

## 课前作业 17 小结

### 一、 主观题

1) L17P4, 右图中的三个曲线, 为何在 高能区 是重合的, 在 低能区 却散开了?

参考答案:

$$\frac{S_{ion}}{\rho z^2} = \left( -\frac{dE}{z^2 dt_m} \right)_{ion} \propto \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2} \cdot \frac{1}{v^2} \cdot \frac{1}{m_0} \cdot \left[ \ln\left(\frac{2m_0 v^2}{I}\right) - \ln\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) - \frac{v^2}{c^2} \right]$$

在 高能区, 由上式可知纵轴的数值仅由速度  $v$  决定, 而横轴为  $E/A$ , 即单个核子的动能, 同一坐标处的速度  $v$  相等。因此三个曲线在 高能区 是重合的。在 低能区, 离子将吸附电子导致有效电荷数下降, 电离能量损失率降低。且  $Z$  大的核更容易吸附电子, 因此对应  $^{12}\text{C}$  的曲线最先下降, 三者 在低能区 散开。

2) L17P7, 试解释 bragg 峰的成因。

参考答案:

$$S_{ion} = \left( -\frac{dE}{dx} \right)_{ion} = \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2} \cdot \frac{z^2}{v^2} \cdot \frac{NZ}{m_0} \cdot B$$

带电粒子进入介质时, 随着入射深度的增大速度逐渐减小, 而电离能量损失率正比于  $1/v^2$ , 因此电离能量损失率随之升高; 直到径迹末端, 由于带电粒子的速度太小, 带电粒子开始吸附电子, 有效电荷数  $z$  下降, 公式中的  $z^2$  项迅速下降, 导致电离能量损失率迅速降低, 直至为零, 形成 bragg 峰。

3) L17P9,  $\delta$  电子是怎么产生的?

参考答案: 带电粒子穿过介质时产生电子-离子对, 其中部分电子具有高能量, 可引起进一步电离, 即  $\delta$  电子。

**4) 如何理解能量歧离和射程歧离是相关的?**

**参考答案:** 入射带电粒子与物质原子的微观相互作用是随机性的, 因此其能量损失是一随机过程。于是当一束单能带电粒子经过一定距离后, 各个粒子的能量损失不会完全相同, 造成能量歧离。同样, 因为能量损失的随机性, 各个粒子的射程也有一定的离散。

**5) L17P35, 同样是 4MeV 的动能, 为何电子与  $\alpha$  粒子的电离能力差了 2 个量级?**

**参考答案:**  $\alpha$  粒子的静质量远大于电子, 同样是 4MeV 的动能,  $\alpha$  粒子的速度远小于电子 ( $\beta^2$  差了两个量级), 而电离能量损失率反比于  $v^2$ , 因此电子与  $\alpha$  粒子的电离能力差了 2 个量级。

**6) 什么情况下, 电子的辐射能损将比电离能损显得更加有优势?**

**参考答案:**

$$\frac{(-dE/dx)_{rad}}{(-dE/dx)_{ion}} \cong \frac{E \cdot Z}{800}$$

在电子能量高, 入射靶为高 Z 靶时 ( $E \cdot Z > 800$ ), 电子的辐射能损将比电离能损显得更加有优势。

**二、 对于一个 2MeV 能量的光子, 下面哪个反应能够制造能量最高的次级电子?**

**参考答案:** 答案为 A。光电子的动能为入射光子能量  $h\nu$  与该束缚电子所处电子

壳层的结合能  $B_i$  之差:

$$E_e = h\nu - B_i$$

而核外电子结合能  $B_i$  一般不超过 100 keV。不少同学选了答案 B，注意当散射角为  $180^\circ$  时，反冲电子的动能最大，在入射光子能量为 2 MeV 时，反冲电子的最大动能与入射光子能量差 200 keV 左右。

三、用某探测器（例如 NaI）来测量 2MeV 的  $\gamma$  射线，假设  $\gamma$  射线只与探测器反应 1 次，又假设反应所产生电子的能量全部被探测器所吸收，使探测器形成能量沉积谱。请问，下面哪些反应所形成的能谱可以取分立值

**参考答案：**这题不少同学选了答案 A。注意瑞利散射为弹性散射，光子能量不会沉积。