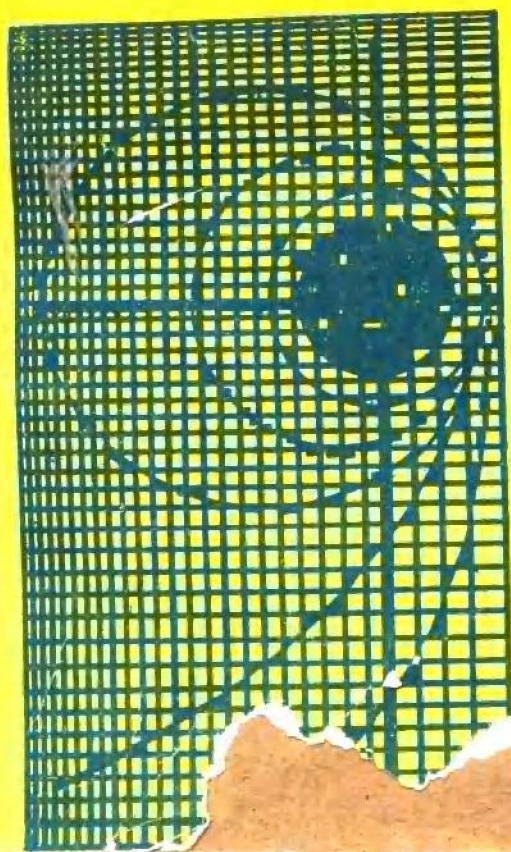


计算机 模拟物理 实验**50**例



山东教育出版

计算机模拟物理实验50例

苗孝元 编

山东教育出版社

1990年·济南

计算机模拟物理实验50例

苗孝元 编

山东教育出版社出版

(济南经九路胜利大街)

山东省新华书店发行 山东新华印刷厂德州厂印刷

*

850×1168毫米32开本 9印张 194千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数1—1,000

ISBN 7—5328—1059—3/G·894

定价 3.10元

编 者 的 话

本书是在国家教委1986年度研究课题“计算机模拟实验50例”的基础上写成的，其中部分内容曾在1985年12月在上海召开的“全国微机在物理教学中应用学术研讨会”上发表。

计算机模拟实验具有定量的因果律、严格的数学方程式化、科学的预见性和准确的再现性等特点，是一种先进的科学实验和科学研究的方法。本书根据高中物理教材和大专院校普通物理教材的内容，在运动学、振动和波、电磁学、波动光学、原子物理学和物理仪器等方面，以50例的形式介绍了这一方法。

本书使用BASIC语言，使用的机种是Apple II，所述的程序，可以在计算机上准确地演示物理事件发生的过程和结果。其中很多物理事件的发生过程是在日常生活中和现有实验条件下无法或不易观察到的，例如，人造卫星的运动过程、自感现象实验中灯泡电流的变化过程、回旋加速器中被加速离子的运动过程等。书中每个实例分概述、程序设计思想、实验内容与方法、实验结果、程序清单五个部分，详细地介绍了计算机模拟物理实验这一方法。书中所述程序大部分是欧拉法或改进欧拉法编制的图示微分方程的解的程序，但涉及的物理问题很多是高中物理教材中的内容，所以高中学生通过努力也可以理解和掌握。

本书可作为大专院校物理系学生学习物理学和计算机语言

的参考教材，也可作为中学物理、计算机教师和高中学生的参考用书。书中的程序已经制成软盘，它和一台Apple II微机即可组成一套物理演示仪器，用于大专院校和中学物理教学演示。

本课题的研究曾得到国家教委的支持和资助。课题完成后，曾于1987年7月5日在山东师范大学物理系召开了评议会，得到了与会专家、教授的充分肯定和支持。在此，谨向国家教委仪器研究所和山东师范大学物理系的领导和同志们致以衷心的感谢。向林典要教授、苑之方教授、孟尔熹教授、张秀海副教授、张佩玲副教授等致以衷心的感谢。

