

参赛队员姓名： 张瑞琦

中学： 上海市控江中学

省份： 上海市

国家/地区： 中国

指导教师姓名： 方德鑫； 沈健

指导教师单位： 上海市控江中学；

复旦大学物理学系

论文题目： 在球形碗内“跳舞”的圆环的动力学研究

# 在球形碗内“跳舞”的圆环的动力学研究

作者：上海市控江中学 张瑞琦

**摘要：**即使是一个简单的圆环，当它拥有超过 4 个自由度时，也难以求得其运动行为的数值解。此课题探究了一个在球形碗中拥有 6 个自由度的刚性圆环有趣的类混沌动力学行为。通过大量实验，调节初始条件总结得出圆环一般运动模式分为 3 个不同阶段——“绕八字”、翻转、自转；当圆环具有某一自由度的初速度时的运动模式——“自旋”、“圆周运动”；分析了真实情况下每个模式中的能量耗散；基于拉格朗日力学给出圆环在球形约束平面内的动力学分析的通用方法，利用 Mathematica 编写程序数值求解微分方程组，通过代入不同初值，得出不同初始条件下的数值解；使用不同材质、尺寸的半球体与不同直径的树脂圆环进行实验验证理论模型，得出理论解与实验值高度相符。利用 SOLIDWORKS 对圆环的基本类单摆行为进行仿真。此方法可应用于求解复杂的非平面动力学，有阻力的天体运动问题与基于非欧几里得几何的动力学问题。

**关键词：**刚性圆环；球形约束；混沌；运动模式；数值仿真

# 目录

研究背景 .....	4
研究现状 .....	4
创新及意义 .....	4
理论分析 .....	4
运动模式归类 .....	4
拉格朗日力学分析该质点系理想化运动 .....	14
实验探究 .....	17
对于已归类的运动模式的实验分析 .....	17
实验材料说明 .....	17
运动行为一：“绕八字” .....	18
运动行为二：翻转 .....	19
运动行为三：自转 .....	20
运动模式四：“自旋” .....	21
运动模式五：“圆周运动” .....	22
对于实验中观察到的特殊现象的解释 .....	23
利用工程软件对引入摩擦力时圆环运动行为进行仿真 .....	23
在不同材质、尺寸半球体中的圆环运动行为 .....	24
课题结论 .....	25
展望 .....	26
参考文献 .....	27
致谢 .....	28

## 1 研究背景

### 1.1 研究现状

Ricardo López-Ruiz and Amalio F Pacheco 分析了一个球体在一个圆锥面的内侧滚动而不滑动的运动（圆锥面的轴在地球的恒定引力场的方向上），证明了对于定义运动的每一组条件，只有一个圆形轨道是稳定的,表明可以使用中心力问题的类比来找到它的解决方案<sup>[1]</sup>。刘延柱通过对日常生活和工程技术中形形色色力学现象加以解释，分析讲解了刚体动力学，其中，分析了圆环在平面上的纯滚动行为，以及陀螺进动问题<sup>[2]</sup>。

### 1.2 创新及意义

通过大量实验，调节初始条件，总结得出圆环一般运动模式分为 3 个不同阶段——“绕八字”、翻转、自转；当圆环具有某一自由度的初速度时的两种稳定运动模式——“自旋”、“圆周运动”；通过拉格朗日力学对具有多自由度、运动行为类混沌的圆环进行分析，利用数值求解、绘制参数图等呈现，对该效应进行分析能够为圆环在非平面内的动力学研究提供参考；某些运动行为类似天体，可为天体问题分析提供一定参考；得到了求解复杂运动的方法，对于有阻力的天体运动问题求数值解，同样可通过编写程序进行参数图绘制，相应得到天体运动的轨迹（需在拉格朗日力学中加入瑞丽耗散项）；对于圆环在非平面的动力学研究（非平面内物体的动力学求解的通用方法）与基于非欧几里得几何的运动分析有关。

## 2 理论分析

### 2.1 运动模式归类

进行了大量预实验后，对圆环在球面中的运动行为进行归类：

1 个为多阶段模式、2 个为稳定模式，其中多阶段模式具有 3 个阶段。

圆环一般的运动模式（即多阶段模式）可以分为以下阶段：

1) “绕八字”

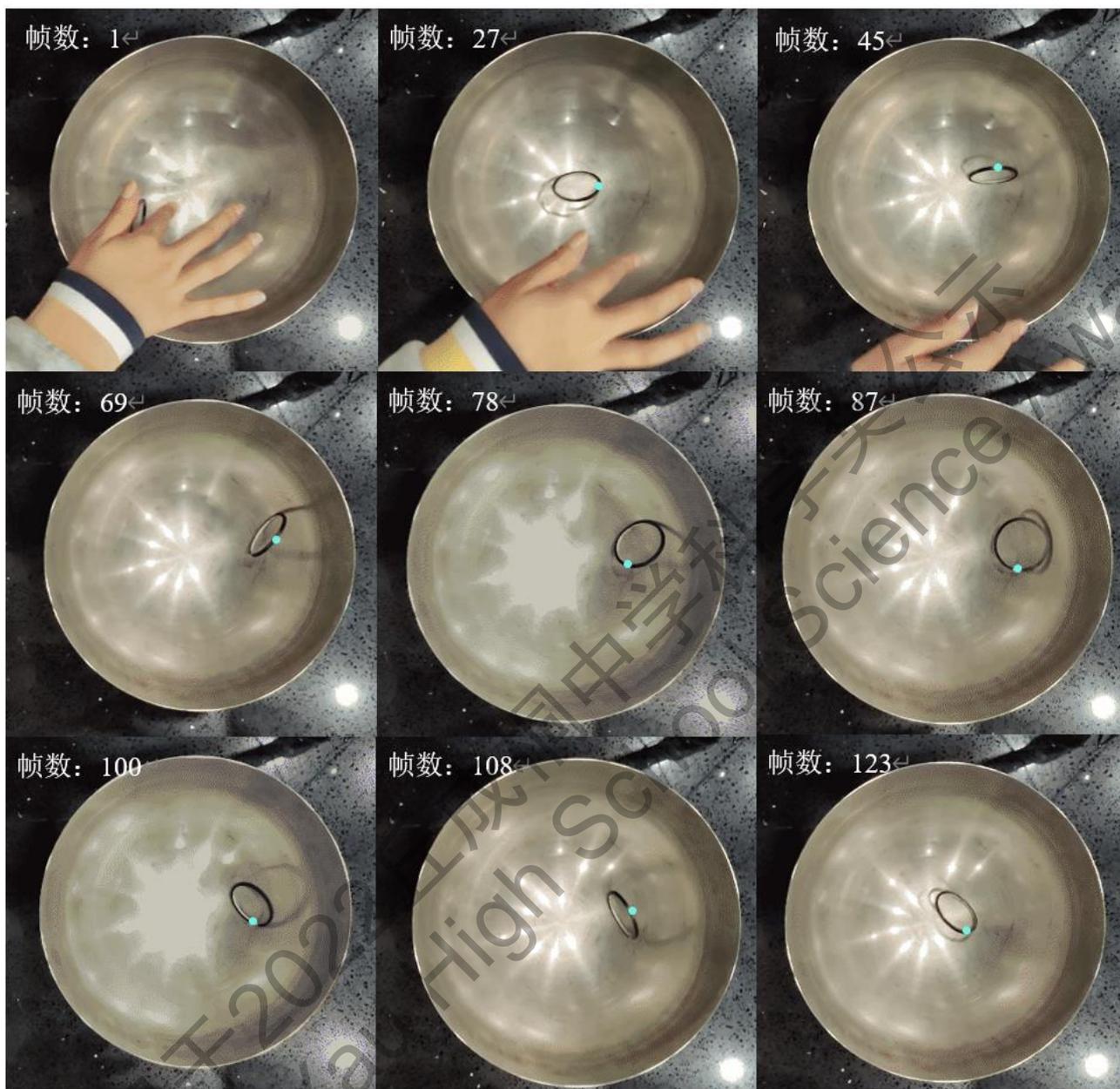


图 1

图 1 中，截取了圆环“绕八字”阶段的部分片段进行展现。圆点是对标记在圆环上的点的加深，在圆环相对于球面位置未产生明显位移时，如：帧数 100 和 帧数 108，该圆点产生明显位移，即该圆环具有滚动特性。

