

力 学

《伯克利物理学教程》第一卷

〔美〕C. 基特尔等著

陈秉乾等译

科 学 出 版 社

1 9 7 9

内 容 简 介

《伯克利物理学教程》是美国近年来出版的大学理工科头两年使用的基础物理学教材。本书是其中第一卷，除包括传统力学课程的内容外，还专用一章较详细地论述了参照系及伽利略变换，用最后五章介绍了狭义相对论。全书强调力学在研究工作中的应用，特别提到了在核物理和天文学中的应用实例。

本书可用作理工科大学物理学参考书，也可供一般科技人员参考。

本书由北京大学物理系几位同志共同翻译：郭敦仁译正文前内容；黄昀译第一、三、十三章；沈克琦译第二章；林纯镇译第四章；楚珏辉译第五章；陈秉乾译第六、七、八章；林宗涵译第九、十章；俞允强译第十一、十二、十四章。陈秉乾负责校订和整理全部译稿。

C. Kittel W. D. Knight M. A. Ruderman

MECHANICS

Berkeley Physics Course Vol. 1

McGraw-Hill, 1973

力 学

《伯克利物理学教程》第一卷

[美] C. 基特尔等 著

陈秉乾等 译

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1979年2月第一版 开本：787×1092 1/32

1979年2月第一次印刷 印张：17 3/4

印数：0001—220,400 字数：394,000

统一书号：13031·812

本社书号：1160·13-3

定价：1.45元

中译本前言

自六十年代初期以来,美国一些重点大学,为了解决基础物理教材内容陈旧,与现代科学技术蓬勃发展的要求不相适应的矛盾,开始对大学基础物理课程试行改革.《伯克利物理学教程》就是这种尝试之一.它是美国近年来较为流行的供大学理工科学生头二年使用的基础物理学教程,一共包括五卷:1.力学;2.电磁学;3.波动学;4.量子物理学;5.统计物理学.原教程编写的意图,是尽可能地反映近百年来物理学的巨大进展,按照当前物理学工作者在各个前沿研究领域所使用的方式来介绍物理学.全教程引入狭义相对论、量子物理学和统计物理学的概念,从较新的统一观点来阐明物理学的基本原理,以适应现代科学技术发展对物理教学提出的要求.在编写过程中曾吸收了在各个前沿领域工作的许多物理学工作者的意见,经过较长时间的教学试验和多次修改,于1963年开始出版,迄今已重版多次,对美国大学物理教学有较大影响.原书比较偏重于理论方面,实验方面另编有《伯克利物理学实验》一书.鉴于这部教程在取材、编排和写法上有一些特点,对如何利用新的科学技术成就来改革和充实基础物理教学内容尚有可供借镜之处,按照“洋为中用”的方针,我们翻译出版中译本,以供我国高等院校师生和科技人员参考.由于各卷内容相对独立,我们将分别出版.

必须指出,这部教程完全是按照美国教学原则编写的,不一定适合我国的具体情况,在观点上也可能存在一些问题,希望读者阅读时注意.

在中译本中,我们对原书作了少量删节,删去的主要有和原书内容关系不大的一些物理学家的照片和简单传记材料以及其他一些材料。原书各章附有一些参考读物,考虑到这些读物有的出版较早,国内难以找到,我们也一律删去,读者可以根据需要与可能,参考有关的书籍。

译文错误或不当之处,请读者批评指正

《力学》第二版序

《伯克利物理学教程》第一卷《力学》，成书以来已经使用了将近七年，几年前就已感到应该考虑修订了。那时我们每人都都在伯克利使用本书讲授过好几遍。我们根据自己的教学经验以及与本校和其他学院同行们的讨论，逐渐提出和考虑了一些修改意见，以使本书作为理工科学生的入门课程更适合教学目的。

我们力图保持整套《伯克利物理学教程》的特色，不改变它所创新的教学方式，这就是引用研究实验工作中的例子，介绍一些过去总认为对入门课程太深但十分有意义的课题。我们还从第一版中删去了一些“高级课题”，并把原来第十五章“近代物理学中的粒子”全部删去。我们认为，那些内容在目前水平的课程中并不是常常用到的。最重大的修改是完全重新改写了关于刚体运动的第八章。虽然这一章现在无疑是更通俗化了，可是它更适合于学生现在的程度。各课题编排的顺序基本未变，只是把第三章和第四章对调了一下，这是希望使学生先熟悉一下牛顿运动定律的一些普通应用，以便有助于更好地理解较深一些的伽利略变换的概念。最后，鉴于学生在数学、特别在微分方程方面曾遇到很大困难，为此我们增补了一些“数学附录”。

