讲课纲要

- 光的几何描述及几何光学成像
- 光的电磁波描述及叠加原理

  光的电磁波理论（光波是满足麦克斯韦方程组的解）

  光波的叠加原理（惠更斯-菲涅耳原理）

  振动方向相互垂直的两光波的叠加—偏振态的形成

  光在界面反射、折射的电磁行为（Fresnel 公式）

- 光的干涉
- 光的衍射
- 光在晶体中的传播
- 光的吸收、色散、散射
- 光的量子性与激光

光的吸收、色散、散射

光与物质相互作用

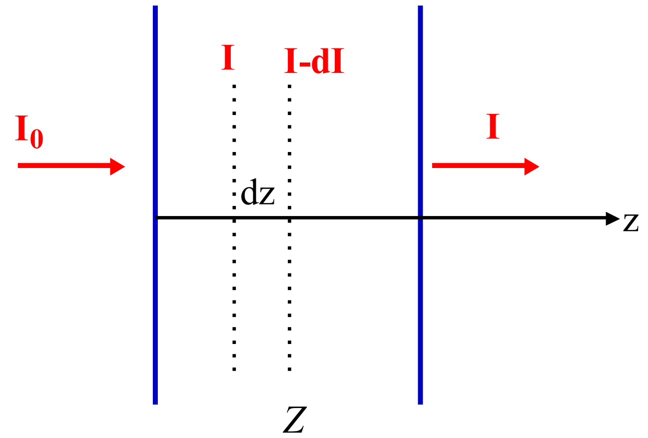
色散： 介质中光速与光频或光波长有关
---折射率实部

吸收： 光的强度随传播距离而减少（真吸收）
----折射率的虚部

散射： 介质的不均匀性

电动力学--带电粒子与电磁场的作用--散射、色散、吸收

线性吸收规律



$$-dI = \alpha I dz \qquad \alpha\text{与}I\text{无关}$$

$$I(z) = I_0 e^{-\alpha_{(\lambda)} z}$$ ---朗伯定律

比尔（Beer）定律

$$I = I_0 e^{-ACl} \qquad \alpha = AC$$

C溶液浓度，A与浓度无关的常数，取决于吸收物质的分子特性

比尔定律在每个分子的吸收本领不受周围邻近分子影响时成立

普遍吸收　**介质吸收无波长选择性**

空气、纯净的水在可见光范围

选择吸收　**是介质的普遍属性**

选择性吸收是物体呈现颜色的主要原因

体色：物体由于选择吸收而呈现的颜色。

表面色：由于物体表面的选择反射形成

“大气窗口”：可见、紫外(>300nm)、狭窄的红外波段

紫外告警

棱镜、透镜