同时，圆环接触点轨迹图（见图2）呈“8”字形。



图2

2022 S.-T. Yau High School Science Awards  
仅用于2022丘成桐中学科学奖公示

## 2) 翻转

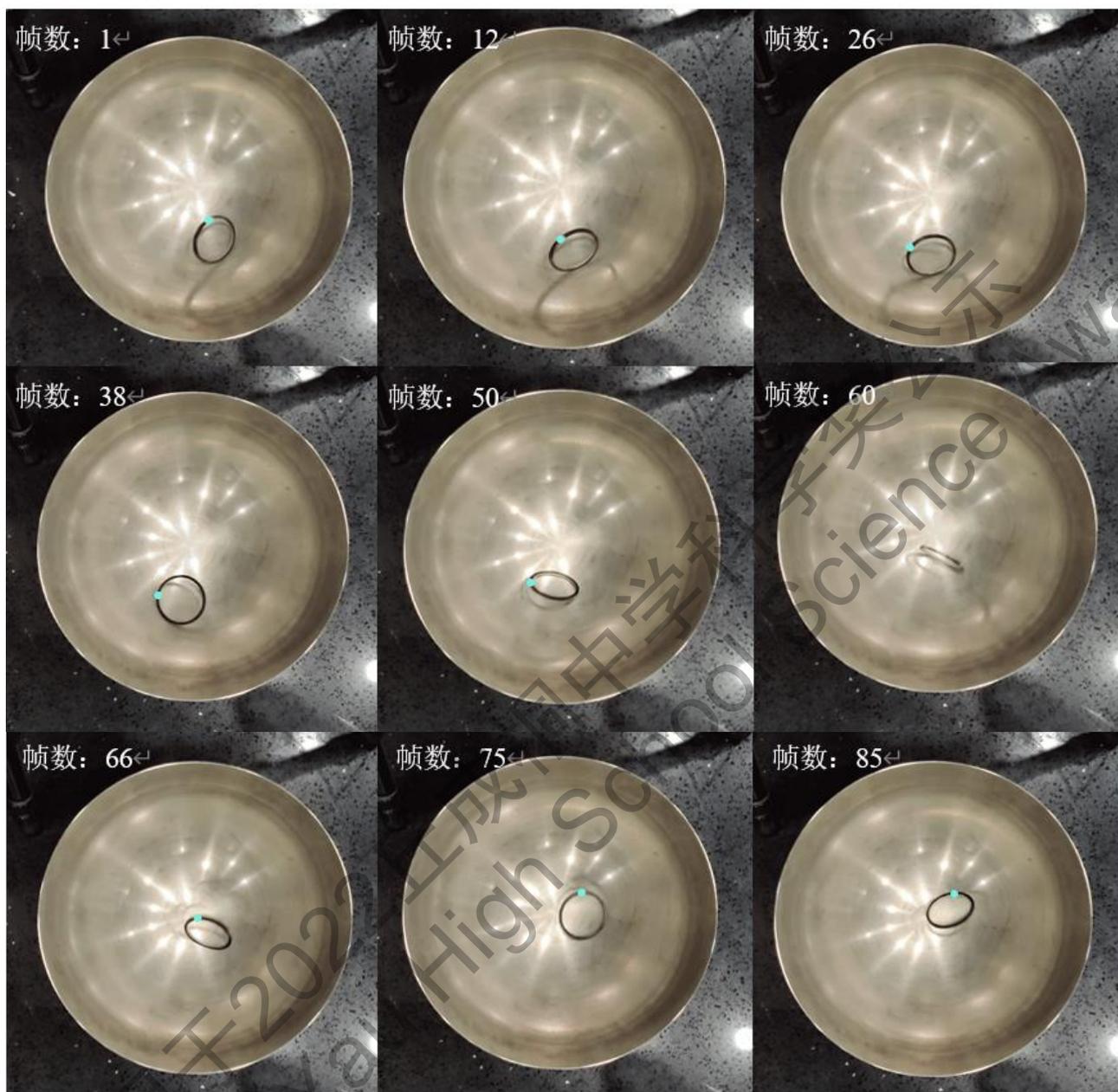


图 3

图 3 中，截取了圆环翻转阶段的部分片段进行展现。圆环与球面产生类似“撵动”行为，同时，间歇性存在碰撞行为；圆点的位移产生是由于圆环的翻转，如：帧数 38 和 帧数 50，因此可得：“绕八字”的运动行为是在翻转的运动行为的基础上叠加自转角的变化情况，即包含滚动。

圆环接触点轨迹图（见图 4）、质心轨迹（见图 5 蓝色部分）和每点的速度与加速度方向图（见图 6 与图 7），可见当圆环运动到一定高度，由于重力矩，无法上升，同时受到球面约束，而呈现不断翻转，间歇碰撞的行为。



图 4

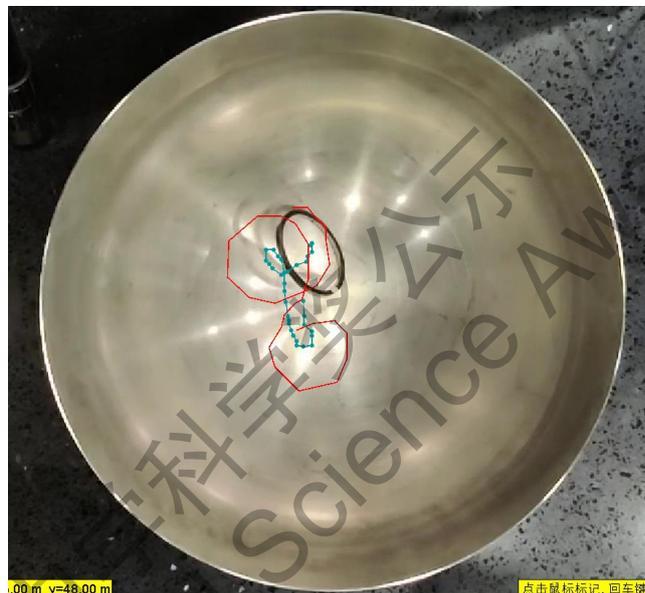


图 5

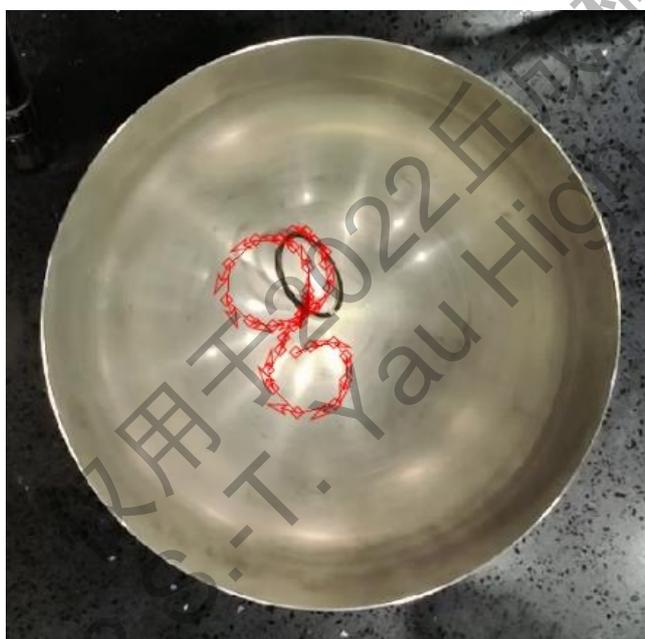


图 6



图 7

3) 自转

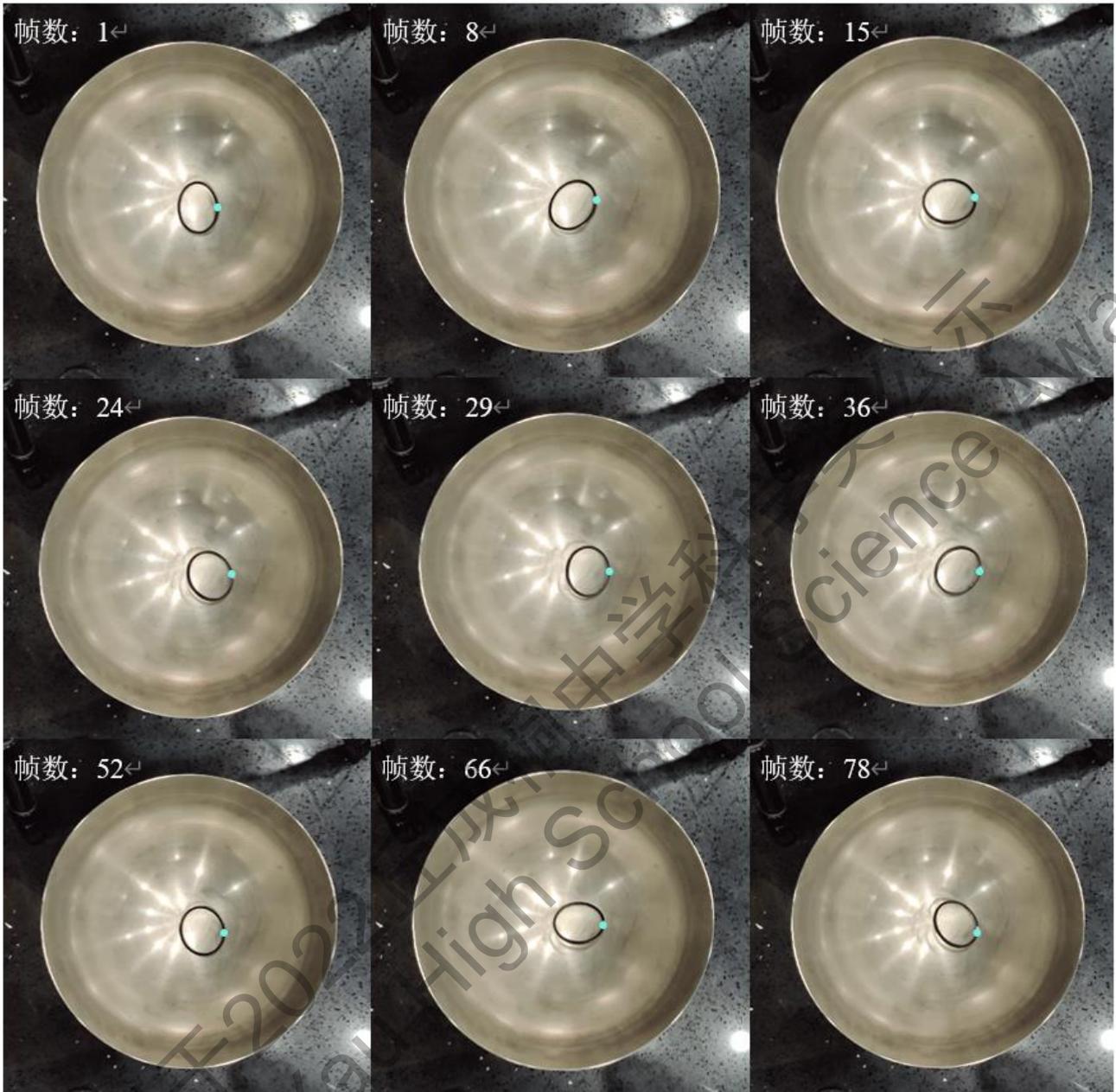


图 8

图 8 中，截取了圆环自转阶段的部分片段进行展现。圆环呈现类似欧拉盘的运动行为。

圆环接触点轨迹图（见图 9）可见圆环在自转阶段中运动区域基本固定（球面底端）。



图 9

2022 S.-T. Yau High School Science Awards  
仅用于2022丘成桐中学科学奖公示

当圆环具有某一自由度的初角速度，其运动模式将呈稳定态（即两个稳定模式），分别为其命名为：

1) “自旋”

