

一些核素光核反应产额的测定

方奕兵 苏峙鑫 潘企元 苗 林
焦小奇 穆凤荣

(中国科学院高能物理研究所)

本文用相对法测量了天然丰度的石墨、聚四氟乙烯、钛、镍、锌、钼、镉、铟和锡靶在20 MeV左右的韧致辐射照射下,通过 (γ, n) , (γ, p) 和 (γ, γ') 反应产生的35种放射性核素的产额和3种放射性核素产额的上限,其中 ^{11}C , ^{18}F , ^{45}Ti , ^{47}Sc , ^{57}Ni , ^{57}Co , ^{67}Cu , ^{99}Mo , ^{105}Ag , ^{113}Cd , ^{114}In , ^{114}Sn 和 ^{114}In 为主要产物,其他核素作为同时产生的杂质。试验了电子束能量下降3 MeV时对10种主产物产额的影响。利用所得数据,估计了电子直线加速器生产上述主要产物的能力,产物可能达到的核纯度,以及化学处理过程中对靶物或杂质核素去污的要求。

关键词: 电子直线加速器, 韧致辐射, 光核反应, 产额, 放射性同位素生产。

一、引言

利用电子直线加速器的韧致辐射引起的光核反应制备放射性核素已有多^[1]。然而报道的反应产额或截面的实验数据还很不完整^[2-4]。为了给同位素生产和其他方面的实际应用增添必要的^[5]数据,同时考虑到当前国内大部分电子直线加速器工作能量不高的实际情况,本工作测量了9种靶物在20 MeV左右的韧致辐射照射下产生的35种核素的产额和3种核素产额的上限。其中主要产物13种;其他作为同时产生的杂质。

二、实验部分

1. 靶子的照射 在本所30 MeV电子直线加速器上进行。电子束的能量由加速器的初级高压调节。典型的束流强度为6—8 μA 。转化靶系直径2.5 cm、厚2 mm的金靶,位于加速器出口窗前方10 cm处,其厚度可保证韧致辐射的产额接近最佳值。

产额的测定采用相对法。选择Cu箔和Zr箔为检标箔。以 $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ 反应为参考反应。测量Cu箔上 ^{64}Cu 的饱和放射性比度 $S_{\text{Cu-64}}$ 和Zr箔上 ^{89}Zr 的饱和放射性比度 $S_{\text{Zr-89}}$ 的比值,并与校准曲线比较以核对电子束的能量。校准曲线系由相应核反应准确度较高的截面数据^[2]按下式求和得到,并用实验核对过。

1983年8月17日收到。

$$\frac{S}{S_{\text{Cu-64}}} = \frac{\theta A_{\text{Cu}}}{\theta_{\text{Cu}} A} \cdot \frac{\int_0^{E_0} P(E, E_0) \sigma(E) dE}{\int_0^{E_0} P(E, E_0) \sigma_{\text{Cu}}(E) dE} \quad (1)$$

式中 $P(E, E_0)$ 系最高能量为 E_0 的韧致辐射的能谱函数, 采用 Hansen^[6] 厚靶韧致辐射谱; θ_{Cu} 和 A_{Cu} 为 ^{65}Cu 的丰度和质量数; $\sigma(E)$, θ , A 是放射性比度为 S 的另一个核素相应的物理量。求和时, 步长取 0.5 MeV。

靶片和检标片系直径 1.5 cm 的圆片, 天然丰度, 纯度优于 99.8%。照射前, 洗净, 风干, 用分析天平称重。照射时, 交叉叠合, 外包高纯铝箔, 固定于铝制的靶架上, 置于金转化靶前方 1 cm 处的束流中心线上, 与束流方向垂直。照射时间一般为 2 小时, ^{11}C 有时照射到饱和。

