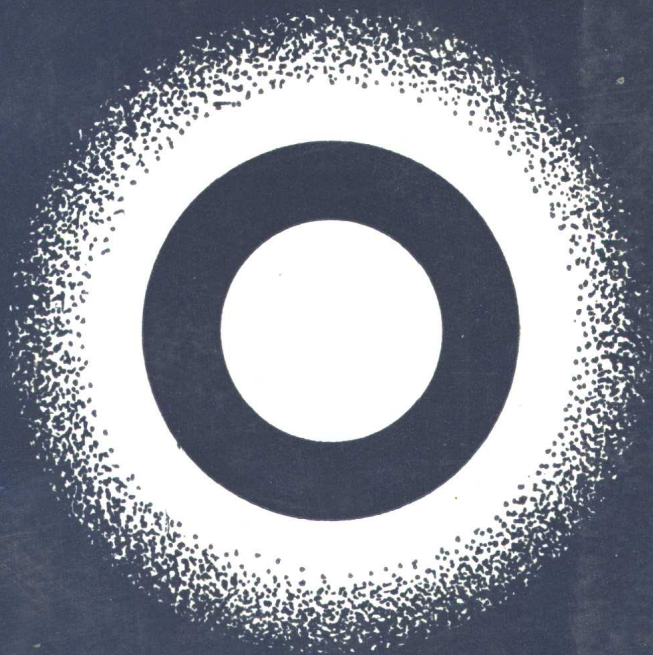




孙念台 编著

近代物理学基础

北京师范大学出版社

近代物理学基础

孙念台 编著

北京师范学院出版社

1988年·北京

近代物理学基础

孙念台 编著

*

北京师范学院出版社出版

(北京阜成门外花园村)

新华书店首都发行所发行

国防科工委印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 18.75 字数: 426千

1988年2月北京第1版 1988年2月北京第1次印刷

印数: 0,001—2000册

ISBN 7-81014-072-8/G·70

统一书号: 7427·192 定价: 4.15元

序

本书是一本相当于大学普通物理水平的近代物理基础课教材。它可以做为普通物理课中近代物理部分的教材，也可以做为单独一门课的教材。适于大学本科和专科各类专业使用，也适于用做中学物理教师进修或个人自学的教材。

为了使本书尽可能符合各类读者的需要，编者尽力把内容叙述得浅显一些，把重要问题讲解得更清楚和更透彻一些。

本书共分五篇。第一篇是狭义相对论，第二篇是初期量子论，第三篇是量子力学的基础知识，第四篇是原子物理学，第五篇是量子物理学的其他应用，其中包括分子结构和分子光谱，固体的一些物理性质，液氦及量子统计和原子核物理等四部分，另外有一个关于基本粒子的附录。

教师应用本书时，根据授课总时间和专业培养要求，可以就第五篇中关于分子、固体、和液氦等三章内容加以节选。又全书中比较次要的章节前面都打上了“*”号，教师或自学者也可以根据学习时间或条件略去其中一部分或全部。

编写中着重考虑了以下几点原则意见：

(一)今日的物理学包含经典物理和近代物理两大部分。普通物理课也应包含这两个部分。考虑到当前近代物理学的发展成果和它在科学技术多种领域中的大量应用，编者认为在普通物理课内，近代物理内容大约应占三分之一到五分之一。

(二)普通物理课教材内容重点的选择安排和讲授方法的特点：

编者认为，普通物理应以比较透彻地阐明基本概念、基本原理和基本方法，做为教材和讲授的重点，适当联系有关的实验知

识和重要原理的实际应用，以加深学生对重点教材的理解和印象。

为了突出上述教材重点，必须明确提出和认真贯彻这样一个编写教材的原则：即在普通物理教材中应该而且必须省略大量的较繁复的数学推导。这样做主要不是为了照顾学生的数学水平，而是为了突出关于重要原理和公式物理意义的讲解。

有很多教师认为讲授一个问题时，必须把公式的推导和问题的各个方面源源本本毫无遗漏地向学生交待清楚，不能这样做时，就感觉对学生很抱歉。这种看法实际上是来源于一种形而上学的思想方法。任何书籍都很难把一个问题讲得面面俱到，而且也不需要这样做。有所取必有所舍，削枝才能强干。每一门课程都有自己的教学目的，教材多少、侧重哪一方面，都应从教学目的来考虑。为了突出一个方面，就必须适当削减其他方面的内容，应该割舍的就必须割舍。学习者的注意力在一个时期往往只能集中于一个方面。“少则得，多则惑”。数学推导过多，必然分散学生对基本内容的注意力，也会使教师的精力分散，使教师不可能对问题的物理意义做必要的、深入细致的讲解，因而达不到普通物理课的教学目的。

