

文章编号:1005-4642(2020)03-0039-04

学
生
园
地



γ 射线放射法测量料位高度

李静舒^a, 邱晓婷^a, 佘圳跃^a, 唐吉玉^{a,b}

(华南师范大学 a. 物理与电信工程学院;

b. 物理学科基础课实验教学示范中心, 广东 广州 510003)

摘 要:利用核物理实验平台,完成了运用 γ 射线放射法测量料位高度实验,使用自来水当作物料模拟日常生产应用中料位计的使用过程.通过对实验得到的探测器高度与全能峰计数、峰总计数的关系曲线的各点斜率图的分析,实现了非接触测量液面高度.将该实验引入教学中,可打破学生谈核色变的错误想法,培养学生对近代物理实验的兴趣与探究能力.

关键词: γ 射线;放射性;非接触测量;核物理实验平台

中图分类号:TH816.7

文献标识码:A

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2020.03.008

工业生产中,通常规定容器内只能储存一定量物料,所以必须对物料高度进行实时监测和控制.由于现实生产中储存物料的容器大多是不透明的,所以常用的光学测量法不再可行.取压法和雷达测量法容易发生腐蚀等故障,不能满足生产需求,同时以上所提及的方法皆有较大的误差,因此需要非接触测量的 γ 射线料位计. γ 射线辐射技术适合密闭容器中高温高压、高黏度、强腐蚀性物质的料位测量而不易出现仪器故障.在学生中学与大学的学习过程中往往缺少核物理相关知识的学习,对于放射性等概念了解较少,而此实验准确性高、设备安装简单、运行安全可靠、维护方便,并可以通过实验时长来控制精度,适合引入学校教学.将本实验作为物理教学的演示实验,有利于学生将核物理知识应用在日常生活中,可以打破学生谈核色变的现象.

1 实验原理

1.1 测量原理

γ 射线为波长($10^{-7} \sim 10^{-10}$ mm)极短电磁辐射,对介质有很强的穿透能力,仪表基于 γ 射线穿过物料时强度减弱的物理规律实现料位测量:

γ 射线穿过物料,其减弱规律为^[1]

$$I = I_0 \exp(-\mu t), \quad (1)$$

式中, I 为穿过物料后的射线强度, I_0 为穿过物料前的射线强度, μ 为线性衰减系数, t 为射线通过的物料路径.

由于在相同条件下,某一时刻的计数率 n 总是与该时刻的 γ 射线强度 I 成正比,因此 I 与 t 的关系也可以用 n 与 t 的关系表示,即

$$n = n_0 \exp(-\mu t). \quad (2)$$

实验中,吸收物质为容器壁与物料(自来水).因此式(2)应为

$$n = n_0 \exp[-(\mu_0 d_0 + \mu d_1)], \quad (3)$$

式中, n_0 为 γ 射线穿过吸收体前探测到的计数率, n 为 γ 射线穿过吸收体后探测到的计数率, μ_0 为容器壁的线性吸收系数, d_0 为容器壁的厚度, μ 为物料的线性吸收系数, d_1 为物料的厚度.

当物料的上界面在放射源与探测器确定的平面以下时,射线只被容器壁吸收.当物料的上界面高于放射源与探测器确定的平面时,射线将被容器壁及物料同时吸收,探测器记录662 keV γ 射线全能峰净计数率将明显下降.因为计数率随物料上表面的变化是渐变曲线.曲线的斜率最大点就是物料上表面经过放射源与探测器中心连线的位置.因此,可通过计数率-高度关系图,寻找图线的斜率最大点,从而确定物料高度.对计数率-高度关系曲线进行求导:

收稿日期:2019-08-31;修改日期:2020-01-07

作者简介:李静舒(1998-),女,广东深圳人,华南师范大学物理与电信工程学院2016级本科生.

