第 56 讲　原子和原子核

——划重点之精细讲义系列

考点导航

考点 1	α 粒子散射实验
考点 2	原子核与原子核的衰变
考点 3	衰变粒子在磁场中的运动轨迹
考点 4	核力与核能计算
考点 5	核裂变与核聚变

基础知识勤牢记

一．原子结构

1.汤姆孙原子模型

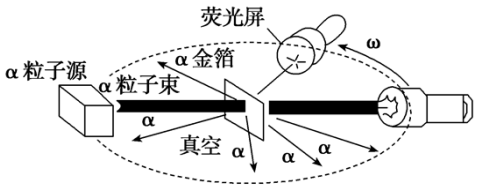
1898 年，**J.J.汤姆孙提出**了一种原子模型.他认为，原子是一个球体，正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内，电子镶嵌其中.有人形象地把 J.J.汤姆孙的这个模型称为**“西瓜模型”或“枣糕模型”**.

2．原子的核式结构

(1)1909～1911 年，英国物理学家**卢瑟福**进行了 **α 粒子散射实验，提出了原子的核式结构模型**.

(2)α 粒子散射实验

①实验装置：如下图所示；②实验结果：**α 粒子穿过金箔后，绝大多数沿原方向前进，少数发生较大角度偏转，极少数偏转角度大于 90°，甚至被弹回**.



(3)核式结构模型：原子中心有一个很小的核，叫做原子核，原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核里，带负电的电子在核外空间绕核旋转.

（4）1932 年，**查德威克**通过实验验证了卢瑟福的猜想，并证实了原子核中确实存在着不带电、质量几乎与质子相同的**中子，用 n 表示**.

二．原子核

1．原子核的组成

(1)原子核由质子和中子组成，两者统称为核子．

(2)原子核常用 ${}_{Z}^{A}X$ 表示，X 为元素符号，上角标 A 表示核的质量数，下角标 Z 表示核的电荷数(原子序数)．

(3)同位素是具有相同的质子数而中子数不同的原子核，在元素周期表中处于同一位置．

2．天然放射现象

(1)天然放射现象：某些元素自发放射某些射线的现象称为天然放射现象，这些元素称为放射性元素．

(2)三种射线的本质：α 射线是氦核，β 射线是电子，γ 射线是光子．

3．原子核的衰变

(1)衰变：原子核自发地放出某种粒子而转变成新核的变化．可分为 α 衰变、β 衰变，并伴随着 γ 射线放出．

(2)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．

4．放射性同位素的应用

(1)利用射线：放射性同位素放出的射线应用于工业、探伤、农业、医疗等．

(2)作示踪原子．

5．核反应、核力与核能

(1)核反应规律：在核反应中，质量数守恒，电荷数守恒．

(2)核力

①概念：组成原子核的核子之间存在的作用力．

②核力特点

a．**核力是强相互作用(强力)的一种表现，在它的作用范围内，核力比库仑力大得多**．

b．**核力是短程力，作用范围在 1.5×10^{-15} m 之内**．

c．**每个核子只跟相邻的核子发生核力作用，这种性质称为核力的饱和性**．

(3)质量亏损

①爱因斯坦质能方程：$E=mc^2$．

②质量亏损：原子核的质量小于组成它的核子的质量之和的现象．

(4)结合能：克服核力束缚，使原子核分解为单个核子时需要的能量，或若干个核子在核力作用下结合成原子核时需要的能量．

6．核裂变和核聚变

(1)重核裂变

①定义：使重核分裂成几个质量较小的原子核的核反应．

②铀核裂变：用中子轰击铀核时，铀核发生裂变，一种典型的反应是生成钡和氪，同时放出三个中子，核反应方程为：${}_{92}^{235}U+{}_{0}^{1}n\rightarrow{}_{56}^{144}Ba+{}_{36}^{89}Kr+3{}_{0}^{1}n$．

③链式反应：由重核裂变产生中子使裂变反应一代接一代继续下去的过程叫做核裂变的链式反

应.

④链式反应的条件：a.要有足够浓度的 $_{92}^{235}U$；b.铀块体积需大于临界体积，或铀块质量大于临界质量.

(2)轻核聚变

①定义：两个轻核结合成较重的核，这样的核反应叫聚变.

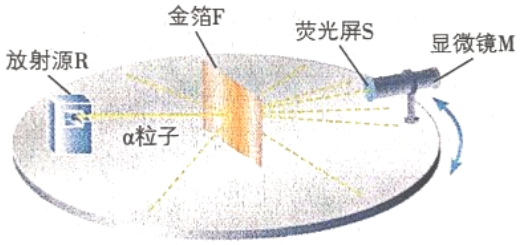
②聚变发生的条件：使物体达到几百万度的高温.



考点 1：α 粒子散射实验

（1）α 粒子散射实验

①实验装置：α 粒子源 R、金箔 F、显微镜 M 和荧光屏 S, 如图所示.



②实验过程

a.α 粒子源 R 是被铅块包围的，它发射的 α 粒子经过一条细通道，形成很细的一束射线，射到荧光屏上产生微弱的闪光，通过显微镜可以观察到.

b.放上金箔，观察 α 粒子穿过金箔打到荧光屏上发出的闪光.

c.转动显微镜和荧光屏，在不同角度观察，可以看到 α 粒子的散射现象.

③实验现象

a.绝大多数的 α 粒子穿过金箔后基本上仍沿原来的方向前进.(原子内部绝大部分是“空”的)

b.少数 α 粒子（约占 $\frac{1}{8000}$）发生了大角度的偏转.(原子内部有“核”存在)

c.极少数 α 粒子的偏转角大于 90°,也就是说它们几乎被反弹回来.(作用力很大，质量很大，电荷量集中)

④实验的注意事项

a.整个实验过程在真空中进行.

b.金箔需要做得很薄，α 粒子才能穿过.

c.使用金箔的原因是金的延展性好，可以做得很薄，另外一点就是金的原子序数大，α 粒子与金原子核间的库仑斥力大，偏转明显，而金原子核不会发生明显运动.

