

# Ứng dụng các phổ Gamma trong nghiên cứu cấu trúc hạt nhân 156GD

Đoàn Quang Tuyền<sup>1</sup>

Ngày 14 tháng 3 năm 2017



# Mục lục

Danh mục các từ viết tắt và các ký hiệu toán học	3
Danh mục các hình vẽ	5
Danh mục các bảng biểu	7
Mở đầu	9
<b>1 Tương tác của photon với vật chất</b>	<b>11</b>
1.1 Hiệu ứng quang điện . . . . .	11
1.2 Hiệu ứng Compton . . . . .	11
1.3 Hiệu ứng tạo cặp . . . . .	12
<b>2 Phương pháp thực nghiệm</b>	<b>15</b>
2.1 Một số loại detector . . . . .	15
<b>3 Kết quả phân tích</b>	<b>17</b>
3.1 Các phương pháp phân tích số liệu . . . . .	17
3.2 Các kết quả chính . . . . .	17
<b>Kết luận</b>	<b>19</b>
<b>Tài liệu tham khảo</b>	<b>21</b>
<b>Phụ lục</b>	<b>23</b>
<b>A Phổ gamma từ các detector khác nhau</b>	<b>23</b>
A.1 Các phổ gamma từ detector EUROBALL . . . . .	23
A.2 Các phổ gamma từ detector JUROGAM . . . . .	23
<b>B Các số liệu thực nghiệm</b>	<b>25</b>
B.1 Số liệu thực nghiệm từ detector EUROBALL . . . . .	25
B.2 Số liệu thực nghiệm từ detector JUROGAM . . . . .	25



# Danh mục các từ viết tắt và các ký hiệu toán học

$\nu$	Tần số sóng điện từ
$\sigma_e$	Tiết diện phản ứng vi phân trên một điện tử
$\theta$	Góc tán xạ
$m$	Khối lượng điện tử
$r$	Bán kính tán xạ của điện tử
AGATA	Advanced GAMMA Tracking Array
Ge	Germanium



# Danh mục các hình vẽ

1.1	Tán xạ Compton của các tia bức xạ $\gamma$ theo công thức Klein-Nishina cho khoảng năng lượng từ 200 keV đến 2 MeV. . . . .	12
3.1	Các mức năng lượng và tỷ lệ các chuyển dịch giữa các mức năng lượng của hạt nhân $^{156}\text{Gd}$ được xác định bằng thực nghiệm. . . . .	17





# Danh mục các bảng biểu

2.1 So sánh một số detector . . . . .	15
---------------------------------------	----



# Mở đầu

Trình bày tổng quan về vấn đề, mục đích của báo cáo, các công việc được thực hiện và các kết quả chính cùng với các kết luận v.v.

Nội dung của báo cáo:

- Chương 1: trình bày cơ sở lý thuyết;
- Chương 2: trình bày phương pháp thực nghiệm;
- Chương 3: các kết quả phân tích;
- Các kết luận chính.

Các số liệu thực nghiệm và các đồ thị được thể hiện trong các Phụ lục A và B.



# Chương 1

## Tương tác của photon với vật chất

Các tia bức xạ  $\gamma$  sẽ được ghi nhận thông qua quá trình tương tác với vật chất. Đặc tính điện từ của các tia bức xạ  $\gamma$  cho phép các tia bức xạ này có thể tương tác với các điện tử. Nguyên lý ghi nhận các tia bức xạ  $\gamma$  dựa trên hiện tượng ion hóa: Các tia bức xạ  $\gamma$  sẽ chuyển một phần hoặc toàn bộ năng lượng cho các điện tử. Các điện tử tự do được tạo thành trong quá trình này sẽ tương tác với các nguyên tử gần đó để tạo các điện tử thứ cấp. Các điện tử này được ghi nhận để xác định năng lượng của các tia  $\gamma$ . Kết quả của việc ghi nhận là một xung điện tỷ lệ với năng lượng của tia  $\gamma$  đã bị mất trong môi trường do quá trình tương tác.

