

# 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

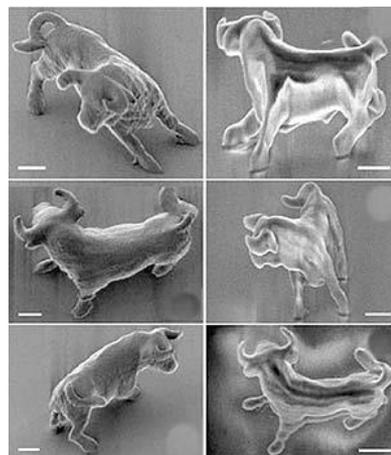
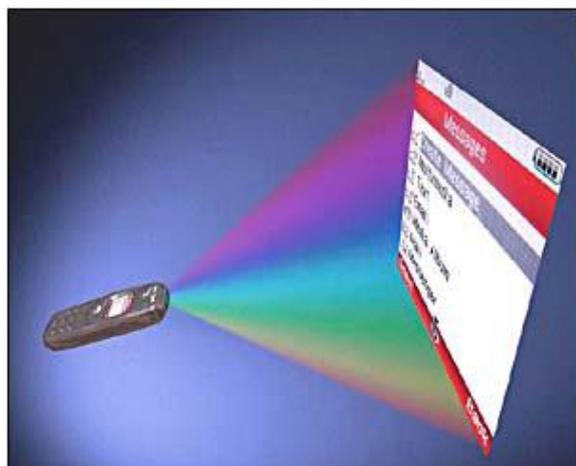
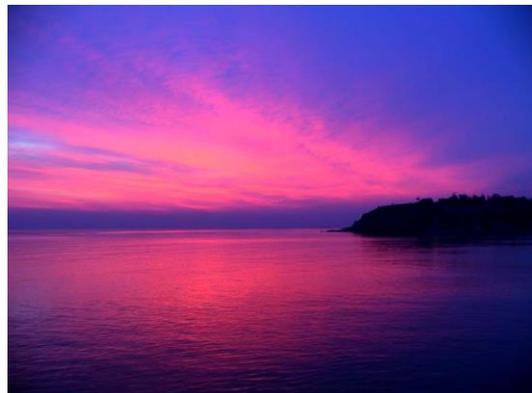
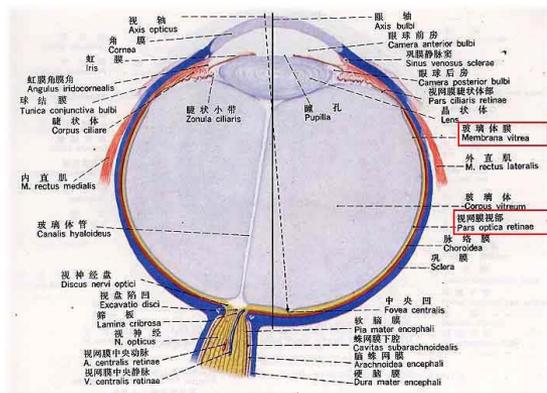
课代表:

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



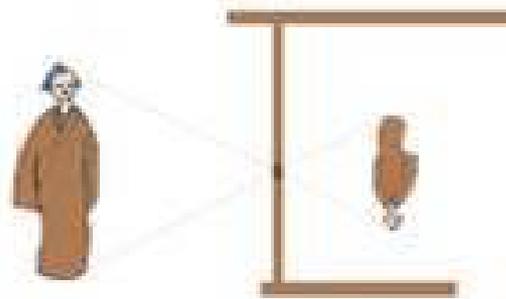
## 光学:

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)年对光学很有研究, 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。

