

经典和近代

# 物理学

[美] K. W. FORD 著 陈纲 等译

4

Classical and Modern  
Physics

经典和近代

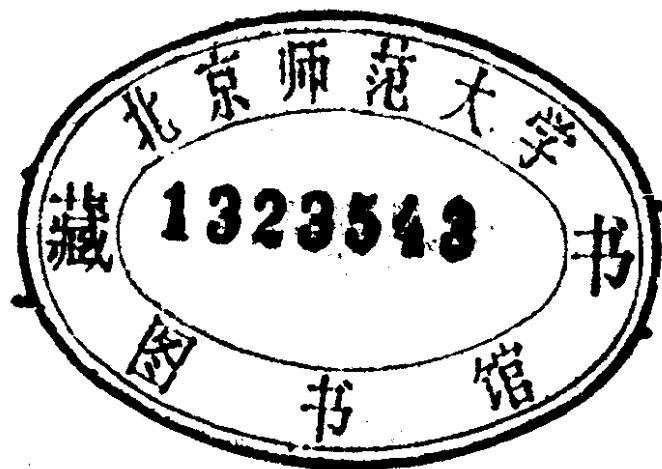
# 物 理 学

第 四 册

[美] K. W. Ford 著

陈 纲 等译

刊 1242/07



高等教育出版社

1983

这是一部美国理工科大学生物理学教科书。原书分三卷。前两卷为经典物理学。后一卷为近代物理学。全书可作一年半的物理课教科书，也可删去某些章节作为一学年的教科书。

译本分四册出版。第一册包括物理学导论和数学，第二册包括力学，第三册包括热力学和电磁学，第四册包括相对论和量子力学。本书可作我国理工科各专业物理教学参考书。

本册由北京工业大学陈纲(译 23、26 两章)、曾令祉(译 19—21 三章)、金泽宸(译 22、27 两章和索引)、华保盈(译 24、25 两章)合译。译稿经王荣庆校订。

本书责任编辑：汤发宇。

K. W. Ford

*Classical and Modern Physics*

A TEXTBOOK FOR STUDENTS OF SCIENCE  
AND ENGINEERING

Xerox College Publishing, 1974

经典和近代

物 理 学

第 四 册

[美] K. W. Ford 著

陈 纲 等译

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

通县觅子店印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 20.25 插页 1 字数 490,000

1985 年 7 月第 1 版 1985 年 7 月第 1 次印刷

印数 00,001—7,100

书号 13010·0917 定价 5.10 元

刑1/242/07

## 内 容 简 介

在本书七篇中，头两篇(物理学导论和数学)提供入门性的和背景性的材料。使用这两篇可以有很大的灵活性。其余五篇(力学、热力学、电磁学、相对论和量子力学)专门讨论物理学各方面的主要理论。其中对力学、电磁学和狭义相对论的理论进行了最充分的数学阐述，但对热力学和量子力学的讲述，则较多地注意物理现象的分析而较少拘泥于数学形式。尽管如此，我还是避免使用象热以及原子现象和原子核现象这样一般的篇名，因为这两篇也要强调物理学理论的统一性和威力，而且它们也不乏数学。把本书分成几个大篇，再分成若干篇幅较长的章，而不是分成数目很大而篇幅很短的章，都是为了同一个目的：使学生始终着眼于物理学的总体结构，而不是把物理学看成是许多互不联系的篇章的拼凑。学生往往很容易产生这种看法。

虽然本卷是这套教材的一部分，但它是自成系统的，单独使用本卷不会有什么困难。考虑到使用过前两卷的学生，本卷与前两卷偶有相互参照之处，但比较少，这对只用第三卷的学生不会带来任何困难。在前两卷中，与本卷主要内容最直接有关的是第三章(基本粒子)和第四章(守恒定律)。某些教师可能需要让学生在图书馆阅读这几章。在有关相对论的几章里，为了说明问题，我们选用了基本粒子过程作例子。

第六篇：相对论不仅需要新的公式和新的解题技巧，还需要对自然界的新思考方法。第十九章是相对论前的预备性章节，借以从经典思维过渡到相对论性思维。接着的两章(二十和二十一)论述

