

放射性束加速器与放射性束物理(续完)

黄业成

(广州花都市经协发展总公司 广州花都市 510800)

摘要 本文论述放射性束加速器的原理、国际现状和相应学科的发展前景。

关键词 放射性束加速，核物理，核天体物理，原子物理，材料科学。

6 核结构研究

用放射性束研究原子核结构，内容非常丰富多采，它反映出来的某些原子核特性和临界状态乃是当今核科学领域的研究前沿(图 8)。

6.1 中子晕和滴线奇异核

极端的 N/Z 比，特别对大的中子过剩，导致在核表面中子占优势，最引人注目的是在中子晕核中，研究相对地纯的中子物质的可能性。

因为这些中子的弱束缚使其波函数扩充到大的距离，而那里的质子密度很小，若能获得靠近中子滴线的束缚性质的知识，人们可以施加重要约束于描述中子物质的状态和性质的核方程。对非常丰中子核素，最后的几个中子可以足够的远离中心势，定性的显示出一些新现象，例如弱束缚核的散射长度大时，可能存在大量的近距离态，原子核最后的几个核子将扩充到很大

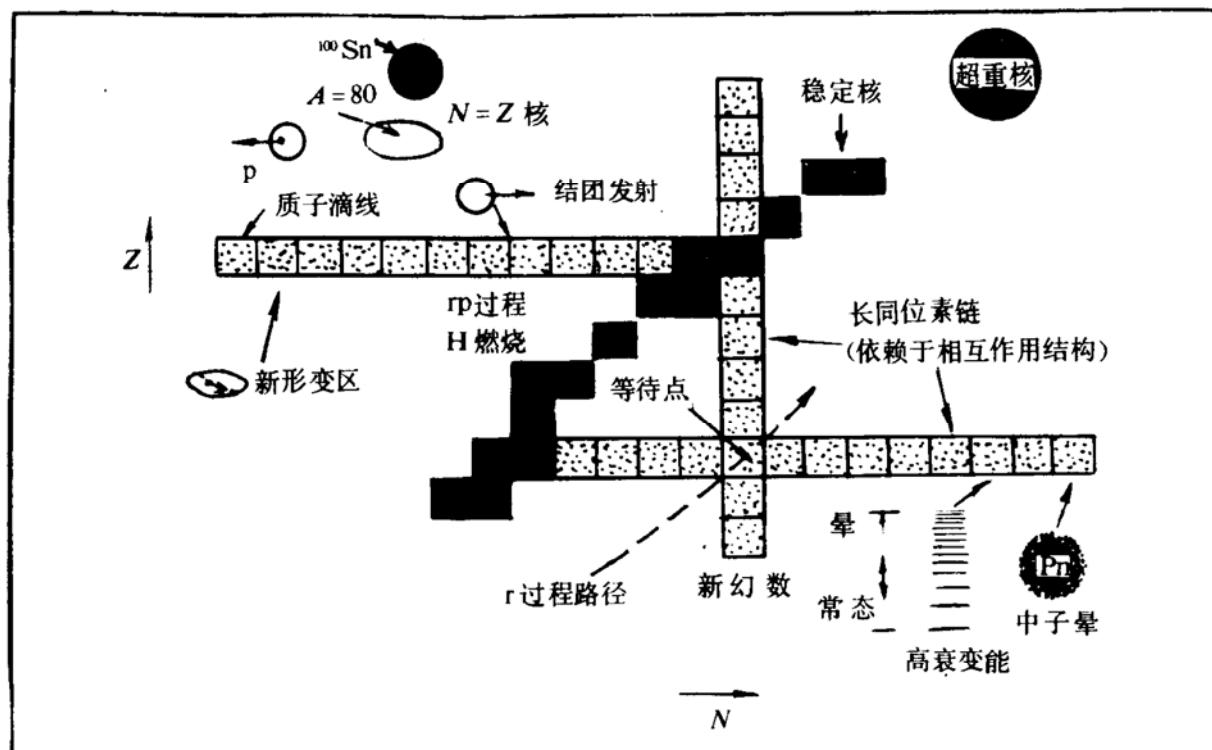


图 8 用放射性束研究核结构现象

的空间并在远的距离发生相互作用。发现此类效应的竞争者将是 ^{14}Be 。

此外，放射性束提供研究具有大衰变 Q 值极其不稳定核奇异衰变模型的可能性。例如，感兴趣的 β 延迟 $2n, p, 2p$ 衰变及奇异结团衰变包括从重核中的 ^{14}C 发射乃至 Ne, Mg 和 Si 发射。虽然这些现象已被发现，但对其性质我们知之甚少。核表面的结团几率是一个非常有魅力的问题，只有应用放射性束才能更好的对这些不寻常的核过程进行深入研究。

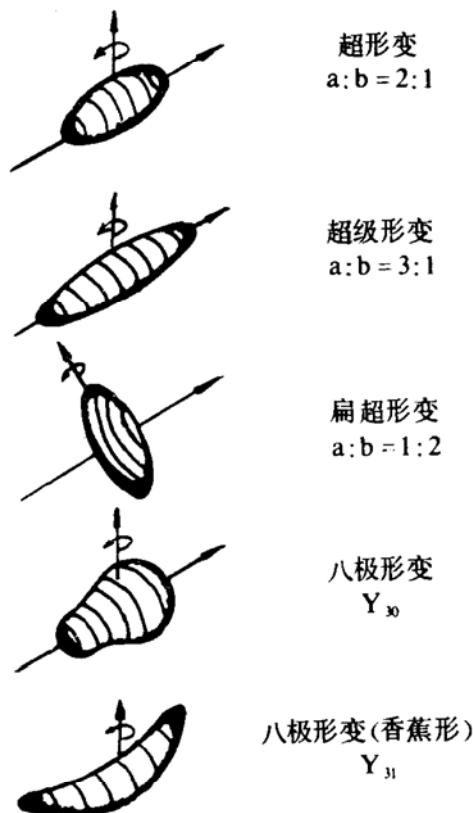


