

# 大学物理学基础

II

高等教育出版社

J411/22/26

# 大学物理学基础

第二卷

场与波

[美] M. Alonso 合著  
E. J. Finn

梁宝洪 译

高等教育出版社

## 内 容 简 介

本书根据 Addison-Wesley Publishing Company 出版的、[美]M. Alonso 和 E. J. Finn 合著《大学物理学基础》第二卷(1983年,第二版)译出。这套书共三卷,第一卷论述力学和热力学;第二卷论述场和波(包括电磁学、光学和声学);第三卷论述量子物理和统计物理。

本书可作为高等学校理工科普通物理学课程的教学参考书。

## 大学物理学基础

第 二 卷

场 与 波

[美] M. Alonso  
E. J. Finn 合著

梁宝洪 译

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京顺义县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 23.25 字数 562 000

1989年11月第1版 1989年11月第1次印刷

印数 00,001—2 160

ISBN7-04-002598-1/O·860

定价 7.15 元

## 第二版前言

物理学是一门基础科学,它对所有其他科学有着深刻的影响。因此,不仅主修物理学的学生,而且期望从事科学事业的每一个人(包括主修生物学、化学和数学的学生),都必须对物理学的基本概念有透彻的理解。

普通物理学课程的主要目的(或者说,它在课程设置中占有一定位置的唯一理由),是使学生对物理学有一个统一的观点。我们希望能够做到这一点,而不必讲太多的细节。这是通过分析基本原理、阐明这些原理的含意并讨论其局限性而达到的。学生将在比较专门的后继课程中,学习这些基本原理的具体应用。因此,本书论述我们认为构成当代物理学核心的那些基本概念。在选择题材以及讲授顺序和方法时,我们认真地考虑了本书以前的使用者和国际顾问编辑委员会的意见和建议。

在许多课程中,讲授物理学时,往往把它看成是多少有些关系的几门科学的汇集,而缺乏真正统一的观点。过去把物理学划分为力学、热学和分子运动论、声学、光学、电学和磁学、现代物理学,这种传统的划分方法,不再具有任何正当的理由。我们不再遵循这种传统的划分,而是采取一种符合逻辑的、统一的叙述,把重点放在守恒原理、场和波的概念以及物质的原子观点上。在全书中广泛运用了狭义相对论,它是任何物理学理论都必须满足的指导原理之一,而且书中相当早地引入了量子物理学的许多概念。

为方便起见,本书分三卷出版,内容分成五个部分:(1) 力学,(2) 相互作用和场,(3) 波,(4) 量子物理学,(5) 统计物理学。

第一卷讲述力学,以便确立描述我们观察到的周围运动所需

要的基本原理。为了适应许多学校的需要，这一卷中还包括了热力学和统计力学的初等导论。

自然界的所有现象，都是相互作用的结果，而相互作用则是用场来分析的。第二部分(在第二卷中)不仅讨论我们最熟悉的那几种相互作用(引力相互作用和电磁相互作用，它们引起我们观察到的大多数宏观现象)，而且讨论核相互作用。为方便起见，把引力相互作用的讨论放在第一卷中；在第二卷中，我们相当详细地讨论了电磁学，最后给出麦克斯韦方程的表述。第三部分讨论波的现象(把它作为场概念的结果)；这一部分也包括在第二卷中；这里包括了通常在声学 and 光学的标题下讲述的大部分材料。然而，重点放在作为麦克斯韦方程的自然延伸的电磁波上。第三部分和第二卷以物质波的讨论(作为量子力学的数学表述的导论)作为结束。这样，第一卷和第二卷就包括了大多数普通物理学导论课程中通常讲述的材料。

第三卷包括本书的最后两部分。在第四部分中，我们先讲述必要的量子力学基础知识，然后分析物质的结构，即原子、分子、原子核和基本粒子。这一部分对物质的量子论作了初步介绍。最后，在第五部分中，讨论宏观物质的性质。首先介绍统计力学的原理，然后把这些原理应用于一些简单的然而却是基本的情况。我们按照统计力学的观点讨论热力学。第五部分以物质热性质的讨论作为结束，说明如何运用统计力学和热力学的原理。这样，第三卷就包括了大多数现代物理学导论课程中讲述的材料，其优点是它构成第一卷和第二卷的合乎逻辑的延伸。

