

## 课前作业 16 小结

### 一、主观题

(一) 为什么 25.3meV 的中子可以是致电离粒子，但是 1eV 的光子却不是？

参考答案：

25.3meV 的中子虽然不能直接导致原子/分子电离，但其与原子核有 MeV 能量的结合能，因此可以通过核反应产生直接致电离粒子。光子与原子核不存在结合能，因此能量大于 10eV 的光子才是致电离粒子。

(二) 对于 4 MeV 的  $\alpha$  粒子来说，哪种能量损失是重要的方式？对于 1 MeV 的电子来说，其在铝中损失能量的主要方式是轫致辐射吗，为什么？

参考答案：

$\alpha$  粒子是重带电粒子。对于重带电粒子而言，辐射损失并不重要，电离损失是重要的。

对于电子而言，1MeV 电子在铝中的两种能量损失率之比为

$$\frac{(dE/dx)_{rad}}{(dE/dx)_{ion}} \cong \frac{E \cdot Z}{800} = \frac{13}{800} \quad (\text{注意：} E \text{ 的单位为 MeV, Al 的 } Z \text{ 是 13 而不是 27。})$$

因此损失能量的主要方式为电离损失。

(三) L16P40，请解释一下右下图中 a, b, c 三段的成因？

参考答案：

a 段入射粒子能量很低，此时入射粒子与吸收体之间的电荷交换变得重要，带正电的入射粒子会吸附靶物质中的电子，使等效电荷降低。随着入射粒子能量升高，入射粒子的等效电荷升高，使得电离能量损失率升高。

b 段相对论效应很小，入射粒子吸附电子的影响不大，根据 Bethe 公式，电离能量损失率与带电粒子的速度  $v$  为平方反比关系。

c 段入射粒子能量较高，Bethe 公式中  $\left[ \ln\left(\frac{2m_0v^2}{I}\right) - \ln\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{v^2}{c^2} \right]$  一项起作用，使得电离能量损失率随入射粒子能量缓慢上升。

**（四）L16P41，为什么电子， $\pi$  介子， $\mu$  子，质子，氘核的能量损失率曲线形状是相似的，只是在横向有所平移？ $\alpha$  粒子的能量损失率曲线和电子的有什么区别，为什么？**

**参考答案：**

电子， $\pi$  介子， $\mu$  子，质子，氘核电荷量相同，根据 Bethe 公式，只要速度相同，这些粒子的能量损失率就相同。因此，对于静质量不同的这些粒子，只需横向平移即可使能量损失率曲线重合。

$\alpha$  粒子电荷量是电子的两倍，因此  $\alpha$  粒子的能量损失率曲线相对于电子除了向右平移以外，还会向上升高。

**（五）什么是 MIPs，它的成因是什么？**

**参考答案：**

MIPs 指的是最小电离粒子 (*Minimum ionizing particles*)。Bethe 公式中  $1/v^2$  项和  $\left[ \ln\left(\frac{2m_0v^2}{I}\right) - \ln\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{v^2}{c^2} \right]$  项共同作用, 使得能量损失率随入射粒子能量升高先降后升, 存在一个极小值, 此时粒子动能约为  $3m_0c^2$ , 该动能对应的粒子即为最小电离粒子。

## 二、客观题

3. 用质子去照射某个厚度不甚大的硅薄片, 随着质子能量从 10keV 起单调增大, 硅薄片所获得的能量将怎么变化? (说明: 质子的能量最终没有超过 2815MeV, 且硅薄片的厚度相当于 10MeV 质子在硅中的射程)

参考答案:

先是线性增大, 然后单调下降。

此题考察的是根据 Bethe 公式得到的能量损失率与入射粒子动能的关系。照射某个厚度相当于 10MeV 质子在硅中的射程的硅薄片, 质子能量小于 10MeV 时, 质子会损失所有能量, 所以一开始硅薄片所获得的能量线性增大。质子能量大于 10MeV 时, 考虑质子的能量远大于 10MeV, 但不超过 2815 MeV ( $3m_0c^2$ ) 的情况, 质子在硅薄片损失能量不多, 可近似认为质子能量不变, 因此硅薄片所获得的能量与质子的能量损失率成正比, 随质子能量升高单调下降。

4. 与 4MeV 的  $\alpha$  粒子相比, 4MeV 的电子与物质作用的表现有何不同?

**参考答案:**

电子的轨迹不是直线，轫致辐射不可忽视，入射粒子的电荷量  $z$  保持不变，是弱电离粒子。

此题漏选“入射粒子的电荷量  $z$  保持不变”、“是弱电离粒子”两项的同学较多。

电子与重带电粒子不同，带负电，不会吸附电子，因此电荷量保持不变。由 L17P35 推导可知，相对于 4MeV 的  $\alpha$  粒子，4MeV 的电子是弱电离粒子。主要原因在于 4MeV 下，由于电子静质量只有  $0.511\text{MeV}/c^2$ ，电子接近光速，而  $\alpha$  粒子静质量远大于电子，因此两者  $1/v^2$  差三个量级。

**6. 用一个对源张立体角为  $2\pi$  的探测器去观察正电子的湮没过程，若每秒有 1 个正电子湮没，则每秒穿过探测器的 511keV 光子数是[填空 1]个？**

**参考答案:**

1 个。

每秒有 1 个正电子湮没，产生两个 511keV 光子，用一个对源张立体角为  $2\pi$  的探测器去观察，每秒穿过探测器的 511keV 光子数为  $2 * (2\pi/4\pi) = 1$  个。