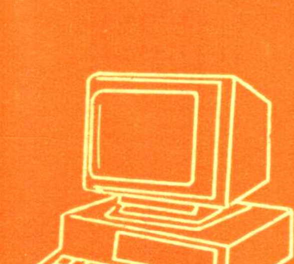
计算机辅助教学丛书

物理

郑海涛　童伟雄　王友功　薛培鼎　田树英



西安交通大学出版社

物理计算机辅助教学

郑海涛　童伟雄　王友功
薛培鼎　田树英

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书从如何利用微型计算机来求解一些物理问题，以及如何利用微型机来演示一些物理现象这两方面出发，对如何把微机应用于物理课程作了较具体的介绍。书中以苹果Ⅱ型及IBM-PC型两种微机为主，介绍了包括力学、振动与波、电磁学、光学、原子物理、分子物理的程序，并对其中大部分程序作了说明。通过对本书的学习，既可加深对物理概念的理解，又可强化BASIC语言的学习及微型计算机的使用。书中部分程序还可供大中学校物理课作教学演示用。

本书内容新颖、丰富，由浅入深，便于自学。可作为理、工、医、农各科大学生及成人高校学生学习物理课程时的参考书，也可供各大、中专学校物理教师参考。

本书中的苹果Ⅱ程序均可在中华学习机上运行。

物理计算机辅助教学

郑海涛　童伟雄　王友功　薛培鼎　田树英

责任编辑　李亚东

*

西安交通大学出版社出版

（西安市咸宁路28号）

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店发行　各地新华书店经售

*

开本850×1168　1/32　印张 8.25　字数：209 千字

1988年5月第1版　1989年1月第1次印刷

印数：1——8000

ISBN7-5605-0011-0/TP·2　定价：2.00元

前　言

物理学是一门富有魅力的学科，它研究蕴藏于自然界中的物质运动的普遍规律。谁将物理知识掌握得越多，越深刻；谁在自然界的活动就越自由，范围越广阔。研究物理现象不外乎两个方面：一是观察、实验，二是抽象、归纳、总结。由于物理学研究的领域十分广泛，小到构成物质的基本粒子，大到深邃莫测的宇宙。这就使得在学习物理的过程中应该进行的观察和实验受到了很大限制。而通过对观察和实验结果抽象化后建立的数学模型，能够更深刻地揭示和更精辟地表达物理现象的本质。但是要理解一个抽象的数学模型如何表达物理现象却并不是每个人都能轻易办到的。有时虽然用数学方法求得了方程正确的解，但对其真正的物理含义却未必清楚。学习物理课程的兴趣也往往因此而受到了影响。

微型计算机的发展和普及为学习物理提供了新的手段。微型计算机擅长于重复运算，利用它可以对描述某一规律的方程式在不同的初始状态下进行反复计算，将其不同的结果加以比较，从而加深对规律本身的认识。微机还有很强的仿真模拟能力，它能在屏幕上演示在实验室中无法操作的物理实验。它不但可以形象地画出电力线，磁力线，还可以生动地表演驻波的形成等过程。您坐在微型计算机面前，不必到比萨斜塔就能观察自由落体运动，也不必借助于湖水或单摆就能观察振动现象，甚至不用望远镜就能看到天体的运动轨迹……。当您用自己编制的程序使抽象的数学公式变成了生动的图象，使平常无法观察到的现象显现于荧光屏上时，学习的兴趣将会倍增。在这一学习的过程里不仅在无穷的趣味中学习了物理知识，而且对微型计算机及BASIC语言更加熟悉，这后一点也是十分重要的，科学的进步已经把我们带到了一个

一切都离不开计算机的新时代，掌握计算机已经是时代的需要了。

基于上述考虑，我们编了这本《物理计算机辅助教学》，供理、工、医、农各科大学生学习之用。书中所用的微型计算机是APPLEⅡ型及IBM-PC型，这些都是国内常见的机型，对于其它类型的微机，只要参照机器的BASIC说明书对本书的程序略加修改就可使用。全书共分六章，介绍了包括力学、振动与波、电磁学、光学、原子物理、分子物理与热力学等内容。各章的开头扼要地介绍基本的物理内容、然后举出具体例题并给出程序。对大部分的程序都作了重点说明。有些程序较长，宜用于教学演示，读者可视情况选择学习。

