

Mục lục

Lời nói đầu	2
1 Muon trong tầng khí quyển	5
1.1 Một số nét tổng quan về tia vũ trụ	5
1.1.1 Các đặc điểm chung	5
1.1.2 Sự gia tốc	6
1.1.3 Phổ năng lượng của tia vũ trụ	7
1.1.4 M-a rào khí quyển	8
1.1.5 ảnh hưởng của từ trường trái đất	10
1.2 Chương trình mô phỏng m-a rào khí quyển của tác giả Honda và kết quả mô phỏng trong điều kiện của Hà Nội	11
1.3 Thí nghiệm đo thông lượng <i>muon</i> tại Phòng Thí Nghiệm VATLY	19
2 Thiết lập thí nghiệm	24
2.1 Thiết kế hệ đo	24
2.2 Độ chấp nhận của viên kính trong hệ đo	28
2.3 Các ống đếm của hệ đo	29
2.4 Hệ thống điện tử	30
3 Thu nhận và xử lý số liệu thí nghiệm	34
3.1 Thu nhận số liệu	34
3.2 ống đếm 17	35
3.3 Mức nền của ADC	39
3.4 Phân tích số liệu thí nghiệm	41
3.4.1 Lựa chọn số liệu để xử lý	41

<i>MêC LêC</i>	2
3.4.2 Sự hiệu chỉnh mức nền và chuẩn hóa biên độ	42
3.4.3 Tỷ số tốc độ các sự kiện và độ bất đối xứng đông tây	44
3.4.4 Tốc độ xung kích	47
Kết luận	50

Lời nói đầu

Từ khi được phát hiện vào năm 1936 bởi Pierre Auger, mưa rào khí quyển đã được khảo sát một cách sâu rộng bởi nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới trong suốt 70 năm qua. Dựa trên những thành tựu của vật lý hạt cơ bản, cơ chế hình thành và phát triển của mưa rào khí quyển đã được hiểu một cách tương đối hoàn chỉnh, đặc biệt ở miền năng lượng thấp của tia vũ trụ sơ cấp tại đó các công cụ lý thuyết và số liệu thực nghiệm thu được từ máy gia tốc của vật lý hạt cơ bản cho phép tiến hành mô tả chính xác hiện tượng. Gần đây, nhờ sự phát triển của máy tính điện tử, rất nhiều phần mềm mô phỏng mưa rào khí quyển đã ra đời (CORSIKA, MOCCA, AIRES, HEMAS...). Cùng với sự phát triển của các phương tiện và kỹ thuật thực nghiệm, các phần mềm trên cho phép tính toán các thông số của mưa rào khí quyển với độ chính xác cao và phù hợp tốt với thực nghiệm. Chính vì vậy, mưa rào khí quyển trở thành một công cụ trung gian quan trọng để nghiên cứu các tính chất của tia vũ trụ sơ cấp, đặc biệt ở vùng năng lượng cao. Đặc biệt quan trọng khi gần đây, sự chuyển hoá neutrino đã được khẳng định bằng thí nghiệm của nhóm Super-Kamiokande dựa trên việc phân tích mưa rào khí quyển [7]. Từ tầng của trái đất, đặc biệt ở các vùng vĩ độ thấp, có ảnh hưởng rất lớn đến tia vũ trụ sơ cấp và mưa rào khí quyển, bởi vì chúng đều là các hạt mang điện, trong đó có thành phần *muon* của khí quyển. Độ bất đối xứng đông tây (east-west asymmetry) là một tính chất đáng chú ý của thành phần *muon*. Ảnh hưởng của từ trường trái đất lên độ bất đối xứng đông tây thể hiện qua tác động lên tia vũ trụ sơ cấp và lên các hạt μ^+ và μ^- có tỷ số thông lượng lớn hơn 1, trong đó từ trường trái đất đóng vai trò như một phổ kế phân tách hai thành phần điện tích trái dấu này. Điều đó có nghĩa là độ bất đối xứng đông tây phụ thuộc vào tỷ số điện tích ban đầu gây bởi tương tác của tia vũ trụ với bầu khí quyển. Do ảnh hưởng này

của từ trường trái đất, nhờ độ bất đối xứng đông tây có thể nhận biết đặc điểm cũng như thay đổi của từ trường trái đất tại vị trí đo. Thông lượng *muon* cũng là một đại lượng bị ảnh hưởng của từ trường, được dẫn ra từ tốc độ xuất hiện của sự kiện *muon*. Như vậy so với thông lượng *muon*, độ bất đối xứng đông tây, bằng tỷ số giữa hiệu số thông lượng của *muon* ở hướng đông và tây ($\phi_W - \phi_E$) và thông lượng trung bình của *muon* ở hướng đông và tây ($(\phi_W + \phi_E)/2$), dễ đo hơn vì các thừa số độ chấp nhận và hiệu suất ghi khử lẫn nhau. Tất cả những phân tích trên, tạo cơ sở cho việc nghiên cứu và thiết kế một hệ đo độ bất đối xứng đông tây với các ưu điểm dễ dàng chế tạo, sử dụng và kiểm soát hoạt động cũng như có thể hoạt động lâu dài và ổn định. Hệ đo sẽ được sử dụng vào mục đích tiến hành các nghiên cứu lâu dài về độ bất đối xứng đông tây với hy vọng có thể phát hiện mối liên hệ giữa sự thay đổi của độ bất đối xứng đông tây và sự thay đổi của từ trường trái đất. Tất cả các nghiên cứu trên được trình bày trong bản luận văn dưới đây. Bản luận văn gồm ba chương. Chương 1, Muon trong tầng khí quyển, đề cập đến các đặc điểm cơ bản của tia vũ trụ sơ cấp, mưa rào khí quyển và ảnh hưởng của từ trường trái đất. Các đặc điểm của thành phần *muon* tại Hà Nội cũng được đề cập đến dựa trên kết quả của chương trình mô phỏng mưa rào khí quyển của tác giả Honda tại các điều kiện của Hà Nội. Ngoài ra, chương 1 còn trình bày tóm tắt các phép đo thông lượng tại phòng thí nghiệm VATLY bằng một viễn kính định hướng có liên quan trực tiếp đến các nghiên cứu dưới đây. Trong chương 2, việc thiết kế và cấu tạo của hệ đo, bao gồm hệ thống ống đếm và hệ thống điện tử, được phân tích một cách kỹ lưỡng. Các kết quả khảo sát hoạt động của hệ đo và các kết quả đo độ bất đối xứng đông tây được trình bày ở chương 3. Cuối cùng là phần kết luận và đánh giá.

Chương 1

Muon trong tầng khí quyển

1.1 Một số nét tổng quan về tia vũ trụ

1.1.1 Các đặc điểm chung

Tia vũ trụ được phát hiện vào năm 1912 bởi Victor Hess khi ông tiến hành các nghiên cứu sự ion hóa của không khí ở các độ cao khác nhau. Nghiên cứu về tia vũ trụ trở thành một hướng nghiên cứu chủ đạo trong vật lý hạt cho đến chiến tranh thế giới thứ hai. Trong hai thập kỷ qua, vật lý tia vũ trụ đã có bước phát triển vượt bậc. Vũ trụ đã được khám phá sâu rộng nhờ các tia *gamma* năng lượng cao, *neutrino*, hạt tích điện cũng như nhờ các *photon* năng lượng thấp từ sóng *radio* đến tia *X*. Nhờ các detector "mắt ruồi" (Fly's Eye) và detector Cherenkov phổ năng lượng của các hạt tích điện đã được mở rộng đến trên $10^{20}eV$ [2]. Tia vũ trụ thực chất là các hạt nhân ion hóa có năng lượng cao bao gồm 90% proton, 9% alpha và phần nhỏ hạt nhân nặng [1]. Hầu hết tia vũ trụ là các hạt tương đối tính với động năng bằng hoặc lớn hơn khối lượng nghỉ, một số ít có năng lượng cực cao tới $10^{20}eV$ như đề cập đến ở phần trên. Các tia vũ trụ đến trái đất theo mọi hướng với tốc độ vào khoảng 1000 hạt trên một mét vuông trên giây. Câu hỏi tia vũ trụ đến từ đâu và làm thế nào để chúng có năng lượng cao như vậy (cơ chế gia tốc) chưa được trả lời thỏa đáng, đặc biệt là với các tia vũ trụ năng lượng cực cao ($> 10^{18}eV$). Tuy nhiên, một điều chắc chắn là phần lớn các hạt đến từ ngoài hệ mặt trời trong phạm vi thiên hà. Điều này thể hiện qua phần lớn tia vũ trụ không liên hệ với hoạt động của mặt trời chu kỳ 11 năm. Các tia vũ trụ 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 điều khó khăn nữa nảy sinh

do sự tồn tại của bức xạ nhiệt d- vũ trụ ($2,7K$). Các tia vũ trụ có năng lượng lớn hơn $10^{20}eV$ có quãng đường tự do trung bình nhỏ hơn $100Mpc$ ($1pc = 3 \times 10^8 cm$ xấp xỉ 3 năm ánh sáng) [2] Cho đến nay trong khoảng cách này ch- a tìm thấy nguồn nào có thể gia tốc hạt có năng lượng lớn đến nh- vậy. Hơn nữa, do bức xạ nhiệt tàn d- phổ năng lượng của tia vũ trụ phải tồn tại điểm cắt ở $E \sim 10^{20}eV$ gọi là điểm cắt GZK (GZK cut-off) đối ng- ợc với kết quả của một số thí nghiệm cho $E > 10^{20}eV$. Các tia vũ trụ là các hạt tích điện nên quỹ đạo của chúng rất phức tạp do nh- h- ợng của từ tr- ờng yếu của vũ trụ trong quá trình lan truyền đến trái đất. Điều này làm phức tạp thêm việc xác định nguồn phát bằng thực nghiệm. Đối với các tia vũ trụ năng lượng cao lớn hơn $10^{19}eV$ quỹ đạo của chúng ít bị ảnh h- ợng bởi từ tr- ờng nên hi vọng có thể xác định đ- ợc nguồn phát dựa vào h- ợng đến của chúng, tuy vậy số sự kiện có năng lượng $10^{19}eV$ rất nhỏ vì vậy việc này cũng không dễ dàng thực hiện. ($1ht/km^2/nm$).

1.1.2 Sự gia tốc

Tia vũ trụ có thể đ- ợc gia tốc bởi các đám mây plasma bị từ hóa đang di chuyển (cơ chế gia tốc Fermi). Sự va chạm của hạt với đám mây có thể cung cấp hoặc làm mất năng lượng của hạt tùy theo hạt chuyển động cùng chiều hay ng- ợc chiều với chiều chuyển động của đám mây. Tuy nhiên một cách thống kê, số lần gặp đám mây chuyển động ng- ợc chiều lớn hơn số lần gặp đám mây chuyển động cùng chiều do vậy hạt đ- ợc gia tốc (gia tốc Fermi bậc 2). Trong tr- ờng hợp tồn tại một sóng sốc ở bề mặt của đám mây, sự gia tốc của hạt đ- ợc gii thích bằng sóng sốc (cơ chế gia tốc Fermi bậc 1). gia tốc Fermi dẫn đến dạng hàm mũ của phổ năng lượng với chỉ số phổ tích phân $\sim 1,1$ so với giá trị thực nghiệm $1,7$ trong khoảng năng lượng nhỏ hơn $10^6 GeV$ đạt đ- ợc bằng cơ chế sóng sốc [1]. Năng lượng cực đại cho bởi:

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

u_1 : Vận tốc của sóng sốc

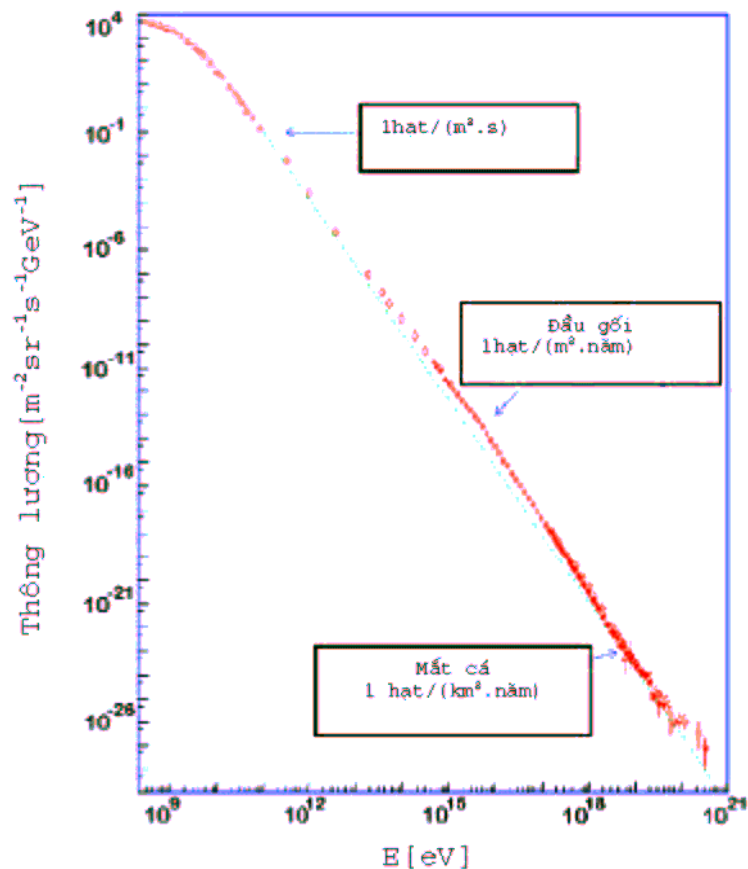
T_A : Thời gian sống của nguồn gia tốc

B: Từ tr- ờng trong vùng gia tốc

$$E_{max} = Z \times 3 \times 10^4 GeV$$

là năng lượng cực đại cho bởi sóng sốc của các Supernovae (sự bùng phát sáng của các sao). Để dẫn ra công thức 1 các giá trị - ước đoán với độ bất định lớn của thông số supernovae được sử dụng, tuy vậy giá trị $E_{max} \sim 100TeV$ là có thể chấp nhận được [1]. 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" pulsa hoặc do sóng sốc sinh ra từ quá trình tích tụ vật chất. Với một pulsa chu kỳ 10miligiây, từ trường về mặt 10^{12} Gauss, năng lượng cực đại đạt được là 10^5TeV . Với các sao neutron nằm trong hệ sao kết đôi (binary star), cơ chế gia tốc từ sự tích tụ vật chất (ở đây là vật chất từ ngôi sao đồng hành với neutron star) cho năng lượng xấp xỉ $2 \times 10^{16}eV$ [1]

1.1.3 Phổ năng lượng của tia vũ trụ

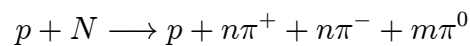


Hình 1.1: Phổ năng lượng của tia vũ trụ

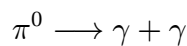
Phổ năng l- ợng của tia vũ trụ biến đổi trong một khoảng rất rộng hình 1. Năng l- ợng lớn nhất ghi nhận đ- ợc cho đến nay là một hai lần $10^{20}eV$. Thông l- ợng tia vũ trụ giảm nhanh khi năng l- ợng của chúng tăng. Đối với các hạt có năng l- ợng $1GeV$ số hạt đến mặt đất khoảng 10000 hạt trên một mét vuông trong một giây. Tỷ lệ này bắt đầu giảm nhanh quanh vùng năng l- ợng $10^{15}eV$ (vùng này đ- ợc gọi là vùng đầu gối của phổ năng l- ợng tia vũ trụ). Tại vùng năng l- ợng này chỉ còn vài hạt đến trên một mét vuông trong một năm. Các hạt có năng l- ợng rất lớn, quanh giá trị $10^{19}eV$ (vùng mắt cá) đến với thông l- ợng khoảng vài hạt trên một kilomet vuông trong một năm. Tại vùng đầu gối phổ năng l- ợng của tia vũ trụ thay đổi một cách đột ngột. và tại vùng mắt cá quanh giá trị $10^{19}eV$ thông l- ợng hạt tới lớn hơn một chút so với mong đợi. Nguyên nhân do các hạt có nguồn gốc phát sinh trong thiên hà của chúng ta, khi năng l- ợng của chúng ở vùng đầu gối có thể bị rò rỉ ra khỏi thiên hà, còn các hạt có năng l- ợng cao hơn vùng mắt cá có thể đ- ợc bổ cấp từ ngoài thiên hà.

1.1.4 M a rào khí quyển

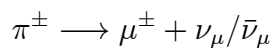
M-a rào khí quyển là hiện t- ợng một số l- ợng lớn các hạt cơ bản nh- *muon*, *pion*, *kaon*..., bức xạ điện từ, *electron*, hạt nhân nhẹ đ- ợc tạo ra từ t- ơng tác của các tia vũ trụ năng l- ợng cao (lớn hơn vài *GeV* [2]) với các nhân nguyên tử của khí quyển. Khi năng l- ợng của tia vũ trụ sơ cấp tăng lên kích th- ớc của m-a rào khí quyển tăng lên và chúng bắt đầu đến đ- ợc bề mặt trái đất, chẳng hạn khi năng tia vũ trụ sơ cấp khoảng $10^{14}eV$ khoảng cách giữa hai hạt kết hợp đạt tới hàng trăm mét [4]. Trong tr- ờng hợp hạt tới là *proton*, sự tạo thành m- a rào khí quyển xảy ra nh- sau. Đầu tiên, *proton* t- ơng tác với các nucleon N của hạt nhân của môi tr- ờng.

