

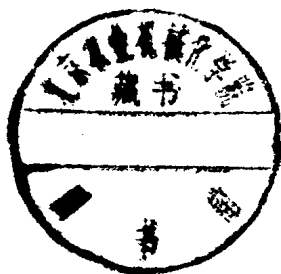
JINDAI WULI JICHU JIQI YINGYONG

# 近代物理基础 及其应用

上海科学技术出版社

# 近代物理基础 及其应用

〔美〕 保罗·A·蒂普勒 著  
《近代物理基础及其应用》翻译组 译



上海科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书是美国理工科大学用的《近代物理学》教科书。凡具有普通物理基础,并学过微积分的人,都可将其当作教材或参考书来使用。全书分上下两大篇。上篇是相对论和量子物理学的导论,简洁地阐述其基本概念、理论假设和主要推论。下篇把上篇的概念和方法应用于研究分子、固体、液态氦 II、原子核、基本粒子等几个领域。全书并结合介绍了近代物理的发展历史及最新进展概况。每章都附有数量较多的思考题和计算习题。

2009/16

## Modern Physics

Paul. A. Tipler

by Worth Publishers, Inc.

(1978 纽约版)

## 近代物理基础及其应用

[美] 保罗·A·蒂普勒 著

《近代物理基础及其应用》翻译组 译

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 江苏扬中印刷厂印刷  
开本850×1156 1/32 印张19.25 插页4 字数509,000

1981年11月第1版 1981年11月第1次印刷

印数1-13,000

统一书号: 13119·922

定价:(科四) 2.20元

## 译者前言

保罗·A·蒂普勒编著的这本书，初版于1969年出版，书名为《近代物理学基础》。后来，作者根据多方面意见和建议进行修订增编，遂于1978年改名《近代物理学》而重版。新版发行后，得到美国教育界、出版界的赞许肯定，已列作美国许多大学普通物理学后继课程的教科书或参考书。

本书以简洁的语言、清晰的概念、深入的论理、新颖的题材，鲜明地勾划出近代物理学的两大理论基础：相对论和量子力学，以及几个主要领域：原子物理、分子物理、固体物理、低温物理、核物理、基本粒子物理的大致面貌和发展概况。书中少用高深繁复的数学，而重在物理概念的剖析和物理图象的描绘。同时，还结合介绍了近代物理学历史演变过程，收集了不少珍贵的、有历史意义的图片和原始资料、数据。

原版在版面设计上是颇具匠心的，它以二色套印，并辅以各种线条，以增强叙述形式的清晰性。现中译本以单色排印，并减少了空白版面；但采用了各种不同字体和版式，以尽量体现原著的某些版面特色。

本书的一些风格、特点，在作者序文中已有说明，这里不再多述。总之，这是一本不可多得、简明扼要的入门书，对于希望概览一下近代物理学全貌的大学生或其他读者来说，它可以引导您进入这个丰富多彩的知识世界。

本书由如下几位同志翻译：戴雪文（第九、十一、十二章），沈珊雄（第四、五、六章），徐迺亭（第二、三、七章），秦怀强（第八章、索引），沈施（第一、十章）；葛正权组织了翻译工作，并审阅了全部译文。此外，沈施、戴雪文同志参加了校订工作，其中第二、七章的校订工作还得到周孝谦、屠传士等同志的帮助，译者在此表示衷心

的感谢。由于译者水平有限，错误、不当之处在所难免，恳请读者不吝指正。

葛正权

1980年7月于上海

# 序\*

本书这次修订考虑了用过第一版的读者的许多有益的反应和建议。在这一新版里尽量保持第一版中根据历史的演变和文化的发展来叙述的特点,而减少数学的篇幅并降低数学的难度。特别是第一版中第六章至第八章的材料已予大大简化。另外增添了一些新的题材。基本粒子专立一章,包括介子、共振粒子、八正道、“夸克”等材料。还新增添几节,如广义相对论、多原子分子、固体的结构、杂质半导体、半导体结及器件(包括晶体管)、裂变、聚变、原子核反应堆及原子核探测器。

第一版原有的特点被保留下来的有:

一、合乎逻辑的结构——从相对论和量子物理学的导论开始,随后介绍其应用。

二、第二章中对分子运动论的初步讨论,向学生介绍了微观物理学以及他们在后面所需要的分布函数的应用。

三、第五章中定性介绍了德布罗意波,同时评述了经典的波动理论,并配有许多电子和 X 射线衍射图的照片加以说明。

四、选配了大量以数量级估计或采用简化模型进行计算的例题。

五、采用了以“电子伏·埃”为单位的一些组合量,如  $hc$ 、 $h\nu$ 、 $ke^2$ ,简化了数值运算。

六、每章结尾列有“提要”和“参考文献”。

七、供讨论、复习性的“思考题”放在各节的后面,而计算题按其难度分成两组,容易的一组称为“习题”;难一点的称为“问题”。这次修订增加了大量的习题。

八、采用了真实的数据资料,应用了有关科学家和仪器实物

\* 序文稍作删节改动。——译者注

的许多照片以及从原始论文里摘录的引文。这些特点逼真地反映了科学史上发生的事情,有助于消除学生中十分流行的一种观念,认为物理学只是对论据和公式的枯燥而非人为的汇集。

新版分为两篇,上篇是“相对论和量子物理学的导论”;下篇是“应用”。第一章有关狭义相对论的材料,已被缩短并略加简化,同时新增加了一节广义相对论。由于学习后面各章只需用  $E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$  这个关系式,所以可把第一章略去不读也没有多大妨碍。为求简易与清楚,第二章至第五章已重新写过,所有数学推导几乎全都删去;或者放在每节(或每章)的结尾,并标明是“选读”材料。还把第六章内容简化,着重讨论最简易的问题(例如无限方势阱);至于较复杂的问题(例如谐振子),则定性论述它们的重要特性而不进行数学推导。这一章新增加两节: § 6-8 处理了在三维无限方势阱内只有一个粒子的情况; § 6-9 处理了在一维无限方势阱内的两个全同粒子的情况。这两节的讨论,为引进由于把薛定谔方程推广到三维空间和多粒子体系所得出的许多重要结果提供了一种简单的框架,从而避免了初版第七章、第八章的繁复的数学推导。上篇以原子物理一章结尾,这一章讨论的内容包括初版第七、第八两章的某些材料,但其编排方式不同,以便根据需要,可以简短地用定性的方式加以叙述。

下篇把上篇所讨论的概念和方法用来研究分子、固体、量子统计法、液态氦 II、原子核以及基本粒子五个方面。第八章(“分子结构与分子光谱”)包括双原子分子的材料(初版是第九章的内容),加上一节“多原子分子”的新内容。第九章中关于固体物理的材料已大大扩充,并予重写,以便只要定性讨论  $T=0$  时的费米能就可理解固体的热学和电学的性质。关于半导体结和晶体管方面新加的材料,会使这一章对工程系的学生与物理专业的学生都感到更有兴趣和更有用处。第十一章扼要分析了量子统计法和液态氦 II,第十一章中放射性一节是完全重写的,并添了两节新内容: 其一是裂变、聚变、原子核反应堆,其二是原子核探测器。选讲一些原子物理学的教员也许希望从这很长的一章中只是挑选出某几

节。全书以新的一章“基本粒子”来结束。下篇各章完全相互独立,可按任意次序来讲解。

第一版中列为“选读”的材料许多已经删去。现在有三类选读材料:(一)数学推导;(二)较难的内容;(三)虽不一定很难,但属某些讨论的推广,可能比有些教员要讲的材料更详细一些。每章的选读材料往往放在一节结束的地方。

在每章开头列出“学习目的”,以帮助读者把注意力集中在需要介绍的主要内容上,并让读者知道要求掌握的深度。列出的学习目的也可当作学过后的复习提纲。此外,若在考试时热衷于出讨论题的话,我希望列出的这些要求能够起到提示的作用。

