

近代物理实验数据处理软件

涂文波

(应用物理系)

摘 要

本文介绍一种用于近代物理实验的 FP BASIC 语言的数据处理软件, 并在 APPLE-II 微型机上实现对任一实验数据的处理和批改实验报告等, 所得的结果与理论预期一致。

一、前 言

计算机的迅速发展, 使它在科学计算、工程设计、工业生产过程控制及企事业管理等许多方面都得到日益广泛的应用, 由于微型计算机的体积小、价格便宜, 使用简单、机房无特殊要求, 使其应用有极好的前景, 可喜的是计算机应用近年来已进入教学领域, 在国外, 早已进行“计算机辅助教学”(Computer-Aided Instruction, 缩写 CAI)的研究, 我国一些高校也在进行 CAI 的研究, 这可称是教育走向现代化的一次革命。

本软件设计是采用 FP BASIC 语言, 它是一种简单易学的会话式语言, 使用者可通过人机对话十分方便地进行实际操作, 再就应用物理系而言, 若能在实验物理和理论教学中研制并实现人机对话的计算机化的教学系统, 那将是教学上十分有益的创新。退一步讲, 也可以达到巩固算法语言的知识 and 熟练使用计算机的教学效果。本软件就是在上述的思想基础上研制的。

本软件结构是以程序块调用方式的, 即由主程序和霍尔效应、微波实验、F-H 实验、核衰变的统计规律及测量数据的处理、磁学实验、X 射线、密立根油滴实验等子程序块组成的, 总共约有 470 行语句, 它在 APPLE-II 微型机上调试通过, 并在 DOS3.3 操作系统、5 $\frac{1}{4}$ " 磁盘驱动器和 SC-1000 型打印机等支持下完成工作的。

本软件使用方便灵活、功能较全, 当软件引导进主机内存后, 学生用人机对话进行操作, 从键盘输入当前实验数据, 检查无误输入执行命令, 就可在屏幕上显示和打印机直接打印实验结果和关系曲线图形的完整实验数据处理报告。选择批改实验报告的功能, 则是按四级分制评定成绩的, 它在近年来教学实践中证明是达到预期的教学效果的。

本文1986年10月5日收到

二、软件的程序设计

计算机在实验物理中的应用不仅能迅速而精确地处理大量实验数据，及时分析实验结果，而且能控制一些复杂的大套实验设备协调起来有效地自动工作，准确地收集实验数据並处理之，从而节省时间和人力，同时又大大提高实验的效果。这在实际工作中是很有意义的。

1. 软件的主程序

主程序的流程图如图 1 所示，为了只供专人使用以及实践操作时不被由于操作不慎而冲失信息，所以在主程序中设置保密码以及各子程序块由 LOCK 命令来加“锁”保护。

主程序运行时，应先输入密码，若正确则显示按数码顺序的各子程序块实验名称供使用者选择，否则发警报声並清内存。主程序中各层次之间的调用，都是由使用者按下相应的数字键，实现调用相应的子程序块，而子程序块执行均由 OPEN 命令来开启文件，当操作並运行完毕后，则由 CLOSE 命令自动关闭文件，这样可以防止操作上不慎而冲失文件信息。以及按下 Y 或 N 键可实现是否选择批改实验报告和是否继续操作等功能。

