

文章编号: 1007-4627(2005)04-0344-07

密度依赖的结团模型研究原子核的 α 衰变和结团放射性*

任中洲^{1,2}, 许 昌²

(1 兰州重离子加速器国家实验室原子核理论中心, 甘肃 兰州 730000;

2 南京大学物理系, 南京 210008)

摘 要: 讨论了原子核 α 衰变和结团放射性的一个新的结团模型: 密度依赖的结团模型 (DDCM)。DDCM 基于微观真实的核势和库仑势, 可以在统一的框架下计算原子核的各种衰变模式的半衰期。通过对原子核 α 衰变和结团放射性的系统计算, 发现 DDCM 能够精确给出原子核 α 衰变和结团放射性的半衰期, 理论值和实验值的偏差一般在 3 倍以内。这表明密度依赖的结团模型具有很好的适用性并可以为将来的实验提供较准确的预言。

关键词: α 衰变; 结团放射性; 半衰期; 密度依赖的结团模型

中图分类号: O571.32⁺¹ **文献标识码:** A

1 引言

原子核的衰变问题是核物理领域的热点问题之一^[1,2]。迄今人们发现的约 2 000 多种核素中, 绝大部分核素是不稳定的^[3]。这些不稳定核素的衰变模式除了常见的 α 衰变、 β 衰变和 γ 跃迁外, 还有质子放射性、结团放射性以及核的自发裂变。原子核放射性的研究对核物理的发展和有着重要的意义。例如, 超重新核素的鉴别、地质年代的测定和核能的利用等都是通过原子核的放射性实现的。近年来, 由于现代大型加速器的建成和放射性核束实验的发展, 新的实验数据, 特别超重新核素方面的实验数据不断积累^[1-4]。这些衰变实验数据不仅可以检验和发展原有的衰变理论及模型, 还可以推进对核结构和原子结构的深入研究^[5-11]。在原子核衰变的研究中, 我们建立了一个新的结团模型: 密度依赖的结团模型 (density-dependent cluster model, 简称 DDCM)^[12-17]。DDCM 的核势部分由重整化的 M3Y 核子-核子相互作用 (RM3Y) 与结团和子核的物质密度分布的双折叠积分计算, 库仑势部分是由质子-质子库仑相互作用与结团和子核的电荷密度分布的双折叠积分计算。M3Y 核子-核子相互作用

是从 Reid 势的 G 矩阵元中提取, 并正确地包括了核子-核子之间相互作用的低密度行为和核子交换行为^[12-17]。在 DDCM 的框架下, 可以计算不同类型的衰变半衰期 (质子衰变、 α 衰变、结团放射性以及自发裂变)^[12-19]。这里主要介绍 DDCM 对 α 衰变和结团放射性的研究, 目前 α 衰变是鉴别超重新核素的有效方法之一, 对 α 衰变的研究还可以获得有关原子核结构的详细信息。微观的 α 衰变模型可以对实验数据进行系统检验, 并做出可靠的预言。我们利用 DDCM 对整个质量区域上的 α 衰变寿命进行详细的计算, 并和实验值进行系统比较。对于结团放射性, 实验上已经证实了许多重核确实存在重的结团放射性 (^{14}C , ^{20}O , ^{24}Ne , ^{28}Mg , $^{32,34}\text{Si}\dots$), 但系统的分析和研究工作仍比较少。我们利用 DDCM 对重核的结团放射性 ($^{14}\text{C} - ^{34}\text{Si}$) 的实验数据进行了系统的分析和研究, 并提出了一些新的观点以及计算结团放射性寿命的新公式^[17]。

2 理论框架

DDCM 把母核的基态看成有一个 α 粒子 (或结团) 处于围绕子核的轨道上, α 粒子 (或结团) 相对于

收稿日期: 2005 - 09 - 08

* 基金项目: 国家杰出青年基金资助项目 (10125521); 教育部博士点基金资助项目 (20010284036); 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G2000077400); 中国科学院知识创新工程重点方向性项目 (KJ CXZ-SW-No2)

