

新丰中子核素 ^{208}Hg 的发现*

张立

(中国科学院近代物理研究所 兰州 730000)

摘要 新丰中子同位素 ^{208}Hg ,首次从 30MeV/u 的 ^{12}C 束轰击厚的天然铅靶反应产物中被鉴定出来。 ^{208}Hg 的鉴别基于二步化学分离及 γ 活性分析。第一步,借助于在本工作中所发展起来的熔靶装置和一种特殊的热色谱技术,实现了 Hg 元素产物高效、高选择性的分离。第二步则是周期性的提取随着收集样品中的丰中子 Hg 同位素的 β^- 衰变而生长起来的 Tl 元素。在提取的 Tl 样品中,观察到能量为 2614.6keV 、半衰期为 $191\pm 40\text{s}$ 的 γ 活性。它只能被指定为 ^{208}Hg 的 β^- 衰变子体 ^{208}Tl 。将测得的 ^{208}Hg 半衰期 $42\pm 11\text{min}$ 与理论预言进行了比较。

关键词 丰中子核素, 元素分离, 熔靶装置, 半衰期。

新丰中子核素 ^{208}Hg 的合成和鉴别,是在兰州重离子加速器上完成的一项高难度科研课题,是被评为1992年全国十大科技成果之一的分支科研项目。以下简要介绍 ^{208}Hg 的发现研究工作。

1 目标 ^{208}Hg 是如何选定的

1.1 $A>170$ 重质量丰中子区——一个正确的抉择

$A>170$ 重质量丰中子区,是我们承担的中科院“8.5”重大项目“重离子合成新核素、衰变性质、核结构和生成机制研究”所选定的重点核区。 ^{208}Hg 的合成及先后在兰州大学强流中子源和近物所高压倍加器上利用快中子反应首次发现新核素 ^{185}Hf ,已证明我们的这一选择是完全正确的。根据我们的调研、论证,这一核区有如下特点:

(1)这是一个相当长时间以来研究进展较为缓慢的核区。缺少有效的合成和分离手段是其进展缓慢的主要原因。通常使用的产生新丰中子核素的方式,无论是中子诱发的裂变,还是高能质子引起的散裂反应都无法进入这一核区。而我们提出以丰中子重离子炮弹轰击富中子富集的靶材料,生成靶以下丰中子核素的物理路线在这一区域内很有前途。

(2)在这一核区内许多元素中,最重的一个已知的丰中同位素离 β 稳定线比较近。几乎每个元素都有几个预期半衰期在秒或分钟以上量级的未知丰中子核。我们所拥有的速度不很快的鉴别手段在这一区域可以发挥作用。

(3)这一区域的核素研究有重要物理意义。该区域靠近重核区唯一的一个双幻核 ^{208}Pb ,包括了 $A=225$ 附近8极形变核区。特别值得指出的是,我们自己的一项研究预言:在 Tl 、 Hg 、 Au 三个元素的未知丰中子核素中,可能存在着一个 β 延发中子先驱核素岛。此外,不同理论预言的半衰期有很大差异和同质异能态现象很丰富等都表明,这是一个对核结构进行理论研究有重要价值的研究区域。

1.2 研究 ^{208}Hg 核的意义

由于 ^{208}Hg 的 β 衰变研究可以增加 ^{208}Tl 核能级知识,使它成为远离核研究中占有重要位置的期待核之一。而现有的预言未知核半衰期的理论对 ^{208}Hg 核半衰期的预言值差异很大,最短的预言值是 40s ,最长的为 29000s 。实验测定 ^{208}Hg 半衰期可以对不同理论模型给出灵敏的检验。此外,合成和研究 ^{208}Hg 是逼近理论预言的 β 延发中子先驱核岛的重要的一步,具有重要意义。

* 国家自然科学基金委和中科院“八、五”重大项目双重资助课题

2 工作中的难点与对策

合成²⁰⁸Hg可以采用的靶是²⁰⁸Pb,期待核²⁰⁸Hg与靶核相比减少了两个质子、增加了两个中子,快中子诱发反应对此无能为力,只有在投弹和靶核之间非常稀有的多核子转移反应中才有可能实现。

