

经许可复制

著作权人姓名:王纪华

探求牛顿第二定律的实验过程

由于传统的有关牛顿第二定律演示实验的局限性，一般老师和学生都很难将这个实验在一节课的时间内完成。这是由于实验方案的复杂性将这个问题的研究给束缚住了，用斜面、小车、非常轻质的砝码以及绳子等，还要在整个过程中保持小车的运动是一个匀加速的过程。这些苛刻的要求在一个简易的平台上都是无法完成的。我们可能还记得由于这个实验本身的设计问题，我们还需要在这个过程中注意很多的理论问题。做学生的还要解答各种因为这个实验平台而延伸出的很多奇怪的问题。

现在有了 TI 掌上计算器作为我们实验的辅助手段，我们的实验为什么不能有一些改变呢？在经过一年的酝酿后我终于将整个实验方案都思考完整了。由于传统的实验中是无法直接在课堂上测量加速度的，但是有了加速度传感器以后，这个测量就变得非常容易了。又由于在生活中的各种运动状态的变化都离不开力的作用，所以就将力传感器也作为实验中的一个非常重要的测量工具。我有了一些想法，但是如何来将这个过程组合好还没有具体实践过。在做了几个单摆和弹簧振子的相关实验以后，我发现弹簧振子是一个非常好的载体，由于它在实验室中的普及性比较强，可能就没有必要在添加其他更多的实验仪器了。如何将整个实验装置搭建得完美是整个过程中的关键。我首先尝试的是将力传感器作为悬挂的装置架设在顶端，通过弹簧下方悬挂一个质量比较大的砝码。在砝码上捆绑一个力传感器。作为一个简单的实验平台，在课堂时间内学生完全可以将所有的实验装置安排到位。

我起初的实验能得到两个图像，分别是力的变化和时间的关系以及加速度的变化和时间的关系。由于还没有实践的经验，我还没有找到一个好的方法来验证牛顿第二定律。我仅仅是在统计表格中做了一个简单的除法，将力的数值去除以加速度的值，原本想直接得到的答案就是质量，但是最后没有成功，因为出现了加速度有零的数值，使得表达式不成立。这个方法失败了，但是也是

一个方法，在一定的数值范围内是可以看到各个瞬间答案是不变的。

我思考了一段时间发现我所用的方法是有问题的，如果采用统计拟合的方法看结果就会避免出现错误信息。我就用力作为纵坐标，加速度作为横坐标作统计图像，并作了拟合，可以得到一个线性回归方程，并且基本上过了原点。斜率的数值和砝码质量是非常接近的。我的方案应该是基本成功了。

我还思考了一个细节问题，如果有的人要问起测量力的受力物体是谁就有一些问题，因为这个力并不是砝码受到的力。要解决这个问题就要将实验平台做一个改变。我想将力传感器也和砝码捆绑在一起，这样力传感器，加速度传感器和砝码作为一个整体来研究。在解释的时候就可以说力是这个整体受到的弹簧对它的拉力，加速度是这个整体受到的弹簧对它施加力所产生的加速度。这样就将实验的细节也想完整了。经过实践发现实验结果没有什么改变，且更准确了。

不过在整个实验过程还有一个细节就是做了两个传感器的置零动作。这样就将整体的重力和重力加速度都排除了。于是实验的结果测量的仅仅是弹簧施加的弹力和这个弹力产生的加速度了。实验的结论应该是非常完美的。

通过 CBR 的实验我们应该对 PHYSICS 程序有了一定的认识，下面的实验中你将通过学习牛顿第二定律验证实验的操作学习 CBL2 的实验做法。

牛顿第二定律验证实验（3 人组或 2 人组）

- 标准 PHYSICS 程序的使用初步。
- CBL2 实验的操作流程。
- 双传感器的实验操作。
- 对传感器的置零操作。
- 实验数据的后期拟合操作。
- 加速度传感器和力传感器的使用。
- 灵活运用表格来显示实验结果。

设备准备：TI 图形计算器、unit-to-unit 连接线、CBL2，AAA 电池 4 节和 AA 电池 4 节、一个加速度传感器、一个双程力传感器、弹簧振子实验平台（或用 3 根橡皮筋连接成的类弹簧振子系统）。

