

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ  
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

**LÊ TRƯỜNG THANH**

**NGHIÊN CỨU DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO (EEJ) TỪ SỐ LIỆU  
VỆ TINH CHAMP VÀ TỪ SỐ LIỆU MẶT ĐẤT Ở KHU VỰC  
VIỆT NAM VÀ CÁC VÙNG LÂN CẬN**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

Hà Nội – 2015

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ  
CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**

**LÊ TRƯỜNG THANH**

**NGHIÊN CỨU DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO (EEJ) TỪ SỐ LIỆU  
VỆ TINH CHAMP VÀ TỪ SỐ LIỆU MẶT ĐẤT Ở KHU VỰC  
VIỆT NAM VÀ CÁC VÙNG LÂN CẬN**

**Chuyên ngành: Vật lý địa cầu**

**Mã số: 62 44 01 11**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

- 1. PGS. TS. HÀ DUYÊN CHÂU**
- 2. TS. LÊ HUY MINH**

**Hà Nội - 2015**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố dưới bất kỳ hình thức nào.

**Tác giả luận án**

**Lê Trường Thanh**

## **Lời cảm ơn**

Luận án được hoàn thành tại Phòng Địa từ - Viện Vật lý địa cầu, dưới sự hướng dẫn khoa học của PGS. TS. Hà Duyên Châu và TS. Lê Huy Minh. NCS xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến các thầy hướng dẫn đã tận tình chỉ bảo, quan tâm giúp đỡ, động viên hết lòng trong thời gian làm luận án này.

NCS xin chân thành cảm ơn TS. Yves Cohen, TS. Doumouya, TS. Mazaudier Christine đã đóng góp ý kiến khoa học và xây dựng cấu trúc của luận án cũng như cung cấp số liệu và tài liệu tham khảo để hoàn thành luận án này.

NCS xin chân thành cảm ơn ban Lãnh đạo, Hội đồng Khoa học Viện Vật lý địa cầu và Viện Vật lý Địa cầu Paris đã quan tâm và tạo mọi điều kiện cho chúng tôi được học tập và nâng cao trình độ ở trong và ngoài nước.

NCS xin chân thành cảm ơn tập thể phòng Địa từ, phòng Quản lý tổng hợp, các đồng nghiệp và bạn bè ở Viện Vật lý địa cầu đặc biệt là các đồng nghiệp ở các đài địa từ đã quan tâm, giúp đỡ quý báu và hiệu quả trong quá trình thu thập số liệu cũng như hoàn thiện luận án.

Cám ơn sự hỗ trợ của các đề tài Cơ bản mã số: 105.01.42.09 và 105.99.74.09; chương trình hợp tác: “Nghiên cứu Vật lý địa cầu trong mối quan hệ Mặt Trời - Trái Đất, nghiên cứu trường từ ở Việt Nam” (PICS 3366) giữa Viện Vật lý địa cầu Hà Nội (Việt Nam) và Trung tâm nghiên cứu môi trường Trái Đất và các Hành Tinh (Pháp).

NCS trân trọng cảm ơn những sự giúp đỡ quý báu này.

Hà Nội, ngày      tháng      năm 2015

**NCS. Lê Trường Thanh**

## MỤC LỤC

	Trang
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT	iv
DANH MỤC CÁC BẢNG	iv
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ	v
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của luận án	2
2. Mục tiêu của luận án	2
3. Nhiệm vụ của luận án	2
4. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu	2
5. Những luận điểm bảo vệ	3
6. Những điểm mới của luận án	3
7. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu	3
8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn	4
9. Cấu trúc của luận án	4
10. Kết quả liên quan đến luận án đã được công bố	5
<b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO, TỪ TRƯỜNG BÌNH THƯỜNG VÀ SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU</b>	<b>6</b>
1.1 Một số kết quả nghiên cứu về EEJ ở trong và ngoài nước	7
1.1.1 Một số kết quả nghiên cứu EEJ trên thế giới	8
1.1.2 Một số kết quả nghiên cứu EEJ tại Việt Nam	16
1.1.3 Một số mô hình biểu diễn EEJ	19
1.2 Về nghiên cứu TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận	20
1.2.1 Một số mô hình TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận	20
1.2.2 Sử dụng phương pháp SCHA để tính TTBT cho một khu vực	23
1.3 Số liệu phục vụ nghiên cứu	26
1.3.1 Quan sát trường từ bằng các vệ tinh	26
1.3.2 Vệ tinh CHAMP	29
1.3.2.1 Mục đích và nhiệm vụ của vệ tinh CHAMP	29
1.3.2.2 Các thông số chính của vệ tinh CHAMP	30

1.3.2.3	Từ kế đo ba thành phần trường từ	31
1.3.2.4	Từ kế đo trường từ tổng	32
1.3.3	Số liệu trường từ trên vệ tinh CHAMP	33
1.3.4	Số liệu trường từ tại các đài địa từ	37
	<b>Kết luận chương 1</b>	39
	<b>CHƯƠNG 2: SỰ HÌNH THÀNH DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO VÀ PHƯƠNG</b>	
	<b>PHÁP PHÂN TÍCH ĐIỀU HÒA CHỖM CẦU</b>	41
2.1	Độ dẫn tầng điện ly và sự hình thành dòng điện xích đạo	41
2.1.1	Độ dẫn tầng điện ly vùng vĩ độ thấp và trung bình	41
2.1.2	Sự hình thành dòng điện xích đạo	45
2.2	Mô hình thực nghiệm về dòng điện xích đạo	48
2.2.1	Mô hình EEJ của Fambitakoye	48
2.2.2	Mô hình 3EM	51
2.2.2.1	Hàm biến thiên theo vĩ độ của EEJ - hàm $j(x)$	52
2.2.2.2	Hàm biến thiên theo thời gian của EEJ - hàm $G(t)$	54
2.2.2.3	Biến thiên theo kinh độ của EEJ	56
2.2.2.4	Hàm biến thiên theo kinh độ, vĩ độ và thời gian của EEJ- hàm $j(x,\lambda,t)$	57
2.2.3	Tính các thành phần của trường từ do EEJ gây ra	57
2.3	Phương pháp phân tích điều hòa chỗm cầu – SCHA	59
2.3.1	Khai triển đa thức Legendre	61
2.3.2	Tính các thành phần của trường từ	63
2.3.3	Phương pháp nghịch đảo số liệu	65
	<b>Kết luận chương 2</b>	66
	<b>CHƯƠNG 3: DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO TỪ SỐ LIỆU VỆ TINH CHAMP</b>	
	<b>VÀ TỪ CÁC ĐÀI ĐỊA TỪ</b>	67
3.1	Phương pháp tách trường từ do EEJ gây ra từ số liệu vệ tinh CHAMP	67
3.1.1	Lựa chọn số liệu vệ tinh CHAMP	68
3.1.2	Tách trường từ chính và lọc nhiễu	69
3.1.3	Tách phần trường từ do EEJ gây ra từ phần trường dư	72

3.2 Kết quả tính trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu CHAMP	82
3.2.1 Biên độ trường từ do EEJ gây ra	82
3.2.2 Mật độ dòng điện tại tâm của EEJ	86
3.2.3 Phân bố vị trí tâm của EEJ tại các kinh tuyến khác nhau	89
3.3 So sánh với mật độ dòng EEJ tính từ số liệu đài địa từ	90
3.3.1 Tính trường từ do EEJ gây ra từ số liệu đài địa từ	90
3.3.2 Mật độ dòng điện tại tâm của EEJ tính từ số liệu đài địa từ	94
3.3.3 So sánh mật độ dòng EEJ tính từ số liệu CHAMP và đài địa từ	95
3.4 Biến thiên theo mùa của EEJ	98
3.5 Biến thiên theo hoạt động Mặt Trời của EEJ	102
3.6 Mô hình hóa EEJ từ số liệu vệ tinh CHAMP	104
3.6.1 Mô hình hóa các thành phần trường từ do EEJ gây ra	104
3.6.2 So sánh kết quả tính mô hình và số liệu thu được từ CHAMP	109
<b><i>Kết luận chương 3</i></b>	111
<b>CHƯƠNG 4: TRƯỜNG TỪ BÌNH THƯỜNG KHU VỰC VIỆT NAM</b>	
<b>VÀ LÂN CẬN TỪ SỐ LIỆU VỆ TINH CHAMP</b>	114
4.1 Kết quả tính TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận	115
4.1.1 Lựa chọn số liệu CHAMP và tiền xử lý	115
4.1.2 TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận	117
4.1.3 So sánh với trường từ chính tính từ mô hình IGRF	127
4.2 Đánh giá sai số xác định TTBT	127
4.3 Dị thường từ khu vực Việt Nam và lân cận	129
<b><i>Kết luận chương 4</i></b>	133
<b>KẾT LUẬN</b>	135
<b>KIẾN NGHỊ</b>	137
<b>Tài liệu tham khảo</b>	138

## DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU, CÁC CHỮ VIẾT TẮT

BC	Công nguyên
EEJ	Dòng điện xích đạo
IGRF	Mô hình trường địa từ chuẩn toàn cầu
NCS	Nghiên cứu sinh
nnk	Những người khác
RMS	Độ lệch bình phương trung bình
SCHA	Phân tích điều hòa chòm cầu
SHA	Phân tích điều hòa cầu
TTBT	Từ trường bình thường
WMM	Mô hình trường từ toàn cầu
NEC	Hệ tọa độ Bắc- Đông- Trung tâm

## DANH MỤC CÁC BẢNG

- Bảng 1.1: Giá trị nửa bề rộng ( $a$ ) và mật độ dòng ( $j_0$ ) tại các giờ địa phương khác nhau (Theo Fambitakoye và Mayaud, [43-46]).
- Bảng 1.2: Một số vệ tinh đo đặc trường địa từ.
- Bảng 1.3: Tổng hợp số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP.
- Bảng 3.1: Số liệu vệ tinh CHAMP sử dụng để nghiên cứu về EEJ.
- Bảng 3.2: Bậc của đa thức và độ lệch bình phương trung bình để tính giá trị trung bình năm trường từ do EEJ gây ra từ số liệu CHAMP.
- Bảng 3.3: Các cặp đài địa từ được sử dụng để nghiên cứu về EEJ (tọa độ địa từ tính theo niên đại 2005.0).
- Bảng 3.4: Giá trị  $j_0$  trung bình năm tính từ số liệu CHAMP và từ số liệu đài địa từ cho 6 năm và độ chênh lệch  $\Delta j_0$  giữa chúng.
- Bảng 3.5: Giá trị  $j_0$  tại vị trí các đài địa từ vào các mùa khác nhau.
- Bảng 4.1: Các hệ số  $g_k^{me}, h_k^{me}$  ứng với phân trường ngoài.
- Bảng 4.2: Độ lệch bình phương trung bình RMS ứng với các  $K_{int}$  khác nhau.
- Bảng 4.3: Các hệ số  $g_k^{mi}, h_k^{mi}$  ứng với phân trường bên trong.



## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

- Hình 1.1: Vị trí của xích đạo từ và vùng chịu ảnh hưởng mạnh của dòng điện xích đạo trên toàn cầu (Theo Nguyễn Thị Kim Thoa và nnk, [15]).
- Hình 1.2: Biến thiên thành phần nằm ngang H (hình trái) và thành phần thẳng đứng Z (hình phải) do EEJ gây ra tại khu vực Châu Phi ngày 27/2/1993 (Theo Doumouya et al., [35]).
- Hình 1.3: Mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh Ørsted tại các kinh tuyến khác nhau (Theo Jadhav et al., [61]).
- Hình 1.4: Mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP tại các kinh tuyến khác nhau (dấu +) và giá trị trung bình (đường nét liền đậm ở giữa). (Theo Lühr et al., [71]).
- Hình 1.5: Sự biến đổi theo kinh tuyến của mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP (đường nét đứt) và vận tốc gió theo mô hình GSWM2 (đường liền nét) ở xuân phân (trái) và đông chí (phải) (Theo Alken et al., [23]).
- Hình 1.6: Sự dịch chuyển của xích đạo từ xác định từ số liệu quan trắc thành phần thẳng đứng (Z) ở phía nam Việt Nam (Theo Trương Quang Hào và Lê Huy Minh, [5]).
- Hình 1.7: TTBT niên đại 2000.0 thu được tại Nam Mỹ với thành phần H (hình trái) và thành phần Z (hình phải) (Theo Kotzé và Haak, [64]).
- Hình 1.8: Mô hình và vị trí lắp đặt các thiết bị đo trường từ trên vệ tinh CHAMP.
- Hình 1.9: Bộ cảm biến của từ kế fluxgate đo ba thành phần của trường từ.
- Hình 1.10: Bộ cảm biến của từ kế proton đo trường tổng.
- Hình 1.11: Sơ đồ quá trình lưu trữ và xử lý số liệu vệ tinh CHAMP.
- Hình 1.12: Quỹ đạo vệ tinh CHAMP trong ngày 5/7/2001.
- Hình 1.13: Độ cao quỹ đạo vệ tinh CHAMP theo thời gian (từ 7/2001-12/2007).
- Hình 1.14: Giá trị trung bình giờ thành phần (H) cho từng năm tại sáu đài địa từ (a:tại BCL; b:tại PHU; c:tại AAE; d:tại QSB; e:tại HUA; f:tại FUQ).
- Hình 2.1: Sự thay đổi theo chiều cao của các độ dẫn  $\sigma_{\parallel}$ ,  $\sigma_p$  và  $\sigma_H$  (S/m) (Theo Richmond, [96]).

- Hình 2.2: Cơ chế vật lý tạo ra dòng điện xích đạo trong mặt phẳng xích đạo từ.
- Hình 2.3: Sơ đồ dải dòng EEJ để tính trường từ do dòng điện  $I(x)$  gây ra.
- Hình 2.4: Thành phần H và Z do EEJ gây ra từ số liệu ghi được (dấu sao), tính từ mô hình (đường nét liền) và giá trị độ lệch (đường nét liền mảnh với các giá trị m khác nhau. a)  $m=0$ ; b)  $m=1$ ; c)  $m=2$  (Theo Fambitakoye, [43]).
- Hình 2.5: Biến thiên theo vĩ độ của  $Sq(H)$  những ngày trường từ yên tĩnh (chấm tròn). Đường trung bình nét liền ở dưới là trường  $Sq$  toàn cầu, đường nét đứt biểu diễn giá trị nội suy của  $Sq$  trong vùng xích đạo (Theo Onwumechili và Agu, [85]).
- Hình 2.6: Xác định các thông số của EEJ ( $\Delta H_0$  là biên độ thành phần H ở tâm của EEJ) từ các biến thiên theo vĩ độ của H và Z của một dải dòng có phân bố parabol ( $m=2$ ).
- Hình 2.7: Sơ đồ sự biến đổi của nồng độ của các ion trong lớp E của tầng điện ly theo thời gian địa phương (Theo Heelis, [58]).
- Hình 2.8: Hàm phân bố  $G(t)$  phụ thuộc vào giờ địa phương ( $t$ ) với các giá trị  $t_m$  khác nhau ( $T = 12$ giờ).
- Hình 2.9: Hàm Legendre liên kết khi  $m=1$  và giới hạn tại  $\theta_0=40^\circ$  ứng với k khác nhau (Dùng chuẩn hóa kiểu Schmidt).
- Hình 3.1: Phần trường dư ( $F_{res}$ ) sau khi trừ đi phần trường chính tại các kinh tuyến khác nhau (Một vài lát cắt số liệu trong tháng 1/2002).
- Hình 3.2: Lọc nhiễu chu kỳ nhỏ trong phần trường dư (Đường màu đỏ là trường dư, màu đen là trường đã lọc với đa thức bậc 60).
- Hình 3.3: Biên độ của nhiễu ( $nT$ ) lọc bằng đa thức bậc cao.
- Hình 3.4: Tách phần trường từ do EEJ gây ra từ phần trường dư  $F_{res}$  (Theo Cain và Sweeney, [30]).
- Hình 3.5: Ví dụ việc sử dụng đa thức để tách phần trường từ do EEJ gây ra.
- Hình 3.6: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư chứa EEJ, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 8).

- Hình 3.7: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 12).
- Hình 3.8: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 18).
- Hình 3.9: Trường từ do EEJ gây ra (Đường màu xanh dùng đa thức bậc 12, đường màu đỏ là đa thức bậc 18).
- Hình 3.10: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP bằng đa thức có bậc 12 (Theo Doumouya et al. , [37]).
- Hình 3.11: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP bằng các đa thức có bậc từ 6 - 12.
- Hình 3.12a: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2002.
- Hình 3.12b: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2003.
- Hình 3.12c: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2004.
- Hình 3.12d: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2005.
- Hình 3.12e: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2006.
- Hình 3.12f: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2007.
- Hình 3.13: Giá trị cực trị của trường từ do EEJ gây ra tại trên từng lát cắt số liệu tại các kinh tuyến khác nhau trong năm 2007 (chữ thập) và giá trị trung bình (đường nét liền màu đỏ).
- Hình 3.14: Giá trị trung bình mật độ dòng EEJ (A/km) trên toàn kinh tuyến cho từng năm (từ 2002-2007).
- Hình 3.15: Vị trí trung tâm của EEJ thu được từ CHAMP (tính cho niên đại 2005,0).
- Hình 3.16: Vị trí các đài địa từ phục vụ nghiên cứu (đường liền nét là vị trí xích đạo từ niên đại 2005.0).
- Hình 3.17: Biên độ  $S_q$  phụ thuộc vào vĩ độ tính theo mô hình CM4 tại kinh tuyến  $105^{\circ}\text{E}$  (kinh tuyến qua Việt Nam).

- Hình 3.18: Giá trị trung bình giờ thành phần trường nằm ngang H do EEJ gây ra tính tại 3 trạm HUA, AAE, BCL năm 2002.
- Hình 3.19: Mật độ dòng điện tại tâm EEJ theo các giờ địa phương tính tại 3 trạm HUA, AAE, BCL (giá trị trung bình giờ cho từng năm từ 2002-2007).
- Hình 3.20a: Biến thiên theo mùa mật độ dòng của EEJ từ số liệu vệ tinh CHAMP trên toàn kinh tuyến với 6 năm số liệu (2002-2007).
- Hình 3.20b: Biến thiên theo mùa của EEJ từ số liệu 3 trạm mặt đất (2002-2007). (Đường đậm nét liền là mùa đông, đường mảnh nét liền là mùa hè, đường mảnh nét rời là phân điểm tháng 3, 4 và đường đậm nét rời là phân điểm tháng 9, 10).
- Hình 3.21a: Giá trị trung bình tháng(chấm tròn) số vết đen Mặt Trời từ năm 2002-2007, đường nét liền là giá trị trung bình trượt 12 tháng.
- Hình 3.21b: Giá trị  $j_0$  cho từng năm tính từ số liệu 3 trạm (HUA; AAE; BCL).
- Hình 3.21c: Giá trị  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh CHAMP năm 2002, 2004, 2007 và vị trí để xác định  $j_0$  tại vị trí các đài địa từ HUA, AAE, BCL.
- Hình 3.22: Giá trị  $j_0$  trung bình từ 6 năm số liệu vệ tinh CHAMP (2002-2007) tại các kinh tuyến khác nhau.
- Hình 3.23a,b: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 0 giờ.
- Hình 3.23c,d: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 4 giờ.
- Hình 3.23e,f: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 8 giờ.
- Hình 3.23g,h: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 12 giờ.
- Hình 3.23m,n: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 16 giờ.
- Hình 3.23p,q: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 20 giờ.
- Hình 3.24a,b: Giá trị  $\Delta H$  (hình trên) và  $\Delta Z$  (hình dưới) tại giữa trưa địa phương trên toàn cầu.
- Hình 3.25a:  $\Delta F$  thu được từ mô hình (đường màu đỏ) và từ số liệu CHAMP (đường màu xanh) của một vài lát cắt trong vùng kinh tuyến từ  $0^\circ$  -  $180^\circ E$ .
- Hình 3.25b:  $\Delta F$  thu được từ mô hình (đường màu đỏ) và từ số liệu CHAMP (đường màu xanh) của một vài lát cắt trong vùng kinh tuyến từ  $0^\circ$  -  $180^\circ W$ .
- Hình 4.1: Khu vực nghiên cứu và số liệu CHAMP trong 4 tháng đầu năm 2007.

