

MCNP5 模拟 γ 射线反散射谱的影响因素

肖明, 艾尔肯·阿不列木

(新疆大学物理科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 为了研究 γ 射线反散射峰与散射体的物质成分、厚度、入射射线能量和几何布置之间的关系。本论文基于蒙特卡罗方法, 运用 MCNP5 程序模拟放射源 ^{137}Cs 、 ^{60}Co 发出的 γ 射线经过不同厚度的石蜡、玻璃、Al、Fe、Cu 和 Pb 散射后反散射谱的变化, 所得结果与实验谱符合较好。结果显示: 散射体厚度与原子序数同时增加且原子序数大约到 26 以后, 反散射峰值才随原子序数增加而减小; 探测器与放射源的距离为 10 mm 时, ^{137}Cs 、 ^{60}Co 发出的 γ 射线经 Fe、Cu 散射后, Fe、Cu 的厚度分别为 1.6 cm 和 2.4 cm 时, 铁的峰值高于铜; 反散射峰值随源与探测器之间的距离增加而减小, 与入射射线能量无关。试验结果对进一步开展反散射在工业、农业和医疗业的辐射屏蔽的研究有一定的指导作用。

关键词: MCNP5; γ 射线; 反散射谱; 散射体

中图分类号: O 571 **文献标志码:** A **文章编号:** 0258-0934(2014)12-1416-05

γ 能谱技术各个领域已经得到了广泛的应用。例如, 利用 γ 射线反散射为原理的方法在测量、分析等领域已得到很好的应用^[1-3]。反散射在工业、农业和医疗业的辐射屏蔽、射线吸收、剂量测量以及有限吸收介质的无损检测方面是一个重要的基本问题。然而, 反散射谱与 γ 射线能量、散射体的成分和厚度、源与探测器的几何位置等因素密切相关。如果能找出它们之间的关系, 就能很好的推动 γ 能谱技术的运用。所以研究 γ 射线反散射谱的影响因素有着非常重要的意义。由于蒙特卡罗方法可以克服实验条件的限制, 构造出各种形式和不同能量的 γ 源, 可以方便地模拟出 γ 能谱, 而且其结果与核物理实验中得到的 γ 能谱具有

完全相同的特征^[4]。因此, 利用 MCNP5 程序对 γ 射线反散射谱的影响因素进行模拟是一种可行的途径, 可为 γ 射线的反散射谱研究及辐射防护规定提供依据。

1 基本原理

1.1 反散射射线

射线与物质相互作用时, 在与放射源一次射线不同的方向上, 存在散射射线, 这是射线与物质作用后, 又散射出界面的次级射线。从介质界面反射出来, 与入射射线成 180° 方向的散射射线称反散射射线, 是散射射线的一部分。

1.2 蒙特卡罗方法及软件介绍

蒙特卡罗方法也被称为随机抽样模拟方法。通过计算机程序随机抽样产生足够多的统计模型的样本, 进而计算出参数的估计值, 即实际问题的模拟解。由于放射性事件具有统计涨落性, 并遵循一定的统计分布规律, 因而蒙特卡罗方法非常适用于解决核物理中粒子的输运问题^[5]。蒙特卡罗 (MC) 模拟已经成为研究粒子输运问题的最有力工具, 广泛用于电子、光子和中子等粒子输运问题研究中。MCNP (

收稿日期: 2014-07-31

基金项目: 国家自然科学基金 (10965007)。

作者简介: 肖明 (1989-) 男, 四川广安人, 硕士研究生, 核技术及应用专业。通信作者: 艾尔肯·阿不列木, 男, 维吾尔族, 硕士生导师, 教授, E-mail: abar-kin@sina.com。

Monte Carlo N - Particle transport code) 是由美国 Los Alamos 国家实验室开发的基于 MC 方法的粒子输运程序,其模拟中子、光子和电子在物质中输运过程的可行性已得到众多的试验验证及广泛的认可^[6-7]。

2 蒙特卡罗模拟实验

2.1 MCNP5 模拟内容

在使用 MCNP5 程序对 γ 射线反散射谱的影响因素进行模拟时,为了记录 γ 射线经过散射后反散射峰的变化,将对 NaI(Tl) 闪烁探测器进行模拟后来记录反散射谱。为了使谱便于观察,用 Geb 函数对谱峰做了 Gaussian 展宽。在模拟几何模型中,模拟 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 点源放出的 γ 射线束与不同原子序数和厚度的散射体在不同几何位置下的相互作用,最后用模拟探测器与 F8 计数卡来记录反散射峰的变化。为了达到模拟探测器的误差限,使误差达到最小,计算时间用了 1 500 min。

