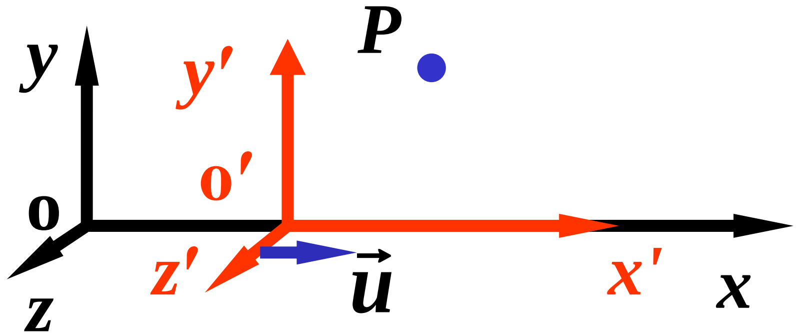
狭义相对论总结

1. 狭义相对论的基本原理

（1）**相对性原理**：基本物理定律在所有惯性系中都保持相同形式的数学表达式，一切惯性系都是等价的。

（2）**光速不变原理**：在一切惯性系中，光在真空中传播的速率都等于c，与光源的运动状态无关。

2. 洛伦兹变换



$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{u^2}{c^2}}}$$

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - ut) \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \gamma\left(t - \frac{u}{c^2}x\right) \end{cases} \qquad \begin{cases} x = \gamma(x' + ut') \\ y = y' \\ z = z' \\ t = \gamma\left(t' + \frac{u}{c^2}x'\right) \end{cases}$$

3. 狭义相对论时空观

时间膨胀 $\tau = \gamma \tau_0$ 同地测量

尺度收缩 $L = \dfrac{L_0}{\gamma}$ 同时测量

时间膨胀、尺度缩短都是相对效应

明确：

二看一 （两个参考系看同一事件）

谁在看 （是S系还是S’系）

看什么 （看时间还是空间）

例：两个惯性系S和S'，沿x (x')轴方向作匀速相对运动。设在S'系中某点先后发生两个事件，该系测出两事件的时间间隔为τ'，而S系测出这两个事件的时间间隔为τ。在S系x轴上放置一静止的长度为l的细杆，从S'系测得此杆的长度为l'，则（　　）

A. $\tau' > \tau, \quad l' > l$　　**B.** $\tau' > \tau, \quad l' < l$

C. $\tau' < \tau, \quad l' > l$　　 $\tau' < \tau, \quad l' < l$

例： 宇宙飞船以0.8c 的速度离开地球，一光脉冲从船尾传到船头。飞船上的观察者测得飞船长为90m，地球上的观察者测得光脉冲从船尾发出和到达船头两个事件的空间间隔为多少？

分析： 设地球——S系，飞船——S'系

求哪个参考系中的？ 地球S系

求什么？ 空间间隔

求哪种情况下的？

固定的长度 $L = \dfrac{L_0}{\gamma}$

两事件的间隔 $\boxed{\Delta x = \gamma(\Delta x' + u\Delta t')}$

例： 宇宙飞船以0.8c 的速度离开地球，一光脉冲从船尾传到船头。飞船上的观察者测得飞船长为90m，地球上的观察者测得光脉冲从船尾发出和到达船头两个事件的空间间隔为多少？

解： 设地球为S系，飞船为S'系

用**洛伦兹变换**求解 $\boxed{\Delta x=\gamma(\Delta x'+u\Delta t')}$

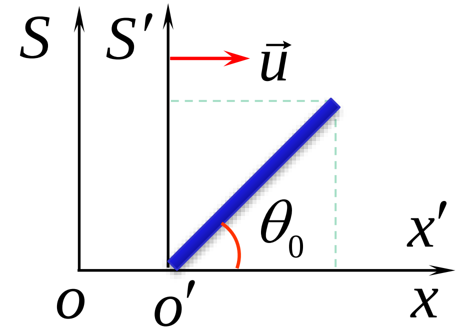
$$\Delta x'=90\mathrm{m}$$

$$\Delta t'=\frac{\Delta x'}{u}=\frac{90}{3\times10^{8}}=3\times10^{-7}\mathrm{s}$$

$$\Delta x=\gamma(\Delta x'+u\Delta t')=\frac{1}{\sqrt{1-(\frac{u}{c})^{2}}}(\Delta x'+u\Delta t')=270\mathrm{m}$$

