

# 光学 Optics

<http://202.38.64.11/~chunhua>

**董春华** 物理学院光学与光学工程系

中科院量子信息重点实验室;物质楼C楼805室

13865923264; [chunhua@ustc.edu.cn](mailto:chunhua@ustc.edu.cn) ;

助 教 徐冠庭: 18856139310, [xuguanting@mail.ustc.edu.cn](mailto:xuguanting@mail.ustc.edu.cn);

助 教 王丕屿: 15513691141, [wangpiyu@mail.ustc.edu.cn](mailto:wangpiyu@mail.ustc.edu.cn);

**成绩组成:**

- 1、平时 (~20%) : 随堂测验、作业、.....
- 2、期中考试 (~30%, 以几何光学和干涉为主)
- 3、期末考试 (~50% )

注: 本课件应用了众多其他老师和网络上的图表, 恕不能一一做引用说明, 请见谅并在此表示感谢!

## 对作业的要求

- 独立完成
- 每周一交作业，交给班级助教。从布置作业时间起，不超过2周，超过两周，助教有权拒收。
- 原则上不接受期末集中补交作业。

## 光学小论文

小论文一般提交在12月中旬；

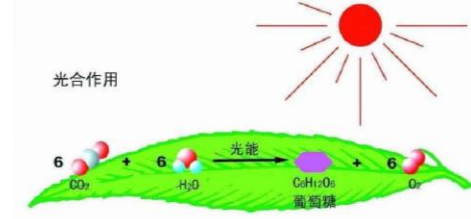
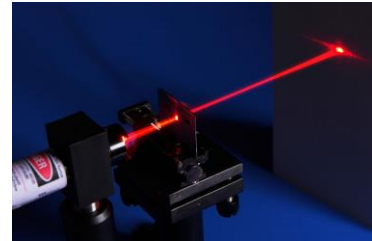
- 光学课程论文竞赛要求围绕着本科生光学教学的课程内容，结合实际应用，提出创新的理论和实验方案。论文内容可涉及对课程教学点的理解、光学相关定律的推导、光学物理量之间的关联、光学参数的测定方法、光学实验方案、光学特性的应用、光学领域的创新思想等方面
- 论文竞赛分为论文初赛、决赛（~12月）两个阶段

## 0.0 绪论

- 0.1 问题的提出，什么是光学？
- 0.2 光学发展简史
- 0.3 现代光学的发展
- 0.4 光学和光学课程的特点

# 0.0 绪论

- 我们身边的光学现象有哪些



## 0. 1. 历史回顾

### 一、问题的提出，什么是光学？

人为什么能看到周围的物体？视、听、触、嗅、味，90%视觉。



产生光？操控光？利用光？

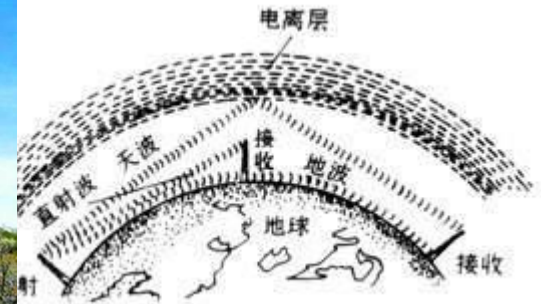
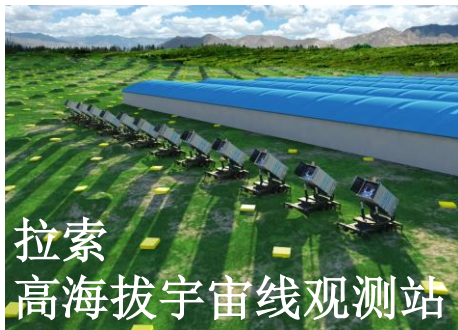
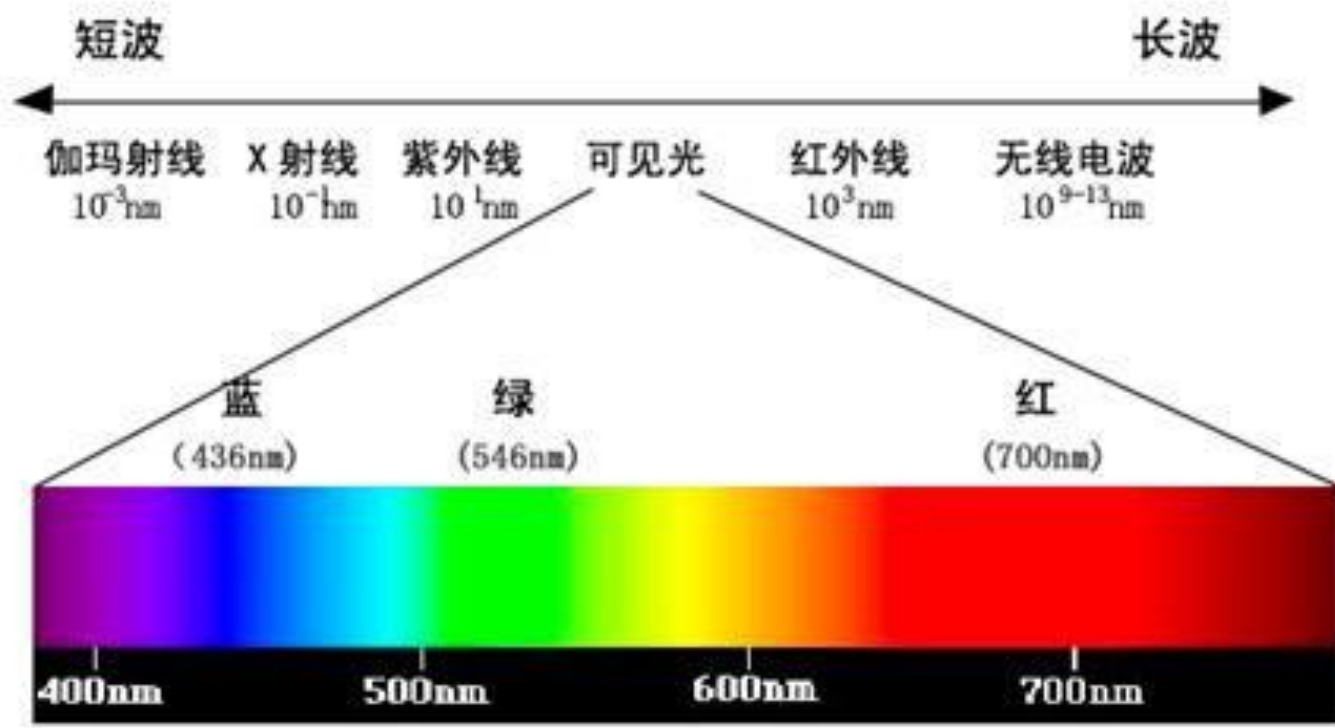


不断追问“光的本性”是什么？



产生进步和革命，形成关于光的系统学科—光学

# 一、问题的提出，什么是光学？



# 一、问题的提出，什么是光学？

## 什么是光学

光学是研究光的**学科**。是围绕着**光的本性**，即光是什么这一核心问题发展起来的。

**学科：系统性、历史性、发展性和实用性**

**系统性：**在研究内容、理论、实践和方法学上，形成了有体系的、丰富的内容和分支。

**历史性：**经历了从诞生到成长的发展过程，具有自身的发展历史。

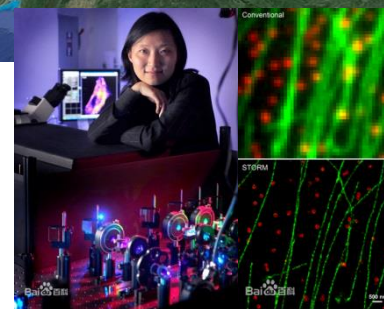
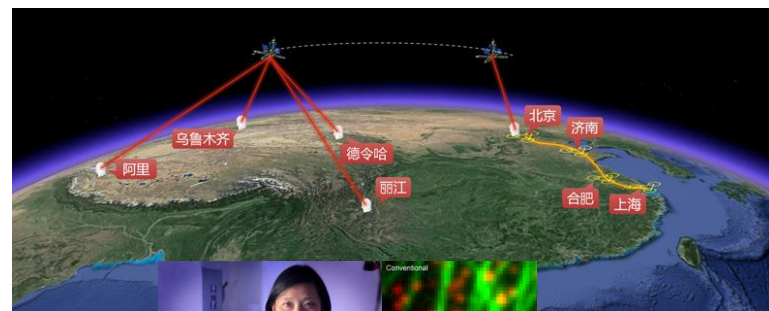
**发展性：**自身具有生命力，可以和其他学科交叉。

**实用性：**能用于解决理论或实践中的问题，可以解释既有现象，也可以做出科学的预测。

# 一、问题的提出，什么是光学？

## 什么是光学

光学是物理学中古老的学科，又是当前科学研究中最活跃的学科之一，推动着人类对自然的认知和人类社会的进步。

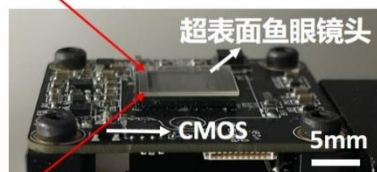


《光学发展与社会进步》

北大 杨宏，李洪云，龚旗煌



# 基于超构透镜阵列的平面广角相机



experimental setup

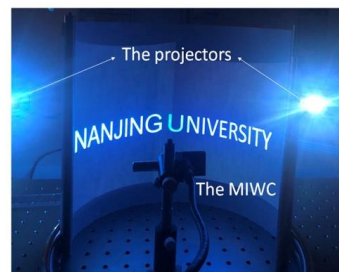
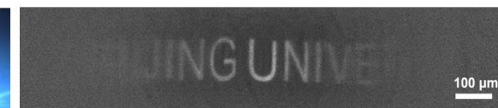
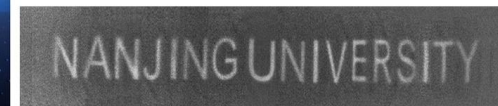


image by single metalens



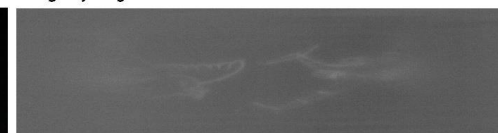
wide-angle image by MIWC



experimental setup



image by single metalens



wide-angle image by MIWC



广角成像对于捕获大量信息具有重要作用。对于自动驾驶和基于无人机的监控等机器视觉的应用场景，广角成像可以提高性能和安全性，例如显示在车辆倒车时无法看到的障碍物等。此外，广角成像在日常生活中也具有广阔风景、人数众多的合照拍摄等常用功能。

传统的广角成像通常使用鱼眼复合镜头或其它类型的多层镜头来完成，但较大的体积限制了其应用场景。超构透镜是一种基于超构表面的衍射型透镜。得益于超构表面灵活高效的光场调控能力和极薄的尺寸，超构透镜自2016年被提出以来，被人们认为有望取代传统的体块折射型透镜。近十年来研究人员付出大量的探索研究，极大地推进了超构透镜的性能表现。其中，人们就尝试各种设计方案来扩大超构透镜的视场，希望应用于广角成像功能，提出了如双层超表面结构、二次相位型超表面结构等方案。然而，到目前为止这些方案需要成像效率、成像分辨率等方面做出牺牲，整体来说其综合性能还不够理想。

