

光学及其演示仪器发展

目 录

0.	光学发展历史	2
0.1	公元前后光学发展概述.....	2
0.2	近代早期光学发展.....	3
0.3	光的微粒说与波动说之争时期.....	4
0.4	波动光学时期.....	5
0.5	电磁光学时期.....	5
0.6	量子光学时期.....	6
0.7	现代光学时期.....	6
1.	微粒说与波动说之争	7
1.1	学说理论.....	7
1.2	粒子性经典实验.....	7
1.3	波动性的基本性质——波长、频率、波矢、偏振、相位.....	8
1.4	光的反射与折射.....	10
1.5	光的干涉.....	10
1.6	光的衍射.....	11
1.7	光的偏振.....	12
1.8	光的量子特性.....	13
1.9	光的传播与光纤通信.....	14
1.10	晶体光学.....	14
1.11	光学仪器的应用.....	15
1.12	光学实验与测量.....	15
1.13	光学与现代技术.....	17
	参考文献:	18

0. 光学发展历史

0.1 公元前后光学发展概述

光一直伴随着我们生活当中的点点滴滴，它神秘，有趣，复杂多变又功能丰富。人们对于光的探索和应用一直没有停歇。

自古代起人们便开始研究光学（Optics）。公元前 7 世纪时，古埃及人和美索不达米亚人便已经开始制造及使用透镜来对光时间简单的控制。在此之后的公元前 6 世纪至 5 世纪，古希腊哲学家和古印度哲学家对光的本质提出了许多理论。古希腊的亚里士多德认为光是某种从眼睛发出的物质，而德谟克利特则认为光是由微小的粒子组成的。

在公元前 5 世纪，古希腊哲学家德谟克利特提出光是由微小的粒子组成的。到了公元前 4 世纪的时候，墨子对光的直线传播和影的形成等现象进行了研究和记载。

到了公元前 300 多年，欧几里得提出了光沿直线传播的理论，并认为视觉是由从眼睛出发的光线与物体相遇引起的。而公元前 1 世纪时，罗马哲学家塞涅卡发现充满水的玻璃泡具有放大功能。

而在西汉时期，人们就已经用金属材料制造了早期的透镜，又被称为“魔镜”，如 1977 年在江西萍乡西汉古墓中发掘出第一面出土的“透光镜”。



Figure 1 西汉“间日之光”镜^[1]

到了中世纪，人们对光的认识得到了较大的进展。10 世纪时，阿拉伯学者阿尔哈雷姆反对欧几里德和托勒密关于眼睛发出光线才能看到物体的学说，认为光

线来自所观察的物体，并且光是以球面形式从光源发出的。而穆斯林世界在几何光学和生理光学（Physiological Optics）方面取得较大进展。在文艺复兴时期与科学革命时期，光学研究迎来巨大突破。

以衍射光学为标志，在此之前对光学的研究成为“经典光学”。随后二十世纪发展的光学研究领域，包括光谱学、量子光学等，则一般称为“现代光学”

0.2 近代早期光学发展

1608年：荷兰的李普塞（Lippershey）发明了第一架望远镜。

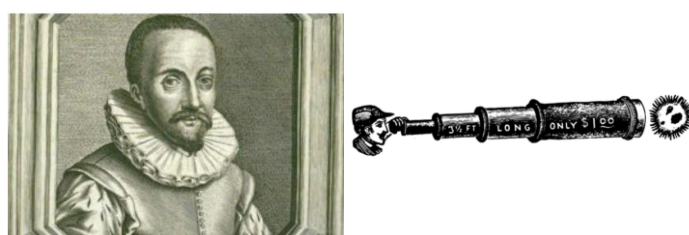


Figure 2 立普塞及其设计的折光式望远镜^[2]