[实验目的] 研究振动过程中跟随振动物体加速度和物体所受力的关系。

[实验原理] 将被测量的物体悬挂在橡皮筋的下部，在振动的时候将记录物体的加速度和所受力的数值，通过表格计算和统计拟合操作得到振动中物体所受力和加速度的关系。

[实验程序] TI-83⁺图形计算器内置 PHYSICS 应用程序

[实验步骤] 将实验仪器按照实验装置图连接好。



所有的 TI 实验设备按照图片的方式连接，为了能统一，将力传感器插入 CBL2 左侧的 CH1 中，加速度传感器插入 CBL2 左侧的 CH2 中。CBL2 和 TI 计算器之间用 unit-to-unit 连接线连接。

用 unit-to-unit 连接线连接 TI 设备的时候需要注意要将连接线竖直插入 TI 设备的底部。注意实验的过程中不能将连接线松开，也要注意如果用的是比较长的 unit-to-unit 连接线就要注意是否会被其它设备缠绕住而发生意外的脱线情况。



CBL2 有三个 CH 通道，一般是都是从 CH1 开始依次插入传感器，而传感器种类和插入的顺序无关。注意传感器的接口是和网络连接线类似的接口，有挡舌的一端在下，不会插反。插到底挡舌会自动锁住。要拔出传感器的时候按住挡舌后可以拔出了。



传感器的固定方法是用绳子等物体将加速度传感器和力传感器固定在一起。一般操作是将加速度传感器的红色箭头指向力传感器的挂钩。而力传感器上的量程开关拨到 50N，这样可以防止测量超过量程而损坏传感器。实验中将两个传感器共同粘在被测物体上，或直接将两个传感器本身作为被测物体。



[3 人组组员配合说明]

这个实验是个以三人为单位的小组实验。小组成员分工：

组员 A

负责操作图形计算器。

组员 B

负责 CBL2 及平台的稳定。

组员 C

负责释放被测物体。

用弹簧将力传感器和加速度传感器一起悬吊到弹簧下方。

组员 A 操作计算器，实验开始前先用口令让组员 C 释放被拉开的被测量物体。

组员 B 要扶稳弹簧振子实验平台（铁架台），保证平台在振动过程中无晃动，并检查所有连接线没有缠绕。

组员 C 先将传感器连同被测量物体一起向下拉开，在组员 A 发出口令后立即释放被测物体。在释放的时候需要保证振子系统能竖直振动。要在正式实验前多练几次。



[2 人组组员配合说明]

这个实验是个以**两人**为单位的小组实验。小组成员分工：

组员 A

负责操作图形计算器。

组员 B

负责释放被测物体。

用弹簧将力传感器和加速度传感器一起悬吊到弹簧下方。

组员 A 操作计算器，实验开始前先用口令让组员 B 释放被拉开的被测量物体。当弹簧开始稳定振动后才能开始测量。

组员 B 先将传感器向下拉开，在组员 A 发出口令后立即释放传感器。在释放的时候需要保证振子系统能竖直振动。要在正式实验前多练几次。要保证拿弹簧的手悬点稳定不动，不施加额外的策动力。



实验操作部分

按 **APPS** 键，打开应用程序，选择 Physics。按 **ENTER** 键。



看到版本说明，注意要经常升级你的操作系统和实验程序。按 **ENTER** 键。

```

VERNIER SOFTWARE
          PHYSICS
        WITH THE CBL
        FOR THE TI-83
02/15/01 [ENTER]
  
```

进入 MAIN MENU 主菜单界面后，按上、下光标键，选择 1: SET UP PROBES，选择传感器种类。

```

***MAIN MENU***
1:SET UP PROBES
2:COLLECT DATA
3:ANALYZE
4:TRIGGERING
5:ZERO PROBES
6:RETRIEVE DATA
7:QUIT
  
```

进入 NUMBER OF PROBES 菜单，按上、下光标键，选择 2: TWO。设置传感器数量为 2 个。

```

NUMBER OF PROBES
1:ONE
2:TWO
3:THREE
  