### 1.1 Hiệu ứng quang điện

Ở năng lượng thấp ( $< 200$  keV), tương tác giữa photon với một tinh thể Germanium được thực hiện thông qua hiệu ứng quang điện. Trong trường hợp này năng lượng của photon được hấp thụ hoàn toàn bởi tinh thể Germanium. Xác suất tương tác được tính một cách gần đúng theo công thức [1, 2, 3]:

$$P_{ph} \approx k \frac{Z^n}{(h\nu)^{3.5}} \quad (1.1)$$

Trong đó, giá trị của  $n$  thay đổi từ 4 đến 5 tương ứng với khoảng năng lượng của photon từ 0 đến 3 MeV,  $h\nu$  và  $Z$  lần lượt là năng lượng của photon và số hiệu nguyên tử của Germanium.

### 1.2 Hiệu ứng Compton

Công thức 1.1 được áp dụng cho các photon có năng lượng thấp, tuy nhiên khi photon có năng lượng lớn hơn ( $\approx 200$  keV đến 8 MeV), hiệu ứng Compton sẽ chiếm ưu thế. Trong quá trình này, một photon có năng lượng  $h\nu_0$  sẽ thực hiện tương tác không đàn hồi với một điện tử<sup>1</sup>. Một phần năng lượng của photon bị mất do tương tác với điện tử và các tia  $\gamma$  sau đó sẽ tán xạ dưới một góc  $\theta$  so với hướng ban đầu với năng lượng  $h\nu$ . Theo định

---

<sup>1</sup>Cần phân biệt giữa tán xạ Compton với tán xạ Rayleigh trong đó các tia  $\gamma$ , sau khi tương tác với một điện tử, thay đổi hướng chuyển động và không mất đi năng lượng.

luật bảo toàn năng lượng và động lượng ta có:

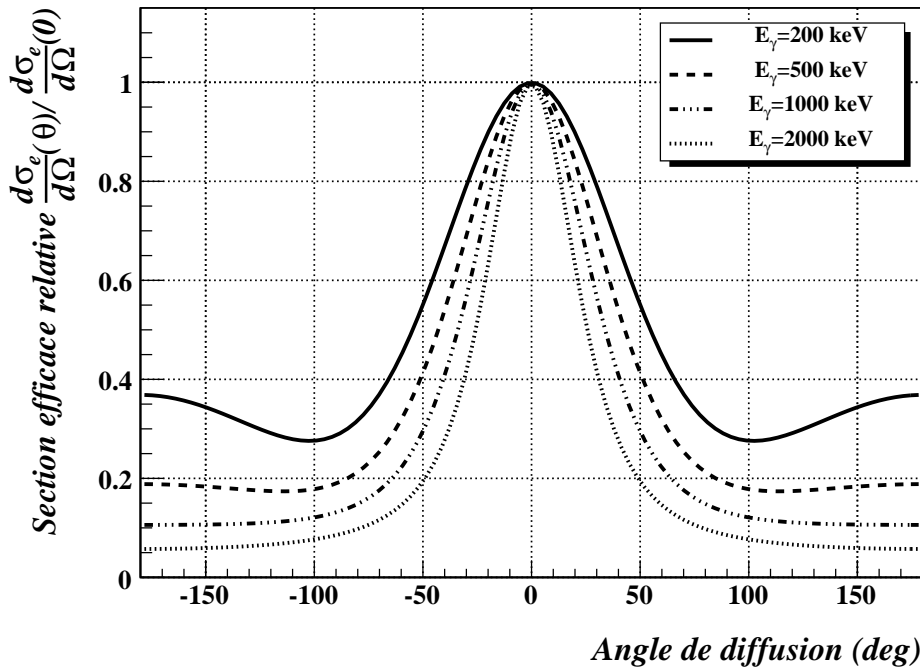
$$h\nu = \frac{m_0 c^2 \alpha}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} \quad (1.2)$$

Trong đó  $\alpha = \frac{h\nu_0}{m_0 c^2}$ ,  $m_0$  là khối lượng của điện tử. Động năng của điện tử ( $T = h\nu_0 - h\nu$ ) đạt cực đại nếu  $\theta = \pi$ . Tiết diện phản ứng vi phân tính trên một điện tử  $\sigma_e$  với một góc khối  $\Omega$  được thể hiện bằng công thức Klein-Nishina [4]

$$\frac{d\sigma_e}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left\{ \frac{1}{[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]^2} \left[ 1 + \cos^2 \theta + \frac{\alpha^2(1 - \cos \theta)^2}{[1 + \alpha(1 - \cos \theta)]} \right] \right\} \quad (1.3)$$

trong đó  $r_0$  bán kính của điện tử.

