

${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{12}\text{C}$ 超核对称性的分析

张禹顺 李扬国

王滩滩

(中国科学院高能物理研究所) (中国科学院理论物理研究所)

阮图南

(中国科学技术大学)

摘 要

本文通过对目前超核实验的分析,提出了单重子结合能满足 $SU(3)$ 么正对称性的假设。利用这个假设,解释了目前超核实验中的某些事实。根据这个假设提出了 Σ 超核激发态存在的可能性。并指出 Σ 超核具有若干性质。

目前实验上已经积累了许多 Λ 超核资料^[1,2] 近年来有关 Σ 超核的实验开始出现^[3,4]。

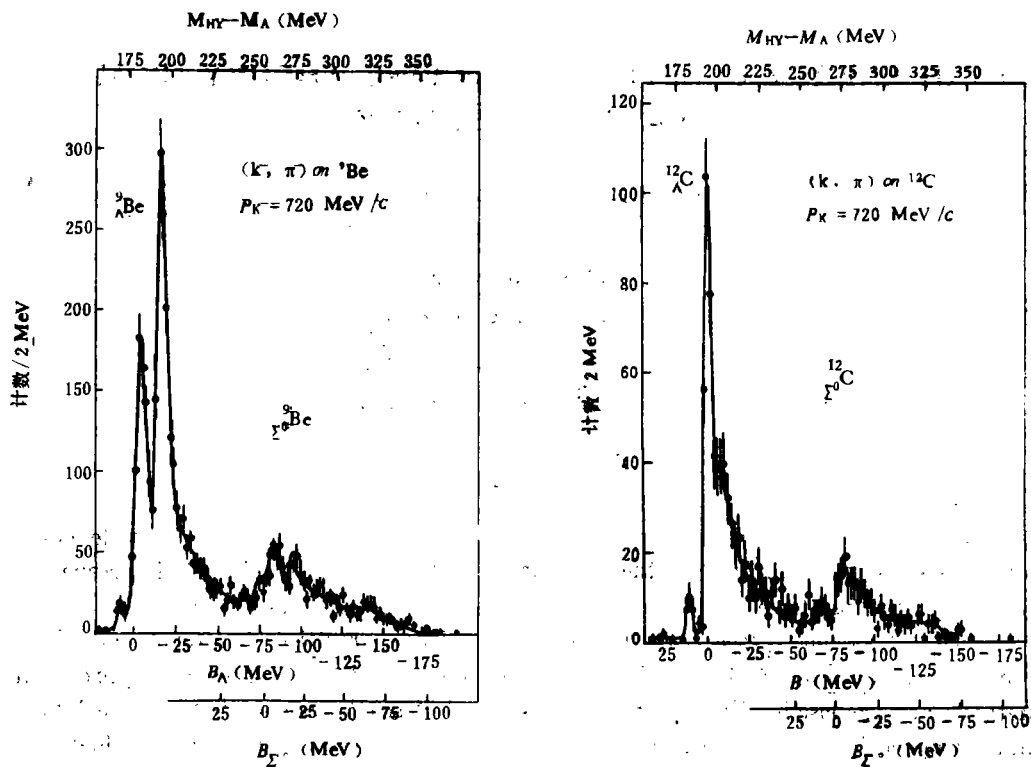


图1 引自 CERN-EP/79—97(1979)