2. 绝对放射性比度 S 的测定 将照射后的箔片装入带盖的塑料小屋中, 冷却不同时间后, 用 SCORPIO-3000 程控 Ge(Li)- γ 谱仪测量 γ 谱。小屋外壁连同托板的厚度为 5—7 mm, 保证其中放射源发射的绝大部分 β^+ 射线在穿出小屋和托板前湮没为 γ 辐射。谱仪的 Ge(Li) 探头的能量分辨率优于 1.9 keV, 绝对效率用 γ 标准系列源 (原子能研究所) 刻度。控制大部分待测能峰放射性测量的统计偏差在 2% 以下, 测量的死时间在 7% 以下。测得的 4096 道谱数据由谱仪的 PDF11/04 计算机寻峰和计算峰面积后打印输出。对一般的 γ 射线, 采用的程序为 GELI-F 程序组; 湮没辐射的峰面积则由谱数据逐道加和法或荧光屏净峰面积读数求出。少数聚四氟乙烯片和相应的 Cu 箔检标的 511 keV 峰的积分强度, 曾用 NaI (Tl) 单道谱仪测量。其探测效率用 Ge(Li) 谱仪核对。

核素的鉴别一般利用 γ 特征峰。主要发射 511 keV 湮没辐射的核素, 除记录 γ 能谱外, 主要测量 511 峰的衰变曲线。将各个核素强度较高的特征全能峰的净积分计数率按常法作探测效率、 γ 射线绝对强度、死时间、饱和因子、生长衰变关系和箔片重量等校正, 求出 S 值。

对待征峰的峰位上未测到放射性的 3 种长寿命核素 ^{60}Co , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 和 $^{114\text{m}}\text{In}$ [^{115}Sn (γ , p) 反应的产物], 估算了峰位处放射性计数的上限, 据此求出产额的上限。作保守的估计, 采用 L. A. Currie 定义的探测下限 L_D ^[6] 作为上限值, 并取可信度 95%, 标准偏差的倍数 1.645。

3. 产额的计算 将位于靶叠中不同位置处的 Cu 箔上的 ^{64}Cu 饱和放射性比度对距离作

表 1 由厚靶 $Y_{\text{Cu-62}}$ 换算 $Y_{\text{Cu-64}}$

E_0 , MeV	$Y_{\text{Cu-62}}$		$Y_{\text{Cu-62}}^{[7]}$, Bq·(R/min) ⁻¹ ·g ⁻¹		$Y_{\text{Cu-64}}$, Bq·(R/min) ⁻¹ ·g ⁻¹
	[1] 式计算值	Swanson 值*			
17.0	1.44	1.43	1.89×10^2	$(1.03 \times 10^6)^{**}$	1.31×10^2
18.0	1.54	1.53	2.42×10^2	(1.32×10^6)	1.57×10^2
19.4	1.63	1.65	3.48×10^2	(1.90×10^6)	2.14×10^2
19.7	1.65	1.68	3.68×10^2	(2.01×10^6)	2.23×10^2
22.3	1.79	1.87	4.67×10^2	(2.55×10^6)	2.61×10^2

