



物理学国家级实验教学示范中心

National Demonstration Center for Experimental Physics Education



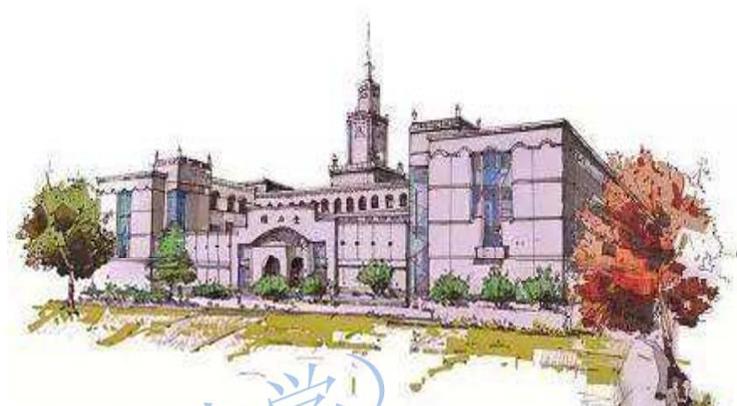
全息照相

主讲：刘锦宏

2020. 4.13

堅守·奮斗





◀ 目 录 ▶

01

背景知识

04

实验仪器用具

02

实验目的

05

实验内容

03

实验原理

06

实验问题

堅守 · 奮斗



01

背景知识



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



背景知识 | **BACKGROUND**

第一张全息图



1948年匈牙利物理学家Denise Gabor(1900-1979)为了提高电子显微镜的分辨率提出全息原理，1960年激光技术发明以后，激光的高度相干性和大强度为全息照相提供了十分理想的光源，使得全息照相技术得到迅速的发展，在干涉计量，信息存储与处理、国防等领域得到了极其广泛的应用。



背景知识 | **BACKGROUND**

全息照相与普通照相的不同在于：普通照相通过几何成像方法记录了物光波的光强，而全息照相是通过拍摄干涉图样的方法记录了物光波的所有信息，包括振幅和相位。在原参考光的照射下，全息照片记录的干涉图样发生衍射，衍射光波中含有可分离的原物光波，与原来真实物体发出的光波几乎完全相同，因而即使原来物体已不存在，仍然可以在原物位置处看到一幅逼真的立体图像。



02

实验目的



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



实验目的 | EXPERIMENTAL OBJECTIVE

目的

1

了解全息照相的基本原理

2

掌握全息照相的基本实验方法

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



03

实验原理

物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)