例： 一个长为 $l_0 = 1\mathrm{m}$ 的棒静止地放在 $o'x'y'$ 平面内，与 x' 轴的夹角为 $\theta_0 = 45^\circ$。若 S' 相对于 S 系的速度为 $u = \sqrt{3}c/2$，求在 S 系中测得棒的长度及其与 x 轴的夹角。

解： S' 系测得



$$l'_x = l_0 \cos\theta_0 = \sqrt{2}/2\,\mathrm{m}$$

$$l'_y = l_0 \sin\theta_0 = \sqrt{2}/2\,\mathrm{m}$$

S 系测得棒在运动方向长度收缩效应，故

$$l_x = l'_x\sqrt{1-\left(\frac{u}{c}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{4}\mathrm{m} \qquad \therefore l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2} = 0.79\mathrm{m}$$

$$l_y = l'_y = \frac{\sqrt{2}}{2}\mathrm{m} \qquad \theta = \arctan\frac{l_y}{l_x} \approx 63.4^\circ$$

运动的棒既收缩，又转向。

例：半人马星座α星距离地球4.3×10^{16}m，宇宙飞船相对于地球的速度为u=0.999c，按地球上的时钟计算要用多少年时间飞船能飞到α星？如以飞船上的时钟计算，所需时间为多少年？

解：地面——S系 飞船——S'系

地球 $$\Delta t=\frac{l_0}{u}=\frac{4.3\times10^{16}\,\text{m}}{0.999\times3\times10^{8}\,\text{m/s}}\approx4.5\text{y}$$

法一： 飞船 $$\Delta t'=\frac{l'}{u}=\frac{l_0\sqrt{1-(u/c)^2}}{u}\approx0.2\text{y}$$

法二：地球、α星依次出现 飞船同地测量

$$\Delta t'=\tau_0=\frac{1}{\gamma}\tau=\frac{1}{\gamma}\Delta t=\Delta t\sqrt{1-(u/c)^2}\approx0.2\text{y}$$

4. 狭义相对论动力学

（1）质速关系 $m = \gamma m_0$　（2）动量 $\vec{p} = m\vec{v} = \gamma m_0 \vec{v}$

（3）动力学方程 $\vec{F} = \dfrac{\mathrm{d}(m\vec{v})}{\mathrm{d}t} = m\dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t} + \vec{v}\dfrac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$

（4）质能关系 $E = mc^2 = m_0c^2 + m_\mathrm{k}c^2$

（5）动量能量关系 $E^2 = E_0^2 + (pc)^2$

例： 若一个电子运动速度v=0.99c，它的动能是多少？

(电子的静止能量为0.51 MeV)

分析： 电子速度与光速接近 $E_k \neq \frac{1}{2}mv^2$

由狭义相对论动力学关系求解

$$E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = \gamma m_0c^2 - m_0c^2$$

$$= (\gamma - 1)m_0c^2 \approx 3.10\mathrm{MeV}$$

例：设电子静止质量为m_{e0}，将一个电子从静止加速到速率为0.6 c，需做功多少？

$$W = E_k = E - E_0$$

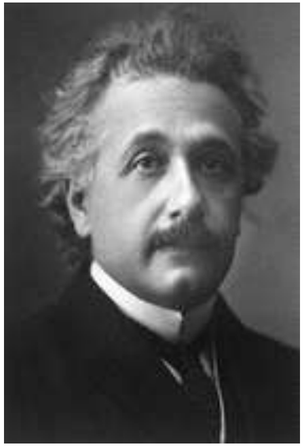
$$= m_e c^2 - m_{e0} c^2$$

$$= m_{e0} c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} - 1 \right) = 0.25 m_{e0} c^2$$

第21章 光的量子性

1. 旧量子力学时代

普朗克



爱因斯坦

玻尔

1900年普朗克引入能量子概念

1905年爱因斯坦提出光量子假设

1913年玻尔提出了氢原子理论

2. 新量子力学时代

德布罗意，L. V.