后面的“教学说明”，就教师应该怎样使用本书作为教材作了比较详细的说明。作为一个季度或一个学期能够恰当使用的教材来说，新版中的材料仍然过多。任课教师应有意识地选择讲授的材料。近年来，伯克利改行季度制，使得实验

课无法与第一季度的力学内容相配合。可是，入门性质的基础课程应该同实验课密切结合。波提斯 (Alan Portis) 和杨 (Hugh Young) 修订的《伯克利物理学实验》一书，编写有同任何力学入门课程相配合的有价值的实验。

A. C. 赫姆霍尔兹

B. J. 莫耶

教 学 说 明

本书显然是作为教科书而编写的。对学生程度的要求是假定他们已学过一些微积分,目前还在继续学习,而且已学完了高中物理课程。在伯克利的加利福尼亚大学,理工科学生是在一年级第一季度开始学习微积分,而在第二季度一面学习本课程,一面继续学习微积分,他们开始上物理课时已经学过微分,至少在这一季度中间开始接触到积分。教学计划安排得如此紧,这就要求与数学课教师密切配合。当然,这时学生还没有学过微分方程,所以在第三章和第七章末的数学附录中包括有一些介绍几种简单微分方程解法的材料。在象现在这样的力学课程中,需要求解的微分方程类型并不多,我们相信,学生全可以学会。

这次修订中增添了一些习题,尽管它们大多数要比删掉的那些容易些,但是我们并没有把非常简单的习题和填空题摆进来。新增加的这些习题,有一些对帮助学生增强学习的信心是有价值的。不过,我们认为,每位教师可以自编一些习题,或者至少从别的书中找出一些。没有两位教师愿以完全相同的方式讲授力学课,因此,按照需要选用一些专用习题,就会使教师有机会发挥自己的特长。

当然,使用本书作为教材可以有好几种方式,其中有一种方式显然本书第一版时很少有人采用过。然而,我们认为,它也许是使用全书的一种非常好的方式,这就是把本书用作上过一学年不用微积分的力学课之后的力学教材;例如在那些较小的学院中,由于没有力量同时既开用微积分的课程又开

不用微积分的课程,常常就可以这样安排.对大学二年级或者三年级学生开设的这样一门力学课,由于有许多课题可以以不大高深的形式放在第一学年内讲授,因此,可以把本书内容都按时讲完.

本书用作为普通物理课程的正式入门教材,内容可能过多,为此,我们建议教师不必一字不漏地全讲.有许多这样的入门课程,是不包括狭义相对论的,所以,前九章是经典力学的系统介绍.可是,即使是这些内容,如果全都讲到,对于在只有九周或十周时间的一个季度的课程或者一个学期通常只有部分时间讲授力学来说,仍然嫌太多了.因此,我们在下面提出了一些建议,说明各章的最低要求.有时人们不希望在一门入门课程中包括电学或磁学问题.我们相信,这本教材可以按这种方式来使用,尽管会有许多学生对电学问题有浓厚兴趣,许多教师对于大量删减材料也感到为难.根据我们的经验,与其泛泛地讲很多内容,还不如努力讲好其中一部分内容.书中较深的一些章节和高级课题是供优秀学生阅读的,这些可以发挥他们的才能;这些部分也可供学生在以后继续学习物理学时作为参考材料.

作过以上说明,我们现在详细地介绍一下本书各章.

第一章 和本书第一版中一样,本章对学习力学来说并不是必不可少的.不过,它可以为兴趣较广的学生提供有趣的阅读材料.如教师希望给学生指定阅读材料,这一章可以提供很好的材料来说明“数量级”的概念.

第二章 引进矢量,使学生掌握物理学中非常有用的一种语言.如在这一章里指出的,可以暂时略去矢积部分,以及关于 \mathbf{v} 和 \mathbf{B} 不垂直时的磁力例子.教师可以不用矢积讲到第六章,在那时再回头讲它.标积是求物理量数值时常常用到的.第五章讲功和能时更是如此.因此有必要在这里引

入它。此外，求解好些有趣的习题也要用标积作为工具。矢量微商一节也很有用，不过讨论单位矢量 \hat{r} 和 $\hat{\theta}$ 的内容可以略去，移到很后面再介绍。我们希望，这一章关于圆周运动的内容是以后学习动力学的一个很好入门。