(khoảng cách biểu diễn là 100 giá trị dọc theo kinh tuyến).

- Hình 4.2: Độ lệch bình phương trung bình (RMS) ứng với các  $K_{int}$  khác nhau của các thành phần X,Y,Z trường từ.
- Hình 4.3a: TTBT thành phần F niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).
- Hình 4.3b: TTBT thành phần H niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).
- Hình 4.3c: TTBT thành phần X niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).
- Hình 4.3d: TTBT thành phần Y niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 250nT).
- Hình 4.3e: TTBT thành phần Z niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 5000nT).
- Hình 4.3f: TTBT độ từ thiên D niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị  $0.5^0$ ).
- Hình 4.3g: TTBT độ từ khuynh I niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị  $5^0$ ).
- Hình 4.4: TTBT thành phần F niên đại 2007.0 tính từ mô hình IGRF (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).
- Hình 4.5: Sự chênh lệch của cường độ trường toàn phần  $\Delta F_{DL}(nT)$  giữa mô hình SCHA và IGRF tại bề mặt Trái Đất niên đại 2007.0.
- Hình 4.6a: Dị thường từ thành phần  $\Delta X_a$  (nT).
- Hình 4.6b: Dị thường từ thành phần  $\Delta Y_a$  (nT).
- Hình 4.6c: Dị thường từ thành phần  $\Delta Z_a$  (nT).
- Hình 4.6d: Dị thường từ thành phần  $\Delta F_a$  (nT).

## MỞ ĐẦU

### ***1. Tính cấp thiết của luận án:***

Trường từ do EEJ gây ra chỉ chiếm một phần nhỏ trong số liệu ghi được nhưng nó gây ra những biến thiên khá lớn, nhất là tại vùng tại vùng có vĩ độ thấp và trung bình như tại Việt Nam biến thiên của nó có thể lên đến hàng trăm nT. Hơn nữa, trước đây các nghiên cứu về EEJ chủ yếu sử dụng số liệu thu được tại các đài địa từ, sau này đã có hàng chục vệ tinh đo đặc trường từ được phóng lên quỹ đạo cho phép chúng ta nghiên cứu về EEJ rất chi tiết trên quy mô toàn cầu nhưng lại hầu như chưa được sử dụng ở Việt Nam.

Đặc biệt, trong nghiên cứu [37] của Doumouya đã sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP vào tháng 8, 9 năm 2001, để nghiên cứu sự phân bố mật độ dòng EEJ trên toàn cầu và nhận thấy tại kinh tuyến qua Việt Nam, EEJ đạt giá trị lớn nhất so với các vùng kinh tuyến khác. Tuy nhiên, nghiên cứu này còn có hạn chế là chuỗi số liệu còn quá ngắn nên nhiều vùng kinh tuyến đã không có số liệu, hơn nữa năm 2001 là năm Mặt Trời hoạt động mạnh nhất trong chu kỳ của nó, do vậy việc tách phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu thu được gặp nhiều khó khăn. Chính vì vậy, luận án này sẽ sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP cùng với số liệu các đài địa từ trong vòng sáu năm để khẳng định sự xuất hiện dị thường xích đạo tại kinh tuyến qua Việt Nam cũng như nghiên cứu một số đặc trưng cơ bản của hệ dòng EEJ.

Trong quá trình sử dụng số liệu CHAMP vào thời gian ban ngày để tách phần trường từ do EEJ gây ra, chúng tôi nhận thấy rằng hoàn toàn có thể sử dụng chuỗi số liệu này vào thời gian ban đêm để tính trường từ bình thường (TTBT) cho khu vực Việt Nam và lân cận. Điều này cũng xuất phát từ nhu cầu cấp thiết thực tế là từ năm 2003 đến nay, tại Việt Nam chưa tiến hành xây dựng bất kỳ một bản đồ TTBT nào.

Do đó trong luận án này, ngoài sử dụng số liệu CHAMP và số liệu tại các đài địa từ để nghiên cứu về EEJ còn sử dụng số liệu CHAMP và phương pháp phân tích điều hòa chòm cầu để nghiên cứu về TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận với tên là: ***“Nghiên cứu dòng điện xích đạo (EEJ) từ số liệu vệ tinh CHAMP và từ số***

**liệu mặt đất ở khu vực Việt Nam và các vùng lân cận”.**

## **2. Mục tiêu của luận án:**

- Sử dụng chuỗi số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP cũng như số liệu tại đài địa từ để nghiên cứu về các đặc trưng EEJ, có sự so sánh kết quả tính EEJ từ số liệu vệ tinh CHAMP và từ số liệu của các đài địa từ.

- Xây dựng mô hình lý thuyết về EEJ để biểu diễn sự biến đổi của nó theo kinh tuyến, vĩ tuyến và thời gian.

- Nghiên cứu và áp dụng phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu để tính trường từ bình thường và dị thường từ cho khu vực Việt Nam và lân.

## **3. Nhiệm vụ của luận án:**

- Thu thập và xử lý toàn bộ 6 năm số liệu (từ 2002-2007) trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và số liệu tại các đài địa từ tại khu vực xích đạo từ tại Việt Nam cũng như trên thế giới.

- Tìm hiểu thuật toán tách phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP. Xác định các thông số chính và nghiên cứu sự biến đổi của EEJ theo không gian và thời gian. So sánh EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP với số liệu tại các đài địa từ trong cùng một khoảng thời gian.

- Xây dựng mô hình lý thuyết biểu diễn sự biến đổi của EEJ theo thời gian, trong không gian trên toàn cầu.

- Nghiên cứu phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu để mô hình hóa TTBT cho một quốc gia hay một khu vực.

- Xây dựng mô hình TTBT và dị thường từ cho khu vực Việt Nam và lân cận bằng phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu từ số liệu của CHAMP.

## **4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:**

**Đối tượng nghiên cứu:** nghiên cứu về dòng điện xích đạo tại kinh tuyến qua Việt Nam cũng như trên toàn cầu và TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận.

### **Phạm vi nghiên cứu:**

- **Về thời gian:** + Nghiên cứu về EEJ trong khoảng thời gian từ 2002-2007.

+ Xây dựng mô hình TTBT và tính trường dị thường từ cho khu vực Việt Nam và lân cận niên đại 2007.0.

- *Về không gian:* nghiên cứu về EEJ trên toàn cầu, TTBT và dị thường từ cho khu vực Việt Nam và lân cận.

#### **5. Những luận điểm bảo vệ:**

- Sử dụng tổ hợp số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và tại các đài địa từ có thể rút ra những đặc trưng cơ bản đầy đủ của EEJ.

- Khẳng định mật độ dòng EEJ tính từ số liệu CHAMP tại khu vực châu Á là lớn nhất so với các kinh tuyến khác.

- Mô hình TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận niên đại 2007.0 tính từ số liệu CHAMP có độ tin cậy cao, hoàn toàn có thể sử dụng cho các mục đích nghiên cứu khác ở Việt Nam.

#### **6. Những điểm mới của luận án:**

- Sử dụng một chuỗi số liệu dài, đầy đủ và đồng bộ về thời gian giữa số liệu vệ tinh và số liệu các đài địa từ để nghiên cứu về EEJ.

- Xây dựng phương pháp tách phần trường từ do EEJ gây ra bằng các đa thức có bậc khác nhau mà không sử dụng bậc cố định từ số liệu vệ tinh CHAMP và nghiên cứu các đặc trưng cơ bản của EEJ cũng như các biến thiên của nó trên toàn cầu.

- Lần đầu tiên tại Việt Nam đã nghiên cứu và áp dụng phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu để mô hình hóa TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận.

#### **7. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu:**

Luận án được thực hiện trên cơ sở số liệu ba thành phần X,Y,Z và trường tổng F của trường địa từ thu được trên vệ tinh CHAMP từ năm 2002-2007 với tốc độ lấy mẫu là 1Hz (1 giây một giá trị) do Phòng Thông tin hệ thống và Trung tâm số liệu (ISDC) của Trung tâm nghiên cứu Khoa học Quốc gia Đức cấp thông qua chương trình hợp tác nghiên cứu khoa học giữa Viện Vật lý địa cầu Hà Nội và Viện Vật lý địa cầu Paris. Cùng với số liệu trung bình giờ của các đài địa từ tại Việt Nam và trên thế giới gồm: Bạc Liêu, Phú Thụy, Huancayo, Fuquence, Addis Ababa và Qsaybeh có thời gian trùng với chuỗi số liệu của CHAMP để so sánh. Trong luận án cũng sử dụng phương pháp tính độ lệch bình phương trung bình, phương pháp phân tích điều hòa cầu, phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu, phương pháp chuyển



từ hệ tọa độ đề-các sang hệ tọa độ cầu và ngược lại. Tất cả các phương pháp trên được lập trình bằng ngôn ngữ Visual Fortran 5.0, Matlab 6.0 và các phần mềm để biểu diễn các hình vẽ là phần mềm mã nguồn mở như Gnuplot 4.0 và nhiều phần mềm phụ trợ khác.

### **8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn:**

- Góp phần tăng hiểu biết về việc xây dựng dự án, quản lý và thực hiện dự án phóng vệ tinh quan sát Trái Đất.

- Đánh giá định lượng một số thông số cơ bản của hệ dòng EEJ để có thể xem xét những ảnh hưởng hệ dòng này đến các đo đạc và quan trắc trường điện từ trong khu vực xích đạo (như khi tiến hành đo lặp, thăm dò từ tellua, định vị GPS...)

- Cung cấp tập sơ đồ TTBT các thành phần của trường từ và dị thường từ khu vực Việt Nam và lân cận, phục vụ cho nghiên cứu khoa học hay phát triển kinh tế xã hội. Hơn nữa, phương pháp SCHA rất hiệu quả khi chỉ dùng số liệu thu được trên vệ tinh mà không cần số liệu mặt đất, nhất là hiện nay cơ quan Vũ trụ châu Âu đang phát triển chùm vệ tinh SWARM có độ chính xác cao và phân bố hợp lý để nghiên cứu về trường từ trên toàn cầu hay cho một khu vực nhất định.

### **9. Cấu trúc của luận án:**

Luận án ngoài phần mở đầu và kết luận còn có 4 chương có nội dung như sau:

**CHƯƠNG 1:** Giới thiệu tổng quan các nghiên cứu trong và ngoài nước về EEJ, một số kết quả đã đạt được cũng như những hạn chế của các nghiên cứu này. Một số bản đồ TTBT đã thành lập cho khu vực Việt Nam và tính cấp thiết phải tính TTBT cho khu vực. Tiếp theo là số liệu phục vụ nghiên cứu bao gồm số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và từ 6 đài địa từ trong vòng 6 năm liên tục (từ 2002 đến 2007).

**CHƯƠNG 2:** Trình bày về độ dẫn tầng điện ly vùng vĩ độ thấp và trung bình và cơ chế vật lý hình thành dòng điện xích đạo. Việc xây dựng các hàm lý thuyết hay thực nghiệm để biểu diễn sự biến đổi của EEJ theo kinh độ, vĩ độ và thời gian. Trong chương cũng trình bày về phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu để tính TTBT cho một khu vực.

**CHƯƠNG 3:** Trình bày kết quả nghiên cứu những thông số chính của EEJ và các biến đổi của nó từ số liệu vệ tinh CHAMP và các đài địa từ cũng như việc so sánh

EEJ giữa hai loại số liệu trên. Áp dụng mô hình thực nghiệm kiểu 3EM để biểu diễn sự biến đổi của các thành phần trường từ do EEJ gây ra theo kinh độ, vĩ độ và thời gian từ số liệu vệ tinh CHAMP.

**CHƯƠNG 4:** Trình bày kết quả sử dụng phương pháp phân tích điều hòa chòm cầu để mô hình hóa trường từ cho một khu vực Việt Nam và lân cận từ số liệu vệ tinh CHAMP. Kết quả là tập bản đồ TTBT niên đại 2007.0 cho khu vực cũng như bản đồ dị thường từ và một số đặc trưng của nó.

**10. Kết quả liên quan đến luận án đã được công bố:**

- [1] V. Doumbia, Le Truong Thanh, Y Cohen, Amory-Mazaudier, M. Le Huy,, On the estimation of the equatorial electrojet magnetic signature and peak current density from polar orbiting satellite magnetic measurements, *International Association of Geomagnetism and Aeronomy 11*, **2009**, Vol 41(42).
- [2] Lê Trường Thanh, V. Doumouya, Lê Huy Minh và Hà Duyên Châu, Mô hình dòng điện xích đạo từ số liệu vệ tinh CHAMP, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **2010**, tập T32(1), trang 48-56.
- [3] Lê Trường Thanh, Lê Huy Minh, Hà Duyên Châu, V. Doumouya, Y. Cohen, Dị thường và biến thiên theo mùa của dòng điện xích đạo, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **2011**, tập T33(1), trang 29-36.
- [4] M. Yamamoto, T. Tsugawa, T. Nagatsuma, Otsuka Y., Le Truong Thanh, Ha Duyen Chau, S. Kaloka, P. Baki, Study of equatorial spread-F with GNU radio beacon receiver (GRBR) network over Asia, Pacific and Africa, *International Union of Geodesy and Geophysics*, **2011**, M12\_29PP145.
- [5] H.D. Chau, L.T. Thanh, N.T. Dung, Vietnam magnetic and ionospheric observatories are ready to be integrated in the geoss, *International Union of Geodesy and Geophysics XXIV General Assembly in Melbourne, Australia*, **2011**, JG05\_3PP028.
- [6] Hà Duyên Châu, Lê Trường Thanh, Nguyễn Thanh Dung, Các kết quả nghiên cứu khảo sát địa từ - điện ly ở Việt Nam, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học quốc tế Kỷ niệm 55 ngành Vật lý địa cầu Việt Nam*, **2012**, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ.

## CHƯƠNG 1

### TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO, TỪ TRƯỜNG BÌNH THƯỜNG VÀ SỐ LIỆU NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu về từ trường Trái Đất là một trong những bộ môn ra đời sớm nhất của vật lý địa cầu. Các nhà triết học cổ Hy Lạp đã viết về “đá nam châm” vào khoảng 800 năm trước Công nguyên (BC); các tính chất của đá nam châm được người Trung Quốc biết từ khoảng 300 BC. Vào khoảng thời gian 300BC-200BC, người Trung Quốc đã biết sử dụng địa bàn thô sơ làm bằng đá nam châm. Các địa bàn kim nam châm treo trên dây hoặc tựa trên một trục nhỏ được người Trung Quốc sử dụng vào khoảng năm 1000 sau công nguyên [70]. Nhưng nghiên cứu về trường địa từ chỉ thực sự phát triển khi vào năm 1600 Gilbert xuất bản cuốn sách “De Magnete”, một chuyên khảo khoa học quan trọng trong đó tác giả đã tổng kết tất cả các kết quả đã nghiên cứu về trường địa từ bao gồm cả các kết quả nghiên cứu trong khoảng 17 năm của ông. Trong chuyên khảo này ông đã nhận ra rằng Trái Đất bản thân nó như là một nam châm khổng lồ. Đây là một nhận thức vô song về một đặc trưng địa vật lý, ra đời trước các định luật hấp dẫn của Newton khoảng một thế kỷ.

Henry Gellibrand (1597-1637), nhà toán học và thiên văn học người Anh, đã phát hiện ra độ từ thiên của trường địa từ thay đổi theo thời gian.

Vào thế kỷ 18 và 19 nhiều phép đo từ đã được thực hiện. Năm 1837 bản đồ toàn cầu của cường độ trường toàn phần, độ từ khuynh và độ từ thiên đã được công bố, mặc dù số liệu được đo đạc ở những thời điểm rất khác nhau và mật độ điểm đo còn thưa thớt. Để phân tích tập hợp số liệu này Gauss [118] đã áp dụng phương pháp phân tích điều hòa cầu (mà ngày nay mang tên ông); năm 1839 ông đã nhận ra rằng phần chính của trường từ Trái Đất là trường lưỡng cực có nguồn gốc bên trong Trái Đất.

Hiện nay, các nghiên cứu về trường địa từ được thực hiện theo ba hướng chính là: nghiên cứu trường từ không đổi (bản đồ các yếu tố từ mặt đất, từ trường bình thường, biến thiên thế kỷ...); nghiên cứu biến thiên từ (biến thiên ngày đêm, dòng điện xích đạo, vòng dòng, bão từ...) và nghiên cứu cổ từ. Trong luận án này,

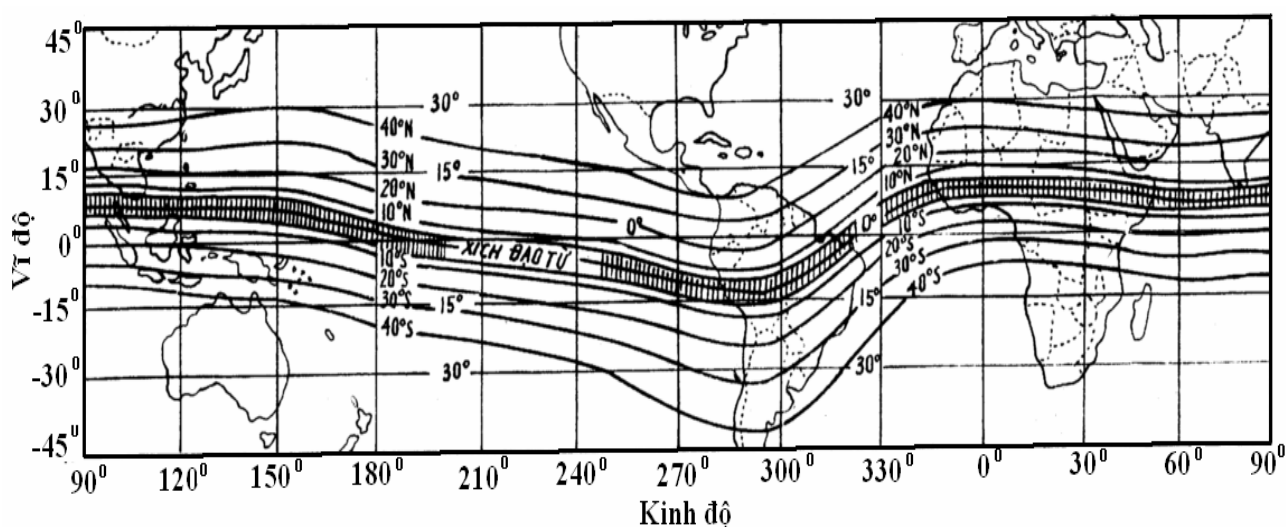
chủ yếu đề cập đến những kết quả nghiên cứu về EEJ trên toàn cầu cũng như tại Việt Nam và việc xây dựng bản đồ TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận.

Tất cả các nghiên cứu về trường địa từ đều phải dựa vào các quan trắc trường từ, các đài địa từ đã cung cấp số liệu phục vụ các nghiên cứu khác nhau trong hơn một trăm năm qua. Mặc dù trong thời gian qua với nỗ lực đặt thêm nhiều trạm quan sát trường địa từ trên mặt đất, thông qua các chương trình như: INTERMAGNET, MAGDAS với hơn một trăm đài quan sát nằm rải rác trên khắp thế giới đã được thành lập. Tuy nhiên, tại nhiều vùng trên bề mặt Trái Đất vẫn không có số liệu và các trạm phân bố không đều như tại các đại dương hay vùng có dân cư thưa thớt, đây chính là một hạn chế khi dùng số liệu tại các đài trạm để nghiên cứu về trường địa từ. Chính vì vậy, vào khoảng những năm 60 của thế kỷ trước đã xuất hiện các dự án quan sát trường từ Trái Đất bằng vệ tinh nhân tạo. Việc một loạt các vệ tinh nghiên cứu về các trường vật lý của Trái Đất ra đời là một cuộc cách mạng lớn để chúng ta nghiên cứu về trường địa từ. Quan sát trường địa từ trên các vệ tinh có quỹ đạo thấp (**Low Earth Orbit - LEO**) thường cung cấp những số liệu rất quan trọng để giúp chúng ta có cái nhìn tổng quát về trường từ của Trái Đất và các biến đổi của nó trên toàn cầu cũng như cho từng khu vực. Số liệu trường từ thu được trên các vệ tinh thường liên tục trong thời gian dài, bao quát trên toàn cầu và có mật độ dày đặc. Hơn nữa, việc quan sát trường từ tại một độ cao nhất định sẽ gần với những hệ dòng điện chảy bên ngoài Trái Đất hơn, do vậy sẽ phản ánh chi tiết hơn về những hệ dòng điện này. Trong công trình này chúng tôi sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và kết hợp sử dụng số liệu tại 6 đài địa từ trên bề mặt Trái Đất trong đó có số liệu tại hai đài địa từ của Việt Nam để tiến hành nghiên cứu.