本书不仅在方法上，而且在内容上，不同于一般的大学物理学教科书。书中介绍了许多书中所没有的一些基本论题，而把另外一些传统的论题删去。本书中使用的数学的水平，要求学生已学过少量的入门的微积分，而且同时选修微积分导论课程。此外，学

生最好在高中已经学过物理学课程。基本原理的许多应用，以及若干比较深的课题，以例题的形式出现。这些内容可以在教师认为适当的时候进行讨论，或者有选择地建议个别学生学习。这样，例题中的材料可供教师根据自己的意愿和学生的基础知识的情况来灵活地安排。每章末的习题分为两组：基本习题和较难的习题。基本习题是为了训练和帮助学生掌握所学的内容。其中大多数应当不费太大力气就能解出来。另一方面，较难的习题应起激励学生的作用，测验他的理解力和首创精神。

许多大学受到很大的压力，要求各学科的教学计划中包括新的、比传统的论题更适应需要的课题。我们期望这套教科书能够通过提高学生对物理概念的理解水平和增加他们处理相应的数学关系式的能力，来减轻这种压力。这样，我们就能够提高现在大学教学计划中开设的中间课程。传统的力学、电磁学和现代物理学等课程将由此而获益最多。这样，主修物理学的学生，与往常可能达到的知识水平相比，将以更高的水平完成他的大学教育。对于那些就此结束他们的正式训练的学生来说，这是很大的一个好处。此外，现在有可能开设较新的（也许是更令人兴奋的）、研究生水平的课程。令人高兴的是，在新近出版的其他学科的基础教科书中，也看到了这种提高的趋势。

这套教科书是为三个学期的普通物理学课程编写的。也可以用于这样的课程安排，即先用第一卷和第二卷讲普通物理学课程，然后用第三卷讲一学期或两学期现代物理学课程。

我们希望这套教科书将对那些要求改革的物理教师（他们不断地为改进所教的课程而努力）会有所帮助。我们热切希望这套教科书会激励许多这样的学生：他们应该学到比大多数传统课程的内容更为周密的论述。

## 致 学 生

这是一套关于物理学基础的书。它是为理、工科学生编写的。你将从中学到的一些概念和思想，很可能将成为你的专业生活和思想方法的一部分。你对它们的理解越深刻，你的大学生和研究生教育的其余部分就会越顺利。

你将开始学习的物理学课程，自然比你的高中物理学课程要深得多。你必须学会解许多难题。掌握物理学的定律和方法，有时可能是一个缓慢的、艰苦的过程。在你进入那些你所向往的物理学领域之前，你必须掌握另外一些虽不那么吸引人、但却非常基本的领域，否则你就不能正确地利用或者理解物理学。

在你学习这门课程时，心目中必须保持两个主要目标：第一，十分熟悉构成物理学核心的为数不多的基本定律和原理。第二，养成运用这些概念并把他们应用于具体情况的能力；换句话说，就是养成象物理学家那样思考和工作的能力。你可以通过阅读和反复阅读书中用大号字排印的各节而达到第一个目标。为了帮助你达到第二个目标，书中安排了许多用小号字排印的例题，每章末尾都有课外作业习题。我们恳切地建议你首先阅读主要的课文，当你熟悉了主要课文之后，再学习教师指定的例题和习题。例题或者说明这个理论对于一个具体情况的应用，或者通过讨论这个问题的新的方面而推广这个理论。有时，例题也为某个理论提供一种证明。

每章末的习题难度不同，分为两类：基本习题和较难的习题。基本习题主要是读了课文之后就能解出的那一类习题。这一类习题使你能够把刚学过的内容应用于一个给定的具体情况。另一方面，较难的习题则要求你完成一系列步骤，才能得出答案；换句话