限于个人的业务水平，不妥之处难免，望读者批评、指正。

济南联合大学 苗孝元

1990年7月于济南

序

计算机在人类生活的各个领域中都获得了广泛的应用，为我们带来了方便，大大提高了工作效率。在物理教学中也已兴起了用计算机模拟物理实验的研究，显示了它不仅是一种先进的教学方法，也是一种很有前途的科学研究方法。但目前在国内系统地介绍这方面内容的论著尚付阙如，将计算机模拟物理实验作为教学手段也远未被普遍接受和采用。有鉴于此，作者经过多年潜心探索和研究，颇获心得、体会。兹以中学物理和普通物理中一些重要的典型实验为例，对计算机模拟物理实验这一极为优越的方法作了系统的介绍，以飨读者。

诚然，本书是作者对这一课题的初步探索和尝试，可能还不够成熟，内容也尚欠全面，但我相信它会成为一块引玉之砖，启迪和促进更多的同行来开发这块处女地，使它尽早地遍地开花结果，庶几物理学科教学方法的改进和教学质量的提高当会更上一层楼。

苑之方

1990年8月

目 录

例 1	人造卫星的运行	1
例 2	开普勒第二定律	9
例 3	开普勒第三定律	19
例 4	α 粒子流在原子核附近散射	22
例 5	向心力	28
例 6	弹簧振子的运动规律	33
例 7	弹簧振子的位移、速度和加速度	38
例 8	弹簧振子的能量与时间的关系	41
例 9	弹簧振子的能量与位移的关系	46
例10	弹簧振子的加速度与位移的关系	49
例11	弹簧振子的速度与位移的关系	51
例12	弹簧振子的加速度与速度的关系	54
例13	同方向不同频率两谐振动的合成	56
例14	相互垂直的两谐振动的合成	61
例15	阻尼振动	68
例16	简谐波的波动方程	75
例17	杨氏双缝实验	78
例18	驻波	85
例19	纯电阻交流电路	90
例20	纯电感交流电路	95
例21	纯电容交流电路	99

例22	R 与 L 串联的交流电路	103
例23	RLC 串联谐振 (u_L 、 u_C 和 i 曲线)	108
例24	RLC 串联谐振 (u 、 i 和 p 曲线)	116
例25	RLC 串联谐振 ($I-f$ 曲线)	121
例26	RLC 并联谐振 (i_R 、 i_L 、 i_C 和 i 曲线)	126
例27	RLC 并联谐振 (u 、 i 和 p 曲线)	134
例28	RLC 并联谐振 ($z-\omega$ 曲线)	139
例29	$RL-C$ 并联谐振 (u 、 i_L 、 i_C 和 i 曲线)	143
例30	$RL-C$ 并联谐振 (u 、 i 和 p 曲线)	153
例31	$RL-C$ 并联谐振 ($z-\omega$ 曲线)	158
例32	提高日光灯功率因数 (i 和 C 的关系)	162
例33	提高日光灯功率因数 (数据)	171
例34	提高日光灯功率因数 ($\cos\varphi-C$ 曲线)	176
例35	RC 微分电路	178
例36	RC 积分电路	185
例37	自感现象实验装置的定量分析	190
例38	电容通过电感和电阻放电	199
例39	RLC 电路与直流电压接通	204
例40	电子在电场中的运动 (一)	208
例41	电子在电场中的运动 (二)	213
例42	电子在均匀磁场中的运动	216
例43	电子在显象管中的运动	222
例44	速度选择器的工作原理	227
例45	质谱仪的工作原理	235
例46	汤姆孙实验	242
例47	汤姆孙实验中 R 的确定	249

例48 回旋加速器的工作原理..... 254

例49 亥姆霍兹线圈..... 264

例50 示波器模型..... 269

例 1 人造卫星的运行

概述

根据万有引力定律可知，地面上的物体都要受到地球引力的作用。但是，从地面上抛出的物体，有的会落回地面，有的会成为围绕地球运行的人造地球卫星或者成为围绕太阳运行的人造卫星。这主要决定于抛体的抛射速度。