通讯作者:唐吉玉(1965-),女,四川安岳人,华南师范大学物理与电信工程学院副教授,硕士,研究方向为固体电子性质的模拟计算.



$$g(x) = f'(x),$$

从而求得计数斜率-高度关系图。

探测过程中,使物料上界面固定(这也是常见情况),使放射源-探测器同时移动,则计数率-高度图中斜率最大点,即计数斜率-高度关系图中顶点就是物料上界面所在位置。

1.2 γ 射线放射性测量法优点

由于该测量方法具有非接触测量的特点,该系列料位计仅需安装在容器外面,容器内高温、高压、强酸、强碱、易结垢、温度变化等特殊条件不影响料位计的正常工作的。运用非接触的 γ 射线放射性测量方法,安装调试简单方便,料位计使用年限更长,探测器检修、更换方便,适合密闭容器中高温高压、高黏度、强腐蚀性物质的料位测量而不易出现仪器故障^[2]。

1.3 实验教学中的注意事项

将该实验引入教学中时,一般采用¹⁰⁷Cs 甚至²¹¹Am 等放射性较弱的放射源,以降低放射性辐射,通过增加实验时间来原因提高实验精度。同时可以加上玻璃防护罩,提醒学生不要直视放射源等,达到安全防护的目的。故该实验既可以作为教师演示实验,也可作为学生实验。

2 实验仪器

β/γ 探测综合实验平台主要由探测器、线性脉冲放大器、多道分析器或单道分析器(定标器)、计算机等电子设备组成。实验平台的框图如图 1 所示,实验装置实物如图 2 所示。

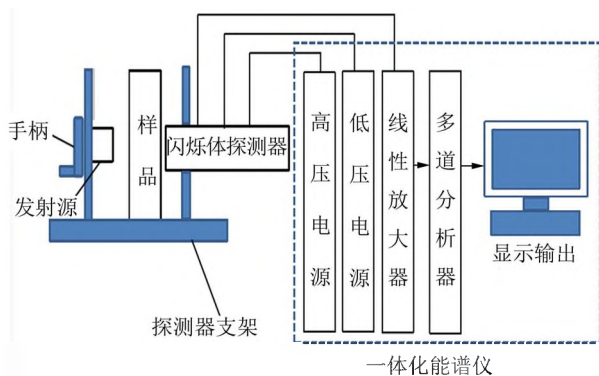


图 1 闪烁 γ 谱仪实验平台

该实验平台的优点是结合现代化技术和科学的分析方法,通过该平台能直接测量能量分辨率、峰位道址、总计数、全能峰峰位计数等,且该平台

软件能直接显示净计数,避免了本底的影响。同时,也可以通过计算机的软件对实验数据进行处理,从而避免繁琐的人工数据处理,节省时间。该实验平台内容丰富,有较大自主发挥空间,在满足实验教学要求的前提下可以锻炼学生的创造性思维及动手操作能力,让学生主动思考,培养学习兴趣,从而得到良好的教学效果。

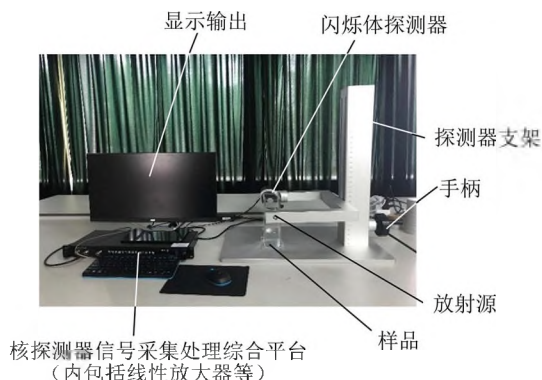


图 2 实验装置实物图

3 实验方法

调节好仪器并将软件打开进行本底的扣除。预热过后,由于探测器与放射源由装置的横置支架相连,缓慢向上移动安有放射源的支架,每隔 1 cm 记录 1 次数据,在计数有明显变化后将间距缩短为每 5 mm 记录 1 次数据。由于放射源不强,计数需要时间,故为保证高精度,本实验中 1 个点等待 5 min 后再记录数据。

实验测得的¹³⁷Cs 的能谱示例如图 3 所示。记录的数据由终端能谱软件给出,软件界面上直接给出了峰计数以及峰净计数。峰净计数通过直线扣除法得到,为降低本底影响,实验中采用峰