实验原理 | EXPERIMENTAL PRINCIPLE

全息照相包含两个过程：物光波前的记录和物光波前的再现。

一、物光波前的记录

如图所示，激光束经过光开关射向分束镜，把原光束分成两束。

光束 1：被反射镜 M_1 反射，经扩束镜 L_1 扩束后照射到被摄物体上，再经物体漫反射后，照亮接收屏。这束光称为物光。

光束 2：被反射镜 M_2 反射，经扩束镜 L_2 扩束后直接照亮像屏。这束光称为参考光。

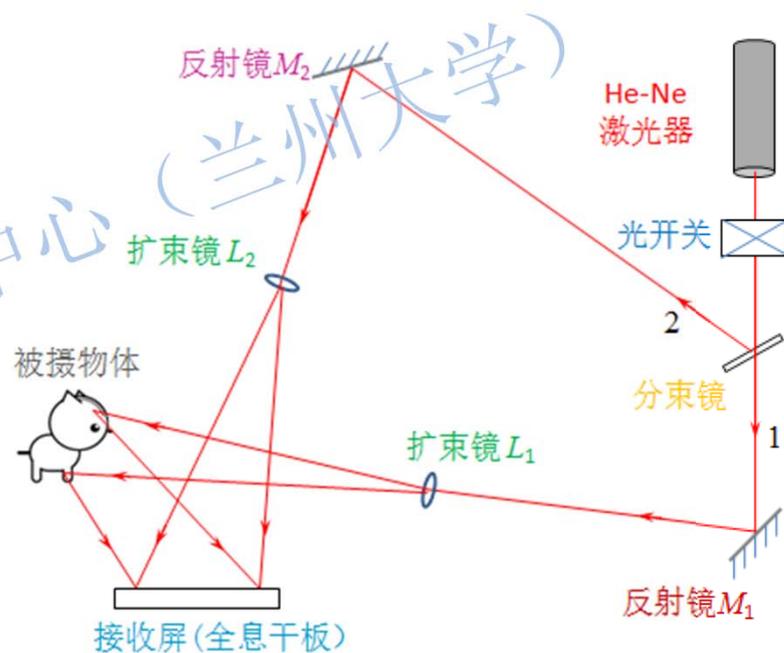


图1—实验原理图



实验原理 | EXPERIMENTAL PRINCIPLE

设物光波 O 的复振幅为 $\mu_O = A_O e^{-\varphi_O(P)i}$

参考光 R 的复振幅为 $\mu_R = A_R e^{-\varphi_R(P)i}$

在干板上某一点 P 点两者相干叠加的光强分布:

$$I(P) = (\mu_O + \mu_R)(\mu_O^* + \mu_R^*) = A_R^2 + A_O^2 + \mu_O \mu_R^* + \mu_R \mu_O^*$$

干板上 P 点的曝光量, $H(P) = I(P)t$, t 为曝光时间。

经显影、定影处理后, 全息图的透过率函数 $T(P)$ 与 $H(P)$ 有上图关系。

若将曝光量控制在图中直线段 AB 的范围内 (线性记录), 可得透过率函数

$$T(P) = T_0 + \beta I(P)t = T_0 + \beta t(A_R^2 + A_O^2 + \mu_O \mu_R^* + \mu_R \mu_O^*)$$

其中 T_0 为底板的灰雾度, β 是一个与干板特性和显影过程有关的负常数。

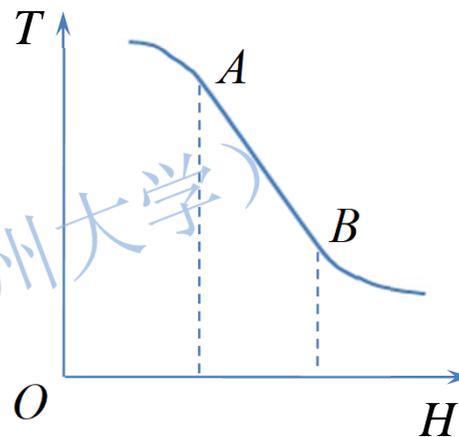


图2—T-H曲线图



实验原理 | EXPERIMENTAL PRINCIPLE

二、物光波前的再现

用原参考光波以特定方向照射全息图，透过全息图的衍射光波为：

$$\begin{aligned}\mu_T &= \mu_R T(P) \\ &= (T_0 + \beta t A_R^2) \mu_R + \beta t A_O^2 \mu_R \\ &\quad + \beta t A_R^2 \mu_O + \beta t A_R^2 e^{-2\phi_R(P)i} \mu_O^*\end{aligned}$$