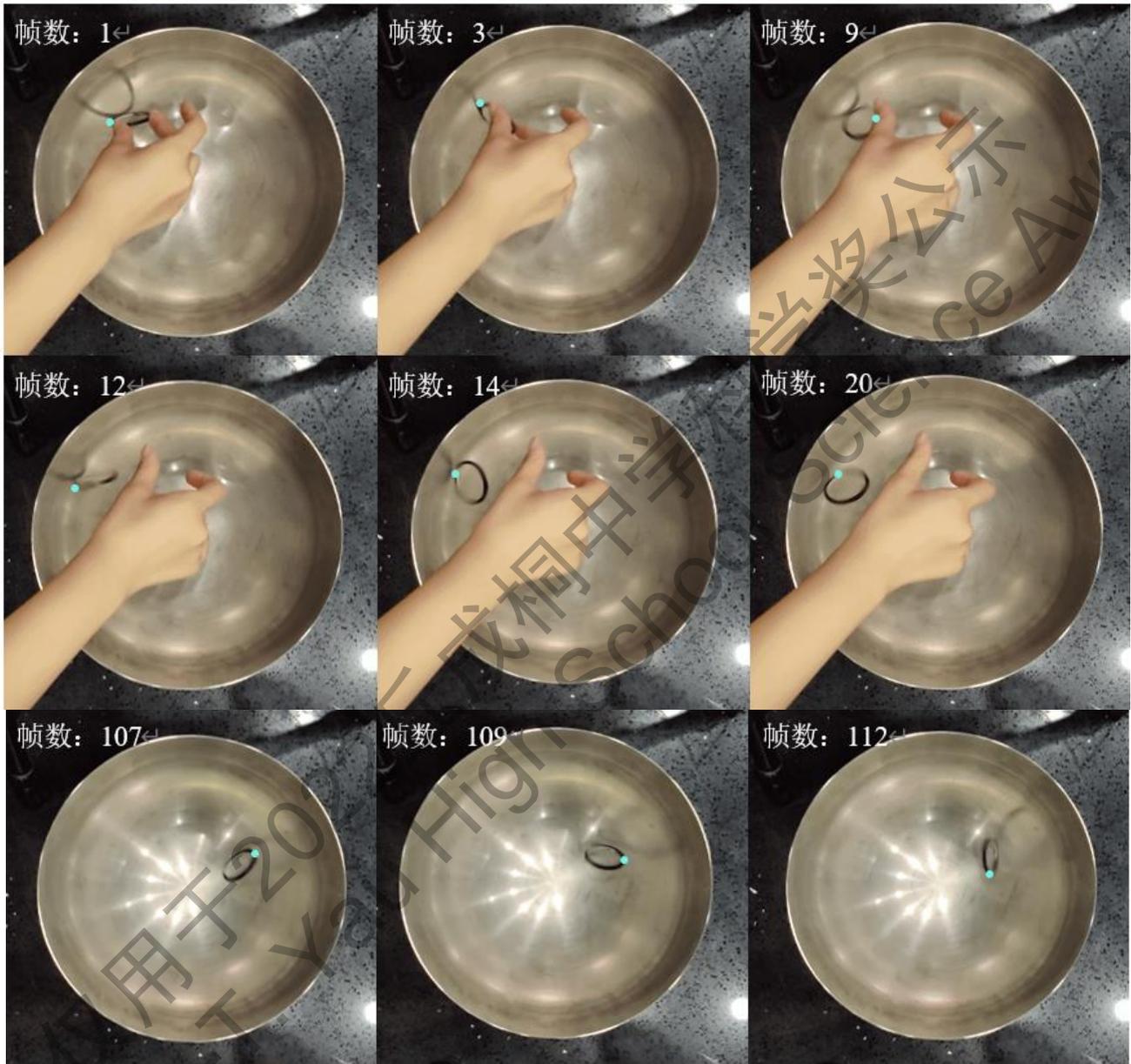


图 10

图 10 中，截取了圆环“自旋”模式的部分片段进行展现。当给圆环施加初角速度后，圆环自身不断绕法线（过接触点，垂直于球面）旋转，且从帧数 20 到帧数 107、109、112 可得圆环运动一段时间后，依旧呈该运动模式。