1611年：开普勒发表《折光学》，提出照度定律，并设计了几种新型的望远镜。

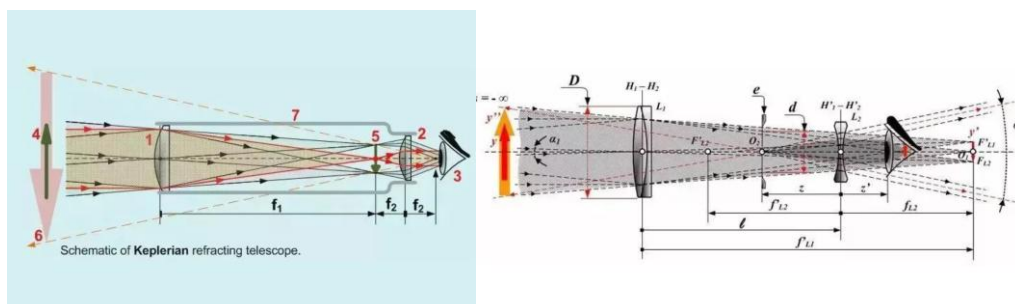


Figure 3 望远镜原理（左，开普勒望远镜；右，伽利略望远镜）^[3]

1621年：斯涅耳提出入射角的余割和折射角的余割之比是常数的折射定律。

斯涅耳定律： $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

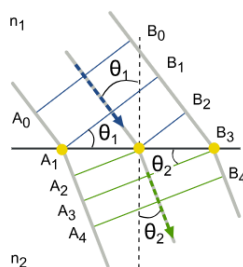


Figure 4 斯涅尔定律示意图^[4]

1630 年左右：笛卡儿在《折光学》中给出了用正弦函数表述的折射定律。

1657 年：费马指出光在介质中传播时所走路程取极值的原理，并根据这个原理推出光的反射定律和折射定律。费马原理：光的实际传播路径应该是诸多可能传播路径中光程 ($n \cdot L$) 取极值的一个

0.3 光的微粒说与波动说之争时期

1665 年：牛顿进行太阳光的实验，把太阳光分解成简单的组成部分，形成光谱。

1672 年：牛顿完成了著名的三棱镜色散试验，并发现了牛顿环。

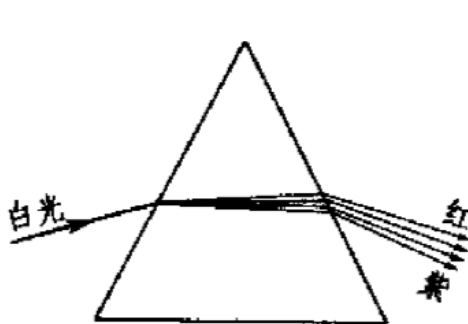


Figure 5 光的色散^[5]

1678 年：惠更斯在《论光》一书中从声和光的某些现象的相似性出发，认为光是在“以太”中传播的波。

1690 年：惠更斯在《光论》中提出光的波动理论，认为光同声一样，是以球形波面传播的。

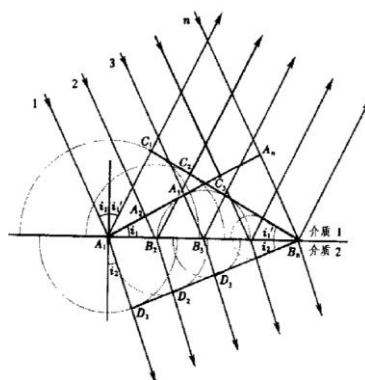


Figure 6 用惠更斯原理解释反射定律与折射定律^[5]

0.4 波动光学时期

1801年：托马斯·杨进行了双缝干涉实验，发现了光的干涉现象，为光的波动性提供了有力证据。

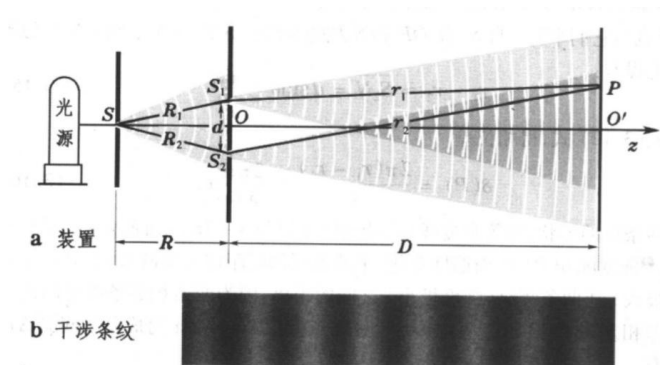


Figure 7 杨氏双缝干涉实验^[7]

