

第九章

光的量子性

——量子物理基础

引言

十九世纪末，经典物理已相当成熟，对物理现象本质的认识**似乎**已经完成。

Eular, Lagrange, Laplace, Hamilton	分析力学
Faraday, Maxwell	电动力学
Maxwell, Boltzmann Gibbs	统计力学

海王星的发现（1846在Leverrier“笔尖下看到的”）和电磁理论对波动光学的成功解释，更使人感到经典物理似乎可以解决所有问题。

“物理学的大厦已基本建成，后辈物理学家只要做些修补工作就行了……”

——著名的英国物理学家J.J.汤姆逊

“... 未来的物理学真理将不得不在小数点后第六位去寻找，...但在物理学晴空万里的天际出现了两朵乌云……”

——Kelvin 勋爵在1900年元旦的新年献词

? 寻找以太的
零结果

? 热辐射的
紫外灾难

跳出传统的物理学框架!

寻找以太的零结果

热辐射的紫外灾难



相对论



量子论

- 近代物理学的创立

以三大事件为开端

1895年，伦琴发现X射线（序幕）

1900年，普朗克提出能量子的概念

1905年，爱因斯坦发表“论动体的电动力学”

（1）相对论

1905年：狭义相对论

1916年：广义相对论

(2) 量子力学

旧量子论的形成