人造卫星通常都是用三级火箭来发射的。人造卫星从地面上发射到进入卫星轨道，大致可以分为三个阶段，如图 1—1 所示。

第一阶段，火箭在大气密度最大的一层内飞行，阻力很大，为了尽快地摆脱稠密的大气层，通常采用垂直向上发射，并在几分钟内使火箭加速到足够大的速度。

这是加速阶段，一般靠第一级和第二级火箭完成。

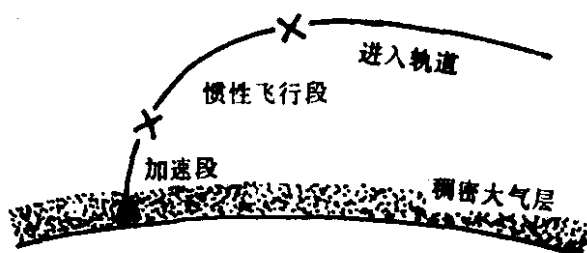


图 1—1

第二阶段，第二级火箭脱离后，火箭已经飞出了稠密大气层，这时第三级火箭并不立即发动，它靠在第一阶段获得的动能继续升高而做惯性飞行。同时在地面中心控制站的控制下，火箭轨道偏离竖直方向逐渐转变为水平方向。

第三阶段，当火箭到达与卫星轨道相切的位置时，开动第

三级火箭，使火箭连同它所运载的卫星加速到预订的速度而进入卫星轨道。卫星进入轨道后，就脱离火箭，开始运行。

关于人造卫星脱离运载工具时的速度与卫星运行轨道的关系，一般都是在假设卫星脱离运载工具时的位置与地面之间距离很小，这个距离与地球半径相比可以忽略不计的情况下，根据卫星的总机械能进行理论计算并得到结论的。例如：

如果卫星脱离运载工具时的速度等于或大于 $7.9\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 而小于 $11.2\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 时，卫星的运行轨道是圆形或者是椭圆形轨道。速度 $7.9\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 叫做第一宇宙速度。

如果卫星脱离运载工具时的速度超过 $11.2\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 时，卫星就可以挣脱地球引力的羁绊，成为围绕太阳运行的人造卫星。此时卫星相对地球而言，它的轨道是抛物线或双曲线。速度 $11.2\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ 叫做第二宇宙速度。

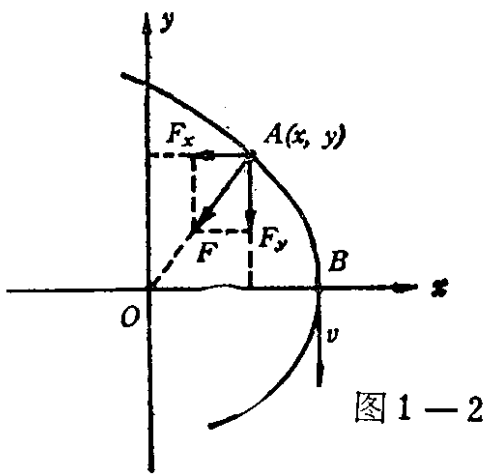
卫星脱离运载工具时的速度达到第二宇宙速度后，虽然可以挣脱地球引力的羁绊，但还不能挣脱太阳引力的束缚。若要飞到太阳系以外的宇宙空间去，卫星脱离运载工具时的速度必须达到 $16.7\text{千米}\cdot\text{秒}^{-1}$ ，这个速度叫做第三宇宙速度。

根据上述结论，虽然可以绘出卫星脱离运载工具时的速度与卫星运行轨道的关系图象，但是却不能描述卫星运行的过程和规律。在本例中，我们将用计算机模拟人造卫星脱离运载工具后的运行过程，揭示卫星运行的规律。

程序设计思想

首先列出理想情况下卫星脱离运载工具后，其位移所满足的微分方程组，设卫星脱离运载工具时的状态为初始状态，利用计算机解出该方程组的解曲线。解曲线发生的过程精确地模拟了卫星的运行过程，揭示了卫星运行的规律。