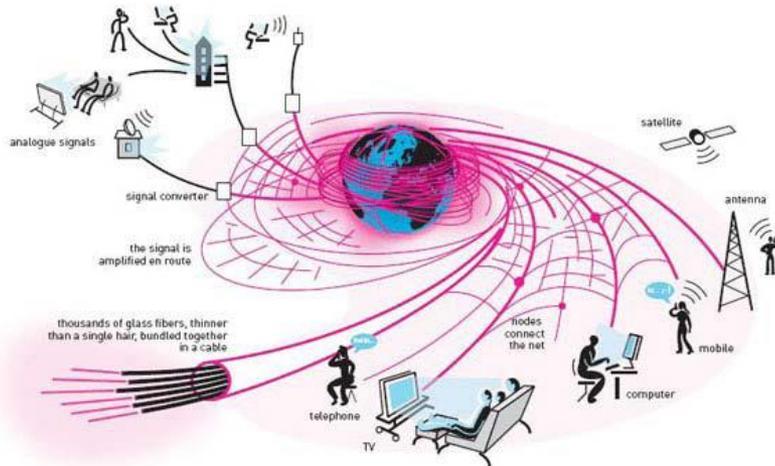
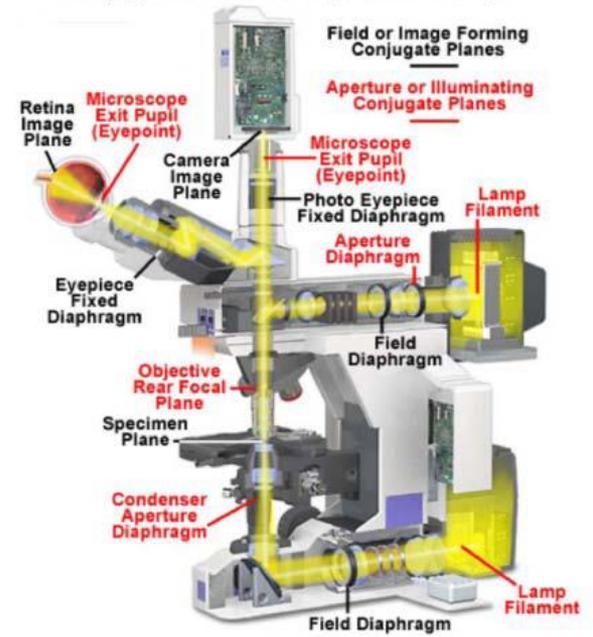
墨子及其弟子的著作, 统称为《墨子》。其中《经上》, 《经下》、《经说上》、《经说下》及《大取》、《小取》六篇, 专说名辩和时间、空间、物质结构、力学、光学、声学、代数、几何等内容



**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

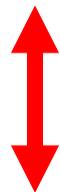
力学  
电磁学



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、.....