Optica, 9, 431-437 (2022)



## ➤ 微光夜视技术

## ➤ 红外技术

红外跟踪和制导技术

红外夜视技术

红外遥感技术

## ➤ 激光技术

激光测距技术

激光制导技术

激光通信技术

强激光技术

激光模拟训练技术

## ➤ 光学仪器

## ➤ 光电综合应用技术



勒内 笛卡尔 (1596-1690) , 法国哲学家

从1619年读了约翰尼斯·开普勒的光学著作后，笛卡尔就一直关注着透镜理论；并从理论和实践两方面参与了对光的本质、反射与折射率以及磨制透镜的研究。

### 光刻机镜头是如何加工的？

大

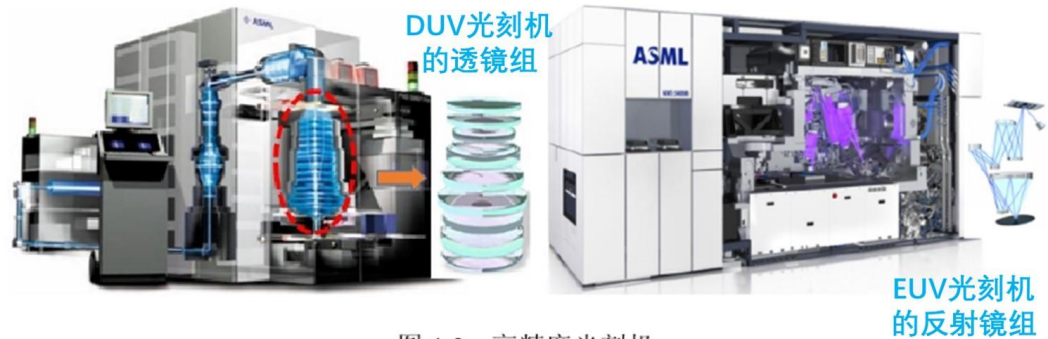
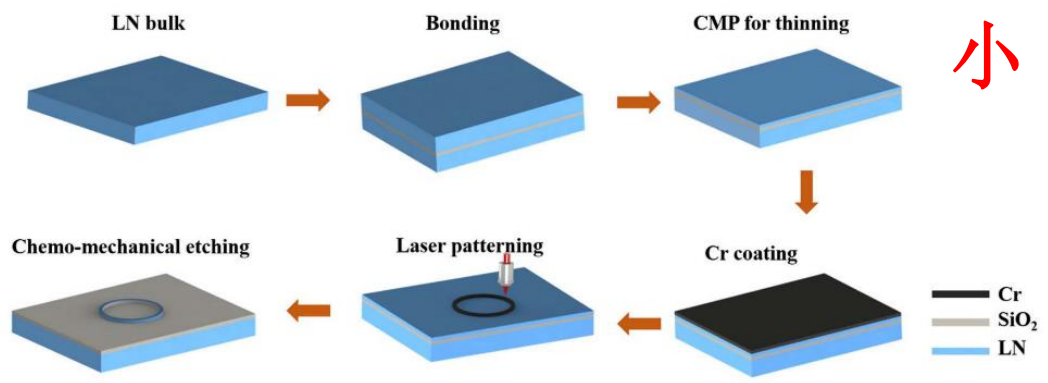
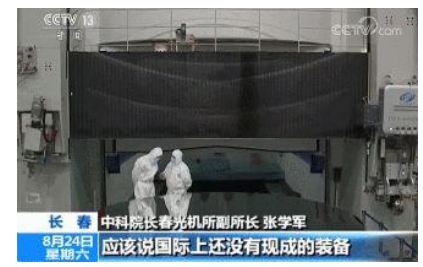
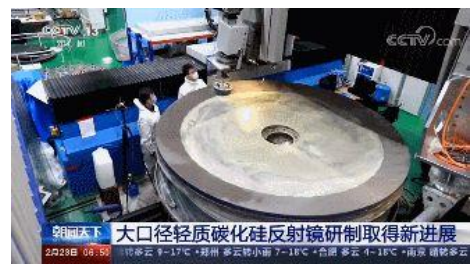


图 1.2 高精度光刻机



小

Chinese Optics Letters 20(1), 011902 (2022).

## 激光出现后，平均每三年有一项诺贝尔奖来自光学相关研究

- 1964 Basov, Prokhorov, Townes: 激光的发明
- 1971 Gabor: 光全息发明
- 1978 Penzias, Wilson: 3K宇宙背景辐射光谱测量 
- 1980 Bloembergen, Schawlow: 激光光谱技术发展
- 1989 Ramsey: 精密原子光谱发展
- 1997 Chu, Cohen-Tannoudji, Phillips: 激光冷却技术发展
- 1999 Zewail: 飞秒激光化学动力学发展
- 2002 Alferov, Kroemer: 半导体激光器发明
- 2001 Cornell, Wieman, Ketterle: 激光冷却BEC的发现
- 2005 Glauber, Hall, Hansch: 光学频率梳发明
- 2008 Shimomura, Chalfie, Tsien: 绿色荧光蛋白的发现和應用
- 2009 Kao, Boyle and Smith: 光纤通信和CCD的发明
- 2011 Perlmutter, Schmidt and Riess: 遥远超新星光学观测
- 2012 Haroche and Wineland: 单量子态的光场调控
- 2014 Akasaki, Amano and Nakamura: 蓝光二极管的发明
- 2014 Betzig, Hell and Moerner: 纳米荧光成像发明 
- 2017 雷纳·韦斯、基普·索恩和巴里·巴里什: 在LIGO探测器和引力波观测方面
- 2018 Ashkin, Mourou, Strickland: 激光物理与技术 
- 2019 Peebles, Mayor, Queloz: 在物理宇宙学的理论发现
- 2022 Aspect, Clauser, Zeilinger: 量子力学和量子纠缠理论

## 0.2 光学发展简史

早期光学关注光的几何现象，这一阶段光被看成“光线”。

### 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质（直观体验阶段）

- **墨子（公元前470 - 前391，中国）**

墨经八条，即在《经下》与《经说下》各八条，描述了光影关系、直线传播与小孔成像、光的反射、平面镜、凸面镜与凹面镜成像等几何光学的内容。



#### 墨经八条摘选：

- **原文：景到，在午有端与景长，说在端。**

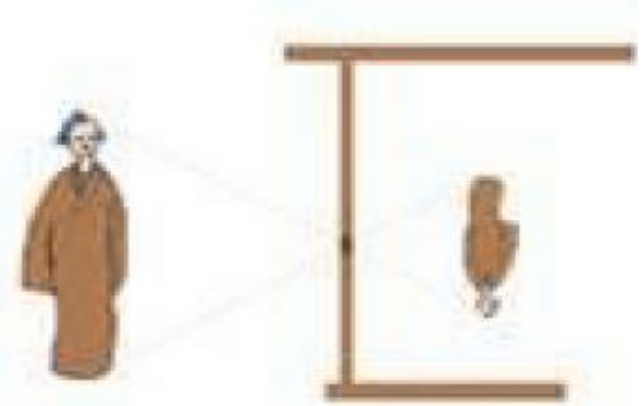
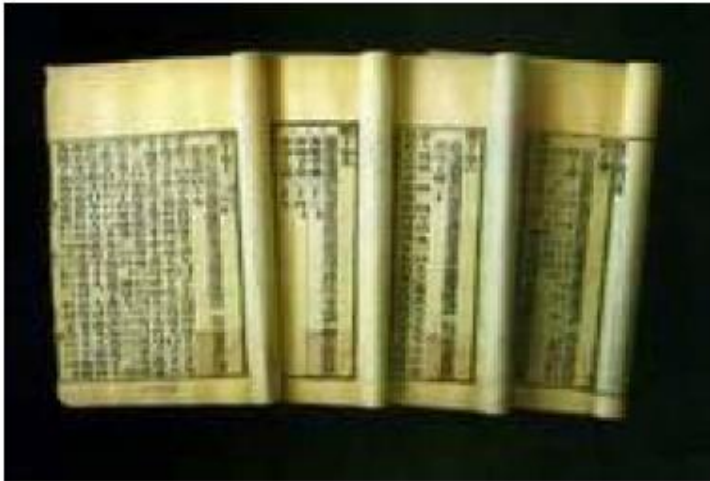
译文：影子颠倒，在光线相交下，焦点与影子造成，是谓焦点的原理。

- **原文：景，光之人煦若射。下者之人也高，高者之人也下。足敝下光，故景障内也。**

译文：影，光线照人，如果反射，其直若矢。射到下面就反射到高处，射到高处就反射到下面，因成倒影。足遮住下面的光，反射出来成影在上；头遮住上面的光，反射出来成影在下。在物的远处或近处有一小孔，物体为光的直线所射，反映于壁上，故影倒立于屏内。（小孔成像和光的反射）

## 0.2 光学发展简史

### 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质



《墨经》中提出了视觉的3个条件：一是人自身的视觉功能(《墨经》称“明”);二是视觉对象(《墨经》称“物”);三是光(《墨经》称“火”)。进而正确地指出：人因为眼睛看见物体(“以目见”)，而眼睛则依靠光见物体(“目以火见”)。这说明眼睛本身只是光的接受器官，只有当光被物体反射到人的眼睛里后，人才可以看到物体，这是对视觉最早的科学解释。而古代西方的一些学者却认为人的眼睛会发射某种东西接触到物体而引起视觉。

# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质



《淮南子》“阳燧见日则燃而为火”

“削冰令圆，举以向日，以艾承其影，则火生。”

《礼记》“左佩金燧”、“右佩木燧”

