

# 考点 65 原子结构原子核

## 考情探究

### 1. 3 年真题考点分布

题型	选择题、填空题	
高考考点	原子结构模型、波尔原子理论的考察；天然方式现象和原子核的衰变；核反应方程的书写和识别；核力、质量亏损的计算；	
新高考	2023	重庆卷 6 题、广东卷 1 题、天津卷 3 题、北京卷 3 题、浙江卷 5 题、海南卷 1 题、海南卷 10 题、湖南卷 1 题、乙卷 3 题、甲卷 2 题、浙江春招卷 9 题、山东卷 1 题、湖北卷 1 题、辽宁卷、浙江春招卷 15 题
	2022	重庆卷 6 题、北京卷 1 题、海南卷 10 题、广东卷 5 题、湖南卷 1 题、天津卷 1 题、福建卷 2 题、北京卷 14 题、海南卷 2 题、辽宁卷 2 题、湖北卷 1 题、浙江卷 7 题、浙江卷 11 题、山东卷 1 题、甲卷 4 题、浙江春招 14 题
	2021	辽宁卷 2 题、北京卷 14 题、浙江春招 10 题、重庆卷 2 题、福建卷 9 题、江苏卷 1 题、海南卷 5 题、湖北卷 1 题、北京卷 1 题、山东卷 1 题、浙江卷 14 题、广东卷 1 题、乙卷 4 题、甲卷 4 题、河北卷 1 题、湖南卷 1 题、

### 2. 命题规律及备考策略

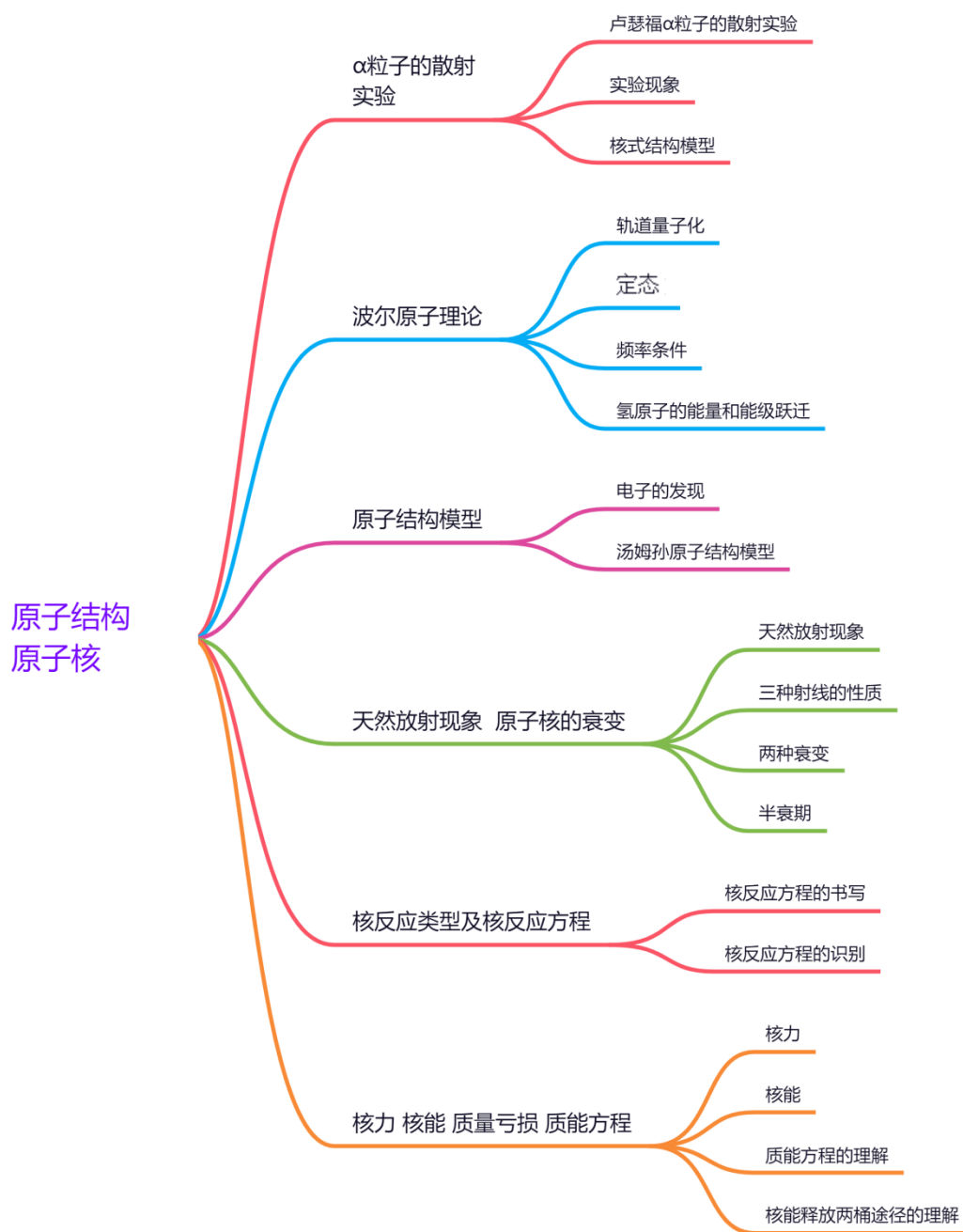
**【命题规律】**近 3 年新高考卷对于本节内容考查共计 47 次,主要考查:

