

文章编号:1673-0062(2014)03-0022-04

1220 Quantulus™ PSA 值优化设置及其 准确性检验实验研究

安小刚,唐 泉*,丘寿康,李连山,李文涛

(南华大学核科学技术学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:介绍了 1220 Quantulus 型液闪谱仪的 PSA 值优化设置方法及准确性检验方法.通过实验确定了此仪器的最优 PSA 值,并利用³H、¹⁴C 标准源对其准确性进行了检验.结果表明使用优化了 PSA 值的 Alpha/Beta 配置测量³H、¹⁴C 时,与谱仪默认配置测量结果相一致.为使用 Alpha/Beta 配置进行 β 放射性核素测量研究提供参考.

关键词:1220 Quantulus;PSA 值;³H;¹⁴C

中图分类号:TL817+.2 **文献标识码:**B

Study on Optimization Setting and Accuracy Test of the PSA Value for 1220 Quantulus™ LSC

AN Xiao-gang, TANG Quan*, QIU Shou-kang, LI Lian-shan, LI Wen-tao

(School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: This paper describes the methodes of optimization setting and accuracy test of the PSA value for 1220 Quantulus™ LSC. The optimization PSA value has been determined and the accuracy has been checked using³H/¹⁴C standard sources. The results show that the measurement results were consistent when using Alpha/Beta setup under the optimization setting and default setup to measure³H/¹⁴C. It provides some references to measure beta radionuclide using Alpha/Beta setup.

key words: 1220 Quantulus; PSA value; ³H; ¹⁴C

Wallac 1220 Quantulus™ 是美国 Perkin Elmer 公司生产的一种超低本底液体闪烁谱仪,由于其灵敏度高,稳定性好,本底极低,在环境放射性测

量,尤其是³H 及¹⁴C 的测量方面有着广泛的应用^[1-6].除此之外,由于其成熟的脉冲形状分析(PSA)技术使其在其他 α、β 放射性核素测量方

收稿日期:2014-03-17

基金项目:国家自然科学基金资助项目(11275094)

作者简介:安小刚(1988-),男,山西晋城人,南华大学核科学技术学院硕士研究生.主要研究方向:放射化学及辐射防护.* 通讯作者.

面有着巨大的应用潜力,通过设置正确的 PSA 值,可以同时测量一个样品中的 α/β 放射性核素^[7-9]. 目前,国内已有很多单位在使用这种液闪谱仪,但使用其 PSA 功能进行核素测量的单位并不多. 本文介绍了对 PSA 值进行正确设置的方法,并对其准确性进行了检验.

1 脉冲形状分析(PSA)原理

在液闪测量时,射线与闪烁液作用产生的脉冲分为瞬发成分和缓发成分,其在 α 、 β 脉冲中的比例不同, α 粒子较高的比电离能使更多的闪烁体分子能激发到三重态,因此, α 脉冲中含有更多的缓发成分,使其衰减时间比 β 脉冲的要长. 这种更长持续时间的 α 脉冲是通过脉冲形状甄别技术(PSA)进行 α/β 区分的基础^[10], α/β 脉冲长度区别见图 1.

运用 1220 Quantulus 型液闪谱仪的脉冲形状分析器可以使 α 、 β 脉冲相互分离,也就是说,在 α 测量时可以排除 β 射线本底的干扰,反之亦然. 1220 Quantulus 型液闪谱仪的脉冲形状分析功能可通过 PSA 值的设置来进行优化,PSA 值设置太高,会使更多的脉冲归入 α 类;设置太低,则会使更多的脉冲归入 β 类. 这种谱仪有 2 个多道分析器(MCA1, MCA2)且各自有自己对应的两部分存储地址(Half1, Half2). 设置完 PSA 值后,来自样品的真实符合事件的脉冲信号会根据 PSA 值区分,大于 PSA 设置值的脉冲信息存储在 SP12 (MCA1 的 Half2 部分),小于设置值的脉冲则被存储在 SP11 (MCA1 的 Half1 部分). 当 PSA 值正

确设置后,SP12 只包含 α 事件,而 SP11 只包含 β 事件.

