牛顿环中心眀暗斑对实验测量的影响

赵文汇，王茂香

（南京理工大学物理实验中心，江苏，南京 210094）

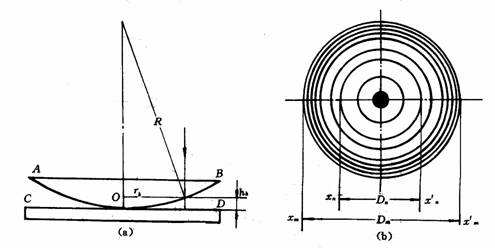
**摘要**：该文对牛顿环实验中牛顿环中心的暗斑和亮斑的形成原因及相应的实验测量原理进行了探讨，并对明暗斑的半径大小对实验测量结果的影响进行了分析，并对课堂实验的方法的改提出了改进。

**关键词**：牛顿环；等厚干涉；眀暗斑

牛顿环实验是大学物理实验的基本内容之一，主要观察了光的等厚干涉现象，考察了学生对读数显微镜的使用。在“用牛顿环测量透镜的曲率半径”的实验中，一般要求牛顿环中心为暗斑，测量各级暗环的直径进而得出平凸透镜的曲率半径。但在实验过程中，会出现中心为亮斑的情况，并且中心暗斑的半径大小各不相同，这些情况会给实验造成什么影响，本实验就此进行探究。

1. **牛顿环中心眀暗斑的形成原因及实验测量原理**

牛顿环仪是由一块曲率半径较大的平凸玻璃透镜，将其凸面放在一块光学平面玻璃上构成的。平凸透镜的凸面与玻璃片之间的空气层厚度从中心接触点到边缘逐渐增加，若将单色平行光垂直照射到牛顿环仪上，则经上下表面反射的两束光就产生光程差，它们在平凸透镜的凸面相遇后，将发生干涉。实际上，由于玻璃的弹性形变，平凸透镜的凸面与玻璃片之间的接触点不可能是一个理想的点，而是一个不清晰的亮或暗的圆斑。其原因是当透镜接触玻璃片时，由于接触压力引起的形变，使接触处为一圆面。此外，镜面上存在的小灰尘等会引起一个附加厚度，从而形成附加的光程差。



图一：牛顿环仪及牛顿环直径测量方法

考虑垂直照射牛顿环仪上的单色平行光中任一光线MA，如图所示。从A射到B时被反射了一部分，另一部分穿过空气层射到C，在C点又被部分地反射回来。从B与C反射回来的光束之间产生光程差2丨BC丨，又因光是从光疏介质向光密介质垂直反射的(C点)，要产生半波损失λ/2，所以，这两条反射光地总光程差为： Δ=2n丨BC丨+λ/2

其中，n为空气的折射率，n=1，

当平凸透镜与平板玻璃紧密接触如图一所示，由图中所示的几何关系可知：

丨BC丨=

因R>>r，略去以上的高阶无穷小量，可得丨BC丨=。

当平凸透镜与平板玻璃之间有空隙为入射光波长λ/4时，此时出现第一次亮斑，此时图中几何关系变为：

丨BC丨=

略去以上的高阶无穷小量，可得丨BC丨=

当间隙继续增大，中心将交替出现明暗圆斑，BC之间的距离增大。

根据光的干涉条件，当光程差为半波长λ/2的偶数倍时，两束光相互加强形成亮条纹；光程差为半波长λ/2的奇数倍时，两束光相互减弱形成暗条纹。对于球面透镜同一级干涉条纹是一个圆环。

当选择第一次出现暗斑（紧密接触）时作为测量基准，则有：

Δ== 从而（k=0，1，2，3……）k表示干涉暗纹的级数。

当选择第一次出现亮斑（稍微松开压紧螺丝）时作为测量基准，则有：

Δ== 从而 （k=0，1，2，3……）k表示干涉亮纹的级数。

如已知λ，测出k级亮环或者暗环的半径r，就可求出平凸透镜的曲率半径R。

由于中心亮斑或暗斑的大小不固定，如果直接测量从中心到暗环或亮环的半径r，则误差较大。为了减小误差，可以测出两个暗环或亮环直径，再计算曲率半径。如测得第m个暗环或亮环和第n个暗环或亮环的直径为和，经计算可得，即无论中心产生的是亮斑还是暗斑，对实验测量原理均未产生影响。

