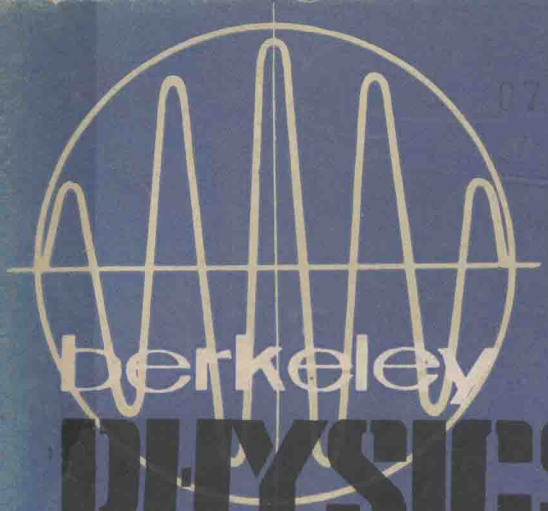
075623



berkeley

PHYSICS LABORATORY

大学物理实验

伯克利物理实验

〔美〕A. M. 波蒂斯 H. D. 扬 著

科学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

大学物理实验

伯克利物理实验

〔美〕A. M. 波蒂斯　H. D. 揚 著

本书翻译组 译

科学出版社

1982

内 容 简 介

本书为美国《伯克利物理实验》全译本，与《伯克利物理学教程》（共五卷）一样，同属于美国为改进大学理工科物理教学而编写的基础物理革新教材。全书内容分为十二个单元，每一单元包括四至六个实验，共六十二个实验。这些实验的特色是尽量使用现代仪器，使实验者接触到物理学的一些最新研究成果。本书各实验编排灵活，可供教师自由选择，编成不同类型的成套实验。

本书可作为大学物理实验教材，亦可供中学物理教师参考。

A. M. Portis H. D. Young
BERKELEY PHYSICS LABORATORY
(2 *nd ed.*)
McGraw-Hill, 1971

大学物理实验

伯克利物理实验

〔美〕A. M. 波蒂斯 H. D. 扬 著

本书翻译组 译

责任编辑 王鸣阳

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1982年2月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1982年2月第一次印刷 印张：20 1/4

印数：0001—14,600 字数：458,000

统一书号：13031·1811

本社书号：2463.13—3

定价：2.50 元

中译本前言

物理学本质上是一门实验科学，因此，在教学工作中必须十分重视物理实验工作。但在我国的理工科学生中，由于各种原因，长期以来，一直有一种轻视实验的倾向。近年来，为加强物理实验的教学工作，教育部有关部门曾多次召开讨论会，提出了各种改进措施。在这种情况下，我们深感物理实验书籍不足，为此翻译了这本«大学物理实验»(原名«伯克利物理实验»)，以供物理教学工作参考。

本书原是为配合«伯克利物理学教程»(一共五卷，科学出版社已出版中译本)的教学而编写的物理实验教学用书，是供美国一、二年级使用的。全书分为十二个单元，即数学和统计、力学、电子仪器、场、电子和场、电路、声学和流体、微波光学、激光光学、原子物理、原子核物理、半导体电子学，每个单元有四至六个实验，总计六十二个实验，这些实验深度大致在我国大学的普通物理实验和近代物理实验之间，此外还列有一些电子学实验。本书有四个特点值得注意：

1．内容较新，反映了当代物理学的新水平，实验内容和实验设备比较现代化．书中近代物理实验和电子学实验占有相当比重，实验手段也比较新，例如力学实验采用了气垫导轨，光学实验利用了激光和微波，等等。

2．注意启发学生的创造性，鼓励学生独立思考，以引起学生的兴趣．每一实验课题的引言部分讲述清楚，物理图象清晰，实验中又要求学生改变条件重复操作，还精心设计了一些富有启发性的思考题。一些地方加有醒目的“注意”事项，提醒学生重视安全操作和仪器保护，以养成良好的实验习惯．

3．实验安排灵活．全书六十二个实验，不但数量多，而且要求也较高，显然无法在两年的物理实验课程中全部做完．本书编排方式很适合于教师根据具体条件自由挑选其中一部分实验，甚至一个实验中的某些项目编成实验课程．

