

大质量样品厚度对 neutron 活化定量分析的影响和修正

孙远明 许旭 唐婉月 常艺 陆景彬 赵龙 刘玉敏

Influence of mass sample thickness on quantitative analysis of neutron activation and its modification

Sun Yuan-Ming Xu Xu Tang Wan-Yue Chang Yi Lu Jing-Bin Zhao Long Liu Yu-Min

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 68, 082801 (2019) DOI: 10.7498/aps.68.20182069

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182069>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

共轴双脉冲激光诱导击穿光谱结合双谱线内标法定量分析植物油中的铬

Quantitative analysis of chromium in vegetable oil by collinear double pulse laser-induced breakdown spectroscopy combined with dual-line internal standard method

物理学报. 2017, 66(5): 054206 <https://doi.org/10.7498/aps.66.054206>

陆架斜坡海域上坡波导环境中声能量急剧下降现象及其定量分析

Investigation and quantitative analysis on the acoustic energy tobogganing in the upslope waveguide of continental slope area

物理学报. 2017, 66(19): 194301 <https://doi.org/10.7498/aps.66.194301>

样品转动方式对 neutron 全息成像结果的影响

Neutron holography simulation based on different sample rotations

物理学报. 2015, 64(24): 242801 <https://doi.org/10.7498/aps.64.242801>

用于激光加速质子参数表征的带电粒子活化测谱技术

Charged particle activation analysis for characterizing parameters of laser-accelerated protons

物理学报. 2017, 66(20): 205201 <https://doi.org/10.7498/aps.66.205201>

基于自吸收量化的激光诱导等离子体表征方法

Laser-induced plasma characterization using self-absorption quantification method

物理学报. 2018, 67(16): 165201 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180374>

²⁵²Cf 自发裂变中子发射率符合测量的回归分析

Regression analysis of coincidence measurements for determining the neutron emission rate of ²⁵²Cf spontaneous fission

物理学报. 2018, 67(24): 242901 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20181073>

大质量样品厚度对中子活化定量分析的影响和修正*

孙远明 许旭 唐婉月 常艺 陆景彬† 赵龙 刘玉敏

(吉林大学物理学院, 长春 130012)

(2018年11月21日收到; 2019年2月15日收到修改稿)

滑石粉的主要化学成分是 $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$, 通过检测面粉中 ^{24}Mg 和 ^{28}Si 原子核的含量, 可以计算出面粉中滑石粉的含量. 利用中子活化分析方法测量面粉中 ^{24}Mg 和 ^{28}Si 原子核的含量问题时, 被测样品内部中子通量和能量随厚度的变化以及 γ 射线自吸收效应会对测量结果有较大的影响. 利用 MCNP5 (Monte Carlo N-particle transport code system 5) 模拟了中子通量和能量与样品厚度变化的关系, 并利用氦 3 正比计数管测量样品不同厚度处中子通量, 结果显示 MCNP5 模拟结果与实验测量结果基本相符. 通过 MCNP5 模拟和碘化钠探测器测量, 研究了 γ 射线自吸收效应与样品厚度的关系, 确定了 6.6 cm 的样品厚度为最佳实验条件, 根据模拟结果给出了特征 γ 射线计数与样品厚度的关系式, 并与实验进行对比, 结果符合得较好.

关键词: 中子活化分析, MCNP5, γ 射线自吸收, 元素含量分析**PACS:** 28.20.Np, 28.20.-v, 28.41.Ak**DOI:** 10.7498/aps.68.20182069

1 引言

中子活化分析是中子与靶原子核发生反应, 与待测元素的化学状态无关, 除此之外中子活化分析还具有灵敏度高^[1]、可靠性高、可同时分析多种元素、不破坏样品等优点^[2]. 因此中子活化分析技术被广泛应用于工业、环境、医疗、军事、科研等领域^[3-6]. D-T 中子发生器产生的 14 MeV 单能中子^[7], 主要与靶核发生 $(n, 2n)$, (n, p) , (n, α) 等反应, 即靶核吸收中子后, 复合核可以通过放出 γ 射线、质子、 α 粒子、中子等粒子退激发, 生成的原子核往往是有特定的半衰期的放射性原子核, 其衰变时释放特征能量的 γ 射线, 射线强度与对应的元素含量成正比. 通过测量被中子活化后的样品中各种元素的原子核发射的特征 γ 射线的能量和强度, 便能够

确定元素的种类和含量^[8-12].