1900年: Planck 振子能量量子化

1905年: Einstein 电磁辐射能量量子化

1913年: Bohr 原子能量量子化

量子力学的建立

1923年: de Broglie 电子具有波动性

1926年: Davisson, Thomson 电子衍射实验

1925年: Heisenberg 矩阵力学

1926年: Schrödinger 波动方程 《量子力学原理》

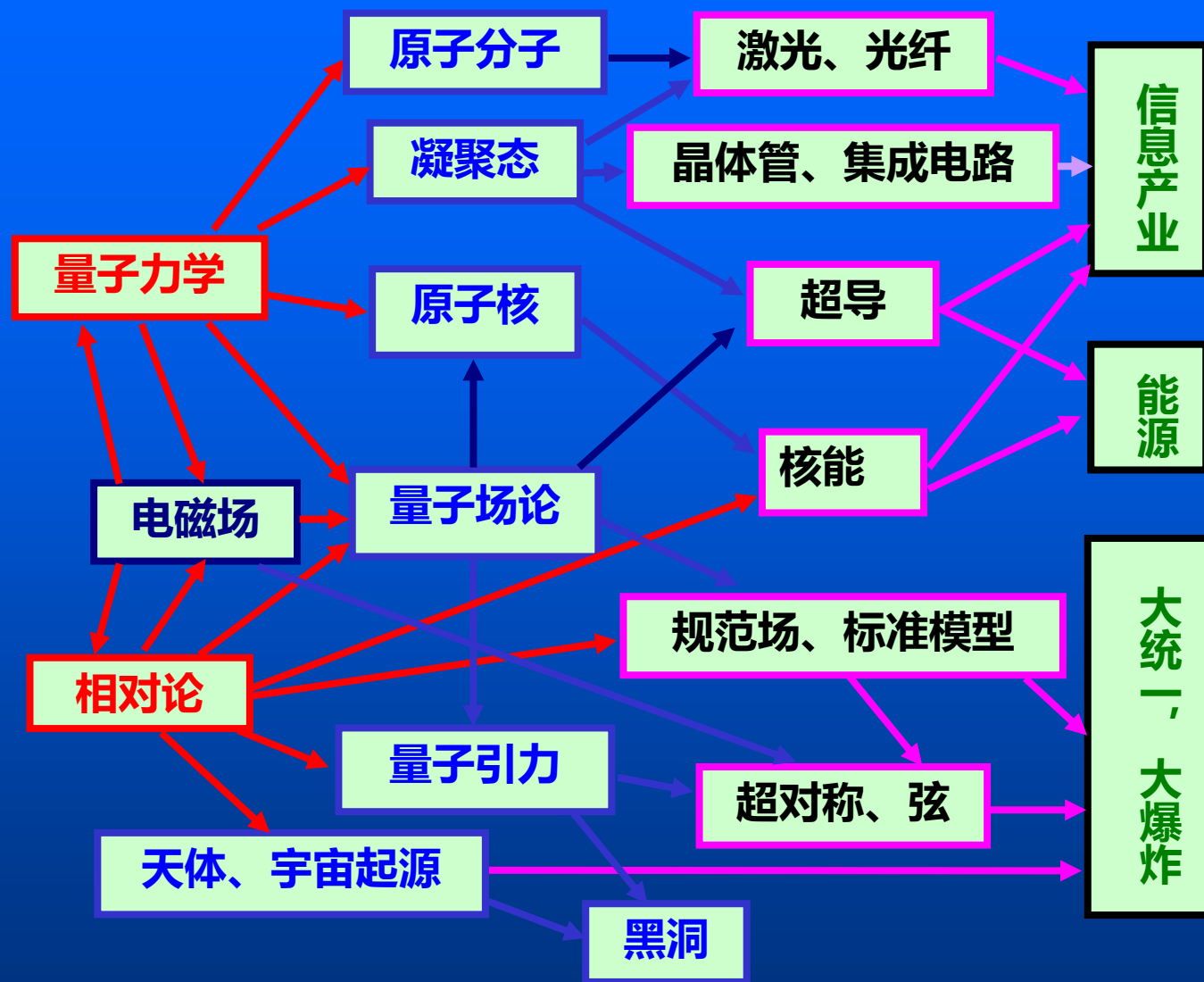
1928年: Dirac 相对论波动方程

量子力学的进一步发展

量子力学

量子场论（量子电动力学）

规范场论（量子色动力学、统一场论）



§ 9.1 黑体辐射和普朗克的能量量子假说

(Black-body radiation and Planck's quantum)

一. 热辐射的基本概念

1. 热辐射 (heat radiation)

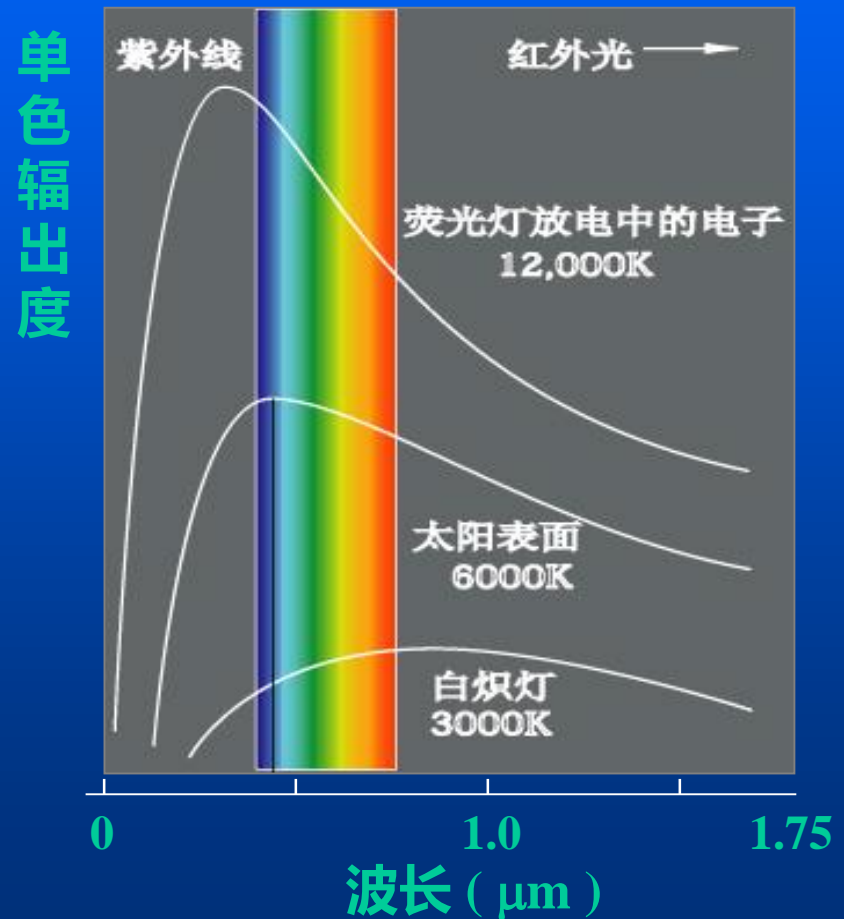
- 物体的分子包含带电粒子，分子的热运动使物体辐射电磁波，产生辐射场。这种辐射与温度有关的现象，称为热辐射
- 物体温度 $\uparrow \Rightarrow$ 辐射的能量 $\uparrow \Rightarrow$ 电磁波的短波成分 \uparrow