4．本书为普通物理课程中所用到的一些数学知识编排了六个实验，这是一种很好的尝试，也值得注意．

原书序言中建议，本书的实验最好安排在“开放”实验室中进行．所谓开放实验室，就是学生可以自行约定时间进实验室进行实验．显然，这样更能发挥学生学习实验的主动性．可惜目前我国大学里的物理实验室还做不到这一点，需要向这一目标努力．

本书是由南开大学物理系和中国科学技术大学物理教研室的一些同志在两单位有关领导的支持和关怀下集体翻译的．参加翻译工作的十几位同志均已分别署名在各单元末尾．参加审校工作的有江安才、解俊民、刘友婴、容保粹、李乐天、金怀成、蔡明儒等，最后由蔡明儒和刘友婴同志整理和复校全稿．另外有不少同志对翻译本书的工作给予过协助或提出有益的意见，谨在此一併致谢．译文中错误和不妥之处，欢迎读者批评指正．

序　言

我们在修订«伯克利物理实验»过程中，已力图把第一版的材料修改得更适合于大学低年级学生．他们当中许多人都是第一次学习大学水平的物理学课程，并同时使用本实验教程．此外，我们还尽了最大努力保持第一版的基本特点和风格，这就是，尽量使用现代仪器，并让学生经常接触到物理学中的一些最新研究课题．我们觉得，恐怕正是由于具有这些特色，本书第一版才受到了广泛欢迎，所以我们在修订版中也尽量保存了这些特色．

原版本中的大多数实验仍予以保留，但次序和内容编排作了变动，有关的讨论也全部改写过，目的是为了使内容更易于阅读和自成系统．此外还增添了许多原来没有的实验，这样，全部实验的总数就将近是第一版中的二倍．

具体地说，全部实验编排成十二个单元，每一单元包括有四至六个实验．大多数单元都是从比较简单的实验做起，而以比较难做的实验作为结束．通常，一个单元中的所有实验都只用相同的基本设备，而在单个的实验中，只需要稍稍改换一下附件．这样安排从教学法上讲有很大优点，能使学生避免在每个实验中都重新去熟悉一套新的实验装置．每个实验又分为若干项目，每一项目都编以序号．这样，当教师只要求学生做一个实验中的某些项目时，就可以借助编号来指定那些项目．

我们希望把本书编排成可以相当灵活使用的实验教材，使不同的教师可以按照各自的教学要求根据本书中的材料编排出自己的一套实验，也就是说，他们可以按照各自的需要选用那些合适的单元和各单元中合适的实验以及实验中那些合适的项目．当然，没有必要按照从头至尾的次序去进行本书中的实验．但是，有一些实验的确需要先有一些预备知识．例如，学生必须先熟悉“电子仪器”单元中的那些实验，然后才能继续做“电路”或者“电子和场”单元里的实验．

在大多数情况下，各个实验的设计都是让一般学生能够在三小时的一节实验课里顺利完成．但是也有一些实验，可能需要删去一些实验项目，或者延长实验时间．我们感到，本书实验材料的安排特别适合于安排在“开放的”实验室中去做，这样学生们可以按照各自的能力和积极性以自己的进度进行实验．

在这个修订版中，我们统一使用了米-千克-秒单位制(MKS)，只是偶尔才用到厘米-克-秒制 (CGS) 或英制单位．关于米-千克-秒单位制是否完善的问题虽然还有争议，但这种单位制的最大优点是已经在实际的电学测量中普遍应用．此外，大多数新出版的基础教科书中，也都使用这种单位制．为了方便那些习惯于厘米-克-秒制的读者，我们在第 vi 页中还给出了两类单位的转换因子．

最后，我们要重申第一版序言中讲过的一句话，这就是，这本实验教程的要求，对于一般学生来说，可能要比通常实验课程的要求为高．我们已竭力避免使这本新的实验教材变成一本“烹调书”，因此，我们感到这样一来，有些学生就不得不多花一些精力．但是，花精力是学习过程所必不可少的，能力正是来自勤奋．　　A. M. 波蒂斯　H. D. 扬

需要全本请访问 www.ertongbook.com

单　　位

在本书的讨论和实验描述中，不管是作理论探讨还是作实际测量，全部采用米-千克-秒-安培单位制(MKSA)．在这种单位制中，有四个基本单位，即长度单位米，质量单位千克，时间单位秒和电流单位安培．所有其他力学量和电学量都用这四个基本单位来表示，它们被列在下面的"单位表"中．这个表还给出了相应的厘米-克-秒制单位（CGS 高斯单位)以及它们的特殊名称和转换因子．在厘米-克-秒制中只有三个基本单位，即厘米、克和秒；这种单位制中的电荷单位静库仑，是用这三个基本单位来表示的．