第三章 这一章较长，并介绍了比较多的应用。我们以通常惯用的形式引进了牛顿定律，接着就介绍第二定律的一些应用。如果课时较少，或者不打算讲电学和磁学方面的应用，有关的那一节可以全部略去，或者只就速度与磁场垂直的特例来讲述磁场。此后通过牛顿第三定律引入动量守恒，在碰撞问题中提到了动能，尽管要到第五章才引入这个概念。大多数学生在高中时就学过动能概念，在这里不会感到任何困难，不过也可以略去。

第四章 正如在本章中指出的，这一章不是用传统的方式写的。许多物理学家都要求引入伽利略变换，对打算进一步学习狭义相对论的读者来说，这一章对坐标变换提供了很好的准备知识。可是，对于非物理专业学生和时间有限的读者来说，这一章无异于“锦上添花”，应当略去。讲一点加速参照系和虚设力的知识，也许是必要的，但是，可以从本章头几页中选用材料。

第五章 这一章引入功和动能，首先讲一维情形，然后讲三维情形。这里必须用到标积，但可以避开使用线积分。这一章详细地介绍了势能。如果课时不多，关于电势的讨论和关于保守场的讨论都不妨略去。然而，这是很重要的一章，讲授时不应草率从事。

第六章 这一章再次介绍碰撞问题，并引入了质心参照系概念。质心是刚体中的一个重要概念，虽然广泛采用质心系，但如力学课课时不多，也可以删去这些内容。引入角动量和力矩概念时需要用到矢积，不过，这时学生已具备了掌握

和运用矢积的知识,如果在前面略去未讲,可以在这里讲授.角动量守恒对许多学生来说是一个有吸引力的课题.

第七章 在这里,如果学生对运用微分方程有困难,应该先学习“数学附录”.弹簧振子和单摆是为讲授振动这一重要课题而引入的两个简明例子.如果课时不够,关于动能和势能的平均值、阻尼运动以及受迫振动的几节,全都可以删去.实验课还可以提供这种运动的一些非常好的实例.对于那些程度较高的学生,关于非谐振子和受迫振子的“高级课题”是会有吸引力的.

第八章 我们认为,对刚体作一入门介绍,对于所有学生都是有益的.绕固定轴的力矩和角加速度这两个概念并不难懂,它们能使学生得到同周围现实世界的联系.本章对陀螺仪的简单分析也是有价值的,但是,介绍主轴、惯量积和转动坐标系的那些内容,在大多数力学课中恐怕应当删去.

第九章 有心力问题是非常重要的.有些教师也许不愿在计算球体内外引力势方面花那么多时间,这些当然可以略去.他们可能还感到积分求解 r 的运动方程太费事了,如果是这样,也可以删去它.他们对本章中的“高级课题”应该感到满意.尽管这一章中有不少材料必要时可以删去,但是,花点功夫掌握它们还是很有好处的.两体问题和约化质量的概念也是很有用的,不过,如果课时不够也可以删去.

第十章 这一章介绍了几种测定光速的方法.对于力学课来说,这些材料并非必不可少的.不过,我们相信学生会对它感到兴趣,也可以把它指定为课外阅读材料.接着介绍了迈克耳孙-莫雷实验,在这样的力学课中,它是用来说明伽利略变换需要加以改变的最令人信服的证据.还介绍了多普勒效应,这是因为退离的多普勒效应为遥远星体的高速运动提供了证据.本章结尾用一节讨论了光速是有重物体的极限速

度问题,以及牛顿动能公式的失效,对只能花不多时间学习狭义相对论的学生,浏览一下本章也许就够了。

第十一章 这一章里推导出了洛伦兹变换式,并把它们用于通常最说明狭义相对论的特征的现象,即长度收缩和时间膨胀,本章介绍了速度变换,并举出了一些例子。这一章是学习以后各章的基础,应当花足够时间认真学习。

第十二章 这一章利用第十一章的结果证明需要改变动量和相对论性能量的定义,最后证明了 $E = mc^2$ 的来源,讲授时应当着重介绍与高能粒子实验以及与高能核物理学的关系。在这个阶段,学生们也许(譬如说)对核物理学只有一些模糊的认识,然而,这些例子在今天已如此普遍,讲授起来不会有任何困难。最后,关于静止质量为零的粒子的讨论,将能够回答许多机敏学生的疑问。

第十三章 本章进一步深入论述了前一章提出的许多例子。引入了质心系,指出了它的优点。课时不多时,这些都可以略去,学得好的学生对这些内容会感到兴趣,可以在学习其他物理课程涉及狭义相对论时作为课外阅读材料。