狭义相对论。本篇的最后一章(第二十二章)讨论等效原理和广义相对论的某些内容。虽然课文中有一些空时图[包括在一个习题中的布列姆(Brehme)图],但用以解题的通常仍然是代数方法而不是图解方法。为了尽量减小运动学方面的复杂性,几乎所有的例子都限于一维情况。康普顿效应(§21.7)是一个例外;其它推广到二维的情况留在习题中。所有各章在符号上是一致的;用不带撇的变量表示相对于“静止的”参照系的量,用带撇的变量表示相对于“运动的”参照系的量(如图20.6)。

第十九章一开始就阐明相对性和不变性这两个词的含义(§19.1),其后两节讨论经典力学中的伽利略相对性。§19.4试图说明为什么经典电磁学似乎要求一个从尤参照系,它基本上是定性的。这自然地导致关于从尤参照系(或以太)的实验研究的讨论,这里我们选择迈克耳孙-莫雷实验并作了仔细的考察。[在一个习题中有特鲁顿-诺布尔(Trouton-Noble)实验的思想。]本章以爱因斯坦的两个假设结束,假设之一( $c$ =常数)是第二十章的全部基础,另一个假设(物理学定律的不变性)是建立第二十一章中能量和动量概念所必须的。教师也许应该特别强调这样一点,即本章只是相对论的前奏,而且除了最后一节外,这一章所陈述的定律都不是相对论的定律。在章末提要中并列比较了两种观点,目的是帮助学生由“经典思维”过渡到“现代思维”时不致发生混乱。

第二十章的第一部分(§20.1—§20.5),在光速不变性和倒易概念的基础上提出了三个简单的假想实验。除了介绍时间膨胀和洛伦兹收缩外,这三个实验还提供了洛伦兹变换方程的三种不同的特殊情况,由此能导出完整的洛伦兹变换(§20.6)。对这个推导,只要考虑空间和时间概念和一维运动就够了。§20.6完成了从特殊情况到一般变换的综合,§20.7则反过来把各种特殊情况作为一般变换的演绎结果。在理论叙述过程中插入了§20.8,谈到了相对

论性运动学的一些实验检验。多普勒频移在单独的一个选修节中研究，它后面的一节介绍了不变间隔和空时几何观这两个重要概念。李生佯谬放在这一章 (§20.11) 而没有放在广义相对论那章讨论，是因为按照作者的观点，它属于这章范围。在这一节中提出了原时的概念。在本章末尾，试图阐明为什么光速在相对论理论中起着中心的作用。

第二十一章的相对论性力学主要限于强调能量和动量的概念。力的概念只在习题里出现。§21.1 和 §21.2 推导了能量和动量的相对论性公式，这个推导是爱因斯坦最初推导的现代形式（我们利用中性  $\pi$  介子衰变成两个光子，而不用由一块物体发射的两束光波）。推导用到了多普勒效应，然而比这推导本身更重要的是：论证  $E$  和  $\mathbf{p}$  的定义与相对论性运动学是一致的 (§21.4)，以及揭示动量-能量与空时的精确对应性 (§21.5)。单有一节 (§21.3) 讨论无质量粒子的重要特殊情况。一维碰撞在打星号的一节 (§21.6) 里讨论，接着讨论康普顿效应，它是一个重要的二维例子。最后一节总结了狭义相对论在物理学理论中的地位。这些章中没有讨论电磁学，只是在第二十章的两个习题中有一些关于相对论性电场的分析，其余的留给更高深的课程。

第二十二章是选修的一章，把它包括在本书中，是因为书中要用等效原理对经典力学和万有引力作总的说明。这个原理及其结果在 §22.1—§22.5 讨论。§22.6 转而讨论最短程线这个运动定律，这是一个比较难的问题。在一个发人思考的小节里，证明了（在最低级近似下）具有恒定加速度的运动是在均匀引力场中原时最大的运动。（选择了一个特殊的度规，但没有讨论度规概念。）在这一章的最后 (§22.7 和 §22.8) 定性地讨论了广义相对论和它的含义。

