

大学物理学基础

I

力学与热力学

M. Alonso E. J. Finn 合著

梁宝洪 译

教育出版社

J411.22/25

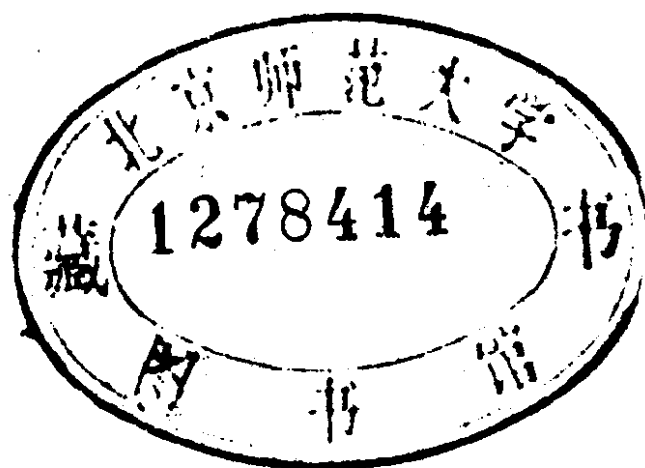
大学物理学基础

第一卷

力学与热力学

[美] M. Alonso 合著
E. J. Finn

梁宝洪 译



高等教育出版社

1983

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》第一卷(1980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 一 卷

力学与热力学

[美] M. Alonso 合著
E. J. Finn

梁宝洪 译

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 18.75 字数 453,000

1983年7月第1版 1984年6月第1次印刷

印数 00,001—13,500

书号 13010·0907 定价 3.55 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和工科学生，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、统一的论述，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。

自然界中的所有现象，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题材，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，这是一个很大的好处。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遍物理学课程编写的。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）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

这是一本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：第一，十分熟习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它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个指定的习题,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(Garden City, N. Y. Doubleday, 1957)。

物理学是一门定量的科学,需要用数学来表达它的概念。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,你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,要请教你的老师或较高年级的同学。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。电子计算器具有高得多的准确度,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历史发展感兴趣的学生,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

第一章 引论	1
1.1 什么是物理学?	1
1.2 物理学的经典分支.....	2
1.3 我们的宇宙观.....	3
1.4 相互作用.....	8
1.5 物理学与其他科学的关系.....	10
1.6 实验方法.....	11
第二章 测量和单位	13
2.1 引论.....	13
2.2 测量.....	13
2.3 基本量和单位.....	15
2.4 密度.....	18
2.5 平面角.....	19
第三章 矢量	23
3.1 方向的概念.....	23
3.2 标量和矢量.....	24
3.3 矢量加法.....	25
3.4 矢量的分量.....	29
3.5 几个矢量的加法.....	31
3.6 矢量在运动学问题上的应用.....	33
3.7 标积.....	35
3.8 矢积.....	36
3.9 面积的矢量表示.....	38
第四章 力	46
4.1 引论.....	46
4.2 共点力的合成.....	46

4.3	转矩	47
4.4	几个共点力的转矩	49
4.5	施于刚体的力	51
4.6	平行力的合成	53
4.7	质心	54
4.8	质点的平衡	56
4.9	固体的平衡	58

第一部分

力 学

第五章	运动学	70
5.1	引论	70
5.2	直线运动: 速度	72
5.3	直线运动: 加速度	74
5.4	直线运动的速度和加速度的矢量表示	76
5.5	曲线运动: 速度	82
5.6	曲线运动: 加速度	84
5.7	匀加速运动: 抛体运动	85
5.8	加速度的切向分量和法向分量	89
5.9	圆周运动: 角速度	92
5.10	圆周运动: 加速度	95
5.11	平面上的一般曲线运动	97
第六章	相对运动	106
6.1	引论	106
6.2	相对速度	106
6.3	匀速相对平动	108
6.4	匀速相对转动	112
6.5	相对于地球的运动	115
6.6	洛伦兹变换	120

