

# 高中物理

马祥芸

May 12, 2024

## Contents

|          |                  |          |
|----------|------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>匀变速直线运动问题</b> | <b>2</b> |
| 1.1      | 中间时刻/平均速度        | 2        |
| 1.2      | 纸带加速度问题          | 2        |
| <b>2</b> | <b>机械振动</b>      | <b>3</b> |
| 2.1      | 简谐振动             | 3        |
| 2.2      | 数学准备             | 3        |
| <b>3</b> | <b>光学</b>        | <b>4</b> |
| 3.1      | 折射率              | 4        |
| 3.2      | 干涉实验             | 5        |
| 3.3      | 总结               | 5        |
| <b>4</b> | <b>热学</b>        | <b>7</b> |
| 4.1      | 黑体辐射             | 7        |
| 4.1.1    | 物理大厦上的”两朵乌云”     | 7        |
| 4.1.2    | 为什么要研究辐射         | 7        |
| 4.1.3    | 黑体模型             | 8        |
| 4.1.4    | 能量子-普朗克          | 8        |
| 4.1.5    | 光的一些描述           | 9        |
| 4.2      | 光电效应             | 9        |
| 4.2.1    | 理想模型             | 9        |
| 4.2.2    | 实验雏形             | 9        |
| 4.2.3    | 电学实验             | 10       |
| 4.3      | 原子结构             | 10       |
| 4.3.1    | 物理学史             | 10       |
| 4.3.2    | $\alpha$ 散射实验    | 10       |
| 4.3.3    | 玻尔模型             | 11       |
| 4.4      | 天然放射性现象          | 12       |
| 4.5      | 放射性元素的衰变         | 13       |

# 1 匀变速直线运动问题

## 1.1 中间时刻/平均速度

中间时刻速度  $v_{\frac{t}{2}}$  与平均速度  $\bar{v}$  是同一个值

$$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + \frac{at}{2} = \frac{v_0}{2} + \left(\frac{v_0}{2} + \frac{at}{2}\right) = \frac{v_0 + v_t}{2} = \bar{v}$$

中间位置速度

$$\begin{cases} 2a\frac{x}{2} = v_{\frac{x}{2}}^2 - v_0^2 & (1) \\ 2a\frac{x}{2} = v_t^2 - v_{\frac{x}{2}}^2 & (2) \end{cases}$$

由方程 (1) - (2) 得到  $v_{\frac{x}{2}} = \sqrt{\frac{v_0^2 + v_t^2}{2}}$

## 1.2 纸带加速度问题

纸带的特点, 每个计时点的时间间隔相同均为  $T$ , 且  $x_n$  规定的是第  $n$  个时间间隔内的位移, 并非到起点的距离

推论. 相邻位移之间的差为  $aT^2$ , 等时位移比例式为  $x_1 : x_2 : x_3 : \cdots : x_n = 1 : 3 : 5 : \cdots : 2n - 1$

证明.

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{1}{2}a(nT)^2 - \frac{1}{2}a[(n-1)T]^2 = aT^2\left(\frac{2n-1}{2}\right) \\ x_{n-1} &= aT^2\left(\frac{2n-3}{2}\right) \\ x_n - x_{n-1} &= aT^2 \end{aligned}$$

□

推论. 等位移比例式子 ( $1m, 2m, 3m \dots$ )

前  $1m, 2m, 3m \dots nm$  所用时间比为  $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \cdots : \sqrt{n}$ , 若是第  $im$  内则向前减一个就行

证明.

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{1}{2}at_1^2 \implies t_1 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{1} \\ 2 &= \frac{1}{2}at_2^2 \implies t_2 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{2} \\ 3 &= \frac{1}{2}at_3^2 \implies t_3 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{3} \\ n &= \frac{1}{2}at_n^2 \implies t_n = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{n} \end{aligned}$$