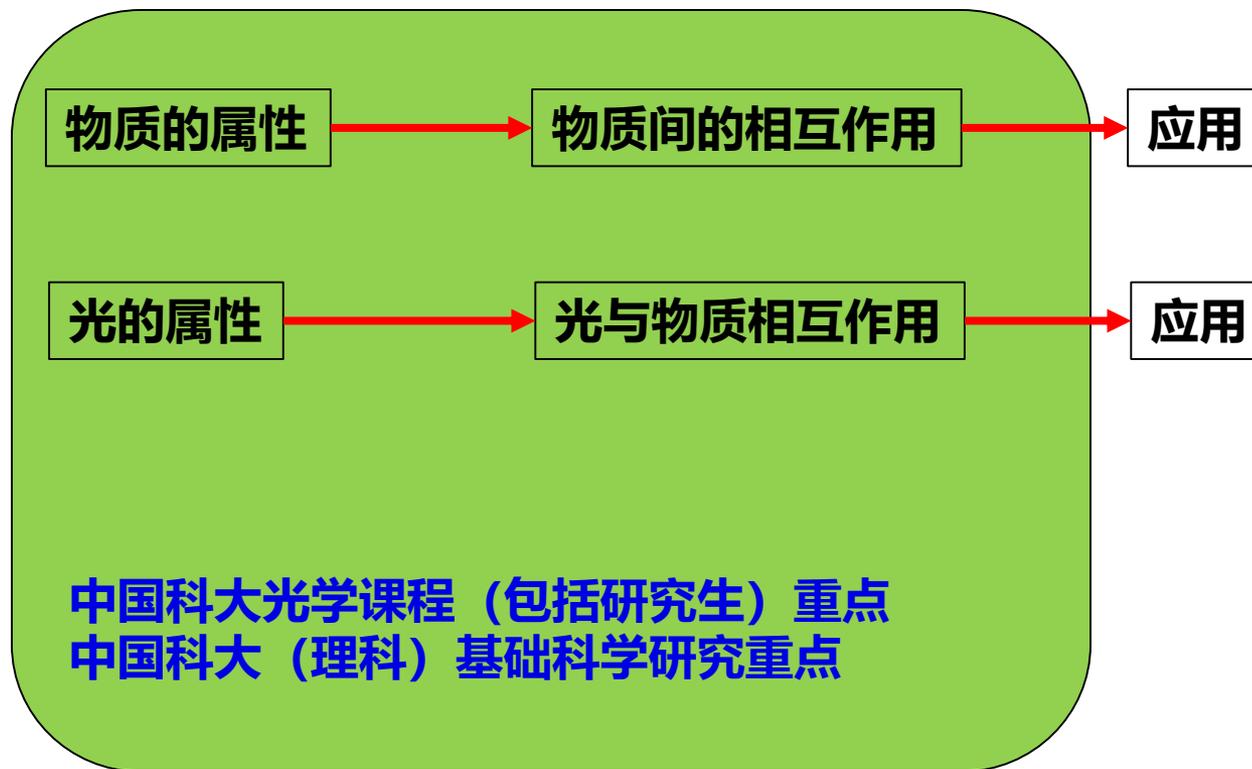
近代科学→现代科学

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,

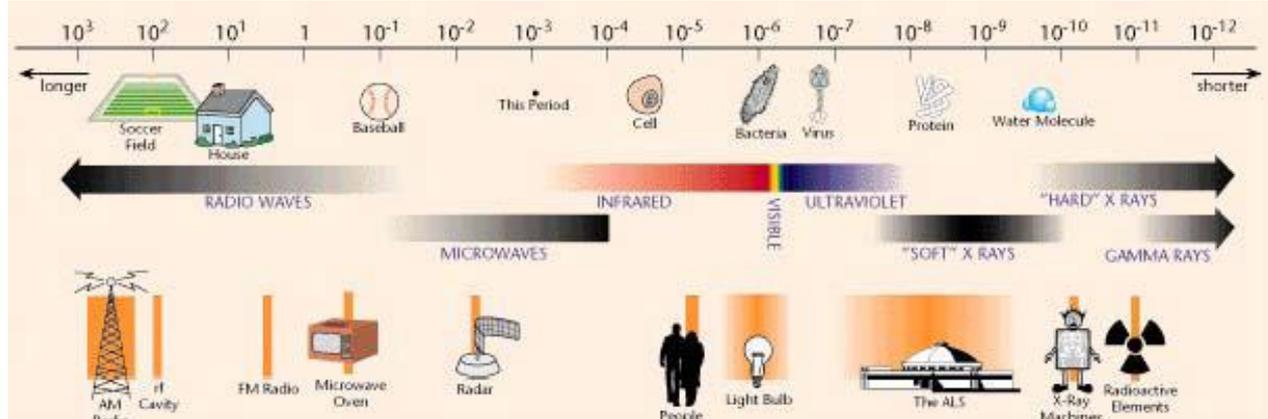
惠更斯—菲涅耳原理

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

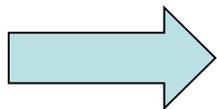
光既非经典的粒子, 也非经典的波, 而是一种具有波动性质的微观粒子, 或者说既是波也是粒子, 具有波粒二象性

## 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:  $\mu_r \approx 1$   $n \approx \sqrt{\epsilon_r}$

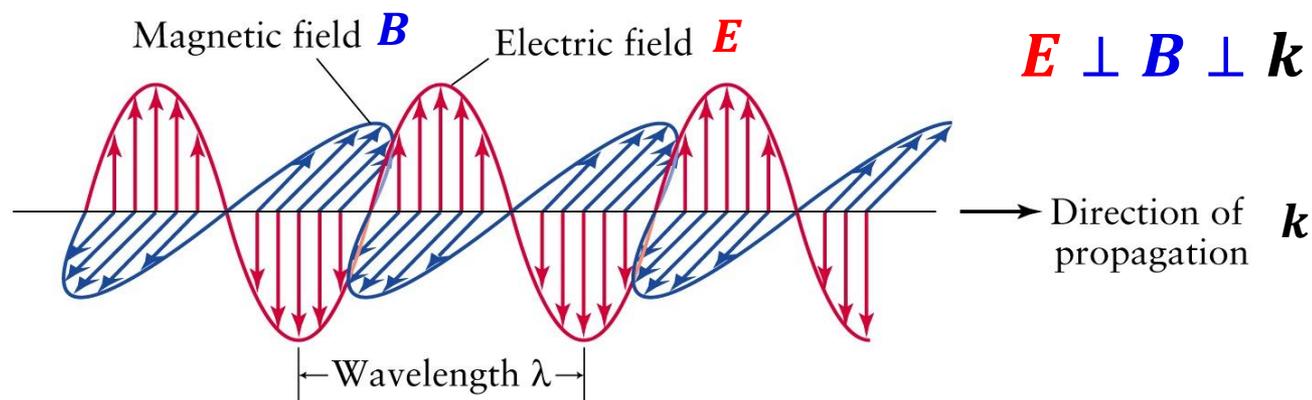
(研究光在介质中的行为时, 重点考虑电场强度, 即电场分量  $\mathbf{E}$ 。)

