

原子法激光分离铀同位素

周 大 凡

(长春应用化学研究所)

1985 年 11 月 20 日在长春举行的“激光原子法分离铀同位素两步光电离原理性实验鉴定会”上,代表们审议了鉴定报告、资料和图纸并参观了现场表演后,对我国在高技术领域内取得的又一项重大科研成果给予了高度评价。《人民日报》、《科学报》、中央电视台均在显著地位作了报导,《中国科技报》将此项成果评选为 1985 年全国 10 项重大科技成果之一。

先进的浓缩铀技术

1974 年 6 月,美国 Tuccio 等人在第八届国际量子电子学会议上宣布了他们取得原子法激光分离铀同位素原理性实验成功的消息,在国际上引起很大震动,被认为是“激光引起了化学的革命”。此后,美国投入大量人力物力,使该项技术不断取得进展。1984 年美国对激光原子法与离心法进行抉择,这次评议的结果,美国能源部于 1985 年 6 月宣布:采用激光原子法作为未来浓缩铀生产方法,预计在 1990 年投入商业运转;关闭橡树岭的铀扩散工厂,中止离心法工厂的建设。

激光原子法分离铀同位素的优点是分离系数大、投资低、能耗少,与传统的分离铀同位素方法相比,其经济效益十分显著。下表列出几种主要的铀同位素分离方法的经济指标。激光原子法的生产成本仅是传统方法的 1/3,它将是激光在大规模的物质生产中的首次应用。激光原子法另一个卓越的优点是可以利用其它方法的尾料,充分利用铀资源,因此,它具有更大的竞争力。

几种铀同位素分离方法经济效益的比较

分离方法	气体扩散	离心法	激光原子法
分离能力(10^3 吨分离功/年)	10.8	13.2	8.8
投资费用(美元/公斤分离功/年)	250	400	62.5
能量要求(千瓦小时/公斤分离功)	2400	100	50—150
操作费用(美元/公斤分离功)	7.5	6.50	6.25
生产成本(美元/公斤分离功)	95	90	25—30

原理性实验的重要意义

中国科学院长春应用化学研究所从 1981 年起正式开展原子法激光分离铀同位素的研究,在安徽光机所的协作和长春光机所的支持下,仅用短短 4 年时间就成功地完成了原理性实验。迄今,世界上仅有美、日、德等少数国家完成了原理性实验。值得指出的是,国外的原理性实验,做法均是一样,即采用连续光源的两步光电离过程,探测方法比较简单。而我们采用准分子激光器,作为第二步电离光源,要求离子信号的探测必须与脉冲激光同步,这种探测技术比

连续光要复杂得多。

原子法激光分离铀同位素原理性实验的成功是我国激光分离铀同位素的一个里程碑,它标志着我国铀同位素分离技术步入了世界先进行列;原理性实验的成功也是我国激光分离铀同位素的一个转折点;它表明我国在此领域的研究工作重点已从基础研究转入了工程研究。

我们通过原理性实验解决了一系列的重大技术问题,对今后的工程研究至关重要,可归纳为下面几个方面:

设计加工了电子枪加热的原子束装置,在此装置上既可进行分离实验,又可进行基本物理参数的测定;

成功地解决了在实验室内发生高温铀蒸气的技术;

解决了染料激光器的稳频与精密波长测量技术;

测量了铀原子同位素位移光谱及精细结构;

研究成功了脉冲质谱仪、解决了铀同位素脉冲离子信号的探测问题;

解决了原子束系统、激光系统、探测系统及各单元技术的协同问题。

原子法激光分离铀同位素是一项技术复杂、难度大的综合性研究课题

原子法激光分离铀同位素原理性实验是在克服了许多技术难关之后才取得成功的。国外对于激光分离铀同位素技术严格保密,凡涉及的关键问题均不发表。例如铀蒸气的发生就是一个难度甚大的棘手问题,铀的蒸气压很低,要达到分离所需的蒸气压(10^{12} — 10^{13} 原子/ cm^3),必须将金属铀加热到 2400°K 以上,但在此高温下,金属铀将腐蚀任何材料的坩埚,使实验无法进行。经过多次试验我们找到了一种经济有效的办法,可以长时间地、稳定地发生铀蒸气,解决了高温液态铀的腐蚀问题。

原子束的结构,国外也是保密的。我们经过反复实验和修改,终于研制出国内第一台电子枪加热的高温原子束装置,在此装置上测得的物理数据、光谱数据与国外同类工作的结果一致。

铀-238 与铀-235 的同位素位移在 0.1 \AA 左右,在原子束中铀同位素的吸收光谱的线宽仅为 200 兆左右,为保证共振吸收,激光的波长测定精度要求很高,我们采用了长春光机所研制的八位数字波长仪测量染料激光波长,测量精度($\Delta\lambda/\lambda$)达到 1×10^{-8} ,满足了分离实验的要求。

我们采用了被动稳频方法,使染料激光的频率可以长时间的稳定在指定同位素的吸收率上。

原子法激光分离铀同位素在我国的发展前景

从目前工业发达国家的能源结构看,核能发电都占有相当大的比例,在法国,核能发电约占其总发电量的 $2/3$ 。我国目前正在华东、广东建设核电站,“七五”期间还要增建多座核电站,对浓缩铀的需求很大,这势必要新建浓缩铀工厂。要赶上世界先进水平,我们必须立足于国内,开拓最先进的浓缩铀技术。激光原子法就是目前国际上公认的最先进的工艺技术,通过原理性实验,我们已经积累了一定经验,成长了一支科研队伍,只要组织工作相应跟上,实验条件加以保证,我们一定能在不太长的时间内实现原子法激光分离铀同位素的工业化。