单　位　词　冠　表

10 的 乘 幂	词　　冠	英 文 缩 写	实　　例
10^{12}	太 (tera-)	T	
10^{9}	京 (giga-)	G	京赫兹 (GHz)
10^{6}	兆 (mega-)	M	兆赫兹 (MHz) 兆欧($M\Omega$)，兆瓦(MW)
10^{3}	千 (kilo-)	k	千伏 (kV)，千瓦 (kW)
10^{-2}	厘 (centi-)	c	厘米 (cm)
10^{-3}	毫 (milli-)	m	毫安 (mA)，毫亨(mH)
10^{-6}	微 (micro-)	μ	微伏(μV)，微法(μF)
10^{-9}	纳(毫微) (nano-)	n	纳(毫微)秒 (nsec)
10^{-12}	皮(微微) (pico-)	p	皮(微微)法 (pF) 皮(微微)秒 (psec)

单　　位　　表

物　理　量	米-千克-秒-安培单位	厘米-克-秒高斯单位
长　　度	米 (m)	厘米 (cm)$=10^{-2}$ 米
质　　量	千克 (kg)	克(g)$=10^{-3}$ 千克
时　　间	秒 (sec)	秒
力	牛顿 (N)＝千克·米/秒^2	达因$=10^{-5}$ 牛顿
能　　量	焦耳 (J)＝牛顿·米	尔格$=10^{-7}$ 焦耳
功　　率	瓦 (W)＝焦耳/秒	尔格/秒$=10^{-7}$ 瓦
电　　荷	库仑 (C)	静库仑(静电系电荷单位)$=\frac{10^{-9}}{2.998}$库仑
电　　流	安培(A)＝库仑/秒	电磁系电流单位＝10安培
电位(电势)	伏特(V)＝焦耳/库仑	静伏特(静电系电位单位)$=2.998\times10^{2}$ 伏特
电　　场	伏特/米或牛顿/库仑	
磁 场 (B)	韦伯 (Wb)/米^2	高斯$=10^{-4}$韦伯/米^2
电　　阻	欧姆(Ω)＝伏特/安培	
电　　容	法拉 (F)＝库仑/伏特	
电　　感	亨利 (H)＝伏特·秒/安培	

有时，应用这些基本单位的 10 的乘幂作为辅助单位比较方便．例如，根据所涉及的物理问题的尺度大小，我们有时可以使用米、千米(10^3 米)、厘米(10^{-2} 米)、毫米(10^{-3}米)、微米(10^{-6}米)和埃(10^{-10} 米)等长度单位．所有这些辅助单位，一般都是在基本单位前添加词冠来标明，只有少数几个是例外．例如，“千”这个词冠总是指 10^3，即 1 千米＝10^3米．我们在“单位词冠表”中列出了一些常用词冠，并给出了一些单位实例．

常　　数

下面的“基本物理常数表”列出了实验工作中经常用到的一些基本物理常数．这些常数是用米-千克-秒-安培单位给出的．在实际计算中还有一些单位，如电子伏特或原子质量单位等，使用起来有时比基本的米-千克-秒-安培单位更为方便．在“其他重要常数表”中以各种单位给出了经常出现的某些常数和常数的组合．此外，我们还给出了一些常用的换算因子．

基本物理常数表

名　　称	符　　号	数　　值
光　速	c	2.998×10^{8} 米/秒
电子电荷	e	1.602×10^{-19} 库仑
电子质量	m	9.109×10^{-31} 千克
中子质量	m_n	1.675×10^{-27} 千克
质子质量	m_p	1.672×10^{-27} 千克
普朗克常数	h	6.626×10^{-34} 焦耳·秒
	$\hbar=h/2\pi$	1.054×10^{-34} 焦耳·秒
自由空间的电容率(介电常数)	ε_0	8.854×10^{-12} 法拉/米
	$1/4\pi\varepsilon_0$	8.988×10^{9} 米/法拉
自由空间的磁导率	μ_0	$4\pi\times10^{-7}$ 韦伯/安培·米
玻耳兹曼常数	k	1.380×10^{-23} 焦耳/K
气体常数	R	8.314 焦耳/摩尔·K
阿伏伽德罗数	N_0	6.023×10^{23} 分子/摩尔
热功当量	J	4.186 焦耳/卡
万有引力常数	G	6.67×10^{-11} 牛顿·米^2/千克^2