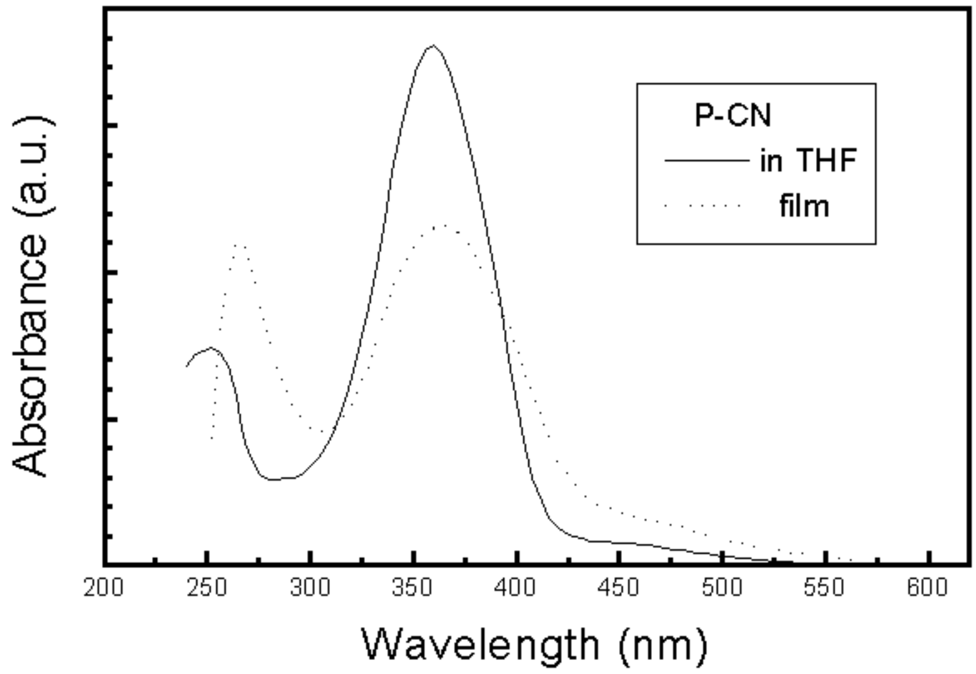
紫外：石英

红外：卤化物晶体

选择吸收 → 吸收光谱

物质对不同波长的光吸收情况

连续光源 → 样品 → 分光器 → 纪录仪



考虑介质的吸收，介质的光学性能需由折射率n吸收系数α两参数来反映　　　　—复数折射率 $\tilde{n}$

$$\tilde{E} = \tilde{E}_0 \exp[-i(\omega t - kz)] = \tilde{E}_0 \exp[-i(\omega t - \frac{\omega}{c} nz)]$$

$$\tilde{n} = n + i\kappa$$

$$\tilde{E} = \tilde{E}_0 \exp[-i(\omega t - \frac{\omega}{c}\tilde{n}z)]$$

$$= \tilde{E}_0 e^{-\frac{\omega\kappa}{c}z} \exp[-i(\omega t - \frac{\omega}{c} nz)]$$

$$I \propto \tilde{E}\tilde{E}^* = \left|E_0\right|^2 e^{-2\frac{\omega\kappa}{c}z} \qquad I = I_0 e^{-\alpha z} \qquad \alpha = 2\frac{\omega\kappa}{c}$$

复折射率的实部决定了介质中的光速v=c/n，虚部反映了介质对光的吸收

色散

介质的折射率随波长而改变的现象

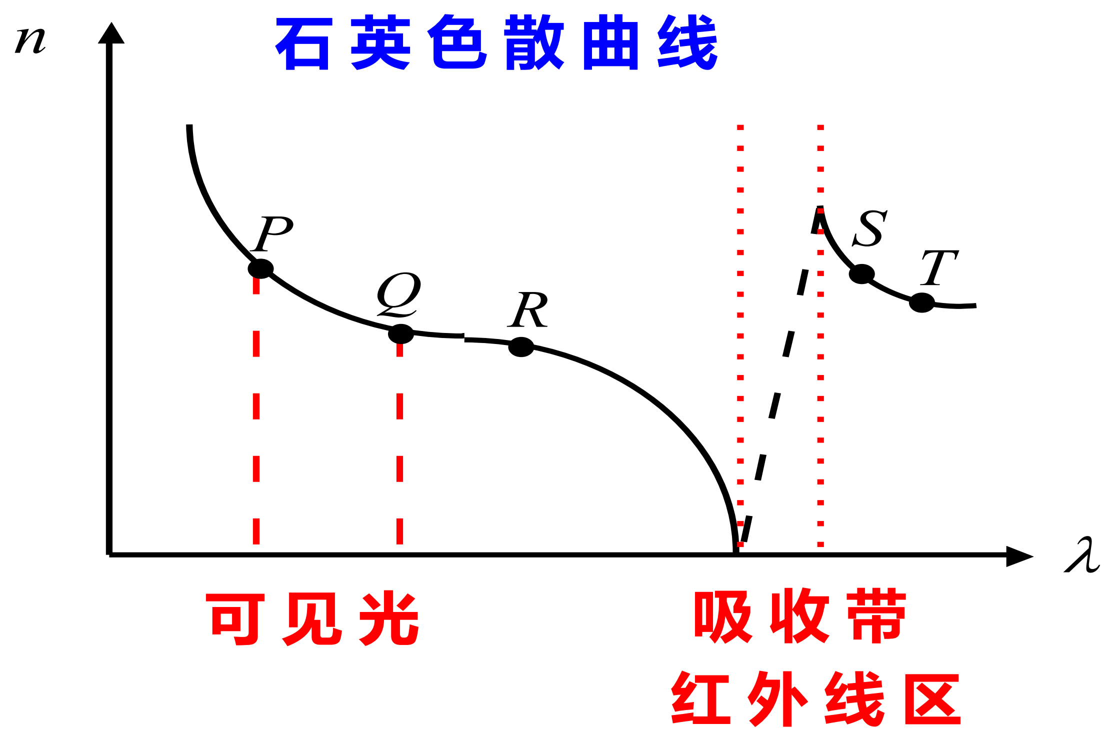
正常色散　n(λ)随波长的增加而减少　$\frac{dn}{d\lambda} < 0$