作者简介: 任中洲 (1962-), 男 (汉族), 河南南阳人, 教授, 博士生导师, 从事核物理理论和量子混沌研究;
E-mail: zren@nju.edu.cn

核的势为^[12-17]

$$V(r) = V_N(r) + V_C(r) + \frac{\hbar^2}{2\mu} \left(\frac{L + \frac{1}{2}}{r^2} \right)^2, \quad (1)$$

其中, 核势采用微观的双折叠势(图 1)^[12-17]

$$V_N(R) = \lambda \int dr_1 dr_2 \rho_1(r_1) \rho_2(r_2) g(E, |s|), \quad (2)$$

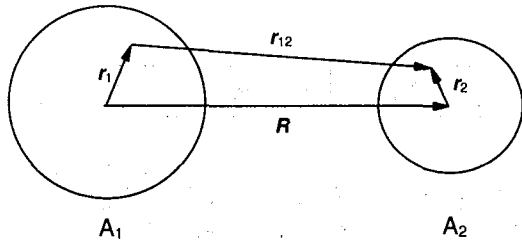


图 1 双折叠势的坐标示意图

A_1 代表子核, A_2 代表 α 粒子或结团。

核势中 λ 是重整化因子, $\rho_1(r_1)$ 是 α 粒子(或结团)的物质密度分布。对于 α 粒子, 物质密度分布取电子散射的实验密度分布

$$\rho_1(r_1) = 0.4299 \exp(-0.7024 r_1^2), \quad (3)$$

对于 ^{12}C , ^{20}O 等结团, 物质密度分布取标准两参数费米分布的形式

$$\rho_1(r_1) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r_1 - c}{a}\right)}, \quad (4)$$

双折叠势中 $\rho_2(r_2)$ 是子核的物质密度分布^[12-17]

$$\rho_2(r_2) = \frac{\rho_0}{1 + \exp\left(\frac{r_2 - c}{a}\right)}, \quad (5)$$

这里 ρ_0 的值由子核的质量数 A_d 确定, 常数 $c = 1.07A_d^{1/3} \text{ fm}$, $a = 0.54 \text{ fm}$ 。核势中的 $V(s)$ 项是 M3Y 有效核子-核子势^[7]

$$g(E, |s|) = 7999 \frac{\exp(-4s)}{4s} - 2134 \frac{\exp(-2.5s)}{2.5s} + J_{00} \delta(s), \quad (6)$$

$$J_{00} = -276(1 - 0.005 E_\alpha/A_\alpha). \quad (7)$$

为了和 DDCM 中核势自洽, 库仑势也采用真实的双折叠库仑势^[12-17]

$$V_C(R) = \int dr_1 dr_2 \frac{e^2}{|\mathbf{R} + \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|} \rho'_1(r_1) \rho'_2(r_2), \quad (8)$$

$\rho'_1(r_1)$ 和 $\rho'_2(r_2)$ 分别是 α 粒子(或结团)和子核的电荷密度分布

$$\rho'_1(r_1) = \rho'_{01} \exp(-0.7024 r_1^2)$$

$$\rho'_1(r_1) = \frac{\rho'_{01}}{1 + \exp\left(\frac{r_1 - c}{a}\right)}, \quad (9)$$

$$\rho'_2(r_2) = \frac{\rho'_{02}}{1 + \exp\left(\frac{r_2 - c}{a}\right)}, \quad (10)$$

ρ'_{01} 和 ρ'_{02} 的值分别由 α 粒子和子核的电荷数确定。

$$\int \rho'_i(\mathbf{r}) d\mathbf{r} = Z_i. \quad (11)$$

在 α 衰变的计算中, 首先对 $V(r) = Q$ 进行数值求解, 得到 3 个经典转折点 R_1 , R_2 和 R_3 。核势中重整化因子 λ 根据 Bohr-Sommerfeld 量子化条件对衰变能 Q 调节^[12-17]。

$$\int_{R_1}^{R_2} dr \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} [Q - V(r)]} = (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$= (G - L + 1) \frac{\pi}{2}, \quad (12)$$

