

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

**VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM**

**ĐẶNG QUANG THIỆU**

**THÍ NGHIỆM ĐO PHÂN BỐ GÓC THÔNG LƯỢNG  
MUON KHÍ QUYỂN TẠI HÀ NỘI**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**HÀ NỘI, 2006**

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

**VIỆN NĂNG LƯỢNG NGUYÊN TỬ VIỆT NAM**

**ĐẶNG QUANG THIỆU**

**THÍ NGHIỆM ĐO PHÂN BỐ GÓC THÔNG LƯỢNG  
MUON KHÍ QUYỂN TẠI HÀ NỘI**

**Chuyên ngành: Vật lý Nguyên tử và Hạt nhân**

**Mã số: 62 44 05 01**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**CÓ VẤN KHOA HỌC**

**GS.Pierre Darriulat**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC**

**1. TS. Võ Văn Thuận**

**2. TS. Nguyễn Mậu Chung**

**HÀ NỘI, 2006**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu mà phần chủ yếu do tôi trực tiếp thực hiện, phần còn lại có sự tham gia hỗ trợ của các đồng nghiệp trong nhóm nghiên cứu vật lý tia vũ trụ " VATLY ". Các số liệu thực nghiệm và kết quả nghiên cứu nêu trong luận án là hoàn toàn trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất cứ công trình luận án tiến sĩ nào khác.

Nghiên cứu sinh

Đặng Quang Thiệu

# Mục lục

|          |                                                          |           |
|----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>TỔNG QUAN VỀ VẬT LÝ TIA VŨ TRỤ</b>                    | <b>10</b> |
| 1.1      | Sơ lược về lịch sử nghiên cứu tia vũ trụ . . . . .       | 10        |
| 1.2      | Tia vũ trụ và mưa rào khí quyển . . . . .                | 14        |
| 1.2.1    | Tia vũ trụ sơ cấp . . . . .                              | 14        |
| 1.2.2    | Phổ năng lượng tia vũ trụ sơ cấp . . . . .               | 15        |
| 1.2.3    | Sự gia tốc . . . . .                                     | 17        |
| 1.2.4    | Ảnh hưởng của từ trường trái đất đến tia vũ trụ sơ cấp . | 18        |
| 1.2.5    | Mưa rào khí quyển . . . . .                              | 20        |
| 1.3      | Tương tác của muon với vật chất . . . . .                | 24        |
| 1.3.1    | Thời gian sống của muon . . . . .                        | 24        |
| 1.3.2    | Sơ đồ phân rã của muon . . . . .                         | 27        |
| 1.3.3    | Một số đặc trưng của muon . . . . .                      | 28        |
| 1.3.4    | Quá trình ion hoá và các tương tác khác . . . . .        | 29        |
| 1.4      | Mô phỏng thông lượng neutrino khí quyển . . . . .        | 31        |



|     |                                                             |    |
|-----|-------------------------------------------------------------|----|
| 3.3 | Phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh . . . . .      | 66 |
| 3.4 | Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị . . . . .       | 70 |
| 3.5 | Bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon tại Hà Nội . . . | 73 |

# Danh sách bảng

|     |                                                                                            |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | Đại lượng nghịch đảo của hiệu suất phát sáng tính bằng eV/photon                           | 39 |
| 2.2 | Đặc trưng của các chất nhấp nháy khác nhau . . . . .                                       | 40 |
| 2.3 | Kết quả hiệu chỉnh telescope . . . . .                                                     | 56 |
| 2.4 | Tốc độ đếm trung bình của các detector . . . . .                                           | 56 |
| 3.1 | Thông lượng muon phân bố theo góc thiên đỉnh . . . . .                                     | 67 |
| 3.2 | Sự đóng góp vào sai số của phép đo phân bố thông lượng của muon . . . . .                  | 69 |
| 3.3 | Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị tại góc thiên đỉnh $\theta=50^\circ$ . . . . . | 71 |
| 3.4 | Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị tại góc thiên đỉnh $\theta=65^\circ$ . . . . . | 73 |
| 3.5 | Phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh tại hướng đông và hướng tây. . . . .          | 74 |
| 3.6 | Sự phụ thuộc của thông lượng muon theo góc thiên đỉnh và độ bất đối xứng đông-tây. . . . . | 76 |

# Danh sách hình vẽ

|     |                                                                   |    |
|-----|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1 | Phổ năng lượng vi phân của tia vũ trụ sơ cấp . . . . .            | 16 |
| 1.2 | Bản đồ độ cắt ngưỡng địa từ . . . . .                             | 20 |
| 1.3 | Quá trình hình thành mưa rào khí quyển . . . . .                  | 21 |
| 1.4 | Thí nghiệm đo thời gian sống của muon . . . . .                   | 26 |
| 1.5 | Thí nghiệm Super-Kamiokande . . . . .                             | 31 |
| 2.1 | Các mức năng lượng của chất nhấp nháy hữu cơ . . . . .            | 38 |
| 2.2 | các mức năng lượng của chất nhấp nháy vô cơ. . . . .              | 38 |
| 2.3 | Bố trí hình học của detector nhấp nháy dùng trong VATLY . . . . . | 41 |
| 2.4 | Phân bố biên độ xung từ detector nhấp nháy của VATLY . . . . .    | 41 |
| 2.5 | Mạch trùng phù hợp sử dụng phương pháp cộng xung . . . . .        | 42 |
| 2.6 | Hệ đo sử dụng mạch trùng phù hợp . . . . .                        | 43 |
| 2.7 | Ví dụ về điều chỉnh thời gian trễ giữa hai detector . . . . .     | 44 |
| 2.8 | Ví dụ về xác định đường cong trùng phù hợp . . . . .              | 45 |
| 2.9 | Phương pháp Wilkinson biến đổi tương tự số . . . . .              | 47 |



# MỞ ĐẦU

Phòng thí nghiệm VATLY " Viet nam Auger Training LaboratorY " được xây dựng từ đầu năm 2000 tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân. Mục đích là đào tạo cán bộ nghiên cứu thực nghiệm về vật lý hạt và tia vũ trụ. Trên cơ sở thiết bị cùng với sự dẫn dắt chỉ bảo tận tình chu đáo của Giáo sư Pierre Darriulat, nhóm VATLY đã từng bước tham gia nghiên cứu khoa học và thu được một số kết quả trong việc nghiên cứu chế tạo detector Cherenkov, khảo sát các đặc trưng của nó. Chế tạo thành công hệ đo cố định hodoscope và hệ đo chỉnh góc telescope bằng hệ detector nhấp nháy và đã đo được thông lượng muon theo phương thẳng đứng, phân bố theo các góc phương vị, góc thiên đỉnh và ghi nhận được độ bất đối xứng đông-tây tại Hà nội. Nó là bộ cơ sở dữ liệu quan trọng để triển khai tiếp các nghiên cứu hệ detector cherenkov mô phỏng theo trạm đo mặt đất của dự án Pierre Auger được xây dựng tại VATLY. Bộ số liệu thông lượng muon cũng đồng thời phục vụ cho kiểm chứng các mô hình tính toán mô phỏng thông lượng neutrino khí quyển góp phần cho nghiên cứu chuyển hoá neutrino tại thí nghiệm Super-Kamiokande(Nhật Bản).

Mục đích nghiên cứu của luận án là: Nghiên cứu phân bố thông lượng của muon theo góc thiên đỉnh và theo góc phương vị tại Hà Nội, nơi có độ

cứng của địa từ trường gần cực đại (17 GV). Là số liệu thực nghiệm đầu tiên về thông lượng muon phân bố theo các góc thiên đỉnh và phương vị cũng như tính chất bất đối xứng đông-tây của nó tại Hà nội. Nó đã thực sự có ý nghĩa cho công việc nghiên cứu detector Cherenkov của VATLY. Đồng thời kết quả cũng mang tính khoa học và thực tiễn, góp phần để tái kiểm tra tính đúng đắn của mô hình của M.Honda ứng dụng trong phân tích số liệu nghiên cứu sự chuyển hoá neutrino tại thí nghiệm Super - Kamiokande.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án là: Chế tạo một telescope sử dụng các detector nhấp nháy, có thể thay đổi được hướng đo theo các góc thiên đỉnh và phương vị phục vụ cho mục đích nghiên cứu thông lượng của muon phân bố theo các góc thiên đỉnh và phương vị, đánh giá độ bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon tại khu vực Hà Nội.

Luận án có những giá trị khoa học và thực tiễn sau đây: Lần đầu tiên phân bố thông lượng và tính bất xứng đông tây của muon đã được đo tại Hà nội. Trên thế giới dự án quốc tế Pierre Auger đang được xây dựng, đây là một dự án lớn phục vụ nghiên cứu tia vũ trụ năng lượng siêu cao.

Trong quá trình phát triển của mưa rào khí quyển một số lượng lớn neutrino tương ứng với số lượng muon được sinh ra và đi đến mặt đất [19]. Do vậy sự hình thành và phát triển của mưa rào khí quyển đặc biệt quan trọng đối với nghiên cứu sự chuyển hoá neutrino được nhóm thí nghiệm Super - Kamiokande, Nhật Bản tiến hành. Việc phân tích các số liệu của thí nghiệm Super - Kamiokande đòi hỏi phải mô phỏng chính xác quá trình phát triển của mưa rào khí quyển gây bởi các tia vũ trụ. Thí nghiệm đã sử dụng mô hình của tác giả M.Honda cho mục đích này. Các thí nghiệm đo thông lượng

muon, cũng như các tính chất khác của muon trong đó có độ bất đối xứng đông-tây tại các vị trí khác nhau trên trái đất có vai trò quan trọng trong việc kiểm tra tính chính xác của mô hình. Các số liệu đo thông lượng của muon phân bố theo các góc thiên đỉnh và phương vị cũng như độ bất đối xứng đông-tây tại Hà Nội cũng có một ý nghĩa nào đó cho mô hình trên. Đồng thời các kết quả đo thông lượng muon phân bố theo góc thiên đỉnh, theo góc phương vị cũng là một cơ sở dữ liệu cho nghiên cứu các đặc trưng của detector Cherenkov mô phỏng theo detector bề mặt của dự án quốc tế Pierre Auger hiện đang được triển khai tại VATLY.

Hệ detector mô phỏng trạm đo mặt đất của dự án quốc tế Pierre Auger là một công cụ để đào tạo cán bộ nghiên cứu trong lĩnh vực thực nghiệm vật lý hạt và vật lý thiên văn. Đồng thời các cán bộ trẻ có cơ hội tiếp cận với các loại detector, các khối điện tử xử lý xung nhanh (vùng nano giây) theo chuẩn NIM và chuẩn CAMAC, ghép nối máy tính, tự động hoá thí nghiệm, cho phép lưu trữ, xử lý số liệu ONLINE và OFFLINE.

Các số liệu thông lượng muon khí quyển cũng có vai trò thực tiễn quan trọng trong việc đánh giá liều dân chúng do nguồn các tia vũ trụ. Đây sẽ là số liệu mới trong lĩnh vực an toàn bức xạ.

Luận án gồm phần mở đầu, 3 chương chính và kết luận trong đó:

Chương 1. Trình bày sơ lược về lịch sử nghiên cứu tia vũ trụ, bản chất và thành phần của tia vũ trụ sơ cấp, phổ năng lượng, sự gia tốc, ảnh hưởng của từ trường đến tia vũ trụ sơ cấp, mưa rào khí quyển diện rộng. Đồng thời trình bày một tính chất cơ bản của muon, và một số vấn đề khoa học mang tính thời sự .

Chương 2. Mô tả detector nhấp nháy và việc sử dụng chúng như một hệ trigger khởi phát hệ đo. Đồng thời cũng đề cập đến nguyên tắc của một số khối điện tử chức năng dùng trong VATLY như mạch trùng phùng, phản trùng phùng, biến đổi ADC, biến đổi TDC. Cuối cùng là thiết kế chế tạo telescope sử dụng detector nhấp nháy kích thước lớn.

Chương 3. Trình bày kết quả chính của luận án, VATLY lần đầu tiên đã xác định được thông lượng muon tại Hà nội, nơi có vị trí đặc biệt, có độ cứng của địa từ trường gần như lớn nhất 17 GV. Đồng thời xác định được phân bố của thông lượng muon theo góc thiên đỉnh và góc phương vị cùng với độ bất đối xứng đông-tây tại Hà nội.

Phần chính nội dung của luận án đã được công bố trên hai bài báo tại tạp chí của nước ngoài " Nuclear Physics B" và một bài báo cáo tại hội nghị quốc tế và được đăng trên tạp chí " Nuclear Physics A", hai bài đăng trên tạp chí Vật lý Communications in Physic. Trong các chương của luận án có 8 bảng biểu, 32 hình vẽ. Phần tài liệu tham khảo có 45 mục tài liệu.

# CHƯƠNG 1

## TỔNG QUAN VỀ VẬT LÝ TIA VŨ TRỤ

### 1.1 Sơ lược về lịch sử nghiên cứu tia vũ trụ

Tia vũ trụ được Hess, người Áo, phát hiện. Ông là một người chơi khinh khí cầu nghiệp dư. Năm 1912 ông đã bay bằng khinh khí cầu lên đến độ cao trên 5300 m và ông nhận thấy rằng sự ion hoá tăng lên rất nhanh theo độ cao sau một kilo mét đầu tiên tính từ mặt đất [34]. Ông cho rằng đây là một bằng chứng chứng tỏ trái đất liên tục bị bắn phá bởi các hạt bức xạ có khả năng gây ion hoá. R.A. Miliken và nhiều người cho rằng bức xạ ngoài trái đất là những tia gamma vì chúng có khả năng đâm xuyên mạnh nhất đã được biết đến thời đó. Chính Miliken là người đã đặt ra cái tên "tia vũ trụ", và nó đã được sử dụng lần đầu tiên trong một bài giảng tại trường đại học Leeds năm 1926. Thực tế chỉ có một số rất nhỏ tia Gamma gây ra hiệu ứng mà Hess đã quan sát, phần lớn tia vũ trụ đến là các hạt nhân nguyên tử (từ hydro đến Uran) chúng được gia tốc ở đâu đó trong vũ trụ mà đến nay chúng ta vẫn chưa xác định được chính xác.

Phần lớn các tia vũ trụ đến trái đất là các hạt tích điện, điều này lần đầu





Nghiên cứu mưa rào khí quyển diện rộng cho phép xác định được năng lượng cao nhất của tia vũ trụ, khi năng lượng đủ lớn các hạt tích điện có thể chuyển động qua từ trường giữa các vì sao, giữa các thiên hà mà vẫn giữ được hướng ban đầu đi tới trái đất.

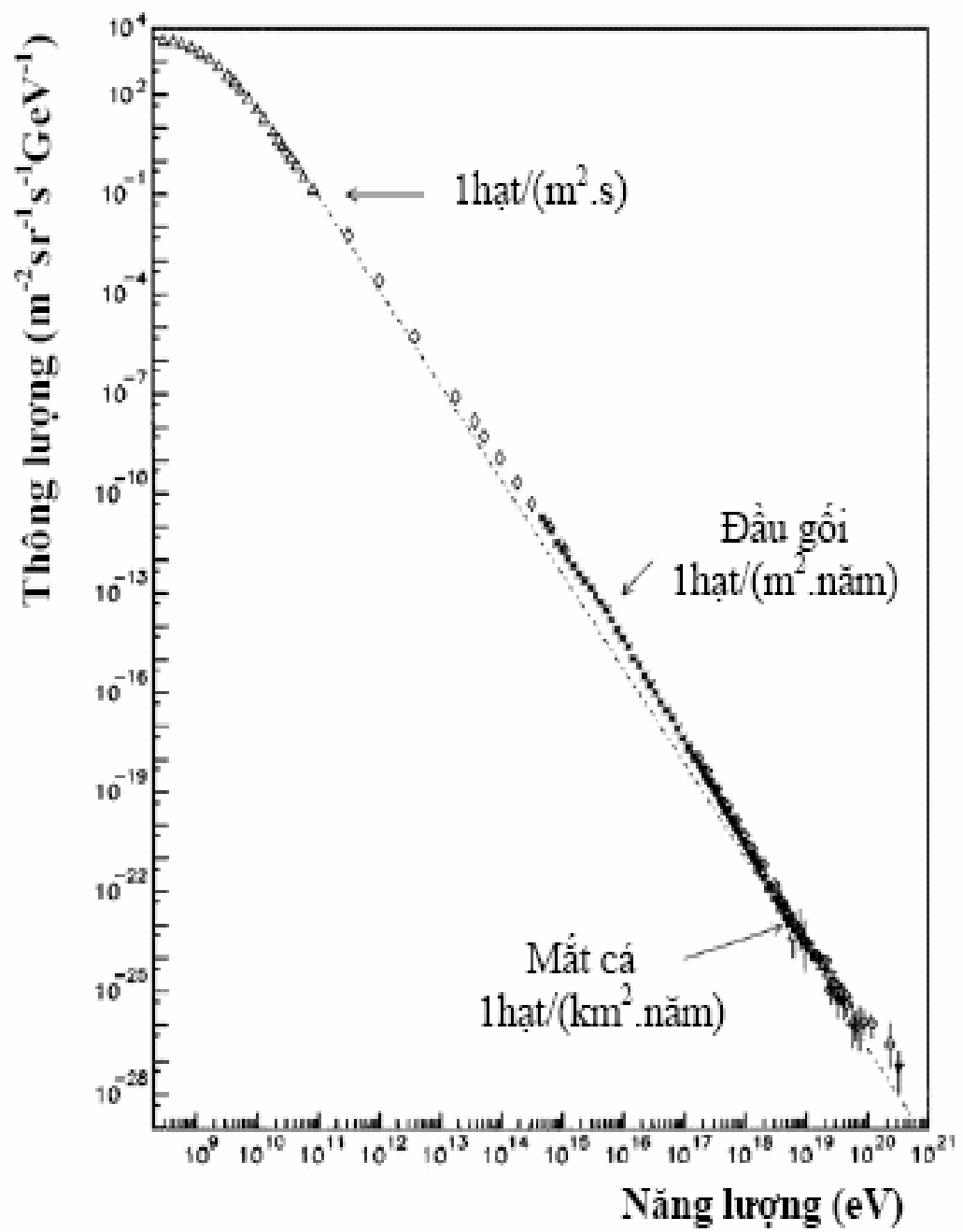
Trong quá khứ Việt Nam cũng có một số nhà thực nghiệm vật lý hạt và vật lý năng lượng cao được đào tạo ở Liên Xô cũ, việc nghiên cứu hạt cơ bản được bắt đầu vào cuối năm 1962, khi cố Giáo sư Hoàng Hữu Thư mang các nhũ tương ảnh từ Đupna về cùng một số kính hiển vi quan sát nhũ tương ảnh, thí nghiệm đầu tiên chính là việc nghiên cứu phân rã muon. Cuối năm 1963 việc nghiên cứu hạt cơ bản được tổ chức qui mô hơn dưới sự chỉ đạo của cố Giáo sư Nguyễn Đình Tứ lúc bấy giờ là uỷ viên Uỷ ban khoa học nhà nước. Vào năm 1974, việc khảo sát các thông số đặc trưng của chùm tia vũ trụ thứ cấp tại Sa Pa và Hà nội đã được khoa Vật lý Đại học Tổng Hợp thực hiện. Sau khi Giáo sư Jim Cronin và Alan Watson đến Việt Nam tháng 9 năm 1994 giới thiệu về dự án Pierre Auger. Năm 1995 cố Giáo sư Nguyễn Đình Tứ đã chỉ đạo thành lập nhóm Auger Việt Nam (tại Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân - KH&KTHN). Cũng trong năm đó, Việt Nam đã cử một người tham gia nhóm nghiên cứu khả thi của dự án Auger tại Fermilab (USA). Một đại diện của Việt Nam cũng tham dự cuộc họp thành lập dự án tại trụ sở UNESCO ở Pari (11/1995). Cuối năm 1998, Giáo sư Trần Thanh Vân (Hội Gặp gỡ Việt Nam, Orsay, Pháp) đã phối hợp với Viện KH&KTHN tổ chức một lớp học quốc tế về tia vũ trụ tại Việt Nam. Giáo sư Jim Cronin và nhiều chuyên gia của dự án Auger sang giảng bài cho lớp học. Cuối năm 1999, Giáo sư Pierre Darriulat, nguyên phó tổng giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân châu Âu (CERN) sau khi nghỉ hưu đã