薛定谔.E

海森伯.W.K

1924年德布罗意提出了物质的波粒二象性

1926年薛定谔与海森伯等建立了量子力学

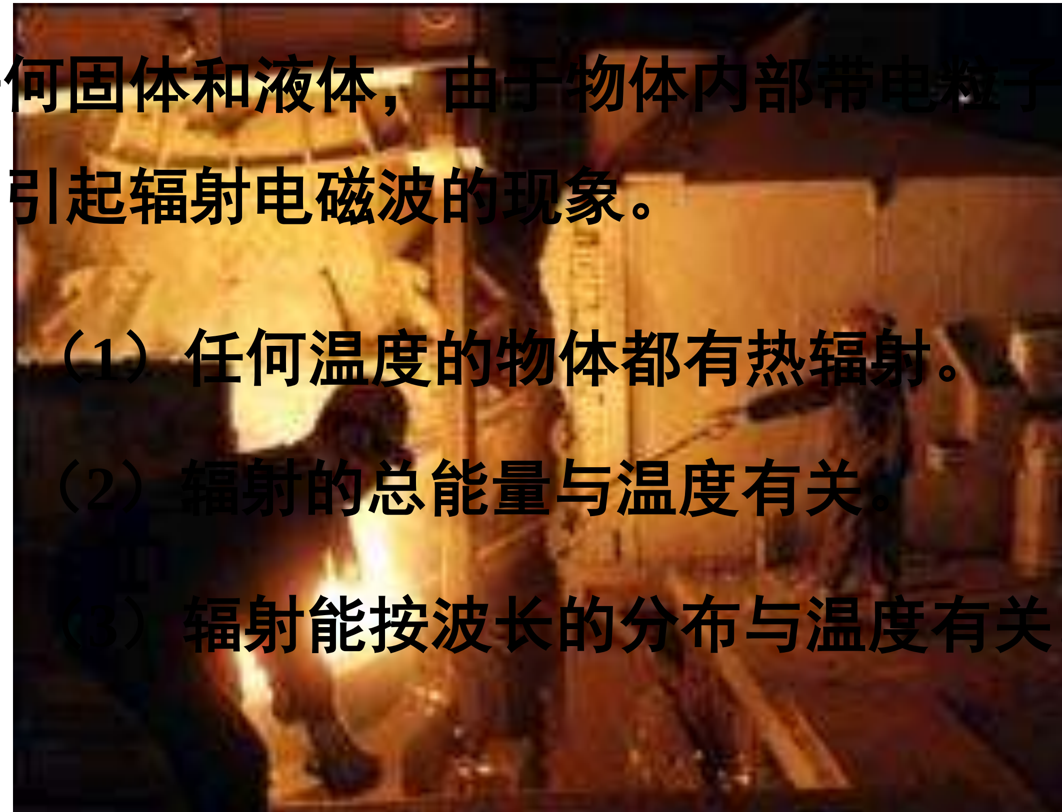
20世纪初经典物理在微观领域的

三个问题上陷入困境：

- 黑体辐射问题，即“紫外灾难”
- 光电效应　康普顿效应
- 原子的稳定性和大小

21.1 黑体辐射

一、热辐射



任何固体和液体，由于物体内部带电粒子热运动而引起辐射电磁波的现象。

特点：（1）任何温度的物体都有热辐射。

（2）辐射的总能量与温度有关。

（3）辐射能按波长的分布与温度有关。

- 500℃以下，物体热辐射最强波长在红外和远红外波段
- 随着温度的升高，物体热辐射的能量逐渐增强，辐射波长也趋向短波段

- 当温度达到600℃，物体开始呈现暗红色，表明辐射波段进入可见光区，随着物体温度继续升高，辐射波长进一步向短波移动，物体由红转白。

二、描述辐射的物理量

1. 单色辐出度 M_λ

单位时间内从物体表面单位面积上所发射的、波长在 $\lambda \to \lambda + d\lambda$ 范围内的辐射能 dE_λ 与波长间隔之比。

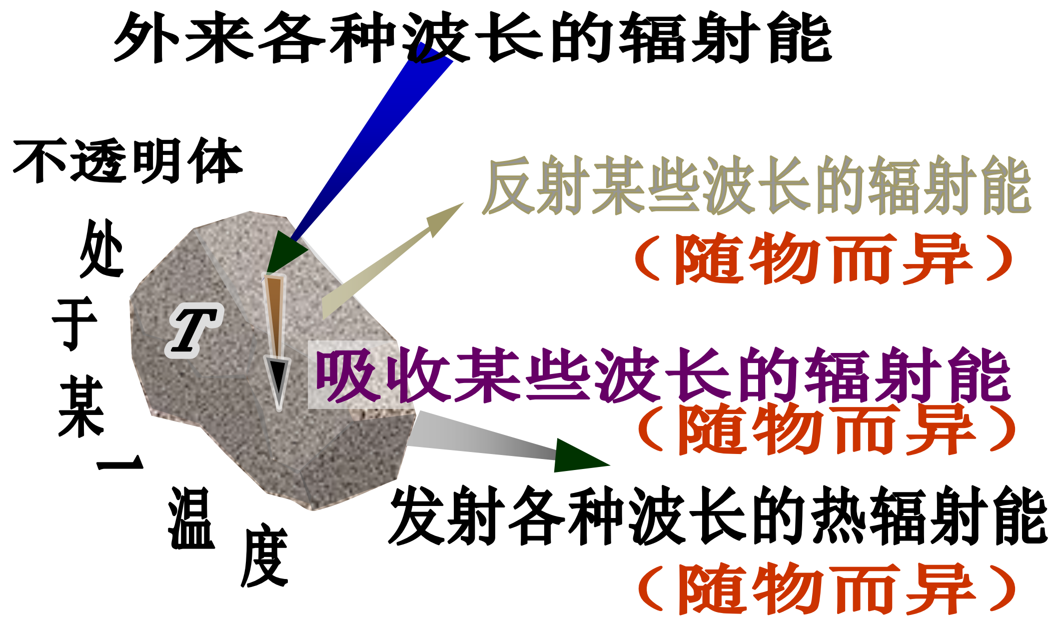
$$M_\lambda = \frac{dE_\lambda}{d\lambda} \quad M_\lambda = M_\lambda(T)$$ 单位 w/m³