* 系 W. P. Swanson 值^[5] 的内插值。

** 括弧内为文献 [7] 原始数据, 单位为 dpm/R/m/mole ^{63}Cu 。

表2 主要产物的光核反应产额

靶物	靶片厚度, mm	E_0 , MeV	核素	核过程	γ	Y , $\text{Bq} \cdot (\text{R}/\text{min})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	Y^{**} , $\mu\text{Ci} \cdot (\mu\text{Ah})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	文献产额值**	
								γ	$Y^{[4,11]}$ $\text{Bq} \cdot (\text{R}/\text{min})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
石墨	4	22.3	^{12}C	(γ, n)	$(6.7 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	$(1.8 \pm 0.1) \times 10^1$	1.00 ± 10^2		
聚四氟乙烯	4	19.4	^{19}F	(γ, n)	0.76 ± 0.03	$(1.63 \pm 0.06) \times 10^2$	3.4×10^2		1.49×10^2
		22.3	^{19}F	(γ, n)	0.76 ± 0.02	$(1.98 \pm 0.05) \times 10^2$	4.1×10^2		
Ti	0.3	19.7	^{45}Ti	(γ, n)	$(7.2 \pm 0.8) \times 10^{-2}$	$(1.6 \pm 0.2) \times 10^1$	2.1×10^1		
			^{47}Sc	(γ, p)	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	$(2.9 \pm 0.4) \times 10^1$	1.6		3.1×10^1
Ni	2×0.1	19.7	^{57}Ni	(γ, n)	$(3.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(8.5 \pm 0.2) \times 10^1$	1.05×10^1	3.84×10^{-1}	2.8×10^2
			^{57}Co	$(\gamma, p); (\gamma, n) \xrightarrow{\text{EC}} \beta^+$	(1.30 ± 0.06)	$(3.0 \pm 0.1) \times 10^2$	2.1×10^{-1}		
Zn	0.28	19.7	^{67}Cu	(γ, p)	$(1.7 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3.8 ± 0.5	2.7×10^{-1}		
Mo	0.1	19.7	^{99}Mo	(γ, n)	$(6.9 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	$(1.5 \pm 0.2) \times 10^1$	1.1×10^1	6.39×10^{-1}	
Cd	0.5	19.7	^{115}Cd	(γ, n)	$(4.2 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	$(9.4 \pm 0.5) \times 10^1$	8.1		8.3×10^1
			^{105}Ag	$(\gamma, n) \xrightarrow{\text{EC}} \beta^+; (\gamma, p)$	$(5.1 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	$(1.1 \pm 0.1) \times 10^1$	5.3×10^{-2}		
In	0.2	19.7	^{115m}In	(γ, n)	5.09 ± 0.06	$(1.14 \pm 0.01) \times 10^3$	4.39		
Sn	0.13	19.7	^{115}Sn	(γ, n)	$(5.2 \pm 0.5) \times 10^{-2}$	$(1.2 \pm 0.1) \times 10^1$	5.3×10^1		
			^{115}In	$(\gamma, n) \xrightarrow{\text{EC}} \beta^+; (\gamma, p)$	$(4.5 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	$(1.00 \pm 0.05) \times 10^1$	6.7×10^{-1}		

* 照射条件: 厚度2mm的金转化靶, 靶片位于电子束轴线上, 与电子束方向垂直, 直径1.0cm, 距转化靶1.0cm, 电子束在转化靶上斑点直径 $\ll$ 靶直径。** γ 由文献[2]中单能 γ 光子法测得的 $\sigma(E)$ 函数按(1)式求和得到, 方法同前。 Y 直接取自文献[4,11]。

表3 杂质核素的光核反应产额 (能量19.7MeV)