其他重要常数表

名　　称	符　　号	数　　值
普朗克常数	h	4.136×10^{-15} 电子伏特·秒
玻耳兹曼常数	k	8.617×10^{-5} 电子伏特/K
库仑常数	$e^2/4\pi\varepsilon_0$	14.42 电子伏特·埃
电子静止能量	mc^2	0.5110 兆电子伏特
质子静止能量	m_pc^2	938.3 兆电子伏特
1原子质量单位的等价能量	Mc^2	931.5 兆电子伏特
电子磁矩	$\mu=e\hbar/2m$	0.9273×10^{-23} 焦耳·米^2/韦伯
玻尔半径	$a=4\pi\varepsilon_0\hbar^2/me^2$	0.5292×10^{-10} 米
电子的康普顿波长	$\lambda_c=\hbar/mc$	2.426×10^{-12} 米
精细结构常数	$\alpha=e^2/4\pi\varepsilon_0\hbar c$	1/137.0
电子经典半径	$r_e=e^2/4\pi\varepsilon_0mc^2$	2.818×10^{-15} 米
里德伯常数	R_∞	1.097×10^{-7} 米

转　换　因　子

1 电子伏特 $= 1.602 \times 10^{-19}$ 焦耳

1 埃 $= 10^{-10}$ 米

1 原子质量单位 $= 1.661 \times 10^{-27}$ 千克↔931.5 兆电子伏特

（序言、单位和常数由容保粹译）

目　　录

中译本前言
序言
单位
常数
单元 1　数学和统计……1
实验 1.1　导数和积分……1
实验 1.2　三角函数和指数函数……7
实验 1.3　嵌铅骰子……13
实验 1.4　概率分布……17
实验 1.5　二项分布……21
实验 1.6　正态分布……27
单元 2　力学……31
实验 2.1　速度和加速度……32
实验 2.2　碰撞……35
实验 2.3　耗散力……38
实验 2.4　周期运动……43
实验 2.5　受迫振动……48
单元 3　电子仪器……53
实验 3.1　电压、电流和电阻的测量……53
实验 3.2　交流电压及电流的测量……58
实验 3.3　波形测量……64
实验 3.4　可变电压的比较……73
实验 3.5　换能器……78
单元 4　场……83
实验 4.1　辐射状电场……83
实验 4.2　镜象电荷……87
实验 4.3　电力线与互易性……90
实验 4.4　磁场……92
实验 4.5　磁耦合……97
单元 5　电子和场……100
实验 5.1　电子的加速和偏转……104
实验 5.2　聚焦和强度控制……108
实验 5.3　电子的磁偏转……116
实验 5.4　电子的螺旋运动……122

实验 5.5 真空二极管和磁控管的工作状态 ……126
单元 6 电路 ……133
实验 6.1 电阻-电容电路 ……135
实验 6.2 电阻-电感电路 ……146
实验 6.3 LRC 电路和振荡 ……149
实验 6.4 耦合振子 ……158
实验 6.5 周期性结构和传输线 ……166
单元 7 声学和流体 ……175
实验 7.1 声波 ……175
实验 7.2 声的衍射和干涉 ……177
实验 7.3 声的干涉量度学 ……180
实验 7.4 流体的流动 ……182
实验 7.5 粘滞流动 ……187
实验 7.6 湍流 ……193
单元 8 微波光学 ……196
实验 8.1 微波的产生与反射 ……199
实验 8.2 干涉与衍射 ……202
实验 8.3 速调管 ……204
实验 8.4 微波的传播 ……210
单元 9 激光光学 ……215
实验 9.1 光的反射和折射 ……216
实验 9.2 光的偏振 ……219
实验 9.3 光的衍射 ……224
实验 9.4 光的干涉 ……228
实验 9.5 全息照相术 ……231
单元 10 原子物理 ……236
实验 10.1 原子光谱 ……236
实验 10.2 光电效应 ……240
实验 10.3 光电倍增管和光子噪声 ……245
实验 10.4 电子引起的电离 ……249
实验 10.5 电子衍射 ……252
单元 11 原子核物理 ……257
实验 11.1 盖革-弥勒管 ……257
实验 11.2 放射性衰变 ……262
实验 11.3 闪烁计数器 ……266
实验 11.4 β 和 γ 吸收 ……268
实验 11.5 中子活化 ……271
单元 12 半导体电子学 ……275
实验 12.1 半导体二极管 ……277