其中主量子数 G 取为

$$G = 20 \quad (N > 126)$$

$$G = 18 \quad (82 < N \leq 126)$$

$$G = 16 \quad (N \leq 82). \quad (13)$$

在半经典近似下的准束缚态衰变宽度公式为^[12-17]

$$\Gamma = PF \frac{\hbar^2}{4\mu} \exp(-2 \int_{R_2}^{R_3} dr k(r)), \quad (14)$$

R_3 是第三转折点, P 是 α 粒子在母核内的预形成几率, F 是修正因子, 由下面的表达式给出:

$$F \int_{R_1}^{R_2} dr \frac{1}{k(r)} \cos^2 \left(\int_{R_1}^r dr' k(r') - \frac{\pi}{4} \right) = 1, \quad (15)$$

$k(r)$ 是波数:

$$k(r) = \sqrt{\frac{2\mu}{\hbar^2} |Q - V(r)|}, \quad (16)$$

最后 α 衰变(结团放射性)的寿命可以用衰变宽度表示:

$$T_{1/2} = \hbar \ln \frac{2}{\Gamma} \quad (17)$$

对于 α 粒子或结团的预形成几率, 目前微观的计算还很困难, 实验上测得 α 粒子的预形成几率在远离壳层的区域基本保持常数, 所以重核和超重核, DDCM 通常将 α 粒子预形成几率取为常数。对偶偶核假定 α 粒子已经存在于母核内(即偶偶核 $P=1.0$), 对于奇 A 核和奇奇核, 由于奇核子的阻塞效应, α 粒子预形成几率取为(奇偶核 $P=0.6$, 奇奇核 $P=0.35$)。对于母核原子序数 $Z < 80$ 的核素的 α 衰变, 计算发现 α 粒子预形成几率比重核和超重核的 α 粒子预形成几率略小。通过对原子序数 $50 < Z < 80$ 的核素的 α 衰变寿命的拟合, 我们获得一套对该区域适用的参数: $P=0.43$ (偶偶核), $P=0.35$ (奇偶核), $P=0.18$ (奇奇核)。对于结团放射性, 我们让结团的预形成几率随结团的质量数或电荷数变化并对实验数据进行拟合, 可以获得两套好的结团预形成几率的表达式: $10^{-(0.4A_1-2)}$ 和 $10^{-(0.011674Z_1Z_2-2.035446)}$ 。

3 理论计算结果及分析

首先讨论 M3Y 核子-核子势的特点。M3Y 核子-核子势最初由 Bertsch 等^[6]提出, 它是通过拟合 Reid 势的 G 矩阵元获得。DDCM 中采用了 Satchler 和 Love^[7]给出的 M3Y 势的形式和参数。M3Y 势本身与核物质密度无关, 它代表了从零到正常核物质密度的一种平均作用(特别是包括了 $1/3$ 核物质密度处的相互作用)。根据 Brink 和 Castro^[8]的计算, α 结团可以出现在重核的表面, 其密度对应重核内部密度 $1/3$ 处(即 $1/3 \rho_0$ 处)。最近 Takemoto 等^[9]的计算和其他一些计算也支持这种观点, 所以 M3Y 相互作用正确包含了原子核的表面效应, 能够很好地描述靠近原子核表面的散射数据。M3Y 的这种性质对同样发生在表面附近的 α 衰变也非常重要。

如图 2 所示, DDCM 中的核势源于真实核力 Reid 势, 由重整化的 M3Y 核子-核子相互作用(RM3Y)与结团物质密度分布和子核物质密度分布的双折叠积分计算得到, 因此 DDCM 有很好的微观基础。在 DDCM 中, 核势和库仑势中没有可调参数, 积分中结团和子核的密度分布的形式和参数都