靶物	核素	核反应	y	Y , $\text{Bq} \cdot (\text{R}/\text{min})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	Y' , $\mu\text{Ci} \cdot (\mu\text{Ah})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$	文献[4,11]产额值 $Y, \text{Bq} \cdot (\text{R}/\text{min})^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$
Ti	^{46}Sc	(γ, p)	$(2.5 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	5.6 ± 0.5	1.3×10^{-2}	8.2
	^{48}Sc	(γ, p)	$(6 \pm 2) \times 10^{-3}$	1.3 ± 0.4	1.3×10^{-1}	1.07
Ni	^{60}Co	(γ, p)	$< (3.8 \pm 0.6) \times 10^{-2}$	$< 9 \pm 1$	$< 9 \times 10^{-4}$	
	^{61}Co	(γ, p)	$(3.9 \pm 0.7) \times 10^{-3}$	$(9 \pm 2) \times 10^{-1}$	2	
Zn	^{63}Zn	(γ, n)	$(9.0 \pm 0.9) \times 10^{-1}$	$(2.0 \pm 0.2) \times 10^2$	8.8×10^2	3.0×10^2
	^{65}Zn	(γ, n)	$(7.4 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(1.65 \pm 0.02) \times 10^2$	1.28×10^{-1}	
	$^{69\text{m}}\text{Zn}$	(γ, n)	$(4.5 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	1.00 ± 0.09	0.32	
Mo	^{91}Mo	(γ, n)	$(4.6 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$(1.0 \pm 0.1) \times 10^2$	6.3×10^2	
	^{95}Nb	(γ, p)	$(6 \pm 2) \times 10^{-3}$	1.3 ± 0.4	7×10^{-3}	
	^{96}Nb	(γ, p)	$(1.8 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(4.0 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	8×10^{-2}	
	^{97}Nb	(γ, p)	$(5.5 \pm 0.1) \times 10^{-3}$	1.23 ± 0.03	3.5	
Cd	^{107}Cd	(γ, n)	$(3.3 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	7.4 ± 0.9	5.0	
	^{108}Cd	(γ, n)	$(5.1 \pm 0.8) \times 10^{-1}$	$(1.1 \pm 0.2) \times 10^2$	4.8×10^{-2}	
	$^{111\text{m}}\text{Cd}$	$(\gamma, n); (\gamma, \gamma')$	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	$(2.9 \pm 0.5) \times 10^1$	1.1×10^2	
	$^{113\text{m}}\text{Cd}$	(γ, n)	$(6 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(1.3 \pm 0.2) \times 10^1$	6×10^{-2}	
	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	(γ, p)	$< (2.1 \pm 0.9) \times 10^{-3}$	$< (5 \pm 2) \times 10^{-1}$	$< 4 \times 10^{-4}$	
	^{112}Ag	(γ, p)	$(1.4 \pm 0.3) \times 10^{-3}$	$(3.1 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	4.1×10^{-1}	
In	$^{112\text{m}}\text{In}$	(γ, n)	$(2.4 \pm 0.7) \times 10^{-1}$	$(5 \pm 2) \times 10^1$	3.0×10^3	
	$^{113\text{m}}\text{In}$	(γ, γ')	$(2.4 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	5.4 ± 0.7	1.2×10^1	
	$^{115\text{m}}\text{In}$	(γ, γ')	$(3.2 \pm 0.5) \times 10^{-1}$	$(7 \pm 1) \times 10^1$	7×10^1	
Sn	^{113}Sn	(γ, n)	$(3.5 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	7.8 ± 0.9	1.3×10^{-2}	5.2
	$^{117\text{m}}\text{Sn}$	$(\gamma, n); (\gamma, \gamma')$	$(1.05 \pm 0.01) \times 10^{-1}$	$(2.34 \pm 0.02) \times 10^1$	3.17×10^{-1}	
	$^{123\text{m}}\text{Sn}$	(γ, n)	$(4.2 \pm 0.2) \times 10^{-1}$	$(9.4 \pm 0.7) \times 10^1$	4.0×10^2	
	$^{114\text{m}}\text{In}$	(γ, p)	$< (7 \pm 3) \times 10^{-3}$	$< 1.6 \pm 0.7$	$< 6 \times 10^{-3}$	
	$^{115\text{m}}\text{In}$	(γ, p)	$(1.7 \pm 0.4) \times 10^{-3}$	$(3.8 \pm 0.9) \times 10^{-1}$	3.5×10^{-1}	
	^{117}In	(γ, p)	$(2 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(5 \pm 2) \times 10^{-1}$	1.4	

图进行修整。然后将夹在靶箔前后两片Cu箔上修整后的 ^{64}Cu 饱和放射性比度求平均,平均值即表示靶片位置处的 $S_{\text{Cu}-64}$ 。 S 和 $S_{\text{Cu}-64}$ 之比为相对产额 y ;乘以 ^{64}Cu 的绝对产额 $Y_{\text{Cu}-64}$,得绝对产额 Y 。 $Y_{\text{Cu}-64}$ 系由 $^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$ 反应的实验 $Y_{\text{Cu}-62}$ 值^[7]用(1)式转换得到,方法同上。结果见表1。计算得到的 $y_{\text{Cu}-62}$ 值与W. P. Swanson^[8]一致。在本实验条件下,由于 ^{62}Cu 寿命较短,如用作参考核,实验误差较大。