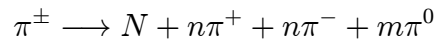


Các hạt π^0 có thời gian sống rất ngắn, chúng nhanh chóng bị phân rã tạo ra các bức xạ điện từ:

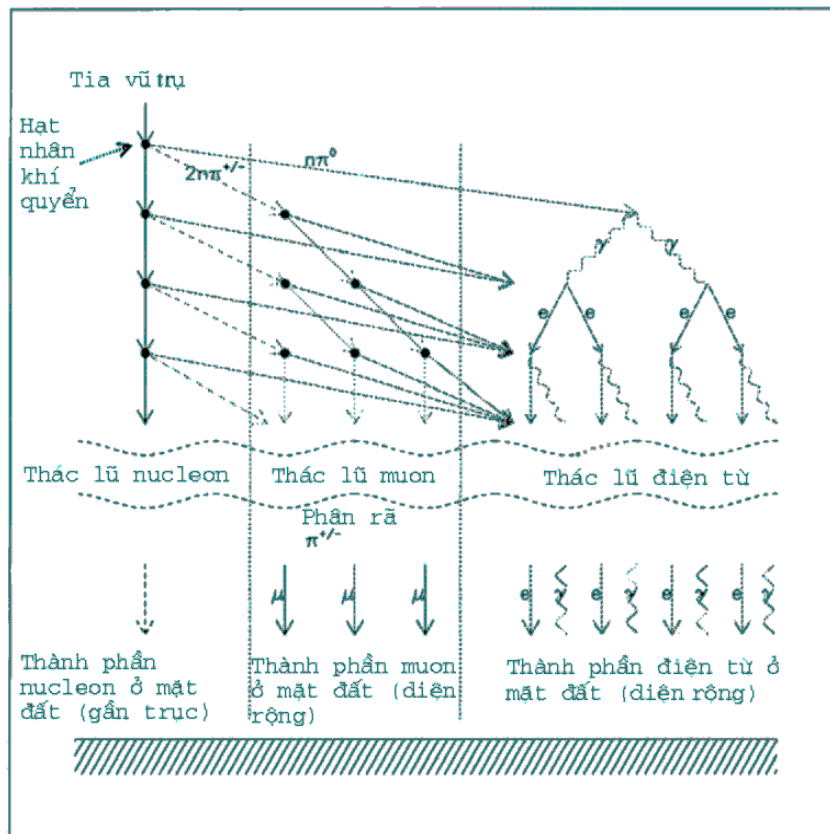
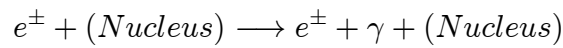
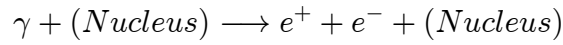


Các hạt có thể bị phân rã hoặc t- ơng tác với các hạt nhân của môi tr- ờng khí quyển tạo ra thác lũ pion và muon:





Ngoài các hạt pion t-ương tác còn tạo ra các hạt cơ bản khác như Δ và Λ . Các tia gamma và electron tạo ra thác lũ điện từ do t-ương tác với môi trường không khí theo cơ chế tạo cặp hoặc phát bức xạ hãm:



Hình 1.2: M-a rào khí quyển

Các nucleon, hạt cơ bản, các electron và tia gamma mới đ-ược tạo thành tiếp tục t-ương tác với môi trường không khí tạo ra thêm một số lượng lớn các hạt hình thành m-a rào khí quyển. Như vậy, một m-a rào khí quyển gồm ba thành phần là

thành phần điện từ (gồm *electron* và tia *gamma*), thành phần muon, thành phần ion nặng (*hadron*-gồm *nucleon*, *kaon*,...), trong đó, thành phần ion nặng là yếu tố duy trì thành phần điện từ. Hình 1.2 mô tả sự phát triển của một m-a rào khí quyển. Kích thước và số lượng hạt của m-a rào khí quyển tăng lên, đạt đến cực đại và giảm dần. Electron và positron có số lượng nhiều nhất trong m-a rào khí quyển, tuy nhiên số lượng này giảm nhanh sau khi đạt đến cực đại bởi vì hiện tượng phát bức xạ hãm và tạo cặp nhanh chóng làm giảm năng lượng của các hạt này đến năng lượng ngưỡng (khoảng $81MeV$), dưới mức năng lượng ngưỡng này chúng nhanh chóng bị mất năng lượng do ion hóa. Số lượng muon cũng tăng lên nhanh chóng, do có năng suất hãm nhỏ số lượng muon được duy trì lâu trong khoảng thời gian phát triển của m-a rào ở một giá trị ổn định sau đó giảm dần do phân rã

$$\mu^{\pm} \longrightarrow e^{\pm} + \bar{\nu}_{\mu}/\nu_{\mu} + \nu_e/\bar{\nu}_e$$

Vì vậy tuy thác lũ điện từ tạo ra số lượng lớn electron, positron và tia gamma ngay tại mực nước biển tỷ lệ số hạt vào khoảng 90% muon, 8% electron và phần nhỏ các hạt nặng khác. Kích thước của m-a rào khí quyển được quy định chủ yếu bởi thành phần điện từ do các tia gamma sinh ra đi xa khỏi trục của m-a rào khí quyển tương tác với môi trường khí quyển tạo ra electron, positron và do khả năng tán xạ của electron. Muon và các hạt nặng khác chủ yếu phân bố gần trục của m-a rào khí quyển. Như vậy, có thể thấy rằng m-a rào khí quyển là kết quả của sự tương tác giữa tia vũ trụ sơ cấp và tầng khí quyển do vậy nó là một công cụ gián tiếp để nghiên cứu các tính chất của tia vũ trụ sơ cấp, chẳng hạn năng lượng của các tia vũ trụ sơ cấp có năng lượng lớn hơn $10^{14}GeV$ chỉ có thể xác định dựa vào m-a rào khí quyển [1].

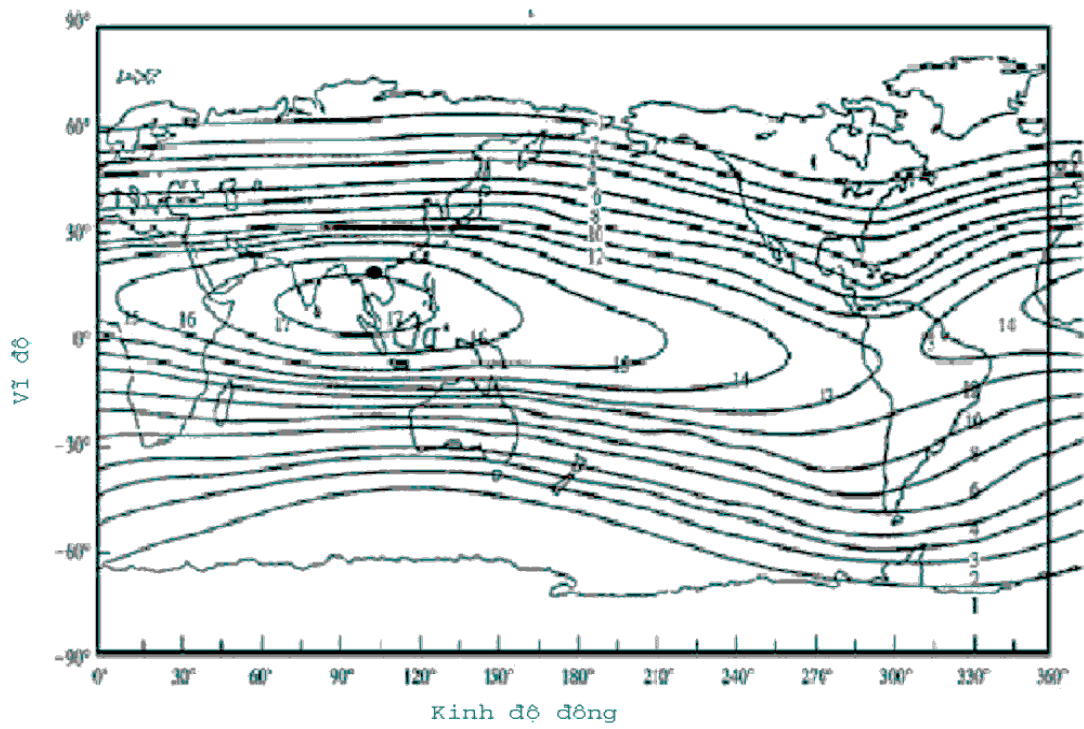
1.1.5 Ảnh hưởng của từ trường trái đất

Từ trường của trái đất được xem như là một lưỡng cực từ với hai cực nằm gần hai cực địa lý, độ chênh lệch vào khoảng $1,5^{\circ}W$ tại Hà Nội. Do ảnh hưởng của từ trường trái đất (cảm ứng từ B trung bình khoảng $1Gauss$) các tia vũ trụ sơ cấp mang điện khi đến trái đất sẽ bị lệch khỏi hướng đi ban đầu. Do vậy, ở một vị trí địa lý và hướng tới xác định các tia vũ trụ phải có năng lượng lớn hơn một giá trị ngưỡng để có thể đến được trái đất. Thông thường, khi xem xét ảnh hưởng của từ trường trái đất, người ta sử dụng đơn vị rigidity bằng năng lượng của hạt chia cho điện tích của hạt. Khi đó,

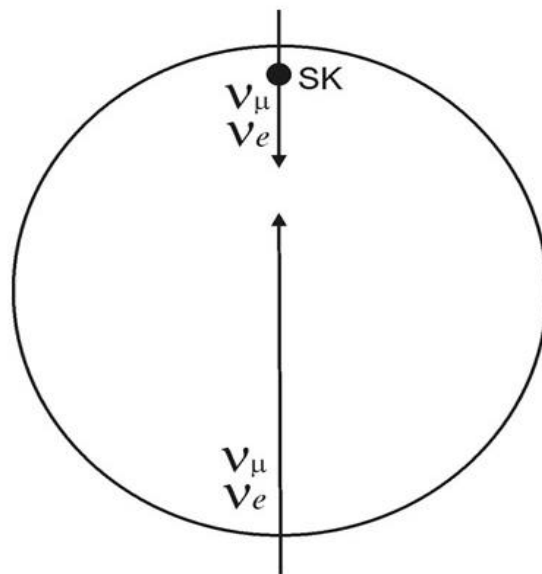
thay cho năng lượng ngang có giá trị khác nhau đối với từng loại hạt điện tích khác nhau, ngoài ta sử dụng ngang rigidity (rigidity cut-off). Ý nghĩa của ngang rigidity là tia vũ trụ phải có giá trị rigidity lớn hơn mức ngang này mới có thể đến được trái đất theo phương vuông góc bề mặt trái đất (góc thiên đỉnh bằng không). Từ trường trái đất ảnh hưởng đến tia vũ trụ sơ cấp dẫn đến các hạt thứ cấp sinh ra do tác động của tia vũ trụ sơ cấp với bầu khí quyển cũng bị ảnh hưởng. Tính chất của các hạt thứ cấp do vậy khác nhau ở các vị trí địa lý khác nhau. Chẳng hạn thông lượng muon có giá trị lớn tại các vùng vĩ độ cao và nhỏ tại các vùng có vĩ độ thấp. Một biểu hiện khác của ảnh hưởng của từ trường trái đất là sự bất đối xứng đông tây, thông lượng muon đến từ hướng tây cao hơn thông lượng muon đến từ hướng đông. Tổng quát hơn là thông lượng muon phụ thuộc vào góc phương vị. Nguyên nhân của hiện tượng này là do các tia vũ trụ sơ cấp chủ yếu là hạt *proton* mang điện dương nên các *proton* đến trái đất từ hướng đông sẽ bị cấm trong một khoảng năng lượng và góc thiên đỉnh xác định. Do vậy, thông lượng tia vũ trụ sơ cấp đến từ hướng tây cao hơn hướng đông, kéo theo thông lượng muon đến từ hướng tây cao hơn hướng đông. Các hạt sinh ra trong môi trường khí quyển cũng là các hạt mang điện nên cũng bị ảnh hưởng bởi từ trường trái đất. Thể hiện rõ nhất là tỷ số điện tích của muon khác nhau ở các vị trí địa lý khác nhau. Hà Nội có vị trí địa lý là nằm trong vùng có ảnh hưởng của từ trường lớn nhất, ngang rigidity lên tới 17GV, hình 1.3. Các số liệu về từ trường muon ở vùng vĩ độ thấp cho đến nay rất ít, do vậy các phép đo thông lượng muon tại Hà Nội có ý nghĩa khoa học lớn và là phép đo tiến hành tại vùng có giá trị ngang rigidity lớn nhất so với 0,5GV tại Lynn Lake [11,12], 4,2GV tại Fort Summer [12], 11,5GV tại Mount Norikura [10] và Tsukuba [11] là các nơi đã tiến hành các phép đo chính xác thông lượng muon trong thời gian gần đây.

1.2 Chương trình mô phỏng môi trường khí quyển của tác giả Honda và kết quả mô phỏng trong điều kiện của Hà Nội

Như trình bày ở phần 1.1.4, trong quá trình phát triển của môi trường khí quyển một số lượng lớn các neutrino được tạo ra đi đến trái đất. Do vậy, sự hình thành và phát triển của môi trường khí quyển đặc biệt quan trọng đối với thí nghiệm về sự chuyển

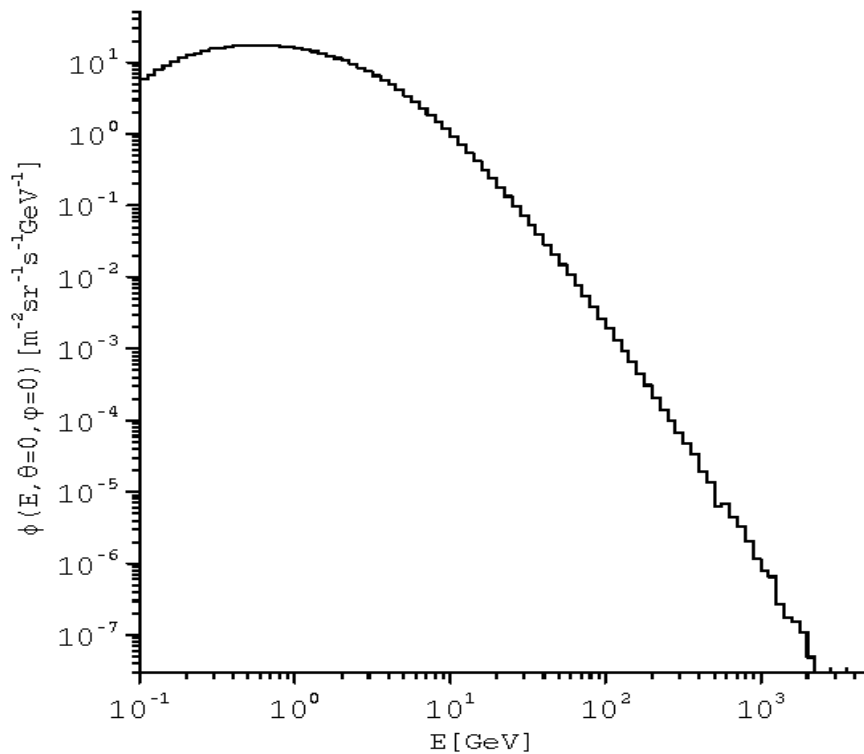


Hình 1.3: Bản đồ ng-ỡng rigidity



Hình 1.4: Mô hình thí nghiệm tại Super-Kamiokande

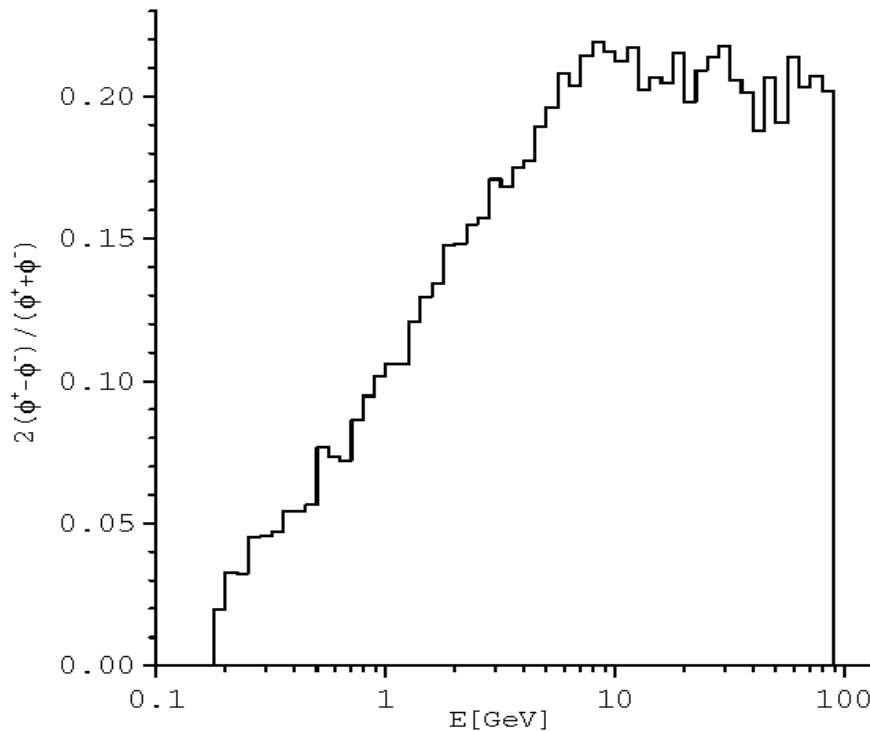
hoá neutrino đ-ợc tiến hành bởi nhóm thực nghiệm Super - Kamiokande (SK), Nhật bản. Thí nghiệm SK [2] sử dụng 50000 tấn n-ớc siêu sạch, chứa trong một bể lớn hình trụ đặt trong lòng núi Kamiokande đ-ới độ sâu 1000 mét. Nó có thể xác định đ-ợc hai loại *neutrino* là *neutrino electron* và *neutrino muon* khi chúng t-ơng tác với *electron* hoặc hạt nhân *hydro* trong phân tử n-ớc. Theo mô hình chuẩn *neutrino* có khối l-ợng bằng 0. Số liệu từ SK cho thấy rằng, có nhiều *neutrino muon* đến từ phía trên detector xuống hơn từ phía đ-ới lên, hình. *Neutrino* đi từ phía trên xuống chỉ đi khoảng 10km trong khi đó *neutrino* đến từ phía đ-ới lên đâm xuyên qua trái đất. Họ cho là *neutrino muon* đã chuyển thành *neutrino tau* trong khi v-ợt qua quãng đ-ờng dài hơn xuyên qua trái đất. Điều này chỉ có thể xảy ra khi *neutrino* có khối l-ợng. Việc phân tích số liệu của SK đòi hỏi mô phỏng chính xác quá trình phát triển của m-a rào khí quyển gây bởi các tia vũ trụ.



Hình 1.5: Phổ năng l-ợng của *muon*

Thí nghiệm tại SK đã sử dụng mô hình của tác giả Honda [3] cho mục đích này. Các thí nghiệm đo thông l-ợng *muon*, cũng nh- các tính chất khác của *muon* trong đó có độ bất đối xứng đông tây, trong các điều kiện từ tr-ờng trái đất khác nhau có

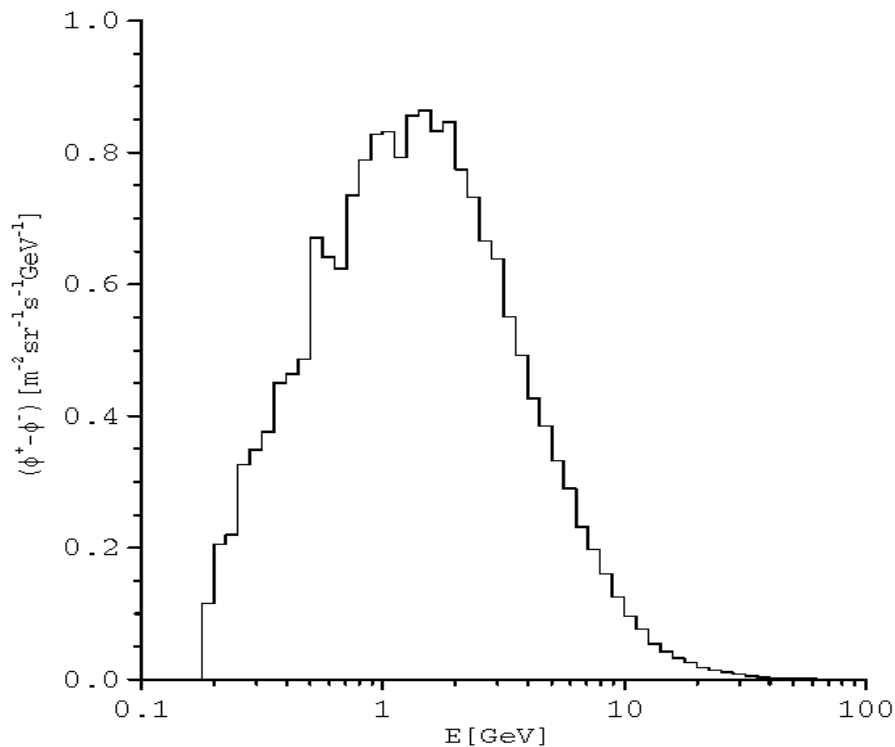
vai trò quan trọng trong việc kiểm tra tính chính xác của mô hình trên. Sự hình thành và phát triển của mưa rào khí quyển tại Hà Nội đã được mô phỏng bởi chương trình Monte - Carlo của tác giả Honda. Các phân bố ở đây là kết quả cho bởi chương trình đối với thành phần *muon* tại mực nước biển tại Hà Nội, đối tượng khảo sát của luận văn này. Hình 1.5 là phổ năng lượng vi phân của *muon* tại góc thiên đỉnh $\theta = 0$. Giá trị năng lượng trung bình là $4,77\text{GeV}$.