Các giá trị tiết diện phản ứng vi phân đối với các photon có năng lượng từ 0.2 MeV đến 2 MeV (khoảng giá trị đặc trưng được sử dụng khi nghiên cứu phổ các tia bức xạ  $\gamma$ ) được thể hiện trên Hình 1.1. Các giá trị đã được chuẩn hóa theo giá trị tiết diện phản ứng cực đại được tính theo hướng của photon. Ở mức năng lượng cao ( $\geq 1$  MeV) hầu hết các tia bức xạ  $\gamma$  tán xạ ở một góc rất nhỏ. Tuy nhiên, ở năng lượng thấp, các tia  $\gamma$  có thể tán xạ ở các góc lớn hơn.



Hình 1.1: Tán xạ Compton của các tia bức xạ  $\gamma$  theo công thức Klein-Nishina cho khoảng năng lượng từ 200 keV đến 2 MeV.

### 1.3 Hiệu ứng tạo cặp

Ở mức năng lượng lớn hơn 1.022 MeV, xác suất của quá trình tạo cặp sẽ tăng dần và sẽ đạt giá trị lớn hơn giá trị xác suất của quá trình tán xạ Compton khi năng lượng của

photon tới lớn hơn 8 MeV. Hiệu ứng tạo cặp gắn liền với hiện tượng biến đổi từ một tia bức xạ  $\gamma$  thành một điện tử và một positron có động năng lần lượt là  $T_-$  và  $T_+$ . Mối liên hệ giữa động năng của các hạt được tạo thành với năng lượng của photon ban đầu được biểu thị bằng công thức sau:

$$h\nu_0 = T_- + T_+ + 2m_0c^2 \quad (1.4)$$

$h\nu_0$  là năng lượng của photon,  $m_0$  là khối lượng của một điện tử. Sự biến đổi trên chỉ có thể được thực hiện ở gần một hạt nhân hoặc gần một điện tử để đảm bảo định luật bảo toàn mô men động lượng được thỏa mãn. Tiết diện phản ứng của quá trình tạo cặp tỷ lệ với  $Z^2$ . Positron tạo thành từ phản ứng này sẽ hủy cặp với một điện tử khác để tạo ra hai tia bức xạ  $\gamma$  có năng lượng 511 keV và được phát ra theo hai hướng đối lập.





## Chương 2

# Phương pháp thực nghiệm

### 2.1 Một số loại detector

Trong Chương 1 đã trình bày các nguyên lý ghi nhận bức xạ, trong phần này sẽ trình bày các phương pháp thực nghiệm để ghi nhận các tia  $\gamma$ .

Bảng 2.1: So sánh một số detector

Loại Detector	Hệ thống điện tử	Thuật toán	sử dụng Trigger
EUROBALL	analog	addback	có
EXOAM	analog	addback	có
JUROAM	analog + digital	không	không
AGATA	digital	tracking $\gamma$	trigger+triggerless

Một detector ghi nhận  $\gamma$  được thiết lập từ các detector nhỏ hơn trong đó mỗi detector nhỏ sẽ gồm các khối Germanium được đặt trong một lớp bảo vệ. Các khối Germanium có thể được phân chia thành các vùng khác nhau và mỗi vùng này sẽ được kết nối với một điện cực riêng. Trong phần này sẽ giới thiệu sơ lược về bốn loại detector khác nhau: EXOAM, EUROBALL, JUROAM và AGATA [5, 6] với các thông số chính như trong Bảng 2.1. Mỗi loại detector đều có những ưu điểm riêng, tuy nhiên detector AGATA cho phép ghi nhận các tia bức xạ  $\gamma$  với độ phân giải tốt nhất. Để có thể tái lập năng lượng của các tia bức xạ  $\gamma$ , thuật toán addback và tracking đã được sử dụng.