1818年：菲涅耳以杨氏干涉原理补充了惠更斯原理，形成了惠更斯—菲涅耳原理，用它可圆满解释光的干涉和衍射现象。

1826年：阿拉戈发现了光的偏振现象。

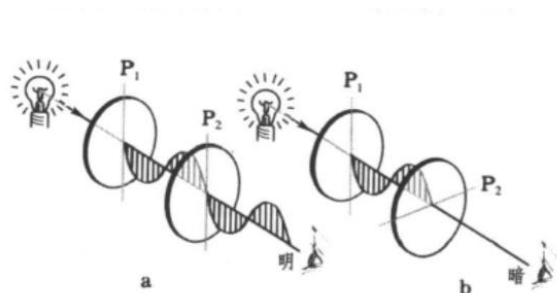


Figure 8 光的偏振现象的演示^[8]

1846年：法拉第发现了光的振动面在磁场中发生旋转。

1856年：韦伯发现光在真空中的速度等于电流强度的电磁单位与静电单位的比值。

0.5 电磁光学时期

1860年前后：麦克斯韦指出光是一种电磁现象，他的理论在1888年为赫兹的实验证实。

1896年：洛伦兹创立电子论，解释了发光和物质吸收光的现象。

0.6 量子光学时期

1900年：普朗克提出了量子论，为解释黑体辐射现象奠定了基础。

1905年：爱因斯坦运用量子论解释了光电效应，提出了光子的概念。

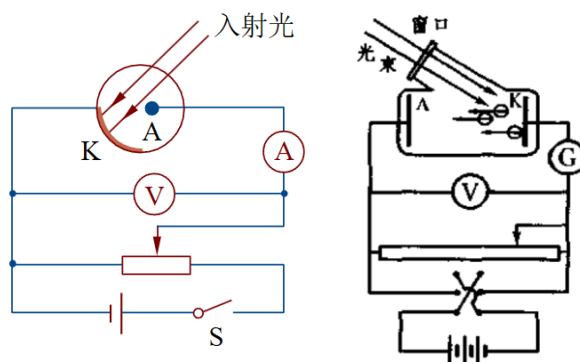


Figure 9 光电效应示意图

1913年：波尔提出了原子构造学说，解释了太阳黑线现象。

0.7 现代光学时期

1960年：梅曼用红宝石制成第一台可见光的激光器。

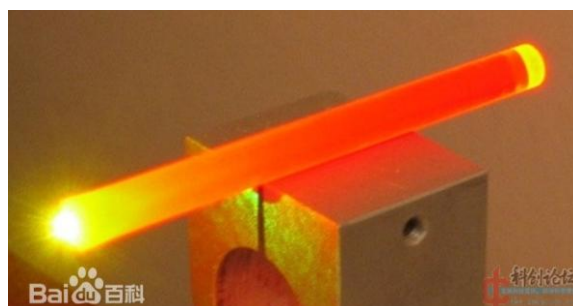


Figure 10 红宝石激光器（图源：百度百科）

1965年：高锟提出光纤理论。

1973年：第一代光纤技术得到发展。

1999年：飞秒激光作为时间分辨对超快动力学的技术测量得到应用。

1. 微粒说与波动说之争

1.1 学说理论

光的粒子性——微粒说

17 世纪，牛顿提出光的微粒说，认为光是由微小的粒子组成，并用以解释光沿直线传播、光在界面上的反射现象等。但更进一步地，其无法很好地解释光的折射和干涉现象

光的波动性——波动说

惠更斯提出光的波动说，最开始认为光是一种在以太中传播的波，并引入了波长、频率等概念，解释了光的干涉和衍射现象。

光波动性的证实

19 世纪初，托马斯·杨进行的双缝干涉实验，实验结果为光的波动性提供有力证据

菲涅尔进一步完善了光的波动理论，建立惠更斯-菲涅尔原理，用于解释光的衍射等现象。光的波动说逐渐被学术界接受

重新认识光的粒子性

1905 年，爱因斯坦提出光量子假说，该假说解释了光电效应，指出光子能量与光的频率成正比。

至此，表明光同时具有粒子性和波动性，称为光的波粒二象性

1.2 粒子性经典实验

现象：当光照射金属表面时，可能出现电子从金属表面逸出现象，并形成光电流。

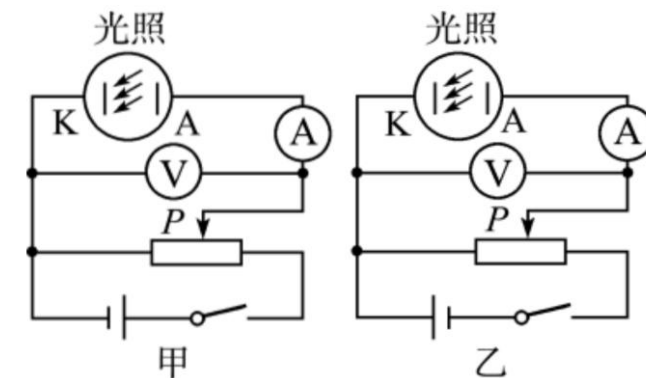
光的能量正比于光子的频率，可以表示为 $E = h\nu$

金属具有极限频率，该频率对应的能量称为逸出功。当入射光子能量大于金属中电子的逸出功时，电子吸收光子能量克服金属逸出功并逸出金属表面。

仅入射光子能量大于金属逸出功时才有电子逸出，而与入射光的强度无关、与照射时间无关、与照射面积无关

爱因斯坦解释：光由一份份不连续光子组成，当光子照射到金属表面，能量可以被金属中电子全部吸收，电子动能增大，若动能足够大即可克服原子核引力逸出金属表面。