Hình 1.6: Độ bất đối xứng điện tích theo năng lượng

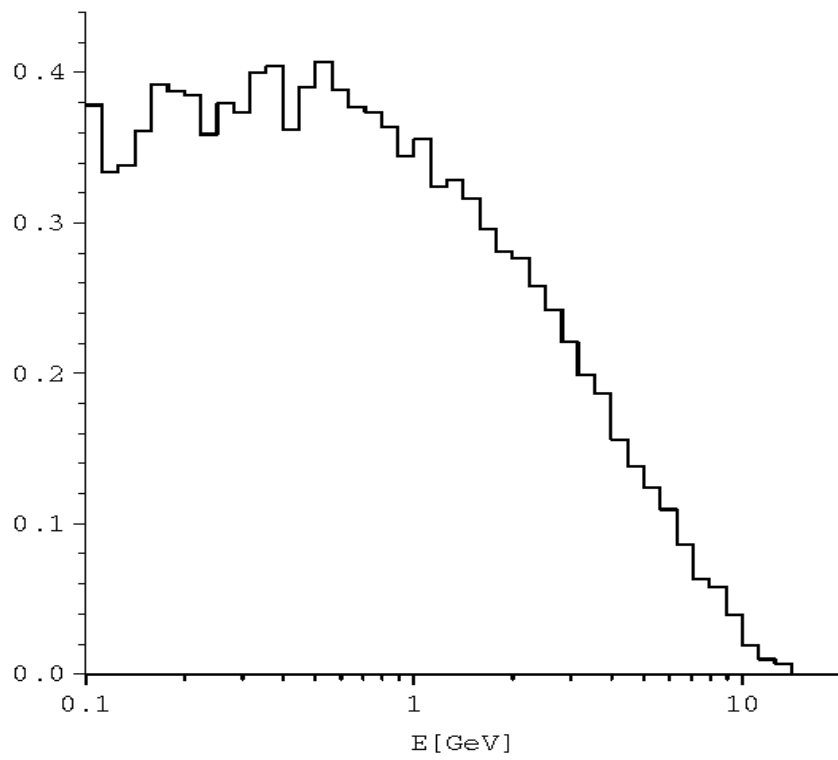
Như phân trên ta thấy *muon* là hạt tích điện chiếm đa số tại mực nước biển. Chúng được tạo ra từ phân rã của π^+ và π^- ở độ cao khoảng 15km [8] và mất khoảng 2GeV do ion hóa trước khi đến bề mặt trái đất. Phổ năng lượng của chúng là kết quả của sự pha trộn giữa phổ năng lượng của tia vũ trụ sơ cấp, hàm đáp ứng, sự mất năng lượng trong môi trường khí quyển và phân rã. Phổ năng lượng trải dài trong một khoảng rộng từ khoảng 100MeV đến 10^3GeV . Ở vùng năng lượng xấp xỉ 1GeV phổ năng lượng tương đối bằng phẳng, từ 10 đến 100GeV phổ năng lượng giảm đều đặn thể hiện tính chất của phổ năng lượng của tia vũ trụ sơ cấp. Tại miền năng lượng cao hơn, độ dốc tăng lên do *pion* có năng lượng lớn hơn năng lượng 115GeV có xu hướng

tương tác với bầu khí quyển hơn là phân rã. Tại năng lượng nhỏ hơn 10GeV cơ chế phân rã và mất năng lượng do ion hóa ảnh hưởng đáng kể lên phổ năng lượng thể hiện ở chỗ dạng phổ không tuân theo dạng hàm số được dẫn ra ở miền năng lượng cao khi hai cơ chế trên tác động không đáng kể (giá trị phổ thấp hơn giá trị cho bởi hàm số) [8]. Độ bất đối xứng theo năng lượng được trình bày ở hình 1.6 và độ sai biệt điện tích được trình bày ở hình 1.7.

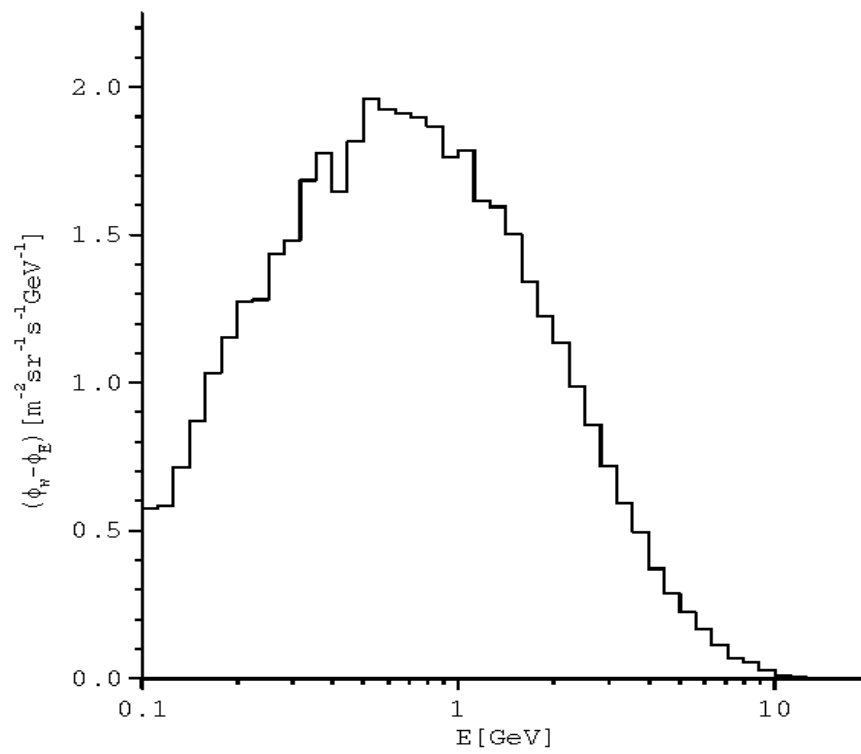


Hình 1.7: Độ sai biệt điện tích theo năng lượng

Thông lượng μ^+ lớn hơn μ^- trong toàn khoảng năng lượng phản ánh tính chất của tia vũ trụ sơ cấp trong đó hạt tích điện dương chiếm đại đa số. Độ bất đối xứng điện tích tăng dần và đạt giá trị cực đại cân bằng tại $E \sim 8\text{GeV}$ nhờ sự tương tác của *proton* chiếm đại đa số với hạt nhân nguyên tử của môi trường khí quyển. Độ bất đối xứng đông tây tăng theo năng lượng ở góc thiên đỉnh $\theta = 50^\circ$ được trình bày ở hình 1.8 với *muon* đến từ hướng tây lớn hơn thông lượng *muon* đến từ hướng đông trong toàn khoảng năng lượng. Độ bất đối xứng đông tây giảm dần từ giá trị rất lớn cỡ 36% khi năng lượng tăng dần vì hiệu ứng đông tây ảnh hưởng mạnh nhất trong vùng năng lượng thấp. Giá trị năng lượng trung bình của sự bất đối xứng đông

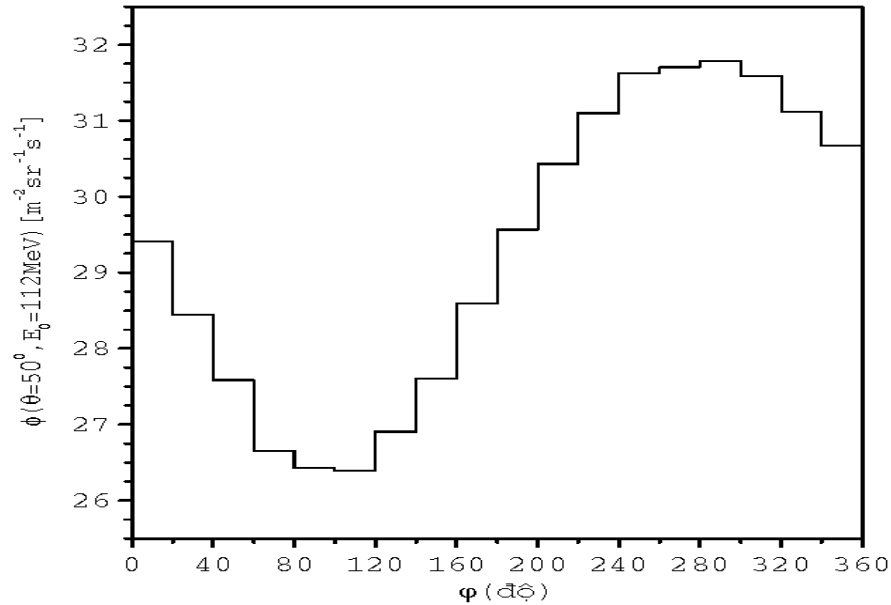


Hình 1.8: Độ bất đối xứng đông tây theo năng lượng



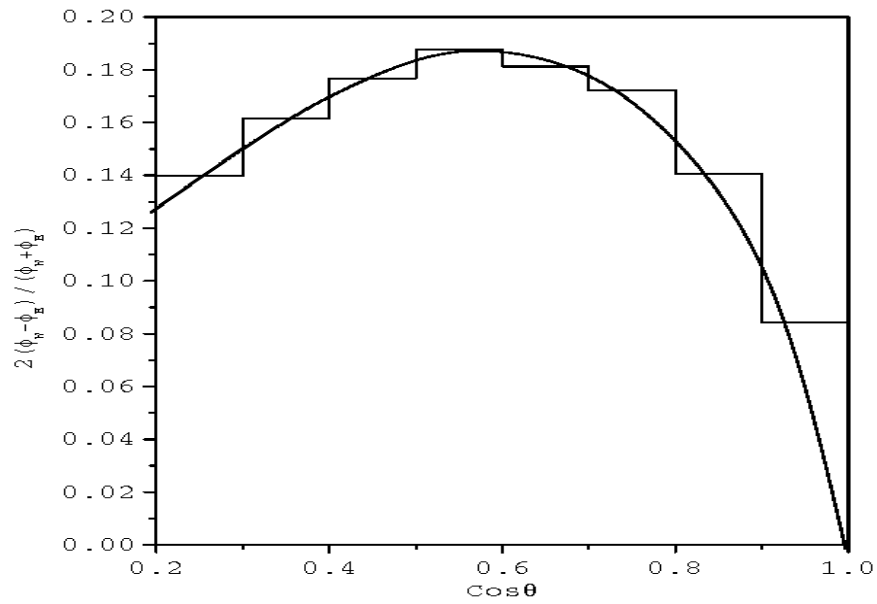
Hình 1.9: Độ khác biệt đông tây theo năng lượng

tây là $2,17\text{GeV}$ nhỏ hơn giá trị năng lượng trung bình của sự bất đối xứng điện tích $5,84\text{GeV}$, giá trị này gần với năng lượng trung bình của trường muon $4,77\text{GeV}$.

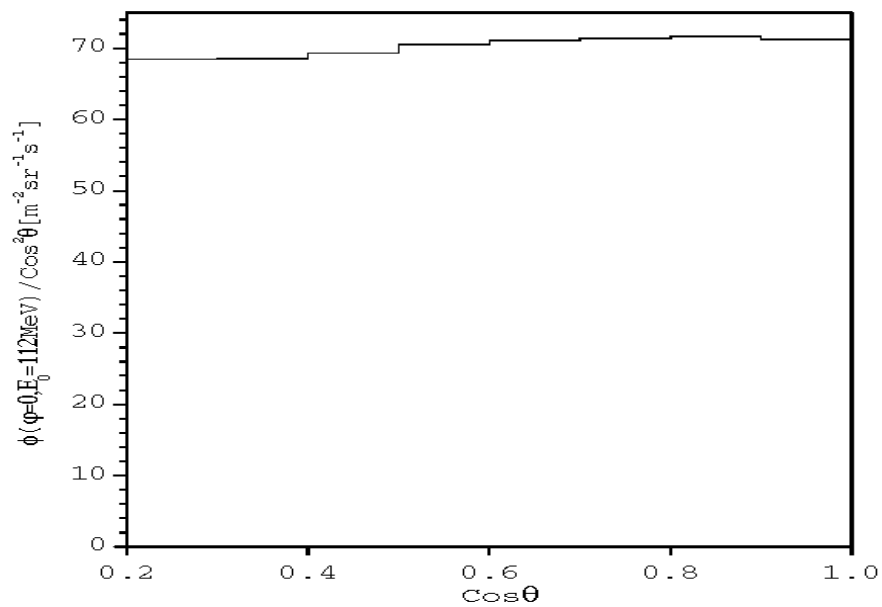


Hình 1.10: Sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc phương vị

Nguyên nhân là do sự bất đối xứng đông tây là sự kết hợp của ảnh hưởng của từ trường tác động ở lên miền năng lượng thấp và sự bất đối xứng điện tích xảy ra ở miền năng lượng cao. Hình 1.10 biểu diễn sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc phương vị khi góc thiên đỉnh $\theta = 50^\circ$. Đường biểu diễn có dạng hình Sin với cực đại xảy ra ở quanh góc 100° (hướng tây) và cực tiểu xảy ra ở quanh góc 280° (hướng đông). Hình 1.11 biểu diễn độ bất đối xứng đông tây theo $\text{Cos}\theta$, θ là góc thiên đỉnh. Độ bất đối xứng đạt giá trị cực đại bằng $18,9\%$ tại $\theta \sim 56^\circ$ và độ bất đối xứng tại $\theta = 50^\circ$ là $18,6\%$. Cuối cùng, sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc thiên đỉnh thể hiện ở hình 1.12. Giá trị thông lượng chia cho $\text{Cos}^2\theta$ có giá trị trung bình xấp xỉ $70\text{m}^2\text{sr}^{-1}\text{s}^{-1}$ và biến đổi rất ít theo góc thiên đỉnh chứng tỏ sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc thiên đỉnh tuân theo quy luật hàm $\text{Cos}^2\theta$. Sự phụ thuộc của thông lượng vào góc θ được khảo sát kỹ lưỡng ở [5] và được tóm tắt ở phần 1.3.



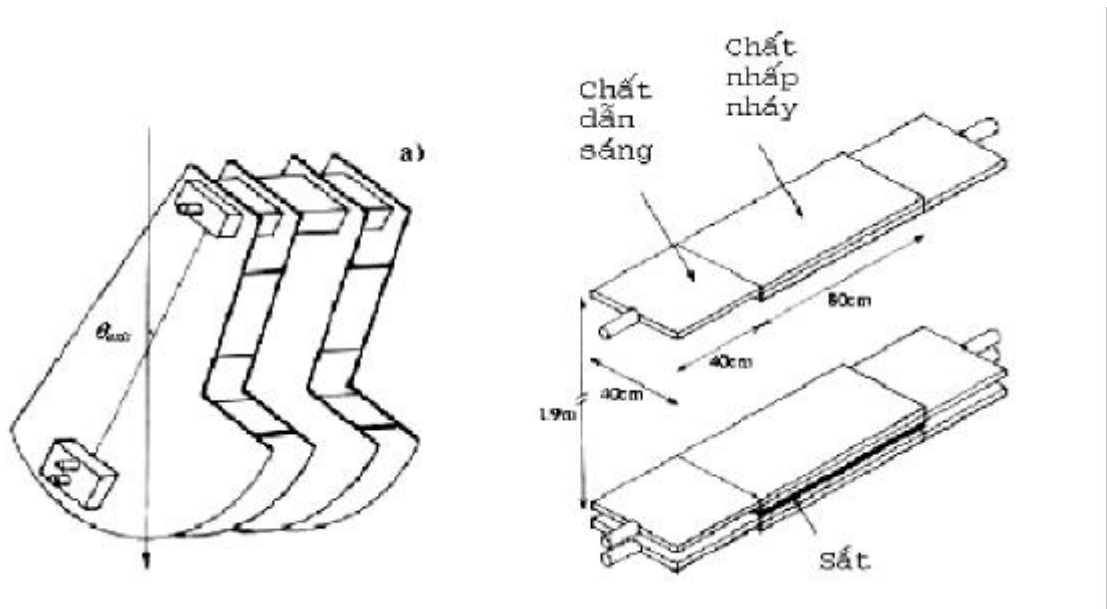
Hình 1.11: Độ bất đối xứng đông tây theo góc thiên đỉnh



Hình 1.12: Sự phụ thuộc của thông l-ợng vào góc thiên đỉnh

1.3 Thí nghiệm đo thông lượng muon tại Phòng Thí Nghiệm VATLY

Thông lượng muon trong tầng khí quyển đã được đo tại nhiều nơi ở các độ cao khác nhau bởi nhiều nhóm thực nghiệm [10,11,12]. Ở Việt Nam hiện nay, phòng thí nghiệm VATLY là nơi duy nhất tại Việt Nam tiến hành các nghiên cứu về vật lý tia vũ trụ và thành phần muon trong khí quyển nói riêng. Trong vòng hai năm kể từ khi hệ thống điện tử theo chuẩn NIM và CAMAC đưa vào hoạt động nhóm đã tiến hành đo thông lượng muon trong khí quyển và đã đạt được các kết quả đáng quan tâm. Với một viễn kính định hướng, thông lượng muon tại Hà Nội, nơi có ngưỡng rigidity (rigidity cut-off) rất lớn, đã được xác định tại các góc thiên đỉnh khác nhau [2,3,5] và tại các góc phương vị khác nhau [5]. Đồng thời, độ bất đối xứng đông tây cũng được xác định ở các góc thiên đỉnh từ 10 đến 65°. Cấu tạo của viễn kính được mô tả ở hình 1.13, nó gồm ba cặp bản nhấp nháy (scintillator plate) được gắn vào một khung có thể định hướng chính xác theo góc phương vị và góc thiên đỉnh với độ chính xác 0,2°.