例如加热铁块，随着温度的升高：

开始不发光 \rightarrow **暗红** \rightarrow **橙色** \rightarrow **黄白色**

低温物体发出的是红外光
炽热物体发出的是可见光
高温物体发出的是紫外光

- 并不是所有发光现象都是热辐射，例如：激光、日光灯发光就不是热辐射。
- 物体辐射的能量等于在同一时间内所吸收的能量，辐射过程达到热平衡，称为平衡热辐射。此时物体具有固定的温度





红外照相机拍摄的人的头部的热图
热的地方显白色，冷的地方显黑色



FIGURE 21-16 In a thermogram, film sensitive to infrared radiation reveals the location of regions of significant thermal energy transport. The white areas are the regions of greatest heat loss to cold ambient air.



(a)



(b)

FIGURE 41AB-1 (a) A hand-held night vision device. (b) a view at night using this device.

红外夜视仪拍的照片



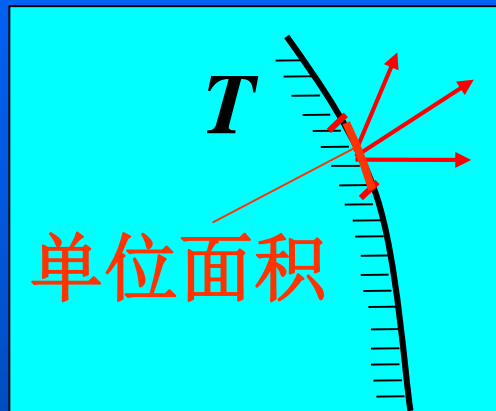
炼钢的热辐射

2. 辐射能量按频率的分布

- 光谱辐出度（单色辐出度）（**monochromatic energy density of radiation**）

$$M(\lambda, T) = \frac{dE(\lambda, T)}{d\lambda}$$

单位时间、单位表面积上所辐射出的，单位波长间隔中的能量



- 总辐射出射度（总发射本领）（**radiant excitance**）

$$M(T) = \int_0^{\infty} M(\lambda, T) d\lambda$$

单位时间、单位表面积上所辐射出的各种波长电磁波的能量。

吸收比

$$\alpha(\lambda, T) = \frac{dE(\lambda, T)_{\text{吸收能量}}}{dE(\lambda, T)_{\text{入射总能量}}}$$

反射比

$$\rho(\lambda, T) = \frac{dE(\lambda, T)_{\text{反射能量}}}{dE(\lambda, T)_{\text{入射总能量}}}$$

对于非透明物体

$$\alpha(\lambda, T) + \rho(\lambda, T) = 1$$



热辐射的情况与物体种类及其表面有关，
情况太复杂了！

怎么去研究热辐射的规律呢？

提出“理想模型”的方法。

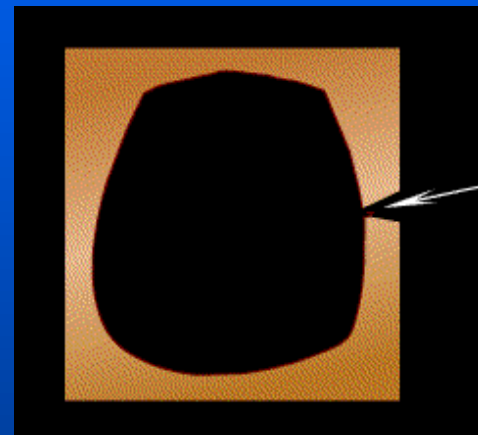
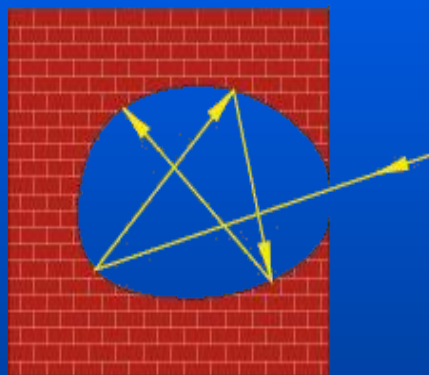
二. 黑体和黑体辐射的基本规律