上式表明，衍射光场中包含四部分光波。

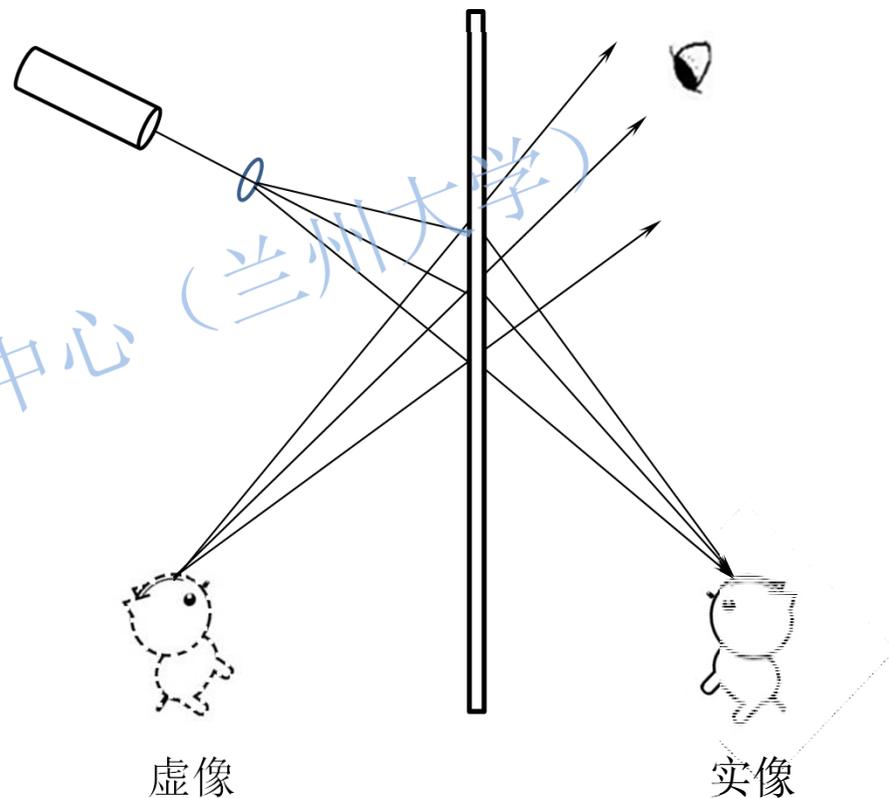


图3—物光再现图



实验原理 | EXPERIMENTAL PRINCIPLE

$$\mu_1 = (T_0 + \beta t A_R^2) \mu_R$$

$$\mu_2 = \beta t A_O^2 \mu_R$$

$$\mu_3 = \beta t A_R^2 \mu_O$$

$$\mu_4 = \beta t A_R^2 e^{-2\phi_R(P)i} \mu_O^*$$

1. 经衰减后继续传播的再现光波

2. 被物光调制的再现光波，表现为杂散的噪音信息

3. 正比于原物光波，再现时在全息图的背后出现一个逼真的三维原物立体图像

4. 正比于原物光波的共轭光波，相位因子使发生位移和缩放，可在偏离镜像对称位置的某处接收到一个与原物大小不同的实像



实验原理 | EXPERIMENTAL PRINCIPLE

全息照相的主要特点:

1. 全息照相与普通照相不同，不是以几何光学为基础，而是以光的干涉、衍射为基础。
2. 再现的虚像是三维立体图像，有明显的视差效应。像的亮度可调，随再现光光强增大而增大。
3. 全息照相的物像关系不是点对点，而是点对面对应。每个物点发出的光波都被记录在整个全息干板上；全息干板上的每一个局部都含有物体个点的全部信息。因此，全息图的任一碎块，都能完整再现原物的立体像。
4. 同一张全息干板，在不同离轴条件下，可以多次重拍若干场景，再现时各场景依次出现，互不干扰。



