

# 光纤传感器实验

## 一、实验简介

光纤特性的研究和应用是20世纪70年代末发展起来的一个新的领域。光纤传感器件具有体积小、重量轻、抗电磁干扰强、防腐性好、灵敏度高等优点；用于测量压力、应变、微小折射率变化、微振动、微位移等诸多领域。特别是光纤通信已经成为现代通信网的主要支柱。光纤通信的发展极为迅速，新的理论和技术不断产生和发展。因此，在大学物理实验课程中开设“光纤特性研究实验”已经成为培养现代高科技人才的必然趋势。传感器是信息技术的三大技术之一。随着信息技术进入新时期，传感技术也进入了新阶段。“没有传感器技术就没有现代科学技术”的观点已被全世界所公认，因此，传感技术受到各国的重视，特别是倍受发达国家的重视，我国也将传感技术纳入国家重点发展项目。

光纤特性研究和应用是一门综合性的学科，理论性较强，知识面较广，可以激发学生对理论知识的学习兴趣，培养学生的实践动手和创新能力，光纤干涉系列实验教学的开设就显得非常重要了。基于这个目的，我们对光纤干涉实验教学进行了初步探索，在此基础上，该实验还可以进行一些设计性及研究性实验。

## 二、实验原理

### 1. 光纤的基础知识

光纤的基本结构如图1，它主要包括三层(工程上有时有四层或五层，图中是四层结构)：1. 纤芯；2. 包层；3. 起保护作用的涂敷层；4. 较厚的保护层。

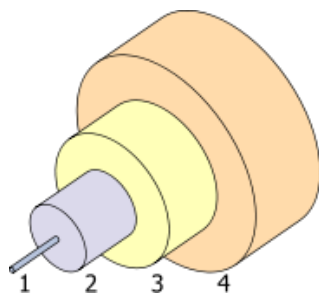


图1 光纤剖面图

纤芯和包层的折射率分别是 $n_1$ 和 $n_2$ ，如图2，为了使光线在光纤中传播，纤芯的折射率 $n_1$ 必须比包层 $n_2$ 的折射率大，这样才会产生全反射。光线1以 $\theta$ 角入射在光纤端面上，光线经折射后进入光纤，以 $\varphi$ 角入射到纤芯和包层间的光滑界面上。只要我们选择适当的入射角 $\theta$ ，总可以使 $\varphi$ 角大于临界角 $\varphi_m$ ， $\varphi_m$ 的大小由公式 $\varphi_m = \arcsin(n_2/n_1)$ 决定，使光线1在界面上发生全反射。全反射光线1又以同样的角度 $\varphi$ 在对面界面上发生第二次反射。如果光纤是均匀的圆柱体，入射光线经无数次反射后从另一端以和入射角相同的角度射出。(思考：该原理是否可以帮助测量数值孔径)

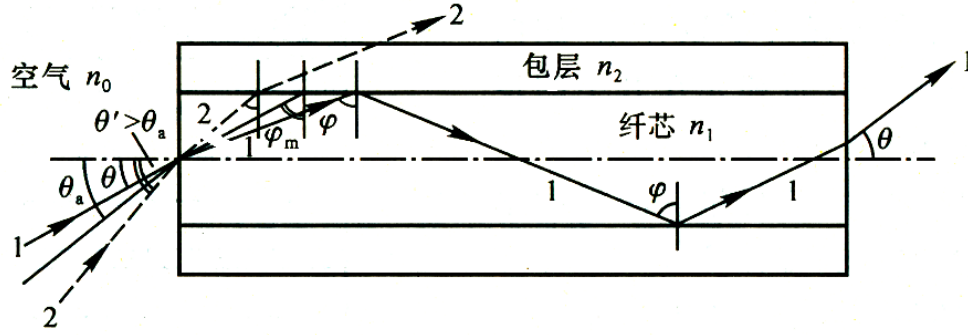


图2 圆柱形光纤传光原理

在光纤断面上，当光线入射角小于一个定值 $\theta_a$ 时，折射光线在纤芯和包层界面上的入射角 $\varphi$ 才会大于临界角 $\varphi_m$ ，光线才能在光纤内多次全反射而传递到另一端。在光纤端面上，入射角 $\theta' > \theta_a$ 的那些光线，折射后在界面上的入射角小于临界角 $\varphi_m$ ，光线将射出界面，如图中光线2。这个入射角 $\theta_a$ 称为光纤的孔径角，它的数值由光纤的数值孔径决定。光纤的数值孔径 (NA) 定义为

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1)$$

式中 $n_0$ 是入射光线所在介质的折射率， $n_1$ 和 $n_2$ 分别为光纤的纤芯和包层的折射率。由式(1)可见，纤芯和包层的折射率相差越大， $\theta_a$ 越大，光纤的数值孔径就越大。数值孔径是表示光纤集光能力的一个参量，它越大就表示光纤接收的光通量越多。

## 2. 光纤的耦合

光纤与光源的耦合有直接耦合和经聚光器件耦合两种。聚光器件有传统的透镜和自聚焦透镜之分。自聚焦透镜的外形为“棒”形(圆柱体)，所以也称之为自聚焦棒。实际上，它是折射率分布指数为2(即抛物线型)的渐变型光纤棒的一小段。

直接耦合是使光纤直接对准光源输出的光进行的“对接”耦合。这种方法的 操作过程是：用光纤剥线钳剥去保护层和涂敷层，清理干净光纤包层，然后用宝石刀切割，制备出平整的光纤端面；调整激光器和纤芯置的相对位置，使光纤输出端的输出光强最大，然后固定。如果光源输出光束的横截面面积大于纤芯的横截面面积，将引起较大的耦合损耗。

经聚光器件耦合是将光源发出的光通过聚光器件将其聚焦到光纤端面上，并调整到最佳位置(光纤输出端的输出光强最大)。光耦合效率与光纤端面质量和耦合透镜的数值孔径有关，当光纤断面处理的质量较好，数值孔径与耦合透镜数值孔径相匹配时可得到最佳耦合效率。这种耦合方法能提高耦合效率。耦合效率 $\eta$ 的计算公式为

$$\eta = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad \text{或} \quad \eta = -10 \lg \frac{P_1}{P_2} (dB) \quad (2)$$

式(2)子中 P1 为耦合进光纤的光功率(近似为光纤的输出光功率)。P2 为光源输出的光功率。

### 3. 光纤干涉仪的相位调制机制

当真空中波长为 $\lambda_0$ 的光入射到长度为 $l$ ，纤芯折射率为 $n$ 的光纤上时，若以其入射端面为基准，则出射光的相位为

$$\varphi = k_0 n l = k l \quad (3)$$

式中 $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ ,  $k = k_0 n$

显然， $k$ ,  $n$  及  $l$  的变化都会导致光波相位的变化，即实现相位调制，由式(3)有

$$\Delta\varphi = \Delta(kl) = k_0 l \Delta n + k_0 n \Delta l \quad (4)$$

光纤长度和直径的变化以及折射率的变化都会引起相位调制。

温度变化对相位调制的作用：有式(4)有

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T} = k_0 \left( l \frac{\Delta n}{\Delta T} + n \frac{\Delta l}{\Delta T} \right) \quad (5)$$

及

$$\frac{\Delta\varphi}{l \Delta T} = k_0 \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + \frac{n \Delta l}{l \Delta T} \right) \quad (6)$$

### 4. 光纤干涉仪的结构与测温原理

光纤干涉仪由两臂组成，一个是参考臂，提供相位基准；另一个是传感臂，用于光相位调制，对待测物理量的变化敏感。由氦氖激光器发出的激光经分束器分成两路，分别送入两根长度基本相同的单模光纤。将两根光纤的输出端并合到一起，在输出光斑重叠区将出现干涉光场。

测量臂光纤受到温度场作用，纤芯折射率和几何长度会有一微小变化，使沿此臂传播的光波光程发生变化，则两臂输出端光波相位差发生变化，从而引起干涉场干涉条纹的移动。显然，干涉条纹的移动数目反映出温度场温度的变化。

测量臂光波相位变化是由温度引起的，由(6)给出了光纤干涉仪的温度灵敏度：

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T * l} = \frac{2\pi}{\lambda_0} * \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + \frac{n \Delta l}{l \Delta T} \right) \quad (7)$$

或者

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi \Delta T} = \frac{1}{n} * \frac{\Delta n}{\Delta T} + \frac{1}{l} * \frac{\Delta l}{\Delta T} \quad (8)$$

式中 $l$ 为测量臂置于温度场部分的长度， $\Delta T$ 为温度变化量， $\varphi = 2\pi/\lambda_0 * n l$ 。当温度变化 $\Delta T$ 时，干涉场中任意一点上干涉条纹的移动数目为 $\Delta m$ ，则相位变化量

$$\Delta\varphi = 2\pi \Delta m \quad (9)$$

当干涉仪用的单模光纤的规格已知时，光纤的温度灵敏度就是确定的值。例如，剥去护套层的石英玻璃光纤，其 $\frac{1}{n} \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} \right) = 0.68 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ，其线性膨胀系数

$\frac{1}{l} * \frac{\Delta l}{\Delta T} = 5.5 * 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ , 代入式(8), 算出裸光纤的温度灵敏度

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi\Delta T} = 0.74 * 10^{-5} / ^\circ\text{C} \quad (10)$$

或者由 $n=1.456$ ,  $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ ,  $\frac{\Delta n}{\Delta T} = 1.0 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ,  $\frac{\Delta l}{\Delta T} * \frac{1}{l} = 5.5 * 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ 及式(7)算出光纤温度灵敏度 $\frac{\Delta\varphi}{l\Delta T} = 107\text{rad}/(^{\circ}\text{C} * \text{m})$ 。

