高等学校专修科试用教材

普通物理学

林铁生　周盛芳　于乾鹏　编

中国铁道出版社

高等学校专修科试用教材

普通物理学

林铁生　周盛芳　于乾鹏　编

中国铁道出版社

1988年·北京

内 容 简 介

本书内容包括：数学预备知识、质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量和动量守恒定律、刚体的转动、机械振动与机械波、分子物理学和热力学基础、静电学、稳恒电流、稳恒电流的磁场、电磁感应、波动光学和近代物理基础。考虑到专修科的特点，全书安排了足够数量的例题，每一章末还编有小结、思考题和习题（附答案）。

本书可作为高等工科院校两年制专修科或干部专修科的普通物理教材，也可作为函授大学、夜大学和职工大学的教材或教学参考书。

高等学校专修科试用教材
普通物理学
林铁生　周盛芳　于乾鹏　编
中国铁道出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
各 地 新 华 书 店 经 售
北 京 顺 义 燕 华 营 印 刷 厂 印
开本：850×1168毫米 1/32 印张：18.125 字数：480千
1986年6月第1版 1988年10月第2次印刷
印数：10,001—18,000册　定价：4.45元

前　　言

本书是为高等工科学校两年制专修科学生所编写的普通物理教材，也可作为两年制干部专修科的普通物理教学用书。

考虑到专修科学生的特点，以及贯彻“少而精”的原则，本书的内容比较精简，与现行本科生普通物理教本比较，有些章节作了合并，有些章节作了大幅度精简。为确保重点内容，对力学、电磁学等内容叙述上仍力求详尽，并适当结合一些生产和生活中实例，以使学生能更好地理解有关内容。

由于专修科的普通物理在第一学期与高等数学同时开设，为了不降低物理课的起点，适当地使用高等数学手段，我们在书中编写了数学预备知识一章，介绍了一些必需的矢量和微积分内容。

为了便于学生阅读，我们在各章中，安排了足够数量的例题，在各章末还编有本章小结、思考题和习题（附答案）。

本书讲授时数为90学时（含习题课）。为了使本书有较大的适应性和较完整的系统，我们还编写了近代物理基础一章。对于学时较多的学校，这一章可以作为讲课章节，对于学时较少的学校，可以作为课外阅读材料。

本书第一至五章、第十一章由林铁生执笔，第零、七、九、十章由周盛芳执笔，第六、十二章由于乾鹏执笔，第八章由周盛芳和马信侠共同执笔，第十三章由于乾鹏、周盛芳和林铁生共同执笔，林铁生负责全书的编纂工作。

本书由北方交通大学佘守宪教授主审，参加审稿会的还有北京钢铁学院高哲副教授、北京工业学院陈广汉副教授、北京邮电学院余国贤副教授以及北京建筑工程学院郑伯坚副教授。在本书编写过程中，还得到了北方交通大学物理教研室老师们的大力支

持，在此一并表示深切的谢意。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有很多不妥之处，恳切希望读者提出宝贵意见，以便改进。

编　　者

1985年3月于北方交通大学

目　　录

第零章　数学预备知识

为了使读者更好地理解物理学的基本概念和规律，在学习物理内容之前，我们先简单地介绍一下微积分中最基本的概念和计算方法，同时还介绍一些有关矢量的运算法则。

第一节　导数的概念

一、瞬时速度问题

一物体（视为质点）沿某一方向作直线运动，初始时刻（$t=0$）位于原点O，如图0—1所示。如果物体作匀速直线运动，则其位移s与时间t的比值，就是运动物体的速度，即

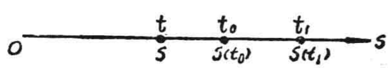

图　0—1

$$v=\frac{s}{t}$$

这个速度，在匀速直线运动中的任何时刻都是相同的。如果物体作非匀速直线运动，其位置s与t之间存在着某种函数关系$s=s(t)$，那么在某一段时间（$t_0\to t_1$）内，物体的位移（即位置改变量）$s(t_1)-s(t_0)$与所经历的时间（即时间改变量）t_1-t_0的比，就是这段时间内物体运动的平均速度。我们把位置改变量$s(t_1)-s(t_0)$记作Δs，时间改变量t_1-t_0记作Δt，平均速度记作$\overline{v}$，则

$$\overline{v}=\frac{s(t_1)-s(t_0)}{t_1-t_0}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{s(t_0+\Delta t)-s(t_0)}{\Delta t}$$