2.2 实验内容

为了验证模拟的可行性,实验时采取与模拟相同的条件。由于涉及的变量多,所以在实验时,为了节约时间和降低对人体的伤害,只进行了部分实验。例如,源 ^{137}Cs 距离探测器 10 mm 发出的能量为 0.662 MeV 单能 γ 射线与 0.4 cm 厚的石蜡、玻璃、Al、Fe、Cu 和 Pb 相互作用的实验,反散射谱如图 1 所示。

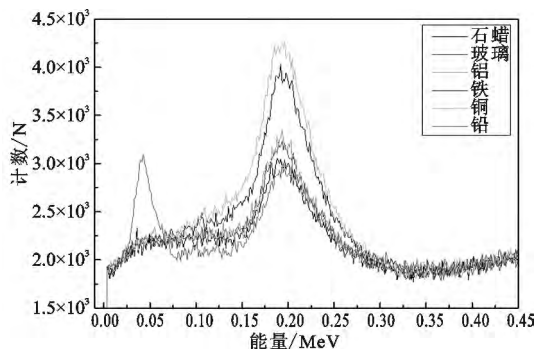


图1 反散射峰实验谱

2.3 模拟结果

2.3.1 反散射峰与原子序数的关系

MCNP5 程序模拟得出了 ^{137}Cs 发出的能量为 0.662 MeV 的单能 γ 射线经 0.4 cm 厚的石蜡、玻璃、铝、铁、铜和铅散射后的反散射谱,以及无散射物质时的能谱,结果示于如图 2。通过与图 1 比较,可以看出两图的变化趋势一致,

说明 MCNP5 程序模拟能很好的替代实验从而表明理论模拟分析具有减小成本、节约时间等优点。为了观察光子经散射作用后三种效应的变化,将源 ^{137}Cs 的模拟全谱给出,示于图 3。

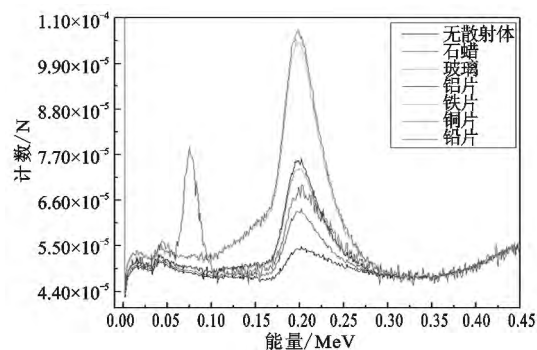


图2 反散射峰模拟谱

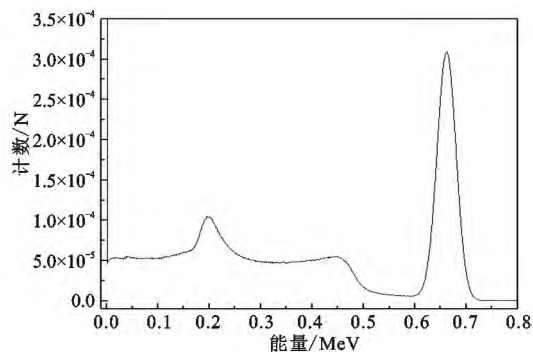


图3 ^{137}Cs γ 能谱模拟全谱

图 1 和图 2 表明,随着原子序数的增加,反散射峰峰值逐渐增大;原子序数到一定值后,峰值随原子序数增加而减小。从图 2 中可以看出,有散射体比无散射体的反散射峰峰值大。这是由于光子与物质作用产生光电效应和形成电子对效应,光子被吸收,射线的能谱成分不会变化;但是随着散射体原子序数的增大,反散射光子的比例也随着增大。 γ 射线经铅散射后峰值减小,其介于石蜡与玻璃之间。

2.3.2 反散射谱与散射体厚度的关系

由于散射体比较多,这里只给出了源 ^{137}Cs 离探测器 10 mm 发出的光子经厚度逐渐增加的石蜡和铜散射后的反散射谱模拟图,分别为图 4、图 5;图 6、图 7 是源 ^{137}Cs 离探测器 10 mm 发出的光子经厚度分别为 0.8 cm、1.6 cm 的玻璃、Al、Fe、Cu 散射后的反散射谱的变化曲线。图 4 和图 5 中,随着散射体厚度的增加反散射峰峰值也增大,因为当厚度逐渐增加时,射线在介质中产生康 - 吴效应的次数就愈多,所以散