2. 辐出度 $M(T)$

单位时间内从物体表面单位面积上所发射的各种波长的总辐射能。

$$M(T) = \int_0^\infty M_\lambda(T) d\lambda$$ 单位 w/m²

单位面积上的功率



3.吸收比与反射比

$$\alpha_\lambda(T)=\frac{\text{吸收能量}}{\text{入射总能量}} \qquad r_\lambda(T)=\frac{\text{反射能量}}{\text{入射总能量}}$$

对不透明物体： $\alpha_\lambda(T)+r_\lambda(T)=1$

基尔霍夫定律

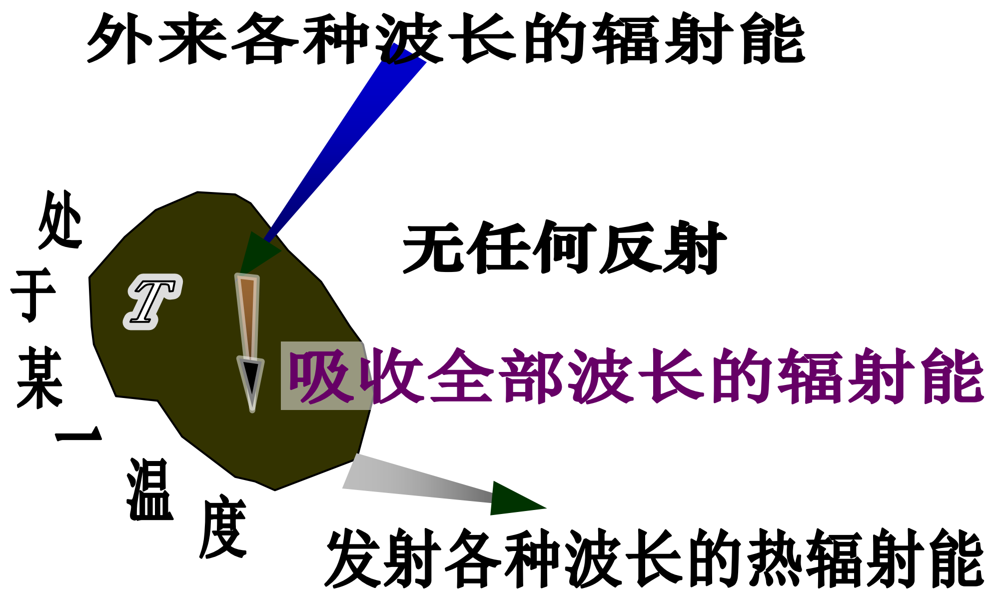
相同温度下，不同物体对**同一波长**的单色辐出度与单色吸收比之比值都相等。

$$\frac{M_{1\lambda}(T)}{\alpha_{1\lambda}(T)}=\frac{M_{2\lambda}(T)}{\alpha_{2\lambda}(T)}=\cdots=\frac{M_{\mathrm{n}\lambda}(T)}{\alpha_{\mathrm{n}\lambda}(T)}$$