面粉的质量是食品安全卫生的重要问题之一, 关系着人民群众的身体健康. 使用中子活化分析技术, 可以对大量面粉进行含量分析, 给出滑石粉的含量情况, 达到监测面粉质量的目的. 面粉中主要含有 C, H, O, N, Ca, F 等元素, 而滑石粉的主要化学成分是 $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$, 所以可以通过测量 Si 元素和 Mg 元素的含量确定面粉中是否含有滑石粉及其准确含量. ^{28}Si 占 Si 元素同位素丰度的 92.23%, ^{24}Mg 占 Mg 元素同位素丰度的 78.99%, 可以利用 14 MeV 中子活化分析法测定面粉中的 ^{28}Si 和 ^{24}Mg 的含量. ^{28}Si 与中子发生 (n, p) 反应生成 ^{28}Al 原子核, 它发生 β^- 衰变时发射出能量为 1779 keV 的 γ 射线. ^{24}Mg 与中子发生 (n, p) 反应生成 ^{24}Na 原子核, 它发生 β^- 衰变时产生特征能量为 1369 keV γ 射线, 利用碘化钠探测器测量它们

* 长春市科技局地院(校, 所)合作专项基金(批准号: 17DY023)和国家重大科学仪器设备开发专项(批准号: 2012YQ240121)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: ljb@jlu.edu.cn

发射的特征 γ 射线强度, 通过计算确定样品中 ^{28}Al 及 ^{24}Na 原子核的含量. 根据测量结果得到 ^{28}Si 和 ^{24}Mg 的含量就可以确定出面粉样品中滑石粉所占的质量分数.

2 面粉厚度的影响和 MCNP (Monte Carlo N-particle transport code system) 模拟

2.1 面粉厚度的影响

样品中子活化产生放射性的理论表达式:

$$A = \frac{N_A \theta \varepsilon \Phi \sigma m_0}{M} \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} \right) e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t'}, \quad (1)$$

其中 N_A 为阿伏伽德罗常数, θ 为靶核的丰度, ε 为探测效率, Φ 为中子通量, σ 为核反应截面, m_0 为靶元素的总质量, M 为靶元素的摩尔质量, t 为活化时间, t' 为冷却时间^[13]. 在测量中必须知道这些参数的准确值, 才能求出在样品中待测元素 A 的质量 m_0 , 这是中子活化分析的绝对分析法. 由于测定上述参数很困难, 所以中子活化分析一般采用相对法. 相对法的优点在于简单易行, 将样品和标准同时辐照, 样品中测定元素的含量由下式求出:

$$W_x = W_s \frac{A_x}{A_s}, \quad (2)$$

其中 W_x 为样品中待测定元素的含量, W_s 为标准样品中已知元素的含量, A_x 为样品中待测定元素的生成核特征 γ 射线的峰面积, A_s 为标准中已知元素的生成核特征 γ 射线的峰面积^[14].

在实际面粉的生产、运输、销售等环节, 面粉都具有较大的质量和较大的厚度. 大质量样品厚度对子活化的影响体现在两个方面: 1) 在对大质量样品进行检测时, 当样品的厚度发生变化时, 中子辐照样品, 在样品内部的中子能量和通量都会发生改变, 由于中子与靶核的反应截面与中子的能量一般不是线性关系, 因此同一样品不同质量厚度下产生的激发核和特征 γ 射线数量与厚度并不是线性关系, 更扰乱了特征 γ 射线数量与元素含量之间的线性关系; 2) 由于样品内产生的特征 γ 射线会被周围物质阻挡, 使部分特征 γ 射线无法从样品中射出, 这种情况随着样品厚度增加会越来越明显, 被辐照的样品可以被看成一个放射性不均匀的体源, 这种射线被体源自身吸收导致出射射线强度与

放射性活度不成正比的现象称为射线自吸收, γ 射线自吸收干扰广泛存在于 γ 射线的测量分析中, 大质量样品的厚度变化会影响对 γ 射线的准确测量^[15-18].