需要全本请访问 www.ertongbook.com

实验 12.2　隧道二极管和张弛振荡器……281
实验 12.3　晶体管……287
实验 12.4　晶体管放大器……292
实验 12.5　正反馈与振荡……298
实验 12.6　负反馈……302

单元 1　数学和统计

本单元前两个实验复习一下普通物理课程中要用到的一些数学知识．这里采取了实验室活动的方式，使你通过实践掌握某些关系式．我们从微积分开始，并且通过实际运算来介绍微分、积分．然后，我们讨论几种在物理学中特别有用的专门函数——三角函数和指数函数．

在本单元其余的实验里，你要学到概率论和统计学中的几个基本概念，并能看到这些概念在物理测量中的某些应用．（这些实验不必安排在开始时就做，可在以后随时引入．）由于测量在整个科学中起着关键性的作用，因此这些概念是非常重要的．在科学的所有分支里，我们都要和由实验观察得来的数据打交道．实际上，科学的实质就是在物理现象的定量观察结果之间发现和应用它们的联系．

统计研究所以重要有两方面的理由．第一，测量决不是绝对准确的；除非我们对于这些测量值的不准确性的范围有所认识，不然的话，这些测量所得的数字是没有什么价值的．如果一个结果是由几个数计算得来的，我们必须知道每个数的不准确性如何影响到最后结果的不准确性．在把理论预言和实验结果进行比较时，我们必须对两方面的准确性都要有所了解，只有那样，说两者符合或者不相符合才有意义．考虑了测量误差的统计特性，我们就能对这些问题进行系统处理，从而得到尽可能精确的结果，并且可以知道这些结果尚存的不确定程度．

统计概念之所以重要的第二个理由是，有一些物理定律从本质上说就是统计性质的．一个熟知的例子是不稳定核的放射性衰变．对于一个给定的不稳定元素的样品，我们无法预言其中哪个核在什么时候衰变，但我们可以对以下事项进行统计的描述：在一定时间间隔内有多少核会衰变？在一定时间以后将剩下多少核？如此等等．因此，在这种情况下，我们讨论的不是事件的精确预测，而是事件的各种组合的概率（几率）．在量子力学的发展中，概率理论甚至具有更为基本的重要性．

*　　*　　*

实验 1.1　导数和积分

引　　言

虽然微积分的概念无须涉及任何具体的物理问题就能引入，但我们在这里打算通过一个具体的实验来阐明微积分的基本概念在物理学中的应用．

实　　验

我们来讨论一辆小车沿着直线导轨的运动．小车在每一时刻的位置用它与导轨上某一参考点的距离来描述．这个距离叫做 x；显然，当小车运动时，这个距离是随时间(t)变化的．因此 x 是 t 的函数．

现在我们让导轨稍微有一点倾斜，并且在时间 $t=0$ 时把小车从靠近导轨顶部的参考点 $x=0$ 处松开．然后我们应用闪光照相、电火花计时或其他方法，按时间顺序测出小车在相继的各个时刻的位置．火花计时器(将在实验 2.1 中更详细地讨论)使用高压脉冲，每隔相等的时间间隔便有一个电火花由小车跳向导轨．沿着导轨放置一条纸带，电火花在纸带上穿出的小孔就标记了电火花的位置．这样，小车的位置就逐一地被记录下来．

表 1.1

时间 t(秒)	位移 x(米)	Δx(米)	速度 v (米/秒)	加速度 a(米/秒^2)
0.000	0.0000			
1.000	0.0064			
2.000	0.0249			
3.000	0.0544			
4.000	0.0937			
5.000	0.1420			
6.000	0.1984			
7.000	0.2621			
8.000	0.3324			
9.000	0.4088			
10.000	0.4905			
11.000	0.5772			
12.000	0.6683			
13.000	0.7633			
14.000	0.8621			
15.000	0.9641			
16.000	1.0690			
17.000	1.1769			
18.000	1.2871			
19.000	1.3994			
20.000	1.5137			

