

# 光学 *Optics*

<http://lqcc.ustc.edu.cn/fwsun/Optics.html>

**孙方稳** 量子信息重点实验室302室

63606411; 15156086896; [fwsun@ustc.edu.cn](mailto:fwsun@ustc.edu.cn);

**助教:** 褚玥潭, [ytchu@mail.ustc.edu.cn](mailto:ytchu@mail.ustc.edu.cn); 13675656016

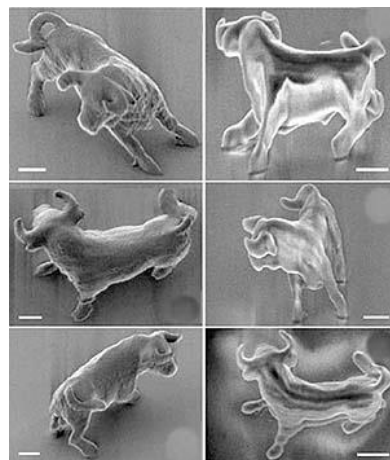
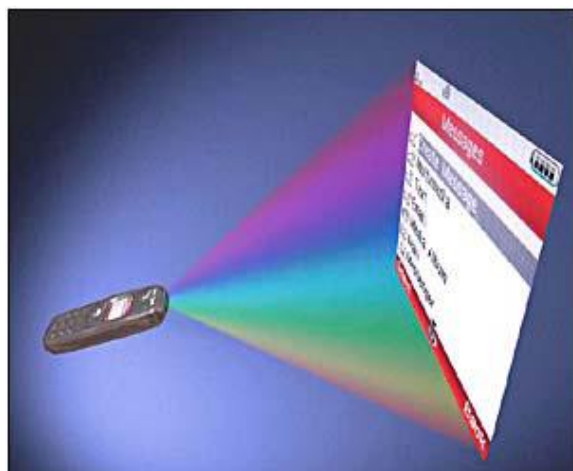
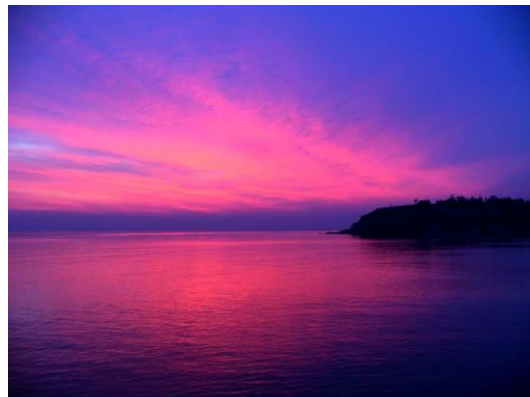
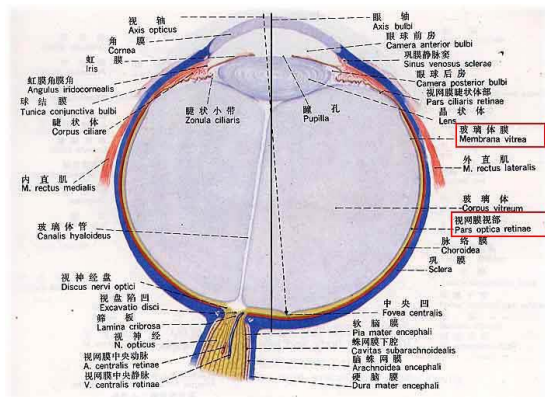
课代表:

成绩组成:

- 1、平时 (40%) : 作业、随堂测验、小论文 (独立或2-3一组)
- 3、期中考试 (25%)
- 4、期末考试 (35%)

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!  
本课件仅在**2020**年秋季严济慈班光学课程使用。

# 光学特点-1. 贴近生活、贴近实际



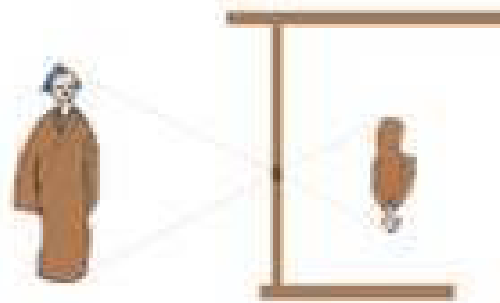
## 光学:

1. 信息获取、传输和处理
2. 显示
3. 加工与制造
4. 检测
5. 能源
6. 生命医学
7. ...