是由高能电子散射实验测得, 折叠势中 M3Y 核子-核子势和质子-质子库仑势也是确定的。核势的重整化因子 λ 通过 Bohr-Sommerfeld 量子化条件和实验的衰变能确定, 以保证准束缚态的存在。另外, DDCM 中准束缚态衰变宽度表达式来源于双阱近似模型(Two-Potential Approach), 和别的 α 模型相比较, TPA 模型可以精确给出 Gamov 项前面的因子^[5]。

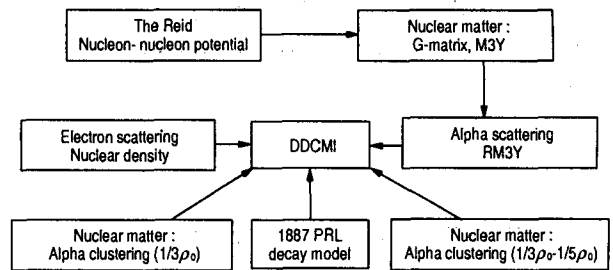


图 2 密度依赖的结团模型(DDCM)的框图

在各种不同的衰变模型中, 理论半衰期的长短主要是由 Gamov 因子决定, 即依赖于第二个和第三个转折点 (R_2, R_3) 之间的积分大小 ($\int_{R_2}^{R_3} dr \sqrt{2\mu / \hbar^2 |Q - V(r)|}$)。由于核力是短程力而库仑力是长程力, 在 R_2 和 R_3 之间存在着一个截断半径 R_c 。当 $r > R_c$ 时, 核力可以近似看成 0。因此 Gamov 项的积分可以分为两部分。第一部分为核力和库仑力共同作用下的积分 G_1 , 第二部分为库仑力单独作用下的积分 G_2 。一般来说, G_2 的值总是大于 G_1 。但对于不同的衰变模式, Gamov 项中 G_1 和 G_2 所占的百分比是不同的。例如, 在质子、 α 粒子和结团放射性中, 第三个转折点分别在 80, 30 和 20 fm 左右, 导致在质子衰变中 G_2 所占的百分比最大, 在结团放射性中 G_2 所占的百分比最小。我们知道, 衰变半衰期正比于 $\exp[2(G_1 + G_2)]$, 虽然 G_1 所占的比例较小, 但 G_1 的大小变化 0.5, 就可以导致寿命变化 $\exp[2 \times 0.5] \sim 3$ 倍。也就是说, 核势的细节, 特别是核势的表面部分对衰变寿命的影响是很大的。即使对于质子放射性(G_2 占到 Gamov 因子的 80%—90%), 核势对寿命的影响也是不能忽视的。图 3 给出了 ^{180}W 中 α 粒子和 ^{222}Ra 中 ^{14}C 结团的核势和库仑势的总作用势图。从图可以看出, DDCM 的核势有一个弥散的表面和一个长的尾部, 在接近核表面的时候, 核势变化比较平缓。

这种弥散的行为在 DDCM 中是一个普遍的情况并且在散射问题中也早已知道^[7]。DDCM 中核势很好地包括了核势的表面效应，这对半衰期的计算是非常重要的。

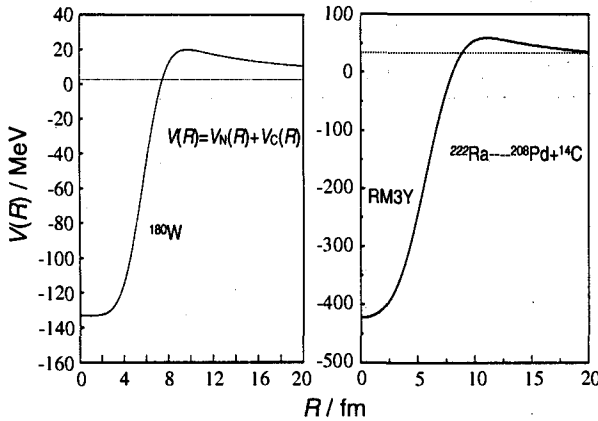


图 3 ¹⁸⁰W 中 α 粒子和 ²²²Ra 中 ¹⁴C 结团的总作用势(核势 + 库仑势)