三、结果和讨论

1. 产额 20MeV左右的测定结果总结于表2和表3。估计绝对产额的准确度一般在30%以内。绝对产额值采用两种方法表示。其中以电子束的 μAh 数表示的绝对产额 Y' 随照射的具体条件而变。本文的照射条件见表2附注。数据系利用韧致辐射的实验剂量率曲线^[8]和厚靶韧致辐射角分布数据^[9,10]求出靶面所受的平均照射量率,然后由照射量率表示的产额 Y 转换得到。 Sb_2O_3 , In等活化箔实验以及利用光中子产额的文献数据^[8]所作的计算表明靶位处次级光中子对产额的影响远小于实验误差,不必作任何校正。

表中将本文的结果与近期文献的实验值作了比较。表明 y 值与单能光子法得的结果^[2]偏离不大; Y 值除⁵⁷Ni外,也与文献[4, 11]大体一致。我们测得的⁵⁷Ni的 y 值与准确度较高的单能光子法相近,似乎更可靠些。这可能与文献[4, 11]使用的探测器是分辨率较差的NaI(Tl)有关。

可以看出10 μ A束流照射10g靶物1h时,主要产物除¹⁰⁵Ag外,产量均在10 μ Ci以上到mCi级,¹¹C可达10mCi。用于生物医学和其他科研部门的一些示踪研究,数量大体已够。其中有9种核素,反应堆一般难以制备或制备手续麻烦,本法制靶技术和照射设备简单,用于小批量制备时,可作为荷电粒子反应的补充。

我们还测量了电子束能量降低3MeV对10种主产物产额的影响。结果(表4)表明,产额随能量下降而降低的程度是不同的。质量数在99以上的中等质量核的(γ , n)反应,降低约20—45%。质量数较低的⁴⁵Ti和⁵⁷Ni,影响则要大些。(γ , p)反应对能量的敏感性最为显著。因此,为了得到足够的生产量,加速器的工作能量不能低于20MeV过多。如果不得已采用17MeV左右的电子束,则一般以选用中等质量以上靶核的(γ , n)反应作为制备反应为宜。

表4 电子束能量对主要产物产额的影响

靶物	核素	E_0 , MeV	y	Y , $Bq \cdot (R/min)^{-1} \cdot g^{-1}$	产额比†
Ti	⁴⁵ Ti	17.0	$(2.6 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	3.4 ± 0.3	0.21 ± 0.03
	⁴⁷ Sc	17.0	$(2.3 \pm 0.3) \times 10^{-2}$	3.0 ± 0.4	0.10 ± 0.02
Ni	⁵⁷ Ni	17.0	$(2.7 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(3.5 \pm 0.1) \times 10^1$	0.41 ± 0.02
	⁵⁷ Co*	17.0	$(8.9 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	$(1.16 \pm 0.05) \times 10^1$	0.39 ± 0.02
Zn	⁶⁷ Cu	17.0	$(7 \pm 1) \times 10^{-3}$	$(9 \pm 1) \times 10^{-1}$	0.24 ± 0.04 ††
Mo	⁹⁹ Mo	17.0	$(8.8 \pm 0.1) \times 10^{-1}$	$(1.15 \pm 0.01) \times 10^2$	0.8 ± 0.1
Cd	¹⁰⁵ Ag*	17.0	$(5.3 \pm 0.6) \times 10^{-2}$	6.9 ± 0.8	0.63 ± 0.09
	¹⁰⁵ Ag*	18.0	$(5.3 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	8.3 ± 0.3	0.76 ± 0.07
	¹¹⁵ Cd	17.0	$(5.8 \pm 0.6) \times 10^{-1}$	$(7.6 \pm 0.8) \times 10^1$	0.8 ± 0.1
	¹¹⁵ Cd	18.0	$(5.2 \pm 0.4) \times 10^{-1}$	$(8.2 \pm 0.6) \times 10^1$	0.87 ± 0.08
In	^{114m} In	17.0	6.0 ± 0.3	$(7.9 \pm 0.4) \times 10^2$	0.69 ± 0.04
Sn	¹¹¹ In*	17.0	$(4.2 \pm 0.03) \times 10^{-2}$	5.5 ± 0.4	0.55 ± 0.05