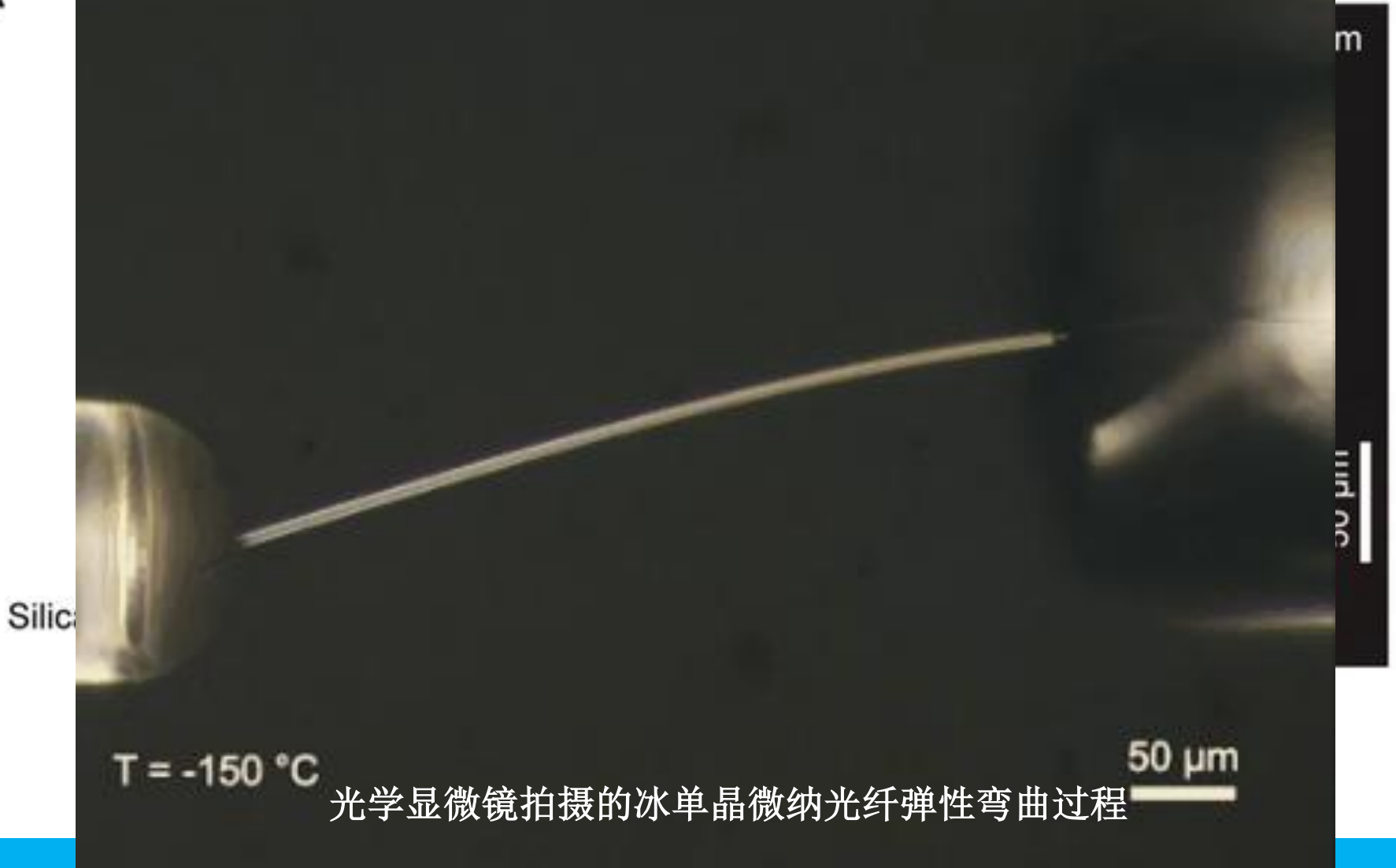
《古今注·杂注》“阳燧以铜为之，形如镜，照物则影倒现，向日则生火，以艾炷之则得火。”





# 冰也能有弹性

A



光学显微镜拍摄的冰单晶微纳光纤弹性弯曲过程

# 0.2 光学发展简史

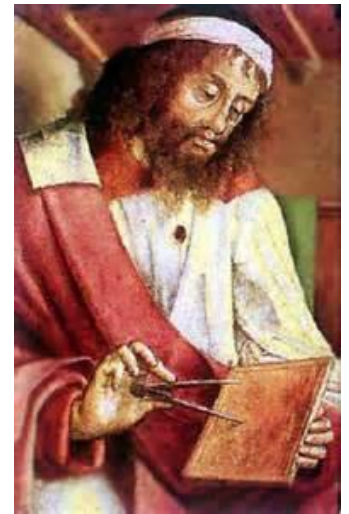
## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **阿尔希塔斯(Archytas, 公元前 428- 前 347, 希腊)**

提出视觉源于眼中发出的看不见的“火”遇到物体产生效应，使物体呈现出形状和色彩。

- **欧几里得 (Euclid, 公元前 320- 前 324, 希腊)**

著《光学》(Optica, 约前300年)一书中，提到了光的直线传播和反射定律，认为视觉牵涉到从眼睛到达物体的光线（触须观点），还研究了物体显示的大小和在眼睛中形成的视角的关系。



## 0.2 光学发展简史

### 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **西罗 (Hero, 公元 10 – 70, 罗马帝国统治下的埃及的亚历山大)**  
著《反射光学》 (Catoptrica) , 描述了光的传播、反射和如何运用镜子。
- **托勒密 (Claudius Ptolemaeus, 约公元 90 – 168, 希腊数学和天文学家)**  
著《光学》 (Optics) , 涉及光的反射、折射与颜色等性质, 测量了不同入射角下, 光线进入水的折射角, 并给出了列表。
- **阿耶波多 (Aryabhatta, 公元 476 – 550, 印度数学家和天文学家)**  
与早期眼睛主动发出光线的观点不同, 他多次指出视觉是源于外界的光到达视网膜。

# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- 伊本·阿尔·海塞姆 (Ibn al-Haytham, 公元 965 – 1039, 伊拉克)

常被叫做阿尔哈增 (Alhazen)。最著名的是写了7卷《光学》(1015年前后)，全面发展了希腊学者对光的认识，极大影响了培根和开普勒等人。他的工作讨论了柱面和球面的凹面镜和凸面镜，发明了第一只透镜，并考察了透镜的折射和放大能力，先于费马得到了费马最小时间原理，研究了小孔成像的倒立特性，对眼睛提出了清晰的解释，坚信视觉源于看到物体发出的光线。

**被誉为近代光学之父，2015国际光年对其进行纪念。**





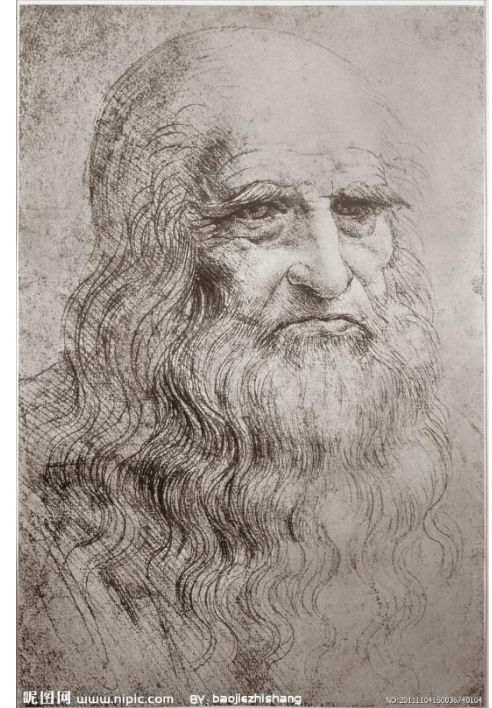
光阴流逝，岁月峥嵘七十，多少事，有志愿参  
驰，为祖国振兴。光学老又新，前程似锦。搞  
这般专业很称心。

# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **列奥纳多·达·芬奇 (Leonardo da Vinci, 1452 – 1519, 意大利)**

在研究绘画的透视关系的过程中，对于针孔相机 (Camera obscura, 成像暗箱) 做出了详细的解释。有些人相信是达芬奇第一次观察到衍射现象。

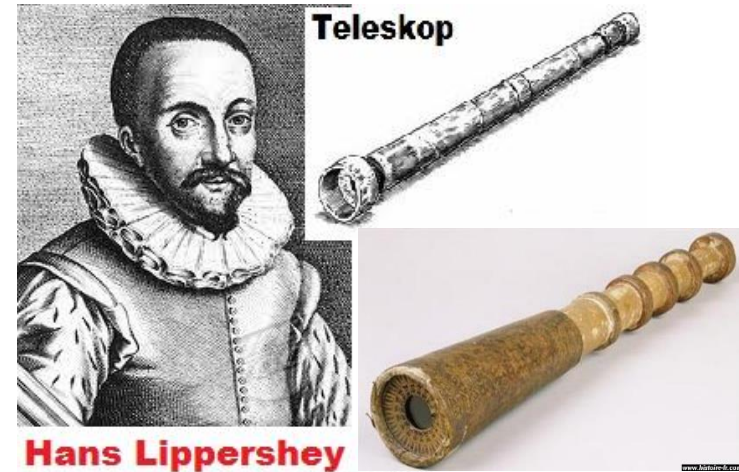


# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **汉斯·李普塞 (Hans Lippershey, 1570 – 1619, 荷兰眼镜制造商)**

相传1608年在店里看到两个孩子用透镜玩耍时，发现了通过两个透镜看到的像更清晰，从而制造了第一台望远镜。



- **开普勒 (Johannes Kepler, 1571 – 1630, 德国)**

数学家、天文学家和占星家，是17世纪天文学革命的关键人物。1611年发表《折射光学》，文中提出了双凸会聚透镜与双凹发散透镜的理论基础，以及它们如何组合制作出一个伽利略望远镜，以及真实与虚像、直立与倒像的概念和焦距对放大与缩小的影响。他还介绍了一个改进型的望远镜（开普勒望远镜）。



# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **伽利略 (Galileo Galilei, 1564 – 1642, 意大利数学家、物理学家、天文学家)**

常被誉为现代物理学之父，发明了摆针和温度计。

1610年，他用一个望远镜作为复式显微镜（似乎是第一个使用复式显微镜的清晰文字记载），并在1623年及之后，改进了多家显微镜。



**也有传说是荷兰眼镜制造商詹森 (Zacharisa Janssen), 发明的第一个复式显微镜。**



Zacharias Janssen  
(1580-1638)



## 0.2 光学发展简史

### 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **斯涅耳 (Willebrord Snell van Royen, 1580 – 1626, 荷兰数学家和天文学家)**

1621年，发现了精确的折射定律，被称作**斯涅耳定律**。从实验中得来，无理论推导，未正式公布，由惠更斯和沃斯在审查他遗留的手稿时发现。



- **笛卡尔 (Rene Descartes, 1596 – 1650, 法国哲学家、数学家、科学家和作家)**

在著作《折光学》（也译作《屈光学》，Dioptrique, 1637）中，给出了有严格推导的光传播基本定律—折射定律和反射定律，并提出了光是原型微粒的模型。



# 0.2 光学发展简史

## 1. ?- 17世纪上半叶：几何性质

- **费马(Pierre de Fermat, 1601 – 1665, 法国数学家)**

从未在大学任职。1662年通过光线经过的路径取最小时间的假定，证明了折射定律。1679年，提出**费马原理**。但起初遭到了反对。被认为“只是道德原则，而不是物理原理。”



## 0.2 光学发展简史

**经典光学阶段以微粒说和波动说争夺统治地位为贯穿始终的主线，光开始被看做“光波”。**

### 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段（近代光学阶段）

- **格里马尔迪 (Francesco Maria Grimaldi, 1618-1663, 意大利物理学家)**

大约于1660年发现了光的衍射现象，并将其命名为“衍射” (diffraction)，意思是“散开 (breaking up)” 他将衍射现象描述为“光只能由某种以持续振动状态存在的细流组成”。他为衍射光栅的发明奠定了基础。在其著作《光的物理数学》(1666) 中，他为光的波动理论建立了一种几何基本方法，正是这本著作吸引了牛顿去研究光学。