（位移、速度本来都是矢量，但在图0—1所示的直线运动情况下，其方向可由其数值的正、负确定，所以在 Δs 和 v 的上方未加箭头。下同。）

那么，怎样求非匀速直线运动物体在某一时刻的速度呢？

我们以自由落体运动为例，来说明求非匀速直线运动物体在某一时刻的速度的方法。

我们已知，自由落体的运动方程是

$$s=s(t)=\frac{1}{2}gt^2$$

这里 g 是重力加速度，通常取 $g=9.8\text{m/s}^2$。现在求 $t=2\text{s}$ 时落体的速度。

我们分别求 Δt 在2s到3s、2.1s、2.01s、2.001s各段时间内落体的平均速度，所得结果如下表：

表0—1

t(s)	s(m)	$\Delta t=t_1-t_0$(s)	$\Delta s=s(t_1)-s(t_0)$(m)	$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
2	19.6			
3	44.1	1.0	24.5	24.5
2.1	21.609	0.1	2.009	20.09
2.01	19.7965	0.01	0.1965	19.65
2.001	19.61960	0.001	0.01960	19.60

由以上数据可以看出：当从时刻 $t_0=2s$ 变到 $t_1 s$ 时，t_1 越接近 t_0，时间的改变量（即增量）越小，位置的改变量（增量）即位移 Δs 也越小，从而平均速度 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 越接近于某一定值。但是不论 Δt 怎样小，平均速度还不是 $t_0=2\text{s}$ 时的速度。我们规定当 $t_1\to t_0$，即 $\Delta t\to 0$ 时平均速度 $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ 的极限（如果这个极限存在的话）是落体在 $t_0=2\text{s}$ 时的瞬时速度 v，也就是通常理解的在 $t_0=2\text{s}$ 这一时刻的速度 v，记作

$$v=\lim_{t_1\to t_0}\frac{s(t_1)-s(t_0)}{t_1-t_0}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\frac{1}{2}g(2+\Delta t)^2-\frac{1}{2}g2^2}{\Delta t}$$

$$=\frac{1}{2}g\lim_{\Delta t\to 0}(4+\Delta t)=2g=19.6\ \text{(m/s)}$$

由此可见，求非匀速直线运动在某一时刻t_0的瞬时速度v的问题，就归结为求当$t_1\to t_0$（即$\Delta t\to 0$）时平均速度$\frac{\Delta s}{\Delta t}$的极限。

二、导　数

为了求非匀速直线运动物体在某一时刻t_0的瞬时速度，需要计算位置改变量Δs（即位移）与时间改变量Δt之比的极限

$$\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta s}{\Delta t}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{s(t_0+\Delta t)-s(t_0)}{\Delta t}$$

在许多实际问题中，例如物体温度变化速度、静电学中电势沿某一方向变化的快慢程度、铁路上线路的坡度等等，虽然它们的具体含义各不相同，但是都可以归结为研究瞬时速度这种类型的极限问题。我们抽掉上述各种问题的具体含义，从数量关系上研究这种类型的极限，就引出关于导数的概念。

导数定义　如果函数$y=f(x)$在$x=x_0$处的改变量Δy与自变量的改变量Δx的比

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=\frac{f(x_0+\Delta x)-f(x_0)}{\Delta x}$$

当$\Delta x\to 0$时有极限，我们就说$f(x)$在点x_0处可导，并称此极限为函数$f(x)$在点x_0处的导数，记作$f'(x_0)$或$y'|_{x=x_0}$，即

$$f'(x_0)=y'|_{x=x_0}=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{f(x_0+\Delta x)-f(x_0)}{\Delta x}\tag{0—1}$$

根据上述导数的定义，前面自由落体运动在$t_0=2\text{s}$时的瞬时

速度$2g$(m/s)，就是位置函数$s=s(t)$在$t=2$s处的导数，即

$$v=s'(t)=2g=19.6\ (\text{m/s})$$

如果函数$y=f(x)$在自变量x变化的某一区间上的每一点处导数都存在，就称函数在此区间上可导，此时对于区间上的每一个确定值x，都对应着一个确定的导数$f'(x)$，这就构成了一个新的函数$f'(x)$，我们称它为$f(x)$的导函数，简称导数，也可以记为$y'(x)$或y'，即

$$f'(x)=y'=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{f(x+\Delta x)-f(x)}{\Delta x} \tag{0—2}$$