圆环上一标记点的运动轨迹图（见图 11）与每点速度方向（见图 12）中，圆环在球面上接触点不断移动时，自身也不断旋转。



图 11

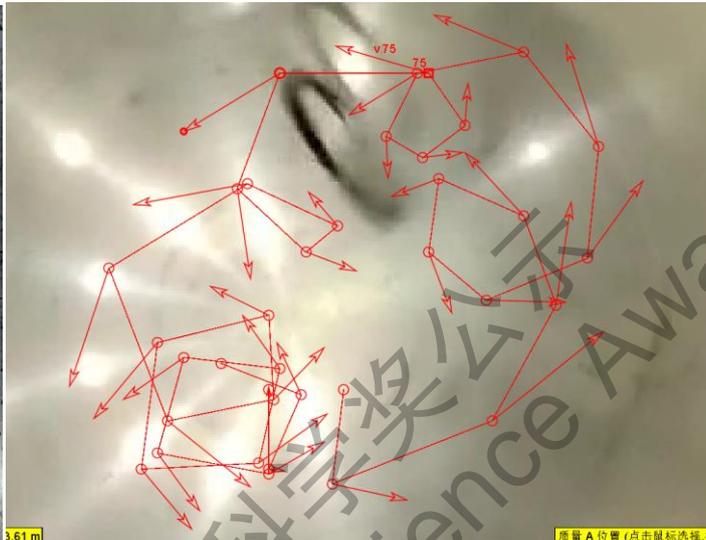


图 12

2022 S.-T. Yau High School Science Awards  
仅用于2022丘成桐中学科学奖公示

## 2) “圆周运动”

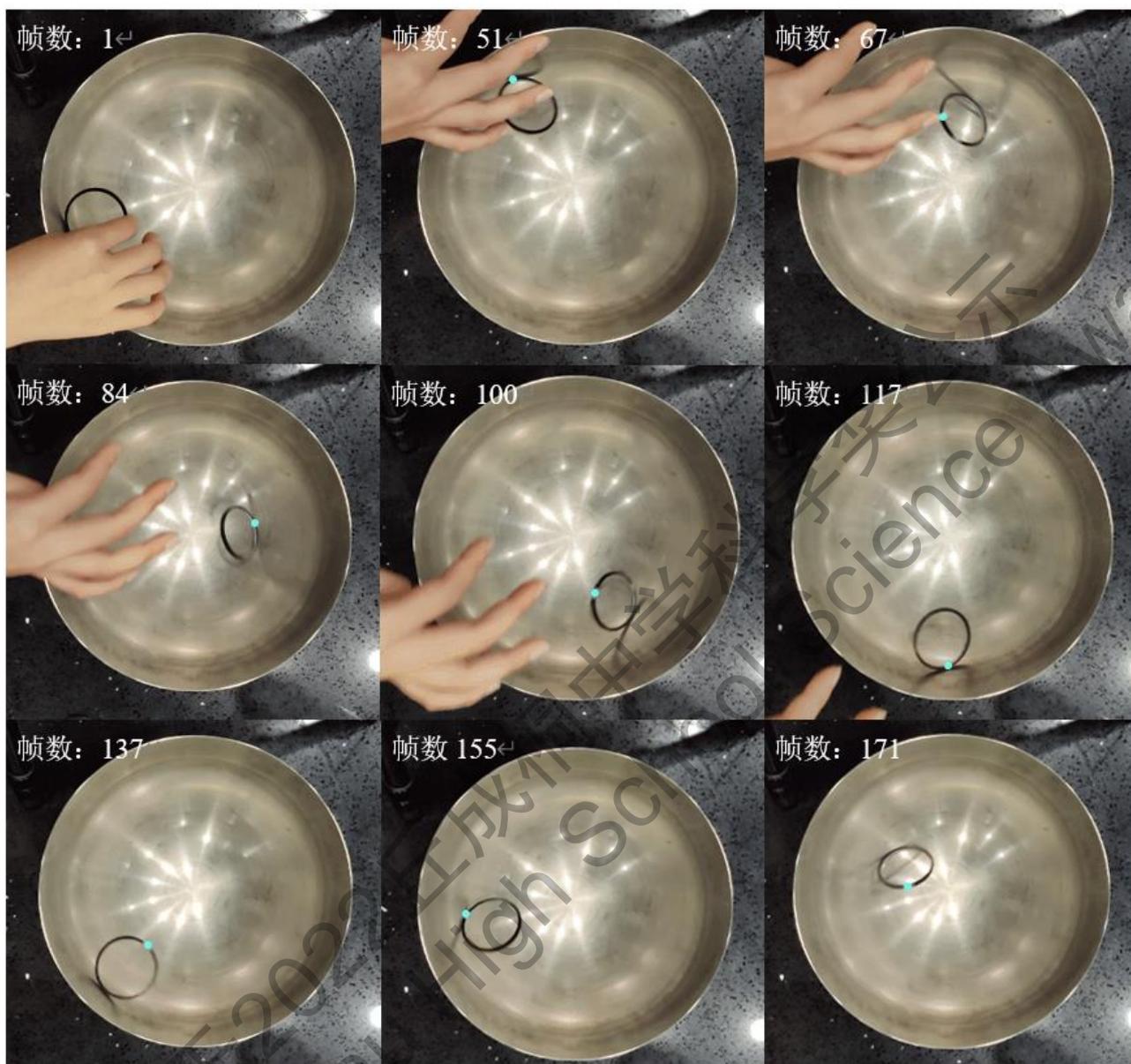


图 13

图 13 中，截取了圆环“圆周运动”模式的部分片段进行展现。当给圆环施加初角速度后，圆环在球面上不断滚动，类似天体运动。圆环接触点轨迹图（见图 14）中，轨迹类似行星公转轨道。

图 14



## 2.2 拉格朗日力学分析该质点系理想化运动

首先，本课题考虑了真实情况下圆环在球面上运动时能量耗散的主要途径，即：

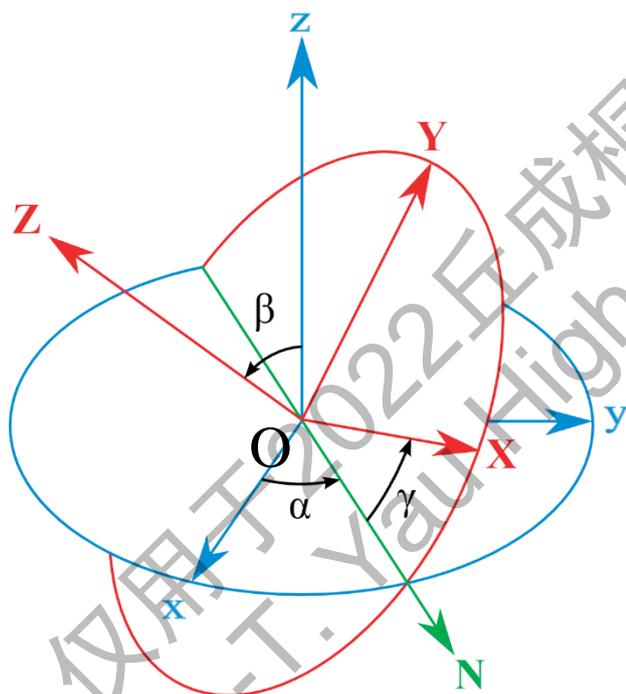
1) 滑动摩擦：圆环在半球体内运动时相对于内壁会有相对滑动，因滑动摩擦耗散能量

2) 圆环在碰撞半球体侧壁时的非完全弹性碰撞

3) 真实情况下，圆环不是刚体，会发生形变，材料内部分子间作用力不断做功，将机械能转化为内能

由于固体在受力和运动过程中变形很小，基本上保持原来的大小和形状不变，圆环在球面形的碗中滚动可简化为刚体运动问题，完全自由的刚体拥有 6 个自由度：3 个平动自由度和 3 个转动自由度，因此从平动和转动两个角度描述圆环的运动。同时，因圆环在球面上滚动，3 个平动自由度满足球面方程，将此问题中的刚体简化为拥有 5 个自由度。

选择欧拉角<sup>[3]</sup>作为描述圆环转动的 3 个自由度（见图 15）：



由定点  $O$  作出固定坐标系  $O-xyz$  以及固连于刚体的坐标系  $O-XYZ$ 。

以  $z$  轴和  $Z$  轴为基本轴，其垂直面  $Oxy$  和  $OXY$  为基本平面。

平面  $zOz$  的垂线  $ON$  称为节线，它又是基本平面  $Oxy$  和  $OXY$  的交线。

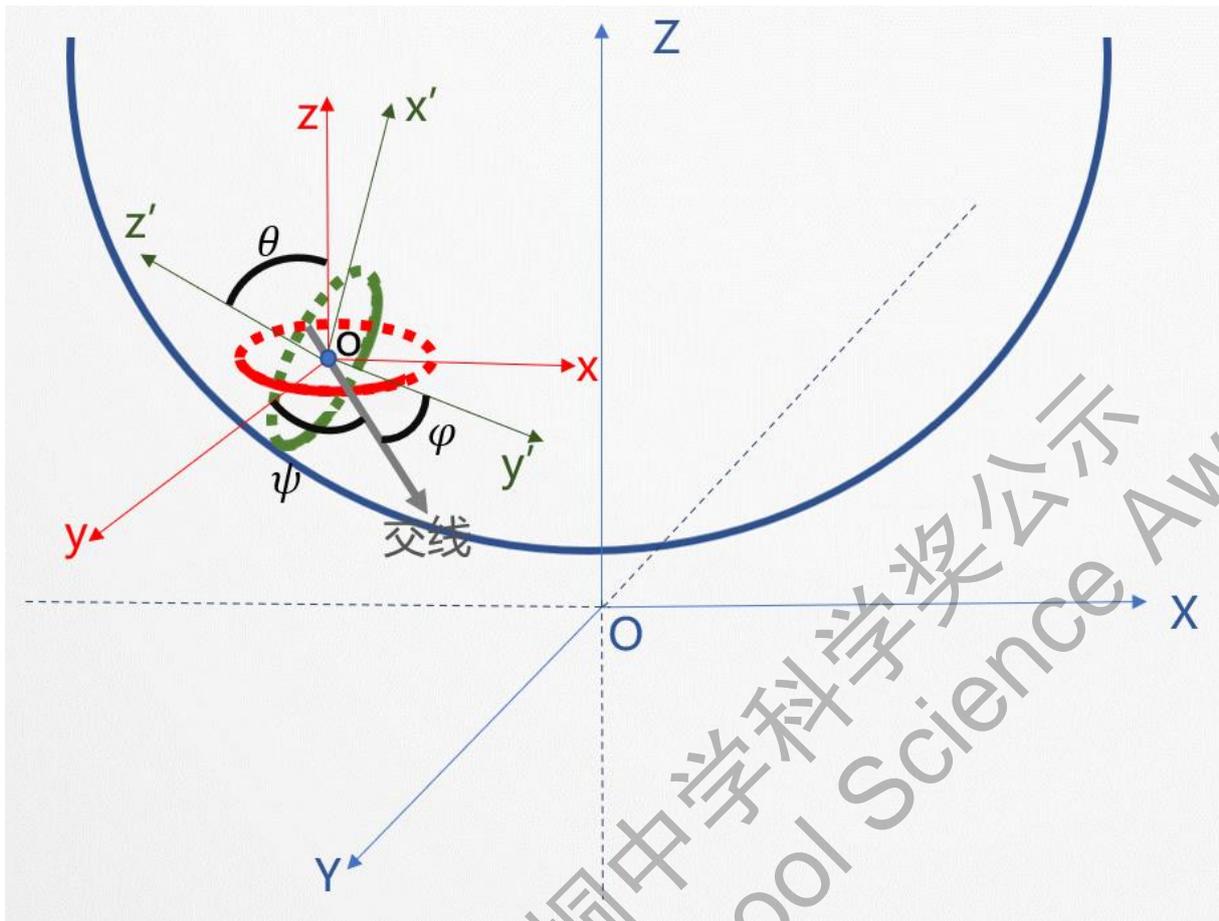
$z$  轴与  $Z$  轴的夹角  $\beta$  称为章动角(倾斜)。

固定轴  $x$  轴与节线  $ON$  的夹角  $\alpha$  称为进动角(扭动)。

动轴  $X$  轴与节线  $ON$  的夹角  $\gamma$  称为自转角。

图 15

此文中， $\theta$  为章动角； $\Psi$  为进动角； $\Phi$  为自转角。



为整个系统建立主坐标系  $O-XYZ$ 。

其中，因  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为接触点坐标，而描述圆环所具有的动能和势能需回归到质心系，因此建立质心坐标与接触点坐标之间关系：

$$X' = X - r \cos \theta \cos \psi ;$$

$$Y' = Y - r \cos \theta \sin \psi ;$$

$$Z' = Z + r \sin \theta$$

其中， $r$  为圆环半径。

分析该圆环所具有的动能，可得其为平动动能与 3 个转动自由度的转动能量之和：

$$\text{系统动能: } T = \frac{1}{2} m (\dot{X}'^2 + \dot{Y}'^2 + \dot{Z}'^2) + \frac{1}{4} m r^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{4} \cos^2 \theta m r^2 \dot{\psi}^2 + \frac{1}{2} m r^2 \dot{\phi}^2$$