棱镜色散光谱

科希公式　$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$

A，B，C与物质有关的（正）常数值

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} \qquad \frac{dn}{d\lambda} = -\frac{2B}{\lambda^3}$$



反常色散　n(λ)随波长的增加而增加　$$\frac{dn}{d\lambda} > 0$$

反常色散是任何物质在吸收线（或吸收带）附件所共有的现象

经典的色散理论可以成功地解释科希色散公式、反常色散特征和吸收等

经典的色散理论（经典偶极振子模型）

求解束缚电子受迫振动方程

束缚电子的偶极矩**p**→ 极化强度矢量**P** →

线性极化率**χ (ω)** → **折射率** $\tilde{n}(\omega)$

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \qquad \vec{P} = (\varepsilon - \varepsilon_0)\vec{E} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \qquad \tilde{n} = \sqrt{\varepsilon_r} = \sqrt{1+\chi}$$

从而给出介质的色散关系和吸收特性

群速

折射率n作为介质一个重要的光学参数

可由两种方法测量：

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}\text{(折射率法)} \qquad \frac{n_2}{n_1}=\frac{V_1}{V_2}\text{（速度法）}$$

1885年迈克尔逊用<u>钠黄光</u>测定了液体CS_2的折射率（相对空气）

$$(\frac{n_2}{n_1})_V=1.758 \qquad (\frac{n_2}{n_1})_\theta=1.64$$

？ 7%

<u>瑞利→“群速”</u>

测量→“群速”

折射率→“相速”