04

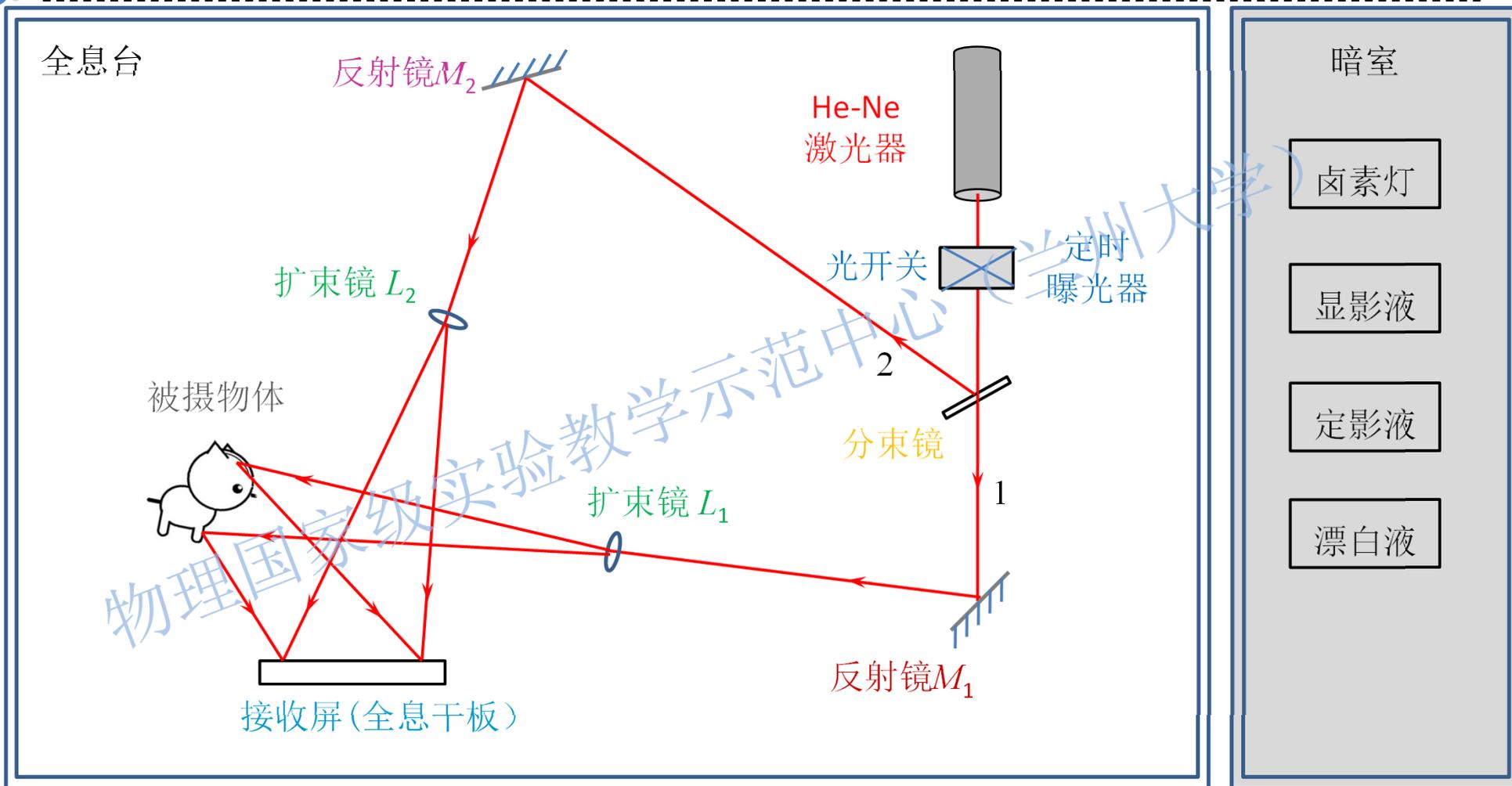
实验仪器用具



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



实验仪器用具 EXPERIMENTAL INSTRUMENT





05

实验内容



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



实验内容 | EXPERIMENTAL CONTENT

一、检查全息台的防震性能

全息干板上记录的是物光波与参考光波的干涉条纹，其间距为波长的数量级，若在拍摄过程中有震动，实验将告失败。因此，实验是在防震的全息台上进行的。一块厚度为1.5cm的钢板，水平放在有防震垫的台面上，钢板上所有元件都用磁性座吸牢，必要时可用分束板和两个反射镜组成迈克尔逊干涉仪，调出干涉条纹，通过观察条纹的稳定程度检查全息台的防震性能。



实验内容 | EXPERIMENTAL CONTENT

二、实验参量的选择

1. 按照图1所示安排光路，物光与参考光的光程尽可能相等；
2. 物光与参考光之间的夹角 $30^\circ \sim 45^\circ$ ；
3. 物光与参考光的光强比 $1:2 \sim 1:5$

光强调节方法：

- 选择合适的分光镜；
- 通过选择不同焦距的扩束镜；
- 改变扩束镜在光路中的位置；
- 改变物距。

判断方法：

没有测光仪器时，可拿钢笔立在像屏前，屏上出现物光和参考光照射的两个黑影，影子的黑度之比近似为相应光强之比。分别挡住物光和参考光，检查各自是否均匀照亮。



实验内容 | EXPERIMENTAL CONTENT

三、拍摄

1. 根据光源的实际功率及具体情况，用定时曝光器定出所需时间；
2. 在全黑的暗室中用全息干板代替像屏装在光具坐上；
(注意不要碰到光路里其它元件)
3. 保持室内安静1~2分钟，然后启动定时曝光器进行曝光，待定时曝光器自动切断光源时，取出底板。

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



实验内容 | EXPERIMENTAL CONTENT

四、暗室处理

本实验采用天津I型全息干板，D-19显影液，F-5 定影液。将曝光后的干板放进实验室准备好的显影液中显影2~3分钟，显影温度18-20°C，可在绿灯下操作，观察干板黑度变化，控制显影时间。然后在停影液或水中停影，再转入定影液中定影 5 ~ 10分钟，再用清水冲洗，晾干，即得一张全息图。如有必要增强全息图的衍射效率，可将干板进行漂白处理。



实验内容 | EXPERIMENTAL CONTENT

五、再现原物立体像

按照图三光路，以再现光照射全息图。从与再现光光轴成某一角度方向，向全息图内观察，同时稍稍转动全息图，即可见到原物立体像。改变观察方向，可发现明显的视察效应，平移全息图，可得放大率不同、亮度不同的再现像。除去扩束镜，用接收屏在全息图的另一侧移动，可接收到原物的实像。

