

大学物理•早期量子论

主讲教师: 郭袁俊

第16章 早期量子论

16.1 早期量子物理的建立: 黑体辐射

16.2 量子概念的推广:爱因斯坦的光子理论

16.3 能量子观念的验证: 康普顿散射

16.4 玻尔氢原子理论

16.5 激光与激光器





16.1 早期量子物理的建立: 黑体辐射

本节的研究内容

- 早期量子物理的建立过程
- 黑体辐射及其描述

16.1.1 十九世纪末的经典物理

19世纪末,经典物理学已发展到一个高峰。

"所有重要物理常数将被近似估计出来...给科学界人士留下的只是提高这些常数值的精度"

— J. C. Maxwell

"物理学的大厦已经建成,后辈物理学家只要做些修饰工作就行了。"

——W. Thomson (开尔文爵士)

"美丽而晴朗的天空却被两朵乌云笼罩了"

● 第一朵乌云: 以太假说与光的电磁理论

相对论

● 第二朵乌云:能量均分原理用于黑体辐射研究









16.1.2 黑体辐射相关概念

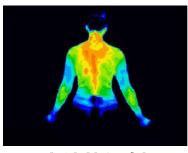
(1) 热辐射

物体处于一定温度的热平衡状态下的辐射

热辐射能力的描述: 单色辐出度 $E(\nu, T)$







人体热辐射

温度为T时,从物体单位面积上向所有方向发射的频率 ν 处单位频率范内的辐射功率对特定物质,单色辐出度与辐射电磁波频率 ν 和物体温度T有关

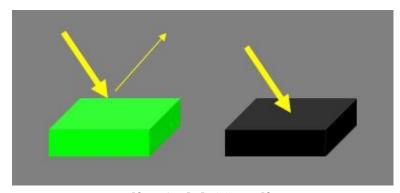
(2) 热吸收

入射到物体上的辐射能量,会部分吸收、部分反射

热吸收能力的描述: 吸收比 $A(\nu, T)$

被物体吸收能量与入射能量的比值

对特定物质, 吸收比与辐射电磁波频率v和物体温度T有关



物质对光的吸收





(3) 热辐射和吸收的基尔霍夫定律

任何物体在同一温度T下,单色辐出度 $E(\nu,T)$ 与吸收比 $A(\nu,T)$ 的比值只与 ν 和T有关

$$\frac{E(\nu,T)}{A(\nu,T)} \equiv f(\nu,T)$$

f(v,T)是一个与物质无关的普适函数。

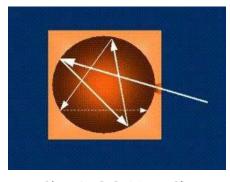
(4) 黑体和黑体辐射

黑体:能够在任何温度下吸收一切电磁波的物体

$$A_b(\nu,T)=1, \qquad f(\nu,T)=E_b(\nu,T)$$

黑体模型及实现

绝对黑体 ⇒ 近似黑体



物质对光的吸收





16.1.3 黑体辐射的规律

(1) 维恩(Wilhelm Wien)公式[1]

▶ 假设斯忒藩-玻尔兹曼经验公式正确

$$E = \sigma T^4$$

> 假设维恩位移定律正确:

$$T\lambda_m = \text{const}$$

假设黑体辐射的能量按频率分布和同温度的理想气体分子的能量的麦克斯韦分布律相同

$$E(\nu, T) = c_1 \nu^3 \exp\left(-\frac{c_2 \nu}{T}\right)$$

维恩公式

$$E(\nu,T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$$

短波(高频)与实验符合,长波(低频)有明显偏离

[1] 杨朝潢,"能量子和作用量子的缘起",《物理通报》1964年第2期



★ 16.1.3 黑体辐射的规律

- (2) 瑞利-金斯(Rayleigh-Jeans)公式[2]
- ▶ 假设辐射空腔内的电磁辐射形成一切可能的驻波
- 在高温和长波的情况下,能量均分定理仍然有效
- 麦克斯韦统计理论有效

1905年金斯纠正了瑞利的计算错误,给出了正确公式

瑞利-金斯公式

$$E(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}kT$$

长波(低频)与实验符合,短波(高频)发散:紫外灾难

[2] 玻姆[美国], 量子理论, 商务印书馆, 1982.5 第1版, P7~P21



16.1.4 普朗克黑体辐射理论

▶ 普朗克用内插法得到新公式[3]

维恩公式:

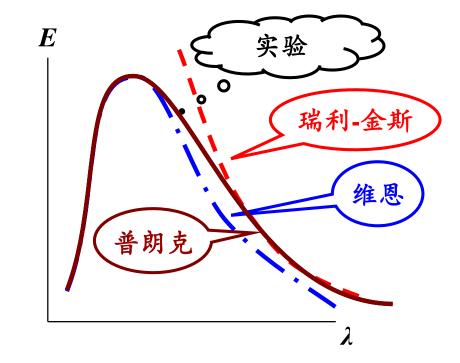
$$E(\nu,T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \exp\left(-\frac{h\nu}{kT}\right)$$

瑞利-金斯公式:

$$E(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3}kT$$

普朗克黑体辐射公式:

$$E(\nu,T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$



所有波段都符合! ⇒ 必然蕴含未知的物理原理

[3] M. Planck, Verh. D. Phys. Ges. , 2 (1900) 202



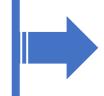
16.1.5 量子概念的诞生

▶ 普朗克能量子假说 (1918年诺贝尔物理奖) [4]

"必须假定,能量在发射和吸收的时候,不是连续不断,而是分成一份一份的。"

假设: 能量不连续的谐振子假设

方法: 玻尔兹曼统计方法



$$E(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1}$$

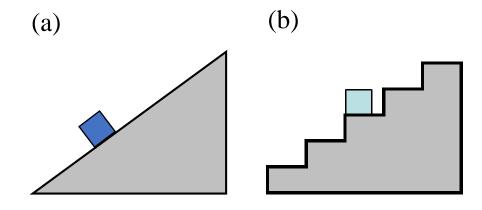
- > 核心思想: 能量的量子化, 即能量以hv为基本单元
- > 能量子

$$E_{min} = h\nu$$

$$E = n \cdot hv$$

n: 量子数

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$
: 普朗克常数



量子 → 分立值 / 不连续

[4] M. Planck, Ann. der Physik, 4 (1901) 553



▲ 16.1.6 量子理论的发展

"一个新的科学真理不能通过说服她的反对者并使其理解而获胜,她的获胜主要由于其反对者终 于死去,而熟悉她的新一代成长起来了"——M. Plank

- > 普朗克的成就和遗憾
- > 爱因斯坦于1905年在论文《关于光的产生和转化的一个启发性观点》引入了光量子概念,解 决了光电效应问题[5,6]。
- 并于1907年用能量不连续的概念解决了固体比热问题。





本节测试题

- · 下列物体哪个是绝对黑体 ()
 - (A) 不辐射可见光的物体

(B) 不辐射任何光线的物体

(C) 不能反射可见光的物体

(D) 不能反射任何光线的物体

参考答案: D

解答分析:一般来说,任何物体对外来辐射同时会有三种反应:反射、透射和吸收,各部分的比例与材料、温度、波长有关。同时任何物体在任何温度下会同时对外辐射。实验和理解证明:一个物体辐射能力正比于其吸收能力。作为一种极端情况,绝对黑体能将外来的辐射(可见光或不可见光)全部吸收,自然也就不会反射任何光线,同时其对外辐射能力最强。

放置位置: PPT5之后