图 9 用放射性束研究的奇异核形状

6.2 $N=Z$ 线核

沿着自共轭 $N=Z$ 线原子核结构的演变是放射性核束研究最具挑战性的课题之一，研究这些原子核或许可提供最激动人心的机遇，探索固有的“软的”幻数（如 ^{80}Zr 谜），使之对壳层结构有更深刻的认识，同时也可提供研究尚未发现的奇异形状的可能性。

假若 ^{80}Zr 是形变的话，那么 ^{100}Sn 又将如何？它是最重要的自共轭双幻核，或许相对于粒子

衰变来说是稳定的。 ^{100}Sn 被考虑为最好双幻核的例子，可作为 ^{208}Pb 的竞争者。然而，较之其他的双幻核， ^{100}Sn 受到更强的库仑效应干扰。假如 ^{100}Sn 发现为形变的话，我们必须对核结构作出相应的修改。对 $N=Z$ 区域的一些成果，最近发现的 ^{84}Mo ($N=Z=42$) 与 ^{80}Zr 相比，形变较小。对反应 $^{40}\text{Ca}(\text{Ge}, 2p2n)^{100}\text{Sn}$ ，用熔合蒸发计算，在轰击能量 $250\sim 320\text{MeV}$ ， ^{40}Ca 靶厚 3mg/cm^2 ， ^{64}Ge 放射性束强度 6×10^6 时，生成 ^{100}Sn 的截面 $50\mu\text{b}$ ，产额为 1n/min 。

自然地，对于在 ^{80}Zr 以下的 $N=Z$ 核，那里同样是一片沃土，有待开垦和耕耘。

6.3 壳层结构

以单粒子和剩余相互作用为依据的原子核壳层模型是核结构的基础，但壳模型并非不改变的体系，因为中心势是由于轨道在平均场中的核子相互作用的结果，壳层结构随 N 和 Z 而变化。