(2)对 α 粒子散射实验的解释

①当 α 粒子穿过原子时，如果离正电体较远，受到的正电体斥力很小，α 粒子的运动方向几乎不改变，所以绝大多数 α 粒子不发生偏转。

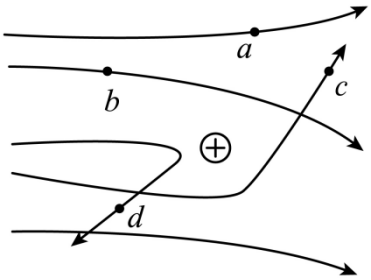
②当 α 粒子接近原子核时，电子对它的影响可忽略，极少数 α 粒子在穿过原子时距离正电体很近，因此受到很强的库仑斥力，发生大角度散射，J.J.汤姆孙的模型无法解释这一实验结果.

（3）J.J.汤姆孙原子模型与卢瑟福原子模型的比较

项目		J.J.汤姆孙原子模型	卢瑟福原子模塑
特点		原子是充满了正电荷的球体、电子均匀镶嵌在原子球体内	原子内部是非常空旷的、正电荷集中在一个很小的核里、电子绕核高速旋转
α 粒子散射实验	受力	α 粒子在原子内部时，受到的库仑斥力相互抵消，几乎为零	少数靠近原子核的 α 粒子受到的库仑力大，而大多数离核较远的 α 粒子受到的库仑力较小
	偏转	不会发生大角度偏转，更不会被弹回	绝大多数 α 粒子运动方向不变，少数 α 粒子发生大角度偏转，极少数 α 粒子偏转角度超过 90°,有的甚至被弹回
	分析	不符合 α 粒子散射现象	符合 α 粒子散射现象



【考向 1】1909 年，英国物理学家卢瑟福和他的助手盖革、马斯登一起进行了著名的“α 粒子散射实验”。如图所示，某同学描绘了几个 α 粒子穿过金箔前后的可能轨迹，下列叙述正确的是（　　）



A．卢瑟福早于贝克勒尔发现了 α 射线

B．通过卢瑟福的“α 粒子散射实验”可以估算出原子核半径的数量级

C．轨迹 d 的大角度偏转不可能出现

D．轨迹 b、c 的大角度偏转可能出现

【答案】B

【详解】A．贝克勒尔发现了天然放射现象，人们意识到原子核可以再分，后来卢瑟福发现放射性物质，放射出的射线并不单一，发现了 α 射线，A 错误；

B．卢瑟福通过“α 粒子散射实验”发现，大部分 α 粒子可以穿过金箔，约有$\frac{1}{8000}$的α粒子发生了大角度偏转，原子核的截面积约为原子截面积$\frac{1}{8000}$，在知道了原子的大小的数量级的情况下，从而得出

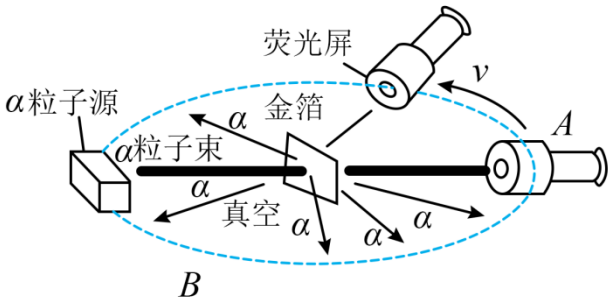
原子核很小，其半径的数量级为10^{-15}m，B 正确；

C．轨迹 d 的大角度偏转恰好是 α 粒子与原子核相碰，是可能出现的，C 错误；

D．α 粒子与原子核带同种电荷，不可能出现轨迹 b、c 的偏转情况，D 错误。

故选 B。

【考向 2】如图所示是卢瑟福α粒子散射实验的实验装置图，以下说法正确的是（　　）



A．α粒子是电子

B．图中仅在 A 点可以观察到α粒子

C．α粒子发生大角度偏转主要是由于α粒子与金箔中电子的相互作用引起的

D．绝大多数α粒子穿过金箔后基本上仍沿原来方向前进，说明原子内部绝大部分是空的

【答案】D

【详解】A．α粒子是氦核，A 错误；

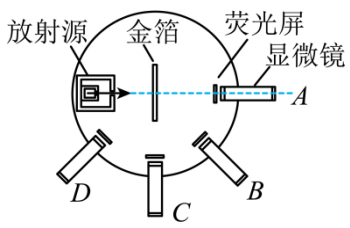
B．绝大部分α粒子会通过金属箔到达 A 点，但有少部分α粒子发生偏转，故其它位置也可以观察到α粒子，B 错误；

C．α粒子发生大角度偏转主要是由于α粒子与金箔中的原子核相互作用引起的，C 错误；

D．由于原子内部绝大部分是空的，则绝大多数α粒子与原子核的作用力很小，穿过金箔后基本上仍沿原来方向前进，D 正确。

故选 D。

【考向 3】（多选）如图为卢瑟福所做的 α 粒子散射实验装置的示意图，荧光屏和显微镜一起分别放在图中的 A、B、C、D 四个位置时，下述说法中正确的是（　　）



A．相同时间内在 A 时观察到屏上的闪光次数最多

B．放在 C、D 位置时屏上观察不闪光

C．该实验说明原子中正电荷是均匀分布的

D．只有少数 α 粒子发生大角度散射的原因是原子的全部正电荷和几乎全部质量集中在一个很小的核上

【答案】AD

【详解】AB．该实验的实验现象是绝大多数 α 粒子穿过金箔后，基本上仍沿原来的方向前进，即相同时间内在 *A* 时观察到屏上的闪光次数最多，但有少数 α 粒子发生大角度偏转，极少数偏转的角度甚至大于90°，即放在 *C* 位置时屏上观察到少数闪光，放在 *D* 位置屏上观察到极少数闪光，故 A 正确，B 错误；