không liên hệ với hoạt động của mặt trời có chu kỳ hoạt động 11 năm [13]. Các tia vũ trụ có năng lượng rất cao có bán kính quay trong từ trường của thiên hà lớn hơn kích thước thiên hà có thể có nguồn gốc ngoài thiên hà. Một khó khăn nảy sinh là do sự tồn tại của bức xạ nhiệt tàn dư 2,7K trong vũ trụ. Các tia vũ trụ có năng lượng lớn hơn  $10^{20}eV$  có quãng đường tự do trung bình nhỏ hơn 100 Mpc ( $1pc = 3 \times 10^{18}cm$  xấp xỉ 3 năm ánh sáng). Cho tới nay trong khoảng cách này chưa tìm thấy nguồn nào có thể gia tốc hạt đến năng lượng lớn như vậy. Hơn nữa, do bức xạ nhiệt tàn dư phổ năng lượng của tia vũ trụ phải tồn tại điểm cắt ở giá trị năng lượng  $E \sim 10^{20}eV$  gọi là điểm cắt Greisen Zasepin Kuzmin (GZK cut-off). Đối ngược với kết quả một số thí nghiệm với  $E > 10^{20}eV$  vẫn cho thấy có các sự kiện [35]. Các tia vũ trụ là các hạt tích điện nên quỹ đạo của chúng rất phức tạp do ảnh hưởng của từ trường yếu của vũ trụ trong quá trình lan truyền đến trái đất. Điều này làm phức tạp thêm việc xác định nguồn gốc của chúng bằng thực nghiệm. Đối với các tia vũ trụ có năng lượng lớn hơn  $10^{19}eV$  quỹ đạo của chúng ít bị ảnh hưởng bởi từ trường nên việc xác định nguồn phát có thể chính xác hơn dựa vào hướng bay đến của chúng. Nhưng số sự kiện có năng lượng cao hơn  $10^{19}eV$  bay đến trái đất lại rất nhỏ khoảng 1 hạt/ $1km^2/1năm$  do vậy việc xác định được nguồn phát ra tia vũ trụ cũng không dễ dàng thực hiện.

### 1.2.2 Phổ năng lượng tia vũ trụ sơ cấp

Hình 1.1 chỉ ra phổ năng lượng của tia vũ trụ sơ cấp [2], chúng có khoảng biến đổi rất rộng. Năng lượng lớn nhất là  $10^{20}eV$  cho tới nay có thể ghi nhận được là một vài sự kiện. Thông lượng của tia vũ trụ giảm rất nhanh khi năng



Hình 1.1: Phổ năng lượng vi phân của tia vũ trụ sơ cấp



[16]. Năng lượng cực đại cho bởi cơ chế sóng sốc là:

$$E_{max} \leq \frac{3}{20} \frac{u_1}{c} Z e B (u_1 T_A) \quad (1.1)$$

Trong đó:

$u_1$  là vận tốc truyền của sóng sốc

$T_A$  là thời gian sống của nguồn gia tốc

$B$  là từ trường vùng gia tốc

Giá trị  $E_{max} = Z \times 3 \times 10^4 GeV$  là năng lượng cực đại khi hạt được gia tốc bởi sóng sốc phát sinh từ các supernovae (sự bùng phát sáng của các sao). Để dẫn ra công thức này, người ta đã sử dụng các giá trị ước đoán với độ bất định lớn của thông số supernovae, tuy vậy giá trị  $E_{max} \sim 100 TeV$  là có thể chấp nhận được [16].

Tia vũ trụ có thể được gia tốc bởi các sao neutron thông qua sự quay quanh trục và sự tích tụ vật chất của nó. Trong trường hợp này, tia vũ trụ được gia tốc do sóng sốc sinh ra từ "gió" plasma hoặc do sóng sốc sinh ra từ quá trình tích tụ vật chất. Với một plasma chu kỳ 10 miligiây, từ trường bề mặt khoảng  $10^{12}$  gauss năng lượng cực đại đạt được  $10^5$  TeV. Với các sao neutron nằm trong hệ sao đôi (binary star), cơ chế gia tốc từ sự tích tụ vật chất cho năng lượng xấp xỉ  $2 \times 10^{16} eV$  [16].

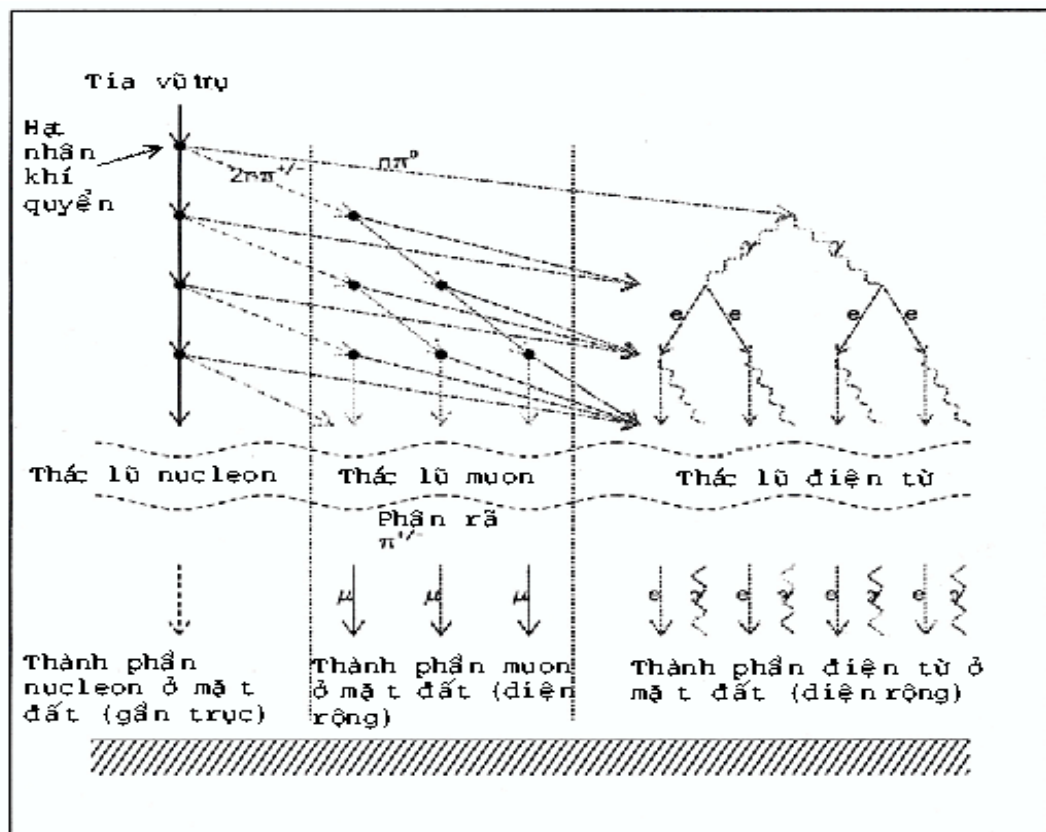
#### 1.2.4 Ảnh hưởng của từ trường trái đất đến tia vũ trụ sơ cấp

Từ trường trái đất được xem như là một lưỡng cực từ với hai cực từ nằm gần hai cực địa lý, độ chênh lệch khoảng  $1.5^\circ$  tây tại Hà nội. Do ảnh hưởng của

từ trường trái đất (có giá trị trung bình 1 Gauss) các tia vũ trụ sơ cấp mang điện khi đi đến trái đất sẽ bị lệch hướng ban đầu. Do vậy tại một vị trí địa lý và phương tới xác định các tia vũ trụ phải có một năng lượng đủ lớn để vượt một giá trị ngưỡng mới đi tới được trái đất. Thông thường, khi xem xét ảnh hưởng của từ trường trái đất, người ta sử dụng đơn vị độ cứng của địa từ (rigidity) bằng giá trị năng lượng chia cho điện tích [45]. Khi đó thay cho năng lượng ngưỡng có giá trị khác nhau đối với các loại hạt tích điện khác nhau, người ta sử dụng độ cắt ngưỡng địa từ (rigidity cut off). Ý nghĩa của độ cắt ngưỡng của địa từ là tia vũ trụ phải có giá trị độ cứng lớn hơn độ cứng địa từ thì mới có thể đi tới được trái đất theo phương vuông góc với bề mặt trái đất.

Từ trường trái đất ảnh hưởng đến tia vũ trụ sơ cấp dẫn đến các hạt thứ cấp sinh ra trong quá trình tương tác của tia sơ cấp với khí quyển cũng bị ảnh hưởng. Tính chất của các hạt thứ cấp ở các vị trí địa lý khác nhau vì thế cũng khác nhau. Chẳng hạn thông lượng muon có giá trị lớn tại các vùng vĩ độ cao và có giá trị nhỏ tại các vùng có vĩ độ thấp. Một ví dụ khác về ảnh hưởng của từ trường trái đất là sự bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon. Thông lượng muon đến từ hướng tây lớn hơn thông lượng muon đến từ hướng đông. Một cách tổng quát thông lượng muon phụ thuộc vào góc phương vị. Nguyên nhân của hiện tượng này là do thành phần chủ yếu của tia vũ trụ sơ cấp là proton (chiếm 90%) mang điện tích dương, khi chuyển động đến gần trái đất do tác động của lực từ trường mà quỹ đạo chuyển động của hạt bị bẻ cong sang hướng tây, mức độ cong của quỹ đạo phụ thuộc vào năng lượng của hạt, năng lượng càng nhỏ thì càng bị bẻ cong nhiều. Vì lý do đó thông lượng của hạt muon ở hướng tây lớn hơn thông lượng muon ở





Hình 1.3: Quá trình hình thành mưa rào khí quyển





năng tán xạ của electron. Muon và các hạt nặng khác phân bố chủ yếu xung quang trục của mưa rào khí quyển. Như vậy có thể thấy rằng mưa rào khí quyển là kết quả của sự tương tác của tia vũ trụ sơ cấp (chủ yếu là proton) với tầng khí quyển trái đất. Nghiên cứu thành phần và độ lớn của mưa rào khí quyển là một hình thức gián tiếp để nghiên cứu tính chất của tia vũ trụ sơ cấp. Chẳng hạn năng lượng của tia vũ trụ sơ cấp lớn hơn  $10^{14}\text{eV}$  chỉ có thể xác định dựa vào mưa rào khí quyển [16].

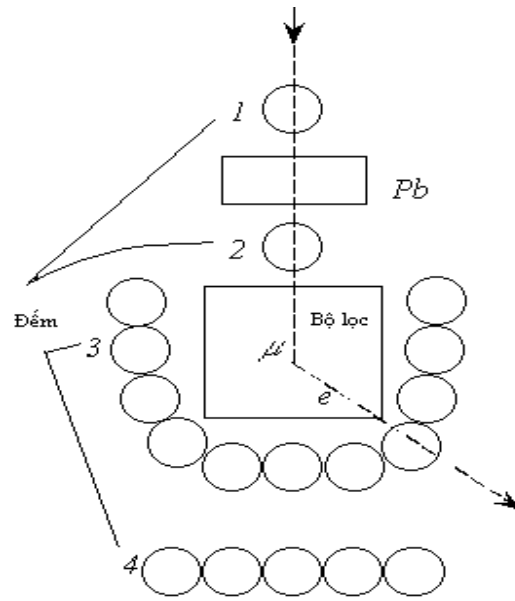
## **1.3 Tương tác của muon với vật chất**

### **1.3.1 Thời gian sống của muon**

Ngay sau khi khám phá ra muon, người ta đã thấy rằng muon là một hạt không bền, thời gian sống của nó cỡ  $\mu\text{sec}$ . Kết luận này đã được rút ra từ việc so sánh cường độ của các thành phần cứng của tia vũ trụ tại mặt nước biển và tại đỉnh của một ngọn núi cao. Trong thí nghiệm thực hiện tại đỉnh ngọn núi bằng thiết bị ghi có độ hấp thụ muon bằng với độ hấp thụ muon của cột không khí tính từ độ cao mặt nước biển tới đỉnh núi đặt thiết bị ghi, để đảm bảo rằng điều kiện hấp thụ muon là như nhau ở mực nước biển cũng như là đỉnh núi. Kết quả thí nghiệm cho thấy cường độ của muon tại mực nước biển nhỏ hơn rất nhiều cường độ của muon trên đỉnh núi. Chỉ có thể giải thích được hiệu ứng này nếu giả thiết muon đã phân rã, nó đã làm giảm số lượng trong khoảng thời gian bay từ đỉnh núi tới mặt nước biển.

Như chúng ta đã biết qui luật phân rã phóng xạ được mô tả bằng qui luật





Hình 1.4: Thí nghiệm đo thời gian sống của muon

Vậy thời gian sống của muon ở trạng thái nghỉ theo tiên đoán của lý thuyết là:

$$(\tau_0)_{theo} = \tau \sqrt{1 - \beta^2} = 10^5 \times 0,1 = 10^{-6} s \quad (1.10)$$

So sánh  $(\tau_0)_{theo}$  với thời gian sống đo được bằng thực nghiệm  $(\tau_0)_{exp}$  muon chậm ( $v \ll c$ ) là một kiểm nghiệm đơn giản nhất lý thuyết tương đối. Thí nghiệm để xác định thời gian sống của muon  $(\tau_0)_{exp}$  như được chỉ ra ở hình (1.4) [27]. Tia vũ trụ sau khi đi qua ống đếm thứ nhất, qua lớp chì đến ống đếm thứ hai, lớp chì dùng để hấp thụ các thành phần mềm của tia vũ trụ, và đến bộ lọc muon, xung quanh bộ lọc ở phía đáy và hai cạnh là một dãy các ống đếm thứ ba, dãy các ống đếm thứ tư được đặt ở cuối cùng. Hai ống đếm đầu tiên được nối với mạch trùng phùng trong khi đó dãy ống đếm thứ tư được dùng cho mạch phản trùng phùng. Có thể nhận thấy rằng hệ trên chỉ cho xung ra khi hạt đi qua ống đếm thứ nhất, chì và ống đếm thứ hai nhưng không đi qua dãy ống đếm thứ tư. Phương pháp này có thể dùng để tách

những thành phần cứng như muon mà nó bị giữ lại trong bộ lọc và phân rã trong đó.

Để đo thời gian sống của muon người ta nối các ống đếm của dãy ống đếm thứ ba qua các bộ trễ tới các bộ trùng phùng. Bộ này chỉ chấp nhận xung khi bộ đếm thứ nhất, bộ đếm thứ hai, bộ đếm thứ ba có xung và bộ đếm thứ tư không có xung. Thời gian trễ nối từ bộ đếm thứ ba tới bộ trùng phùng có thể thay đổi được, nếu thời gian trễ bằng với thời gian sống của muon, thì những electron được sinh ra do sự phân rã của muon sẽ rơi vào một trong những ống đếm của dãy ống đếm thứ ba và ngay lập tức sự phân rã ( $\mu \rightarrow e$ ) được ghi nhận. Với những khoảng thời gian trễ khác nhau sẽ không ghi nhận. Thời gian sống của muon đo được trong thí nghiệm này là:

$$\tau_{\mu} = (2,15 \pm 0,07) \times 10^{-6}\text{s}.$$

Giá trị cuối cùng thời gian sống của muon như sau:

$$\tau_{\mu} = (2,19703 \pm 0,00004) \times 10^{-6}\text{s}.$$

### 1.3.2 Sơ đồ phân rã của muon

Muon là một hạt không bền và nó phân rã, giản đồ phân rã của muon đã được thiết lập năm 1947 với sự giúp đỡ của kỹ thuật nhũ tương ảnh dùng để nghiên cứu thuộc tính của các hạt cơ bản, đã cho thấy rằng muon phân rã thành ba hạt

$$\mu^{\pm} \rightarrow e^{\pm} + 2n.p. \quad (1.11)$$

ở đây n.,p. là hạt trung hoà. Ban đầu người ta giả thiết cả hai hạt trung hoà  $\nu_e$  và  $\bar{\nu}_e$ . Tuy nhiên sau này người ta đã tìm thấy rằng muon phân rã theo



Như đã biết electron tuân theo phương trình Dirac mà từ đó có thể tính mô men từ như sau:

$$\mu_e = e\hbar/2m_e c = M_B \quad (1.15)$$

trong đó  $M_B$  là magneton Bo.

