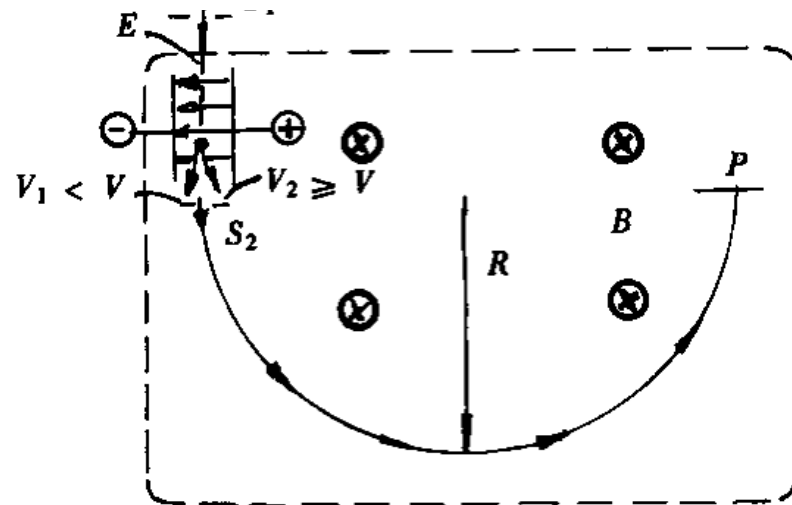


原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

§2 核的基态特性之一：

核质量

$${}^A_ZX_N: m_A \approx M_A - Zm_e + \sum_{i=1}^Z B_{ei} / c^2$$



质谱仪原理： 真空盒、均匀磁场、离子源、加速电极、接收极等

$$\frac{1}{2} M v^2 = qV$$

$$qBv = \frac{Mv^2}{R}$$



$$M = \frac{qB^2}{2V} R^2$$

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

“1+1≠2”

$${}_Z^AX_N: m_A < Zm_p + Nm_n$$

氢原子的质量

原子核的质量与组成它的核子质量之和的差值

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_A = \Sigma - O$$

忽略了Be

质量
亏损

用原子质量可表示为

$$\Delta m = (ZM_H + Nm_n) - M_A$$

核的结合能B

核子结合为某种核时释放的能量

$$\begin{aligned} B(Z, A) &= \Delta mc^2 \\ &= [Zm_p + Nm_n - m(Z, A)]c^2 \\ &= [ZM_H + Nm_n - M(Z, A)]c^2 \end{aligned}$$

表明:亏损的质量转化为
能量的释放. or:核能的
释放以质量亏损为代价.

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

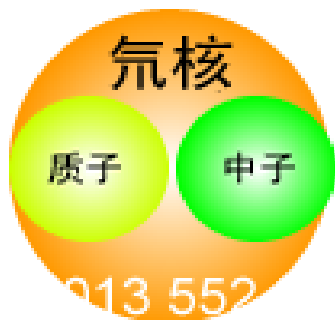
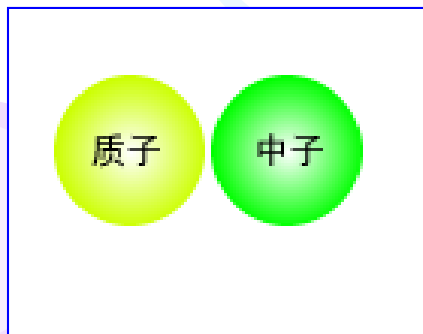
通过实验测出原子的质量 M ，即可由上式求出各种核素的结合能，反之亦然。因此，核的质量和结合能两词经常可等价使用。但至今仍无法从第一性原理导出核质量(或结合能)公式，以算出其它核素的质量(或结合能)。

平均结合能
(比结合能)

$$\varepsilon = \frac{B}{A}$$

原子核中每个核子结合能的贡献，
标志核子结合的松紧程度。

例



0.0023893u
减少的质量

质量亏损 Δm

$$B = \Delta mc^2$$

核的结合能 B

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

例1: 氘(${}^2\text{H}$)为氢的同位素,在海水中每100万个氢原子中约有150个氘原子,它由1个质子和1个中子组成. 计算氘原子的结合能.