说，为了解一道习题，可能要求你复习以前学过的内容。一般地讲，最好先用符号或代数形式来求解，最后才把数值代入。如果你不能在合理的时间内解出一道指定的习题，就把它放下，待以后再试一次。对于少数不会求解的习题，应当寻求帮助。一本能教给你解题方法的参考书，是 G. Polya 所著 *How to Solve It*《如何解题》(第二版)一书 (Garde City, N. Y. Doubleday, 1957)。

物理学是一门定量的科学，需要用数学来表述它的概念。本书所用的数学，都可以在标准的微积分教科书中找到；每当你不理解一个数学推导时，就要查阅这类教科书。但是，决不应该由于数学上的困难而感到沮丧；当数学上遇到困难时，要请教你的老师或高年级的同学。对于自然科学家和工程师来说，数学是一个工具，其重要性次于对物理概念的理解。为了你的方便起见，书末的一个附录中列出一些最常用的数学关系式。

所有的物理计算都必须采用一致的单位。本书采用国际制 (SI) 单位。开始时，你可能感到不熟悉；然而，稍加努力，就会熟悉它。此外，SI 是世界所有主要的政府实验室中使用的单位制；在所有主要的科学出版物中，它正在成为标准的单位制。最好一开始就使用一支计算尺或一台电子计算器。这些仪器的准确度和它们能够保持中间结果的能力，会节省你很多计算时间。计算尺，即使是最简单的，也有三位数字的准确度，而这对于本书的许多习题来说，几乎总是够用的。电子计算器有高得多的准确度，看来是未来科学家的不可缺少的工具。

本书不强调物理学的历史方面。那些对物理学思想的发展感兴趣的学生，可参考一些有益的书藉。我们特别推荐 Holton 和 Roller 合著的一本很好的书：《*Foundations of Modern Physical Science* (现代自然科学的基础)》，第二版 (Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1973)。



# 目 录

## 第二部分

### 电 磁 场

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>第一章 电相互作用</b> ..... | 3  |
| 1.1 引论.....            | 3  |
| 1.2 电荷.....            | 5  |
| 1.3 库仑定律.....          | 6  |
| 1.4 电场.....            | 9  |
| 1.5 电荷的量子化.....        | 15 |
| 1.6 电势.....            | 18 |
| 1.7 点电荷的电势.....        | 22 |
| 1.8 电场中的能量关系.....      | 24 |
| 1.9 电流.....            | 27 |
| 1.10 电偶极子.....         | 28 |
| 1.11 高阶多极子.....        | 36 |
| <b>第二章 静电场</b> .....   | 52 |
| 2.1 引论.....            | 52 |
| 2.2 矢量场的通量.....        | 52 |
| 2.3 电场的定律.....         | 54 |
| 2.4 高斯定律的微分形式.....     | 60 |
| 2.5 物质的极化.....         | 65 |
| 2.6 电位移.....           | 69 |
| 2.7 电极化率的计算.....       | 71 |
| 2.8 电容、电容器.....        | 79 |
| 2.9 电场的能量.....         | 82 |

|            |                 |            |
|------------|-----------------|------------|
| <b>第三章</b> | <b>电路</b>       | <b>95</b>  |
| 3.1        | 引论              | 95         |
| 3.2        | 电导率, 欧姆定律       | 95         |
| 3.3        | 电阻的起源           | 98         |
| 3.4        | 焦耳效应            | 101        |
| 3.5        | 导体、绝缘体和半导体      | 103        |
| 3.6        | 电动势             | 107        |
| 3.7        | 非欧姆导体           | 113        |
| <b>第四章</b> | <b>磁相互作用</b>    | <b>122</b> |
| 4.1        | 引论              | 122        |
| 4.2        | 作用在运动电荷上的磁力     | 123        |
| 4.3        | 电荷在磁场中的运动       | 127        |
| 4.4        | 带电粒子在磁场中运动的几个例子 | 135        |
| 4.5        | 运动电荷的磁场(非相对论的)  | 142        |
| 4.6        | 电磁学和相对性原理       | 144        |
| 4.7        | 运动电荷的电磁场(相对论的)  | 147        |
| 4.8        | 两个运动电荷之间的相互作用   | 150        |
| <b>第五章</b> | <b>磁场和电流</b>    | <b>167</b> |
| 5.1        | 引论              | 167        |
| 5.2        | 作用在电流上的磁力       | 167        |
| 5.3        | 作用在一闭合电流上的磁转矩   | 170        |
| 5.4        | 闭合电流回路产生的磁场     | 173        |
| 5.5        | 直线电流的磁场         | 175        |
| 5.6        | 电流之间的力          | 178        |
| 5.7        | 关于 SI 单位的说明     | 180        |
| 5.8        | 圆电流回路的磁场        | 182        |
| <b>第六章</b> | <b>静磁场</b>      | <b>195</b> |
| 6.1        | 引论              | 195        |
| 6.2        | 磁场的安培定律         | 195        |
| 6.3        | 安培定律的微分形式       | 201        |
| 6.4        | 磁通量             | 203        |