| 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

$$|\mathbf{S}| = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}| = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0}{\mu\mu_0}} E^2 \cong \frac{n}{c\mu_0} E^2 \quad (\text{光频段 } \mu \cong 1)$$

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

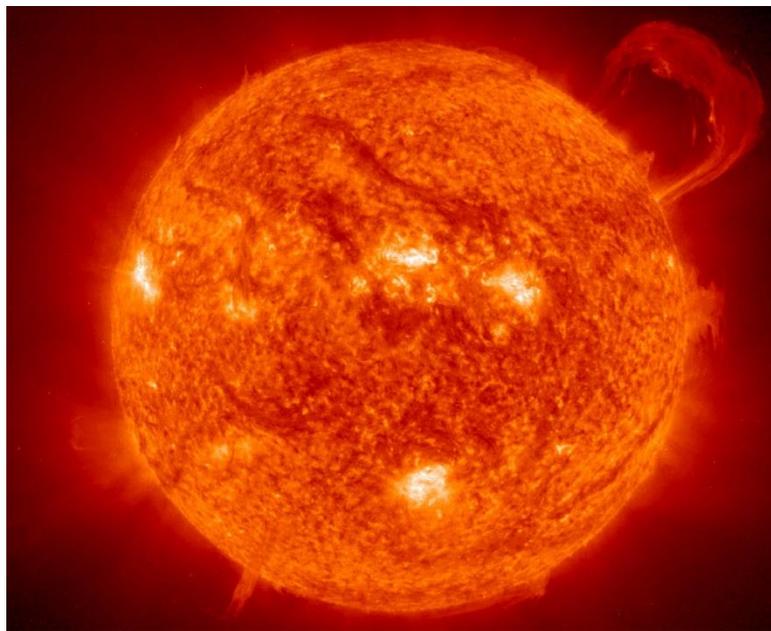
激光: 受激辐射光放大器 (Laser)

加速器光源

## 0.2.4 光源

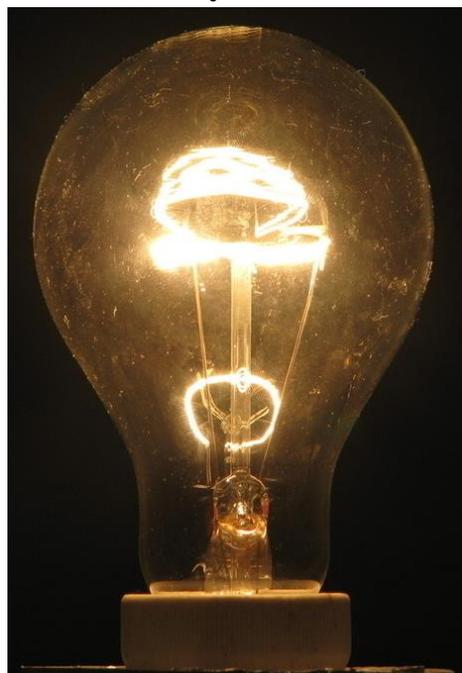
### 生活中的光源

燃烧



热光源

电光源

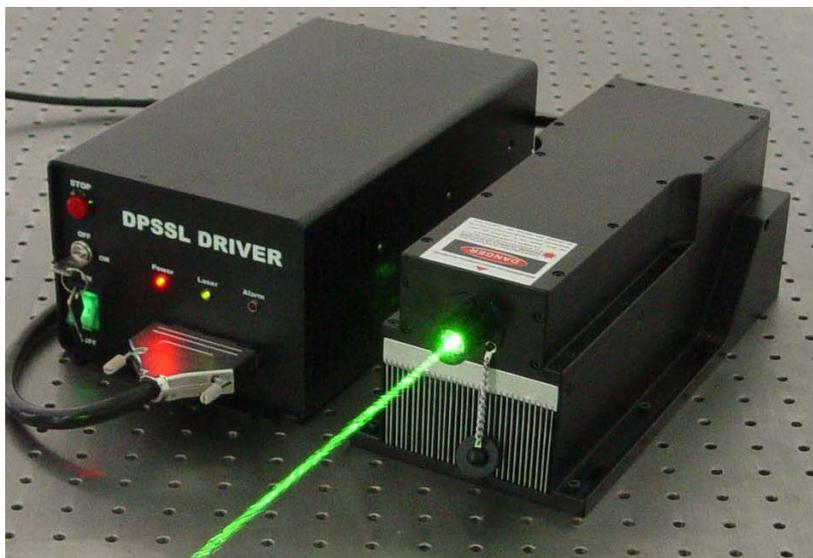


卤钨灯、氙灯、.....



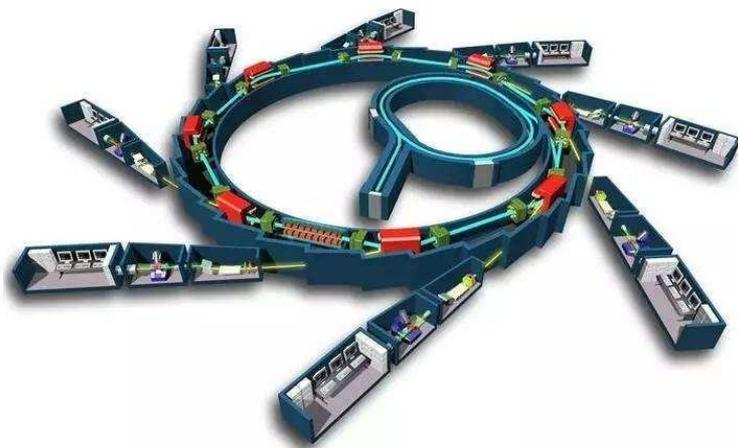
冷光源

## 高能量密度光源



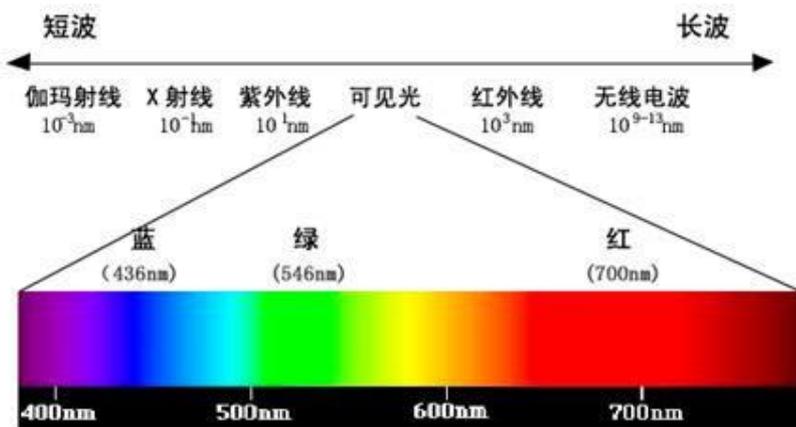
## 激光器与激光

1960, 第一台红宝石激光器问世



## 同步辐射光源

# 0.2.5 光谱



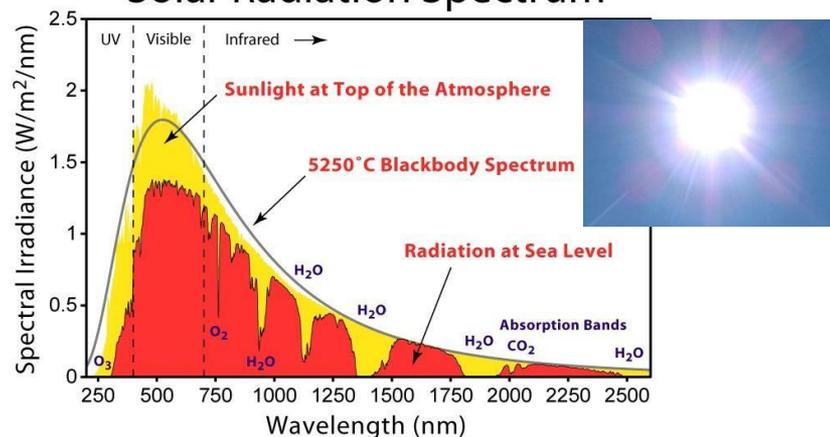
| 颜色 | 波长 (nm)   |
|----|-----------|
| 红色 | 650 - 800 |
| 橙色 | 590 - 640 |
| 黄色 | 550 - 580 |
| 绿色 | 490 - 530 |
| 蓝色 | 460 - 480 |
| 靛蓝 | 440 - 450 |
| 紫色 | 390 - 430 |