CD．由上述实验说明了：原子中正电荷并不是均匀分布的，占原子质量绝大部分的带正电的物质集中在很小的空间范围，故 C 错误，D 正确。

故选 AD。



考点 2：原子核与原子核的衰变

1.三种射线的本质及特点

种类	α 射线	β 射线	γ 射线
本质	高速氦核流(粒子流)	高速电子流(粒子流)	高频电磁波(光子流)
带电情况	2*e*	-*e*	不带电
真空中的传播速度	约 0.1*c*	约 0.99*c*	*c*
对空气的电离作用	很强	较弱	很弱(几乎不电离)
穿透本领	一张纸就可以挡住，最弱	能穿透几毫米厚的铝板，较强	能穿透几厘米厚的铅板和几十厘米厚的混凝土，最强
在电场或磁场中的运动	偏转	偏转且与 α 射线偏转方向相反	不偏转
能量	很高	很高	波长很短的光子，能量很高
来源	原子核内两个质子和两个中子	原子核内中子变成质子放出的电子	伴随着 α 衰变或 β 衰变(原子核受激发)而产生

2．衰变规律及实质

(1)两种衰变的比较

衰变类型	α 衰变	β 衰变
衰变方程	${}_{Z}^{A}\mathrm{X}\rightarrow{}_{Z-2}^{A-4}\mathrm{Y}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}$	${}_{Z}^{A}\mathrm{X}\rightarrow{}_{Z+1}^{A}\mathrm{Y}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$
衰变实质	2 个质子和 2 个中子结合成一个整体射出	中子转化为质子和电子
	$2{}_{1}^{1}\mathrm{H}+2{}_{0}^{1}\mathrm{n}\rightarrow{}_{2}^{4}\mathrm{He}$	${}_{0}^{1}\mathrm{n}\rightarrow{}_{1}^{1}\mathrm{H}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$
衰变规律	质量数守恒（不是质量守恒）、电荷数守恒	

新核的变化	核子数减少 4	核子数不变
	质子减少 2 个，中子减少 2 个	质子增加 1 个，中子减少 1 个
	元素周期表中位置前移 2 位	元素周期表中位置后移 1 位
衰变次数的计算	观察 α、β 衰变，我们不难发现质量数的减少是由于 α 衰变造成的，所以我们在计算时先计算 α 衰变的次数，后计算 β 衰变的次数以 ${}_{Z_1}^{A_1}\mathrm{X}\rightarrow{}_{Z_2}^{A_2}\mathrm{Y}+m{}_2^4\mathrm{He}+n{}_{-1}^0\mathrm{e}$ 为例，算法如下： **第一步计算 α 衰变的次数 $m=\frac{1}{4}(A_1-A_2)$** **第二步计算 β 衰变的次数 $n=Z_2-Z_1+2m=2m-(Z_1-Z_2)$**	



①β 衰变放出的电子是原子核内中子转化成质子而放出的，来源于原子核内部，而不是核外的电子.

②γ 射线：γ 射线经常是伴随着 α 衰变或 β 衰变同时产生的．其实质是放射性原子核在发生 α 衰变或 β 衰变的过程中，产生的新核由于具有过多的能量(核处于激发态)而辐射出光子.



3．原子核的人工转变

（1）核反应：原子核在其他粒子的轰击下产生新原子核或者发生状态变化的过程，称为核反应.

（2）核反应的条件：用 α 粒子、质子、中子和 γ 光子等其他粒子轰击原子核使原子核发生转变.

（3）遵循的原则：在核反应中，质量数守恒，电荷数守恒.

（4）核反应的实质：用粒子轰击原子核并不是粒子与核碰撞将原子核打开，而是将粒子打入原子核内部使核发生了转变.

（5）卢瑟福发现质子的核反应方程为：${}_7^{14}\mathrm{N}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_8^{17}\mathrm{O}+{}_1^1\mathrm{H}$

卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核是人类第一次实现的原子核的人工转变。

（6）查德威克发现中子的核反应方程为：${}_4^9\mathrm{Be}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_6^{12}\mathrm{C}+{}_0^1\mathrm{n}$

中子不带电，用它轰击原子核，不受库仑力的影响，人们用中子轰击各种原子核，获得许许多多人工放射性同位素，用它轰击铀核，实现了原子能的利用。

(3)居里夫妇发现放射性同位素和正电子的核反应方程为：${}_{13}^{27}\mathrm{Al}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_{15}^{30}\mathrm{P}+{}_0^1\mathrm{n}$

这是人类第一次用人工方法获得放射性同位素，${}_{15}^{30}\mathrm{P}$ 是磷的放射性同位素，可以像天然放射性元素一样发生衰变，${}_{15}^{30}\mathrm{P}\rightarrow{}_{14}^{30}\mathrm{Si}+{}_1^0\mathrm{e}$.



人工转变核反应与衰变异同

(1)不同点：**原子核的人工转变，是一种核反应，是其他粒子与原子核相碰撞的结果，需要一定的装置和条件才能发生，而衰变是原子核的自发变化，它不受物理、化学条件的影响**。

(2)相同点：**人工转变与衰变过程一样，在发生过程中质量数与电荷数都守恒，反应前后粒子总动量守恒.**



4．半衰期

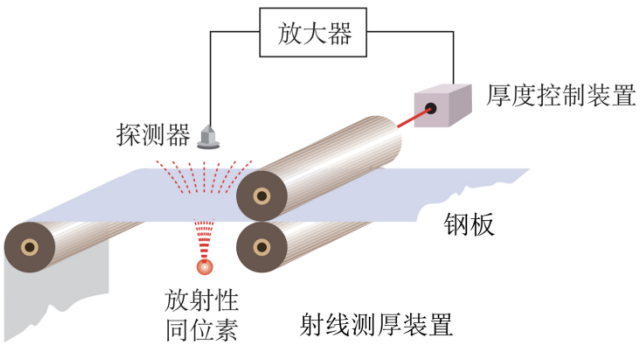
（1）公式：$N_{余}=N_{原}\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$，$m_{余}=m_{原}\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

（2）影响因素：**放射性元素衰变的快慢是由原子核内部自身因素决定的，跟原子所处的物理状态(如温度、压强)或化学状态(如单质、化合物)无关**.