近年来，相当多的院校在新生入学的第一学期就安排了计算机语言课，这样，他们在学习后续课程“大学物理”时，利用本书将是十分方便的。对于尚不熟悉计算机以及只有中学物理知识的读者，只要利用本书去认真实践，也一定能够收到既学会使用计算机又加深对物理知识的理解的良好效果。书中的部分程序还可供大中学校的物理教学作演示用。

本书中APPLE Ⅱ用的有关程序及说明由郑海涛、王友功、田树英、薛培鼎同志编译自“BASICによる物理”（平田邦男著），IBM-PC用的有关程序及说明由童伟雄同志编写，在编制程序过程中，谭华、张亚莉两同志做了一些工作。全书最后由郑海涛统一修改并整理了全书。书中除说明用于IBM-PC机的程序外，其余程序均用于苹果机。原稿承吴寿锽副教授及姚国维副教授详细审阅并提出了宝贵意见，谨在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平，不妥之处在所难免，敬请读者指正。如果本书能对微型计算机应用于物理教学起到一些积极作用的话，编者将感到不胜欣慰。

编　者

1987.9

目　录

第一章　力　学

本章首先从运动方程的含义入手，逐步说明用微型计算机解运动方程的原理和方法，并在这一过程中介绍用曲线图表示计算结果的程序编制方法。

§1-1　运动学方程的意义

运动学方程可以用微分方程的形式来表示。例如当可以看作质点的物体沿 x 轴作直线运动时，力与速度、质量之间的关系可表示为：

$$m\frac{dv}{dt}=f(x,v,t) \tag{1-1}$$

式中 $f(x,v,t)$ 是作用于物体的力，通常它是位置 x、速度 v 和时间 t 的函数。如果是一个取平衡位置为原点的弹簧振子，它受的力与离开原点的位移 x 成正比而方向相反，设比例系数为 k，则力 f 可表示为

$$f=-kx \quad （负号表示力与位移方向相反） \tag{1-2}$$

此时运动方程可写成

$$m\frac{dv}{dt}=-kx \tag{1-3}$$

对这一类微分方程作如下分析：

设在某时刻 t，物体的运动速度为 $v(t)$，位置为 $x(t)$，若经过极短的时间间隔 $\triangle t$ 后，即当时刻为 $t+\triangle t$ 时，能求出该时刻的速度和位置，那么这个物体的运动规律便可以确定。因为根

据初始状态，可以求得下一个瞬间的运动状态，而利用求得的运动状态又可以求出再下一个瞬间的运动状态，如此一步步下去，就可以得到物体在运动过程中每一个瞬间的速度和位置，并能根据各点的速度画出物体的运动轨迹。

如果以坐标 x 为纵轴，时间 t 为横轴，画出物体运动的 $x\sim t$ 曲线，并假设在时刻 $(t+\triangle t)$ 时物体的运动轨迹如图1-1所示。那么，在时刻 $(t+\triangle t)$ 时物体的位置 $x(t+\triangle t)$ 就可以用时刻 t 的位置 $x(t)$ 和时刻 $\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$ 的速度 $v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$ 以及时间间隔 $\triangle t$ 来求得，它可以近似表示为：

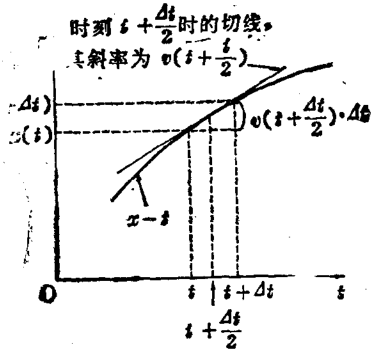


图 1-1 $x\sim t$ 曲线

$$x(t+\triangle t)=x(t)+v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)\triangle t \qquad (1\text{-}4)$$

因为在时间 t 和 $(t+\triangle t)$ 的间隔内，物体的平均速度接近于 $\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$ 时的速度 $v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$，所以，在极短的时间 $\triangle t$ 内，物体的位置可近似地看成改变了 $v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)\triangle t$。

现在的问题是如何求得(1-4)式中的 $v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$。这要从图1-2的 $v\sim t$ 曲线来考虑。在时刻 $\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$ 的速度 $v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$，可以用时刻 $\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)$ 的速度 $v\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)$ 和时刻 t 的加速度 $a(t)$