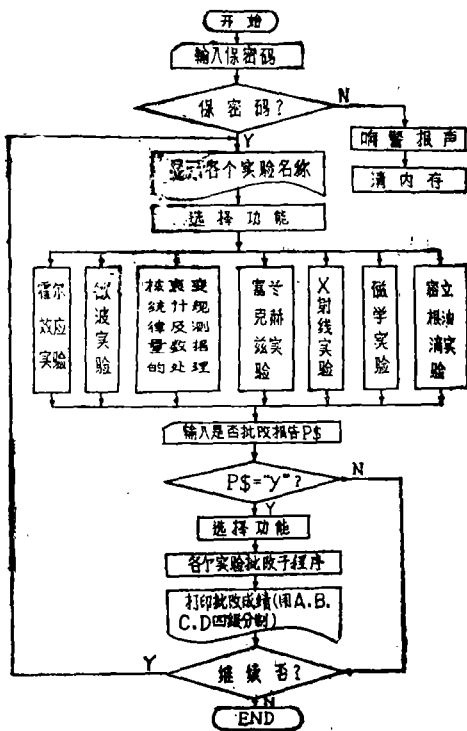


图 1 主程序流程图

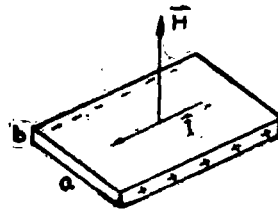


图 2 霍尔效应示意图

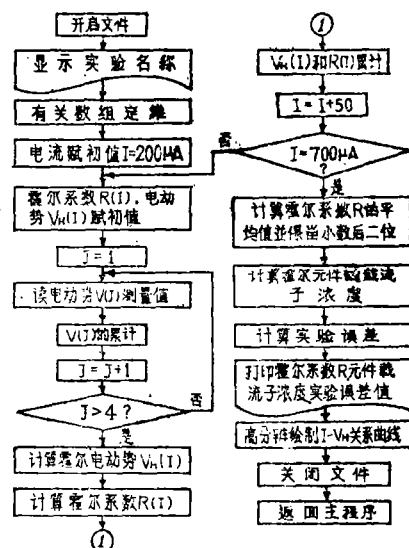


图 3 霍尔效应实验数据处理子程序流程图

2. 子程序块的算式和流程图

(1) 霍尔效应实验：

1880年霍尔(E. H. Hall)发现把载流导体置于磁场中,则导体中垂直于 \vec{H} 和 \vec{I} 的方向出现一横向电动势 V_H (图2),这一现象称霍尔效应; V_H 称霍尔电动势,由此可测量半导体元件的霍尔系数、算出载流子浓度,并判断元件的类型,绘出 V_H-I 的关系曲线等。其子程序流程图如图3,实验的计算式为

霍尔系数 $R = -\frac{V_H}{HI}b \times 10^8 (\text{cm}^2/\text{C})$

载流子浓度:

$$n = \frac{3}{8} \pi \frac{1}{R e} (\text{cm}^{-3})$$

霍尔电动势:

$$V_H \approx \frac{1}{4} (V_1 - V_2 + V_3 - V_4) (V)$$

式中, b 为元件的厚度 (cm); I 为通过元件的电流强度 (A); H 为垂直于元件的外磁场 (10^{-4}T); e 为基本电量 (C)。

(2) 微波实验：

测量驻波比和波导波长是微波实验的基本测量,计算的子程序流程图如图4。其计算表

波导波长的理论算式:

$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{2a}\right)^2}$$

式中, $\lambda_0 = \frac{c}{f}$ 为自由空间波长; a 为波导宽边尺寸; c 为光速; f 为信号发生器输出频率。

波导波长的实验算式:

$$\lambda'g = 2(D_{2\min} - D_{1\min})$$

式中, $D_{2\min}$ 和 $D_{1\min}$ 分别为两相邻驻波最小点的位置。

驻波比 $\rho = \frac{|E_{\max}|}{|E_{\min}|} = \sqrt{\frac{I_{\max}}{I_{\min}}}$

式中, I_{\max} 和 I_{\min} 分别为驻波最大点和最小点处检流计的读数。

(3) 核衰变的统计规律及测量数据处理：

大量实验事实发现,对放射性物质的强度进行多次反复测量时,即使各种条件都相同,每次测量的结果也可以很不相同,每次记录到的粒子个数愈少,每次测量的结果差别就愈明

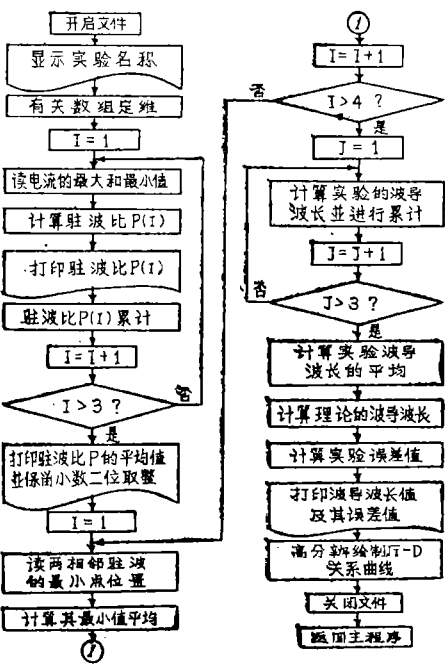


图4 微波实验数据处理子程序流程图

显。然而每次测得结果都会围绕某一平均值上下涨落,这就是核衰变的统计规律,其分布遵循统计规律的泊松分布如图5(a),即在时间间隔 Δt 内测得计数的平均值为 \bar{N} (较小时),那么测得计数为 N 的几率表达式为