**2. 实验测量结果**

**2.1牛顿环中心暗斑大小对实验结果的影响**

牛顿环平凸透镜与玻璃片之间接触面的大小由牛顿环上三个螺钉所施加的压力控制。在本实验中，通过改变三个螺钉的压紧程度改变接触面的大小，从而在显微镜中观察到中心暗斑大小发生变化。为消除仪器误差和随机误差，测量第4个到13个暗环的直径，并进行数据处理得到R；依次增大螺钉压力，改变中心暗斑半径后重复多次测量。

实验数据如下（共测得四组）：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心暗斑直径（mm） | | 1.279 | | 中心暗斑直径（mm） | | 1.545 | |
| 暗环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D（mm） | 暗环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D(mm) |
| 左方 | 右方 | 左方 | 右方 |
| 4 | 42.812 | 39.637 | 3.175 | 4 | 44.498 | 41.160 | 3.338 |
| 5 | 42.952 | 39.490 | 3.462 | 5 | 44.661 | 41.018 | 3.643 |
| 6 | 43.064 | 39.342 | 3.722 | 6 | 44.8 | 40.879 | 3.921 |
| 7 | 43.243 | 39.208 | 4.035 | 7 | 44.938 | 40.751 | 4.187 |
| 8 | 43.327 | 39.078 | 4.249 | 8 | 45.104 | 40.633 | 4.471 |
| 9 | 43.439 | 38.962 | 4.477 | 9 | 45.197 | 40.521 | 4.676 |
| 10 | 43.587 | 38.837 | 4.75 | 10 | 45.317 | 40.413 | 4.904 |
| 11 | 43.705 | 38.739 | 4.966 | 11 | 45.416 | 40.318 | 5.098 |
| 12 | 43.803 | 38.632 | 5.171 | 12 | 45.492 | 40.203 | 5.289 |
| 13 | 43.876 | 38.538 | 5.338 | 13 | 45.59 | 40.116 | 5.474 |
| 暗环环数 | （Dm+Dn) (mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) | 暗环环数 | （Dm+Dn)(mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) |
| 9与4 | 7.652 | 1.302 | 9.963 | 9与4 | 8.014 | 1.338 | 10.723 |
| 10与5 | 8.212 | 1.288 | 10.577 | 10与5 | 8.547 | 1.261 | 10.778 |
| 11与6 | 8.688 | 1.244 | 10.808 | 11与6 | 9.019 | 1.177 | 10.615 |
| 12与7 | 9.206 | 1.136 | 10.458 | 12与7 | 9.476 | 1.102 | 10.443 |
| 13与8 | 9.587 | 1.089 | 10.44 | 13与8 | 9.945 | 1.003 | 9.975 |
| （Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.507 | （Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.507 |
| R | | | 887 | R | | | 891 |
| E | | | 3.70% | E | | | 4.20% |

表一：中心为暗斑的测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心暗斑直径（mm） | | 1.888 | | 中心暗斑直径（mm） | | 2.763 | |
| 暗环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D(mm) | 暗环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D(mm) |
| 左方 | 右方 | 左方 | 右方 |
| 4 | 36.434 | 32.875 | 3.559 | 4 | 32.523 | 28.241 | 4.282 |
| 5 | 36.576 | 32.715 | 3.861 | 5 | 32.659 | 28.108 | 4.551 |
| 6 | 36.703 | 32.578 | 4.125 | 6 | 32.790 | 27.988 | 4.802 |
| 7 | 36.841 | 32.450 | 4.391 | 7 | 32.898 | 27.857 | 5.041 |
| 8 | 36.952 | 32.330 | 4.622 | 8 | 33.011 | 27.733 | 5.278 |
| 9 | 37.098 | 32.223 | 4.875 | 9 | 33.110 | 27.631 | 5.479 |
| 10 | 37.200 | 32.116 | 5.084 | 10 | 33.210 | 27.535 | 5.675 |
| 11 | 37.309 | 32.016 | 5.293 | 11 | 33.311 | 27.435 | 5.876 |
| 12 | 37.393 | 31.916 | 5.477 | 12 | 33.406 | 27.341 | 6.065 |
| 13 | 37.49 | 31.815 | 5.675 | 13 | 33.500 | 27.251 | 6.249 |
| 暗环环数 | （Dm+Dn) (mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) | 暗环环数 | （Dm+Dn)(mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn)(mm2) |
| 9与4 | 8.434 | 1.316 | 11.099 | 9与4 | 9.761 | 1.197 | 11.684 |
| 10与5 | 8.945 | 1.223 | 10.940 | 10与5 | 10.226 | 1.124 | 11.494 |
| 11与6 | 9.418 | 1.168 | 11.000 | 11与6 | 10.678 | 1.074 | 11.468 |
| 12与7 | 9.868 | 1.086 | 10.717 | 12与7 | 11.106 | 1.024 | 11.373 |
| 13与8 | 10.297 | 1.053 | 10.843 | 13与8 | 11.527 | 0.971 | 11.193 |
| (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.920 | (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 11.442 |
| R | | | 913 | R | | | 971 |