```

选择 2: FORCE，选择在通道一中的力传感器。按 **ENTER** 键。

```

SELECT PROBE
1:MOTION
2:FORCE
3:ACCELEROMETER
4:MICROPHONE
5:PRESSURE
6:TEMPERATURE
7:MORE
  
```

进入对 FORCE SENSOR 的种类设置界面。按 **4**，设置为双程 50 牛的量程（这样设置的话就要将力传感器上的量程开关拨到 $\pm 50\text{N}$ 上，这样也是保护力传感器不会在测量中因超过量程而损坏）。

```

FORCE SENSOR
1:STUDENT FORCE
2:DUAL-RANGE 5N
3:DUAL-RANGE 10N
4:DUAL-RANGE 50N
5:PASCO 10N
6:PASCO 50N
  
```

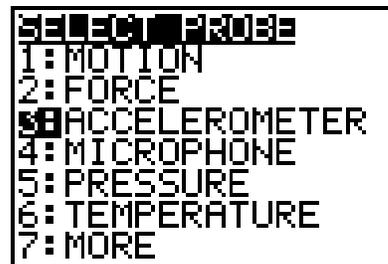
程序提示将传感器插入 CHANNEL 1，即通道 1 中。按 **ENTER** 键。



进入 CALIBRATION 界面，三个项目中，按上、下光标键，选择 1: USE STORED，使用预设的传感器斜率和截距参数设置。如果选 3，可以选择其他的传感器，不过你需要手动输入斜率和截距参数。



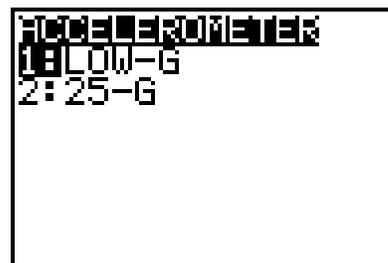
回到 SELECT PROBE 界面选择第二个传感器，按上、下光标键，选择 3: ACCELEROMETER 加速度传感器。



进入 CALIBRATION 界面，按上、下光标键，选择 1: USE STORED，使用预设的传感器斜率和截距参数设置。



进入 ACCELEROMETER 传感器设置界面，按上、下光标键，选择 1: LOW-G 传感器。



还有一个传感器种类是 25G 的加速度传感器。

按 **ENTER** 键确认设置。

程序提示将传感器插入 CHANNEL 2，即通道 2 中。按 **ENTER**。在设置两个传感器的时候需要注意的是两个传感器的设置要和实际使用的时候的插入通道次序一致。

```
PLUG THIS PROBE :
INTO CHANNEL 2

[ENTER]
```

回到 MAIN MENU 主菜单，将光标移动到 5: ZERO PROBES 项目，是对传感器的置零。按 **ENTER** 键。

```
***MAIN MENU*** :
1:SET UP PROBES
2:COLLECT DATA
3:ANALYZE
4:TRIGGERING
5:ZERO PROBES
6:RETRIEVE DATA
7:QUIT
```

将光标移动到第 5 个项目

5: ALL CHANNELS，选择所有通道，因为需要对两个传感器，所以为了能同时对两个传感器做置零可以用 ALL CHANNELS 来快速完成置零操作。

按 **ENTER** 键，可以看到屏幕显示当前的传感器的数值，并在不断变化。弹簧保持在竖直方向静止，然后按 **ENTER** 键，将当前的数值置零。

```
SELECT CHANNEL :
1:CHANNEL 1
2:CHANNEL 2
3:CHANNEL 3
4:MOTION
5:ALL CHANNELS
6:RETURN TO MAIN
```

回到了 MAIN MENU 主菜单中，按上、下光标键，选择 2: COLLECT DATA，采集数据。

```
***MAIN MENU*** :
1:SET UP PROBES
2:COLLECT DATA
3:ANALYZE
4:TRIGGERING
5:ZERO PROBES
6:RETRIEVE DATA
7:QUIT
```

在 DATA COLLECTION 数据采集界面中按上、下光标键，选择 2: TIME GRAPH，时间图像。

```
DATA COLLECTION :
1:MONITOR INPUT
2:TIME GRAPH
3:TRIGGER/PROMPT
4:TRIGGER
5:RETURN TO MAIN
```

