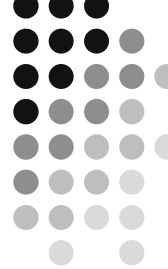
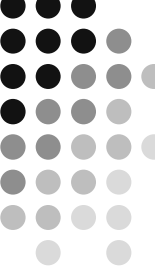


第十章 中子物理



- 中子物理和核裂变物理是核物理学中相对独立的两个分支。中子物理主要研究中子、中子和物质相互作用的性质。
- 中子物理的发展，对原子核理论的研究，对原子核基本性质的了解，是很重要的。在历史上，中子工作对于裂变的发现与研究、核反应理论的建立与发展，起过重要的作用。
- 中子物理和其他学科相结合，在工、农、医等方面的应用都取得了明显效果，产生了一些有生命力的边缘学科。如：中子活化分析、中子测井、中子成像、中子辐射育种、中子治癌（中子刀）。



目前关于中子的实验结果如下：

1) 质量: $m_n = 1.0086649u = 939.5653 \text{ MeV}/c^2$

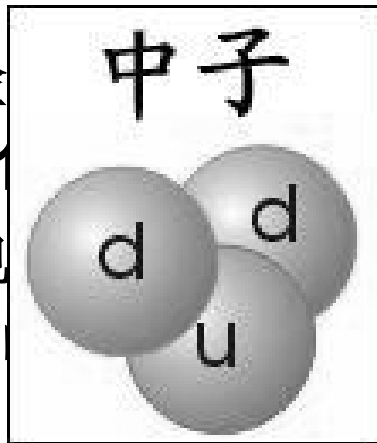
$$m_H = 1.007825u = 938.7830 \text{ MeV}/c^2$$

2) 自旋: $s_n = \frac{1}{2}$

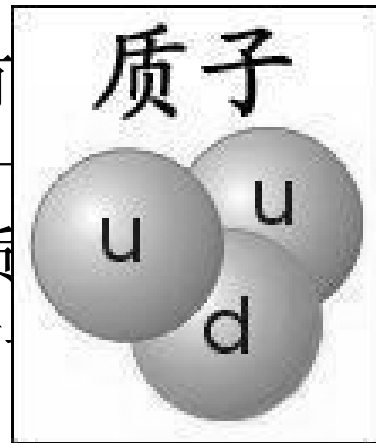
是费米子，服从费米统计；遵守泡利不相容原理。

3) 电荷：总体是电中性的。

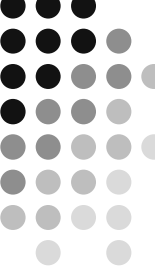
但实验
两个具有 $-1/3$
克，其总电
和一个 $-1/3$



子具有
夸克和一
比较：质
通过胶



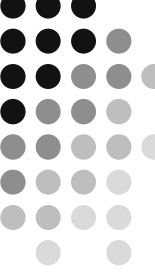
布，中子包含
电荷的上夸
3电荷的上夸克
用下构成。)



4) **磁矩**: 在第一章已指出, 中子的磁矩不为零, 较为精确的结果是, 负号表示磁矩矢量与自旋角动量矢量方向相反。磁矩结构有一定分布, 其均方根半径约为 **0.9fm**。由于中子有磁矩, 可以产生极化中子束。

5) **寿命**: 核内中子稳定, 但自由中子是不稳定的。

一个自由中子会自发地转变成一个质子、一个电子 (β -粒子) 和一个反中微子, 并放出 **0.782 MeV** 的能量。自由中子的不稳定性反映出中子静止质量稍大于氢原子质量这个事实。自由中子的半衰期为 (**10.61 \pm 0.16**) min。



6) **能量**: 由于产生方式不同, 以及产生后遇到的环境各异, 中子能量可高达**GeV**, 亦可低到**neV**。因为不同能量的中子与物质作用特性不同, 通常将中子按能量不同分成以下几类:

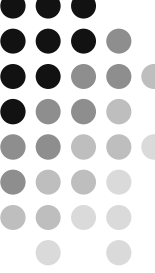
① 特快中子: $E_n > 10MeV$

② 快中子: $0.5MeV < E_n < 10MeV$

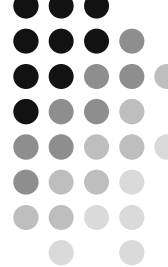
③ 中能中子: $1keV < E_n < 500keV$

④ 慢中子: $0 < E_n < 1keV$

其中 $E_n \approx 0.0253eV$ 的中子称为热中子。



7) **中子具有强的穿透能力：**它与物质中原子的电子相互作用很小，基本不会使原子电离和激发而损失其能量，故比带电粒子有强得多的穿透能力。中子在物质中损失能量的主要机制是与原子核发生碰撞。

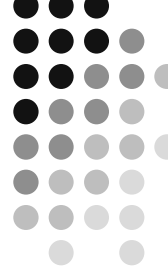


我们要研究中子，中子与物质的相互作用，首先必须了解中子如何产生，即讨论中子源问题。当今，人们使用的中子源大致分成三类，即加速器中子源、反应堆中子源和放射性中子源。

1、加速器中子源

这是核物理研究中最重要中子源，它利用加速器加速的各种带电粒子（如 d ， p 等）产生核反应获得中子。这种中子源的特点是可以在较广阔的能区内获得强度适中、能量单一的中子束流。

还可利用加速器产生的高能（数百 MeV ）脉冲强流电子束或质子束轰击 ^{238}U 等重靶，产生韧致辐射，再由光中子反应产生具有连续能谱的强中子源（称“白光”中子源）。



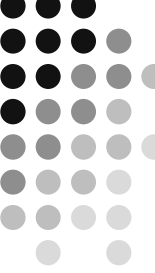
2、反应堆中子源

反应堆中子源是利用重核裂变，在反应堆内形成链式反应，不断地产生大量的中子。这种中子源的特点是中子注量率大，能谱形状比较复杂。

3、放射性中子源

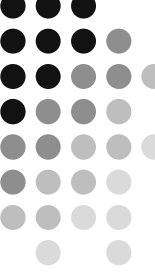
放射性中子源是利用放射性核素衰变时放出的射线，去轰击某些轻靶核发生 (α, n) 和 (γ, n) 反应，而放出中子的装置。也可直接利用超铀原子核自发裂变中放出的中子作为自发裂变中子源。

这类中子源的共同特点是：体积小，中子产额恒定不变，使用方便；但强度弱，多数是非单色中子源。



中子在介质中与介质原子的电子发生相互作用可以忽略不计。

中子与原子核的相互作用比较复杂。根据中子能量，可以产生各种作用过程，包括弹性散射、非弹性散射、辐射俘获、裂变和核反应等。



研究发现， (n, n) 和 (n, γ) 是最普遍的中子核反应过程，不论对于快中子、慢中子，或是中、重核，这两种过程都存在。

对于轻核和中量核，弹性散射是主要的核反应过程。因此常用轻核构成的材料做中子慢化剂，如核电站用轻水、重水、石墨慢化等。

慢中子与重核相互作用中，辐射俘获常是主要的过程。这是因为慢中子带入复合核的能量很少，重核**A**又大，每个核子分配到的能量更少，放出核子的几率自然很小，因此复合核的退激方式主要是发射 γ 光子。

非弹性散射通常在快中子与中、重核相互作用时才发生。

中子的慢化： 将能量高的快中子变成能量低的慢中子的过程。通常选用弹性散射截面大而吸收截面小的轻元素做慢化剂。

中子的扩散： 中子从密度大的地方不断向密度小的地方迁移。

中子的衍射： 中子与其他微观粒子一样，具有波粒二象性。与X射线衍射一样，中子波以掠射角射向晶面，在相邻两晶面上反射的中子波，若其程差等于中子波长的整数倍时，这两支反射波相干而加强，出现明显的衍射峰。

