

“轴子”？“亚稳超重核”？还是其它？

——重离子碰撞中发现奇异正电子峰

姜 焕 清

在西德达姆斯达特的重离子实验研究中，发现了出乎意料的和令人不解的现象。用能量大约为每个核子 6MeV 的重离子轰击重靶，例如 $U + Cm$, $Th + Cm$, $U + U$, $Th + U$ 等等，几个不同的实验小组都发现了奇怪的单色正电子的发射。所以奇怪，是因为正电子峰的位置几乎和参与碰撞的两个原子核的总电荷数无关，峰的位置总是固定在 300keV 处，峰的宽度小于 70 keV。这种现象引起了粒子物理学家、核物理学家和原子物理学家的很大兴趣，他们都在寻找这种迷人的正电子的来源。有人猜测，这纯粹是量子电动力学所预言的“真空衰变”的结果；有人则估计是具有某种特定电荷数的亚稳超重核的形成；粒子物理学家则想像它可能是某种类似“轴子”的轻的玻色子衰变的结果。不同的猜测还在不断涌现。

一种常规的解释，也是进行这项重离子碰撞实验的最初动力，是认为这种正电子来源于量子电动力学所预言的“真空衰变”。但这种解释却遇到了困难。我们知道，在氢原子中，最低电子轨道的结合能大约为

10^{-8} 的量级，这个结合能随电荷数 Z 的增大而迅速增加。如果 Z 变得相当大时，会出现什么情况呢？理论预言，当 $Z = 137$ 时，如果最低电子轨道上是空着的，则从真空中自发产生一对正负电子，让电子占据最低的电子轨道，这时就会产生“自发正电子发射”。但是，实际上，原子核不是点电荷，而具有一定的分布。仔细的计算预言，自发正电子发射会出现在 $Z > 173$ 的原子核的库仑场中。

但是，到目前为止，人们还没有发现 $Z > 109$ 的原子核。1971 年，西德和苏联的核物理学家曾预言，当两个很重的原子核相互靠近，作弹性散射时，可能会短暂地形成“准原子”，当这两个核相距小于某种临界距离时，准原子的最低电子能级会比临界的 $2m_e c^2$ 还低。理论预言，当参与碰撞的两重离子电荷数之和大于 173 时，会开始自发的 e^+ 发射，而正电子峰的能量会随 Z^2 而变化。

现在观察到的正电子峰是否就是上述理论所预言的“真空衰变”呢？最大的矛盾是理论上解释不了为什么

观察到的正电子能量和参与碰撞的电荷数无关。

另一种可能的解释是某种特定 Z 的亚稳超重核的形成。按照原子核的液滴模型，由于核内质子间的库仑能，使得原子核的电荷数不可能太大。 $Z > 109$ 的原子核，不仅在自然界不存在，就是在实验室内，由于寿命太短也不可能人工合成。但是，原子核具有壳层结构的特点，在满壳附近，