第七篇：这个年级的学生还没有足够的准备知识来对量子力

学作正规的、演绎的研究。然而，如果把原子和原子核物理的内容讲得比纯粹描述性的，历史性的介绍更深入一些，则学生的知识准备是足够的。在本篇中，数学推导有选择地应用于那些不过于复杂的地方，例如帕邢-巴克效应和塞曼效应，以及箱中粒子问题等。其它问题，例如激光，原子核的壳层结构，原子反应堆以及基本粒子现象，只作描述性讨论。因为本卷的讨论水平，在数学上无从全面统一，作为替代办法，在§ 23.1中列出了一组“主要概念”，这些概念在以后各节中还会述及。教师经常反复强调这些概念，会有助于把范围广泛的原子现象、原子核现象和基本粒子现象统一起来。在本书的这一篇中，最深奥复杂和最困难的是第二十三章的后面部分（这里出现了薛定谔方程）；第二十四章的某些节，其困难程度也在平均水平之上。总的来说，第二十五至第二十七章要求较低，应当比第二十三章和第二十四章少花时间。教师和学生应该注意到，在所有各章中，节与节之间的困难程度是很不均衡的，应当据此分配时间（或选择材料）。所以出现这种不均衡，是因为课题是按逻辑顺序展开的，而这种逻辑顺序往往不能与认识过程的循序渐进相配合。

第二十三章篇幅较长，内容丰富，它自然地分成两大部分。第一部分包括量子概念引论（§ 23.1），玻尔原子论的背景（§ 23.2—§ 23.5）和玻尔理论的发展（§ 23.6—§ 23.8）。玻尔原子理论的标准讲法是从圆轨道角动量的量子化开始的，习惯于标准讲法的教师可能会不熟悉本书强调对应原理的这种讲法，并且觉得不如标准讲法来得简明。然而，这种讲法并不过分困难，而且它具有更忠实于玻尔早期工作的优点。更重要的是，它强调了玻尔原子理论中那些在现代量子理论中仍然有效的方面。本章的第二部分从德布罗意波的讨论开始（§ 23.9），中间讨论了测不准原理（§ 23.14），最后一节是薛定谔方程，它是打星号的。这一部分对后面要用到的量子论

概念作了总的论述。统一的主题是物质的波动性。

第二十四章直接与第二十三章第一部分中的原子物理理论相衔接,并且增加了自旋和角动量的量子化理论。打星号的 § 24.2 把迭加概念推广到自旋态迭加这一精细问题,这个概念是在 § 23.13 中引入的。§ 24.4 完成了对氢原子的讨论; § 24.5—§ 24.8 讨论多电子原子。在 § 24.7 中对周期表作了极其重要的解释。关于精细结构的 § 24.9 和关于磁效应的 § 24.10, 提供了有关原子结构的一些供选用的材料。最后两节,原子间的键合和激光,除了对分子转动的讨论以外,完全是定性的和相当初步的。

有两章专门讨论了原子核,第二十五章是其中的第一章。它一开始就提出关于原子核的现代观点——核的组成、大小、形状和能级结构。放射性和原子核物理学的早期历史放在下一章。在第二十五章中,尽力将原子核和原子作为两个物理体系进行对比。例如,通过对比说明原子核能级 (§ 25.4),核图和结合能 (§ 25.5),以及原子核的壳层结构 (§ 25.8)。插入的 § 25.6 是关于  $\pi$  介子和核力的,它提供了一个机会,使我们能把原子核物理学和粒子物理学联系起来,以及引入并应用测不准原理的时间-能量形式。还讨论了中子的稳定性问题 (§ 25.7),因为它生动地说明了质能等效的重要性。

第二十六章中主要的定量推导在头两节里,其中把指数衰变规律与作用在单个事件上的几率定律联系起来,并用量子波穿透势垒解释了  $\alpha$  衰变。本章的其余部分对其它核衰变和核反应过程作了较为定性的描述。§ 26.4 是关于放射性的历史性讨论。由于裂变和聚变反应的极大实际重要性,它们受到了比通常更多的注意 (§ 26.6 和 § 26.7)。另一个实际课题(放射性强度的测量)放在 § 26.4 的最后一部分。