程序提示 ENTER TIME BETWEEN SAMPLES IN SECONDS: 要求输入采样样本之间的时间间隔, 输入 0.1, 默认单位为秒。按 **ENTER** 键。

```
ENTER TIME
BETWEEN SAMPLES
IN SECONDS:0.1
```

程序继续提示 ENTER NUMBER OF SAMPLES: 要求输入测量的样本总数, 输入 99。按 **ENTER** 键。用 0.1 秒作为时间间隔。采集 99 组数据。

```
ENTER TIME
BETWEEN SAMPLES
IN SECONDS:0.1
ENTER NUMBER
OF SAMPLES:99
```

按 **ENTER** 键, 屏幕上显示你输入的采样的样本间隔时间和样本总数, 以及计算得到的实验持续时间为 9.9 秒。按 **ENTER** 键。

```
SAMPLE
TIME .100 S
SAMPLES 99
EXPERIMENT
LENGTH 9.90 S
[ENTER]
```

进入 CONTINUE? 界面, 这里提示

- 1: USE TIME SETUP (使用先前的时间设置);
 - 2: MODIFY SETUP (修改时间设置), 如果选 2 就会重新要求输入时间设置。
- 按 **ENTER** 键继续。

```
***CONTINUE***
1:USE TIME SETUP
2:MODIFY SETUP
```

程序提示准备好实验设备, 组员 B 将弹簧拉开, 并放手让弹簧自然振动。

```
READY EQUIPMENT.:
PRESS [ENTER] TO
BEGIN COLLECTING
DATA.
```

**注意：**

实验中要让悬点处于稳定状态，不能再给振子施加其他的力以免将实验系统复杂化。这对实验结果的分析很重要。

以上的操作中你练习的是双传感器的设置和置零的操作。那么如果是单一传感器实验就简单多了。

图像处理部分

按 ENTER 键开始测量数据，测量开始一时 CBL2 上的橘黄色指示灯会闪烁。当测量时间到了 9.9 秒后 CBL2 会将数据从 CBL2 中传输到图形计算器中。传输完毕后程序会自动显示数据存放的数组：L1、L2、L3 分别存放时间、力、加速度值。

按 **ENTER** 键继续。

由于是两个传感器同时测量数据，所以会有两个实验图像。

进入 SELECT GRAPH 界面，选择显示哪个图像。

- 1: CHANNEL1 显示力和时间图像；
- 2: CHANNEL2 显示加速度和时间图像。
- 3: NEXT 重新开始实验。

按上、下光标键，选择显示力和时间图像。

```

TIME IN L1
CHANNEL 1 IN L2
CHANNEL 2 IN L3

[ENTER]