Giá trị trên phù hợp với thực nghiệm. Sau này tương tác của electron với trường điện từ bên trong cũng được tính đến và đưa vào công thức một hệ số làm đúng nhỏ.

Nếu muon hoàn toàn giống electron thì nó phải thoả mãn phương trình Dirac tức là mô men từ phải trùng với công thức (1.15) trong đó khối lượng của electron được thay bằng khối lượng của muon:

$$\mu_\mu = e\hbar/2m_\mu c = (m_e/m_\mu) \times M_B \quad (1.16)$$

Tính toán chi tiết theo thuyết điện động học lượng tử (QED) cho thấy có những bổ chính khác nhau trong momen từ của  $\mu$  và  $e^-$ . Sự khác nhau này phản ánh vài nét đặc trưng của tương tác của muon.

Tuy nhiên người ta nhận thấy muon và electron phải có số lepton khác loại, thể hiện chúng thuộc những gia đình khác nhau. Ngày nay người ta đã chứng minh rằng có 3 gia đình lepton khác nhau là  $(e^-, \nu_e)$ ,  $(\mu^-, \nu_\mu)$ ,  $(\tau^-, \nu_\tau)$ , muon thuộc thế hệ thứ hai. Thế hệ thứ 3 là taon  $\tau^-$  có khối lượng 1780 MeV và có sơ đồ phân rã phức tạp hơn muon. Chính 3 gia đình lepton cùng với nhóm 6 quark là những hạt cơ bản xây dựng nên toàn bộ thế giới vật chất. Chúng là cơ sở để xây dựng mô hình chuẩn (SM) của lý thuyết thống nhất hiện đại, trong đó gluon là dẫn xuất tương tác mạnh, photon dẫn xuất tương tác điện từ và boson trung gian  $W^\pm$  và Z dẫn xuất tương tác yếu.

### 1.3.4 Quá trình ion hoá và các tương tác khác

Do có khối lượng lớn hơn hẳn electron, muon ít bị mất năng lượng do bức xạ hãm. Công thức tính tiết diện bức xạ hãm tỷ lệ với  $\frac{1}{m^2}$ , như vậy năng suất bức xạ hãm của  $(\frac{e}{\mu}) \sim (\frac{m_{\mu}}{m_e})^2 \sim 4 \times 10^4$  lần khác nhau.

Như vậy trước khi bị phân rã, quá trình mất năng lượng của muon chủ yếu thông qua va chạm. Công thức Bethe-Block được tính toán bởi Bethe và Block về mất năng lượng do va chạm của các hạt mang điện với môi trường có dạng [36]:

$$-\frac{dE}{dx} = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[ \ln\left(\frac{2m_e \gamma^2 v^2 W_{max}}{I^2}\right) - 2\beta^2 \right] \quad (1.17)$$

Trong đó:  $2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 = 0.1535 \text{ MeV cm}^2/\text{g}$

$r_e$ : bán kính electron cổ điển =  $2.817 \times 10^{-13} \text{ cm}$

$m_e$ : khối lượng electron

$N_a$ : số Avogadro

$I$ : năng lượng kích thích trung bình

$Z$ : nguyên tử số của môi trường

$A$ : khối lượng nguyên tử môi trường

$\rho$ : mật độ khối môi trường

$z$ : điện tích hạt tới tính theo đơn vị điện tích nguyên tố  $e$

$\beta = v/c$ : của hạt tới

$\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$

$W_{max}$ : năng lượng lớn nhất truyền trong một va chạm

Đối với hạt tới có khối lượng  $M$  và có động năng cho bởi công thức:

$$W_{max} = \frac{2m_e c^2 \eta^2}{1 + 2s\sqrt{1 + \eta^2 + s^2}} \quad (1.18)$$

Trong đó:  $s = m_e/M$ ,  $\eta = \beta\gamma$ . Vì  $M \gg m_e$  nên  $W_{max} \simeq 2m_e c^2 \eta^2$  thì sự mất mát năng lượng trung bình của muon đó (mip) là khoảng  $2 \text{ MeV/gcm}^{-2}$ . Nếu muon sinh ra trong mưa rào khí quyển có năng lượng  $10^2 - 10^3 \text{ MeV}$  thì trên mỗi  $\text{gcm}^{-2}$  chúng chỉ mất 1% đến 1% năng lượng, và vì vậy chúng hầu như đi xuyên qua khí quyển mà không bị thay đổi hướng chuyển động đáng kể. Do năng lượng cao ở mức tương đối tính, vận tốc của muon  $v \simeq c$ . Khi đi qua môi trường trong suốt có chiết suất lớn hơn 1 như nước, thủy tinh, plastic v.v... các hạt muon có vận tốc lớn hơn vận tốc ánh sáng truyền trong môi trường đó chúng sẽ phát ra ánh sáng Cherenkov. Đây là một chỉ thị để đo đạc ghi nhận hạt muon bằng các detector Cherenkov. Năng lượng mất đi do phát bức xạ Cherenkov trên  $1 \text{ gcm}^{-2}$  đường đi cũng rất nhỏ, không làm ảnh hưởng đến hướng chuyển động của muon.

## 1.4 Mô phỏng thông lượng neutrino khí quyển

### 1.4.1 Thí nghiệm nghiên cứu về sự chuyển hoá neutrino Super - Kamiokande tại Nhật Bản

Quá trình phát triển của mưa rào khí quyển đã tạo thành một số lượng lớn cặp muon và neutrino đi đến mặt đất. Do vậy, sự hình thành và phát triển của mưa rào khí quyển đặc biệt quan trọng đối với thí nghiệm về sự chuyển hoá neutrino Super-Kamiokande (SK) tại Nhật bản. Thí nghiệm SK[38] sử dụng 50000 tấn nước siêu sạch, chứa trong một bể lớn hình trụ đặt trong lòng núi







mạnh ở vùng tia vũ trụ năng lượng siêu cao (lớn hơn  $10^{18}\text{eV}$ ). Trong tương tác mạnh ở vùng năng lượng dưới  $10^{18}\text{eV}$  chúng ta có thể dựa trên tương tác nucleon với nucleon thay vì tương tác hạt nhân với hạt nhân ( vì ở vùng năng lượng lớn hơn  $10^{10}\text{eV}$  liên kết hạt nhân giữa các nucleon là không đáng kể).

Trong những vùng năng lượng máy gia tốc chúng ta có số liệu khá chính xác về sự phụ thuộc tiết diện tương tác toàn phần và tiết diện phi đàn hồi vào năng lượng, cũng như các số liệu phân bố các hạt thứ cấp trong không gian pha (theo các tham số như độ linh động, xung lượng truyền, phụ thuộc góc v.v.). Cơ chế chủ yếu trong tương tác mạnh trên máy gia tốc là tính vượt trội của không gian pha dọc ( như trong mẫu đa lớp ngoại biên), tuy nhiên phải biết cách để khớp với thực nghiệm. Mẫu parton hay các mẫu giản ước từ lý thuyết sắc động học lượng tử (QCD) cũng cho các kết quả tính toán khá tốt.

★ Khối lượng, thời gian sống và các nhánh phân rã của meson đều đã được xác định một cách chính xác. Bản chất V-A của phân rã yếu dẫn đến sự phân cực của lepton sản phẩm phân rã cần được tính đến. Các vấn đề động học phổ dụng được áp dụng để tính toán thông lượng neutrino. Ngoài một số ít muon được sinh ra do tương tác điện từ, hầu hết các muon có thể giả thiết là được sinh ra từ tương tác yếu, tức là luôn tạo ra những cặp hạt muon-neutrino. Chính vì thế mô hình cùng một lúc dự đoán được thông lượng của cả muon và neutrino muon. Trong trường hợp electron, một giả thiết tương tự như trên là không đúng vì phần lớn các electron được tạo ra do quá trình điện từ. Tuy nhiên thông lượng của  $\nu_e$  (và phản hạt) có thể tính lý thuyết với độ chính xác và tin cậy cao như khi tính thông lượng của  $\nu_\mu$ . Tỷ số của hai 2 số này đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu các chuyển

hoán neutrino.

★ Để đương đầu với vấn đề tính toán đồ sộ, M.Honda và các đồng nghiệp đã sử dụng một số thủ thuật tính toán, hầu hết mang tính kỹ xảo nên chúng ta không quan tâm cụ thể. Số liệu có sẵn được bố trí và được tham số hoá. Trong tính toán xấp xỉ 1 chiều, sự phát triển ngang của mưa rào ở vùng năng lượng cao có thể bỏ qua, sự phát triển theo chiều dọc thì được xem xét một cách độc lập. M.Honda cũng mở rộng mẫu 1 chiều này thành 3 chiều nhưng kết quả không thay đổi đáng kể. Thực tế nguồn sai số chính là từ phổ tia vũ trụ sơ cấp. Độ chính xác của mô hình này từ vài % đến 10%. Do vậy độ chính xác của phép đo thông lượng muon tại Hà Nội  $< 3\%$  là hoàn toàn đủ chấp nhận và sự phù hợp giữa số liệu đo tại Hà Nội với mô hình của M.Honda là một thông tin rất ý nghĩa cho thí nghiệm Super-Kamiokande.

## CHƯƠNG 2

# THIẾT KẾ LẮP ĐẶT TELESCOPE

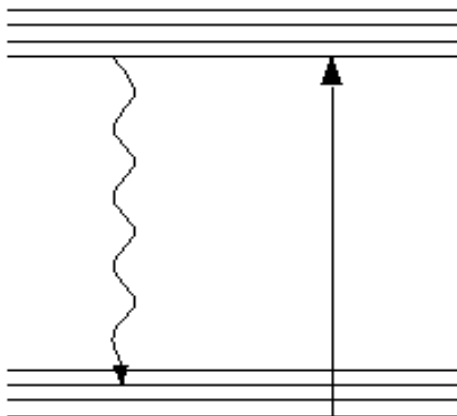
### 2.1 Detector nhấp nháy

#### 2.1.1 Cơ chế nhấp sáng của detector nhấp nháy

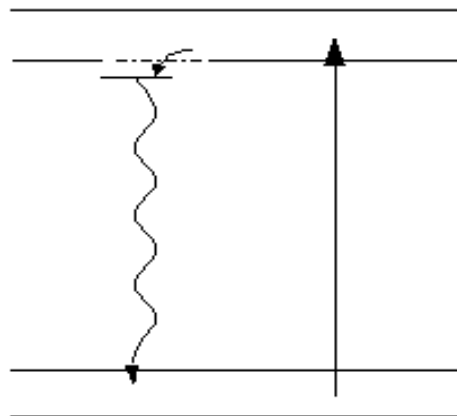
Trong một số môi trường trong suốt, các trạng thái điện tử bị kích thích bởi sự đi qua của các hạt mang điện, khi trở về trạng thái cơ bản hoặc trạng thái kích thích thấp hơn, phát ra các photon thuộc vùng nhìn thấy mà ta quen gọi là chớp sáng nhấp nháy. Chúng có thể được ghi nhận bằng một thiết bị nhấp quang. Để phát hiện được chớp sáng nhấp nháy, môi trường phải trong suốt đối với bước sóng của các photon. Phần lớn các môi trường trong suốt hấp thụ mạnh các photon do chúng phát ra để kích thích các nguyên tử hay phân tử khác. Tuy vậy cũng có những môi trường thoả mãn điều kiện phổ hấp thụ không trùng với phổ phát xạ và có thể sử dụng để làm các bản nhấp nháy [36].

Ghi nhận bức xạ ion hoá bằng chất nhấp nháy là một kỹ thuật được sử dụng sớm nhất, nó được dùng để ghi nhận các sự kiện hoặc phổ năng lượng





Hình 2.1: Các mức năng lượng của chất nhấp nháy hữu cơ



Hình 2.2: các mức năng lượng của chất nhấp nháy vô cơ.

Các tinh thể nhấp nháy được cho thêm một lượng nhỏ tạp chất (Tl trong NaI, CsI và Eu trong  $BaF_2$ ). Chúng tạo nên các mức định xứ ở dưới vùng dẫn. Các electron chuyển từ vùng hoá trị lên vùng dẫn do hiệu ứng mất năng lượng của các hạt bức xạ. Chúng chuyển dịch tự do ở vùng dẫn cho tới khi đi qua một tạp chất và bị bắt ở đó. Ánh sáng phát ra do sự chuyển từ mức năng lượng bắt về vùng hoá trị, mà ánh sáng này không đủ năng lượng để kích thích một electron từ vùng hoá trị lên vùng dẫn [36],[15]. Một bản nhấp nháy được đặc trưng bởi các thông số sau đây:

Hiệu suất phát sáng: Đó là phần năng lượng  $\Delta E$  mà hạt bức xạ tiêu hao khi đi qua môi trường được hoàn lại dưới dạng chớp sáng nhấp nháy.

Thời gian phát sáng: Đó là thời gian sống  $\tau$  của các mức kích thích mà sự mất kích thích của chúng sinh ra các photon nhấp nháy. Phân bố theo thời gian của các photon nhấp nháy theo qui luật hàm mũ với hằng số thời gian  $\tau$ :

$$I = I_0 e^{-t/\tau} \quad (2.1)$$

Bảng 2.1: Đại lượng nghịch đảo của hiệu suất phát sáng tính bằng eV/photon

| Chất nhấp nháy | eV/photon |
|----------------|-----------|
| Antraxen       | 60        |
| Plastic        | 100       |
| NaI            | 25        |
| BGO            | 300       |

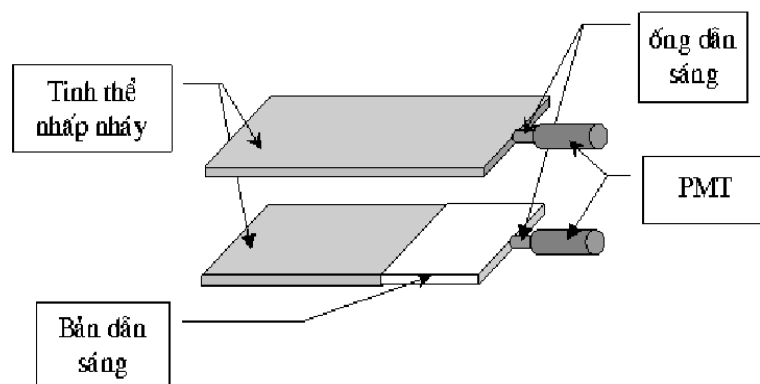
Đôi khi hiện tượng nhấp nháy được gây ra bởi hai trạng thái kích thích khác nhau đặc trưng bằng các thời gian sống khác nhau:

$$I = Ae^{-t/\tau_1} + Be^{-t/\tau_2} \quad (2.2)$$

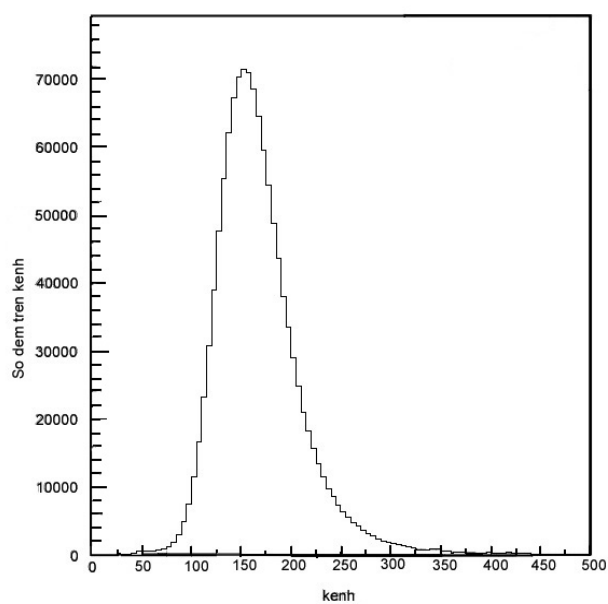
Với  $\tau_1$  là thời gian phát sáng nhanh và  $\tau_2$  là thời gian phát sáng chậm.

Các biên độ A và B thường phụ thuộc vào độ hao phí năng lượng riêng của hạt. Bằng cách phân tích hình dạng xung lối ra của detector nhấp nháy ta có thể phân biệt được các hạt bức xạ có năng lượng và khả năng ion hoá khác nhau. Các dung dịch nhấp nháy hữu cơ thường phát sáng rất nhanh (từ 1 đến 5 ns). Tinh thể nhấp nháy hữu cơ chậm hơn (antraxen 30ns). Các tinh thể nhấp nháy vô cơ còn chậm hơn nữa (NaI:230 ns, CsI:1100ns) [36],[15]. Bảng 2.1 cho thấy đại lượng nghịch đảo của hiệu suất phát sáng của một số chất khác nhau. Bảng 2.2 cho thấy hiệu suất phát sáng  $\eta$  của một số chất so sánh với antraxen, thời gian phát sáng  $\tau$ , độ dài bước sóng  $\lambda$ .

