

实验报告

姓名：朱沾丞 学号：PB19111674

实验名称

用 phyphox 研究弹性球的非弹性碰撞

实验目的

- 1、利用手机内置传感器以及视频功能，并使用 phyphox 软件中的“(非) 弹性碰撞”测量”功能，通过实验，测定弹性球在与地面碰撞过程中能量损失的特点及其决定因素。
- 2、熟练掌握数据处理的列表法及数据处理软件。

实验原理

小球自由下落撞击地面会发生非弹性碰撞，随后弹离地面，由于发生的是非弹性碰撞，小球所具有的能量随着碰撞次数增加而逐渐减少，直至静止于地面。而若小球仅在竖直方向运动，则在每两次碰撞之间的运动可看作一次竖直上抛运动。根据竖直上抛运动的对称性，可知小球上升所用的时间等于小球下落所用的时间，进而可将小球下落过程看做一自由落体运动。

实验仪器 乒乓球，小钢球，橡皮球，卷尺，手机两部（其中一部安装 phyphox），胶带

基础实验

实验步骤

- 1、打开 phyphox 软件中“(非) 弹性碰撞”功能，并将手机置于一侧。
- 2、点击 phyphox 的启动按钮，于高处（卷尺可测量的范围内）释放乒乓球。
- 3、待乒乓球多次碰撞并完全静止于地面后，导出并记录 phyphox 中的数据。
- 4、整理实验器材。
- 5、处理实验数据，撰写实验报告。

实验数据

图 1 利用 phyphox 研究乒乓球与地面碰撞的能量损失、恢复系数等特性及其规律的截图 1



图 2 利用 phyphox 研究乒乓球与地面碰撞的能量损失、恢复系数等特性及其规律的截图 2



数据处理

设第 i 次碰撞前乒乓球具有的总能量为 E_{i-1} ，第 i 次碰撞后的能量为 E_i

表 1 利用 phyphox 研究乒乓球与地面碰撞的能量损失、恢复系数等特性及其规律的数据表格

碰撞次数 <i>i</i>	相邻两次碰撞第 <i>i</i> 次碰撞后所具有的能量占第1次碰撞后能量的百分比，即 <i>E_i</i> / <i>E₁</i>
0 44.76cm	
1 31.41cm	100.00%
2 22.05cm	70.20%
3 16.22cm	51.60%
4 12.14cm	38.60%
5 9.17cm	29.20%

由运动学公式可知在第 i 次碰撞前乒乓球具有的速度 $V_{i-1} = \sqrt{2gH_{i-1}}$ ，故第 i 次碰撞恢复系

数系数为 $e = \sqrt{\frac{H_i}{H_{i-1}}}$ ，而在第 i 次碰撞过程中损失的能量占 E_{i-1} 的比例为

$$(E_{i-1} - E_i) / E_{i-1} \times 100\%$$

表 2 小球与地面碰撞恢复系数及损失能量与碰撞次数的表格

碰撞次数 <i>i</i>	恢复系数 <i>e</i>	第 <i>i</i> 次碰撞损失能量占 <i>E_{i-1}</i> 的比例
0		
1	0.8377	29.82%
2	0.8379	29.79%
3	0.8577	26.43%
4	0.8651	25.15%
5	0.8691	24.26%