```

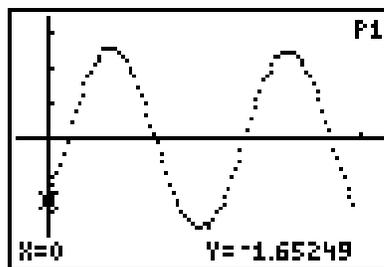
```

SELECT GRAPH
1: CHANNEL 1
2: CHANNEL 2
3: NEXT

```

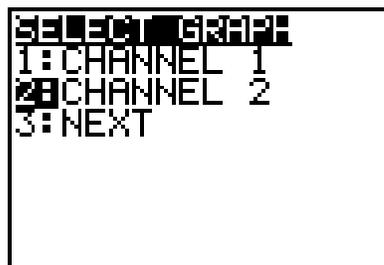
得到的是力和时间关系的散点图，是一个类似正弦的图像，非常不错。

按 **ENTER** 键继续。



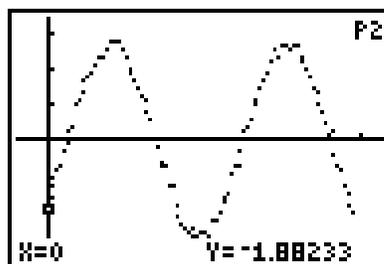
重新回到 SELECT GRAPH 界面，

按上、下光标键，选择加速度和时间图像。



得到的是加速度和时间关系的散点图，也是一个类似正弦的图像。

按 **ENTER** 键继续。



重新回到 SELECT GRAPH 界面，

按上、下光标键，不再浏览图像，重新实验。



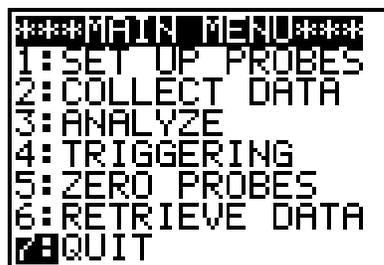
进入 REPEAT 界面，程序提示是否重复实验？

按上、下光标键，选择 NO，不再重新实验。



重新回到 MAIN MENU 主菜单，

按 **7** 退出 PHYSICS 程序。



**思考：**

你观察到的两个实验图像是否非常相似，它们之间是否存在某种联系呢？

以上的操作中你应该学会了如何浏览实验结果并退出程序的流程。不同的传感器实验在程序中还会出现不同界面的，你要能随机应变。

数据处理操作

按 **STAT** 键进入数组编辑界面。

```

3:000 CALC TESTS
1:Edit...
2:SortA(
3:SortD(
4:ClrList
5:SetUpEditor
  
```

按 **ENTER** 键，浏览数据，L1 为时间数据，L2 为力的数据，L3 为加速度的数据。

L1	L2	L3	1
0	-1.652	-1.882	
.01	-1.447	-1.546	
.02	-1.242	-1.21	
.03	-0.934	-0.8739	
.04	-0.7287	-0.7619	
.05	-0.4208	-0.3137	
.06	-0.1129	-0.0896	

L1()=0

按 **STAT** 键，选择 5: SetUpEditor，设置编辑表格。

```

3:000 CALC TESTS
1:Edit...
2:SortA(
3:SortD(
4:ClrList
5:5:SetUpEditor
  
```

按 **ENTER** 键将命令复制到主屏幕上。

还要输入命令参数。按 **ALPHA** **[F]** **,**，输入“F，”，按 **ALPHA** **[A]** **,**，输入“A，”，按 **ALPHA** **[T]** 输入 T。这样将编辑表格窗口中的表列名称改为 F, A, T。

```
SetUpEditor F,A,
T
```

按 **STAT** 键，再按 **ENTER** 键进入数组编辑界面，重新编辑表格。

```
EDIT CALC TESTS
1:Edit
2:SortA(
3:SortD(
4:ClrList
5:SetUpEditor
```

由于是新建立的表格，所有表格都没有数据。下面要做表格数据的复制工作。

F	A	T	1

F(1) =

将光标移动到表列 F 的表头，按 **ENTER** 键，光标移动到底部的输入行中。

F	A	T	1

F =

按 **2nd** **[LIST]** 键进入 NAMES 表列名称界面。按上、下光标键，选择 2: L2。

```
NAMES OPS MATH
1:L1
2:L2
3:L3
4:L4
5:L5
6:L6
7↓A
```

按 **ENTER** 键将 L2 复制到表格输入行“F=”的后面，完成表达式 F=L2 的输入。

F	A	T	1
-----	-----	-----	
F=L2			

按 **ENTER** 键后 L2 中的数据将自动复制到 F 表列中。

F	A	T	1
-1.652	-----	-----	
-1.447			
-1.242			
-.934			
-.7287			
-.4208			
-.1129			
F(1) = -1.65249			

将光标移动到表列 A 的表头，按 **ENTER** 键，光标移动到底部的输入行中。按 **2nd** [LIST] 键进入 NAMES 表列名称界面。按上、下光标键，选择 3: L3。

F	A	T	2
-1.652	-----	-----	
-1.447			
-1.242			
-.934			
-.7287			
-.4208			
-.1129			
A=L3			

按 **ENTER** 键后 L3 中的数据将自动复制到 A 表列中。

F	A	T	2
-1.652	-1.546	-----	
-1.447	-1.21		
-1.242	-.8739		
-.934	-.7619		
-.7287	-.3137		
-.4208	-.0896		
-.1129			
A(1) = -1.58233			