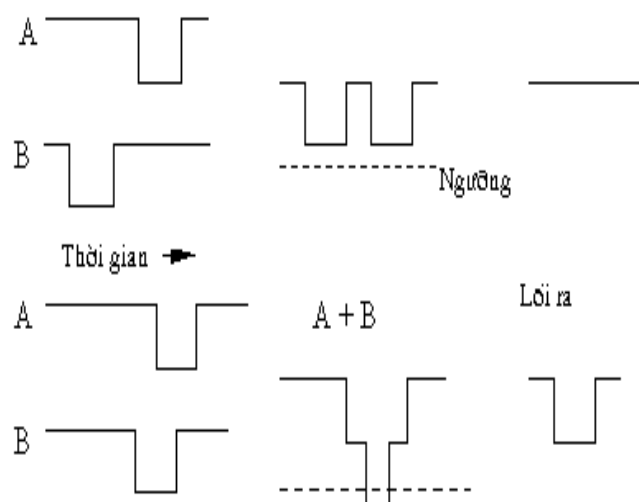




Hình 2.3: Bố trí hình học của detector nhấp nháy dùng trong VATLY



Hình 2.4: Phân bố biên độ xung từ detector nhấp nháy của VATLY



Hình 2.5: Mạch trùng phùng sử dụng phương pháp cộng xung

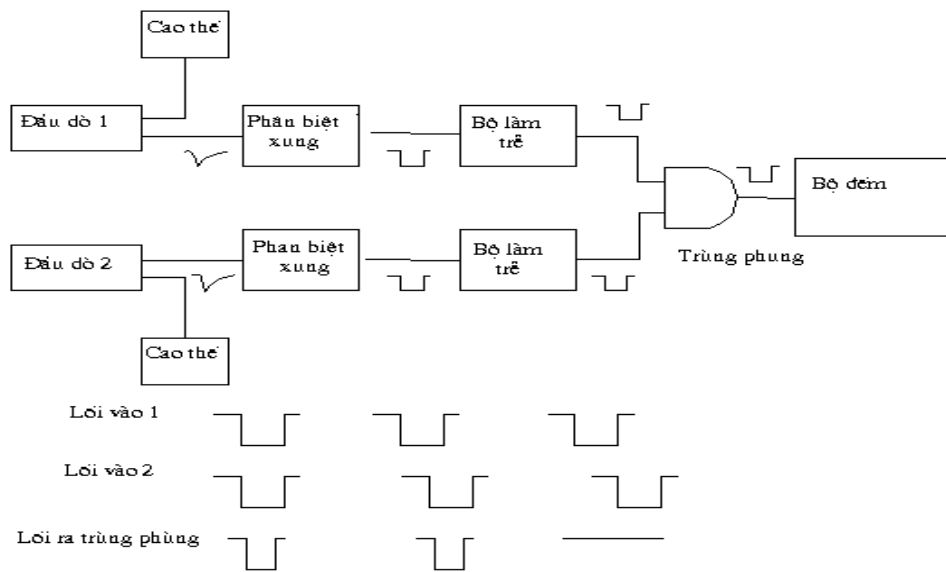
## 2.2 Nguyên tắc hoạt động của các khối điện tử chức năng

### 2.2.1 Mạch trùng phùng

Mạch trùng phùng là mạch có hai hoặc nhiều lối vào, cho xung lối ra nếu có đồng thời tín hiệu tại các lối vào [36],[39],[14].

Một khối trùng phùng có hai lối vào có thể tạo ra bằng nhiều cách. Một trong những cách đơn giản nhất là lấy tổng xung của hai lối vào và sử dụng một bộ phân biệt ngưỡng có độ cao của ngưỡng cao hơn biên độ của một xung và thấp hơn biên độ của tổng hai xung. Phương pháp này được chỉ ra trên hình (2.5) Xung tổng chỉ lớn hơn ngưỡng của bộ phân biệt khi hai xung lối vào trùng nhau. Độ phân giải thời gian của sơ đồ phụ thuộc vào độ rộng của tín hiệu lối vào và khoảng thời gian tối thiểu trùng nhau của tín hiệu và nó phụ thuộc vào tốc độ và khả năng ghi nhận của mạch điện tử.

Mạch trùng phùng có thể được hiểu như các khối logic, nó tương đương

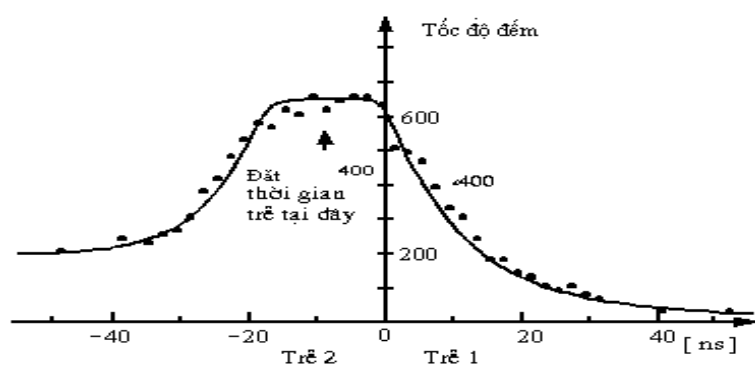


Hình 2.6: Hệ đo sử dụng mạch trùng phùng

như là một toán tử logic boolean tác dụng lên các tín hiệu lối vào.

Các mạch trùng phùng được ứng dụng một cách rất rộng rãi trong lĩnh vực Vật lý Hạt nhân và Vật lý hạt. Cũng giống như lĩnh vực phân tích biên độ xung, trùng phùng giữa hai hoặc nhiều sự kiện lối vào là một trong những tiêu chuẩn để khẳng định phản ứng hoặc để nhận đúng được sự tương tác [36]. Mạch chỉ ra dưới đây (hình 2.6) là một ví dụ về hệ đo có sử dụng mạch trùng phùng. Tín hiệu từ hai detector (DET) đi vào hai bộ phân biệt độ cao xung (DISCR), hai khối trễ (DELAY) và đưa vào hai lối vào của mạch trùng phùng (AND). Lối ra của mạch trùng phùng xuất hiện xung khi tín hiệu của hai lối vào cùng xuất hiện xung. Nói chung trong các sơ đồ thực khoảng thời gian bé nhất trùng nhau giữa hai tín hiệu để sơ đồ còn nhận biết là trùng phùng phụ thuộc rất nhiều vào độ phân giải thời gian của mạch điện tử. Thông thường tất cả các xung tới trong khoảng thời gian nhỏ hơn tổng độ rộng xung của hai tín hiệu đều được ghi nhận là trùng phùng. Giảns đồ





Hình 2.8: Ví dụ về xác định đường cong trùng phù

trễ. Số trùng phù là một hàm của giá trị trễ và nếu ta vẽ đồ thị số đếm trùng phù với thời gian trễ tương ứng ta thu được kết quả như hình vẽ (2.8).

Ở đây chúng ta vẽ giá trị thời gian trễ theo trục x với giá trị dương của x là thời gian trễ của nhánh thứ nhất của mạch trùng phù còn với giá trị âm của x là thời gian trễ của nhánh còn lại.

Từ đường cong biểu diễn sự phụ thuộc của tốc độ đếm trùng phù vào thời gian trễ ta thấy rằng việc đặt tốt nhất giá trị thời gian trễ là tại điểm giữa của vùng bằng phẳng. Lý tưởng đường cong trùng phù trên phải có dạng hình chữ nhật tương ứng với khoảng thời gian trùng nhau của hai xung vuông. Do mặt tăng của xung từ detector tới hệ điện tử, dạng của xung, độ phân giải thời gian của hệ trùng phù thay đổi đã gây lên dạng đường cong trùng phù như vậy.

### 2.2.3 Trùng phùng ngẫu nhiên

Trong các phép đo có sử dụng phương pháp đo trùng phùng, một vấn đề cần quan tâm là số đếm trùng phùng ngẫu nhiên. Số đếm trùng phùng ngẫu nhiên do tạp âm điện tử, gây nên sự không ổn định hoặc độ chính xác của các số đếm phùng. Ta không thể loại bỏ được các trùng phùng ngẫu nhiên mà trong các phép đo người ta chỉ có thể giảm trùng phùng ngẫu nhiên xuống cực tiểu mà thôi.

Tốc độ đếm trùng phùng ngẫu nhiên một cách đơn giản được đánh giá bằng tốc độ đếm trên mỗi kênh và độ phân giải thời gian của hệ. Giả sử  $N_1$  và  $N_2$  là tốc độ đếm của hai kênh trùng phùng 1 và 2, tương ứng với độ phân giải thời gian là  $\tau$ ,  $N_r$  là tốc độ đếm trùng phùng ngẫu nhiên, ta có:

$$N_r = 2 \times \tau \times N_1 \times N_2 \quad (2.3)$$

Để giảm trùng phùng ngẫu nhiên ta có thể giảm  $\tau$  tức là có thể giảm độ rộng xung của hai kênh trùng phùng. Tuy nhiên ta không thể giảm độ rộng xung đến nhỏ vô cùng được vì khi đó sẽ làm giảm luôn cả trùng phùng thực.

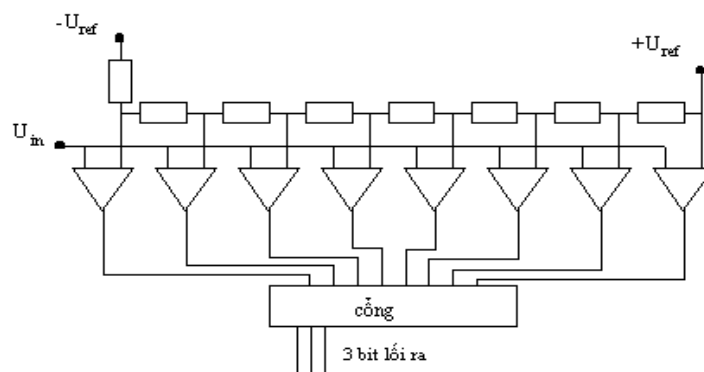
### 2.2.4 Biến đổi ADC

ADC (Analog to Digital Converter) là một bộ biến đổi thông tin tương tự thành dạng số nhị phân tương ứng [36, 39, 14]. Đây là một khối điện tử cơ bản nối điện tử tương tự và điện tử số. Ví dụ ADC biến đổi tuyến tính tín hiệu tương tự lỗi vào từ 0V đến 10V thành số nhị phân từ 0 đến 1000 vv.

ADC có thể chia thành hai loại, loại nhẩy đỉnh xung và nhẩy điện tích. ADC nhẩy với đỉnh xung thường được sử dụng trong trường hợp xung chậm.







Hình 2.11: Nguyên tắc hoạt động của flash ADC (FADC)

cần 8 xung clock. Như vậy thời gian biến đổi của ADC xấp xỉ gần đúng liên tiếp nhanh hơn nhiều so với ADC Wilkinson. Tuy nhiên nhược điểm lớn nhất của ADC xấp xỉ gần đúng liên tiếp là độ phi tuyến tích phân và vi phân lớn.

Như ở trên chúng ta thấy thời gian biến đổi của ADC vẫn bị lệ thuộc vào số bit biến đổi  $n$  của ADC, cần  $n$  xung nhịp để kiểm tra tín hiệu lối vào với thế lối ra của bộ biến đổi D/A. Để tăng tốc độ nhanh hơn nữa cho ADC người ta có thể sử dụng  $2^n$  mạch so sánh mắc song song với nhau, và hoàn tất kiểm tra trong một xung nhịp. Đó là nguyên tắc của Flash ADC (FADC), sơ đồ nguyên tắc được cho trên hình (2.11).

Hoạt động của FADC thật đơn giản. Một chuỗi các điện trở mắc nối tiếp chia thế từ  $-U_{ref}$  đến  $U_{ref}$  thành  $2^n$  khoảng thế cách đều nhau, được gọi là ngưỡng, và được đưa vào một lối vào của  $2^n$  mạch so sánh. Các lối vào còn lại của mạch so sánh được nối chung với nhau và là lối vào của xung cần biến đổi. Xung lối vào cùng một lúc được so sánh với  $2^n$  mức thế, tùy theo độ lớn của xung lối vào mà lối ra của mạch so sánh cho biết số mức mà tín hiệu lối vào đã vượt, mức cao nhất vượt ngưỡng cũng chính là độ lớn của

tín hiệu lối vào. Tín hiệu lối ra của mạch so sánh được nối với khối logic (gate) và được biến đổi thành số nhị phân tương ứng. ADC hoạt động theo nguyên tắc này có thời gian biến đổi rất nhanh chỉ cỡ vài nsec đến vài chục nsec phục vụ cho các phép đo xung nhanh, cần độ phân giải thời gian cao.

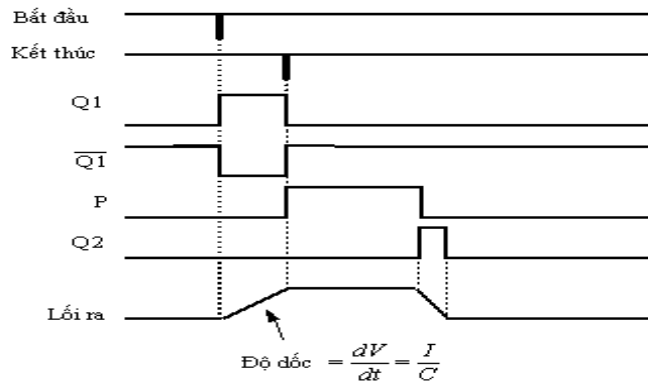
### **2.2.5 Biến đổi TAC-TDC**

Để nghiên cứu phân bố khoảng thời gian giữa hai sự kiện, hoặc thời gian bay của hạt trên một đơn vị chiều dài, người ta đã biến đổi khoảng thời gian giữa hai sự kiện thành biên độ tỷ lệ. Bộ biến đổi khoảng thời gian thành biên độ tỷ lệ được gọi là TAC (Time interval to amplitude converter ). Một ADC được đặt sau lối ra của TAC để số hoá tín hiệu biên độ này. Khối gồm TAC và ADC dùng để biến đổi khoảng thời gian thành biên độ, thành số được gọi là TDC (Time interval to digital converter) [36],[39],[14].

Trong phép đo khoảng thời gian xung đến trước thường là tín hiệu khởi phát (START SIGNAL) còn tín hiệu đến muộn hơn là tín hiệu kết thúc (STOP SIGNAL). Và được thực hiện theo cách sau. Khởi phát máy phát ramp ngay khi có tín hiệu START, thế lối ra của máy phát tăng một cách tuyến tính, dừng máy phát ramp ngay khi có tín hiệu STOP, giữ thế lối ra của máy phát một khoảng thời gian đủ để ADC biến đổi thành số.

Tuỳ theo bài toán thực nghiệm mà tín hiệu START, STOP truyền trên hai đường dẫn riêng biệt từ hai detector. khác nhau. Hoặc hai tín hiệu này được truyền trên cùng một đường dây từ một detector. như trong các bài toán đo sự phân bố khoảng thời gian giữa hai sự kiện trên một detector.. Giản đồ thời gian được chỉ ra trên hình (2.12). Sơ đồ nguyên lý của bộ biến đổi TDC với



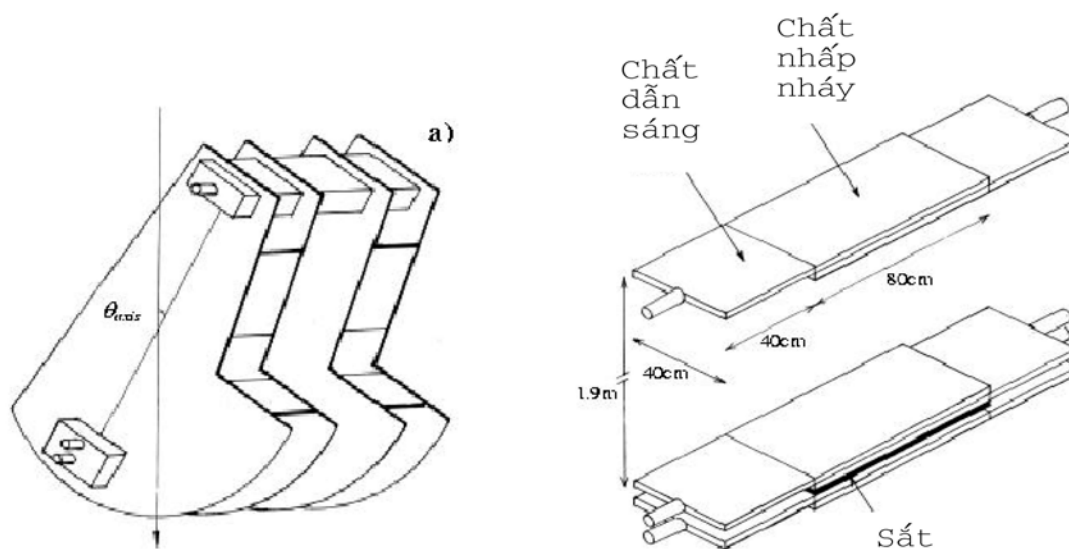


Hình 2.14: Giải đồ thời gian của bộ biến đổi TAC

## 2.3 Thiết kế chế tạo telescope sử dụng detector nhấp nháy

Việc đo thông lượng muon trong tầng khí quyển đã được thực hiện bởi nhiều nhóm thực nghiệm khác nhau, tại nhiều nơi khác nhau, nhiều độ cao khác nhau trên thế giới [21],[38]. Hà Nội là một vị trí tương đối đặc biệt, là nơi có độ cứng của địa từ trường gần như lớn nhất thế giới 17GV, có thể so sánh với Nhật 14 GV, các nước châu Âu trung bình 4 GV. Do đó số liệu thông lượng muon tại Hà Nội có ý nghĩa lớn đóng góp cùng với các số liệu thông lượng muon tại các điểm khác nhau trên thế giới, lần đầu tiên đã được thực hiện bằng hệ hodoscope và cho kết quả thông lượng muon tại Hà Nội là  $71,5 \pm 2,8 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$  [6]. Kết quả này rất phù hợp với tiên đoán của mẫu lý thuyết  $73,0 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$  [25].

Cấu tạo của Telescope của VATLY được mô tả ở hình (2.15) bao gồm: Ba cặp bản nhấp nháy (scintillator) được gắn vào khung gỗ có thể định hướng chính xác theo góc phương vị và góc thiên đỉnh với độ chính xác  $0,2^\circ$ . Phần nhấp của các bản nhấp nháy được chồng khít lên nhau. Thực chất telescope được cấu tạo bởi hai cặp bản nhấp nháy, cặp bản nhấp nháy trên và cặp bản



Hình 2.15: Hình ảnh telescope của VATLY

nhấp nháy dưới đặt cách nhau một khoảng là 190 cm. Cặp nhấp nháy thứ ba được đặt thấp sau cặp bản dưới và ngăn cách với bản này bằng một tấm thép dày 2cm ( $16g/cm^2$ ). Tác dụng của nó là để "đánh dấu" electron, phục vụ cho việc hiệu chỉnh loại bỏ thành phần này. Ngoài ra để xác định chính xác sự đóng góp của thành phần electron vào các số liệu thực nghiệm xác định thông lượng muon theo các góc, trong quá trình thí nghiệm telescope còn được bổ xung các tấm phin lọc bằng chì dày 10 cm giữa khoảng trống của hai cặp bản nhấp nháy trên và dưới. Khi hạt đi vào vùng tiếp nhận của telescope, tín hiệu trùng phùng của các tấm được gọi là các sự kiện và được đưa vào đếm. Sơ đồ nguyên lý của hệ đo được chỉ ra trên hình (2.16).