## 光学特点-2. 古老而年轻



墨子



**墨子(前468年~前376)对光学很有研究, 对于光的直线传播、光的反射和若干物影成像, 进行了精彩的描述。**

墨子通过小孔成像的光学实验, 阐述了光的直线传播原理, 成为后代摄影技术的先声。

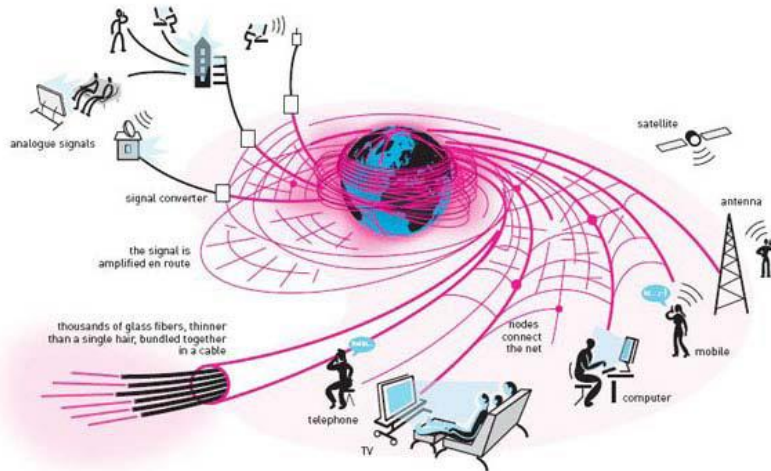
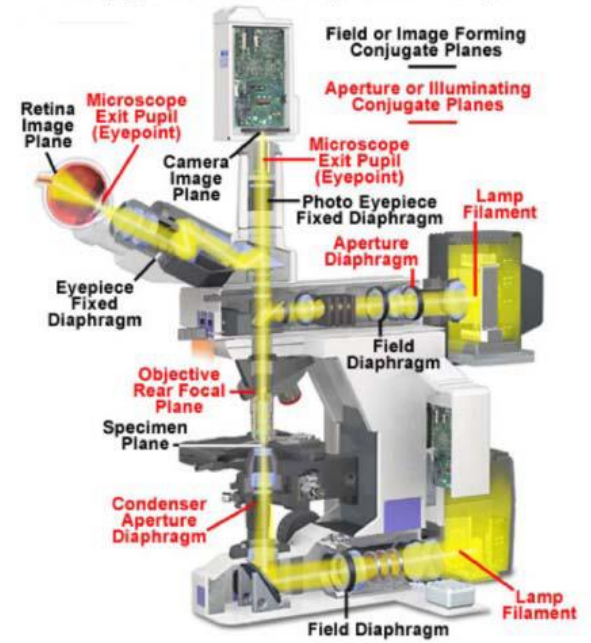
墨子及其弟子的著作, 统称为《墨子》。其中《经上》, 《经下》、《经说上》、《经说下》及《大取》、《小取》六篇, 专说名辩和时间、空间、物质结构、力学、光学、声学、代数、几何等内容



**小孔成像观察日食**



### Conjugate Planes in the Optical Microscope







**INTERNATIONAL  
YEAR OF LIGHT  
2015**

联合国教科文组织将2015年定为“**国际光之年**” (International Year of Light and Light-based Technologies 2015 or International Year of Light 2015 (IYL 2015) ), 旨在提升大众对光学科学、其应用, 以及对人类重要性的认识。2015国际光之年的开幕式在2015年1月19-20日于巴黎举行。

联合国教科文组织将5月16日定为“**国际光日**” (International Day of Light ), 2018年5月16日是第一个国际光日。在1960年的这一天, 物理学家兼工程师西奥多·梅曼第一次成功产生激光。这一国际日旨在呼吁加强科学合作, 发挥其促进和平与可持续发展的潜力。



**International  
Day of Light  
16 May**

## 光学特点-3. 转折点

多学科交叉

力学  
电磁学



光学



热统  
原子物理  
量子力学



物理学各分支、化学、生命科学、  
材料科学、环境科学、.....