射射线照射量率增加;但是当增加到一定厚度时反散射峰峰值不再变化,说明厚度已经达到了饱和。这是由于随着厚度的增加,有一部分散射射线在通过介质时产生光电效应而不能越出界面,因而反散射峰峰值增加的趋势逐渐缓慢。当散射介质到一定厚度时,在此厚度内产生的散射射线都被吸收,因而反散射峰峰值不再增加。石蜡和 Cu 的饱和厚度分别为 8 cm、2.6 cm;图 7 所示,铜的峰值低于铁时的厚度为 1.6 cm,说明反散射峰峰值的增加不仅与原子序数有关,而且还与散射体的厚度有关。

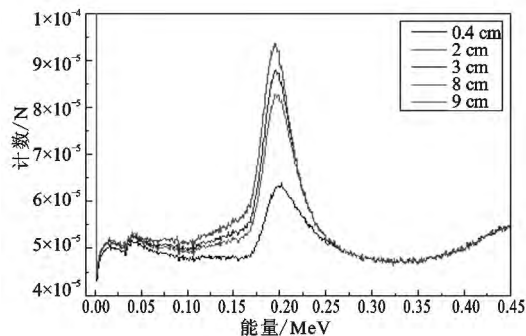


图 4 石蜡厚度增加反散射谱的变化

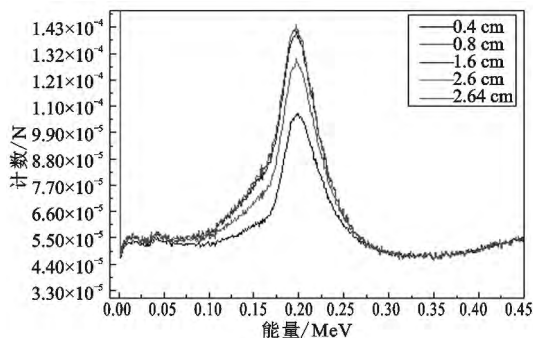


图 5 铜厚度增加反散射谱的变化

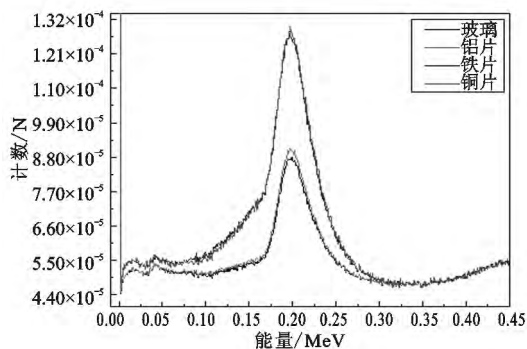
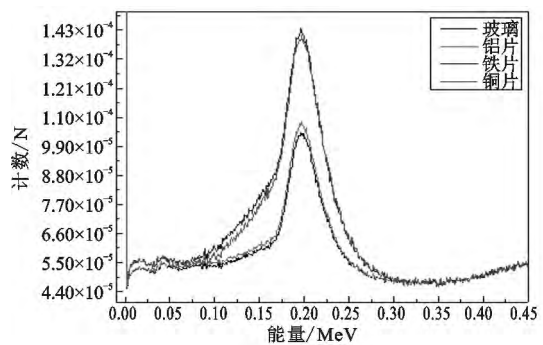


图 6 通过 0.8 cm 厚散射体的反散射谱的变化散

2.3.3 反散射谱与入射光子能量的关系

图 8 中的曲线是由源 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 离探测



器 10 mm 发出的光子经 0.4 cm 厚的铜散射后得到的反散射谱,反映出不同能量的射线经同种散射体散射后的反散射峰值与能量成反比,并且,峰值向低能端靠近。图 9 - 11 是源 ^{60}Co 离探测器 10 mm 发出的光子经厚度分别为 0.8 cm、2.0 cm、2.4 cm 的玻璃、Al、Fe、Cu 散射后谱的变化曲线。与图 6、图 7 比较后,发现入射光子能量越大,铜散射后的反散射峰值随厚度增加而减小的变化速率比较缓慢,而且当厚度达到 2.4 cm 时其峰值才略低于铁的峰值。说明当原子序数达到一定值后,反散射峰值随厚度增加而减小时的变化速率及厚度与能量有关。

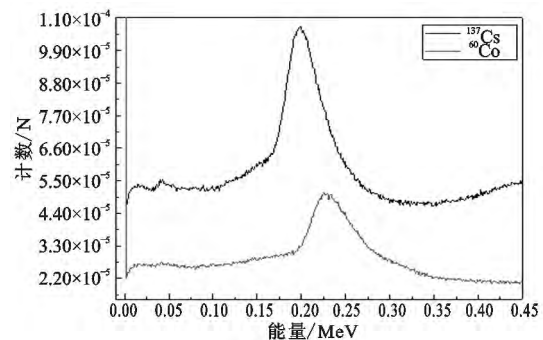


图 8 源 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 经铜散射后的反散射谱

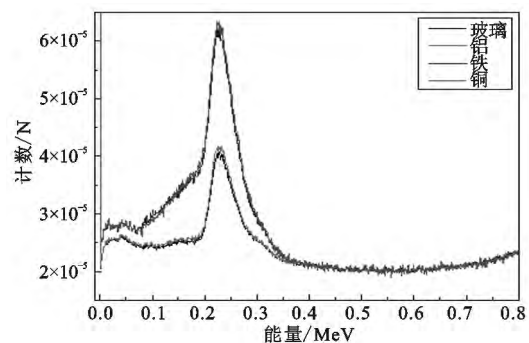


图 9 通过 0.8 cm 厚散射体的反散射谱的变化

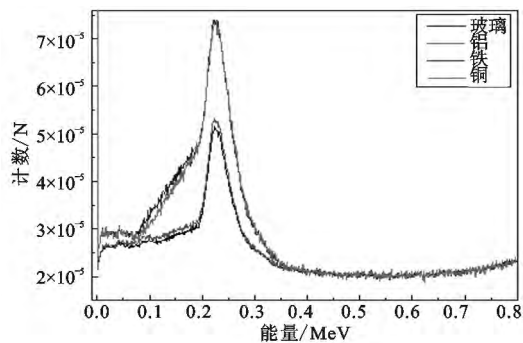


图 10 通过 2.0 cm 厚散射体的反散射谱的变化

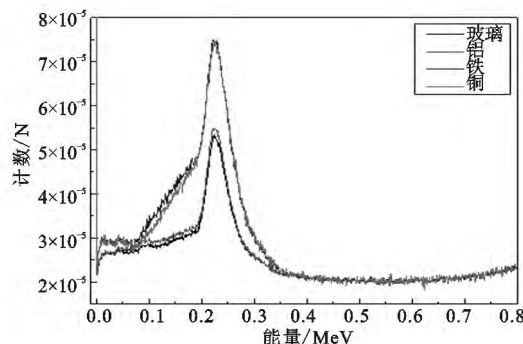


图 11 通过 2.4 cm 厚散射体的反散射谱的变化

反散射峰值与能量成反比,是因为入射光子能量小时,产生康-吴散射的几率大,散射射线照射量率也就大。此外,源与探测器在介质的同一侧时,能记录到的散射射线大多是向后的,即 $90^\circ - 180^\circ$ 方向的。但入射光子能量大时,向前的散射射线增多,向后的就减少,所以高能光子的反散射峰值反而较小。

2.3.4 反散射谱与源与探测器几何位置的关系

由于散射体比较多,这里只给出了源 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 发出的 γ 射线经 0.4 cm 厚的铁散射后的模拟谱,分别为图 12、图 13;从图中明显可以看出,反散射峰值随着源与探测器之间距离(源仪距)的增加而减小,而且与入射射线的能量无关, ^{60}Co 源的峰值向所对应的能量值略大于 0.2 MeV,因此,源与探测器之间的几何位置变化对反散射谱有很大的影响。所以,在辐射屏蔽时可以充分利用这一特性来降低辐射伤害,降低屏蔽成本。