- **绝对黑体(黑体)**: 能够全部吸收各种波长的辐射且不反射和透射的物体。

黑体的光谱吸收比 $\alpha(\lambda, T) = 1$ ——‘理想模型’

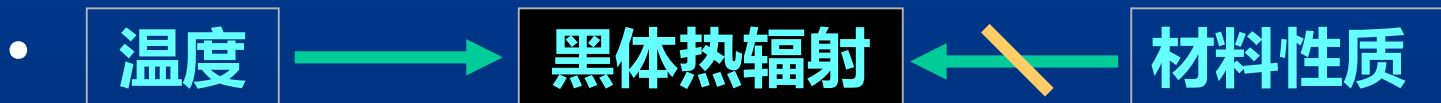


约99%



维恩设计的黑体

- 黑体辐射的特点：



- 与同温度其它物体的热辐射相比，**黑体热辐射本领最强**

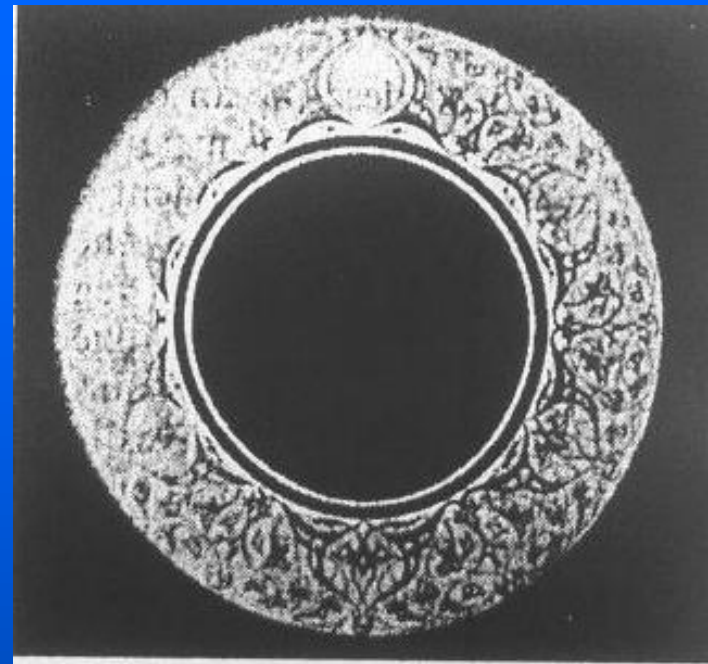
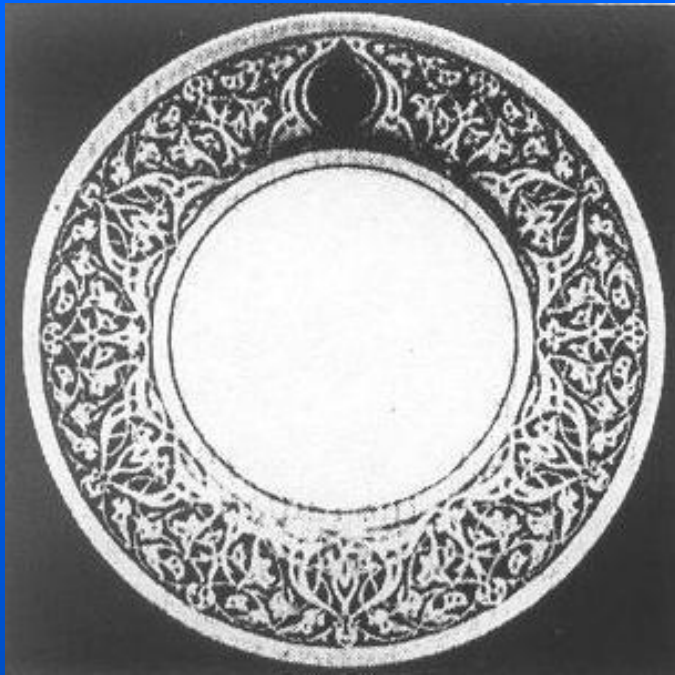
- 对各种具体物体的总辐出度，可以通过实验定出的“黑度系数” (如有“机电手册”可查) 来得到。

$$\text{物体的黑度系数} = \frac{M_{\text{物体}}(T)}{M_{\text{黑体}}(T)}$$

例. 油毛毡（法向） 0.93 (20⁰C)
氧化铜（法向） 0.6→0.7(50⁰C)