因此，编者认为在普通物理教学中，必须理直气壮地、毫不犹豫地删去很多问题中的繁复的数学推导。在本书中，例如求 α 粒子散射实验中散射角公式的推导，黑体辐射问题中瑞利——金斯公式的推导，以及量子力学很多问题求解中的数学推导等等，就是基于这种考虑删去的。

(三) 原子物理和近代物理的关系：

原子物理是近代物理的一个组成部分。当然，从量子物理的形成、发展和原子物理为它提出的实验事实方面的支持来说，原子物理在近代物理中都占有一个特殊地位，但它毕竟还只是近代物理的一个组成部分。近代物理可以简单地看做是以相对论和量子力学做为基础原理的物理学。它有多方面的应用，原子物理只

是其中一方面的应用。普通物理是由经典物理和近代物理两部分基本知识所组成，并非由经典物理和原子物理两部分所组成。过去由于学习外国教材等历史原因，常常只把原子物理当做普通物理的近代部分，这在今天看来显然是不合适的。

本书即是基于上述一些原则性的考虑而写成的。在全书的五篇中，前三篇是近代物理学的理论基础，后两篇是基础理论的一些重要应用。个别的一些基本概念是结合它们的某项重要应用提出来的。例如结合原子光谱的精细结构讲了“自旋”概念，结合金属电子理论和液氦理论讲了“费密统计”和“玻色统计”。编者认为在初级物理课程中，这些概念这样提出来比较合适。根据前述第二条原则，本书在内容篇幅上突出了基础理论部分，适当精简了应用部分。

本书内容不包括关于一些实验仪器设备（例如粒子探测器和粒子加速器）的构造和原理，因为编者认为这些内容在有关实验课中予以解决比较合适。

本书所用数学知识以数学分析中的基本内容为限（包括常微分方程和偏微分方程的初步知识）。

本书所用单位制主要是SI单位制。在个别地方也依据近代物理学工作的通常习惯，用了其他一些常用的单位，如埃($\text{\AA}$ ngström)、电子伏特 (electron volt)、光年 (light year) 等等。

本书在每一章后面附有练习题一份，有些章还附有复习题。复习题的目的在于使学习者把本章的主要概念和主要原理都复习一遍，练习题的主要目的在于使学生熟习一下本章的重要公式。

欢迎读者和使用本书的教师们提出批评和建议，以便本书再版时再做一些修改。

编者

1986年10月

目 录

序

第一篇 狭义相对论

引言	1
第一章 狭义相对论的基本假设	4
第一节 相对性和不变性	4
第二节 伽利略变换	6
第三节 伽利略相对性原理	14
第四节 电磁学问题	19
第五节 迈克尔孙-莫雷实验	25
第六节 保留以太的各种努力	30
第七节 狭义相对论的两条基本假设	32
本章小结	34
第二章 空间和时间	38
第一节 同时性的相对性	38
第二节 时间测量的相对性	44
第三节 长度测量的相对性	50
第四节 洛伦兹变换公式	57
第五节 洛伦兹变换的推论	63
第六节 速度的变换	68
第七节 洛伦兹变换的实验证明	71
第八节* 多普勒效应	74
本章小结	80
第三章 相对论动力学	90
第一节 相对论和动力学	90

第二节	相对论性质量、相对论性动量和 相对论动力学基本规律	91
第三节	相对论中的能量和质能关系	97
第四节*	相对论与电磁学	112

第二篇 初期量子论

引言	116
第四章 热辐射和能量量子化	118
第一节 热辐射	118
第二节 空腔辐射的经典理论和普朗克理论	123
第三节 能量量子化	131
附录1 证明瑞利-金斯理论中空腔内驻波总数的公式	136
附录2 玻尔兹曼分布	141
附录3 普朗克公式的推导	146
第五章 电磁辐射的粒子性质	149
第一节 光电效应	149
第二节 爱因斯坦的光子学说	153
第三节 康普顿效应	156
第四节 韧致辐射	164
第五节 粒子对的产生和湮没	167
第六节 截面	172
第七节 电磁辐射的二象性	177
第六章 玻尔的原子模型	182
第一节 汤姆孙模型和 α 粒子散射实验	182
第二节 卢瑟福的核模型	185
第三节 原子光谱	192
第四节 玻尔理论	197
第五节 威耳孙-索末菲法则	202
第六节 索末菲模型	206

* 有*号的章节为选学章节.