$$P(N) = \frac{(\bar{N})^N}{N!} e^{-\bar{N}}$$

式中, \bar{N} 为测量 A 次的平均值 $\bar{N} = \sum_{i=1}^A \frac{N_i}{A}$

当 \bar{N} 增大($\bar{N} > 20$)时,则分布几率遵循高斯分布如图5(b),其几率表达式为

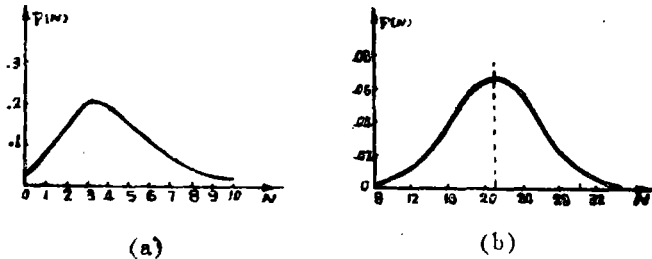


图5 核衰变的统计规律分布

$$P(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{N}}} e^{-\frac{(\bar{N}-N)^2}{2\bar{N}}}$$

式中, $(\bar{N}-N)$ 偏差对于 \bar{N} 轴是具有对称性的,当 $N = \bar{N}$ 时, $P(N)$ 取极大值,随着 $(\bar{N}-N)$ 的增大而 $P(N)$ 变小。

核衰变的统计规律的实验值 N 出现的几率为

$$P(N) = \frac{K(N)}{A}$$

式中, $K(N)$ 为测量的计数。

核衰变的统计规律及测量数据处理的子程序流程图如图6。

(4) 弗兰克-赫兹实验:

1914年弗兰克(J. Franck)和赫兹(G. Hertz)用电子去碰撞原子,发现原子所吸收的能是不连续的,从而直接证明1913年波耳(N. Bohr)关于原子内能的量子化理论,即原子能级的存在;而且原子能量变化的关系式为 $h\nu = E_n - E_m$ 。为此,F-H实验获得1925年诺贝尔物理学奖。本实验是电子去碰撞气态汞原子的测试,按测得数据绘 I_p-V_{0K} 的关系曲线,並求汞的第一激发电位。

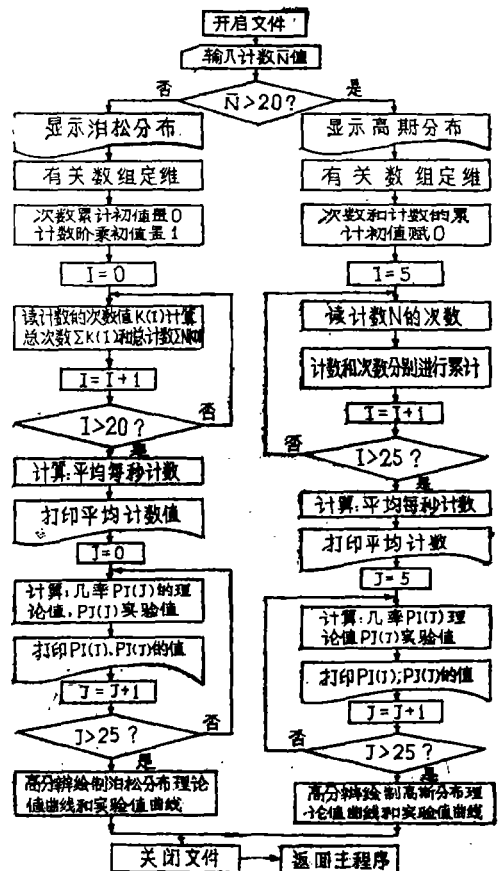
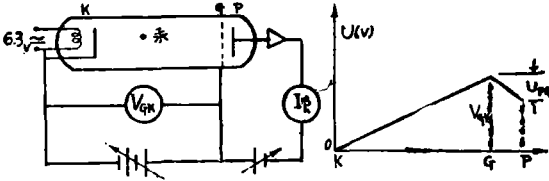