在我国目前条件下,重离子炮弹在重靶原子核上引起的奇异多核子转移反应,是合成²⁰⁸Hg的唯一可能途径。

然而,上述转移反应生成截面非常低. 依赖所用的投弹种类和能区的不同,截面值大致在 $10^{-31} \sim 10^{-29} \text{cm}^2$ 的范围. 只有较强穿透力的中能重离子束轰击厚靶并同时发展高灵敏度高效率的分离、传输、收集手段才有可能得到可进行鉴别测量的产额. 而采用厚靶随之带来的困难是,包括期待的²⁰⁸Hg在内的近靶反应产物全都被阻止在靶内. 另一方面,中能重离子束的使用导致多种反应道同时开放,至少会有跨越十几种元素的上百种核素同时产生,这就使分离和确切鉴别其中一种产额很低的未知核素变得十分困难. 针对这一系列的困难,我们提出了一套熔融靶-热色谱技术. 该技术包括在真空条件下加热辐照过的铅靶,在760℃高温下令其熔化,利用在熔化温度下靶材料饱和蒸气压比同样温度下Hg元素的蒸气压低几个量级的特点,可以在保证靶材料和高熔点产物不挥发的条件下,使Hg元素产物(还有Tl、Po、At几种挥发性产物)脱出靶子并在He载气带动下,沿传输管传输出来. 而后我们又采用在传输管末端借助一根液氮浴棒导入的冷量形成深冷点的办法,强制除Hg以外的几种挥发性产物沉积到传输管的内壁,而只有Hg能到达末端,被放在末端的一特殊的收集器收集. 我们用²⁰³Hg同位素示踪法标定Hg元素产物从厚的Pb靶片中脱出并被收集的总效率达(95~98)%. 与此同时,在测量收集Hg样品的γ谱中,可以归结为Tl、Bi、Pb等元素产物的特

征γ谱线都不出现,出现的γ线只是Hg元素产物上各同位素及它们的衰变子体(β⁺衰变为Au同位素;β⁻衰变为Tl同位素)的特征γ. 至此,我们已实现了Hg元素产物高效率、高选择性的分离与收集。

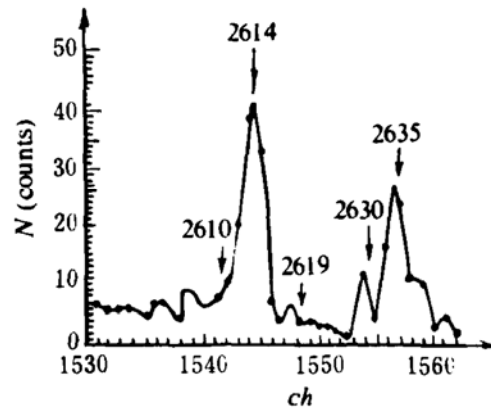


图1 累积9个周期性提取的Tl样品36个多定标谱得到的部分γ谱,谱峰的γ射线能量(keV)已注出

根据用化学分离法分离、鉴别新同位素的通用程序,在完成化学分离之后只要能在γ谱分析中鉴定出期待新核素的子体特征γ活性,就可以确认新核素,并通过对子体γ活性的衰变分析确定作为母体的新核素的半衰期. 但在²⁰⁸Hg鉴别中问题却没有这样简单,正如前面提到的,中能重离子反应开放的反应道太多,致使Hg元素产物的同位素链很长,因此而发生我们期待的²⁰⁸Hgβ⁻衰变子体²⁰⁸Tl的主要特征γ线2614.6keV的γ峰,受到来自¹⁹²Hg($T_{1/2} = 4.9\text{h}$)β⁺衰变子体¹⁹²Au($T_{1/2} = 5.03\text{h}$)的一条分支比很弱但能量也是2614.6keV的γ的强烈干扰. 单纯用简单的γ谱分析已无能为力. 在解决这一问题中,我们发挥了多学科联合攻关的优势,使用俗称“母牛”法的难度很大,但灵敏度很高的周期性化学分离方法. 其具体做法是将收集到的Hg元素产物再次溶解,配制成溶液. 而后

