

文章编号:1005-4642(2019)01-0019-04

基于核物理虚拟仿真实验平台的 γ 能谱测量

杨东侠,刘安平,张选梅,韩 忠,谭红兵

(重庆大学 物理实验国家级教学示范中心,重庆 401331)

摘 要:利用核物理虚拟仿真实验平台,开展了 γ 能谱测量实验,标定了 γ 谱的能量刻度. 实验测量了 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的背散射峰能量,实现了对未知射线能谱的测定,验证了能量与峰位道址的线性关系. 基于虚拟仿真实验平台的核物理实验,灵活多变,操作性强,学生可自主设计实验.

关键词: γ 能谱;光电峰;虚拟仿真

中图分类号:O571

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2019.01.004

核物理实验教学是物理专业十分重要的实验教学内容,其中,NaI(Tl)闪烁谱仪与 γ 能谱测量实验是非常典型的实验项目,闪烁谱仪既能测量粒子的强度,又能测量粒子的能量,而且测量效率高,分辨时间短,所以在核物理研究和放射性测量中应用广泛. 进行核物理实验需要用到放射源,会产生核辐射,教学环节中存在安全风险,为此,我校物理实验中心采用虚实结合的方式,建设虚拟仿真模式下的核物理实验教学平台,用虚拟仿真源取代实体放射源开展实验教学,优化实验教学环境,规避安全隐患^[1-3]. 为更好地服务实验教学,本文以 γ 能谱测量实验为例,展示核物理虚拟仿真实验平台开展实验教学的实际效果.

1 实验原理

当放射源发生衰变时,会向外发射出 γ 射线, γ 射线可以与物质相互作用,产生次级带电粒子,这些粒子的能量与 γ 射线的能量直接相关,因此,可以通过实验测量次级带电粒子的能量标定 γ 射线的能谱,从而测定未知放射源^[4].

根据 γ 粒子能量与峰位道址的线性关系

$$E_{\gamma} = kN + b, \quad (1)$$

如果对应 E_1 的峰位道址位于 N_1 ,对应 E_2 的峰位道址位于 N_2 ,则可以得到 k 和 b 为

$$k = \frac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1} \text{ MeV},$$
$$b = \frac{(E_1 + E_2) - k(N_1 + N_2)}{2} \text{ MeV}.$$

对能量和道址进行最小二乘法拟合,得到能量定标公式(1)式,代入未知射线峰位的道址 N ,可测量未知射线的能量.

2 实验仪器

核物理虚拟仿真实验平台主要由虚拟核信号发生器、通用多道分析器、实验辅助软件、计算机和示波器构成,如图 1 所示. 用虚拟核信号发生器代替实体放射源,可以给出指定放射源的物理信息,借助计算机仿真技术在实验平台的深入应用,采用虚实结合的模式,为学生提供安全、方便、



图 1 可重构实验平台

“第 10 届全国高等学校物理实验教学研讨会”论文

收稿日期:2018-06-01;修改日期:2018-07-30

基金项目:重庆大学示范性虚拟仿真实验教学项目(No. 2018006)

作者简介:杨东侠(1990-),男,重庆人,重庆大学物理实验国家级教学示范中心助理工程师,硕士,从事大学物理实验、近代物理实验教学,研究方向为环境物理、传感检测.



优质的实验环境^[5-7].

该实验平台的优点是可以在 1 台实验仪器上,开展多个实验项目,可以重构实验条件,仿真多个实验过程,通过软件直接测量峰位道址、半高全宽、能量分辨率等;同时具有保存/导出数据功能,可以直接在电脑上利用 Excel, Origin 等软件进行数据处理.

核物理虚拟仿真实验平台仿真闪烁 γ 能谱仪,其结构和功能见图 2. 闪烁谱仪的结构可分为闪烁探头与高压、信号放大与多道分析 2 部分. 闪烁 γ 谱仪与能谱测量实验软件操作界面见图 3,界面具有重构实验条件的功能,能够开展多个应用 γ 能谱的实验项目,学生根据自己的思考,设计实验方案,例如测量不同放射源的光电峰峰位,标定谱仪,测定未知射线能谱和分辨率;验证能量与峰位的线性关系;应用 γ 谱仪,测量材料的吸收能力.