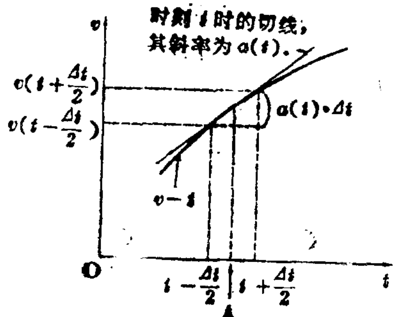


图 1-2　$v\sim t$曲线

来近似表示

$$v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)=v\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)+a(t)\triangle t \tag{1-5}$$

与(1-4)式同样，这里把时刻t的加速度近似地看成是在$\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)$与$\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)$这一时间间隔内的平均加速度，因此速度的增量为$a(t)\triangle t$。

根据(1-1)式，直线运动物体的加速度$a(t)$可以写成

$$a(t)=\frac{dv}{dt}=\frac{f(x,v,t)}{m}$$

将上式代入(1-5)式，可得

$$v\left(t+\frac{\triangle t}{2}\right)=v\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)+\frac{f(x,v,t)}{m}\triangle t \tag{1-6}$$

注意：(1-5)式与(1-6)式有着不同的物理意义，(1-5)式表示物体运动规律，即速度随时间与加速度而变化。(1-6)式却含有力学的内容，它把物体的加速度用其所受的力来表示。

由上述公式可知，如果给出时刻t的坐标$x(t)$和$\left(t-\frac{\triangle t}{2}\right)$

时刻的速度 $v\left(t-\frac{\Delta t}{2}\right)$，那么，只要确定了力 $f(x,v,t)$ 就可以根据(1-6)式求得 $v\left(t+\frac{\Delta t}{2}\right)$，再用(1-4)式就可以求出 $x(t+\Delta t)$，利用此计算结果，再进行上述计算，则可得下一个瞬间即 $\left(t+\frac{3}{2}\Delta t\right)$ 时刻的速度 $v\left(t+\frac{3}{2}\Delta t\right)$ 及位置 $x\left(t+\frac{3}{2}\Delta t\right)$。如此反复就得到物体的运动轨迹。

在研究物体运动时，通常先给出 $t=0$ 时刻的坐标 $x(0)$ 和速度 $v(0)$，并称此为初始条件。但要进行上述的反复计算，对于 $t=0$ 时刻是无法给出 $v\left(-\frac{\Delta t}{2}\right)$ 的，因而也无法求出 $v\left(\frac{\Delta t}{2}\right)$，解决的方法是用 $v(0)$ 代替 $v\left(-\frac{\Delta t}{2}\right)$，也就是如图1-3以及下式

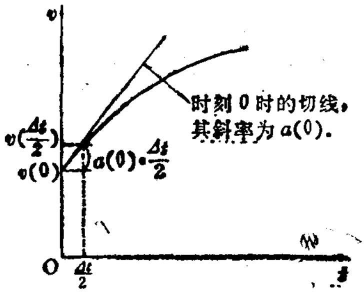


图 1-3　$v\left(\frac{\Delta t}{2}\right)$ 的求法

$$v\left(\frac{\Delta t}{2}\right)=v(0)+a(0)\frac{\Delta t}{2} \tag{1-7}$$

所示，用 $t=0$ 时刻的加速度 $a(0)$ 和时间间隔 $\frac{\Delta t}{2}$ 来表示速度的增量，然后再反复用(1-6)式和(1-4)式计算，于是就求得了任一时刻物体的位置和速度，这就是求运动方程式数值解的简单原理。在常微分方程的数值解法中，称为改良欧拉(Euler)法。

§1-2　运动方程式的数值解法

现在将上一节叙述的数值解法应用到具体问题。仍以平衡位

置为原点的弹簧振子的运动为例，其运动方程由(1-3)式给出。为简单起见，设 $k/m=1$，$t=0$ 时，$x(0)=1.000$*，$v(0)=0.0000$，计算的时间间隔 $\triangle t$ 取为 0.100，计算式如下：

$$\begin{cases} a(t)=-x(t), \\ v\left(\dfrac{\triangle t}{2}\right)=v(0)+a(0)\dfrac{\triangle t}{2}=v(0)-x(0)\dfrac{\triangle t}{2} \\ v\left(t+\dfrac{\triangle t}{2}\right)=v\left(t-\dfrac{\triangle t}{2}\right)+a(t)\triangle t=v\left(t-\dfrac{\triangle t}{2}\right) \\ \qquad -x(t)\triangle t \\ x(t+\triangle t)=x(t)+v\left(t+\dfrac{\triangle t}{2}\right)\triangle t \\ \text{初始条件：} x(0)=1.0000,\ v(0)=0.000 \\ \text{计算的时间间隔：} \triangle t=0.100 \end{cases}$$