Tín hiệu xung từ các ống nhân quang điện của các bản nhấp nháy (từ PMT1 đến PMT6) được đưa vào các bộ chia xung (Splitter), chia mỗi tín hiệu thành hai, một qua hệ thống dây trễ, trễ đi một khoảng thời gian tương ứng với thời gian trễ để hình thành xung trigơ khởi phát hệ đo, đi tới các lối



vào của ADC để biến đổi thành số. Một đưa vào các lối vào của bộ phân biệt xung theo ngưỡng D ( discriminator) để tạo các tín hiệu chuẩn NIM, tạo tín hiệu trùng phùng để tạo ra xung trigger khởi phát ADC và TDC. Ngoài ra tín hiệu lối ra thứ hai của (D) được làm chậm thành tín hiệu dừng biến đổi TDC. Kết quả biến đổi của ADC và TDC được gửi sang máy tính, biểu diễn các tín hiệu này thành các dạng phân bố (histogram) và được biểu diễn trên màn hình bằng phần mềm xử lý chuyên dụng PAW. Tất cả các quá trình đo và gửi số liệu sang máy tính được thực hiện một cách tự động hoàn toàn thông qua khối điều khiển CC7700 và phần mềm viết trên ngôn ngữ lập trình c trên nền Linux điều khiển hệ đo, thu thập và xử lý số liệu. Mỗi một sự kiện gửi sang máy tính bao gồm các thông tin biên độ, thời gian, thời điểm ghi nhận ...

### **2.3.1 Một số thông số của telescope**

Để đưa telescope vào hoạt động thu thập số liệu thông lượng muon phân bố theo các góc tại Hà nội, phải tiến hành hiệu chỉnh sao cho các detector nhấp nháy riêng biệt có các thông số ghi nhận tương đối giống nhau. Các vấn đề chính cần phải hiệu chỉnh và khảo sát là:

- ✓ Giá trị cao áp nuôi cho cho các ống nhân quang điện, vì các ống nhân quang điện (PMT) có hệ số khuếch đại quang điện không giống nhau, cần phải chọn cao áp thích hợp để đạt được sự tương đối đồng đều về hệ số khuếch đại của tất cả PMT sử dụng.

- ✓ Thời gian trễ của các tín hiệu đến các bộ trùng phùng tạo tín hiệu khởi phát hệ đo. Tín hiệu đến sớm hơn hoặc đến muộn hơn tín hiệu khởi phát





trình xử lý chi tiết được thực hiện bằng chương trình xử lý OFFLINE viết trên ngôn ngữ lập trình C liên kết với chương trình xử lý số liệu và biểu diễn kết quả PAW trên hệ điều hành Linux. Quá trình lựa chọn sự kiện và loại bỏ nhiễu nên được trình bày tại chương tiếp theo.

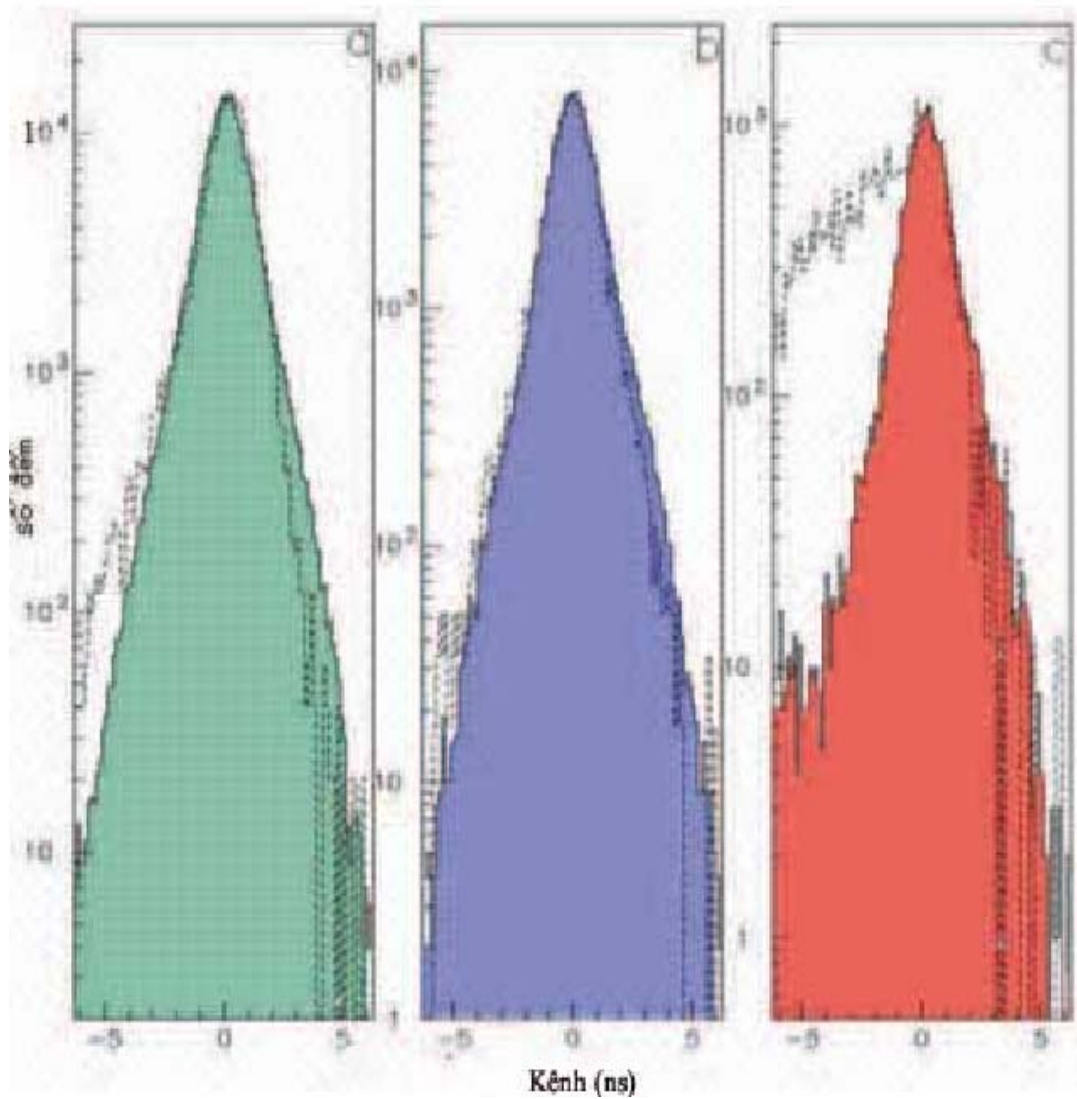
## CHƯƠNG 3

# PHÂN BỐ THÔNG LƯỢNG MUON KHÍ QUYỂN TẠI HÀ NỘI

### 3.1 Lựa chọn sự kiện muon

Để chọn ra được các sự kiện đi tới telescope là muon cần phải tiến hành loại bỏ các sự kiện không phải là muon. Đó là các sự kiện phong nền, các electron, và các thành phần hạt nặng. Việc này được tiến hành theo các bước sau đây:

★ Các sự kiện phong nền được loại bỏ bằng các điều kiện thời gian bay nhỏ hơn 3,5 nsec ( Thời gian bay trung bình  $\Delta t$  của muon giữa hai cặp bản nhấp nháy của telescope cách nhau 190 cm xấp xỉ 6 nsec) và biên độ xung trung bình  $P$  ( $P = (p_1 + p_2 + p_3 + p_4)/4$ ,  $p_1, p_2, p_3, p_4$  tương ứng với biên độ xung của các tấm 1,2,3,4) lớn hơn 1,5 mip ( 1 mip bằng biên độ xung gây bởi muon có năng xuất hãm nhỏ nhất cỡ  $2MeVg^{-1}cm^2$  trong chất nhấp nháy của detector nhấp nháy). Hình 3.1 cho thấy ở những góc  $\theta$  lớn có một số sự kiện phong nền được tạo nên bởi các tia vũ trụ tới các tấm phía dưới



Hình 3.1: Phân bố thời gian bay cho các sự kiện  $\Delta t$ (nano giây) gây ra tín hiệu trên tấm đánh dấu và có biên độ xung  $P < 1,5$  (đường liền) hoặc  $P > 1,5$  (đường đứt quãng):(a) Tại góc  $\theta = 0^\circ$  với 10 cm chì, (b) tại  $\theta = 0^\circ$  không chì, (c) tại góc  $\theta = 75^\circ$

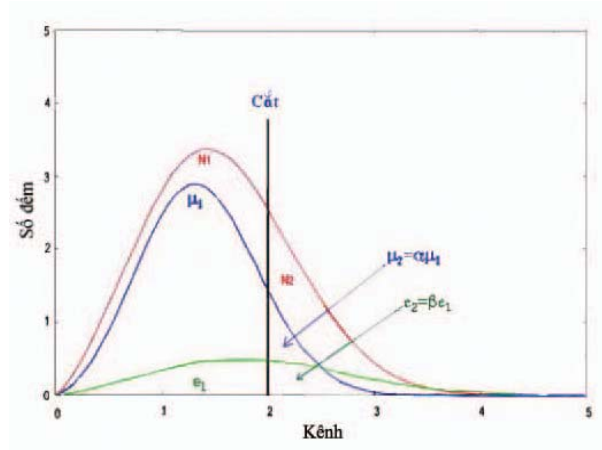
hoặc tương tác với vật liệu của telescope làm bắn toé lên các tấm phía trên, gây ra phân bố thời gian như hình 3.1(c). Các tín hiệu này dễ dàng được loại bỏ bằng điều kiện thời gian bay. Các sự kiện phong nên có thể sinh ra từ các electron tán xạ từ ngoài vào các bản nhấp nháy theo các hướng khác nhau. Hoặc chúng sinh ra mưa rào ngay trên bề mặt tinh thể hoặc tại vật liệu làm khung, các hạt mưa rào có thể bắn tung toé vào các tinh thể và tạo thành xung trigger, chúng thường rất mềm không có khả năng xuyên qua được tấm thép và trong trường hợp này chúng không được đánh dấu.

Cũng tương tự như vậy các electron bay theo phương nằm ngang đi tới tấm đánh dấu, gây mưa rào trên bề mặt của tấm này gây ra phong đặc biệt ở các góc thiên đỉnh lớn. Tín hiệu phong này được loại bỏ bởi điều kiện  $\Delta t > 3,5$  và biên độ xung  $p < 1,5$ .

Ta gọi  $\rho_{good}$  là tỷ số giữa các sự kiện đã loại trừ phong thoả mãn điều kiện  $\Delta t > 3,5$ ,  $p < 1,5$  trên toàn bộ các sự kiện ghi nhận ( gọi là tín hiệu tốt), chiếm tỷ lệ khoảng 90%.

★ Các sự kiện có tín hiệu nhỏ ở cặp bản đánh dấu  $Q < 0.1$  mip ( $Q$  là giá trị biên độ xung trung bình của hai tấm đánh dấu 5 và 6 ) được loại bỏ, đây chính là tín hiệu gây bởi các electron sau khi đã đi qua tấm hấp thụ đã bị suy giảm phần lớn năng lượng. Các sự kiện sau khi đã loại bỏ theo điều kiện này được gọi là các sự kiện được đánh dấu  $\rho_{tag}$  chiếm khoảng 78%.

★ Các sự kiện được đánh dấu thoả mãn điều kiện biên độ xung trung bình  $Q < 2$  mip được gọi là các sự kiện lựa chọn  $\rho_{sel}$  chiếm tỷ lệ khoảng 90%. Điều kiện biên độ xung trung bình nhỏ hơn 2 giúp loại bỏ thành phần electron và ion nặng, là thành phần cho biên độ xung cao hơn biên độ xung



Hình 3.2: Phân bố biên độ của thành phần muon, electron và tổng cộng

do thành phần muon gây ra.

★ Cuối cùng là việc hiệu chỉnh và loại bỏ thành phần electron còn sót lại trong vùng có biên độ xung trung bình nhỏ hơn 2.

Việc hiệu chỉnh được tiến hành với phép đo với chì dày 10 cm đặt phía trên cặp bản nhấp phía dưới. Với chiều dày 10 cm chì có thể coi các thành phần mềm của tia vũ trụ đã được loại bỏ và telescope chỉ nhạy với các thành phần của muon. Hình vẽ (3.2) cho thấy việc cắt bỏ thành phần electron theo điều kiện biên độ, phân bố biên độ được chia thành hai vùng, vùng 1 và vùng 2. Vùng 1 thành phần chủ yếu là muon và một phần là electron. Vùng 2 thành phần chủ yếu là electron và một phần là muon. Như vậy chúng ta cần phải xác định thành phần electron đóng góp vào số liệu muon và thành phần muon bị mất khi cắt bỏ thành phần electron. Với số liệu đo có chì, ta gọi vùng phổ 1 tương ứng với  $N_{\mu}^1$  vùng phổ 2 tương ứng với  $N_{\mu}^2$  khi đó ta có tỷ số giữa muon bị cắt mất và muon được chọn là:

$$\alpha = \frac{N_{\mu}^2}{N_{\mu}^1} \quad (3.1)$$

Lấy số liệu đo không chì trừ đi số liệu đo có chì để xác định tỷ lệ electron đóng góp vào số liệu muon. Ta gọi vùng phổ 1 tương ứng với  $\delta N_e^1$  và vùng phổ 2 là  $\delta N_e^2$  khi đó ta có tỷ số giữa electron đã cắt được và electron còn sót lại là:

$$\beta = \frac{\delta N_e^2}{\delta N_e^1} \quad (3.2)$$

Tại các góc khác nhau nếu coi các giá trị  $\alpha$  và  $\beta$  là không đổi, khi đó số liệu đo tại vùng phổ 1 là:

$$Meas1 = N_\mu^1 + N_e^1 \quad (3.3)$$

Vùng phổ 2 là:

$$Meas2 = N_\mu^2 + N_e^2 = \alpha \times N_\mu^1 + \beta \times N_e^1 \quad (3.4)$$

Thành phần muon và electron tổng cộng tương ứng sẽ là:

$$N_\mu = N_\mu^1 + N_\mu^2 = (1 + \alpha)N_\mu^1 = (1 + \alpha)(\beta \times Meas1 - Meas2)/(\beta - \alpha) \quad (3.5)$$

$$N_e = N_e^1 + N_e^2 = (1 + \beta)N_e^1 = (1 + \beta)(Meas2 - \alpha \times Meas1)/(\beta - \alpha) \quad (3.6)$$

Kết quả thực nghiệm cho thấy tỷ số  $\frac{N_e}{N_\mu} = 8\%$ .

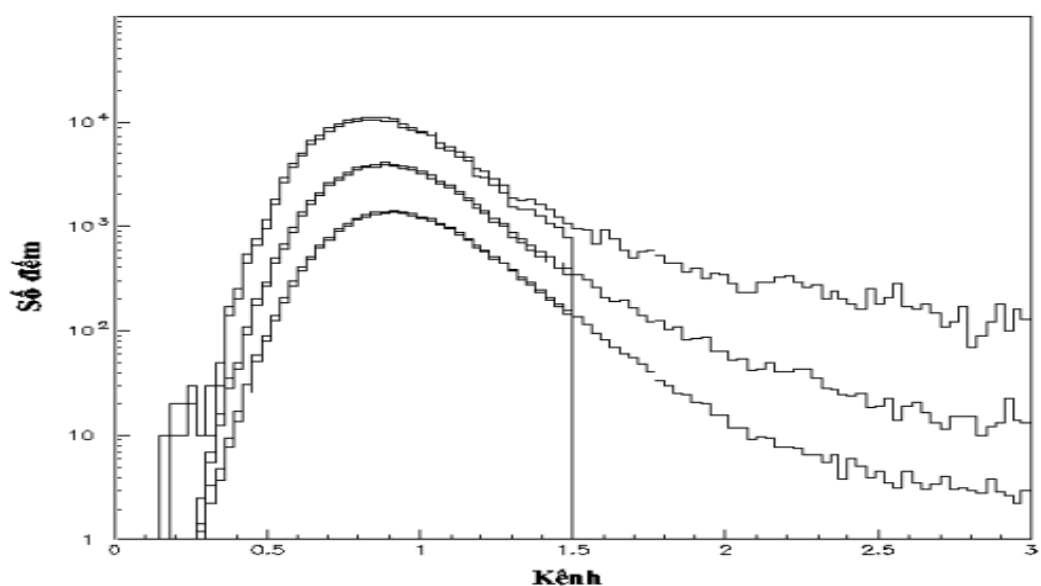
Cùng với phép đo với chì dày 10 cm hệ số chuẩn hoá được tính trên cơ sở  $\rho_{sel.Pb}$  trong phép đo có chì và  $\rho_{sel}$  trong phép đo không chì có dạng:  $\delta_{el} = 3,6 \times (\rho_{sel.Pb} - \rho_{sel}) = 3,6 \times (0,974 - \rho_{sel})$ , biến đổi từ 6% ở những góc  $\theta < 45^\circ$  tới 9% tại góc  $\theta = 65^\circ$ .

