

地球物质中存在稳定的重粒子吗?

唐孝威

地球物质中是否存在稳定的重粒子呢?这是一个有趣的问题。因此,稳定重粒子是实验物理学家长期以来努力探索的东西,四十多年前,英国科学家卢瑟福和他的学生就曾在重水中寻找过重粒子。当时要找的是电荷为正1、质量是3倍质子质量的粒子,也就是现在知道的氦核。1937年,卢瑟福在“自然”杂志上发表了最后一篇论文。在这篇有兴趣的文章中,他详细介绍了当时实验物理学家在地球物质中寻找氦的种种努力。他们在挪威的重水工厂里,用电解法浓缩重水样品,然后用质谱仪分析样品寻找氦核。由于质谱仪灵敏度的限制,他们的实验中没有测到氦,只给出了自然界中氦与氢的浓度比小于 10^{-12} 的上限值。现在知道,因为氦是不稳定的,它们在自然界中与氢的浓度比只有 10^{-17} 。后来通过放射性测量,才确定了自然界中氦的存在。

目前我们讨论的是寻找质量特别重的稳定重粒子,包括带正电荷、负电荷或不带电荷的粒子。这里“稳定”二字是指粒子寿命比地球年龄还长,可以在地球上长期存在。这里“重粒子”是指粒子质量比质子重得多,例如比质子重几百倍到几千倍以上。在实验中弄清楚地球物质中是否存在这种稳定重粒子,不但可以扩大我们对自然界中物质形态的认识,而且,如果自然界中确实存在这种重粒子,也许将来还能够实际利用它们。(最近,人们曾经在西德汉堡的“佩特拉”正负电子对撞机上做实验,寻找整数电荷的稳定重粒子。实验结果表明,不存在质量小于12倍质子质量的稳定重粒子。)

可以设想,如果自然界中确实存在稳定的很重的粒子(写作 S^{\pm}),那末,它们在地球物质中的来源就可能有两种:一是地球形成前它们早已存在于地球物质中,因为稳定而一直留存下来;二是高能宇宙线在地球大气中不断产生设想中的重粒子,它们落到地球表面,因为稳定而在漫长年代中不断地积累起来。理论估计它们与氢原子的浓度比大于 10^{-30} 。

假设高能宇宙线在地球大气中产生质量在10到100倍质子质量范围中的重粒子,而且在地球存在的漫长年代(3×10^9 年)中,它们在地球表面不断积累,又与海水混合,则估计它们与氢原子的浓度比约为 10^{-20} 到 10^{-30} 。

如果电荷为1、质量比质子重得多的正粒子是稳定的,它们就会象原子核那样,俘获电子、组成原子。这种原子的电离电位和氢原子的电离电位很接近,化学性质类似于氢原子。其特点是质量重,所以是一种

超重氢。可能以 $HStO$ 分子的形式存在于海水中。因此,可以在水(或重水)中寻找带正电荷的重粒子。此外,带电荷或不带电荷的稳定重粒子也可能在高能碰撞中同地球大气中的氮、氧、碳等原子核结合,形成含有重粒子的原子核。这类原子核可能以超重氢、超重氧、超重碳等同位素的形式存在于地球物质中。

1976年,中国科学院高能物理研究所的一个实验组,同原子能研究所合作进行实验,在重水样品中寻找正的、电荷为1的、质量很大的稳定重粒子。这个实验是在原子能研究所 90° 电磁分离器上进行的。实验装置见图1。用重水做样品,从中取得氦,氦在弧放电的离子源中电离。加速电压是4万伏。粒子加速以后,用磁场偏转,分析粒子的荷质比来寻找重粒子。用特制的低气压正比计数管记录单个粒子,并且测量停止粒子的能量。

这个实验的一个特点是,在探测器前面用厚度85微米/厘米²的VYNS薄膜作为杂质过滤器,排除杂质本底。单电荷重粒子在介质中的射程,比质量相同而原子核电荷很大的重离子在同样介质中的射程大得多,因此可以选择适当厚度的吸收膜,使单电荷重粒子穿过过滤膜而重离子杂质则被吸收过滤。这个实验中扫描了质量从65倍到220倍质子质量的区域。在所用仪器的灵敏度条件下,没有找到设想的重粒子。实验给出,正的单电荷重粒子与氢原子的浓度比的上限,在质量65到148

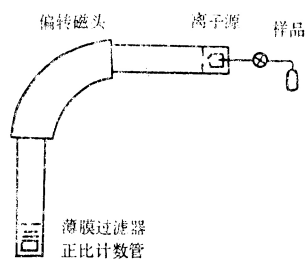


图1. 在电磁分离器上寻找稳定重粒子的实验装置示意图

范围内,小于 2×10^{-17} 粒子/氢原子,在质量148倍到220倍质子质量范围内,小于 5×10^{-17} 粒子/氢原子。

几乎同时,英国的卢瑟福实验室的一个研究组也开始了在重水中寻找重粒子的探索。最近这个实验公布了结果,达到更高的灵敏度,给出更小的实验上限值。这个研究组同英国原子能委员会合作,用三年时间进行电解浓缩重水。在进一步电解浓缩重水的过程中,使 $HStO$ 不断浓集。他们从6000立升重水中逐步浓缩得到20微立升的样品,它相对于天然水的浓缩倍数达到 10^{12} 。这就使他们的实验灵敏度提高了

10^{17} 倍。他们已作了这样的假定：在用作原料的海水中，HSTO 已经充分混和，并不因重力作用丢失，而且在上述浓缩过程中也没有丢失。下面的图 2 是最近西欧中心快报上报导的这个实验装置。

浓缩的重水样品在离子源中电离。加速电压是 130 千伏。用磁场将加速离子中的轻成分分离开，再把其他部分重新合并起来。用碳膜作为杂质过滤器，挡住原子序数高的杂质。然后由一组薄膜探测粒子。

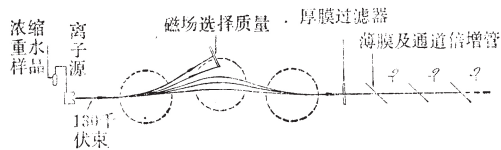


图 2 用飞行时间法寻找稳定重粒子的实验装置示意图

当粒子穿过它们时，打出次级电子，用通道倍增管记录。实验中用飞行时间法比较两段距离的飞行时间。这个实验装置的分析灵敏度是 10^{-17} 到 10^{-18} 。考虑样品的浓缩倍数后，这个实验的总灵敏度就达到 10^{-30} 。他们测量的质量范围从 12 倍到 1300 倍质子质量。在这么高的灵敏度下，没有找到设想中的 ST 重粒子，给出重粒子与氢原子在自然界中浓度比的上限值小于 10^{-20} 。

在关于这个研究组实验结果的报导中讲，他们的结果表明，地球物质中不存在稳定的重粒子。其实，作出这个结论为时过早，还需要进一步对更重的稳定粒子，以及以超重同位素形式存在的、含重粒子的原子核进行多方面的实验探索。