好的吸收体也是好的辐射体

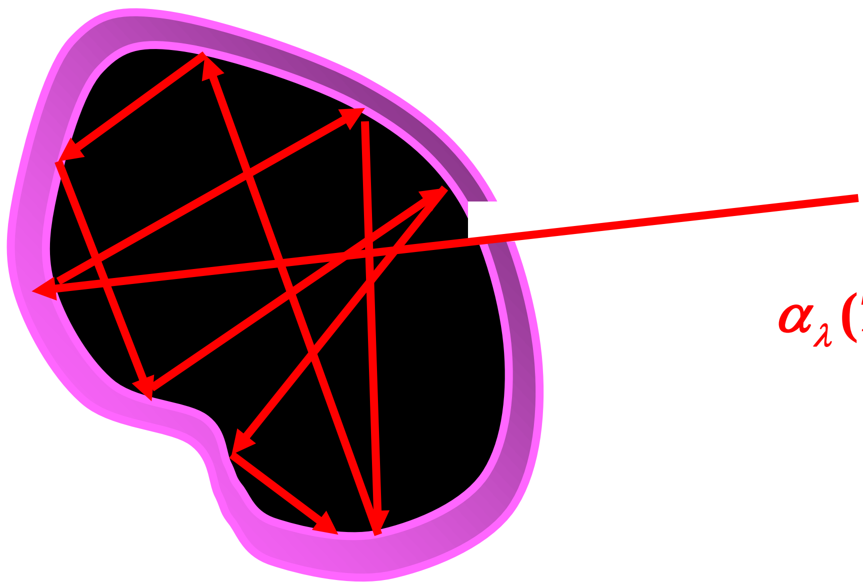
三、黑体的热辐射

黑体：其表面能**全部吸收任何波长**的热辐射**而不反射**的一类物体。**——理想模型**



三、黑体的热辐射

黑体：其表面能全部吸收任何波长的热辐射而不反射的一类物体。——理想模型



$\alpha_{\lambda}(T)=1$

基尔霍夫定律

相同温度下，不同物体对同一波长的单色辐出度与单色吸收比之比值都相等。

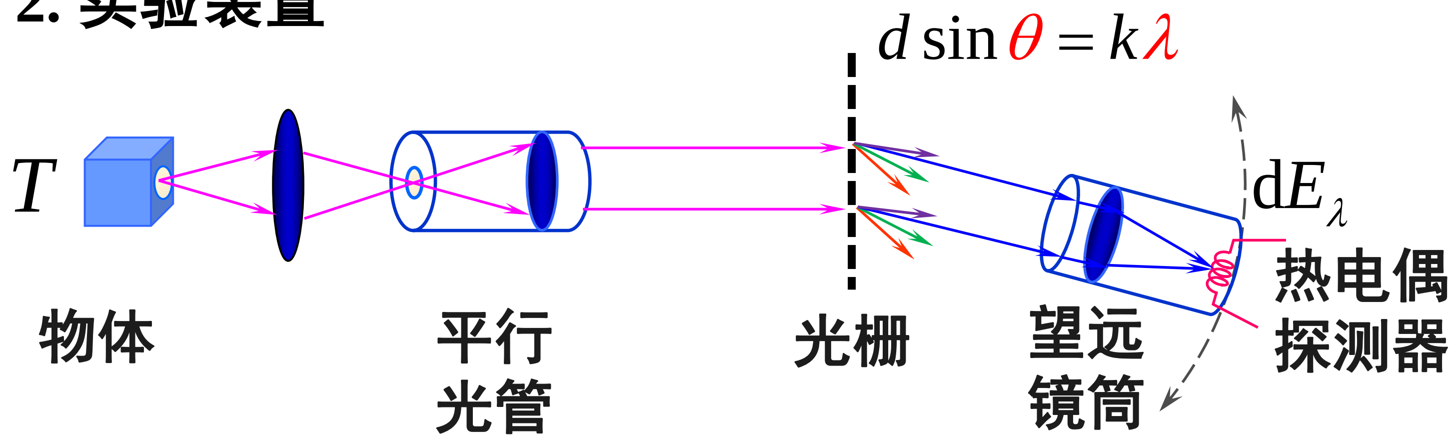
等于在该温度下黑体对同一波长的单色辐出度。

$$\frac{M_{1\lambda}(T)}{\alpha_{1\lambda}(T)}=\frac{M_{2\lambda}(T)}{\alpha_{2\lambda}(T)}=\cdots=\frac{M_{n\lambda}(T)}{\alpha_{n\lambda}(T)}$$