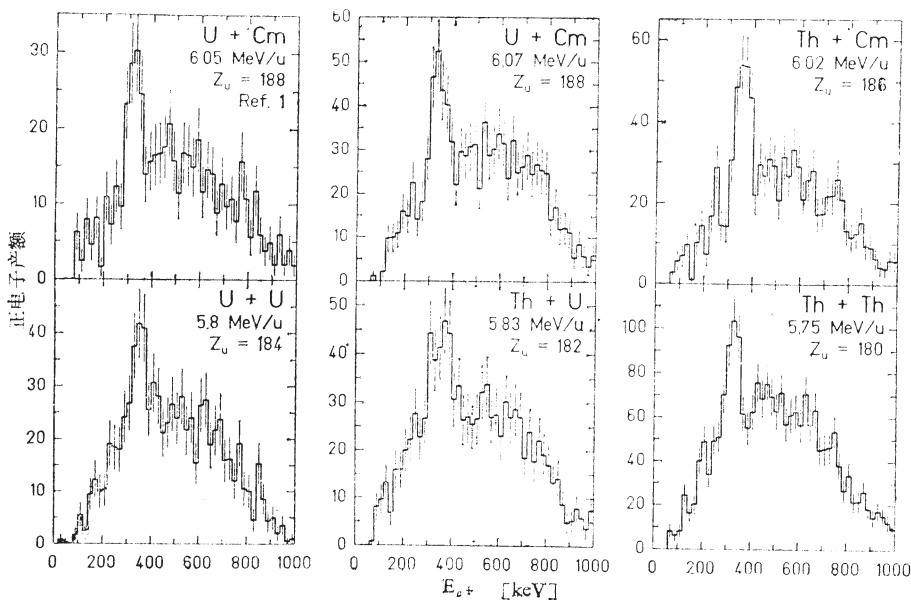


图 1 不同能量下的重离子碰撞产生的正电子能谱。
(取自 Phys. Rev. Lett. 54(1985) 1761.)

原子核又有特别的稳定的趋势。理论计算表明，当考虑了壳修正后，在 $Z \approx 126$ 附近可能存在一批稳定的原子核，这些超重核在同位素分布表中形成了“稳定岛”。从六十年代末，人们就期望在两个重核相碰时合成这种超重核。这正是许多低能重离子加速器建立的一个重要动机。但是，到目前为止，人们还没有发现这种稳定岛的存在。

有人认为，这种与参加碰撞的总电荷无关的正电子峰似乎表明，在碰撞的瞬间形成了某种特定 Z 的亚稳定的超重核，参加碰撞的多余的质子与中子被甩了出去，这种超重核和参与碰撞的总电荷数无关。这种具有很大 Z 的亚稳超重核有可能提供足够强的静电场以引起“真空衰变”。实验上观察到的正电子可能是从这种核静电场中产生的。但实验家指出，正电子谱是与重离子的朝后卢瑟福散射符合测量得到的，反冲探测器完全可以探测到那些跑出去的质子。

更令人不解的是，在一系列亚临界碰撞中，总电荷 Z 小于 173，例如 $\text{Th} + \text{Ta}(Z = 163)$ ， $\text{U} + \text{Ta}(Z = 165)$ ，这时，预计不会有自发 e^+e^- 产生。而实验还是在差不多同样的位置观察到一个窄的正电子峰。

由于从核物理或原子物理的角度对重离子碰撞中所观察到的正电子峰的解释都遇到了困难，一个从粒子物理角度讨论这一问题的可能性深受人们的注意。有人认为，这种不变能量的单色正电子峰可能来自一种轻的、中性玻色子衰变成 e^+e^- 的结果，这种玻色子是人们过去还未发现的新粒子。人们推断，这种新的粒子的质量只有电子质量的 3.2 倍。1978 年，Weinberg 和 Wilczek 为了解释 QCD 中 CP 不守恒效应的压低曾建议了一种中性的赝标玻色子——轴子。有人猜测，现在观察到的正电子峰是一种类似轴子的东西所衰变的产物。然而，从正电子峰的宽度推得的这种玻色子衰变成 e^+e^- 的耦合常数与以前轴子衰变的耦合常数不一致。因此，这种新粒子不可能是标准的轴子。

如果现在观察到的 e^+ 的确是某种玻色子的衰变，那末就应该看到 e^- 的发射。为了确定这个想像的新粒子，应该进行 e^+e^- 的符合测量。最近又在 GSI 完成了这个实验，表明当正电子能量为 300keV 而负电子的能量也在 300keV 附近时，的确显示了较大的几率。从这一点表明， e^+e^- 是某种玻色子衰变的产物。

对于这种奇怪的正电子发射的其它建议也不断在出现。有人提出，超强电场中 QED 还预言一个多电子 $e^+e^-e^-$ 的束缚态，这种束缚态可以在 10^{-10} 秒衰变成 $e^-e^-e^+$ 。300keV 的正电子峰是否可能是电荷共轭的 $e^-e^+e^+$ 的多电子态到达 e^+e^- 或 e^- 和电子素的二体衰变的结果。

奇异的正电子峰无论它的来源是什么，都是十分重要的现象。相信人们会很快揭示掩盖在正电子峰下的秘密。