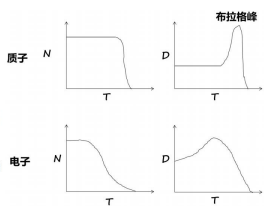


中子探测中必须考虑的因素:

- 反应截面必须尽可能大
- 用于探测的靶核素在天然元素中应具有较高且均匀的丰度(high isotropic abundance in the natural element); 或者能通过人工方式较为经济地富集
- 能够辨别伽马射线 (更高Q值,)



韧致辐射的产生

- > X射线靶的原子序数越高, 产率越高
- > 入射电子能量越高, 产生X射线的概率越高
- > 在任何电子能量下, 产生X射线的概率随着X射线能量的增加而降低

3. 光子-中子源 (γ, n)

伽马射线光子的能量必须大于q值的负值, 才有可能发生反应。

- > 优点: 如果γ射线是单能的, 则产生的中子也是单能的。
 ${}^9_4\text{Be} + h\nu \rightarrow {}^9_4\text{Be} + {}^1_0\text{n} \quad Q \sim 1.66$
- > 缺点: 中子强度低。

就剂量学的实际应用, 一般把中子按照如下的能量范围进行划分

- > 热中子: 与周围分子处于热平衡的中子, 符合热运动的麦克斯韦分布, 当温度为20°C时, 热中子的能量为0.025eV。通常能量低于0.5eV的中子都被称为热中子。
- > 中能中子: 能量高于热中子的截止能量0.5eV, 低于10keV的中子称为中能中子。这种能量的中子在人体导致的剂量主要由于与氢核发生弹性散射引起的反冲质子贡献。
- > 快中子: 快中子的能量覆盖高于10keV的范围。

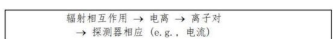
在反应堆物理中, 一般以某个分界能量 E_c 以下的中子称为热中子, 如在压水堆中, 通常取 $E_c=0.625\text{eV}$

医用放射性同位素: 锝-99m (Technitium-99m, Tc-99m)

- Tc-99m (m表示亚稳态) 是一种发生γ衰变的放射性同位素, 用作放射性示踪剂, 医疗设备可以在体内检测到它衰变产生的γ射线。Tc-99m衰变产生的140 keV的γ射线很容易被探测到(与传统X射线诊断设备发射的波长大致相同), 而且它的γ衰变的半衰期较短, 为6.01小时, 因此医疗设备可以快速收集数据, 同时保持患者的受到的总辐射剂量较低
- Tc-99m可以通过钼-99 (Molybdenum-99, Mo-99) 的衰变 (半衰期) 制备, 并且Tc-99m很容易从Mo-99中进行化学提取
- Mo-99主要通过高浓缩铀 (HEU) 的裂变产生

初始粒子的能量通过粒子传递给介质, 方式为:

- 1) 激发
 - 2) 电离 → 离子对 (一个自由电子和一个带正电的离子)
- 离子对有重新组合成中性原子的趋势。为了抑制这种趋势, 设计了一种探测器系统, 使离子对可作作为探测器响应的基础。



与γ射线一样, 中子不携带电荷, 不通过库仑力与物质发生相互作用。

1. 可以在不与物质发生相互作用的情况下移动一厘米的距离
2. 几乎不与核外电子相互作用, 只与吸收材料的原子核相互作用
3. 中子可能通过与物质的几次相互作用就完全失去或失去大部分的能量
4. 相互作用的结果可能产生重带电粒子

1. 慢中子

- > 弹性散射 → 只有很少的能量可以转移到原子核 → 不可测量
- > 辐射俘获 (n, γ) → 二次辐射是可探测到的

2. 快中子

- > 弹性散射 → 大量的能量转移到原子核 → 反冲核可以被探测到, 在相互作用中快中子速度减慢。
- > 对于氢来说, 一个中子可能在一次碰撞中失去全部能量。
- > 介质中任何相互作用在单位路径长度上发生的概率是每个核子的反应截面(微观反应截面)。

• 收敛(误差)

优点

1. 在许多情况下是求解运输方程的一种比较有效和常用的方法, 比如扩散近似模型在单速问题和源的各向同性的情况下和P₁近似等价, 在中子输运理论、核反应堆物理分析中由重要地位, 成为核反应堆设计的计算基础。
2. 球谐函数方法(P_n近似方法)对角度变量的处理是连续的, 具有角度的旋转不变性。
3. 适合对于非规则几何的非结构网格的计算。

缺点

1. 在真空边界或强吸收体附近, 或者在介质非均匀性和中子通量密度各向异性比较严重的系统中, P₁近似的误差比较大。在这种情况下, 就得应用更高阶 (N>1) 的球谐近似。
2. 当阶数N增大时 (对于多维复杂几何情况), 球谐方法将变得非常复杂和困难。以P₃近似为例, 即使对于最简单的一维情况, 也需要联立求解4个微分方程, 每个方程都含有耦合的3个未知数。
3. 当阶数不同, 求解的方程组和数值过程都不相同, 因此对于不同阶数N需要编制不同的程序, 给工程应用带来了不便。
4. 球谐函数方法(P_n近似方法)中边界条件的处理也具有一定的难度和不确定性