2.2 MCNP 模拟

如图 1 所示, 模拟面粉样品为长方体, 长 44 cm, 宽 31 cm, 厚度从 1 cm 到 40 cm 每次增加 1 cm 厚度, 将样品放置在长 50 cm, 宽 40 cm, 厚度为 0.2 cm 的聚乙烯板上. 中子能量 14 MeV 各向同性的点源, 用 F4 卡可直接计算出不同厚度处中子通量和中子能谱.



图 1 MCNP 模拟示意图

Fig. 1. Simulation diagram by MCNP.

MCNP5 程序运行 1×10^9 个粒子后输出结果, 其输出的结果是归一化的^[19]. 把厚度为 40 cm 面粉样品, 分成 40 个厚度均是 1 cm 的片状样品单元, 模拟计算每一个单元内的中子通量. 在 D-T 中子发生器产额为 $1 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$ 时, 中子全能谱通量与样品厚度的关系如图 2, 从图中可知, 中子全能谱通量随样品厚度增加而减小且单位厚度的减小量逐渐变小.

图 3 为样品厚度为 5 cm 和 30 cm 处 MCNP 模拟中子能谱, 中子与样品内的物质发生相互作用

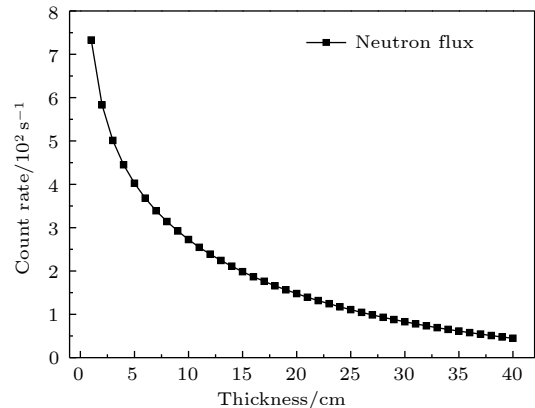


图 2 MCNP 模拟不同厚度处中子通量

Fig. 2. Neutron flux at different thicknesses simulated by MCNP.

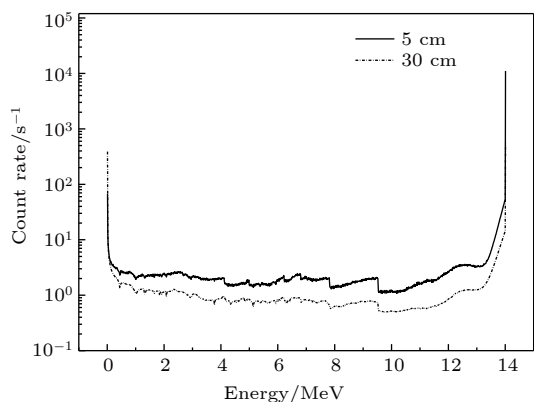


图3 MCNP模拟不同样品厚度处中子能谱
Fig. 3. Neutron spectrum simulated by MCNP.

后不仅中子的通量会发生改变,而且中子的能量也会发生改变,不同能量的中子数量也发生改变.中子与 ^{24}Mg 和 ^{28}Si 发生(n, p)反应的能量阈值为3.999 MeV和4.930 MeV,所以当中子能量被慢化到低于阈值时,这部分能量的中子就不再与靶核发生(n, p)反应,从而影响特征能量 γ 射线的出射率.以图3为例,样品厚度为5 cm处能量在4 MeV以下的中子占总中子的6.9%,在样品厚度为30 cm处能量在4 MeV以下的中子占中子总数的35.6%.样品厚度的增加不仅会使中子通量降低,而且让能与靶核发生(n, p)的中子占总中子数的比例也大幅下降.