在某次实验中所测得的数据如表 1.1 所示．这个表中还有其他一些栏目，这是供以后要讲到的计算使用的．

把表 1.1 所给的数据描记在一张坐标纸上，时间标在坐标纸的横方向上，位移标在纵方向上．通过这些数据点描出一条平滑图线．

平均速度　当时间由 t_1 到 t_2，位移从 x_1 变到 x_2 时，这段时间间隔中的平均速度就定义为

$$\bar{v}\equiv\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}. \tag{1.1}$$

从表 1.1 所给的数据分别求出第一秒内的平均速度，第一个 10 秒内的平均速度，第一个 20 秒内的平均速度，第二个 10 秒内的平均速度．

表 1.2

t_1	t_2	Δt	Δx	$\bar{v}$	$\bar{a}$
0	20				
5	15				
8	12				
9	11				

瞬时速度　瞬时速度可以看成是在时间间隔变得非常小时的平均速度值．作为一个例子，我们来从表 1.1 中所给的数据求出 $t=10$ 秒时的瞬时速度．

我们将采用简写符号 $\Delta x\equiv x_2-x_1$ 和 $\Delta t\equiv t_2-t_1$，其中符号 Δ 是希腊字母．复合符号 Δx 可以叫作“x 的变化量”，它并不是 Δ 和 x 的乘积！在表 1.2 中填入计算得到的 $\bar{v}$．

描出一条平均速度 $\bar{v}$ 随时间间隔 Δt 而变化的图线，然后将你的数据外推到 $\Delta t=0$．你的 $t=10$ 秒时的瞬时速度的估计值是多少？我们刚才的作图，就是在寻找当 Δt 趋于0时 $\bar{v}$ 所逼近的值．我们把这个值叫做当 Δt 趋于 0 时 $\bar{v}$ 的极限，而这就是瞬时速度的数学定义．这样，瞬时速度应由下式定义：

$$v=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta x}{\Delta t}. \tag{1.2}$$

这个表达式又叫做 x 对于 t 的导数(或微商)．

看起来似乎很奇怪，甚至十分矛盾，我们竟用了一定时间间隔上的速度来定义单个点上的瞬时速度，而单个点并不包含时间间隔．可是我们从直观上知道，某一点的瞬时速度这个概念的确是有实际意义的．我们刚才所讨论的导数的概念，为瞬时速度(或任何其他瞬时变化率)的概念提供了可靠的数学基础，而这正是导数的最基本的意义．

因为速度的变化是缓慢进行的，时间间隔 $\Delta t=1$ 秒中的平均速度和此间隔中点上的瞬时速度应当是相当接近的．取 $\Delta t=1$ 秒作为时间间隔．在表 1.1 的速度栏里填入从 $t=0.500$ 秒到 19.500 秒各时刻的速度值．

参照你用表 1.1 中的位移数据作出的图线，不难看出，从 0 到 20 秒这之间的平均速度正好是这条曲线上通过 $t=0$ 和 20 秒两点画出的直线(弦)的斜率．应当指出，一条直线的斜率一般并不等于这条直线与横坐标的夹角的正切，这只有当纵轴和横轴采用相同的标度时才是如此．在这里，纵轴和横轴两者的标度显然不同，而且具有不同的单位．

为了求出斜率，我们可以选取两个点，分别求出差值 x_2-x_1 和 t_2-t_1，然后再求出它们的商．画出这两点之间的弦线，并同时画出表 1.2 中所列其他时间间隔的弦线．在你的曲线上在 $t=10$ 秒处画出曲线的切线，计算这条切线的斜率，并与你的平均速度（当 Δt 趋于 0 时）的外推值相比较．瞬时速度和切线斜率之间有什么关系？

加速度　在你用表 1.1 中的位移数据作图的同一张纸上，在图的右侧标上新的纵坐标标度，再把速度数据也描成图线．你从这条图线能看出速度与时间有怎样的函数关系？速度的变化率叫做加速度．在时间间隔 $\Delta t=t_2-t_1$ 内，如果速度的变化量 $\Delta v=v_2-v_1$，那么平均加速度就定义为

$$\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}. \tag{1.3}$$

在 $t=0$ 到 20 秒时间间隔内的平均加速度是多少？在表 1.2 中填入 $\bar{a}$．瞬时加速度定义为时间间隔 Δt 趋于 0 时平均加速度的极限：

$$a=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t}. \tag{1.4}$$

假定 1 秒就可以看成是相当短的时间间隔，足以给出瞬时加速度 a 的很好的近似值，试从 $t=1.000$ 到 19.000 秒填好表 1.1．注意，从 $t=0$ 到 20 秒之间的平均加速度正好是通过两个速度数据点所引的弦线的斜率．对于表 1.2 中其余的时间间隔，也经过你的各对速度数据点引出相应的弦线．当时间间隔愈来愈短时，弦的斜率就趋于速度曲线的斜率．切线的斜率和瞬时加速度之间有什么关系呢？