$$\left. \begin{array}{l} m_n = 1.008665u \\ m_p = 1.007277u \\ m({}^2\text{H}) = 2.013552u \end{array} \right\} B = \Delta mc^2 = [(m_p + m_n) - m({}^2\text{H})]c^2$$
$$= 0.002390u \times 931\text{MeV}/u = 2.225\text{MeV}$$

$${}^2\text{H}: \varepsilon = \frac{2.225}{2} \approx 1.11\text{MeV};$$

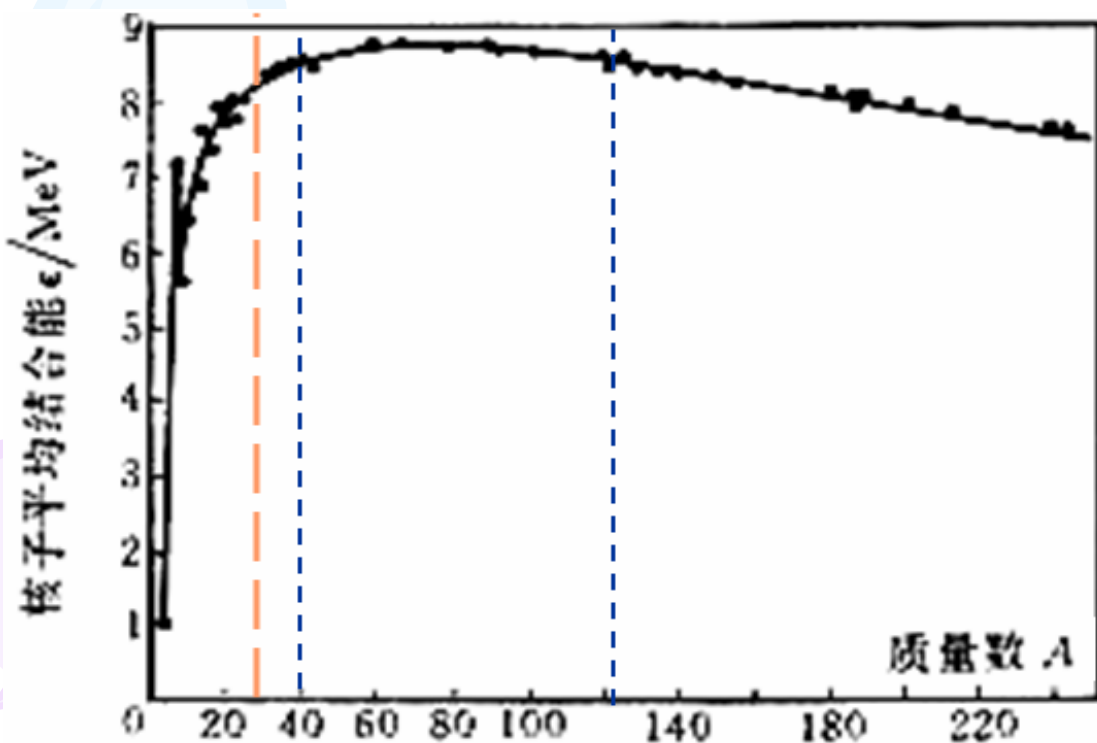
$${}^4\text{He}: \varepsilon = \frac{28.296}{4}$$
$$\approx 7.07\text{MeV};$$

$${}^9\text{Be}: \varepsilon = \frac{58.165}{9} \approx 6.46\text{MeV}$$

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

比结合能图

- 1) 当 $A < 30$ 时, 曲线波浪上升. 其中, α 核(${}^4\text{He}$ 核)的 ε 有极大(小)值, 具有较高(低)的稳定性, 峰的位置在 $A=4n$;
- 2) $A=40\sim 120$ 的中等核 ε 较高, 几乎为一常量. $\varepsilon \approx 8.6\text{MeV}$ 核力的饱和性
- 3) 轻核和重核的 ε 较中等核低(中高边低)。



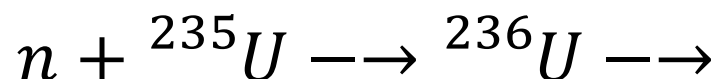
原子能 (核能)

原子核结合能发生变化时释放的能量

获得核能的两个途径

- 1) 重核裂变
- 2) 轻核聚变

裂变能估算



一个 ${}^{236}\text{U}$ 核裂变为两个质量相等的原子核时所放出的能量为

$$E = 2 \times 236 / 2 \times 8.5 - 236 \times 7.6 = 210 (\text{MeV})$$

一克 ${}^{235}\text{U}$ 全部裂变时约放出的能量约为
 $8 \times 10^{10} \text{J}$ ，相当于2.5吨煤燃烧的能量。

液滴模型

是N.Bohr和Я.И.френкел在1935年提出的。将原子核比作一个密度极大的、不可压缩的核液滴，而将核子比作液滴中的分子。

依

(1) 大多数原子核比结合能 ε 几乎相同,总结合能 $B \propto A$ 。说明核子间作用力具有短程性和饱和性;液滴分子间的作用力也具有短程性和饱和性。

据

(2) 除轻核外,原子核的体积 $V \propto A$,大多数原子核的密度接近于一个常数;这也和液体的密度是常数,不随液滴体积大小而改变是相同的。

C.F.von.Weiszacker考虑到核密度与 A 无关而近似为常数,比结合能随 A 的变化也不大(轻核除外),这些特征表明原子核犹如荷电液滴(一种近似的唯象的模型)。