简单的实验装置：甲装置用于测量饱和光电流与光照强度关系，乙装置用于测量遏止电压



(其余光电流关系、光电子数量与入射光能量关系曲线略)

1.3 波动性的基本性质——波长、频率、波矢、偏振、相位

光的波动性是光的基本性质之一，波动性指的是光以波的形式传播，具有振幅、频率和波长等特性。根据振动方向与传播方向的关系，光可以分为横波和纵波。利用光的波动性，我们可以研究光的干涉、衍射和偏振现象，以及在光学仪器设计、光通信和光谱分析中的应用。

波动性也是光的重要特性，对于一个单色完全线偏振平面波而言，我们可以在数学上表示为

$$\mathbf{E}(p, t) = \mathbf{E}_0 \cos(\omega t - \mathbf{k} \cdot \mathbf{r} + \varphi_0)$$

其中矢量用加粗表示，标量用斜体表示。 \mathbf{E}_0 是电场的振幅矢量， ω 是角频率 ($\omega = 2\pi f$)， \mathbf{k} 是波矢， φ_0 是相位。

其中，光的波动性主要可以结合五个性质进行描述，即波长、频率、相位、偏振、波矢。

光的频率和波长是相互对应的，真空波长指在真空中光波一个周期内传播的距离，频率值光波在单位时间内传播的周期数。

偏振是一个较为特殊的性质。首先需要明确的是，在描述光的波动性时，光是一种电磁波，普通的电磁波可以具有横波分量和纵波分量，但光波一定是横波，其电磁场矢量均垂直传播方向。Maxwell 方程组所得的波函数解可以描述光的横

波性。



Figure 11 行波、纵波演示仪



Figure 12 行波纵波演示仪（高港区睿丽教学仪器厂）

光波是横波，其电场分量和磁场分量均垂直传播方向，光的偏振特指电场矢量的振动方向。光的偏振可以分为：非偏振、部分偏振、完全偏振

相位：

相位描述了波在空间和时间上的变化情况。在光的干涉和衍射实验中，相位的差异会导致明暗条纹的形成。例如，在菲涅耳的光的衍射实验中，当光通过障碍物时，不同部分的光波会发生相位变化，从而在屏幕上形成衍射图样

波矢：

波矢描述了波的传播方向和波长的关系。在研究光的传播时，波矢可以用来表示光波的传播方向和波数。波矢的方向与光的传播方向一致，其大小与波长成反比

1.4 光的反射与折射

光的反射与折射是光在不同介质界面处的传播行为。反射是指光在界面处改变传播方向返回原介质，而折射是指光进入另一种介质时传播方向发生偏折。基于反射和折射规律，可以将光的行为分为镜面反射、漫反射和全反射等。利用光的反射与折射，我们可以设计光学仪器（如镜子、透镜、棱镜），并应用于光学成像、光纤通信和光学测量等领域。

仪器：平面镜、凸透镜、凹透镜、三棱镜、光路演示仪

演示内容：

- 平面镜成像实验，观察虚像的形成。
- 凸透镜和凹透镜的成像规律，如放大镜、投影仪和照相机的原理。
- 三棱镜的色散实验，展示白光分解为七色光。
- 光路可逆性演示，验证光路的可逆性。