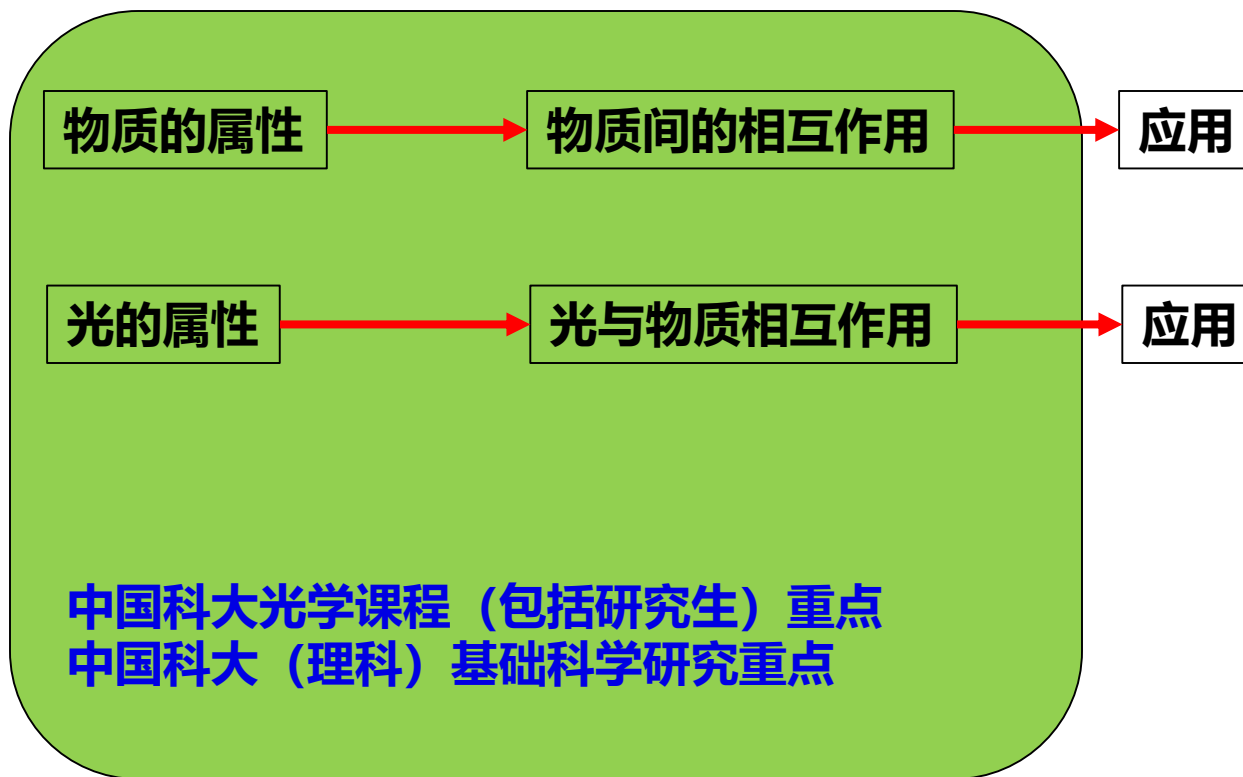
近代科学→现代科学

光是什么？ 经典牛顿力学→量子力学，相对论

# 新世纪与光相关的诺贝尔奖

年份	奖项	获奖者	获奖原因
2000	物理	阿尔费罗夫、克勒默	半导体激光二极管
2001	物理	凯特勒、康奈尔、威曼	BEC
2005	物理	格劳伯	光学相干的量子理论
2009	物理	高锟	光纤通讯
2012	物理	阿罗什、维因兰德	单量子技术
2014	物理	赤崎勇、天野浩、中村修二	蓝光二极管
2014	化学	贝齐格、赫尔、莫纳	荧光显微技术
2017	物理	韦斯、巴里什、索恩	引力波的探测
2018	物理	阿斯金, 莫罗、斯特里克兰	激光物理