非单色波相当于许多单色波的迭加 ↔（有限波列）——波包

两列波　　两列波的频率（波长）很接近

$$E_1(z,t) = A\cos(\omega_1 t - k_1 z)$$

$$E_2(z,t) = A\cos(\omega_2 t - k_2 z)$$

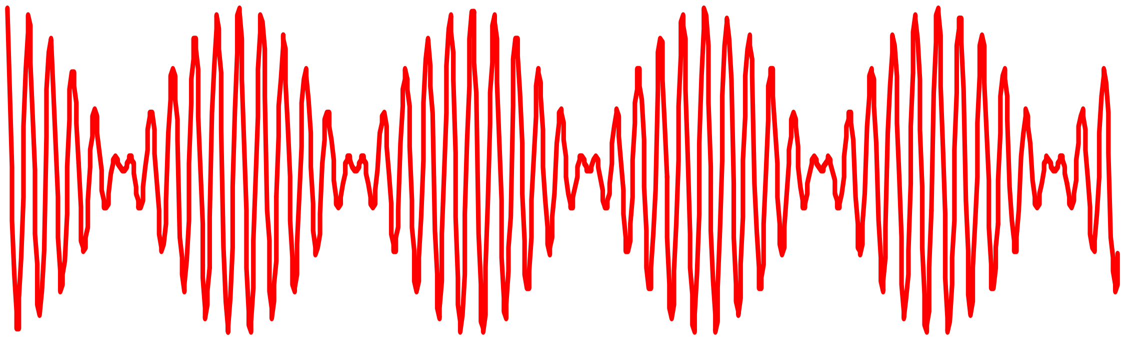
$$E(z,t) = E_1(z,t) + E_2(z,t)$$

$$= 2A\cos(\Delta\omega t - \Delta k z)\cos(\omega_0 t - k_0 z)$$

$$k_0 = (k_1 + k_2)/2,\ \omega_0 = (\omega_1 + \omega_2)/2$$

$$\Delta k = (k_1 - k_2)/2,\ \Delta\omega = (\omega_1 - \omega_2)/2$$

$$E(z,t)=2A\cos(\Delta\omega t-\Delta kz)\cos(\omega_0 t-k_0 z)$$



高频波的传播速度≅每一单色波的传播速度,相当“波包”的相速度

$$V_p=\frac{\omega_0}{k_0}$$

低频包络中心(振幅最大的地方)的传播速度就是“波包”的群速

$$V_g=\frac{\Delta\omega}{\Delta k}=\frac{d\omega}{dk}$$

当**波包**通过有色散的介质时,它的**各个单色分量**将以不同的**相速度**前进,整个波包在向前传播的同时,形状亦随之改变

群速和相速的关系式

$$\omega = kV_P$$

$$V_g = \frac{d\omega}{dk} = V_P + k\frac{dV_p}{dk}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}, dk = -\frac{2\pi}{\lambda^2}d\lambda$$

$$V_g = V_P - \lambda\frac{dV_p}{d\lambda}$$

$$V_p = \frac{c}{n}, dV_p = -\frac{c}{n^2}dn$$

$$V_g = \frac{c}{n}(1 + \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda})$$

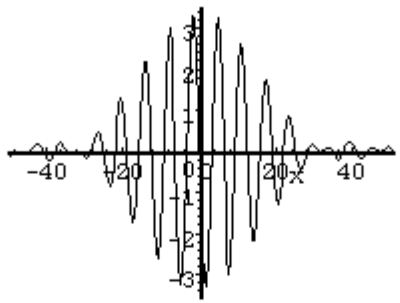
正常色散, $\frac{dn}{d\lambda} < 0 \leftrightarrow \frac{dV_p}{d\lambda} > 0 \leftrightarrow \frac{dV_p}{dk} < 0$ $\quad V_g < V_p$

反常色散, $\frac{dn}{d\lambda} > 0 \leftrightarrow \frac{dV_p}{d\lambda} < 0 \leftrightarrow \frac{dV_p}{dk} > 0$ $\quad V_g > V_p$

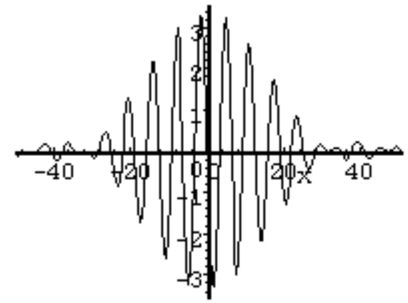
V_p, λ, n取中心值或平均值

无色散 $\quad V_g = V_p$

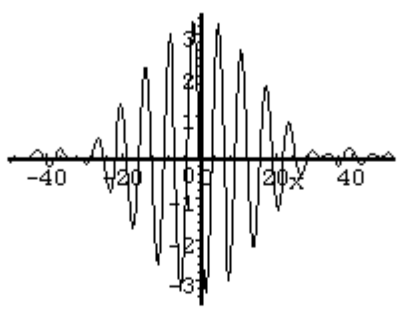
Group velocity (v_g) vs. phase velocity (v_ϕ)



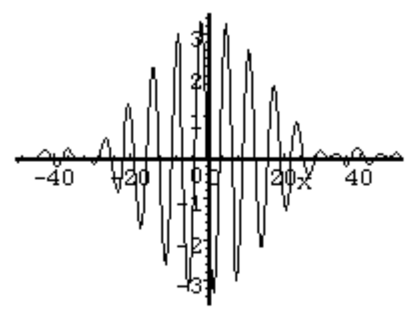
$$v_g < v_\phi$$



$$v_g = v_\phi$$



$$v_g > v_\phi$$



$$v_g = -v_\phi$$

再看用**钠黄光**对液体CS_2折射率作**精确**的测定（相对空气）：

$$\lambda_1 = 5890\,\overset{o}{\mathrm{A}};\ \lambda_2 = 5896\,\overset{o}{\mathrm{A}} \quad \to \lambda = 5893\,\overset{o}{\mathrm{A}}$$