由于石英光纤的热膨胀系数极小( $5.5 * 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ ), 其温度灵敏度几乎完全由折射率变化( $0.68 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ )所决定。为了提高光纤温度灵敏度, 在石英光纤外面包有一层护套层, 使护套层材料的杨氏模量和膨胀系数对光纤的温度灵敏度有较大影响, 这种做法称为对光纤进行温度“增敏”。计算表明, 有护套层的石英光纤灵敏度

$$\frac{\Delta\varphi}{\varphi\Delta T} = 1.64 * 10^{-5} / ^\circ\text{C} \quad (11)$$

比裸光纤( $\frac{\Delta\varphi}{\varphi\Delta T} = 0.74 * 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ )大很多。

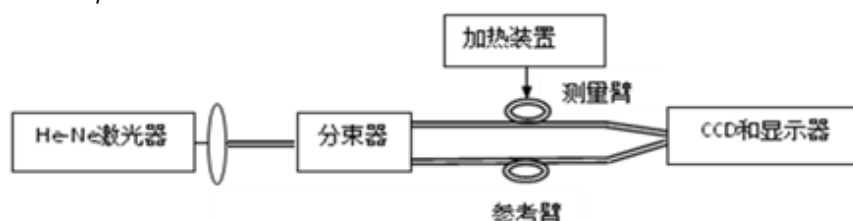


图3 传感器原理图

### 三、实验内容

#### 1. 光纤端面制作说明

用光纤剥线钳剥去涂敷层, 光纤有三层、四层、五层之分, 如果是三层光纤, 先用拨线钳剥去涂敷层, 将剩下的包层和纤芯嵌入光纤夹具, 用宝石刀切割端面, 制备出完好的光纤端面; 若是四层光纤, 应先剥去外保护层, 其它步骤同上; 若是五层光纤, 应先剥去第五和第四保护层, 其它步骤同上。


#### 2. 光纤耦合效率测量

(1) 取一根合适长度的光纤, 切好端面, 将切好端面的光纤固定在五维调整架上, 并使光纤大致对准激光器;

(2) 打开激光器;

(3) 将功率计对准激光器的光出口处, 测量激光器的输出功率, 记录光功率计读数;

(4) 粗调节: 调节五维调整架, 使激光打在光纤端面上, 将光纤的另一端(PC头)旋入功率计测量端口上;


(5) 按下“”键打开光功率计; 按下“ $\lambda$ ”键选择光波长为650nm; 按“

---

W/dBm” 键选择pW为测量单位；

(6) 细调节：仔细调节五维调整架，使得激光与光纤的耦合达到最佳状态，当功率计示数最大时，记录光功率计读数。计算激光与光纤直接耦合的耦合效率；

(7) 将透镜放入五维调整架上，仔细调节五维调整架，使得激光与光纤的耦合达到最佳状态，当功率计示数最大时，记录光功率计读数。计算激光与光纤间接耦合的耦合效率；

(8) 实验完毕后，按光功率计 “” 键关闭光功率计；关闭激光器电源。

### 3. 光纤传感实验

(1) 打开数显调节仪总电源；打开激光器电源，打开显示器电源；

(2) 调节分光装置与聚光装置的支架的竖直高度与水平位置，使经过分束镜分开后的光线，再经棱镜聚合照射到CCD上时，能在显示器上观察到清晰的干涉条纹；

(3) 按下数显调节仪上的温度设定按钮，设置最高加热温度为45° C，弹起温度设定按钮，此时数显调节仪上显示的是将被加热的光纤实时温度；

(4) 打开加热开关，在显示器上选择合适的参考位置，观察条纹变化，当温度示数为31° C时，开始记录数据：条纹每移动3条，记录其对应温度，记录至少10组数据；被加热的光纤长度以仪器上显示的长度计算计算，给出升温时光纤温度灵敏度 $\frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$ ；

(5) 关闭加热电源，加热装置自然降温，在显示器上选择合适的参考位置，观察条纹变化，记录降温时的温度变化数据，给出降温时光纤温度灵敏度 $\frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$ ；

(6) 实验完毕后，关闭所有电源，整理好各仪器。

## 四、实验仪器

光纤传感实验中的实验仪器包括：激光器及电源，光纤夹具，透镜，光纤剥线钳，光纤切割锯，激光功率计，五位调整架，显微镜，光纤传感实验仪，CCD及显示器。

### 激光器及电源：

实验中提供激光光源，发射出波长为 633nm 的光波。



真实仪器



仿真仪器

操作提示：

电源开关：用鼠标点击电源开关按钮，电源打开，激光器发出激光；再次用鼠标点击电源开关按钮，电源关闭，激光消失。

**剥线钳：**

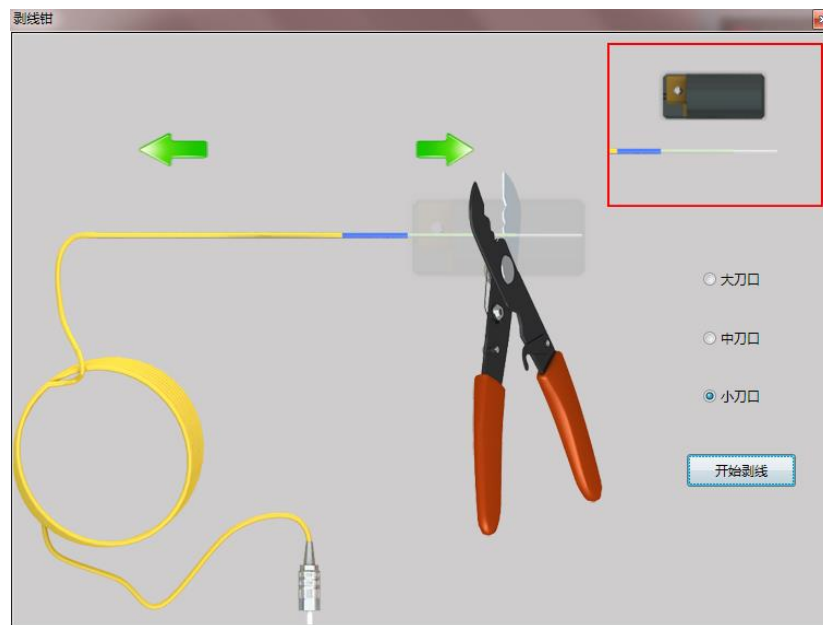
实验中用来剥除光纤外表面的保护层，得到裸露的纤芯。



真实仪器



仿真仪器



仪器双击打开的大视图

操作提示：

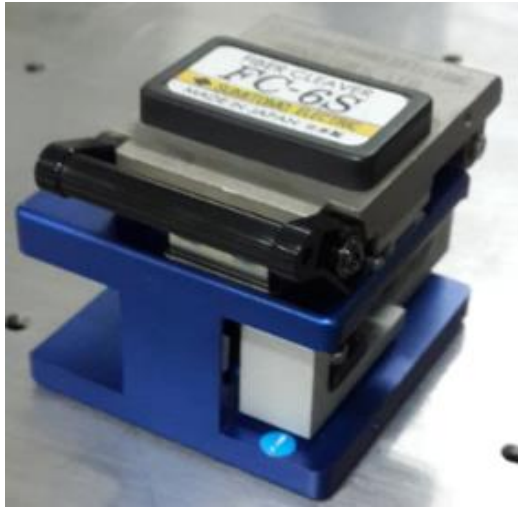
(1) 剥线钳刀口：可鼠标点击选中不同大小的刀口，大刀口用来剥离黄色的包裹层，中刀口用来剥离蓝色的包裹层，小刀口用来剥离淡绿色的涂敷层。剥线时，应依次剥离黄色包裹层、蓝色包裹层和淡绿色的涂敷层。

(2) 剥线钳移动箭头：鼠标点击绿色的向左向右箭头，可左右移动剥线钳，改变需要剥离的光纤长度。

(3) 剥线按钮：点击剥线按钮，可以进行开始剥线及停止剥线操作。

### 光纤切割锯：

实验中用来切割光纤的器具，切割光纤，获得光纤完美的端面。

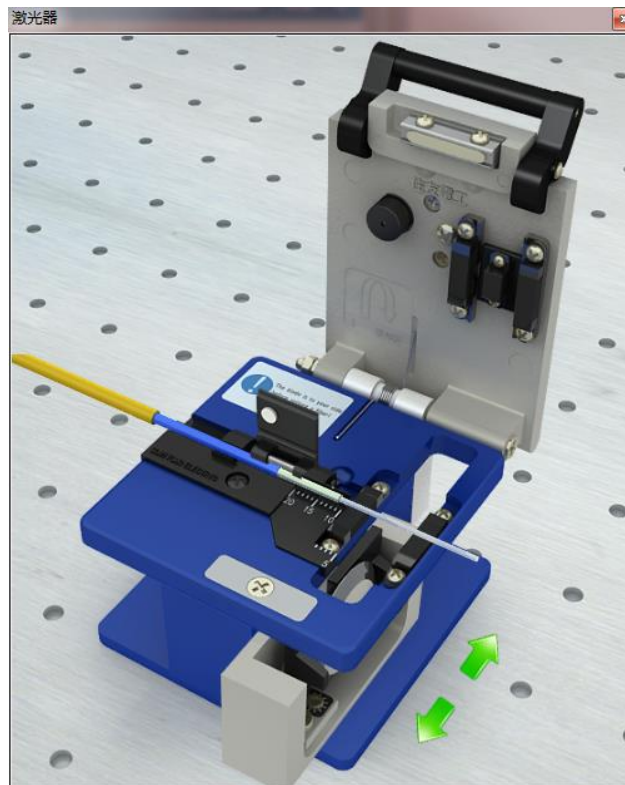


真实仪器



仿真仪器





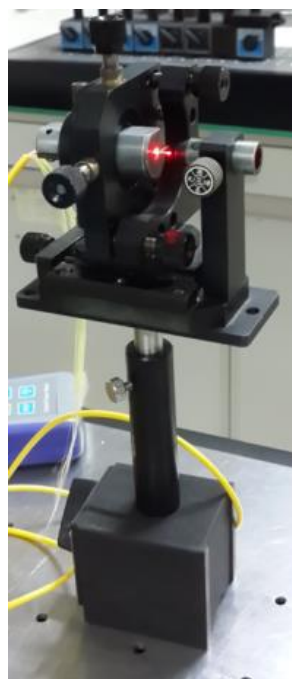
仪器双击打开的大视图

操作提示：

- (1) 光纤切割刀的翻盖：鼠标点击光纤切割刀的翻盖，可打开合上翻盖。
- (2) 固定光纤的翻盖：鼠标点击固定光纤的翻盖，可进行固定光纤的操作。
- (3) 切割刀推动箭头：鼠标点击绿色双向箭头，可推动光纤切割刀的切割刀，进行光纤的切割。

