

用低能放射性源对 X 光底片 作定量标定的方法

范品忠 毛楚生

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

用 Si(Li) X 射线能谱仪测量了低能放射性源 ^{55}Fe 的辐射强度,用“时间标尺”法对 5F 型医用 X 光片和 Kodak 无屏 X 光片乳剂对于 ^{55}Fe 辐射的特性曲线作了定量标定。结果表明,对于 5F 底片,与密度 $D=1$ 相应的曝光量 $H_{D=1}=12 \times 10^7 \text{ photo/cm}^2$ 。

在作激光等离子体 X 射线诊断中,我们较多地采用国产 5F 型 X 光片作光谱记录。底片乳剂对 X 光的响应不同于可见光,它具有不存在互易律失效及各波长的特性曲线相互平行的特点。1981 年我们曾对这种底片作过相对标定^[1],这种标定对于谱线轮廓测定或波长靠得很近的几条谱线相对强度测定已足够了;但对于谱线绝对强度测定或波长差得很多的几条谱线绝对强度测定,则需要作底片响应对波长关系的定量标定。本文介绍了借助于 Si(Li) X 射线能谱仪,用低能放射性源 ^{55}Fe 作底片定量标定的实验方法和结果。

一、 ^{55}Fe 的辐射强度

本实验中用来标定底片的辐射源是 The Radio Chemical Centre Ltd (Amersham) 生产的圆盘形 ^{55}Fe 低能放射性源,圆盘外径 $\phi 15 \text{ mm}$,厚 3 mm ,Be 窗直径为 $\phi 12.5 \text{ mm}$,标称强度是 50 mci 。1979 年 12 月 4 日出厂,当时实测结果是 46.4 mci 。为了从实验上测定该放射性源的 X 射线强度,我们到上海原子核所利用他们的 Si(Li) X 射线能谱仪测量了它的能谱和强度。Si(Li) X 射线能谱仪其灵敏体积是 $\phi 5 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,铍窗厚度为 $25 \mu\text{m}$,对 $^{55}\text{Fe}(5.9 \text{ keV})$ 能量分辨率为 187 eV 。实验装置如图 1。

实验时放射性源放在 Si(Li) 探头窗口的法线方向上的一个特制的源底座里。底座事先已经与探头调准直。在源底座下方开口直径大于 12.5 mm ,保证整个发射面射出的 X 射线都能落在探头上面而不会被挡去。测量时在探头前加一个限制光阑,光阑的直径为 24.8 mm ,厚度为 1 mm (紫铜板)。Si(Li) 探头接收的信号放大后被送至多道分析器,所获得的能谱如图 2 所示。

由能谱分布可见 ^{55}Fe 源的辐射主要由二种不同能量的 X 射线组成,它们的能量分别是 5.898 keV 和 6.489 keV ,它们在总强度中所占的百分比分别是 85.3% 和 14.7% 。在计算 ^{55}Fe 源的总效果时,将按此比例作平均。

收稿日期: 1983 年 8 月 29 日

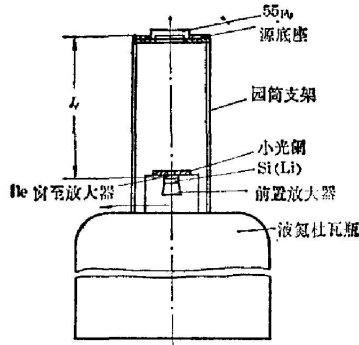
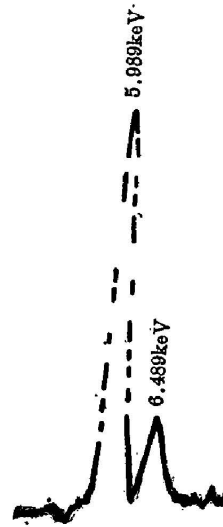