Figure 13 旋转式光学综合演示仪



Figure 14 光的传播、反射、折射实验器^[10]

1.5 光的干涉

最简单的光的干涉是两束或多束光波叠加时产生的明暗相间的条纹现象。干涉现象表明光具有波动性，基于干涉条纹的分布，可以将干涉分为等厚干涉（如

牛顿环)和等倾干涉(如劈尖干涉)。利用光的干涉,我们可以测量光波波长、检测光学元件表面平整度、研究材料的折射率变化,以及在精密测量和光学仪器校准中的应用。

仪器: 杨氏双缝干涉仪、等厚干涉仪(牛顿环)、等倾干涉仪(劈尖干涉)、氦氖激光器、迈克尔逊干涉仪、法布里-珀罗干涉仪

演示内容:

- 杨氏双缝干涉实验,观察干涉条纹。
- 牛顿环实验,观察等厚干涉现象。
- 劈尖干涉实验,观察等倾干涉条纹。
- 激光的相干性演示,展示激光的高相干性。
- 迈克尔逊干涉仪的调整与应用,观察干涉条纹的变化。
- 法布里-珀罗干涉仪的高分辨率干涉现象。

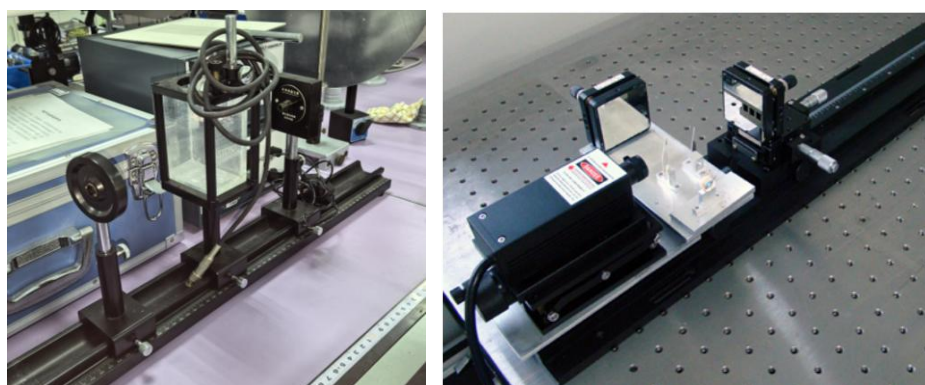


Figure 15 左)基于声波的光的干涉演示仪;右)迈克尔逊干涉仪(长春光机所)

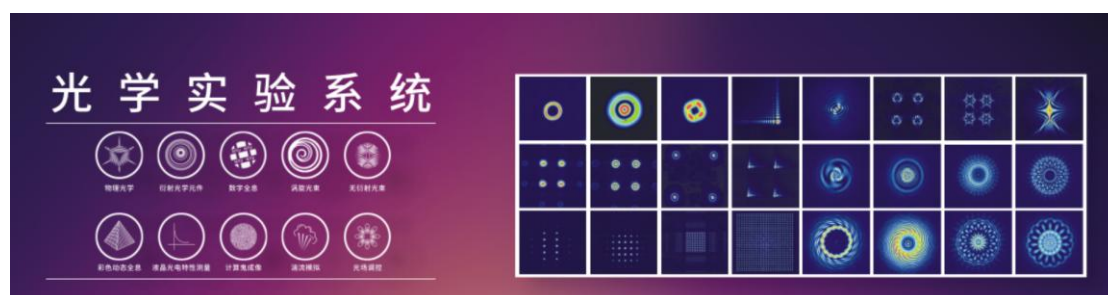


Figure 16 UPOLabs 光学实验系统

1.6 光的衍射

光波在遇到障碍物或通过狭缝时发生的偏折现象是一种经典的衍射。衍射现象表明光具有波动性,基于衍射现象的类型,可以将衍射分为单缝衍射、光栅衍射和菲涅尔衍射等。利用光的衍射,我们可以进行光谱分析、设计衍射光学元件、