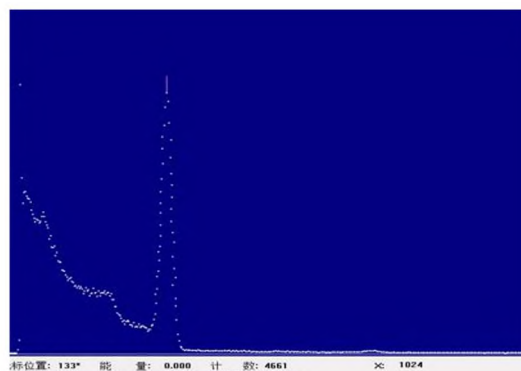


图 3 实验测量¹³⁷Cs 能谱图示例

位净计数以及峰总净计数作为记录数据. 通过作出峰位净计数-高度关系图与峰总净计数-高度关系图分析计数变化,并通过作出导数图像确定料位高度,最后再与实际料位高度对比,分析实验测量误差.

4 数据分析

4.1 绘制峰位净计数-高度关系图

由得到的数据通过软件线性拟合出峰位净计数-探测器高度关系如图 4 所示.

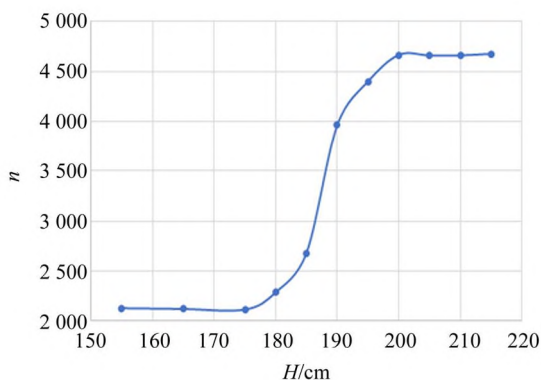


图 4 峰位净计数 n 与探测器高度 H 关系图

为确定该曲线的斜率最大值处,对该曲线求导,用 Origin 软件作图,如图 5 所示.

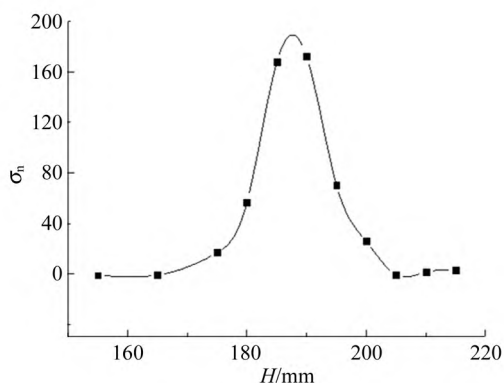


图 5 峰位净计数斜率 σ_n 与探测器高度 H 关系图

根据图 5,运用软件选取得最高点的 X 坐标为 187.65 mm,即得到的斜率最大点的探测器高度为 187.65 mm.

由于实验仪器平台以及量筒底部总的高度 17.0 mm,即实际液面高度为 $H=189.0$ cm. 则相对偏差为 0.71%.

4.2 绘制峰总净计数-高度关系图

通过软件线性拟合出峰总净计数-探测器高度关系如图 6 所示.

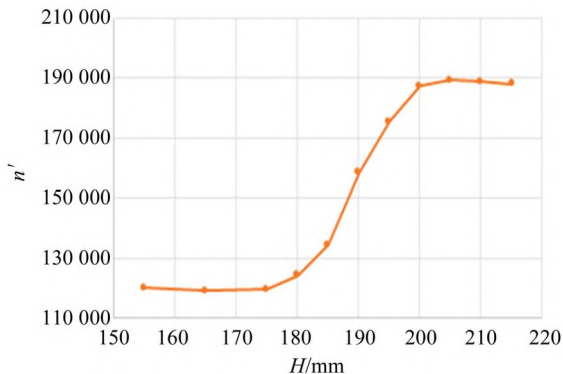


图 6 峰总净计数 n' 与探测器高度 H 关系图

为确定该曲线的斜率最大值处,对该曲线进行求导,用 Origin 软件作图,如图 7 所示.