（3）适用条件：**半衰期描述的是统计规律，不适用于少量原子核的.**



【考向 4】（2024·北京石景山·一模）工业部门可以使用放射性同位素发出的射线来测厚度。某轧钢厂的热轧机上安装的射线测厚装置如图所示，让γ射线穿过钢板，探测器探测到的γ射线强度与钢板的厚度有关，将射线强度的信号输入计算机，可对钢板的厚度进行自动控制。下列说法正确的是（　　）



A．若钢板变厚，则探测到γ射线变弱

B．若钢板内部有裂缝，则探测到γ射线变弱

C．该装置主要利用γ射线的电离能力

D．若仅把γ射线换为α射线，该装置仍正常运行

【答案】A

【详解】A．若钢板变厚，则对γ射线的阻碍变强，探测到γ射线变弱，故A正确；

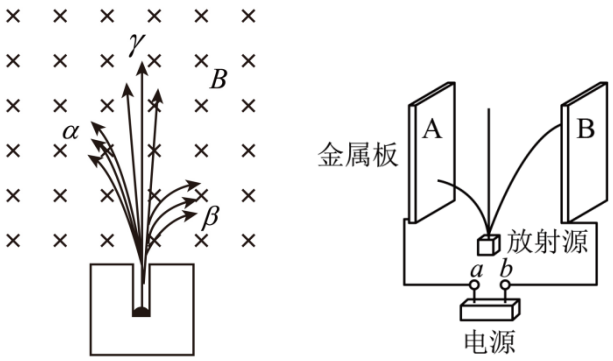
B．若钢板内部有裂缝，则对γ射线的阻碍变弱，探测到γ射线变强，故B错误；

C．该装置主要利用γ射线的穿透能力，故C错误；

D．该装置主要利用γ射线的穿透能力，而α射线的穿透能力很弱，若仅把γ射线换为α射线，该装置不能正常运行，故D错误。

故选A。

【考向5】利用带电粒子在电磁场中的运动，制作出的质谱仪可测量粒子的比荷。在研究放射性元素射线性质的实验装置如图所示，左图是三类射线在垂直纸面向外的磁场中的偏转情况的示意图。右图是两块平行放置的金属板A、B分别与电源的两极a、b连接，放射源发出的射线从其上方小孔向外射出。下列说法错误的是（　　）



A．放射源可以打出三类射线，说明同时发生a、β、γ衰变

B．a射线穿透能力最弱，速度也最慢，打到A板的是a射线

C．a为电源正极，到达A板的为β射线，不偏转的是γ射线

D．正负极判断看射线在两板间的轨迹，比荷大的偏向A板

【答案】B

【详解】从右图可以看出，到达两极板的粒子做类平抛运动，到达A极板的粒子的竖直位移小于到达B板粒子的，粒子在竖直方向做匀速直线运动，则据平抛运动公式，知两个粒子初速度v相差约10倍，但两者比荷相差几千倍，两极板电压U相同，比荷小的飞行距离短，所以电子的竖直位移小，故达到A极板距离小，是β射线，A极板带正电，a为电源的正极。

本题选错误的，故选B。

【考向6】（2024·北京海淀·三模）2024年4月19日起，日本开始排放第五批福岛核污染水，预计排放19天。核污染水中含有一定量的放射性核素“氚”，该核素可在生物体内富集，损害生物体的健康。已知氚的衰变方程为${}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^3\mathrm{He}+\mathrm{X}$，半衰期约为12年，下列说法正确的是（　　）

A．氚核发生的是α衰变

B．衰变产物 X 来自氚的核外电子

C．该衰变产生的射线穿透能力比γ射线强

D．若立即停止排放，12 年后因排污导致的核辐射量会减少50%

【答案】D

【详解】A．根据核反应的质量数和电荷数守恒可知，X 的质量数为 0，电荷数为-1，则 X 为电子，则氚核发生的是β衰变，故 A 错误；

B．衰变产物 X 来自氚核内的中子转化为质子时放出的电子，故 B 错误；

C．β射线穿透能力比γ射线弱，故 C 错误；

D．若立即停止排放，12 年后即经过一个半衰期，会有一半氚核发生衰变，即因排污导致的核辐射量会减少 50%，故 D 正确。

故选 D。

【考向 7】（2024·安徽·三模）天然放射性元素$^{232}_{90}\mathrm{Th}$（钍）经过一系列衰变后变成$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$（铅），下列说法正确的是（　　）

A．衰变过程共有 6 次α衰变和 5 次β衰变

B．有 6 个中子转变为质子

C．$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$的比结合能比$^{232}_{90}\mathrm{Th}$的比结合能大

D．在高温高压下可缩短$^{232}_{90}\mathrm{Th}$的半衰期

【答案】C

【详解】A．核衰变中遵循电荷数守恒、质量数守恒，每次α衰变质量数少 4，电荷数少 2，每次β衰变质量数不变，电荷数加 1，则共有 6 次α衰变和 4 次β衰变，故 A 错误；

B．一次β衰变有一个中子转变为一个质子，共 4 个，故 B 错误；

C．衰变产物$^{208}_{82}\mathrm{Pb}$更加稳定，比结合能大，故 C 正确；

D．半衰期与物理状态无关，故 D 错误。

故选 C。

【考向 8】（2024·安徽·二模）2023 年 12 月 7 日，锦屏大设施正式投入科学运行，是我国又一项“国之重器”，其主要功能是为前沿物理科学研究提供不受宇宙射线影响的实验环境。当宇宙射线中的高能粒子撞击地球大气层中大气原子核时会产生二次粒子簇射．一宇宙射线中的α粒子与大气中氮原子核发生作用的核反应方程为$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{14}_{7}\mathrm{N}\rightarrow^{17}_{8}\mathrm{O}+\mathrm{X}$。下列说法中正确的是（　　）

A．该核反应为α衰变　　B．X 粒子由汤姆孙发现

C．该核反应中 X 为光子　　D．该核反应电荷数守恒，质量数也守恒

【答案】D

【详解】AC．根据质量数守恒和电荷数守恒可知反应方程式中的 X 为${}_{1}^{1}\mathrm{H}$，故 AC 错误；

B．质子是由卢瑟福通过α粒子轰击氮原子时发现的，而电子是由汤姆孙发现的，故 B 错误；

D．核反应遵循电荷数守恒和质量数守恒，故 D 正确。

故选 D。

【考向 9】下列关于原子物理的知识，说法正确的是（　）

A．卢瑟福α粒子散射实验说明原子的枣糕模型理论是正确的

B．在核反应方程${}_{2}^{4}\mathrm{He}+{}_{7}^{14}\mathrm{N}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}+\mathrm{X}$中，X 表示的是中子