半经验质量公式(1935年,Weiszacker公式)

$$B(A, Z) = B_V - B_S - B_C - B_{sym} + B_P + B_K$$

体积能: $B_V = \alpha_V A$

表面能: $B_S = \alpha_S A^{2/3}$

库仑能: $B_C = \alpha_c Z^2 A^{-1/3}$

对称能: $B_{sym} = \alpha_{sym} (Z - N)^2 / A = \alpha'_{sym} (2Z - A)^2 / A$

对能项: $B_P = \alpha_p \delta A^{-1/2(3/4)}; \delta = \begin{cases} +1 & (ee \text{核}, 166, \text{最稳定}) \\ 0 & (oA \text{核}) \\ -1 & (oo \text{核}, 9, \text{最不稳定}) \end{cases}$

壳效应: 一般不考虑

自然界中
有**280多**
种**稳定核**
素

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

$$M(A, Z) = ZM(^1H) + (A - Z)m_n - B(A, Z)/c^2$$

A>15,较为准确;A<15,精确度较差.因为核子数少,与理想液滴偏差较大.

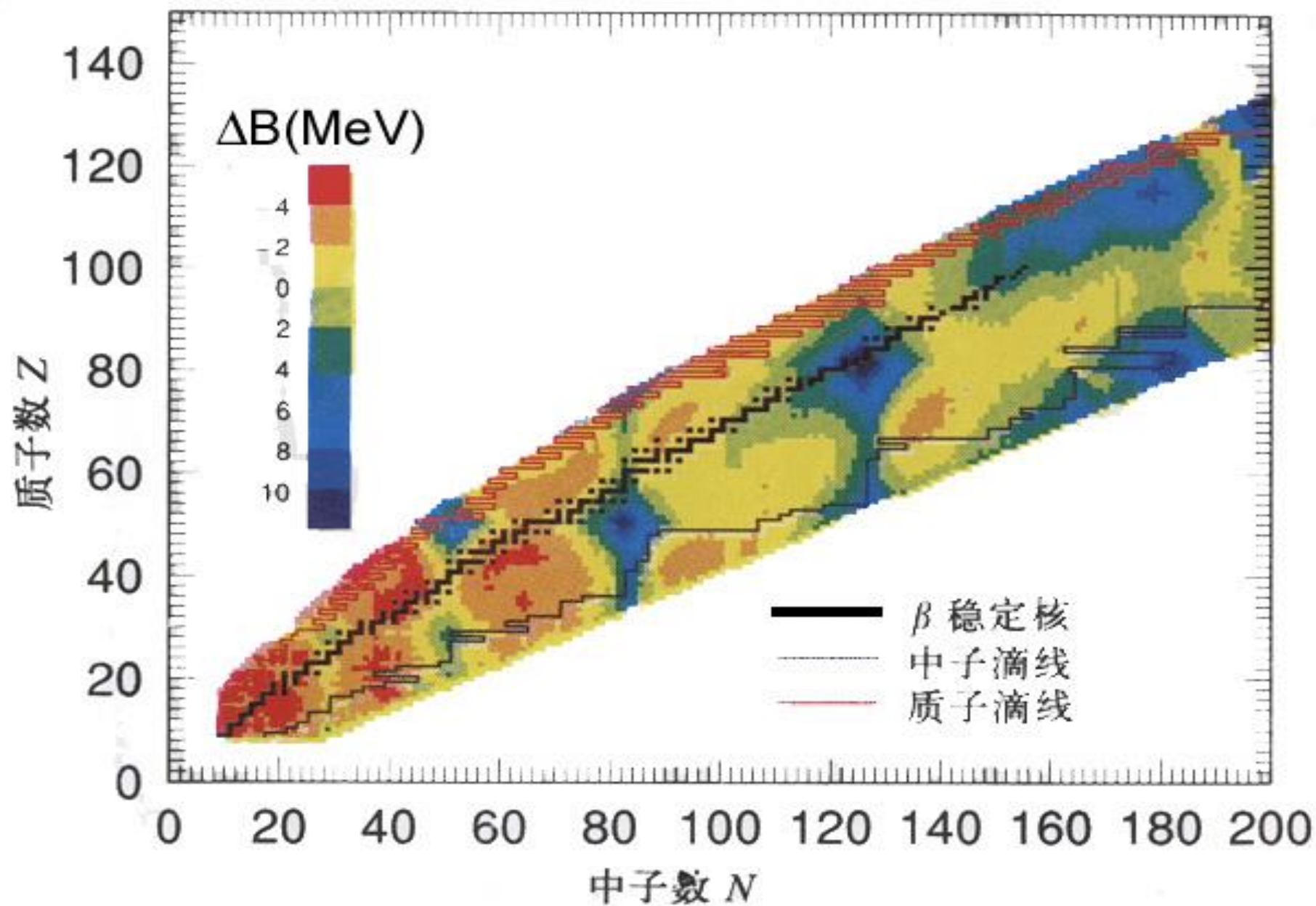
原子核	^{16}O	^{52}Cr	^{98}Mo	^{197}Au	^{238}U
质量(实验值)	16.00000	51.956	97.943	197.03	238.12
质量(计算值)	15.99607	51.959	97.946	197.04	238.12