物理国家级实验教学示范中心



06

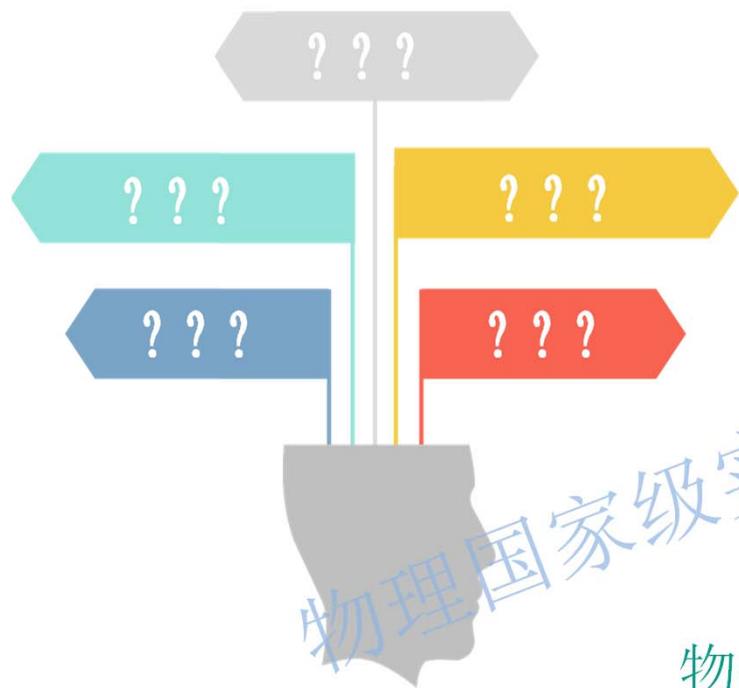
实验问题



物理国家级实验教学示范中心(兰州大学)



实验问题 | ANSWER THE QUESTION



1. 全息照相成功的关键是什么？在实验中如何保证？
2. 全息干板记录的是什么？干涉条纹的间距与两相干光的夹角有何关系？
3. 用激光记录的全息图，可否用钠光来再现呢？
4. 不用再现方法，能否检验全息图是否已记录了物信息？



实验问题 | ANSWER THE QUESTION

???

???

???

???

???

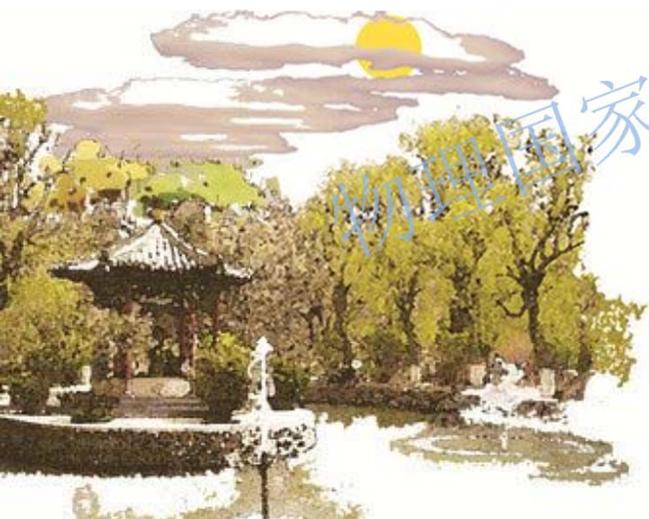
5. 在本实验中，如果用分辨率为 $150/\text{mm}$ 的普通感光底片记录全息图对参考光和物光的夹角有什么限制？

6. 在立体电影中看到的物体的立体感与全息图再现中看到的物体的立体感是否完全一样，为什么？

物理国家级实验教学示范中心



本次课程结束，祝同学们
学业有成！



自强不息
格致一
致

物理国家级实验教学示范中心 (兰州大学)



参考资料 | REFERENCES

1. 《基础物理实验》，李 健等，兰州大学出版社，2012年。
2. 《基础物理实验》，沈元华等，高等教育出版社，2003年。
3. 《大学物理实验》，周殿清等，武汉大学出版社，2002年。
3. 《光学》，赵凯华等，高等教育出版社，2004年。
4. 《光学》，章志鸣等，高等教育出版社，2002年。