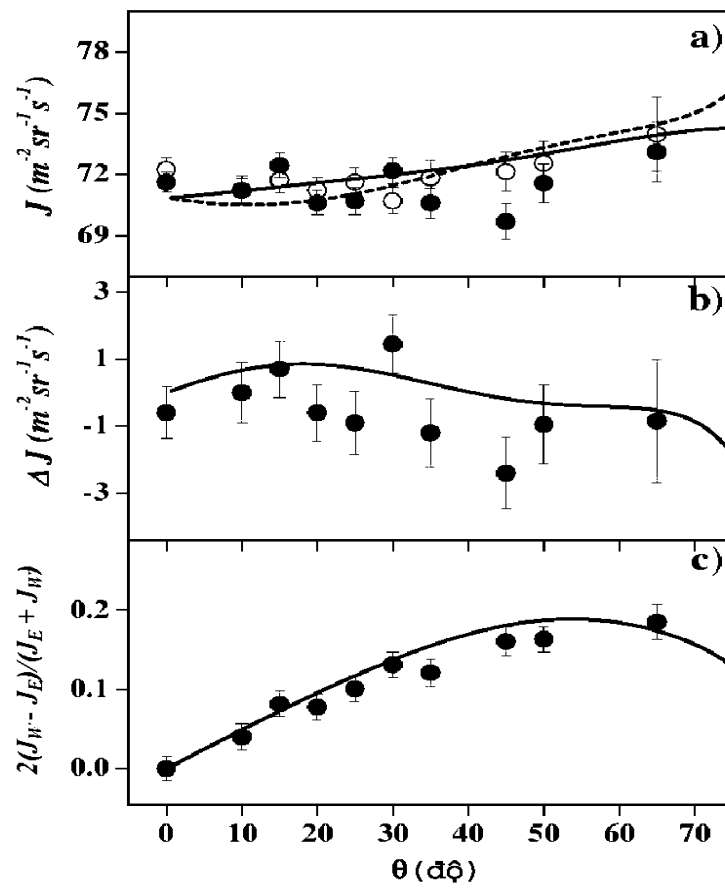
Hình 1.13: Cấu tạo của viễn kính của PTN VATLY

Mỗi bản dài 80cm, rộng 40cm, dày 3cm. ánh sáng nhấp nháy được hướng vào một photocathode của ống nhân quang (PMT) thông qua một bản dẫn sáng làm bằng

nhựa lucite, $40 \times 40 \times 3 \text{ cm}^3$ gắn vào một đầu của bản nhấp nháy. Các bản nhấp nháy thuộc cùng một cặp được phủ chồng khít lên nhau bằng bản nhựa dẫn sáng được đặt đối diện nhau nhằm ngăn sự trùng phùng các tín hiệu tạo bởi ánh sáng Cherenkov phát ra trong các bản dẫn sáng. Thực sự viễn kính được tạo bởi hai cặp bản nhấp nháy đặt cách nhau 190 cm . Cặp bản nhấp nháy thứ 3 được dùng để bắt *electron* và nó nằm sau cặp bản nhấp nháy ở dưới thấp và phân cách với cặp bản này bằng tấm thép dày 2 cm (16 g/cm^2). Mục đích của cặp bản nhấp nháy này là để loại bỏ thành phần *electron*. Ngoài ra, để xác định chính xác đóng góp của thành phần *electron*, trong quá trình thực nghiệm, viễn kính còn được bổ sung thêm các tấm chì ở khoảng trống giữa các cặp bản nhấp nháy. Mỗi khi có hạt đi vào vùng tiếp nhận của viễn kính tín hiệu trùng phùng giữa các bản nhấp nháy tạo ra tín hiệu kích xác định hạt được ghi nhận và được gọi là một sự kiện. Từ phân bố khoảng thời gian giữa hai sự kiện xuất hiện xung kích ta rút ra được tốc độ xung kích trung bình R_{trig} bằng nghịch đảo trung bình khoảng thời gian giữa hai sự kiện.

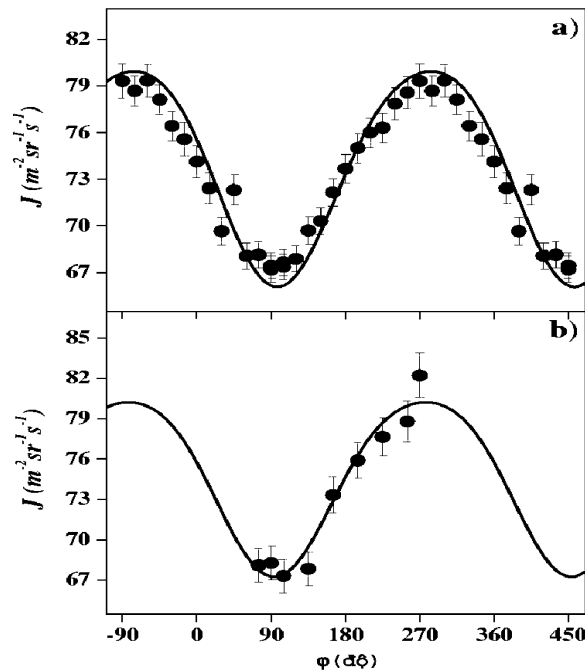
Để rút ra tốc độ xuất hiện sự kiện *muon*, cần tiến hành loại bỏ các sự kiện không phải là sự kiện *muon*. Đó là sự kiện nền, sự kiện *electron*, và sự kiện các thành phần nặng. Việc này được tiến hành qua các bước:

- Các sự kiện nền được loại bỏ bằng điều kiện thời gian bay nhỏ hơn $3,5 \text{ ns}$ (thời gian bay trung bình của *muon* giữa hai cặp bản nhấp nháy cách nhau 190 cm xấp xỉ 6 ns) và biên độ xung trung bình của bốn bản nhỏ hơn $1,5 \text{ mip}$ (1 mip bằng biên độ xung gây bởi *muon* có năng suất hãm nhỏ nhất cỡ $2 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ trong chất nhấp nháy NaI(Tl)). Các sự kiện nền có thể sinh ra do *electron* tán xạ từ ngoài vào hai bản, hoặc các hạt trong cùng một m-a rào khí quyển đến đập vào hai bản. Tỷ lệ các sự kiện thỏa điều kiện loại bỏ gọi là sự kiện tốt ρ_{good} chiếm tỷ lệ khoảng 90%.
- Các sự kiện có tín hiệu nhỏ ở cặp bản bắt *electron* được loại bỏ. Đây chính là tín hiệu gây bởi các *electron* bị suy giảm phần lớn năng lượng sau khi đi qua tấm hấp thụ, tỷ lệ các sự kiện tốt theo điều kiện này ρ_{tag} chiếm 78% và gọi là sự kiện bị bắt.
- Các sự kiện bất thỏa điều kiện biên độ xung trung bình nhỏ hơn 2 mip được gọi là các sự kiện lựa chọn chiếm tỷ lệ $\rho_{sel} \sim 96\%$. Điều kiện biên độ xung trung bình nhỏ hơn 2 mip , giúp loại bỏ thành phần *electron* và ion nặng là thành phần có biên độ xung trung bình cao hơn biên độ xung trung bình của thành phần *muon*.
- Cuối cùng các sự kiện lựa chọn được hiệu chỉnh để loại bỏ phần *electron* và ion



Hình 1.14: Sự phụ thuộc của thông lượng muon vào góc thiên đỉnh

nặng còn sót lại trong vùng biên độ xung nhỏ hơn $2mip$. Việc hiệu chỉnh được thực hiện nhờ số liệu thu được khi đi-a bản chì vào giữa cặp bản bắt electron và cặp bản nhấp nháy nằm ở d-ới thấp của viên kính. Quá trình hiệu chỉnh được mô tả kỹ l-ỡng bởi [2]. Hệ số hiệu chỉnh có dạng $\delta_{sel} = 3,6 \times (0,974 - \rho_{sel})$ biến đổi từ $\sim 6\%$ ở các góc thiên đỉnh θ nhỏ hơn 45° tới khoảng 9% tại $\theta = 65^\circ$. Kết quả tốc độ sự kiện muon trung bình cho bởi $R_\mu = R_{trig} \times \rho_{good} \times \rho_{tag} \times \rho_{sel} \times (1 - \delta_{el})$. Thông l-ợng của muon bằng R_μ / Ac , trong đó Ac là độ chấp nhận của viên kính có giá trị xấp xỉ $2,22 \times 10^{-2} m^2 sr$ cho bởi chương trình mô phỏng Monte-Carlo. Kết quả của phép đo



Hình 1.15: Sự phụ thuộc của thông l-ợng vào góc ph-ơng vị

thông l-ợng được so sánh với kết quả cho bởi chương trình mô phỏng m-a rào khí quyển một chiều của tác giả Honda [6] thường được sử dụng trong phân tích số liệu thí nghiệm của SK [7]. Giá trị thông l-ợng phụ thuộc vào góc thiên đỉnh được biểu diễn dưới dạng $Cos^2\theta(1 - bSin^2\theta)$. Giá trị b đối với thông l-ợng ở hướng bắc là $10,8 \pm 1,1\%$ và bằng $11,7 \pm 1,7\%$ đối với giá trị trung bình của thông l-ợng ở hướng đông và hướng tây. Các giá trị này trùng với giá trị tiên đoán $11,3\%$. Các kết quả đo thông l-ợng tại góc thiên đỉnh bằng không (thông l-ợng thẳng đứng) tại ba thời điểm 4/2001, 10-12/2002 và 2-5/2003 cho thấy không có sự khác biệt trong khoảng

sai số và giá trị trung bình là $70,6 \pm 1,4 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$. Giá trị này phù hợp tốt với giá trị ước đoán $70,9 m^{-2} sr^{-1} s^{-1}$. Như được biểu diễn ở hình 1.14c, giá trị độ bất đối xứng đông tây tăng từ không tại $\theta = 0^\circ$ đến $18,5 \pm 2,2\%$ tại $\theta = 65^\circ$ và phù hợp tốt với mô hình Honda với $\chi^2 = 11$ cho 10 bậc tự do. Hình 1.15a và 1.15b cho thấy sự phụ thuộc của thông lượng vào góc nghiêng vị với góc thiên đỉnh bằng 50° và 65° cho thấy sự phù hợp tốt giữa giá trị thực nghiệm và giá trị cho bởi mô hình với $\chi^2 = 53$ cho 35 bậc tự do, tuy nhiên biên độ nhỏ hơn giá trị tiên đoán khoảng $16 \pm 4\%$. Ngoài ra, kết quả thực nghiệm còn cho thấy, giá trị thông lượng tại hướng bắc và giá trị thông lượng trung bình giữa hướng đông và hướng tây bằng nhau trong khoảng sai số, $\chi^2 = 13$ cho 10 bậc tự do, hình 1.14a. Cũng trong hình này giá trị thực nghiệm của thông lượng ở hướng bắc và trung bình ở hướng tây và đông được so sánh với giá trị tính cho bởi chương trình mô phỏng của Honda, kết quả cho thấy độ phù hợp cao với giá trị $\chi^2 = 43$ cho 20 bậc tự do. Độ sai khác giữa hai thông lượng này so với mô hình nằm trong khoảng chấp nhận được với $\chi^2 = 13$ cho 10 bậc tự do, kết quả được biểu diễn ở hình 1.14b. Tóm lại, các phép đo thông lượng muon tại Hà Nội, nơi có mức nhiễu từ trường lớn nhất, đã cho phép kiểm tra tính chính xác của mô hình Honda. Kết quả cho thấy sự phù hợp cao giữa các giá trị thực nghiệm và giá trị cho bởi mô hình. Hơn nữa, kết quả thực nghiệm về độ bất đối xứng đông tây cho thấy giá trị này rất lớn và do vậy ảnh hưởng của từ trường trái đất lên độ bất đối xứng đông tây rất rõ ràng. Chính vì vậy, độ bất đối xứng đông tây có thể sử dụng như một thông số đánh giá sự thay đổi của từ trường trái đất.

Chương 2

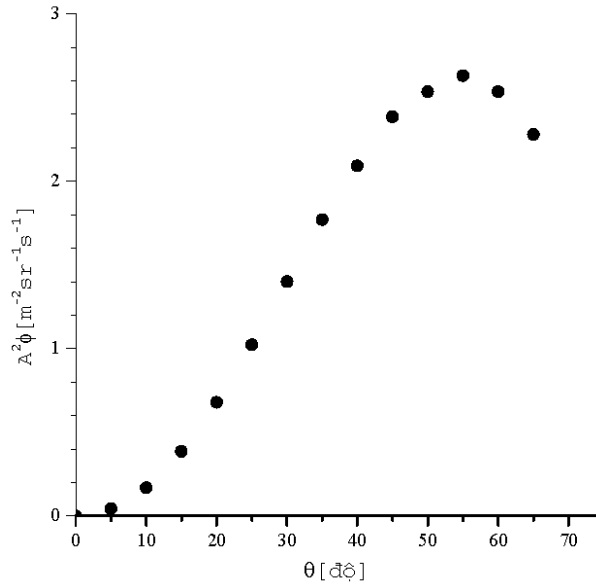
Thiết lập thí nghiệm

2.1 Thiết kế hệ đo

Yêu cầu đặt ra là hệ đo cho phép đo được độ bất đối xứng đồng tâm với độ chính xác cao và có thể hoạt động liên tục nh- đề cập đến trong phần mở đầu. Một yêu cầu nữa mang tính kỹ thuật là hệ đo phải có kết cấu đơn giản, dễ dàng thay thế, sửa chữa. Để phép đo đạt độ chính xác cao viễn kính phải có góc thiên đỉnh tại đó tốc độ của sự kiện *muon* hay thông l- ợng *muon* và độ bất đối xứng đồng tâm cao vì sai số của độ bất đối xứng đồng tâm tỷ lệ nghịch với tích số A^2R , trong đó A là độ bất đối xứng đồng tâm và R tốc độ ghi nhận sự kiện, tỷ lệ tuyến tính với thông l- ợng *muon*. Các phép đo thông l- ợng *muon* với viễn kính của phòng thí nghiệm VATLY cho thấy, một viễn kính có góc thiên đỉnh θ xấp xỉ 50° và độ chấp nhận xấp xỉ $0,2m^2sr^2$ thỏa mãn yêu cầu đo chính xác độ bất đối xứng.

Các phép đo thông l- ợng *muon* tr- ớc đây của PTN. VATLY chỉ ra rằng tỷ số thành phần *electron* và thành phần *muon* (bằng ϕ_e/ϕ_μ , ϕ_e , ϕ_μ lần l- ợt là thông l- ợng của thành phần *electron* và thành phần *muon*) cũng nh- tỷ số thành phần ion nặng và thành phần *muon* (bằng ϕ_h/ϕ_μ , ϕ_h là thông l- ợng của thành phần ion nặng) nhỏ và biến đổi rất ít theo góc thiên đỉnh và góc ph- ơng vị. Vì vậy, tỷ số thông l- ợng của *muon* đ- ợc đo một cách thuận tiện không cần phải tách thành phần *electron* và ion nặng. Do đó, việc đ- a thêm hệ thống "bắt" *electron* (electron tagg) nhằm khử thành phần *electron* và ion nặng vào hệ thống thiết kế là không cần thiết nh- các viễn kính tr- ớc đây của VATLY dùng để đo thông l- ợng *muon*. Một cấu hình đơn giản gồm ba bản nhấp nháy giống nhau đặt vuông góc với mặt đất, một bản nằm gần mặt đất

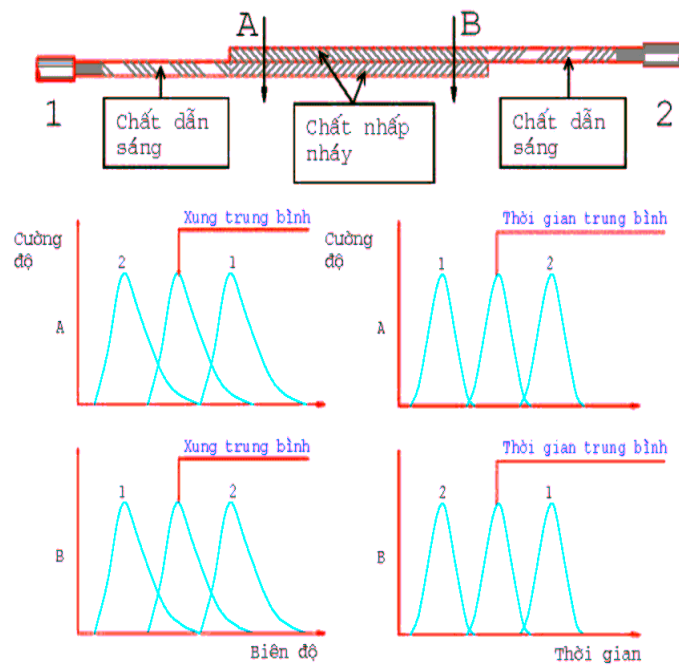
và nằm giữa hai bản còn lại được đặt ở cùng một độ cao, sao cho tạo với bản trung tâm một góc bằng 50 độ.



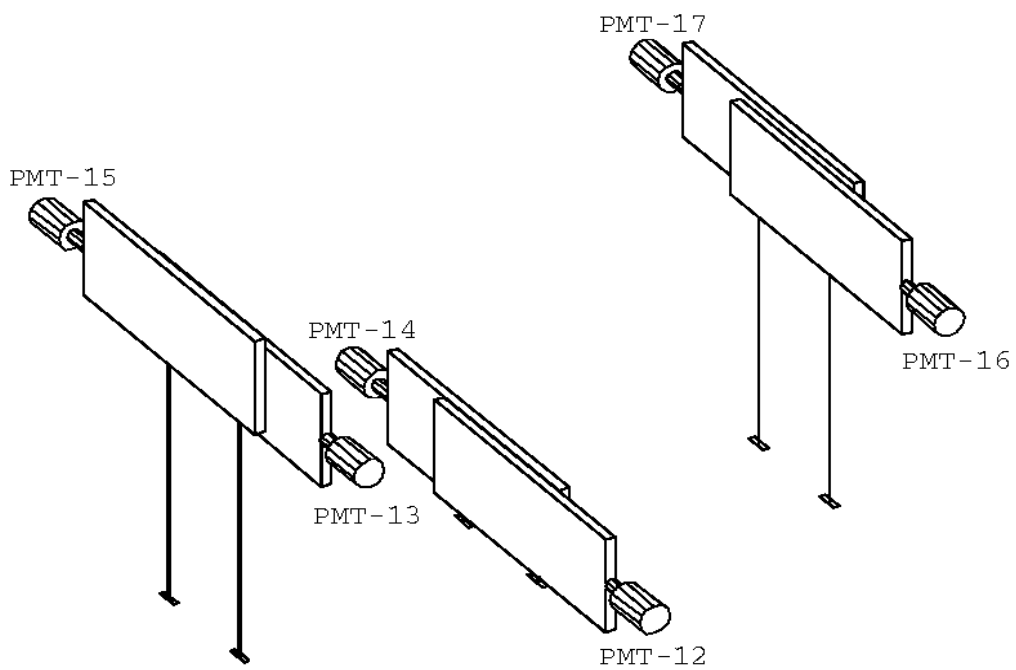
Hình 2.1: Góc ph-ong vị tối - u

Nh- vậy, hệ tạo thành hai viên kính giống hệt nhau có góc thiên đỉnh $\theta = 50^0$ và góc ph-ong vị φ lần l-ợt 90^0 (h-ớng đông) và 270^0 (h-ớng tây). Với hai viên kính này độ bất đối xứng dễ dàng đ-ợc suy ra từ tốc độ sự kiện cho bởi hai viên kính trong cùng một phép đo. Hai bản nhấp nháy của viên kính tạo thành góc khối đủ lớn để có tốc độ ghi cao và đủ nhỏ để cho độ bất đối xứng lớn. Để giảm sự trùng phùng ngẫu nhiên, mỗi bản nhấp nháy đ-ợc gắn thêm một bản nhấp nháy giống với nó tạo thành một cặp nh- hình 2.2a. Hai bản nhấp nháy đ-ợc sắp xếp sao cho phần chất nhấp nháy chồng khít lên nhau theo chiều dọc của mỗi tấm và phần chất nhựa dẫn sáng nằm đối diện nhau. Cấu tạo của bản nhấp nháy đ-ợc trình bày ở 2.2a. Mỗi bản nhấp nháy và ống nhân quang điện (PMT) tạo thành một ống đếm. Nh- vậy, hệ có sáu ống đếm đánh số lần l-ợt là 12, 13, 14, 15, 16, 17.