C．β 射线是高速运动的电子流，经过 β 衰变后原子在周期表中的位置向后移一位

D．氢的半衰期是 3.8 天，8 个氢原子核经过 7.6 天之后，还剩下 2 个未发生衰变

【答案】C

【详解】A．卢瑟福α粒子散射实验说明原子的枣糕模型理论是错误的，故 A 错误；

B．在核反应方程${}_{2}^{4}\mathrm{He}+{}_{7}^{14}\mathrm{N}\rightarrow{}_{8}^{17}\mathrm{O}+\mathrm{X}$中，根据质量数和电荷数守恒可知，X 表示的是质子，故 B 错误；

C．β 射线是高速运动的电子流，经过 β 衰变后，原子核中的质子数增加 1 个，原子在周期表中的位置向后移一位，故 C 正确；

D．半衰期只适用于大量原子核的衰变规律，氢的半衰期是 3.8 天，8 个氢原子核经过 7.6 天之后，不一定还剩下 2 个未发生衰变，故 D 错误。

故选 C。



考点 3：衰变粒子在磁场中的运动轨迹

在匀强磁场中，静止的放射性元素的原子核沿垂直于磁场方向放射出一个粒子后，在洛伦兹力的作用下衰变放出的粒子和新核都做匀速圆周运动。

解答此类问题步骤如下.

(1)衰变过程中质量数守恒，电荷数守恒.

(2)衰变过程中**动量守恒**。

(3)带电粒子的运动方向垂直于磁场方向时，由洛伦兹力提供向心力做匀速圆周运动.

(4)静止的原子核发生 α 衰变或 β 衰变时遵循如下规律。

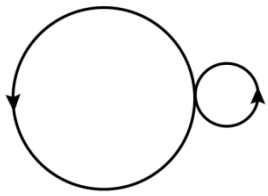
①动量守恒：$m_1v_1+m_2v_2=0$.②轨迹半径：$R=\dfrac{mv}{qB}\propto\dfrac{1}{q}$(动量大小相等).③运动周期：

$T=\frac{2\pi m}{qB}\propto\frac{m}{q}$.④运动轨迹：**β衰变，内切圆；α衰变，外切圆**.它们在磁场中运动的轨迹特点如表所示：

α衰变	${}_{Z}^{A}\mathrm{X}\rightarrow{}_{Z-2}^{A-4}\mathrm{Y}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}$	匀强磁场中轨迹 α	**两圆外切，α粒子的轨迹半径大**
β衰变	${}_{Z}^{A}\mathrm{X}\rightarrow{}_{Z+1}^{A}\mathrm{Y}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$	匀强磁场中轨迹 β	**两圆内切，β粒子的轨迹半径大**

考向预测

【考向 10】如图所示，静止的氡原子核（${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$）在垂直于纸面的匀强磁场中，由于衰变放出某种粒子而生成一个新的原子核，新核和粒子的运动径迹是两个在纸面内的外切圆。已知大圆与小圆直径之比是85:1。则（　　）



A．该核反应方程是${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}\rightarrow{}_{87}^{222}\mathrm{Fr}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$　　B．该核反应方程是${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}\rightarrow{}_{85}^{222}\mathrm{At}+{}_{1}^{0}\mathrm{e}$

C．该核反应方程是${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}\rightarrow{}_{84}^{218}\mathrm{Po}+{}_{2}^{4}\mathrm{He}$　　D．大圆轨迹是新核的，磁场方向垂直纸面向里

【答案】B

【详解】A．设新核和粒子的质量分别为m_1、m_2，速度大小分别为v_1、v_2，电荷量分别为q_1、q_2。新核做圆周运动过程中洛伦兹力提供向心力

$$q_1v_1B=\frac{m_1v_1^2}{r_1}$$

则新核做圆周运动的半径为

$$r_1=\frac{m_1v_1}{q_1B}$$

同理可得，粒子做圆周运动的半径为

$r_2=\frac{m_2v_2}{q_2B}$

静止的氡原子核由于衰变放出某种粒子而生成一个新的原子核的过程动量守恒，则有

$m_1v_1=m_2v_2$

联立可得

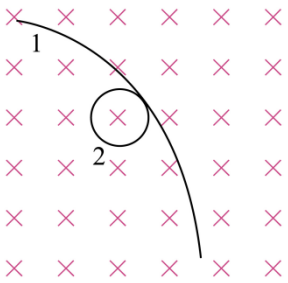
$\frac{r_1}{r_2}=\frac{q_2}{q_1}=\frac{1}{85}$

由上述分析可知，轨迹半径与电荷量成反比，故小圆轨迹是新核的，大圆轨迹是粒子的，新核与粒子受力方向相反，速度方向也相反，由左手定则可知，新核与粒子电性相同，故二者均带正电，且电荷量之比为 85:1，故 AC 错误，B 正确；

D．由上述分析可知，小圆轨迹是新核的，大圆轨迹是粒子的。因为新核与粒子均带正电，由左手定则可知，磁场方向垂直纸面向里，D 错误。

故选 B。

【考向 11】钠的放射性同位素 Na 静止在匀强磁场中，某时刻一个 Na 原子核发生核反应，仅产生的两新粒子（分别标记为 1、2），沿垂直磁场方向运动，形成的轨迹如图所示，两粒子的速率为 v_1、v_2，电荷量为 q_1、q_2，轨迹半径为 r_1、r_2，两轨迹半径比为$r_1:r_2=12:1$。下列关于该核反应说法正确的是（　　）