圆环所具有的势能为重力势能：

$$\text{系统势能: } V = m g (Z') \text{ 则:}$$

$$\text{系统拉格朗日量: } L = T - V$$

在拉格朗日力学中，拉格朗日量满足微分方程：

$$\text{拉格朗日方程: } \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = 0$$

因此通过 Mathematica 编写程序对微分方程组进行数值求解（其中，a 为章动角，b 为进动角，c 为自转角）：

```

In[1]:= L =
1/2 * m * ( (-Cos[a[t]] Cos[b[t]] Dt[r, t] + r Cos[b[t]] Sin[a[t]] a'[t] + r Cos[a[t]] Sin[b[t]] b'[t] + x'[t])^2 +
(0.025 Sin[a[t]] Sin[b[t]] a'[t] - 0.025 Cos[a[t]] Cos[b[t]] b'[t] + y'[t])^2 + (0.025 Cos[a[t]] a'[t] +
sqrt(0.0625 - 4 (x[t]^2 + y[t]^2)))^2 ) +
1/4 * m * r^2 * (a'[t])^2 + 1/4 * m * r^2 * (Cos[a[t]]^2 * (b'[t])^2 + 1/2 * m * r^2 * (c'[t])^2 -
m * 10 * (1/2 * (0.25 - Sqrt[0.0625 - 4 (x[t]^2 + y[t]^2)]) + r * Sin[a[t]]))
m = 0.0015
r = 0.025
u1 = Dt[D[L, x'[t]], t] - D[L, x[t]]
u2 = Dt[D[L, y'[t]], t] - D[L, y[t]]
u3 = Dt[D[L, a'[t]], t] - D[L, a[t]]
u4 = Dt[D[L, b'[t]], t] - D[L, b[t]]
u5 = Dt[D[L, c'[t]], t] - D[L, c[t]]
NDSolve[{u1 == 0, x[0] == 0.09, x'[0] == 0.3 pi, u2 == 0, y[0] == 0.04, y'[0] == 0.5 pi, u3 == 0, a[0] == 0.33 pi, a'[0] == 0.5 pi, u4 == 0,
b[0] == 0.167 pi, b'[0] == 5 pi, u5 == 0, c[0] == 0 pi, c'[0] == 0 pi}, {x[t], y[t], a[t], b[t], c[t]}, {t, 0, 3},
Method -> {"EquationSimplification" -> "Residual"}]
方法

```

### 3 实验探究

#### 3.1 对于已归类的运动模式的实验分析

##### 3.1.1 实验材料说明

在不同模式的理论与实验结合中，使用不同圆环进行实验，以证明理论的普适性，利用尺测量圆环的半径；精度高的电子秤称得质量，选用单位为SI制，角度为弧度制。

其中，圆环参数见表1。半球体满足球面方程： $x^2 + y^2 + (z - 0.125)^2 = (0.125)^2$ 。

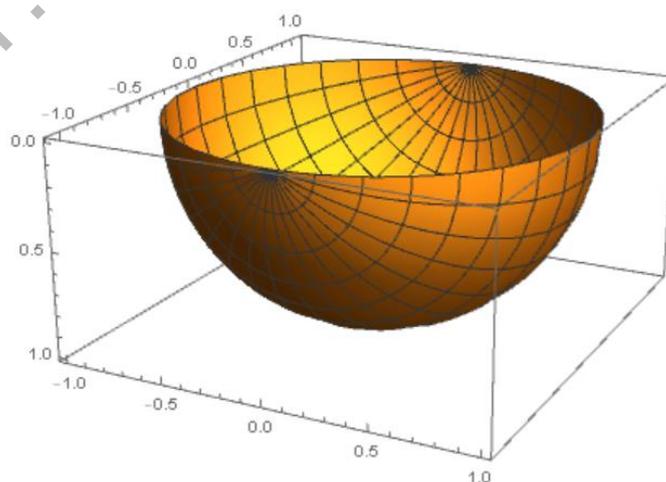
圆环	1	2	3
质量/kg	0.00167	0.00150	0.00119
半径/m	0.0275	0.0250	0.0200

表 1

拍摄装置：



对半球体的绘制拟合：



### 3.1.2 运动行为一：“绕八字”

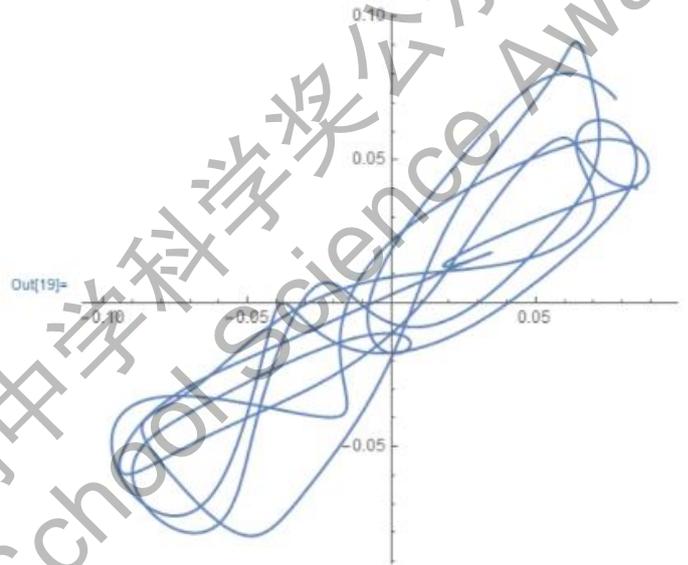
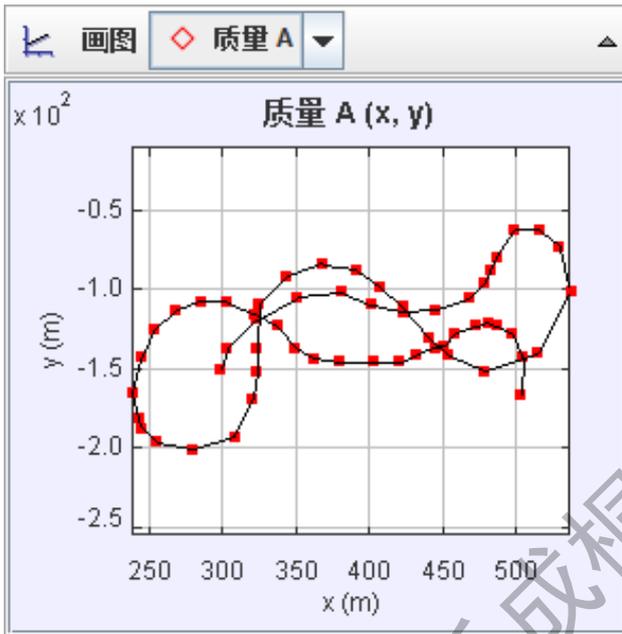
初值代入： $m=0.0015$ ， $r=0.025$ ，

$\theta[0]=0.085$ ， $\dot{\theta}[0]=0.03$ ， $y[0]=0.04$ ， $\dot{y}[0]=0.05$ ， $a[0]=0.33\pi$ ， $a'[0]=0\pi$ ，

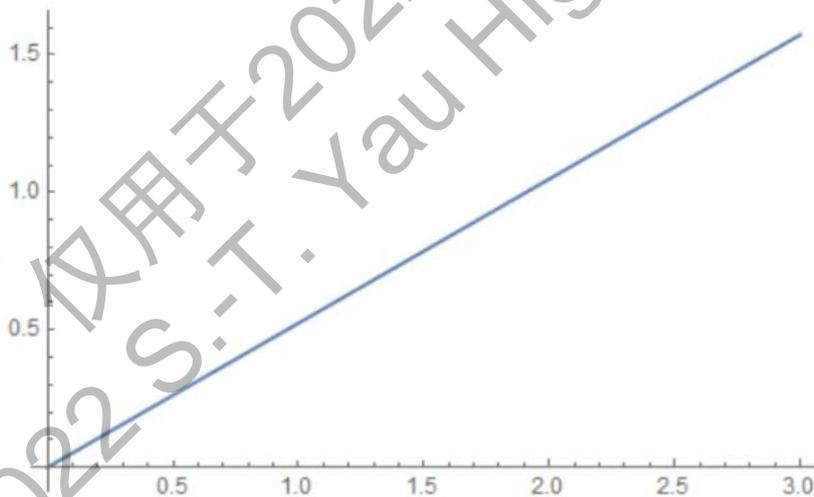
$b[0]=0.167\pi$ ， $b'[0]=0\pi$ ， $c[0]=0\pi$ ， $c'[0]=0.167\pi$