- (1) 波尔原子理论、氢原子的能量和能级跃迁;
- (2) 核反应方程的识别和书写;
- (3) 利用质能方程计算质量亏损问题;
- (4) 半衰期的理解和计算

**【备考策略】**掌握三种原子结构模型的特点;理解并掌握波尔原子理论及能级跃迁的相关计算;区分衰变、人工核反应、重核裂变和轻核衰变四种核反应方程的书写和简单的计算;学会利用质能方程进行简单质量亏损的计算。

**【命题预测】**本节内容较为简单,但考察次数频繁,2024 年考生需要着重基础,理解并区分核反应方程,识别及书写,以及半衰期的计算,这也是 2024 年各省高考命题的热点。

## 考点梳理



### 考法 1 $\alpha$ 粒子的散射实验

卢瑟福  $\alpha$  粒子散射实验

①  $\alpha$  粒子散射实验装置由  $\alpha$  粒子源、金箔、显微镜等几部分组成, 实验时从  $\alpha$  粒子源到荧光屏这段路程应处于真空中。

② 实验现象

- a. 绝大多数的  $\alpha$  粒子穿过金箔后, 基本上仍沿原来的方向前进;
- b. 少数  $\alpha$  粒子发生了大角度偏转; 偏转的角度甚至大于  $90^\circ$ , 它们几乎被“撞了回来”。
- c. 实验意义: 卢瑟福通过  $\alpha$  粒子散射实验, 否定了汤姆孙的原子模型, 建立了核式结构模型。

## (3) 卢瑟福的核式结构模型

①模型描述: 原子中带正电部分的体积很小, 但几乎占有全部质量, 电子在正电体的外面运动.

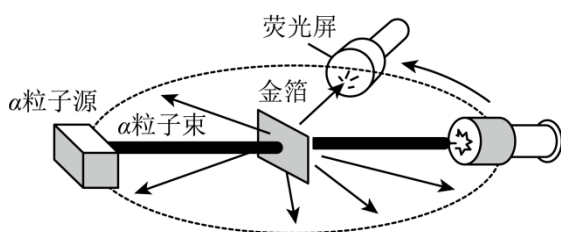
②原子核: 正电体的尺度是很小的, 称为原子核.

③意义: 明确了原子结构的空分分布、质量分布、电荷分布

④局限性: 卢瑟福的原子核式结构模型能够很好地解释  $\alpha$  粒子散射实验现象但不能解释原子光谱是特征光谱和原子的稳定性.

