

# 基于 HTML5 的牛顿环与弦振动的演示

## 一、课题设计：

### 1. 牛顿环

#### 1.1 牛顿环基本原理

牛顿环基本原理为薄膜干涉的等厚干涉。

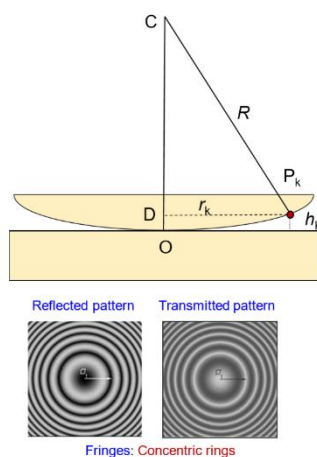


图 1 牛顿环原理图

用一个曲率远大于视野尺寸的凸透镜的凸面与平面玻璃接触，两面之间会形成空气膜。当用单色光垂直照射牛顿环表面时，会观测到以接触点为圆心、明暗交替的同心圆条纹。反射条纹中心接触点为暗圆纹，透射条纹中心接触点为亮圆纹。如图 1 所示。

各条纹半径公式推导：

$$\text{光路差: } \Delta L(P) \approx 2h + \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{亮条纹光路差: } \Delta L(P) = k\lambda$$

$$\text{亮条纹半径: } r_k = \sqrt{\left(k - \frac{1}{2}\right) R\lambda}, \quad k=1, 2, 3, \dots$$

$$\text{暗条纹光路差: } \Delta L(P) = (k + 1/2)\lambda$$

$$\text{暗条纹半径: } r_k = \sqrt{kR\lambda}, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

#### 1.2 牛顿环元件的小角度倾斜

在实际的牛顿环实验中，入射光线，平玻璃板与凸透镜都可能出现小角度倾

斜。因此分析这些小角度倾斜对于实验结果的影响程度就很有意义。这三种倾斜的角度都很小， $L\sin\alpha \ll R$ ，其中  $L$  为平玻璃板直径（视野直径）， $R$  为凸透镜曲率半径， $\alpha$  为平玻璃板倾斜角度。

### 1.2.1 平玻璃板小角度倾斜

平玻璃板出现小角度倾斜时，如图 2 所示，平玻璃板与凸透镜的接触点会发生偏移，偏移距离为： $d = R\sin\alpha$ ，其中  $R$  为凸透镜曲率半径， $\alpha$  为平玻璃板倾斜角度。

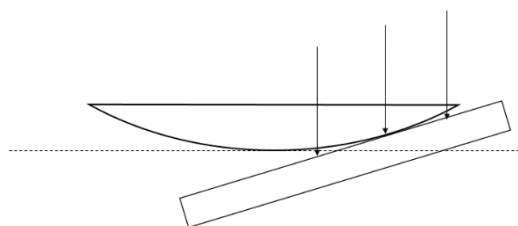


图 2 平玻璃板小角度倾斜

（原理图为显示明显画了大角度，实际为小角度倾斜）

由图示可以计算出，离接触点相同距离的圆上光路差仍相等，因此干涉条纹不会变形，仍为以接触点为半径的同心圆。在倾斜角度很小时，光路差会受到影响略有改变， $\Delta L(P) \approx \frac{2h}{\cos\alpha} + \lambda/2$ ，其中  $\alpha$  为平玻璃板倾斜角度， $h$  为垂直于平玻璃板的光路差。

### 1.2.2 入射光线小角度倾斜

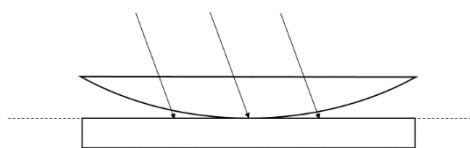


图 3 入射光线小角度倾斜

（原理图为显示明显画了大角度，实际为小角度倾斜）

入射光线小角度倾斜时，如图 3 所示。平玻璃板与凸透镜的接触点不会发生偏移。在倾斜角度很小时，光路差会受到影响略有改变，与 1.2.1 中计算方式相同。

### 1.2.3 凸透镜小角度倾斜

凸透镜小角度倾斜时,如图 4 所示。平玻璃板与凸透镜的接触点会发生偏移,

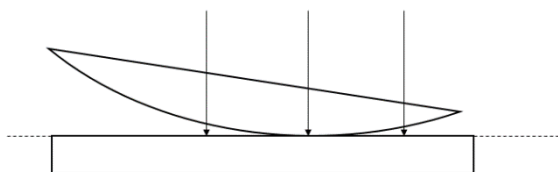


图 4 凸透镜小角度倾斜  
(原理图为了显示明显画了大角度,实际为小角度倾斜)