第七节	考虑“核质量有限”做出的改正	210
第八节	夫兰克-赫兹实验	212
第九节	对应原理	215
第十节	对旧量子理论的评价	218
附录	卢瑟福 α 粒子散射的轨迹公式	221

第三篇 量子力学初步

第七章	实物粒子的波动性质	224
第一节	物质波	224
第二节	波粒二象性	235
第三节	测不准关系	239
第四节*	物质波的一些特性和测不准关系 与德布罗意假设的一致性	245
第五节	测不准关系的统计解释	253
第八章	量子力学的基本概念	258
第一节	引言	258
第二节	薛定谔方程	262
第三节	波函数的波恩解释	268
第四节	物理量的期待值	275
第五节	不含时间的薛定谔方程	283
第六节	可接受的 ψ 函数应具有的性质	288
第七节	能量量子化	290
	本章小结	300
第九章	不含时间薛定谔方程的解	305
第一节	引言	305
第二节	恒定势能	306
第三节	势阶(一)	311
第四节	势阶(二)	320
第五节	势垒	328
第六节	方势阱	335
第七节	无限深势阱	342

第八节 简谐振子	352
本章小结	359

第四篇 原子物理学

第十章 单电子原子	362
第一节 引言	362
第二节 建立薛定谔方程	364
第三节 求解不含时间薛定谔方程	366
第四节 R 、 Θ 、 Φ 等方程的解	369
第五节 本征值、量子数和简并性	371
第六节 本征函数	375
第七节 几率密度	378
第八节 轨道角动量	387
第九节 本征值方程	394
第十节 电子自旋	396
第十一节 角动量的相加和自旋-轨道效应	408
第十二节* 跃迁	413
第十三节 现代量子论和旧量子论的比较	419
第十一章 多电子原子	421
第一节 引言	421
第二节 全同粒子	422
第三节 不相容原理	428
第四节 原子的基态、周期表	430
第五节 碱金属原子的激发态和光谱	444
第六节 蔡曼效应	447
第七节 X射线线状光谱	452

第五篇 量子物理学的其他应用

引言	459
第十二章 分子结构和分子光谱	460
第一节 分子的离子键	460

第二节	共价键和其他化学键	464
第三节	分子光谱	471
第四节	吸收、散射和受激发射	479
第十三章	固体的一些性质	486
第一节	固体的结构	486
第二节	金属的经典自由电子理论	492
第三节	费密电子气	499
第四节	导体的量子理论	506
第五节	固体的能带理论	512
第六节	杂质半导体	518
第七节	超导电性简述	522
第十四章	量子统计与液氮	526
第一节	引言	526
第二节	量子分布函数	527
第三节	用费密能表示费密分布函数	531
第四节	量子统计的应用和液氮	533
第十五章	原子核	538
第一节	原子核的基本性质	538
第二节	原子核的组成和核力	542
第三节	原子核的结合能	545
第四节	原子核的放射性	549
第五节	原子核反应	560
第六节	裂变与聚变	562
附录	基本粒子和高能物理学简述	569
名词索引		579
后记		588

第一篇 狭义相对论

引言

相对论分成狭义相对论和广义相对论两部分。前者研究两个不同惯性系的观察者所观察到的物理现象有什么区别和联系，后者研究一切参照系（不限于惯性系）中的观察者所观察到的物理现象有什么区别和联系，并且涉及到有关万有引力的问题。

狭义相对论在微观物理学中应用广泛，并从微观物理现象中得到了大量的实验证明。广义相对论使用的数学工具比较高深，在微观物理学中应用不多，它从观察中得到的证明也远较狭义相对论为少，只是近年来在天体物理学中获得了较多的应用。

狭义相对论的基本原理是本世纪著名物理学家爱因斯坦(Einstein)在1905年提出的。它在当时解决了什么样的重要实验问题，因而取得物理学界的承认呢？要回答这个问题，需要了解从十九世纪末到二十世纪初这一段时期的物理学发展情况。