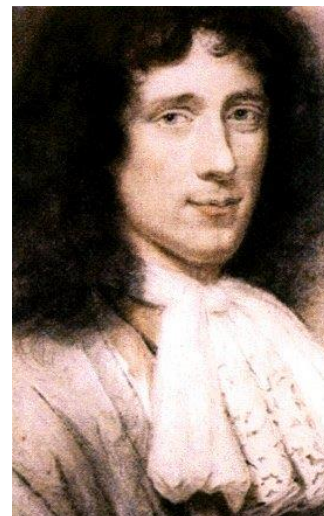


# 0.2 光学发展简史

## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段

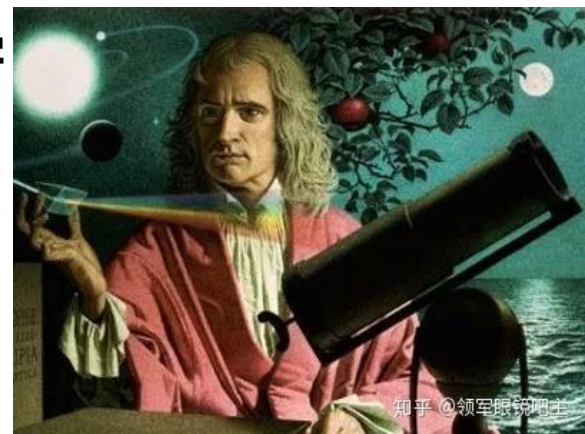
- **惠更斯 (Christian Huygens, 1629-1695, 荷兰数学家、天文学家和物理学家)**

1678年提出了光的波动理论（纵弹性机械波），并特别论证了波动相互干涉形成波前，并沿直线传播的原理。1690年发表了著名的著作《光论》（Traite de la Lumiere）。但对光波的概念很不完整，例如：没有提到光波在空间上的周期性。



- **牛顿爵士 (Sir Issac Newton, 1643-1727, 英国科学家)**

系统的研究了光现象，并在其1704年出版《光学》（Opticks）中进行了详细论述。该书也名为“论光的反射、折射、偏折与颜色”。1672年首次报道了对色散的研究。



# 0.2 光学发展简史

## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段

- **巴托林(Rasmus Bartholin, 1625-1698, 丹麦科学家)**  
1669年通过方解石观察到光的双折射现象。
- **托马斯·杨 (Thomas Young, 1773-1829, 英国)**  
1801年, 双孔干涉实验、1817年, 提出光的横波性。
- **夫琅禾费(Joseph von Fraunhofer, 1787-1826, 德国配镜技师)**  
1814年发明了光谱仪, 1823年发表了衍射理论, 还发明了光栅, 并进行光波长的精确测量。
- **菲涅尔(Augustin-Jean Fresnel, 1788-1827, 法国物理学家)**  
1818年完善了波动理论, 形成了惠更斯—菲涅尔原理, 制作了菲涅尔透镜, 数学上证明了只有光是横波才能解释偏振现象。

# 0.2 光学发展简史

## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段

惠更斯—菲涅尔旧波动学说的困难：把光看做某种机械运动，而机械弹性波只能存在于某种介质之中。

↓  
以太学说

↓  
光的横波性，机械横波只在产生于固体中

↓  
弹性固体的特性加于以太

↓  
$$v = \sqrt{N / \rho}$$

难以想象的要求：

- 1) 不妨碍其他物体运动，要求以太的  $\rho \rightarrow 0$ ；
- 2) 光速极大，需要  $N \rightarrow \infty$ ，
- 3) 不同介质有不同的特性，则以太在不同物质中有不同的特性。

# 0.2 光学发展简史

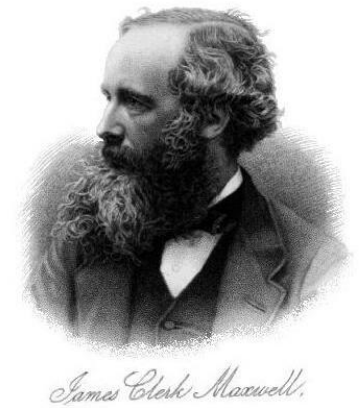
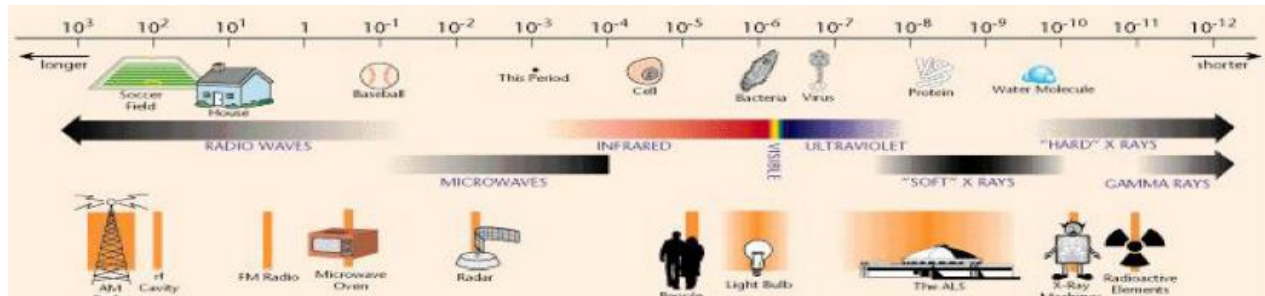
## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段

**证明光是电磁波，在经典物理学的范畴内使光学理论在新的认识高度上更接近于客观事实。**

- **麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831—1879, 英国科学家)**

1865年提出麦克斯韦方程组，并在《电磁学通论》(1873)中给出。预言了电磁波的存在，证明了电磁波速度几乎等于当时测得的光速，从而预言光必然是一种电磁波。这一预言在1887年，由赫兹 (Hertz) 进行了证实。

**这种对光、电、磁现象的综合理论代表了19世纪最伟大的科学成就之一。**



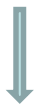
# 0.2 光学发展简史

## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：经典光学阶段

这一阶段的其他主要科学家包括：



瑞利爵士



对散射的  
研究



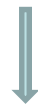
赫兹



第一个发现  
光电效应



迈克尔逊



精密的干涉  
仪和测量

- 法布里和珀罗
- 约翰·廷德尔
- 马吕斯
- 布儒斯特
- 法拉第
- 洛伦兹
- .....



# 0.2 光学发展简史

## 经典物理学的成就与缺陷

**“19世纪已将物理学大厦全部建成，今后物理学家的任务就是修饰、完美这座大厦了。”** -- 1900年新春，开尔文在送别旧世纪所做的演讲

经典物理学	成就与作用	缺陷
牛顿力学与相对论力学	牛顿力学以三大定律为基础，准确的描述了宏观粒子的低速运动。相对论力学则描述了宏观粒子的高速运动。	只限于研究物体在时空中整体的机械运动，并未涉及物体的内部结构和物质的内禀属性。
热力学与统计物理	热力学总结了物质的宏观热现象，统计物理则从微观的角度解释宏观热现象。	对于热现象的本质缺乏根本性的解释。
光学	以波动学说为基础，描述了光波的传播、干涉、衍射等现象及其原因。	不能解释光的产生和吸收、光和物质的相互作用等。
电动力学	以Maxwell方程为基础，解释了电、磁的各种实验现象的成因和电磁相互转换的规律，将各种的电磁波统一在了同一理论框架下进行描述。	对电磁波的产生、光（作为电磁波）与物质的相互作用不能做出有效的解释。

## 0.2 光学发展简史

### 3. 20世纪初—20世纪中叶：量子光学（现代光学萌芽阶段）

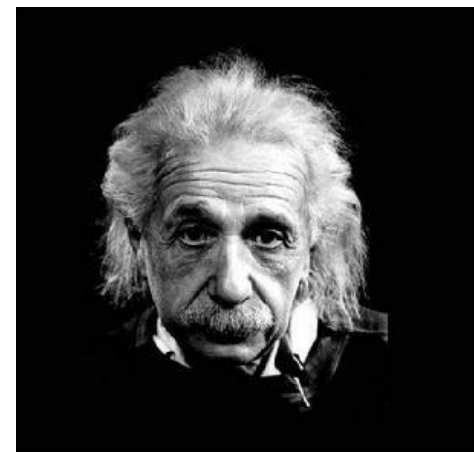
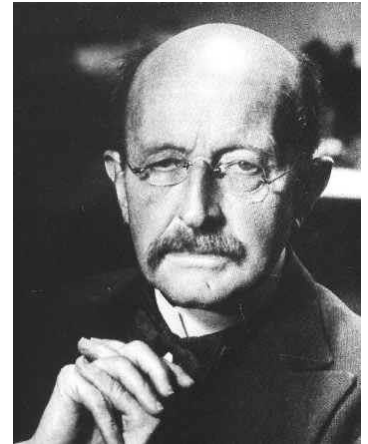
- **马克思·普朗克（Max Planck, 1858 - 1947, 德国物理学家）**

1900年提出了电磁辐射的量子假说。量子论不仅给光学，也给整个物理学提供了新的概念，因此通常被视为近代物理学的起点。

- **爱因斯坦（Albert Einstein, 1879 - 1955）**

1905年将量子论用于光电效应（光量子，即光子），并提出了光作用于物质时，也是以光子作为最小单位的。由于19世纪末-20世纪初的多次实验都证明了光的量子性，光的微粒性（量子性）又被提到了首位。同年9月，提出狭义相对论，摒弃以太论，解释了运动物体的光学现象。

1917年《关于辐射的量子理论》论文，预言了受激辐射过程，导致了激光的发展。



## 0.2 光学发展简史

### 3. 20世纪初—20世纪中叶：量子光学（现代光学萌芽阶段）

**德布罗意 (Louis Victor de Broglie) : 1929, 物质波→几率波**

**薛定谔 (Erwin Schrödinger) : 1932, 薛定谔方程→量子力学**

**狄拉克 (Paul Adrien Maurice Dirac 1902-1984) : 建立了完整的量子力学理论的公式化表述。**

**光既非经典的粒子，也非经典的波，而是一种具有波动性质的微观粒子，或者说既是波也是粒子，具有波粒二象性**

**至此，光的波动性和粒子性得以统一，“光子”的概念开始深入人心。然而，对于光的本性的认识和探究还远远没有结束。。。**

# 0.2 光学发展简史

## 4. 20世纪中叶至今（现代光学发展阶段）

以1960年第一台红宝石激光器问世作为代表和起源，现代光学已成为现代科学中最活跃和富有生命力的研究领域。激光的出现，标志着人们掌控光的能力进入了新的阶段。与应用紧密结合的现代光学，催生了一批新的学科和方法，迅速的推动了物理学、化学、生物等科学的发展。

- 克里施南和拉曼：散射辐射（拉曼效应）。
- 丹尼斯·伽柏：发明了全息术。
- 戈登·古德尔：发明激光
- 西奥多·哈罗德·梅曼：制作了第一台红宝石激光器。
- 高琨和霍克汉姆：指出玻璃光纤可用于传输信号。
- .....