第十四章 近年来,学习广义相对论已经相当普遍,这一章就是为学习广义相对论作准备的。当然,就通常意义说,这一章内容对于狭义相对论并不是重要的。但是,有许多学生可能对于引力质量与惯性质量的差别感到兴趣,而且,几乎每个人都听说过关于广义相对论的验证问题。

致 学 生

大学物理课的头一年一向是最困难的。在第一年里，学生要接受的新思想、新概念和新方法，要比在高年级或研究院课程中还要多得多。一个学生如果清楚地理解了力学中所阐述的基本物理内容，即使他还不能在复杂情况下运用自如，他也已经克服了学习物理学的大部分的真正困难了。

一个学生，如果对理解本书的某些部分感到困难，或者在解习题上遇到困难，甚至在把课文反复阅读过后也仍然如此，那他应当怎么办呢？首先，他应当回头重读高中物理课本的有关部分。这其中特别值得推荐的是《PSSC 物理学》教本，《哈佛物理学》* (Harvard Project Physics) 也很不错。然后，他应当选一本大学入门水平的物理书作参考和阅读。这些书中有很多都没有用微积分，因而由于数学方面引起的困难便可以大大减少。习题，特别是看那些已做出的例题，可能是很有帮助的。最后，当他已经理解了这些较浅的书之后，他还可以找一些与本书水平相当的书来阅读。当然，他应当记住，找教师答疑解惑总是最好办法。

许多学生总是在数学方面感到困难。因此，除了正规学习的微积分书外，也可以阅读一些小册子。

* 这是美国近年来出版的两套中学物理学教材，其中《PSSC 物理学》已有中译本，简称为《物理》，由科学出版社出版。——译者

符 号

单位

科学技术中的每一成熟领域，对于其中经常出现的量都有它自己的特定单位。MeV 即兆电子伏特是核物理学家使用的一个自然能量单位，千卡是化学家的能量单位，而千瓦·时是动力工程师的能量单位。理论物理学家常常爱简单地说：选择单位使光速等于 1。一位从事实际工作的科学工作者不会把很多时间花在单位换算上，他对于计算中碰到的因子(如 2)和正负号倒会特别留意。他也不会费很多时间去讨论单位制，因为好的科学从来就不会从单位制讨论得出来。

物理学中主要采用的是高斯厘米-克-秒制 (cgs) 单位和国际制 (SI) 即米-千克-秒制 (mks) 单位。任何一个科学家或工程师要想顺利地阅读物理学文献，都必须熟悉这两种单位制。

本书采用的是高斯厘米-克-秒制，在一些地方也提到了国际制单位；后一种单位制，直到不久前更常用的名称是米-千克-秒制或米-千克-秒-安培制。在力学问题中把厘米-克-秒制单位换成国际制是很容易的，在课文中将作说明。但是，碰到电学和磁学问题时有些麻烦。本书中对这两种单位制都作了说明，有些例题是用两种单位制解出的。二十多年前就开始提倡改用国际单位制，这件事是否会继续下去尚不清楚。不过，在现行的物理学文献中，看来采用厘米-克-秒制的文章还比较多，这就是我们在本书中保留这种单位制的理由。在这

样一本物理学教程中，我们力求能使科学家和工程师阅读期刊、特别是阅读物理学期刊时会感到容易些。

物理常数

本书正文前印有物理常数和一些有用的物理量近似值。更为精确的物理常数值可参阅最新出版的有关刊物。

记号和符号

一般说来，我们总是让本书中的符号和单位缩写与物理学文献中所使用的一致，它们大多是与国际习惯相符合的。

我们这里把本书采用的几种记号总列如下：

$=$	等于	\approx	近似地等于；粗略地等于
\cong	差不多等于	\sim	数量级为
\equiv	恒等于	\propto	正比于

\approx ， \cong ， \sim 这几种记号的用法还没有标准化，不过我们上面给出的定义是多数物理学家都采用的。美国物理学会极力提倡在那些可能会有人用 \approx 或 \cong 的地方，最好一律都采用 \approx 。

记号 $\sum_{i=1}^N$ 或 \sum_j^N 表示对 \sum 右方的东西从 $j=1$ 到 $j=N$ 求和。符号 $\sum_{i,j}$ 表示对两个指标 i 和 j 的双重求和。

符号 $\sum'_{i,j}$ 或 $\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}}$ 表示除去 $i=j$ 的双重求和。