第二十七章的全部内容都可考虑作为选用材料。它对基本粒



子的讨论，是第三章关于这个题目的介绍性材料的延伸。这最后一章利用了相对论和量子论的概念，但没有作进一步的技巧性发挥。它向学生提供了一个机会，使他们能接触当代物理学前沿中一些较深刻的思想。这类课程如果采用固体物理学的定性描述来结尾，也同样好，为此目的，某些教师也可从别处选择材料。

# 目 录

## 第六篇 相 对 论

<b>第十九章 参照系和以太</b> .....	1
§ 19.1 相对性和不变性 .....	2
§ 19.2 伽利略相对性 .....	3
§ 19.3 伽利略变换 .....	5
§ 19.4 电磁学问题 .....	9
§ 19.5 迈克耳孙-莫雷实验 .....	13
§ 19.6 维护以太观念的各种努力 .....	19
§ 19.7 狭义相对论 爱因斯坦的两个假设 .....	21
<b>第二十章 空时</b> .....	33
§ 20.1 时间的相对性 .....	33
§ 20.2 时间膨胀 .....	35
§ 20.3 空时事件的一些特征 .....	37
§ 20.4 洛伦兹收缩 .....	41
§ 20.5 另一个假想实验 .....	43
§ 20.6 洛伦兹变换方程 .....	46
§ 20.7 洛伦兹变换的结果 .....	50
§ 20.8 洛伦兹变换的检验 .....	60
* § 20.9 多普勒效应 .....	62
§ 20.10 间隔、空时和世界线 .....	66
§ 20.11 孪生佯谬 .....	71
§ 20.12 光速的意义 .....	77
<b>第二十一章 相对论能量和动量</b> .....	99
§ 21.1 能量 .....	99
§ 21.2 动量 .....	108

① 节和小节标有星号者为选修内容。

§ 21.3	无质量粒子	111
§ 21.4	粒子衰变的一个例子	114
§ 21.5	四维矢量	117
* § 21.6	一维粒子	123
§ 21.7	康普顿效应	130
§ 21.8	狭义相对论的意义	134
<b>第二十二章 广义相对论</b>		<b>155</b>
§ 22.1	惯性力和引力	155
§ 22.2	等效原理	157
§ 22.3	引力使光弯曲	161
§ 22.4	引力和时间: 引力红移	164
§ 22.5	引力和空间: 水星的运动	168
§ 22.6	新几何学和新力学	170
§ 22.7	新的自然观	181
§ 22.8	广阔的宇宙	183

## 第七篇 量子力学

<b>第二十三章 粒子与波</b>		<b>195</b>
§ 23.1	量子力学的革命	195
§ 23.2	光子	197
§ 23.3	电子	206
§ 23.4	线光谱	212
§ 23.5	氢光谱	215
§ 23.6	玻尔原子理论的主要假设	221
§ 23.7	玻尔原子	225
§ 23.8	玻尔轨道	233
§ 23.9	德布罗意波	239
§ 23.10	波和几率 波函数	244
§ 23.11	波和不连续性 箱中的粒子	248
* § 23.12	波和不可定域性 原子的大小	252
§ 23.13	波函数的迭加	255

§ 23.14	测不准原理	257
* § 23.15	薛定谔方程	263
<b>第二十四章 原子结构</b>		<b>300</b>
§ 24.1	角动量的量子化	300
* § 24.2	自旋态的叠加	309
§ 24.3	氢原子: 量子数和波函数	310
§ 24.4	电子自旋	316
§ 24.5	中心场近似	319
§ 24.6	周期表	321
§ 24.7	不相容原理和原子结构	323
§ 24.8	内层电子与外层电子	328
§ 24.9	精细结构	333
§ 24.10	磁场对原子能级的影响	340
§ 24.11	原子的集合	348
§ 24.12	激光和受激发射	357
<b>第二十五章 原子核结构</b>		<b>381</b>
§ 25.1	原子核的组成	382
* § 25.2	散射实验	388
§ 25.3	原子核的大小和形状	393
§ 25.4	能级和跃迁	398
§ 25.5	核图	404
§ 25.6	$\pi$ 介子和核力	412
§ 25.7	中子的稳定性	418
§ 25.8	原子核的壳层结构	421
<b>第二十六章 原子核的转变</b>		<b>444</b>
§ 26.1	几率和指数衰变	444
§ 26.2	$\alpha$ 衰变	449
§ 26.3	$\beta$ 衰变	461
§ 26.4	放射性衰变系	464
§ 26.5	原子核反应	470
§ 26.6	裂变	481
§ 26.7	聚变	489