得到平均恢复系数 $\bar{e} = 0.8535$ ，在碰撞中损失的能量占前一次所具有总能量的平均比例为 27.09%。

发现随着碰撞次数的增加，高度不断下降，恢复系数逐渐增大，而损失能量的平均占比不断降低。

提升实验

实验步骤

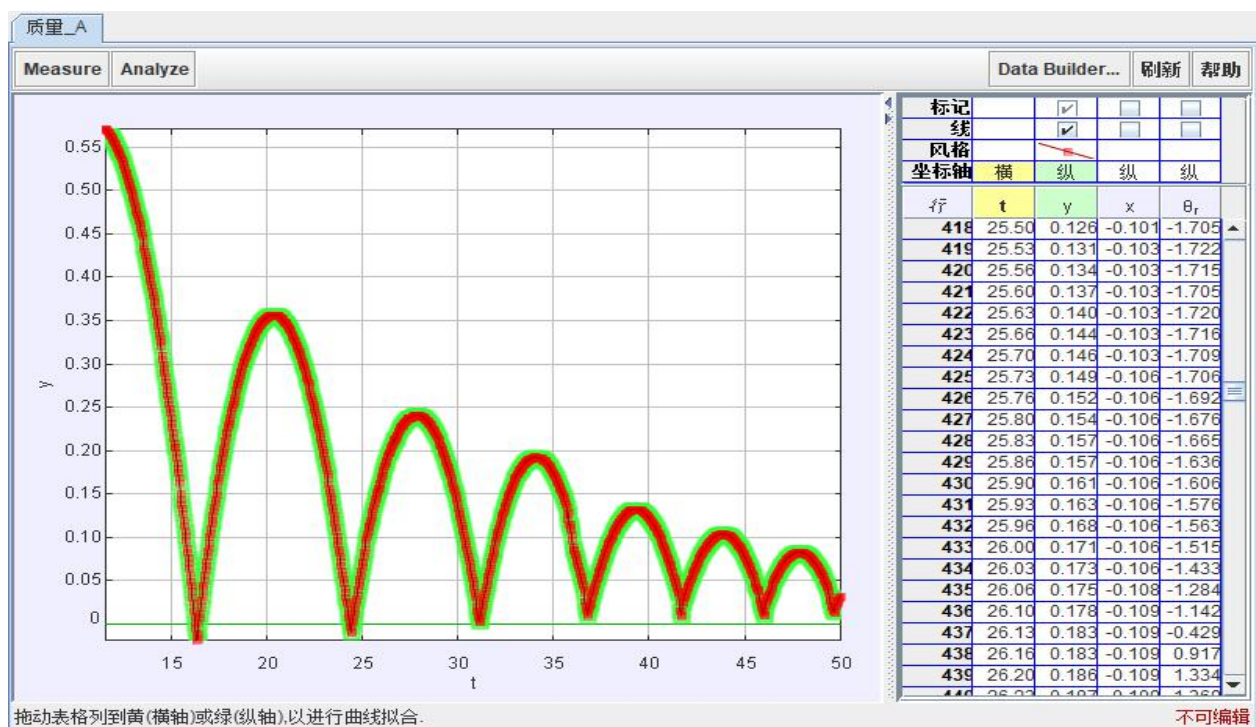
- 1、打开卷尺，将其固定于墙面上。
- 2、使一个手机的拍摄方向垂直于乒乓球的运动方向，并开始录制，点击 phyphox 的启动按钮，于高处（卷尺可测量的范围内）释放乒乓球。
- 3、待乒乓球多次碰撞并完全静止于地面后，停止录制视频，导出并记录 phyphox 中的数据。
- 4、整理实验器材。
- 5、处理实验数据，撰写实验报告。

实验数据

图 3 利用 Tracker 获取小球弹跳最高高度的截图



图 4 利用 Tracker 进行小球弹跳过程的拟合的截图



数据处理

最高点高度	34.3cm	23.5cm	16.8cm	12.7cm	9,50cm
时间间隔	0.522s	0.435cm	0.368cm	0.316cm	0.275cm
重力加速度	10.07m/s ²	9.93m/s ²	9.92m/s ²	10.17ms ²	10.05m/s ²

则重力加速度 $g=10.03\text{m/s}^2$

进阶实验

实验步骤

- 1、打开 phyphox 软件中“(非) 弹性碰撞”功能，并将手机置于一侧。
- 2、点击 phyphox 的启动按钮，然后于高处（卷尺可测量的范围内）释放乒乓球。
- 3、待乒乓球完全静止于地面，导出并记录 phyphox 中的数据。
- 4、取小钢球和橡皮球重复步骤 2，3。
- 5、整理实验器材。
- 6、处理实验数据，撰写实验报告。

实验数据

图 5 利用 phyphox 研究不同弹性球碰撞规律及其特性的截图



表 3 利用 phyphox 研究不同弹性球碰撞特性及其规律的数据表格

小球种类	测量名称	第一次测量	第二次测量	第三次测量	第四次测量	第五次测量	第六次测量
乒乓球	高度(cm)	44.76	31.41	22.05	16.22	12.14	9.17
	能量	100.0%	70.2%	51.6%	38.6%	29.2%	
	剩余能量	70.2%	73.6%	74.8%	75.6%		
小刚球	高度(cm)	48.12	28.16	16.48	10.57	7.82	7.00
	能量	100.0%	58.5%	37.5%	27.8%	24.9%	
	剩余能量	58.5%	64.1%	74.0%	89.5%		
橡皮球	高度	68.72	46.99	32.13	22.24	15.61	10.99
	能量	100.0%	68.4%	47.3%	33.2%	23.4%	
	剩余能量	68.4%	69.2%	70.2%	70.4%		

