

第一章 量子力学的历史渊源

一、量子论的建立

1 经典物理

1.1 成功

- 牛顿运动定理：粒子性
- 麦克斯韦方程组：波动性

1.2 困难

- 黑体辐射问题
- 光电效应
- 原子的线状光谱及其规律

1.3 适用范围：

宏观、低速

2 旧量子论

2.1 建立

- 19世纪末三大发现：x射线，放射性，电子
- 1900 普朗克 能量量子化： $\varepsilon = h\nu$
- 1905 爱因斯坦 光量子
- 1913 玻尔 量子态
- 1925 泡利 不相容原理
- 1925 乌伦别克、古兹米特 电子自旋假设

2.2 成功

- 量子态概念获实验验证
- 提出角动量量子化
- 成功解释氢原子光谱

2.3 局限

- 跃迁概念不清
- 无法解释氦原子光谱
- 无法解释原子如何组成分子

3 新量子论

3.1 建立

- 1905 爱因斯坦 光子的波粒二象性
- 1917 康普顿 康普顿散射实验
- 1924 德布罗意 实物粒子的波粒二象性
- 1925-1928 玻恩、约旦 矩阵力学
- 1925-1928 薛定谔 波动力学
- 1925-1928 狄拉克 相对论量子力学
- 20世纪40年代 费曼 路径积分理论

3.2 量子力学

- 定义：研究微观世界物质运动和变化的基本规律的科学
- 适用范围：微观 & 宏观

二、普朗克-爱因斯坦的光量子论

1 光的波动性

光的干涉、衍射、偏振，光的电磁理论

2 黑体辐射

- 维恩公式：短波相符，长波不符
- 瑞利-金斯公式：长波相符，短波不符
- 普朗克公式：

$$\varepsilon = hv\rho(v)dv = \frac{8\pi hv^3}{c^3} \frac{1}{e^{hv/kT}-1} dv$$

3 光电效应

- 爱因斯坦光电方程： $K_e = hv - W_0$
- 光子的能量： $E = hv = \hbar\omega$
- 光子的动量： $\vec{p} = \frac{h}{\lambda}\vec{n} = \hbar\vec{k}$

4 康普顿效应

- 现象：电磁波被散射后波长随散射角的增大而增大
- 解释： $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{4\pi\hbar}{\mu_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2}$
- 意义：实验证实了光的波粒二象性

三、玻尔的原子结构模型

1 氢原子光谱

1.1 巴尔末公式

- 巴尔末公式：
- $$v = R_H c \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right), n' < n = 1, 2, 3, \dots$$
- 里德伯常数： $R_H = 1.097 \times 10^7 m^{-1}$

1.2 经典理论的困难

- 无法解释原子的稳定性

- 无法解释原子光谱的分立性
- 无法解释并合原则

1.3 弗兰克-赫兹实验

- 证明了原子能量的不连续性

2 玻尔模型

2.1 基本假设

- 定态假设
- 跃迁假设： $h\nu = |E_n - E_m|$
- 量子化条件：电子的轨道角动量只能是 \hbar 的整数倍

2.2 推导结果

- 氢原子能级： $E_n = -\frac{\mu k_1^2 e^4}{2\hbar^2} \frac{1}{n^2}, n = 1, 2, 3, \dots$
- 里德伯常量： $R_H = \frac{\mu k_1^2 e^4}{4\pi\hbar^3 c}$

3 推广的量子化条件

- 公式： $\oint p dq = (n + \frac{1}{2})\hbar, n = 0, 1, 2, \dots$
- 注： q 为广义坐标， p 为对应的广义动量， n 为量子数

4 玻尔模型的局限性及原因

4.1 局限性

- 不能给出谱线强度
- 不能解释复杂原子光谱

- 不能处理非束缚态问题
- 与经典理论不相容，物理本质不清楚

4.2 原因

将微观粒子看作经典力学中的质点,将经典力学的规律用在微观粒子上

四、德布罗意的物质波假说

1 德布罗意假说

1.1 德布罗意假说

微观粒子具有波粒二象性

1.2 德布罗意关系

- $E = h\nu = \hbar\omega$
- $\vec{p} = \frac{h}{\lambda}\vec{n} = \hbar\vec{k}$

2 德布罗意波

$$\Psi(\vec{r}, t) = Ae^{i(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t)} = Ae^{i(\vec{p}\cdot\vec{r}-Et)/\hbar}$$

3 实验验证

- 实验：电子衍射实验
- 意义：证明了微观粒子的波粒二象性