如图 1—2 所示，在二维坐标系 xOy 中， O 为地心， A 为卫星在其运行轨道上的任一位置。在不考虑空气阻力和其他星球作用的情况下，卫星只受地心引力的作用，其大小为



$$F = ma = \frac{GMm}{r^2} \tag{①}$$

式中 G 为引力常数， M 为地球质量， m 为卫星质量， r 为卫星到地心的距离。

由图 1—2 中的几何关系知， F 在 x 轴和 y 轴方向的分力分别为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= -\frac{x}{r} \cdot F \\ F_y &= -\frac{y}{r} \cdot F \end{aligned} \right\} \tag{②}$$

则卫星脱离运载工具后其位移 $x(t)$ ， $y(t)$ 所满足的微分方程组为

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{GMx}{r^3} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{GMy}{r^3} \end{cases}$$

如图 1—2 所示， B 点为卫星脱离运载工具时的位置，设 B

点距离地球表面很近，在B点卫星运行方向与y轴平行，速度为v。设此时（ $t = 0$ ）为卫星运行的初始状态，于是初始条件为

$$x(0) \approx r_0 \text{ (} r_0 \text{ 为地球半径)}$$

$$y(0) = 0$$

$$v_x(0) = 0$$

$$v_y(0) = v$$

由式①得

$$GM = ar^2$$

在地球附近， $a \approx g$ ， $r \approx r_0$ ，所以，

$$GM \approx gr_0^2 = 0.4 \text{ 万公里}^3 \cdot \text{千秒}^{-2}$$

$$x(0) \approx r_0 = 0.64 \text{ 万公里}$$

在本程序中使用的单位是万公里·千秒。为了使用方便，在键入卫星脱离运载工具时的速度时，使用单位是千米·秒⁻¹。

实验内容与方法

首先把本例程序写入计算机或者把软盘中本例程序（文件名称A0，调入计算机，然后运行程序：

RUN）

计算机显示屏上显示二维坐标系xOy及：

V (KM/S) = ?

要求键入卫星脱离运载工具时的速度v（在程序中用V表示）的值。

键入V值后，显示屏上将出现卫星脱离运载工具后运行过程的图象。依次键入不同的V值，观察卫星运行轨道的形状及在同一轨道中卫星速率的变化情况。

实验结果

图1—3是V分别取7.9，9，10，11.2，16.7时卫星运行

```

]RUN A0
V(KM/S)=7.9
V(KM/S)=9
V(KM/S)=10
V(KM/S)=11.2
V(KM/S)=16.7
V(KM/S)=0

```

]

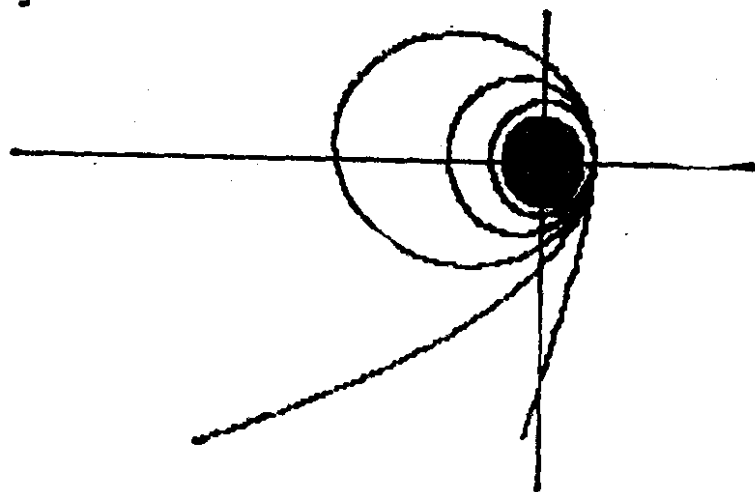


图 1—3

轨道的图象。

当 $V = 7.9$ 时，卫星运行轨道是圆。地心是在圆心上。

当 $7.9 < V < 11.2$ 时，卫星的运行轨道是椭圆。地心是在椭圆的一个焦点上。

当 $11.2 \leq V < 16.7$ 时，卫星运行轨道是抛物线。地心是在抛物线的焦点上。

当 $V \geq 16.7$ 时，卫星运行轨道是双曲线。地心是在双曲线的一个焦点上。

通过观察图象可以看到，在同一轨道中卫星在近地点速率最大，随着卫星到地心距离增加卫星速率减小，卫星在远地点其速率最小。为了更清楚地观察这一现象，可以在程序中加入：

```
215 PRINT "V =", 10 * SQR (VX * VX + VY * VY)
```