当 $t=0$ 时

$$v\left(\frac{\triangle t}{2}\right)=v(0.050)=v(0)-x(0)\frac{\triangle t}{2}=0-1\times 0.050$$

$$=-0.050$$

$$x(\triangle t)=x(0.100)=x(0)+v\left(\frac{\triangle t}{2}\right)\triangle t$$

$$=1+(-0.050)\times 0.100=0.995$$

当 $t=\triangle t$ 时

$$v\left(\triangle t+\frac{\triangle t}{2}\right)=v(0.150)=v\left(\frac{\triangle t}{2}\right)-x(\triangle t)\triangle t$$

$$=-0.050-0.995\times 0.100=-0.150$$

$$x(2\triangle t)=x(0.200)=x(\triangle t)+v\left(\triangle t+\frac{\triangle t}{2}\right)\triangle t$$

$$=0.995+(-0.150)\times 0.100=0.980$$

---

* 因本书主要介绍用微型计算机解决物理问题的方法，所以在一些着重介绍方法的例题中略去了单位，一般都采用SI制。

当 $t=2\triangle t$ 时

$$v\left(2\triangle t+\frac{\triangle t}{2}\right)=v(0.250)=v\left(2\triangle t-\frac{\triangle t}{2}\right)-x(2\triangle t)\triangle t$$

$$=-0.150-0.980\times0.100=-0.248$$

$$x(3\triangle t)=x(0.300)=x(2\triangle t)+v\left(2\triangle t+\frac{\triangle t}{2}\right)\triangle t$$

$$=0.980+(-0.248)\times0.100=0.955$$

……………………

如此计算下去，可得如表 1-1 的结果

表 1-1 $\frac{dv}{dt}=-x$的数值解($\triangle t=0.100$)

t	$x(t)$	$v(t)$	$a(t)$	t	$x(t)$	$v(t)$	$a(t)$
0.000	1.000	0.000	−1.000	0.450		−0.435	
0.050		−0.050		0.500	0.877		−0.877
0.100	0.995		−0.995	0.550		−0.523	
0.150		−0.150		0.600	0.825		−0.825
0.200	0.980		−0.980	0.650		−0.605	
0.250		−0.248		0.700	0.764		−0.764
0.300	0.955		−0.955	0.750		−0.682	
0.350		−0.343		0.800	0.696		−0.696
0.400	0.921			0.850		−0.751	

上面的例子介绍了运动方程$dv/dt=-x$的数值解法。关于弹簧振子的运动情况，在第二章中还要深入研究。通过这个例子可以看出，运动方程的数值解法是一种单纯的反复计算，而这正是计算机所擅长的工作。下面将通过例 1-1 来研究如何对这一类问题编制程序。

例 1-1 求解运动方程 $a=dv/dt=-x$，并编写能计算物体在各时刻的位置和速度的程序。设 $t=0$ 时，$x(0)=1.000$，$v(0)=0.000$，计算的时间间隔（即步长）$\triangle t$ 为 0.100。

```
10  REM DY1
20  REM NUMERICAL SOLUTION OF DU/DT=-X
30  X0=1.000
40  V0=0.000
50  DT=0.100
60  PRINT
70  PRINT "T"; TAB (10); "X"; TAB (25); "V"
75  PRINT
80  X=X:V0=V0:TM=0
90  PRINT T; TAB (10); X; TAB (25); V
100 A=-X
110 V=V+A*(DT/2)
120 TM=TM+DT/2
130 PRINT TM; TAB (25); V
140 X=X+V*DT
150 T=T+DT
160 IF T>=1.1 THEN END
170 PRINT T; TAB (10); X
180 A=-X
190 V=V+A*DT
200 TM=TM+DT
210 PRINT TM;  TAB (25); V
220 GOTO 140
```

图 1-4 例1-1的程序

编制的程序见图1-4，现对程序说明如下：

(1) 30～50 行是位移 x 的初始值 X0（即 $x(0)$，微机中表示成 X0，下同），速度的初始值 V0 及计算时间间隔 DT（即 $\triangle t$）赋值。