应当注意：函数$y=f(x)$的导函数$f'(x)$与函数$y=f(x)$在点x_0处的导数$f'(x_0)$是有区别的，$f'(x)$是某一区间上x的函数，而$f'(x_0)$是一个数；但它们又是有联系的：$f(x)$在点x_0处的导数$f'(x_0)$就是$f'(x)$在点x_0处的函数值。例如，若$y=f(x)=x^2$，那么

$$f'(x)=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{(x+\Delta x)^2-x^2}{\Delta x}$$

$$=\lim_{\Delta x\to 0}(2x+\Delta x)=2x\ \text{（导函数）}$$

而$f'(1)=2$，$f'(2)=4$（导数）

显见，导函数$f'(x)$是x的一个函数表达式，而$f'(1)$、$f'(2)$是导函数在$x=1$，$x=2$处的具体数值。

由导数定义可知，求函数$y=f(x)$的导数的一般步骤是：

1．由自变量的增量Δx求函数的对应增量

$$\Delta y=f(x+\Delta x)-f(x)$$

2．计算增量的比值 $\dfrac{\Delta y}{\Delta x}=\dfrac{f(x+\Delta x)-f(x)}{\Delta x}$

3．计算增量比的极限$f'(x)=y'=\lim\limits_{\Delta x\to 0}\dfrac{\Delta y}{\Delta x}$

导数的几何意义 我们借助于图示法来研究导数的几何意义。

如图 0—2 所示，设曲线 c 是函数 $y=f(x)$ 的图象，在曲线 c 上取一点 $P(x_0, y_0)$ 及 P 点邻近的任一点 $Q(x_0+\Delta x, y_0+\Delta y)$，作 $PM\perp Ox$，$QN\perp Ox$，$PR\perp QN$，又设割线 PQ 的倾斜角为 β，则

$$\Delta x=PR,\quad \Delta y=RQ$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=\mathrm{tg}\angle QPR=\mathrm{tg}\beta$$

即，$\dfrac{\Delta y}{\Delta x}$ 就是割线 PQ 的斜率。

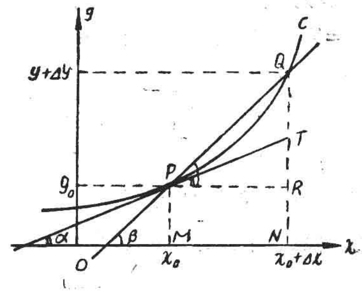

图 0—2

当 Q 点沿着曲线 C 无限地趋近于点 P，即 $\Delta x\to 0$ 时，割线 PQ 绕着点 P 转动，无限趋近某一极限位置 PT，直线 PT 叫作曲线 c 在点 P 处的切线。设切线 PT 的倾斜角为 α，那么

$$f'(x_0)=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=\mathrm{tg}\alpha \qquad (0-3)$$

因此，**函数 $y=f(x)$ 在点 x_0 处的导数 $f'(x_0)$，就是曲线 $y=f(x)$ 在点 x_0 处的切线的斜率。**

导数的概念非常重要，应用极广，兹作讨论如下：

1． 由导数的定义和几何意义可知，导数 y' 是反映函数 $y=f(x)$ 在点 x 处变化的“快慢”。例如，瞬时速度就反映了某时刻物体运动的快慢程度，因此，函数在某处的导数也称为函数在该点处的变化率，而 $\dfrac{\Delta y}{\Delta x}$ 称为函数的平均变化率。又例如，某一点 $x=x_0$ 的导数 $f'(x_0)>0$，它表示函数 $y=f(x)$ 的函数值在 x_0 附近随 x 的增大而增大；$f'(x_0)<0$，表示函数 $f(x)$ 的数值随 x 的增大而减小；$f'(x_0)=0$，表示 $f(x)$ 的数值在 x_0 附近保持不变。$|f'(x_0)|$ 数值的大小反映函数变化率绝对值的大小，所以 $f'(x_0)$ 给出了函数 $f(x)$ 在 $x=x_0$ 这一点处的变化率，而导函数 $f'(x)$ 给出函数 $f(x)$ 在某一区间上任意点处的变化率，所以知道了函数的导数，就掌握了函数的变化趋势。

2. 导函数$f'(x)$表示函数y对于自变量x的变化率。对于物理问题而言，这种变化率是非常具体的。例如当质点运动时，其位置s是时间t的函数$s=s(t)$时，则位置s的时间变化率$s'(t)$是代表质点运动的速率（速度的大小）。当函数形式为$T=T(t)$时，它表示物体的温度T是时间t的函数，则$T'(t)$表示物体温度对于时间的瞬时变化率；当$T=T(l)$表示温度是空间距离l的函数时，则$T'(l)$就表示温度的空间变化率；当$V=V(l)$表示电势分布是空间距离l的函数时，则$V'(l)$表示电势的空间变化率等等，总之，数学上抽象的函数变化率（导数）在物理上往往具体表现为某一物理量的时间或空间的变化率。