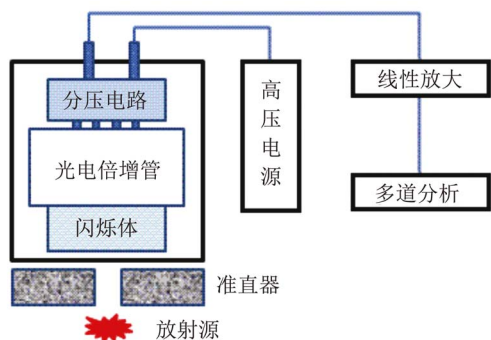


图 2 闪烁 γ 能谱仪的结构框图

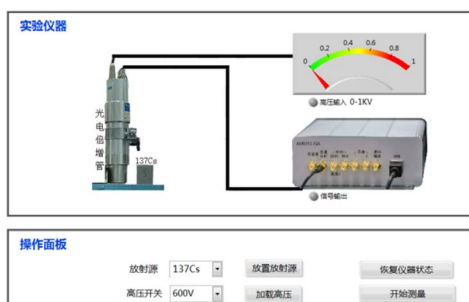


图 3 软件操作界面

3 实验内容

标定 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的 γ 能量刻度,测量 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的背散射峰能量,分析能量测量误差,检测虚拟仿真实验平台对 γ 能谱测量的准确性和实验效果. 实验测得 ^{137}Cs 的能谱如图 4 所示,测得 ^{60}Co 的能谱如图 5 所示. 实验数据如表 1 所示.