# 0.0 绪论-光是什么





## 0. 1. 历史回顾

### 一、问题的提出

人为什么能看到周围的物体？视、听、触、嗅、味，90%视觉

### 二、光学的发展阶段

1. ? —17世纪上半叶：几何性质

墨子：公元前470—400，墨经中的八条

欧几里得 (Euclid)：公元前385—323，触须观点

阿尔-海兹恩 (Al-Hazen)：1100，发明第一只透镜

琼森，李普塞 (Jonsen, Lippershey)：1590，发明第一架望远镜

冯特纳 (Fontana)：第一台显微镜

斯涅尔，笛卡尔 (Snell, Descarte)：1621，反射定律、折射定律

费马 (Fermat)：1679，费马原理

## 2. 17世纪下半叶—19世纪末：波粒矛盾

经典阶段：

微粒说 (Isaac Newton) : 统治十七世纪下半叶和十八世纪

困难：光在水中的速度比空气快

波动说：十九世纪逐渐完善起来

惠更斯 (Christian Huygens) : 1678, 纵弹性机械波

杨、菲涅耳 (Thomas Young, A.J. Fresnel) : 1801,

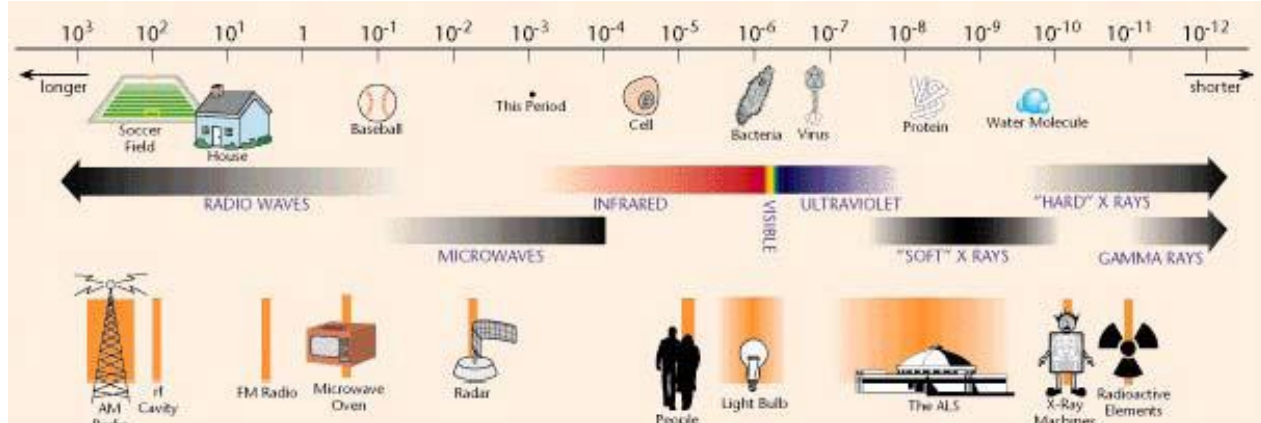
惠更斯—菲涅耳原理

困难：机械弹性波只能产生于固体之中→以太

→令人费解→两朵乌云之一 (迈克尔逊-莫雷实验)

近代:

波动: 麦克斯韦 (James Clerk Maxwell) , 1860, 光是电磁波



量子: 普朗克 (Max Plank) , 1900, 光量子假说→黑体辐射

爱恩斯坦 (Albert Einstein) , 1905, 光电效应

狭义相对论→摒弃以太

3. 20世纪初—20世纪中: 波粒二象性

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

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

## 0.2. 光是什么 (1) ---0.2.1 光是电磁波

粒子 (Isaac Newton) → 波动 → 电磁波 (James Clerk Maxwell)

Maxwell方程组(无源各向同性介质)和物质方程组

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{D} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \end{array} \right.$$



$$\nabla^2 \mathbf{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 \mathbf{B} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \mathbf{B}}{\partial t^2} = 0$$

(介质中) 光速:  $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \mu_0 \varepsilon_r \varepsilon_0}}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{D} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \mathbf{E} \\ \mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H} \\ \mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \end{array} \right.$$

真空中光速:  $\varepsilon_r = 1, \mu_r = 1 \quad c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$

真空中光速定义值:  $c=299792458\text{m/s}$

$\varepsilon_0$ : 真空介电常数;  $\mu_0$ : 真空磁导率

$\varepsilon$ : 相对介电常数;  $\mu$ : 相对磁导率

## 0.2.2 折射率 (n) (refractive index, index of refraction)

$$n = c/v = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$

一般光学介质:  $\mu_r \approx 1$   $n \approx \sqrt{\epsilon_r}$

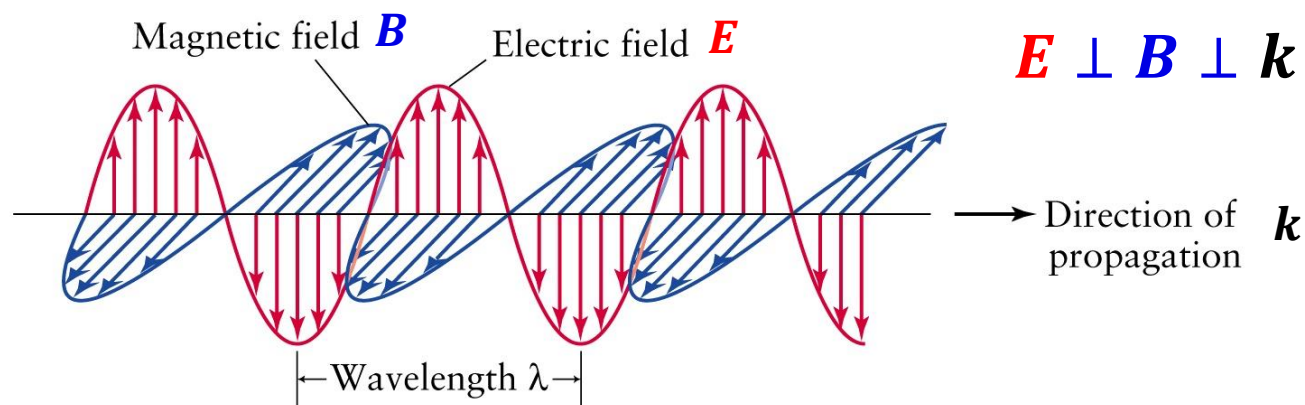
(研究光在介质中的行为时, 重点考虑电场强度, 即电场分量  $\mathbf{E}$ 。)