从十六世纪意大利的著名物理学家伽利略(Galileo)开始，物理学家比较普遍地应用实验方法来研究物理学。此后英国物理学家牛顿(Newton)在伽利略和天文学家开普勒(Kepler)等人的研究成果的基础上建立了系统的力学理论体系，即牛顿力学。到十八世纪牛顿力学的基本理论已经发展得相当完整。到了十九世纪，热力学经过物理学家焦耳(Joule)、卡诺(Carnot)、玻耳兹曼(Boltzmann)、克劳修斯(Clausius)和麦克斯韦(Maxwell)等人的研究也已发展得相当完整。十九世纪六十年代，麦克斯韦又在物理学家法拉第(Faraday)等多人研究工作的基础上，总

结形成了一套很系统很完整的电磁学理论。他还根据他的电磁学基本方程预言了电磁波的存在，把光和电磁波统一起来，建立了光的电磁理论。

这样，到十九世纪末期，不少物理学家就有了这样一种看法：即物理学的基础理论已经发展得相当完善，物理学这一学科在当时已经达到十分成熟的地步，二十世纪物理学的主要工作只是对以前的研究成果进行更精密的测量和验证，把一些物理数据推求到小数点以后更多的位数，而二十世纪的科学技术工作主要将是搞应用科学和技术的工程师们的工作了。十九世纪末的著名英国物理学家J.J.汤姆孙 (J.J.Thomson)就是持有这样看法的一个代表人物。他曾经这样说：“现在物理学家的天空特别晴朗，只是在天上还有两朵乌云。”

他所说的“两朵乌云”，一朵指的是黑体辐射现象中能量按波长的分布和经典物理理论推导的结果不能符合，另一朵指的是迈克尔孙、莫雷 (Michelson, Morley) 精心设计的检查地球对于“以太”的相对运动的实验得到的是一个负结果，即不能发现地球对于以太的相对运动。此后近代物理学的两项基本理论——相对论和量子力学的萌芽，即1900年量子概念的提出和1905年狭义相对论基本假设的提出，就是分别由这两个问题引起的。

在十九世纪末期发现的许多物理现象中，有很多都是经典物理所不能解释清楚的，问题远不止上述两个。例如1887年赫芝 (Hertz) 在验证电磁波存在的实验中同时发现了光电效应这一现象，1895年德国物理学家伦琴 (Roentgen) 发现了伦琴射线 (即X射线)。1896年法国物理学家贝克勒耳 (Becquerel) 发现了重元素的天然放射性，而光电效应的一些实验规律，X射线中存在的线状光谱，元素放射现象中的 α 衰变、 β 衰变等，都是经典物理学难以做出解释的。又如1897年物理学家J.J.汤姆孙发现了电子，电子和原子的关系是怎样的？原子的内部结构是怎样的？这些也都是当时的物理学未能解决的问题。上述这些从

实验中新发现的现象构成了二十世纪新物理学的实验基础。在十九世纪末期，理论物理学正在孕育着一种新的重要的突破。就是在这样一种“山雨欲来风满楼”的形势之下，二十世纪初期出现了量子论和狭义相对论这两种惊人的，使当时的许多物理学家为之惶惑不解的新理论。

本篇的第一章将讨论有关狭义相对论的早期发展过程的问题。

第一章 狭义相对论的基本假设

第一节 相对性和不变性

狭义相对论有两条基本假设，它们是狭义相对论全部理论的基础，狭义相对论的许多重要结论都可以按照一定的逻辑推理从它们推导出来。本章的中心内容将讨论这两条基本假设的内容与提出过程。首先从“相对性”和“不变性”这两个概念讨论起，从讨论中可以看出“参照系”这一概念的重要性。

一提到相对论，常有人望文生义地认为，所谓相对论就是主张“一切事物都是相对的。”实际上并不如此，相对论并不是“相对主义”。相对论不但讲事物的“相对性”，同时也讲事物的“不变性”。