|            |                            |            |
|------------|----------------------------|------------|
| 6.5        | 物质的磁化                      | 204        |
| 6.6        | 起磁场                        | 206        |
| 6.7        | 磁化率的计算                     | 209        |
| 6.8        | 静态场定律小结                    | 215        |
| <b>第七章</b> | <b>物质的电结构</b>              | <b>220</b> |
| 7.1        | 引论                         | 220        |
| 7.2        | 原子和分子中的电相互作用               | 220        |
| 7.3        | 原子结构                       | 223        |
| 7.4        | 电子能级, 玻尔理论                 | 233        |
| 7.5        | 带电粒子的轨道运动所引起的磁偶极矩          | 237        |
| 7.6        | 一个在磁场中运动的带电粒子的转矩和能量; 空间量子化 | 240        |
| <b>第八章</b> | <b>与时间有关的电磁场</b>           | <b>249</b> |
| 8.1        | 引论                         | 249        |
| 8.2        | 法拉第-亨利定律                   | 249        |
| 8.3        | 电子感应加速器                    | 253        |
| 8.4        | 导体和磁场的相对运动所引起的电磁感应         | 256        |
| 8.5        | 电磁感应和相对性原理                 | 259        |
| 8.6        | 电势和电磁感应                    | 260        |
| 8.7        | 法拉第-亨利定律的微分形式              | 261        |
| 8.8        | 电荷守恒原理                     | 263        |
| 8.9        | 安培-麦克斯韦定律                  | 265        |
| 8.10       | 安培-麦克斯韦定律的微分形式             | 269        |
| 8.11       | 麦克斯韦方程                     | 271        |
| <b>第九章</b> | <b>随时间变化的电路</b>            | <b>283</b> |
| 9.1        | 引论                         | 283        |
| 9.2        | 自感应                        | 283        |
| 9.3        | 磁场的能量                      | 288        |
| 9.4        | 电路中的自由电振荡                  | 291        |
| 9.5        | 电路中的受迫电振荡                  | 294        |
| 9.6        | 耦合电路                       | 298        |
| 9.7        | 结束语                        | 301        |

## 第三部分

### 波

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| <b>第十章 波动: 弹性波</b> .....       | 311 |
| 10.1 引论.....                   | 311 |
| 10.2 波动的数学描述.....              | 312 |
| 10.3 波动的傅里叶分析.....             | 317 |
| 10.4 波动的微分方程.....              | 320 |
| 10.5 固体棒中的弹性波.....             | 323 |
| 10.6 气柱中的压力波.....              | 328 |
| 10.7 弦中的横波.....                | 334 |
| 10.8 液体中的表面波.....              | 338 |
| 10.9 是什么在波动中传播?.....           | 342 |
| 10.10 群速度.....                 | 346 |
| 10.11 多普勒效应.....               | 349 |
| 10.12 二维和三维的波.....             | 353 |
| 10.13 流体中的球面波.....             | 358 |
| <b>第十一章 电磁波</b> .....          | 371 |
| 11.1 引论.....                   | 371 |
| 11.2 平面电磁波.....                | 372 |
| 11.3 电磁波的能量和动量.....            | 377 |
| 11.4 振荡电偶极子的辐射.....            | 381 |
| 11.5 振荡磁偶极子的辐射.....            | 387 |
| 11.6 高阶振荡多极子的辐射.....           | 390 |
| 11.7 加速电荷的辐射.....              | 391 |
| <b>第十二章 电磁辐射与物质的相互作用</b> ..... | 404 |
| 12.1 引论.....                   | 404 |
| 12.2 电磁辐射的吸收.....              | 404 |
| 12.3 束缚电子对电磁辐射的散射.....         | 406 |