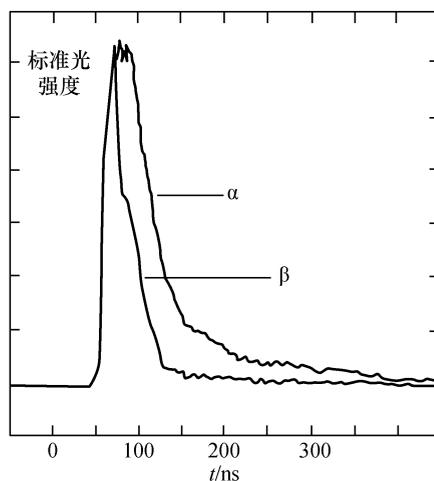


图 1 α/β 脉冲长度区别

Fig. 1 Pulse shape for events caused by beta and alpha particles

2 实验材料与仪器

2.1 1220 Quantulus™ 超低本底液体闪烁谱仪

本实验使用的是 Perkin Elmer 公司 Wallac 1220 Quantulus™ 超低本底液体闪烁谱仪. 其电压要求为 220 V ($\pm 10\%$), 50 Hz (± 1 Hz); 运行环境要求为温度范围为 $+15 \sim +35$ °C, 相对湿度 $< 75\%$. 在此实验条件下每 24 小时仪器的计数变化小于 0.2%.

2.2 标准源

实验所用标准源信息如表 1 所示.

表 1 实验所用标准源信息

Table 1 The standard sources used in this experiment

编号	核素	参考活度/Bq	参考日期	配制单位
CI30906(1)	²³⁹ Pu	359.1	2013-09-10	中国计量院
E130313(1)2	⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	20.30	2013-10-23	中国计量院
F120605(1)	³ H	233.8	2013-10-25	中国计量院
H1310181(2)	³ H	16.81	2013-10-26	中国计量院
F131018(2)	¹⁴ C	8.11	2013-10-24	中国计量院
F131020(2)	¹⁴ C	8.22	2013-10-28	中国计量院

3 实验方法与结果

3.1 PSA 值优化设置实验

为了正确设置 PSA 值,需要准备一个纯 α 源

和一个纯 β 源^[11], 本实验使用的分别是 ²³⁹Pu, ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y 标准源.

设置不同的 PSA 值,在相同的实验条件下对两个源进行测量,测量结果见表 2.

表2 不同 PSA 值时样品在 α/β 窗的计数率Table 2 The count rate per minute in α/β MCA vs. PSA value

PSA 值	$^{239}\text{Pu}/\text{min}^{-1}$			$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}/\text{min}^{-1}$		
	α 窗	β 窗	K_β	α 窗	β 窗	K_α
80	21 263.74	81.09	0.003 80	30.42	1 133.86	0.026 13
90	21 247.22	86.78	0.004 07	9.28	1 152.77	0.007 99
100	21 289.28	91.22	0.004 27	3.54	1 165.12	0.003 57
110	21 265.03	107.03	0.005 01	1.16	1 161.03	0.003 03
120	21 224.48	138.91	0.006 50	0.61	1 160.28	0.001 00
130	21 099.01	245.5	0.011 50	0.21	1 172.12	0.000 18
140	20 744.20	625.39	0.029 27	0	1 162.43	0

$K_\beta = \beta$ 窗计数率($\alpha + \beta$ 窗总计数率), $K_\alpha = \alpha$ 窗计数率($\alpha + \beta$ 窗总计数率)

从表2可以看出, PSA 值设置越高 α 射线进入 β 窗的比例就越大, 即对 α 射线的甄别能力变差, 相反, PSA 值设置越低 β 射线进入 α 窗的比例就越大. 根据上面的实验数据在同一个坐标系中做出 K 值与 PSA 值的关系曲线, 两条曲线的交点就是在此实验条件下本台仪器的最佳 PSA 值, 见图2. 本实验室仪器的最佳 PSA 值为 97.