保罗·A·蒂普勒

于密执安,罗彻斯特。1977年12月



# 目 录

序

## 上篇 相对论和量子物理学的导论

第一章 相对论 .....	2
§ 1-1 迈克耳孙-莫雷实验 .....	4
§ 1-2 爱因斯坦假设的推论 .....	9
§ 1-3 时间膨胀和长度收缩 .....	10
§ 1-4 钟的同步和同时性 .....	16
§ 1-5 多普勒效应 .....	22
§ 1-6 洛伦兹变换 .....	24
§ 1-7 双生子佯谬 .....	27
§ 1-8 相对论动量 .....	31
§ 1-9 相对论能量 .....	35
§ 1-10 质量和结合能 .....	38
§ 1-11 相对论动量的实验测定 .....	41
§ 1-12 一些有用的方程和近似式 .....	42
§ 1-13 广义相对论 .....	45
提要 and 文献 .....	51
习题和问题 .....	53
第二章 物质分子运动论 .....	59
§ 2-1 阿伏伽德罗数 .....	61
§ 2-2 气体的压强 .....	62
§ 2-3 能量均分定理以及气体和固体的热容量 .....	67
§ 2-4 分布函数 .....	73
§ 2-5 麦克斯韦-玻耳兹曼分布 .....	78
§ 2-6 迁移现象 .....	87
§ 2-7 布朗运动和无规行走问题(选读) .....	94

提要 and 文献 .....	98
习题 and 问题 .....	100
第三章 电、光、能的量子化 .....	105
§ 3-1 对 $e$ 及 $e/m$ 的最初估计 .....	106
§ 3-2 J. J. 汤姆孙实验 .....	107
§ 3-3 电荷的量子化 .....	112
§ 3-4 黑体辐射 .....	118
§ 3-5 光电效应 .....	124
§ 3-6 X 射线与康普顿效应 .....	130
§ 3-7 物质能态的量子化 .....	139
§ 3-8 方程 3-26、3-27 的求和运算(选读) .....	145
提要 and 文献 .....	146
习题 and 问题 .....	147
第四章 核型原子 .....	153
§ 4-1 经验光谱公式 .....	153
§ 4-2 卢瑟福散射 .....	155
§ 4-3 玻尔的氢原子模型 .....	168
§ 4-4 X 射线谱 .....	177
§ 4-5 夫兰克-赫兹实验 .....	182
§ 4-6 威耳孙-索末菲量子化定则(选读) .....	184
§ 4-7 对玻尔理论和“旧量子力学”的评判 .....	186
提要 and 文献 .....	187
习题 and 问题 .....	189
第五章 电子波 .....	193
§ 5-1 德布罗意关系式 .....	193
§ 5-2 电子波长的测量 .....	196
§ 5-3 经典波的性质 .....	203
§ 5-4 波包 .....	209
§ 5-5 电子波包 .....	214
§ 5-6 波函数的几率解释 .....	215
§ 5-7 测不准原理 .....	218
§ 5-8 粒子-波动二象性 .....	221
§ 5-9 测不准原理的一些结果 .....	224

提要 and 文献 .....	227
习题 and 问题 .....	228
<b>第六章 薛定谔方程 .....</b>	<b>234</b>
§ 6-1 一维薛定谔方程 .....	235
§ 6-2 无限方阱 .....	240
§ 6-3 有限方阱 .....	246
§ 6-4 期待值和算符 .....	250
§ 6-5 能态之间的跃迁(选读) .....	253
§ 6-6 简谐振子 .....	255
§ 6-7 波的反射和透射 .....	260
§ 6-8 三维薛定谔方程 .....	267
§ 6-9 两个或多个粒子的薛定谔方程 .....	270
提要 and 文献 .....	272
习题 and 问题 .....	274
<b>第七章 原子物理 .....</b>	<b>278</b>
§ 7-1 球面坐标的薛定谔方程 .....	279
§ 7-2 氢原子的角动量和能量的量子化 .....	280
§ 7-3 氢原子的波函数 .....	286
§ 7-4 电子自旋 .....	291
§ 7-5 角动量加法和自旋-轨道效应 .....	298
§ 7-6 原子的基态 周期表 .....	302
§ 7-7 碱金属原子的激发态及其光谱 .....	310
§ 7-8 双电子原子的激发态及其光谱(选读) .....	314
§ 7-9 塞曼效应 .....	316
提要 and 文献 .....	320
习题 and 问题 .....	323
<b>下 篇 应 用</b>	
<b>第八章 分子结构和分子光谱 .....</b>	<b>332</b>
§ 8-1 分子的键结合 .....	333
§ 8-2 多原子分子(选读) .....	341
§ 8-3 能级和双原子分子光谱 .....	345