Với sự kết cặp của các bản nhấp nháy, mỗi sự kiện đến từ h-ớng đông hoặc tây, gọi tắt là sự kiện h-ớng đông hoặc sự kiện h-ớng tây, t-ong ứng với sự trùng phùng của tín hiệu từ bốn ống đếm. Sự tạo thành cặp còn có một lợi điểm là biên độ xung trung bình và thời điểm hạt đến các cặp bản trung bình hầu nh- không phụ thuộc vào vị trí đến của μon trên bản nhấp nháy, hình 2.2. Để tăng diện tích ghi nhận của



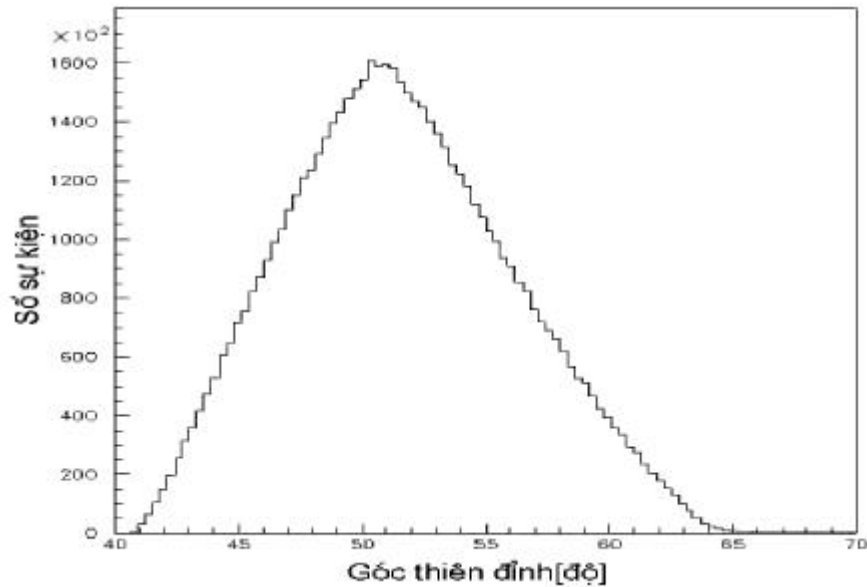
Hình 2.2: Tín hiệu của bản nhấp nháy



Hình 2.3: Sơ đồ phối cảnh của hệ đo

2.2 Độ chấp nhận của viên kính trong hệ đo

Trong chương trình mô phỏng, hai cặp bản nhấp nháy của một viên kính (cặp bản thấp và cao) được định hướng ở góc phương vị 0^0 và kích thước của chúng như biểu diễn ở hình 2.4a đưa vào chương trình mô phỏng.



Hình 2.5: Phân bố tốc độ theo góc thiên đỉnh

Mỗi sự kiện muon đi qua hai cặp bản nhấp nháy được mô phỏng bằng một cặp tọa độ ngẫu nhiên $X_i^1(x_i^1, y_i^1, z_i^1)$, $X_i^2(x_i^2, y_i^2, z_i^2)$ phân bố đều, mỗi tọa độ nằm trong kích thước hình học của một cặp bản tương ứng và được gán cho một trọng số tốc độ $dR_i = C J_i \phi_i$, trong đó J_i là jacobian chuyển đổi từ $d\sigma d\omega$ sang $dS_1 dS_2$, C là hằng số chuẩn hoá, ϕ_i là thông lượng muon, tại góc thiên đỉnh θ_i và góc phương vị φ_i , quy định bởi cặp tọa độ (X_i^1, X_i^2) . Các đại lượng cho bởi:

$$C = (S_1 S_2) / (N_{trial})$$

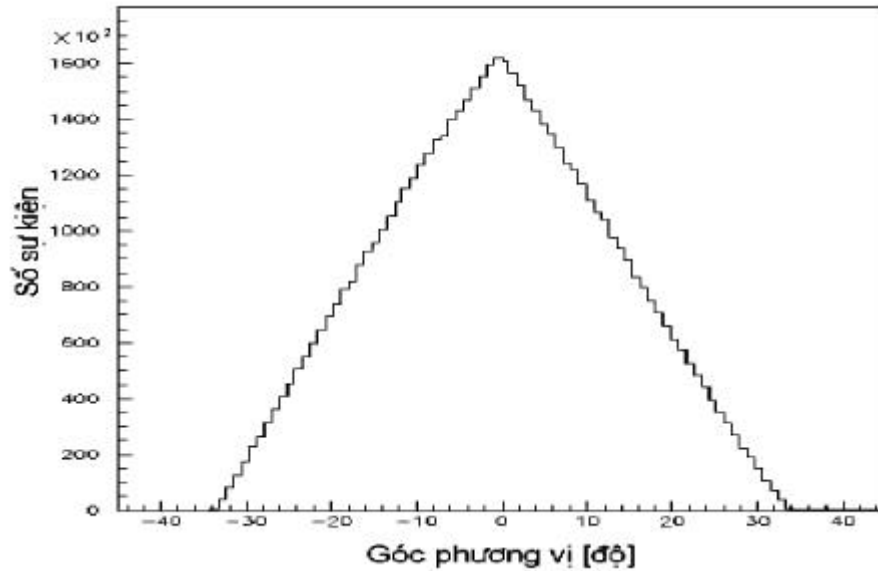
S_1, S_2 lần lượt là diện tích vùng ghi nhận hạt của mỗi cặp bản, N_{trial} là số lần gieo ngẫu nhiên.

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

$$J = \frac{C \cos^4 \alpha}{d^2}$$

α : góc tạo bởi ph-ong (θ_i, φ_i) và trục của viễn kính ($\theta_{axis} = 50^\circ, \varphi_{axis} = 0^\circ$)

d : khoảng cách giữa hai cặp bản nhấp nháy



Hình 2.6: Phân bố tốc độ theo góc ph-ong vị

Tốc độ sự kiện cho bởi ch-ong trình mô phỏng R_{MC} bằng $\sum dR_i$. Độ chấp nhận của viễn kính A_c bằng R_{MC}/ϕ_{MC} . Độ chính xác của phép tính độ chấp nhận đạt đ-ợc nhỏ hơn vài phần trăm. Ch-ong trình tính độ chấp nhận cho giá trị góc thiên đỉnh trung bình của viễn kính $\theta_{mean} = 51,53^\circ$, điều này chứng tỏ độ bất đối xứng đông tây đ-ợc thực hiện ở quanh giá trị $\theta_{axis} = 50^\circ$ nh- thiết kế. Hình 2.5 biểu diễn phân bố của tốc độ sự kiện mô phỏng theo góc thiên đỉnh, phân bố kéo dài từ $\theta = 40^\circ$ đến 67° nh- quy định bởi kích th-ớc hình học của các bản nhấp nháy. T-ong tự, phân bố tốc độ sự kiện theo góc ph-ong vị, biểu diễn ở hình 2.6, kéo dài từ $\varphi = -33^\circ$ đến 33° và đối xứng quanh góc 0° do tr-ờng *muon* và hình học của hệ đo đối xứng nhau qua góc ph-ong vị 0° .

2.3 Các ống đếm của hệ đo

Hệ đo bất đối xứng đông tây gồm sáu bản nhấp nháy loại NaI(Tl) sắp thành ba cặp nh- mô tả ở hình 2.3. Mỗi bản nhấp nháy dày khoảng 3cm bao gồm hai phần là phần

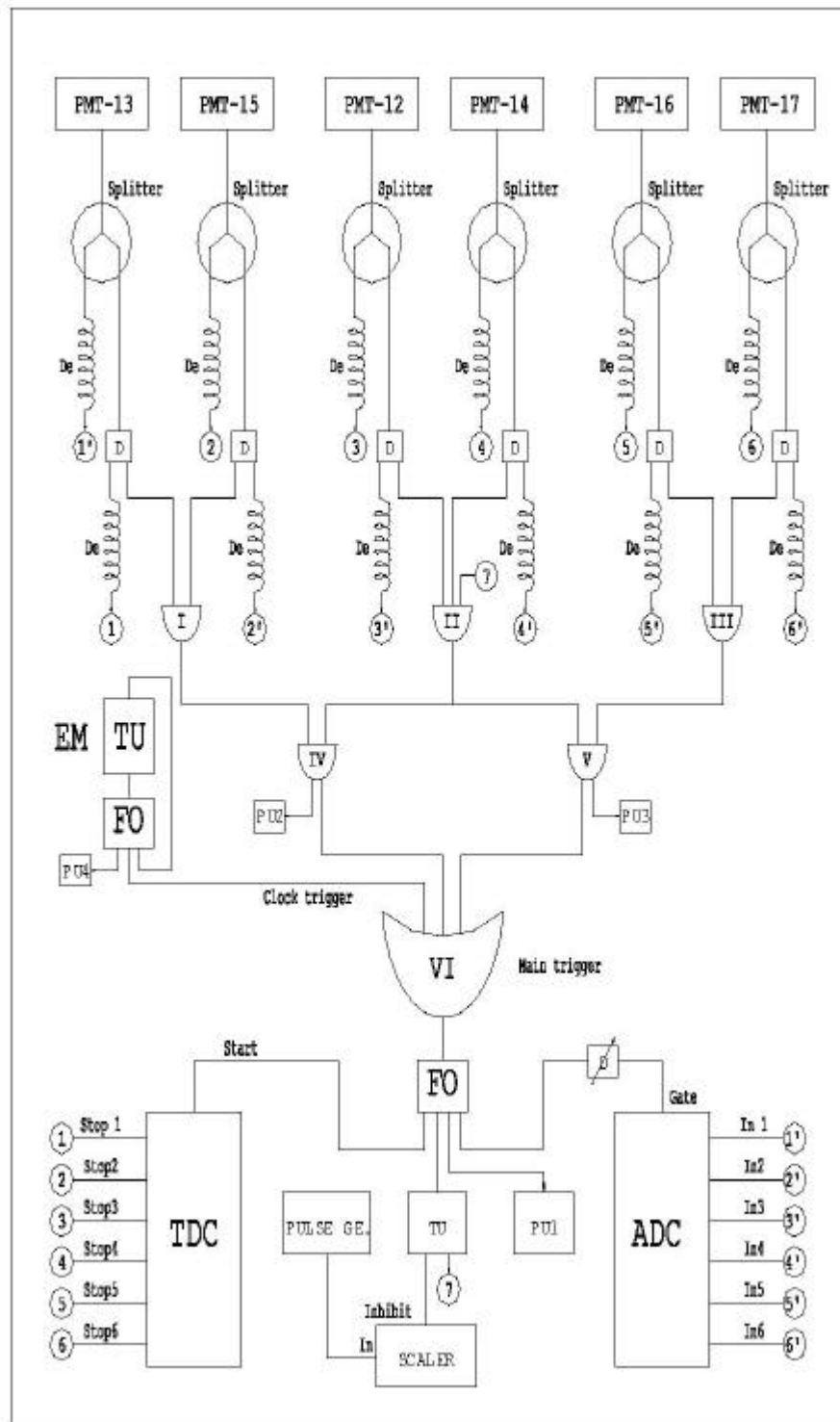
chất nhấp nháy và phân chất dẫn sáng, hình 2.2a. Bản nhấp nháy và ống nhân quang gắn vào chất nhựa dẫn sáng thông qua ống dẫn sáng tạo thành ống đếm. Nh- đã đ-ợc đề cập đến ở phần trên, phân chất dẫn sáng của hai bản nhấp nháy trong cùng một cặp đ-ợc đặt về hai phía đối diện với nhau nhằm ngăn sự trùng phùng của ánh sáng Cherenkov. Với cách bố trí nh- vậy, diện tích vùng hoạt của mỗi cặp là $40 \times 80 \text{ cm}^2$ trùng với diện tích vùng chất nhấp nháy của các bản nhấp nháy. Toàn bộ bản nhấp nháy đ-ợc bọc kín bằng lớp nhựa mỏng màu đen nhằm ngăn ánh sáng. Trước khi đ- a vào sử dụng, nhằm đảm bảo sự hoạt động tốt, các bản nhấp nháy đã đ-ợc kiểm tra kỹ lưỡng về khả năng ghi nhận *muon* tại các vùng khác nhau và toàn trên toàn bản thông qua đánh giá phổ biên độ thu đ-ợc tại các vùng khác nhau và trên toàn bản. Kết quả cho thấy không có sự sai lệch trong các phổ biên độ thu đ-ợc, giá trị trung bình của các phổ biên độ tăng nhẹ và đều đặn từ phần phía xa ống nhân quang đến vùng biên giới với chất dẫn sáng và giảm nhanh về không ở phần chất dẫn sáng phù hợp với quy luật t-ong tác của hạt với bản nhấp nháy và sự thu thập ánh sáng nhấp nháy. Sự tăng nhẹ của giá trị trung bình cho thấy đa phần ánh sáng nhấp nháy phát ra đ-ợc tụ tập về ống nhân quang. Các ống nhân quang sử dụng trong hệ đo là loại *2inch 12dynodes*. Các ống nhân quang trước khi đ- a vào sử dụng đ-ợc kiểm tra nhằm phát hiện các h- hỏng và đ-ợc xác định một điện thế hoạt động (trong khoảng 1800 đến 2200V). Tín hiệu ra từ ống nhân quang đ-ợc chia làm hai phần bằng nhau bởi bộ chia xung (splitter), một phần đ- a đến bộ phân biệt biên độ (discriminator) để loại bỏ các tín hiệu nhiễu, một phần đ-ợc đ- a đến bộ chuyển đổi t-ong tự, số (ADC-10 bit LRS 2249A, 0,25pC/kênh) để tiến hành đo biên độ xung (hình 2.7). Khi tín hiệu v-ợt ngưỡng bộ phân biệt biên độ (khoảng $0,05 \text{ mip}$), một xung chuẩn NIM bề rộng 40 ns đ-ợc tạo ra ở các lối ra của bộ phân biệt biên độ. Tín hiệu này đ-ợc sử dụng để tạo ra các tín hiệu trùng phùng giữa các bản nhấp nháy. Hoạt động của hệ điện tử đ-ợc mô tả kỹ hơn trong phần d-ới đây.

2.4 Hệ thống điện tử

Dựa trên các khối điện tử (module) cơ bản chuẩn NIM, chúng tôi thiết lập một sơ đồ điện tử của hệ đo cho ở hình 2.7. Trong sơ đồ này, các ống nhân quang (PMT) 12,13,14,15,16,17 đ-ợc nối với các bản nhấp nháy, tín hiệu sẽ xuất hiện khi có hạt đi

vào bản nhấp nháy và đ-ọc chia đôi bởi các bộ chia nh- đề cập đến ở phần trên.

Các ống nhân quang 13,15 nối với hai bản nhấp nháy của cặp bản nhấp nháy nằm trên cao về h-ớng đông, gọi tắt là cặp h-ớng đông, các ống nhân quang 12,14 nối với hai bản của cặp trung tâm nằm gần mặt đất và các ống 16,17 nối với hai bản của cặp nhấp nháy còn lại-cặp h-ớng tây, hình 2.3. Khi hạt đi vào hai cặp bản 13,15 và 12,14 tín hiệu trùng phùng xuất hiện ở cổng AND-IV đ- a giá trị của bit (bit) đánh dấu PU2 lên một xác định sự kiện hạt đến từ h-ớng đông, gọi tắt là sự kiện h-ớng đông. t-ong tự, khi hạt đi vào hai cặp bản 16,17 và 12,14 bit đánh dấu PU3 bằng một xác định sự kiện hạt đến từ h-ớng tây, gọi tắt là sự kiện h-ớng tây. Khi có sự kiện h-ớng đông hoặc tây, xung kích (trigger) xuất hiện ở lối ra của bộ trùng phùng chính (main coincidence). Xung kích đ- a giá trị của bit đánh dấu PU1 lên một xác định sự kiện h-ớng đông hoặc tây và đ-ọc đ- a vào bộ phân biệt biên độ nhằm tạo ra một tín hiệu cổng rộng $100ns$ cho phép ADC hoàn tất quá trình biến đổi t-ong tự số. Nhờ các dây làm chậm tín hiệu từ các ống nhân quang sau khi đi qua bộ chia hiện diện ở lối vào của ADC trong khoảng thời gian của tín hiệu hiệu cổng. TDC (LRS 2288, $0,5ns/kênh$) đ-ọc khởi động nhờ xung kích này và các kênh của nó đ-ọc dừng lại bằng các tín hiệu t-ong ứng ở lối ra của các bộ phân biệt biên độ nằm ngay sau bộ chia đ-ọc làm chậm. Bộ thời gian (Timing Unit) sau bộ trùng phùng chính có tác dụng tạo ra một thời gian chết cỡ vài *microgiay* sau khi xuất hiện xung kích nhằm cấm bộ trùng phùng chính trong thời gian hệ điện tử xử lý các tín hiệu và máy tính đọc dữ liệu từ hệ điện tử vào. Bộ thời gian còn lại dùng để tạo ra các xung kích đồng hồ (clock trigger) sử dụng trong việc đo mức nền của ADC (xem 3.3). Bộ đếm và máy phát xung tần số $10kHz$ đ-ọc sử dụng để đo khoảng thời gian giữa hai sự kiện (xem 3.4.4). Hệ thống đ-ọc kết nối với một máy tính PC qua khối điều khiển CAMAC CC7700 (CAMAC CC7700 controller) điều khiển việc thu nhận dữ liệu của hệ thống. Dữ liệu thu đ-ọc sẽ đ-ọc xử lý nhờ ch-ng trình xử lý nguồn mở *offline.c* và đ-ọc biểu diễn nhờ ch-ng trình PAW có thể hoạt động ở hai chế độ là chế độ động (online-khi hệ đo đang tiến hành thu nhận dữ liệu) và chế độ tĩnh (offline-khi xử lý các tập tin dữ liệu có sẵn). Các ch-ng trình điều khiển và xử lý hoạt động trong môi tr-ờng Linux. Tr-ớc khi sử dụng cho thí nghiệm, chúng tôi đã tiến hành các thí nghiệm nhằm thiết lập các thông số hoạt động cho hệ thống, sau đó hệ thống đ-ọc kiểm tra và hiệu chỉnh để có thể hoạt động một cách tốt nhất. Các thông số hoạt động quan trọng cần phải xác định là



Hình 2.7: Hệ thống điện tử của hệ đo

điện thế hoạt động của các ống nhân quang, mức ngưỡng của các bộ phân biệt biên độ, giá trị của các dây làm chậm, độ rộng của tín hiệu cổng của ADC, độ lớn của thời gian chết cấm tín hiệu xung kích... bảng dưới đây là giá trị của hai thông số hoạt động quan trọng.