在 DDCM 的框架中，我们对整个质量区域上的 α 衰变做了详细和系统的计算，由于 α 衰变寿命的长短对衰变能 Q 非常敏感，所以 DDCM 采用实验测量的衰变能并包括了电子屏蔽修正^[3]。DDCM 计算中假定 α 衰变中 α 粒子带走的角动量都是 0，对于偶偶核这种假定是成立的；对于奇 A 核和奇奇核，这样的假定也是合理的^[3]。对于不同的核素， α 衰变的半衰期在一个非常大的范围内变化 (10^{-8} s— 10^{19} a)。虽然这个变化范围很大，但 DDCM 计算的 α 衰变的理论值与实验数据的差别基本在 3 倍以内。为了让理论和实验能有直观地比较，我们在图 4 中给出了具有代表性的 $Z=70, 80, 90, 100, 110$ 的同位素链的 α 衰变寿命的禁戒因子 ($HF = T_{exp}/T_{cal}$)。从图 4 中可以看出，理论寿命和实验值符合得很好，对于偶偶核，理论和实验的差别在 3 倍以内；对于奇 A 核和奇奇核，理论和实验的符合程度基本上也是令人满意的，大多数核素的符合程度也在 3 倍以内。

图 5 给出了 $Z=106-118$ 的超重核的 α 衰变寿命的禁戒因子。从图 5 可以看出，在超重核区域，DDCM 给出的理论寿命也能够和实验很好地符合，唯一的例外是核素 ²⁸⁷114，理论和实验之间的差别较大，实验测得的 ²⁸⁷114 的 α 寿命为 5.5^{+10}_{-2} s^[2]，DDCM 给出的理论值为 0.1 s。造成这种较大差异的原因可能是非禁戒跃迁的假定对 ²⁸⁷114 不适用，

或者是由于 $N=173$ 附近壳结构的影响。总体来说，DDCM 对超重核的 α 寿命的计算是十分准确的，如果结合好的核结构或核质量模型，输入准确的理论 α 衰变能，DDCM 可以对未知质量区的核素的 α 衰变寿命给出可靠的预言。