# 0.3 现代光学的发展

## 1. 光学的研究对象、分支和应用

几何光学，波长远小于仪器的尺度、光子能量连续分布  
物理光学（波动光学），波长尺度、光子能量连续分布  
精密测量、分光

量子光学，光子能量不连续

傅里叶光学，信息处理、像质评价、光学计算

激光光学，非线性光学、材料加工、精密测量、通讯、  
医疗、原子能、军事、.....

光的发射， 涉及

光的传播， 主体

光与物质的相互作用， 涉及

光的探测（成像） 涉及

# 0.3 现代光学的发展

## 2. 现代光学的发展

几何光学



- 哈密顿光学与光线方程
- 近轴光学 (矩阵描述)
- 光学设计与仿真
- 成像与相差理论
- 几何光学与波动光学的过渡

波动光学



- 光源与光谱
- 偏振光学 (矩阵描述)
- 相干光学、衍射与光栅
- 信息光学
- 固体光学 (表面、内部传播等)
- 非线性光学.....

量子光学



- 量子化光场
- 光电子学
- 光与物质相互作用.....

# 0.3 现代光学的发展

## 3. 现代光学的前沿分支（部分）

现代  
量子  
光学

- 单光子与多光子干涉
- 多光子纠缠
- 光子角动量
- 量子频标与光频梳
- 量子真空涨落
- 快光与慢光.....

原子  
光学

- 光场对原子的作用力
- 激光冷却原子
- 玻色—爱因斯坦凝聚（相干物质波）
- 原子激光
- 原子干涉.....

# 0.3 现代光学的发展

## 3. 现代光学的前沿分支 (部分)

### 特种激光

- 超短脉冲激光 (fs, as)
- 超强激光
- 光孤子
- 激光诱导核聚变.....

### 特种材料光学

- 纳米光学 (扫描近场显微镜—成像、光镊—操控、纳米光纤和发光材料—传输与制备)
- 光子晶体和聚合物
- 半导体光学
- 负折射率材料 (隐身衣) .....

### 集成光学

- 集成光学材料 (Si、InP、聚合物等体系)
- 加工技术 (飞秒直写、刻蚀)
- 高速光通信集成器件
- 量子集成光学.....

### 引力光学

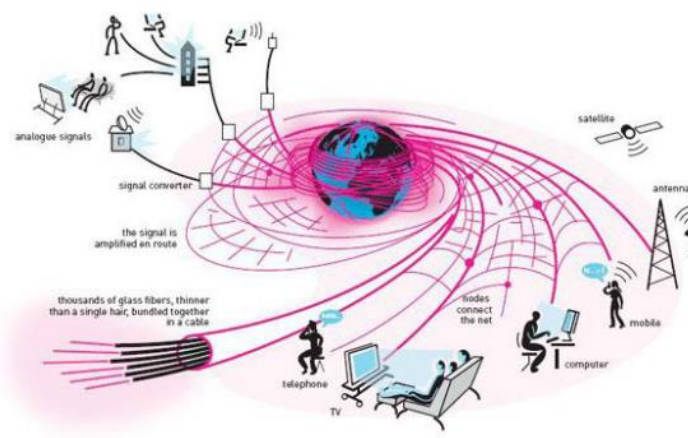
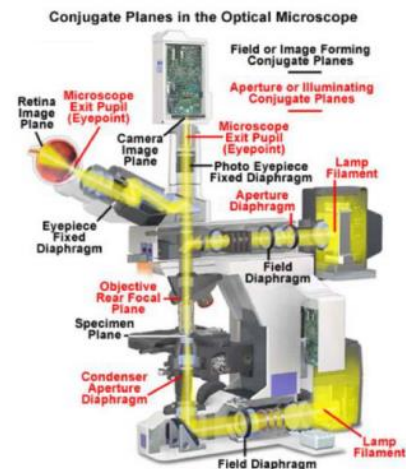
- 引力透镜与等效折射率分析
- 引力波探测 (激光干涉) .....



# 0.3 光学和光学课程的特点

## 1. 光学学科的特点

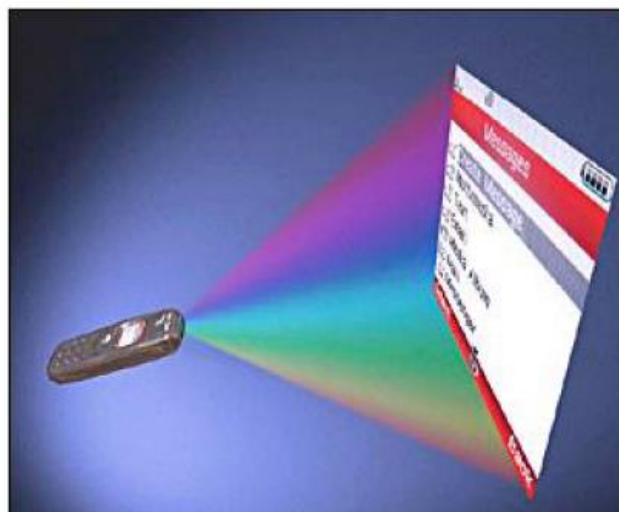
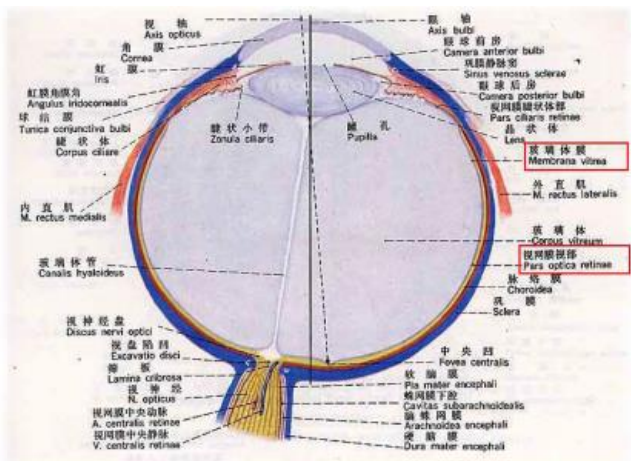
- 古老而年轻（结合发展史）



# 0.3 光学和光学课程的特点

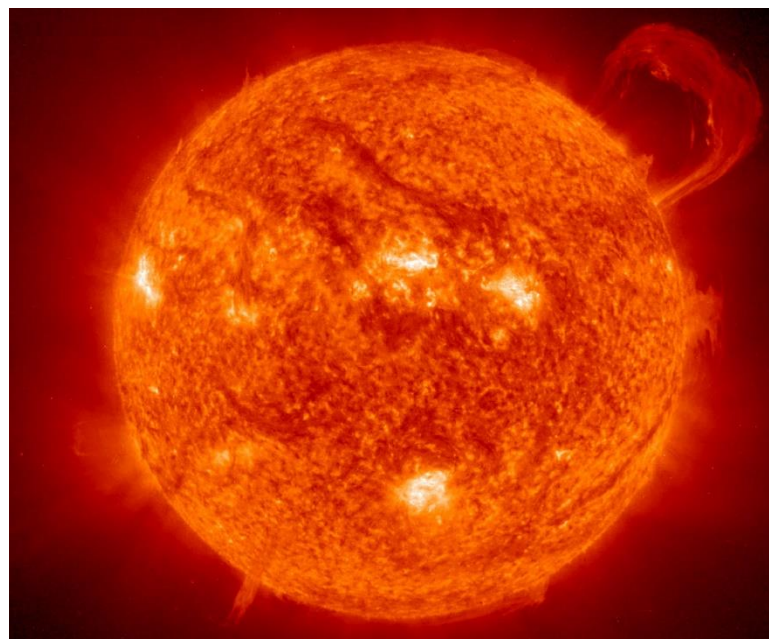
## 1. 光学学科的特点

- 贴近生活、结合实际（每天都与光和光学仪器接触）



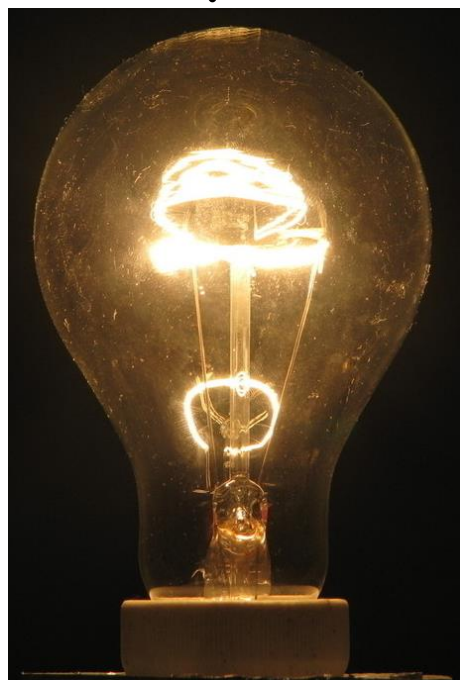
# 生活中的光源

燃烧



热光源

电光源

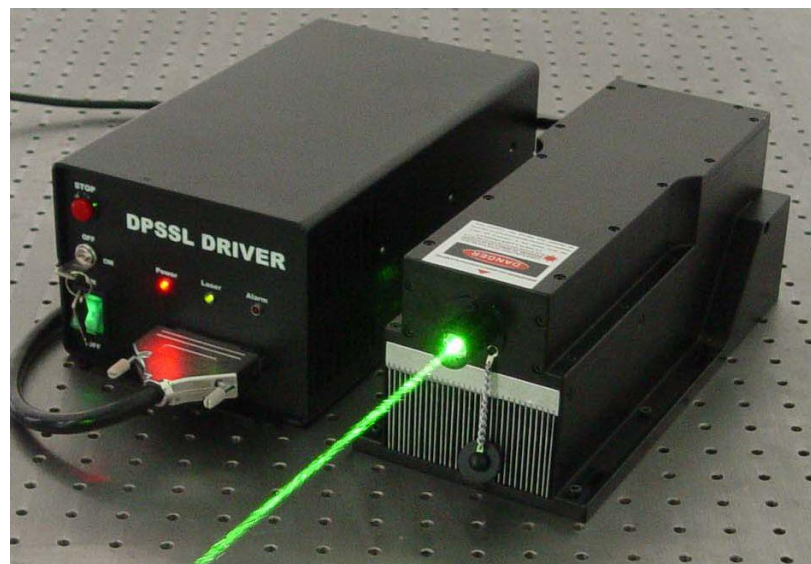


卤钨灯、氙灯、.....