ống đếm	12	13	14	15	16	17
Điện thế hoạt động (HV)	2100	2000	1885	1885	1875	1900
Làm chậm (ns)	5	12	0	9	4	7

Bảng 2.1 Hai thông số hoạt động của hệ đo

Với các thông số trên, chúng tôi nhận thấy hệ đo hoạt động ổn định và chính xác thể hiện qua phổ biên độ và phổ thời điểm xuất hiện tín hiệu của các ống đếm có dạng đặc trưng như mong đợi. Các hiện tượng nhiễu mức nền của ADC và sự mở rộng phổ đối với ống đếm số 17 không phải là hệ quả của việc xác định không đúng các thông số hoạt động mà nó liên quan trực tiếp đến hoạt động của các yếu tố nội tại bên trong thiết bị.

Chương 3

Thu nhận và xử lý số liệu thí nghiệm

3.1 Thu nhận số liệu

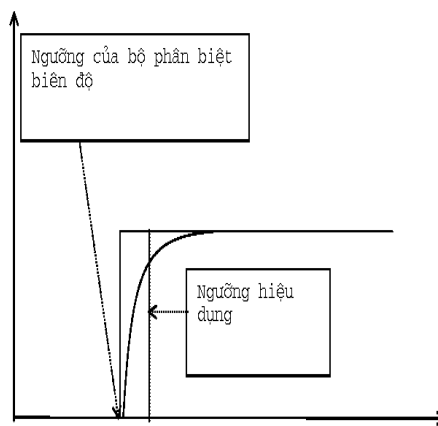
Mỗi phép đo được tiến hành trong khoảng 24 tiếng nhằm đảm bảo số sự kiện thu được trong một mẫu đo đủ lớn (khoảng 10^4 đến 10^5 sự kiện). Với 27 mẫu sự kiện, tương ứng với 30 tập tin dữ liệu, việc thu nhận số liệu kéo dài gần hai tháng. Cấu hình cố định của hệ đo cho phép tiến hành một phép đo liên tục trong khoảng thời gian dài hơn, tuy vậy chỉ cần tiến hành phép đo trong thời gian vừa đủ để thu được số sự kiện đủ lớn khi độ ổn định của hệ thống là tốt nhất. Mẫu *muon* thu nhận được bao gồm các sự kiện *electron* và bức xạ *gamma* năng lượng cao trong thành phần của mưa rào khí quyển. Việc tách ra các sự kiện *muon* trong mẫu *muon* là không cần thiết như được đề cập đến trong phần dưới đây. Mỗi một tín hiệu xung kích (trigger) xác định một sự kiện, tập hợp tất cả các sự kiện này thu được trong một phép đo gọi là mẫu sự kiện *muon*. Mỗi một sự kiện có các thông số là các giá trị biên độ xung của sáu ống nhân quang (PMT) cho bởi ADC, các giá trị thời điểm xuất hiện xung trong sáu ống nhân quang cho bởi TDC, đây chính là thời điểm một hạt đi bản nhấp nháy, số xung đồng hồ (clock) giữa hai tín hiệu xung kích liên tiếp, các tín hiệu đánh dấu (pattern unit bit). Do vậy, từ mẫu sự kiện *muon* có thể rút ra các đặc trưng của thành phần *muon* trong khí quyển như thông lượng, phổ năng lượng... nhờ một chương trình phân tích nguồn mở (offline.c). Như đã biết *muon* là một thành phần chủ yếu của mưa rào khí quyển tại mặt đất do vậy từ các đặc trưng của thành phần *muon* có thể nghiên cứu các đặc trưng của mưa rào khí quyển. Biên độ xung đo bởi các ADC được trừ đi mức nền. Khi biên độ xung vượt ngưỡng, bản nhấp nháy được định nghĩa bật

(on). Như vậy, khi bốn bản ở hướng đông hay tây bắt xác định sự kiện *muon* đến từ hướng đông, hoặc hướng tây. Sau khi thu thập một nửa số mẫu đo, hai cặp bản nhấp nháy 13,15 và 16,17 đổi chỗ nhằm kiểm tra những sai lệch trong hoạt động của các cặp bản nhấp nháy như sự chênh lệch hiệu suất ghi, sự xuất hiện các xung nhiễu. Các sai lệch này làm cho kết quả đo bất đối xứng không chính xác bởi vì yêu cầu của phép đo là các cặp bản ở hướng đông và tây phải hoàn toàn đồng nhất. Ngoài ra, việc đổi chỗ khử đi độ bất đối xứng do hình học đo gây ra (hai cặp bản nhấp nháy không hoàn toàn đối xứng hình học). Phổ biên độ của sáu ống đếm (gồm bản nhấp nháy và ống nhân quang) đo biểu diễn riêng rẽ hoặc đo lấy trung bình, ở đây biên độ xung của bốn bản ở hướng đông và hướng tây đo lấy trung bình tương ứng (13,15,12,14 và 16,17,12,14). Việc quan sát, tính toán các đặc trưng của các phổ biên độ này như giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, giúp phát hiện sự hoạt động sai lệch, kém hiệu quả hoặc hỏng của các ống đếm từ đó tiến hành điều chỉnh và sửa chữa. Đây là trường hợp của ống đếm số 17 trình bày dưới đây.

3.2 Ống đếm 17

Trong quá trình thu nhận số liệu ống đếm số 17 hoạt động không tốt. Nguyên nhân, có thể do độ chân không của ống nhân quang của ống đếm giảm xuống. Ngay sau khi phát hiện, chúng tôi tiến hành thay mới ống nhân quang và điều chỉnh lại các thông số hoạt động của ống đếm này (điện thế hoạt động, làm chậm). Sau đó, ống đếm hoạt động bình thường và cho kết quả chính xác. Việc cải thiện này thể hiện ở sự tăng của tỷ số tốc độ đếm giữa hướng tây và hướng đông (tỷ số tây-đông) lên khoảng 5%. Tỷ số này bằng tỷ số tốc độ xuất hiện của tín hiệu xung kích tương ứng với sự trùng phùng của bốn bản 16,17,12,14 (hướng tây) gọi tắt là tín hiệu xung kích hướng tây và tốc độ này tương ứng với bốn bản 13,15,12,14 (hướng đông), gọi tắt là tốc độ xung kích hướng đông. Khi ống đếm hoạt động không tốt, phổ biên độ trung bình của các bản ở hướng đông và hướng tây không có sự sai lệch đáng kể. Tuy vậy, phổ biên độ của ống đếm số 17 trong trường hợp, tỷ số tây-đông thấp mở rộng hơn so với trường hợp còn lại. Điều này có nghĩa là, một số sự kiện biên độ thấp đã bị cắt bởi ngưỡng làm cho tốc độ ghi nhận của ống đếm 17 giảm xuống kéo theo tốc độ hướng tây giảm làm cho tỷ số tây-đông giảm xuống. Nguyên nhân của hiện tượng

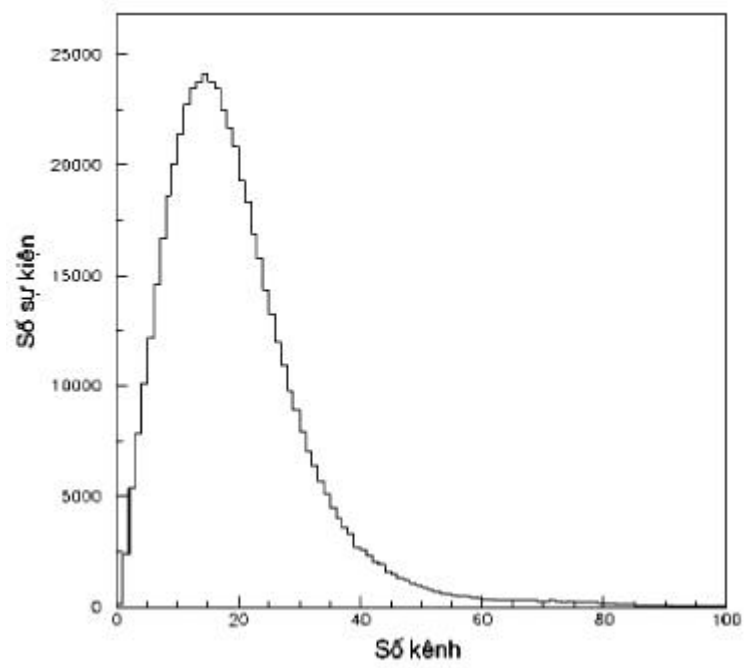
này là do độ chân không của môi trường chân không trong ống nhân quang 17 giảm xuống (đây là các ống nhân quang rất cũ). Để khẳng định những lập luận trên, chúng tôi tiến hành hiệu chỉnh phổ biên độ nhằm tìm ra độ chênh lệch 5% của các tỷ số tây-đông tương ứng với số sự kiện bị cắt bởi ngưỡng trong trường hợp ống đếm 17 hoạt động kém là 5%. Đầu tiên, chúng xác định một mức ngưỡng biên độ, sự kiện có biên độ xung dưới ngưỡng này sẽ bị loại bỏ. Mức ngưỡng này trong trường hợp lý tưởng là mức ngưỡng của bộ phân biệt biên độ (discriminator). Tuy nhiên, trong thực tế, mức ngưỡng này bị nhòe ra (nhìn hình 3.1). Nguyên nhân do một số xung có đặc tính thời gian kém, xung kéo dài hơn mức bình thường nên biên độ thấp không vượt ngưỡng được. Do đó, mức ngưỡng hiệu dụng được lấy ở kênh thứ hai cao hơn mức ngưỡng của bộ phân biệt biên độ.



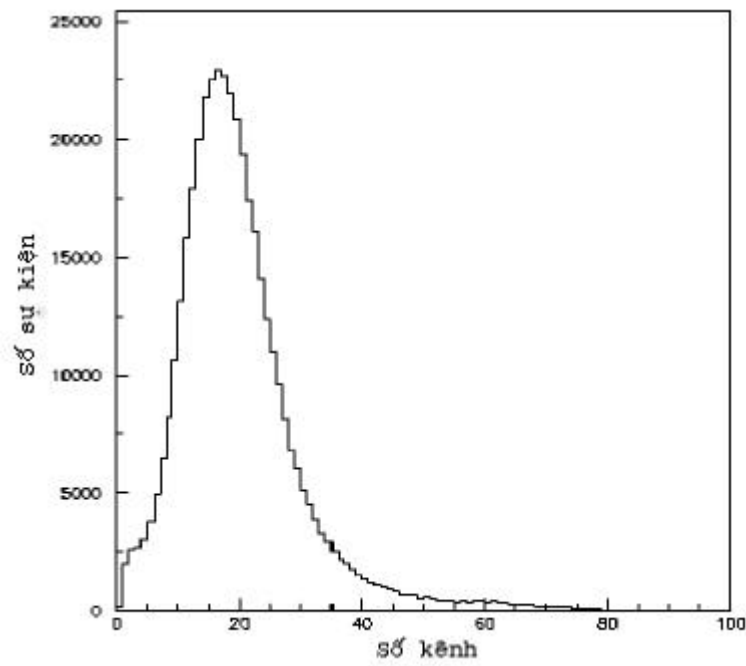
Hình 3.1: Mức ngưỡng hiệu dụng

Để có thể tìm ra số sự kiện bị mất, chúng tôi thay phổ biên độ của ống đếm 17 trong trường hợp tỷ số tây-đông cao (trường hợp này ống đếm 17 hoạt động tốt) bằng một phổ mới được tạo ra bằng cách làm "loang" số đếm ở mỗi kênh của phổ cũ theo hàm Gauss, bề rộng δ .

Do đó chúng tôi sẽ thu được một phổ mới có độ lệch chuẩn (*rms*) lớn hơn. Phổ mới sẽ được làm khớp với phổ trong trường hợp ống đếm 17 hoạt động kém từ kênh trên ngưỡng đến cuối phổ. Phổ mới sau khi làm khớp sẽ mô phỏng cho phổ biên độ thu được trong trường hợp ống đếm 17 hoạt động kém. Đây là mô hình phù hợp so với mô hình làm hẹp lại phổ trong trường hợp ống đếm 17 hoạt động kém, bởi vì tỷ lệ số sự kiện bị mất là rất lớn (khoảng 10%). Với trường hợp δ là hằng số tức là mọi

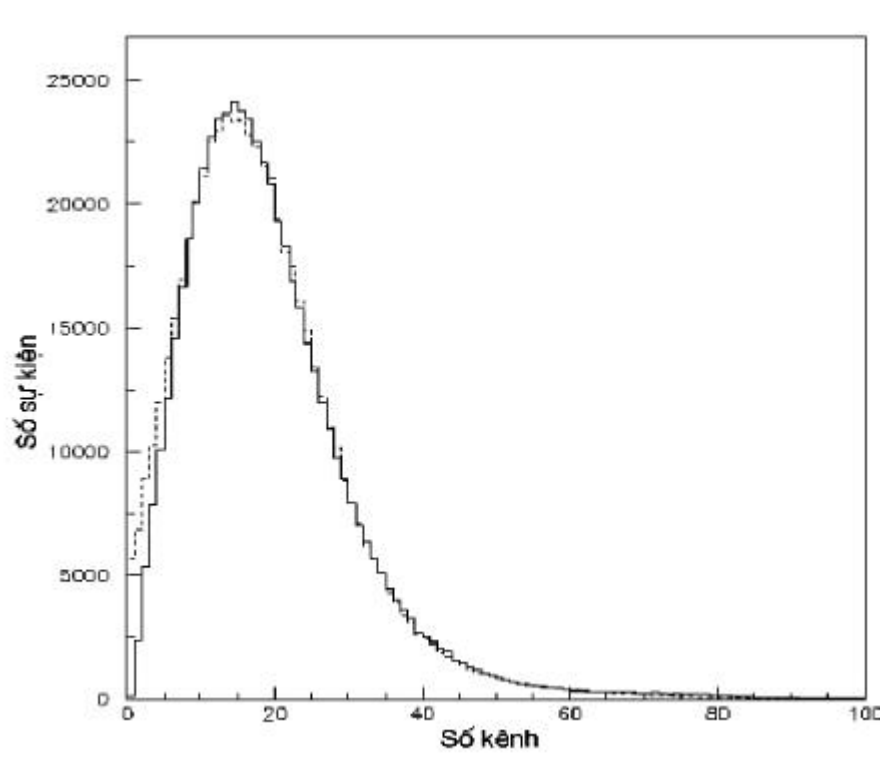


Hình 3.2: Phổ biên độ của ống đếm 17 khi hoạt động kém



Hình 3.3: Phổ biên độ của ống đếm 17 khi hoạt động tốt

kênh đều được làm "loang" ra với bề rộng nh- nhau, số sự kiện bị mất v- ợt quá 5%. Ngược lại, trong tr- ờng hợp δ tỷ lệ với biên độ xung, cho số sự kiện mất nhỏ khoảng 3%. Mô hình $\delta = x^n$ mô tả tốt sự mở rộng phổ với khoảng rộng giá trị n xung quanh $n = 0,4$, thể hiện qua χ^2 có độ lớn hợp lý. Với $n = 0,4$, chúng tôi tìm thấy số sự kiện bị mất là 5% và phổ biên độ phù hợp tốt với phổ biên độ trong tr- ờng hợp ống đếm 17 hoạt động kém, với χ^2 bằng 371 cho 48 bậc tự do.

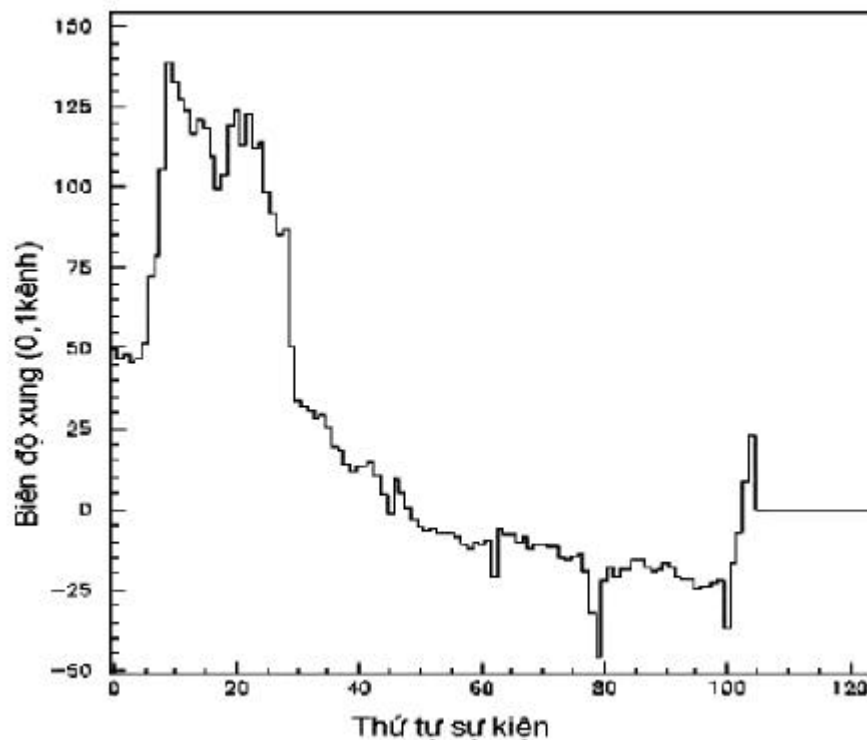


Hình 3.4: Phổ biên độ hiệu chỉnh

Việc giải thích rõ ràng sự sai lệch trong hoạt động của ống đếm 17 tạo cơ sở vững chắc cho việc hiệu chỉnh các giá trị tỷ số tốc độ trong tr- ờng hợp ống đếm này hoạt động kém lên 5%. Với sự hiệu chỉnh này các kết quả tỷ số tốc độ đông-tây và tây-đông thu được hoàn toàn chính xác, do vậy kết quả đo độ bất đối xứng là đáng tin cậy nh- ược phân tích kỹ hơn trong phần sau.