数据处理

同基础实验，由运动学公式可知在第 i 次碰撞前乒乓球具有的速度 $V_{i-1} = \sqrt{2gH_{i-1}}$ ，故第 i

次碰撞恢复系数系数为 $e = \sqrt{\frac{H_i}{H_{i-1}}}$ ，而在第 i 次碰撞过程中损失的能量占 E_{i-1} 的比例为

$$(E_{i-1} - E_i) / E_{i-1} \times 100\%$$

表 4 不同弹性球在多次碰撞中弹性系数及损失能量的表格

小球种类	所列参数	第一次碰撞	第二次碰撞	第三次碰撞	第四次碰撞	第五次碰撞
乒乓球	恢复系数	0.837700798	0.837857822	0.857671794	0.86513507	0.86911116
	第 <i>i</i> 次碰撞损失的能量占 <i>E_{i-1}</i> 的比例	0.29825737	0.297994269	0.26439909	0.251541	0.244646
小刚球	恢复系数	0.764986051	0.765001485	0.80086422	0.86013354	0.94611874
	第 <i>i</i> 次碰撞损失的能量占 <i>E_{i-1}</i> 的比例	0.41479634	0.414772727	0.35861651	0.26017	0.104859
橡皮球	恢复系数	0.826915528	0.82689933	0.83197836	0.83778785	0.83906846
	第 <i>i</i> 次碰撞损失的能量占 <i>E_{i-1}</i> 的比例	0.31621071	0.316237497	0.30781201	0.298112	0.295964

可以得到

表 5 不同弹性球的平均弹性系数及平均损失能量的表格

小球种类	乒乓球	小刚球	橡皮球
平均恢复系数	0.853495329	0.827420806	0.832529905
平均每次碰撞损失的能量占碰撞前总能量的比例	0.271367546	0.310642914	0.306867244

高阶实验

实验步骤

- 1、将装置移动到大理石瓷砖处，打开 phyphox 软件中“(非)弹性碰撞”功能，并将手机置于一侧。
- 2、点击 phyphox 的启动按钮，然后于高处（卷尺可测量的范围内）释放乒乓球。
- 3、待乒乓球多次碰撞完全静止于地面后，导出并记录 phyphox 中的数据。
- 4、多次改变释放高度，重复步骤 2，3
- 5、将装置移动到木质地板处，再次执行步骤 2，3，4。
- 6、整理实验器材。
- 7、处理实验数据，撰写实验报告。

实验数据

表 6 不同碰撞界面及小球释放高度对平均剩余能量影响的表格

改变碰撞界面以及释放高度对乒乓球碰撞时能量损失和恢复系数的影响						
大理石瓷砖	释放高度	44.76cm	61.75cm	76.24cm	84.23cm	101.12cm
	平均剩余能量	73.5%	72.5%	70.7%	69.9%	69.2%
木质地板	释放高度	48.89cm	66.41cm	70.33cm	80.10cm	88.52cm
	平均剩余能量	71.1%	69.3%	68.9%	67.9%	67.9%

表 7 不同弹性界面及释放高度对小球弹跳高度影响的表格

改变碰撞界面以及释放高度对乒乓球碰撞时的恢复系数的影响						
碰撞界面	高度0	高度1	高度2	高度3	高度4	高度5
大理石瓷砖	44.76cm	31.41cm	22.05cm	16.22cm	12.14cm	9.17cm
	61.75cm	42.57cm	29.34cm	20.87cm	15.49cm	11.70cm
	76.24cm	48.75cm	31.43cm	22.56cm	16.22cm	12.13cm
	84.23cm	54.22cm	34.90cm	24.24cm	17.34cm	12.86cm
	101.12cm	63.16cm	39.45cm	27.14cm	19.40cm	14.41cm
木质地板	48.89cm	34.49cm	23.84cm	16.96cm	11.86cm	8.81cm
	66.41cm	42.87cm	27.68cm	19.58cm	13.92cm	9.86cm
	70.33cm	45.02cm	28.82cm	19.61cm	14.06cm	10.10cm
	80.10cm	49.42cm	30.49cm	20.35cm	14.40cm	10.45cm
	88.52cm	54.85cm	33.98cm	22.68cm	15.30cm	10.94cm