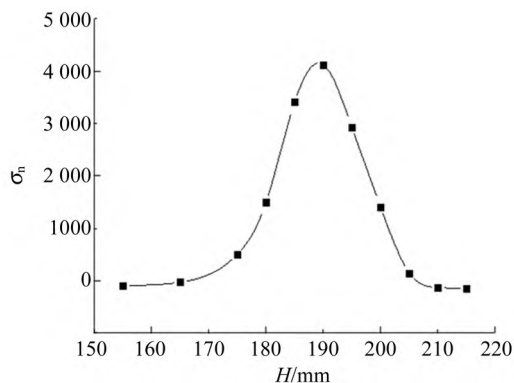


图 7 峰总计数斜率 $\sigma_{n'}$ 与探测器高度 H 关系图

由图 7 得到顶峰即为斜率最大值,顶峰时有 $H_{总}=189.26$ mm,相对偏差为 0.14%.

由数据可知,γ 射线放射性测量法相较于传统测量方法,能更精确地测量液面高度. 全能峰峰位净计数和峰总净计数的误差都在可接受范围内,可以运用于实际测量液面高度. 峰总净计数与实际高度的相对偏差更小,更符合实际的高度,原因是峰位净计数寻峰时可能没有那么准确.

5 结束语

利用 γ 射线被射法测量料位高度实验中,通过峰总净计数和峰位净计数斜率最大点均可以确定液体的高度. 而闪烁 γ 谱仪由于其非接触的特性,可以在工业生产中得到很好的应用推广.

实验采用了放射性较弱的放射源。 ^{137}Cs 衰变产生的 γ 射线能量仅为 0.662 MeV,且本实验运用在物理实验教学中时,还可使用 ^{241}Am 等放射性更弱的放射源进行实验,通过控制实验时间长短的方式来控制实验精度. 通过本实验的数据可以看出,即便是低放射性辐照,误差也在 1%以内,而教学中不需要这么高的精确度,故课堂上可以缩短测量时间;若使用放射性更弱的放射源,则可以拉长测量时间,所得数据精确度也可以满足中学物理探究需求. 同时可在实验仪器外放置玻璃,从而减弱放射性辐照对于人体的伤害,因此将本实验融入中学物理教学,学生受到放射性辐照的影响较小,同时又能达到实验探究的目的.

致谢:感谢成都博士科技有限公司提供一体化实验教学平台! 同时感谢四川大学覃雪老师为本实验提供了详细的参考意见!

参考文献:

- [1] 李自强. γ 射线液位计的使用和管理[J]. 中国集体经济,2009(31):176.
- [2] 任延明. 无放射源的核料位计在火电厂的应用[J]. 山西电力,2008(3):42-43.
- [3] 杨东侠,刘安平,张选梅,等. 基于核物理虚拟仿真实验平台的 γ 能谱测量[J]. 物理实验,2019,39(1):19-22.
- [4] 魏宝文. 单晶体 NaI(Tl)闪烁 γ 谱仪[J]. 原子能科学技术,1961(10):562-565.
- [5] 刘灿. 放射性料位计原理及应用[J]. 仪器仪表用户,2017,24(3):52-54,76.
- [6] 张国强,边纪,方恺,等. ^{60}Co γ 射线铅的吸收系数测量实验的数据拟合[J]. 物理实验,2014,34(9):42-44,48.
- [7] 王俊华. γ 射线探测与住宅辐射防护[J]. 物理实验,2004,24(1):41-43.

Measuring liquid level with γ -ray

LI Jing-shu^a, QIU Xiao-ting^a, SHE Zhen-yue^a, TANG Ji-yu^{a,b}

(a. College of Physics and Telecommunication Engineering; b. Experimental Teaching Demonstration Center for Basic Courses of Physics, South China Normal University, Guangzhou 510003, China)

Abstract: The nuclear physics experiment platform was used to do the experiment of measuring the liquid level by using radioactive method. Tap water was used as the material to simulate the use of the level gauge in daily production applications. Through the analysis of the slope of the relationship curve of total energy peak count and total peak count with the height of the detector, the non-contact measurement of the liquid level was realized. The experiment could be introduced into the teaching to cultivate students' interest and exploration ability in modern physics experiments.

Key words: γ -ray; radioactivity; non-contact measurement; nuclear physics experiment platform

[责任编辑:郭 伟]