† 与19.7MeV产额的比值。

†† 在同样条件下,⁶⁴Zn的产额比值为 0.59 ± 0.06 ,^{69m}Zn的产额比值为 0.63 ± 0.06 。

* 系两条反应通道产额之和。

2. 主要产物的纯度和去污要求 利用产额数据,求得了1h照射终了时主产物和相应杂质核素间的放射性比值,用以估计去污要求和产品可能达到的核纯度。去污因数以放射性杂质总量降到主产物的0.1%以下为标准。

(1) ¹¹C 用分析纯的Na₂CO₃为靶物时,产物中仅发现0.2%以下的²²Na。

(2) ¹⁸F 用分析纯的NaF为靶,放射性杂质的含量在0.1%以下。

(3) ^{45}Ti 需化学处理除掉 (γ, p) 反应产生的 Sc 同位素, 主要为 ^{47}Sc 。如要求 Sc 放射性在 ^{45}Ti 衰变 2 个半衰期后仍保持在 0.1% 以下, 则要求对 Sc 的去污因数取 4×10^2 左右。

(4) ^{47}Sc ^{46}Sc 和 ^{48}Sc 的沾污量分别为 0.8% 和 8%。冷却 12h 后, ^{45}Ti 的放射性与 ^{47}Sc 相近。因此化学处理时对 Ti 的去污要求主要取决于钛载体存在的容许量。

(5) ^{57}Co 测得 (γ, p) 和 (γ, n) 两反应的产额比为 2.5 ± 0.1 。说明两反应在制备 ^{57}Co 时的重要性都不能忽视。故应在大部分 ^{57}Ni 衰变后提取为宜。 ^{60}Co 的含量在 4×10^{-3} 以下。

(6) ^{67}Cu 产物中不存在显著量的 ^{64}Cu 。主要的杂质放射性为 ^{63}Zn , ^{65}Zn 和 ^{66}Zn , 其中 ^{63}Zn 的强度为 ^{67}Cu 的 3×10^3 倍。故以冷却 8 小时左右使大部分 ^{63}Zn 衰变后提取为好。此时对 Zn 的去污因数应取 2×10^3 。

(7) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 照射后 30h, 主要杂质只剩下 ^{95}Nb 和 ^{96}Nb , 含量分别为 ^{99}Mo 的 8×10^{-4} 和 4×10^{-3} 。

(8) ^{111}In 99% 以上来自 (γ, n) 反应, (γ, p) 反应贡献极少。照射后放置 6—9h, 使 ^{111}Sn 衰变, 并使高强度的 $^{113\text{m}}\text{Sn}$ 大部分衰变后提取为宜。对 Sn 的去污因数可取 4×10^3 。产品中约含 13% 的 $^{115\text{m}}\text{In}$ 和 2% 的 $^{113\text{m}}\text{In}$ 。

(9) $^{114\text{m}}\text{In}$ - ^{114}In 铟靶冷却 4 天后, 其他 In 放射性核素的量下降到 0.1% 以下。采用纯度 99.9% 的靶材料, 未见其他放射性杂质。

(10) ^{115}Cd - $^{115\text{m}}\text{In}$ Cd 靶辐照后 10h, 主要放射性来自 ^{115}Cd - $^{115\text{m}}\text{In}$ (88%) 和 ^{107}Cd (11%), 不含 In 的其他放射性核素, 溶液可用作 $^{115\text{m}}\text{In}$ 的发生器。因此在反应堆产品一时供应不上的特殊场合, 光核反应也有可能提供少量 ^{99}Mo , $^{115\text{m}}\text{In}$ 代用产品。