### ★ 典例引领

**【典例 1】** (2023·全国·校联考模拟预测) 如图所示是  $\alpha$  粒子散射实验装置的示意图. 从  $\alpha$  粒子源发射的  $\alpha$  粒子射向金箔, 利用观测装置观测发现, 绝大多数  $\alpha$  粒子穿过金箔后, 基本上仍沿原来的方向前进, 但有少数  $\alpha$  粒子 (约占八千分之一) 发生了大角度偏转, 极少数  $\alpha$  粒子偏转的角度甚至大于  $90^\circ$ . 下列说法正确的是 ( )



- A.  $\alpha$  粒子束是快速运动的质子流  
 B. 实验结果说明原子中的正电荷弥漫性地均匀分布在原子内  
 C.  $\alpha$  粒子发生大角度偏转是金箔中的电子对  $\alpha$  粒子的作用引起的  
 D.  $\alpha$  粒子散射实验装置的内部需要抽成真空

### ★ 即时检测

**【变式】** (2023·湖北·模拟预测) 下列说法中正确的是 ( )

- A. 卢瑟福通过对  $\alpha$  粒子散射实验结果分析, 提出了原子核由质子和中子组成  
 B. 康普顿散射实验证明了电子具有波动性  
 C. 铀核 ( ${}_{92}^{238}\text{U}$ ) 衰变为铅核 ( ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ ) 的过程中, 要经过 8 次  $\alpha$  衰变和 6 次  $\beta$  衰变  
 D. 查德威克发现质子的核反应方程为  ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$

## 考法 2 玻尔原子理论

### 1. 轨道量子化

- (1) 原子中的电子在库仑引力的作用下, 绕原子核做圆周运动.  
 (2) 电子运行轨道的半径不是任意的, 也就是说电子的轨道是量子化的 (填“连续变化”或“量子化”).  
 (3) 电子在这些轨道上绕核的运动是稳定的, 不产生电磁辐射.

## 2. 定态

(1) 当电子在不同的轨道上运动时, 原子处于不同的状态, 具有不同的能量。电子只能在特定轨道上运动, 原子的能量只能取一系列特定的值。这些量子化的能量值叫作能级。

(2) 原子中这些具有确定能量的稳定状态, 称为定态。能量最低的状态称为基态, 其他的状态叫作激发态。

## 3. 频率条件

当电子从能量较高的定态轨道 (其能量记为  $E_n$ ) 跃迁到能量较低的定态轨道 (能量记为  $E_m, m < n$ ) 时, 会放出能量为  $h\nu$  的光子, 该光子的能量  $h\nu = E_n - E_m$ , 该式称为频率条件, 又称辐射条件。

## 4. 氢原子的能量和能级跃迁

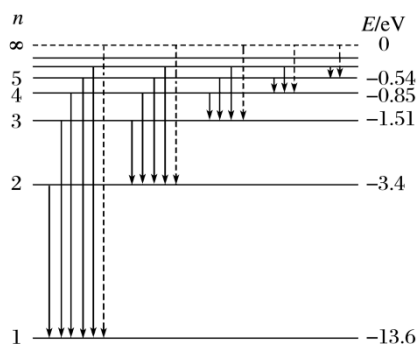
①能级和半径公式:

I、能级公式:  $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ), 其中  $E_1$  为基态能量, 其数值为

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}.$$

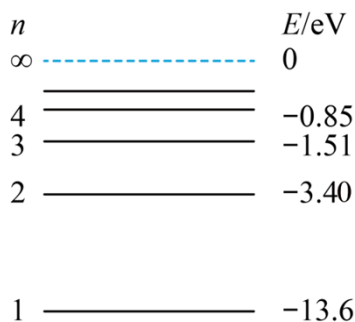
II、半径公式:  $r_n = n^2 r_1$  ( $n=1, 2, 3, \dots$ ), 其中  $r_1$  为基态轨道半径, 又称玻尔半径, 其数值为  $r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

②氢原子的能级图, 如图所示



## ★ 典例引领

**【典例 2】(2023·湖北·统考高考真题)** 2022 年 10 月, 我国自主研发的“夸父一号”太阳探测卫星成功发射。该卫星搭载的莱曼阿尔法太阳望远镜可用于探测波长为  $121.6 \text{ nm}$  的氢原子谱线 (对应的光子能量为  $10.2 \text{ eV}$ )。根据如图所示的氢原子能级图, 可知此谱线来源于太阳中氢原子 ( )