图4为 ^{24}Mg 和 ^{28}Si 的(n, p)反应截面与中子能量的关系.当中子能量改变时会直接影响中子与 ^{24}Mg 和 ^{28}Si 发生(n, p)反应的概率,从而使得特征 γ 射线产额随样品厚度变化而变化,且这种变化是非线性的,进而影响活化分析结果的准确性.

从上面的模拟分析可以得知,中子进入样品

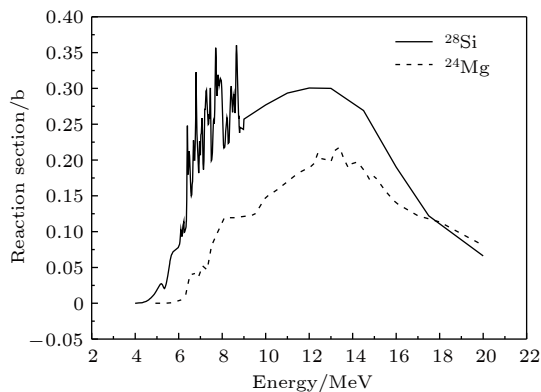


图4 (n, p)反应截面^[20]
Fig. 4. The reaction cross section of (n, p)^[20].

后,不同厚度处中子的通量和能量都不相同,样品的不同厚度处的靶原子与中子发生的反应的总量不同,整个样品也相当于一个不均匀的 γ 源.另外当 γ 射线穿过物质时,由于光电效应、康普顿效应、电子对效应等使 γ 射线的强度又会随着其穿过厚度的变化而发生改变.

所以样品的厚度对特征 γ 射线的出射率有很大的影响.找出特征 γ 射线的出射率与样品厚度的曲线关系,对测量结果的准确性至关重要.

以滑石粉质量分数为10%的样品为例,样品长44 cm,宽31 cm,每次增加1 cm厚度,利用MCNP5模拟每1 cm厚度内的中子通量和能量,根据(1)式计算出每一层中子活化产生的放射性核素的活度,根据特征 γ 射线的分支比得到出射特征 γ 射线的强度,并利用MCNP5模拟 γ 射线的自吸收影响,得到特征能量 γ 射线的出射率与样品的厚度的关系如图5.从图中可知,在样品厚度为6—7 cm时1369 keV和1779 keV的 γ 射线的出射率最大.经过进一步模拟计算确定6.6 cm为模拟最优厚度.

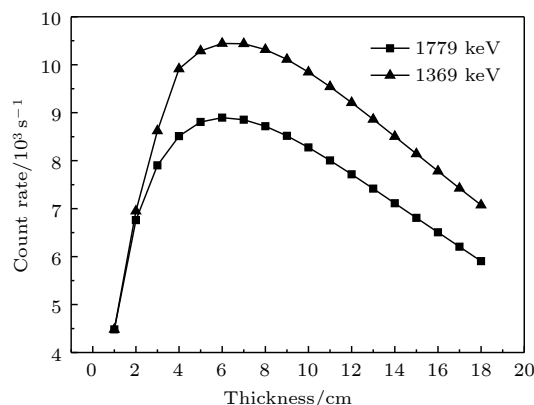


图5 两条特征 γ 射线的出射率与样品的厚度的关系
Fig. 5. The relation between count rate of radiation and thickness of samples.

3 实验测量和模拟结果对比

3.1 测量仪器与测量条件

实验设备包括中子源(东北师范大学生产的NG-9型D-T中子发生器,产额 $(1-2) \times 10^8 \text{ s}^{-1}$,实测中子产额偏差波动 $\leq \pm 5\%$),滨松3英寸NaI闪烁探测器,Canberra 3106D高压,BH1218放大器,AMPTEK MCA8000D多道.

