子理论	143
§ 4.4 玻尔氢原子理论	144
§ 4.5 夫兰克-赫兹实验和原子能级的证实	146
* § 4.6 威耳孙-索末菲量子化通则	147
第5单元 量子力学的基本概念	150
§ 5.1 从光的波粒二象性到德布罗意物质波假说	150

§ 5.2	波函数及其统计诠释	153
§ 5.3	量子态的普遍迭加原理	157
§ 5.4	力学量的平均值和算符表示	160
§ 5.5	海森伯不确定关系	164
第 6 单元	薛定谔方程及其对一维问题的应用	167
§ 6.1	薛定谔方程	167
§ 6.2	一维无限深势阱	169
§ 6.3	线性谐振子	175
第 7 单元	力学量的算符表示	178
§ 7.1	力学量算符的性质	178
§ 7.2	力学量的本征值和本征态	181
§ 7.3	动量算符的本征值和本征态	186
§ 7.4	能量本征方程 定态特征	187
§ 7.5	轨道角动量算符的本征值和本征态	187
§ 7.6	对易关系和同时测量	189
* § 7.7	力学量与哈密顿算符的对易关系守恒量	190
第 8 单元	氢原子	195
§ 8.1	氢原子的定态解 三个量子数	195
§ 8.2	氢原子核外电子的几率分布	202
§ 8.3	电流和磁矩	204
§ 8.4	类氢离子的光谱规律及其量子力学解释	206
第 9 单元	定态微扰论	209
§ 9.1	氢原子的波动方程及其零级近似解	209
§ 9.2	非简并定态一级微扰论	211
§ 9.3	计算氢原子基态能量	214
§ 9.4	碱金属原子光谱规律和能级	215
* § 9.5	碱金属原子光谱规律的解释	217
第 10 单元	电子自旋	222
§ 10.1	碱金属原子光谱的精细结构	222
§ 10.2	电子自旋假说及其实验验证	223

§ 10.3	电子自旋的量子力学处理	223
§ 10.4	角动量相加 矢量模型	230
* § 10.5	自旋与轨道相互作用 光谱精细结构的解释	231
第 11 单元	多电子原子	236
§ 11.1	氢及碱土金属光谱规律和原子能级	236
§ 11.2	两个价电子的电子组态和原子态	237
§ 11.3	多电子的原子态	240
§ 11.4	多电子原子光谱的一般规律	242
§ 11.5	原子的壳层结构 元素周期表	243
* § 11.6	x 射线谱简介	245
第 12 单元	磁场中的原子 塞曼效应	248
§ 12.1	原子的磁矩	248
§ 12.2	在外磁场中原子能级的分裂	248
§ 12.3	斯特恩-盖拉赫实验的解释	250
§ 12.4	塞曼效应	251
* 第 13 单元	多电子原子(续)	254
§ 13.1	全同粒子系波函数的对称性	254
§ 13.2	两个电子的自旋波函数	255
§ 13.3	正氦和仲氦 氦原子激发态的能量	256
第三编	原子核物理简介	259
第 14 单元	原子核的性质(一)	259
§ 14.1	原子核的基本性质	259
§ 14.2	原子核的放射衰变	266
第 15 单元	原子核的性质(二)	271
§ 15.1	核力简介	272
§ 15.2	射线和物质的相互作用	274
§ 15.3	放射性的应用	276
§ 15.4	原子核结构模型简介	276
第 16 单元	原子核反应	280
§ 16.1	原子核反应	280

§ 16.2	原子核反应的各种机制	282
§ 16.3	原子核的裂变和原子能	284
§ 16.4	原子核的聚变	285
第四编 基本粒子物理简介		287
第 17 单元 基本粒子的性质 守恒定律和对称原理		287
§ 17.1	基本粒子和基本相互作用	287
§ 17.2	基本粒子发现简史	289
§ 17.3	守恒定律和对称原理	293
第 18 单元 强子分类和层子模型		296
§ 18.1	共振态	296
§ 18.2	强子分类和层子模型	297
§ 18.3	新粒子	301
* § 18.4	基本相互作用理论浅说	303
第五编 固体物理简介		305
第 19 单元 晶体几何 晶体的结合		305
学习指南		305
基本要求		307
本单元有关概念、原理总表		306
§ 19.1	固体物理前言	308
§ 19.2	晶体内部结构的周期性	310
* § 19.3	晶向、晶面和它们的标志 倒格子	325
§ 19.4	晶体的对称性 晶系	329
§ 19.5	晶体结合力的普遍性质	341
§ 19.6	晶体的基本结合形式	347
§ 19.7	晶体的结合与原子结构的关系	352
* § 19.8	离子晶体的结合能与马德隆常数	355
* § 19.9	密堆积	358
小结		360
练习题解答		361
第 20 单元 晶格振动和晶体的热学性质		365