以7分钟为一个周期,从溶液中将经 β^- 衰变生长起来的 Tl 提取出来.对提取出的 Tl 样品,用多定标方式测量 γ 谱,每个样品记录下接续的4个105秒 γ 谱.如此往复共测了9个样品.这一步程序中的再次化学分离和强的时间过滤,使得来自长寿命的 ^{192}Au 的干扰被大大地抑制了.在所得到的多定标 γ 谱中,观察到了特征能量为2614.6keV且半衰期非常接近 ^{208}Tl (3.05分半衰期)的 γ 活性(见图1、图2),它们只能归结为来自在 Hg 元素产物中的 ^{208}Tl 的母体 ^{208}Hg .由此,使 ^{208}Hg 的生成和鉴别得到完满的解决.根据从 Hg 产物溶液中按同样的收集时间提取出 ^{208}Tl 的强度随时间的变化应当反应出母体核 ^{208}Hg 的衰变规律,得到 ^{208}Hg 的半衰期为 42 ± 12 分钟(见图3).

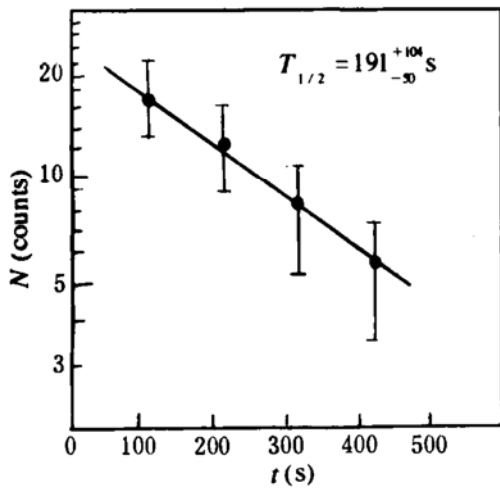


图2 本工作中得到的 ^{208}Tl 半衰期

已在几次国际学术会议上报告,引起了广泛的关注和热烈的讨论,并得到了与会同行的肯定和赞扬.现日本理化研究所的二个组表示愿意和我们合作.石原正泰,和矢野安重等几位负责人都表示欢迎我们使用他们的束流.

虽然 ^{208}Hg 的合成获得很好的评价,但这对我们重质量丰中子区的远离核研究计划来说只是才开了个头.1993~1995年,我们的课题将继续得到国家自然科学基金委和中科院重大项目的双重支持,我们计划:(1)理论和实验结合,在 ^{208}Hg 衰变谱学研究中做出高水平的工作;(2)在重质量丰中子区选择新的目标核,继续逼近理论预言的 β 延发中子先驱核岛,并为该质量区探测 β 延发中子的高难度实验技术做好准备.

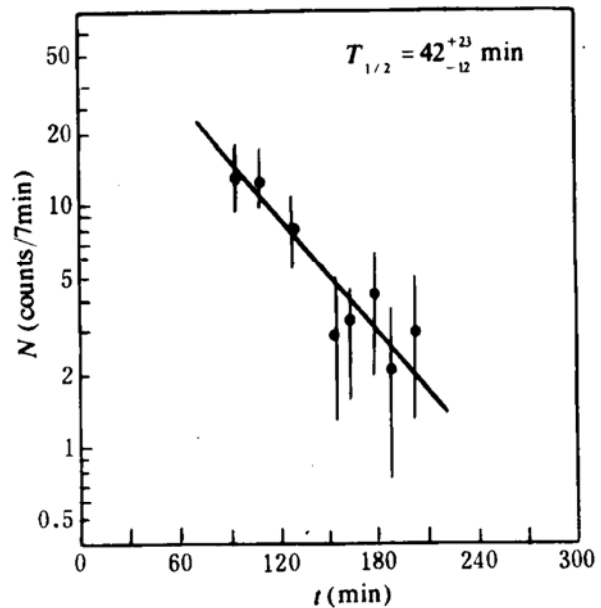


图3 新丰中子核素 ^{208}Hg 半衰期测量结果

3 结果与反响

^{208}Hg 的工作完成后,首先在课题组内部对基本实验数据进行反复推敲,经大课题论证后交所学术委员会评议.论文已在“高能物理与核物理”^[1]上发表. ^{208}Hg 与 ^{185}Hf 合成结果

参 考 文 献

- 1 张立,靳根明,赵进华,杨维凡等.“高能物理与核物理”,1992,16:767
- 2 Zhao Jinhua, et al. Chin. J. Nucl. Phys., 1992, 14: 267

Discovery of New Neutron-rich Isotope ²⁰⁸Hg

Zhang Li

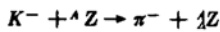
(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