圆环真实运动轨迹：

利用绘制参数图模拟圆环的运动轨迹：



自转角随时间的变化关系（不断增大，滚动特征）：



此阶段中，摩擦力耗散圆环所具有的能量。

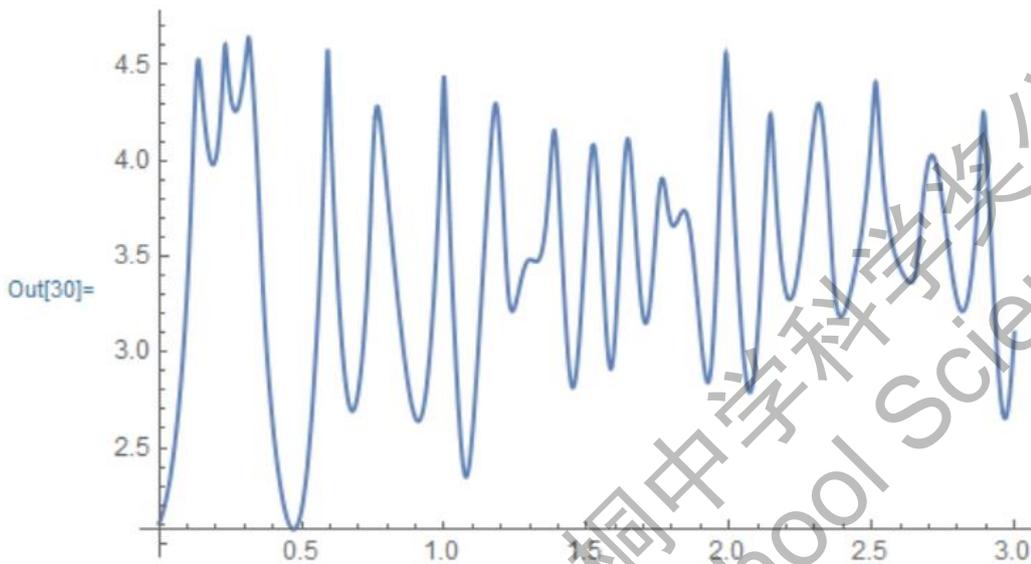
### 3.1.3 运动行为二：翻转

初值代入：  $m=0.0015$ ,  $r=0.025$ ,

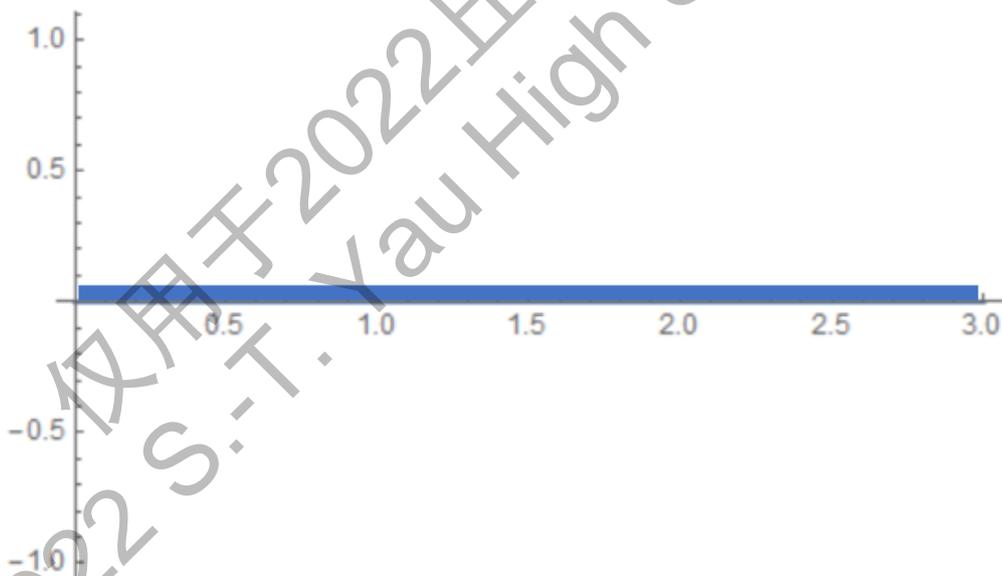
$x[0]=0.09$ ,  $x'[0]=0$ ,  $y[0]=0.04$ ,  $y'[0]=0\pi$ ,  $a[0]=0.67\pi$ ,  $a'[0]=\pi$ ,

$b[0]=0.33\pi$ ,  $b'[0]=0.33\pi$ ,  $c[0]=0\pi$ ,  $c'[0]=0\pi$

章动角随时间变化关系（周期性变化）：



自转角随时间变化关系（始终为0，即不包含滚动）：



此阶段中，摩擦力耗散圆环所具有的能量。

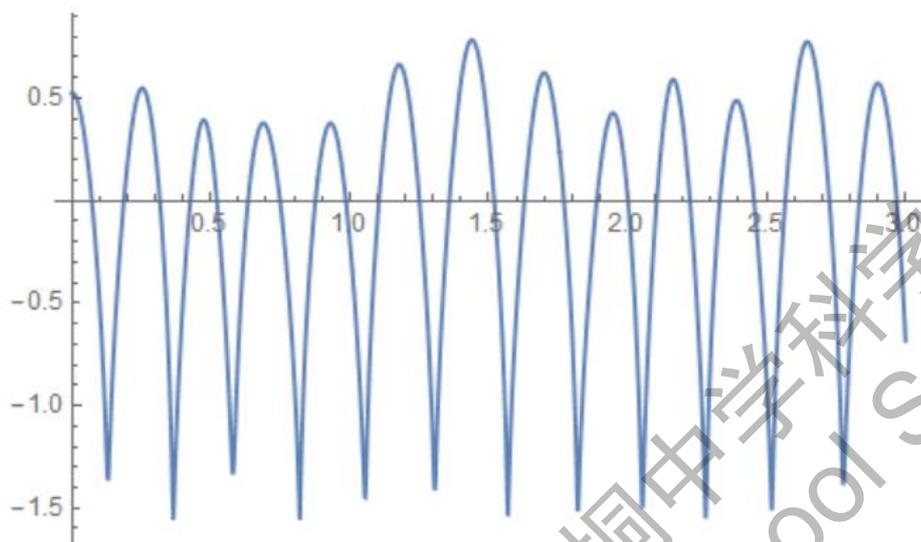
### 3.1.4 运动行为三：自转

初值代入： $m=0.00167$ ， $r=0.0275$ ，

$x[0]=0.0275$ ， $x'[0]=0$ ， $y[0]=0.0275$ ， $y'[0]=0\pi$ ， $a[0]=0.167\pi$ ， $a'[0]=0.167\pi$ ，

$b[0]=0.08\pi$ ， $b'[0]=0.08\pi$ ， $c[0]=0\pi$ ， $c'[0]=0\pi$

章动角随时间变化关系（周期性变化）：



此阶段中，摩擦力耗散圆环所具有的能量，同时，从图 16、图 17 可以看到圆环上标记点发生明显位移，说明摩擦力使圆环产生滑动行为。



图 16



图 17

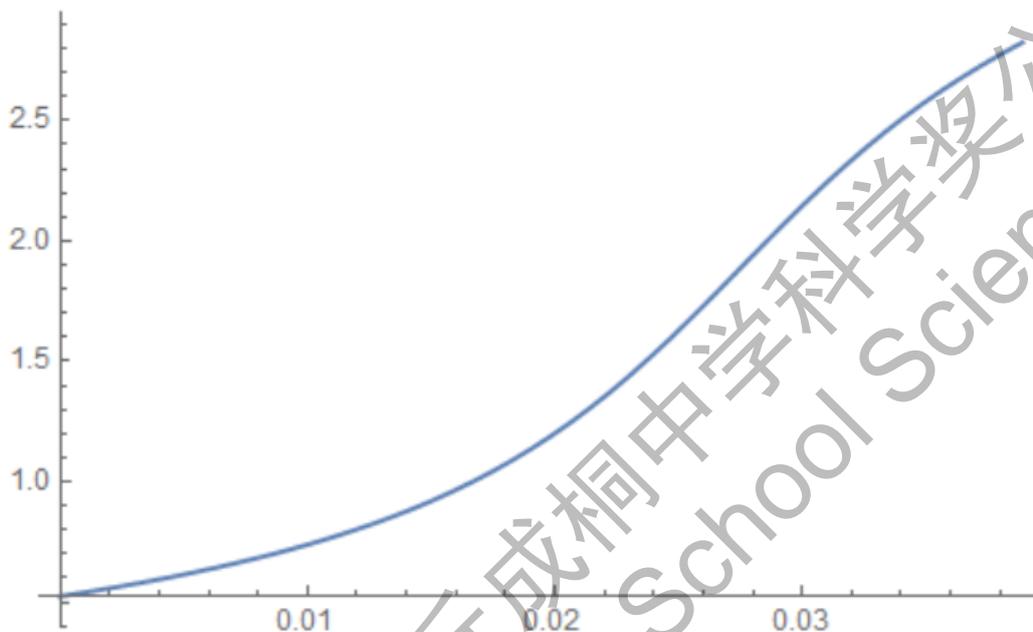
### 3.1.5 运动模式四：“自旋”

初值代入： $m=0.00119$ ， $r=0.02$ ，

$x[0]=0.09$ ， $x'[0]=0.3\pi$ ， $y[0]=0.04$ ， $y'[0]=0.5\pi$ ， $a[0]=0.33\pi$ ， $a'[0]=0.5\pi$ ，