图6 核衰变的统计规律及测量数据的处理子程序流程图

由实验原理图(图7)可看出,当开始增加 KG 间电压 V_{GK} 时,电子与汞原子之间产生弹性碰撞,电子有足够能量克服反拒场 V_{P0} 而达到板极 P 形成板流 I_P , 于是 I_P 随 V_{GK} 增加而增大,当 $V_{GK} \geq$ 汞原子的激发能时,电子与汞原子之间产生非弹性碰撞,电子传递能量给汞原子,使它从基态激发到第一激发态,这时电子失去能量而克服不了反拒场 V_{P0} 而返回 G 极,由此板流 I_P 下降,随着 V_{GK} 再增加 I_P 也随之增大,但是每当

$$V_{GK} = nU \quad n = 1, 2, 3, \dots$$



(a)F—H 实验示意图 (b)F—H 管内电压分布
图 7 F-H 实验原理图

处板流 I_P 都会相应下降,也是说 I_P 的大小随 V_{GK} 的增加而周期性地出现极大值和极小值,而各次 I_P 下降相对应的 KG 间电位差 U 就是汞原子的第一激发电位,其子程序流程图(如图8)。

(5) X 射线实验:

1895年德国物理学家伦琴 (W. C. Rontgen) 研究阴极射线时,发现一种穿透能力强,並能使萤光物发光而不为电磁场作用下偏转的射线——X 射线。1912 年劳厄 (M. Von. Laue) 等应用 X 射线研究晶体结构而开创一门新学科。本实验是用德拜法来测量晶体的点阵常数。样品是 Cu, 拍得德拜环相底如图 9 所示。

计算表达式:

入射孔位置
$$X = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 (a_i + b_i)$$

出射孔位置
$$Y = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^7 (a_i + b_i)$$

两孔中心距离
$$W = X - Y$$

德拜环半径
$$R_i = \frac{a_i - b_i}{2}, i = 1, 2, 3, 5, 6, 7$$

前区掠射角
$$G_i = \frac{90^\circ}{W} R_i, i = 1, 2, 3, 4$$

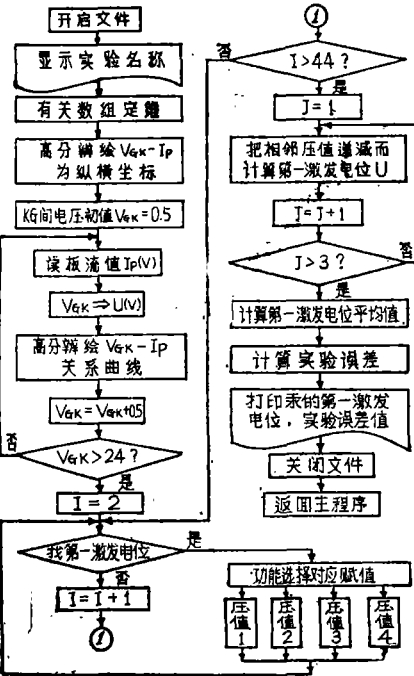


图 8 F—H 实验数据处理子程序流程图

背区掠射角 $G_i = 90^\circ - \frac{90^\circ}{W} R_i$,

$$i = 5, 6, 7, 8$$

晶体点阵常数 $A_i = \frac{\lambda}{2 \sin(G_i)} \sqrt{N}$

式中, $N = h^2 + k^2 + l^2$ 为晶面指数, 且是一正整数。

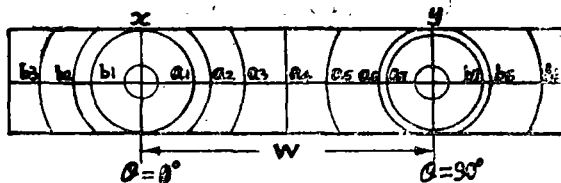


图9 德拜环相底示意图

从上式可知 $\sin(G_i)$ 和 $\frac{\lambda}{A_i}$ 是成比例关系,

于是可绘出以 $\sin(G_i)$ 为纵轴、 $\frac{\lambda}{A_i}$ 为横轴的关系曲线, 那么, 对于不同的 \sqrt{N} 形成不同斜率的直线, 这样就可利用图解法求得晶体的点阵常数, 其子程序流程图如图10所示。