### **1.1 Một số kết quả nghiên cứu về EEJ ở trong và ngoài nước**

Trong khi nghiên cứu biến thiên trường từ đều đặn hàng ngày của những ngày trường từ yên tĩnh ghi được tại trạm Huancayo thuộc Peru (gần xích đạo từ), năm 1934 McNish [80] đã phát hiện ra sự lớn bất thường của biên độ biến thiên ngày đêm của thành phần nằm ngang (H). Hiện tượng này cũng được Edegal vào năm 1947 [40] quan sát thấy tại các trạm nằm trong một dải rộng  $\pm 5^{\circ}$  dọc theo xích đạo từ (Hình 1.1) vào năm 1947. Sau đó, vào năm 1951, Chapman [32] đã giải thích sự

tăng bất thường của trường từ là do vào ban ngày tại xích đạo từ tồn tại một hệ dòng điện chạy về phía đông trên tầng điện ly và hệ dòng điện này được sinh ra do những bất đồng nhất độ dẫn trong tầng điện ly do tác động của bức xạ Mặt Trời và được đặt tên là dòng điện xích đạo (EEJ). Sau này, nhờ những quan sát bằng tên lửa và các trạm rada và nhiều số liệu khác đã khẳng định sự tồn tại của hệ thống dòng điện này, với bề dày khoảng 15km và nằm ở độ cao khoảng 105km so với bề mặt Trái Đất [103].



Hình 1.1: Vị trí của xích đạo từ và vùng chịu ảnh hưởng mạnh của dòng điện xích đạo trên toàn cầu (Theo Nguyễn Thị Kim Thoa và nnk, [15]).

Từ năm Vật lý địa cầu quốc tế 1957-1958, nhiều đài địa từ trên thế giới đã được xây dựng, trong đó có những đài ở vùng vĩ độ thấp và vùng xích đạo ở Nam Mỹ (Peru, Brazil), châu Phi, châu Á trong đó có Ấn Độ và Việt Nam. Sau này, vào những năm 1970 với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học công nghệ, một loạt các vệ tinh nhân tạo chuyên dụng để nghiên cứu về trường địa từ đã được phóng vào quỹ đạo. Những số liệu ghi trường từ trên các vệ tinh đã góp phần nâng cao hiểu biết của chúng ta về trường địa từ nói chung hay dòng điện xích đạo nói riêng.

### 1.1.1 Một số kết quả nghiên cứu EEJ trên thế giới

Trên thế giới đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về EEJ được công bố dựa trên nhiều loại số liệu khác nhau như: số liệu từ các trạm radar, tên lửa, từ vệ tinh (POGO, Orsted, MAGSAT, CHAMP) và từ các đài địa từ. Sau đây sẽ trình bày vấn

tất những kết quả nghiên cứu về EEJ đã đạt được từ nhiều nguồn số liệu khác nhau trong thời gian qua trên thế giới.

**\* Nghiên cứu EEJ từ số liệu các đài địa từ**

Các kết quả nghiên cứu trường từ do hệ dòng EEJ gây ra và các biến đổi của nó theo không gian và thời gian thường được sử dụng nhiều nhất là số liệu địa từ tại các đài trạm trên mặt đất, đó là các băng ghi biến thiên hàng ngày của các thành phần trường địa từ. Với mục đích để nghiên cứu về EEJ, một mạng lưới các trạm đã được thành lập gần đường xích đạo từ tập trung tại một số quốc gia hay khu vực như: Peru, Nigeria, khu vực Trung Phi, Ấn Độ và Brazil. Những kết quả của các nghiên cứu trên đã cung cấp những thông số cơ bản của EEJ tại từng kinh tuyến khác nhau như bề rộng, biên độ, vị trí xích đạo từ....

Tại khu vực châu Mỹ, Forbush [49] đã sử dụng số liệu các thành phần trường từ trong vòng 20 ngày (trường từ yên tĩnh) tại 5 trạm địa từ tại Peru, đã xác định được chiều rộng của EEJ là 660km, độ cao 100km và tìm được vị trí tâm của EEJ trung bình cho vùng kinh tuyến này. Tuy nhiên, do chỉ có đài Huancayo nằm gần xích đạo từ và một trạm nằm ở phía nam của xích đạo từ còn ba đài ở phía bắc thì lại nằm quá xa vùng ảnh hưởng của EEJ, do đó kết quả tính EEJ còn nhiều hạn chế về vị trí tâm của EEJ. Sau đó, ngoài những số liệu này, Onwumechili [84] đã sử dụng thêm số liệu tại các trạm khác trong vùng để nghiên cứu biến thiên hàng ngày của trường địa từ vùng vĩ độ thấp và trung bình cho thấy tại xích đạo từ, biên độ của thành phần H có thể gấp 2 đến 2,5 lần so với vùng vĩ độ trung bình. Trong nghiên cứu của Hesse [59] đã sử dụng số liệu của 29 trạm ghi từ tại Brazil ở cả hai bên của xích đạo từ trong vòng 4 tháng (1990-1991) và chọn ra 16 ngày trường từ yên tĩnh để nghiên cứu về EEJ và đã xác định được  $\frac{1}{2}$  bề rộng của EEJ tại khu vực là  $403 \pm 67$ km và tâm của EEJ tại vĩ độ  $5,5^{\circ} \pm 2^{\circ}$ S.

Tại Ấn Độ, năm 1976 Rastogi [92-93] đã tìm hiểu về các tính chất của EEJ từ số liệu biến thiên hàng ngày các thành phần H và Z ghi lại tại các trạm Trivandrum, Kodaikanal, Annamalaingar và Alibag. Nghiên cứu này cho thấy rằng biến đổi của H tại trạm Trivandrum nằm trong vùng xích đạo liên hệ chặt chẽ với EEJ và cũng thay đổi theo mùa và hoạt tính mặt trời. Tuy nhiên, công bố này sử dụng số liệu ở

khu vực Ấn Độ nằm bán cầu bắc, nên không cho thông tin về biên độ trường từ do EEJ gây ra ở phía nam bán cầu.

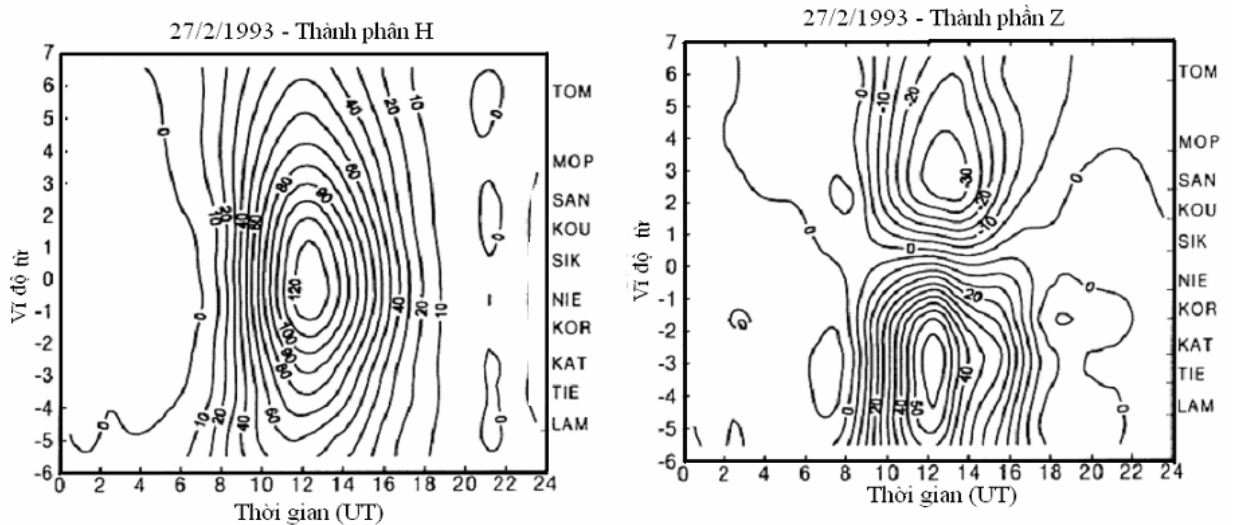
Ở khu vực châu Phi, năm 1976 Fambitakoye và Maynard [43-46] đã sử dụng số liệu tại 9 đài địa từ trong khu vực. Các số liệu này được đo đạc đồng thời ở cả chín trạm trải dài trên khoảng 3000km dọc theo kinh tuyến  $17^{\circ}\text{E}$  cắt qua xích đạo từ, kéo dài từ tháng 11 năm 1968 đến tháng 3 năm 1970. Từ số liệu trung bình giờ của 171 ngày trường từ yên tĩnh, Fambitakoye đã thành lập các đường cong biến đổi theo thời gian và theo vĩ độ của  $S_R$  cho các thành phần H, Z và D kéo dài từ 7h30' đến 16h30' giờ địa phương và tính ra phần trường từ do EEJ gây ra sau khi trừ đi giá trị trung bình giữa đêm. Theo kết quả nghiên cứu này, giá trị trung bình một nửa bề rộng (a) của EEJ đạt giá trị rộng nhất khoảng 486km vào giữa trưa và hẹp dần chỉ còn khoảng 295 km vào chiều tối (Bảng 1.1). Giá trị mật độ dòng điện tại tâm của EEJ tính được từ chuỗi số liệu này đạt giá trị lớn nhất 145 A/km lúc 11h30LT và giảm dần còn 55 A/km vào 15h30'LT. Trong nghiên cứu này, tác giả cũng đã trình bày chi tiết kết quả thống kê sự biến đổi của bề rộng (a) và mật độ dòng điện ( $j_0$ ) của EEJ theo ngày, theo tháng, theo mùa và theo năm: vào giữa trưa địa phương, a và  $j_0$  đều đạt giá trị lớn nhất vào những tháng phân điểm và mùa hè, nhỏ nhất vào mùa đông. Cho đến những năm 80 của thế kỷ trước, đây là nghiên cứu đầy đủ nhất về EEJ khi sử dụng số liệu tại các đài địa từ trên mặt đất mặc dù nó chỉ phản ánh EEJ tại khu vực kinh tuyến Châu Phi và do chuỗi số liệu còn ngắn, nên những quy luật về biến đổi theo chu kỳ dài như theo mùa và theo hoạt tính mặt trời trong nghiên cứu này còn hạn chế.

*Bảng 1.1: Giá trị nửa bề rộng (a) và mật độ dòng ( $j_0$ ) tại các giờ địa phương khác nhau (Theo Fambitakoye và Mayaud, [43-46])*

	8h30	9h30	10h30	11h30	12h30	13h30	14h30	15h30	16h30
<b>a(km)</b>	421	408	387	392	486	375	366	304	291
<b><math>j_0</math>(A/km)</b>				145	141	120	85	55	

Năm 1998, Doumouya [35] sử dụng số liệu những ngày trường từ yên tĩnh của 10 trạm địa từ được xây dựng trong năm nghiên cứu EEJ tại Tây Phi (năm 1993) để xác định các thông số của EEJ; đã tách phần ảnh hưởng của EEJ và xây dựng bản

đồng mức các thành phần H và Z gây bởi EEJ (Hình 1.2). Theo kết quả này, vào ngày 27/2/1993, thành phần H gây bởi EEJ tại khu vực nghiên cứu đạt cực đại 125 nT vào lúc 12h15'LT, thành phần Z đạt cực trị 40 nT ở bán cầu Bắc và cực trị 50 nT gần như đối xứng qua xích đạo từ ở bán cầu Nam, một nửa bề rộng của EEJ là  $303 \pm 29$  km, mật độ dòng điện tương ứng là 232 A/km. Cũng như các nghiên cứu trên, nghiên cứu này chỉ thể hiện được các thông số của EEJ tại khu vực gần kinh tuyến  $5^{\circ}W$  và cũng do hạn chế về độ dài chuỗi số liệu nên chưa cho phép nghiên cứu biến thiên theo mùa của EEJ.



Hình 1.2: Biến thiên thành phần nằm ngang H (hình trái) và thành phần thẳng đứng Z (hình phải) do EEJ gây ra tại khu vực châu Phi ngày 27/2/1993 (Theo Doumouya et al., [35]).

#### \* Nghiên cứu EEJ từ số liệu vệ tinh

Vào giữa những năm 1960, với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ vũ trụ nhiều vệ tinh nhân tạo có gắn thiết bị đo đặc trường địa từ được phóng lên quỹ đạo để phục vụ các mục đích nghiên cứu khác nhau. Cho đến nay có gần 20 vệ tinh nhân tạo đo đặc trường từ Trái Đất và các đặc trưng vật lý khác. Tuy nhiên, để sử dụng những số liệu trường từ thu được trên vệ tinh cho nghiên cứu EEJ thì đòi hỏi quỹ đạo của vệ tinh phải cắt qua xích đạo từ vào giữa trưa địa phương và phải đủ thấp để ghi nhận được một cách đầy đủ phân trường do EEJ gây ra. Do vậy, chỉ có số liệu của các vệ tinh POGO, MAGSAT, Ørsted, CHAMP và gần đây nhất là SWARM có thể được sử dụng để nghiên cứu EEJ.



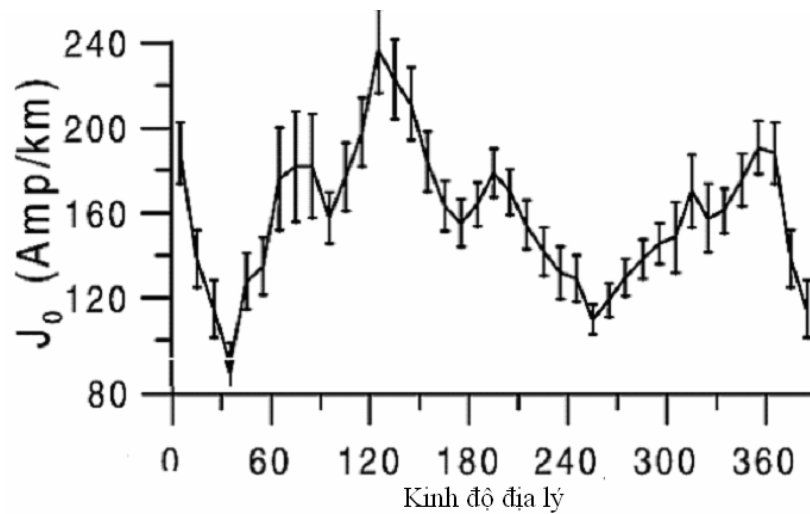
Đầu tiên phải kể đến các nghiên cứu của Cain [30], Onwumechili [86] và Yacob [112] vào những năm 1970-1980. Các tác giả này đã sử dụng số liệu vệ tinh POGO để tính phần trường  $\Delta F$  do EEJ gây ra cho khoảng 2000 lát cắt số liệu. Theo Onwumechili, bề rộng của EEJ rất hẹp với một nửa bề rộng chỉ khoảng  $235 \pm 14$  km, mật độ dòng điện đạt  $232 \pm 63$  A/km. Với chuỗi số liệu dài hơn 2 năm tác giả cũng đã đề cập đến nghiên cứu phân bố của EEJ theo vĩ độ, theo kinh độ và đã phát hiện ra một cực đại của EEJ tại kinh tuyến  $100^{\circ}\text{E}$ . Tuy vậy, những kết quả này còn tồn tại một số hạn chế như quỹ đạo của vệ tinh quá cao và thay đổi nhiều do vậy EEJ tính được là không chính xác, hơn nữa độ chính xác của thiết bị đo còn thấp cũng tạo nên những hạn chế cho các kết quả thu được.

Năm 1981 Agu [22] đã so sánh trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu vệ tinh POGO và số liệu tại trạm Ibadan (Nigeria), và chỉ ra rằng thông tin về EEJ thu được từ hai loại số liệu có tương quan khá tốt. Cũng sử dụng số liệu ghi được trên vệ tinh POGO, năm 1999 Kim [62] đã nghiên cứu sự biến đổi của phần trường từ do EEJ gây ra theo các kinh tuyến khác nhau, ông đã thu được 57 lát cắt số liệu theo kinh tuyến ở phạm vi toàn cầu, và chỉ ra rằng cường độ trường từ do EEJ gây ra chỉ trong khoảng 5-15 nT tại độ cao của POGO và đạt cực đại tại kinh tuyến  $60^{\circ}\text{W}$ . Điều này chắc chắn là do hạn chế về số liệu của vệ tinh POGO cắt qua xích đạo từ ít và không trùng vào giữa trưa địa phương.

Sau những năm 1980, Cohen [34], Langel [67, 69], Yanagisawa [113] đã sử dụng số liệu vệ tinh MAGSAT để nghiên cứu EEJ, những nghiên cứu này cho thấy ảnh hưởng ở các thành phần X và Z tương ứng với dòng điện chạy từ phía đông sang phía tây vào buổi sáng sớm và buổi tối ngược với hướng từ tây sang đông của EEJ vào ban ngày. Điều này có nghĩa là một dòng điện ngược xích đạo xuất hiện vào các khoảng thời gian tương ứng. Các kết quả nghiên cứu cũng kết luận rằng cường độ và bề rộng của trường từ do EEJ gây ra thay đổi theo kinh độ và theo thời gian.

Jadhav [61] đã sử dụng số liệu vệ tinh Ørsted, lựa chọn những ngày trường từ yên tĩnh trong vòng 12 tháng (năm 1999-2000) để nghiên cứu về mật độ dòng điện cũng như vị trí trung tâm của EEJ trên toàn cầu. Theo kết quả nghiên cứu này, giá trị mật độ dòng điện tại tâm của EEJ phụ thuộc vào kinh tuyến biến đổi trong khoảng từ

80 – 240 A/km (Hình 1.3) và tương quan khá tốt với EEJ quan sát được tại các trạm dưới mặt đất tại Ấn Độ. Vị trí EEJ đạt giá trị lớn nhất tại kinh tuyến 135<sup>0</sup>E, vị trí này đã bị lệch đi so với các nghiên cứu khác. Tuy nhiên, do vệ tinh Ørsted rất ít khi cắt qua xích đạo từ vào giữa trưa địa phương nên tác giả đã phải lựa chọn cả những lát cắt số liệu vào buổi sáng sớm và chiều tối, do vậy việc xác định phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu vệ tinh rất khó khăn và do chuỗi số liệu còn quá ngắn nên nó chưa phản ánh được những biến thiên theo mùa của EEJ cũng như tác giả mới chỉ so sánh với số liệu thu được tại mặt đất tại một khu vực do vậy còn thiếu tính toàn cầu.

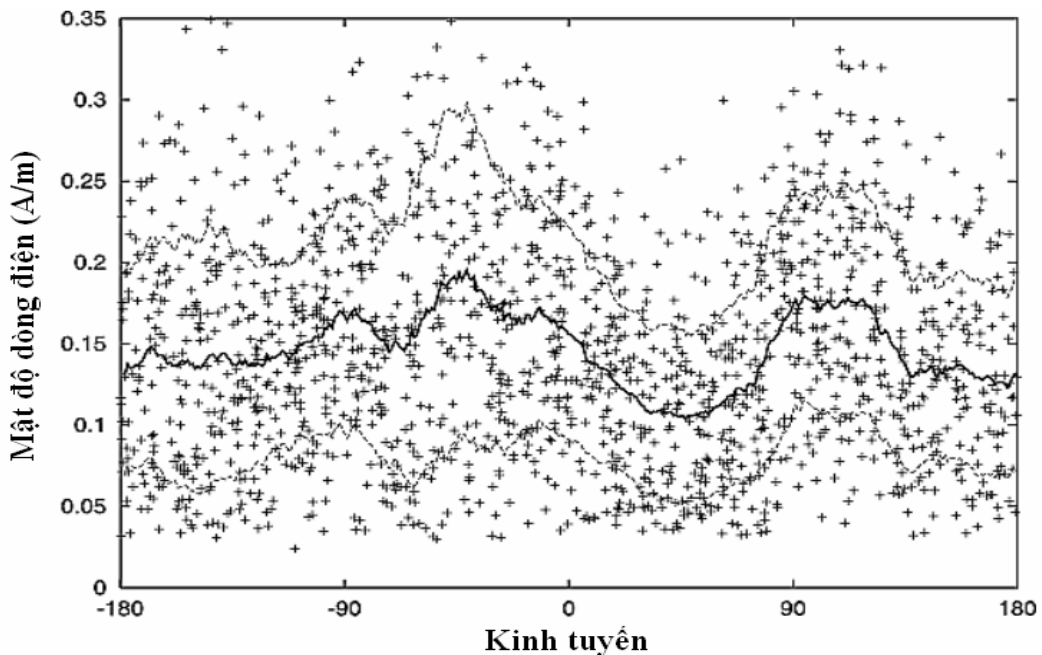


Hình 1.3: Mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh Ørsted tại các kinh tuyến khác nhau (Theo Jadhav et al., [61]).