证明了β稳定线
稳定同量异位素

$$\frac{\partial M(A, Z)}{\partial Z} \Big|_{A=C=0} \Rightarrow Z = \frac{A}{1.98 + 0.0155A^{2/3}}$$

A=25的最稳定核是 $^{25}_{12}Mg$ 而 $^{25}_{13}Al$ 和 $^{25}_{11}Na$ 都是不稳定的。

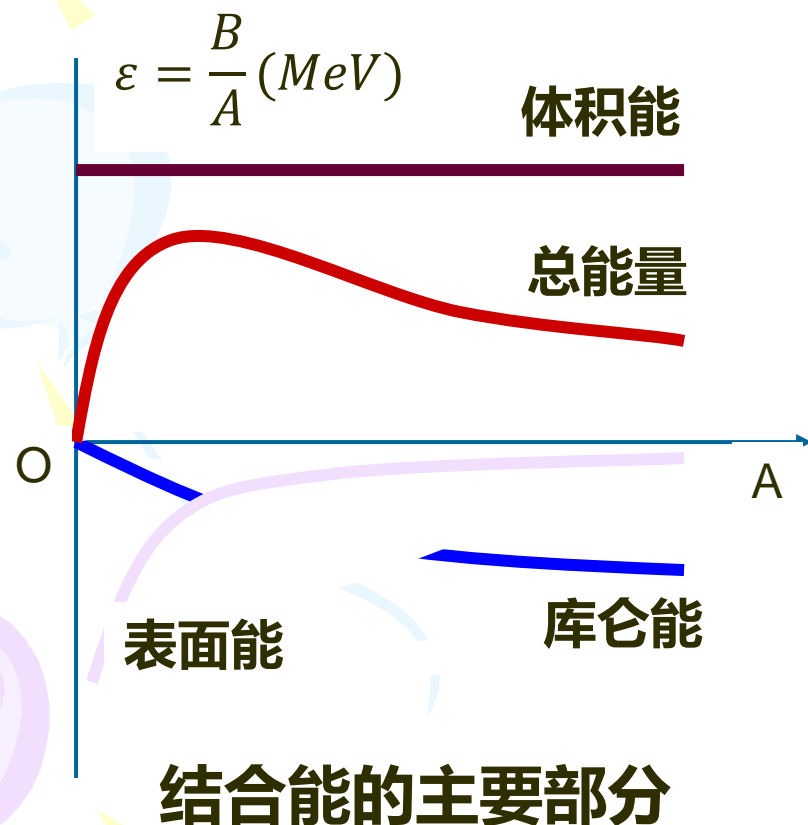
原子核物理概论 §2 核的基态特性之一



原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

在魏扎克半经验质量公式中，起主导作用的是前三项中。相关系数可由实验或计算得出。分别为：

$$\begin{cases} a_V = 15.8 \text{ MeV} \\ a_S = 18.3 \text{ MeV} \\ a_C = 0.72 \text{ MeV} \end{cases}$$



第一性原理：某些硬性规定或推演得出的结论,称为“理论性统计数据”；

经验参数：大量实例得出的规律性数据.这些数据可来源于第一性原理,也可来自于实验,称为“实验统计数据”；

半经验：某些原理或数据来源于第一性原理,但推演过程中加入了一些假设.

液滴模型
成功之处

- (1) 解释说明重核的裂变；
- (2) 导出结合能半经验公式。

液滴模型
不足之处

- (1) 简单地把原子核当作液滴来处理，是很粗糙的，忽略了原子核内部结构的细节，不能给出核内核子运动变化情况。
- (2) 无法解释和说明核的角动量，宇称，磁矩等性质。

原子核物理概论 §2 核的基态特性之一

1936年N.Bohr用这个模型计算核反应截面，由此说明了一些核现象。

1939年N.Bohr和J. A. Wheeler在解释重核裂变时，又用了液滴模型。

但是早期的液滴模型没有考虑核子运动，所以不能说明核的自旋等重要性质。后来加进某些新的自由度，液滴模型又有新的发展，为核的集体运动和裂变提供了形象化的几何模型。即使在今天，液滴模型仍然经常被使用，特别是在超重核的研究中，它依然在发挥作用。