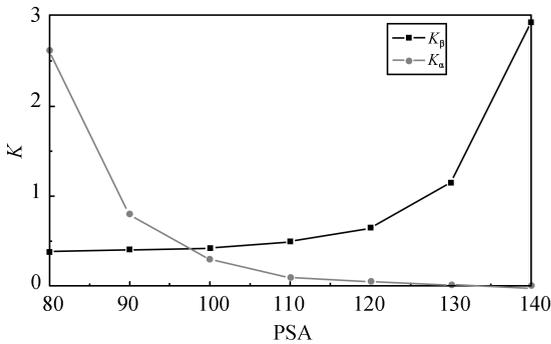


图2 PSA-K 值曲线

Fig. 2 The fitting curve of PSA-K

找到最佳 PSA 值后, 下次实验时如果所测样品与本次试验所用标准源的淬灭水平相差不大的话(50Ch 之内)可以直接使用, 不必重复对 PSA 值进行优化, 但样品测得的数据需要进行误分类校正, 其计算方法及公式如下^[11]:

设 X_α 为把 α 当成 β 的误分类; X_β 为把 β 当成 α 的误分类; A_T 为由于 α 衰变产生的真计数率; B_T 为由于 β 衰变产生的真计数率; A_0 为在 α 窗口中观察到的计数率; B_0 为在 β 窗口中观察到的计数率, 则可得:

$$A_0 = A_T - A_T X_\alpha + B_T X_\beta \quad (1)$$

$$B_0 = B_T - B_T X_\beta + A_T X_\alpha \quad (2)$$

式中: $X_\alpha = B_0 / (A_0 + B_0)$; $X_\beta = A_0 / (A_0 + B_0)$.

由公式(1), 公式(2)可得:

$$A_T = \frac{A_0 - A_0 X_\beta - B_0 X_\alpha}{1 - X_\beta - X_\alpha} \quad (3)$$

$$B_T = \frac{B_0 - B_0 X_\alpha - A_0 X_\beta}{1 - X_\alpha - X_\beta} \quad (4)$$

其中 X_α, X_β 即将 PSA 设置为最佳值时的 K_α 与 K_β , 本次试验的 $K_\beta = 0.003 57$, $K_\alpha = 0.004 58$.

3.2 准确性检验实验

用 1220 Quantulus 型液闪谱仪进行放射性核素测量时, 有 4 个默认的配置可选择, 分别是 ^3H 、 ^{14}C 、Alpha/Beta、Special setup. 对于不同的放射性核素可以选择适合其的配置进行测量, ^3H 配置用于测量低能 β 放射性核素, ^{14}C 配置用于测量能量等于或高于 ^{14}C 能量的 β 放射性核素, Alpha/Beta 配置理论上可以测量任何核素, 使用时需对 PSA 先进行优化, Special setup 配置可供用户自由选择信号处理的方式, 以满足用户的测量要求.

为了对 PSA 设置的准确性进行检验, 分别对两个 ^3H 源, 两个 ^{14}C 源(详细信息见表1)用仪器自带的 ^3H 、 ^{14}C 配置进行测量, 然后将其结果与用 Alpha/Beta 配置测量的结果进行比对. 这三种配置分别有不同的信号处理方式, ^3H 、 ^{14}C 配置是 1220 Quqntulus™ 已很成熟的测量 ^3H 、 ^{14}C 的设置方式, 是测量 ^3H 、 ^{14}C 的默认配置, 具有很高的可靠性, 将 Alpha/Beta 配置的测量结果与其进行比对就可以确定 PSA 配置的准确性. 实验结果见表 3 ~ 表 4.