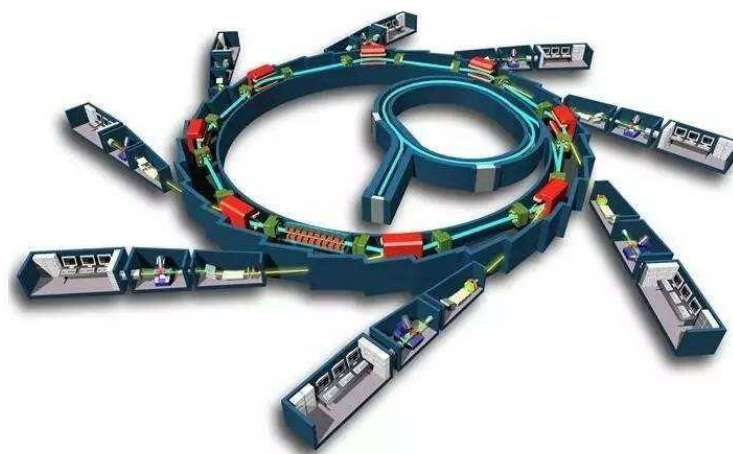
冷光源

## 高能量密度光源



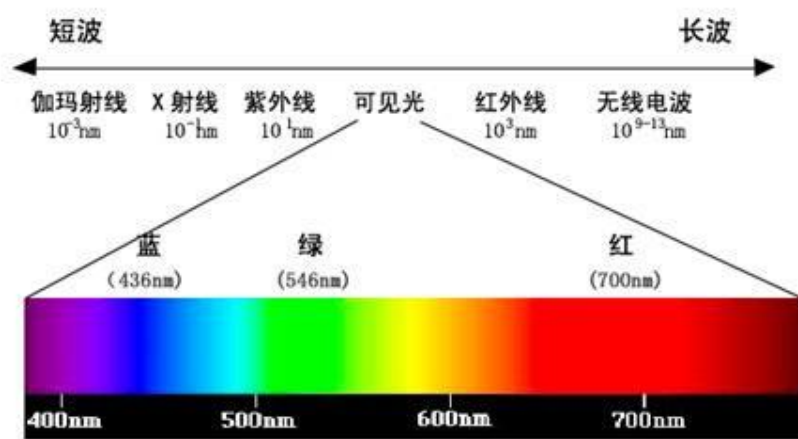
## 激光器与激光

1960, 第一台红宝石激光器问世

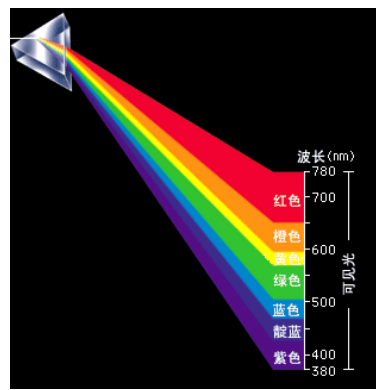


## 同步辐射光源

# 0.2.5 光谱

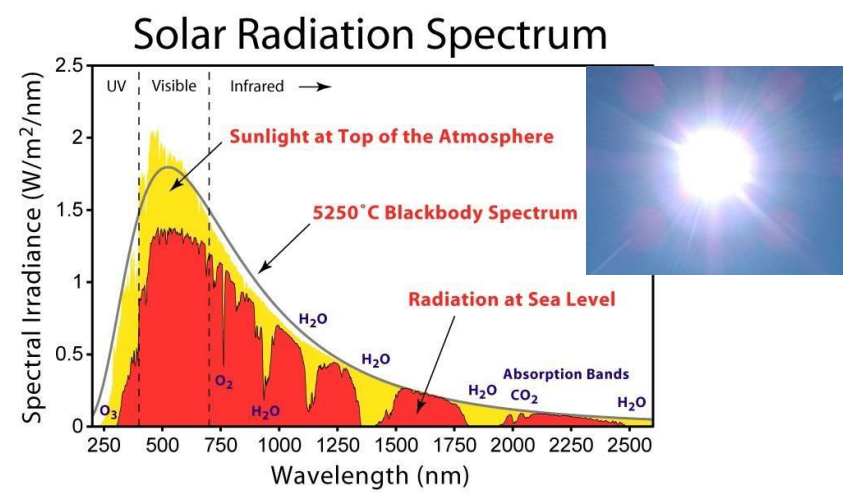


颜色	波长 (nm)
红色	650 - 800
橙色	590 - 640
黄色	550 - 580
绿色	490 - 530
蓝色	460 - 480
靛蓝	440 - 450
紫色	390 - 430



线光谱：谱线宽度 ( $\Delta\lambda$ ) 窄  $\rightarrow$  单色光  
 连续光谱：谱线宽度 ( $\Delta\lambda$ ) 宽  $\rightarrow$  多色光

可见光波长：400~760nm



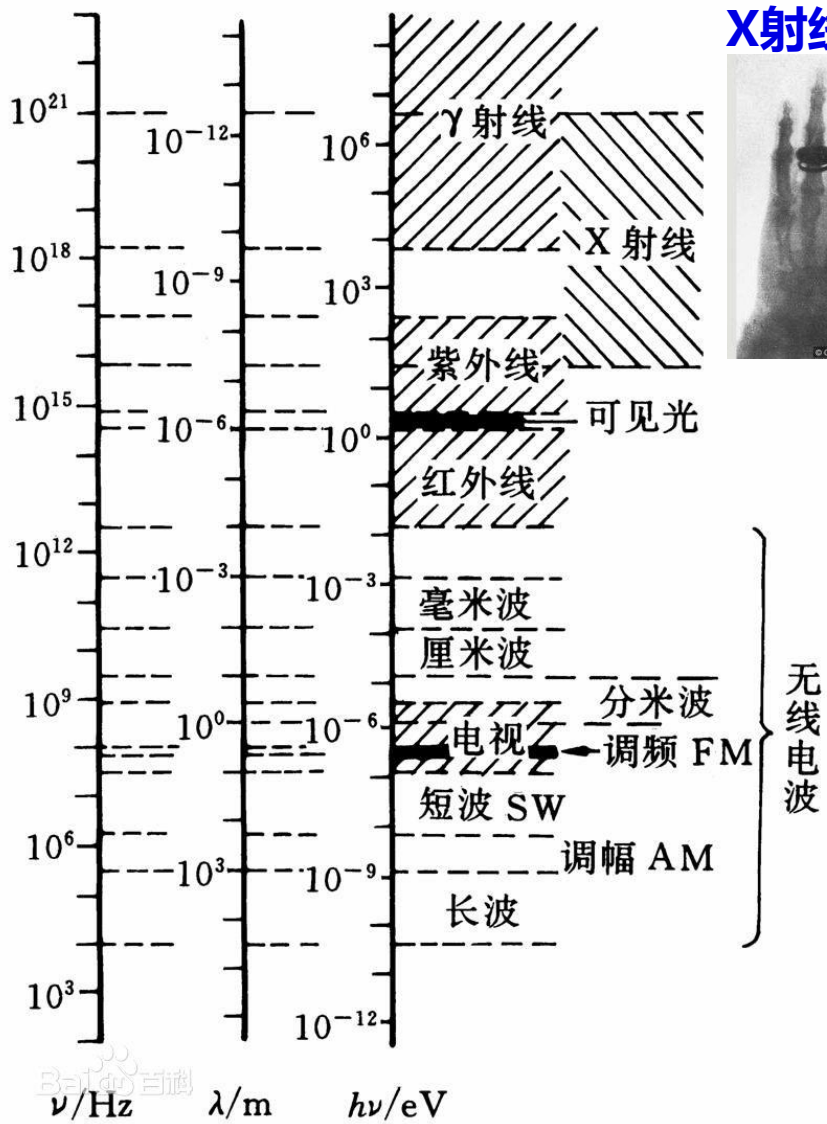
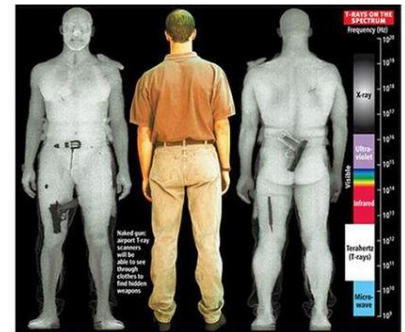
红外成像