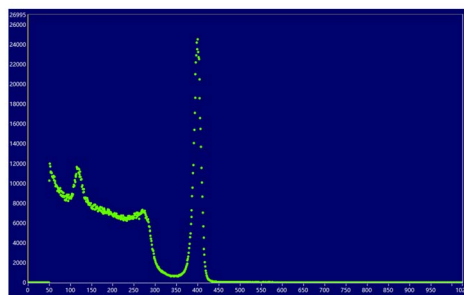


图 4 实验测量 ^{137}Cs 能谱图

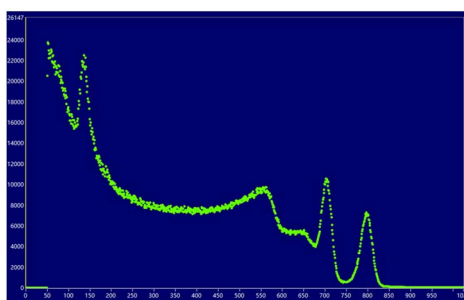


图 5 实验测量 ^{60}Co 能谱图

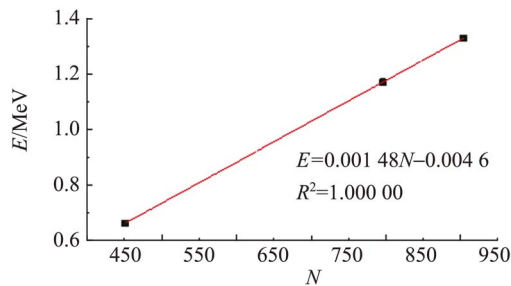
表 1 实验测量数据

组号	放射源	峰位	N	能量分辨率
1	^{137}Cs	光电峰 E_c	450.93	5.06%
	^{137}Cs	背散射峰 E_b	126.98	23.70%
	^{60}Co	光电峰 E_1	796.01	4.57%
	^{60}Co	光电峰 E_2	904.12	4.25%
2	^{60}Co	背散射峰 E_b	144.07	22.94%
	^{137}Cs	光电峰 E_c	447.72	4.78%
	^{137}Cs	背散射峰 E_b	126.72	21.81%
	^{60}Co	光电峰 E_1	798.27	3.92%
3	^{60}Co	光电峰 E_2	909.49	3.84%
	^{60}Co	背散射峰 E_b	156.21	17.82%
	^{137}Cs	光电峰 E_c	453.22	5.28%
	^{137}Cs	背散射峰 E_b	128.54	17.84%
4	^{60}Co	光电峰 E_1	802.93	4.22%
	^{60}Co	光电峰 E_2	910.44	3.92%
	^{60}Co	背散射峰 E_b	145.22	17.65%
	^{137}Cs	光电峰 E_c	450.98	5.36%
5	^{137}Cs	背散射峰 E_b	128.28	17.54%
	^{60}Co	光电峰 E_1	800.60	3.52%
	^{60}Co	光电峰 E_2	914.01	3.48%
	^{60}Co	背散射峰 E_b	144.49	17.71%
	^{137}Cs	光电峰 E_c	434.06	5.12%
	^{137}Cs	背散射峰 E_b	121.12	22.55%
	^{60}Co	光电峰 E_1	772.70	4.60%
	^{60}Co	光电峰 E_2	877.62	3.48%
	^{60}Co	背散射峰 E_b	138.34	16.09%

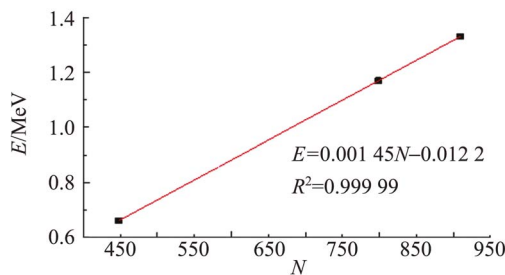
4 实验结果

查阅衰变纲图: ^{137}Cs 的光电峰 $E_e = 0.661\text{ MeV}$, ^{60}Co 的光电峰 $E_1 = 1.17\text{ MeV}$, ^{60}Co 的光电峰 $E_2 = 1.33\text{ MeV}$.

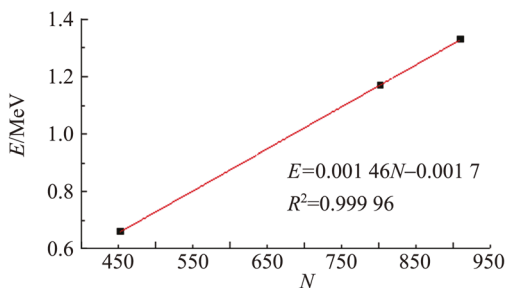
对多道峰位道址做能量刻度,根据表 1 测得的实验数据,利用 Origin 进行数据处理,得到能量刻度图,如图 6 所示.对上述已知的能量和峰位道址做最小二乘法拟合,得到能量与道址的关系如表 2 所示.



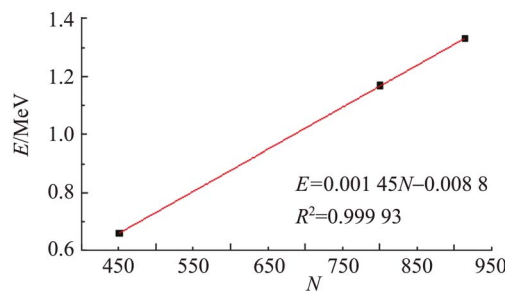
(a)第 1 组



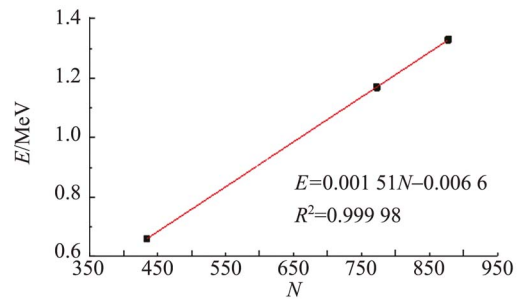
(b)第 2 组



(c)第 3 组



(d)第 4 组



(e)第 5 组

图 6 能量刻度

表 2 能量定标公式及斜率的相对偏差

组号	能量定标公式	e_{kr}
1	$E=0.00148N-0.0046$	0.7%
2	$E=0.00145N+0.0122$	1.4%
3	$E=0.00146N-0.0017$	0.7%
4	$E=0.00145N+0.0088$	1.4%
5	$E=0.00151N+0.0066$	2.7%