(11) ^{105}Ag 99% 以上产物由 (γ, n) 反应产生。提取 $^{115\text{m}}\text{In}$ 后的 Cd 靶溶液放置 20 天后, 可提取纯度较高的无载体产品, $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 的含量在 1% 以下。

致谢: 本文是在本所 30MeV 电子直线加速器组和活化组大力协助下完成的, 并得到谢家麟、冯锡璋、朱善根、朱孚泉、郑民、朱育诚同志的热情支持, 特表谢意。

参 考 文 献

- [1] Takanobu Shiokawa et al., *Radioisotopes*, **26**, 6, 63(1977).
- [2] Berman, B.L., *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, **15**, 319(1975).
- [3] Kato, T., *J. Radioanal. Chem.*, **16**, 307(1973).
- [4] Yoshinaga Oka et al., *Bull. Chem. Soc. Japan*, **40**, 575(1967).
- [5] Hansen, N.E., Fultz, S.C., UCRL-6099(1960).
- [6] D. 德索埃脱等, 中子活化分析, 伍任译, 306—310页, 原子能出版社, 1978.
- [7] Katz, L., Cameron, A.G.W., *Canadian J. Phys.*, **29**, 518(1951).
- [8] Swanson, W.P., *Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators*, P. 52, 84, 87, 104, Technical Reports Series No. 188, IAEA, VIENNA, 1979.
- [9] ARI Brynjolfsson, Martin, T.G. III., *Intern. J. Appl. Radiat. Isot.*, **29**(1971).
- [10] Lanzl, L.H., Hanson, A.O., *Phys. Rev.*, **83**, 959(1951).
- [11] Yoshinaga Oka et al., *Bull. Chem. Soc. Japan*, **41**, 380(1968).

DETERMINATION OF PHOTONUCLEAR REACTION YIELDS OF SOME NUCLIDES

FANG YIBING SU SHIXIN PAN QIYUAN
MIAO LING JIAO XIAOQI MU FENGRONG

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica, P.O. Box 918, Beijing)

ABSTRACT

The yields of ^{11}C , ^{18}F , ^{45}Ti , ^{47}Sc , ^{57}Ni , ^{57}Co , ^{67}Cu , ^{69}Mo , ^{105}Ag , $^{114\text{m}}\text{In}$, ^{115}Cd , ^{111}Sn , and ^{111}In in (γ, n) or (γ, p) reactions of 9 target discs (graphite, polytetrafluoroethylene, Ti, Ni, Zn, Mo, Cd, In and Sn) bombarded by about 20MeV bremsstrahlung are determined by means of Ge (Li) spectrometry with $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)$ ^{64}Cu as a reference reaction. The effect of the decrease in bremsstrahlung energy on the yields of these main products is examined. The yields of 22 nuclides and the upper limits of yields of 3 nuclides, both as impurity activities, are also measured or estimated. On the basis of these results, the potential of electron linear accelerator in producing these main products is evaluated, the nuclear purity that may be obtained for the main products and the requirement for decontamination of the impurity activities in chemical processing are estimated.

Key words Electron linear accelerator, Bremsstrahlung, Photonuclear reaction, Yield, Radioisotope production.

国际核化学与放射化学学术讨论会征文通知

经国务院批准,由中国核学会等部门主办,于1986年6月2—6日在北京召开“国际核化学与放射化学学术讨论会”,同世界各国从事核化学与放射化学工作的专家、学者就该领域的工作进行广泛的学术交流。会议语言为英语。

学术讨论会的内容和议题:

1. 核反应化学;
2. 锕系元素化学和核燃料循环化学;
3. 放射分析化学;
4. 放射药物化学和放射性标记化合物;
5. 其它。

凡属上述领域,并且未在国内外公开刊物上全文发表过的论文均可参加评审。欲参加者请于1985年1月1日至7月1日(以邮戳为凭),将论文摘要(300字左右)连同本单位推荐信一并寄到:北京,中关村,中国科学院高能物理研究所应用研究室张志尧同志处。