6.7	速度的变换	124
6.8	洛伦兹变换的推论	126
第七章	质点动力学	139
7.1	引论	139
7.2	惯性定律	140
7.3	质量	142
7.4	线动量	144
7.5	动量守恒原理	145
7.6	牛顿第二和第三定律	148
7.7	力的概念	151
7.8	摩擦力	155
7.9	流体中的摩擦力	158
7.10	质量可变的系统	161
7.11	曲线运动	164
7.12	角动量	167
7.13	有心力	170
第八章	功和能	189
8.1	引论	189
8.2	功	190
8.3	功率	193
8.4	功和功率的单位	194
8.5	动能	197
8.6	恒力所作的功	199
8.7	势能	201
8.8	一个质点的能量守恒	206
8.9	保守力作用下的直线运动	208
8.10	在保守的有心力作用下的运动	210
8.11	势能曲线的讨论	212
8.12	非保守力	217
8.13	结束语	220
第九章	质点系动力学	230
9.1	引论	230

9.2	质点系的质心的运动	230
9.3	折合质量	238
9.4	质点系的角动量	241
9.5	质点系的动能	246
9.6	质点系的能量守恒	248
9.7	能量守恒的分析	250
9.8	碰撞	254
9.9	流体运动	262
第十章	刚体动力学	277
10.1	引论	277
10.2	刚体的角动量	278
10.3	转动惯量的计算	282
10.4	刚体转动的运动方程	287
10.5	转动的动能	291
10.6	回转运动	294
第十一章	高能动力学	310
11.1	引论	310
11.2	经典相对性原理	310
11.3	狭义相对性原理	313
11.4	动量	314
11.5	力	317
11.6	能量	319
11.7	能量和动量的变换	324
11.8	质点系	327
11.9	高能碰撞	328
第十二章	振动	341
12.1	引论	341
12.2	简谐运动的运动学	341
12.3	简谐运动中的力和能量	344
12.4	简谐运动的动力学	346
12.5	单摆	348
12.6	复摆	351

12.7	两个简谐运动的合成: 同方向, 同频率	353
12.8	两个简谐运动的合成: 同方向, 不同频率	356
12.9	两个简谐运动的合成: 垂直方向	358
12.10	耦合振子	361
12.11	非谐振动	367
12.12	阻尼振动	370
12.13	受迫振动	372
12.14	周期运动的傅里叶分析	377
第十三章	万有引力	389
13.1	引论	389
13.2	万有引力定律	392
13.3	惯性质量和引力质量	396
13.4	引力势能	397
13.5	引力相互作用下的一般运动	403
13.6	引力场	409
13.7	球形物体的引力场	414
13.8	等效原理	421
13.9	引力和分子间的力	424
第十四章	统计力学	435
14.1	引论	435
14.2	温度	436
14.3	理想气体温度	436
14.4	温度和分子能量	439
14.5	理想气体的状态方程	442
14.6	实在气体的状态方程	446
14.7	统计平衡: 麦克斯韦-玻耳兹曼分布律	453
14.8	气体中分子的能量分布和速度分布	456
14.9	多粒子系统: 功	459
14.10	多粒子系统: 热	463
14.11	能量守恒定律的重新表述: 热力学第一定律	465
14.12	热容	468
14.13	可逆过程和不可逆过程	471

14.14 熵	474
14.15 熵和热之间的关系	475
14.16 平衡的趋向: 热力学第二定律	479
第十五章 输运现象	492
15.1 引论	492
15.2 分子扩散; 斐克定律	492
15.3 热传导; 傅里叶定律	501
15.4 粘滞性	509
15.5 具有产生和吸收的输运现象	514
15.6 平均自由程、碰撞频率和碰撞截面	517
15.7 输运现象的分子理论	522
附录 数学公式	532
习题答案	540
索引	563
附表 1-3	580

第一章 引 论

学习物理学是一种令人兴奋的、有趣的探索活动,做一个专业物理学家,就更加令人兴奋。了解我们生活于其中的世界和试图探索自然界的奥秘,属于人类智慧的最引人入胜的活动之列。这些正是自然科学的宗旨。在本章中,我们将分析和回顾物理学的目的和方法,然后对它进行系统的、有组织的学习。

1.1 什么是物理学?