研究光波的空间分布，以及在光学成像和光通信中的应用。

仪器：单缝衍射仪、光栅衍射仪、菲涅尔衍射仪

演示内容：

- 单缝衍射实验，观察衍射条纹。
- 光栅衍射实验，展示光栅方程的应用。
- 菲涅尔衍射实验，观察衍射现象的动态变化。

1.7 光的偏振

偏振现象表明光是横波，对于完全偏振光可以将偏振分为线偏振光、圆偏振光和椭圆偏振光。利用光的偏振，我们可以研究晶体的光学性质、设计偏振光学元件（如偏振片、波片），以及在偏振显微镜、偏振通信和光学传感器中的应用。

仪器：偏振片、双折射晶体（如方解石）、波片（四分之一波片、半波片）

演示内容：

- 偏振光的产生和检测，展示光的横波性质。
- 双折射现象，观察方解石晶体的双折射效应。
- 波片的作用，展示偏振光的相位变化。如 1/4 波片实现线偏振光和圆偏振光的转换



Figure 17 偏振旋光演示仪器

（公司：GAERTNER、整盒编号：42711 K、名称：偏振旋光元件、暂未理清各元件之间如何组装、查询偏振旋光多为近期较为现代化的整合式仪器，还没有找到早期的说明）

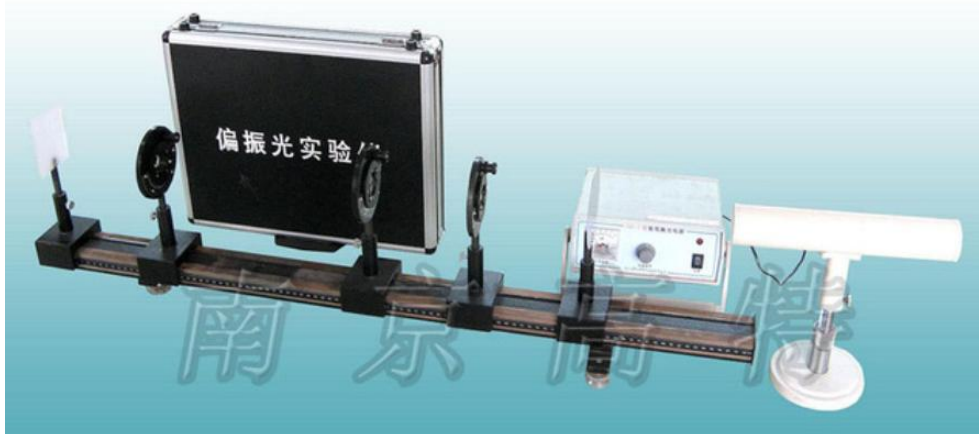


Figure 18 南京高特电子科技有限公司（WDPS-III 偏振光实验仪）^[11]

1.8 光的量子特性

光的量子特性是光的波动性和粒子性共存的表现。量子特性表明光既可以看作波动的电磁波，也可以看作由光子组成的粒子流。基于光的量子特性，可以将光的行为分为光电效应、康普顿散射和激光的量子特性等。利用光的量子特性，我们可以研究光电效应、设计激光器和光探测器，以及在量子通信和量子计算中的应用。

仪器：光电效应演示仪、激光器（氦氖激光器）、光电管

演示内容：

- 光电效应实验，验证爱因斯坦的光电效应方程。
- 激光的相干性和单色性演示，展示激光的特性。
- 光电管的响应特性，观察光的粒子性。

光路原理图：

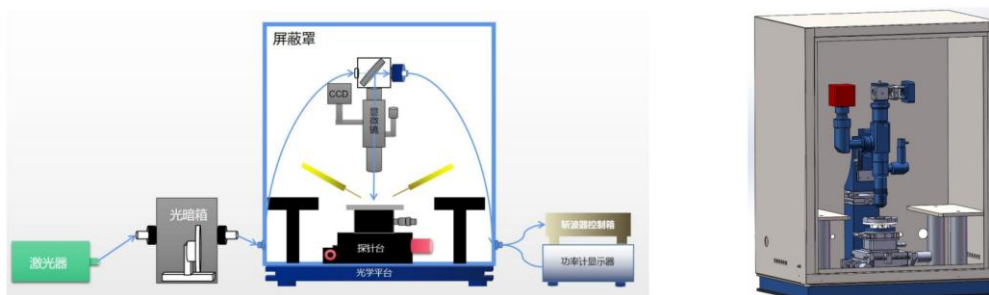


Figure 19 光电响应测试系统^[12]