Sau năm 2001, khi có số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP với quỹ đạo bay thấp và cắt qua xích đạo từ vào ban ngày, đã có rất nhiều nghiên cứu về EEJ được công bố. Năm 2004 Doumouya [37] sử dụng số liệu vệ tinh CHAMP trong 2 tháng cuối năm 2001 để nghiên cứu biến đổi của EEJ theo kinh độ, vĩ độ và thời gian địa phương, cho thấy rằng trường từ do EEJ gây ra tính từ CHAMP tại các kinh tuyến khác nhau có giá trị khác nhau, biên độ vào khoảng từ 20-60 nT và ở phạm vi toàn cầu tồn tại 4 đỉnh trường từ do EEJ gây ra đạt giá trị cực đại, trong đó tại khu vực có kinh tuyến 105<sup>0</sup>E cực đại là lớn nhất. Nhưng do trong nghiên cứu này sử dụng chuỗi số liệu còn quá ngắn nên nó chưa phản ánh hết những quy luật biến đổi của EEJ trên toàn cầu, nhất là biến thiên theo mùa.

Lühr [71], sử dụng chuỗi số liệu dài hơn thu được trên vệ tinh CHAMP từ

tháng 8/2000 đến 4/2003 hoặc trong [72] được lấy thêm số liệu đến 10/2004 để tính mật độ dòng điện tại tâm của EEJ phụ thuộc vào kinh tuyến. Kết quả cho thấy, mật độ dòng đạt giá trị trung bình khoảng 150 A/km (Hình 1.4, đường liền nét). Trong nghiên cứu này, Lühr cũng nhận thấy tại kinh độ 60°W và 100°E giá trị EEJ cực đại và tại 40°E EEJ đạt giá trị cực tiểu. Tuy nhiên, bài báo không đề cập tới sự biến đổi theo mùa của EEJ và chưa được so sánh với các số liệu khác.

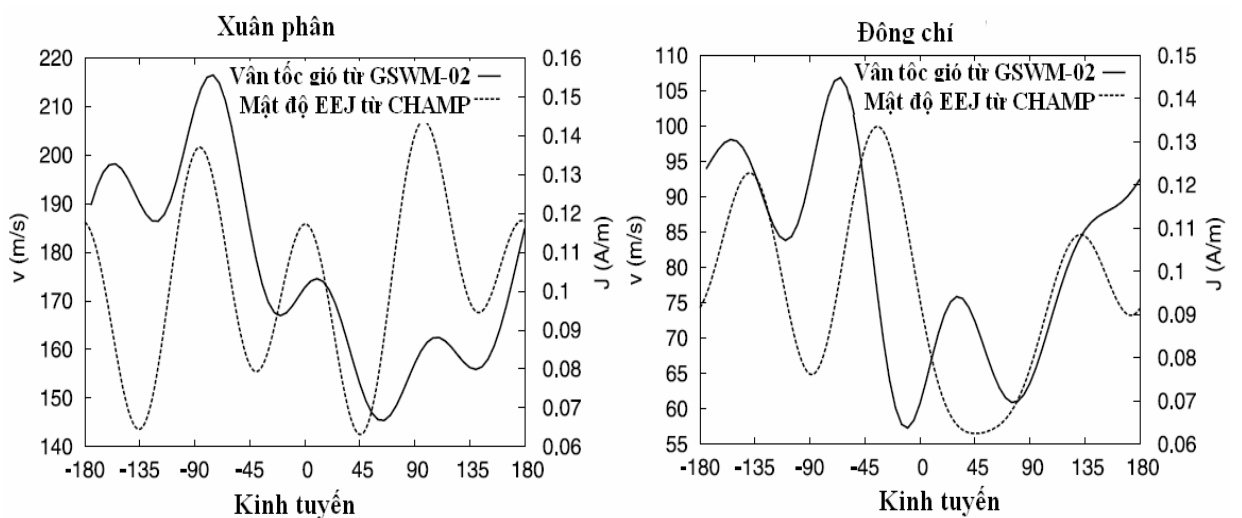


Hình 1.4: Mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP tại các kinh tuyến khác nhau (dấu +) và giá trị trung bình (đường nét liền đậm ở giữa). (Theo Lühr et al., [71]).

Le Mouél [74] sử dụng số liệu vệ tinh CHAMP từ 2001-2004 nghiên cứu sự phụ thuộc của EEJ vào thời gian địa phương, thời gian quốc tế và tính được độ rộng của EEJ là khoảng 2000km tại độ cao của quỹ đạo vệ tinh.

Cũng sử dụng số liệu vệ tinh CHAMP từ 1/8/2001 đến 1/8/2003, Manoj [76] đã nghiên cứu sự biến đổi của EEJ theo vĩ độ và tính hệ số tương quan giữa EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP và tính từ các đài địa từ mặt đất và nhận thấy rằng EEJ có hệ số tương quan càng lớn với các đài càng gần tâm của EEJ và càng ra xa xích đạo từ hệ số tương quan càng giảm nhanh chóng. Tuy nhiên nghiên cứu này mới chỉ so sánh EEJ biến đổi theo vĩ độ giữa hai số liệu trên mà chưa đề cập đến những biến thiên khác của nó.

Alken [23] đã sử dụng tổ hợp số liệu của các vệ tinh CHAMP, SAC-C và Orsted và trong khoảng thời gian từ 1999 đến 2006 để nghiên cứu về EEJ trên toàn cầu. Đây là những nghiên cứu về EEJ từ số liệu vệ tinh đầy đủ nhất cho đến nay. Trong số liệu của ba vệ tinh trên, biên độ trường từ do EEJ gây ra tính được từ số liệu vệ tinh CHAMP là lớn nhất và đạt khoảng 10-45 nT, trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu SAC-S đạt giá trị nhỏ nhất chỉ khoảng 0-18 nT. Trong nghiên cứu của Alken, trường từ do EEJ gây ra thu được trên cả ba vệ tinh này khá tương đồng nhau về hình dáng và nhận thấy cùng xuất hiện 4 đỉnh cực trị của EEJ trên toàn cầu. Sự khác nhau về biên độ trường từ do EEJ gây ra từ ba vệ tinh trên được giải thích là do độ cao quỹ đạo và thời điểm vệ tinh cắt qua xích đạo từ. Trong đó chỉ có vệ tinh CHAMP là có quỹ đạo thấp nhất và thường xuyên cắt qua xích đạo từ vào giữa trưa địa phương, do vậy biên độ trường từ gây bởi EEJ thu được trên CHAMP là lớn nhất. Nghiên cứu này cũng chỉ ra sự biến đổi mật độ dòng của EEJ theo kinh tuyến ở hai thời điểm xuân phân và đông chí (Hình 1.5). Trên hình này còn biểu thị sự thay đổi của vận tốc gió Mặt Trời theo kinh tuyến từ mô hình gió GSWM-02 so sánh với biến đổi của mật độ dòng EEJ theo kinh tuyến. Chúng ta thấy rằng biến đổi của mật độ dòng EEJ và biến đổi của vận tốc gió theo kinh tuyến ở nhiều vùng có sự khác biệt đáng kể, như thế có nghĩa là sự biến đổi của vận tốc gió chưa giải thích một cách đầy đủ sự thay đổi của cường độ EEJ theo kinh tuyến.



Hình 1.5: Sự biến đổi theo kinh tuyến của mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP (đường nét đứt) và vận tốc gió theo mô hình GSWM2 (đường liền nét) ở xuân phân (trái) và đông chí (phải) (Theo Alken et al., [23]).

Tiếp theo, Lühr [73] đã sử dụng tổng hợp số liệu từ các vệ tinh Ørsted, CHAMP và SAC-C để nghiên cứu về EEJ dọc theo các kinh tuyến khác nhau cũng như biến thiên theo mùa của nó. Trong nghiên cứu này cũng khẳng định sự tồn tại của 4 đỉnh dị thường như trong kết quả nghiên cứu của Doumouya ở trên. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ sử dụng số liệu thu được trên vệ tinh và vào những năm Mặt Trời hoạt động mạnh mà chưa sử dụng số liệu khác để so sánh và chưa nghiên cứu được sự biến thiên của EEJ theo hoạt động Mặt Trời.

#### **\* Nghiên cứu EEJ từ các số liệu khác**

Trên thế giới, để nghiên cứu về EEJ nhiều tác giả đã sử dụng nhiều loại số liệu khác nhau để nghiên cứu như số liệu mật độ dòng điện ghi được trên các tên lửa hoặc số liệu thành phần thẳng đứng của điện trường thu được tại các trạm Radar VHF và HF. Việc nghiên cứu về EEJ khi sử dụng số liệu mật độ dòng điện ghi được bằng thiết bị đặt trên tên lửa đã xác định được cấu trúc thẳng đứng của mật độ dòng điện của Maynard [78] và Sampath et al. [103]). Kết quả nghiên cứu của Sampath dựa trên số liệu tên lửa tại Thumba, Ấn Độ. Độ cao tại đó mật độ dòng đạt cực đại xác định bởi Sampath tại Thumba là khoảng 106km và một nửa chiều rộng vùng mật độ dòng cực đại là  $300 \pm 40$  km. Các số liệu thu được trên các tên lửa có ưu điểm là cung cấp số liệu tại chỗ, vì vậy kết quả xác định độ cao và bề dày của EEJ là rất chính xác. Nhưng những số liệu này chỉ cho phép nghiên cứu EEJ tại một điểm cố định và đo với thời gian rất ngắn, do vậy những nghiên cứu về EEJ từ chuỗi số liệu này còn hạn chế nhất là những biến đổi của nó dọc theo xích đạo từ.

Ngoài ra, để nghiên cứu về EEJ từ nhiều loại số liệu khác còn được trình bày trong nghiên cứu của Balsley [28], Chandra et al. [31], Manju và Viswanathan [75], Vikramkumar [111] ...

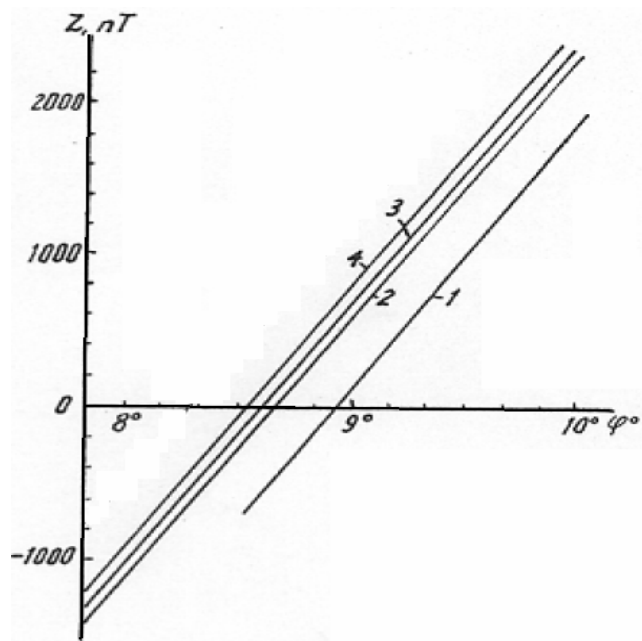
#### **1.1.2 Một số kết quả nghiên cứu EEJ tại Việt Nam**

Lãnh thổ Việt Nam nằm ở vùng vĩ độ thấp khu vực Đông Nam Á, trải dài từ vĩ độ địa lý  $8^{\circ}37'30''N$  (chót mũi Cà Mau) tới vĩ độ địa lý  $23^{\circ}21'30''E$  (đỉnh Lũng Cú), tương ứng trong khoảng vĩ độ từ (niên đại 2005,0) từ  $0,69^{\circ}$  tới  $16,72^{\circ}$ . Như vậy xích đạo từ nằm cách chót mũi Cà Mau chưa đầy 100 km về phía Nam, nên việc nghiên cứu về EEJ cũng được nhiều nhà nghiên cứu địa từ Việt Nam quan tâm. Đài

xích đạo từ Bạc Liêu bắt đầu đi vào hoạt động năm 1985. Đài Vật lý địa cầu Đà Lạt đi vào hoạt động từ năm 1981. Phần miền Bắc có số liệu từ của đài Sapa từ năm 1958 và đài Phú Thọ từ 1968. Số liệu của 4 đài địa từ này cùng với các kết quả đo đặc biến thiên từ ở một số vị trí đo tạm thời đã được sử dụng trong các nghiên cứu về biến thiên từ và dòng điện xích đạo của các tác giả trong nước.

Năm 1985, Đặng Văn Hưng [8] lần đầu tiên ở Việt Nam đã giới thiệu các khái niệm biểu diễn dòng đơn giản trong các nghiên cứu EEJ: dòng đơn thẳng; băng dòng đồng nhất; băng dòng nằm ngang có mật độ dòng tuân theo phân bố Gauss; hai hệ dòng phối hợp đồng thời EEJ và Sq; đề cập tới sự ảnh hưởng của hệ dòng EEJ đến việc minh giải số liệu từ tellua vùng xích đạo khi áp dụng giả thiết sóng phẳng.

Năm 1987 Trương Quang Hào [5] đã sử dụng số liệu đo đạc từ ở Việt Nam xây dựng đồ thị biểu diễn sự thay đổi theo vĩ độ của thành phần Z cho phép xác định xích đạo từ ở vị trí  $Z=0$  vào các năm 1978, 1985, 1988, 1990 lần lượt ở các vĩ độ  $8^{\circ}50'$ ,  $8^{\circ}39'$ ,  $8^{\circ}35'$ ,  $8^{\circ}32'$  tương đương với các đường thẳng số 1,2,3,4 (Hình 1.6). Đồ thị này chỉ ra xu thế dịch chuyển của xích đạo từ về phía nam theo thời gian với tốc độ trung bình 4km/năm.



Hình 1.6: Sự dịch chuyển của xích đạo từ xác định từ số liệu quan trắc thành phần thẳng đứng Z ở phía nam Việt Nam (Theo Trương Quang Hào và Lê Huy Minh, [5]).

Năm 1988 Nguyễn Văn Giảng [3], khi xây dựng mô hình TTBT cho Việt Nam bằng số liệu vệ tinh MAGSAT dựa vào vị trí thành phần thẳng đứng  $Z=0$  đã xác định được vị trí xích đạo từ vào năm 1975.5 tại vĩ độ  $8^{\circ}50'$ .

Năm 1990 Nguyễn Thị Kim Thoa và nnk [14-16] đã tổng hợp các kết quả đo biến thiên từ trên lãnh thổ Việt Nam chỉ ra các đặc điểm biến thiên ngày đêm của thành phần nằm ngang và thành phần thẳng đứng ở khu vực gần xích đạo từ phía nam lãnh thổ Việt Nam. Biên độ biến thiên của thành phần nằm ngang H ở Đà Lạt chỉ 55nT trong khi ở Cái Nước (gần khu vực tâm của EEJ) biên độ lên đến gần 100nT. Kết quả của tác giả cũng khẳng định rằng biến thiên của trường từ ở Việt Nam ảnh hưởng bởi hai hệ dòng Sq và dòng điện xích đạo.

Dựa vào các số liệu quan trắc trường từ ở Việt Nam những đặc trưng của biến thiên từ liên quan đến hệ dòng Sq và EEJ trên lãnh thổ Việt Nam cũng được một số tác giả trong và ngoài nước đề cập tới như của Trương Quang Hào [6],[7], của Lê Huy Minh [11], của Rotanova [98-99] và của Tsvetkov [110]. Lương Văn Trương [20] đã sử dụng số liệu tại 10 đài địa từ ở Việt Nam và Ấn Độ trong các tháng 1,2 năm 1990 để tính ra một số tham số của EEJ: một nửa bề rộng là  $413 \pm 49$  km, mật độ dòng cực đại 152 A/Km, đồng thời cũng cho thấy trục di chuyển theo hướng bắc-nam trong ngày với tốc độ khoảng 5-30 km/ giờ.

Ngoài ra, việc nghiên cứu về các đặc trưng tầng điện ly vùng xích đạo của Việt Nam dựa trên số liệu quan trắc tầng điện ly bằng máy thăm dò điện ly thẳng đứng và từ những số liệu khác đã được Hoàng Thái Lan và nnk công bố trong các công trình [9-10].

Như vậy, việc nghiên cứu về EEJ đã được rất nhiều nhà khoa học trong nước và trên thế giới quan tâm. Các nghiên cứu đã sử dụng rất nhiều loại số liệu khác nhau như: số liệu trường từ ghi được tại các đài địa từ trên mặt đất, trên các vệ tinh, từ số liệu mật độ dòng điện ghi được trên các tên lửa hoặc từ số liệu trường điện từ ghi được tại các trạm Rada VHF, HF... Tuy nhiên, các nghiên cứu đã công bố thường có một số hạn chế như: sử dụng các số liệu có phân bố không đồng đều dọc theo xích đạo từ hoặc về cả hai phía của xích đạo, chuỗi số liệu thường còn ngắn chưa phản ánh hết các đặc trưng của EEJ chẳng hạn như biến thiên theo mùa, theo

năm hoạt động của Mặt Trời. Chính vì vậy, trong luận án này sẽ sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP cùng với số liệu thu được tại các đài địa từ của Việt Nam cũng như trên thế giới với chuỗi số liệu dài (6 năm liên tục) để tiến hành nghiên cứu một cách đầy đủ hơn về EEJ như: biến đổi theo kinh tuyến, vĩ tuyến, theo thời gian địa phương theo mùa ...

### **1.1.3 Một số mô hình biểu diễn EEJ**

Hiện nay trên thế giới có nhiều mô hình về EEJ đã được công bố, hầu hết các mô hình đều dựa trên những thông số cơ bản quan sát được từ nhiều nguồn số liệu khác nhau. Trước những năm 1980, do hạn chế về số liệu do vậy các mô hình chỉ biểu diễn được EEJ tại một kinh tuyến cố định hay chỉ mô tả sự biến đổi theo chiều thẳng đứng hay theo vĩ độ hoặc theo thời gian địa phương khi sử dụng số liệu đầu vào là giá trị mật độ dòng điện thu được trên các tên lửa, radar và quan sát trường địa từ trên mặt đất như mô hình của Doumbia et al. [38]; Fambitakoye et al. [43]; Onwumechili [87]; Richmond [95]; Sabaka et al. [102]; Stening [106]. Các mô hình này có thể tái tạo lại những đặc trưng về hình thái của EEJ trong một ngày Tuy nhiên, nó vẫn còn đơn giản vì trong thực tế hệ dòng EEJ còn biến thiên cả về độ lớn cũng như thay đổi theo thời gian (trong ngày, từ ngày này qua ngày khác) và trong những nghiên cứu này còn chỉ ra EEJ tại các kinh tuyến khác nhau có biên độ khác nhau khá nhiều. Hay trong mô hình biến đổi theo chiều cao của Richmond, sự sai lệch giữa lý thuyết và thực tế còn cao và lên đến 6-7 km.