图 1 实验装置图

Fig. 1 Experimental set up

图 2 ^{55}Fe 辐射能谱图Fig. 2 Energy spectrum of ^{55}Fe radiation

1. Si(Li) 探头铍窗透过率的计算

由[2]查得铍的总吸收截面 σ ，然后作适当的内插得到 5.898 keV 和 6.489 keV 的总吸收截面，算出相应的质量吸收系数 μ 和 25 μm 铍窗的透过率 T ，最后求出平均透过率 $T_{\text{平均}}$ ，结果如表 1。铍的密度 $\rho=1.845 \text{ g/cm}^3$ 。

表 1 Si(Li) 探头铍窗(25 μm)透过率Table 1 Transmissivity of Be window (25 μm) of Si(Li) detector

E (keV)	σ (10^{-24} cm^2)	μ (cm^2/g)	T	$T_{\text{平均}}$
5.898	39.26	2.623	0.9880	0.9884
6.489	30.36	2.029	0.9907	

2. 空气的吸收

(1) 首先由空气各成分的体积百分比算出相应的重量百分比，结果如表 2。

表 2 空气的重量百分比

Table 2 Weight fraction of the air

成分	体积百分比 (%)	克分子量	重量百分比 (%)
N_2	78.09	14.0067×2	75.527
O_2	20.95	15.999×2	23.145
Ar	0.93	39.948	1.2827
CO_2	0.03	12.0111 C: 27.29231% 15.999 O: 72.74769%	0.04558 C: 0.01244 O: 0.03314
空气	100.00	28.9640	100.00

(2) 空气的密度，在标准状态下空气的密度为 $\rho_0=1.29304 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 。由美国物

理学会手册关于空气密度与温度关系的表^[3], 作内插求得实验温度下 (24°C) 的空气密度 $\rho_{24^\circ\text{C}} = 1.20253 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ 。

(3) 由[2]查得 N, O, Ar, C 诸元素的总吸收截面 σ , 经内插得到 5.898 keV 和 6.489 keV 的 σ 值, 然后计算出相应的质量吸收系数 μ 和空气的质量吸收系数, 最后得到几种厚度空气对 ^{55}Fe 辐射的透过率。结果如表 3 和表 4。表 4 中的 L 指 Si(Li) 探头至源的距离。

表 3 空气对 ^{55}Fe 辐射的质量吸收系数

Table 3 Quality absorptance of the air for ^{55}Fe radiation

	5.898 keV		6.489 keV		5.988 keV (平均光子能量) μ
	σ	μ	σ	μ	
N	432.6	18.5991	326.3	14.0288	23.5195
O	775.9	29.2048	586.3	22.0682	
Ar	18450.0	278.126	14400.0	217.074	
C	224.0	11.2307	171.8	8.6135	
空 气		24.3854		18.4949	

表 4 空气(24°C)对于 ^{55}Fe 辐射的透过率

Table 4 Transmittivity of the air (24°C) for ^{55}Fe radiation

$L(\text{cm})$	14.2	14.3	19.8	25.8
$T_{\text{Air}}(\%)$	0.6692	0.6673	0.5712	0.4821

3 放射性源辐射强度的计算

按 $I = \frac{c}{t} \cdot \frac{L^2}{S \cdot T}$ (photo/sec·ster) 计算 ^{55}Fe 的实验测量强度, 其中 c 为总计数, t 为计数时间, L 为 Si(Li) 探头至源的距离, S 为 Si(Li) 探头的有效接收面积, T 为从辐射源至探头路程上的透过率, 即空气透过率与探头 Be 窗透过率的乘积。测得 L 为 14.2 cm, 19.8 cm 和 25.8 cm 三处的强度, 并求出它们的平均值为 1.815×10^7 photo/sec·ster。计数时间为 30 秒, 探头有效接收面积为 0.048305 cm^2 , $T_{\text{Be}} = 0.9884$ 。

4. 从 ^{55}Fe 出厂标定强度推算源的辐射强度

(1) 按下式将放射性源的毫居里数转换成源的强度:

$$I = i \times 10^{-3} \times 3.7 \times 10^{10} \cdot \eta \cdot \frac{1}{4\pi}$$