Kết quả tốc độ muon trung bình cho bởi

$$R_\mu = R_{trig} \times \rho_{good} \times \rho_{tag} \times \rho_{sel} \times (1 - \delta_{el}) \quad (3.7)$$

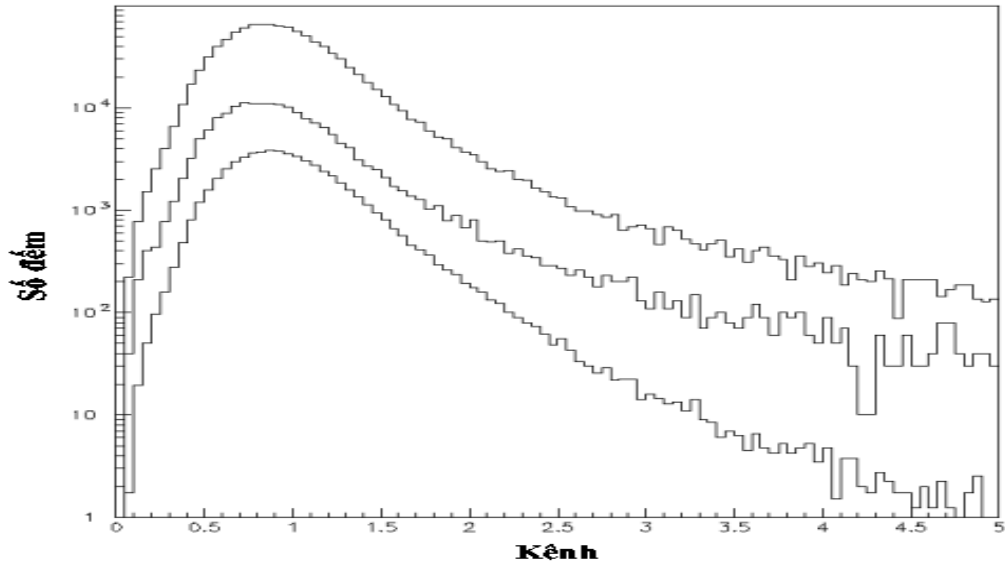
Trong đó  $R_{trig}$  là tốc độ hạt tạo ra tín hiệu trigger khởi phát hệ đo.

Hình (3.3) cho thấy phân bố biên độ xung trung bình của 4 tấm nhấp nháy P ( $P = (p1 + p2 + p3 + p4)/4$ ), trong đó biên độ xung của tấm nhấp nháy



Hình 3.3: Phân bố giá trị trung bình xung tại góc  $\theta = 75^\circ$  phía trên, tại góc  $\theta = 0^\circ$  ở giữa và góc  $\theta = 0^\circ$  nhưng có chì dày 10 cm giữa hai cặp tấm phía dưới cùng.

1,2,3,4 tương ứng là p1, p2, p3, p4). Phần đuôi của phân bố P tại góc  $75^\circ$  rộng hơn chính là do sự đóng góp của thành phần phong nền. Hình (3.4) biểu diễn phân bố biên độ xung trung bình Q của hai tấm nhấp nháy 5 và 6 ( $Q = (p_5 + p_6)/2$ ) tương ứng với các góc  $75^\circ$ ,  $0^\circ$  không có chì và có chì dày 10 cm. Phần đuôi của hai phân bố phía trên kéo dài hơn là do sự đóng góp của thành phần phong nền, chủ yếu là electron.



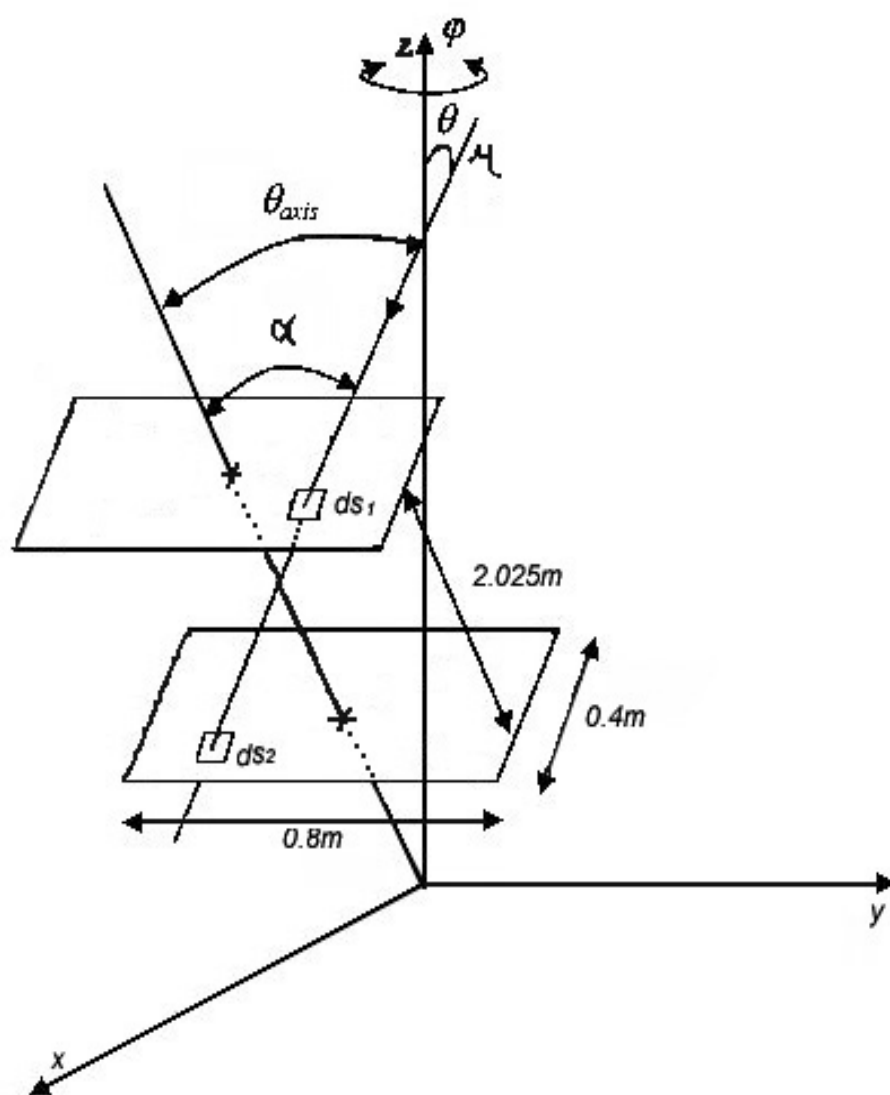
Hình 3.4: Phân bố biên độ xung trung bình  $Q$  của hai tấm 5 và 6. Phía trên là phân bố biên độ tại góc  $0^\circ$ , giữa tương ứng với góc  $75^\circ$ , phía dưới cùng tại góc  $0^\circ$  với lớp chì dày 10 cm.

### 3.2 Độ tiếp nhận của telescope đối với muon khí quyển

Cấu hình tính độ tiếp nhận của telescope được chỉ ra trên hình 3.5, mỗi một sự kiện muon đi qua hai cặp bản nhấp nháy trên và dưới của telescope theo góc thiên đỉnh  $\theta_i$  và góc phương vị  $\varphi_i$  được mô phỏng bằng hai tọa độ ngẫu nhiên  $X_{i1}(x_{i1}, y_{i1}, z_{i1})$ ,  $X_{i2}(x_{i2}, y_{i2}, z_{i2})$ , phân bố đều trên hai cặp bản, xác định góc  $\theta_i, \varphi_i$ . Sự kiện muon được gán cho một trọng số tốc độ  $dR_i = C J_i \varphi_i$ , trong đó:

$$J_i = \frac{d\sigma d\Omega}{dS_1 dS_2} \quad (3.8)$$

là Jacobian chuyển đổi từ phần tử vi phân  $d\sigma d\Omega$  trong không gian tọa độ sang phần tử vi phân diện tích  $dS_1 dS_2$  trên hai cặp bản.  $C$  là hằng số chuẩn hóa,  $\phi_i$  là thông lượng muon tại góc thiên đỉnh  $\theta_i$  và góc phương vị  $\varphi_i$ . Các



Hình 3.5: Cấu hình tính độ tiếp nhận của telescope

đại lượng được cho bởi:

$$C = \frac{S_1 S_2}{N_{trial}} \quad (3.9)$$

Trong đó  $S_1 = S_2 = 0,4m \times 0,8m = 0,32m^2$  là diện tích nhạy của mỗi cặp,  $N_{trial}$  số sự kiện ngẫu nhiên được rút.

$$\phi_i = \frac{dN}{d\sigma_i d\Omega_i} = \cos^2 \theta_i (\phi_{MC} - a_0 \sin^2 \theta_i) (1 - b_0 \sin \varphi_i) \quad (3.10)$$

$$\phi_{MC} = 74,6 m^{-2} sr^{-1} s^{-1} \quad (3.11)$$

$$J = \frac{\cos^4 \alpha}{d^2} \quad (3.12)$$

$\alpha$  là góc tạo bởi phương  $(\theta_i, \varphi_i)$  và trục của telescope,  $d = 2,052$  m là khoảng cách giữa hai cặp bản nhấp nháy. Tốc độ của muon  $R_{MC} = \sum dR_i$ , độ tiếp nhận của telescope:

$$Ac = \frac{R_{MC}}{\phi_{MC}} \quad (3.13)$$

Kết quả tính toán cho thấy độ tiếp nhận của telescope

$$Ac = R_{MC} / (\phi_{MC} \cos^2 \theta) = 2,2210 \times 10^{-2} m^2 sr \quad (3.14)$$

không phụ thuộc vào góc phương vị  $\theta$ .

Từ những kết quả tính toán ở trên, thông lượng muon  $J_\mu$  dễ dàng nhận được từ kết quả đo tốc độ muon thực nghiệm  $R_\mu$ .

$$J_\mu = \phi_{MC} \times \frac{R_\mu}{R_{MC}} \quad (3.15)$$

Hoặc tương đương:

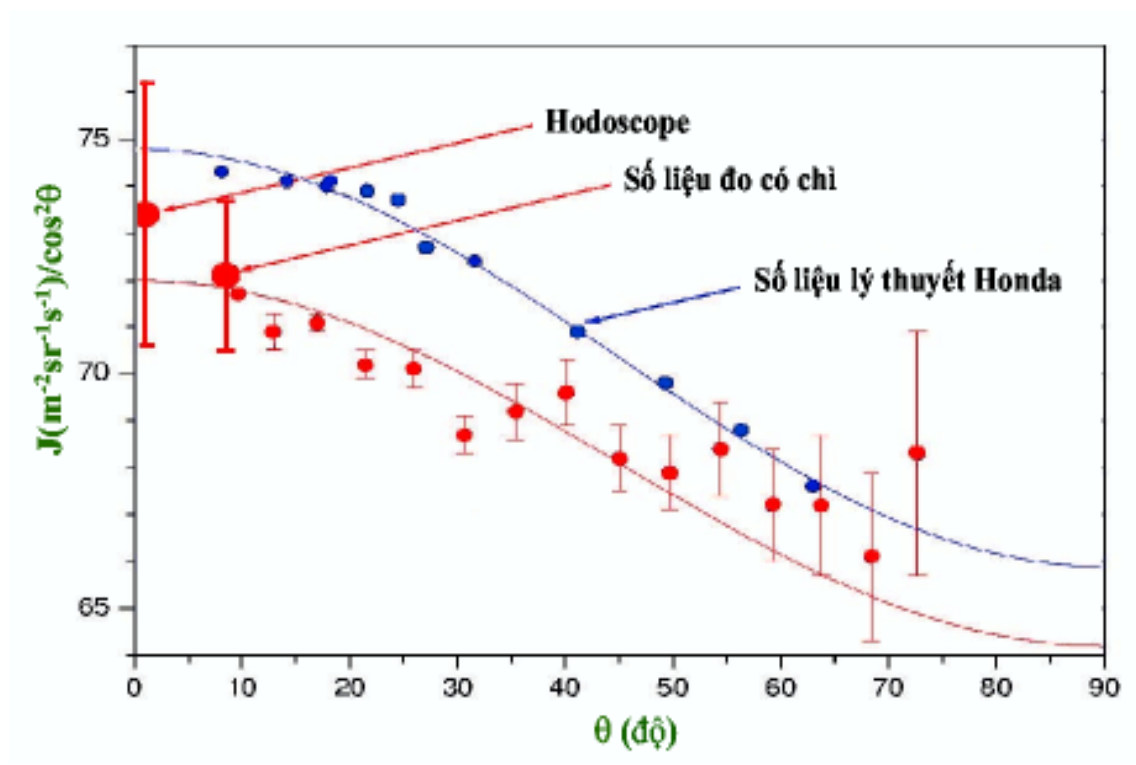
$$J_\mu = \frac{R_\mu}{Ac} = \frac{R_\mu}{2,221 \times 10^{-2}} \quad (3.16)$$

### 3.3 Phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh

Kết quả tính toán theo mẫu lý thuyết và kết quả thực nghiệm được chỉ ra trên bảng 3.1.

Bảng 3.1: Thông lượng muon phân bố theo góc thiên đỉnh, theo mẫu lý thuyết và thực nghiệm

| $\theta_{axis}$<br>(deg) | $\theta_{MC}$<br>(deg) | $R_{MC}$<br>( $0,01s^{-1}$ ) | $F_{sel}$ | $\rho_{good}$<br>(%) | $\rho_{tag}$<br>(%) | $\rho_{sel}$<br>(%) | $\delta_{el}$<br>(%) | $J_{\mu}$<br>( $m^{-2}sr^{-1}s^{-1}$ ) | $J_H$ |
|--------------------------|------------------------|------------------------------|-----------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|-------|
| 0                        | 8,5                    | 2,22                         | 69,6      | 91,6                 | 77,8                | 95,6                | 6,5                  | $72,1\pm0,1$                           | 74,6  |
| 5                        | 9,7                    | 2,20                         | 69,0      | 91,3                 | 77,7                | 95,7                | 6,1                  | $71,7\pm0,1$                           | 74,6  |
| 10                       | 12,9                   | 2,15                         | 68,3      | 91,6                 | 77,9                | 95,7                | 6,1                  | $70,9\pm0,4$                           | 74,4  |
| 15                       | 17,0                   | 2,07                         | 68,9      | 91,7                 | 77,7                | 95,5                | 6,8                  | $71,1\pm0,2$                           | 74,1  |
| 20                       | 21,4                   | 1,96                         | 67,3      | 91,2                 | 77,7                | 95,8                | 5,8                  | $70,3\pm0,3$                           | 73,6  |
| 25                       | 26,0                   | 1,82                         | 67,2      | 91,5                 | 78,2                | 95,8                | 5,8                  | $70,1\pm0,4$                           | 73,1  |
| 30                       | 30,7                   | 1,66                         | 66,4      | 91,1                 | 78,0                | 95,6                | 6,5                  | $68,7\pm0,4$                           | 72,5  |
| 35                       | 35,4                   | 1,49                         | 66,1      | 90,9                 | 78,4                | 95,9                | 5,4                  | $69,2\pm0,6$                           | 71,8  |
| 40                       | 40,2                   | 1,31                         | 66,5      | 91,1                 | 78,4                | 95,9                | 5,4                  | $69,6\pm0,7$                           | 71,1  |
| 45                       | 45,0                   | 1,11                         | 65,9      | 90,7                 | 78,4                | 95,6                | 6,5                  | $68,2\pm0,7$                           | 70,4  |
| 50                       | 49,7                   | 0,923                        | 65,6      | 90,1                 | 78,2                | 95,6                | 6,5                  | $67,9\pm0,8$                           | 69,7  |
| 55                       | 54,4                   | 0,738                        | 66,1      | 89,9                 | 77,7                | 95,6                | 6,5                  | $68,4\pm1,0$                           | 69,0  |
| 60                       | 59,2                   | 0,564                        | 65,4      | 88,8                 | 77,4                | 95,3                | 7,2                  | $67,2\pm1,2$                           | 68,2  |
| 65                       | 63,8                   | 0,407                        | 65,4      | 87,4                 | 76,6                | 95,2                | 7,2                  | $67,2\pm1,5$                           | 67,7  |
| 70                       | 68,4                   | 0,271                        | 68,1      | 85,8                 | 75,4                | 94,0                | 12,2                 | $66,1\pm1,8$                           | 67,2  |
| 75                       | 72,7                   | 0,161                        | 69,5      | 81,1                 | 72,9                | 94,3                | 11,2                 | $68,3\pm2,6$                           | 66,7  |
| 10 cm chì                |                        |                              |           |                      |                     |                     |                      |                                        |       |
| 0                        | 8,5                    | 2,22                         | 63,6      | 93,2                 | 85,9                | 97,4                | 0,0                  | $72,1\pm1,6$                           | 74,6  |



Hình 3.6: Phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh  $\theta$  với chấm đậm biểu diễn kết quả thực nghiệm, giá trị dự đoán theo mẫu lý thuyết. Ngoài ra số liệu đo với chì dày 10cm và số liệu thông lượng muon đo được bằng hodoscope cũng được biểu diễn bằng hình tròn to đậm. Giá trị biểu diễn  $J$  là tỷ số của thông lượng muon với  $\cos^2 \theta$ . Đường liền là kết quả của giá trị khớp hàm  $J = J_0(1 - a \sin^2 \theta)$ .

Bảng 3.2: Sự đóng góp vào sai số của phép đo phân bố thông lượng của muon

| Sai số chung            |      | Sai số từng điểm                        |      |
|-------------------------|------|-----------------------------------------|------|
| Phông (không phải muon) | 1,2% | Phép trừ thành phần điện tử             | 0,7% |
| Thống kê                | 0,2% | Điện tử từ phía dưới(ở góc $60^\circ$ ) | 0,4% |
| Độ chấp nhận            | 1,5% | Đóng góp của Hadron                     | 0,5% |
| Đóng góp của Hadron     | 1,5% | Thống kê                                | 0,5% |
| Muon dừng               | 0,9% | Sai số đo góc                           | 0,7% |

Hình (3.6) biểu diễn kết quả thông lượng muon theo các giá trị thực nghiệm và giá trị tiên đoán theo mẫu lý thuyết của M Honda [25]. Sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc thiên đỉnh có dạng:

$$J(\theta) = J_0(1 - a \sin^2 \theta) \times \cos^2 \theta \quad (3.17)$$

với  $J_0 = 72,0 \pm 1,6 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$  và  $a = 0.108 \pm 0.011$  [7],[8]. Đường liền là đường khớp theo sự phụ thuộc trên. Giá trị  $\chi^2 = 38$  với 14 bậc tự do cho thấy sự phù hợp của hàm khớp chưa thực sự tốt. Giá trị  $\chi^2$  lớn do khoảng góc đo còn nhỏ, do bỏ qua sai số hệ thống, do sự không ổn định nhỏ của thông lượng muon, do nhiệt độ thay đổi gây ảnh hưởng tới phản ứng của các detector. Nhìn chung giá trị thực nghiệm đo được và giá trị theo mẫu lý thuyết của Honda phù hợp tốt trong khoảng sai số 1 độ lệch chuẩn.