实验样品为混有滑石粉的面粉, 样品用聚乙烯材料制成的薄透明袋真空塑封, 每袋样品长 31 cm, 宽 22 cm, 厚 1.7 cm, 质量 1 kg. 面粉样品内混有滑石粉质量分数分别为 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20%, 100%, 每个含量的样品 36 袋. 实验时两袋面粉样品并排放置为一层, 每次实验增加 3 层面粉样品. 每组样品用 D-T 中子发生器辐照 30 min, 用 ^3He 正比计数管测量中子通量, 用 NaI 闪烁探测器测量实验室内 γ 射线的总计数, 用于监督 D-T 中子发生器的稳定性.

3.2 实验测量与模拟计算的结果对比

实验用 ^3He 正比计数管, 分别测量在不同厚度处的中子通量情况如图 6 中实验曲线.

由于 ^3He 与中子发生 (n, p) 反应截面随中子能量的升高而逐渐降低如图 7, 需要考虑其反应截面对测量结果的影响, 利用 MCNP5 输入参数的剂量转换 DE/DF 卡, 程序运行时自动对两个数据点

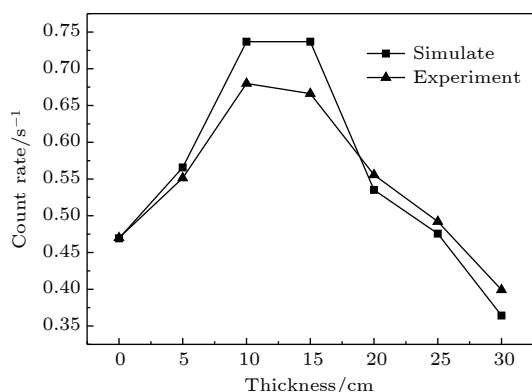


图 6 中子通量与样品厚度的关系

Fig. 6. The relationship between neutron flux and sample thickness.

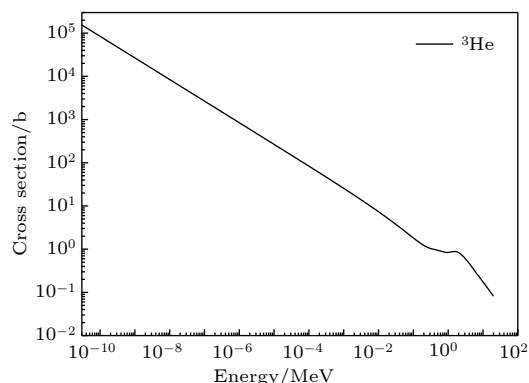


图 7 (n, p) 反应截面^[21]

Fig. 7. The reaction cross section of (n, p) ^[21].

之间进行线性插值, 将各厚度处中子能谱与反应截面的关系加权求和为图 6 中 MCNP5 模拟曲线. 由图 6 可知, 实验测量曲线与 MCNP5 模拟曲线符合得比较好.

用 3 英寸碘化钠探测器测量不同厚度处的滑石粉 γ 能谱. 实验时两袋面粉样品并排水平放置为一层, 每次实验增加 1 层面粉样品直至增加到共 18 层为止, 每增加一层样品, 用 D-T 中子发生器辐照样 1 h, 辐照结束后关闭中子发生器, 迅速将样品移动到低本底测量区, 将碘化钠探测器竖直放置在样品表面测量 10 min. 实验测量滑石粉质量分数为 10% 和 20% 的样品得到的 γ 能谱和实验环境的本底谱如图 8 所示, 在本底谱中 ^{40}K 衰变产生的 1460.8 keV γ 射线, 对 1369 keV γ 射线计数有较大的影响, 本文未对 1369 keV γ 射线进行分析.