材料	折射率	材料	折射率
真空	1.000	乙醇	1.360
空气	1.000	钻石	2.4170
冰	1.309	融化的石英	1.460
水	1.333	玻璃	1.500

注: 折射率与温度, 波长 (光的色散) 有关。

★ 调研报告: Negative refractive index

## 0.2.3 光波是横波



$\lambda$ : 波长; (介质中波长=真空中波长/ $n$ );

$\nu = c/\lambda$ : 频率; ( $\omega = 2\pi\nu$  圆频率, 角频率)

$k$ : 波矢; (传播方向);  $|k| = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$

$E$ 的振动方向: 偏振



坡印廷矢量:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

光强: 单位面积上平均光功率; 或光的平均能量密度

$$|\mathbf{S}| = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}} E^2 \cong \frac{n}{c\mu_0} E^2 \quad (\text{光频段 } \mu \cong 1)$$

对于简谐振动:

$$\overline{E^2} = E_0^2/2; \quad (E_0:\text{振幅})$$

$$\text{光强: } I = \bar{S} = \frac{n}{2c\mu_0} E_0^2 \propto E_0^2$$

相同介质中简化:  $I = E_0^2$

不同介质中注意  $n$

## 0.2.4 光源

热辐射 (温度辐射)

非热辐射 { 电致发光  
          { 荧光  
          { 化学发光  
          { 生物发光

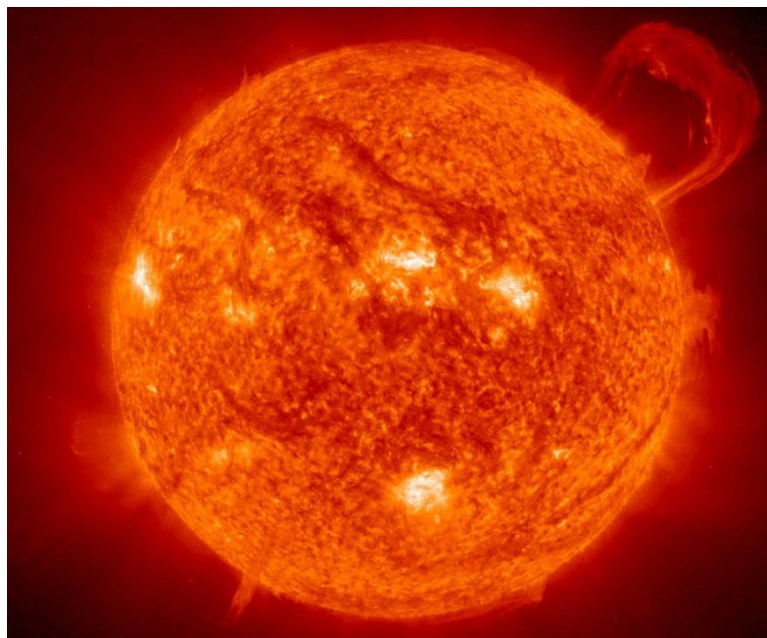
激光: 受激辐射光放大器 (Laser)

加速器光源

## 0.2.4 光源

### 生活中的光源

燃烧



热光源

电光源

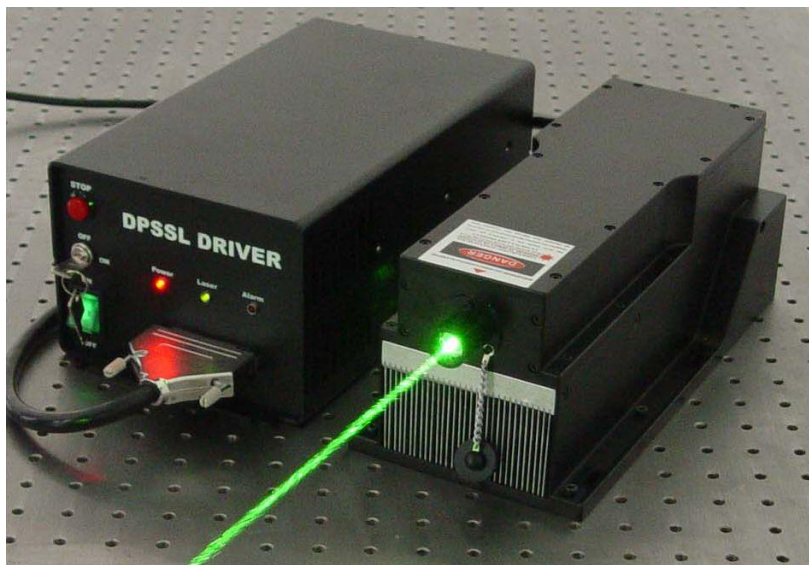


卤钨灯、氙灯、.....