A．该核反应为裂变反应

B．该核反应为 α 衰变

C．两粒子的电荷量之比 $q_1:q_2=1:12$

D．两粒子的速率之比 $v_1:v_2=12:1$

【答案】C

【详解】A．该反应为原子核的衰变，A 错误；

BC．根据

$Bvq=m\frac{v^2}{r}$

可得

$r=\frac{mv}{Bq}$

根据动量守恒定律

$0 = m_1v_1 + m_2v_2$

可知两个粒子动量大小相等，方向相反，可得

$\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{12}$

又因为 Na 原子的电荷量为 $11e$，可知

$$q_1 = -e，q_2 = 12e$$

所以粒子 1 为电子，该核反应为β衰变，B 错误，C 正确；

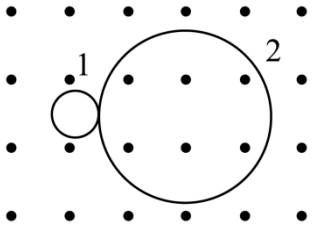
D．由于两粒子动量大小相等，所以有

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$

由于电子质量相比原子质量很小很小，所以两粒子的速率之比不为 12:1，D 错误。

故选 C。

【考向 12】（多选）静止在匀强磁场中的$^{238}_{92}$U 核发生 α 衰变，产生一个 α 粒子和一个未知的粒子 X，它们在磁场中的运动轨迹如图所示，下列说法正确的是（　　）



A．该核反应方程为$^{238}_{92}$U→$^{234}_{90}$X＋$^{4}_{2}$He

B．α 粒子和 X 粒子在磁场中做圆周运动时转动方向相反

C．轨迹 1、2 分别是 α 粒子、X 粒子的运动轨迹

D．α 粒子、X 粒子运动轨迹半径之比为 45:1

【答案】AD

【详解】A．根据电荷数守恒和质量数守恒可知该核反应方程为

$$^{238}_{92}\text{U}→^{234}_{90}\text{X}+^{4}_{2}\text{He}$$

故 A 正确；

CD．衰变过程动量守恒，且 α 粒子和 X 粒子初速度方向相反，所以 α 粒子和 X 粒子的动量大小相等。假设质量为 m、电荷量为 q 的粒子在磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中做速率为 v、半径为 R 的匀速圆周运动，则根据牛顿第二定律有

$qvB = m\frac{v^2}{R}$

解得

$R=\frac{mv}{Bq}=\frac{p}{Bq}$

由上式可知 α 粒子、X 粒子运动轨迹半径之比为

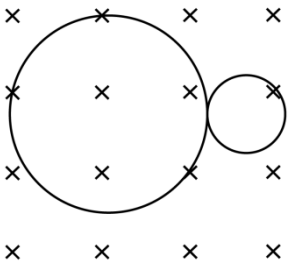
$\frac{R_\alpha}{R_X}=\frac{q_X}{q_\alpha}=45$

所以轨迹 1、2 分别是 X 粒子、α 粒子的运动轨迹，故 C 错误，D 正确；

B．α 粒子和 X 粒子均带正电，在轨迹切点处，α 粒子的速度向上，X 粒子的速度向下，根据左手定则可知 α 粒子和 X 粒子在磁场中做圆周运动时转动方向均为顺时针方向，故 B 错误。

故选 AD。

【考向 13】（多选）在匀强磁场中静止着一个原子核${}_Z^A\mathrm{X}$，某一时刻发生了一次衰变放出某种粒子，放出的粒子与生成的新核在与磁场方向垂直的平面内做匀速圆周运动，得到粒子与新核的轨迹是外切圆，如图所示，已知磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向里，粒子的质量为 m，电荷量为 q，粒子做圆周运动的半径为 R，以下说法正确的是（　　）



A．放出的粒子是 β 粒子，对应的轨迹是大圆，粒子和新核绕行的方向均为顺时针

B．放出的粒子是 α 粒子，对应的轨迹是大圆，粒子和新核绕行的方向均为逆时针

C．若新核与粒子的轨道半径之比为 1∶43，则 X 核中的质子数 Z＝86

D．衰变后产生的新核做圆周运动的速率为$v=\frac{4qBR}{m(A-4)}$

【答案】BD

【详解】AB．原子核发生衰变后得到两种粒子，因为粒子与新核的轨迹是外切圆，可知两种粒子带同种电荷，即发生的是 α 衰变，根据动量守恒定律可知，两粒子动量等大反向，根据

$$R=\frac{mv}{qB}=\frac{p}{qB}$$

可知，带电量较小的 α 粒子对应的圆轨道半径较大，根据左手定则可知粒子和新核绕行的方向均为逆时针，选项 A 错误，B 正确；

C．若新核与粒子的轨道半径之比为 1∶43，则电量之比为 43:1，因 α 粒子带两个单位正电荷，可知新核带 86 个正电荷，则 X 核中的质子数 Z＝86+2=88，选项 C 错误；

D．对粒子

$$qv'B=\frac{mv'^2}{R}$$

因新核的质量数为 A-4，则质量

$$m'=\frac{A-4}{4}m$$

电荷数为 86，则电量为 $43q$，则对新核

$$43qvB=\frac{m'v^2}{\frac{R}{43}}$$

解得

$$v=\frac{4qBR}{m(A-4)}$$

选项 D 正确。

故选 BD。

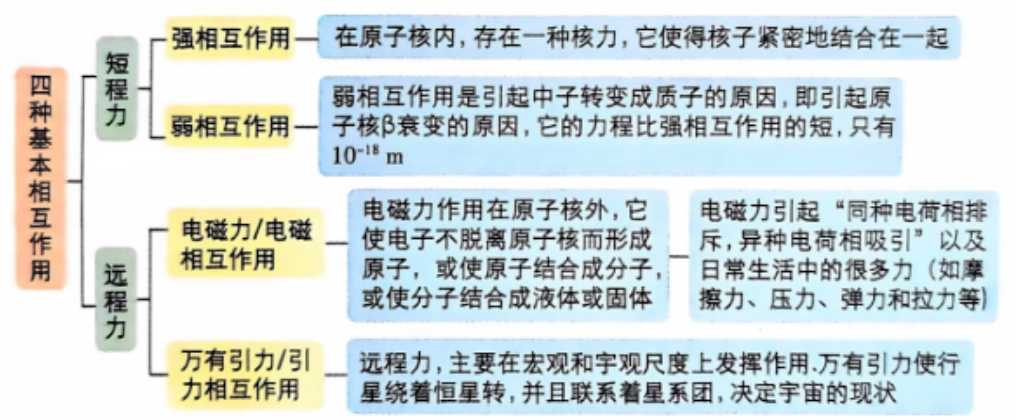


考点 4：核力与核能计算

1.核力及基本相互作用

（1）核力与核子是否带电无关.质子与质子之间、质子与中子之间、中子与中子之间都可以有核力作用，与核子的电荷无关.