通过远离稳定核单粒子态描绘的壳层结构作为同位旋的波函数，以检验我们对剩余相互作用的认识，了解它们的真正含义和作为个别核素结构的标识，主要的实验是用放射性束的单粒子转移反应，它是微观结构资料最直接的来源。相反的，轻离子反应（放射性束打在轻的气体靶，如 $p, d, ^3\text{He}$ 或 ^4He ）将用来获得各种讯息，包括质量、能级乃至密度分布等。当然，最重要的研究对象将是 ^{78}Ni 、 ^{100}Sn 和 ^{132}Sn 双幻核附近核素的单粒子能级。

6.4 核形状研究

迄今为止，探索原子核形状只限制在用稳定离子束所能达到的区域，即缺中子区（ ^{152}Dy 、 ^{192}Hg ），对稳定核和丰中子核素高自旋态研究用现在的加速器目前还不可能达到，而用丰中子放射性束即可实施。最迷人和最有希望的核结构知识是理论上预言存在超级形变（Hyperdeformed）核（轴比 $3:1$ ），它有可能存在于 $Z=68\sim 70, N=98\sim 100$ 区域。人们还可以通过研究一些奇异核形状，如超形变（Superdeformed），超级形变和八极形变（香蕉形）等（见图 9），藉以

解决争论着的问题，即这些形变是动形式的或者是以稳定的奇异形状真真实实地存在于原子核之中。

6.5 原子核质量测量

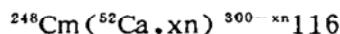
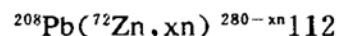
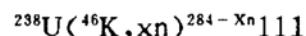
核质量是非常重要的物理概念，根据质量数据可以检验原子核的基本性质，探索大规模地改变核结构和核形状的新区域，预言稳定性极限和奇异衰变以及提供对核物理和天体物理模型各种理论计算的输入参数。原子核质量测量可以提供奇异核结构的重要启示。例如，丰中子 Na 同位素，质量测量至³⁵Na，揭示了在 $N=20$ 开始结合能增加，原子核在局部区域发生形变，尽管 $N=20$ 是中子幻数。由此引出的问题是现存质量公式是否要作相应的修改？

就目前的情况而言，核质量表提供的比较靠近稳定谷的原子核质量数据，对远离稳定核质量大部分是外推出来的。因此，利用放射性束测量更丰中子和更丰质子的原子核质量，以获得精确的实验数据，意义特别重要。

6.6 重元素和超重核

核物理的另一个具有挑战性的问题是合成超重元素。近 20 年来，相当一部分的实验设备是为此目的而设置的。证实在 $Z=114, A=298$ 新稳定岛的存在，是对理论预言的最好检验。自

七十年代以来，相当多的实验已很有成效地向这一区域逼近，但最大的困难是产生的复合核其丰中子的程度远达不到被预言为稳定岛的区域。已经提出了一些反应以产生 $Z>109$ 的超重元素。



事实上放射性束是探索这一区域的唯一希望。

7 核反应研究(略)

8 原子物理和材料科学(略)

9 结束语

放射性束加速器是一项浩大的工程，它需要人们的热情和献身精神，更需要一个国家乃至几个国家官方科学部门财政上的全力支持。在欧洲至今热情不减。在美国，W. Talbert 教授最近来信说：“The scientific future for work in radioactive beams certainly looks quite dark at this time for Los Alamos, and perhaps even for U. S”。前景十分黑暗。我们期望在不久的将来，我国核科学工作者根据我国的国情、财力和物力情况，设计和建造自己的装置，使我国在这一学科立于世界科学发展之林。

Acceleration and Physics of RI Beams

Huang Yecheng

(Economic and Technical Cooperation Development Co., Huadu city, Guangzhou 510800)

Abstract The principle and the present situation as well as the prospects corresponded to the physics of RI beams are described.

Key Words acceleration of RI beam, nuclear physics, nuclear astrophysics, atomic physics, material science.