数据处理

表 8 不同弹性界面及释放高度对小球恢复系数影响的表格

改变碰撞界面以及释放高度对乒乓球碰撞时的恢复系数的影响							
碰撞界面	释放高度	第一次碰撞恢复系数	第二次碰撞恢复系数	第三次碰撞恢复系数	第四次碰撞恢复系数	第五次碰撞恢复系数	平均碰撞恢复系数
大理石瓷砖	44.76cm	0.837700798	0.837857822	0.857671794	0.865135072	0.869111156	0.853495329
	61.75cm	0.830296762	0.830191399	0.843395287	0.861518255	0.869094941	0.846899329
	76.24cm	0.799642496	0.802943304	0.847222258	0.847921949	0.864778683	0.832501738
	84.23cm	0.802317669	0.802292915	0.833400188	0.845781612	0.861183971	0.828995271
	101.12cm	0.790319195	0.790319037	0.829433205	0.845465603	0.861848888	0.823477186
木质地板	48.89cm	0.8399174	0.831393315	0.83671016	0.842973993	0.861877632	0.8425745
	66.41cm	0.803452121	0.803537781	0.841052877	0.847395818	0.837424759	0.826572671
	70.33cm	0.800078199	0.800099949	0.824881965	0.846747384	0.847555266	0.823872553
	80.10cm	0.785479966	0.785465911	0.816965082	0.841199565	0.851877013	0.816197507
	88.52cm	0.787168331	0.787088145	0.816977014	0.821342301	0.84559605	0.811634368

表 9 不同碰撞界面及小球释放高度对剩余能量影响的表格

改变碰撞界面以及释放高度对乒乓球碰撞时的能量损失的影响							
碰撞界面	释放高度	第一次碰撞损失能量占比	第二次碰撞损失能量占比	第三次碰撞损失能量占比	第四次碰撞损失能量占比	第五次碰撞损失能量占比	碰撞平均损失能量占比
大理石瓷砖	44.76cm	0.298257373	0.297994269	0.264399093	0.251541307	0.244645799	0.271367568
	61.75cm	0.310607287	0.310782241	0.28868439	0.257786296	0.244673983	0.28250684
	76.24cm	0.360571878	0.355282051	0.282214445	0.281028369	0.25215783	0.306250915
	84.23cm	0.356286359	0.356326079	0.305444126	0.284653465	0.258362168	0.31221444
	101.12cm	0.37539557	0.37539582	0.312040558	0.285187915	0.257216495	0.321047271
木质地板	48.89cm	0.29453876	0.308785155	0.299916107	0.289394847	0.257166948	0.289960364
	66.41cm	0.354464689	0.354327035	0.292630058	0.281920327	0.298719772	0.316412376
	70.33cm	0.359874876	0.359840071	0.319569743	0.283018868	0.281650071	0.320790726
	80.10cm	0.383021223	0.383043302	0.332568055	0.292383292	0.274305556	0.333064286
	88.52cm	0.380366019	0.380492252	0.332548558	0.325396825	0.28496732	0.340754195