或者调用程序A 1。用此程序时，计算机显示屏上在显示卫星运行的同时，显示卫星的瞬时速率值。

万有引力定律指出：任何两个物体之间都存在着相互吸引力。可知，天体和地球上的物体都服从这一规律。因此，用本例中的地球表示太阳，人造卫星表示行星，那么，本例又证明了开普勒第一定律，即所有的行星分别在大小不同的椭圆轨道上围绕太阳运动，太阳是在椭圆的一个焦点上。

程序清单 (A 0)

LIST

```
10 HGR
```

```
20 HCOLOR = 3
```

```
30 HPLOT 0, 50 TO 279, 50
```

```
40 HPLOT 200, 0 TO 200, 159
```

```
50 FOR T=0 TO 6.4 STEP .1
```

```
60 HPLOT 200+15*SIN (T), 50+15*COS (T) TO  
    200+15*SIN (T+ .1), 50+15*COS (T+ .1)
```

```
65 HPLOT 200+15 * SIN (T), 50+15* COS (T)  
    TO 200, 50
```

```
70 NEXT T
```

```
80 X0 = .64 : Y0 = 0 : VX0 = 0 : DT = .  
    1
```

```
90 INPUT "V(KM/S)=", VY0
```

```
100 IF VY0 < 7.9 THEN 250
```

```
110 VY0 = VY0 / 10
```

```

120 FOR T=0 TO 220
130 R=SQR (X0*X0+Y0*Y0)
140 AX0=-.4*X0/R/R/R
150 AY0=-.4*Y0/R/R/R
160 VX=VX0+DT*AX0
170 VY=VY0+DT*AY0
180 X=X0+DT*VX
190 Y=Y0+DT*VY
200 IFY>3.2 THEN 80
205 IFY<=-1.5 THEN 80
207 IFX<=-5 THEN 80
210 HPLOT 200+30*X0, 50+30*Y0 TO 200+30*
      X, 50+30*Y
220 X0=X:Y0=Y:VX0=VX:VY0=VY
230 NEXT T
240 GOTO 80
250 END

```

程序清单 (A1)

LIST

```

10 HGR
20 HCOLOR=3
30 HPLOT 0, 50 TO 279, 50
40 HPLOT 200, 0 TO 200, 159
50 FOR T=0 TO 6.4 STEP .1
60 HPLOT 200+15*SIN (T) , 50+15*COS (T)

```

```

        TO 200+15*SIN (T+ .1) , 50+15*COS
          (T+ .1)
65  HPLOT 200+15*SIN (T) , 50+15*COS (T)
      TO 200, 50
70  NEXT T
80  X0= .64 : Y0=0 : VX0=0 : DT= .1
90  INPUT "V(KM/S)=", VY0
100 IF VY0<7.9 THEN 250
110 VY0=VY0/10
120 FOR T =0 TO 220
130 R=SQR (X0*X0+ Y0*Y0)
140 AX0=- .4*X0/R/R/R
150 AY0=- .4*Y0/R/R/R
160 VX=VX0+DT*AX0
170 VY=VY0+DT*AY0
180 X=X0+DT*VX
190 Y=Y0+DT*VY
200 IF Y>3.2 THEN 80
205 IF Y<=-1.5 THEN 80
207 IF X<=-5 THEN 80
210 HPLOT 200+30*X0,50+30*Y0 TO 200+30*X,
      50+30*Y
215 PRINT "V=", 10*SQR(VX*VX+VY*VY)
220 X0=X : Y0=Y : VX0=VX : VY0=VY
230 NEXT T
240 GOTO 80

```