Abstract The new neutron-rich isotope ²⁰⁸Hg was identified for the first time from the reaction products in a thick ²⁰⁸Pb target bombarded by a 30MeV/u ¹²C beam. The identification of ²⁰⁸Hg was based on two-step chemical separation and γ activity analysis. The first step was the release, separation and collection of Hg element products with a high efficiency and good selectivity by means of a melt target device and a special thermochromatographic technique developed in present work. The second step was to extract periodically the Tl element which was growing from the β^- decay of the neutron-rich Hg isotopes in the collected Hg sample. In the γ spectra of the extracted Tl samples, a 2614.6keV γ activity with a half-life 191 ± 10^4 s was observed, which was assigned to the daughter ²⁰⁸Tl of ²⁰⁸Hg β^- decay. The measured ²⁰⁸Hg half-life of $42 \pm 23_{-12}^{+23}$ min was compared with various theoretical predictions.

Key Words neutron-rich nuclei, element separation, melt target device, half-life.

核物理的一个重要分支——超核物理

1953年,波兰物理学家 Danysz 和 Pniewski 从宇宙射线中发现了第一个 Δ 超核,它是除中子和质子外还包含一个 Δ 超子的原子核.除宇宙射线中存在 Δ 超核外,还可用下述反应产生 Δ 超核(质量数为 A ,电荷数为 Z ,记为 AZ).



1970年,Bohm 发现了 Δ 超核 ¹²C和¹⁴N,并确定了¹²C*的激发能约为 11MeV.在此后的十年内,在 CERN、BNL 和日本的 KEK(筑波高能物理国家实验室)可引出高强度的 K^- 介子束流,建成了专门用于研究奇异交换反应的(K, π)谱仪.到目前为止,实验上已发现 30 多种 Δ 超核.最近,一个国际合作组已经在 BNL 的 AGS 上测量从¹³B到¹⁸O等一系列 Δ 超核的(π^+, K^+)反应能谱.

目前,对 Δ 超核正在研究的课题包括:(1) Δ 超核基态结合能,(2) Δ 超核奇异交换反应能谱学,(3) Δ 超核的 γ 谱,(4) Δ -N 和 Δ -核相互作用,(5) Δ 超核的寿命和弱作用衰变.

Δ 超核的发现启发人们去寻找含有其它超子(例如 Σ 、 Ξ 和 Ω 等超子)的超核.1985年,发现一些窄的 Σ 超核激发态,其宽度 ~ 5 MeV.近年来,围绕如何解释窄 Σ 超核激发态展开了热烈的讨论.早在 60 年代就发现了两个双 Δ 超核:¹⁰Be 和¹⁰He,当时并未引起重视.直到 1977 年,理论预言可能存在相对于强作用衰变稳定的双 Δ 束缚态,即所谓 H 粒子以后,人们才对它们发生了特别的兴趣. Jaffe 预

言, H 粒子的质量为 2150MeV,自旋和宇称为 0^+ ,奇异数为 -2 .他的预言得到了势模型、孤子模型和格点规范理论的支持.最近,有人预言存在奇异数为 -3 的 \tilde{O} (Omegon)粒子.已经发现的最轻的粲重子是 Λ_c 粒子,质量为 2260MeV,它可以束缚在很轻的原子核里,如³He和⁹Be.粲超核的发现说明原子核像夸克一样也有各种各样的“味道”,称为味核.研究味核不仅可以提供重子间强作用的知识,而且可以提供核结构的新知识.

美国正在建造一台能量可调(0.5~4.0GeV)的强流电子加速器(CEBAF),预计 1992 年建成,可用其电子束引起的($e, e^- K$)反应产生 Δ 超核.是否存在窄的 Σ 超核基态,还有待进一步探索.进一步从夸克层次研究超核结构是很有意义的.用核乳胶在宇宙线中搜索那些在实验室里至今尚未观察到的最简单的奇异夸克物质—— H 粒子,也许能发现它们.

世界五大实验室准备开展超核物理方面的研究,它们是:BNL, KEK, TRIUMF(加拿大国家介子研究中心), LANL, SIN(瑞士原子核研究所).超核物理研究为原子核结构、基本相互作用提供了大量的新知识,近年超核物理已经发展成为中能核物理的一个重要分支学科.

(中国科学院近代物理所 吴国华供稿)