数量级

数量级通常理解为“出入不到10倍”。大致地去估计一下一个量的数量级，是物理学家工作和说话方式的特征。这

是一种非常有价值的职业习惯，尽管这常常使初学者感到极为困惑。比如我们说数字 5500 和 25,000 的数量级都是 10^4 。在厘米-克-秒制中，电子质量的数量级是 10^{-27} 克，而精确值是 $(0.910954 \pm 0.000005) \times 10^{-27}$ 克。

有时我们说一个解含有(准确到)量级为 x^2 或 E 的项，而不管这个量是什么。这句话也常写作 $O(x^2)$ 或 $O(E)$ 。它的意思是：在精确解中所含的这个量的更高次幂项(如 x^3 或 E^2)与近似解中所保留的项相比，对于某些目的，可以忽略不计。

词冠

下表是一些常用的字首缩写及其数值含义：

10^{12}	T	垓 (tera-)	10^{-3}	m	毫 (milli-)
10^9	G	京 (giga-)	10^{-6}	μ	微 (micro-)
10^6	M	兆 (mega-)	10^{-9}	n	纤 (nano-)
10^3	k	千 (kilo-)	10^{-12}	p	沙 (pico-)

数 值 表

项 目	数值与单位	符号或 缩写	数值的 导出
一 般			
1 弧度	$\equiv 57.3^\circ (57^\circ 18')$	rad	$180^\circ/\pi$
1 弧度	$\equiv 3.44 \times 10^3 (\text{弧})\text{分}$	rad	
1 弧度	$\equiv 2.06 \times 10^5 (\text{弧})\text{秒}$	rad	
1 度	$\equiv 1.75 \times 10^{-2}$ 弧度	°	$\pi/180^\circ$
1 (弧)分	$\equiv 2.91 \times 10^{-4}$ 弧度	'	
1 (弧)秒	$\equiv 4.85 \times 10^{-6}$ 弧度	"	
1 英里	$\equiv 1.609 \times 10^5$ 厘米		
1 埃	$\equiv 10^{-8}$ 厘米	Å	
1 微米	$\equiv 10^{-4}$ 厘米	μm	
1 静电系电势单位	$= 2.998 \times 10^2$ 伏特		$10^{-8}c$
真空中的光速	2.99725×10^{10} 厘米 /秒	c	
地球表面的重力加速 度	≈ 980 厘米/秒 ²	g	GM_e/R_e^2
引力常数	6.671×10^{-8} 达因· 厘米 ² /克 ²	} G	
引力常数	6.671×10^{-11} 牛 顿·米 ² /千克 ²		
1 克·厘米/秒 ²	$\equiv 1$ 达因	dyn	
1 千克·米/秒 ²	$\equiv 1$ 牛顿	N	
天文学			
1 秒差距	$= 3.084 \times 10^{18}$ 厘米		

项目	数值与单位	符号或缩写	数值的导出
1 光年	$= 9.464 \times 10^{17}$ 厘米		$c \times$ 每年秒数
1 天文单位 (≡ 地球的轨道半径)	$= 1.49 \times 10^{13}$ 厘米	AU	
核子数	$\approx 10^{80}$	}	已知的宇宙
半径	$\approx 10^{28}$ 厘米		
星系数	$\approx 10^{11}$		
星云退行速率	$\approx 1.6 \times 10^{-18}$ (厘米/秒)/厘米		
恒星数	$\approx 1.6 \times 10^{11}$	}	银河系
直径	$\approx 10^{23}$ 厘米		
质量	$\approx 8 \times 10^{44}$ 克		
半径	6.96×10^{10} 厘米	}	太阳
自转周期	2.14×10^6 秒		
质量	1.99×10^{33} 克		
轨道半径	1.49×10^{13} 厘米	}	地球
平均半径	6.37×10^8 厘米		
质量	5.98×10^{27} 克		
平均密度	5.52 克/厘米 ³		
1 年 (公转周期)	$= 3.156 \times 10^7$ 秒		
24 小时 (自转周期)	$= 8.64 \times 10^4$ 秒	}	月球
轨道半径	3.84×10^{10} 厘米		
半径	1.74×10^8 厘米		
质量	7.34×10^{25} 克		
公转周期	2.36×10^6 秒		
气 体			
标准温度与标准压强下的克分子体积	22.4×10^3 厘米 ³ /克分子	V_0	
洛喜密脱数	2.69×10^{19} 厘米 ⁻³	n_0	N_0/V_0