

过程导致了超热的反原子,其速率相当于 2400K 的气体温度(0.2eV 的动能)。此外,这些呈电中性的反氢原子会很快从电磁势阱中逃逸。

这是需要在光谱测量的实验中极力避免的情况,实验中被测原子必须限制在激光束能够覆盖的小范围内,且其速率相对较低。可以利用“多极”磁场对反氢原子磁偶极矩的作用产生中心回复力来实现这一过程,但是这样的磁势阱不可能做得深于 0.5K。

积极的解决办法

1988 年,当时在伦敦大学学院工作的麦克·查尔顿(Mike Charlton)和丹麦奥尔胡斯大学的伯纳德·戴奥奇(Bernard Deutch)首次提出了这些难题的解决办法。他们指出,电子偶素是由相互围绕对方运转的电子和正电子组成的,其实已经具备了用于带走多余能量和动量的第三者,即电子。然而,由于电子偶素是一个由物质和反物质构成的系统,所以很快就自行湮灭了。更糟糕的是,它是电中性的,这意味着势阱束缚不住它。因此,每个电子偶素原子只能有很少的机会进入围绕反质子运转的轨道,形成一个反氢原子。

然而,通过增加电子偶素的轨道半径,这一问题可以在一定程度上得到解决。一个增大了的电子偶素原子会为反质子提供一个更大的“靶子”或者说有效截面,并且距离进一步拉开后,电子与反电子就不会很快发生湮灭。

ATRAP 小组现已公布了利用新方法合成反氢原子的第一批实验结果。研究者们首次从 CERN 的反质子减速器上积累了 2.5×10^4 个反质子,从放射源上积累了 1.4×10^6 个正电子。然后,他们把不同的反粒子云置于电荷符号相反的势阱中,而不是以前的嵌套结构势阱。这些反粒子云都被用液氮冷却到 4.2K。

该小组接着又用可见光波长的激光激发铯原子束流,使其外层电子的束缚能只有 0.01eV,而处于正常状态的铯原子其外层电子的束缚能为 3.9eV。当这些原子注入约束正电子的势阱中时,“被解放”的外层电子就会跃入围绕正电子运转的轨道。

这个电荷交换过程中有一个著名的效应——共振效应,当电子的束缚能在末态和初态中同时就会发生共振效应。因而势阱中约有 1/4 的正电子会形成电子偶素原子;接着,需要一个能量为

6.79eV 的光子把电子偶素原子激发到足够高的状态,但是目前能够产生这一波段光子的强光子源在技术上还无法实现。因为电子偶素原子是电中性的,它会从正电子势阱中逸出,并进入含有反质子的相邻势阱。在这里,第二次电荷交换反应会产生反氢原子,它具有与铯原子和电子偶素原子相同的结合能。

进一步的研究

运用光电激发方法制造反氢原子比利用早期的嵌套势阱方法具有显著的优越性。

首先,两次电荷交换反应保证了产生的反原子具有很小的动能,只相当于 4.2K 的温度,而不是 2500K 的高温。未来先进的低温技术可以使现在可以达到的温度进一步降低到几百毫开,这样就易于把产生的反原子束缚在磁多极势阱中进行研究。

其次,通过调节铯原子的激发态使微调反原子系统的主量子数 n 成为可能。另一方面, n 值的增大也使原子系统的寿命和半径增加了,这意味着高 n 值的反氢原子要花较长时间才能衰变到基态,这对高精度光谱测量是至关重要的。虽然测量技术已经有了长足的进展,但是要想看到正式发表的研究结果仍需多年的等待。

(译自 *Physics in Action*, 2005 年 3 月)

(北京中国科学院高能物理研究所 100049)

科苑快讯

冰封木卫二将成为人类最大科研仪器

冰封的木星卫星——木卫二将会成为人类最大的科学研究仪器之一,它将成为飞向太阳系遥远太空带电粒子的传感器。木卫二是研究中微子的理想靶场,在地球上利用水探测器来捕获中微子,具有高能的中微子在地球上很难成功发现而在与探测器相互作用时仍相当罕见。

因此具有月球大小的冰封木卫二是中微子的天然探测器,科学家当然不会不利用这一机会。为了记录木卫二物质与中微子相互作用的踪迹,在木卫二周围的轨道上需要有几颗科学研究卫星。

这一昂贵设想未必能在最近几年实现,但是对于今天的航天工艺水平来说也并非是一种幻想。

(周道其译自俄《宇宙信息分析高架网》2004/12/9)

现代物理知识