由表 3 ~ 表 4 可以看出, Alpha/Beta 配置的测量结果与 ^3H 、 ^{14}C 配置测量结果很相近, 相对偏差均小于 2%, 尤其当活度比较大时, Alpha/Beta 配置与默认配置的测量结果基本没有差别, 说明优化设置得到的 PSA 值是准确的.

表3 ^3H 配置与 Alpha/Beta 配置测量 ^3H 实验结果比较Table 3 The measuring results of ^3H using ^3H setup and Alpha/Beta setup

编号	^3H 配置				Alpha/Beta 配置				相对偏差%
	cpm1	cpm2	cpm3	均值	cpm1	cpm2	cpm3	均值	
F120605(1)	5991.21	5984.39	6029.05	6001.55	6040.92	6000.25	5950.73	5997.30	-0.071
H1310181(2)	500.65	488.20	484.42	491.09	479.44	481.18	484.96	481.86	1.88

表4 ^{14}C 配置与 Alpha/Beta 配置测量 ^{14}C 实验结果比较Table 4 The measuring results of ^{14}C using ^{14}C setup and Alpha/Beta setup

编号	^{14}C 配置				Alpha/Beta 配置				相对偏差%
	cpm1	cpm2	cpm3	均值	cpm1	cpm2	cpm3	均值	
F131018(2)	425.21	438.60	428.48	430.76	419.27	432.09	424.20	425.19	-1.29
F131020(2)	427.96	436.88	423.98	429.61	432.58	426.64	415.56	424.93	-1.09

4 总 结

通过实验对 1220 Quantulus™ 超低本底液体闪烁谱仪的 PSA 值进行了优化设置,并对其准确性进行了检验.结果表明此仪器的最优 PSA 值为 97, α 、 β 误分类分别为 0.458% 及 0.357%; 用此设置测量 ^3H 、 ^{14}C 的准确性很高,测量结果的相对偏差小于 2%.

参考文献:

- [1] 杨海兰. 液体闪烁计数与低水平环境氚的监测[J]. 辐射防护通讯, 2012, 32(1): 1-7.
- [2] 卢静, 吴光雨, 张伟, 等. 苏州市和秦山核电站环境水体中氚水平的调查[J]. 中国辐射卫生, 2010, 19(4): 454-455.
- [3] Varlam C, Stefanescu I, Dului O G, et al. Applying direct liquid scintillation counting to low level tritium measurement[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2009, 67(5): 812-816.
- [4] Nikolov J, Todorovic N, Jankovic M, et al. Different methods for tritium determination in surface water by LSC[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2013, 71(1): 51-56.
- [5] 翟盛庭. 用液体闪烁计数法绝对测量 ^3H 和 ^{14}C 比活度[J]. 原子能科学技术, 1997, 31(6): 503-507.
- [6] Reddy P J, Bhade S P D, Narayan K K, et al. Comparative study of different methods for the activity quantification ^3H and ^{14}C radionuclides in dual labeled sample using liquid scintillation analyzer [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2009, 67(10): 1945-1951.
- [7] Pates J M, Mullinger N J. Determination of ^{222}Rn in fresh water: Development of a robust method of analysis by α/β separation liquid scintillation spectrometry [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2007, 65(1): 92-103.
- [8] Bianchi D, Cortese P, Dellacasa G, et al. Determination of the isotopic ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ in liquid Scintillation and environmental applications[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2005, 553(3): 543-549.
- [9] Nebelung C, Baraniak L. Simultaneous determination of ^{226}Ra , ^{233}U and ^{237}Np by liquid scintillation spectrometry [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2007, 65(2): 209-217.
- [10] Ross H, Noakes J E, Spaulding J D. Liquid scintillation counting and organic scintillators[M]. Michigan, USA: Lewis Publishers, 1989.
- [11] Michael EL Annunziata. 放射性分析手册[M]. 2 版. 《放射性分析手册》(第 2 版) 翻译组, 译. 北京: 原子能出版社, 2006.