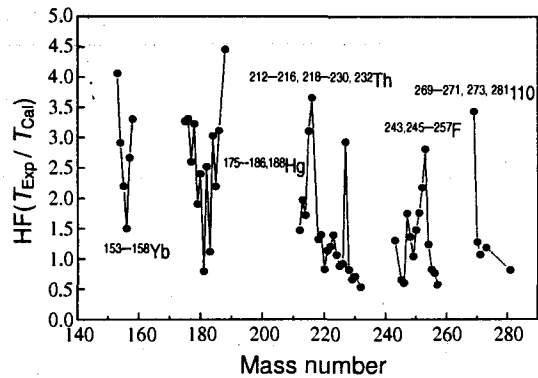


图 4 $Z=70, 80, 90, 100, 110$ 的同位素链的 α 寿命的禁戒因子

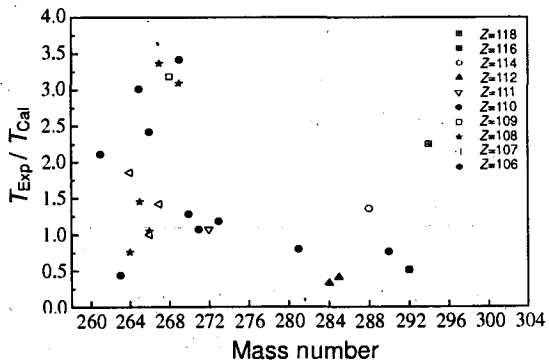


图 5 $Z=106-118$ 的超重核的 α 寿命的禁戒因子

对于结团放射性，自 1984 年 Rose 和 Jones^[10] 观测到 ²²³Ra 有一种新放射性 ¹⁴C 以来，一系列实验证实了重核确实存在重的结团放射性 (¹⁴C, ²⁰O, ²⁴Ne, ²⁸Mg, ^{32, 34}Si)。虽然重核结团放射性的实验数据已有许多，但缺少系统的分析和研究。这里，首先假定结团也在重核表面形成，结团和子核间也有吸引的核势、排斥的库仑势及离心势^[17]。我们可以从衰变理论中推导出一个结团放射性的新的公式： $\log_{10} T_{1/2} = aZ_1 Z_2 Q^{-1/2} + cZ_1 Z_2 + d + h$ 。这个新公式也可以看成 α 衰变中著名的 Geiger-Nuttall 定律对结团放射性的推广^[17]。公式中 a, c 和 d 为待定常数并通过拟合偶偶核结团放射性寿命定出， h 为奇核子阻塞因子。对偶偶核， $h=0$ ；对奇 A 核， h 为待定常数，由奇 A 核结团放射性寿

命定出。a, c, d 和 h 取值为: a=1.517 99, c=-0.053 387, d=-92.911 42, h=0(对偶偶核), h=1.402(对奇 A 核)^[17]。

表 1 给出了结团放射性的实验半衰期和理论值的比较(²²¹Fr—²⁴²Cm)。表 1 中第一列代表核素,

第二列是结团放射性放出的能量, 第三列是公式计算的理论半衰期, DDCM 计算的两套理论结果分别列在第四列和第五列。其中, 第五列的计算中结团的预形成因子取 $10^{-(0.4A_1^{-2})}$, 第六列的计算中结团的预形成因子取 $10^{-(0.011\ 674Z_1Z_2^{-2.035\ 446})}$ 。

表 1 结团放射性的实验半衰期和理论值的比较(对数值)

Decay	Q/MeV	$T_{1/2}^{cal}/s$	$T_{1/2}^{Formula}/s$	$T_{1/2}^{RM3Y(1)}/s$	$T_{1/2}^{RM3Y(2)}/s$
²²¹ Fr→ ²⁰⁷ Tl+ ¹⁴ C	31.29	14.52	14.43	14.82	14.86
²²¹ Ra→ ²⁰⁷ Pb+ ¹⁴ C	32.40	13.37	13.43	13.68	13.79
²²² Ra→ ²⁰⁸ Pb+ ¹⁴ C	33.05	11.10	10.73	11.08	11.19
²²³ Ra→ ²⁰⁹ Pb+ ¹⁴ C	31.83	15.05	14.60	14.77	14.88
²²⁴ Ra→ ²¹⁰ Pb+ ¹⁴ C	30.54	15.90	15.97	15.91	16.02
²²⁶ Ra→ ²¹² Pb+ ¹⁴ C	28.20	21.29	21.46	21.05	21.16
²²⁸ Th→ ²⁰⁸ Pb+ ²⁰ O	44.72	20.73	20.98	21.46	21.09
²³⁰ Th→ ²⁰⁶ Hg+ ²⁴ Ne	57.76	24.63	24.17	24.67	24.38
²³¹ Pa→ ²⁰⁷ Tl+ ²⁴ Ne	60.41	22.89	23.44	23.09	22.91
²³² U→ ²⁰⁸ Pb+ ²⁴ Ne	62.31	20.39	21.00	20.41	20.34
²³³ U→ ²⁰⁹ Pb+ ²⁴ Ne	60.49	24.84	24.76	24.30	24.24
²³⁴ U→ ²⁰⁶ Hg+ ²⁸ Mg	74.11	25.74	25.12	25.42	25.39
²³⁶ Pu→ ²⁰⁸ Pb+ ²⁸ Mg	79.67	21.65	21.90	20.94	21.20
²³⁸ Pu→ ²⁰⁶ Hg+ ³² Si	91.19	25.30	25.33	25.80	26.04
²⁴² Cm→ ²⁰⁸ Pb+ ³⁴ Si	96.51	23.11	23.19	23.28	23.04