Sau này, nhờ chuỗi số liệu quan sát chi tiết hơn và phân bố rộng khắp các tác giả đã xây dựng một số mô hình có thể biểu diễn sự biến đổi của EEJ theo kinh độ, vĩ độ và thời gian địa phương như: mô hình EEJ của Alken et al. [23,24] và mô hình thực nghiệm 3EM (**E**mpirical **E**quatorial **E**lectrojet **M**odel) của Doumouya [37].... Trong mô hình EEJM2, Alken coi sự biến đổi của EEJ chủ yếu phụ thuộc vào thông lượng bức xạ toàn phần của Mặt Trời và lấy giá trị trung bình  $p=150W/m^2$ . Tuy nhiên, trong thực tế giá trị này thay đổi phụ thuộc vào hoạt động của Mặt Trời và theo cả vị trí quan sát, do vậy kết quả tính độ lệch giữa mô hình và thực tế là khá lớn. Phần lý thuyết của mô hình 3EM sẽ được trình bày chi tiết trong chương 2 của luận án này. Qua nghiên cứu, cho đến nay mô hình thực nghiệm 3EM là khá hoàn



chính; nó mô tả được sự biến đổi của EEJ theo cả kinh độ, vĩ độ và thời gian địa phương với tham số đầu vào là giá trị mật độ dòng EEJ có thể tính được từ số liệu tại các đài địa từ hay từ số liệu vệ tinh.

Việc nghiên cứu về EEJ cũng như xây dựng mô hình của nó dựa trên rất nhiều loại số liệu khác nhau như: số liệu từ các trạm radar, tên lửa, số liệu các vệ tinh POGO, Orsted, MAGSAT, CHAMP và từ số liệu các đài địa từ còn được trình bày trong các nghiên cứu [31],[38],[87],[103],[111]....

## **1.2 Về nghiên cứu TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận**

### **1.2.1 Một số mô hình TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận**

Mô hình TTBT của mỗi quốc gia rất quan trọng trong thăm dò khoáng sản và một số mục đích khác. Quá trình xây dựng mô hình TTBT cho lãnh thổ Việt Nam từ những năm 1960 cho đến năm 1988 đã được Nguyễn Văn Giảng [3] tổng kết trong luận án của mình và có thể tóm tắt lại như sau:

Bản đồ TTBT đầu tiên ở Việt Nam cho niên đại 1961.0 được Tổng cục Địa chất thành lập cho thành phần thẳng đứng (Z) và trường toàn phần (F) đối với phần miền Bắc.

Năm 1970, Nguyễn San đã thành lập bản đồ TTBT cho các thành H, Z, F trên cơ sở 70 điểm đo tuyệt đối do Đoàn 35 tiến hành đo tập trung tại các vùng nhỏ phía Bắc Việt Nam như: Phúc Yên, Bắc Cạn, Đình Lập, Vinh và Sơn La. Tuy nhiên các kết quả này còn có hạn chế là các phép đo sử dụng thiết bị có độ chính xác kém và không đo độ từ thiên D; các số liệu chỉ tập trung những vùng nhất định không phân bố đều khắp cho toàn miền Bắc.

Đến năm 1974, Lê Minh Triết và nnk [19] đã thành lập bản đồ TTBT cho miền Bắc Việt Nam cho niên đại 1973.0. Trong nghiên cứu này các tác giả đã sử dụng số liệu của 69 điểm đo thành phần H và Z phân bố tại miền Bắc và đã sử dụng phương pháp xấp xỉ đa thức bậc 2:

$$F(\varphi, \lambda) = F_0 + A\Delta\varphi + B\Delta\lambda + C(\Delta\varphi)^2 + D\Delta\varphi\Delta\lambda + E(\Delta\lambda)^2 \quad (1.1)$$

Trong đó, F là giá trị trường bình thường tại điểm có tọa độ  $(\varphi, \lambda)$ ,  $F_0$  là giá trị trường bình thường tại điểm gốc có tọa độ  $(\varphi_0, \lambda_0)$  và  $(\Delta\varphi, \Delta\lambda)$  là hiệu giá trị theo kinh độ và vĩ độ của điểm  $(\varphi, \lambda)$  với điểm gốc có tọa độ  $(\varphi_0, \lambda_0)$  các hệ số  $F_0, A, B, C, D, E$

được xác định bằng phương pháp bình phương tối thiểu. Các tác giả đã xây dựng bản đồ trường bình thường cho các thành phần F, H, Z cho toàn bộ miền Bắc Việt Nam với sai số là  $\pm 25\text{nT}$ . Tuy nhiên, trong công trình này các tác giả cũng nêu ra một số hạn chế như: sai số tính toán còn cao, thiếu số liệu tại vùng biên, các phép đo có độ chính xác không cao, thiếu thành phần D của từ trường.

Năm 1979 Hà Duyên Châu [1] đã sử dụng 69 điểm số liệu trên để tính toán lại trường bình thường cho miền Bắc Việt Nam cũng bằng đa thức bậc 2 nhưng sử dụng phép lọc các điểm có dị thường lớn và kết quả bản đồ các thành phần của trường trường bình thường H, Z, F và I cho niên đại 1973.0 với chọn điểm gốc tại tọa độ  $\varphi_0 = 16^\circ 40' \text{N}$ ,  $\lambda_0 = 106^\circ 10' \text{E}$ . Giá trị phương sai  $\sigma$  cho các thành phần là  $\sigma_F = 80.0\text{nT}$ ,  $\sigma_H = 40.8\text{nT}$ ,  $\sigma_Z = 69.7\text{nT}$ .

Các công trình nghiên cứu về từ trường bình thường miền Bắc Việt Nam do Phòng Vật lý địa cầu, Viện các khoa học về Trái Đất thực hiện) Phạm Văn Thục và nnk [18]) dựa trên gần 300 điểm đo với các thiết bị có độ chính xác cao hơn và phương pháp đo phù hợp hơn với việc đo cả thành phần D của từ trường. Các tác giả đã xây dựng bản đồ phân bố của các thành phần F, H, Z, D và I của trường địa từ. Với độ chính xác của F, H, Z là  $\pm 25\text{nT}$  và  $\pm 3.4$  phút cho D. Để hoàn chỉnh bản đồ trên cả nước, nhóm tác giả trên đã thu thập thêm số liệu các điểm đo từ ở miền nam Việt Nam với việc sử dụng các thiết bị có độ chính xác cao hơn (từ kế proton) và tập bản đồ các yếu tố từ mặt đất niên đại 1975,5 đã được công bố bởi Trương Quang Hào và nnk [4].

Năm 1988, Nguyễn Văn Giảng [3] sử dụng chuỗi số liệu trường từ thu được trên vệ tinh MAGSAT (1980-1981) và phương pháp phân tích điều hòa cầu để thu được các hệ số Gauss cho mô hình trường từ bình thường với bậc  $n=13$ . Từ các hệ số Gauss thu được, việc tính toán TTBT cho khu vực Việt Nam đã được thực hiện và so sánh với số liệu đo được trên mặt đất tại 20 điểm chuẩn trong tập bản đồ “các yếu tố địa từ mặt đất Việt Nam” và 30 điểm đo trên biển của tàu “Núi lửa”. Độ lệch tính theo mô hình và giá trị đo là  $\Delta X = 2.6\text{nT}$ ,  $\Delta Y = 13\text{nT}$ ,  $\Delta T = -6\text{nT}$ ,  $\Delta H = -3.7\text{nT}$ ,  $\Delta D = 2.8$  phút. Sử dụng mô hình TTBT đã tính như vậy, tác giả đã tách trường dị thường theo số liệu đo trên 12 tuyến mặt đất với tổng chiều dài 3500km cùng với 1

tuyến chạy dài từ Năm Căn đến Mèo Vạc, và nhận thấy là mô hình TTBT tính từ số liệu MAGSAT đã chọn thích hợp trong việc tách trường dị thường ở khu vực Việt Nam. Từ mô hình tính toán được kết hợp với kết quả tính biến thiên thế kỷ, tác giả đã đưa ra mô hình từ trường bình thường cho các niên đại từ 1960 – 1980. Tuy nhiên, ngày nay chúng ta biết rằng vệ tinh MAGSAT chỉ cho số liệu trong thời gian rất ngắn (30/10/1979 – 11/6/1980) cũng như độ cao quỹ đạo của nó thay đổi nhiều (từ 352km-578km) và độ chính xác của phép đo là không cao (với F là  $\pm 1nT$  và các thành phần là  $\pm 3nT$ ) và cộng với các sai số khác dẫn đến tổng các sai số cho mô hình TTBT này khá cao là  $\pm 60nT$ . Những vệ tinh sau này sử dụng các thiết bị đo đạt độ chính xác cao hơn nhiều, hơn nữa với mô hình TTBT này tác giả đã sử dụng phương pháp phân tích điều hòa cầu đến bậc  $n=m=13$ , tức là đã quan tâm đến các sóng có bước sóng khoảng 3000km. Tuy nhiên, ngày nay có rất nhiều nghiên cứu chi tiết đòi hỏi phải mô hình hóa trường từ của lớp vỏ Trái Đất nằm nông hơn để có thể biểu diễn được không những trường lưỡng cực, trường lục địa mà còn cả phần trường khu vực, do vậy cần quan tâm đến những sóng có bước sóng nhỏ hơn, khi đó cần phải có nhiều số liệu hơn và thời gian tính toán sẽ lâu hơn và điều này có thể dẫn đến sai số tính toán sẽ tăng lên nếu phân bố số liệu không đều và rộng khắp hoặc dẫn đến sự chênh lệch giữa số liệu đo đạc và mô hình tăng lên.

Năm 1992 Nguyễn Thị Kim Thoa và nnk [16] đã xây dựng bản đồ trường bình thường cho lãnh thổ Việt Nam dựa vào phương pháp đa thức bậc hai và số liệu trên mạng lưới 56 điểm đo phân bố khá đều khắp toàn lãnh thổ, trong đó có 18 điểm là các cột mốc vĩnh cửu, các điểm còn lại là cột mốc tạm thời. Để thực hiện nghiên cứu này, các phép đo đạc được sự giúp đỡ của Viện Vật lý địa cầu Paris gồm từ kế Proton có độ phân giải 0,1nT kính kinh vĩ có độ phân giải với đo D và I là 0.1". Sai số của việc đo đạc và xử lý số liệu quy về năm 1991.5 đối với các thành phần là:  $\sigma_F = 9nT$ ,  $\sigma_H = 9nT$ ,  $\sigma_Z = 4.5nT$ ,  $\sigma_D = 1''$ . Kết quả thu được là các phương trình biểu diễn trường cho các thành phần H, Z, F và I cho niên đại 1991.0.

Năm 1997 Hà Duyên Châu [2] đã tiến hành đo lặp tại 56 điểm trên, với năm điểm không đáp ứng được yêu cầu đã phải di chuyển và tác giả cũng đã xây dựng bản đồ trường bình thường cho niên đại 1997.5 cho các thành phần của trường từ

dựa vào phương pháp đa thức bậc 2. Năm 2003 Hà Duyên Châu [33] tiếp tục tiến hành đo lặp lần thứ hai tại 58 điểm đo. Tác giả cũng đã xây dựng bản đồ trường bình thường cho niên đại 2003.5 cho cả 7 thành phần của trường từ cũng dựa vào phương pháp đa thức bậc 2. Cần chú ý rằng các bản đồ TTBT này đều chỉ có phần lãnh thổ Việt Nam, còn phần lãnh hải rộng lớn của Việt Nam đều không có số liệu. Đây cũng là tập bản đồ TTBT cho lãnh thổ Việt Nam được thành lập gần đây nhất.

### 1.2.2 Sử dụng phương pháp SCHA để tính TTBT cho một khu vực

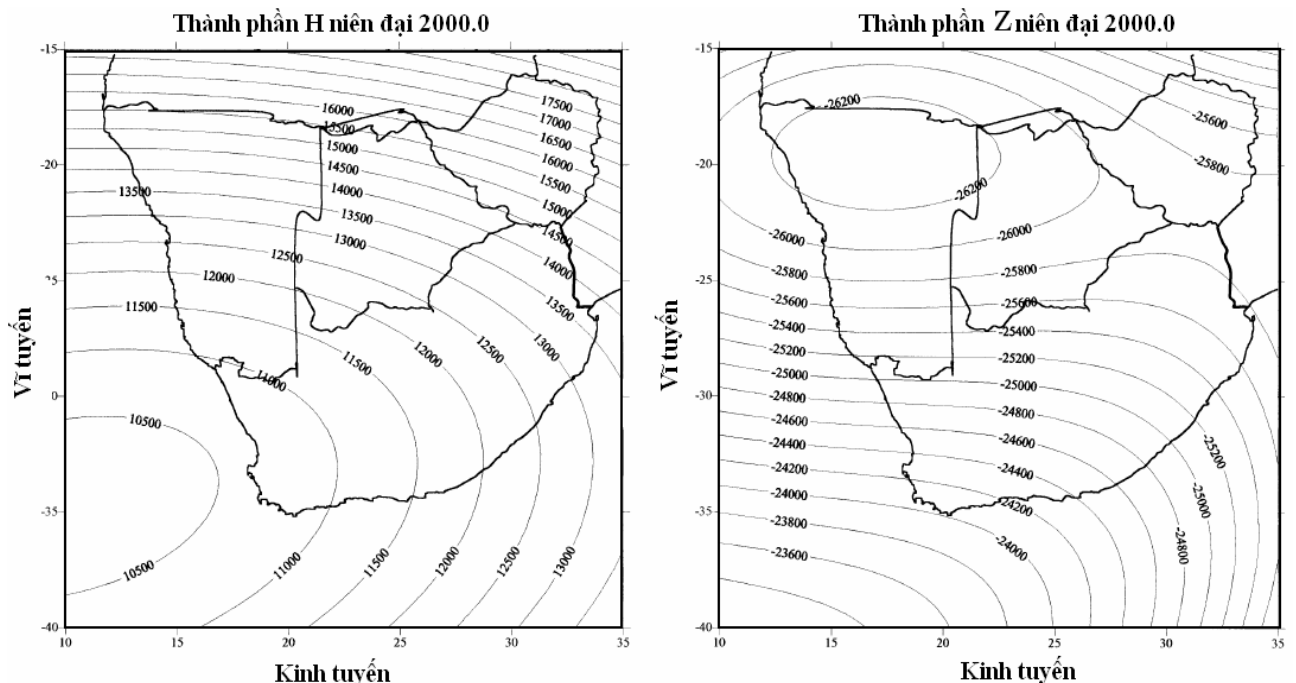
Phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu (SCHA) đã được Haines [54] công bố lần đầu tiên vào năm 1985. Phương pháp SCHA cho phép mô hình hóa TTBT cho một khu vực hay cho một quốc gia khi chúng ta chỉ có số liệu trường từ trong khu vực hay quốc gia đó và nó có ưu điểm là có thể sử dụng số liệu ở những độ cao khác nhau để tính toán. Cho đến nay, việc sử dụng phương pháp SCHA với số liệu trường từ thu được trên các vệ tinh để mô hình hóa TTBT và biến thiên thế kỷ cho mỗi quốc gia hay cho một khu vực đã được nhiều nước trên thế giới thực hiện và đã thu được những kết quả khá tốt. Những mô hình TTBT này không những phản ánh được trường từ chính của Trái Đất mà nó còn biểu diễn được cả trường lực địa rộng lớn và một phần trường khu vực khi nó có thể phản ánh được các sóng có bước sóng cỡ vài trăm km; đây chính là một ưu thế của phương pháp SCHA so với phương pháp phân tích điều hòa cầu thông thường. Điều này khá quan trọng, chẳng hạn như trong nghiên cứu dị thường từ, để làm nổi bật lên những dị thường cần quan tâm, người ta mong muốn loại bỏ đi cả những trường từ của lớp đất đá nằm trong vỏ Trái Đất.

Đầu tiên là nghiên cứu của Haines [55-57] sử dụng số liệu vệ tinh MAGSAT và số liệu từ hàng không kết hợp với số liệu đài trạm mặt đất để xây dựng bản đồ TTBT cho Canada niên đại 1980.0, tác giả đã lựa chọn góc chỏm cầu  $\theta_0=30^0$  và bậc khai triển  $K_{\max}=16$ , và kết quả là đã thành lập được bản đồ TTBT thành phần H và Z cho toàn bộ đất nước Canada và vùng lân cận.

Santis [104-105] đã sử dụng số liệu vệ tinh MAGSAT để lập bản đồ các thành phần TTBT cho Italia bằng phương pháp SCHA và phương pháp đa thức bậc

2, sau khi so sánh hai kết quả đã đi đến kết luận rằng bản đồ TTBT tính bằng phương pháp SCHA cho sai số thấp hơn. Trong [39], Duka đã sử dụng số liệu vệ tinh MAGSAT và sử dụng phương pháp SCHA, phương pháp DESI (nghịch đảo nguồn tương đương lưỡng cực), phương pháp PESI (nghịch đảo nguồn tương đương đa thức), phương pháp MESI (nghịch đảo nguồn tương đương đơn cực), phương pháp RHA (điều hòa hình chữ nhật) để xây dựng bản đồ TTBT và dị thường từ cho lãnh thổ Italia. Duka cũng đã nhận thấy rằng mô hình trường từ bình thường cho lãnh thổ Italia tính bằng phương pháp SCHA cho sai số thấp hơn các phương pháp còn lại. Ngoài ra tại khu vực châu Âu còn có nghiên cứu của Korte [65],[66]... cũng sử dụng phương pháp SCHA để tính TTBT cho khu vực.

Tương tự, Kotzé [64] đã sử dụng số liệu vệ tinh Ørsted trong vòng 2 tháng (từ tháng 12/1999 đến 1/2000) để mô hình hóa trường từ cho khu vực Nam Mỹ tính cho niên đại 2000.0 (Hình 1.7). Trong nghiên cứu này, tác giả đã lựa chọn góc chỏm cầu  $\theta_0=20^\circ$  và bậc khai triển  $K_{\max}=8$  cho phần trường có nguồn gốc bên trong. Như vậy mô hình TTBT này đã biểu diễn được các sóng có bước sóng khoảng 1200km.



Hình 1.7: TTBT niên đại 2000.0 thu được tại Nam Mỹ với thành phần H (hình trái) và thành phần Z (hình phải) (Theo Kotzé và Haak, [64]).

Ở khu vực châu Á, An [26] đã sử dụng phương pháp SCHA với số liệu tại 220 điểm đo lặp và các đài địa từ tại Trung Quốc và Mông Cổ để tính TTBT và dị thường từ cho vùng đất liền của cả khu vực rộng lớn kéo dài từ vĩ độ  $20^{\circ}\text{N}$ - $70^{\circ}\text{N}$  và kinh độ từ  $40^{\circ}\text{E}$  -  $160^{\circ}\text{E}$ . Tương tự, Gu [51] đã sử dụng số liệu tại 170 điểm đo trên toàn lãnh thổ Trung Quốc và áp dụng phương pháp SCHA để tính TTBT cho toàn bộ khu vực niên đại 2003.0 với  $K_{\max}=8$  và thu được bản đồ TTBT cho toàn bộ khu vực nghiên cứu với độ lệch giữa đo đạc và mô hình cho các thành phần X, Y, Z như sau:  $\sigma X=84.9\text{nT}$ ,  $\sigma Y=76.9\text{nT}$   $\sigma Z=119.1\text{nT}$ .

Qamili [89-90] đã sử dụng phương pháp SCHA với số liệu thu được trên các vệ tinh CHAMP, Orsted và các điểm đo lặp để tính cho Albania và phía đông Italia cho niên đại 1990.0; 1995.0; 2010.0 tại các điểm đo lặp và đài địa từ thuộc Albania và Italy để mô hình hóa TTBT cho khu vực từ năm 1988 đến 2010. Gaya-Piqué [50] đã sử dụng số liệu CHAMP và số liệu đài trạm để mô hình hóa trường từ bình thường cho Nam cực từ năm 1960 đến năm 2000. Tác giả cũng so sánh bản đồ TTBT thu được từ các vệ tinh POGO, MAGSAT, and Ørsted và kết luận rằng bản đồ TTBT thu được từ số liệu CHAMP cho độ lệch bình phương trung bình nhỏ hơn so với bản đồ TTBT tính từ các số liệu khác. Thébault [108],[118] đã sử dụng số liệu trên CHAMP và số liệu các điểm đo lặp để mô hình hóa TTBT cho toàn bộ nước Pháp cho các niên đại khác nhau 2000.0; 2005.0 và 2007.5 để tính ra biến thiên thế kỷ cho từng thời kỳ.