本文1980年6月11日收到。

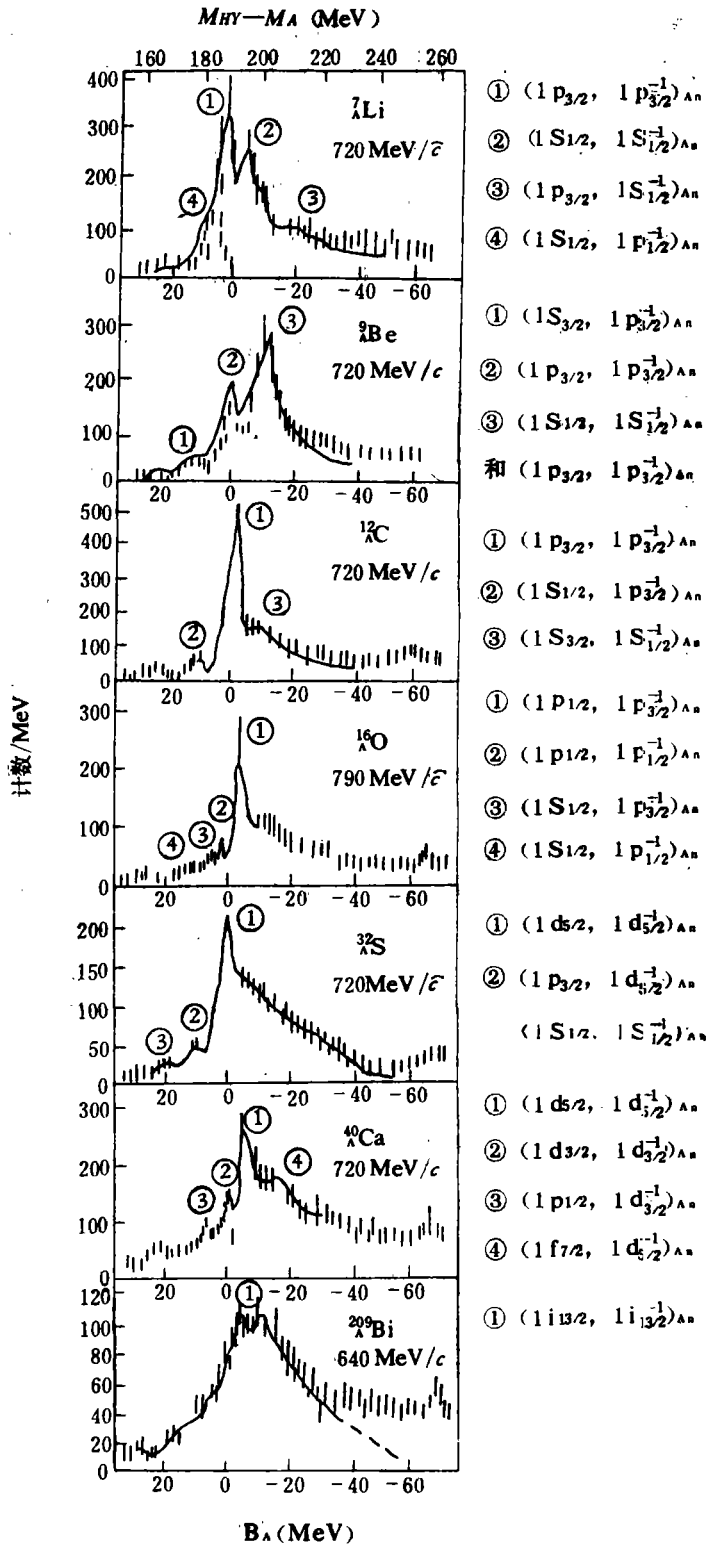


图 2

这些实验对研究超子与核子的相互作用十分有利。目前,一般通过奇异交换反应产生 Λ 或 Σ 超核。如图1所示的是 ${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{12}\text{C}$ 的(K^- , π^-)反应的能谱^[4],而图2所示的是另外一些能谱^[1,3]。从这些能谱中可以看出存在以下的超核与原子核的质量关系^[5]

$$M_{\text{超核}} - M_{\text{靶核}} = M_{\text{超子}} - M_{\text{核子}} + B_{\text{核子}} - B_{\text{超子}} \quad (1)$$

其中 M 和 B 分别是粒子的质量和结合能。当 $B_{\text{核子}}$ 等于靶核的最外壳中子的分离能时,实验表明,对于不同核的最外层的壳(或者相对应的壳),如 ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{12}\text{C}$ 的($1p_{3/2}$, $1p_{3/2}^-$) $_{An}$; ${}^{\text{C}}$ 的($1p_{3/2}$, $1p_{3/2}^-$) $_{An}$, ${}^{32}\text{S}$ 的($1d_{5/2}$, $1d_{5/2}^-$) $_{An}$ 和 ${}^{209}\text{Bi}$ 的($1i_{3/2}$, $1i_{3/2}^-$) $_{An}$,它们的超核与原子核的质量差几乎等于常数,即