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



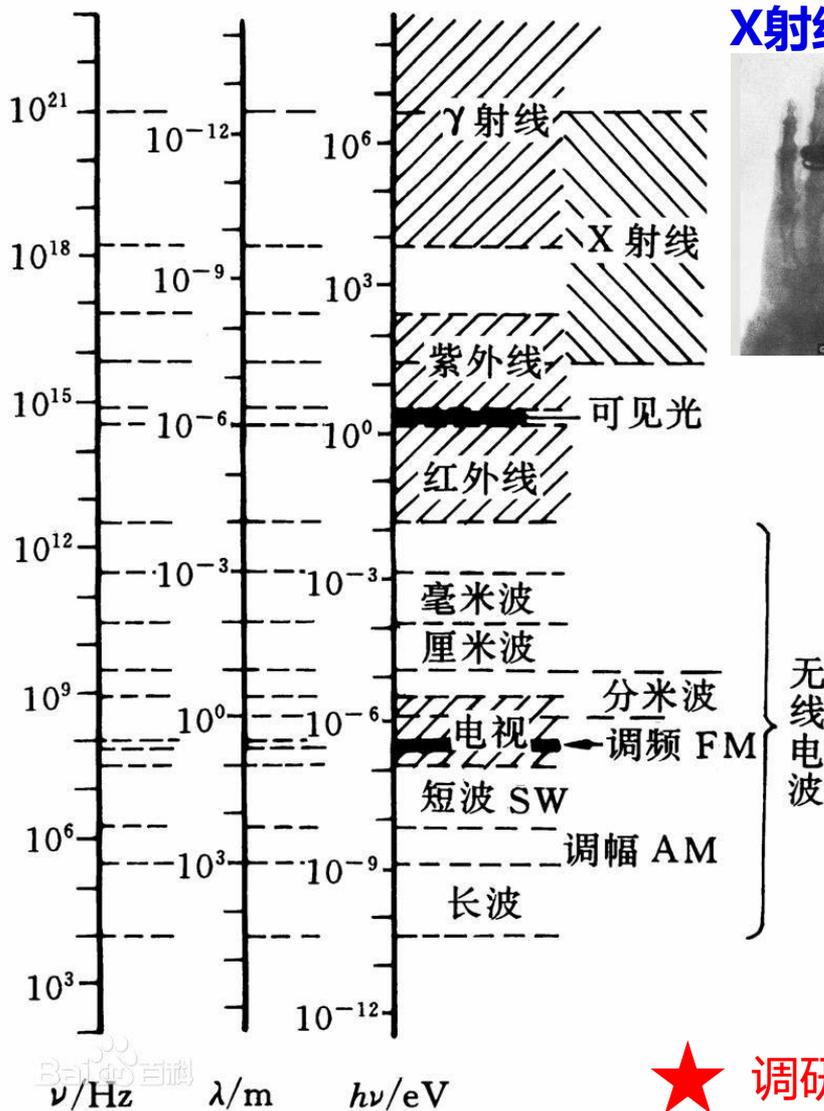
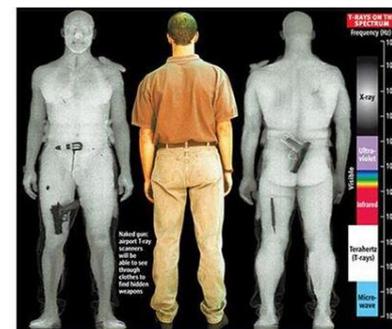
## 红外成像