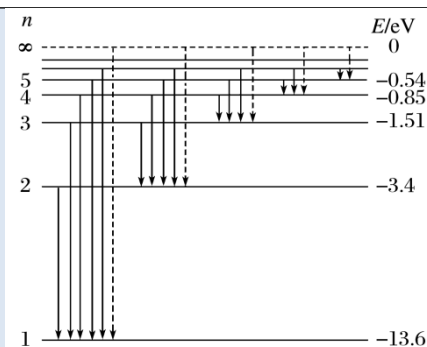


- A.  $n=2$  和  $n=1$  能级之间的跃迁      B.  $n=3$  和  $n=1$  能级之间的跃迁  
 C.  $n=3$  和  $n=2$  能级之间的跃迁      D.  $n=4$  和  $n=2$  能级之间的跃迁



**巧思妙记**

对波尔原子模型深入理解



①两类能级跃迁

I、自发跃迁: 高能级  $\rightarrow$  低能级, 释放能量, 发射光子. 光子的频率  $\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{E_{\text{高}} - E_{\text{低}}}{h}$ .

II、受激跃迁: 低能级  $\rightarrow$  高能级, 吸收能量. 吸收光子的能量必须恰好等于能级差  $h\nu = \Delta E$ .

②光谱线条数的确定方法

I、一个氢原子跃迁发出可能的光谱线条数最多为  $(n-1)$ .

II、一群氢原子跃迁发出可能的光谱线条数  $N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$ .

③电离

I、电离态:  $n=\infty, E=0$ .

II、电离能: 指原子从基态或某一激发态跃迁到电离态所需要吸收的最小能量.

III、吸收能量足够大, 克服电离能后, 获得自由的电子还具有动能.



**即时检测**

【变式 1】(2023 · 四川南充 · 统考模拟预测) 氢原子的能级图如图, 氢原子从  $n=4$  能级跃迁到  $n=1$  能级时辐射出一种光子, 这种光子照射到逸出功为  $10.75\text{eV}$  的金属上, 逸出的光电子最大初动能为 ( )



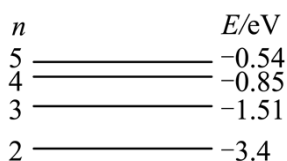
1 ————— -13.6

A. 12.75eV B. 2.00eV

C. 23.50eV

D. 10.75eV

**【变式 2】(2023·河北唐山·开滦第一中学校考一模)**如图是玻尔解释氢原子光谱画出的能级图,已知可见光光子的能量范围约为  $1.62\text{eV} \sim 3.11\text{eV}$ 。大量处于  $n=5$  能级的氢原子向低能级跃迁,发出若干频率的光子,设普朗克常量为  $h$ ,下列说法正确的是 ( )



1 ————— -13.6

A. 能产生 6 种不同频率的光子 B. 能产生 10 种不同频率的光子

C. 能产生 6 种不同频率的可见光 D. 能产生 3 种不同频率的可见光

### 考法 3 原子结构模型

#### 1. 电子的发现

(1) 对阴极射线本质的认识——两种观点

① 电磁波说,代表人物——赫兹,他认为这种射线是一种电磁辐射;

② 粒子说,代表人物——汤姆孙,他认为这种射线是一种带电粒子流;

(2) 阴极射线

① 发现:科学家在研究稀薄气体放电时发现,当玻璃管内的气体足够稀薄时,阴极发出一种射线,这种射线称为阴极射线.

② 本质:高速电子流.

(3) 电子

① 定义:组成阴极射线的粒子称为电子,是原子的组成部分

② 电子电荷的测量:电子电荷的精确测定是在 1909 ~ 1913 年间由密立根通过著名的“油滴实验”测出的.