<b>第二十七章 基本粒子</b> .....	512
§ 27.1 相互作用的种类.....	512
§ 27.2 $\mu$ 介子和电子.....	515
§ 27.3 强相互作用粒子.....	520
§ 27.4 中微子.....	532
§ 27.5 相互作用的时空观: 费曼图.....	540
§ 27.6 TCP定理.....	547
§ 27.7 时间反演不变性.....	549
§ 27.8 空间反演不变性: 宇称.....	552
§ 27.9 电荷共轭不变性.....	558
§ 27.10 同位旋.....	559
§ 27.11 亚微观领域的混沌.....	563

**附录(见第一册)**

1 国际单位制	
2 物理量的符号和国际单位	
3 物理数据	
4 换算因子	
5 用国际制(mks)和高斯制(cgs)表示的电磁学方程	
6 数学公式	
7 三角函数	
8 指数函数	
9 对数函数	
物理学史上的一些重要年代 .....	634
索引.....	580

## 第六篇 相对论

### 第十九章 参照系和以太

相对论和量子论都诞生在二十世纪头五年里，它们极大地深化了我们对自然界的认识。当然，对于自然界的任何重要理论都能这样说。但是，这些新理论却有独特之处，它们是科学和人类经验之间一个正在变化的关系的某种象征。它们中的每一个，都对科学家和哲学家考察世界的方法的彻底变革作出了贡献。人们在科学中第一次引入了既违反常识又无法形象化的概念。两代人以后，人们对四维空时或者对光子波粒本性的描绘，并不比当初引进这些概念时作得更好。理由是不难找到的。人是经典的生物（按指宏观生物——译者），而二十世纪以前的科学，在宏观方面已经足以描绘人。量子论只是在我们感觉范围以下的微观生化水平上与我们有关，同样，相对论在日常生活中也是不重要的，因为我们即使是乘喷气式飞机旅行，运动的速率也远小于光速。然而，当你探究本卷所涉及的尺度很小或速度很高的新领域时，便会发现，这些新理论比纯智力的激励和要求提供了更多的东西。尽管这些新理论在概念上离我们那么遥远，它们还是产生了丰富的实际成果。

现代物理的概念超出了直觉

新理论仍有实际影响

## § 19.1 相对性和不变性

### 相对性

- = 测量的不一致性
- = 观察者的主观性

相对论涉及两个似乎对立的观念，相对性和不变性。这里的相对性是指观测的相对性——对于一个给定现象，我看它是一个样子，你看它是另一个样子；它指的是不一致性。不变性指的是一致的部分，是指现象的这样一些方面和现象的这样一些规律（后者甚至更为重要），它们对不同的观察者来说，都是一样的。相对性和不变性可以用主观性和客观性这两个词来代替。然而，相对论的主观性是一种特殊的物理主观性，而不只是指人类感觉中的差别。相对论的客观性也不是哲学家的“客观现实”，而是根据定义确定的客观性，观察者们都同意，把他们测量结果的共同方面作为真正的结果来接受。

### 不变性

- = 测量的一致性
- = 观察者的客观性

相对论出人意外地给科学添加了更多的相对性（或主观性）和更多的不变性（或客观性）。爱因斯坦指出，一些原先认为是不变的量，实际上是相对的，这些量中最

值得注意的是时间。但是同时，他还指出如何从所添加的观测的相对性中提取新的不变量。更为重要的是，尽管对现象的原始观测具有相对性，但支配这些现象的规律必定是不变的，这一原理，已经被爱因斯坦提到了基本科学假设的高度。由于相对论带给世界更多观测的主观性，人们对物理定律的客观性有了新的和更深刻的认识。