从图 6 可以看出,测得的峰位道址与能量呈明显的线性关系,且线性拟合度高.从表 2 可以看出,测得的斜率的相对偏差较小,说明虚拟仿真实验仪器测量稳定,能够仿真出符合真实放射源的信号效果.

把 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的背散射峰峰位道址代入能量定标公式,计算结果如表 3 所示.

表 3 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的背散射峰能量

组号	E_b/MeV		e_r	
	^{137}Cs	^{60}Co	^{137}Cs	^{60}Co
1	0.183	0.208	3.2%	3.2%
2	0.195	0.226	2.1%	5.1%
3	0.186	0.210	1.6%	2.3%
4	0.194	0.218	2.6%	1.4%
5	0.189	0.215	0	0

从表 3 可以看出,计算得到 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的背散射峰能量,能量值结果合理,相对偏差也比较小.实验结果表明基于核物理虚拟仿真实验平台的 γ 能谱测量准确,实验效果理想,符合实验教学要求.

5 结束语

利用核物理虚拟仿真实验平台,实验测定了 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的光电峰峰位,结合光电峰能

量,标定出 γ 谱的能量刻度,实验测量了¹³⁷Cs 和⁶⁰Co 的背散射峰能量,实现了对未知射线能谱的测定. 验证了能量与峰位道址的线性关系,结果表明基于核物理虚拟仿真实验平台的能谱测量,测量误差小,实验效果理想,满足实验教学要求. 此外,核物理虚拟仿真实验平台,实验内容丰富、操作性强,学生可以根据需要,在平台上重构条件,自主设计实验,开展 SRTP 项目、应用测量研究等. 这不仅能锻炼学生的动手能力,提高学生的学习兴趣,还能培养学生的创新思维,改进实验教学模式和人才培养方式.

参考文献:

- [1] 沈桂平, 骆万发. 近代物理实验新课程体系构建的改革与实践[J]. 物理实验, 2009, 29(8): 18-21.
- [2] 张宪锋. 虚实重构的核物理实验[J]. 物理实验, 2017, 37(9): 33-34.
- [3] 张增明, 王中平, 张宪锋, 等. 国家级物理虚拟仿真实验教学中心的建设实践[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(12): 146-149.
- [4] 韩忠, 刘安平. 近现代物理实验[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 34-69.
- [5] 何光宏. 物理实验探究式教学模式[J]. 物理实验, 2017, 37(9): 36-37.
- [6] 何光宏, 吴芳. 大学物理实验网络管理系统设计[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005, 28(5): 106-108.
- [7] 郑志远, 高华, 张自立, 等. 物理实验教学模式的创新实践和探讨[J]. 实验室科学, 2008(4): 30-32.

Gamma ray spectrum measurement based on reconfigurable experimental teaching platform for nuclear physics

YANG Dong-xia, LIU An-ping, ZHANG Xuan-mei, HAN Zhong, TAN Hong-bing
(National Experimental Teaching Demonstration Center of College Physics Labs,
Chongqing University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Based on the virtual simulation experiment platform of nuclear physics, the gamma spectrum measurement experiment was carried out to calibrate the energy scale of the gamma spectrum. The energy of the back scattering peak of ¹³⁷Cs and ⁶⁰Co was measured, and the unknown ray energy spectrum was measured, and the linear relationship between energy and peak position was verified. The results indicated that the nuclear physics experiment based on this platform was flexible and operable, and the students could design the experiment independently.

Key words: gamma spectrum; photoelectric peak; virtual simulation

[责任编辑:任德香]