□

## 2 机械振动

### 2.1 简谐振动

- 定义: 具有平衡位置, 回复力形如  $F_{\text{回}} = -kx$  (来自合外力或其分力)
- 振子方程:  $\sin(\omega t + \varphi)$
- 同侧法: 质点振动速度方向  $v_f$  与波传播方向  $u$  在正弦函数线的同一侧
- 摆周期:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
- 受迫振动: 在周期性外力的持续作用下而进行的振动称为**受迫振动**, 振动稳定后齐**频率**等于外力驱动频率
- 等效绳长与等效加速度问题:
  - 等效绳长: 确定为简谐振动, 通过几何关系确定摆心
  - 等效加速度: 主要区别电梯摆和电场摆, 前者需要变换参考系 (非惯性力)
- 造成波的多解性的三大原因:
  - **波的周期性:**  $\begin{cases} \text{时间周期性: 时间间隔}\Delta t\text{与周期}T\text{的关系不明确} \\ \text{空间周期性: 波传播距离}\Delta x\text{与波长}\lambda\text{的关系不明确} \end{cases}$
  - **波的双向性:**  $\begin{cases} \text{传播方向双向性: 波的传播方向不确定} \\ \text{振动方向双向性: 质点振动方向不确定} \end{cases}$
  - **波形隐含性:**  $\begin{cases} \text{在波动问题中, 有时只给出几个特殊点} \\ \text{(大多是两个特殊的点) 的运动状态, 其余信息均处于隐含状态} \end{cases}$

### 2.2 数学准备

- 展开

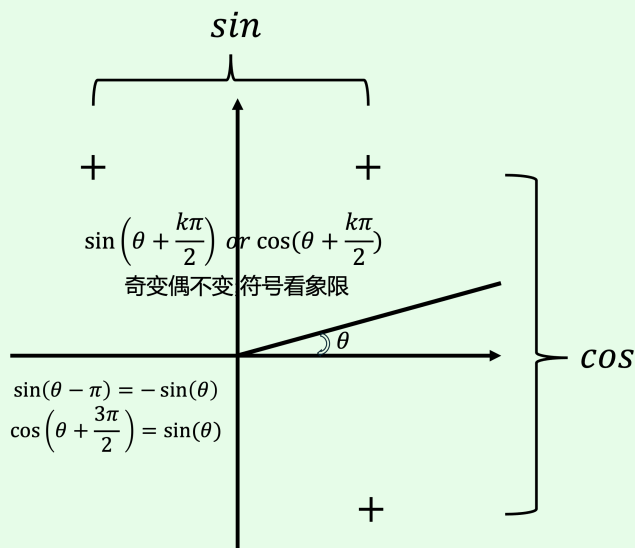
$$\sin(\theta \pm \beta) = \sin\theta \cos\beta \pm \cos\theta \sin\beta$$

$$\cos(\theta \pm \beta) = \cos\theta \cos\beta \mp \sin\theta \sin\beta$$

$$\tan(\theta \pm \beta) = \frac{\tan\theta \pm \tan\beta}{1 \mp \tan\theta \tan\beta}$$

- 余补关系

$$\sin(\pi - \theta) = \sin\theta \quad \cos(\pi - \theta) = -\cos\theta \quad \tan(\pi - \theta) = -\tan\theta$$



- 和关系

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

- 正弦定理

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

- 余弦定理

$$\cos \gamma = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}$$

- 二倍角

$$\sin 2\theta = 2 \sin \theta \cos \theta \quad \cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta \quad \tan 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 - \tan^2 \theta}$$

- 降次

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2} \quad \cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2} \quad \tan^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{1 + \cos 2\theta}$$

### 3 光学

#### 3.1 折射率

- 定义式:

$$n = \frac{\sin \text{大角}}{\sin \text{小角}}$$

- 决定式:

$$n = \frac{c}{v}$$

- 全反射:

光密介质  $\rightarrow$  光疏介质  $\sin \text{大角} = 1$  (大角  $= \frac{\pi}{2}$ )

$$\text{临界角} \quad \sin C = \frac{1}{\sin \text{小角}}$$

- 视深与视高:

$H$  为物点距离界面的高度;  $h$  为像点距离界面的高度

– 视深: 从介质外看向介质内  $h = \frac{1}{n}H$

– 视高: 从介质内看向介质外  $h = nH$

- 实验误差分析:

– 非平行玻璃砖  $n_{\text{测}} = n_{\text{真}}$

– 整体平移  $d_{\text{测}} = d_{\text{玻}}$   $n_{\text{测}} = n_{\text{真}}$

– 其他情况  $n_{\text{测}}$  和  $n_{\text{真}}$  的大小关系与  $d_{\text{测}}$  和  $d_{\text{玻}}$  的大小关系相反

### 3.2 干涉实验

薄膜干涉:  $\delta = 2d$

明暗条纹位置由波长和此处厚度共同决定

相邻明 (暗) 条纹对应的薄膜厚度差为  $\frac{\lambda}{2}$   $\lambda$  应为光在介质中传播时的波长

劈尖干涉: 样板下表面和被检查平面的上表面的反射光发生干涉

(标准板的厚度太厚大于相干长度)

验平问题:

若待测板平整, 干涉条纹等距

若条纹**偏头**, 则条纹提前出现, 此处光程差偏大, 因此待测样板此处凹

若条纹**偏尾**, 则条纹延后, 此处光程差偏小, 因此待测样板此处凸

条纹间距问题:

$$\text{薄片 (支撑两个板) 的移动改变 } \theta \text{ 角} \quad \Delta l = \frac{\Delta d}{\tan \theta} \quad \Delta d = f(\lambda) = \frac{\lambda}{2}$$

增反膜; 增透膜: 入射光能量 = 折射光能量 + 反射光能量

(注: 光疏到光密反射光产生半波损失,  $n_{\text{膜}}$  介于空气和另一介质之间)

增透膜: 反射光相消  $2d = \frac{\lambda}{2}(2n + 1)$

增反膜: 反射光相长  $2d = \frac{\lambda}{2}(2n)$

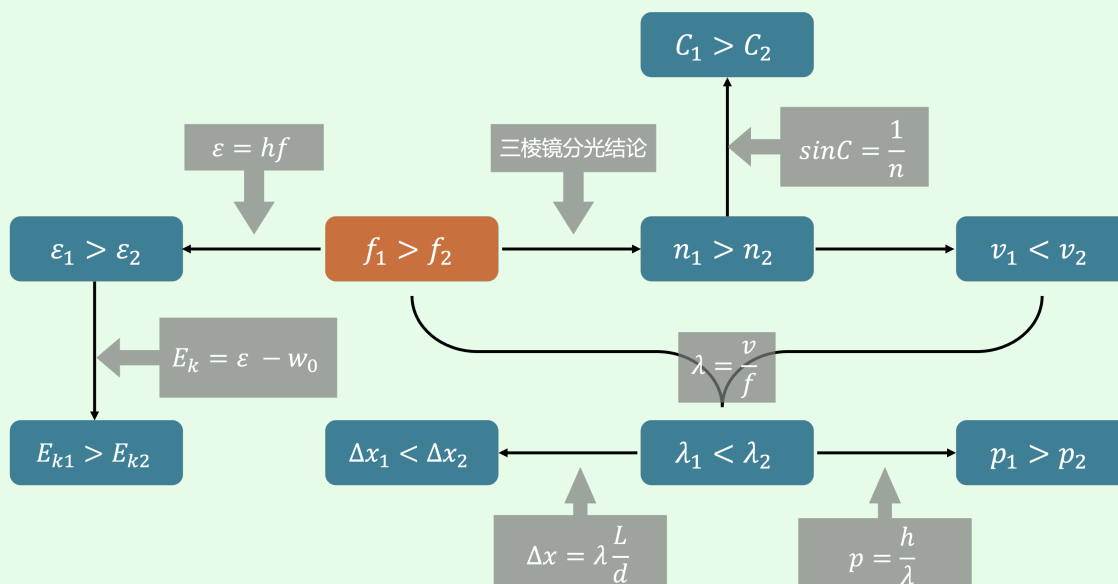
双缝干涉:  $\Delta d = \lambda \frac{L}{d}$  (条纹间距  $\Delta d$ , 双缝间距  $d$ , 缝板距离  $L$ )

### 3.3 总结

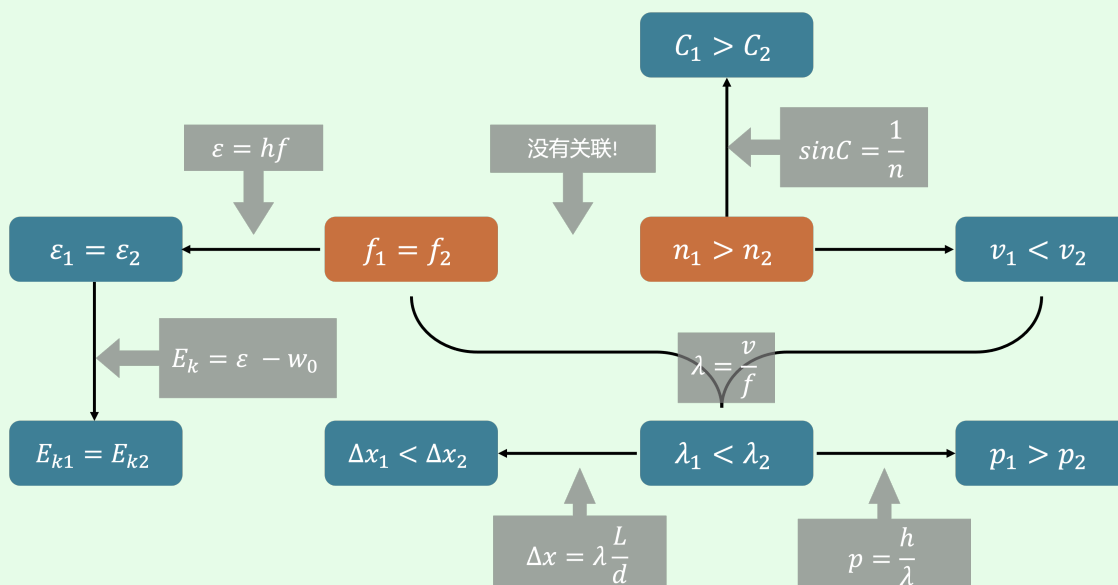
# 符号说明

| 频率  | 折射率 | 速度  | 临界角 | 波长        | 动量  | 干涉         | 能量            | 逸出功   | 逃逸光子动能 |
|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|------------|---------------|-------|--------|
| $f$ | $n$ | $v$ | $C$ | $\lambda$ | $p$ | $\Delta x$ | $\varepsilon$ | $w_0$ | $E_k$  |

- 同一介质中不同频率的光



- 同一频率的光在不同介质 (下标表示不同介质中) 中

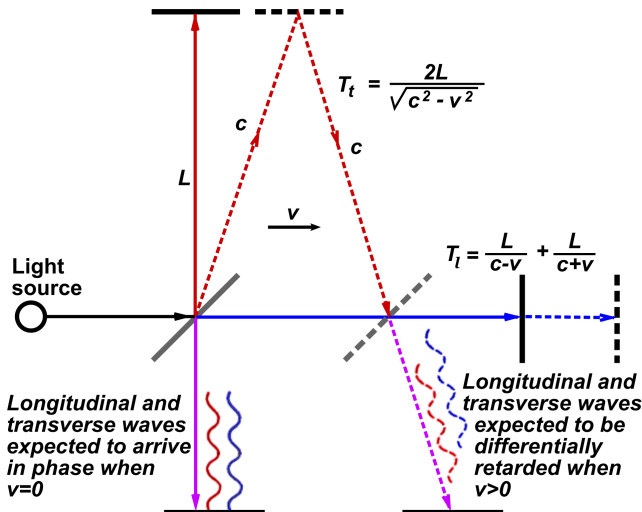


## 4 热学

### 4.1 黑体辐射

#### 4.1.1 物理大厦上的”两朵乌云”

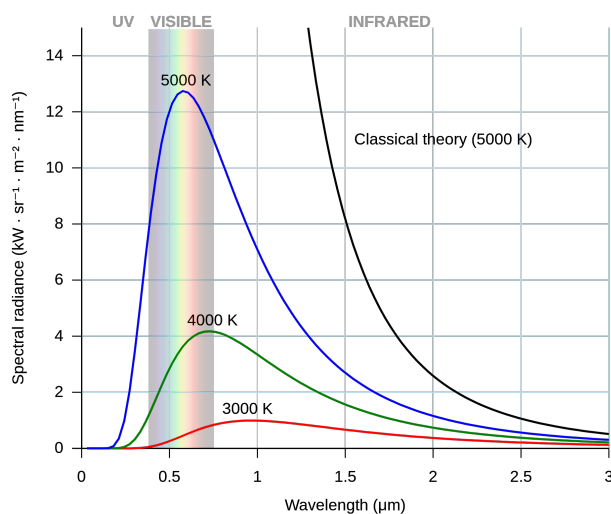
- 迈克尔逊-莫雷实验: 测量假想介质以太 (绝对参考系)  $\Rightarrow$  否定以太得到狭义相对论



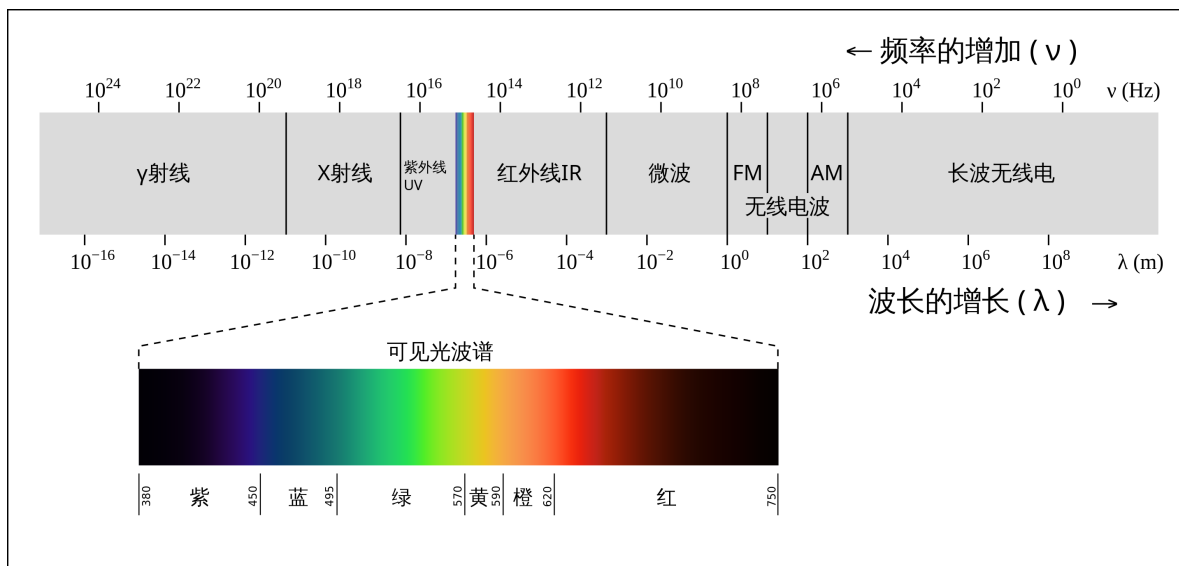
- 热辐射实验-紫外灾难: 紫外波段辐射能量在当时理论下应为  $\infty$ , 实际辐射能量为 0

#### 4.1.2 为什么要研究辐射

- 各个国家都在大炼钢铁 (大炼钢时代), 资本家为了提高炼钢技术请物理学家进行研究
- 热辐射: 任何物体都在进行热辐射 (电磁波), 且与**温度** (非唯一) 有关
- 物理学家尝试测量最好炼钢温度所产生的热辐射 (电磁波波谱)



- (1) 在特定温度下, 辐射的电磁波波段范围较广, 强度不一
  - (2) 随着温度的升高, 辐射出的各个波段的电磁的辐射强度均升高
  - (3) 随着温度升高, 辐射强度最强的波长向**左**移动 (频率上升)
- (a) 维恩公式 (短波接近)  
(b) 瑞利公式 (长波接近)  $\Rightarrow$  紫外灾难 (短波接近无穷)



#### 4.1.3 黑体模型

- 理想黑体概念: 反射率与透射率为 0, 吸收率 100%, 全靠自身发射辐射  
常见近似黑体: 太阳 发光灯泡 钻孔箱

#### 4.1.4 量子-普朗克



- 量子: 认为带电微粒的能量只能是某一最小能量值的整数倍, 最小能量值称之为—能量子
- 光子: 爱因斯坦在**光电效应**现象中认为光本身由一个个不可分割的能量子组成, 频率为  $\nu$  的光其能量为  $h\nu$ , 后被称为光子

$$E = h\nu \quad \text{普朗克常数 } h = 6.63 \times 10^{-34}$$

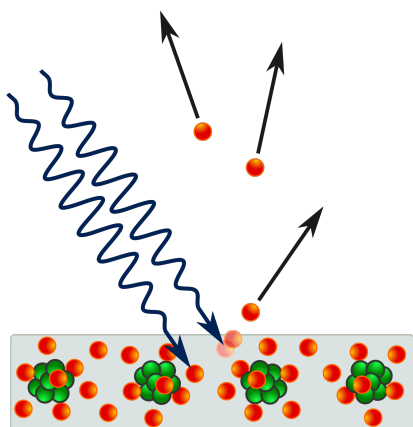


#### 4.1.5 光的一些描述

- 光速 (传播): 真空中传播速度  $3 \times 10^8 m/s$
- 频率 (颜色): 单位时间内完成的周期次数  $\nu$
- 强度 (亮度): 单位时间内的光子数 (粗浅定义)  $I = nh\nu$  (单一光的强度改变仅改变  $n$ )

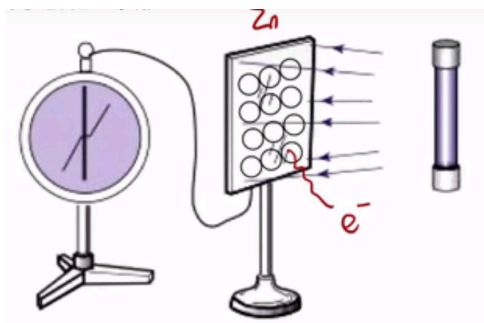
### 4.2 光电效应

#### 4.2.1 理想模型



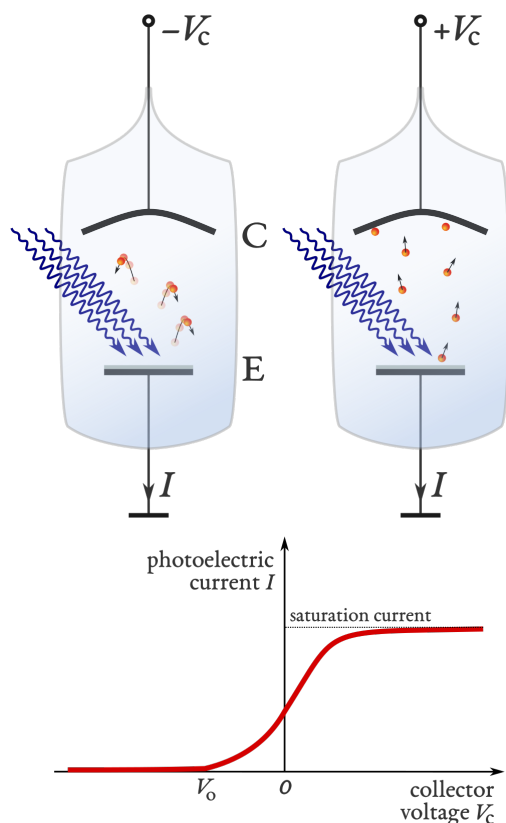
- 核外电子处于某能级上, 吸收特定能量将会跃迁或逃离 (电离)
- 单个光子的能量被吸收后仍有余量, 则作为电子的初动能
- 电子逃离在化学中  $\Longleftrightarrow$  被氧化, 这也是有些材料需要避光存储的原因

#### 4.2.2 实验雏形



- 电子吸收能量逃离
- Zn 板处于正电
- 验电器处于正电 (工作原理: 接触式起电)

### 4.2.3 电学实验



- 逸出功: 电子逃逸出金属表面所需要的最小能量  $W_0$
- 最大初动能: 一定频率光照下刚逃逸的电子所具有最大初动能  $E_{kmax} = h\nu - W_0$
- 饱和光电流: 所有逃逸电子均打到极板 (忽略速度对电流的影响)  $I_s$   
 增大光频率  $\times$   
 增加光照强度 (调整  $n$ )  $\checkmark$
- 遏止电压: 恰好使得没有任何电子打到极板  $V_{stop}q = E_{kmax}$  (抵消电子最大初动能)
- 截止频率 (极限频率): 恰好发生光电效应时的频率  $E_{kmax} \Rightarrow \nu_0 = \frac{W_0}{h}$

## 4.3 原子结构

### 4.3.1 物理学史

1. J.J 汤姆孙发现了电子: 阴极射线的粒子称为电子
2. J.J 汤姆孙提出”枣糕模型”: 认为原子是一个球体, 其中正电荷分布均匀, 电子镶嵌其中
3. 卢瑟福通过  $\alpha$  粒子散射实验 提出”核式结构模型”: 所有带正电部分体积很小但几乎有全部质量, 电子在外运动

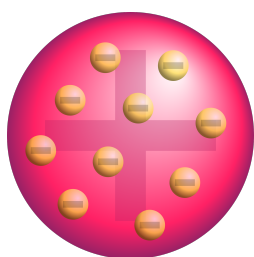


Figure 1: 枣糕结构

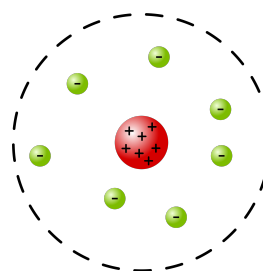


Figure 2: 核式结构

### 4.3.2 $\alpha$ 散射实验

- $\alpha$  粒子:  $He$  原子核
- 实验原理: 使用  $\alpha$  粒子轰击金箔 (原子间缝隙), 边旋转荧光屏边接收粒子发光

- 实验中: 电子间的相互作用, 质量, 空气阻力等 (极小); 为何使用金箔 (重, 不易被碰撞影响; 延展性好, 可以做很薄)
- 实验结果

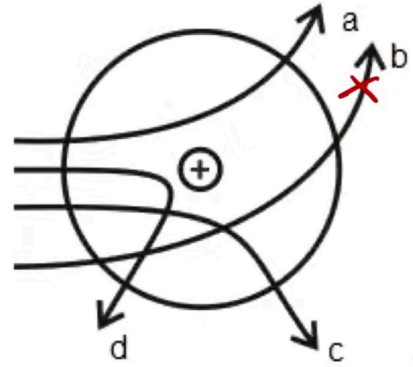
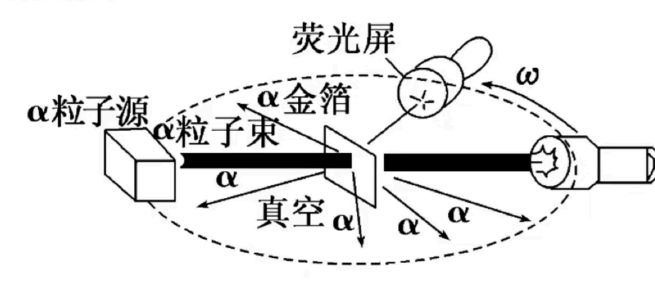
当时理论: 几乎所有粒子均可以穿过金箔

真实结果: 大部分穿过, 少部分偏角较大, **极少部分反弹** (不符合枣糕结构模型)

结论: 原子内部极度空旷, 极少反弹现象是由集中的大量正电荷带来的库伦力造成

**$\alpha$  粒子: He 原子核**

**实验原理**



#### 4.3.3 玻尔模型

- 经典理论的困难:
  - 卢瑟福的核式结构正确指出了原子核的存在, 很好的解释了  $\alpha$  散射实验, 但是经典物理学既无法解释原子的**稳定性**, 又无法解释原子**光谱的分立特性**.
  - 绕核转动的电子在做周期性运动, 其电磁场周期性的变化 (波的传播) 因而会激发电磁波, 其绕核转动的能量将以电磁波的形式辐射出去. 所以电子绕核转动这个系统是不稳定的. 然而事实是, 原子是个很稳定的系统.
  - 经典电磁理论, 电子辐射的电磁波的频率就是其绕核转动频率. 电子越转能量越小, 那么离原子核就越来越近, 转的也就越来越快, 这个变化应当是连续的, 即应当是原子辐射各个频率的光都有 (光谱应当是连续的). 事实是分立的线状谱.

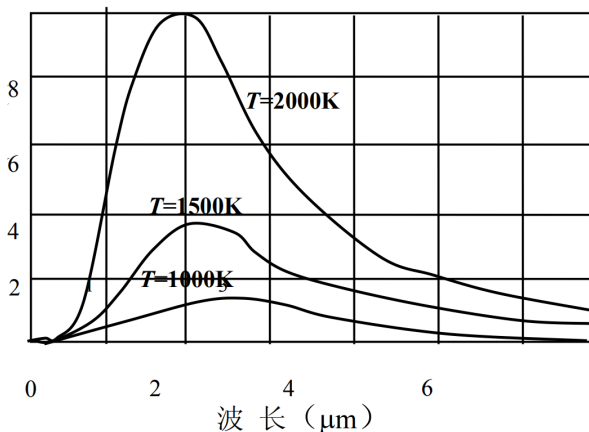


Figure 1: 黑体辐射光谱

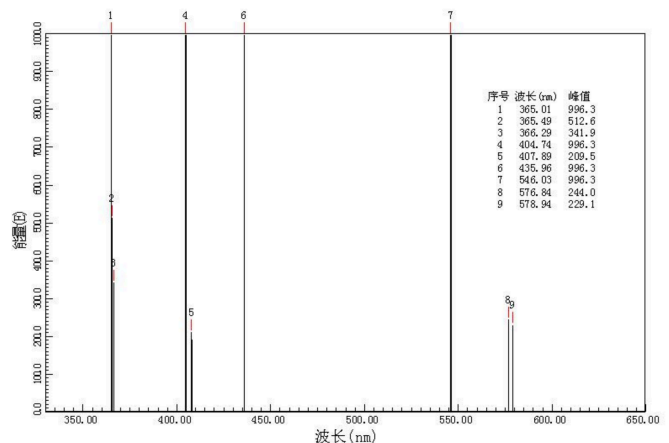
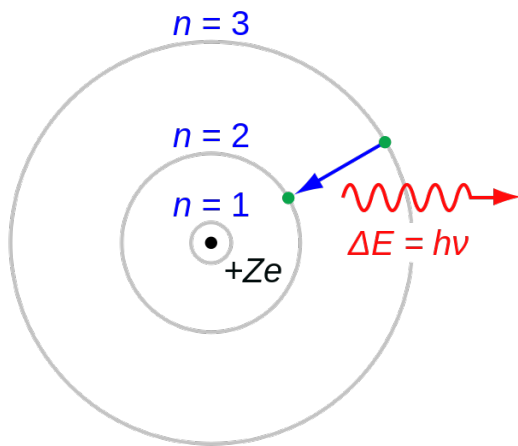


Figure 2: 汞灯光谱

- 基本假设:

轨道量子化



- \* 电子**跃迁**辐射电磁波, 电子在不同轨道运动  $\iff$  原子处于不同状态 (原子跃迁)
- \* 原子在不同的状态中具有不同的能量, 因此原子的能量是**量子化**, 这些量子化的能量叫做**能级**
- \* 原子中具有确定能量的稳定状态称为**定态**
- \* 能量最低的态叫做基态  $n = 1$ ; **激发态**  $n > 1$  (第一激发态  $n = 2$ )
- 状态标识  $n = 1, 2, 3 \dots$
- 能量标识  $E_1, E_2, E_3, \dots$

氢原子能级 (以能级差示意跃迁难度)

| $n$      | $E/\text{eV}$ |
|----------|---------------|
| $\infty$ | 0             |
| 5        | -0.54         |
| 4        | -0.85         |
| 3        | -1.51         |
| 2        | -3.4          |
| 1        | -13.6         |

\*  $E_1 = -13.6\text{eV}$   $E_2 = -3.6\text{eV}$   $E_3 = -1.51\text{eV}$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

\* 电子吸收能量的方式:

恰好拥有某两能级差的光子 (区别于光电效应中对光能量吸收的要求)

大于某两能级差的实物粒子撞击

\* 电离: 电子吸收能量完全逃离 (最远处能级为 0) 原子核的束缚

- 电子跃迁 (从高  $\rightarrow$  低)

- 处于激发态的电子是不稳定的, 将会**自发**从高能级向低能级跃迁
- 向低能级跃迁过程中会发射**特定频率**的电磁波 (光)
- 有多种向低能级跃迁的方法时, 跃迁结果不定, 直至跃迁到基态
- 大量处于同一激发态的电子, 所能发射电磁波的频率的种类最多  $C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$

#### 4.4 天然放射性现象

- 定义: 放射性元素**原子核内部**自发放出射线的现象
- 三种射线:

$\alpha$  射线:  ${}_2^4\text{He}$  原子核 速度  $0.1c$

$\beta$  射线:  ${}_0^{-1}e$  速度  $0.99c$

$\gamma$  射线:  ${}_0^0\gamma$  电磁波 速度  $c$

电离能力: 使得被射线辐射的物质发生电离的能力  $\alpha > \beta > \gamma$

距离足够近, 放射性同位素释放出的  $\alpha$  粒子就足以穿透皮肤从而杀死皮下的重要组织的细胞. 相比  $\gamma$  射线和  $x$  光对细胞造成毁伤的能力,  $\alpha$  射线对细胞所造成的损坏程度超过其二十倍以上

穿透能力: 穿透物质能力  $\gamma > \beta > \alpha$  (甚至不能穿透一张纸)

磁场半径:  $r = \frac{mv}{qB}$   $q_\alpha = 2q_\beta$   $m_\alpha \gg m_\beta \implies r_\alpha > r_\beta$

电场偏转:  $a = \frac{Eq}{m}$   $q_\alpha = 2q_\beta$   $m_\alpha \gg m_\beta$   $a_\alpha < a_\beta$

$\beta$  粒子相比  $\alpha$  粒子在电磁场中更易发生偏转

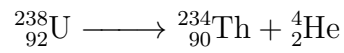
#### 4.5 放射性元素的衰变

1. 原子核的表示:  ${}_Z^AX$  ( $A$  表质量数,  $Z$  为原子核的电荷数 eg.  ${}_4^2He$ )

同位素: 质子数一样, 质量数不一样

2. 衰变形式:

$\alpha$  衰变: 放射性元素原子核放出  $\alpha$  粒子



$\beta$  衰变: 放射性元素原子核放出  $\beta$  粒子