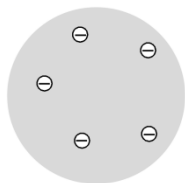
电子的电荷量  $e=1.602 \times 10^{-19}\text{C}$ ; 电子的质量  $m=9.109 \times 10^{-31}\text{kg}$ ;

质 子 质 量 与 电 子 质 量 的 比 值  $\frac{m_p}{m_e} = 1836$

③密立根更重要的发现：电是量子化的，任何带电体的电荷只能是  $e$  的整数倍；

## 2. 原子的核式结构模型

(1) 汤姆孙原子模型：汤姆孙于 1898 年提出了原子模型，他认为原子是一个球体，正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内，电子镶嵌其中，有人形象地把汤姆孙模型称为“西瓜模型”或“枣糕模型”。



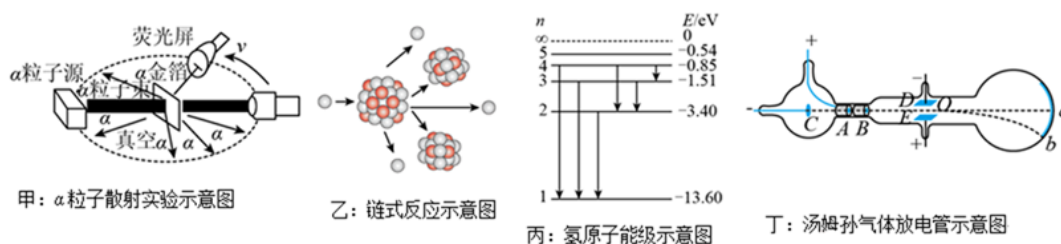
## ★ 典例引领

【典例 3】(2024·云南大理·云南省下关第一中学校联考模拟预测) 下列说法正确的是 ( )

- A. 卢瑟福的核式结构模型可以解释氢原子光谱不连续的现象
- B. 氡的半衰期为 38 天，若有 8 个氡核，则经过 76 天后还剩下 2 个氡核
- C. 铀 ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ ) 经多次  $\alpha$ 、 $\beta$  衰变形成稳定的铅 ( ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ ) 的过程中，有 8 个中子转变成质子
- D. 质子、中子、 $\alpha$  粒子的质量分别是  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ ，质子和中子结合成一个  $\alpha$  粒子，释放的能量是  $(2m_1 + 2m_2 - m_3)c^2$

## ★ 即时检测

【变式】(2023·四川成都·四川省成都列五中学校考三模) 下列四幅图涉及不同的物理知识，如图所示，其中说法正确的是 ( )



- A. 图甲，卢瑟福通过分析  $\alpha$  粒子散射实验结果，否定了汤姆孙原子枣糕式模型
- B. 图乙，用中子轰击铀核使其发生聚变，链式反应会释放出巨大的核能
- C. 图丙，一个氢原子处于第三能级，最多可以辐射出三种频率的光子
- D. 图丁，汤姆孙通过电子的发现揭示了原子核内还有复杂结构

## 考法 4 天然放射现象原子核的衰变

1. 天然放射现象：贝克勒尔发现天然放射现象；居里夫妇经过研究发现了新元素钋和镭；伦琴：X 射线
2. 放射性元素的衰变的快慢由原子内部自身因素决定的，与原子的物理状态（温度、压强）或化学状态（单质、混合物）无关，故天然放射现象说明原子核内部还有复杂结构。

### 3. 三种射线的性质

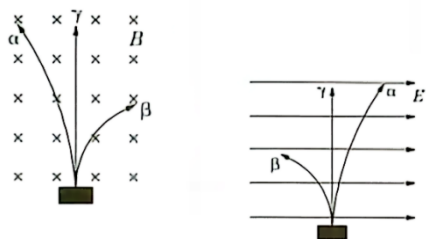
- ①  $\alpha$  射线带正电,  $\alpha$  粒子就是高速(0.1c)的氦原子核, 贯穿本领很小, 电离作用很强;
- ②  $\beta$  射线带负电, 是高速(0.99c)电子流, 贯穿本领很强(几毫米的铝板), 电离作用较弱;
- ③  $\gamma$  射线中电中性的, 是波长极短的电磁波, 贯穿本领最强(几厘米的铅板), 电离作用很小

### 4. 两种衰变 ( $\gamma$ 射线是伴随 $\alpha$ 射线或 $\beta$ 射线产生的, 没有单独的 $\gamma$ 衰变)

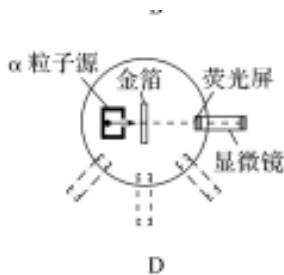
$\alpha$  衰变: 本质:  $2\text{}^1_0\text{n} + 2\text{}^1_1\text{H} \rightarrow \text{}^4_2\text{He}$ , 例:  $\text{}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow \text{}^{234}_{90}\text{Th} + \text{}^4_2\text{He}$

$\beta$  衰变: 核内的中子转化成了一个质子和一个电子, 电子放射到核外, 质子留在核中。

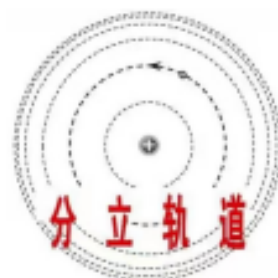
本质:  $\text{}^1_0\text{n} \rightarrow \text{}^1_1\text{H} + \text{}^0_{-1}\text{e}$ , 例如:  $\text{}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow \text{}^{234}_{91}\text{Pa} + \text{}^0_{-1}\text{e}$



三种射线在磁场, 电场中的运动轨迹

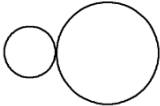
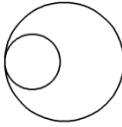


$\alpha$  粒子散射实验



波尔量子轨道模型

$\alpha$  衰变和  $\beta$  衰变(有时结合动量守恒、磁场考大题)

衰变类型	$\alpha$ 衰变	$\beta$ 衰变
衰变过程	$X \rightarrow Y + \text{He}$	$X \rightarrow Y + \text{e}^-$
衰变实质	2 个质子和 2 个中子结合成一个整体射出	1 个中子转化为 1 个质子和 1 个电子
匀强磁场中轨迹形状	(静止电荷衰变, 两个正电荷, 外切圆)  静止的核衰变: $0 = m_1v_1 + m_2v_2$	(静止电荷衰变, 一正一负, 内接圆)  匀速圆周运动: $r = \frac{mv}{qB} = \frac{P_{\text{动量}}}{qB}$ (动量相同, q 大 r 小)

5、半衰期: 放射性元素的原子核有**半数**发生衰变需要的时间. 放射性元素衰变的快慢是由核内部本身的因决定, 与原子所处的物理状态或化学状态无关, 它是对**大量原子**的统计规律。  $m_{\text{余}} = m_{\text{原}} (\quad)$

## ★ 典例引领

### 角度 1: 对 3 种射线特点和性质的理解

【典例 4】(2023·广东·统考高考真题) 理论认为, 大质量恒星塌缩成黑洞的过程, 受核反应

$\text{}^{12}_6\text{C} + \text{Y} \rightarrow \text{}^{16}_8\text{O}$  的影响. 下列说法正确的是 ( )

- A. Y 是  $\beta$  粒子,  $\beta$  射线穿透能力比  $\gamma$  射线强  
 B. Y 是  $\beta$  粒子,  $\beta$  射线电离能力比  $\gamma$  射线强  
 C. Y 是  $\alpha$  粒子,  $\alpha$  射线穿透能力比  $\gamma$  射线强  
 D. Y 是  $\alpha$  粒子,  $\alpha$  射线电离能力比  $\gamma$  射线强

### 角度 2: 半衰期的理解和计算

**【典例 5】(2022·全国·统考高考真题)** 两种放射性元素的半衰期分别为  $t_0$  和  $2t_0$ , 在  $t=0$  时刻这两种元素的原子核总数为  $N$ , 在  $t=2t_0$  时刻, 尚未衰变的原子核总数为  $\frac{N}{3}$ , 则在  $t=4t_0$  时刻, 尚未衰变的原子核总数为( )

- A.  $\frac{N}{12}$       B.  $\frac{N}{9}$       C.  $\frac{N}{8}$       D.  $\frac{N}{6}$

### 即时检测

**【变式 1】(2023·河北·模拟预测)** “玉兔二号”月球车携带的放射性同位素钚 238 ( ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ ) 会不断衰变, 释放能量可以在月球超低温环境下为仪器设备供热。  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$  可以通过以下反应过程得到:

${}^{238}_{92}\text{Pu} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{238}_{93}\text{Np} + 2{}_0^1\text{n}$ ,  ${}^{238}_{93}\text{Np} \rightarrow \text{X} + {}^{238}_{94}\text{Pu}$ . 已知  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$  的衰变方程为  ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + \text{Y}$ , 其半衰期为 88 年。下列说法正确的是( )

- A.  ${}^{238}_{92}\text{Pu} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{238}_{93}\text{Np} + 2{}_0^1\text{n}$  反应前后总质量保持不变  
 B. X 的穿透能力比 Y 强  
 C.  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$  核子的平均质量比  ${}^{234}_{92}\text{U}$  的核子平均质量小  
 D. 随时间延续,  ${}^{238}_{94}\text{Pu}$  的半衰期逐渐减小

**【变式 2】(2024·福建漳州·统考模拟预测)** 1957 年, 吴健雄领导的小组在研究钴 60 的衰变中证实了宇称不守恒的论断. 钴 60 能自发地进行  $\beta$  衰变, 半衰期为 5.27 年, 衰变方程为  ${}^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^A_Z\text{Ni} + {}^0_{-1}\text{e}$ . 则  $A = Z =$  。质量为  $m$  的钴 60, 经过 10.54 年, 还剩  $m_0$ 。

## 考法 5 核反应类型及核反应方程

### 1. 核反应方程

类型		可控性	核反应方程典例
衰变	$\alpha$ 衰变	自发	$\text{U} \rightarrow \text{Th} + \text{He}$
	$\beta$ 衰变	自发	$\text{Th} \rightarrow \text{Pa} + \text{e}$
人工转变		人工控制	$\text{N} + \text{He} \rightarrow \text{O} + \text{H}$ (卢瑟福发现质子) $\text{He} + \text{Be} \rightarrow \text{C} + \text{n}$ (查德威克发现中子)

		${}^{27}_{13}\text{Al} + \text{He} \rightarrow \text{P} + \text{n}$ $\text{P} \rightarrow \text{Si} + \text{e}$	约里奥-居里夫妇发现放射性同位素, 同时发现正电子
重核裂变	容易控制	$\text{U} + \text{n} \rightarrow \text{Ba} + \text{Kr} + 3\text{n}$ $\text{U} + \text{n} \rightarrow \text{Xe} + \text{Sr} + 10\text{n}$	
轻核聚变	现阶段很难控制	$\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{He} + \text{n}$	

## ★ 典例引领

### 角度 1: 核反应的书写

【典例 5】(2023·北京·统考高考真题) 下列核反应方程中括号内的粒子为中子的是 ( )

A.  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + ( )$  B.  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + ( )$

C.  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + ( )$  D.  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + ( )$

### 角度 2: 核反应方程的识别

【典例 6】(2022·海南·高考真题) 下列属于  $\beta$  衰变的是 ( )

A.  ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$  B.  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$

C.  ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e}$  D.  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$



### 巧思妙记

#### 核反应方程式的书写

(1) 熟记常见基本粒子的符号, 是正确书写核反应方程的基础. 如质子 ( $\text{H}$ )、中子 ( $\text{n}$ )、 $\alpha$  粒子 ( $\text{He}$ )、 $\beta$  粒子 ( $\text{e}$ )、正电子 ( ${}^0_{+1}\text{e}$ )、氦核 ( $\text{He}$ )、氘核 ( $\text{H}$ ) 等.

(2) 掌握核反应方程遵守的规律, 是正确书写核反应方程或判断某个核反应方程是否正确的依据, 由于核反应不可逆, 所以书写核反应方程式时只能用 “ $\rightarrow$ ” 表示反应方向.

## ★ 即时检测

【变式 1】(2023·湖南长沙·长沙一中校考二模) 1919 年, 卢瑟福用  $\alpha$  粒子轰击氮原子核 ( ${}^{14}_7\text{N}$ ) 发现了质子, 首次实现了原子核的人工转变. 已知核反应释放的能量全部转化成了  ${}^{17}_8\text{O}$  和质子的动能,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$ ,  $\alpha$  粒子, 质子的质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、 $m_4$ , 真空中的光速为  $c$ , 则 ( )

A. 发现质子的核反应方程是  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$

B. 释放的核能等于  ${}^{17}_8\text{O}$  和质子的总动能

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/918046064134007050>