在纵坐标上添上加速度的新标度，把你的加速度数据描在同一张坐标纸上．

微分　式(1.2)所表示的极限叫做 x 对于时间 t 的导数．如果已知 x 是时间的函数，确定任何时刻的瞬时速度的过程称为求微分．这种运算用符号写出如下：

$$\frac{dx}{dt}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta x}{\Delta t}=v. \tag{1.5}$$

类似地，瞬时加速度表示为

$$\frac{dv}{dt}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta v}{\Delta t}=a. \tag{1.6}$$

加速度数据　我们仍然通过讨论倾斜导轨上的小车来介绍积分运算．假定在这架小车上安有一个加速度计[1]，我们可以用它直接测得小车加速度的瞬时值．我们将会看到，只从加速度便能够求出速度随时间的变化（已知小车从静止开始），并确定位置数据（已知在 $t=0$ 时，小车的位置 $x=0$）．小车加速度的数据见表 1.3．这个表另还有几个栏目，那是供以后将要谈到的计算使用的．另用一张新的、以前使用的那种坐标纸，在上面作图表示出加速度随时间的变化．

速度　我们可以利用式(1.3)去确定任意时间间隔内速度的变化：

$$v_2=v_1+\bar{a}(t_2-t_1). \tag{1.7}$$

此式表明，在时间间隔 (t_2-t_1) 末了的速度 v_2 等于该间隔开始时的速度 v_1 加上该间隔上的平均加速度乘以时间间隔 (t_2-t_1)．我们怎样应用表 1.3 上的数据去确定速度呢？注意，这个表给的是瞬时加速度，而不是平均加速度．不过我们知道，如果时间间隔足够短的话．平均加速度与间隔中心处的瞬时加速度是近似相等的．

作为一个例子，我们来求从 $t=0.500$ 到 1.500 秒这个间隔中的速度变化．我们取这

1）一种测量瞬时加速度的装置．

表 1.3

时间 t（秒）	加速度 a（米/秒^2）	$a\Delta t$（米/秒）	速度 v（米/秒）	位移 x（米）
0.000	0.01333			0.00000
1.000	0.01206			
2.000	0.01192			
3.000	0.00988			
4.000	0.00894			
5.000	0.00809			
6.000	0.00732			
7.000	0.00662			
8.000	0.00599			
9.000	0.00542			
10.000	0.00490			
11.000	0.00444			
12.000	0.00402			
13.000	0.00363			
14.000	0.00329			
15.000	0.00298			
16.000	0.00268			
17.000	0.00244			
18.000	0.00220			
19.000	0.00200			
20.000	0.00180			

个间隔的平均加速度 $\bar{a}$ 作为间隔中心($t=1.000$ 秒)的瞬时加速度，即 0.01206 米/秒^2。这样，按照式(1.7)，这个间隔内的速度变化正好是 0.01206 米/秒。同理，从 1.500 到 2.500 秒这个间隔中的速度变化是 0.01192 米/秒；等等。

第一个间隔($t=0.000$ 到 0.500 秒)需作特殊处理，因为它只有其他间隔的一半。$t=0.500$ 秒时的瞬时加速度与 $t=0.000$ 和 1.000 秒时的加速度的平均值近似相等，即 $\frac{1}{2}$(0.01333 米/秒^2+0.01206 米/秒^2)。这样，第一间隔中心(即 $t=0.250$ 秒)的瞬时加速度就近似等于 $t=0.500$ 秒与 $t=0.000$ 秒时的瞬时加速度值的平均值。经过这番考虑之后，第一间隔内加速度平均值的最后结果是 $\bar{a}\approx\left(\frac{3}{4}\right)$0.01333米/秒^2 $+\left(\frac{1}{4}\right)$ 0.01206 米/秒^2=0.01302 米/秒^2。这相当于把 $t=0.000$ 和 1.000 秒时的 a 值分别加权重而取平均，前者的权重是后者的三倍；这是因为，间隔的中心(0.250 秒)与 0.000 秒的靠近程度三

需要全本请访问 www.ertongbook.com