$$M_{\text{超核}} - M_{\text{靶核}} \approx \text{常数} \quad (2)$$

对于 Λ 超核 $M_{\text{超核}} - M_{\text{靶核}}$ 小于 200MeV; 对于 Σ 超核 $M_{\text{超核}} - M_{\text{靶核}}$ 小于 280MeV。而 $M_{\Lambda\text{核子}} - M_{\text{中子}} = 176\text{MeV}$ $M_{\Sigma^0\text{核子}} - M_{\text{中子}} = 253\text{MeV}$ 。由此可见,在奇异交换反应中,有这么一个特点:即通过无反冲产生超核过程所得到的超核与靶原子核的质量差,主要表现在一个超子替换靶核中的一个核子间的质量差上;在两种不同超核之间的质量差,主要表现在一个超子替换另一个超子的质量差上。

有关 Σ 超核的实验^[3],除了上述特点以外还有 Σ^0 -核的相互作用与 Σ^- -核的相互作用大体相同的特点。

二、

根据上述实验事实,我们提出下列假设:

1. 假设超核中的超子在核子组成的平均场中独立的运动。
2. 假设在超核中单重子结合能 B_n , B_p , B_Λ 和 B_Σ 等满足 $SU(3)$ 么正对称性。 T_3 张量的破坏导致单重子结合能 B_n , B_p , B_Λ 和 B_Σ 等的分裂。这种分裂类似于重子八重态的分裂。

超核结合能八重态的权图如图3所示

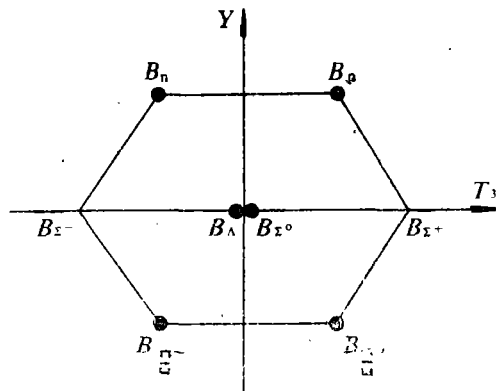


图 3

显然,超核结合能八挂图上的所有单重子结合能指的是同一条能级上的结合能。更形象的说,一条能级上挂一个八挂图。

$T_{\frac{3}{2}}$ 分裂形式上满足通常的 Gall-Mann-Nishijime 质量公式:

$$B_{\Sigma T} = a + bY + c \left[T(T+1) - \frac{1}{4} Y^2 \right] \quad (3)$$

其中 $B_{\Sigma T}$ 是重子能合能, a, b, c 是常数, T, Y 分别是重子的同位旋、超荷。(3)式可称为单重子结合能公式。从(3)式可以得到如下单重子结合能的关系

$$\begin{aligned} B_p &= B_n = B_N, & B_{\Sigma^0} &= B_{\Sigma^-} = B_{\Sigma^+} = B_{\Sigma}, \\ B_{\Sigma^-} &= B_{\Sigma^0} = B_{\Sigma}, & B_{\Sigma} &= \frac{1}{2} (B_{\Sigma} + 3B_A) - B_N. \end{aligned} \quad (4)$$

三、

根据上述假设,下面讨论 ${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{12}\text{C}$ 超核的实验能谱。

1. 实验指出^[2], Σ 与核的相互作用势,对于 Σ^0 超核与 Σ^- 超核几乎是一样的。这一点,从我们的假设来看是显然的。因为对同一个表示而且状态也相同的情况下,从(4)式可知

$$B_{\Sigma^0} = B_{\Sigma^-}.$$

这反映了相互作用势与电荷无关。因此,我们又从 $B_{\Sigma^0} = B_{\Sigma^-}$ 可知, Σ 与核的相互作用势,对于 Σ^0 超核与 Σ^- 超核也几乎是一样的,它也反映了相互作用势与电荷无关。

2. 由于单重子结合能八重态是属于同一个 $SU(3)$ 不可约表示,因此,在这个表示中状态的外部量子数是一样的。换言之,在 Λ 超核中,有一条 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Lambda n}$ 能级,在 Σ^0 超核和 Σ^- 超核中必然存在相应的一条 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^0 n}$ 和 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^- n}$ 。如 ${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{12}\text{C}$ 实验上已找到 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Lambda n}$ 和 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^0 n}$ ^[1,3]。我们深信,在 ${}^9\text{Be}$ 和 ${}^{12}\text{C}$ 中,也可以找到 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^- n}$ 这条能级。