学习指南	365
基本要求	365
本单元有关概念、原理总表	365
§ 20.1 单元引言	366
§ 20.2 晶格振动 格波	367
§ 20.3 声子 晶体的热容量	383
* § 20.4 爱因斯坦和德拜模型	387
* § 20.5 简正振动 非简谐效应	392
第 21 单元 能带论基础	397
学习指南	397
基本要求	397
本单元有关概念、原理总表	397
§ 21.1 单元引言	397
§ 21.2 金属中的自由电子模型	401
§ 21.3 布洛赫定理	405
§ 21.4 克龙尼克-潘纳模型	410
* § 21.5 能带的计算方法	419
§ 21.6 导体、半导体和绝缘体的能带结构	423

第一编 狭义相对论

第1单元 狭义相对论基本原理的提出

学习指南

本教材是参考某些远距离教学的教材编写的。整个教材以单元为基本学习单位，每星期学习一个单元(每星期电视播课4学时，自学8学时，共12学时)。第1、2、3单元是狭义相对论，全部学习内容都包含在这份自足的教材中。每个单元的正文前面，有目录、学习指南、目的要求和本单元有关概念、原理总表，希望在学习正文之前使读者对整个单元的内容和基本要求有个大致的了解，也可供读者深入阅读正文时参考。正文后部有单元小结，供复习总结时利用。在象广播电视大学这样一类远距离教学中，学习的一方占主导地位。所以，我们的要求是：认真钻研教材(与电视播课相比，这份书面教材是主体)本身。主动思考问题(对某些关键问题，我们使用了一个特别的双问号“??”，请停顿一下，思考一下，尝试自己来解答问题，然后再阅读下文)。正文中配有适量的例题和练习题，练习题要求你在阅读过程中自己动手独立完成(每单元末有练习题解答，那是为了比较和检查结果供你参考的)。单

元末的作业题是配合整个单元的基本要求的，除了带*号的作为选做题外要争取完成。（单元末有作业题答案，有的有提示，不给出解答）。为了照顾到教材的系统 and 完整，也为了满足不同读者的需要，我们把这份教材包含的材料分为两个等级：基本内容（这部分内容构成了正文的主体，要求认真阅读，基本内容中还规定了重点内容和学完后必须达到的基本要求，都在每单元前面的“目的要求”中作了明确说明），扩展内容（这部分内容包括某些较深或较偏的专题，它们在正文中用带*号的章节列出，只要求一般地阅读了解）希望你在学习时注意这两部分内容的差别，确保掌握基本内容，突出重点，达到基本要求。

目的要求

本单元补充讨论了经典时空观念、伽利略变换和经典力学满足的伽利略相对性原理，为了后面学习狭义相对论主要内容时有所对比，加深理解。

本单元讨论了经典物理学与新的实验事实的矛盾冲突，目的是为了说明，狭义相对论是在怎样的实验基础和历史条件下产生的。

本单元的重点内容是爱因斯坦狭义相对论的两条基本原理和洛伦兹变换。

学完本单元后要求做到：

(1) 掌握伽利略变换（主要指伽利略平动变换）及其反映出来的经典时空观念。

(2) 从物理理论协变的角度了解经典力学满足伽利略相对性原理。

本单元有关概念、原理总表

本单元引进的	页码	本单元引进的	页码
牛顿-伽利略经典时空观念	9	两激光器实验	26
不变量	11	事件	27
不变式	11	间隔不变性	29
π^0 介子衰变发射光子实验	27	物理量的变换法则(变换定律)	8
以太假说	15	空间转动变换	7
以太的力学模型	16	空间长度 ΔL	10
机械论	14	直尺	35
迈克尔逊-莫雷实验	18	最优惯性系	18
光速不变原理	26	绝对运动	18
伽利略相对性原理	10	相对性原理	26
伽利略平动变换	8	相对论不变量	29
伽利略变换	11	相对论变换方程	33
伽利略速度变换法则	9	相对论时空观	34
伽利略变换不变量	11	经典极限条件(非相对论条件)	37
协变	11	洛伦兹收缩假说	23
协变式	11	洛伦兹变换(公式)	34
时间间隔 Δt	9	洛伦兹正变换	37
时空坐标 (x, y, z, t)	28	洛伦兹逆变换	37
时空间隔 Δs	29	特劳顿-诺布耳实验	22
时间、空间的度量基准	35	爱因斯坦狭义相对论的两条基 本原理	26
时钟	35	瑞利-布拉斯实验	22
完全牵引假说	23	穆斯堡尔效应实验	26
里兹发射假说	23		
前导课程引进的	页码	前导课程引进的	页码
牛顿运动定律	10	光速	15
电磁波	15	光的电磁学说	15
半衰期	35	迈克尔逊干涉仪	18
自由电磁波波动方程	15	坐标系	6
机械波波动方程	15	坐标变换	7