X射线成像



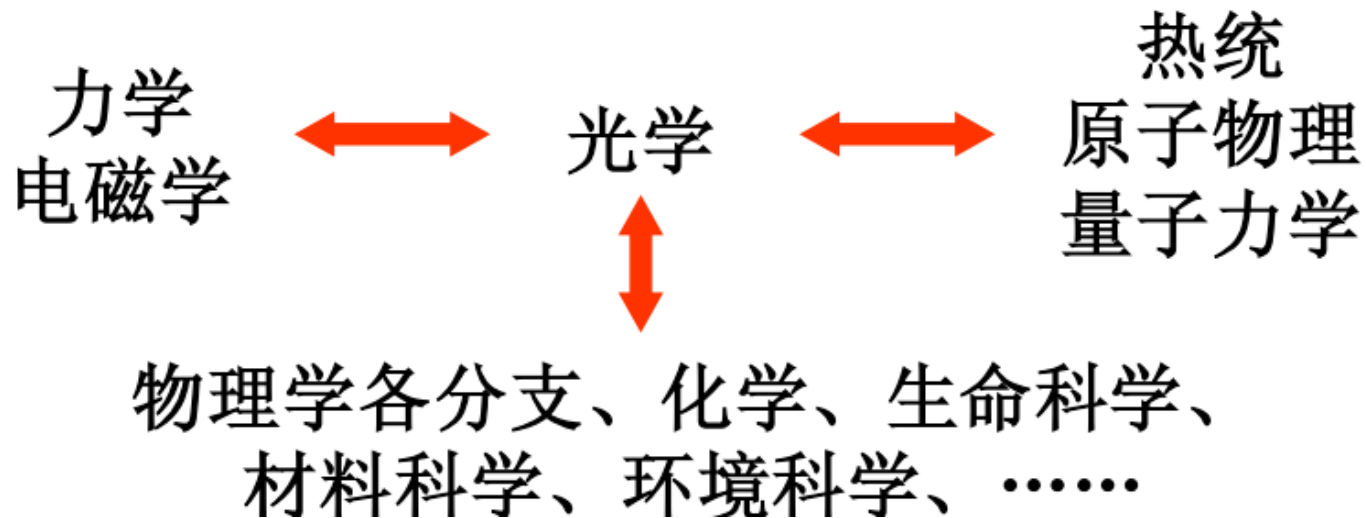
太赫兹成像



## 0.3 光学和光学课程的特点

### 1. 光学学科的特点

- 与多学科交叉、承上启下



## 光学学习、研究

}	光的发射	涉及
	光的传播	主体
	光与物质相互作用	涉及
	光的探测	涉及

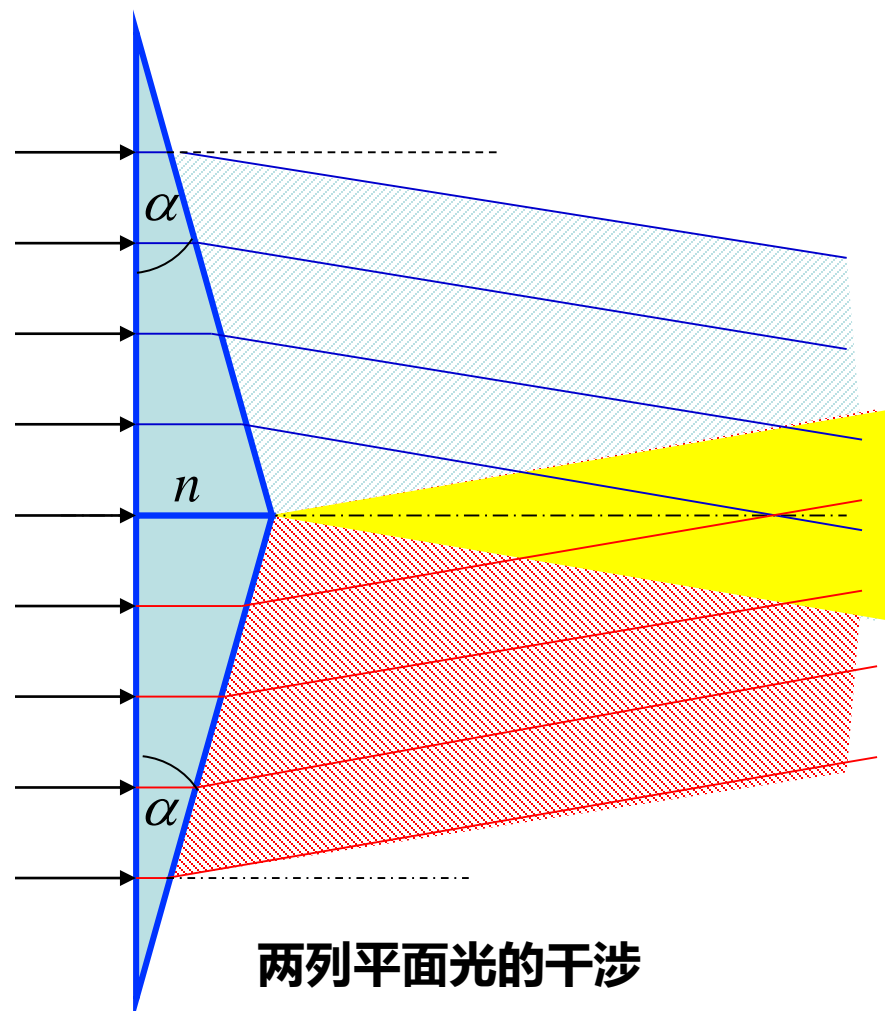
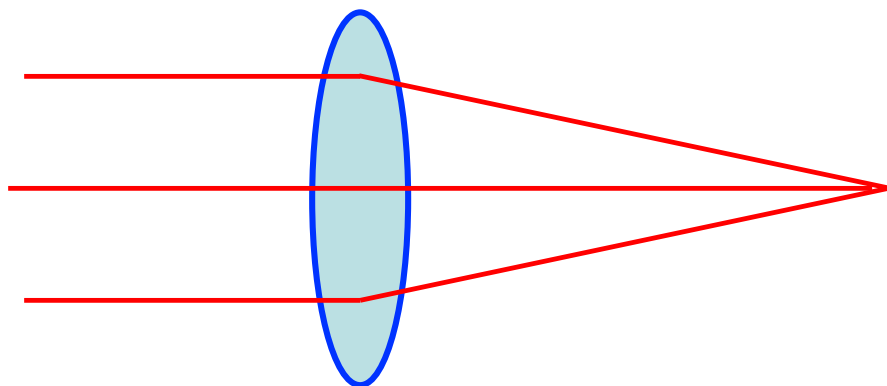
光学：有关折射率( $n$ )的故事

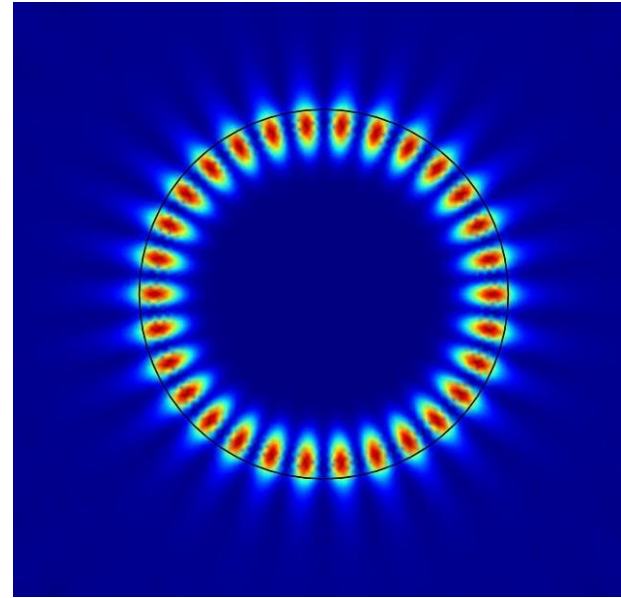
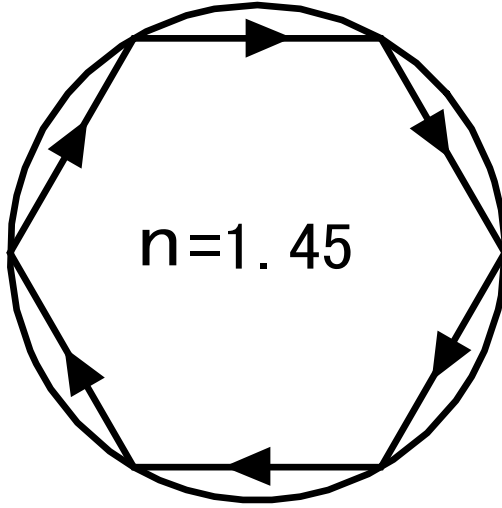
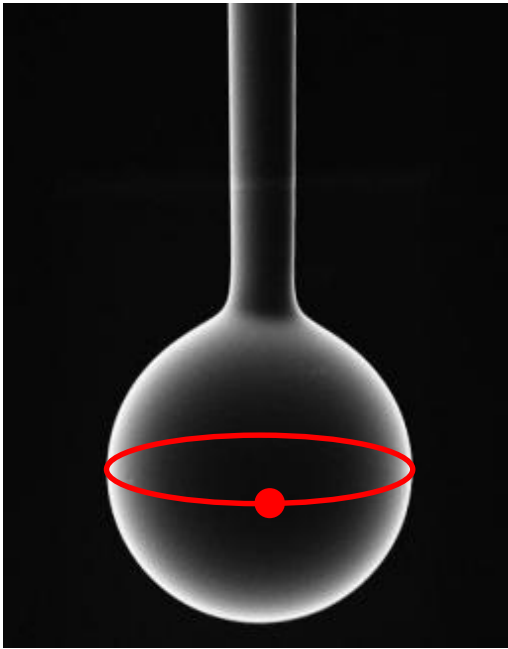
1. 来自于麦克斯韦方程组的 $n$
2. 不变的 $n$ ：几何光学 ( geometrical optics, ray optics) , 波动光学 (physical optics, wave optics)
3. 变化的 $n$ ：(1) 空间 (动量) 引起的变化：光栅, 光纤, 波导; 微纳光学 (nano-photonics, nano-optics)
4. 变化的 $n$ ：(2) 时间 (能量) 引起的变化：非线性光学 (nonlinear optics)
5. 扩展的 $n$ ：负值, 虚部, back to 麦克斯韦方程组:  $\epsilon, \mu$  的调控; 变换光学 (transformation optics)
6. 来自量子力学的 $n$  (相互作用强度高) · 量子光学 (quantum optics)



## 光学学习、研究

不变的 $n$ , 几何光学 ( geometrical optics, ray optics) , 波动光学 (physical optics, wave optics)





# 光学学习、研究

变化的n: (1) 空间 (动量) 引起的变化: 光栅, 光纤, 波导; **微纳光学 (nano-photonics, nano-optics)**

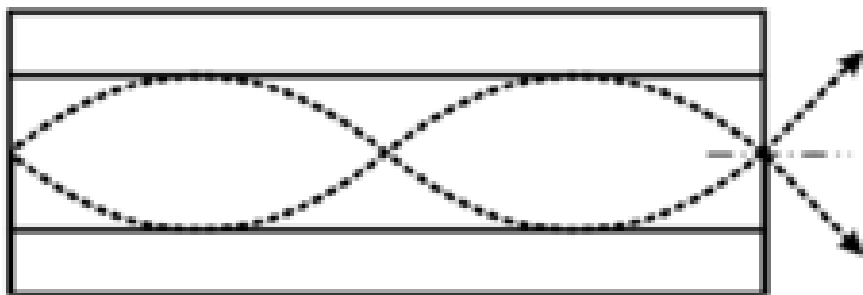
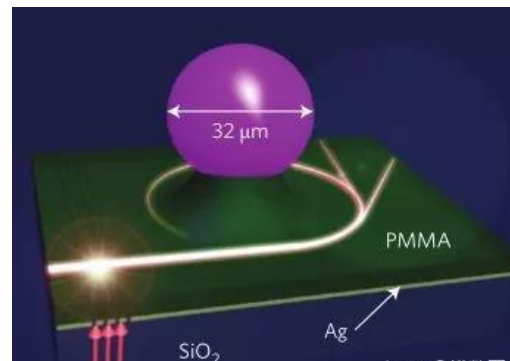
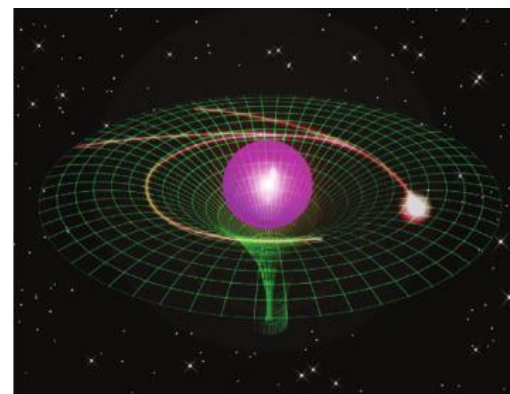
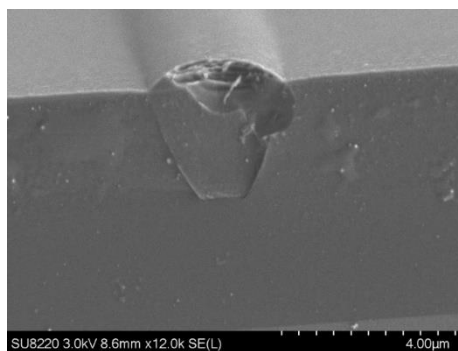
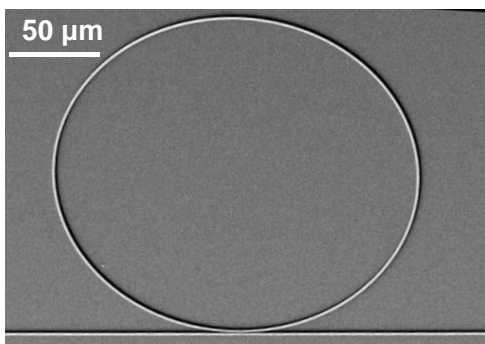