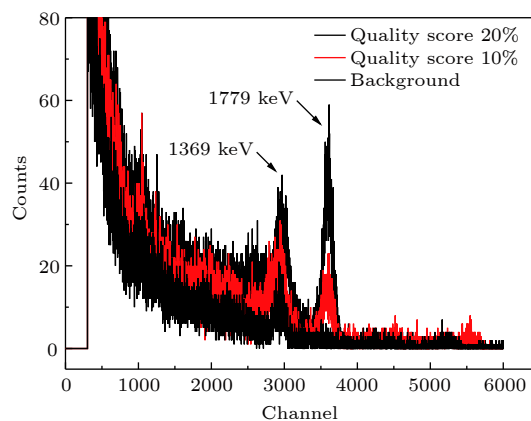


图 8 碘化钠探测器测量不同样品 γ 能谱

Fig. 8. Measurement of gamma energy spectra of different samples by sodium iodide detector.

实验测量滑石粉质量分数为 10% 样品获得的 γ 能谱利用 ADMCA 谱分析软件进行数据处理, 不同厚度样品处 1.779 MeV γ 射线的计数如图 9 中的 Experiment 曲线, MCNP 模拟滑石粉质量分数为 10% 样品 1.779 MeV γ 射线的计数与样品厚度的关系如图 9 中 Simulate 曲线. 从图 9 中可以看出实验结果与模拟结果的曲线变化趋势基本相同. 但模拟值普遍高于实验值, 这是因为 D-T 中子发生器的实际中子产额偏低, 探测器外壳对 γ 射线有屏蔽作用. 根据模拟数据得到 1.779 MeV γ 射线的计数与样品厚度的函数关系为

$$A = 1401 + 3815x - 720x^2 + 64x^3 - 2.8x^4 + 0.05x^5, \quad (3)$$

其中 A 为 1.779 MeV γ 射线的计数, x 为样品厚度, 线性相关系数 $R^2 = 0.997$.

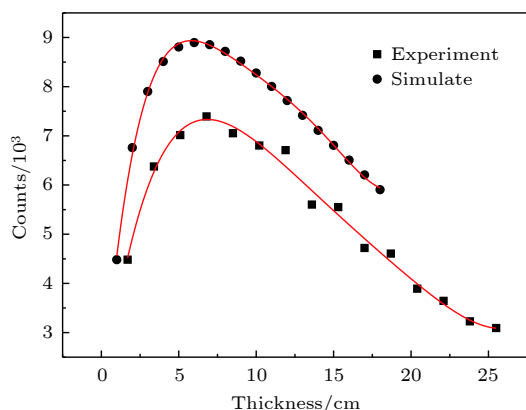


图9 γ 射线的计数与质量分数10%样品厚度的关系

Fig. 9. The relation between count rate of radiation and thickness of quality score 10% sample.

在实际应用中可通过厚度计、核子称等仪器实时给出待测样品厚度信息, 通过上述函数关系式进行Si含量测量.

4 结论

在进行中子活化分析时, 面粉样品厚度的增加导致中子通量呈e指数衰减, 中子能量整体呈降低趋势, 4 MeV 以下的中子占中子总数的比例上升, 特征 γ 射线的产生与样品中滑石粉的含量、中子通量和能量直接相关, 探测器测到的中子活化产生的特征 γ 射线计数还会受 γ 射线自吸收的影响. 总体的趋势是特征能量的 γ 射线计数随样品厚度的增加增大后减小. 通过实验测量和MCNP5模拟, 综合考虑了面粉厚度的变化对中子通量、中子能量、 γ 自吸收的影响, 得到1.779 MeV γ 射线的计数与样品厚度的关系式, 确定中子活化分析面粉样的最优厚度为6.6 cm.