### 五维调整架：

实验中五维调整架用来放置透镜及光纤夹具



真实仪器



仿真仪器



仪器的双击打开大视图

**操作提示：**

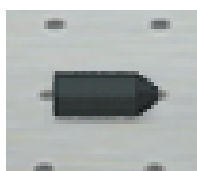
五维调整架调节旋钮：鼠标点击五维调整架的上端旋钮时，可上下调节光纤夹的位置，进而上下改变光纤的位置。点击左侧旋钮时，可左右调节光纤夹的位置。点击五维调整架后端旋钮时，可前后移动光纤夹，进而前后移动光纤端面的位置。鼠标点击五维调整架平面左下方旋钮时，可调节五维调整架平面的倾斜度。调节平面右上方旋钮时，也可调节五维调整架平面的倾斜度。

**透镜：**

光纤传输的间接耦合工具，可用来会聚发出的激光。



真实仪器



仿真仪器

操作提示：

在主场景中，可鼠标点击拖动透镜，鼠标拖动透镜至五维调整架光入射端时，松开鼠标可将透镜放置五维调整架上；也可以鼠标点击放置在五维调整架上的透镜，将其移回到桌面。

**光纤：**

光的传输载体。



真实仪器



仿真仪器

操作提示：

在主场景中，可鼠标点击移动带有耦合头一端的光纤，可将光纤的耦合头移至功率计上与功率计耦合。

---

### 光功率计：

实验中用来测量激光器及光纤输出端的功率。



真实仪器



仿真仪器



仪器的双击打开大视图

### 操作提示：

- 
- (1) 电源键：鼠标点击电源键可打开关闭功率计。
- (2) 波长选择键：鼠标点击波长选择键，仪器处于波长选择状态，并在数码显示窗口的左上角显示当前所选择的波长。
- (3) 相对测量按键：鼠标点击按下该键，可进行光功率的相对测量，参考光功率值即为按此键时的输入光功率的参照值，第二次测量的光功率显示值是相对于参照值的相对值。
- (4) 对数或线性测量方式转换开关按键：每按一次此键，显示方式在“w”和“dBm”之间切换。

### 光纤夹具：

实验中用光纤夹具来固定光纤。



真实仪器



仿真仪器



仪器双击打开的大视图

### 操作提示：

- (1) 在主场景中，可鼠标点击移动光纤夹，拖动光纤夹至五维调整架光出射

---

端后松开鼠标，可将光纤夹放到五维调整架上。也可将放置在五维调整架上的光纤夹移回到实验桌面上。

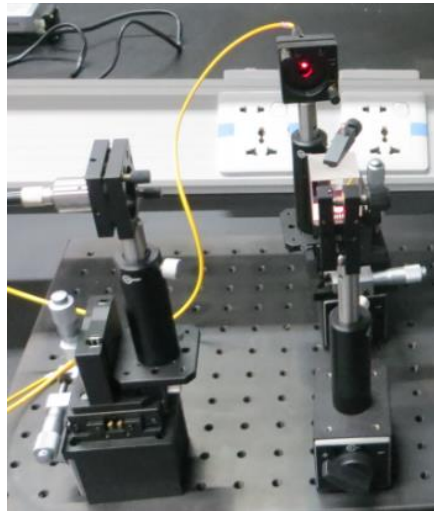
(2) 光纤夹铜片：可以鼠标点击铜片，将铜片移入光纤夹或移出光纤夹。

(3) 光纤夹螺钉：可鼠标点击光纤夹的螺钉，固定或旋松螺钉。

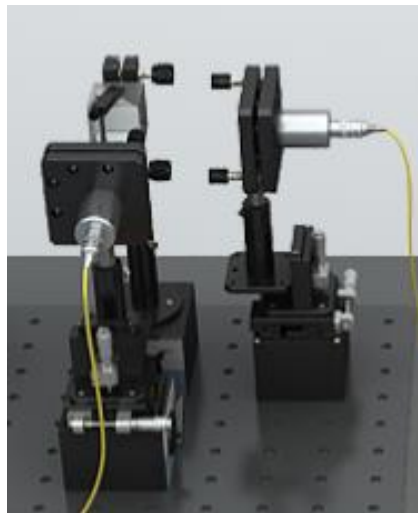
(4) 放置光纤按钮：可点击视图中的按钮，将光线放置在光纤夹里或将光纤从光纤夹里移出。

### 分光装置：

实验中用来将激光器发出的激光分成两束光线



真实仪器



仿真仪器



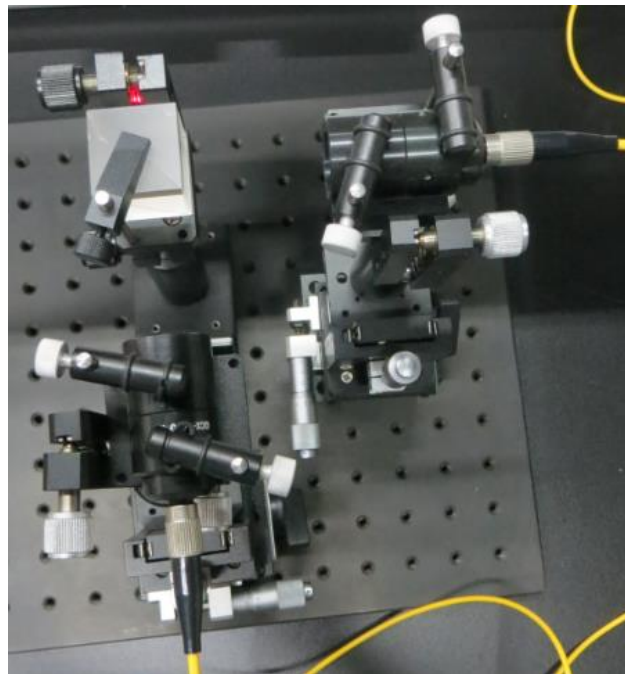
仪器双击打开的大视图

操作提示：

会聚透镜的千分尺旋钮：鼠标点击会聚透镜的千分尺旋钮，可上下左右调节会聚透镜的位置，使两束光线尽可能的通过会聚透镜照射入光纤中。

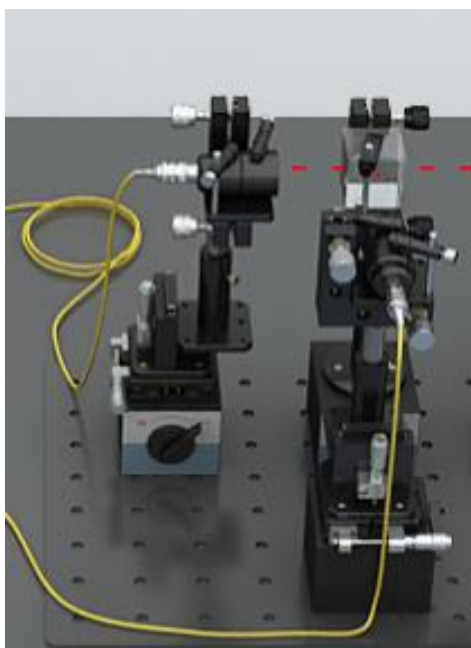
**聚光装置：**

实验中聚光装置用来将两路光纤中的光线通过分束镜会聚在一起，并使会聚后的光线射入 CCD 中。

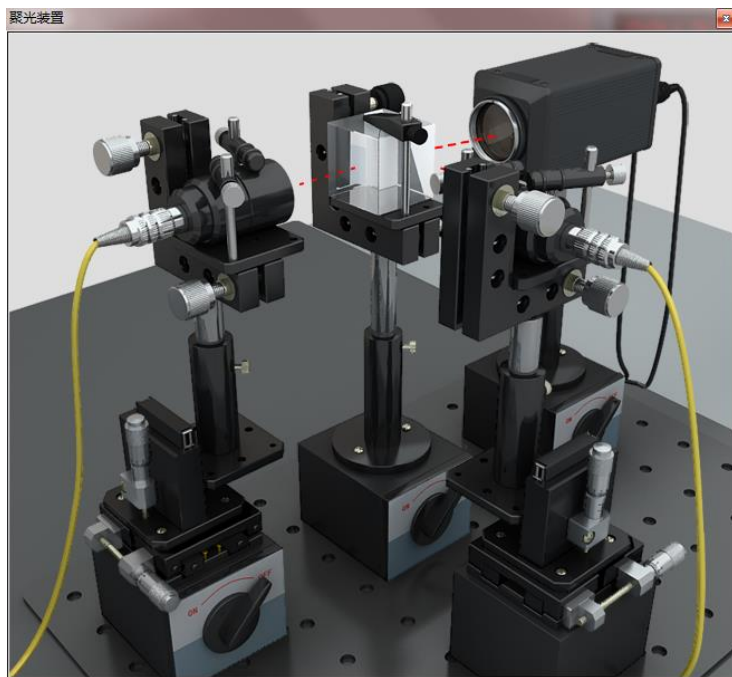


真实仪器





仿真仪器



仪器双击打开的大视图

操作提示：

千分尺旋钮：鼠标点击各个支架的千分尺旋钮，可上下左右调节两束光线的相对位置，使两束光尽可能会聚在一起，并照射入 CCD 中。

**数显调节仪：**

实验中的加热与控温仪器，可以设定环境温度和温度变化速率，用于测量光纤传感器的随温度的变化特性。





真实仪器



仿真仪器



仪器双击打开的大视图

操作提示：

- (1) 开关按钮：鼠标点击“开关”按钮，可打开关闭数显调节仪。
- (2) 加热开关按钮：鼠标点击打开“加热开关”按钮，仪器开始对光纤加热。鼠标再次点击“加热开关”按钮，关闭加热装置，仪器停止对光纤的加热。
- (3) 温速调钮旋钮：鼠标点击“温速调钮”可改变仪器加热时，温度上升的速率。
- (4) 设定/测量按钮及设定旋钮：鼠标点击“设定/测量”按钮，“OFF”处的

---

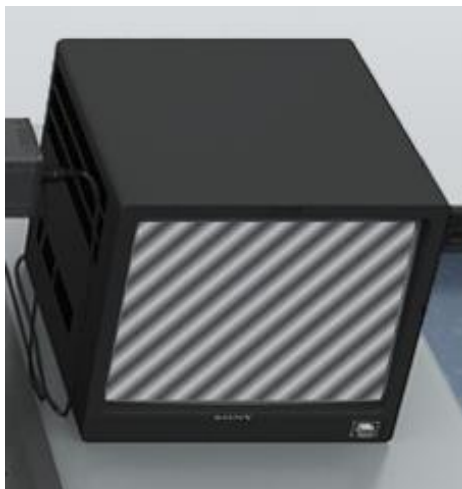
绿灯亮起时，数显仪处于最高温度设定状态，调节“设定旋钮”可升高或降低温度加热的最高温度，且显示屏上显示设定的最高温度的示数，鼠标再次点击“设定/测量”按钮，“ON”处的绿灯亮起时，显示屏上显示仪器当前的温度示数。

**显示器：**

实验中用来观察干涉条纹的仪器。



真实仪器



仿真仪器



双击打开的仪器大视图

操作提示：

显示器开关：鼠标点击显示器的电源开关，可打开关闭显示器，显示器处于打开状态时，可观察两束光线的干涉条纹。

## 五、实验指导

### 实验重点及难点

实验重点：

1. 掌握单模光纤切割的基本方法
2. 理解光纤耦合的直接耦合和间接耦合的基本原理
3. 理解 M-Z 光纤温度传感器的基本工作原理

实验难点：

1. 用宝石刀切割光纤的方法和技巧
2. 光栅耦合测量中间接耦合方法的调整
3. 光纤温度传感器温度延迟的现象及分析

### 辅助功能介绍

界面的右上角的功能显示框：当在普通做实验状态下，显示实验实际用时、记录数据按钮、结束实验按钮、注意事项按钮；在考试状态下，显示考试所剩时间的倒计时、记录数据按钮、结束考试按钮、显示试卷按钮(考试状态下显示)、注意事项按钮。

右上角工具箱：各种使用工具，如计算器等。

右上角 help 和关闭按钮：help 可以打开帮助文件，关闭按钮功能就是关闭实验。

实验仪器栏：存放实验所需的仪器，可以点击其中的仪器拖放至桌面，鼠标触及到仪器，实验仪器栏会显示仪器的相关信息；仪器使用完后，则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

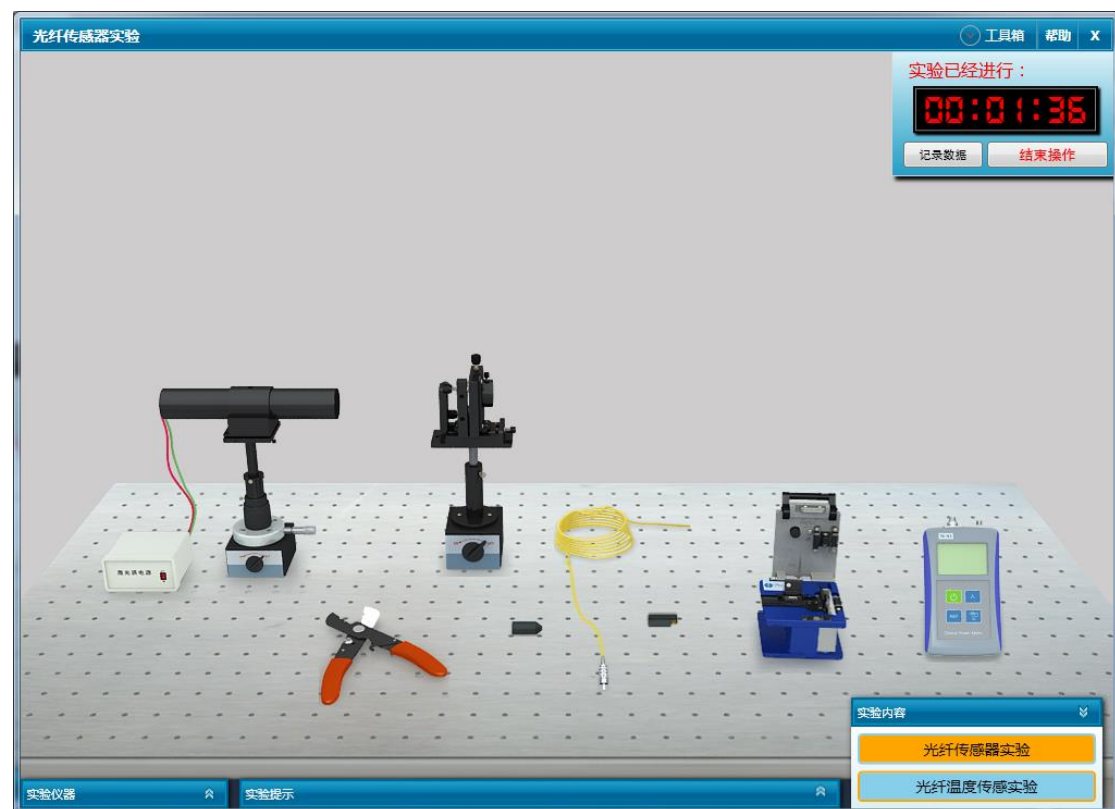
提示信息栏：显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按 **F1** 键可以获得更多帮助信息。

实验状态辅助栏：显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出)，当前实验内容显示为红色，其他实验内容为蓝色；可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后，实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

## 实验操作方法

### 1. 主窗口介绍

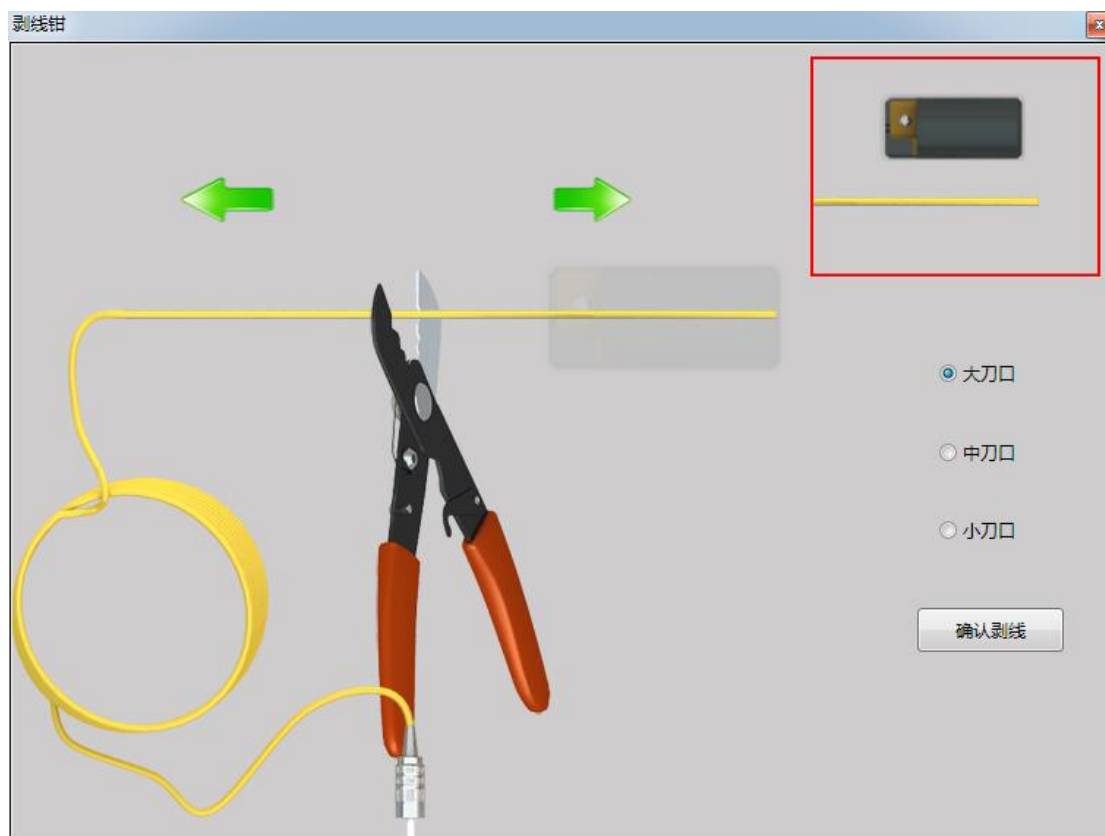
成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示：