3. 由(4)式可知,实验上给出的 B_A, B_{Σ} 指的是超子替换靶核某壳中的一个核子(当然,超子也可以到被替换核子的不同的壳上)。对于同一壳[如 $(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Lambda n}$, 即 $1p_{3/2}$ 壳上出去一个中子进去一个 Λ]。(4)式中的 B_N 应该等于 0。于是

$$B_{\Sigma} = \frac{B_{\Sigma} + 3B_A}{2}. \quad (5)$$

从 ${}^9\text{Be}$ 实验谱上^[3] 量得 $B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Lambda n}} = -6\text{MeV}$, 而 $B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^0 n}} \simeq -9\text{MeV}$, 则按(5)式得

$$B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^- n}} \simeq -13.5\text{MeV}$$

同样,对于 ${}^{12}\text{C}$ ^[3] 有 $B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Lambda n}} \simeq -2\text{MeV}$, $B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^0 n}} = -4\text{MeV}$, 则按(5)得

$$B_{(1p_{3/2}, 1p_{3/2}^{-1})_{\Sigma^- n}} \simeq -5\text{MeV}.$$

由于目前 Σ 超核实验刚刚开始,误差不小,同时,在上述计算中,已知值都是从图上量得的,难免带来误差。因此,上述结果是粗糙的。但是,只要有准确的已知值,根据(5)式所得的 B_{Σ} 的值误差小于 5%。

四、

综上所述,作如下讨论:

1. 根据在超核中单重子结合能满足 $SU(3)$ 不变的假设, 可以推出有 Ξ 超核激发态的存在. 利用单重子结合能八挂图和 Λ, Σ 超核谱, 可以得到有关 Ξ 超核谱和结合能的某些知识. 由于 Ξ 超子的奇异数为 -2 , 因此, 对 Ξ 超核进行一些初步的研究和实验上的探讨, 也许是有益的.

2. 在超核中, 按单重子结合能八挂图, 可分四类相互作用: 核子与核; Λ 超子与核; Σ 超子与核; Ξ 超子与核的相互作用. 因而存在四类能谱, 这四类能谱的结构相似, 形成所谓奇异相似态.

3. 在 s 壳上挂个八挂图, 当用(4)式计算 B_{Ξ} 时, 需要知道 B_N . 由于 Pauli 原理的限制, 核子不可能进入 s 壳, 而且要知道一个核子在 s 壳的分离能是很难的. 如果知道最外壳一个中子的分离能, 还需要加上最外壳到 s 壳间的距离, 这段距离是难算的, 故很难估计 s 壳的 B_{Ξ} .

最后必须指出, 由于目前实验资料的不足, 故本文只是一种初步的探讨; 结论是否正确, 有待于实验来证实.

参 考 文 献

- [1] B. Povh, *Hypernuclei*, Preprint 1979.
- [2] M. May, in "Proceedings of the Kaon Factory Workshop", Vancouver, August 13—14, 1979. (Editor. M. K. Chaddock) p. 111.
- [3] W. Brückner et al., in "Proceedings of the Kaon Factory Workshop", Vancouver, August 13—14, 1979, p. 124; p. 136.
- [4] R. Bertini, CERN-EP/79-37.

SYMMETRICAL ANALYSIS OF ${}^9\text{Be}$ AND ${}^{12}\text{C}$ HYPERNUCLEI

ZHANG YUN-SHUN LI YANG-GUO

(*Institute of High Energy Physics, Academia Sinica*)

WANG WEI-WEI

(*Institute of Theoretical Physics, Academia Sinica*)

RUAN TU-NAN

(*University of Science and Technology of China*)

ABSTRACT

By analyzing the experimental data of the hypernuclei, we propose a hypothesis that the single baryon binding energy satisfies the $SU(3)$ unitary symmetry. By this suggestion, some experimental facts in this field can be explained and we also propose the possibility of the existence of excited states of the hyper Ξ nuclei. Some properties of this Ξ hyper-nuclei is also pointed out.