（2）四种基本相互作用



2.结合能

(1)结合能并不是由于核子结合成原子核而具有的能量，而是把核子分开需要吸收的能量或者核子结合成原子核需要放出的能量.

(2)结合能的大小与组成原子核的核子数有关，组成原子核的核子数越多，结合能越大.

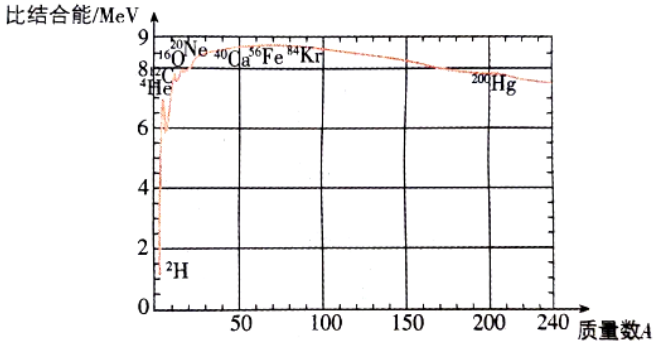
3.比结合能

(1)比结合能：原子核的结合能与核子数之比，叫作比结合能，也叫作平均结合能.它反映了一个

原子核的稳定程度，比结合能越大，原子核越稳定.

(2)比结合能曲线

①不同原子核的比结合能随质量数变化的图线如图所示.



图中可以看出，中等质量的原子核的比结合能最大，轻核和重核的比结合能比中等大小的核要小.

②对比结合能的理解

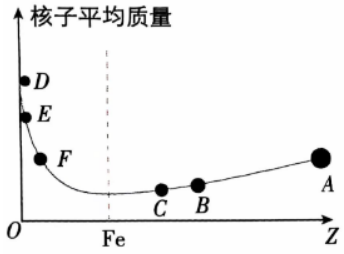
a.比结合能的大小反映原子核的稳定程度，比结合能越大，原子核就越难拆开，表示原子核越稳定。

b.核子数较小的轻核与核子数较大的重核，比结合能都比较小，中等核子数的原子核比结合能较大。

c.比结合能较小的原子核转化成比结合能较大的原子核时要释放能量，反之要吸收能量。

d.中等大小的原子核的比结合能较大，因而中等大小的原子核较稳定。

③核子平均质量曲线



对比比结合能曲线和核子平均质最曲线可以发现比结合能越大，核子平均质量越小，即质量亏损越大.由前述两个曲线可以看出，$^{56}_{26}$Fe原子核的核子平均质量最小，在所有原子核中是最稳定的.

并不是结合能越大的原子核越稳定，而是比结合能越大，原子核越稳定；原子核较大时，原子核的结合能尽管很大，但原于核却会变得很不稳定，很容易发生衰变.

4.质量亏损

（1）爱因斯坦的质能方程：$E=mc^2$，指出了物体的能量与它的质量的关系.



(1)质量或能量是物质的属性之一，绝不能把物质和它们的某一属性(质量或能量)等同起来.

(2)质能方程揭示了质量和能量的不可分割性，建立了这两个属性在数值上的关系，这两个量分

别遵守质量守恒定律和能量守恒定律，**质量和能量在数值上的联系绝不等于这两个量可以相互转化**.

(3)质量亏损不是否定了质量守恒定律.根据爱因斯坦的相对论，**辐射出的γ光子静质量虽然为零，但它具有动质量，而且这个动质量刚好等于亏损的质量，所以质量守恒定律、能量守恒定律仍成立**.

(4)核反应中的质量亏损，并不是指这部分质量消失或质量转化为能量.物体的质量应包括静质量和动质量，**质量亏损是静质量的减少，减少的静质量转化为与辐射能量相联系的动质量，另外，质量亏损也不是核子个数的减少，核反应中核子个数是不变的**.

(5)质能方程说明，一定的质量总是跟一定的能量相联系的.具体来说，一定质量的物体所具有的总能量是一定的，等于光速的平方与其质量之积，这里所说的总能量，不是单指物体的动能、核能戴其他哪一种能量，而是物体所具有的各种能量的总和。



4．计算核能的几种方法

(1)根据 $\Delta E=\Delta mc^2$ 计算，计算时 Δm 的单位是“kg”，c 的单位是“m/s”，ΔE 的单位是“J”.

(2)根据 $\Delta E=\Delta m\times 931.5$ MeV 计算．因 1 原子质量单位(u)相当于 931.5 MeV 的能量，所以计算时 Δm 的单位是“u”，ΔE 的单位是“MeV”.

(3)根据平均结合能来计算核能

原子核的结合能＝平均结合能×核子数.核反应后生成的所有新核的总结合能与核反应前系统内所有原子核的总结合能之差，就是该次核反应所释放的核能.

(4)有时可结合动量守恒和能量守恒进行分析计算，此时应注意动量、动能关系式 $p^2=2mE_k$ 的应用.