Sai số của số liệu thực nghiệm thu được là 2,2% tương ứng với

$\pm 1,6 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$  (là sai số của số liệu thu được với 10 cm chì đặt giữa không gian của telescope) áp dụng cho tất cả các góc  $\theta > 0$ . Chúng được chỉ ra ở bảng 3.2.

### 3.4 Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị

Để nghiên cứu sự phụ thuộc của thông lượng muon theo góc phương vị và độ bất xứng đông-tây nhóm VATLY đã tiến hành đo thông lượng muon theo góc phương vị tại các góc thiên đỉnh khác nhau. Kết quả đo thông lượng muon phân bố theo góc phương vị  $\varphi$  được chỉ ra trên bảng (3.3) và bảng (3.4). Ta có thể biểu diễn sự phụ thuộc của thông lượng muon  $J_{\theta,\varphi}$  dưới dạng sau:

$$J_{\theta,\varphi} = J_0 \cos^2 \theta (1 - 0,108 \sin^2 \theta) \left(1 + \frac{A(\theta)}{2} \sin \varphi\right) \quad (3.18)$$

trong đó:

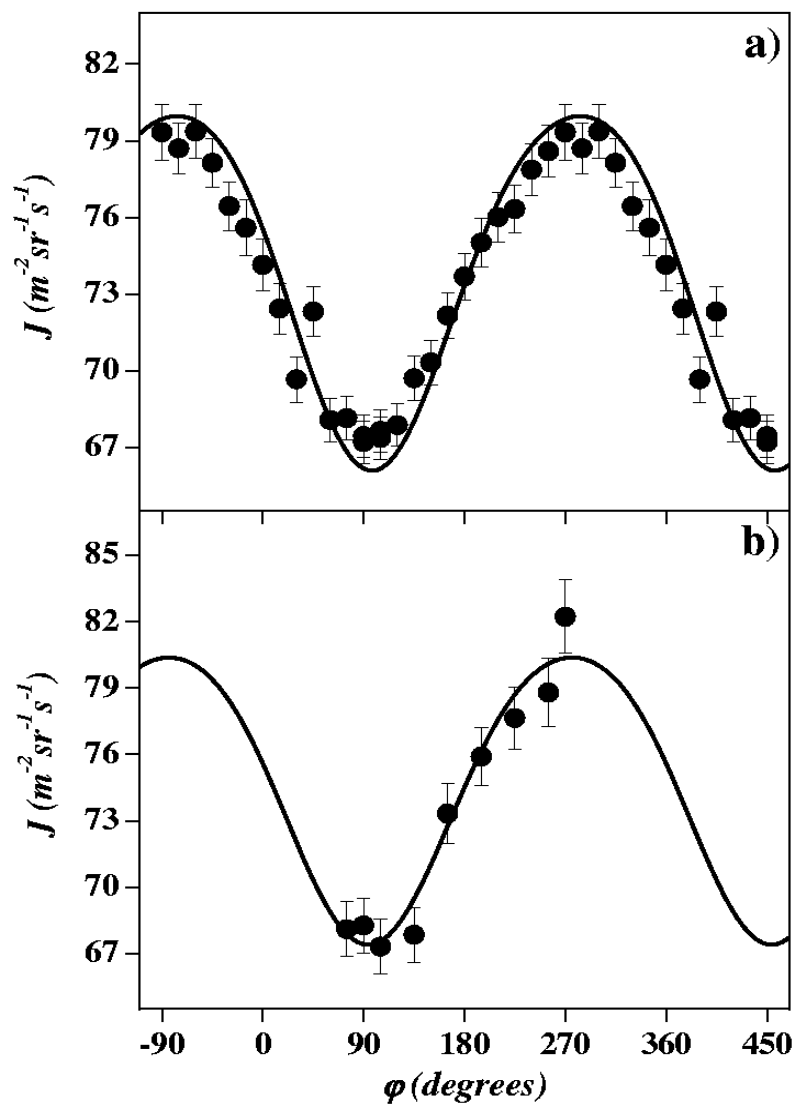
$$J_0 = 72,0 \pm 1,6 m^{-2} sr^{-1} s^{-1} \quad (3.19)$$

số hạng  $(1 + \frac{A(\theta)}{2} \sin \varphi)$  biểu diễn sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc phương vị  $\varphi$ ,  $A(\theta)$  là hệ số phụ thuộc vào góc thiên đỉnh  $\theta$  nói lên độ bất đối xứng của thông lượng muon theo hướng.

Hình (3.7a) và (3.7b) biểu diễn sự phụ thuộc của thông lượng muon theo góc phương vị tại hai góc thiên đỉnh  $\theta = 50^\circ$  và  $\theta = 65^\circ$ , cho thấy sự phù hợp tốt giữa giá trị thực nghiệm và giá trị lý thuyết cho bởi mô hình của Honda. Giá trị  $\chi^2 = 53$  cho 35 bậc tự do. Nếu dịch giá trị về pha đi một lượng là  $\Delta\varphi = 4 \pm 3^\circ$ , và giá trị biên độ nhỏ hơn một hệ số  $\epsilon = 16 \pm 4\%$  thì sẽ cho kết quả phù hợp hơn giữa lý thuyết và thực nghiệm, khi đó cho giá trị  $\chi^2 = 26$  trên 35 bậc tự do [3].

Bảng 3.3: Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị tại góc thiên đỉnh  $\theta=50^\circ$

| $\theta(^{\circ})$ | $\varphi(^{\circ})$ | $R_{\mu}(Hz)$     | $J_{exp}(\theta, \varphi)$ | $J_H(\theta, \varphi)$ |
|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|
| 50                 | 0                   | $0,566 \pm 0,008$ | $70,80 \pm 0,97$           | 75,55                  |
| 50                 | 15                  | $0,553 \pm 0,008$ | $69,25 \pm 0,94$           | 73,68                  |
| 50                 | 30                  | $0,535 \pm 0,007$ | $67,00 \pm 0,86$           | 71,69                  |
| 50                 | 45                  | $0,552 \pm 0,007$ | $69,03 \pm 0,94$           | 69,74                  |
| 50                 | 60                  | $0,515 \pm 0,006$ | $64,50 \pm 0,81$           | 68,06                  |
| 50                 | 75                  | $0,520 \pm 0,006$ | $65,07 \pm 0,81$           | 66,82                  |
| 50                 | 90                  | $0,509 \pm 0,007$ | $63,70 \pm 0,79$           | 66,16                  |
| 50                 | 90                  | $0,515 \pm 0,006$ | $64,39 \pm 0,78$           | 66,16                  |
| 50                 | 105                 | $0,511 \pm 0,006$ | $63,92 \pm 0,80$           | 66,16                  |
| 50                 | 105                 | $0,522 \pm 0,007$ | $65,37 \pm 0,81$           | 66,16                  |
| 50                 | 120                 | $0,514 \pm 0,006$ | $64,38 \pm 0,80$           | 66,81                  |
| 50                 | 135                 | $0,530 \pm 0,007$ | $66,27 \pm 0,82$           | 68,02                  |
| 50                 | 150                 | $0,530 \pm 0,007$ | $66,37 \pm 0,83$           | 69,63                  |
| 50                 | 165                 | $0,548 \pm 0,007$ | $68,62 \pm 0,85$           | 71,46                  |
| 50                 | 180                 | $0,564 \pm 0,007$ | $70,53 \pm 0,88$           | 73,32                  |
| 50                 | 195                 | $0,575 \pm 0,007$ | $71,95 \pm 0,90$           | 75,08                  |
| 50                 | 210                 | $0,585 \pm 0,007$ | $73,19 \pm 0,93$           | 76,61                  |
| 50                 | 225                 | $0,586 \pm 0,007$ | $73,29 \pm 0,90$           | 77,85                  |
| 50                 | 240                 | $0,593 \pm 0,008$ | $74,25 \pm 0,97$           | 78,81                  |
| 50                 | 255                 | $0,604 \pm 0,008$ | $75,62 \pm 0,98$           | 79,47                  |
| 50                 | 270                 | $0,604 \pm 0,008$ | $75,63 \pm 1,04$           | 79,85                  |
| 50                 | 285                 | $0,601 \pm 0,007$ | $75,24 \pm 0,93$           | 79,97                  |
| 50                 | 300                 | $0,613 \pm 0,008$ | $76,67 \pm 1,00$           | 79,78                  |
| 50                 | 315                 | $0,603 \pm 0,007$ | $75,48 \pm 0,92$           | 79,27                  |
| 50                 | 330                 | $0,589 \pm 0,007$ | $73,70 \pm 0,91$           | 78,40                  |
| 50                 | 345                 | $0,565 \pm 0,008$ | $70,74 \pm 1,01$           | 77,15                  |



Hình 3.7: Sự phụ thuộc của thông lượng theo góc phương vị (vòng tròn đậm) so sánh với số liệu dự đoán theo mẫu lý thuyết của Honda (đường liền), (a) biểu diễn số liệu đo tại góc thiên đỉnh  $\theta = 50^\circ$ , (b)  $\theta = 65^\circ$

Bảng 3.4: Phân bố thông lượng muon theo góc phương vị tại góc thiên đỉnh  $\theta=65^\circ$

| $\theta(^{\circ})$ | $\varphi(^{\circ})$ | $R_{\mu}(Hz)$     | $J_{exp}(\theta, \varphi)$ | $J_H(\theta, \varphi)$ |
|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|
| 65                 | 75                  | $0,224 \pm 0,005$ | $65,57 \pm 1,20$           | 67,92                  |
| 65                 | 90                  | $0,223 \pm 0,004$ | $65,11 \pm 1,19$           | 67,47                  |
| 65                 | 105                 | $0,222 \pm 0,004$ | $65,01 \pm 1,19$           | 67,60                  |
| 65                 | 135                 | $0,222 \pm 0,004$ | $65,01 \pm 1,19$           | 69,47                  |
| 65                 | 165                 | $0,240 \pm 0,004$ | $70,17 \pm 1,28$           | 72,71                  |
| 65                 | 195                 | $0,250 \pm 0,004$ | $73,15 \pm 1,29$           | 76,11                  |
| 65                 | 225                 | $0,257 \pm 0,005$ | $75,30 \pm 1,37$           | 78,71                  |
| 65                 | 255                 | $0,261 \pm 0,005$ | $76,23 \pm 1,48$           | 80,14                  |
| 65                 | 270                 | $0,275 \pm 0,006$ | $80,43 \pm 1,62$           | 80,41                  |

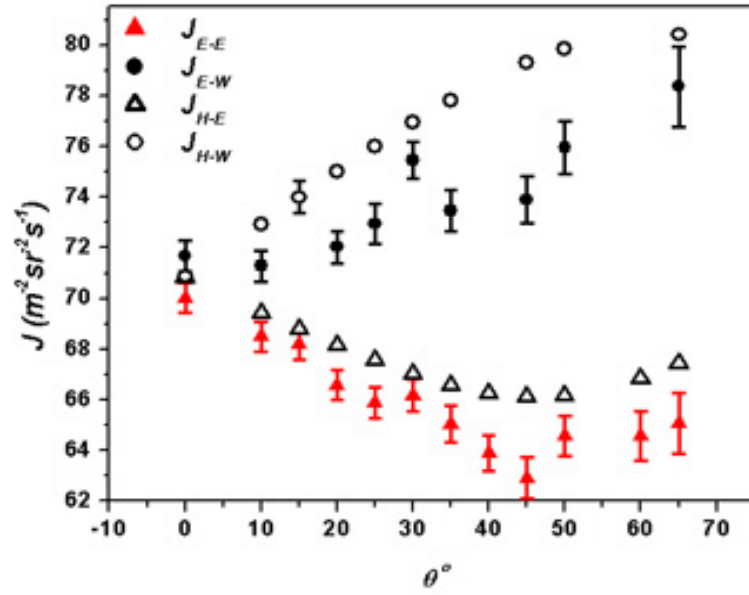
### 3.5 Bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon tại Hà Nội

Để xác định độ bất đối xứng của thông lượng muon tại hướng đông và hướng tây VATLY đã tiến hành đo thông lượng  $J_{exp}(\theta, \varphi)$  tại hướng đông ( $\varphi = 90^\circ$ ), hướng tây ( $\varphi = 270^\circ$ ) theo các góc thiên đỉnh khác nhau, kết quả được chỉ ra trên bảng 3.6. Đồng thời tương ứng với thông lượng muon theo mẫu lý thuyết của M.Honda  $J_H(\theta, \varphi)$  cũng được chỉ ra. Kết quả cho thấy số liệu thực nghiệm và lý thuyết tương đối phù hợp, trong khoảng sai số cho phép.

Hình 3.8 biểu diễn phân bố thông lượng muon thực nghiệm đo được theo góc thiên đỉnh tại hướng đông và hướng tây. Đồng thời cho thấy kết quả đo được phù hợp với kết quả mô hình của Honda.

Bảng 3.5: Phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh tại hướng đông và hướng tây.

| $\theta^\circ$ | $\varphi^\circ$ | $J_{exp}(\theta, \varphi)$ | $J_H(\theta, \varphi)$ |
|----------------|-----------------|----------------------------|------------------------|
| 0              | 90              | $70,02 \pm 0,58$           | 70,86                  |
| 10             | 90              | $68,51 \pm 0,59$           | 69,45                  |
| 15             | 90              | $68,21 \pm 0,60$           | 68,79                  |
| 20             | 90              | $66,59 \pm 0,60$           | 68,16                  |
| 25             | 90              | $65,88 \pm 0,61$           | 67,57                  |
| 30             | 90              | $66,18 \pm 0,63$           | 67,03                  |
| 35             | 90              | $65,05 \pm 0,73$           | 66,59                  |
| 40             | 90              | $63,91 \pm 0,69$           | 66,28                  |
| 45             | 90              | $62,92 \pm 0,80$           | 66,13                  |
| 50             | 90              | $64,57 \pm 0,79$           | 66,16                  |
| 50             | 90              | $64,34 \pm 0,80$           | 66,16                  |
| 60             | 90              | $64,57 \pm 0,97$           | 66,84                  |
| 65             | 90              | $65,08 \pm 1,19$           | 67,47                  |
| 0              | 270             | $69,05 \pm 0,62$           | 70,86                  |
| 0              | 270             | $71,68 \pm 0,61$           | 70,86                  |
| 10             | 270             | $71,29 \pm 0,61$           | 72,94                  |
| 15             | 270             | $74,00 \pm 0,63$           | 73,99                  |
| 20             | 270             | $72,03 \pm 0,64$           | 75,02                  |
| 25             | 270             | $72,94 \pm 0,80$           | 76,01                  |
| 30             | 270             | $75,46 \pm 0,72$           | 76,94                  |
| 35             | 270             | $73,47 \pm 0,80$           | 77,81                  |
| 45             | 270             | $73,90 \pm 0,91$           | 79,29                  |
| 50             | 270             | $75,96 \pm 1,05$           | 79,85                  |
| 65             | 270             | $78,37 \pm 1,58$           | 80,41                  |



Hình 3.8: Sự phân bố của thông lượng muon theo góc thiên đỉnh tại hướng đông  $J_{E-E}$  và hướng tây  $J_{E-W}$ , kết quả cho thấy phù hợp với mô hình lý thuyết của Honda  $J_{H-E}$ ,  $J_{H-W}$  tương ứng với thông lượng tính cho hướng đông và hướng tây.

Độ bất đối xứng đông-tây A được tính như sau:

$$A(\theta) = [J(\theta, 270^\circ) - J(\theta, 90^\circ)]/J_{EW} \quad (3.20)$$

ở đây:

$$J_{EW} = \frac{1}{2}[J(\theta, 270^\circ) + J(\theta, 90^\circ)] \quad (3.21)$$

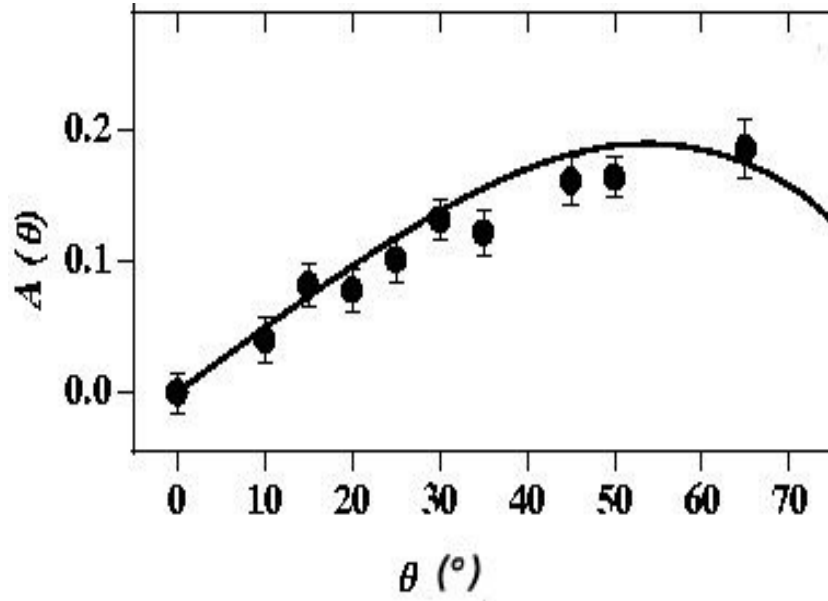
Kết quả đo, tính toán từ số liệu thực nghiệm và kết quả của Honda được chỉ ra trên bảng 3.4 và được biểu diễn trên hình vẽ 3.9. Số liệu thực nghiệm được biểu diễn bằng đường tròn đậm, số liệu tiên đoán bằng mô hình lý thuyết của Honda được biểu diễn bằng đường nét liền.