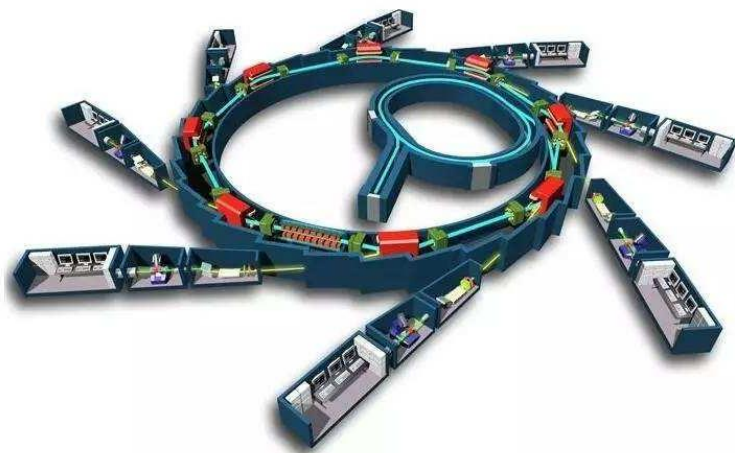
冷光源

## 高能量密度光源



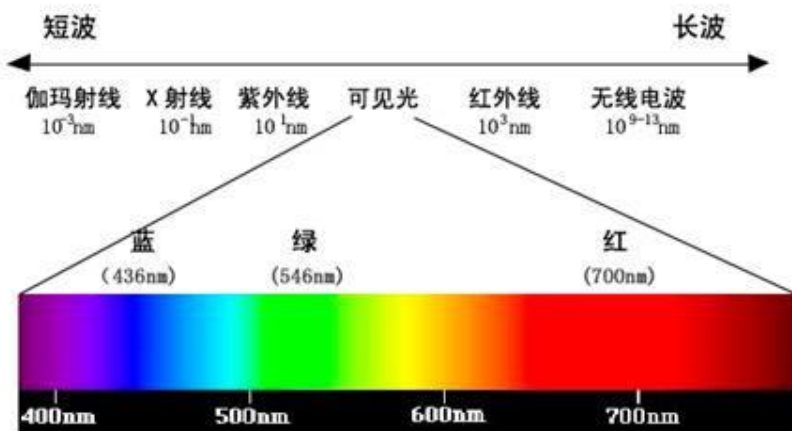
## 激光器与激光

1960, 第一台红宝石激光器问世



## 同步辐射光源

# 0.2.5 光谱



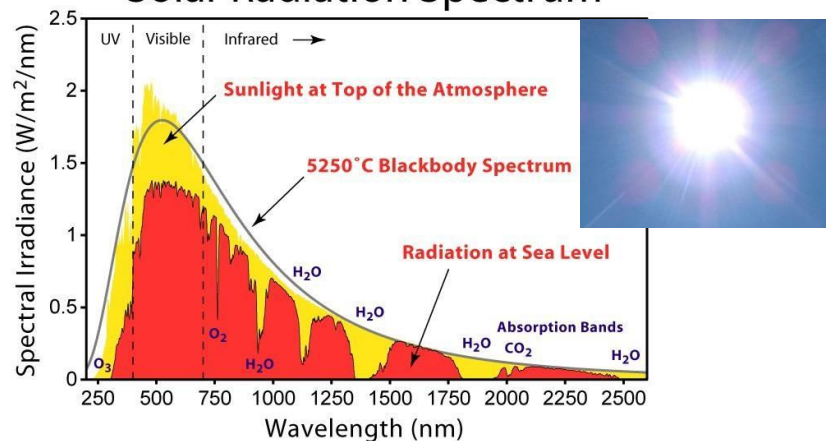
颜色	波长 (nm)
红色	650 - 800
橙色	590 - 640
黄色	550 - 580
绿色	490 - 530
蓝色	460 - 480
靛蓝	440 - 450
紫色	390 - 430