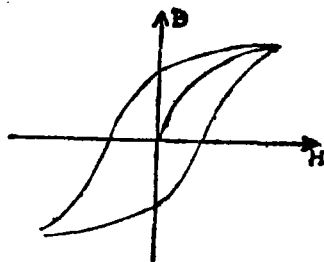


图11 磁滞回线

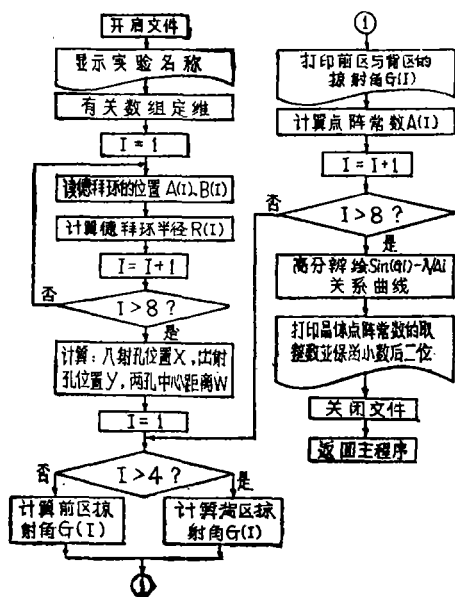


图10 X-Ray实验数据处理子程序流程图

(6) 磁学实验:

磁性材料性能测量最基本的方法是冲击法, 就是利用冲击检流计的偏转, 计算出磁通量变化, 进而求得待测的量。本实验即是利用冲击法测量求得磁性材料(软磁体)的 B 和 H , 并按其测量值绘出基本磁化曲线和磁滞回线, 因为磁性材料在周期变化着的磁化场作用下, 磁感应强度 B 和磁场强度 H 之间构成一闭合的关系曲线——磁滞回线(图11), 其子程序流程图如图12。

测量过程的计算式:

$$\text{冲击常数 } c = \frac{M \Delta I}{\alpha} \text{ wb/mm}$$

式中, M 为互感系数 (H); ΔI 为电流改变量 (A); α 为电流改变时冲击检测计的偏转 (mm)。

基本磁化曲线测量的计算式:

$$\text{磁感应强度 } B = \frac{c \alpha}{2 S N_s} 10^{-4} \text{ (T)}$$

式中, c 为测量回路的冲击常数; α 为冲击检流计的偏转(分格); N_2 为 B 值测量线圈匝数; S 为样品的截面积 $S = \frac{w}{d\pi R}$ (cm^2), 其中 w 为样品重量, d 为比重(相对密度), R 为样品直径。

$$\text{磁场强度 } H = \frac{0.4N_1}{R} I \quad (H = \frac{100N_1}{\pi R} I (\text{A/m}))$$

式中, N_1 为磁化线圈匝数; I 为磁化电流; R 为线圈直径。

磁滞回线测量计算式:

$$\text{磁感应强度 } B = \frac{c}{SN_2} \left(\frac{\alpha}{2} - \alpha_B \right) (10^{-4} \text{ T})$$

$$\text{磁场强度 } H = \frac{0.4N_1}{R} I (10^{-4} \text{ T})$$

式中, α_B 为测量 ΔB 时冲击检流计的偏转(分格); α 为冲击检流计的偏转(分格)。

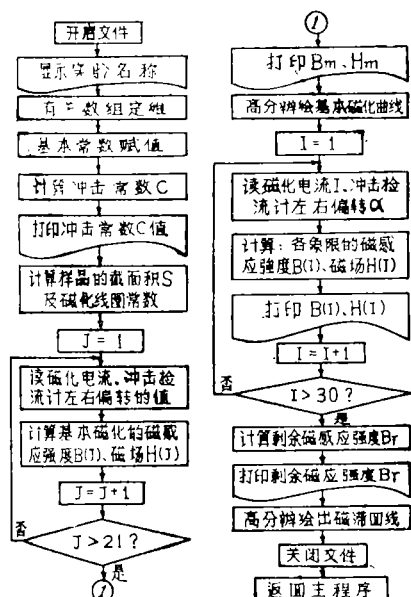


图12 磁学实验数据处理子程序流程图

(7) 密立根油滴实验:

1903年至1913年, 密立根和他的同事多次对大量油滴进行测量, 发现其所带的电量总是基本电量 e (公认值 $1.602189 \times 10^{-19} \text{ C}$) 的整数倍, 从而证明电荷的量子化, 1913年获得诺贝尔物理学奖。本实验要求测量油滴带电量、验证电荷的量子化和测量基本电荷电量, 其子程序流程图如图13。