3.3 Mức nền của ADC

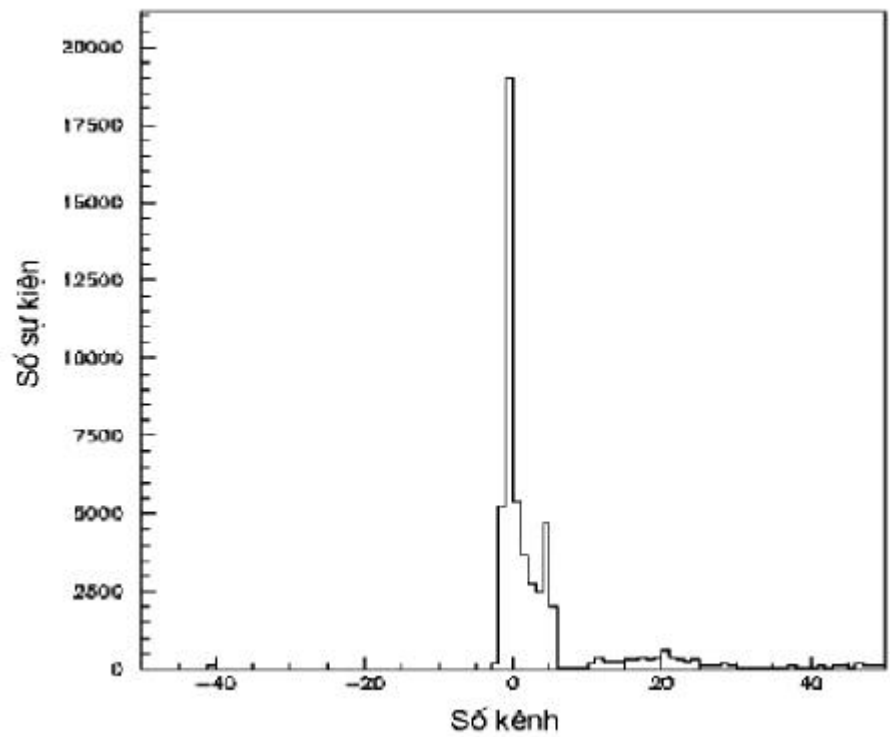
Khi biên độ tín hiệu ở lối vào bằng 0, ADC vẫn tạo ra một giá trị điện thế ở lối ra (d-ới dạng số hóa) đ-ợc gọi là mức nền (pedestal). Vì vậy, biên độ xung của tín hiệu cần phải trừ đi mức nền này. Một yêu cầu đặt ra là xác định đúng mức nền của ADC t-ong ứng với các ống đếm, gọi tắt là mức nền của ống đếm, với cùng trở kháng ở lối vào ADC nh- khi đo tín hiệu cho các phép đo. Ban đầu, việc xác định mức nền của các ống đếm đ-ợc thực hiện vào thời điểm bắt đầu phép đo bằng việc tạo ra khoảng 40 xung kích đồng hồ (clock trigger) từ một vòng kín (loop) của bộ thời gian (timer), hình 2.7, trong lúc tín hiệu trùng phùng của sự kiện bị cấm. Vì khi có xung kích đồng hồ không có tín hiệu ở các lối vào ADC nên các giá trị điện thế cho bởi ADC là mức nền của các ống đếm. Giá trị trung bình của mức nền này t-ong ứng với 40 xung kích đồng hồ đ-ợc chọn là giá trị hiệu chỉnh biên độ xung của các ống đếm trong phép đo. Chúng tôi có thể theo dõi mức nền của ống đếm trong tr-ờng hợp các



Hình 3.5: Sự trôi của mức nền của ADC

ống đếm liên hệ gián đoạn với tín hiệu kích nghĩa là khi tín hiệu kích xuất hiện có

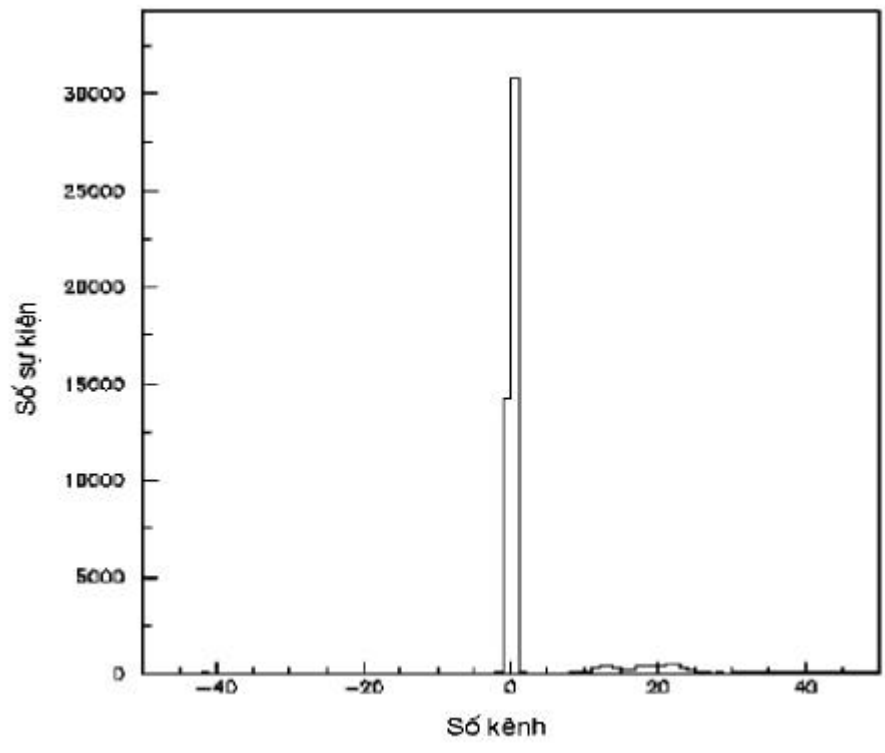
thể có hoặc không có tín hiệu trong các ống đếm này.



Hình 3.6: Phổ mức nền của ADC trước khi hiệu chỉnh

Với sơ đồ logic ở hình 2.7, khi có tín hiệu trùng phùng của 13,15,12,14 xung kích xuất hiện ở lối ra của bộ trùng phùng chính (main coincidence), do vậy ADC cho giá trị biên độ của xung ở lối vào, vì các ống đếm 16, 17 không có tín hiệu nên các giá trị điện thế tương ứng cho bởi ADC là mức nền của các ống đếm này. Tương tự, khi tín hiệu kích là 16, 17, 12, 14, giá trị điện thế cho bởi ADC tương ứng với ống đếm 13, 15 là mức nền của các ống đếm 13 và 15. Khi có xung kích, các ống đếm 12 và 14 luôn có tín hiệu vì vậy không thể xác định được mức nền. Việc trừ đi mức nền được bổ sung một lượng bằng độ chênh lệch giữa mức ngưỡng và điểm bắt đầu phổ sao cho điểm bắt đầu phổ nằm tại mức ngưỡng. Chúng tôi nhận thấy, trong quá trình hoạt động, mức nền thay đổi. Điều này dễ dàng nhận biết đối với các ống đếm 13, 15, 16, 17 khi mức nền của chúng được đo trực tiếp. Phổ của mức nền của các ống đếm này mở rộng hoặc xuất hiện các đỉnh như hình 3.6. Để khắc phục hiện tượng này, chúng tôi thêm vào bộ trùng phùng chính các xung kích đồng hồ, tần số thấp $0,1\text{Hz}$ gọi là xung kích mức nền (pedestal trigger) trong suốt quá trình đo như hình

2.7. Như vậy, chúng tôi có thể liên tục xác định mức nền của các ống đếm trong quá trình đo mỗi khi có xung kích mức nền. Do vậy, việc trừ đi mức nền được thực hiện một cách chính xác.



Hình 3.7: Phổ mức nền của ADC sau khi hiệu chỉnh

Kết quả được thể hiện ở hình 3.7 cho thấy việc điều chỉnh này rất hiệu quả. Ngoài ra, sơ đồ xác định mức nền liên tục cho phép kiểm tra lại mức ngưỡng của bộ phân biệt, điều này khẳng định việc trừ mức nền được thực hiện đúng đối với các phép đo không sử dụng sơ đồ này.

3.4 Phân tích số liệu thí nghiệm

3.4.1 Lựa chọn số liệu để xử lý

Từ mẫu muon thu được, chúng tôi loại bỏ các sự kiện nhiễu, sự kiện phông và các sự kiện xấu. Phân bố của các sự kiện này được nhận thấy dễ dàng khi biểu diễn chúng theo thời điểm xuất hiện. Các sự kiện xấu là các sự kiện không có tín hiệu đánh dấu hướng đông ($pu_2=1$) hoặc hướng tây ($pu_3=1$) nhưng có tín hiệu đánh dấu

của sự trùng phùng chính ($p_{u1}=1$), thời điểm xuất hiện xung quá lớn (lớn hơn $100nS$) hoặc nhỏ hơn không. Tỷ lệ các tín hiệu xấu này vào khoảng 1% tổng số sự kiện trong mẫu muon. Như vậy, hầu như tất cả sự kiện trong mẫu đều được giữ lại để phân tích. Một vấn đề cần phải xem xét là tỷ lệ trùng phùng ngẫu nhiên (accidental coincidence). Số sự kiện trùng phùng ngẫu nhiên giữa các cặp bản nhấp nháy chiếm tỷ lệ nhỏ hơn 2% tổng số sự kiện. Tuy nhiên, biên độ xung của các tín hiệu này rất nhỏ, do vậy ảnh hưởng của chúng lên độ chính xác của kết quả đo có thể bỏ qua. Tóm lại, các sự kiện được phân tích là các sự kiện có biên độ xung vượt ngưỡng bộ phân biệt biên độ (cỡ $0,05mip$) và có các tín hiệu đánh dấu đúng, nếu là sự kiện tương ứng với sự trùng phùng bốn bản ở hướng tây, sự kiện hướng tây thì $p_{u2}=1$ và $p_{u1}=1$, nếu là sự kiện hướng đông thì $p_{u3} = 1$ và $p_{u1} = 1$.

3.4.2 Sự hiệu chỉnh mức nền và chuẩn hóa biên độ

Để tính được độ bất đối xứng đông tây cần xác định rõ sự kiện muon đến từ hướng đông hay hướng tây, gọi tắt là sự kiện hướng tây và sự kiện hướng đông. Các sự kiện nhiễu, sự kiện phản xạ... đã được loại bỏ bởi chương trình phân tích như đề cập đến ở phần 3.4.1. Tuy nhiên cần xem xét phổ biên độ của các sự kiện trong mẫu muon nhằm khẳng định tính đúng đắn của quá trình loại bỏ trên, cũng như để bỏ các sự kiện thu được là sự kiện mẫu muon (gồm muon, phần nhỏ electron và ion nặng-hadron). Ngoài ra việc xem xét phổ biên độ giúp đánh giá sự hoạt động của hệ thống. Đầu tiên biên độ xung của ống đếm cho bởi ADC, được trừ đi mức nền của ADC, sau đó chia cho giá trị trung bình. Giá trị thu được hiệu chỉnh theo phương sai của muon trong bản nhấp nháy so với phương sai góc với bản nhấp nháy dựa vào độ sai lệch thời điểm xuất hiện xung giữa bản cho biên độ xung cần hiệu chỉnh và bản nhấp nháy nằm cùng cặp với nó (chẳng hạn cặp 13, 15 hay 12,14). Giá trị hiệu chỉnh biên độ do phương sai khác nhau tỷ lệ với độ sai lệch này vì độ sai lệch càng lớn phương sai so với phương sai góc với bề mặt bản càng lớn, do vậy quãng đường đi trong bản càng lớn, năng lượng truyền cho bản nhấp nháy càng lớn. Giá trị thời điểm xuất hiện xung sử dụng ở đây đã được hiệu chỉnh hiện tượng thời gian tăng xung (hiện tượng time slewing, tỷ lệ với biên độ xung cho bởi ADC, có giá trị trung bình cỡ $0,3ns$). Đối với trường hợp không sử dụng sơ đồ kiểm tra liên tục mức nền ADC một giá trị

hiệu chỉnh nhỏ được áp dụng cho biên độ xung. Giá trị này có độ lớn trung bình là 5 kênh và dễ dàng được xác định khi quan sát các đồ thị biểu diễn mức nền nh- đề cập đến ở phần 3.3. Tóm lại, ta có biên độ xung chuẩn hóa $phnorm_i$ của ống đếm thứ i là:

$$phnorm_i = \left(\frac{ph_i - ped_i - pedcor_i}{ph_{mean}} \right) (1 + b_i \cdot \Delta t_i)$$

ph_i : biên độ xung của ống đếm i

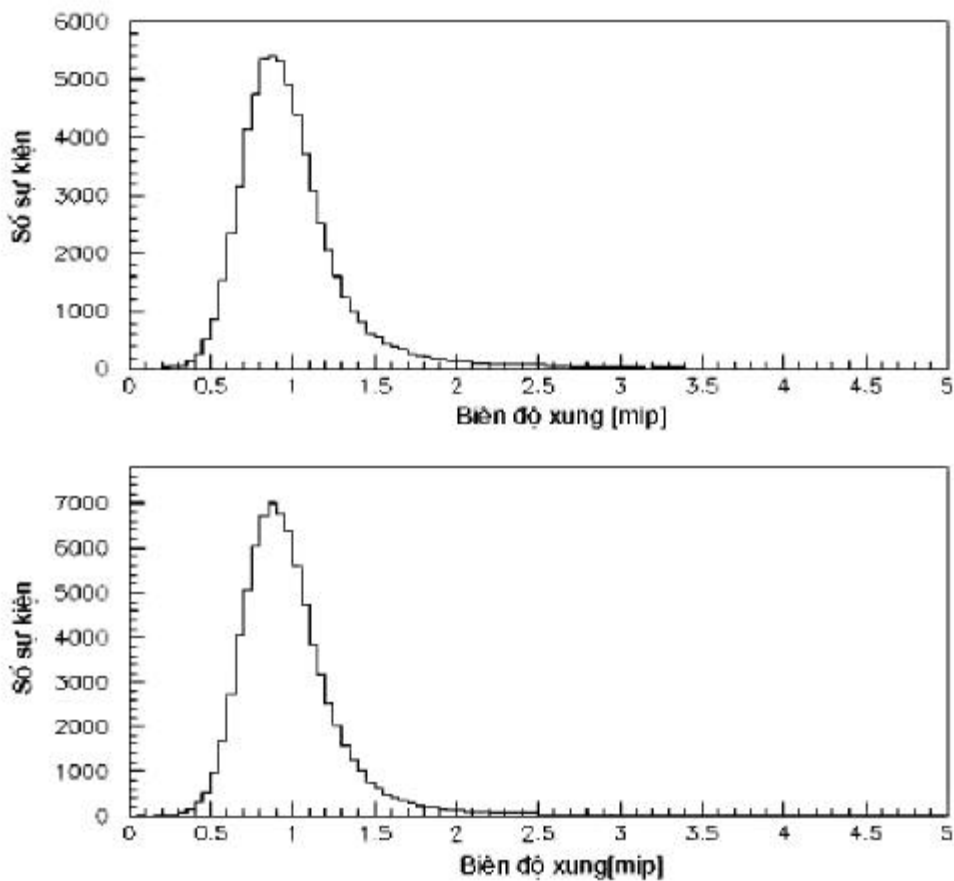
ped_i : mức nền ADC của ống đếm i

$pedcor_i$: giá trị hiệu chỉnh sự trôi mức nền.

Δt_i : khác biệt thời điểm xuất hiện tín hiệu giữa hai bản trong cùng một cặp

b_i : hệ số hiệu chỉnh góc bay, có giá trị khoảng 0,015

Phổ biên độ chuẩn hóa của các sự kiện h- ống đồng thu được khi lấy trung bình phổ

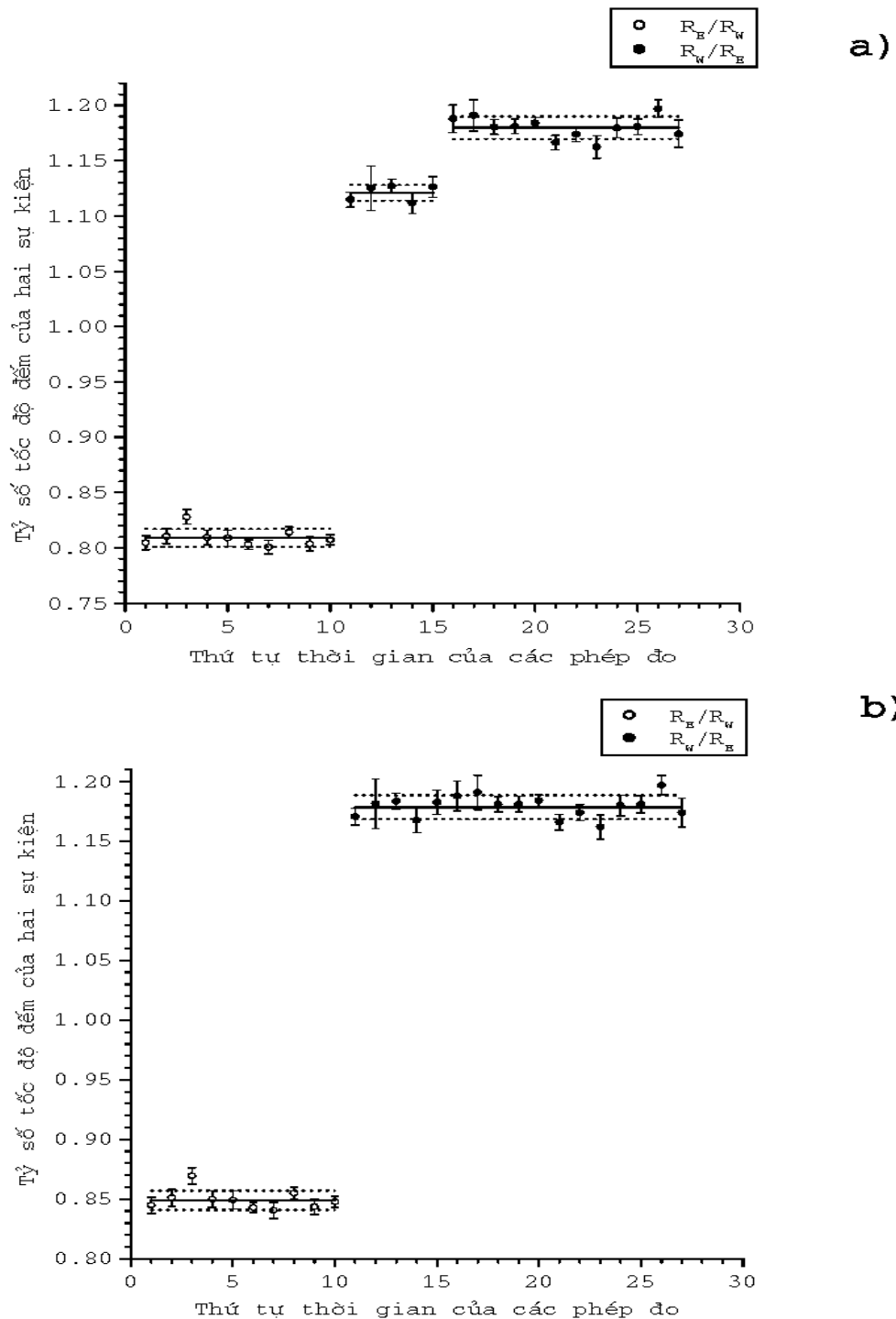


Hình 3.8: Phổ biên độ chuẩn hóa của hai cặp 16,17,12,14 (trên) và hai cặp 13,15,12,14(d-ới)

biên độ chuẩn hóa của các ống đếm t-ơng ứng với h-ớng đông. t-ơng tự, chúng tôi thu đ-ợc phổ biên độ chuẩn hoá của các sự kiện h-ớng tây. Kết quả cho ở hình 3.8. Phổ biên độ chuẩn hóa có dạng phân bố Landau với tỷ số độ lệch chuẩn (*rms*) và giá trị trung bình là 0,44. Các đặc điểm của các phổ này phù hợp với các đặc điểm của phổ đặc tr-ợng cho bởi t-ơng tác của *muon* năng l-ợng trung bình 4,77GeV với bản nhấp nháy, bởi sự tụ tập ánh sáng về ống nhân quang và hiệu ứng nhân quang điện trong ống nhân quang. Dạng phổ này có thể dựng lại nhờ ch-ợng trình mô phỏng Monte-Carlo mô phỏng các quá trình trên. Nh- vậy mẫu sự kiện *muon* đã đ-ợc thu thập đúng bao gồm phần lớn các sự kiện *muon* đồng thời quá trình loại bỏ sự kiện xấu..., loại bỏ đ-ợc các sự kiện này đến mức thấp nhất không làm ảnh h-ớng đến kết quả đo. Với các sự kiện h-ớng đông và tây có phổ biên độ đ-ợc biểu diễn ở hình 3.8 có thể rút ra đ-ợc độ bất đối xứng đông tây tại Hà Nội nh- đ-ợc trình bày trong phần d-ới đây. Đồng thời, các phổ biên độ *muon* này khẳng định sự hoạt động tốt của hệ đo.