## § 19.2 伽利略相对性

普通牛顿力学中就有相对性和不变性的思想，它们可以用诸如 §7.10 中那些简单力学实验来说明。本节和下一节的目的，是要复习和引伸先前那节的结论。例如，考虑匀速运动着的火车中的一个孩子，他放手让一球竖直下落。孩子看来，球从静止开始以匀加速度竖直下落。但在火车外面的观察者就会有不同的看法(图 19.1)。车外观察者会说，球在空间中的“实际”路径是一条抛物线：球被释放时具有一个向前的运动，它象抛体那样，经抛物线轨道而落下。然而他会承认，车内孩子认定球具有恒定的向下加速度的看法是对的，而且关于加速度的量值，两人的看法当然也会一致。我们可以把这两个观察者之间的一致和不一致之点，概括在一个简短的表中。(但应记住，此表仅适用于牛顿力学，当我们进入爱因斯坦的新力学时，必须加以修改。)

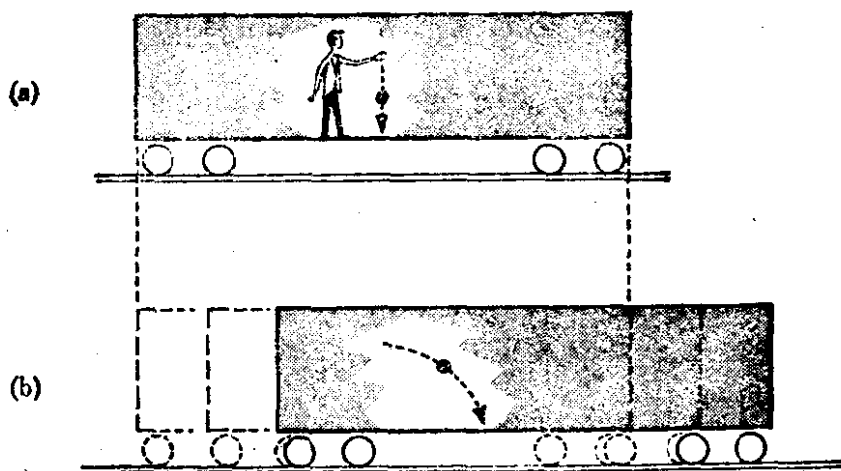


图 19.1 牛顿力学中的观测的相对性。(a) 在固连于火车的参照系中，球竖直下落。(b) 在固连于地面的参照系中，同一个运动的轨迹是抛物线。这两个观察者对运动的某些方面意见一致，而在另一些方面则意见不一致。(又见图 7.20和 7.21.)



经典测量中的  
一致和不一致

一致	不一致
加速度	位置
质量	速度
力	坐标
时间	
运动定律	

既然轨道的形状不一致，位置就有明显的不一致。关于速度也有明显的不一致，因为车外观察者认为球具有某个水平速度分量，这和车内观察者不同，车内观察者认为球只有竖直速度。坐标不一定要与观察者之间的相对运动相关，所以也可能不一致。任何两个观察者总可以自由选择不同的坐标系，并据此来进行测量。

尽管存在这些不一致，但这两个观察者之间尚有大量的一致的地方。他们都将测量到相同的加速度，这是因为他们之间没有相对加速度(见§19.3 和 §7.10)。在力学中，质量和时间都被假定为确定的不变量，如果不是这样，力学理论将要被推翻(事实上，它的确被相对论推翻了)。根据实验，火车内的旅行者并不改变他们的重量，这表明，这两个观察者将测量到同样的力<sup>①</sup>。最重要的是，如果车内旅行者(现在他最好是一位科学家而不是一个孩子)用许多其他实验来补充小球落下的实验，他会获得牛顿定律——这与车外的静止观察者所早已认为是正确的定律完全相同。

在不同的惯性参照系中的观察者，得到的运动定律是一致的。

伽利略相对性

这个事实称为伽利略相对性(见 § 7.10)。它意味着，地球和火车作为实验室，不存在其中的任何一个比另一个更好或更坏的问题，旅行着的科学家和地

① 在力学的一种可能的逻辑表述中，力定义为质量乘加速度。在这种情况下，质量和加速度的不变性自动地意味着力的不变性。在另一种不同的可能的逻辑表述中，力被分开定义，因而必须用实验来证明力是不变量。