从表 1 可看出, 公式计算出的寿命与实验数据符合得非常好。一般情况下, 两者在 3 倍以内符合, 最大偏差为 $|\log_{10} T_{exp} - \log_{10} T_{cal}| = 0.6$, 对应实验和公式寿命相差一个因子 4。从表 1 的第三列和第五、六列的比较中可看出, DDCM 计算的理论半衰期和实验值非常接近, 结果在 5 倍以内符合。为了更好地说明 DDCM 理论结果和实验的符合程度, 我们还在图 6 中给出了结团放射性寿命的禁戒因子(对应于第六列的计算结果)。从图 6 可以看出, DDCM 计算的理论半衰期和实验值符合得很好, 这一套理论结果和实验值的差别基本在 4 倍以内, 说明 DDCM 对结团放射性寿命的计算是很精确的, 我们还可以用 DDCM 对实验上还没发现的结团放射性作出预言。表 2 给出了一些预言的结团放射性

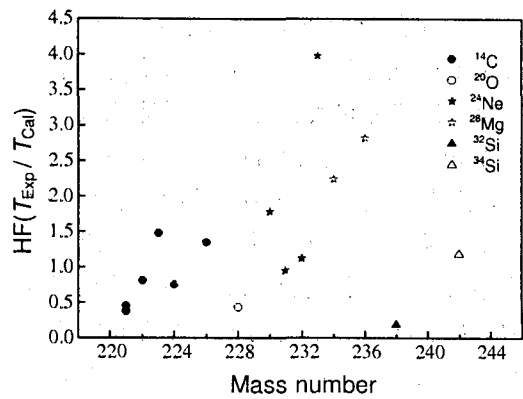


图 6 ²²¹Fr—²⁴²Cm 结团放射性的禁戒因子(DDCM)

的半衰期(²¹⁸Rn—²⁴⁴Cm), 这些数据将来可以和实验测量的半衰期进行比较。

表 2 预言的结团放射性的理论半衰期(对数值)

Decay	Q/MeV	$T_{1/2}^{\text{Formula}}/s$	$T_{1/2}^{\text{RM3Y(1)}}/s$	$T_{1/2}^{\text{RM3Y(2)}}/s$
$^{218}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + ^{10}\text{Be}$	14.36	20.97	21.51	21.30
$^{220}\text{Rn} \rightarrow ^{206}\text{Hg} + ^{14}\text{C}$	28.54	17.85	18.34	18.31
$^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{208}\text{Hg} + ^{14}\text{C}$	26.45	23.14	23.30	23.27
$^{236}\text{U} \rightarrow ^{212}\text{Pb} + ^{24}\text{Ne}$	55.95	29.72	30.38	30.32
$^{237}\text{Np} \rightarrow ^{207}\text{Tl} + ^{30}\text{Mg}$	74.82	27.18	28.16	27.47
$^{240}\text{Pu} \rightarrow ^{206}\text{Hg} + ^{34}\text{Si}$	91.03	25.49	26.76	26.20
$^{241}\text{Am} \rightarrow ^{207}\text{Tl} + ^{34}\text{Si}$	93.93	25.56	26.01	25.61
$^{240}\text{Cm} \rightarrow ^{208}\text{Pb} + ^{32}\text{Si}$	97.34	22.43	21.62	22.18
$^{244}\text{Cm} \rightarrow ^{210}\text{Pb} + ^{34}\text{Si}$	93.14	26.37	27.28	27.05

4 结论

我们建立了密度依赖的结团模型(DDCM), DDCM 采用微观真实的核势和库仑势, 核势和库仑势中的核物质(电荷)密度分布形式和参数均来源于高能电子散射实验。DDCM 的核势和库仑势中没有多余的调节参数, 并且 DDCM 的核势中正确地包括了核子-核子之间相互作用的低密度行为和核子交换行为。另外, DDCM 吸收了双阱近似模型(TPA)和微观折叠势的优点, 可以给出精确的准束

缚态衰变宽度表达式。这些对于半衰期的计算是十分重要的。在 DDCM 的框架下, 我们对原子核的 α 衰变和结团放射性做了详细和系统的计算, 并将理论计算结果与实验数据进行分析和对比, 发现实验值和 DDCM 理论计算结果能够很好地符合, DDCM 能给出十分准确的 α 衰变(结团放射性)的寿命。理论模型计算说明, DDCM 对于不同的衰变具有很好的适用性, 如果结合可靠的核结构或核质量模型, 将有助于将来对未知质量区域的原子核衰变进行进一步的研究。