物理学(Physics)这个词来自希腊文的一个相应的词,它表示自然;因此,物理学应该是研究所有自然现象的一门科学。事实上,一直到十九世纪初期,对物理学都持这种广义的见解,并称它为自然哲学。然而,在十九世纪和直到最近时期,物理学限于研究一类比较有限的现象,称之为物理现象,并大致规定为这样一些过程:在这些过程中,参与物质的性质并不改变。这个不大确切的定义已逐渐被摒弃,而回到先前的、较宽广的、较基本的概念。因此,我们可以说:物理学是一门科学,它的目的是研究物质的组分及其相互作用。科学家根据这些相互作用来说明宏观物质的性质,以及我们观察到的其他自然现象。

在学习这门课程时,学生将会亲眼看到怎样根据基本的一般原理展开这门课程,以及怎样应用它来说明各种各样看来无关、但却遵从相同基本定律的现象。一旦清楚地理解了这些重要的原理,学生在解决新的问题时将能节省很多精力。

1.2 物理学的经典分支

好钻研的人们,对于自然界是怎样工作的,总是抱有很大的好奇心。起初,人们知识的仅有源泉是他们的感觉;因而人们将所观察到的现象,按照他们感觉这些现象的方式加以分类。光与视觉动作有关系,因而光学作为一门与这种动作相联系、在某种程度上独立的科学,而发展起来。声音与听觉动作相联系,因而声学作为一门相关的科学而发展起来。热和身体的另外一种感觉相联系,因而在许多年里,热的研究(叫做热力学)是物理学的另一个独立的分支。运动当然是所有直接观察到的现象中最常见的;因而运动科学(力学)的发展,比物理学的任何其他分支都早。引力相互作用所引起的行星运动,以及自由落体运动,都能用力学定律非常精确地予以说明;因此,传统上把万有引力作为力学的一章来讨论。电磁学并不直接和任何感觉经验相联系(尽管大多数感觉经验都起因于电磁),所以直到十九世纪,它才形成物理学的一个有组织的分支。

这样,十九世纪的物理学看起来被分为几个(叫做经典的)分支——力学、热学、声学、光学和电磁学,它们之间没有或者只有很少的联系,不过力学是所有这些分支的指导原理。直到最近,仍把物理学这样教给学生。在“经典的”分支之外,不久前增加了一个新的分支,叫做现代物理学,它包括二十世纪物理学的发展。

物理学各“经典”分支是而且将继续是专门研究和专业活动的重要领域,但是,按这种分隔的方式学习物理学的基础知识,不再具有意义。电磁学和现代物理学中包含着完全相同的一组现象,这就引起了对物理现象的一种新的、统一的、较合逻辑的观点。这种观点是二十世纪物理学的巨大成就之一。物理学的这种统一的论述,要求从现代的观点来重新评价经典物理学,而不是把物理学

划分为经典的和现代的。每一个时代都有正在发展的当代物理学，从这种意义上讲，总会有现代物理学。这种现代物理学要求随时对先前的概念和原理进行修正和重新评价。在每一阶段，都要把经典物理学和现代物理学结合成一个整体。物理学永远是一个整体，对它必须进行一致的、合乎逻辑的分析。