$$\left(\frac{n_2}{n_1}\right)_\theta = 1.624 \qquad \left(\frac{n_2}{n_1}\right)_V = 1.722$$

$$V_g = \frac{c}{n}\left(1 + \frac{\lambda}{n}\frac{dn}{d\lambda}\right)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{c}{V_g} = \left(n + \lambda\frac{dn}{d\lambda}\right)^{-1} \approx n - \lambda\frac{dn}{d\lambda} \qquad \lambda\frac{dn}{d\lambda} = -0.102$$

$$= 1.624 + 0.102$$

$$= 1.726$$

散射

散射现象

光束（激光束、放电影等）

蓝天、白云、红太阳

白色的浪花

散射的生成及其特点与介质不均匀性的尺度有密切的关系

1、分子散射

2、颗粒散射

《望庐山瀑布》

日照香炉生紫烟， 遥看瀑布挂前川。

飞流直下三千尺， 疑是银河落九天。

莱克格斯杯

LYCURGUS CUP, a Roman goblet dating from the fourth century A.D., changes color because of the plasmonic excitation of metallic particles within the glass matrix. When a light source is placed inside the normally greenish goblet, it looks red.

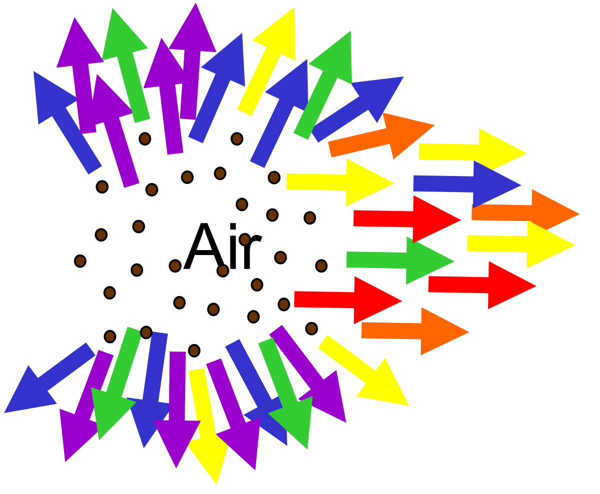
<u>瑞利散射定律</u>

散射体的尺度比光波小

$$ka < 0.3 \leftrightarrow a < \lambda/20$$

$$I(\omega) \propto \omega^4 \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