第二节 求导方法

给出一个函数的导数，我们就掌握了该函数随自变量的变化趋势。因此求出物理学中常见函数的导数对我们理解物理量的变化规律是很重要的。

一、基本函数的导数公式

根据导数定义求导数，一般说来是很麻烦的，为了能较快地求出导数，我们建立起求导数的一些公式。

（一）常数的导数

$$C'=0 \quad (C\text{为常数}) \qquad (0-4)$$

即常数的导数等于零。

【证明】 $y=f(x)=C$

$$\Delta y=f(x+\Delta x)-f(x)=C-C=0$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=0$$

$$\therefore \quad y'=f'(x)=C'=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=0$$

（二）幂函数的导数

$$(x^n)'=nx^{n-1} \quad (n\text{为任何正整数}) \qquad (0-5)$$

【证明】 $y=x^n$

$$\Delta y=(x+\Delta x)^n-x^n$$

$$=x^n+nx^{n-1}\Delta x+\frac{n(n-1)}{1.2}x^{n-2}(\Delta x)^2+\cdots$$

$$+(\Delta x)^n-x^n$$

$$=nx^{n-1}\Delta x+\frac{n(n-1)}{1.2}x^{n-2}(\Delta x)^2+\cdots+(\Delta x)^n$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=nx^{n-1}+\frac{n(n-1)}{1.2}x^{n-2}(\Delta x)+\cdots+(\Delta x)^{n-1}$$

$$y'=f'(x)=\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}=nx^{n-1}$$

理论上还证明，这个导数公式对于 n 为任意实数时也都成立。例如

$$(x^3)'=3x^2,\quad (x)'=1,\quad (x^0=1)$$

$$(x^{-\frac{1}{2}})'=-\frac{1}{2}x^{-\frac{3}{2}},\quad (x^{-2})'=-2x^{-3}$$

（三）三角函数的导数

$$(\sin x)'=\cos x \qquad (0-6)$$

【证明】 $y=\sin x$

$$\Delta y=\sin(x+\Delta x)-\sin x=2\cos\left(x+\frac{\Delta x}{2}\right)\sin\frac{\Delta x}{2}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x}=\cos\left(x+\frac{\Delta x}{2}\right)\frac{\sin\frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}}$$

$\because$ $\displaystyle\lim_{\Delta x\to 0}\frac{\sin\frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}}=1$ （x以弧度为单位计算）

$\therefore$ $\displaystyle y'=(\sin x)'=\lim_{\Delta x\to 0}\cos\left(x+\frac{\Delta x}{2}\right)=\cos x$

下面再给出几个求导公式而不加证明。

$$(\cos x)'=-\sin x \qquad (0-7)$$

$$(\operatorname{tg}x)'=\sec^2 x \qquad (0-8)$$

$$(\mathrm{ctg}x)' = -\csc^2 x \qquad (0-9)$$

$$(\ln x)' = \frac{1}{x} \qquad (0-10)$$

$$(e^x)' = e^x \qquad (0-11)$$

二、函数的和、差、积、商的求导法则

在下面的公式中，u 及 v 都是 x 的函数，而且都是可导的。

（一）和或差的导数

$$(u \pm v)' = u' \pm v' \qquad (0-12a)$$

【证明】$y = f(x) = u(x) \pm v(x)$

$$\Delta y = [u(x+\Delta x) \pm v(x+\Delta x)] - [u(x) \pm v(x)]$$
$$= [u(x+\Delta x) - u(x)] \pm [v(x+\Delta x) - v(x)]$$
$$= \Delta u \pm \Delta v$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta u}{\Delta x} \pm \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

$$\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} \left(\frac{\Delta u}{\Delta x} \pm \frac{\Delta v}{\Delta x} \right)$$
$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta u}{\Delta v} \pm \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta v}{\Delta x}$$

即
$$y' = (u \pm v)' = u' \pm v'$$

法则1 两个函数的和（或差）的导数，等于这两个函数的导数的和（或差）。

很明显，这个法则可以推广到任意有限个函数，即

$$(u_1 \pm u_2 \pm \cdots \pm u_n)' = u_1' + u_2' + \cdots + u_n' \qquad (0-12b)$$

例如
$$y = x^3 + \sin x + 3$$

则
$$y' = 3x^2 + \cos x + 0$$

（二）积的导数

$$(uv)' = u'v + uv' \qquad (0-13)$$

【证明】
$$y = f(x) = u(x) \cdot v(x)$$

$$\Delta y = \Delta(u \cdot v)$$
$$= u(x+\Delta x)v(x+\Delta x) - u(x)v(x)$$