原作匀速下降而后在均匀电场作用下又上升的油滴; 所带的电量表达式为

$$Q_i = \frac{K}{VD_i} \left(\frac{1}{T_{gi}} - \frac{1}{T_{ei}} \right) \left(\frac{1}{T_{gi}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中, 常数:

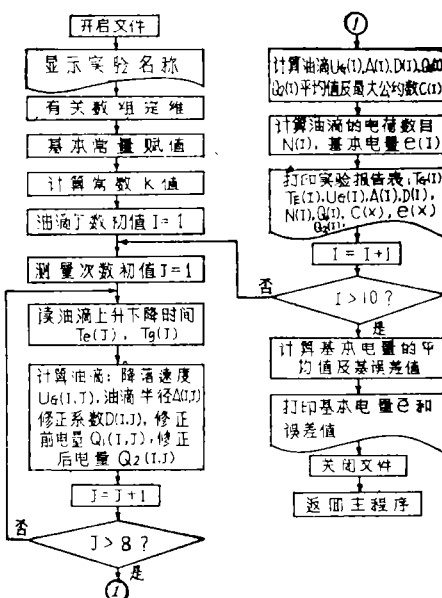


图13 密立根油滴实验数据处理子程序流程图

$$k = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{9}{2} \eta \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{1}{(\rho - \sigma)g} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot d \cdot (h)^{\frac{3}{2}}$$

式中, η 为空气粘滞系数; ρ 、 σ 分别为油滴和空气的密度; g 为重力加速度; V 为电容板间电压; d 为油滴仪平板电容板间距; h 为油滴上升和下降的高度。

$$\text{修正系数 } D_i = \left(1 + \frac{0.000625}{Pa_i} \right)^{\frac{3}{2}}$$

式中, P 为大气压强; 油滴半径 a_i 为

$$a_i = \left(\frac{9\eta U_{gi}}{2g(\rho - \sigma)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

式中, $U_{gi} = \frac{h}{T_{gi}}$ 为油滴降落速度; T_{gi} 、 $T_{gi'}$ 分别为实验时测得油滴降落和上升的时间。

基本电量:

$$e = k T_{gi} \frac{\sqrt{\frac{1}{T_{gi}}}}{VD_i}$$

式中, T_{gi} 为 $\left(\frac{1}{T_{gi}} + \frac{1}{T_{gi'}} \right)$ 的一组电量的最大公约数。

三、使用举例

当软件引导到主机内存后, 屏幕显示:

CIPHER?

这时使用者输入密码后, 则显示:

<THE DATA-PROCESSING SOFTWARE FOR MODERN-PHYSICS EXPERIMENT>
CONTENT:

1. HALL EFFECT EXPERIMENT.
2. MICROWAVE EXPERIMENT.
3. THE STATISTICAL REGULAR OF NUCLEUS DECAYED AND MEASURED DATA-PROCESSING.
4. FRANCK HERTZ EXPERIMENT.
5. X-RAY EXPERIMENT.
6. MAGNETIC EXPERIMENT.
7. MILLIKANS OIL-DROP EXPERIMENT.

WHICH EXPERIMENT WOULD YOU PREFER?

这时问你拟选哪一个实验, 你按一下相应的数码键则可调用相应的实验子程序块。例如按一下数码键 6, CRT 显示:

<MAGNETIC EXPERIMENT>

然后按程序规定的行号置数语句输入当前实验数据, 检查若无错误则可输入执行命令, 若运行结果正确, 计算机提示是否要批改报告, 若要则按 Y (YES) 计算机自行启动打印机打印运行结果报告, 并给报告评定成绩。

MAGNETIC EXPERIMENT DATA-PROCESS PROGRAM

THE CONSTANT OF HITTING: 484455.181 MAXWELL/UNIT

PERMEABILITY: 1790.45438

B(max) = 1160.0545 (GAUSS)

H(max) = 1.60320641 (OERSTED)

BR = 754.06 (GAUSS)