$$=M_{b\lambda}(T)$$

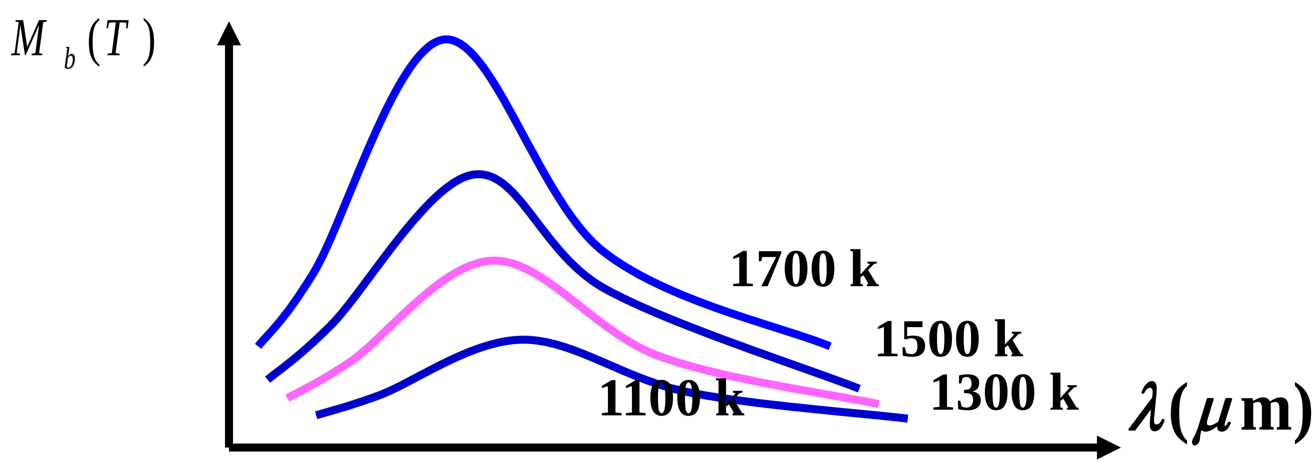
好的吸收体也是好的辐射体

2. 实验装置

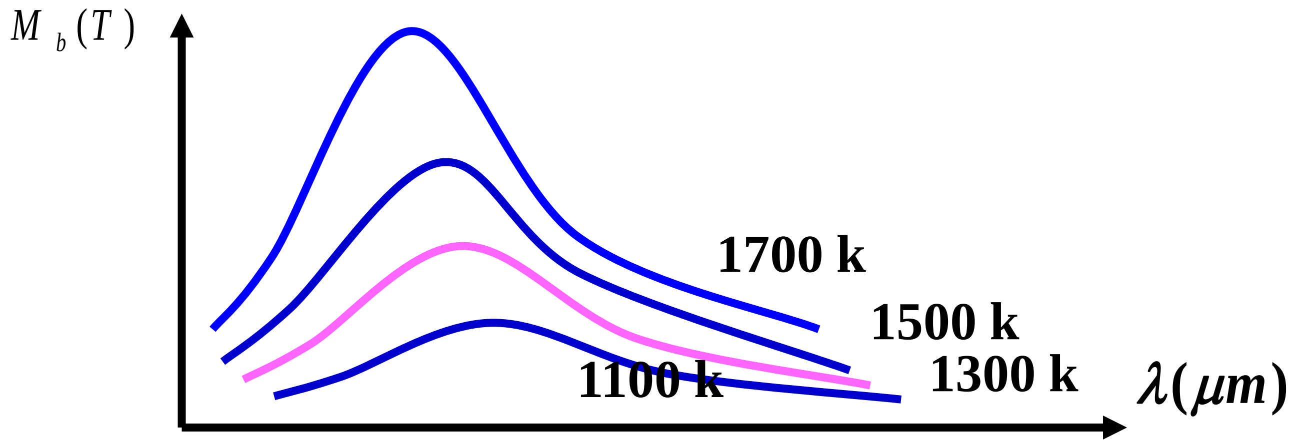


$d\sin\theta = k\lambda$
T
dE_λ
物体
平行
光管
光栅
望远
镜筒
热电偶
探测器

3. 实验曲线



$M_b(T)$
1700 k
1500 k
1300 k
1100 k
$\lambda(\mu m)$



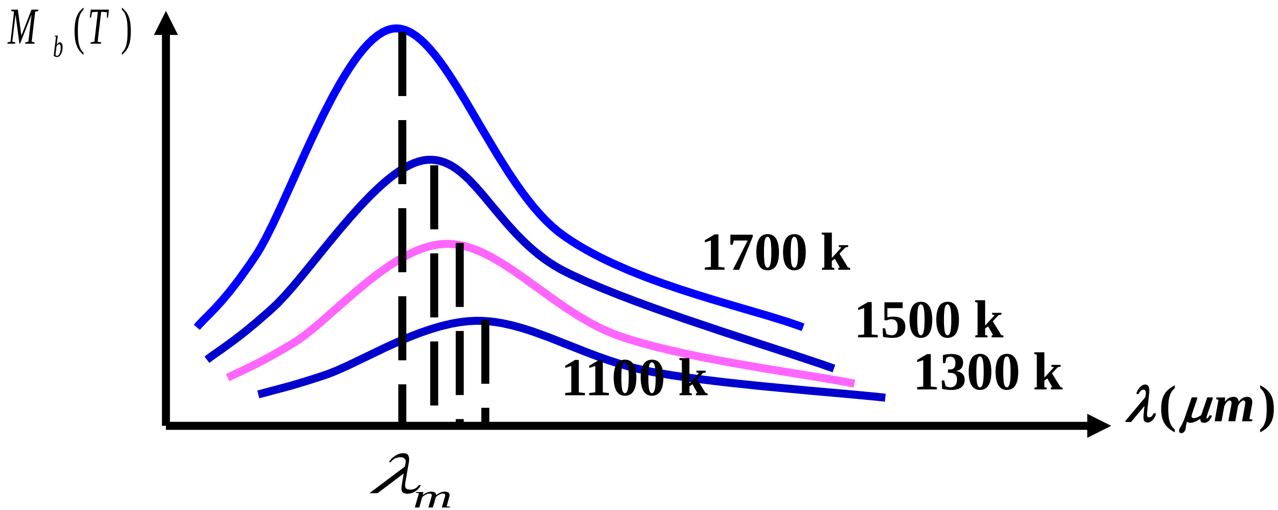
4 实验规律

（1）斯特藩--玻尔兹曼定律：

黑体的辐出度与绝对温度的四次方成正比。

$M_b(T) \propto T^4$　　$M_b(T) = \sigma T^4$

斯特藩常量： $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ w/m^2 \cdot K^4$



（2）维恩位移定律：

黑体辐射的峰值波长与绝对温度成反比。

峰值波长：对应最大单色幅出度的波长

$$T\lambda_m = b \qquad b = 2.898\times10^{-3}\ \boldsymbol{m\cdot K}$$

例： 太阳可以看成黑体，地球上测出其峰值波长为 $\lambda_m=490nm$，若其半径为 6.96×10^{8}，则其表面温度和辐出度以及辐射的总功率为多少？