问题1：空腔是黑体吗？

问题2：煤炭、太阳、黑洞，谁更“黑”？

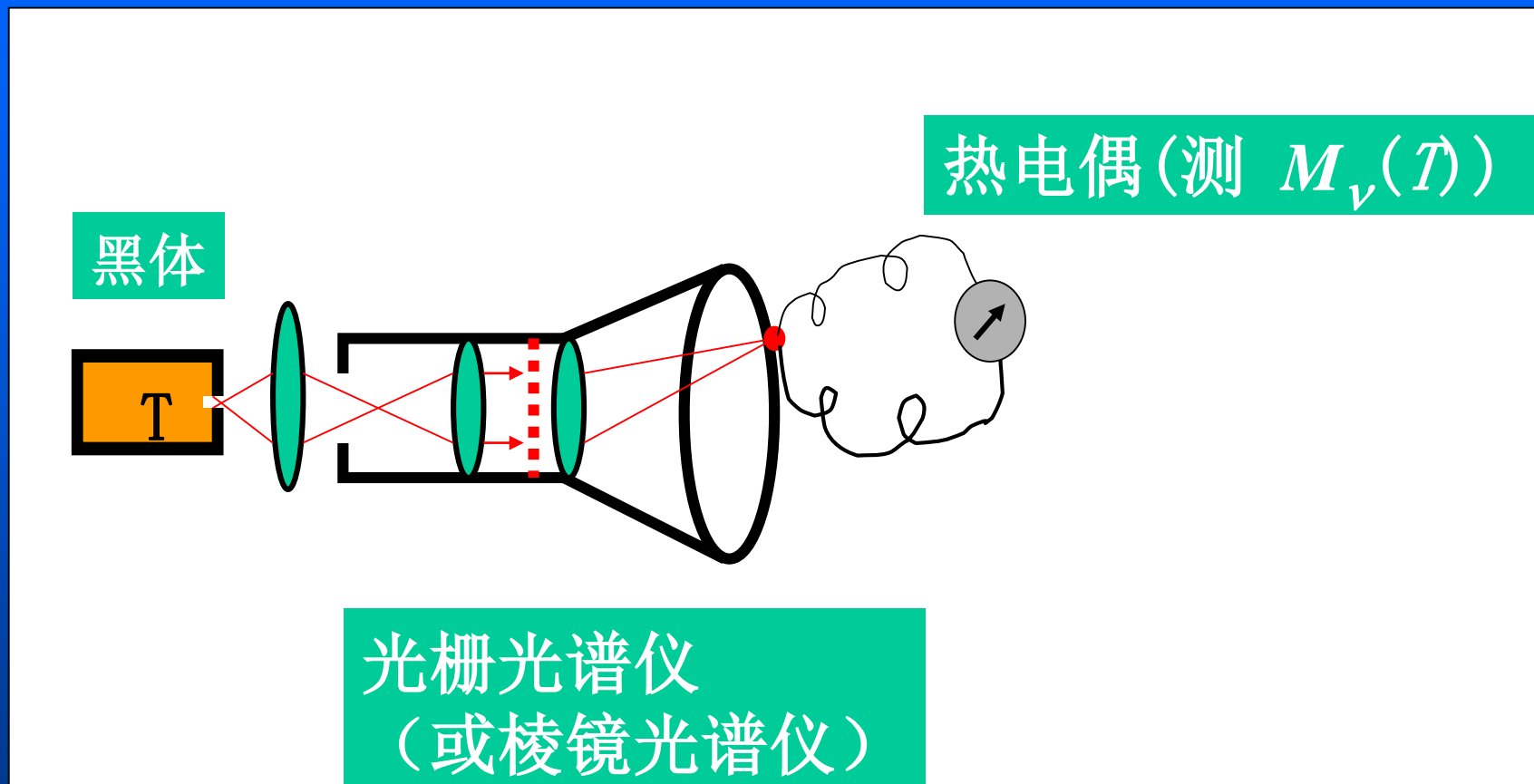


室温下，反射光

1100K，自身辐射光

一个黑白花盘子的两张照片

- 研究黑体辐射的实验装置示意图:



测得的黑体辐射实验曲线和两个实验定律: