高中物理

马祥芸

May 15, 2024

Contents

1	匀变速直线运动问题								
	1.2	纸带加速度问题	2						
2	机械		3						
	2.1	简谐振动	3						
	2.2	数学准备	3						
3	光学		4						
	3.1	折射率	4						
	3.2	干涉实验	5						
	3.3	总结	5						
4	热学		7						
	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						
		1.2.2 实验雏形	9						
		1.2.3 电学实验	10						
	4.3	原子结构	10						
		4.3.1 物理学史	10						
		4.3.2 α 散射实验	10						
		1.3.3 玻尔模型	11						
	4.4	天然放射性现象	12						
	4.5	放射性元麦的竞变	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 \overline{v} 是同一个值

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

中间位置速度

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

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 $x_1:x_2:x_3:\dots:x_n=1:3:5:\dots:2n-1$ 证明.

$$x_n = \frac{1}{2}a(nT)^2 - \frac{1}{2}a[(n-1)T]^2 = aT^2(\frac{2n-1}{2})$$
$$x_{n-1} = aT^2(\frac{2n-3}{2})$$
$$x_n - x_{n-1} = aT^2$$

推论. 等位移比例式子 (1m,2m,3m...)

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

$$1 = \frac{1}{2}at_1^2 \Longrightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{1}$$

$$2 = \frac{1}{2}at_2^2 \Longrightarrow t_2 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{2}$$

$$3 = \frac{1}{2}at_3^2 \Longrightarrow t_3 = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{3}$$

$$n = \frac{1}{2}at_n^2 \Longrightarrow t_n = \sqrt{\frac{2}{a}} \cdot \sqrt{n}$$

2 机械振动

2.1 简谐振动

- 定义: 具有平衡位置, 回复力形如 $F_{\square} = -kx($ 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**, 振动稳定后其**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: 主要区别电场摆和电梯摆, 后者需要变换参考系(非惯性力)
- 造成波的多解性的三大原因:

 $\left(\begin{array}{c} -i\lambda \, \text{Diag}(x) \\ -i\lambda \, \text{Diag}(x) \end{array} \right)$ 空间周期性: 波传播距离 $\triangle x$ 与波长 λ 的关系不明确

- 波形隐含性: { 在波动问题中,有时只给出几个特殊点 (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

2.2 数学准备

• 展开

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

• 互($\theta + \beta = \frac{\pi}{2}$)

$$\sin\theta = \cos\beta \quad \tan\theta = \frac{1}{\tan\beta}$$

• $\Xi \nmid \uparrow (\theta + \beta = \pi)$

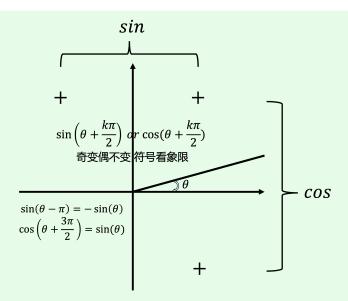
$$\sin\theta = \sin\beta \quad \cos\theta = -\cos\beta \quad \tan\theta = -\tan\beta$$

• 半周期与奇偶性

$$\sin(\theta \pm \pi) = -\sin\theta \quad \sin(\theta - \beta) = -\sin(\beta - \theta)$$

$$\cos(\theta \pm \pi) = -\cos\theta \quad \cos(\theta - \beta) = \cos(\beta - \theta)$$

3



• 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:

$$n = \frac{\sin \pm \pi}{\sin \pm \pi}$$

• 决定式:

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

• 全反射:

光密介质
$$\rightarrow$$
 光疏介质 \sin 大角 $=$ 1 (大角 $=$ $\frac{\pi}{2}$) 临界角 $\sin C = \frac{1}{\sin \sqrt{\hbar}}$

• 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 $n_{\parallel} = n_{\bar{1}}$
- -整体平移 $d_{ij} = d_{ij}$ $n_{ij} = n_{ij}$
- 其他情况 n_{ij} 和 n_{ij} 的大小关系与 d_{ij} 和 d_{ij} 的大小关系相反

3.2 干涉实验

- (1) 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 $\frac{\lambda}{2}$ λ 应为光在介质中传播时的波长
- (2) 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)

I 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

II 条纹间距问题:

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

III 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, η 原 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 $2d = \frac{\lambda}{2}(2n)$

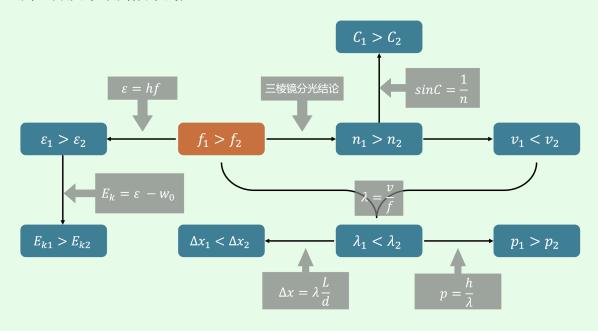
(3) 双缝干涉: $\triangle d = \lambda \frac{L}{d}$ (条纹间距 $\triangle d$, 双缝间距 d, 缝板距离 L)

3.3 总结

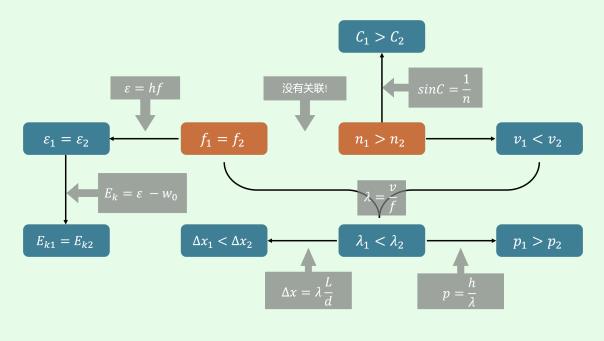
符号说明

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	λ	p	$\triangle x$	ε	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

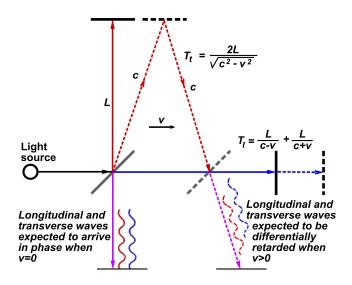


4 热学

4.1 黑体辐射

4.1.1 物理大厦上的"两朵乌云"

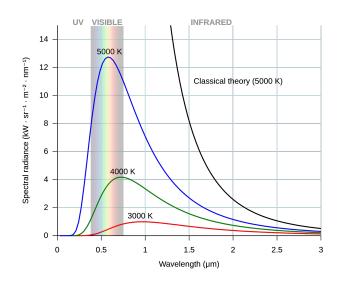
迈克尔逊-莫雷实验: 测量假想介质以太(绝对参考系)→ 否定以太得到狭义相对论



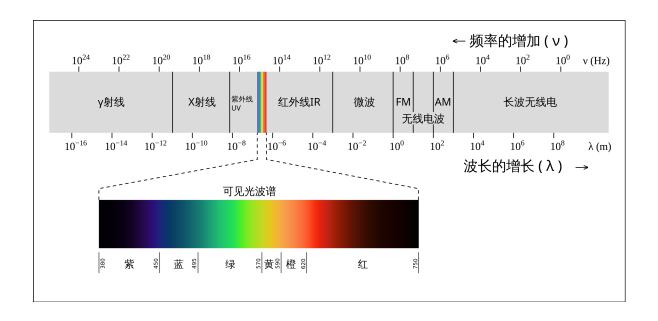
• 热辐射实验-紫外灾难: 紫外波段辐射能量在当时理论下应为 ∞ , 实际辐射能量为 0

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) ⇒ 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 能量子-普朗克





• 能量子: 认为带电微粒的能量只能是某一最小能量值的整数倍, 最小能量值称之为一能量子

• 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 ν 的光其能量为 $h\nu$, 后被称为光子

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

4.1.5 光的一些描述

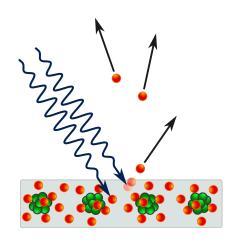
• 光速 (传播): 真空中传播速度 $3 \times 10^8 m/s$

• 频率 (颜色): 单位时间内完成的周期次数 ν

• 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)

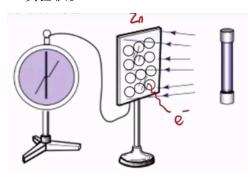
4.2 光电效应

4.2.1 理想模型



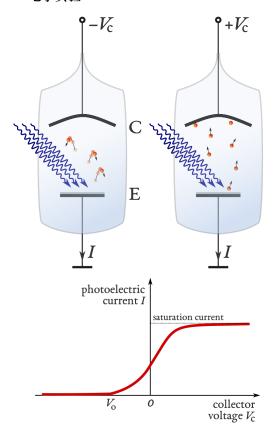
- 核外电子处于某能级上, 吸收特定能量将会 跃迁或逃离 (电离)
- 单个光子的能量被吸收后仍有**余量**,则作为电子的初动能
- 电子逃离在化学中 ↔ 被氧化,这也是有些材料需要避光存储的原因

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 × 增加光照强度 (调整 n) $\sqrt{}$

- 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 $E_{kmax} \Longrightarrow \nu_0 = \frac{W_0}{h}$

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 α 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

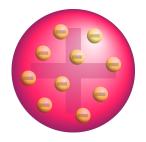


Figure 1: 枣糕结构

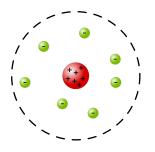


Figure 2: 核式结构

4.3.2 α 散射实验

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

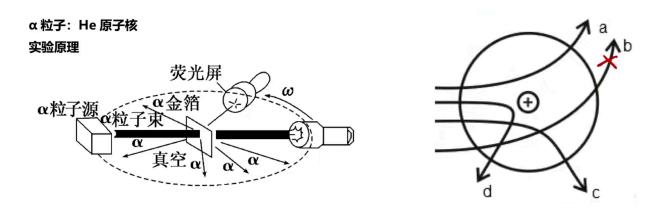
• 实验中: 电子间的相互作用, 质量, 空气阻力等 (极小); 为何使用金箔 (重, 不易被碰撞影响; 延展性好, 可以做很薄)

• 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



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 α 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.

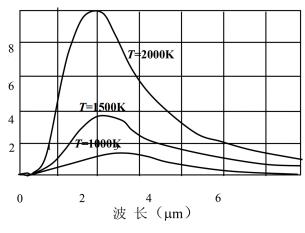


Figure 1: 黑体辐射光谱

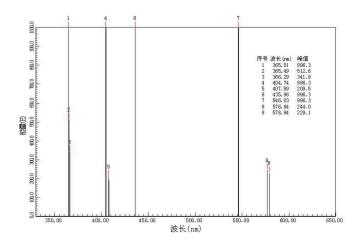
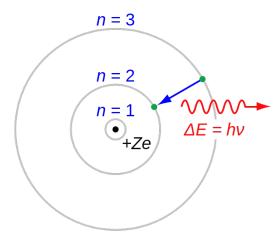


Figure 2: 汞灯光谱

• 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 ⇔ 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 $n = 1, 2, 3 \cdots$ 能量标识 E_1, E_2, E_3, \cdots

氢原子能级 (以能级差示意跃迁难度)

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

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

* 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

1 ———— –13.6

* 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 → 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:

 α 射线: 2_4He 原子核 速度 0.1c

 β 射线: $_{0}^{-1}e$ 速度 0.99c

 γ 射线: ${}^{0}_{0}n$ 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 α 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 γ 射线和 x 光对细胞造成毁伤的能力, α 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:
$$r = \frac{mv}{qB}$$
 $q_{\alpha} = 2q_{\beta}$ $m_{\alpha} \gg m_{\beta} \Longrightarrow r_{\alpha} > r_{\beta}$

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

β 粒子相比 α 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: ${}^{A}_{Z}X$ (A 表质量数,Z 为原子核的电荷数 eg. ${}^{2}_{4}He$) 同位素: 质子数一样,质量数不一样
- 2. 衰变形式:
 - α 衰变: 放射性元素原子核放出 α 粒子

$$^{238}_{92}$$
U \longrightarrow $^{234}_{90}$ Th $+$ $^{4}_{2}$ He

• β 衰变: 放射性元素原子核放出 β 粒子 (非核外电子, 中子 \rightarrow 电子 + 质子) β 衰变不改变质量数 (未知衰变的计算方法)

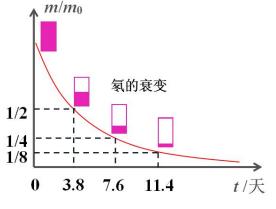
$$^{234}_{90}$$
Th $\longrightarrow ^{234}_{91}$ Pa $+ ^{0}_{-1}$ e

- γ 衰变: α 衰变, β 衰变过程中会伴随着 γ 射线
- 衰变的轨迹分析: eg. 进行 α 衰变并处在 X 磁场下

$$r = rac{mv}{qb}$$
 由动量守恒 $|m_{lpha}v_{lpha}| = |m_{ar{k}}v_{ar{k}}|$ $q_{ar{k}} > q_{lpha}$ $r_{ar{k}} < r_{lpha}$

总结: 在磁场下 α 衰变为蝴蝶圆, β 衰变为内切圆 给定元素或给定半径均需要用到**动量守恒**

3. 半衰期: 放射性元素的原子核有半数发生衰变所需要的时间



- (1) 不同放射性元素的半衰期不同
- (2) 半衰期的大小仅与原子核内部结构有关
- (3) 是对同一元素的大量原子核的统计规律

- 4. 人工核反应:
 - (1) 卢瑟福 α 粒子轰击氮原子核发现质子

$$^{14}_{7}N + {^4_2}He \longrightarrow {^{17}_8}O + {^1_1}H$$

(2) 查德威克 α 粒子轰击铍原子核发现中子

$${}^9_4\mathrm{Be} + {}^4_2\mathrm{He} \longrightarrow {}^{12}_6\mathrm{C} + {}^1_0\mathrm{n}$$

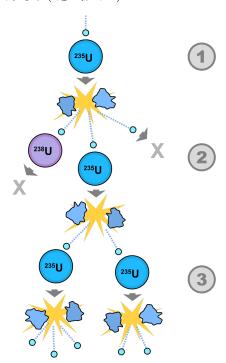
(3) 居里夫人 α 粒子轰击铝原子核发现人工放射性同位素

$$^{27}_{13}\text{Al} + ^{4}_{2}\text{He} \longrightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^{1}_{0}\text{n}$$

(4) 居里夫人同时发现正电子

$$^{30}_{15}P \longrightarrow ^{30}_{15}Si + ^{0}_{1}e$$

5. 核裂变 (链式反应)



(1)
$${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{9}n$$