解： 由维恩位移定律 $T\lambda_m = b$

$$T=\frac{b}{\lambda_m}=\frac{2.898\times10^{-3}}{490\times10^{-9}}=5900(K)$$

斯特藩--玻尔兹曼定律

$$M_{(T)}=\sigma T^4=5.67\times10^{-8}\times(5900)^4$$

$$=6.87\times10^{7}\,w/m^2$$

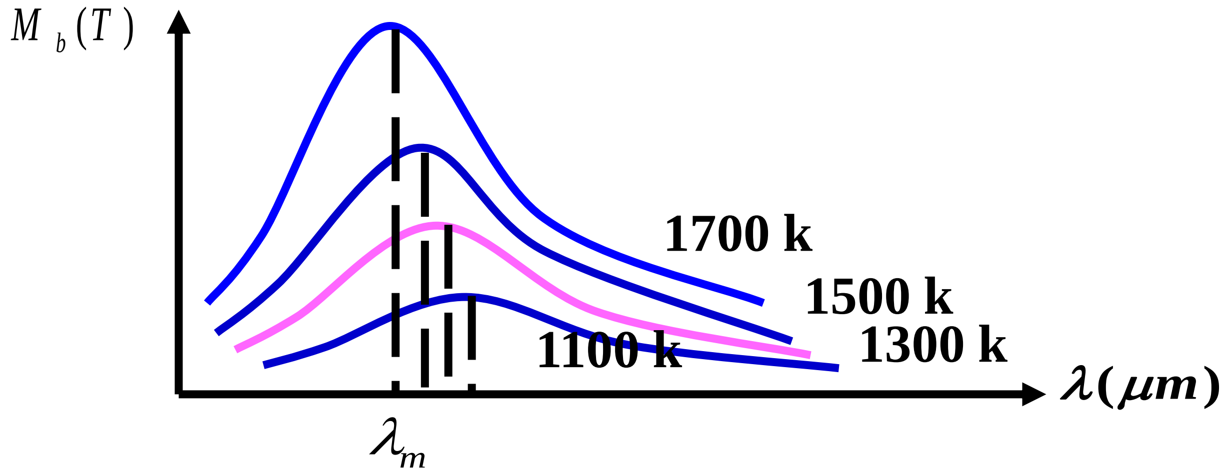
$M(T)$：单位面积上发射的功率

太阳辐射的总功率：

$$P = M(T) 4\pi R^2$$

$$= 6.87 \times 10^7 \times 4\pi \times (6.96 \times 10^8)^2$$

$$= 4.2 \times 10^{26} W$$



四、普朗克的能量子假设

1、经典推导

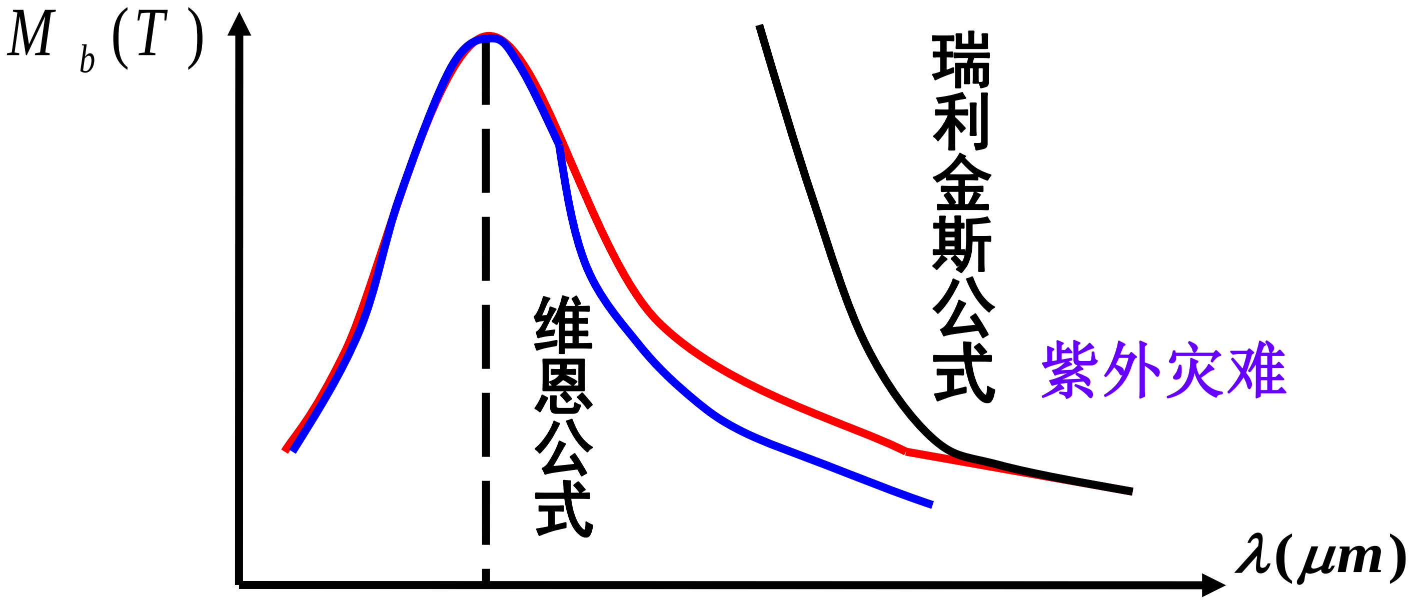
（1）经典能量观

能量与谐振子**振幅**平方成正比，振幅可连续变化，故能量也可连续变化。

（2）经典理论与实验的矛盾

A、维恩公式 $M_{b\lambda}(T) = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$

B、瑞利--金斯公式 $M_{b\lambda}(T) = C_3 \lambda^{-4} T$



2、普朗克的能量子假设

（1）普朗克公式

$$M_{b\lambda}(T)=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}}-1}$$

k玻尔兹曼常数　$k=1.380658\times10^{-23}J\cdot K^{-1}$

c为光速　$h=6.63\times10^{-34}j\cdot s$称为普朗克常量

- 没有自由参量，只含普朗克常数h、光速c、玻尔兹曼常数k
- 从普朗克公式可以推导出其他所有热辐射公式

（2）普朗克量子假设

辐射黑体是由带电谐振子组成，这些谐振子辐射电磁波并和周围电磁场交换能量，**但这些谐振子只能处于某些特殊的状态。它们的能量只能是某些能量子ε的整数倍。**

$$E_n = n\varepsilon \qquad n = 1, 2, 3 \cdots$$ 量子数

$$\varepsilon = h\nu$$ ν为谐振子频率

首先提出微观粒子的能量是量子化的，打破了经典物理学中能量连续的观念

作业：

P211：一.2, 二.1 三.1