在同一碰撞界面上时，发现随着释放高度的增大，乒乓球的恢复系数减小，且损失能量平均

占比增大。

而不同碰撞界面的对比，可以发现，在大理石瓷砖上，乒乓球的恢复系数更大，损失能量平局占比更小。

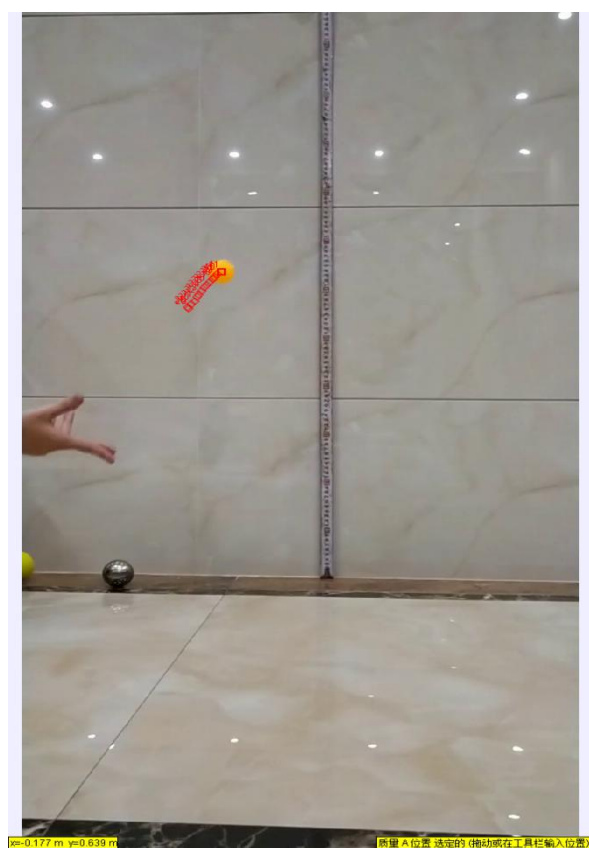
选做实验

实验步骤

- 1、打开卷尺，将其固定于墙面上。
- 2、使一个手机的拍摄方向垂直于乒乓球的运动方向，并开始视频录制，然后从镜头左侧斜向抛出小球。
- 3、待乒乓球运动出右侧镜头或是完全静止于地面，停止录制视频。
- 4、整理实验器材。
- 5、处理实验数据，撰写实验报告。

