# 第五章 复习与提高

A 组共 5 道习题。第 1 题的现象反映了原子核具有放射性，考查原子核的衰变反应。第 2 题要求能区分核反应的 4 种基本类型。第 3 题考查核反应方程以及在核反应中对结合能与比结合能概念的理解。第 4、5 题考查 α 衰变以及在衰变中的半衰期和释放的核能等基本知识点。

B 组共 5 道习题。第 1 题综合了 α 衰变和 β 衰变，知道在核反应中质量数和电荷数守恒。第 2 题是关于半衰期知识点的实际应用。第 3 题要求计算两个氘核结合成一个氦核时释放的核能，既考查了核能的计算，又能从结果中看到核聚变所释放的能量很大。第 4 题考查核反应方程、动量守恒定律和质能关系的综合应用。第 5 题以核电站为情境，考查核裂变的能量计算，通过计算，可以让学生体会核反应所消耗的物质少、释放的能量大的特点。

## A 组

1．把铀矿石放在一只玻璃管内，过几天在管内发现了氦气。怎样解释这一现象？

**【参考解答】**1．这一现象说明铀元素具有放射性。铀原子核可以自发地进行 α 衰变和 β 衰变。1 次 α 衰变和 4 次β衰变就形成氦原子。氦气是单原子分子，由氦原子构成。

2．目前，我们学习过的核反应有 4 种类型：衰变、核裂变、核聚变和人工核转变。请在下列方程后的括号内填写正确的类型。

2411Na → 2412Mg＋0−1e （ ）

23592U ＋ 10n → 14054Xe＋ 9438Sr ＋ 210n （ ）

199F ＋ 42He → 2210Ne ＋ 11H （ ）

21H ＋ 31H → 42He ＋ 10n （ ）

**【参考解答】**2．衰变；核裂变；人工核转变；核聚变

3．一个 α 粒子融合到一个 168O 核中，写出这个核反应的方程式。这个反应式左右两边的原子核相比，哪边的结合能较多？

**【参考解答】**3．42He + 168O → 2010Ne；左边

提示：从比结合能曲线看，反应后比结合能增加，反应中要释放能量，说明反应式左边的原子核具有较多的能量。

4．在火星上太阳能电池板发电能力有限，因此科学家用放射性材料——PuO2 作为发电能源为火星车供电。PuO2 中的 Pu 元素是 23894Pu。

（1）写出 23894Pu 发生 α 衰变的衰变方程。

（2）23894Pu 的半衰期是 87.7 年，大约要经过多少年会有 87.5% 的原子核发生衰变？

**【参考解答】**（1）23894Pu → 23492U + 42He （2）263.1 年

提示：由题意知经过时间 t 后，剩余的原子核是原来的 12.5%。根据半衰期定义，有 *m* = *m*0= 0.125*m*0，可得 = 3，故 *t* = 263.1 年。

5．已知22688Ra、22286Rn 、42He的相对原子质量分别是226.025 4、222.017 5、4.002 6。求22688Ra 在α衰变过程中放出的能量（以电子伏特为单位）。

**【参考解答】**4.934 3×106 eV

提示：衰变后，质量亏损 Δ*m* =（226.025 4 – 222.017 5 – 4.002 6）u = 0.005 3 u。1 u 相当于 931 MeV，因此，释放的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.0053×931 MeV = 4.9343×106 eV。

## B 组

1．钍 232 经过 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变后变成一种稳定的元素。这种元素是\_\_\_\_\_，它的质量数是\_\_\_\_\_，原子序数是\_\_\_\_\_。

**【参考解答】**1．铅（Pb）；208；82

2．某放射性元素经过 6 d 后，只剩下 没有衰变，它的半衰期是多少天？为估算某水库的库容，可取一瓶无毒的该放射性元素的水溶液，测得瓶内溶液每分钟衰变 8×107 次。现将这瓶溶液倒入水库，8 d 后在水库中取水样 1.0 m3（可认为溶液已均匀分布），测得水样每分钟衰变 20 次。请估算水库中水的体积。

**【参考解答】**3 d；2.5×105 m3

提示：先计算放射性物质的半衰期，由题意知经过 *t* = 6 d 后，剩余的放射性物质有 *m* = *m*0= *m*0，故半衰期 *T* = 2 d。8 d 后余下的放射性物质是原来的 ，所以水库中每分钟衰变次数也是原来 ，即 *N* = ×8×107 次 = 5×106 次。又由于在水库中测得每分钟衰变 *n* = 20 次/m3，所以水库中水的体积 *V* = = m3 = 2.5×105 m3。

3．两个氘核结合成一个氦核，已知氘核质量为 2.014 1 u，氦核质量为 4.002 6 u。求出 1 kg 氘完全结合成氦时可以释放出的能量。阿伏加德罗常数 *N*A 为 6.0×1023 mol−1，氘核的摩尔质量为 2 g/mol，1 u 相当于 931.5 MeV 的能量。

**【参考解答】**3.576 96×1027 MeV

提示：两个氘核结合成一个氦核，质量亏损 Δ*m* = 2*m*氚 − *m*氦 =（2×2.014 1 – 4.0026）u = 0.025 6 u，放出的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.025 6×931.5 MeV = 23.846 4 MeV。

设 1 kg 氘有 *N* 个氘原子核，则 *N* = *N*A = ×6.0×1023 mol−1 = 3×1026。每 2 个氘原子核能释放核能 Δ*E*，故 1 kg 氘能释放的能量 Δ*E*总 = ×Δ*E* = ×1026×23.846 4 MeV = 3.576 96×1027 MeV。

4．钚的放射性同位素 23994Pu 静止时衰变为铀核激发态 23592U\* 和 α 粒子，而铀核激发态 23592U\* 立即衰变为铀核 23592U，并放出能量为 0.097 MeV 的 γ 光子。已知 23994Pu 的质量 *m*Pu 为 239.052 1 u、23592U 的质量 *m*U 为 235.043 9 u 和 α 粒子的质量 *m*α 为 4.002 6 u，且 1 u 相当于 931.5 MeV 的能量。

（1）写出衰变方程。

（2）已知衰变放出的光子的动量可忽略，求 α 粒子的动能。

**【参考解答】**（1）23994Pu → 23592U + 42He + γ （2）5.035 MeV

提示：（1）衰变方程为 23994Pu → 23592U\* + 42He，23592U\* → 23592U + γ，合起来有

23994Pu → 23592U + 42He + γ

（2）上述衰变过程发生的质量亏损 Δ*m* = *m*Pu – *m*U − *m*α，放出的能量 Δ*E* = Δ*mc*2。这能量是铀核 23592U 的动能 *E*U、α 粒子的动能 *E*α 和 γ 光子的能量 *E*γ 之和，即 Δ*E* = *E*U + *E*α + *E*γ。由此得到 *E*U + *E*α =（*m*Pu – *m*U − *m*α）*c*2 − *E*γ。

设衰变后的铀核 23592U 和 α 粒子的速度分别为 *v*U 和 *v*α，则由动量守恒定律有 *m*U*v*U = *m*α*v*α。又由动能的定义知可得 *E*U = *m*U*v*U2，*E*U = *m*α*v*α2，可得 = 。因此，*E*α = [(*m*Pu – *m*U − *m*α）*c*2 − *E*γ]。代入数据，解得 *E*α = 5.035 MeV。

5．核电站利用核反应堆工作时释放出的热能使水汽化以推动汽轮发电机发电。请解答以下问题，计算结果保留两位有效数字。

（1）核反应堆中的“燃料”是 23592U，请完成核反应方程式：

23592U ＋ 10n → 90（）Sr ＋ （）54Xe ＋ 1010n

（2）铀核的质量 *m*U 为 235.043 9 u，中子的质量*m*n 为 1.008 7 u，锶（Sr）核的质量 *m*Sr 为 89.907 7 u，氙（Xe）核的质量 *m*Xe 为 135.907 2 u，1 u 为 1.66×10−27 kg，浓缩铀中铀 235 的含量占 2 %。求一座 100 万千瓦的核电站每年（*t* = 3.15×107 s）大约需要多少吨浓缩铀？

**【参考解答】**（1）38；136 （2）27 t

提示：一个铀 235 原子核发生核裂变反应时，质量亏损 Δ*m* = *m*U + *m*n – *m*Sr – *m*Xe − 10*m*n = 0.150 7 u，释放的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.150 7×1.66×10−27×9×1016 J = 2.25×10−11 J。

一座 100 万千瓦的核电站一年的发电量 *E*总 = *Pt* = 1×109×3.15×107 J = 3.15×1016 J。所以一年所需要的铀 235 原子核的个数为 *N* = = 1.4×1027，相当于需要浓缩铀的质量 *m* = = kg = 27 t。

# “复习与提高”参考答案与提示

A 组共 5 道习题。第 1 题的现象反映了原子核具有放射性，考查原子核的衰变反应。第 2 题要求能区分核反应的 4 种基本类型。第 3 题考查核反应方程以及在核反应中对结合能与比结合能概念的理解。第 4、5 题考查 α 衰变以及在衰变中的半衰期和释放的核能等基本知识点。

B 组共 5 道习题。第 1 题综合了 α 衰变和 β 衰变，知道在核反应中质量数和电荷数守恒。第 2 题是关于半衰期知识点的实际应用。第 3 题要求计算两个氘核结合成一个氦核时释放的核能，既考查了核能的计算，又能从结果中看到核聚变所释放的能量很大。第 4 题考查核反应方程、动量守恒定律和质能关系的综合应用。第 5 题以核电站为情境，考查核裂变的能量计算，通过计算，可以让学生体会核反应所消耗的物质少、释放的能量大的特点。

## A 组

1．这一现象说明铀元素具有放射性。铀原子核可以自发地进行 α 衰变和 β 衰变。1 次 α 衰变和 4 次β衰变就形成氦原子。氦气是单原子分子，由氦原子构成。

2．衰变；核裂变；人工核转变；核聚变

3．42He + 168O → 2010Ne；左边

提示：从比结合能曲线看，反应后比结合能增加，反应中要释放能量，说明反应式左边的原子核具有较多的能量。

4．（1）23894Pu → 23492U + 42He （2）263.1 年

提示：由题意知经过时间 *t* 后，剩余的原子核是原来的 12.5%。根据半衰期定义，有 *m* = *m*0= 0.125*m*0，可得 = 3，故 *t* = 263.1 年。

5．4.934 3×106 eV

提示：衰变后，质量亏损 Δ*m* =（226.025 4 – 222.017 5 – 4.002 6）u = 0.005 3 u。1 u 相当于 931 MeV，因此，释放的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.0053×931 MeV = 4.9343×106 eV。

## B 组

1．铅（Pb）；208；82

2．3 d；2.5×105 m3

提示：先计算放射性物质的半衰期，由题意知经过 *t* = 6 d 后，剩余的放射性物质有 *m* = *m*0= *m*0，故半衰期 *T* = 2 d。8 d 后余下的放射性物质是原来的 ，所以水库中每分钟衰变次数也是原来 ，即 *N* = ×8×107 次 = 5×106 次。又由于在水库中测得每分钟衰变 *n* = 20 次/m3，所以水库中水的体积 *V* = = m3 = 2.5×105 m3。

3．3.576 96×1027 MeV

提示：两个氘核结合成一个氦核，质量亏损 Δ*m* = 2*m*氚 − *m*氦 =（2×2.014 1 – 4.0026）u = 0.025 6 u，放出的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.025 6×931.5 MeV = 23.846 4 MeV。

设 1 kg 氘有 *N* 个氘原子核，则 *N* = *N*A = ×6.0×1023 mol−1 = 3×1026。每 2 个氘原子核能释放核能 Δ*E*，故 1 kg 氘能释放的能量 Δ*E*总 = ×Δ*E* = ×1026×23.846 4 MeV = 3.576 96×1027 MeV。

4．（1）23994Pu → 23592U + 42He + γ （2）5.035 MeV

提示：（1）衰变方程为 23994Pu → 23592U\* + 42He，23592U\* → 23592U + γ，合起来有

23994Pu → 23592U + 42He + γ

（2）上述衰变过程发生的质量亏损 Δ*m* = *m*Pu – *m*U − *m*α，放出的能量 Δ*E* = Δ*mc*2。这能量是铀核 23592U 的动能 *E*U、α 粒子的动能 *E*α 和 γ 光子的能量 *E*γ 之和，即 Δ*E* = *E*U + *E*α + *E*γ。由此得到 *E*U + *E*α =（*m*Pu – *m*U − *m*α）*c*2 − *E*γ。

设衰变后的铀核 23592U 和 α 粒子的速度分别为 *v*U 和 *v*α，则由动量守恒定律有 *m*U*v*U = *m*α*v*α。又由动能的定义知可得 *E*U = *m*U*v*U2，*E*U = *m*α*v*α2，可得 = 。因此，*E*α = [(*m*Pu – *m*U − *m*α）*c*2 − *E*γ]。代入数据，解得 *E*α = 5.035 MeV。

5．（1）38；136 （2）27 t

提示：一个铀 235 原子核发生核裂变反应时，质量亏损 Δ*m* = *m*U + *m*n – *m*Sr – *m*Xe − 10*m*n = 0.150 7 u，释放的能量 Δ*E* = Δ*mc*2 = 0.150 7×1.66×10−27×9×1016 J = 2.25×10−11 J。

一座 100 万千瓦的核电站一年的发电量 *E*总 = *Pt* = 1×109×3.15×107 J = 3.15×1016 J。所以一年所需要的铀 235 原子核的个数为 *N* = = 1.4×1027，相当于需要浓缩铀的质量 *m* = = kg = 27 t。