参 考 文 献:

- [1] Hofmann S, Münzenberg G. Rev Mod Phys, 2000, **72**: 733.
- [2] Oganessian Yu Ts, et al. Nature, 1999, **400**: 242.
- [3] Audi G, Bersillon O, Blachot J, et al. Nucl Phys, 2003, **A729**: 3.
- [4] Ren Zhongzhou. Nucl Phys Rev, 2005, **221**: 153.
- [5] Gurvitz S A, Kalbermann G. Phys Rev Lett, 1987, **59**: 262.
- [6] Bertsch G F, et al. Nucl Phys, 1977, **A284**: 399.
- [7] Satchler G R, Love W G. Phys Repts, 1979, **55**: 183.
- [8] Brink D M, Castro J J. Nucl Phys, 1973, **A216**: 109.
- [9] Takemoto H, Fukushima M, Chiba S, et al. Phys Rev, 2004, **C69**: 035802.
- [10] Rose H J, Jones G A. Nature, 1984, **307**: 245.
- [11] Buck B, et al. Atomic Data and Nuclear Data Table, 1993, **54**: 53.
- [12] Xu Chang, Ren Zhongzhou. Phys Rev, 2003, **C68**: 034319.
- [13] Xu Chang, Ren Zhongzhou. Phys Rev, 2004, **C69**: 024614.
- [14] Ren Zhongzhou, Xu Chang, Wang Yongqin, et al. Nucl Phys, 2004, **A738**: 318.
- [15] Xu Chang, Ren Zhongzhou. Nucl Phys, 2005, **A753**: 174.
- [16] Xu Chang, Ren Zhongzhou. Nucl Phys, 2005, **A760**: 303.
- [17] Ren Zhongzhou, Xu Chang, Wang Zaijun. Phys Rev, 2004, **C70**: 034304.
- [18] Xu Chang, Ren Zhongzhou. Phys Rev, 2005, **C71**: 014309.
- [19] Ren Zhongzhou, Xu Chang. Nucl Phys, 2005, **A759**: 64.

Density-dependent Cluster Model Study of α -decay and Cluster Radioactivity of Nuclei*

REN Zhong-Zhou^{1,2}, XU Chang²

(1 *Center of Theoretical Nuclear Physics, National Laboratory of Heavy-Ion
Accelerator of Lanzhou, Lanzhou 730000, China;*

2 *Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210008, China*)

Abstract: We have discussed a new cluster model of α -decay and cluster radioactivity: the density-dependent cluster model (DDCM), which is based on the microscopic nuclear potential and Coulomb potential. DDCM can give accurate theoretical half-lives for various decays of nuclei in a unified framework. Through a systematical calculation of half-lives of α -decay and cluster radioactivity, we find that the deviation between DDCM and experiment is usually less than a factor of 3. This good agreement shows that the density-dependent cluster model can further provide reliable predictions for future experiments.

Key words: alpha-decay; cluster radioactivity; half-lives; density-dependent cluster model

(上接第 343 页)

NuTeV Anomaly and Strange Quark-antiquark Asymmetry

MA Bo-qiang

(*School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: This talk summarized the results of using strange quark-antistrange quark asymmetry of the nucleon to explain the NuTeV anomaly. It is shown that asymmetric strange quark-antistrange quark distributions may be a reasonable explanation for the NuTeV defect. On the other side, the NuTeV anomaly could be the evidence for the existence of asymmetric strange-antistrange quark distributions.

Key words: NuTeV anomaly; strange quark; antistrange quark; asymmetry

* **Foundation item:** National Natural Science Found for Outstanding Young Scientists of China (10125521); Fund of the Education Ministry (20010284036); Major State Basic Research Development in China (G2000077400); Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences (KJCXZ-SW-No2)