

原子核物理

1. 原子核主要性质

1° 核素: A, Z 相同

同位素: Z 相同

同中子异位素: N 相同

同量异位素: A 相同

同质异能素: 能量不同的核素

2° 原子核半径 $r = r_0 A^{1/3}$, 表明核密度约为一常值

3° 原子核的自旋与磁矩

自旋 核的总角动量 = (核子的) 轨道角动量 + 自旋角动量

核的自旋: 核的总角动量

	质子、中子	偶偶核	奇偶核	奇奇核
自旋	$\frac{1}{2}$	0	半奇数 h	整数 h

磁矩 核的玻尔磁子 (核磁子): $\mu_N = \frac{e\hbar}{2m_p}$

核磁矩: $\vec{\mu}_j = g_j \mu_N \vec{j}$

j : 核自旋 g_j : 原子核 j 因子

$\mu_j = g_j \mu_N j$, 这是 $\vec{\mu}$ 在 z 轴投影的最大值。

j : 原子核的自旋量子数。

4° 核磁矩与磁场作用能 $E = -g_j \mu_N m_j B$, m_j 是核的自旋磁量子数。

跃迁间距 $\Delta E = g_j \mu_N B$, 高频磁场满足 $h\nu = \Delta E$ 时, 原子核强烈吸收磁场能量, 称为核磁共振。

5° 核的电偶极矩恒为零。

对于电荷分布为旋转椭球形的核, $Q \propto (c^2 - a^2)$ (不考)



长椭球 $Q > 0$

球形 $Q = 0$

扁椭球 $Q < 0$

6° 宇称: 描述微观粒子体系状态的波函数在空间反演变换下的奇偶性的物理量。

偶宇称: $\Psi(x, y, z) = \Psi(-x, -y, -z)$

奇宇称: $\Psi(x, y, z) = -\Psi(-x, -y, -z)$

宇称守恒: 孤立体系的宇称不会从偶性变为奇性, 或反过来。

核总宇称 = (核子的) 内禀宇称 \times 轨道宇称

核子内禀宇称为偶。核子的波函数称为 $(-1)^l$ ， l 为核子的轨道角量子数。
 总宇称 $\bullet P = (-1)^{\sum l_i}$
 弱相互作用中，宇称可能不守恒。

2. 核力.

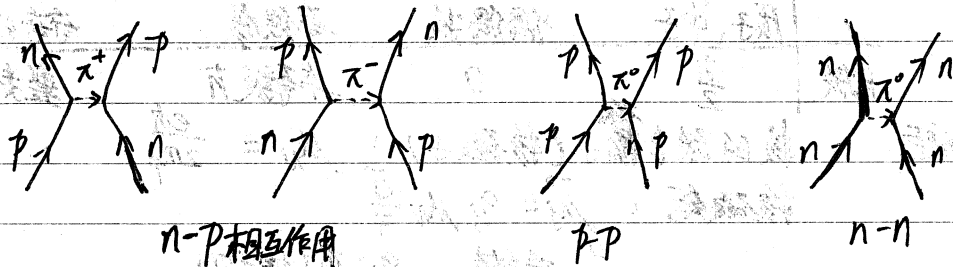
1° 强相互作用的性质：吸引、存在排斥核、短程、饱和、电荷无关、与核自旋方向相关

2° 核力的介子场理论.

介子场理论：核力是通过介子场传递的，介子场的量子是介子。

由于介子质量介于质子质量与电子质量之间，故称为介子。

π 介子传递核力的费曼图表示



3. 原子核的稳定性与结合能.