Kết quả cho thấy giá trị tiên đoán bằng mẫu lý thuyết của Honda phù hợp rất tốt với thực nghiệm, với giá trị  $\chi^2 = 11$  cho 10 bậc tự do.

Tóm lại: Nhóm VATLY đã tiến hành xây dựng được một cơ sở dữ liệu về phân bố của thông lượng muon theo góc thiên đỉnh và góc phương vị,

Bảng 3.6: Sự phụ thuộc của thông lượng muon theo góc thiên đỉnh và độ bất đối xứng đông-tây.

| $\theta(^{\circ})$ | $J_{expN}$     | $J_{HN}$ | $J_{expEW}$    | $J_{HEW}$ | $A_{exp}(\%)$  | $A_H(\%)$ |
|--------------------|----------------|----------|----------------|-----------|----------------|-----------|
| 0                  | $70,9 \pm 0,6$ | 70,9     | $70,3 \pm 0,4$ | 70,9      | $0,0 \pm 1,5$  | 0,0       |
| 5                  | $70,5 \pm 0,6$ | 70,7     |                | 71,0      |                | 2,5       |
| 10                 | $69,9 \pm 0,7$ | 70,5     | $69,9 \pm 0,6$ | 71,2      | $4,0 \pm 1,7$  | 4,9       |
| 15                 | $70,4 \pm 0,6$ | 70,6     | $71,1 \pm 0,6$ | 71,4      | $8,2 \pm 1,6$  | 7,4       |
| 20                 | $69,9 \pm 0,7$ | 70,8     | $69,3 \pm 0,6$ | 71,5      | $7,8 \pm 1,7$  | 9,8       |
| 25                 | $70,3 \pm 0,7$ | 71,1     | $69,4 \pm 0,6$ | 71,7      | $10,1 \pm 1,6$ | 12,0      |
| 30                 | $69,4 \pm 0,6$ | 71,5     | $70,8 \pm 0,6$ | 71,9      | $13,1 \pm 1,6$ | 14,0      |
| 35                 | $70,5 \pm 0,8$ | 71,9     | $69,3 \pm 0,7$ | 72,1      | $12,1 \pm 1,7$ | 15,7      |
| 40                 | $71,6 \pm 0,9$ | 72,4     |                | 72,4      |                | 17,0      |
| 45                 | $70,8 \pm 0,8$ | 72,9     | $68,4 \pm 0,7$ | 72,7      | $16,1 \pm 1,8$ | 18,1      |
| 50                 | $71,2 \pm 0,9$ | 73,3     | $70,2 \pm 0,7$ | 73,0      | $16,4 \pm 1,6$ | 18,6      |
| 55                 | $72,5 \pm 0,9$ | 73,7     |                | 73,3      |                | 18,9      |
| 60                 | $71,9 \pm 1,2$ | 74,1     |                | 73,6      |                | 18,5      |
| 65                 | $72,6 \pm 1,5$ | 74,5     | $71,8 \pm 1,1$ | 73,9      | $18,5 \pm 2,2$ | 17,5      |
| 70                 | $68,6 \pm 1,6$ |          |                | 74,2      |                | 15,8      |



Hình 3.9: Sự phụ thuộc của độ bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon vào góc thiên đỉnh.  $A(\theta) = [J(\theta, 270^\circ) - J(\theta, 90^\circ)]/J_{EW}$ , biểu diễn bằng các chấm tròn đậm, được so sánh với dự đoán lý thuyết của Honda biểu diễn bằng đường nét liền.

độ bất đối xứng đông-tây của thông lượng muon, có thể biểu diễn như sau:

$$J_{\theta,\varphi} = J_0 \cos^2 \theta (1 - 0,108 \sin^2 \theta) \left(1 + \frac{A(\theta)}{2} \sin \varphi\right) \quad (3.22)$$

trong đó:

$$J_0 = 72,0 \pm 1,6 m^{-2} sr^{-1} s^{-1} \quad (3.23)$$

Bộ số liệu này có một ý nghĩa đặc biệt vì nó lần đầu tiên được đo tại Hà Nội, nơi có độ cứng của địa từ trường gần cực đại, 17 GV. Nó là cơ sở dữ liệu hỗ trợ cho công tác nghiên cứu hệ thống detector Cherenkov tại VATLY mà đến nay vẫn còn đang tiếp tục. Nó cũng có một ý nghĩa khoa học là đã đóng góp bộ số liệu giúp tái kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình lý thuyết của tác giả M.Honda, mà mô hình này được sử dụng để phân tích số liệu nghiên cứu sự chuyển hoá neutrino trong thí nghiệm Super-Kmiokande Nhật Bản.

# KẾT LUẬN

Luận án đã đạt được các kết quả chính như sau:

★ Đã thiết kế, lắp đặt thành công telescope dựa trên các detector nhấp nháy và các khối điện tử theo chuẩn NIM, CAMAC để đo thông lượng muon tại Hà nội.

★ Đã hoàn thành thí nghiệm đo phân bố góc thông lượng muon tại Hà Nội. Lần đầu tiên chúng ta đã có một bộ số liệu tin cậy khá đầy đủ về phân bố thông lượng muon theo góc thiên đỉnh, theo góc phương vị và độ bất đối xứng đông-tây tại Hà nội.

★ Bộ số liệu có một ý nghĩa đặc biệt vì nó lần đầu tiên được đo tại Hà Nội, nơi có độ cứng của địa từ trường gần như cực đại, khoảng 17 GV. Bộ số liệu này không những là cơ sở dữ liệu cho các phép khảo sát hệ đo mô phỏng trạm đo mặt đất của dự án quốc tế Pierre Auger đang được thực hiện tại VATLY, mà còn phục vụ cho việc tái kiểm chứng tính đúng đắn của mô hình lý thuyết của M.Honda về thông lượng neutrino khí quyển, cần cho phân tích số liệu thực nghiệm của thí nghiệm nghiên cứu chuyển hoá neutrino Super Kamiokande Nhật Bản. Kết quả so sánh cho thấy mô hình Honda tính toán mô phỏng thông lượng neutrino khí quyển phù hợp rất tốt với số liệu phân bố góc của muon đo được tại Hà Nội.

# LỜI CẢM ƠN

Luận án này được thực hiện và hoàn thành tại Phòng vật lý tia vũ trụ " VATLY", Trung tâm nghiên cứu cơ bản và tính toán, Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, thuộc Viện Năng lượng Nguyên tử Việt nam. Nhân dịp này tôi xin bày tỏ lòng tôn kính và chân thành cảm ơn Giáo sư Pierre Darriulat, TS. Võ Văn Thuận, TS. Nguyễn Mậu Chung - Những người thầy đã hướng dẫn và hết lòng giúp đỡ tôi trong suốt quá trình nghiên cứu và hoàn thành luận án. Xin ghi nhận nơi đây lòng biết ơn sâu sắc của tôi đối với các thầy hướng dẫn.

Tôi xin chân thành cảm ơn: GS. Trần Thanh Vân, Hội gặp gỡ Việt Nam (Rencontres du Vietnam) đã cấp học bổng; Hội đồng Khoa học tự nhiên ngành Vật lý Bộ Khoa học và Công nghệ đã hỗ trợ kinh phí đề tài trong thời gian thực hiện luận án; GS. M. Honda(Đại học Tokyo) đã giúp đỡ tính toán mô phỏng Monte Carlo thông lượng muon tại Hà nội và thảo luận về kết quả của nhóm VATLY trong thời gian thí nghiệm; Trung tâm Nghiên cứu Hạt nhân châu Âu (CERN) đã cung cấp cho chúng tôi detector, các khối điện tử nhanh theo chuẩn NIM và CAMAC, và nhiều linh kiện điện tử khác, nếu thiếu chúng thì thí nghiệm không thể tiến hành được; TS. A.Yoshida (RIKEN) đã giúp đỡ chúng tôi rất nhiều trong kỹ thuật ghép

nổi CAMAC với máy tính và tự động hoá thí nghiệm; Dự án quốc tế Pierre Auger, đặc biệt GS. Jim W. Cronin và GS. Alan Watson là các nhà lãnh đạo của dự án đã động viên và giúp đỡ kinh phí cũng như tài liệu, số liệu.

Hoàn thành được luận án này tôi không thể không kể đến công sức đóng góp to lớn của các đồng nghiệp tại nhóm VATLY, đã cùng xây dựng thí nghiệm và giúp đỡ tôi rất nhiều trong nghiên cứu. Tôi xin chân thành cảm ơn nhóm VATLY cũng như các cán bộ khoa học của Trung tâm nghiên cứu Cơ bản và Tính toán, Trung tâm Ứng dụng Kỹ thuật Hạt nhân, các đồng nghiệp khác đã cộng tác và tạo mọi điều kiện giúp đỡ tôi.

Nhân đây tôi cũng bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới ban lãnh đạo Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, Ban lãnh đạo Viện Năng lượng Nguyên tử Việt nam cùng tất cả các phòng ban của Viện đã tạo điều kiện, tận tình giúp đỡ tôi thực hiện luận án cũng như các thủ tục bảo vệ luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn các thầy, cô, các đồng nghiệp đã đọc luận án và cho những ý kiến đóng góp quý báu.

## CÁC CÔNG TRÌNH LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- [1\*]. Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Nguyen Hai Duong, Pham Thi Tuyet Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2004). Measurment of the east-west asymmetry of the cosmic muon flux in Hanoi. Nuclear Physics B 678 p.3-15.
- [2]. Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Nguyen Hai Duong, Pham Thi Tuyet Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2004). Dependence of the cosmic muon flux on atmospheric pressure and temperature - Communication in Physics, Vol.14, No.1, p. 57-64.
- [3]. Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Pham Thi Tuyet Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, and Vo Van Thuan (2005). Atmospheric Muons in Hanoi- Communication in Physics, Vol.15, No.1, p.55-61.
- [4 ]. Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Nguyen Phuc, Pham Trung Phuong, Pierre Darriulat, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan (2002). Measurement of the vertical cosmic muon flux in a region of large rigidity cutoff. Nuclear Physics B 627 p.29-42.
- [5\*]. Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Pham Trung Phuong, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan (2003). Measurement of the zenith angle distribution of the cosmic muon flux in Hanoi. Nuclear Physics B 661 p.3-16.
- [6\*]. Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Nguyen Phuc,

Pham Trung Phuong, Pierre Darriulat, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2003) Cosmic ray research in Hanoi: The Auger experiment and measurements made at home. Nuclear Physics A722 p.439c-443c.

Các công trình có đánh dấu (\*) là các công trình tác giả được phép sử dụng.

# TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hải Dương (2004), Luận án thạc sỹ vật lý Hạt nhân, Khảo sát độ bất đối xứng đông tây của thông lượng muon tại Hanoi. Đại học Quốc gia Thành Phố Hồ Chí Minh- Đại học Khoa học Tự nhiên.
- [2] J.,W., Cronin (2001), Proc 27th International Conference on Cosmic Ray(Hamburg) invited, Rapporteur and Highlight papers.
- [3] Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Nguyen Hai Duong, Pham Thi Tuyen Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2004). Measurement of the east-west asymmetry of the cosmic muon flux in Hanoi. Nuclear Physics B 678 p.3-15.
- [4] Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Nguyen Hai Duong, Pham Thi Tuyen Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2004). Dependence of the cosmic muon flux on atmospheric pressure and temperature - Communication in Physics, Vol.14, No.1, p. 57-64.
- [5] Pham Ngoc Diep, Pham Ngoc Dinh, Pham Thi Tuyen Nhung, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, and Vo Van Thuan

- (2005). Atmospheric Muons in Hanoi- Communication in Physics, Vol.15, No.1, p. 55-61.
- [6] Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Nguyen Phuc, Pham Trung Phuong, Pierr Darriulat, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan (2002). Measurement of the vertical cosmic muon flux in a region of large rigidity cutoff- Nucl.Phys. B627 p. 29-42.
- [7] Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Pham Trung Phuong, Pierre Darriulat, Nguyen Thi Thao, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan (2003). Measurement of the zenith angle distribution of the cosmic muon flux in Hanoi- Nucl.Phys. B661 p. 3-16.
- [8] Pham Ngoc Dinh, Nguyen Tien Dung, Bui Duc Hieu, Nguyen Phuc, Pham Trung Phuong, Pierre Darriulat, Dang Quang Thieu, Vo Van Thuan(2003) Cosmic ray research in Hanoi: The Auger experiment and measurements made at home. Nuclear Physics A722 p.439c-443c.
- [9] Ho Quang Kim, Pham Xuan Yem, Elementary Particles and their interactions, P. 447-474
- [10] Le Van Ngoc, Vo Van Thuan, Nguyen Hao Quang (2001). Propagation of cosmic rays in the atmosphere. Communication in Physics.
- [11] Le Van Ngoc, Vo Van Thuan and Dang Quang Thieu (2002) Cerenkov radiation simulation in the Auger water ground detector VNU. Journal of science, Mathematic- Physics t.XVIII,*n*<sup>o</sup>1 P.28-36.
- [12] J.V.Jelley - Published for the United Kingdom Atomic Energy Authority Cherenkov Radiation and its application

- [13] J.A.Joselyn et al., Solar cycle 23 project,  
[www.science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/predict.htm](http://www.science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/predict.htm); U.of  
 N.Hampshire/EOS and Chicago/LASR,cosm.phys.inst.in space,  
[www.ulysses.sr.unh.edu/NeutronMonitor/misc/neutron2.htm](http://www.ulysses.sr.unh.edu/NeutronMonitor/misc/neutron2.htm).
- [14] T.Friese, Nuclear Electronics, Berlin-Wannsee, September  
 (1981)P.63
- [15] Glennf. Knoll (1989), Radiation Detection and Measurement Sec-  
 ond edition John Wiley and Sons.P.215 - P.282
- [16] T.K.Gaisser (1990), Cosmic Ray and Particle Physic, Cambride Uni-  
 versity Press.
- [17] K.G.Gibbs (1997). Cosmic rays at extreme energy. Enrico Fermi  
 institute, the University of Chicago.
- [18] Claus Grupen (1992), University of Siegen Particle Detectors - Cam-  
 bridge University press 1992. P.3 - P.24, P.164 - P.171
- [19] K.S. Hirata et all.(1998), Phys. Rev. D38 P.448
- [20] Kungl Tekniska Hogskolan (2002), Section of Experimental Partical  
 Physics, May 2002 version 2 (@SCFAB)
- [21] Satio Hayakawa, Department of Physics, Nagoya University,  
 Nagoya, Japan - Cosmic Ray Physics. P.313 - P.688
- [22] N.Iwasa, A Camac data acquisition system with cc7700 and PC-  
 Linux, <http://rarfaxp.riken.go.jp/iwasa/cc7700.htm>
- [23] A.N.Kalinovxki, N.V.Mokhov,Yu.P.Nikitin(1985). Passage of high  
 energy particles through matter.M.,atomizdat.

- [24] J.Kremer, et al.(1999) D.E.Groom,et al., Eur.Phys.J.C15(2000)1,  
and references therein, Phys.Rev.Lett.83 4221
- [25] M.Honda, private communication; M.Honda et al.,Phys. Rev.  
D52(1995)4985; M.Honda, T.Kajita, K.Kasahara, S.Midorikawa  
(2001), in: Proceeding of ICRC, 2001, Copernicus Gesellschaft,  
Hamburg, Vol.3,p.1162
- [26] M.Honda et all.(1995) in Phys.Rev. 52 p.4985-5005
- [27] K.N.Mukhin, Experimental Nuclear Physics Volume II, Elementary  
Particle Physics. P.171-205
- [28] The Pierre Auger Observatory Design Report(1997), Second edi-  
tion, The Auger Collaboration 14 March 1997.
- [29] The Pierre Auger Observatory (2001), Technical design report, The  
Auger collaboration, Draft-september, 2001. P.1-70
- [30] Pierre Auger Project Progress Report September, October &  
November 2004
- [31] B.Rossi, High-Energy Particles, (Prentice-Hall, N.J.,1952),p.170
- [32] B.Rossi,Cosmic Rays,(McGraw-Hill,N.Y.,1964) P.69-84, P.193-  
212.
- [33] A. Letessier-Selvon LPNHE, Universities of paris 6 & 7 IN2P3-  
CNRS - Theoretical and experimental topics on ultra high energy  
cosmic rays.

- [34] A.A.Watson Department of Physics and Astronomy, University of Leeds. Leeds. L829JT.UK. Extensive Air Showers and Ultra High Energy Cosmic Ray
- [35] A.A. Watson (2002),Cosmic rays of the highest energies. Contemporary Physics 43 P.181-195.
- [36] R.Leo William (1994) Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, Second Revised Edition. P.263-358
- [37] Properties and performance of the prototype instrument for the Pierre Auger Observatory(2004). Nuclear Instruments and Methods in Physics reseach A 523 P.50-95.
- [38] Super-Kamiokande Collaboration,Phys.Rev.Lett(2000). 85 3999 and references therein.
- [39] IAEA-TEDOC-530 - Nuclear Electronics Laboratory Manual, 1989 Edition.
- [40] James William Rohlf, Modern Physics from  $\alpha$  to Z. P.473-476
- [41] Kungl Tekniska Hogskolan (2002), Section of Experimental Partical Physics, May 2002 version 2 (@SCFAB).
- [42] I.G. Usoskin et all (2004), Cosmic ray-induced ionization in the atmosphere: spatial and temporal changes. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 66 P.1791-1796
- [43] <http://www.auger.org>

[44] The University of New Hampshire/EOS and Chicago/LASR, Cosmic Physics instruments in Space.

<http://ulysses.sr.unh.edu/NeutronMonitor/Misc/neutron2.htm>

[45] Primary Cosmic Rays

<http://www.lbl.gov/abc/cosmic/SKliewer/>

Cosmic-Rays/Primary.htm.

[46] Primary Cosmic Rays

<http://www.lbl.gov/abc/cosmic/SKliewer/Cosmic-Rays/>

Atmosphere.htm.

[47] Primary Cosmic Rays

<http://www.lbl.gov/abc/cosmic/SKliewer/Cosmic-Rays/Muons.htm>.