Năm 2011, Zhi [114] đã sử dụng số liệu tại 88 điểm đo trường địa từ trong khu vực giới hạn theo vĩ độ từ  $3^{\circ}\text{N}$  đến  $23^{\circ}\text{N}$  và theo kinh độ  $110^{\circ}$ - $130^{\circ}\text{E}$  để mô hình hóa trường từ cho khu vực Philippin niên đại 2005.0 bằng phương pháp SCHA và phương pháp đa thức Taylor. Kết quả đã xây dựng được các bản đồ TTBT của 7 thành phần của trường từ cho khu vực nghiên cứu và cho thấy rằng mô hình dùng phương pháp SCHA mô tả các thành phần trường từ rõ ràng hơn phương pháp phân tích đa thức và độ lệch bình phương trung bình của phương pháp SCHA thấp hơn.

Như vậy, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về việc sử dụng phương pháp SCHA để mô hình hóa TTBT cho nhiều quốc gia khác nhau sử dụng số liệu thu

được tại các đài địa từ hoặc trên các vệ tinh cũng như kết hợp với nhiều số liệu khác. Các bản đồ TTBT tính cho từng quốc gia bằng phương pháp SCHA là rất tin cậy và thường có độ lệch nhỏ hơn so với các phương pháp khác. Còn tại Việt Nam, ngoài công trình của Nguyễn Văn Giảng còn lại hầu hết những nghiên cứu gần đây, để mô hình hóa TTBT cho Việt Nam các tác giả thường sử dụng số liệu tại các đài địa từ, các điểm đo lặp hay các điểm đo từ tạm thời và thường dùng phương pháp đa thức bậc hai, nhưng thông thường phương pháp này chỉ phù hợp với một khu vực nhỏ và hơn nữa do lãnh thổ Việt Nam kéo dài, bề ngang hẹp nên và các số liệu không thể phân bố đều khắp lãnh thổ lãnh hải. Do vậy, mô hình TTBT vẫn còn sai số cao, chưa phản ánh hết phần trường khu vực và nhất là vùng lãnh hải của Việt Nam, nơi chúng ta có rất ít số liệu nên việc nghiên cứu trường bình thường và trường dị thường cho vùng này còn nhiều hạn chế.

### **1.3 Số liệu phục vụ nghiên cứu**

#### **1.3.1 Quan sát trường từ bằng các vệ tinh**

Qua gần một nửa thập kỷ qua, chúng ta đã có gần 20 vệ tinh khác nhau chuyên dụng có gắn các thiết bị đo đặc trường địa từ với danh sách và một số tham số chính được nêu trong bảng 1.2. Trong khoảng thời gian những năm 1960-1980, do hạn chế về công nghệ, các vệ tinh COSMOS và chuỗi vệ tinh OGO chỉ đo trường tổng (F) và các thiết bị có độ chính xác rất thấp. Backus [27] đã chỉ ra rằng việc chỉ sử dụng số liệu trường tổng để mô hình hóa trường từ trên toàn cầu là bài toán phi tuyến sẽ gây nên sai số lớn trong vùng vĩ độ thấp (nhỏ hơn  $20^0$ ) so với mô hình trường xây dựng từ ba thành phần X, Y, Z; hiệu ứng này hiện nay thường được gọi là hiệu ứng Backus. Điều này cũng đã được Holme [60] cho thấy rõ khi sử dụng số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP, sự chênh lệch giữa mô hình chỉ sử dụng F và mô hình sử dụng cả ba thành phần của trường từ với thành phần thẳng đứng (Z) có thể lên đến 2400nT. Do vậy, sau những năm 1980 người ta đều thiết kế phóng các vệ tinh đều đo đồng thời cả ba thành phần của trường từ và trường tổng.

Cho đến nay, các số liệu trường địa từ thu được trên các vệ tinh có quỹ đạo thấp như MAGSAT, Ørsted, CHAMP và SAC-C là những số liệu đo có mật độ dày đặc và đồng nhất của trường địa từ với độ phân giải khá tốt. Tuy nhiên, vệ tinh

MAGSAT chỉ kéo dài khoảng sáu tháng, từ giữa năm 1979 đến đầu năm 1980, với nhiệm vụ đo từ trường tổng  $F$  và ba thành phần  $X$ ,  $Y$  và  $Z$  của trường từ. Vệ tinh Ørsted (phóng năm 1999) của Đan Mạch đã thực hiện cả hai phép đo là trường tổng và ba thành phần của từ trường ở độ cao hơn 650km, nhưng do tuổi thọ vệ tinh ngắn và quỹ đạo đồng độ theo Mặt Trời (vệ tinh có quỹ đạo luôn duy trì một điểm cố định theo hướng Mặt Trời) lúc bình minh và hoàng hôn đã hạn chế nghiên cứu về sự thay đổi của trường địa từ và các dòng điện trong tầng điện ly nói chung.

*Bảng 1.2: Một số vệ tinh đo đặc trường địa từ*

Vệ tinh	Năm bắt đầu/kết thúc	Độ nghiêng quỹ đạo (độ)	Độ cao so với bề mặt Trái Đất (km)	Độ chính xác (nT)	Ghi chú/ thành phần đo
COSMOS-49	1964	50 <sup>0</sup>	261-488	22	F
OGO-2	1965/1967	87 <sup>0</sup>	413-1510	6	F
OGO-4	4967/1969	86 <sup>0</sup>	412-908	6	F
OGO-6	1969/1971	82 <sup>0</sup>	397-1098	6	F
MAGSAT	1979/1980	97 <sup>0</sup>	350-550	$F=\pm 1/XYZ=\pm 3$	XYZ,F
DE-1	1981-1991	90 <sup>0</sup>	568-230	290	XYZ
DE-2	1981/1983	90 <sup>0</sup>	309-1012	30/100	XYZ
POGS	1990/1993	90 <sup>0</sup>	639-769		XYZ
UARS	1991/1994	57 <sup>0</sup>	560		XYZ
Orsted	1999	97 <sup>0</sup>	650-850	4	XYZ,F
<b>CHAMP</b>	<b>2000-2010</b>	<b>87<sup>0</sup></b>	<b>310-450</b>	<b><math>F=\pm 0.5/XYZ=\pm 1.5</math></b>	<b>XYZ,F</b>
SAC-C	2001-2004	97 <sup>0</sup>	698-705	4	F
SWARM A,B,C	2013	87 <sup>0</sup> /88 <sup>0</sup>	530/<450	2	XYZ,F

*Với các ký hiệu:*

- $F$  là trường từ tổng.
- $X,Y,Z$  lần lượt là các thành phần bắc, đông và thành phần thẳng đứng của trường địa từ.

Phạm vi quan sát theo không gian của vệ tinh phụ thuộc vào các thông số quỹ



đạo của nó. Phạm vi quan sát theo vĩ độ địa lý phụ thuộc vào góc nghiêng của quỹ đạo, là góc giữa mặt phẳng quỹ đạo và mặt phẳng xích đạo Trái Đất. Một vệ tinh có góc nghiêng của mặt phẳng quỹ đạo  $90^0$  sẽ đo đạc được ở tất cả các vĩ độ địa lý, quỹ đạo như vậy được gọi là quỹ đạo cực. Tuy nhiên, một vệ tinh có quỹ đạo cực sẽ có một số nhược điểm như: có thể phải mất thời gian dài mới có thể quét qua được hết các vùng kinh tuyến trên phạm vi toàn cầu, hơn nữa để đưa một vệ tinh vào quỹ đạo cực là rất khó khăn và tốn nhiên liệu nên cho đến nay chỉ có vệ tinh DE1, DE2, POGS là có quỹ đạo cực, các vệ tinh khác thường có quỹ đạo gần cực (bảng 1.2). Các vệ tinh có quỹ đạo gần cực tạo ra lớp phủ được toàn cầu qua tất cả các vùng kinh tuyến trong khoảng thời gian ngắn hơn, rất thuận lợi cho việc nghiên cứu các hiện tượng địa vật lý ở quy mô toàn cầu. Nếu vệ tinh hoàn thành một số nguyên lần quỹ đạo sau 24h thì vệ tinh sẽ trở lại vị trí sau đúng 24h và được gọi là vết quỹ đạo lặp lại 1 ngày. Những số liệu này dùng để nghiên cứu cho một vùng cố định thì rất tốt nhưng nó sẽ phủ một vùng hạn chế theo kinh tuyến. Do vậy khi thiết kế và điều khiển vệ tinh người ta phải tránh hiện tượng này, để vệ tinh cắt qua tất cả các khu vực trên toàn cầu và tại các giờ địa phương khác nhau.

Để số liệu có độ chính xác cao, điều quan trọng là phải biết chính xác thời gian đo và tọa độ điểm đo. Với thời gian thì hiện nay hầu hết trên các vệ tinh đều dùng đồng hồ thạch anh với độ chính xác rất cao và ít bị ảnh hưởng bởi yếu tố bên ngoài (nhiệt độ, áp suất, các sóng đến từ Mặt Trời...), và với sự phát triển nhanh chóng của mạng lưới các vệ tinh GPS chuyên phục vụ xác định tọa độ thì việc xác định tọa độ của từng điểm đo đạt được độ chính xác khá cao.

Các vệ tinh khác nhau có độ cao khác nhau. Đối với các nghiên cứu cần độ phân giải cao và quy mô nhỏ ở vỏ Trái Đất, độ cao bay càng thấp càng tốt vì khi đó vệ tinh gần nguồn hơn. Tuy nhiên ở quỹ đạo thấp thì sẽ dẫn đến sự mất độ cao diễn ra nhanh hơn hay tuổi thọ của vệ tinh ngắn hơn. Nên chọn độ cao quỹ đạo ở tầng mà mật độ dòng điện trong không gian là thấp nhất để những ảnh hưởng của nó đến tuổi thọ vệ tinh là thấp nhất. Vì vậy có rất nhiều thông số khác nhau cần phải xem xét khi thiết kế quỹ đạo của một vệ tinh. Phụ thuộc vào đối tượng và mục đích nghiên cứu của từng vệ tinh người ta phải lựa chọn tối ưu các thông số.

### 1.3.2 Vệ tinh CHAMP

#### 1.3.2.1 Mục đích và nhiệm vụ của vệ tinh CHAMP

Các mô hình toàn cầu về trường trọng lực và trường từ của Trái Đất luôn được nhiều nhà khoa học quan tâm. Hai trường thế trên kết hợp với phân tích sóng địa chấn cho những thông tin rất quan trọng để nghiên cứu cấu trúc, thành phần vật chất và các biến đổi của Trái Đất; các mô hình toàn cầu của trường từ và trường trọng lực là những thông tin quan trọng để nghiên cứu về thời tiết vũ trụ và biến đổi khí hậu, thay đổi mực nước biển, dòng hải lưu và cho nhiều nghiên cứu khác.

Nhằm nâng cao hiệu quả của các quan sát trường từ và trường trọng lực từ vệ tinh, giữa năm 2000 các nhà khoa học Đức đã phóng vệ tinh CHAMP, nhiệm vụ của vệ tinh này có thể được tóm tắt trong ba điểm chính sau:

- Xác định chính xác các đặc trưng toàn cầu của trường trọng lực và sự thay đổi theo thời gian của nó.

- Cho phép xác định trên qui mô toàn cầu với độ chính xác cao của trường địa từ và các điểm dị thường của vỏ Trái Đất với các biến đổi của nó trong không gian và theo thời gian.

- Xác định phân bố tổng thể về nhiệt độ, nồng độ hơi nước và mật độ điện tử của bầu khí quyển.

Vệ tinh CHAMP với những ưu điểm như thiết bị có độ phân giải cao, quỹ đạo thấp (độ cao từ 300km đến 454km), độ nghiêng gần như vuông góc với xích đạo (mặt phẳng quỹ đạo nghiêng  $87,3^\circ$ ) bắt đầu cung cấp số liệu từ tháng 6/2000. Chuỗi số liệu quan sát của CHAMP cho tới khi kết thúc nhiệm vụ vào 19/9/2010 sau hơn 10 năm hoạt động liên tục đã được sử dụng để nghiên cứu sự biến đổi liên tục của trường địa từ. Với các lợi thế trên của CHAMP, các số liệu của nó cho phép nghiên cứu các môi trường cả bên trong và bên ngoài Trái Đất gồm:

- Địa quyển: cho phép nghiên cứu về cấu trúc và động lực từ nhân đến manti, lớp vỏ Trái Đất và nghiên cứu sự tương tác giữa đại dương và tầng khí quyển.

- Thủy quyển: theo dõi chính xác hơn về hải lưu, mực nước biển toàn cầu thay đổi và những thay đổi ngắn hạn trong cân bằng nước toàn cầu cũng như tương tác với thời tiết và khí hậu.

- Khí quyển: Cho phép xác định các lớp của khí trung hòa, ion theo chiều thẳng đứng và mối quan hệ thời tiết- Trái Đất- thời tiết vũ trụ.

Về trường địa từ, từ số liệu thu được trên CHAMP khi tách ra được các phần đóng góp trường từ của các nguồn khác nhau chúng ta sẽ thu được các thông tin về cấu trúc, địa động lực của các nguồn này bao gồm:

- Quá trình địa động lực học trong nhân, sự chuyển động của chất lỏng trong nhân gây ra trường chính.

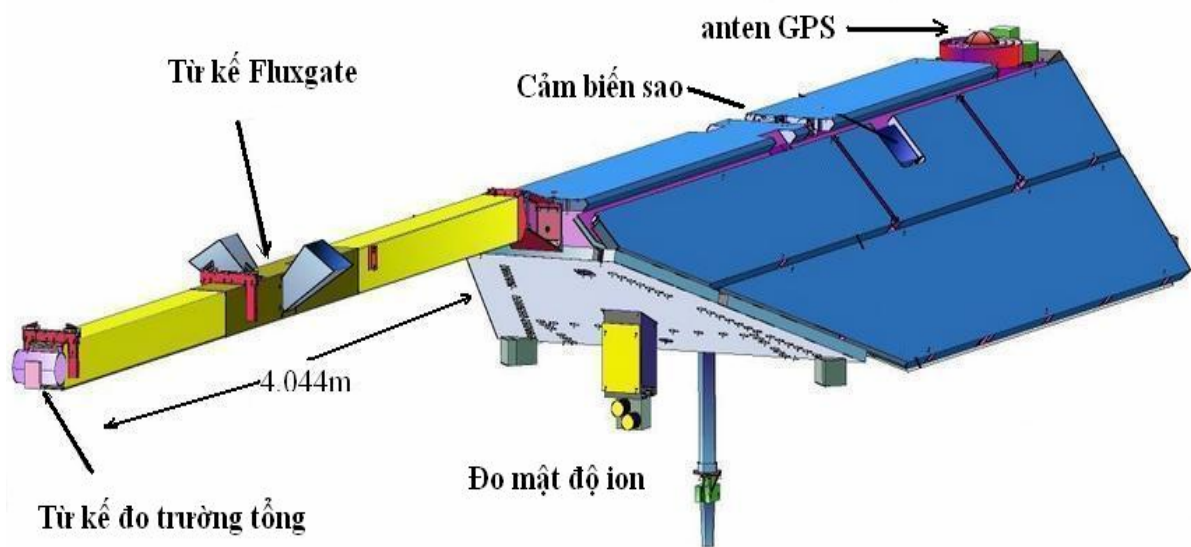
- Sự phân bố của đất đá mang từ tính trong lớp vỏ Trái Đất (phần trường vỏ).

- Các hệ dòng điện trong tầng điện ly và từ quyển, những dòng cảm ứng của chúng trong vỏ Trái Đất (phần trường ngoài).

Do trường từ của các hệ dòng trong tầng điện ly và của lớp vỏ Trái Đất thường rất nhỏ so với trường từ trong nhân gây ra cũng như do độ cao quỹ đạo của vệ tinh do đó đòi hỏi các vệ tinh phải gắn các thiết bị có độ chính xác cao. Điều này đã được các nhà khoa học chú ý ngay từ khi thiết kế và chế tạo vệ tinh CHAMP.

### 1.3.2.2 Các thông số chính của vệ tinh CHAMP

Vệ tinh CHAMP (**CH**allenging **Mini**satellite **P**ayload) được thiết kế và chế tạo bởi Trung tâm nghiên cứu Khoa học Quốc gia Đức với tổng trọng lượng 522kg, được phóng từ bộ phóng COSMOS của Nga, bắt đầu cho số liệu liên tục từ ngày 15/07/2000. Trên boong vệ tinh này có nhiều thiết bị cho phép thu được nhiều loại



Hình 1.8: Mô hình và vị trí lắp đặt các thiết bị đo trường từ trên vệ tinh CHAMP.

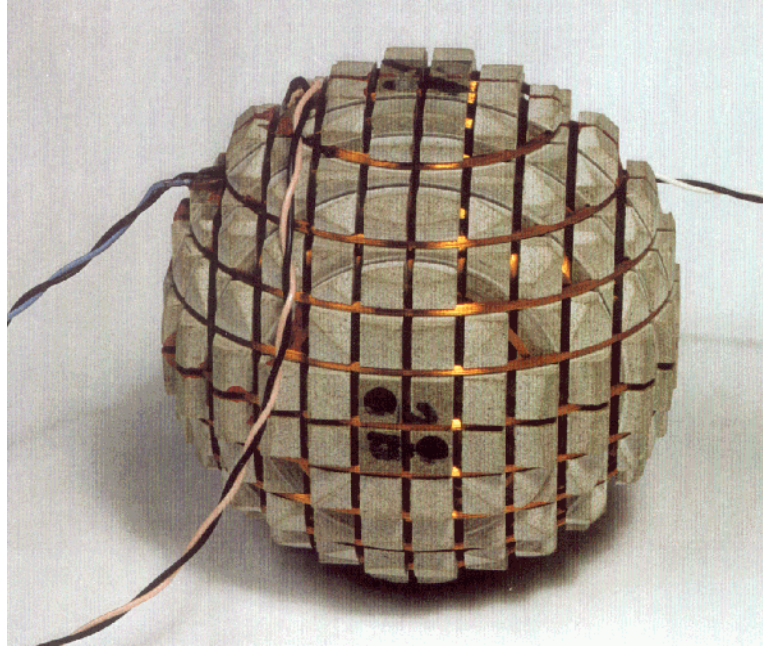
số liệu khác nhau như: mật độ điện tử, trường trọng lực, nồng độ khí oxy, khí nitơ, thời gian chuẩn (dùng đồng hồ thạch anh), định vị GPS, trường từ (F và X, Y, Z), vị trí các thiết bị được biểu diễn trên hình 1.8. Việc đo đạc các thành phần của trường từ trên vệ tinh, điều rất quan trọng là phải xác định đúng hướng đo trong không gian. Do vậy trên vệ tinh CHAMP đã sử dụng một máy ảnh gắn ở một đầu một thanh làm bằng vật liệu đặc biệt, không bị biến dạng do nhiệt độ, áp suất.... Máy ảnh sẽ xác định hướng và sẽ điều chỉnh xoay từ kế fluxgate theo đúng hướng bắc nam-đông tây và chiều thẳng đứng.

### 1.3.2.3 Từ kế đo ba thành phần trường từ

Để đo ba thành phần X, Y, Z của trường từ, người ta sử dụng từ kế fluxgate FGM có 3 trục vuông góc với nhau. Từ kế này được thiết kế bởi trường Đại học kỹ thuật Đan Mạch (DTU). Bộ cảm biến được thiết kế dựa trên công nghệ CSC (compact sperical coin) là một hệ thống cuộn dây quấn hình cầu (Hình 1.9), bao gồm ba cuộn dây được quấn lần lượt quanh một quả cầu có đường kính 82mm. Cấu hình dạng cầu này tạo ra một trường đồng nhất trong thể tích cầu bên trong hệ thống. Dòng điện đi qua các cuộn dây được điều khiển bởi một dòng chuẩn tiến tới làm triệt tiêu trường từ môi trường. Ba bộ cảm biến hình khuyên được đặt ở tâm khối cầu cho phép chỉ ra sự triệt tiêu của trường từ môi trường xung quanh. Nhờ có cấu hình đặc biệt này mà từ kế có độ tuyến tính tốt và độ ổn định rất cao.