蓝天、红太阳



<u>米散射</u>

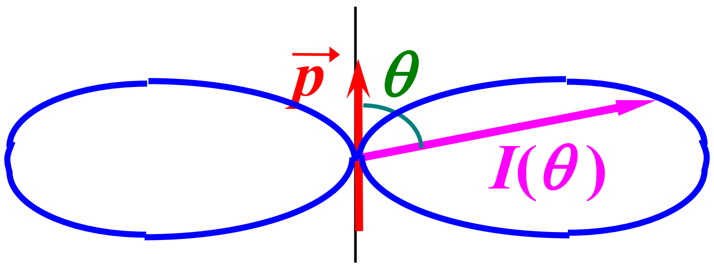
较大微粒的散射

$$ka > 30 \leftrightarrow a > 20\lambda$$

无波长依赖性

白色的浪花，白云

散射光的产生

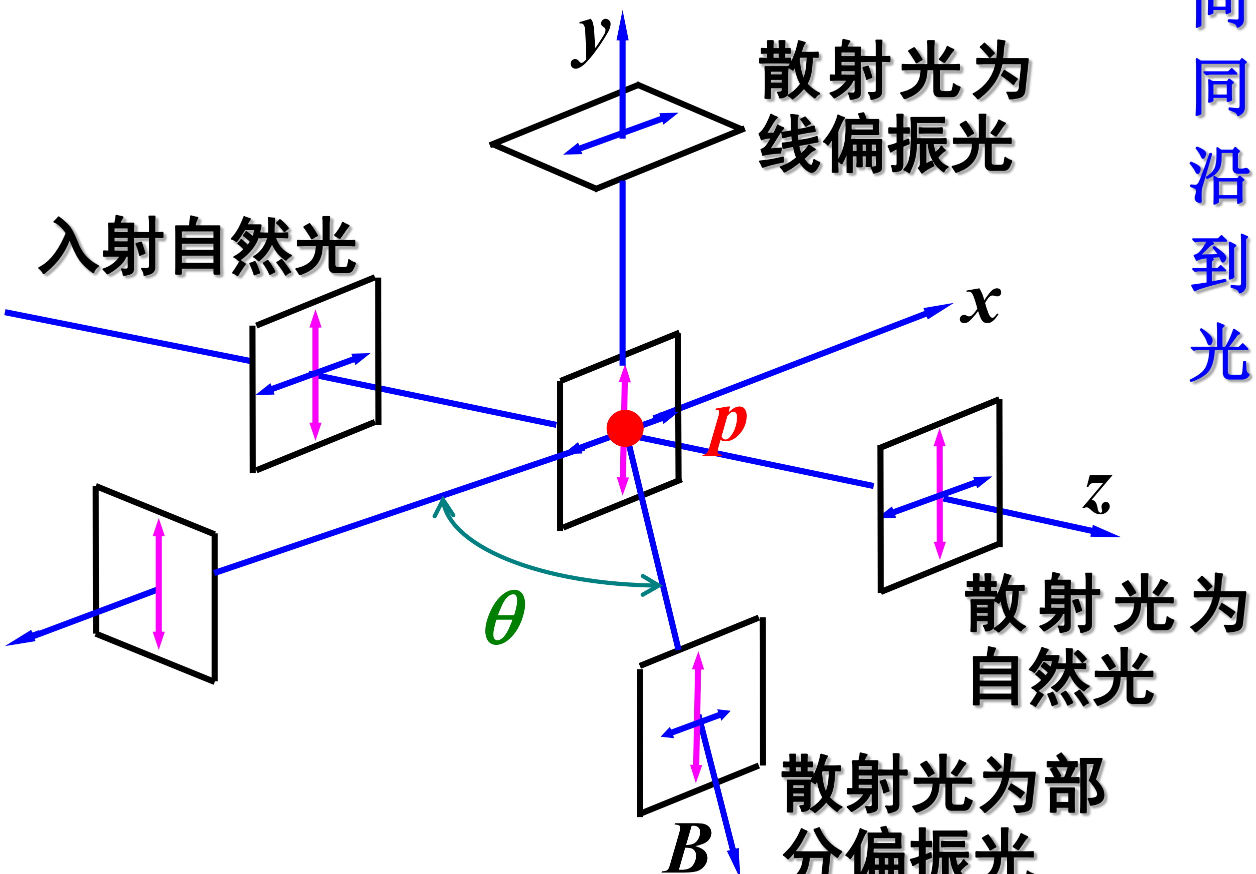


振荡电偶极子电磁辐射强度的角分布

在入射光的激励下，媒质分子中的电子作受迫振动。这可视之为振动的电偶极子，它向周围辐射电磁波（子波）

由于媒质不均匀等原因，破坏了子波波源之间的确定相位关系，它们发的子波的非相干叠加，就形成了各方向都有的散射光。

散射光的偏振态



*P*处发出的不同方向的偶极辐射有不同的偏振情况。

沿 $B \rightarrow P$ 方向观察到的只是部分偏振光，随θ角而变。

天空大气散射的日光就是部分偏振光。

喇曼散射

散射光中除有入射光原频率的瑞利散射，还有其他频率

$$\omega = \omega_0 \pm \omega_j$$

“–”斯托克斯线；“+”反斯托克斯线

ωj与散射物质的红外吸收频率对应，是分子的振动频率

是研究分子结构的一种重要方法

$\vec{p} = \alpha\varepsilon_0\vec{E}$, α分子极化率　　$\vec{E} = E_0 \cos\omega_0 t$

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_j \cos\omega_j t$$

$$p = \alpha\varepsilon_0 E_0 \cos\omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha_j\varepsilon_0 E_0[\cos(\omega_0 - \omega_j)t + \cos(\omega_0 + \omega_j)t]$$

瑞利散射不改变原入射光的频率