HYSTERESIS LOOP

BASIC MAGNETIZATION CURVE

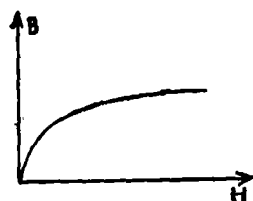


图14 基本磁化曲线

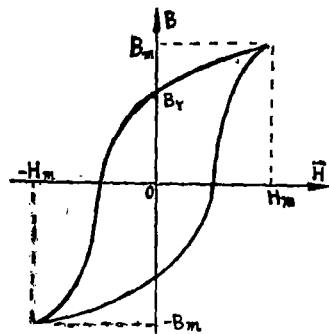


图15 磁滞回线

MAGNETIC INTENSITY

1118.40853 (GAUSS)
1101.05613 (GAUSS)
1069.82211 (GAUSS)
1028.17755 (GAUSS)
1000.41523 (GAUSS)
972.653607 (GAUSS)
931.012778 (GAUSS)
879.658953 (GAUSS)
854.677503 (GAUSS)
833.860463 (GAUSS)
809.57495 (GAUSS)
785.290628 (GAUSS)
774.883447 (GAUSS)
767.945459 (GAUSS)
761.00758 (GAUSS)
743.663371 (GAUSS)
733.257191 (GAUSS)
722.851276 (GAUSS)
712.445635 (GAUSS)
674.294055 (GAUSS)
625.743435 (GAUSS)
584.13437 (GAUSS)
511.332583 (GAUSS)
327.687853 (GAUSS)
95.7691025 (GAUSS)
-225.58627 (GAUSS)
-466.933345 (GAUSS)
-776.423097 (GAUSS)
-1023.25312 (GAUSS)
-1119.03981 (GAUSS)

MAGNETIC INDUCTION

.961923848 (OERSTED)
.801603206 (OERSTED)
.641282565 (OERSTED)
.480961924 (OERSTED)
.400801603 (OERSTED)
.320641283 (OERSTED)
.240480962 (OERSTED)
.160320641 (OERSTED)
.128256513 (OERSTED)
.0961923848 (OERSTED)
.0641282565 (OERSTED)
.0320641283 (OERSTED)
.0240480962 (OERSTED)
.0160320641 (OERSTED)
8.01603207E-03 (OERSTED)
-8.01603207E-03 (OERSTED)
-.0160320641 (OERSTED)
-.0240480962 (OERSTED)
-.0320641283 (OERSTED)
-.0641282565 (OERSTED)
-.0961923848 (OERSTED)
-.128256513 (OERSTED)
-.160320641 (OERSTED)
-.240480962 (OERSTED)
-.320641283 (OERSTED)
-.400801603 (OERSTED)
-.480961924 (OERSTED)
-.641282565 (OERSTED)
-.801603206 (OERSTED)
-.961923848 (OERSTED)

HYSTERESIS LOOP

MAKR: (B)

同时 CRT 显示: “YOU CONTINUE?”

如果不再继续做就按下 “N” 键, 计算机自动清屏, 然后显示 “GOOD-BYE!” 如果要继续做则按下 “Y” 键计算机转向到功能选择, 并显示各个实验名称和提示你想选哪一个实验运行? 如前面 CONTENT 所示。

四、结 束 语

计算机在物理教学中的应用是大有作为, 实验数据处理仅是一小部分, 若把物理习题解答批改、教学演示、理论物理中工程的近似计算和答疑编制成一完整的计算机辅助教学系统, 这对培养学生应用计算机去研究分析物理学问题的技巧和方法是十分有益的。

本软件批改实验报告的程序块, 仅是对每个实验的误差分析情况来评定实验成绩的, 其不足之处是对学生的操作技能和思考题的回答未加一起考虑, 而是另编制的以选择题形式问答每个实验的思考题和按评分规则确定成绩, 且在 C C DOS 支持下的中文系统。本文作者将在“近代物理实验的思考题问答中文信息处理的软件”一文中详细介绍。

福建师大物理系黄典次副教授对本文提了宝贵的意见, 借此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- (1) Margaret S.Wu, Computer Data-Processing, Harcourt Brace Jovanovich, Inc., (1979).
- (2) Robert A.Stern, Nancy B.steny, Principles of Data Processing, John Wiley & Sons, Inc., (1979).
- (3) Charles S.Parker, Understanding Computers and Data-Processing: Today and Tomorrow with BASIC, (1984) by CBS College Publishing.
- (4) 张世英编, 苹果—II BASIC 程序设计, 北京师范大学出版社, (1985).
- (5) 汪燮华等编, 计算机基础操作实践, 上海科技文献出版社, (1985).

A Data Processing Software for Use in Modern Physics Experiments

Tu Wenbo

Abstract

In this paper, a data processing software using FP BASIC is presented here for use in modern Physics experiments. It has been done on an appleII micro-computer and proved to be suitable for processing experimental data and examining experimental reports.