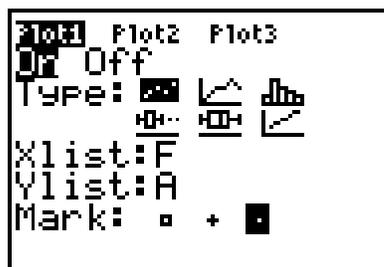
将光标移动到表列 T 的表头，按 **ENTER** 键，光标移动到底部的输入行中。按 **2nd** [LIST] 键进入 NAMES 表列名称界面。按上、下光标键，选择 1: L1。

F	A	T	3
-1.652	-1.882	-----	
-1.447	-1.546		
-1.242	-1.21		
-.934	-.8739		
-.7287	-.7619		
-.4208	-.3137		
-.1129	-.0896		
T=L1			

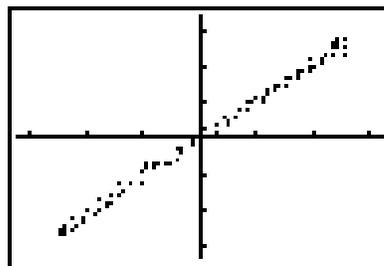
按 **ENTER** 键后 L1 中的数据将自动复制到 T 表列中。这样三列表格的数据就复制完毕。

F	A	T	3
-1.652	-1.882	.0	
-1.447	-1.546	.01	
-1.242	-1.21	.02	
-.934	-.8739	.03	
-.7287	-.7619	.04	
-.4208	-.3137	.05	
-.1129	-.0896	.06	
T(1) = 0			

按 $\boxed{2nd}$ [STAT PLOT] 键，打开统计图像菜单，按 \boxed{ENTER} 键，选择 1: PLOT1... ON。光标移动到 Type 项目中选择散点图。光标移动到 Xlist 后，按 $\boxed{2nd}$ [LIST] 键进入 NAMES 表列名称界面选择 F 表列名称，同理将 Ylist 后的表列改为 A。



当前的数据是以力为自变量，加速度为应变量来画统计图像。用力为横坐标，加速度为纵坐标画统计图像。



按 \boxed{ZOOM} $\boxed{9}$ ，自动以统计数据点为依据适配图像窗口设置，得到力和加速度之间的关系



小结:

以上操作中你学习的是如何建立新的表格和如何移动复制数据，这是以后实验中也应该要做的操作。

对表格中的建立新表列的目的有两个:

- 1、这样可以防止在重复实验的时候将系统默认使用的 L 系列表列中的数据覆盖。
- 2、可以更直观地显示得到的是什么数据。

统计图像的操作

按 $\boxed{\text{STAT}}+\boxed{\rightarrow}+\boxed{4}$ 选择拟合模型中的线性函数拟合。按 ENTER 键将命令复制到主屏幕上。

```
EDIT  $\boxed{\text{MODE}}$  TESTS
1:1-Var Stats
2:2-Var Stats
3:Med-Med
4: $\boxed{\text{LinReg}}$ (ax+b)
5:QuadReg
6:CubicReg
7:QuartReg
```

按 $\boxed{2\text{nd}}+\boxed{\text{STAT}}$ 并选择表列 F 名称按 ENTER 键，按 $\boxed{\text{A}}+\boxed{2\text{nd}}+\boxed{\text{STAT}}$ 并选择表列 A 名称按 ENTER 键，按 $\boxed{\text{A}}+\boxed{\text{VARS}}+\boxed{\rightarrow}+\boxed{\text{ENTER}}+\boxed{\{ \}}+\boxed{\text{CATALOG}}+\boxed{\{ \}}$ ，选择 Y1 存储拟合结果。拟合方程是以 F 为自变量，A 为应变量。

```
LinReg(ax+b) LF,
LA, Y1
```

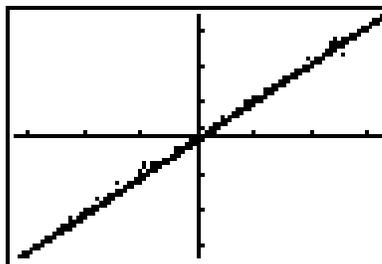
按 ENTER 键得到拟合方程。这里将相关系数关闭了。得到的参数保留位数比较多，你可以在按 $\boxed{\text{MODE}}$ 键改变设置。可以观察到拟合结果中的 $b=-0.0089988201$ ，应该得到的截距在坐标原点。

```
LinReg
y=ax+b
a=1.054582216
b=-.0089988201
```