1.3 我们的宇宙观

现在我们认为物质是由少数种类的基本粒子组成的，并认为所有的物体，有生命的和无生命的，都是由基本粒子的不同组合或

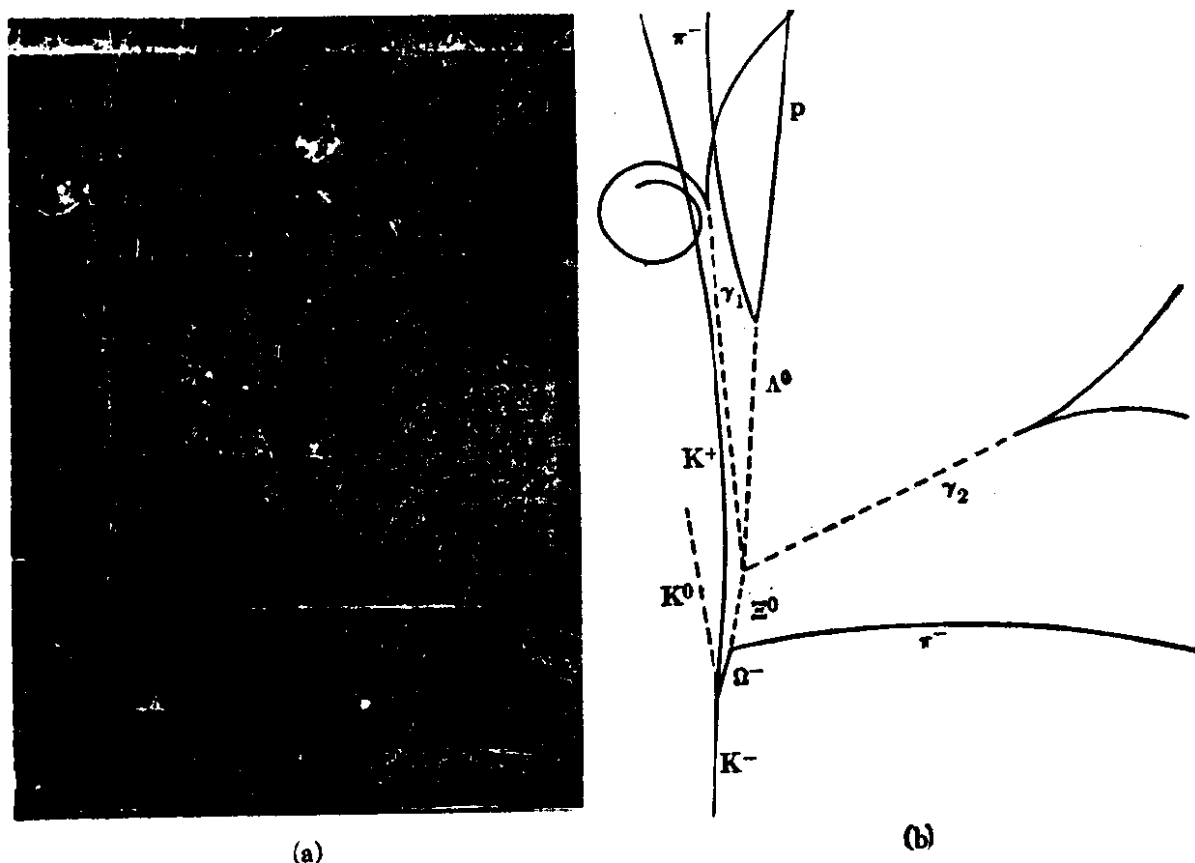


图 1-1. (a) 置于一强磁场中的 80 英寸(2m)液氢气泡室内基本粒子的径迹。强磁场迫使带电粒子沿弯曲的路径运动。分析这些径迹，并根据分析的结果推断不同粒子的性质。这是 1964 年拍摄的一张历史性的照片。它第一次提供了先前根据理论预言的 Ω^- 粒子存在的证据。(b) 线图示出这张照片中记录下来的比较重要的事例。 Ω^- 的径迹是靠近此图下部的短线。图中标出与其他径迹对应的粒子。