Từ kế FGM có dải đo từ  $-65000\text{nT}$  đến  $+65000\text{nT}$ , bao trùm toàn bộ độ lớn của trường địa từ. Tần số lấy mẫu 50 Hz cho phép xác định giá trị trường từ với độ phân giải theo khoảng cách là 150m dọc theo quỹ đạo. Các sai số tuyệt đối do độ lệch tuyến tính là cỡ 1nT và sai số bình phương trung bình gây bởi nhiễu là cỡ 0,5 nT. Đầu ra của thiết bị được số hóa bằng thiết bị tương tự - số 24bits, sau đó các số liệu được nén lại và truyền về mặt đất.

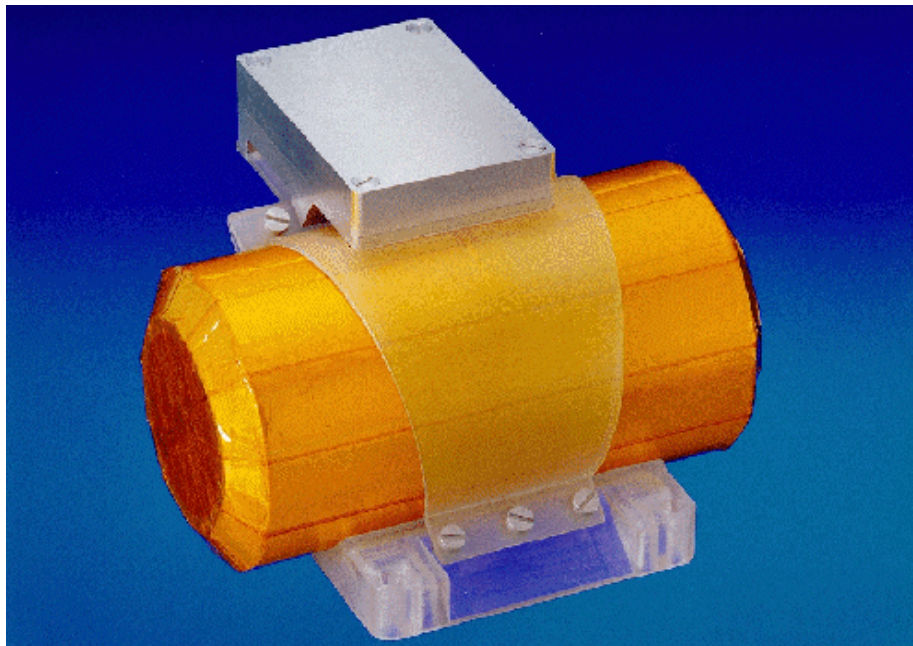
Nhấn mạnh rằng các phép đo ba thành phần được chuẩn hóa bằng các đo đạc trường tổng để đảm bảo các đo đạc ba thành phần có độ chính xác cao. Hơn nữa, do các sai số gây bởi sự thay đổi độ cao, nên cần phải hiệu chỉnh các số liệu đo đạc bằng mô hình trường chính POMME 3.1 (the POTsdam Magnetic Model of the Earth) (Theo Maus, [77]).



*Hình 1.9: Bộ cảm biến của từ kế fluxgate đo ba thành phần của trường từ.*

#### **1.3.2.4 Từ kế đo trường từ tổng**

Từ kế proton vô hướng (Overhauser magnetometer - OVM) được thiết kế tại Phòng Thí nghiệm Điện tử Công nghệ và Thiết bị (Leti) ở thành phố Grenoble, Pháp, dựa trên nguyên tắc cộng hưởng từ proton (Hình 1.10). Khi một dung dịch giàu proton đặt trong một trường từ đồng nhất, các proton sẽ chuyển động tuế sai xung quanh hướng của từ trường với một tần số tỷ lệ với biên độ trường tác dụng.

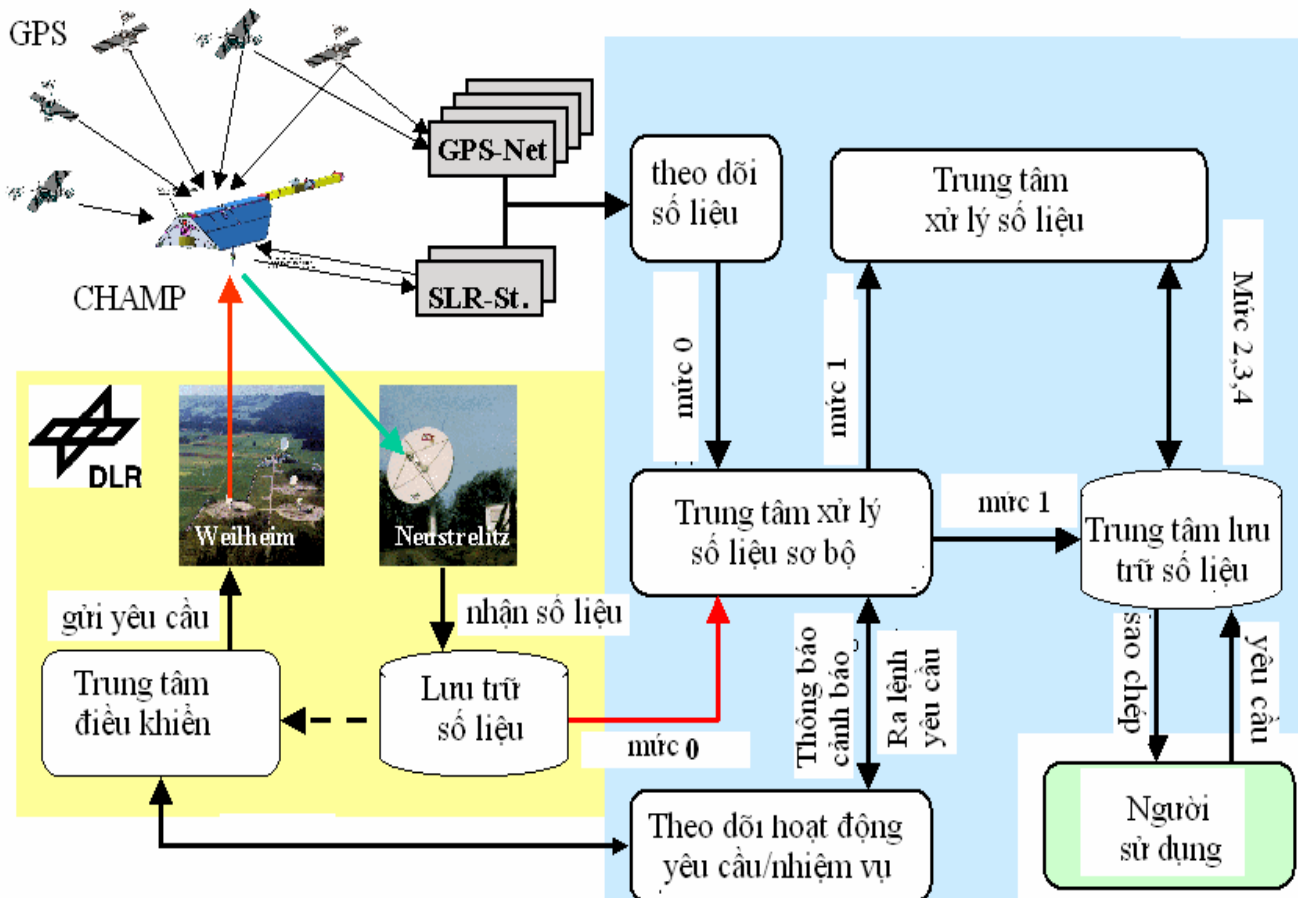


*Hình 1.10: Bộ cảm biến của từ kế proton đo trường tổng.*

Về nguyên tắc, tần số này độc lập với hướng của từ trường và nhiệt độ môi trường và sự chuyển động của các proton không có sự trôi dạt. Việc đo tần số dao động tuế sai chính xác cho phép xác định được cường độ của trường từ môi trường. Hằng số tỷ lệ giữa tần số hồi chuyển và độ lớn trường từ được gọi là tỷ số hồi chuyển. Tần số lấy mẫu của từ kế OVM 1Hz và dải đo từ 18000nT đến 65000nT với độ phân giải 10 pT, với sai số bình phương trung bình của nhiễu dưới 50 pT. Sai số đo tuyệt đối cỡ 0.5nT.

### 1.3.3 Số liệu trường từ trên vệ tinh CHAMP

Toàn bộ quá trình thu nhận và xử lý số liệu CHAMP được tổng hợp như trên sơ đồ hình 1.11. Nó là một quá trình khép kín gồm: ghi số liệu trên vệ tinh – nén và gửi số liệu về mặt đất – theo dõi và xử lý số liệu – người sử dụng – các yêu cầu phản hồi từ người sử dụng – gửi yêu cầu đến trung tâm điều khiển – gửi lệnh điều khiển lên vệ tinh.



Hình 1.11: Sơ đồ quá trình lưu trữ và xử lý số liệu vệ tinh CHAMP.

Trung tâm điều khiển CHAMP đặt tại thành phố Weilheim và trung tâm thu nhận số liệu đặt tại thành phố Neustrelitz của Đức. Trung tâm thu nhận số liệu có khả năng thu nhận từ 150Mb-220Mb/ngày tùy theo độ cao quỹ đạo vệ tinh. Bộ nhớ trên vệ tinh CHAMP lưu được 100Mb và bộ nhớ đệm được 25Mb. Các số liệu được ghi liên tục và truyền về mặt đất, số liệu truyền thành công sẽ được xóa đi để giải phóng bộ nhớ và nó sẽ lưu trữ được trong vòng 13giờ nếu số liệu không truyền đi được. Quá thời gian trên số liệu cũ sẽ bị xóa đi và ghi đè số liệu mới. Như vậy quá trình lưu trữ và truyền số liệu trên CHAMP là rất chặt chẽ và đảm bảo hầu như không bị mất số liệu. Các số liệu ghi nhận được ban đầu tại mặt đất còn gọi là số liệu “mức 0” sẽ được lưu trữ tại Trung tâm lưu trữ số liệu Neustrelitz. Số liệu tiêu chuẩn của CHAMP gồm 5 mức tương đương với các quá trình xử lý số liệu như sau:

- Mức 0: Số liệu thô các loại nhận được từ vệ tinh.
- Mức 1: Chuỗi số liệu thô đã giải nén và các tài liệu nhiệt độ, hoạt động vệ tinh, các thông báo.
- Mức 2: Chuỗi số liệu nguyên thủy theo vị trí đã hiệu chỉnh thời gian, các tài liệu vector và cường độ trường tổng được lấy trung bình ở độ phân giải thời gian 1 giây. Tài liệu vector được xử lý với tập hợp các tham số được cập nhật thường xuyên. Tài liệu được cho trong hai hệ tọa độ, hệ tọa độ gắn với các đầu cảm biến và hệ tọa độ vuông góc tâm ở tâm Trái Đất, trục X hướng về phía Bắc, trục Y hướng về phía Đông (hệ tọa độ NEC).
- Mức 3: Sản phẩm tài liệu ở mức này gồm các chuỗi theo thời gian của các thành phần trường từ trong hệ tọa độ NEC dựa trên thông tin từ các phép đo chuẩn trong chuyến bay và mô hình hóa. Mức này cung cấp tài liệu vector với độ phân giải thời gian 5 giây và số liệu trường tổng với độ phân giải thời gian 1 giây. Vị trí được cho trong hệ tọa độ địa lý và hệ tọa độ từ.
- Mức 4: Tính các mô hình trường từ nguồn gốc bên trong và bên ngoài dưới dạng các hệ số điều hòa cầu.

Trong nghiên cứu này cũng như trong các nghiên cứu khác đã công bố trên thế giới đều sử dụng số liệu mức 3 là số liệu đã được kiểm tra và hiệu chỉnh chính xác về tọa độ, thời gian.

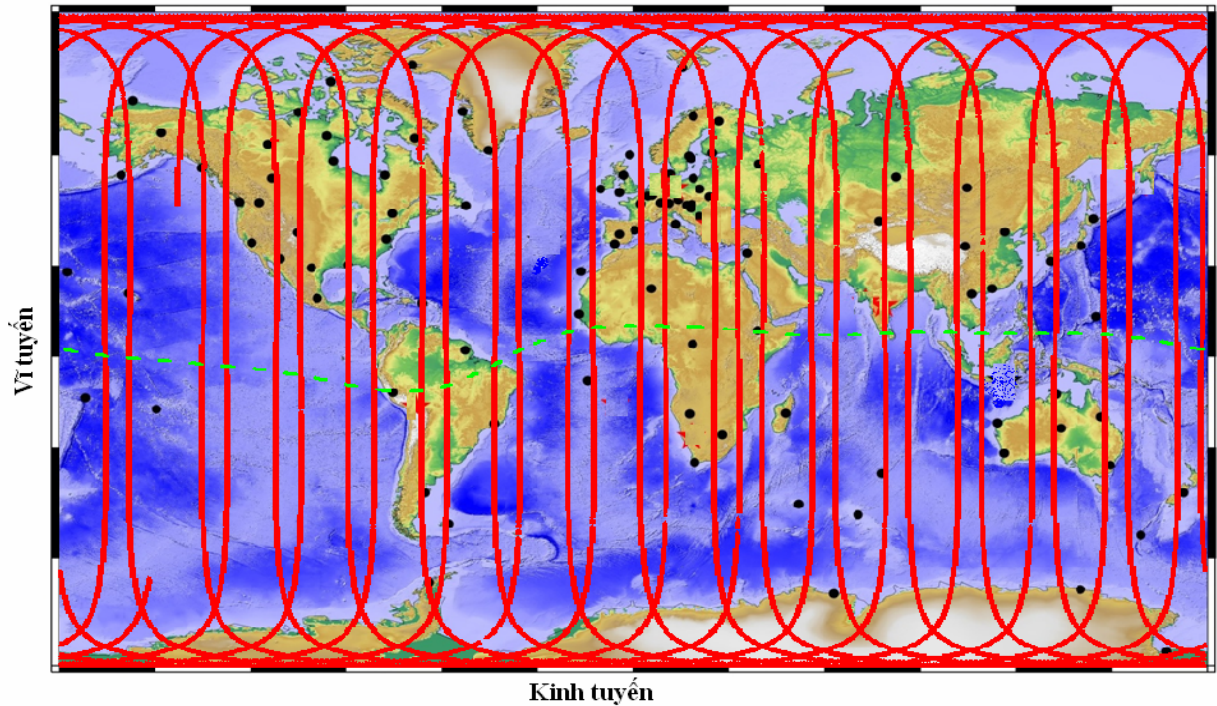
Cho đến nay, nhờ quá trình hợp tác nghiên cứu khoa học giữa Viện Vật lý địa cầu Hà Nội và Viện Vật lý Địa cầu Paris với sự giúp đỡ trực tiếp của TS. Cohen và TS. Doumouya, chúng tôi đã thu thập chuỗi số liệu thu được trên CHAMP từ tháng 7/2001 đến tháng 12/2007 bao gồm: số liệu 3 thành phần X,Y,Z từ tháng 1/2006 đến 12/2007 và số liệu trường tổng F từ tháng 7/2001 đến tháng 12/2007 (Bảng 1.3). Các số liệu trường tổng F được lưu trữ một năm một tệp với kích thước khoảng 250Mb/năm còn số liệu ba thành phần của trường từ lưu trữ dưới dạng file nén bằng định dạng CDF (Common Data Format) và được đọc bằng phần mềm chuyên dụng của NASA. Trong mỗi tệp số liệu bao gồm các thông tin: Năm – tháng – ngày - giờ - phút – giây - độ cao - kinh độ - vĩ độ - giá trị đo, ngoài ra còn có giá trị chỉ số Kp, bán kính Trái Đất tại vị trí đo....

*Bảng 1.3: Tổng hợp số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP*

<b>Năm</b>	<b>Số điểm đo</b>	<b>Ghi chú</b>
2001	12.945.025	6 tháng cuối năm/ F
2002	31.101.108	12 tháng/ F
2003	32.523.754	12 tháng/ F
2004	31.203.156	12 tháng/ F
2005	30.257.198	12 tháng/ F
2006	32.563.189	12 tháng/ F,XYZ
2007	31.581.367	12 tháng/ F,XYZ

Với tốc độ bay của vệ tinh CHAMP, thời gian để bay được một vòng quanh Trái Đất mất 93,55 phút tức khoảng 15,5 vòng/ngày. Hình 1.12 biểu diễn quỹ đạo của CHAMP trong 1 ngày 5/7/2001 bằng đường nét liền và vị trí các đài trạm địa từ trên mặt đất (chấm tròn) thuộc mạng lưới INTERMAGNET, đường gạch màu xanh biểu thị vị trí xích đạo từ (niên đại 2005.0). Như vậy, với quỹ đạo của vệ tinh CHAMP nó có thể bay qua được tất cả các vị trí trên bề mặt Trái Đất và với độ nghiêng của mặt phẳng quỹ đạo khoảng  $87^{\circ}$  quỹ đạo của CHAMP gần như song song với kinh tuyến và vuông góc với xích đạo.





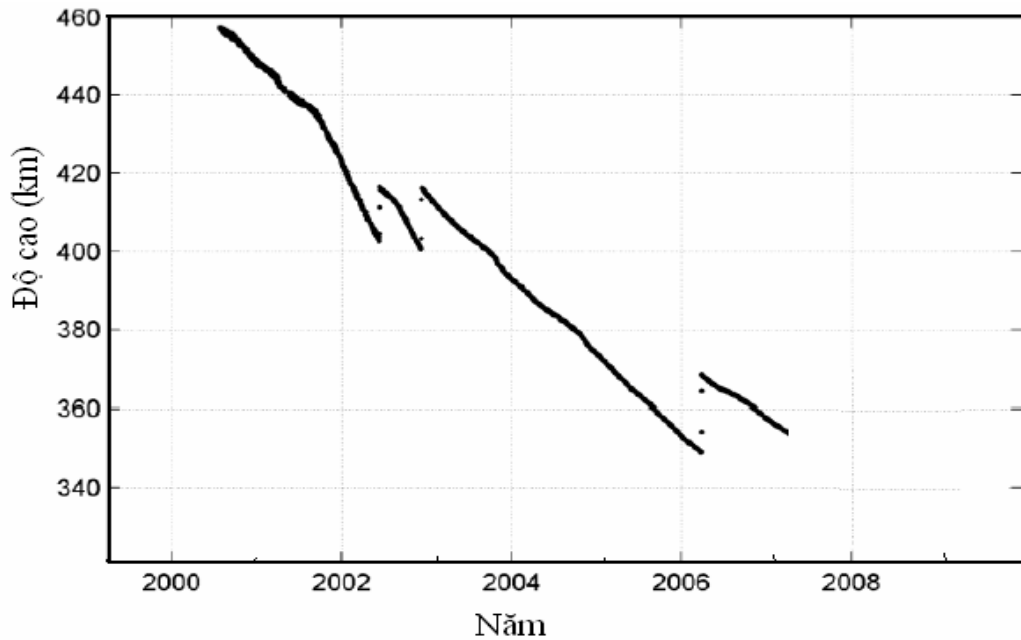
Hình 1.12: Quỹ đạo vệ tinh CHAMP trong ngày 5/7/2001.

Do sức hút của Trái Đất và do tác động của gió cũng như do năng lượng bị suy hao dần trong quá trình hoạt động nên quỹ đạo của các vệ tinh có xu hướng thấp dần (Hình 1.13 biểu diễn độ cao quỹ đạo của CHAMP trong khoảng thời gian từ tháng 7/2001 đến hết tháng 12/2007). Rõ ràng, rằng quỹ đạo của CHAMP đã giảm dần từ độ cao 454 km khi bắt đầu đi vào hoạt động, sau 3 lần điều chỉnh tăng độ cao phục vụ các mục đích nghiên cứu khác nhau đến cuối năm 2007 độ cao chỉ còn khoảng 348 km.

Khi thiết kế, thời gian tồn tại của CHAMP chỉ là 5 năm, tuy nhiên thực tế nó đã hoạt động dài gấp đôi dự kiến và đã kết thúc nhiệm vụ của mình vào ngày 19/9/2010. Vệ tinh CHAMP sau khoảng 10 năm hoạt động đã cung cấp một chuỗi số liệu khổng lồ cho các nghiên cứu về trường địa từ, trường trọng lực cũng như các trường vật lý khác. Với nhiều ưu điểm của thiết bị như: đo đạc cả trường tổng và các thành phần của trường từ có độ chính xác cao, quỹ đạo bay thấp do vậy cho đến nay đã có hàng trăm nghiên cứu về trường địa từ sử dụng số liệu CHAMP được công bố.