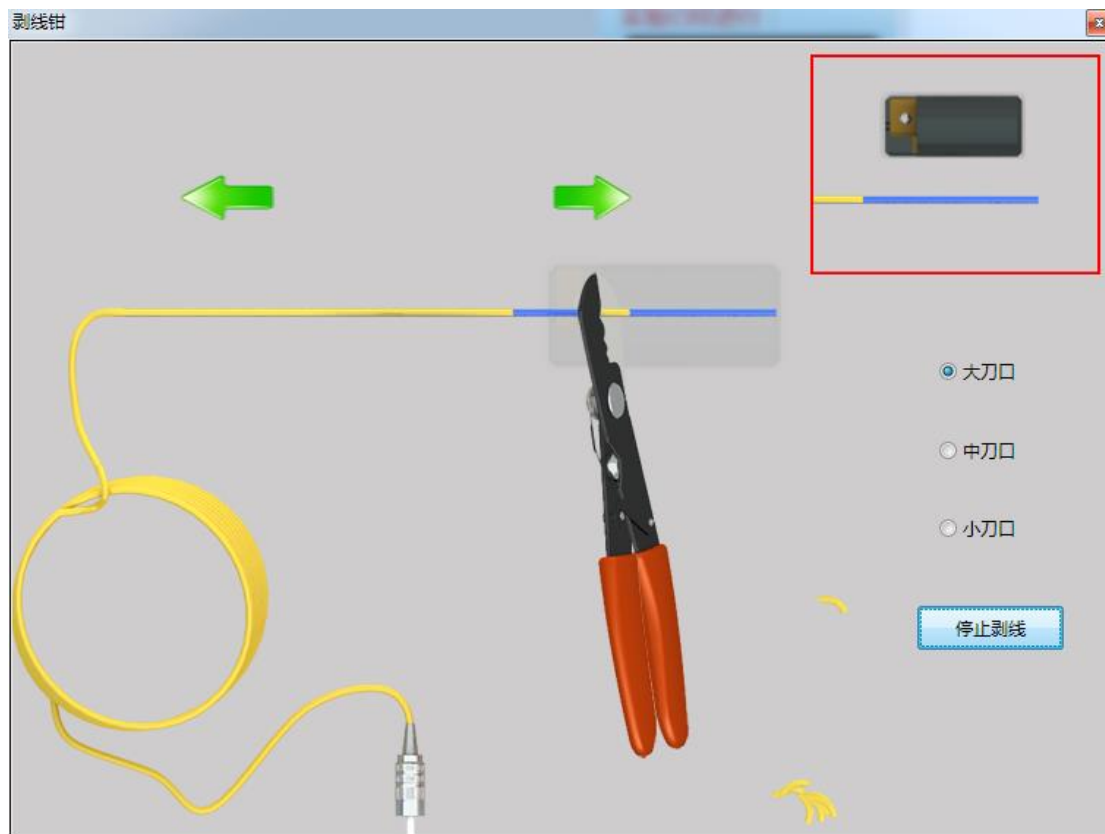
光纤传感器实验主场景图

### 2. 用剥线钳依次剥离光纤外表面的包裹层，获得裸露的光纤。

(1) 在主场景中，鼠标点击剥线钳，双击打开剥线钳大视图。鼠标点击大视图中的绿色双向箭头，可左右移动剥线钳的位置，改变需要剥离的光纤的长度。被剥离的光纤长度，要大于背景图上的光纤夹的长度。