§ 8-4 吸收、散射和受激发射	352
提要 and 文献	357
习题 and 问题	358
<b>第九章 固体的某些性质</b>	<b>361</b>
§ 9-1 固体的结构	362
§ 9-2 金属的经典自由电子论	366
§ 9-3 费米电子气	373
§ 9-4 传导的量子论	380
§ 9-5 固体的能带理论	384
§ 9-6 杂质半导体	392
§ 9-7 半导体的结和器件	395
§ 9-8 超导电性	401
提要 and 文献	404
习题 and 问题	406
<b>第十章 量子统计和液氦</b>	<b>411</b>
§ 10-1 量子分布函数	412
§ 10-2 液氦 II	418
提要 and 文献	426
习题 and 问题	427
<b>第十一章 原子核物理</b>	<b>429</b>
§ 11-1 中子的发现	431
§ 11-2 基态原子核的性质	435
§ 11-3 放射性	445
§ 11-4 核反应	462
§ 11-5 裂变、聚变和原子核反应堆	471
§ 11-6 粒子和物质的相互作用	479
§ 11-7 粒子的探测	488
§ 11-8 壳层模型(选读)	497
提要 and 文献	503
习题 and 问题	506
<b>第十二章 基本粒子</b>	<b>511</b>
§ 12-1 正电子和其他反粒子	512
§ 12-2 中微子的发现	516

§ 12-3 介子.....	518
§ 12-4 基本的相互作用和粒子的分类.....	519
§ 12-5 守恒定律.....	525
§ 12-6 共振粒子.....	534
§ 12-7 八正道和夸克.....	539
摘要和文献 .....	544
习题和问题 .....	546
附录 A 原子核性质表 .....	548
附录 B 几率积分 .....	570
附录 C 球面坐标薛定谔方程的变量分离 .....	571
附录 D 普适物理常数、有用的组合常数、换算因子和 全书表格目录 .....	573
附录 E 元素周期表 .....	576
答案 .....	578
索引 .....	588

# 上篇 相对论和量子 物理学的导论

牛顿、麦克斯韦、卡诺等人分别总结了力学、电磁学和热力学的一系列定律，其惊人成就使一些人相信，除了应用这些定律说明各种现象外，在物理学中只留下很少的事情要做了。这种乐观（或者说是悲观，由你的观点而定）是暂时的，从十九世纪末到二十世纪初迅速积累起来的实验成果和科学发现，不能用通常所谓的经典物理学的一些众所周知的定律来解释。经典物理学的破绽出现在许多不同的领域里：迈克耳孙-莫雷实验的结果跟牛顿的相对性原理发生抵触；黑体辐射谱和固体、气体的热容量的测量值与热力学的预言不相一致；光电效应、康普顿效应和原子光谱不能用电磁理论来解释；另外，关于放射性以及X射线的令人鼓舞的发现，看来是超出了经典物理学的框架。二十世纪初期，相对论和量子力学的发展为上列所有疑难问题以及其他许多问题提供了答案。把这两种理论应用于诸如原子、分子、原子核和基本粒子那样的微观体系，以及诸如气体、液体和固体那样的宏观体系，使我们得以深刻地认识自然界的规律；并引起我们的生活方式发生变革。

在上篇里，我们将讨论近代物理学的基础：相对论和量子力学。第一章用了相当长的篇幅讨论狭义相对论，也概括地介绍了广义相对论。第二章到第五章叙述了量子论的历史发展过程，从量子化的最早证明讲到德布罗意关于电子波的假定；而第六章则初步论述了薛定谔方程及其对于一些简单体系的应用。在第七章中，把量子力学应用到原子物理，从而说明电子自旋的一种新的重要特性，并把这种处理方法推广到多粒子体系。除相对论在后面几章仅有少量的应用外，本篇的每一章都与它前面的各章的论述和导出的结论有关。