(2) 60 行是空行，70 行是打印符号 T、X、V 的语句，75 行是空行。

(3) 80 行是对变量 X、V、T、TM 赋以初值。

(4) 100～130 行是计算时刻 DT/2=0.05 时的速度及打印语句，A 表示加速度。

(5) 140～200 行是反复计算和打印 X、V。

(6) 160 行是停止执行的条件语句。T 值到 1.1 以上就结束程序的计算。

(7) 就程序本身而言，如果 DT 取得越小计算精度则越高，但由于受微机有效计算位数的限制以及取舍误差迭加的影响，所以即既使 DT 再取小一些，也未必能提高计算精度。

(8) 本程序是用改良欧拉法编制的，请读者务必充分消化、理解。

例 1-2 编制程序，使之能用曲线表示例 1-1 中 x 和 t 的关系。

```
10  REM DY2
15  REM X-T GRAPH OF DY1
20  INPUT "SCALE OF T-AXIS K="; K
30  INPUT "SCALE OF X-AXIS L="; L
40  HGR:HCOLOR=3
50  HPLOT 0,40 TO 0,140
60  HPLOT 0,90 TO 279,90
70  X0=1:V0=0:DT=0.1
80  X=X0:V=V0
90  A=-X
```

```
100 V=V+A*(DT/2)
110 X=X+V*DT
120 T=T+DT
130 T1=T*K:X1=X*L
140 IF T1> 270 THEN END
150 HPLOT T1,-X1+90
160 A=-X
170 V=V+A*DT
180 GOTO 110
    RUN
    SCALE OF T-AXIS K=5
    SCALE OF X-AXIS L=40
```

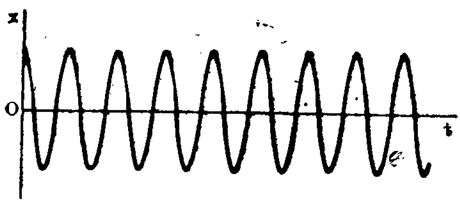


图 1-5　例1-2的程序及执行结果

程序说明如下：

(1) 20～30行是输入坐标的倍率。时间轴（横轴）和位移轴（纵轴）的倍率分别为K和L。在作曲线图时，为使图形易于观察，通常都必须作这种处理。

(2) 40行是APPLEⅡ机器的图形控制语句。如用的是IBM-PC机，请参照附录Ⅱ。50～60行是画坐标轴的图形语句。注意，不同的机型均有不同的图形语句。

(3) 70行是初始条件及时间间隔的赋值语句。80行是变量

X 及 V 的初始值的赋值语句。70 行和 80 行也可以合并写为X=1:V=0:DT=0.1。

(4) 90～100 行是计 算 DT/2=0.05 时V的语句。110 行是计算T=0.1 时X值的语句 。 120 行是又一新时刻的计算语句。130 行的T1, X1 分别是采用坐标轴倍率K和L后时刻和位置的变量, 这是为作曲线图而引入的变量。140 行是表示程序结束的条件语句。根据110～180行, 反复计算X和T, 就能画出两者的关系曲线。

(5) 150 行是 APPLE Ⅱ 微机上画出坐标点的作图语句, 其中X1前加负号的原因是屏幕坐标原点在左上角(0,0)点, 纵坐标 x 方向向下。图的原点为(90,0)故用 (-X1+90) 表示每点的纵坐标值。

§ 1-3 匀加速直线运动

设物体的质量为m, 受到的作用力为恒力 f, 且力的方向与物体初速度方向相同, 则物体作匀加速直线运动, 运动方程为

$$m\frac{dv}{dt}=f \tag{1-8}$$

如用 a 表示加速度, 则可写成

$$\frac{dv}{dt}=\frac{f}{m}=a \tag{1-9}$$

当给出初始条件 ($t=0$ 时, $x=x_0$, $v=v_0$) 后, 解(1-9)式, 得

$$v=v_0+at \qquad x=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \tag{1-10}$$

但是如果用微型计算机解这类问题, 它无法得出(1-10)这样的一般表达式。微机只能用已给出具体数值的初始条件 (例如, 当$t=0$ 时, $x_0=10$, $v_0=0$ 等) 去求解方程式(1-9), 并计算出在各不