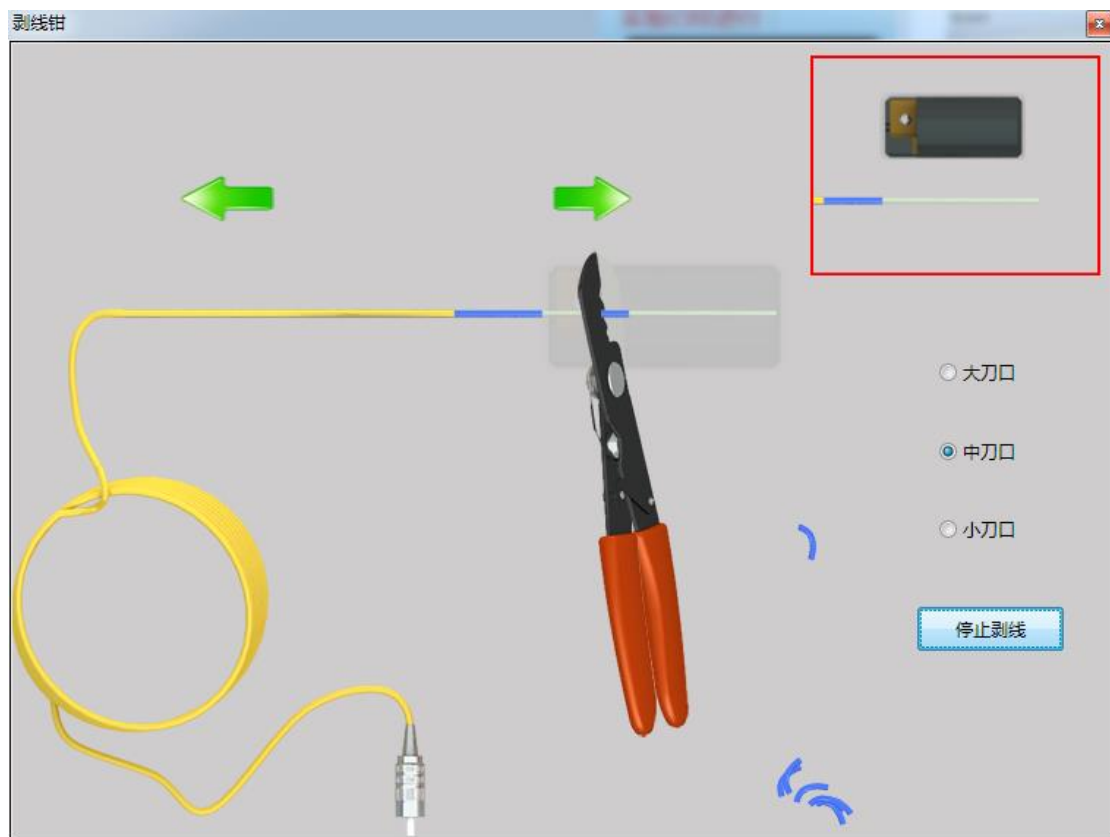


(2) 确定被剥离的光纤长度后，对于光纤表面黄色的包裹层，选择剥线钳的大刀口进行剥离，点击“确认剥线”按钮，开始剥线。

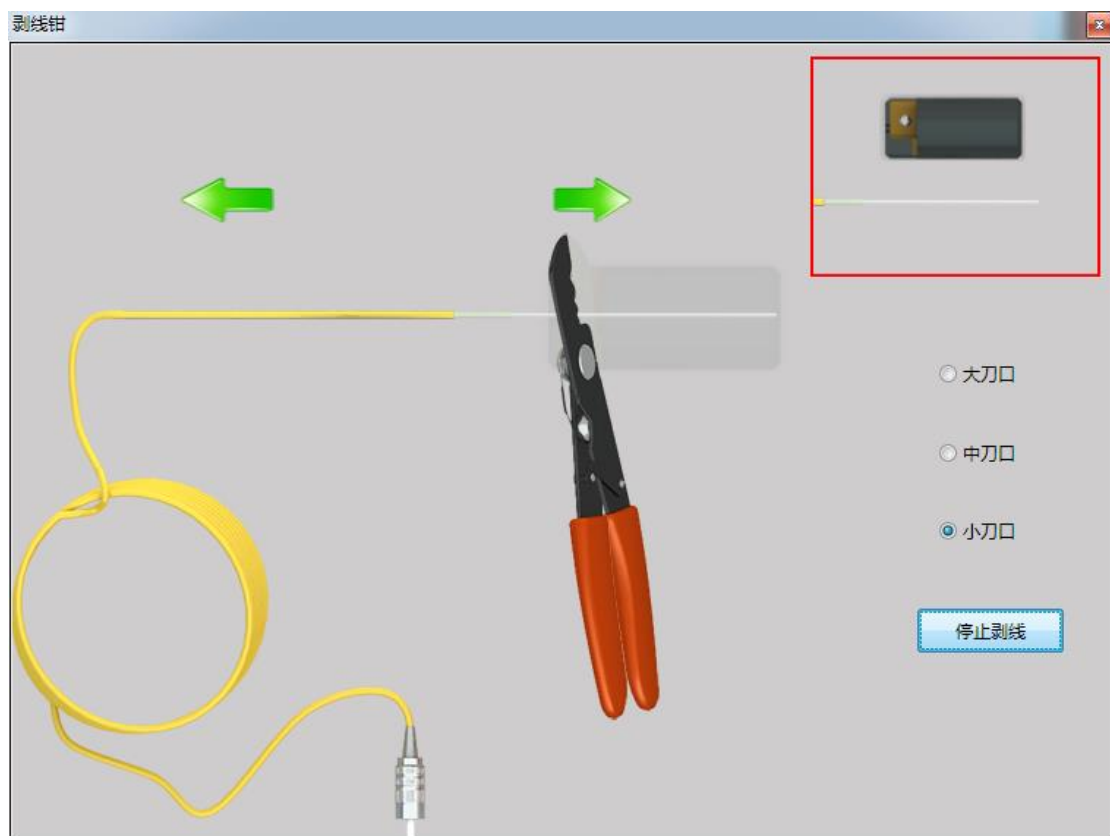


(3) 光纤的黄色包裹层被剥离后，露出蓝色的包裹层，选择剥线钳的中刀口，

进行光纤表面的蓝色包裹层的剥离。



(4) 光纤的蓝色包裹层被剥离后，露出淡绿色的涂敷层，选择剥线钳的小刀口，剥离光纤表面的涂敷层，露出光纤灰色的包层及纤芯。





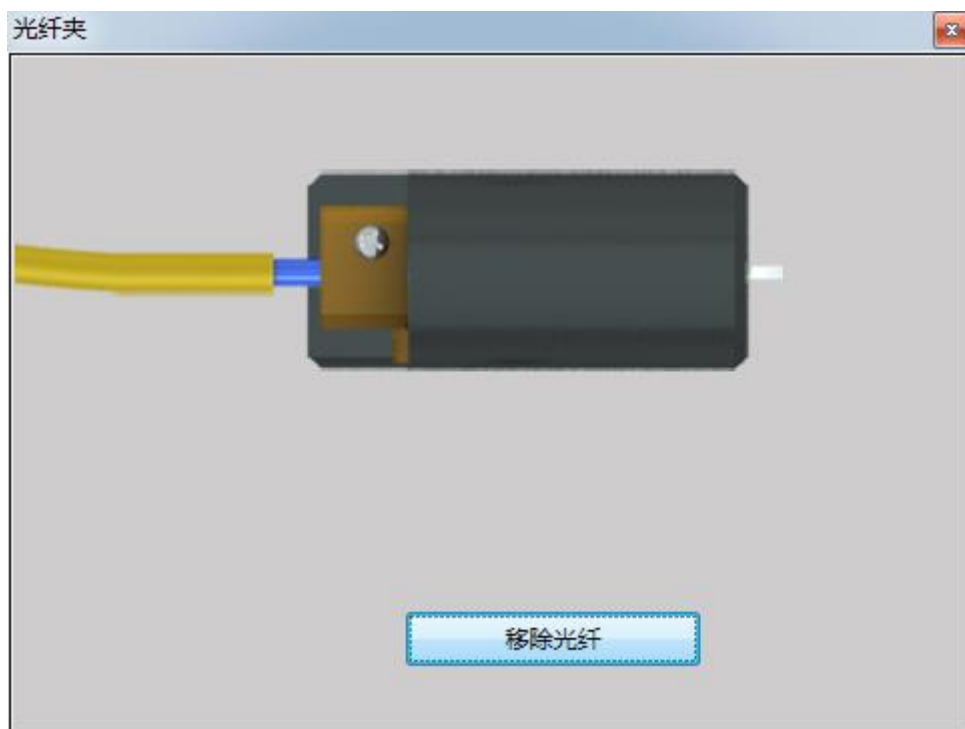
3. 将已经剥离好的光纤放入光纤切割锯里，切割光纤，获得完美的光纤端面。

固定光纤，合上切割具的上盖，向里推动光纤切割刀，切割光纤，获得完美的光纤端面。



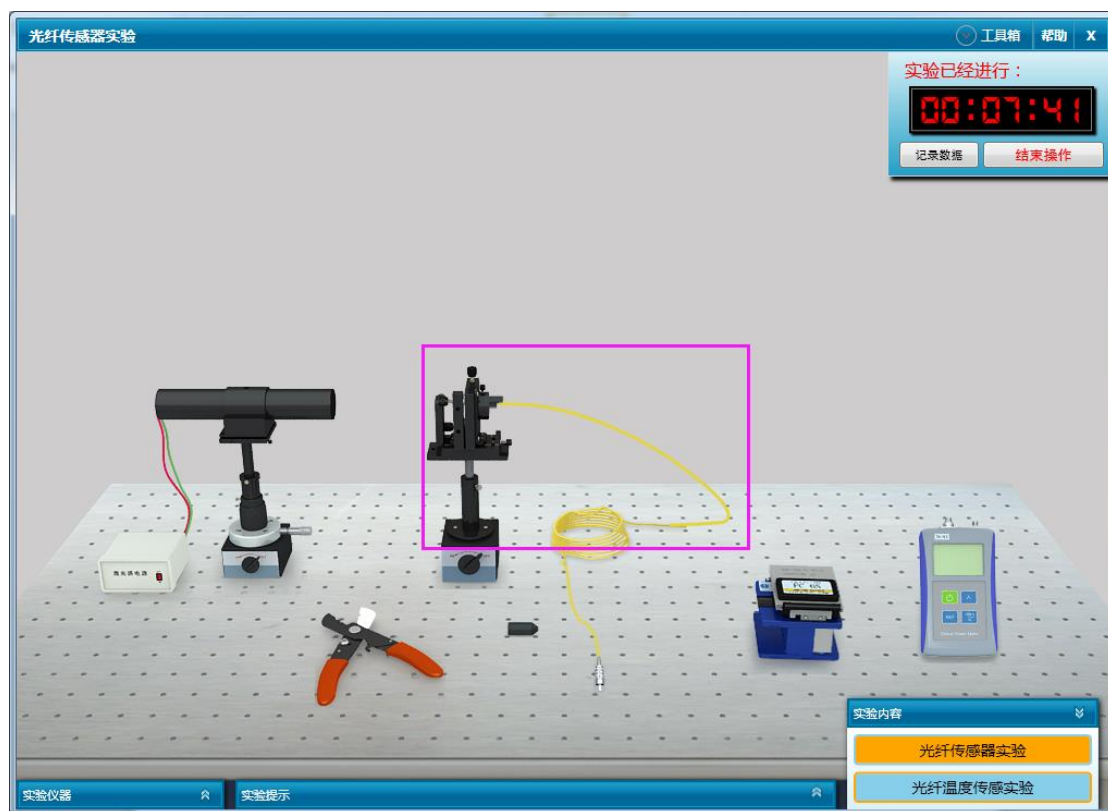
4. 将已经切割好的光纤放入光纤夹中，用光纤夹固定光纤。

点击“放置光纤”按钮，将已经切割好的光纤放入光纤夹中，鼠标点击铜片，将其拖入光纤夹中，鼠标再点击光纤夹螺钉，旋紧螺钉，完成对光纤的固定。



5. 将固定好光纤的光纤夹放入五维调整架中。

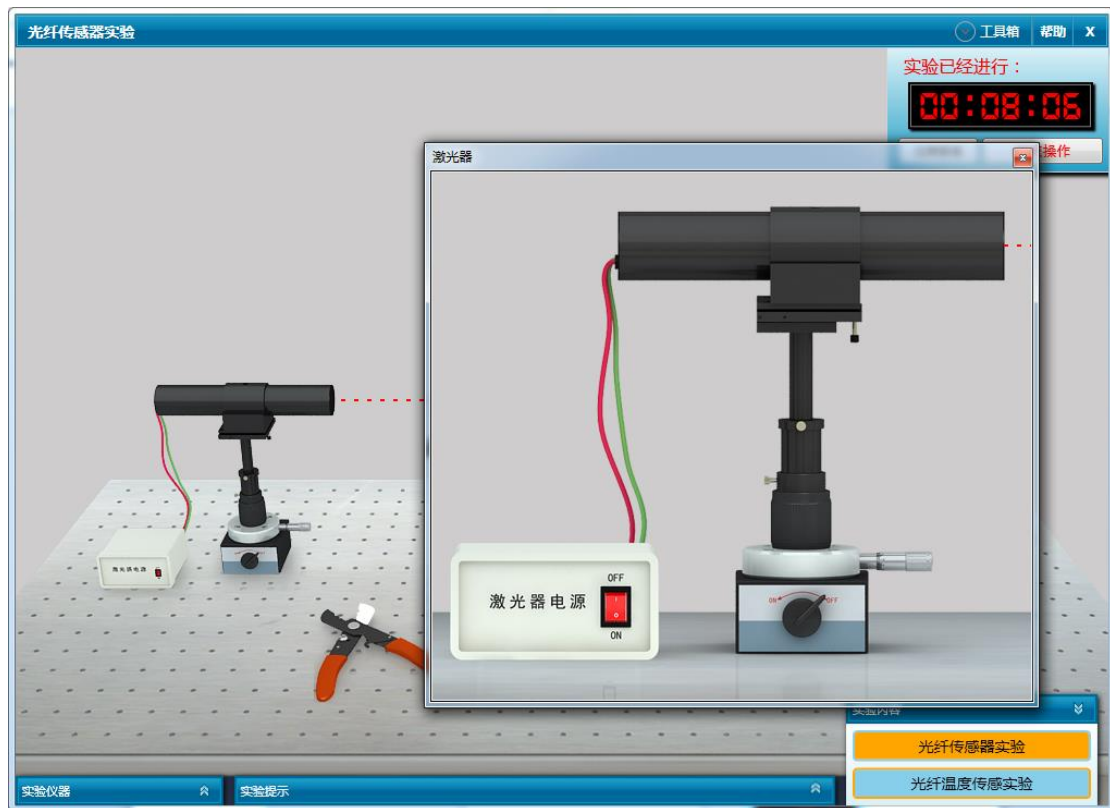
主场景中鼠标点击拖动已固定光纤的光纤夹，将其拖至五维调整架处，并放入五维调整架上。