1.9 光的传播与光纤通信

光纤通信是利用光在光纤中通过全反射进行长距离传输的技术。基于光的传播特性，可以将光纤分为单模光纤和多模光纤。利用光的传播与光纤通信技术，我们可以实现高速数据传输、构建全球通信网络，以及在医疗内窥镜、传感器和光学成像中的应用。

仪器： 光纤演示仪、光信号传输装置

演示内容：

- 光纤的传输原理，展示光在光纤中的全反射现象。
- 光信号的传输与调制，展示光纤通信的基本原理。



Figure 20 光通信实验演示仪

(A: 工作原理; B: 较为早期的演示仪器, C: 现代化演示仪器)

1.10 晶体光学

晶体光学是研究光在晶体中的传播行为及其光学性质重要的一部分。晶体对光的传播具有各向异性，基于晶体的光学特性，可以将晶体分为单轴晶体和双轴晶体。利用晶体光学，我们可以研究晶体的双折射现象、设计光学晶体元件（如偏振片、波片），以及在光学仪器、光通信和材料科学中的应用

仪器： 双折射演示仪、偏振显微镜、旋光仪

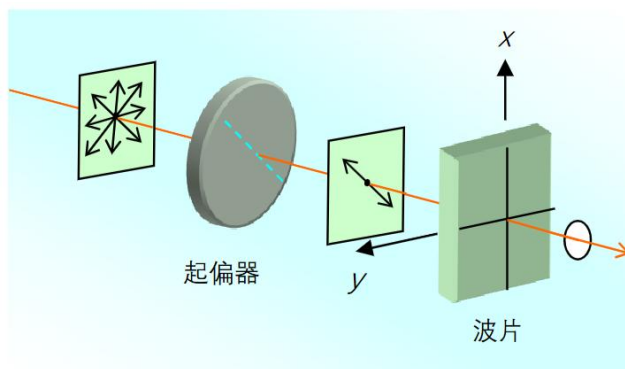


Figure 21 波片作用示意图

演示内容:

- 双折射现象，观察晶体对光的分裂效应。
- 偏振显微镜下的晶体结构，展示晶体的光学特性。
- 旋光现象，观察糖溶液的旋光效应。

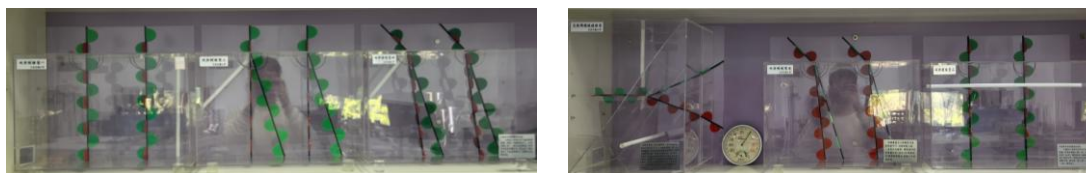


Figure 22 晶体双折射演示模型

1.11 光学仪器的应用

光学仪器是基于光学原理设计的用于观察、测量和处理光信号的设备。光学仪器的应用范围广泛，包括显微镜用于观察微观结构、望远镜用于天体观测、光谱仪用于光谱分析、全息投影仪用于三维成像等。利用光学仪器，我们可以扩展人类的视觉能力、研究物质的光学性质，以及在科学研究、工业生产和医学诊断中的应用。

仪器: 显微镜、望远镜、光谱仪、全息投影仪

演示内容:

- 显微镜的使用，观察微观结构。
- 望远镜的使用，模拟天体观测。
- 光谱仪的使用，分析光谱特征。
- 全息投影的制作与观察，展示全息技术的应用。

1.12 光学实验与测量

光学实验与测量是利用光学仪器和技术对光的特性进行定量分析的过程。基于测量对象的不同，可以将光学测量分为光功率测量、波长测量和光强分布测量等。利用光学实验与测量技术，我们可以研究光的传播特性、校准光学仪器、优化光学系统性能，以及在光学工程和科学研究中的应用。

仪器: 光功率计、波长计、光强分布测量仪

演示内容:

- 光功率的测量，展示光强的定量分析。

- 波长的测量，展示光谱分析的基本方法。
- 光强分布的测量，观察光场的空间分布。

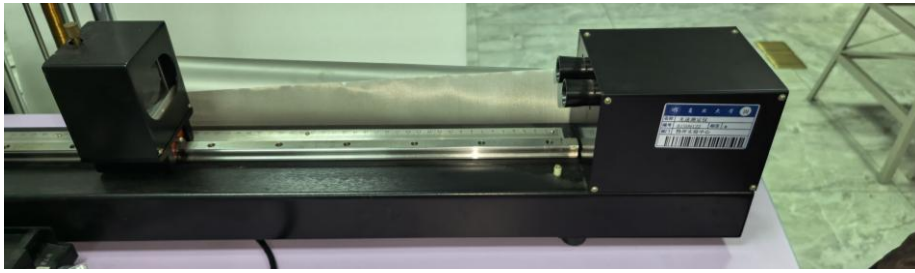


Figure 23 光速测定仪器

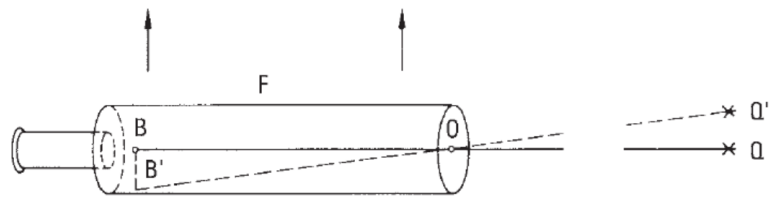


Abb. 2.2 Messung der Lichtgeschwindigkeit aus der Aberration des Lichtes.

Figure 24 光行差光速测量^[13]

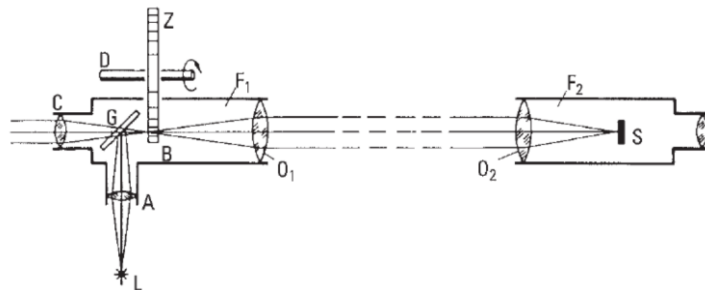


Figure 25 斐索测量光速的实验设计^[13]

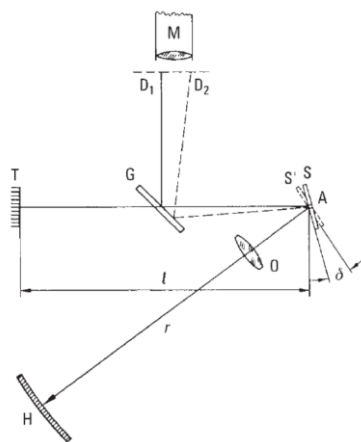


Figure 26 傅科测量光速的实验设计^[13]

1.13 光学与现代技术

仪器：激光加工设备、光学传感器、光子晶体模型、光学超构表面模型

演示内容：

- 激光加工技术的演示，展示激光切割和雕刻。
- 光学传感器的应用，如光纤传感器和压力传感器。
- 光子晶体的基本原理，展示光子带隙效应。
- 光学超构表面的基本原理，P-B 相位，超表面实现光学调控

参考文献：

- [1] <https://baike.baidu.com/tashuo/browse/content?id=abb5f0b7bcb8f6dcd9c77475>
- [2] <https://cn.sperohope.com/hans-lippershey-biograf>
- [3] <https://www.bjp.org.cn/xwzx/gndt/2c9f8cc8773b222e01773d6a1040000b.shtml>
- [4] <https://wuli.wiki/changed/Snel.html>
- [5] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京大学出版社, 1984: 10-12
- [6] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京大学出版社, 1984: 14-16
- [7] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京大学出版社, 1984: 105-1110
- [8] 赵凯华, 钟锡华. 光学[M]. 北京大学出版社, 1984: 270-273
- [9] 赵凯华, 罗蔚茵. 量子物理[M]. 北京大学出版社: 14-16
- [10] http://www.jslabest.com/products_detail/770.html
- [11] <https://www.njgte.com/product/13.html>
- [12] <https://www.ploptics.com/ProDetail.aspx?ProID=158>
- [13] Bergmann-Schaefer Lehrbuch der Experimentalphysik 第 3 卷