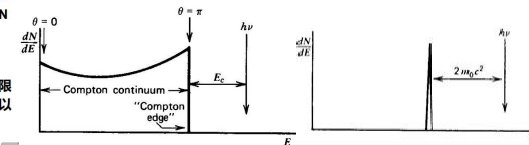


> 离散纵标方法的主要优点:

1. 对 $\vec{r}, E, \vec{\Omega}$ 所有自变量都采用直接离散, 数值过程比较简单。
2. 当应用迭代法求解时, 源项作为已知项, 每个离散方向的方程便都是相对独立的, 并具有相似的数值过程, 便于编程。
3. 离散方向变量在方程中成为一个参变量, 它可以编制适用于不同离散方向数N (阶) 的通用程序, 当须提高或改变计算精度时只须改变输入的离散方向数N即可, 这给工程计算带来极大的方便。

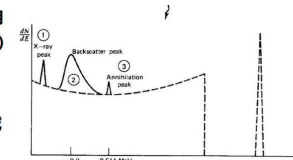
> 离散纵标方法的主要缺点:

1. 需要比较大的存储空间和计算时间, 这是限制离散纵标方法广泛应用以及局限于低维 (一、二维) 问题计算的主要原因。特别是, 当离散方向数目比较大以及维数增加时 (例如三维问题), 矛盾更为突出。



2020-10-9 中国核动力院核工程研究所工程物理研究所核工程研究所

优点: 计算简单并能得到相对来讲比较高的精度。因为对于燃料或控制栅元, 或者燃料组件这样非均匀性比较强、结构比较复杂的问题, 应用扩散理论 (P₁近似) 将带来较大的误差, 如果应用更高阶的球谐近似 (例如P₃近似) 或者其他精确的运输方法 (例如, S_N 方法或蒙特卡罗方法) 计算将十分复杂并需很长的计算时间。但是积分运输方法的计算时间虽较扩散理论略为长一点, 但却可得到比扩散理论高得多并接近于其他精确运输理论的精度。



缺点: 在使用积分运输方法的时候, 我们假设中子的散射各项同性。所以对于高能中子所在区域或者中子与一些轻核碰撞等各向异性比较强烈 (难以修正) 的情况下, 该方法不适用。

1. 收敛速度于问题的维数无关, 该特点是其他数值计算方法所不具有的, 因此MC方法特别适合计算维数高、几何形状复杂、被积函数光滑性差的积分。

2. 误差是在一定概率下的误差, 与确定论方法的误差有本质的区别 (MC方法的不足之一)。

2. 误差是在一定概率下的误差, 与确定论方法的误差有本质的区别 (MC方法的不足之一)。

3. 收敛速度慢。

> BF₃正比管的探测效率

$$\epsilon(E) = 1 - e^{-\sum_a(E)L}$$

$\sum_a(E)L$ = 能量E时¹⁰B的宏观横截面

L = 管的有效长度

N = 单位体积的原子总数

中子探测中必须考虑的因素:

- 反应截面必须尽可能大
- 用于探测的靶核素在天然元素中应具有较高且均匀的丰度(high isotropic abundance in the natural element); 或者能通过人工方式较为经济地富集
- 能够辨别伽马射线 (更高Q值,)

> BF₃正比管的探测效率

$$\epsilon(E) = 1 - e^{-\sum_a(E)L}$$

$\sum_a(E)L$ = 能量E时¹⁰B的宏观横截面

L = 管的有效长度

N = 单位体积的原子总数

中子与物质的各种相互作用:

1. 弹性散射。能量太小, 不能被中子探测利用。
2. 中子诱发的各类反应

- a) (n, γ)
- b) (n, α)
- c) (n, p)
- d) 裂变反应

中子与物质的各种相互作用:

1. 弹性散射。能量太小, 不能被中子探测利用。
2. 中子诱发的各类反应

- a) (n, γ)
- b) (n, α)
- c) (n, p)
- d) 裂变反应

$$E_c = h\nu - h\nu_0 = h\nu \left(\frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos\theta) \right) \left(1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos\theta) \right)$$

Q为反应能, 指核反应过程中放出的能量, 等于静止质量的释放, 或反应前所有粒子总动能减反应后粒子总动能, 对 $a+A \rightarrow b+B$ 的反应:
 $Q = [(M_a + M_A) - (M_b + M_B)]c^2 = E_b + E_c - E_a - E_A$

从室温 (300K) 冷却到液氦温度 (77K) 时, 铯中电子-空穴对的热生成速率降低了多少?

参考答案:

查Table 11-1 (见ppt上一页), 对于铯:

0K时, $E_g = 0.746\text{eV}$

300K时, $E_g = 0.665\text{eV}$

插值得到:

77K时, $E_g = 0.7252\text{eV}$

根据Eq. 11-1:

$$P(300K) = C \cdot 300^{3/2} e^{-\frac{0.665}{2 \cdot 8.62 \times 10^{-5} \times 300}} = 0.0135C$$

$$P(77K) = C \cdot 77^{3/2} e^{-\frac{0.7252}{2 \cdot 8.62 \times 10^{-5} \times 77}} = 1.27 \times 10^{-21} C$$

$$\text{Rate is reduced by } \frac{P(300K)}{P(77K)} = 1.07 \times 10^{19}$$

> BF₃正比管的探测效率

$$\epsilon(E) = 1 - e^{-\sum_a(E)L}$$

$\sum_a(E)L$ = 能量E时¹⁰B的宏观横截面

L = 管的有效长度

N = 单位体积的原子总数