式中 i 为毫居里数, 3.7×10^{10} 为 1 居里的源在 1 秒钟内产生的核衰变数, η 为产生 X 光子的效率^[4], 已查得 $\eta = 0.28$, $\frac{1}{4\pi}$ 因子是考虑到放射性物质发射 X 光子的各向同性性质。由此可推算出 ^{55}Fe 源的原始强度 $I_0 = 3.825 \times 10^7$ photo/sec·ster。

(2) 该放射性源出厂至使用时已二年多, 其强度已显著衰减。 ^{55}Fe 的半衰期为 2.6 年, 按公式 $i = i_0 e^{-t/T}$, 得 $T = 3.751$ 年。 ^{55}Fe 出厂标定时间为 1979 年 12 月 4 日, 这次测量时间是 1982 年 6 月 10 日, $t = 2.51644$ 年, 代入上式得 $i = 23.7226 \text{ mci}$, 相应的 $I = 1.956 \times 10^7$ photo/sec·ster。计算值比实验测量值大 10% 左右。

二、底片乳剂的定量标定

测得 ^{55}Fe 的绝对强度之后, 用“时间标尺曝光法”将国产 5F 型 X 光片和 Kodak 无屏 X 光片放入同一暗盒内作定量标定。实验装置及步骤同文献[1]。

通常, 当底片到源的距离为辐射源线度的 10 倍以上时, 可以近似地把源看作点源。把已测得的 ^{55}Fe 源的辐射强度、暗盒铍窗 ($50\ \mu\text{m}$) 的透过率以及在实验温度下空气透过率的影响, 按照 $H = \frac{I\Gamma}{L^2} \cdot t$ 计算每一曝光时间下的绝对曝光量 H 。由测微密度计测出每一曝光时间下的密度 D , 即可得到这种底片的乳剂在该条件下的绝对特性曲线。结果列于表 5 和图 3。

表 5 5F 型 X 光片和 Kodak 无屏 X 光片对 ^{55}Fe 辐射的 H 和 D 值

Table 5 Values of H & D of type 5F X-ray film and Kodak NS X-ray film for ^{55}Fe radiation

t (秒)	40	80	160	320	640	1280	2560	5120	10240	20480	40960
H (10^6 photo/ cm^2)	2.06	4.12	8.25	16.5	33.0	66.0	132.0	263.9	527.8	1055.7	2111.4
D_{5F}	0.270	0.286	0.308	0.378	0.470	0.686	1.092	1.608	2.303	2.908	3.301
D_{KNS}	0.556	0.586	0.650	0.776	0.990	1.340	1.792	2.362	2.960	3.460	4.110

由图 3 可以看出, Kodak 无屏底片的线性范围较大, 在实验所及的曝光量下未出现饱和, 而 5F 型 X 光片在曝光量较高时, 呈现出饱和趋势。结果表明, Kodak 无屏片比 5F 片灵敏, 当 $D=1$ 时, 两种底片相应的曝光量分别为 3.3×10^7 photo/ cm^2 和 12×10^7 photo/ cm^2 。

倪元龙同志参加了放射性源强度的测量工作。对原子核所朱节清、王国干同志的大力支持表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 毛楚生, 范品忠等;《核聚变与等离子体物理》, 1983, 3, No. 2, 102~106
- [2] WM. J. Veigele; *Atomic Data Tables*, 1973, 5, No. 1, 51~111.
- [3] Editor Dwight E. Gray, Ph. D; *American Institute of Physics Hand Book*, Second edition (McGraw-Hill Book Company. Inc. New York Toronto London), 4~105.
- [4] 张家骅等编;《放射性同位素 X 射线荧光分析》, (原子能出版社, 1981), 25.

Absolute calibration of X-ray films using low-energy radioactive source

FAN PINZHONG AND MAO CHUSHENG

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 29 August 1983)

Abstract

With Si(Li) X-ray energy spectrometer, the intensity of low-energy radioactive source ^{55}Fe has been measured and the absolute characteristic curves of emulsion for 5F medical film and Kodak No-screen film under the condition of ^{55}Fe radiation have also been obtained using 'time-mark' exposure technique. When the optical density D of 5F film is equal to 1, then the corresponding exposure H is equal to 12×10^7 photo/ cm^2 .