表二：中心为暗斑的测量结果

得出中心暗斑半径和曲率半径的关系如下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 暗斑半径 | 曲率半径 | 相对误差 |
| 0.6395 | 887 | 3.7% |
| 0.7725 | 891 | 4.2% |
| 1.048 | 913 | 6.8% |
| 1.3815 | 971 | 13.5% |

表三：暗斑大小与误差的关系

从表三中可以简单看出随着螺钉的拧紧，暗斑半径增大，测得的曲率半径增大，相对误差也增大，甚至超过实验允许误差5%。

**2.2牛顿环中心亮斑大小对实验结果的影响**

我们选择了中心第一次出现亮斑的时候进行测量，先是压紧三个螺钉，使中心出现暗斑，大小随意，随后轻轻拧松螺钉，使中心刚好出现亮斑，确保是第一次出现。

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心亮斑直径（mm） | | | 1.114 | 中心亮斑直径（mm） | | | 1.196 |
| 亮环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D（mm） | 亮环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D（mm） |
| 左方 | 右方 | 左方 | 右方 |
| 4 | 33.390 | 30.195 | 3.195 | 4 | 30.640 | 27.588 | 3.052 |
| 5 | 33.547 | 30.051 | 3.496 | 5 | 30.790 | 27.411 | 3.379 |
| 6 | 33.688 | 29.902 | 3.786 | 6 | 30.935 | 27.268 | 3.667 |
| 7 | 33.812 | 29.766 | 4.046 | 7 | 31.061 | 27.131 | 3.930 |
| 8 | 33.939 | 29.645 | 4.294 | 8 | 31.184 | 27.018 | 4.166 |
| 9 | 34.050 | 29.531 | 4.519 | 9 | 31.302 | 26.885 | 4.417 |
| 10 | 34.163 | 29.414 | 4.749 | 10 | 31.412 | 26.770 | 4.642 |
| 11 | 34.257 | 29.313 | 4.944 | 11 | 31.522 | 26.671 | 4.851 |
| 12 | 34.359 | 29.201 | 5.158 | 12 | 31.618 | 26.568 | 5.050 |
| 13 | 34.451 | 29.109 | 5.342 | 13 | 31.711 | 26.457 | 5.254 |
| 亮环环数 | Dm+Dn) (mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) | 亮环环数 | （Dm+Dn) (mm) | (Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) |
| 9与4 | 7.714 | 1.324 | 10.213 | 9与4 | 7.469 | 1.365 | 10.195 |
| 10与5 | 8.245 | 1.253 | 10.331 | 10与5 | 8.021 | 1.263 | 10.131 |
| 11与6 | 8.730 | 1.158 | 10.109 | 11与6 | 8.518 | 1.184 | 10.085 |
| 12与7 | 9.204 | 1.112 | 10.235 | 12与7 | 8.980 | 1.120 | 10.058 |
| 13与8 | 9.636 | 1.048 | 10.099 | 13与8 | 9.420 | 1.088 | 10.249 |
| (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.197 | (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.144 |
| R | | | 865 | R | | | 861 |
| E | | | 1.2% | E | | | 0.70% |