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

可见光波长：400~760nm

## Solar Radiation Spectrum





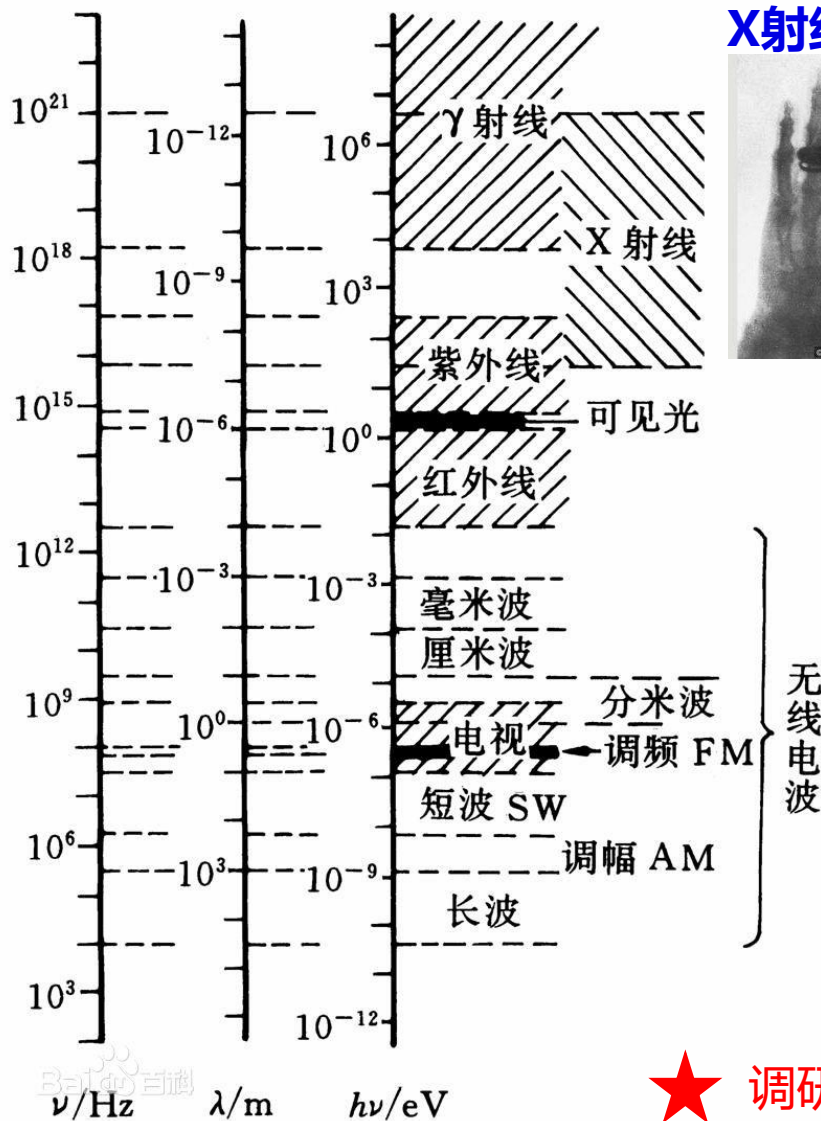
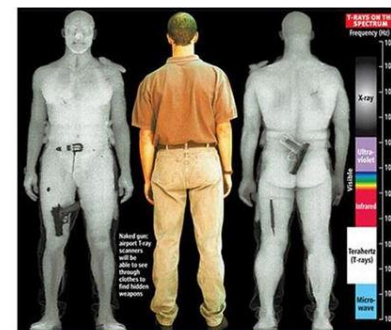
## 红外成像



## X射线成像



## 太赫兹成像



★ 调研报告: Terahertz optics



## 0.2.5 光学学习、研究

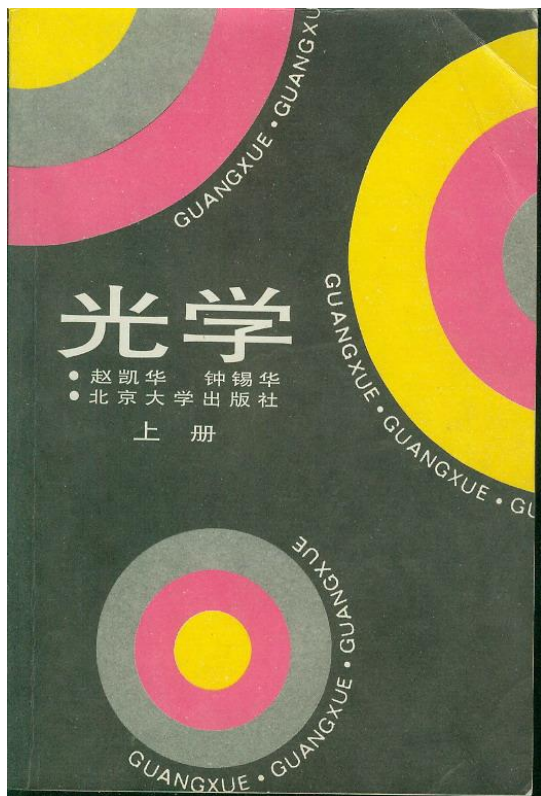
}	光的发射	涉及
	光的传播	主体
	光与物质相互作用	涉及
	光的探测	涉及