## 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

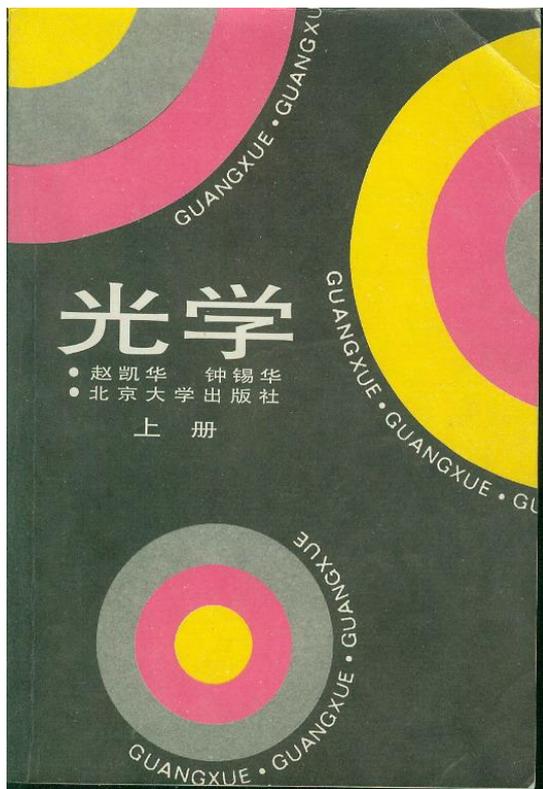
|   |          |    |
|---|----------|----|
| } | 光的发射     | 涉及 |
|   | 光的传播     | 主体 |
|   | 光与物质相互作用 | 涉及 |
|   | 光的探测     | 涉及 |

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

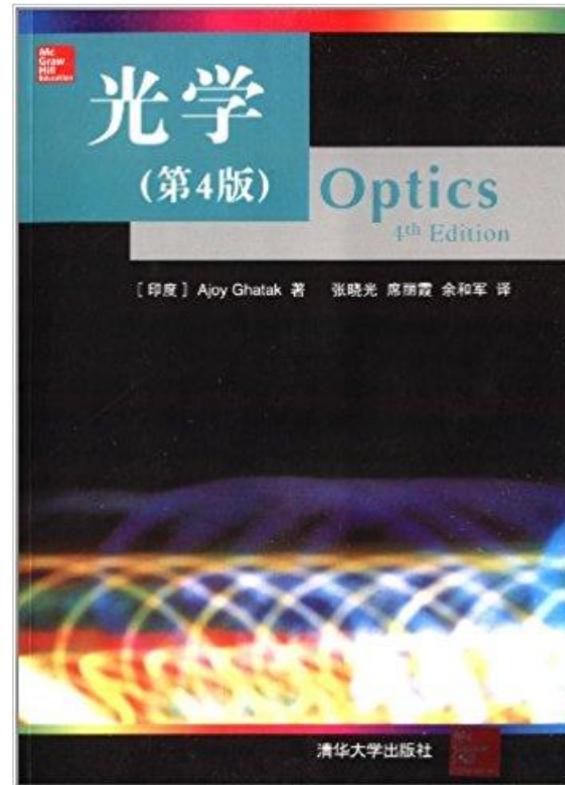
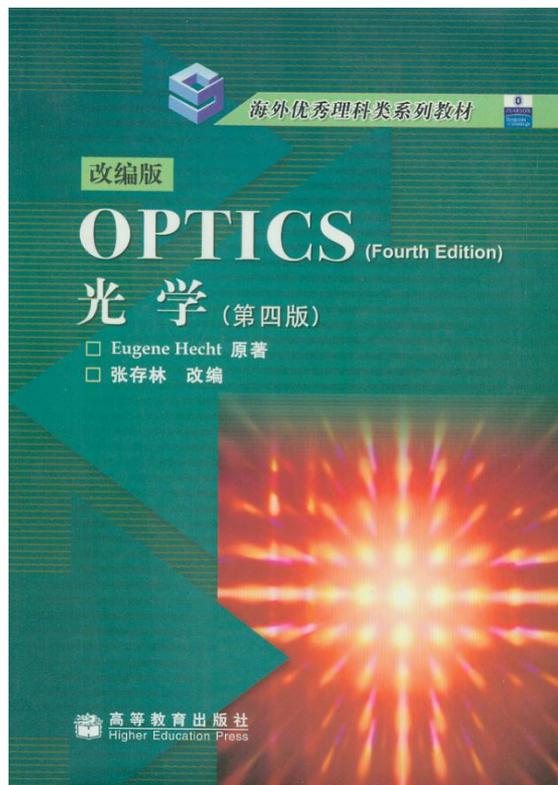
教材：赵凯华 钟锡华 《光学》



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