参考文献

[1] de Soete D (translated by Wu R) 1978 *Neutron Activation Analysis* (Beijing: Atomic Energy Press) pp1-2 (in Chinese) [德·索埃特著 (伍任译) 1978 中子活化分析 (北京: 原子能出版社) 第1-2页]

[2] Zhang L Z, Ni B F, Tian W Z, Huang D H, Zhang G Y, Liu C X, Wang P S, Liu L K, Li D H 2005 *Atom. Energy Sci. Technol.* **3** 282 (in Chinese) [张兰芝, 倪邦发, 田伟之, 黄东辉, 张桂英, 刘存兄, 王平生, 刘立坤, 李德红 2005 原子能科学技术

3 282]

[3] Jia W B, Hei D Q, Xu A G, Chen X W, Li A M 2011 *Atom. Energy Sci. Technol.* **45** 1011 (in Chinese) [贾文宝, 黑大千, 徐爱国, 陈晓文, 李安民 2011 原子能科学技术 **45** 1011]

[4] Paul R L, Lindstrom R M 2000 *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* **243** 181

[5] Tian Y S, Hu Z L, Tong J F, Chen J Y, Peng X Y, Liang T J 2018 *Acta Phys. Sin.* **67** 142801 (in Chinese) [田永顺, 胡志良, 童剑飞, 陈俊阳, 彭向阳, 梁天娇 2018 物理学报 **67** 142801]

[6] Li X N, Guo J P, Luo W Y, Wang C S, Fang X M, Yu T L 2008 *Atom. Energy Sci. Technol.* **42** 343 (in Chinese) [李欣年, 郭俊鹏, 罗文芸, 王传珊, 方晓明, 虞太六 2008 原子能科学技术 **42** 343]

[7] He X Y, Zheng S P, Lu X L, Yao Z E 2013 *High Power Laser and Particle Beams* **25** 253 (in Chinese) [何雄鹰, 郑世平, 卢小龙, 姚泽恩 2013 强激光与粒子束 **25** 253]

[8] Lu Y S, Zhao H 2013 *Nucl. Electron. Detect. Technol.* **33** 1527

[9] Rick L P, Dagistan S, Jeremy C C, Christoph B, Richard M L 2015 *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* **304** 189

[10] Wang X H, Sun H C, Yao Y G, Xiao C J, Zhang G Y, Jin X C, Hua L, Zhou S C 2014 *J. Isotopes* **27** 251 (in Chinese) [王兴华, 孙洪超, 姚永刚, 肖才锦, 张贵英, 金象春, 华龙, 周四春 2014 同位素 **27** 251]

[11] Zhang H Q, Qin Y L, Ni B F, Tian W Z, Wang P S, Huang D H, Zhang G Y, Liu C X, Xiao C J, Sun H C, Nie P, Chen Z 2010 *Atom. Energy Sci. Technol.* **10** 1238 (in Chinese) [张海青, 秦亚丽, 倪邦发, 田伟之, 王平生, 黄东辉, 张贵英, 刘存兄, 肖才锦, 孙洪超, 聂鹏, 陈喆 2010 原子能科学技术 **10** 1238]

[12] Yan X S, Liu R, Lu X X, Jiang L, Wang M, Lin J F 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 102801 (in Chinese) [严小松, 刘荣, 鹿心鑫, 蒋励, 王玫, 林菊芳 2012 物理学报 **61** 102801]

[13] Li D H, Su T L 2005 *Univ. Phys.* **24** 56 (in Chinese) [李德红, 苏桐龄 2005 大学物理 **24** 56]

[14] Cao C R 1981 *Analyt. Chem.* **3** 335 (in Chinese) [曹传儒 1981 分析化学 **3** 335]

[15] Cheng C, Jia W B, Hei D Q, Shan Q, Ling Y S, Zhang Y 2014 *Atom. Energy Sci. Technol.* **48** 802 (in Chinese) [程臻, 贾文宝, 黑大千, 单卿, 凌永生, 张焱 2014 原子能科学技术 **48** 802]

[16] Jia W B, Xu Z F, Su T L, Zhang X M 1999 *J. Lanzhou Univ.* **35** 89 (in Chinese) [贾文宝, 徐忠锋, 苏桐龄, 张晓民 1999 兰州大学学报 **35** 89]

[17] Zhang H Q, Xiao C J, Nie P, Qin Y L, Chen Z, Ni B F 2008 *Annual Report of China Institute of Atomic Energy* **2008** 151 (in Chinese) [张海青, 肖才锦, 聂鹏, 秦亚丽, 陈喆, 倪邦发 2008 中国原子能科学研究院年报 **2008** 151]