核素图：表明核素质子数 Z 和中子数 N 的图像。

β 稳定线：通过核素分布的带状区域中心的光滑曲线。

1° 核素的稳定区为 β 稳定线及其附近的带状区域。

2° $N=Z$ 直线上侧是丰质子区，下侧是丰中子区， β 稳定线起始沿 $N=Z$ 方向，然后渐渐偏向丰中子一侧。

3° 库力势能可以认为以 Z^2 增长，而核力势能以 Z 增长，故在 Z 较大时， Z 倾向于减小，以使核稳定。

4° Z 很大时，已经没有已知核素了。

原子核的结合能：核所具有的能量与相应独立核子的能量的差值。

1° 核子结合成原子核，质量减少，减少的质量称为质量亏损。

2° 结合能 $B(Z, A) = [ZM_H + (A-Z)m_n - M(Z, A)]c^2$

其中： M_H ：H 原子质量， m_n ：中子质量， $M(Z, A)$ ：核素 Z, A 的原子质量

3° 质量过剩 $\Delta(Z, A) \equiv [M(Z, A) - A]c^2$ (量纲：[能量])

则 $B(Z, A) = Z\Delta(^1H) + (A-Z)\Delta(n) - \Delta(Z, A)$

4° 比结合能: $\varepsilon \equiv \frac{B}{A}$, ε 越大, 原子核越稳定.

结合能的释放和利用

重核裂变: 链式反应必要条件: 临界体积, 临界质量.

轻核聚变: 聚变的自持条件: 密度大, 高温高密维持足够长时间.

4. 核结构模型

1° 液滴模型

结合能的唯象公式 $B(Z, A) = B_{\text{体积}} + B_{\text{表面}} + B_{\text{库仑}} + B_{\text{对称}} + B_{\text{奇偶}}$

$$= a_{\text{体积}} A - a_{\text{表面}} A^{\frac{2}{3}} - a_{\text{库仑}} \frac{Z^2}{A^{\frac{1}{3}}} - a_{\text{对称}} \frac{(N-Z)^2}{4A} + a_{\text{奇偶}} \delta A^{-\frac{1}{2}}$$

其中

δ	偶偶核	奇A核	奇奇核
	+1	0	-1

说明: 1° 表面能对应于张力 (排斥)

2° 库仑能为斥力

3° 对称能反映了原子核保持 $N=Z$ 的趋势

4° 奇偶反映了核中质子中子分别成对的趋势.

2° 壳模型

1° 壳模型认为每个核子在势阱中相对独立地运动。这个势场是其它核子的平均场, 对于接近球形的核, 这是一个有心场。由泡利不相容原理, 相邻能级被占满时, 核子间碰撞的概率很小, 故可以自由运动。

2° Mayer、Jensen 在势阱中加入了自旋-轨道耦合项, 成功地解释了幻数的存在。

3° Z 或 N 取幻数的核为幻核, 幻核最稳定。幻核又称为闭壳层。

3° 集体模型

1° 壳模型适用于闭壳层, 液滴模型适用于半充满壳层, 而集体模型处理两端中间的情况。

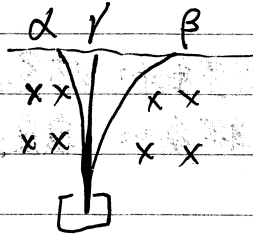
2° 壳模型认为核子独立运动, 液滴模型认为核是一个整体, 集体模型则综合考虑核子的独立运动和集体运动。

3° 集体运动使原子核变形, 势阱不再是球形的。集体运动分为旋转和振动。

远离闭壳层时, 低激发态为转动能级; 接近闭壳层时, 低激发态为振动能级。

5. 放射性.

1° α, β, γ 射线
粒子径迹



2° 衰变定律

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

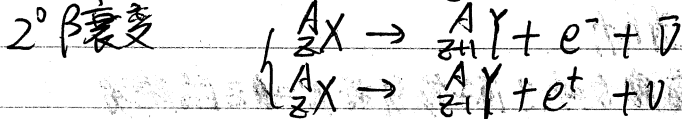
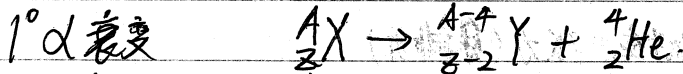
1° 平均寿命 $\tau = \frac{\int_0^{\infty} N(t) dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = 1.44 T$, T 为半衰期

2. 平均寿命比半衰期长一些.

2° 放射性活度: 单位时间内衰变的原子核数

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$$

6. 衰变过程:



中微子: 不带电, 几乎没有质量, $\frac{1}{2}$ 自旋.