$b[0]=0.167\pi$ ， $b'[0]=5\pi$ ， $c[0]=0\pi$ ， $c'[0]=0\pi$

进动角随时间变化关系（不断增大）：



此模式中，摩擦力与圆环“自旋”方向相反，使进动角角速度减小。

### 3.1.6 运动模式五：“圆周运动”

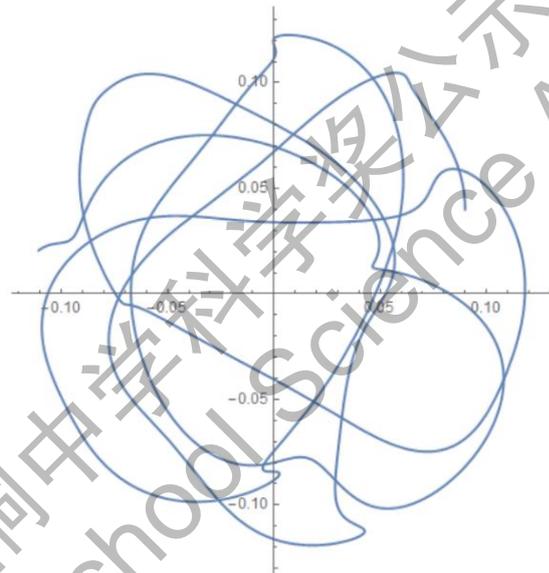
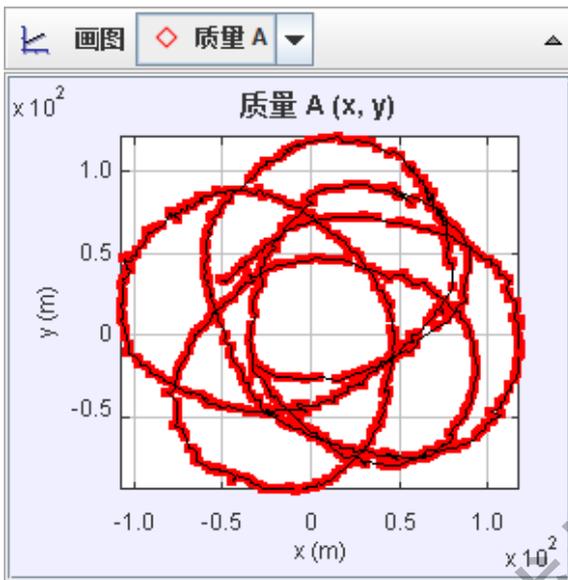
初值代入：  $m=0.00167$ ,  $r=0.0275$ ,

$x[0]=0.09$ ,  $x'[0]=0$ ,  $y[0]=0.04$ ,  $y'[0]=0.8$ ,  $a[0]=0.67\pi$ ,  $a'[0]=0\pi$ ,

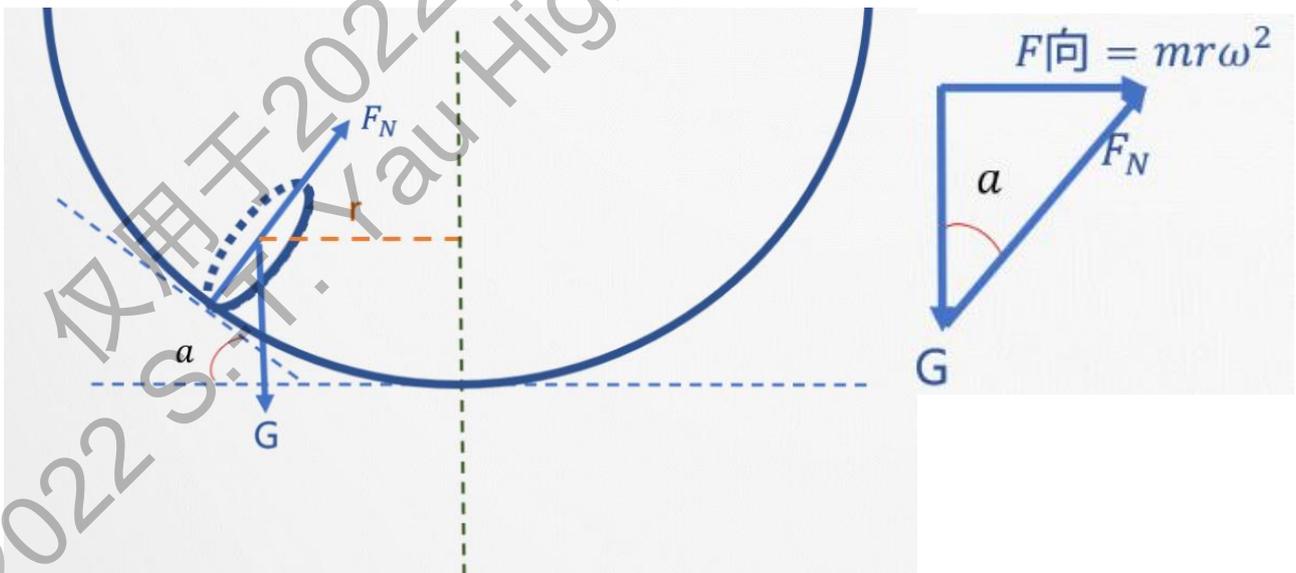
$b[0]=0.33\pi$ ,  $b'[0]=0\pi$ ,  $c[0]=0\pi$ ,  $c'[0]=2\pi$

真实运动轨迹：

通过绘制参数图模拟运动轨迹：



分析圆环此时的受力可得它的向心力为  $F = mr\omega^2$ 。



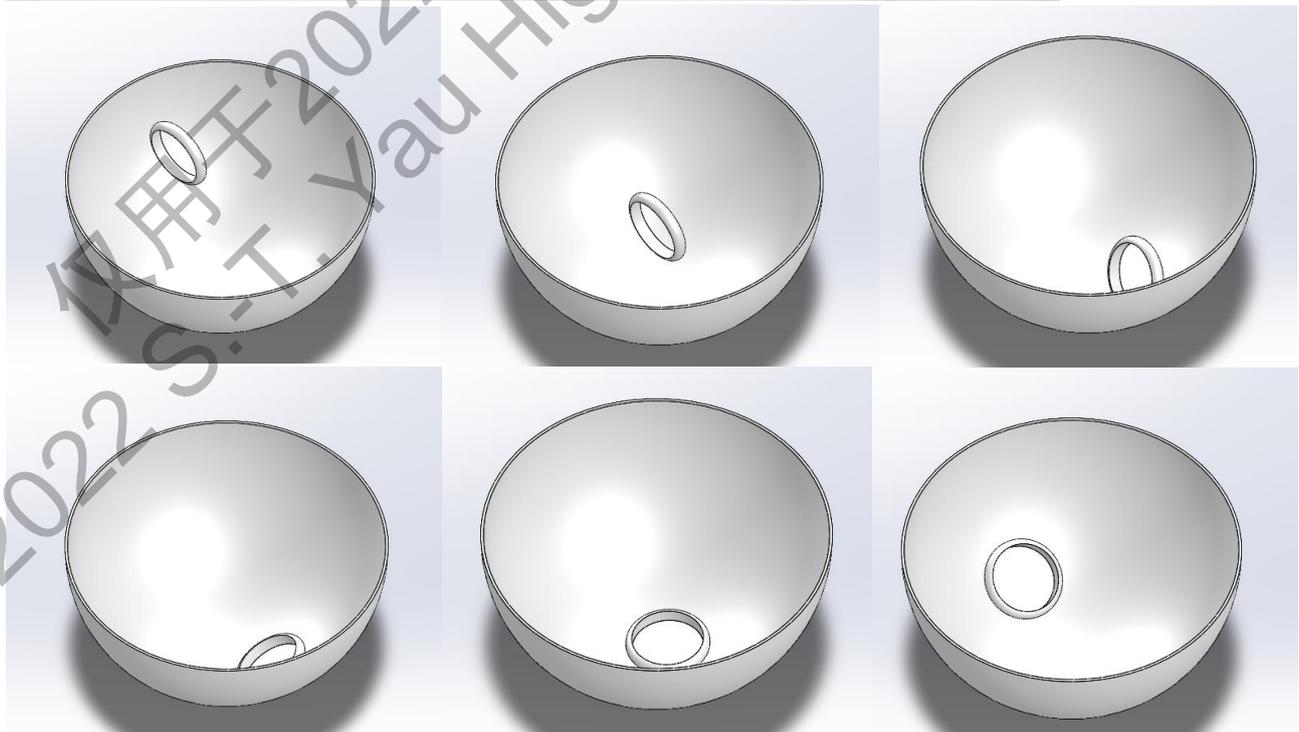
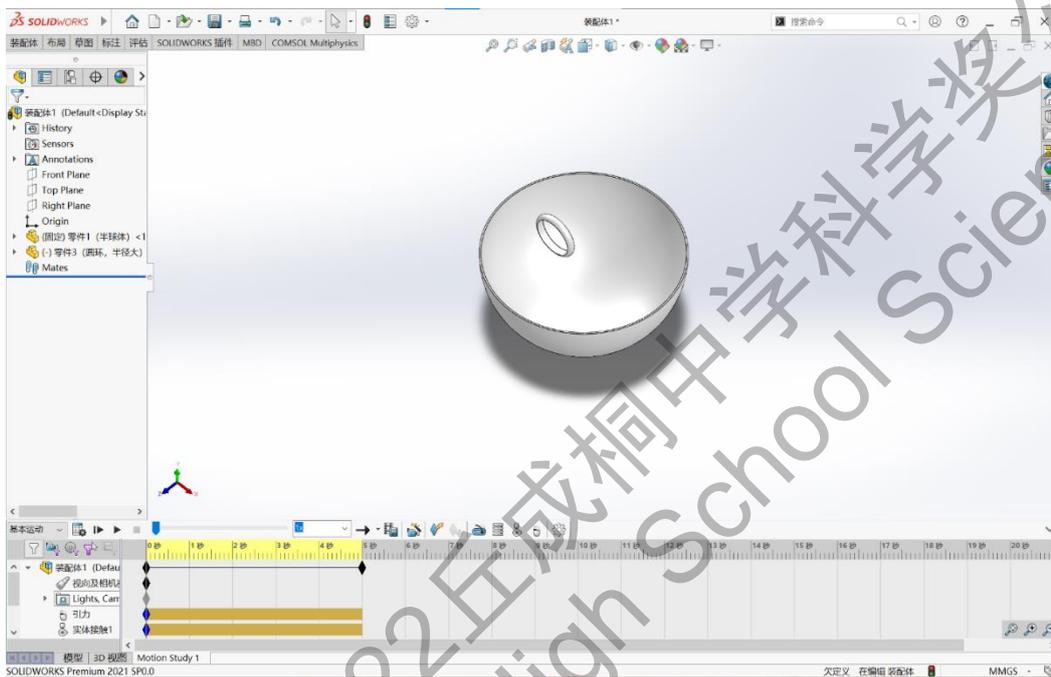
当摩擦力向内侧时，使圆环离心滑动；当摩擦力向外侧时，使圆环向心滑动。