6. 打开激光器。

主场景中，双击打开激光器大视图，在大视图中鼠标点击激光器电源开关，打开激光器。





7. 打开功率计。

在主场景中，双击打开功率计大视图，点击绿色的电源按钮，打开功率计。  
按下“ $\lambda$ ”键选择光波长为 650nm；按“W/dBm”键选择  $\mu\text{W}$  为测量单位；



8. 用功率计测量激光器的输出功率。

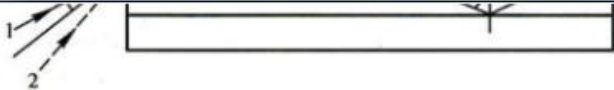
主场景中鼠标拖动功率计至激光器的出光口处，双击打开此时的功率计大视图，观察此时激光器的输出功率。



9. 打开实验数据表格，记录激光器的输出功率。

鼠标点击“记录数据”按钮，弹出实验数据表格窗口，在表格中记录激光器的输出功率。

实验数据表格



试验步骤:

- (1) 用剥线钳进行光纤各个包裹层的剥离, 得到裸露的光纤。
- (2) 将光纤固定在光纤切割锯上, 切割光纤, 获得光纤的完整切割端面。
- (3) 将切割好的光纤固定在光纤夹上, 注意要拧紧固定螺丝, 并且将带光纤的光纤夹固定在五维调整架上。
- (4) 打开激光器电源, 使激光器发出激光。
- (5) 将功率计与激光器出光口对齐放置, 打开功率计电源, 测量并记录激光器出口处的光强值。
- (6) 移除功率计, 并将五维调整架放置在激光器的光路上。
- (7) 将光纤带有耦合头的一端与功率计耦合。
- (8) 调节五维调整架的各个旋钮, 测量并记录功率计上的读数, 直到功率计读数最大。