什么叫做相对性？两个彼此间有相对运动的观察者，对于同一物理现象的解释可能不同，对同一物理量的测量结果也可能不同。例如，一个人在行进的火车上走着，坐在车上的观察者和站在地面上的另一观察者各自测出的这个人的运动速度就会不同。两个观察者实际上是从两个不同的参照系来测量同一个人的运动，他们测出结果不同，说明从两个有相对运动的参照系（地面和行进中的火车）测得的同一人的运动速度不同。从两个互有相对运动的参照系对同一事物的观察结果不同，或对同一物理量测量结果不同，这种现象叫做事物或物理量的相对性。物理学中所谓的相对性，是指对于不同参照系静止的观察者（今后简称不同参照系的观察者）对于同一事物的观测结果的相对性。

物理定律是事物之间客观联系的表述。它们常常表示为某些物理量之间的一定的数学关系，如果两个不同参照系的观察者必

须采用不同的数学关系式表示同一条物理定律，则称这条物理定律具有相对性。（经典物理学中的某一些定律会出现这种情况，后面将有所讨论。）

什么叫做不变性？如果任何两个有相对运动的参照系中的观察者对于某一个物理量的测量结果总是一样，或对于某一物理定律的表述形式完全一样，我们就称这个物理量或物理定律具有不变性。例如，实验证明从任何两个有相对运动的参照系测出的电子电量都是一样的，因此电子电量具有不变性。

相对论是否认为一切事物和物理量都具有如上所述的相对性呢？事实并非如此。相对论并不认为一切物理量相对于不同观察者都是数值不同的，也就是说，相对论并不认为一切物理量都具有相对性。恰恰相反，对于某些物理量，相对论认为从两个互相间有相对运动的参照系分别测出的结果是完全相同的。换言之，相对论认为这种物理量具有不变性。

经典物理也认为很多物理量的测量数值随着所采用的参照系而不同。例如同一质点在某一时刻的位置矢量和速度矢量，从有相对运动的两个参照系测出的结果一般是不同的。那么，就物理量的测量值而言，相对论和经典物理的区别究竟在何处呢？

区别在于经典物理认为具有相对性的某些物理量，相对论却认为不随观察者所选用的参照系而改变，即它们具有不变性。反过来，经典物理认为具有不变性的某些物理量，相对论却认为从不同的两个参照系测出的数值应是不同的，即它们具有相对性。

例如光在真空中的行进速度，按照经典物理，对于有相对运动的两个参照系一般应是不同的，相对论却认为是不变的。又如某件事情从发生到结束所经历的时间，经典物理从来都认为不会随参照系而改变，而相对论却认为对于有相对运动的两个参照系，测出结果应是不同的。

第二节 伽利略变换

为了讲明伽利略变换的意义，我们先介绍几个简单而又重要的概念。

(一) 事件

任何观察者在对宏观物理现象或物理过程进行观察时，必然处在一定的参照系中。处在不同参照系中的观察者在观察同一物理现象或物理过程时，所得到的结果往往并不相同，伽利略变换即表述了来自两系的不同观察结果间的区别和联系。

任何物质的宏观运动都是在一定的空间和时间内进行的，为研究运动的详细情况，还可以把它分为许多阶段，或从中选择几个典型的状态逐个加以研究，其中每一个状态都对应一组时间、空间坐标，或者说运动过程中的每一组时间、空间坐标都对应一个运动状态，我们称每一组时间、空间坐标对应一个事件。我们通常讲话时，说一个事件主要是指一定时间一定地点发生的那一件事，而在物理学中讲一个事件时，则比较更注意的是事件发生的时间和地点。因此物理学中的事件，通常指的是事件发生地点的三个空间坐标和表示发生时刻的那一个时间坐标所构成的一组四个数。例如某一事件发生地点和坐标是 (x, y, z) ，发生时间是 t ，则一组 (x, y, z, t) 即可代表一个事件。这也就是说，即使是在 (x, y, z) 所表示的那一地点和 t 这一时间并未发生任何事情，我们也可以说 (x, y, z, t) 这一组四个数表示一个事件。这就如同即使用 (x, y, z) 所表示的一点实际不存在任何东西，我们仍然可以说 (x, y, z) 表示空间中的一个点一样，从这个意义上看来，物理学中的事件是以四个数表示的一个时空点。

(二) 惯性系和非惯性系

惯性参照系，简称惯性系，定义为牛顿第一定律在其中成立的参照系。即从这样的参照系看问题时，质点永远遵守“当质点所受外力的合力为零时，此质点只能做匀速直线运动或静止”这