表四：中心为亮斑的测量结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 中心亮斑直径（mm） | | | 1.289 | 中心亮斑直径（mm） | | | 1.467 |
| 亮环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D（mm） | 亮环环数 | 显微镜读数（mm） | | 环的直径D（mm） |
| 左方 | 右方 | 左方 | 右方 |
| 4 | 27.983 | 24.912 | 3.071 | 4 | 25.256 | 22.224 | 3.032 |
| 5 | 28.151 | 24.737 | 3.414 | 5 | 25.421 | 22.069 | 3.352 |
| 6 | 28.282 | 24.600 | 3.682 | 6 | 25.566 | 21.901 | 3.665 |
| 7 | 28.42 | 24.470 | 3.950 | 7 | 25.688 | 21.780 | 3.908 |
| 8 | 28.532 | 24.336 | 4.196 | 8 | 25.809 | 21.656 | 4.153 |
| 9 | 28.651 | 24.204 | 4.447 | 9 | 25.930 | 21.528 | 4.402 |
| 10 | 28.759 | 24.097 | 4.662 | 10 | 26.048 | 21.410 | 4.638 |
| 11 | 28.872 | 23.986 | 4.886 | 11 | 26.145 | 21.305 | 4.840 |
| 12 | 28.971 | 23.886 | 5.085 | 12 | 26.249 | 21.200 | 5.049 |
| 13 | 29.061 | 23.788 | 5.273 | 13 | 26.347 | 21.101 | 5.246 |
| 亮环环数 | (Dm+Dn) (mm) | （Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) | 亮环环数 | （Dm+Dn) (mm) | (Dm-Dn)(mm) | （Dm+Dn)（Dm-Dn) (mm2) |
| 9与4 | 7.518 | 1.376 | 10.345 | 9与4 | 7.434 | 1.370 | 10.185 |
| 10与5 | 8.076 | 1.248 | 10.079 | 10与5 | 7.990 | 1.286 | 10.275 |
| 11与6 | 8.568 | 1.204 | 10.316 | 11与6 | 8.505 | 1.175 | 9.993 |
| 12与7 | 9.035 | 1.135 | 10.255 | 12与7 | 8.957 | 1.141 | 10.220 |
| 13与8 | 9.469 | 1.077 | 10.198 | 13与8 | 9.399 | 1.093 | 10.273 |
| (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.238 | (Dm+Dn)（Dm-Dn)的平均值 | | | 10.189 |
| R | | | 869 | R | | | 865 |
| E | | | 1.6% | E | | | 1.1% |

表五：中心为亮斑的测量结果

得出中心亮斑半径和曲率半径的关系如下表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 亮斑半径 | 曲率半径 | 相对误差 |
| 0.557 | 865 | 1.2% |
| 0.598 | 861 | 0.70% |
| 0.6445 | 869 | 1.6% |
| 0.7335 | 865 | 1.1% |

表六：亮斑大小与误差的关系

从表三中可以简单看出随着螺钉的松动，中心出现了亮斑。亮斑的大小变化不大，测量的相对误差也不大，亮斑大小与曲率半径无明显关系，但当牛顿环中心为亮斑时，所测数据得出的曲率半径与标准值的相对误差非常小，一直小于实验允许误差5%。

**3. 牛顿环实验的思考与改进**

在本次实验过程中，出现过一次牛顿环环线内凹的情况，可能是因为平凸面镜与玻璃片之间存在的灰尘等杂质折射率大于空气，光线在通过时发生的偏折不同，导致干涉环线内凹，但对曲率半径的测量结果基本没有影响。

在课堂实验中，一般要求以中心为暗斑的时候作为测量基准，因为操作简单，只需将平凸透镜和平板玻璃压紧即可。但学生在实际操作过程中，难以把握压紧的程度，导致暗斑的半径大小不一，对实验结果的影响较大，甚至有可能超过实验允许误差；而且过度挤压，会导致平凸透镜形变，损害牛顿环仪。因此根据我们的研究，发现只取第一次亮斑出现的时候作为测量基准，操作方便（看到暗斑后稍微松紧螺钉，变成亮斑即可），误差较小，而且保护牛顿环仪不遭遇过度形变。

**参考文献：**

李向银，徐永祥，汪海林，等.大学物理实验【M】.第二版.北京：高等教育出版社，2009:194-198

刘才明，许毓敏.对牛顿环干涉试验中若干问题的研究【J】.实验室研究与探索，2003，22（6）：13-14

毛永辉.关于牛顿环的几个问题【J】中学物理教学参考，2003，32（11）：24-25

The effect of the central dark or bright spots in Newton’s ring and their sizes on the experiment

**Abstract:**In this paper, the formation of dark spots and bright spots on the Newton's ring center in Newton's ring experiment and the corresponding experimental measurement principle were discussed, and the influence of the radius of the bright and dark spots on the experimental measurement results was analyzed. The improvement of the method has been improved