|             |                      |            |
|-------------|----------------------|------------|
| 12.4        | 自由电子对电磁波的散射, 康普顿效应   | 408        |
| 12.5        | 光子                   | 414        |
| 12.6        | 关于光子的另一个现象: 光电效应     | 419        |
| 12.7        | 电磁波在物质中的传播: 色散       | 422        |
| 12.8        | 电磁波的多普勒效应            | 427        |
| 12.9        | 电磁辐射谱                | 432        |
| <b>第十三章</b> | <b>反射和折射</b>         | <b>444</b> |
| 13.1        | 引论                   | 444        |
| 13.2        | 惠更斯原理                | 444        |
| 13.3        | 马吕斯定理                | 447        |
| 13.4        | 平面波的反射和折射            | 449        |
| 13.5        | 球面波的反射和折射            | 455        |
| 13.6        | 关于反射和折射定律的进一步讨论      | 457        |
| 13.7        | 金属表面上的反射和折射          | 463        |
| 13.8        | 波在非均匀介质中的传播, 费马原理    | 465        |
| <b>第十四章</b> | <b>电磁波的反射和折射, 偏振</b> | <b>472</b> |
| 14.1        | 引论                   | 472        |
| 14.2        | 电磁波的反射和折射            | 472        |
| 14.3        | 电磁波在各向异性介质中的传播       | 478        |
| 14.4        | 二向色性                 | 485        |
| 14.5        | 双折射                  | 486        |
| 14.6        | 旋光性                  | 492        |
| <b>第十五章</b> | <b>波动几何学</b>         | <b>502</b> |
| 15.1        | 引论                   | 502        |
| 15.2        | 球面上的反射               | 503        |
| 15.3        | 球面上的折射               | 513        |
| 15.4        | 透镜                   | 519        |
| 15.5        | 显微镜                  | 525        |
| 15.6        | 望远镜                  | 527        |
| 15.7        | 棱镜                   | 529        |
| 15.8        | 色散                   | 531        |

|             |                  |            |
|-------------|------------------|------------|
| 15.9        | 色差               | 531        |
| <b>第十六章</b> | <b>干涉</b>        | <b>549</b> |
| 16.1        | 引论               | 549        |
| 16.2        | 两个同步源产生的波的干涉     | 549        |
| 16.3        | 几个同步光源的干涉        | 557        |
| 16.4        | 一维驻波             | 563        |
| 16.5        | 驻波和波动方程          | 567        |
| 16.6        | 驻电磁波             | 574        |
| 16.7        | 二维驻波             | 578        |
| 16.8        | 三维驻波, 共振腔        | 583        |
| 16.9        | 波导               | 586        |
| <b>第十七章</b> | <b>衍射</b>        | <b>604</b> |
| 17.1        | 引论               | 604        |
| 17.2        | 矩形孔的夫琅和费衍射       | 606        |
| 17.3        | 圆孔的夫琅和费衍射        | 612        |
| 17.4        | 两个等宽的平行狭缝的夫琅和费衍射 | 614        |
| 17.5        | 衍射光栅             | 617        |
| 17.6        | 菲涅耳衍射            | 622        |
| 17.7        | 散射               | 629        |
| 17.8        | 晶体对 X 射线的散射      | 630        |
| <b>第十八章</b> | <b>量子力学</b>      | <b>644</b> |
| 18.1        | 引论               | 644        |
| 18.2        | 粒子和场             | 645        |
| 18.3        | 晶体对粒子的散射         | 646        |
| 18.4        | 粒子和波包            | 650        |
| 18.5        | 关于位置和动量的海森伯测不准原理 | 652        |
| 18.6        | 海森伯原理的例示         | 653        |
| 18.7        | 关于时间和能量的测不准关系    | 656        |
| 18.8        | 定态和物质场           | 657        |
| 18.9        | 波函数和几率密度         | 660        |
| 18.10       | 薛定谔方程            | 663        |

|       |           |     |
|-------|-----------|-----|
| 18.11 | 自由粒子的波函数  | 665 |
| 18.12 | 势箱中粒子的波函数 | 666 |
| 18.13 | 简谐振子的波函数  | 668 |
| 18.14 | 氢原子       | 670 |