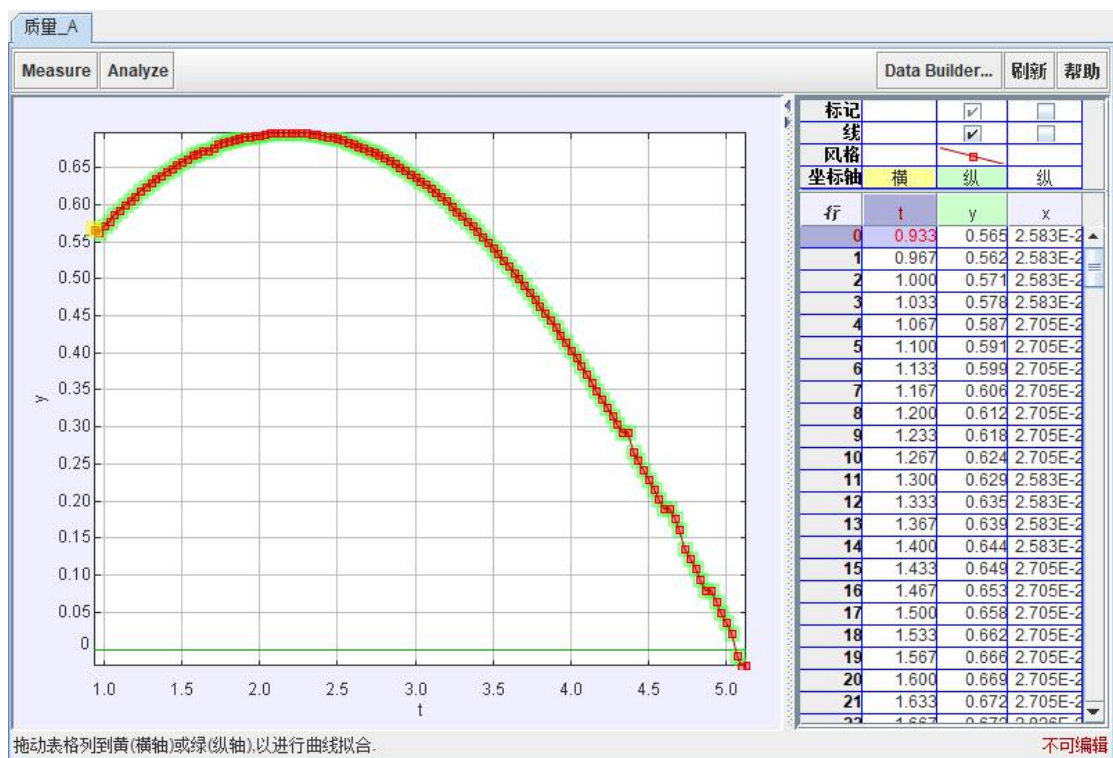
实验数据

图 6 利用 Tracker 分析斜抛运动的截图



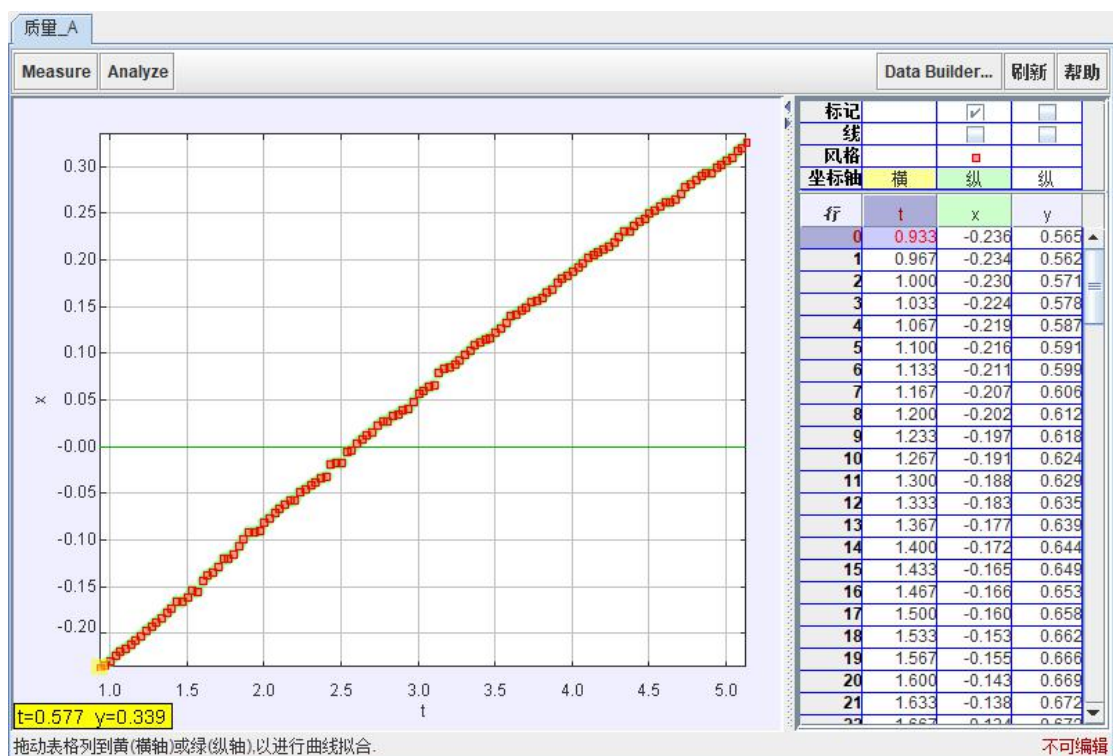
竖直位移与时间图像 ($y-t$ 图)

图 7 利用 Tracker 拟合斜抛运动中竖直位置与时间图像



水平方向位移与时间图像 (x-t 图)