【考向 14】（2024·黑龙江佳木斯·三模）钴是一种具有战略性意义的金属元素，在手机电池中有重要应用。Co 衰变的核反应方程为${}^{60}_{27}\mathrm{Co}\rightarrow{}^{60}_{28}\mathrm{Ni}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$，经过 $2t$，原子核剩余质量是之前质量的四分之一，${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$、${}^{60}_{28}\mathrm{Ni}$、${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$的质量分别为m_1、m_2、m_3，下列说法正确的是（　　）

A．经过 t 的时间，16 个${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$核中有 8 个已经发生了衰变

B．γ 射线的穿透本领比 β 粒子弱

C．该核反应中释放的能量为$(m_1-m_2-m_3)c^2$

D．β 粒子是${}^{60}_{27}\mathrm{Co}$核外的电子电离形成的

【答案】C

【详解】A．半衰期具有统计意义，对少数的原子核没有意义，少量放射性元素的衰变是一个随机事件，对于 8 个放射性元素，无法准确预测其衰变的个数，故 A 错误；

B．根据三种射线的特点可知，γ射线的穿透本领比β射线强，故 B 错误；

C．根据质能方程可知核反应中释放的能量为

$\Delta E=(m_1-m_2-m_3)c^2$

故 C 正确；

D．根据β衰变的实质可知，β粒子是原子核内的一个中子转变为质子时产生的，故 D 错误。

故选 C。

【考向 15】（2024·湖北武汉·二模）研究表明，某些元素的原子核有可能从靠它很近的核外电子中“俘获”一个电子而形成一个新原子，人们把这种现象叫做“K 俘获”。例如：一个铍原子核（$^{7}_{4}\mathrm{Be}$）会从 K 层电子轨道上俘获一个电子后生成一个处于激发态的锂核，和一个具有能量且不带电的质量数为零的中微子 ν。处于激发态的锂核（$^{7}_{3}\mathrm{Li}$）又自发地放出 γ 光子而回到基态。下列说法正确的是（　　）

A．该反应属于 β 衰变

B．该反应前后没有质量亏损

C．铍原子核内有 4 个中子，3 个质子

D．该反应的本质是一个质子俘获一个电子后生成一个中子

【答案】D

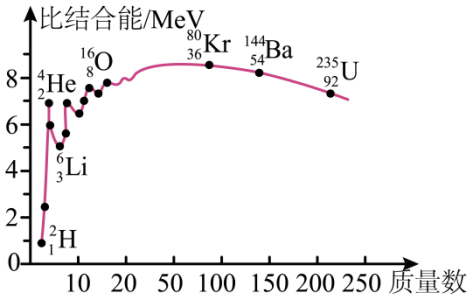
【详解】AD．该反应的本质是一个质子俘获一个电子后生成一个中子；不是放出一个电子，所以不属于 β 衰变，故 A 错误，D 正确；

B．该反应释放能量，反应前后有质量亏损，故 B 错误；

C．铍原子核（$^{7}_{4}\mathrm{Be}$）内有 3 个中子，4 个质子，故 C 错误。

故选 D。

【考向 16】（2023·山东滨州·二模）不同原子核的比结合能不同，如图是按照实际测量结果画的图像，根据图像和所学知识，下列说法中正确的是（　）．



A．结合能是由于核子结合成原子核而具有的能量

B．随着原子质量数的增加，原子核的比结合能增大

C．铀核$^{235}_{92}\mathrm{U}$比钡核$^{144}_{54}\mathrm{Ba}$结合能大

D．两个氘核$_{1}^{2}\mathrm{H}$结合成氦核$_{2}^{4}\mathrm{He}$，需要吸收能量

【答案】C

【详解】A．结合能不是由于核子结合成原子核而具有的能量，而是为了把核子分开而需要的能量，故 A 错误；

B．由图像可知随着原子质量数的增加，原子核的比结合能先增大后减小，故 B 错误；

C．由图像可知铀核$_{92}^{235}\mathrm{U}$的比结合能与核子数的乘积大于钡核$_{54}^{144}\mathrm{Ba}$的比结合能与核子数的乘积，即铀核$_{92}^{235}\mathrm{U}$比钡核$_{54}^{144}\mathrm{Ba}$结合能大，故 C 正确；

D．两个氘核$_{1}^{2}\mathrm{H}$结合成氦核$_{2}^{4}\mathrm{He}$，需要释放能量，故 D 错误。

故选 C。

【考向 17】已知锶 90 的半衰期为 28 年，其衰变方程为$_{38}^{90}\mathrm{Sr}\rightarrow_{39}^{90}\mathrm{Y}+\mathrm{X}$，$_{39}^{90}\mathrm{Y}$是一种非常稳定的元素，关于上述衰变过程，下列说法正确的是（　）

A．衰变方程中的 X 为质子　　B．$_{38}^{90}\mathrm{Sr}$的比结合能小于$_{39}^{90}\mathrm{Y}$的比结合能

C．此反应的实质是Sr原子发生电离　　D．经过 84 年，会有$\frac{2}{3}$的锶 90 发生衰变

【答案】B

【详解】A．根据质量数和电荷数守恒，可知 X 为电子，A 项错误；

B．衰变反应是放能反应，衰变产物$_{39}^{90}\mathrm{Y}$是一种更稳定的元素，可知其比结合能大于$_{38}^{90}\mathrm{Sr}$的比结合能，B 项正确；

C．β衰变的实质是原子核内部的一个中子转变为质子，同时释放出一个电子，C 项错误；

D．根据半衰期公式，经过 84 年即 3 个半衰期还剩下$(\frac{1}{2})^{3}=\frac{1}{8}$的锶 90 没有发生衰变，即会有$\frac{7}{8}$的锶 90 发生衰变，D 项错误。

故选 B。

【考向 18】2023 年 8 月 24 日，日本启动核污染水排海，排放的核污染水里含 64 种放射性元素，将对全人类和海洋生命产生长久的重大威胁。核污染水中$_{84}^{210}\mathrm{Po}$发生衰变时的核反应方程为$_{84}^{210}\mathrm{Po}\rightarrow_{82}^{206}\mathrm{Pb}+\mathrm{X}$，该核反应过程中释放的能量为 Q，光在真空中的传播速度为 c，下列说法正确的是（　　）

A．利用海水稀释可以使$_{84}^{210}\mathrm{Po}$的半衰期缩短

B．该核反应中$_{84}^{210}\mathrm{Po}$发生了 β 衰变

C．衰变后$_{82}^{206}\mathrm{Pb}$与 X 粒子的结合能之和小于衰变前$_{84}^{210}\mathrm{Po}$的结合能

D．该核反应过程中的质量亏损为$\frac{Q}{c^{2}}$

【答案】D

【详解】A．半衰期是放射性元素本身的属性，利用海水稀释后，$_{84}^{210}\mathrm{Po}$的半衰期不变，故 A 错误；

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/917145106123006160