**计算光纤的直接耦合率**

功率计直接测量激光器发出的激光光强为(mW) 2.089

激光与光纤直接耦合时功率计测出的光强强度(nW) = \_\_\_\_\_

光与光纤的直接耦合效率(%) = \_\_\_\_\_

**计算光纤的间接耦合率**

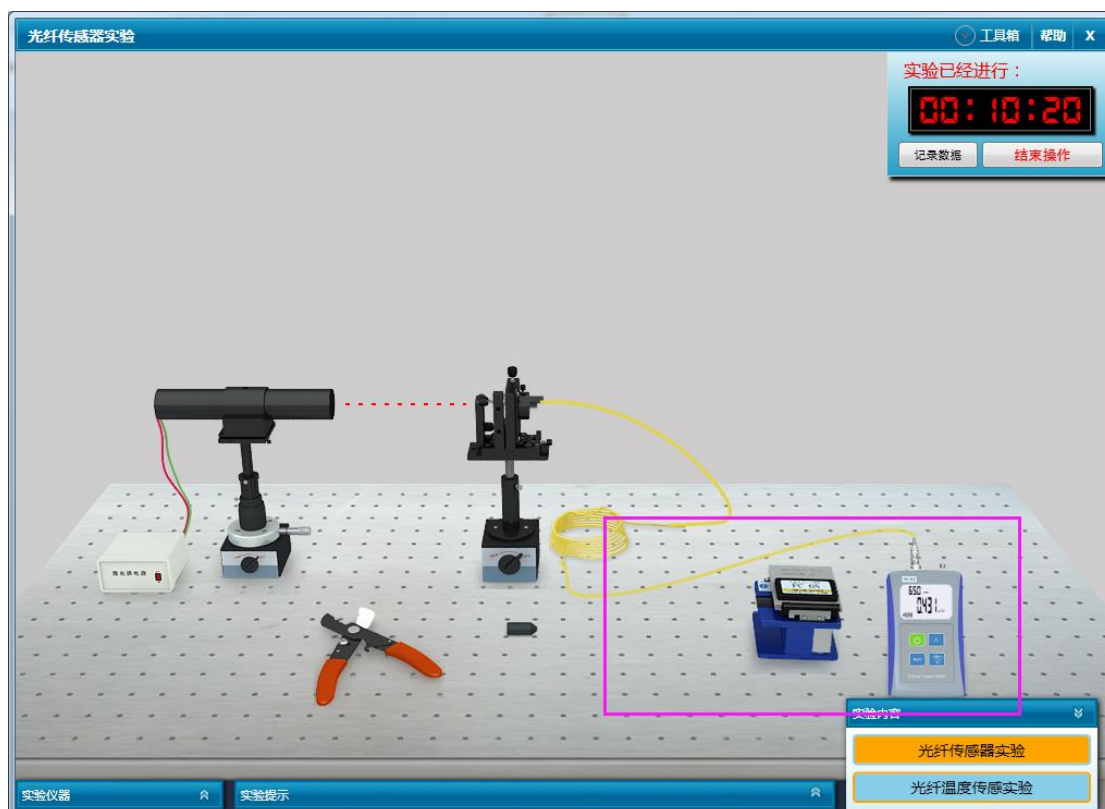
激光与光纤间接耦合时功率计测出的光强强度(nW) = \_\_\_\_\_

光与光纤间接耦合效率(%) = \_\_\_\_\_

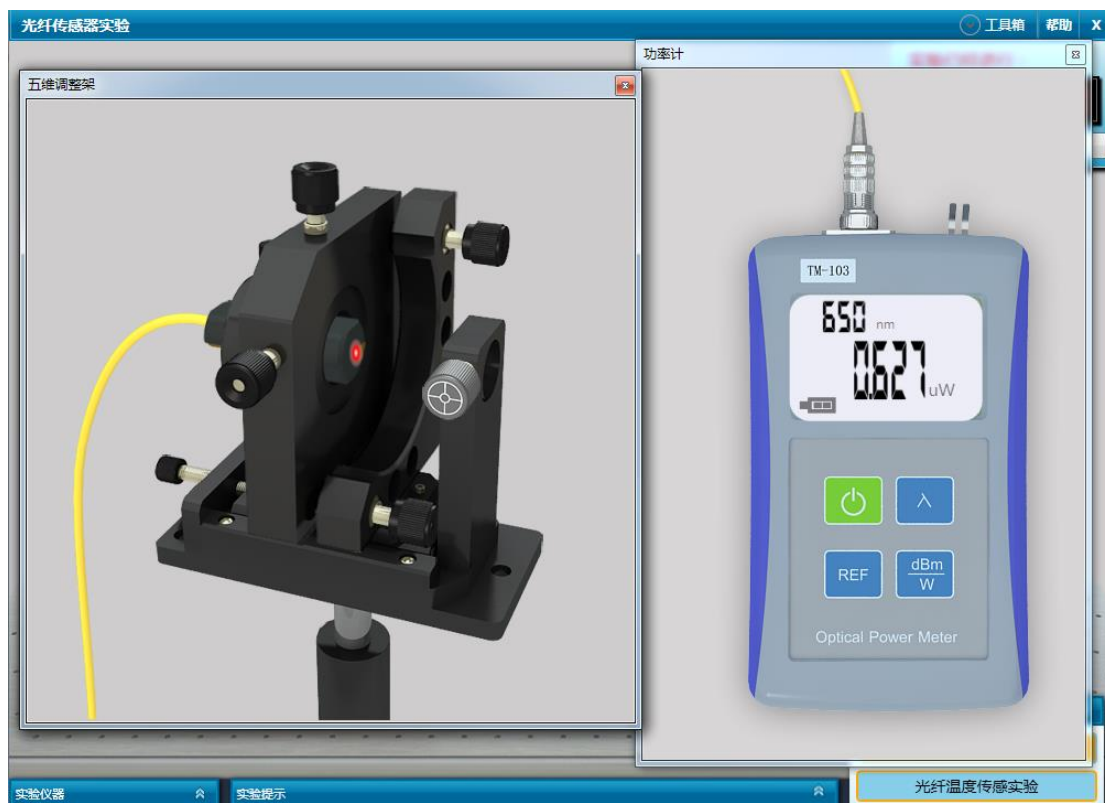
关闭

10. 用功率计测量光纤传输光线“直接耦合”的输出功率。

(1) 在主场景中, 鼠标拖动光纤的耦合头, 拖至功率计的耦合头上, 使光纤与功率计耦合。

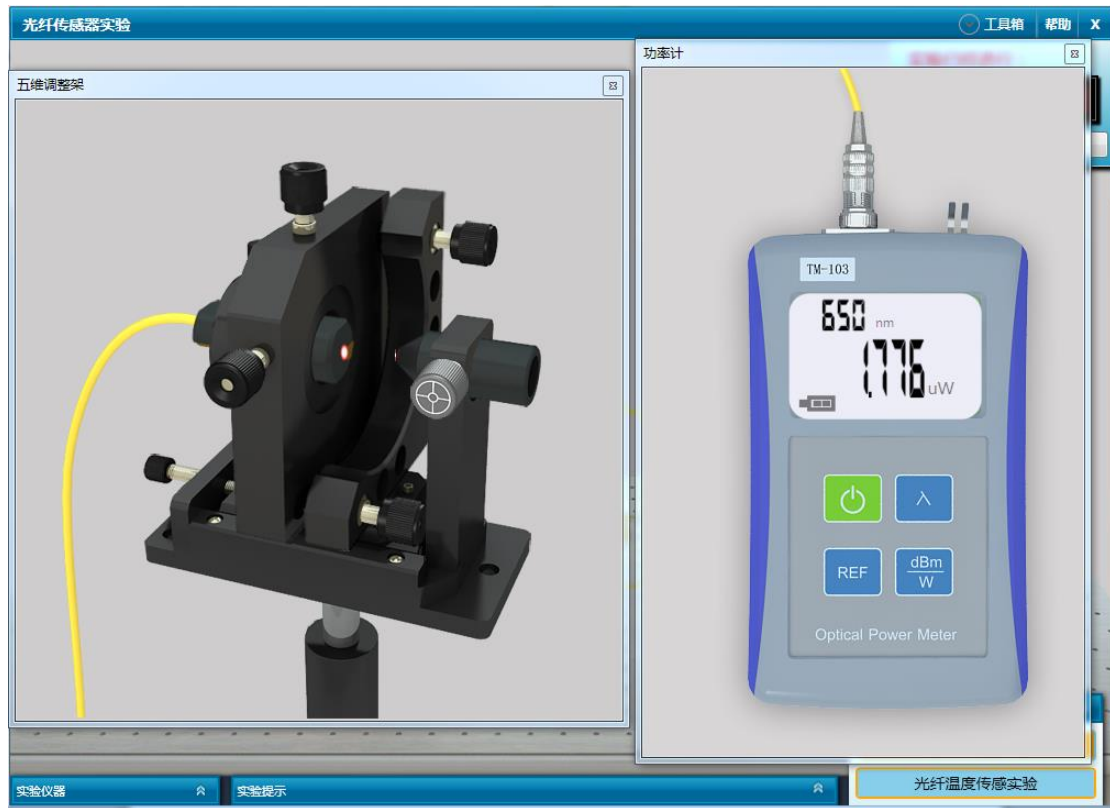


(2) 在主场景中，双击打开功率计大视图，双击打开五维调整架大视图，调节五维调整架上的各个旋钮，观察功率计上的光功率示数变化，记录下最大的光强示数。



11. 将透镜放入五维调整架中，测量光纤传输光线“间接耦合”的输出功率

主场景中，鼠标拖动透镜，将透镜放置在五维调整架上，打开功率计大视图，打开五维调整架大视图，调节五维调整架上的各个旋钮，观察功率计上的光功率示数变化，记录下最大的光强示数。

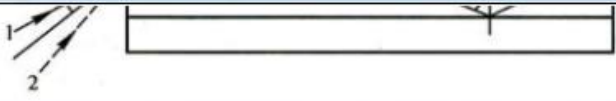


12. 根据实验数据表格记录的数据，计算激光与光纤的耦合效率。

打开实验数据表格，根据记录的数据，分别计算激光与光纤的直接耦合效率和间接耦合效率。



实验数据表格



试验步骤：

- (1) 用剥线钳进行光纤各个包裹层的剥离，得到裸露的光纤。
- (2) 将光纤固定在光纤切割锯上，切割光纤，获得光纤的完整切割端面。
- (3) 将切割好的光纤固定在光纤夹上，注意要拧紧固定螺丝，并且将带光纤的光纤夹固定在五维调整架上。
- (4) 打开激光器电源，使激光器发出激光。
- (5) 将功率计与激光器出光口对齐放置，打开功率计电源，测量并记录激光器出口处的光强值。
- (6) 移除功率计，并将五维调整架放置在激光器的光路上。
- (7) 将光纤带有耦合头的一端与功率计耦合。
- (8) 调节五维调整架的各个旋钮，测量并记录功率计上的读数，直到功率计读数最大。

**计算光纤的直接耦合率**

功率计直接测量激光器发出的激光光强为(mW) 2.089

激光与光纤直接耦合时功率计测出的光强强度(nW) = 627

光与光纤的直接耦合效率(%) = 0.03

**计算光纤的间接耦合率**

激光与光纤间接耦合时功率计测出的光强强度(nW) = 1776

光与光纤间接耦合效率(%) = 0.085

关闭

### 13. 开始实验内容二：光纤温度传感实验。

在主场景中，鼠标点击实验内容栏中的“光纤温度传感实验”，进入光纤温度传感实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图组所示：



#### 14. 打开激光器与显示器。

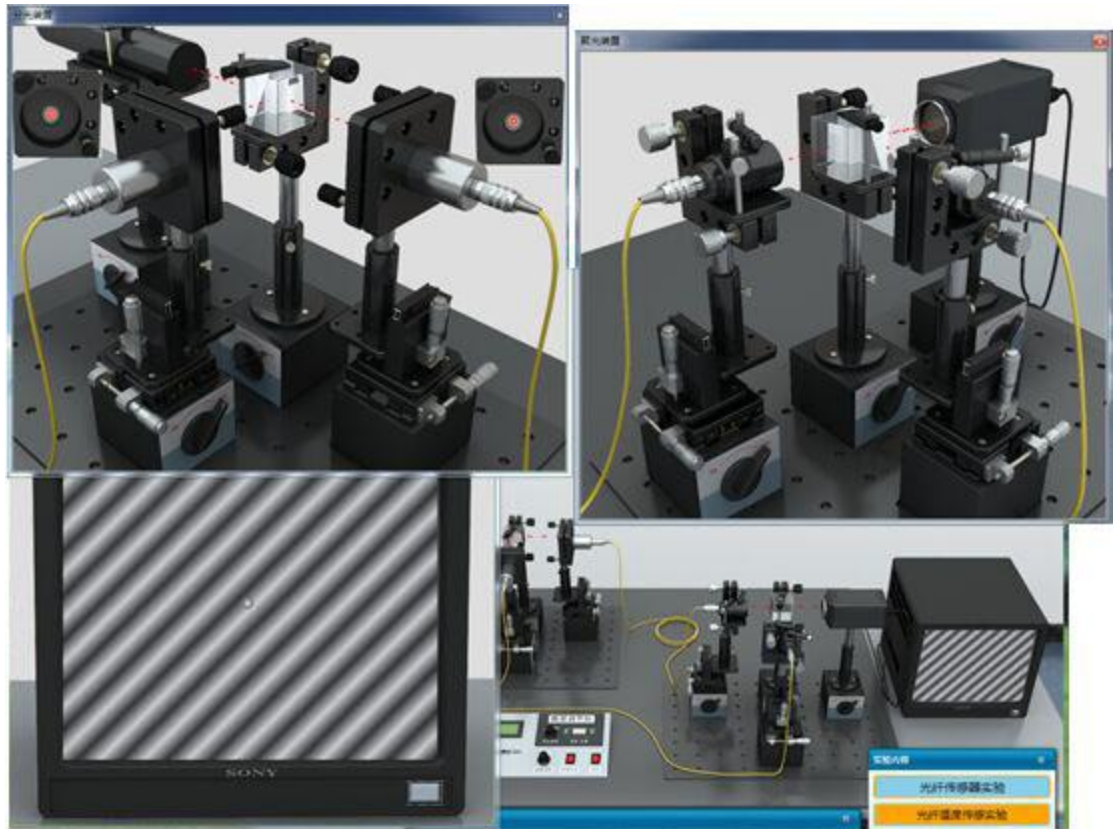
在主场景中，鼠标双击打开激光器大视图，点击激光器电源开关，打开激光器。鼠标双击打开显示器大视图，点击显示器电源开关，打开显示器，在显示器上可观察到干涉条纹。



15. 调整光路，使得显示器上可观察到清晰地条纹。

在主场景中，双击打开分光装置大视图、聚光装置大视图、及显示器大视图。在分光装置大视图、聚光装置大视图中，鼠标点击各个支架的千分尺旋钮，调节光路，直到在显示器大视图中，可观察到清晰地干涉条纹。





16. 加热光纤，观察干涉条纹移动数目与温度变化的关系。记录升温时干涉条纹移动数目与温度变化的数据。

(1) 在主场景中双击打开数显调节仪的大视图，在数显调节仪的大视图中可看到该实验中被加热的光纤的长度。点击开关按钮，打开数显调节仪。点击“设定/测量”按钮，“OFF”处的绿灯亮起，点击“设定旋钮”旋钮，设定加热最高温度。



(2) 设定好加热的最高温度后，再次点击“设定/测量”按钮，“ON”处的绿灯亮起，显示屏上显示仪器的当前温度。点击“加热开关”按钮，仪器开始加热，鼠标点击“温度调钮”旋钮，可改变仪器的加热速率。



(3) 打开显示器，观察显示器上干涉条纹数目移动的情况。记录升温时干涉

条纹移动的数目，及对应的温度示数。



17. 停止加热，记录降温时干涉条纹移动数目与温度变化的数据。
- 完成升温时的数据记录后，鼠标点击数显调节仪的“加热开关”按钮，停止对光纤的加热，此时仪器开始自然降温。观察显示器上干涉条纹数目移动的情况。记录降温时干涉条纹移动的数目，及对应的温度示数。



18. 数据处理

实验结束后，打开实验数据表格，根据记录的实验数据及公式：

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T * l} = \frac{2\pi}{\lambda_0} * \left( \frac{\Delta n}{\Delta T} + \frac{n\Delta l}{l\Delta T} \right) \quad (1)$$

计算升温过程中的光纤灵敏度及降温过程中的光纤灵敏度。



## 六、思考题

1. 能否不用分束器做该实验？是否有替代方案是什么？
2. 温度改变 1℃时，条纹的移动量与哪些因素有关？
3. 实验中不用 CCD 是否也能有办法看到干涉条纹吗？替代方案是什么？
4. 标定干涉仪光纤温度灵敏度的误差主要来源是什么？
5. 在测温光纤传感器的测量臂感温段光纤上粘贴一金属片，其温度灵敏度会如何变化？

## 七、参考资料

1. 张志鹏, W.A.Gambling. 光纤传感器原理. 中国计量出版社. 1991.
2. 霍剑青, 吴泳华, 尹民, 孙腊珍. 大学物理实验(第四册 第二版). 北京: 高等教育出版社. 2006.