3.4.3 Tỷ số tốc độ các sự kiện và độ bất đối xứng đông tây

Các tỷ số giữa tốc độ của các sự kiện xung kích ứng với sự trùng phùng của bốn bản 16,17,12,14 và của bốn bản 13,15,12,14 đ-ợc thể hiện trên hình 3.9a và 3.9b. Ở đây, các giá trị tỷ số đ-ợc biểu diễn theo thứ tự thời điểm tiến hành phép đo, hai phép đo liên tiếp nhau cách nhau một đơn vị. Cách biểu diễn này giúp kiểm soát tốt thí nghiệm vì cho phép phát hiện các sai lệch trong chuỗi phép đo, nh- tr-ờng hợp ống đếm số 17, cũng nh- thể hiện các thay đổi trong bố trí hình học phép đo nh- phân tích d-ới đây. Ban đầu hai bản 16, 17 nằm ở h-ớng đông, sau đó đ-ợc đổi sang h-ớng tây do đó trong tr-ờng hợp đầu tỷ số tốc độ nh- định nghĩa ở trên, là tỷ số giữa tốc độ của các sự kiện h-ớng đông và các sự kiện h-ớng tây R_E/R_W , trong tr-ờng hợp sau là tỷ số giữa h-ớng tây và h-ớng đông R_W/R_E . Sự suy giảm kh năng hoạt động của ống đếm số 17 đ-ợc thể hiện rõ ở hình 3.9a ứng với sự nhảy bậc của giá trị tỷ số R_W/R_E lên 5%, sự thay đổi hình học đo nh- đề cập đến ở trên ứng với sự nhy bậc đầu tiên. Hình 3.9b là các giá trị tỷ số ứng với ống đếm 17 hoạt động kém đ-ợc hiệu chỉnh nâng lên 5%. Các giá trị thu đ-ợc phân bố đều đặn xung quanh giá trị trung bình và phù hợp với giá trị trung bình trong khoảng sai số của dữ liệu và độ



Hình 3.9: Tỷ số tốc độ sự kiện

lệch chuẩn của giá trị trung bình. Bảng 3.1 là giá trị của các tỷ số của các phép đo.

STT	$R_{16,17,12,14}$	$R_{13,15,12,14}$	Tỷ số	STT	$R_{16,17,12,14}$	$R_{13,15,12,14}$	Tỷ số
1	28698	35663	0.845	15	29561	26246	1.183
2	26360	32519	0.851	16	19841	16703	1.188
3	28984	35001	0.870	17	15077	12658	1.191
4	26850	33170	0.850	18	69642	58991	1.181
5	22604	27949	0.849	19	68701	58167	1.181
6	64083	79809	0.843	20	131211	110793	1.184
7	28682	35823	0.841	21	68966	59126	1.166
8	52114	64005	0.855	22	67706	57684	1.174
9	28747	35777	0.844	23	28116	24187	1.162
10	57504	71230	0.848	24	39144	33182	1.180
11	57507	51579	1.171	25	57770	48926	1.181
12	6777	6023	1.181	26	50118	41872	1.197
13	68824	61054	1.184	27	20060	17081	1.174
14	28586	25712	1.167				

Bảng 3.1 Tỷ số giữa tốc độ sự kiện của hai cặp bản 16,17;12,14 và hai cặp bản 13,15;12,14.

Độ bất đối xứng đồng tây đ-ợc dẫn ra nh- sau: Gọi α là hệ số bất đối xứng, thông l-ợng của muon h-ớng đông ϕ_E và h-ớng tây ϕ_W lần l-ợt là:

$$\phi_E = \phi_0(1 - \alpha)$$

$$\phi_W = \phi_0(1 + \alpha)$$

Độ bất đối xứng A bằng

$$A = \frac{\phi_W - \phi_E}{1/2(\phi_W + \phi_E)} = 2\alpha$$

Với

$$\frac{\phi_W}{\phi_E} = \frac{1 + \alpha}{1 - \alpha} = \frac{R_W}{R_E} = 1,1785$$

ta có $A = 0,163$ Ngoài ra độ tin cậy của các số liệu thí nghiệm đ-ợc khẳng định qua tính toán nh- sau: Tr-ờng hợp cặp bản 16,17 ở h-ớng đông, cặp 13,15 nằm ở h-ớng tây, ta có tỷ số tốc độ sự kiện thực nghiệm giữa h-ớng tây R_W^1 và h-ớng đông R_E^1 là:

$$\frac{R_W^1}{R_E^1} = \frac{\phi_W A c \epsilon_1}{\phi_E A c \epsilon_2}$$

Với $\epsilon_1 \sim \epsilon_2 \sim 1$ lần l-ợt là hiệu suất ghi của viên kính tạo bởi hai cặp bản 13,15 và 12,14 và của viên kính tạo bởi hai cặp bản 16,17 và 12,14. Ac là độ chấp nhận chung

của hai viễn kính, vì hai viễn kính có độ chấp nhận bằng nhau. Khi hai bản 16,17 ở hướng tây và hai bản 13,15 ở hướng đông ta có:

$$\frac{R_E^2}{R_W^2} = \frac{\phi_E A c \epsilon_1}{\phi_W A c \epsilon_2}$$

R_E^2, R_W^2 lần lượt là tốc độ sự kiện thực nghiệm ở hướng đông và tây Do đó:

$$\sqrt{\frac{R_W^1 R_E^2}{R_E^1 R_W^2}} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \sim 1$$

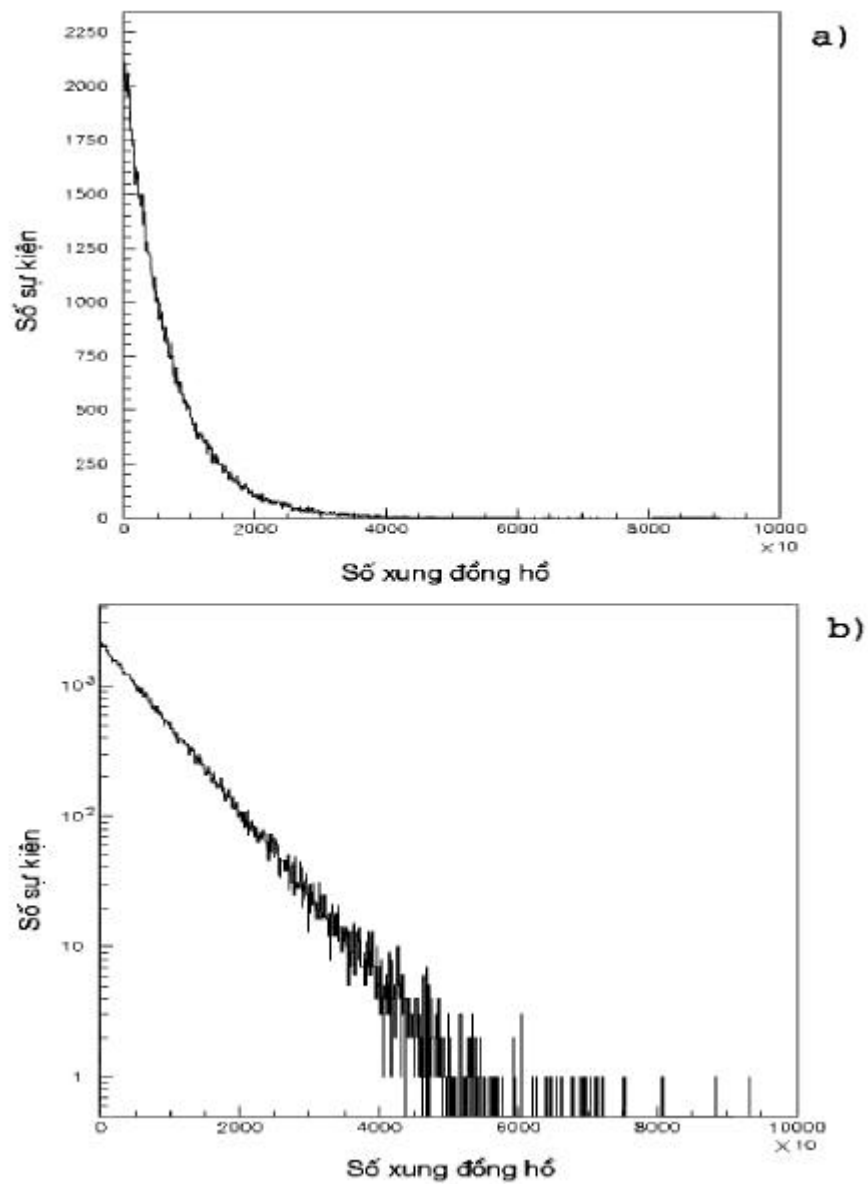
Giá trị thực nghiệm cho:

$$\sqrt{\frac{R_W^1 R_E^2}{R_E^1 R_W^2}} = \sqrt{1,179 \times 0,849} \sim 1$$

Ta có: Tóm lại, giá trị độ bất đối xứng tìm được là $16,3 \pm 0,8\%$. So sánh với giá trị cho bởi Honda $18,6\%$ độ sai lệch là $2,3 \pm 0,8\%$. Như vậy, độ sai lệch vào khoảng 2,9 lần độ lệch chuẩn, trong đó độ lệch chuẩn chỉ tính đến đóng góp của sai số thống kê. Nếu kể đến đóng góp của sai số hệ thống thì độ lệch chuẩn này xấp xỉ độ lệch chuẩn của thí nghiệm đo bất đối xứng với viễn kính của PTN VATLY trước đây, $1,6\%$. Khi đó, độ sai lệch gấp khoảng 1,4% lần độ lệch chuẩn và kết quả đo được xem là phù hợp với giá trị cho bởi Honda. Hơn nữa, khi so sánh với phép đo của PTN VATLY [5] $16,4 \pm 1,6\%$ cho thấy sự trùng hợp trong khoảng sai số. Do vậy, có thể nói kết quả thí nghiệm thu được là đáng tin cậy.

3.4.4 Tốc độ xung kích

Khoảng thời gian giữa hai sự kiện liên tiếp được đo nhờ một máy phát xung chuẩn tần số $10kHz$. Khi một sự kiện xuất hiện, sự trùng phùng giữa các bản nhấp nháy tạo ra xung kích ở bộ trùng phùng chính, xung kích này đi vào bộ đếm về không. Trong khoảng thời gian giữa xung kích này và xung kích tiếp theo ứng với sự kiện tiếp theo, bộ đếm đếm số xung đồng hồ do vậy số đếm cho bởi bộ đếm chia cho tần số máy phát xung cho biết khoảng thời gian giữa hai sự kiện. Vì xung kích của bộ trùng phùng chính xuất hiện khi có sự kiện hướng đông hoặc tây, nên khoảng thời gian giữa hai lần xung kích là khoảng thời gian giữa hai sự kiện hướng đông hoặc hướng tây. Phân bố của tốc độ xung kích, bằng nghịch đảo của thời gian trên, cho biết phân bố tốc độ



Hình 3.10: Phân bố khoảng thời gian giữa hai sự kiện xung kích

của sự kiện h-ống đông hoặc tây cho ở hình 3.10. Phân bố trùng với dạng hàm mũ, với giá trị trung bình bằng độ lệch chuẩn (*rms*) trong khoảng sai số thống kê. Để có thể kiểm tra sự hoạt động của hệ thống, tốc độ của các sự kiện h-ống đông và h-ống tây được tính cho từng hợp trước và sau khi đổi chỗ hai cặp bản nhấp nháy sau đó so sánh với nhau. Do sự đổi chỗ hai cặp bản, tốc độ sự kiện h-ống đông hoặc h-ống tây xác định bởi hai cặp 13, 15 và 12, 14 hoặc 16, 17 và 12, 14. Trước khi đổi chỗ, cặp 16,17 nằm ở h-ống đông và cặp 13, 15 nằm ở h-ống tây do vậy tốc độ của sự kiện h-ống đông R_E^1 và h-ống tây R_W^1 lần lượt được xác định bởi tốc độ sự kiện trùng phùng của hai cặp 16, 17 và 12,14 $R_{16,17}^1$ và hai cặp 13,15 và 12,14 $R_{13,15}^1$

$$R_E^1 = R_{16,17}^1 = 0,689Hz, \quad R_W^1 = R_{13,15}^1 = 0,818Hz$$

Sau khi đổi chỗ hai tấm 16,17 nằm ở h-ống tây và hai tấm 13,15 nằm ở h-ống đông, tốc độ của sự kiện h-ống đông R_E^2 và tây R_W^2 lần lượt:

$$R_W^2 = R_{13,15}^2 = 0,689Hz, \quad R_E^2 = R_{16,17}^2 = 0,814Hz$$

$R_{13,15}^2$ là tốc độ sự kiện trùng phùng của hai cặp bản 13,15 và 12,14 và $R_{16,17}^2$ là tốc độ sự kiện trùng phùng của hai cặp bản 16,17 và 12,14. Trong các tính toán trên, các tốc độ tương ứng với ống đếm 17 được nâng lên 5% do sự hoạt động kém của ống đếm 17. Như vậy, có thể thấy tốc độ của các sự kiện đến từ h-ống đông và h-ống tây hoàn toàn trùng hợp trong hai từng hợp. Điều này có nghĩa là hệ thống hoạt động tốt, tốc độ của các sự kiện hoàn toàn không phụ thuộc vào các ống đếm. Cuối cùng, tốc độ của các sự kiện đo được trong thí nghiệm R_{TN} được so sánh với tốc độ cho bởi chương trình mô phỏng Monte-Carlo, R_{MC} . $R_{TN} = ((0.689 + 0.818)/2) \times 0,883 = 0,664Hz$ trùng hợp với $R_{MC} = 0,631Hz$ trong khoảng 5%, trong đó 0,883 là tỷ lệ thành phần *muon* trong mẫu sự kiện *muon*, tỷ lệ này cho bởi [2].

Kết luận

Bản luận văn đã trình bày việc thiết kế và hoạt động của một hệ đo độ bất đối xứng đồng tâm có cấu hình đối xứng gồm hai viên kính. Sự hoạt động của hệ đo đã được khảo một cách toàn diện tạo điều kiện cho việc khai thác và sử dụng hệ đo một cách tốt nhất. Các kết quả khảo sát cho thấy hệ đo có ưu điểm dễ chế tạo, lắp ráp và sử dụng, kết quả đo cho bởi hệ là đáng tin cậy. Độ bất đối xứng đồng tâm có thể được xác định theo từng ngày bằng một mẫu sự kiện với độ chính xác vào khoảng 1% tại góc thiên đỉnh $\theta = 50^\circ$. Kết quả đo độ bất đối xứng đồng tâm phù hợp với kết quả cho bởi phép đo với viên kính định hướng của PTN. VATLY trước đây và kết quả cho bởi chương trình mô phỏng của tác giả Honda.

Ảnh hưởng của sự suy giảm khả năng ghi nhận của các ống đếm trong quá trình hoạt động đã được nghiên cứu một cách kỹ lưỡng thông qua sự suy giảm khả năng ghi nhận của ống đếm số 17. Sự suy giảm này kéo theo tỷ số tốc độ sự kiện của hai viên kính của hệ đo giảm xuống 5%. Từ quá trình tìm hiểu và giải thích hiện tượng cho thấy hiện tượng này dễ dàng được kiểm soát và khắc phục thông qua phổ biên độ của các ống đếm. Bởi vì sự suy giảm khả năng ghi nhận của ống đếm đi kèm với sự mở rộng phổ biên độ hoặc thay đổi các tính chất đặc trưng.

Sự trôi mức nền của ADC được khắc phục một cách có hiệu quả thông qua sơ đồ điện tử đo mức nền liên tục. Với các xung đồng hồ tần số thấp 0,1 Hz, sự ghi nhận hạt của hệ đo không bị ảnh hưởng bởi sự tăng nhỏ của thời gian chết do đóng góp của xung đồng hồ. Giá trị biên độ xung trừ đi mức nền dao động quanh giá trị không trong khoảng một đến hai kênh rất nhỏ so với giá trị trung bình của biên độ xung khoảng 300 kênh. Với hệ đo trên, việc theo dõi và phát hiện ra những thay đổi trong độ bất đối xứng đồng tâm do sự thay đổi của từ trường hay sự thay đổi tính chất của các tia vũ trụ sơ cấp thông qua sự thay đổi của tỷ số μ^+ và μ^- có thể thực hiện được. Tuy nhiên, khả năng này cần phải được nghiên cứu sâu hơn trong thời gian dài. Các phép đo sơ khởi ban đầu trên hệ đo này (trong khoảng hai tháng với 27 mẫu) chưa cho thấy sự thay đổi đáng kể nào.