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 $n$  (相互作用强度强) · 量子光学 (quantum optics)

## 教材及参考书

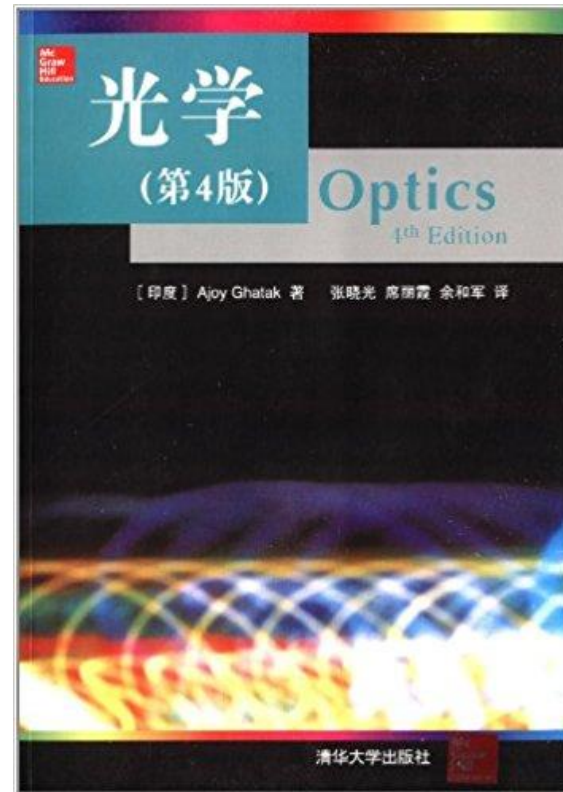
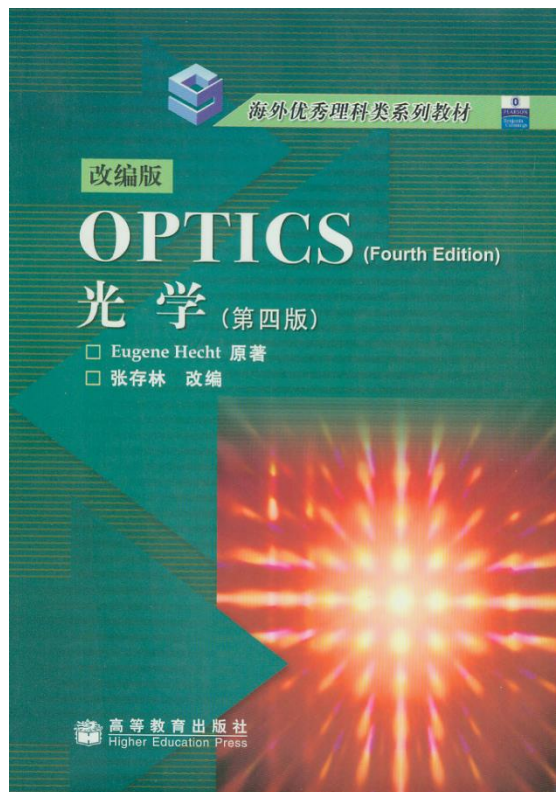
教材：赵凯华 钟锡华 《光学》



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>

## 分组调研题目

### 重点: Principles, phenomena, and applications

序号	题目
1	Goos-Hänchen effect
2	Terahertz optics
3	Talbot effect
4	Optical waveguide and fiber
5	Surface plasmons
6	Whispering gallery mode micro-cavity
7	Photonic crystal
8	Negative refractive index
9	Gaussian beam and Airy beam
10	Hermite-Gaussian mode and Laguerre-Gaussian mode
11	Radially and azimuthally polarized mode
12	Confocal microscopy
13	Super-resolution optical microscopy-STED and the related
14	Super-resolution optical microscopy-PALM and STORM
15	Optical tweezers

- 自愿; 2~3人, 选一个组长;
- 组长我发email, 告知本组成员, 所选题目;
- 讨论: 作报告之前与我讨论;
- 做报告: 12分钟报告+3分钟提问

# 中国科大不及格人数 $\geq 40$ 的课程