Các kết quả thực nghiệm sẽ được trình bày trong Chương 3.



# Chương 3

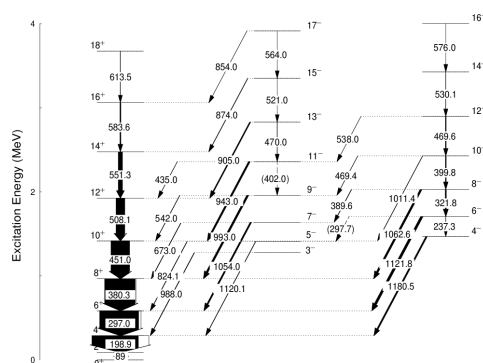
## Kết quả phân tích

### 3.1 Các phương pháp phân tích số liệu

Trình bày phương pháp phân tích số liệu.

Có thể đưa các đoạn văn bản, công thức toán học, hình vẽ, bảng biểu, v.v., vào đây. Có thể bổ sung thêm các mục hoặc các tiểu mục khác thông qua lệnh section, subsection hay subsubsection v.v.

### 3.2 Các kết quả chính



Hình 3.1: Các mức năng lượng và tỷ lệ các chuyển dịch giữa các mức năng lượng của hạt nhân  $^{156}\text{Gd}$  được xác định bằng thực nghiệm.

Trình bày các kết quả.

Có thể đưa các đoạn văn bản, công thức toán học, hình vẽ, bảng biểu, v.v., vào đây. Có thể bổ sung thêm các mục hoặc các tiểu mục khác thông qua lệnh section, subsection hay subsubsection v.v.

Các mức năng lượng của hạt nhân  $^{156}\text{Gd}$  được thể hiện trên Hình 3.1.



# Kết luận

Đưa ra các kết luận về các kết quả thu được, đề xuất các phương pháp thực nghiệm hoặc các phương pháp xử lý số liệu nếu cần, v.v.

Có thể đưa các đoạn văn bản, công thức toán học, hình vẽ, bảng biểu, v.v., vào đây. Có thể bổ sung thêm các mục hoặc các tiểu mục khác thông qua lệnh section, subsection hay subsubsection, v.v.



# Tài liệu tham khảo

- [1] G. F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement*. New York: Wiley, 2002.
- [2] N. T. Tú, *Ghi nhận và Đo lường bức xạ*. NXB Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2007.
- [3] P. Q. Hùng, *Vật lý hạt nhân và ứng dụng*. NXB Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2007.
- [4] O. Klein and Y. Nishina *Z. Phys.*, vol. 52, p. 853, 1929.
- [5] D. Bazzacco *Nucl. Phys. A*, vol. 746, pp. 248–254, 2004.
- [6] J. Simpson *Acta. Phys. Pol. B*, vol. 36, pp. 1383–1393, 2005.





## **Phụ lục A**

### **Phổ gamma từ các detector khác nhau**

#### **A.1 Các phổ gamma từ detector EUROBALL**

Trong phần này trình bày tất cả các kết quả thực nghiệm, các thí nghiệm, các đồ thị thu được trong quá trình làm thực nghiệm, v.v. Phần này được sử dụng để dẫn chiếu.

#### **A.2 Các phổ gamma từ detector JUROGAM**

Trong phần này trình bày tất cả các kết quả thực nghiệm, các thí nghiệm, các đồ thị thu được trong quá trình làm thực nghiệm, v.v. Phần này được sử dụng để dẫn chiếu.



## Phụ lục B

### Các số liệu thực nghiệm

#### B.1 Số liệu thực nghiệm từ detector EUROBALL

Trong phần này trình bày tất cả các kết quả thực nghiệm, các thí nghiệm, các đồ thị thu được trong quá trình làm thực nghiệm, v.v. Phần này được sử dụng để dẫn chiếu.

#### B.2 Số liệu thực nghiệm từ detector JUROGAM

Trong phần này trình bày tất cả các kết quả thực nghiệm, các thí nghiệm, các đồ thị thu được trong quá trình làm thực nghiệm, v.v. Phần này được sử dụng để dẫn chiếu.