偏移距离为:  $d = R \cdot \alpha$ , 其中  $\alpha$  为凸透镜倾斜角度。虽然凸透镜上表面倾斜不与平玻璃板平行,但对于光路差没有影响,因此对于干涉条纹的半径与形状都没有影响。此时的干涉条纹与不倾斜时相比只产生整体位移。

### 1.3 激光牛顿环

激光牛顿环的单色性好、相干性好,相干长度长,用激光作光源观察牛顿环时,只需要使用一块凸透镜。普通的牛顿环将凸透镜与平玻璃板压在一起,由于重力影响,接触点处会有轻微的变形,对牛顿环的观测略有影响,一般处理数据时会避免选取接触点附近的数据;而使用激光牛顿环,只使用一块凸透镜,可以将其竖直放置进行实验,排除了变形的因素,可以更准确的测量凸透镜曲率半径。

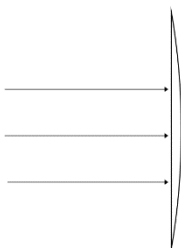


图 5 激光牛顿环

光路差:  $\Delta L(P) \approx 2h$ , 其中  $h$  为凸透镜在该点的厚度。

## 2. 弦线上波的传播规律 (驻波)

这个实验是物理实验 (上) 其中一个实验。将实物实验用 HTML5 进行模拟。

驻波即两列沿相反方向传播的振幅相同、频率相同的波叠加时形成,常常由来自于同一振动源的入射波和反射波相叠加形成。

驻波的公式推导如下:

弦上横波的波动方程： $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T}{\mu} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial z^2}$

与波动方程相比： $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = v^2 \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$

可得波长： $\lambda = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ ，其中  $\mu$  为弦的线密度， $T$  为弦上张力， $f$  为振动频率。

## 二、实验过程：

### 1. 牛顿环

#### 1.1 绘制牛顿环

牛顿环的基本演示使用钠黄光，波长  $5.893 \times 10^{-7}$  m。视野边长实际大小为 0.004m，在绘制中对应 50 个像素。

(1) 计算视野内每一点对应的光程差，当光路差为  $\Delta L(P) = k\lambda$  时绘制亮点，当光路差为  $\Delta L(P) = (k + 1/2)\lambda$  时绘制暗点，可据此绘制出亮条纹线与暗条纹线。亮点使用亮黄色，暗点使用黑色；

(2) 视野中的其他过渡点填充颜色：以亮条纹线和暗条纹线的中间为分界线，亮条纹线与分界线之间填充黄色，暗条纹线与分界线之间填充深灰色；

(3) 可调节参数：镜面曲率半径  $R$ ，调节半径范围为 0.4m-2m；

#### 1.2 牛顿环元件的小角度倾斜

在平玻璃板小角度倾斜、入射光线小角度倾斜、凸透镜小角度倾斜三种情况下，同样计算视野内每一点对应的光程差，绘制牛顿环。记录牛顿环圆心与视野中心的距离  $d$ ，验证理论推导得到的偏移公式  $d = R \sin \alpha$ ， $d = R \cdot \alpha$ 。

#### 1.2 激光牛顿环

直接使用 canvas 进行绘图，绘图过程同绘制普通牛顿环。

### 2. 弦线上波的传播规律

振动源频率可调节范围为 1Hz-100Hz，弦上张力可调节范围为 1-5 个 45g 砝码，铜质弦的线密度为 0.0004 kg/m，总弦长为 1.6m。

实现步骤：

(1) 使用 canvas 画出弦的状态：将整条弦细分为像素为 1 的小像素点，像素点间用直线连接，整体呈现曲线；

(2) 按下启动振动源按键后, 调用 `requestAnimationFrame` 实现动画效果;

(3) 改变张力和频率时计算波长移动定滑轮位置。

### 三、实验结果及分析:

#### 1. 牛顿环

普通牛顿环演示:

可调节参数为镜面曲率半径。



图 6 普通牛顿环理论模拟展示  
(左图为曲率半径 1.8m 时, 右图为曲率半径 0.8m 时)

不同小角度倾斜下的牛顿环如图所示:

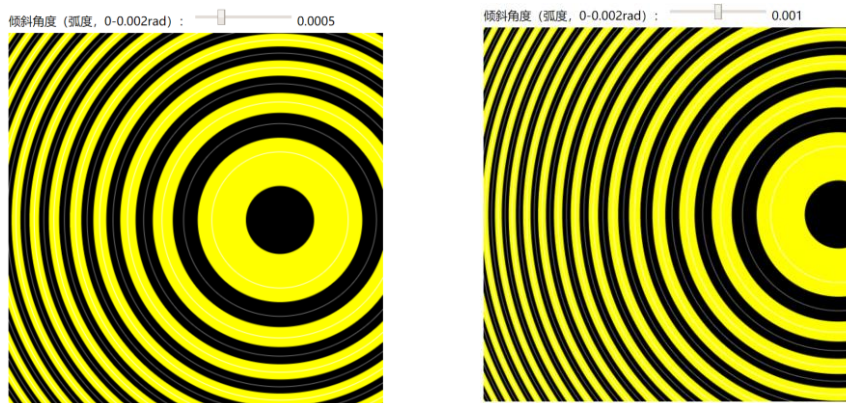


图 7 平玻璃板不同小角度倾斜下的牛顿环展示

激光牛顿环如图所示：

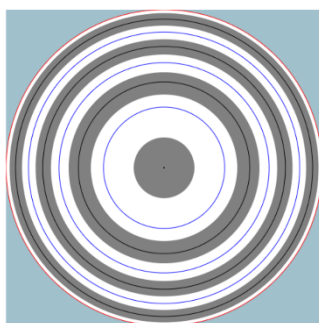


图 8 激光牛顿环

## 2. 弦线上波的传播规律

模拟结果如图所示：

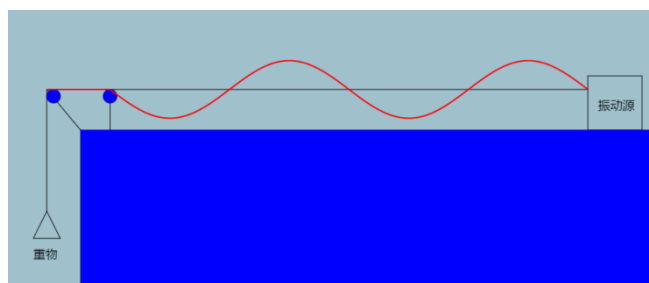


图 9 弦线上波的传播模拟

可以用于探究：弦上张力一定时观察驻波波长随振动源频率的变化；振动源频率一定时观察驻波波长随弦上张力的变化。

可调节的参数有：弦上张力、振动频率。调节这些参数后，系统可自动计算驻波波长，并改变滑轮位置绘制形成驻波。也可以手动调节定滑轮。

当在振动过程中需要进行数据测量时，可按暂停键停留在当前位置进行测量。本模拟系统可以进行驻波产生条件的探究实验。

## 四、实验结论：

### 1. 牛顿环

使用 HTML5 网页模拟工具，首先模拟出了普通牛顿环的等厚干涉条纹，与实际拍摄的牛顿环等厚干涉条纹相符合。其次，探究了三个牛顿环元件在出现小倾角时对于牛顿环测量的影响，其中，凸透镜小角度倾斜时，干涉条纹会发生整体位移，位移距离符合  $d = R \cdot \alpha$ ；平玻璃板出现小角度倾斜时，干涉条纹会发生整体位移，满足  $d = R \sin \alpha$ ，同时牛顿环条纹没有拉伸变形，仍为同心圆，但同心

圆半径有所偏差；入射光线小角度倾斜时，干涉条纹没有整体位移，但同心圆半径与平玻璃板倾斜时相同会出现偏差。最后，对激光牛顿环进行了演示。

## 2. 弦振动

将在实验室实物做过的实验“弦线上波的传播规律”进行了 HTML5 的模拟。可调节弦上张力、振动频率的参数，进行驻波产生条件的探究实验。包括弦上张力一定时观察驻波波长随振动源频率的变化；振动源频率一定时观察驻波波长随弦上张力的变化。

## 五、参考文献：

- [1] 赵凯华, 钟锡华. 光学 (上册)[M]// 光学, (上册). 北京大学出版社, 1984.
- [2] 复旦大学物理实验中心, 弦线上波的传播规律实验,  
<http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:common:xxzb>