# 第一章 相对论

## 【目的】

学习本章以后应该做到：

1. 能够描述迈克耳孙-莫雷实验的总的意图、方法和结果。

2. 能够讲述狭义相对论的爱因斯坦假设，并能讨论其结论。

3. 了解本征时间和本征长度的意义以及它们与在其他参考系中所测量到的时间和长度之间的关系。

4. 了解相对论性多普勒效应与经典的多普勒效应有什么不同，以及二者之间为什么有区别。

5. 对于解答习题和问题，能够运用洛伦兹变换方程。

6. 能够讨论时钟同步、同时性和双生子佯谬的问题。

7. 了解动量、能量和动能的相对论表示式，并能将它们在习题和问题中加以运用。

8. 了解质量与能量之间的关系，并能由已知的质量来计算结合能。

9. 了解能量和动量的非相对论性和极端相对论性的近似表式，以及在什么情况下运用它们。

10. 能够讲述等效原理，并能列举广义相对论的一些预言。

相对论包括两个颇为不同的理论：狭义相对论和广义相对论。

狭义相对论是由爱因斯坦 (Albert Einstein) 等人于 1905 年提出的, 它涉及到在相互以恒定速度运动着的不同惯性参考系里所作的测量结果的比较。其结论可用极少量的数学导出, 并能够应用于物理学和工程技术中所遇到的各种不同情况。另一方面, 广义相对论也是由爱因斯坦等人提出的 (1916 年前后), 它涉及到加速参考系和引力的问题。但对广义相对论的透彻理解需要许多复杂的数学 (例如张量分析); 而且, 广义相对论主要应用于引力范围。这在宇宙学中是很重要的, 而在物理学的其他领域或工程技术里却很难碰到。因此, 我们集中介绍狭义相对论, 而仅在本章的最后一节简短地讨论广义相对论。



1905 年时的爱因斯坦, 当时是他的多产时期

狭义相对论可以从爱因斯坦在一篇论文中所提出的两条假设中推导出来; 这篇论文是论述运动物体的电动力学的。发表该论



文时,他只有 26 岁。这两条爱因斯坦假设简述如下<sup>①</sup>:

1. 绝对的匀速运动是不可能被探测到的;
2. 光的速度与光源的运动无关。

虽然每一条假设看起来是完全合理的,但二者结合起来后所具有的许多含意却令人十分惊异,而且与通常的观念发生抵触。例如,它的一个直接结论是:所有观察者对于真空中的光速来说都是等价的,光速与他们的相对运动无关。我们将在后面推导出这一结论以及其他的一些结论。因为在这里我们只能作一简短的介绍。我们将稍微详细地讨论相对论运动学;而只是扼要地介绍一下相对论动力学,略去其推导过程。让我们首先来考虑对于狭义相对论具有重大历史作用的实验——迈克耳孙-莫雷实验。

### § 1-1 迈克耳孙-莫雷实验

所有的波,除了电磁波外,都需要有传播的媒质。波速取决于媒质的性质。例如,对于声波来说,其媒质就是空气;声波的绝对运动,即它相对于静止空气的运动是可以探测到的。声音的多普勒效应不仅取决于声源和收听者之间的相对运动,而且取决于二者相对于空气的绝对运动。自然会联想到,存在某种维持光和电磁波传播的媒质。这样一种媒质称为以太,它是人们在十九世纪提出的。以太一经提出,就被想象为具有不寻常的属性。尽管为了维持如此高速的波动,以太必须具有很高的硬度(可以回忆一下,一根绳子上的波速与绳子的张力有关),但由于行星的运动完全可用引力定律来解释,那就无需假设在行星之间存在其他曳力。

测定地球相对于以太的速度,是使人们颇感兴趣的。麦克斯韦指出,在测量光速时,地球相对于以太的速度  $v$  仅在二级小量

<sup>①</sup> "Zur Electrodynamik bewegter Körper," *Annalen der Physik* (4), 17, 841 (1905). For a translation from the German, see W. Perrett and G. B. Jeffery (trans.), *The Principle of Relativity: A Collection of Original Memoirs on the Special and General Theory of Relativity* by H. A. Lorentz, A. Einstein, H. Minkowski, and H. Weyl, New York: Dover Publications, Inc., 1932.