[18] Sun H C, Yuan G J, Xiao C J, Zhang Z Z, Yang W, Jin X C, Zhang G Y, Wang P S, Ni B F 2012 *Annual Report of China Institute of Atomic Energy* **2012** 118 (in Chinese) [孙洪超, 袁国军, 肖才锦, 张紫竹, 杨伟, 金象春, 张贵英, 王平生, 倪邦发 2012 中国原子能科学研究院年报 **2012** 118]

[19] Chen N N, Cai Y, Zhang J S, Zhang J H 2010 *Comput. Engin. Appl.* **46** 208 (in Chinese) [陈念年, 蔡勇, 张建生, 张建华 2010 计算机工程与应用 **46** 208]

[20] *Evaluated Nuclear Data File (ENDF)* <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/servlet/E4sMakeE4> [2019-2-1]

[21] *Evaluated Nuclear Data File (ENDF)* <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/endf00.jsp> [2018-5-11]

Influence of mass sample thickness on quantitative analysis of neutron activation and its modification*

Sun Yuan-Ming Xu Xu Tang Wan-Yue Chang Yi Lu Jing-Bin[†]
Zhao Long Liu Yu-Min

(College of Physics Jilin University, Changchun 130012, China)

(Received 21 November 2018; revised manuscript received 15 February 2019)

Abstract

With traditional neutron activation analysis, the increase of sample quality leads to some problems in both irradiation process and measurement process. These problems include the neutron flux gradient in the range of the sample, the decrease of the thermal neutron flux rate around the sample and the influence of self-shielding in the sample in the irradiation process, In the process of measurement, the self-attenuation of γ -ray in the sample and the geometric effect of the sample lead to the effect of the detector on the measurement of characteristic γ -ray emissivity due to the difference in the detection efficiency of each point of the sample. So the neutron activation analysis of mass sample needs to make some additional modifications. By using the neutron activation analysis technique, the content of ^{24}Mg and ^{28}Si in a large amount of flour can be detected, and the content of talc powder in the flour can be given, so that the quality of flour can be monitored. The flour mainly contains C, H, O, N, Ca, and F element, but the main chemical constituent of talc powder is $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$. Therefore, the measured content of Si and Mg element can be used to judge whether the flour contains talcum powder and to determine its exact content. When the content of ^{24}Mg and ^{28}Si in flour are measured by the neutron activation analysis, the variation of neutron flux and energy with thickness in the measured sample and the effect of γ -ray self-absorption will have great influence on the measurement results. The relationship between the neutron flux and energy and the thickness of the sample is simulated by MCNP5 (Monte Carlo N-particle transport code system 5), and the neutron fluxes at different thickness of the sample are measured by a ^3He proportional counter tube. The results show that the simulation results of MCNP5 are basically consistent with the experimental results. Using the simulation by MCNP5 and the measurements by a sodium iodide detector, the relationship between γ -ray self-absorption effect and sample thickness is studied, and the sample thickness is determined to be 6.6cm that is adopted as an optimal experimental condition. Based on the simulated data, the function relationship between the counting of 1.779 MeV γ -ray and the thickness of the sample is obtained as follows: $A = 1401 + 3815x - 720x^2 + 64x^3 - 2.8x^4 + 0.05x^5$. The curve trend of the experimental results is basically the same as that of the simulation results.

Keywords: neutron activation analysis, MCNP5, gamma ray self-absorption, elemental content analysis

PACS: 28.20.Np, 28.20.-v, 28.41.Ak

DOI: [10.7498/aps.68.20182069](https://doi.org/10.7498/aps.68.20182069)

* Project supported by the Changchun Science and Technology Bureau Local Company and College (University, Institution) Cooperation Projects, China (Grant No. 17DY023) and the National Key Scientific Instrument and Equipment Development Projects, China (Grant No. 2012YQ240121).

[†] Corresponding author. E-mail: ljb@jlu.edu.cn