按 $\boxed{\text{Y=}}$ 键进入 Y=窗口，浏览得到的完整拟合方程。

```
 $\boxed{2\text{nd}}+\boxed{\text{Y=}}$  Plot2 Plot3
 $\sqrt{\text{Y1}}$  1.0545822160
434X+-.008998820
09226
 $\sqrt{\text{Y2}}$ =
 $\sqrt{\text{Y3}}$ =
 $\sqrt{\text{Y4}}$ =
 $\sqrt{\text{Y5}}$ =
```

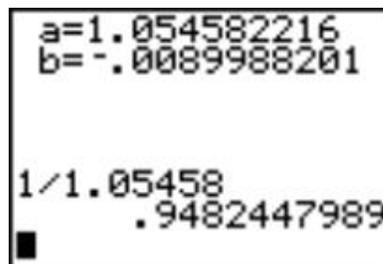
按 $\boxed{\text{ZOOM}}+\boxed{9}$ ，可以看到数据点基本分布在拟合图像两侧。图像是一条过原点的直线，所有的点都分布在第一和第三象限。



拟合方程中参数 a 代表什么呢？

按 $\boxed{2nd} + \boxed{MODE}$ 退出图像窗口，回到主窗口。能看到参数 a 。

按 $\boxed{1} + \boxed{\div} + \boxed{1} + \boxed{-} + \boxed{0} + \boxed{5} + \boxed{4} + \boxed{5} + \boxed{8}$ ，按 ENTER 键计算方程斜率的倒数。得到的是 0.9482447989。



小结：

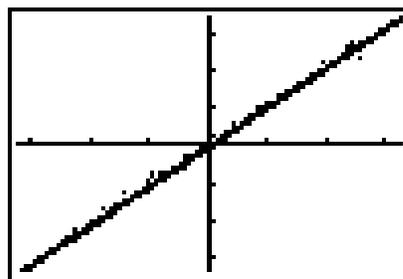
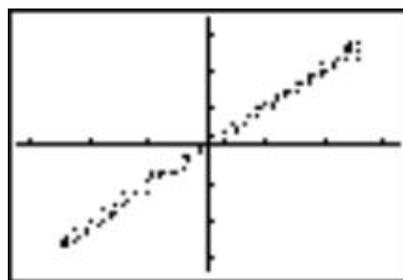
实验到此其实已经很完美了，不过象用 CBR 做实验那样，我们再对得到的实验数据和图像做仔细的分析，总结我们究竟得到了什么？

拟合图像分析

实验得到的数据点都分布在第一和第三象限。说明物体受到的力和加速度是同正同负的。这能很好地说明力和加速度之间的矢量关系。

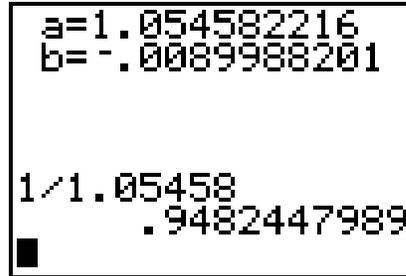
同时所有的点其实都代表了某一个时刻力和加速度的关系，那不正好代表了非常重要的瞬时性吗？

拟合图像是一个过原点的直线，这很好地符合了牛顿第二定律公式 $F=ma$ 中当质量 m 不变时 F 和 a 之间的线性关系。



在本实验的数据采集平台中所用的砝码质量为 1 公斤左右，而拟合方程系数 0.948 和质量非常接近。

代入方程后可以看到拟合的方程其实是 $a=F/m$ 。这不正是我们熟悉的牛顿第二定律方程表达式吗？



```
a=1.054582216
b=-.0089988201

1/1.05458
.9482447989
```



总结：

这个实验比传统的验证实验要来的更方便，但是更有效，更直观，更全面。简单的操作中已经将牛顿第二定律中的各个重要环节都体现出来了。你从刚才的实验中得到了什么呢？你对操作中还有什么疑问呢？

如果改变了悬挂物体的质量以后呢，在不改变实验系统中其它条件的下重新实验后你是否可以同时图像窗口中分析两个不同质量物体在振动后得到的图像之间有怎样的关系？