3 小结

散射体的物质成分、厚度、入射射线能量和几何布置等条件在研究反散射时任何一个都不能忽视。

随着厚度和原子序数的增加,反散射峰值

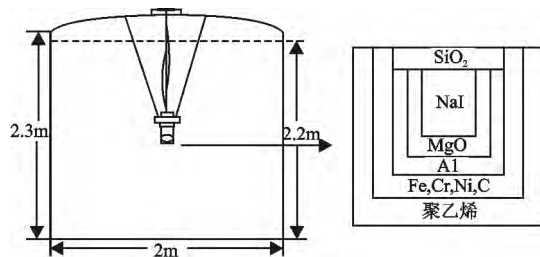


图 12 不同源仪距 ^{137}Cs 经铁散射后反散射峰模拟谱

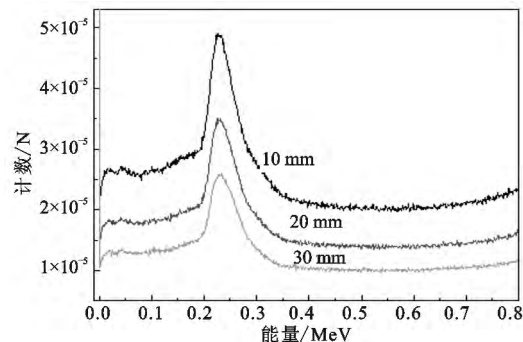


图 13 不同源仪距 ^{60}Co 经铁散射后反散射峰模拟谱

随厚度增加而减小时的原子序数不是 13^[8],而是 26。

原子序数在 26 以内的散射体,随原子序数的增加,谱线低能端的计数也随之增大。

散射体饱和厚度和探测器与放射源的距离及入射射线的能量有关。

不同能量的射线经同种散射体散射后所得的反散射峰值与能量成反比。

本工作针对反散射的原理进行实验和模拟计算,对进一步开展反散射在工业、农业和医疗业的辐射屏蔽的研究有一定的指导作用。为了让反散射法更好的应用于辐射屏蔽研究,可以通过模拟计算得出原子序数与反散射峰值、散射体饱和厚度的函数关系以及能量与散射体饱和厚度之间的关系。

参考文献:

- [1] 韩揽月,袁平. γ 射线反散射石英坩埚厚度仪样机的研制[J]. 核电子学与探测技术 2013, 33(6): 705-707.
- [2] 黄兴滨,王国荣,孙普男,杨大战,马永和. 测量煤炭灰分的低能 γ 射线反散射方法[J]. 核技术 2005, 28(11): 877-880.
- [3] 候跃新,苏海林,高鸿雁,马永和. 低能 γ 射线反散射法测量纸张定量的研究[J]. 核电子学与探测技

- 术 2001 21(2):148 – 150.
- [4]林旭升. 能谱的计算机模拟[J]. 大学物理,1998,10 (17):27 – 28.
- [5]许淑艳. 蒙特卡罗方法在实验核物理中的应用[M]. 北京:原子能出版社,1996.
- [6]张建生,蔡勇,陈念华. MCNP 程序研究进展[J]. 原子核物理评论 2008 25(1):48 – 51.
- [7]Briesmeister J F (Ed). MCNP 4C General Monte Carlo N – Particle Transport Code [R]. Los Alamos National Laboratory, LA – 13709 – M 2000:1 – 10.
- [8]曹利国,谢涛. 核辐射测量方法[M]. 成都理工大学工程技术学院 2006.

MCNP5 study of the Influence Factor on Gamma – Ray Backscattering Spectrum

XIAO Ming , Arkin • Abulim

(College of Physics Science and Technology , Xinjiang University , Urumqi 830046)

Abstract: This paper aims to study the correlation of the backscattering peak of gamma ray with the material composition , thickness of the scatter , incident (– ray energy and geometric arrangement. Based on the method of Monte Carlo , MCNP5 program was used to simulate the changes of the backscattering spectrum after gamma photon emitted by ^{137}Cs , ^{60}Co through different thickness of paraffin wax and glass , Al , Fe , Cu and Pb. The MCNP5 simulation result is in very good agreement with the experimental data. The results showed that the backscattering is increased with the thickness of scatter and with atomic number , until the atomic number about to 26 and later. When the distance between the detector and radiation source is 10mm the peak value of the ^{137}Cs and ^{60}Co scattered by Fe is higher than that of Cu with the thickness of 1.6 cm and 2.4 cm , respectively. When the distance between the source and the detector increases , the Backscattering peak is reduced and this has nothing to do with the incident ray energy. Our results are useful for applying the Backscattering method to the radiation shield of the industry , agriculture and medical industry.

Key words: MCNP5; Gamma Ray; Backscattering Spectrum; Scatter