## 第二部分 电 磁 场

一旦掌握了支配运动的普遍法则,为了加深对物理学的理解,下一步就要研究引起这些运动的各种相互作用。

引力相互作用在行星运动中和大块物质的运动中表现出来。引力虽然是已知的一切相互作用中最弱的一种,但却是最先被仔细研究的相互作用。这是因为,农业上和其他方面的预报需要,很早就引起了天文学界的兴趣,而且因为,引力所引起的许多现象直接影响人们的生活。

电磁相互作用是了解得最清楚的相互作用,也许是对日常生活最重要的相互作用。每天所观察到的大多数现象,包括化学的和生物的过程,都是原子和分子之间的电磁相互作用的结果。

强(或核)相互作用,使原子核内的质子和中子(统称核子)保持在一起,并引起其他有关现象。虽然进行了大力研究,但是关于这种相互作用的知识仍不完全。

弱相互作用引起基本粒子之间的某些过程,例如 $\beta$ 衰变。我们对于这种相互作用的理解也是不充分的。

上述这些相互作用的相对强度(取强相互作用的强度为1)分别为:电磁相互作用 $\approx 10^{-2}$ ,弱相互作用 $\approx 10^{-5}$ ,引力相互作用 $\approx 10^{-38}$ 。物理学迄今尚未解决的问题当中有:为什么看起来只有四种相互作用,为什么它们的强度相差如此之大。另一方面,人们或许会问:为什么不是仅仅存在一种相互作用,它在不同范围内表现为实验上发现的四种相互作用。

看一下牛顿在200年前关于相互作用所说的一段话,是非常有趣的,



物体的小粒子具有某些威力或力量，它们通过这些力彼此作用……而产生大部分自然现象，不是这样吗？因为，如所周知，物体彼此以重力、磁力和电力相互作用……，而且可能有比这些还要强的吸引力……。我在这只不考虑这些吸引是如何进行的……。重力、磁力和电力的吸引能够达到很长的距离……可能有其他的吸引力达到很短的距离，以致至今没有观察到……，(《光学》，第三册，问题31)

为了描述这些相互作用而引入场的概念。场表示一个物理实体，它遍布一个空间区域，由位置和时间二者的函数来描述。引入场这个概念来描述两个粒子之间的相互作用，是适当的，因为它们之间的相互作用取决于它们的相对位置和运动。因此，对于每一种相互作用，都假定一个粒子在其周围产生一个相应的场。这个场又作用在第二个粒子上而产生所需要的相互作用。当然，第二个粒子有它自己的场，这个场作用在第一个粒子上而产生相互作用。

电磁相互作用通常用两个场来描述，即电场和磁场。然而，必须特别指出，这两个场不是独立的实体，而是彼此密切联系着的。电磁场分成这样两个成分，取决于电荷和观察者的相对运动。

另一方面，场的概念并非仅仅用于描述相互作用，而且能够描述其他物理现象。例如，一位气象学家可以把大气压强和温度，都表示为地球表面的纬度和经度以及离开地面的高度的函数。

我们已经开始认识到，为了使一个场能够正确地描述粒子之间的相互作用，这个场的主要特点是它本身必须具有能量和动量，场必须能够把这两种性质从一个粒子传递给另一个粒子。

在本书第一卷中讨论了引力相互作用和引力场。在本卷中，将深入讨论电磁相互作用，并对其余两种相互作用(弱相互作用和强相互作用)，进行描述性的讨论；而在第三卷中将对它们的性质进行详细的讨论。