### 3.2 对于实验中观察到的特殊现象的解释

#### 3.2.1 圆环在翻转过程中不经历自转，直接停止运动

当圆环的能量较低时，若圆环此时章动角较大，则它继续因非完全弹性碰撞耗散能量，直到经历亚稳态后停止运动（即不经历自转，直接停止运动）；若圆环此时章动角较小，则它倒下后因非完全弹性碰撞及滑动摩擦耗散能量直至停止；因为圆环能量较低时，章动角一般较小，因此大多数会经历自转阶段。

#### 3.3 利用工程软件对引入摩擦力时圆环运动行为进行仿真



利用 solidworks 对圆环的基本运动行为进行仿真（由于基本运动行为为一般运动行为的特殊状况，简单，具有的自由度少），其中，圆环先滚下，在最低点倒下后沿球面上下摆动（两者类单摆），逐渐因滑动摩擦消耗能量而最终停止运动。

### 3.4 在不同材质、尺寸半球体中的圆环运动行为

从圆环在亚克力半球体中的运动行为中，得到圆环在其中的运动行为与在金属制半球体中一致，而圆环为树脂材料，分别与金属、亚克力间的摩擦系数不同，因此在金属制半球体中更容易出现滑动行为。

从圆环在半径  $r = 0.2 \text{ m}$  的金属制半球体中的行为中，圆环所受的球面约束小，运动空间大，因此会呈现较长时间的“绕八字”阶段。

从金属制圆环在金属制半球体中的运动行为中，金属制圆环更不易发生形变，而其在半球体中的运动行为与上述总结一致（因摩擦力小会频繁出现滑动行为），证明建立刚体这一理想模型的可行性。

## 4 课题结论

### 4.1 圆环在球面上运动的运动规律模式

当圆环在球面上运动时，总结得到它具有三种运动模式：圆环的一般运动模式——为多阶段模式，可分为三个阶段：“绕八字”、翻转、自转，依次经历，但根据圆环在能量较低时的章动角大小不同，可能不会经历自转阶段；当圆环具有某自由度的初角速度时的两种稳定运动模式，分别为其命名为“自旋”、“圆周运动”。每种运动行为的运动特性分别为：

- 1) “绕八字”：该圆环具有滚动特性，在翻转的运动行为基础上叠加自转角变化
- 2) 翻转：圆环与球面产生类似“撵动”行为，同时，间歇性存在碰撞行为
- 3) 自转：运动行为类似欧拉盘，运动区域基本固定于球面底端
- 4) “自旋”：圆环自身不断绕法线（过接触点，垂直于球面）旋转，运动呈稳定态
- 5) “圆周运动”：圆环在球面上不断滚动，类似天体运动，圆环接触点轨迹图类似行星公转轨道

### 4.2 真实情况下圆环在球面上运动时的能量耗散

- 1) 滑动摩擦：圆环在半球体内运动时相对于内壁会有相对滑动，因滑动摩擦耗散能量
- 2) 圆环在碰撞半球体侧壁时的非完全弹性碰撞
- 3) 真实情况下，圆环不是刚体，会发生形变，材料内部分子间作用力不断做功，将机械能转化为内能

### 4.3 圆环在球形约束平面内的运动学分析

刚性圆环在球面上运动时的拉格朗日量为：

$$L = \frac{1}{2}m(\dot{X}'^2 + \dot{Y}'^2 + \dot{Z}'^2) + \frac{1}{4}mr^2\dot{\theta}^2 + \frac{1}{4}\cos^2\theta mr^2\dot{\psi}^2 + \frac{1}{2}mr^2\dot{\phi}^2 - mg(Z')$$

其中： $X' = X - r \cos \theta \cos \psi$ ； $Y' = Y - r \cos \theta \sin \psi$ ； $Z' = Z + r \sin \theta$ ；

X、Y、Z 为圆环接触点坐标； $\theta$  为章动角； $\psi$  为进动角； $\phi$  为自转角。

### 4.4 利用工程软件对圆环运动行为仿真

利用 solidworks 对圆环的基本运动行为进行仿真，得到球面上的类单摆行为，并且在滑动摩擦的耗散下，圆环逐渐在球面最低区域停止运动。

## 5 展望

对于理论方面，希望能进一步定量分析摩擦力对刚性圆环在球面上的运动行为的影响；使基于有限元分析的圆环运动仿真更加准确，找到更能精准预判圆环运动行为的算法，模拟出圆环的“活泼”的运动行为；对于实验层面，希望能进一步改善实验数据的获取方式，例如直接获得圆环的五个自由度的值以及对其求导（即该自由度的初速度）以进行理论和实验的更好结合分析。

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示  
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

## 参考文献

- [1]Ricardo López-Ruiz and Amalio F Pacheco 2002 Eur. J. Phys. 23 579
- [2]刘延柱. 趣味刚体动力学[M]. 1. 高等教育出版社, 2008-9.
- [3]刘锋, 李国平. 浅析欧拉角的定义及应用[J]. 数学学习与研究, 2021(02):150-152.

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示  
2022 S.-T. Yau High School Science Awards

## 致谢

奇妙的缘分让我见识了小圆环在半球形碗中的滚动，完全出乎我意料的是，它的运动异常活泼，甚至可以称得上是“妖娆”。它在碗里欢快地滚动，似跳舞一般扭来扭去，跌倒了还会“爬”起来，非常顽强。圆存在于我们周围世界的各个角落里，小到充满童趣的滚铁环，大到行星公转轨道，整个宇宙到处都有它的形迹。见惯了圆在平面上运动的我，怀着满满的好奇，尝试用科学的眼光探索圆的奥秘。

在本校方德鑫老师（控江中学科技辅导员），与复旦大学沈健老师（英才计划中我的导师）及其团队的无偿指导下我完成了题为《在球形碗内“跳舞”的圆环的动力学研究》研究性课题。在此，我对我的指导老师们表达深深的感谢。

此次论文撰写中，两位老师针对我的题目与摘要修改给予了宝贵的建议，他们对课题的见解使我将课题研究得更加完善，对问题的物理性质认识得更加透彻，方德鑫老师就如何选取合适的自由度对圆环的运动行为进行准确描述给出了指导性建议；沈健老师则就如何使用工程软件 SOLIDWORKS 对圆环运动行为进行仿真给出了指导。本人独立完成了论文正文的撰写，相关程序的设计及图像的绘制与其中配图的拍摄、编辑、排版与说明。

在此，本人对所有在本课题研究过程中给予帮助，使课题研究顺利进展的老师、同学们表达真挚的感谢。

学生简介：张瑞琦，就读于上海市控江中学高三年级，是 2021 级英才计划物理学科学员，年末被评为优秀学员。在培养期间，完成了课题《在球形碗内“跳舞”的圆环的动力学研究》，因此入选 2022 ISEF（英特尔国际科学与工程大奖赛）国家队，成为“REGENERON INTERNATIONAL SCIENCE AND ENGINEERING FAIR 2022” Finalist。利用课余时间，完成课题《关于竹蜻蜓起飞条件和飞行最大高度的相关因素的研究》；作为队长与校队员一起参加上海市第六届物理学术竞赛并获得二等奖；曾参加高校科学营复旦分营，被评为优秀营员；在第四届世界顶尖科学家论坛，因表现优异，被主办方邀请制作个人专题片：《我的创新故事》；作为志愿者协助主办方举行 2022 “英才计划”物理学科冬令营活动，圆满完成；英才风采案例刊登于《中国科技教育》。



导师简介：方德鑫，控江中学科技辅导员，担任物理及通用技术学科教学。曾多年组织并带领校学术竞赛社团成员参加国家、市、区级团队比赛，并多次获得全国中学生物理创新竞赛二三等奖，上海市物理学术竞赛特等奖，丘成桐中学科学奖优胜奖等。



沈健，复旦大学“浩清”讲席教授，国家特聘专家（千人计划）。2010-2020 年任复旦大学物理系主任。现任复旦大学微纳电子器件与量子计算机研究院院长、应用表面物理国家重点实验室主任、微纳加工实验室主任，中国物理学会磁学分委会主任。



沈健长期从事低维磁性及自旋输运的实验研究，在国际 SCI 杂志上发表学术论文 150 余篇，在包括 APS、MRS、AVS、MMM、Intermag 等重大国际会议上做邀请报告百余次，2012 年被特邀在美国物理学会年会的 McGroddy Prize, Adler Lectureship and Pake Prize 的获奖分会上做特邀报告。担任 2012 年在温哥华举行的国际应用磁学大会（Intermag）主席。曾获包括 1996 年德国

马普学会 Otto-Hahn 奖章，美国总统青年科技奖（2003，美国政府给予青年科学家的最高奖励）和美国能源部杰出青年科学家奖（2003）等多项奖励；2011 年，当选为美国物理学会会士（APS Fellow）。

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示  
2022 S.-T. Yau High School Science Awards