图 8 利用 Tracker 研究斜抛运动中水平位移与时间图像



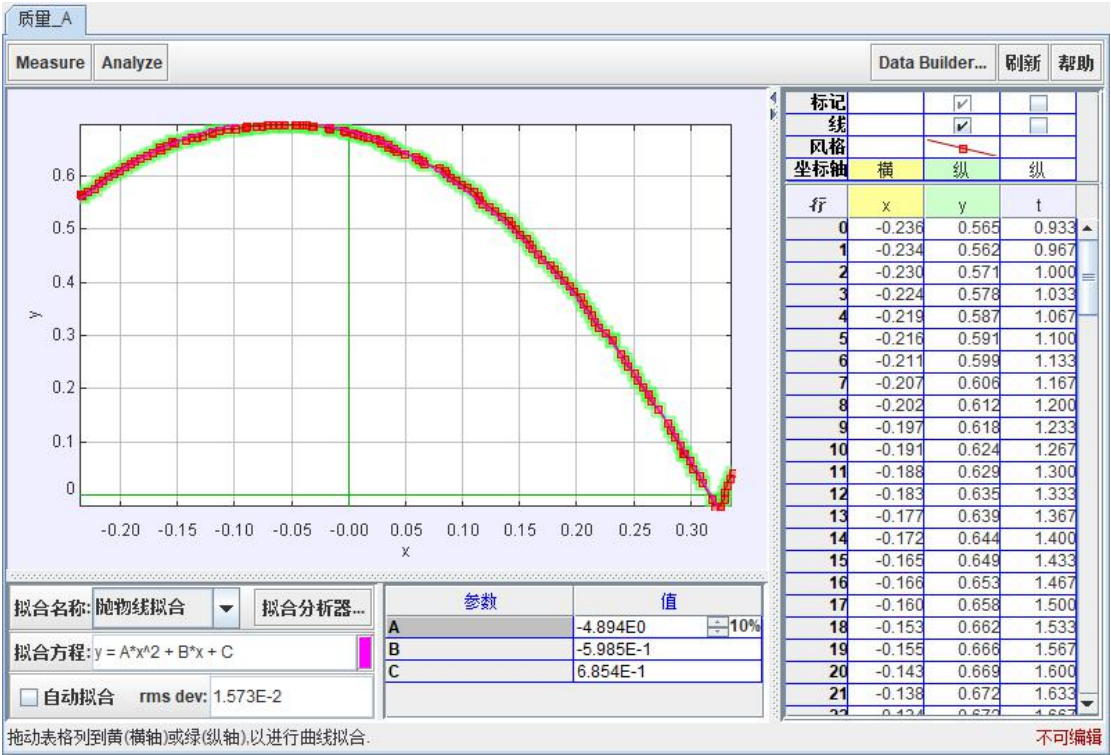
数据处理

选做实验

水平方向的速度 $v = 1.062 \text{ m/s}$

重力加速度 $g = 10.93 \text{ m/s}^2$

故竖直方向初始速度 $v=1.82\text{m/s}^2$
 其 $y-x$ 方程为 $y=1.82*(x/1.062)-0.5*10.93*(x/1.062)^2=-4.845x^2+1.716$
 Tracker 做出的图像为
 图 9 利用 Tracker 得出的竖直位移时间图像分析重力加速度



拟合曲线为 $y=-4.894x^2-0.595x+0.6854$

误差分析

- 1、用小球做实验时，会有空气阻力的影响，且小球质量较小时，空气阻力的作用效果越明显。
- 2、实验时的瓷砖或地板并不完全平整，在某些地方存在着较小的凸起或凹陷，导致小球碰撞后的速度并不是竖直反弹，而是产生了一定的偏角，减小了竖直方向的速度。
- 3、释放小球时，并不能做到使之完全无初速度下落，总存在着一定的角速度，以及一定的质心速度，导致高度 0 处的速度并不为 0，在后续计算中会产生误差。

实验小结

- 1、若仅采用 Tracker 软件，同样可以测量重力加速度。
- 采用慢镜头拍摄，拍摄帧频为 240 帧/s,放慢倍率为 8 倍。

表 10 连续八次自由落体或竖直上抛的加速度表格（表中所示的时刻为慢镜头中的时刻）

达到最高点或最低点的时刻(s)	6.566667	9.033333	11.1	13.16667	14.83333	16.53333	17.96667	19.43333	20.63333
Y 坐标 (m)	0.497974	0.014683	0.337468	0.031069	0.242682	0.022586	0.176046	0.015848	0.131716
重力加速度 (m/s^2)		10.16713	9.673491	9.182406	9.751103	9.748185	9.561149	9.532439	10.29944

平均值为 9.739m/s^2

- 2、本实验采用 phyphox 软件研究弹性球的非弹性碰撞，实际上，由于 phyphox 默认了 g 值为 9.81m/s^2 ，因此仅仅利用 phyphox 软件所给出的数据进行计算时会造成一定的误差，

故若想做的更加精确，应结合其他软件及拍摄视频来更细致的分析。

3、在本实验中，除了在碰撞瞬间能量的损失，还有在运动过程中小球受到空气阻力引起的损失，而若要减少空气阻力带来的影响，宜采用密度大的小球，如钢球等等。

实验合影