图 3-2 渐变折射率光纤中光及高阶光束的传播路径

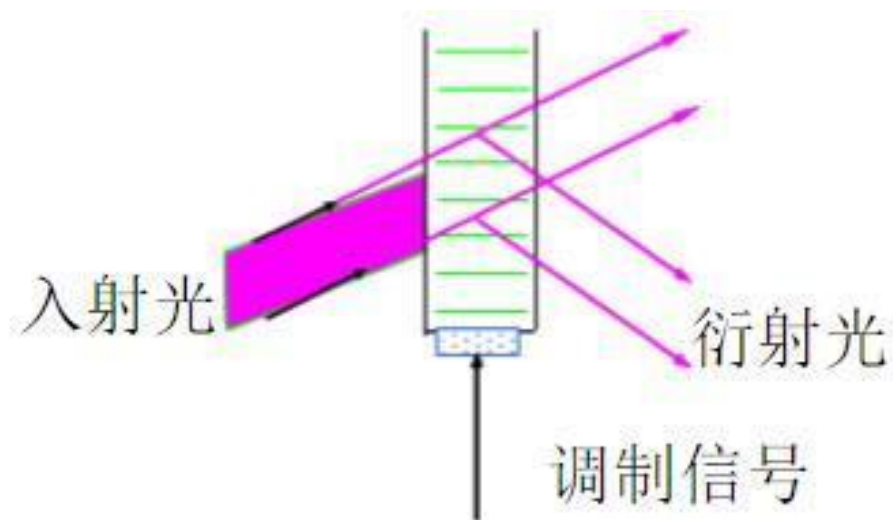
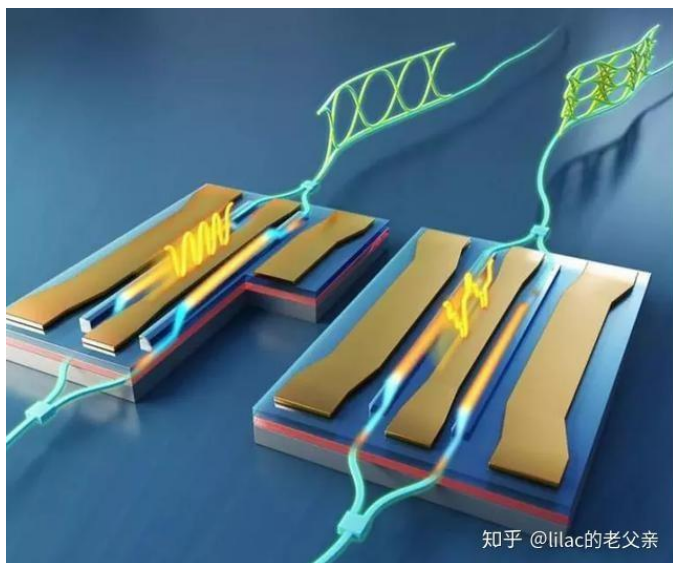


光学“黑洞”



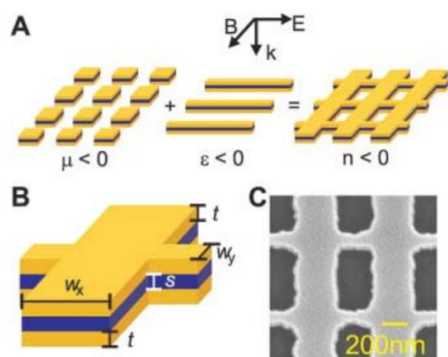
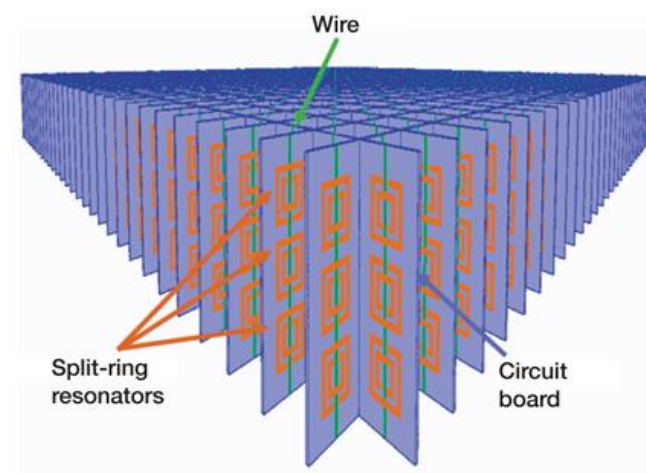
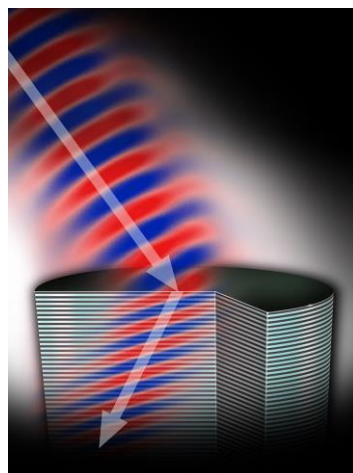
## 光学学习、研究

变化的 $n$ : (2) 时间 (能量) 引起的变化: **非线性光学 (nonlinear optics)**

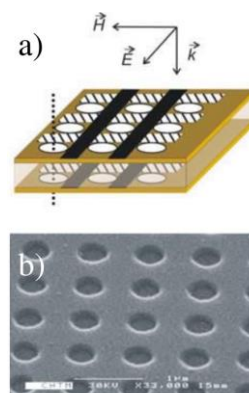


# 光学学习、研究

1. 扩展的 $n$ : 负值, 虚部, back to 麦克斯韦方程组:  $\epsilon, \mu$  的调控; 变换光学 (transformation optics)



Science 312, 892 (2006).



PRL 95, 137404 (2005)

<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1058847>

# 0.3 光学和光学课程的特点

## 2. 光学课程的特点

- 首重概念和物理图像，自行丰富细节和推导
- 学会简化条件、简化分析（科学中的性价比）
- 理论联系实际（实验性、生活性）
- 在课程的基础上追逐前沿（前沿性）

应试→思考 做题→设问

批判性思维

掌握思维方法比接受知识更重要

质疑、好奇

提不出问题比面对一堆问题更可怕

想象、猜测

教师的作用：

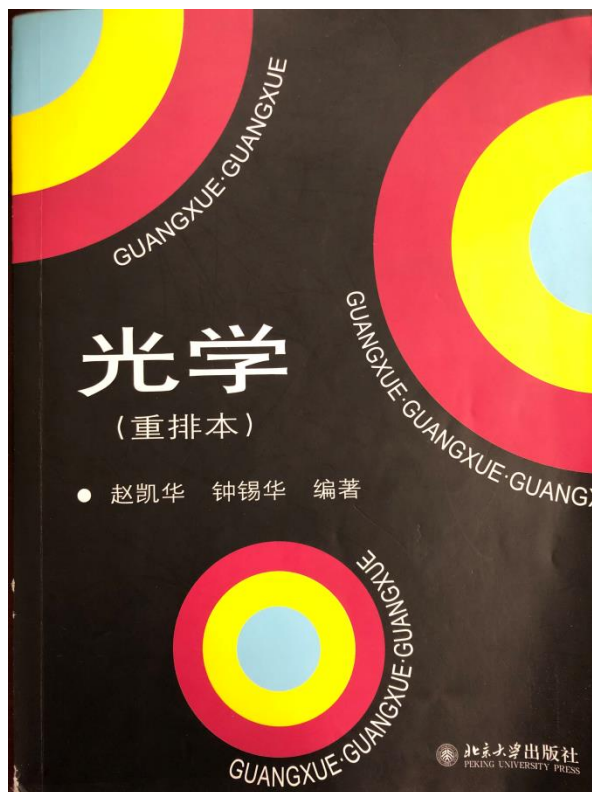
中小学：喂着吃——保育员；

大学：自己吃；

研究生：找着吃。

## 教材及参考书

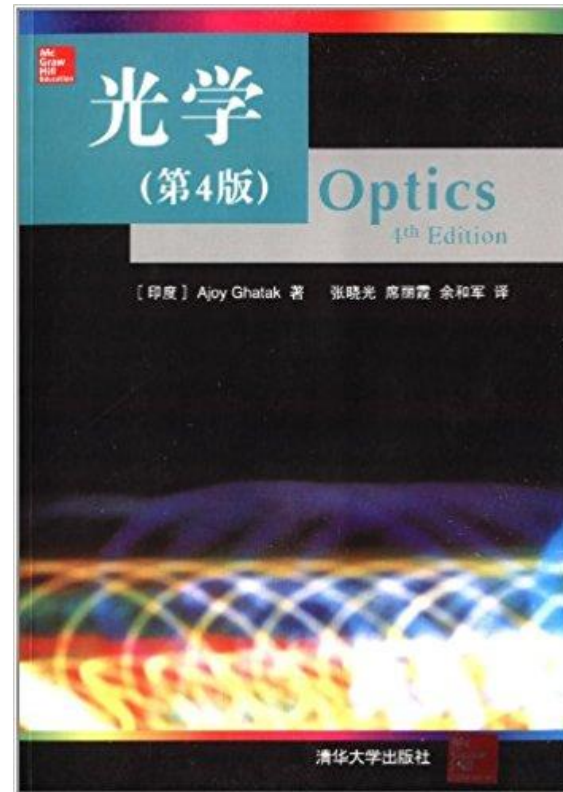
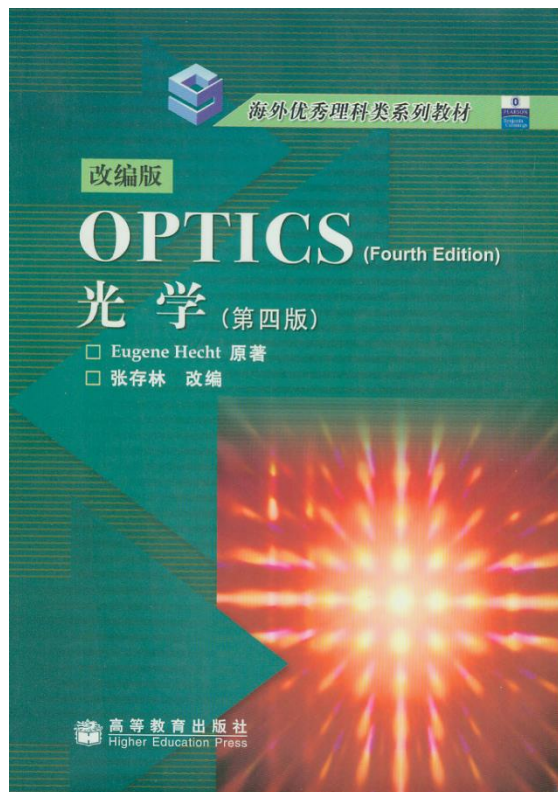
教材：赵凯华 钟锡华 《光学》



参考书：

Eugene Hecht <Optics>;

Ajoy Ghatak, 张晓光等译; 《光学》



其他参考：

Born & Wolf <Principles of Optics>  
google; <https://en.wikipedia.org>

# 思考题

**请列举出5种生活中的光学现象或科研中的光学仪器，以及5种生活中遇到的光学现象（课堂上已提到的除外）。**

**推荐： BBC 《光的故事》（光之舞） 1-4。**