Bảng 1.2 ở trên cho thấy ở vệ tinh CHAMP, sai số đo trường tổng là  $\pm 0.5\text{nT}$  và đo ba thành phần vectơ của trường từ là  $\pm 1.5\text{nT}$ . Ngoài ra độ lệch giữa đo trường tổng và đo các thành phần của trường từ với số liệu ở mức 3 được giới hạn là

$<0.5\text{nT}$ . Như vậy, tổng cộng sai số do thiết bị và đo đạc trên vệ tinh CHAMP vào khoảng  $\pm 1\text{nT}$  với trường tổng và  $\pm 2\text{nT}$  với ba thành phần của trường từ.



Hình 1.13: Độ cao quỹ đạo vệ tinh CHAMP theo thời gian (từ 7/2001 - 12/2007).

#### 1.3.4 Số liệu trường từ tại các đài địa từ

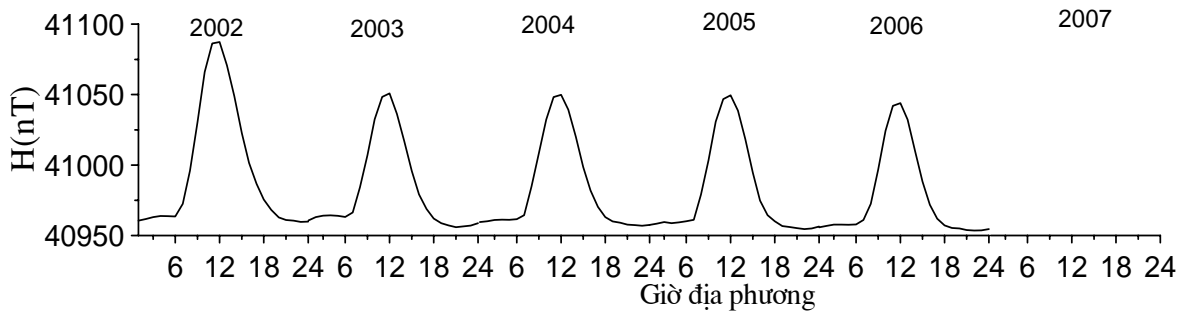
Trong nghiên cứu này, ngoài việc sử dụng số liệu trường địa từ thu được trên vệ tinh CHAMP chúng tôi còn sử dụng số liệu tại các đài địa từ trên mặt đất để so sánh kết quả tính EEJ cũng như xác định sai số của tính TTBT. Số liệu tại 6 đài địa từ đại diện cho 3 vùng kinh tuyến khác nhau được sử dụng, gồm hai đài của Việt Nam là Bạc Liêu (BCL) và Phú Thụy (PHU) đại diện cho khu vực châu Á; hai đài thuộc khu vực châu Mỹ là Huancayo (HUA) và Fuquence (FUQ); hai đài thuộc khu vực châu Phi là Addis Ababa (AAE) và Qsaybeh (QSB). Vị trí địa lý và ký hiệu của các đài địa từ này sẽ được đề cập ở trong chương 3 của luận án.

Các đài địa từ PHU, HUA, FUQ, AAE, QSB đều thuộc chương trình INTERMAGNET (mạng lưới quan sát thời gian thực của trường địa từ) nên các thiết bị, quy trình đo cũng như quá trình xử lý số liệu đều theo quy định của INTERMAGNET. Độ chính xác của thiết bị đo fluxgate là  $0.5\text{nT}$  và  $0.1\text{nT}$  cho đo trường tổng, tốc độ lấy mẫu trước đây là 1 phút một giá trị, còn hiện tại là 1 giây một giá trị. Còn trạm BCL là thành viên của MAGDAS (hệ thống thu nhận số liệu Thái Bình Dương) thuộc trường Đại học Kyushu (Nhật Bản) số liệu được ghi 1 phút

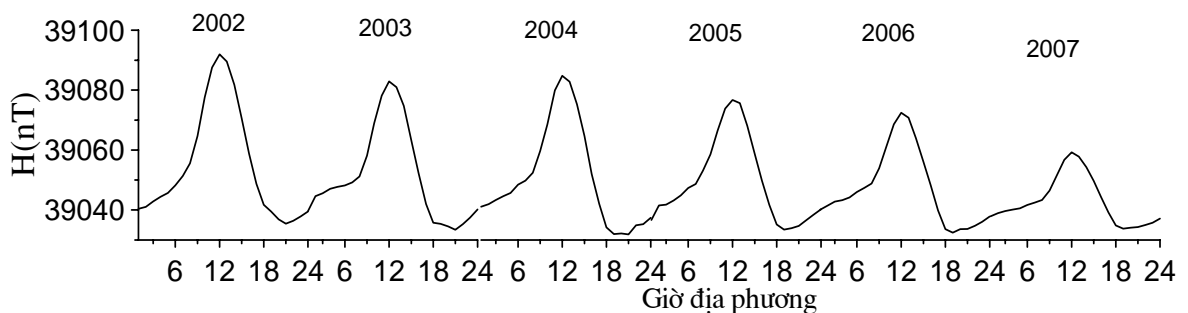
một giá trị và các thiết bị cũng đạt độ chính xác tương đương như của INTERMAGNET.

Số liệu tại các đài địa từ được sử dụng trong nghiên cứu này là giá trị trung bình giờ các thành phần trường địa từ, chỉ lấy với những ngày trường từ yên tĩnh ( $K_p \leq 3^+$  và  $a_m < 20\text{nT}$ ) và không lấy những ngày trước và sau bão từ trong vòng 6 năm tương ứng với thời gian có số liệu của CHAMP (từ năm 2002 đến năm 2007). Trên các hình 1.14a,b,c,d,e,f lần lượt là giá trị trung bình giờ thành phần nằm ngang H của trường địa từ tính cho từng năm tương ứng với số liệu của các đài BCL, PHU, AAE, QSB, HUA, FUQ. Năm 2007 thiết bị của trạm BCL bị hỏng do vậy không có số liệu, các đài địa từ còn lại có số liệu khá đầy đủ và phản ánh tốt quy luật biến thiên ngày đêm đều đặn và liên tục cho những ngày trường từ yên tĩnh.

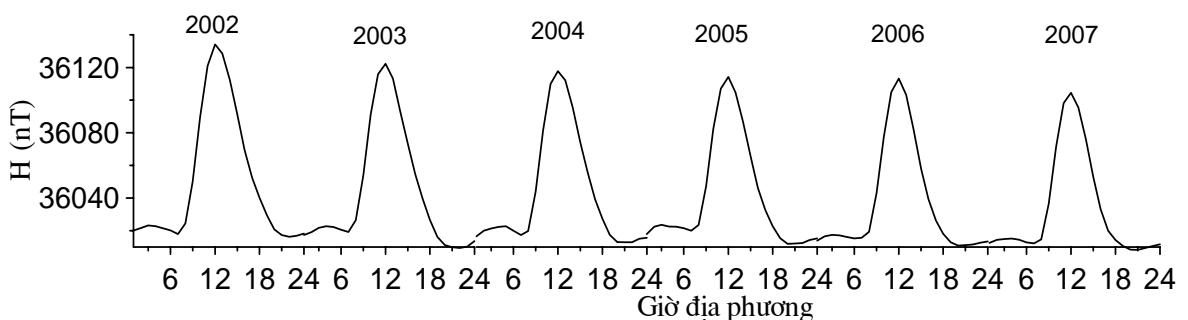
a. Đài BCL



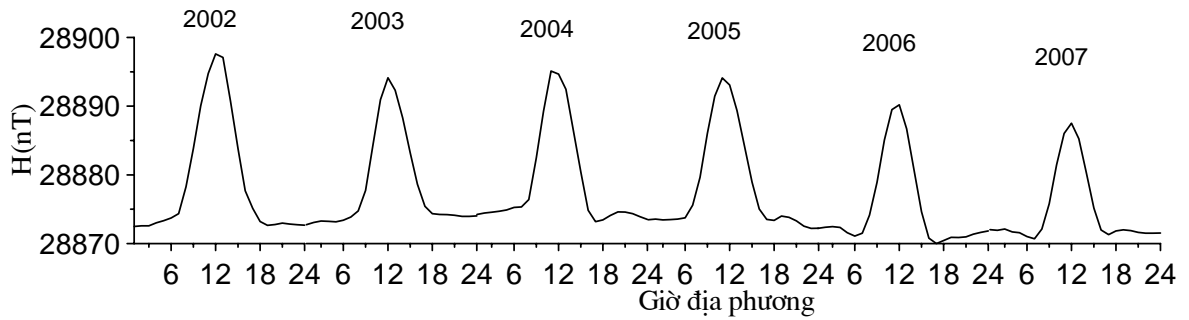
b. Đài PHU



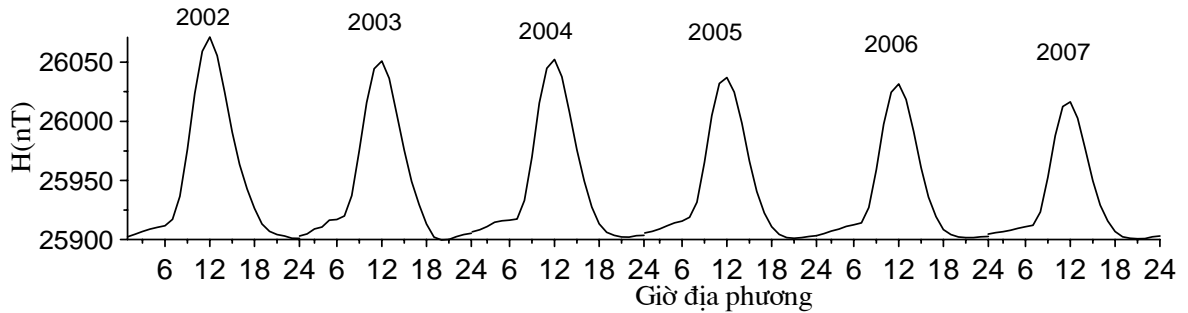
c. Đài AAE



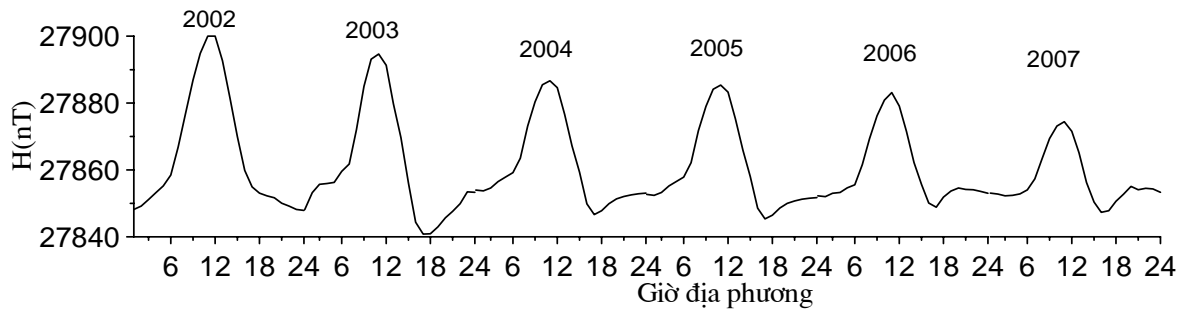
## d. Đài QSB



## e. Đài HUA



## f. Đài FUQ



Hình 1.14: Giá trị trung bình giờ thành phần ( $H$ ) cho từng năm tại sáu đài địa từ (a: tại BCL; b: tại PHU; c: tại AAE; d: tại QSB; e: tại HUA; f: tại FUQ).

### Kết luận chương 1:

Trên cơ sở phân tích một số những thành tựu về nghiên cứu về dòng điện xích đạo trong và ngoài nước, chúng ta nhận thấy nghiên cứu về EEJ đóng một vai trò quan trọng trong việc nghiên cứu về các hệ dòng điện nằm bên ngoài Trái Đất. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng hệ dòng EEJ chỉ xuất hiện trong một dải dòng hẹp dọc theo xích đạo từ và vào ban ngày nhưng nó gây ra biến thiên khá lớn của trường địa từ mà chúng ta quan sát được. Việc xác định các thông số và xây dựng các mô

hình lý thuyết về EEJ từ số liệu trường địa từ quan sát được tại các đài địa từ trên mặt đất, tại các trạm rada (VHF, HF) hay trên các tên lửa đã góp phần làm tăng hiểu biết của chúng ta về hệ dòng điện này. Nhất là từ khi có số liệu trường từ thu được trên các vệ tinh nhân tạo có quỹ đạo bay thấp và các thiết bị đo đạc có độ chính xác cao, nó cho phép nghiên cứu về EEJ một cách tổng quát và liên tục hơn. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên vẫn còn rời rạc và sử dụng chuỗi số liệu còn ngắn, chưa phản ánh hết được những quy luật biến đổi của EEJ theo những chu kỳ khác nhau. Đặc biệt là phần lãnh thổ phía nam của Việt Nam, nơi ứng với một vùng mà EEJ đạt giá trị cực đại đã được một số công trình đã đề cập khi nghiên cứu EEJ trên toàn cầu nhưng chưa được khẳng định. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này sẽ sử dụng cả số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP và số liệu thu được trên mặt đất trong vòng 6 năm liên tục để nghiên cứu về EEJ cũng như xây dựng mô hình biến đổi của EEJ theo cả không gian và thời gian.

Bản đồ TTBT cho khu vực Việt Nam, được xây dựng gần đây nhất là cho niên đại 2003.5 và từ đó đến nay, đã hơn 10 năm chúng ta chưa tiến hành bất kỳ một đo đạc nào hay một công trình nghiên cứu nào về TTBT cho khu vực được thực hiện. Điều này có thể do một số lý do như: chưa chủ động được thiết bị đo (trước đây các chuyến đo đạc đều được thực hiện dưới sự giúp đỡ về thiết bị và các chuyên gia Nga hoặc sau này là của Pháp mà chúng ta chưa có đủ thiết bị đo tuyệt đối) hoặc do hạn chế về kinh phí và thời gian (do muốn thực hiện được một chuyến đi đo đạc trên toàn quốc là rất tốn kém và mất hàng vài tháng để thực hiện). Hơn nữa, việc triển khai đo tuyệt đối ở ngoài biển và hải đảo là rất khó khăn. Do vậy, trong nghiên cứu này đề xuất việc sử dụng số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP để xây dựng mô hình TTBT cho cả lãnh thổ và lãnh hải của Việt Nam và các vùng lân cận nhờ áp dụng một phương pháp phân tích khá hiệu quả là phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu. Với bản đồ các thành phần TTBT thu được sẽ được sử dụng để tính trường dị thường từ phục vụ tìm kiếm thăm dò khoáng sản, trong định hướng hàng không, đi biển và nhiều nghiên cứu khác.

## CHƯƠNG 2

### SỰ HÌNH THÀNH DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO VÀ PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ĐIỀU HÒA CHỖM CẦU

Chapman [32] đã giải thích sự tăng bất thường thành phần nằm ngang của trường từ vùng xích đạo là do vào ban ngày tại xích đạo từ tồn tại một hệ dòng điện chạy về phía đông trên tầng điện ly và hệ dòng điện này được sinh ra do những bất đồng nhất độ dẫn trong tầng điện ly do tác động của bức xạ Mặt Trời. Do vậy, để nghiên cứu về dòng điện xích đạo (EEJ), chúng ta cần phải nghiên cứu về độ dẫn tầng điện ly và quá trình hình thành hệ dòng điện này cũng như các bước để xây dựng mô hình biểu diễn sự biến đổi của EEJ theo kinh độ, vĩ độ và thời gian. Tiếp theo, chúng tôi giới thiệu về phương pháp phân tích điều hòa chòm cầu (SCHA) để mô hình hóa trường từ bình thường (TTBT) khi chúng ta chỉ có số liệu trên một khu vực đó hay khi muốn loại đi một phần trường từ của vỏ Trái Đất. Do phương pháp SCHA còn mới tại Việt Nam, nên trong phần này sẽ trình bày chi tiết việc xác định các tham số, cách nghịch đảo số liệu cũng như việc tách các thành phần phía trong và phía ngoài Trái Đất của trường từ.

#### **2.1 Độ dẫn tầng điện ly và sự hình thành dòng điện xích đạo**

Tầng điện ly là phần bên trên của khí quyển ở độ cao khoảng từ 60 km đến 1500 km bị ion hóa dưới tác động của bức xạ mặt trời. Sự tồn tại của điện tử và ion trong tầng điện ly làm cho vùng này trở thành môi trường dẫn điện. Sự chuyển động của các ion và điện tử (môi trường plasma điện ly) ở lớp E của tầng điện ly tạo thành hệ dòng điện trong tầng điện ly là nguồn gốc gây ra biến thiên ngày đêm của từ trường Trái Đất quan sát được. Mật độ các hạt tích điện và các hạt trung hoà ảnh hưởng đến độ dẫn điện tầng điện ly. Mật độ này phụ thuộc nhiều vào sự hoạt động của gió trung hòa, bức xạ mặt trời và tương tác với từ trường Trái Đất. Sau đây, chúng tôi trình bày sơ bộ độ dẫn trong tầng điện ly và sự hình thành các hệ dòng điện trong tầng này và đặc biệt quan tâm đến độ dẫn vùng vĩ độ thấp nơi tồn tại dòng điện xích đạo.

##### **2.1.1 Độ dẫn tầng điện ly vùng vĩ độ thấp và trung bình**

Chuyển động của các hạt trong môi trường plasma điện ly bị ảnh hưởng bởi trường điện  $\vec{E}$ , trường từ của Trái Đất  $\vec{B}$ , sự va chạm giữa các hạt, trọng lực... Như vậy các lực tác động lên các hạt tích điện gồm:

- Lực điện từ Lorentz  $\vec{F}_{em}$ :

$$\vec{F}_{em} = \pm e(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \quad (2.1)$$

trong đó  $e$  là điện tích cơ bản mang dấu cộng cho các điện tích dương và dấu trừ cho các điện tích âm,  $\vec{V}$  là vận tốc của các hạt tích điện.

- Lực va chạm  $\vec{F}_c$  của các hạt trung hoà:

$$\vec{F}_c = m\nu(\vec{V} - \vec{V}_n) \quad (2.2)$$

trong đó  $m$  là khối lượng của hạt tích điện,  $\nu$  tần số va chạm với hạt trung hoà và  $\vec{V}_n$  là vận tốc của hạt trung hoà.

- Trọng lượng  $\vec{P}$  của hạt tích điện:

$$\vec{P} = m\vec{g} \quad (2.3)$$

trong đó  $\vec{g}$  là gia tốc trọng lực.

- Lực áp suất:

$$\vec{F}_p = \frac{1}{N} \vec{\nabla}(NkT) \quad (2.4)$$

trong đó  $N$  và  $T$  tương ứng với nồng độ và nhiệt độ của các hạt tích điện,  $k$  là hằng số Boltzmann,  $\vec{\nabla}$  là toán tử Nabla.

Trong môi trường plasma điện ly tồn tại sự va chạm giữa các điện tử hoặc các ion với hạt trung hoà, được đặc trưng bởi tần số va chạm  $\nu_{en}$  và  $\nu_{in}$  tương ứng; giữa các điện tử và ion đặc trưng bởi tần số va chạm  $\nu_{ei}$  và  $\nu_{ie}$ . Trong các lớp E và F, nồng độ điện tử ( $N_e$ ) bằng nồng độ các ion dương ( $N_i$ ). Để tính toán các tensor độ dẫn, người ta phải xác định vận tốc tương đối ( $\vec{V}_i - \vec{V}_e$ ) giữa các điện tử và ion với  $\vec{V}_i$  là vận tốc của ion và  $\vec{V}_e$  là vận tốc của điện tử. Lưu ý rằng vận tốc tương đối này là cần thiết để tồn tại dòng điện chạy trong tầng điện ly. Khi biết vận tốc tương đối, theo định luật Ohm, mật độ dòng điện được xác định bởi công thức sau:

$$\vec{j} = N_e e (\vec{V}_i - \vec{V}_e) \quad (2.5)$$

Theo [115], để xác định  $(\vec{V}_i - \vec{V}_e)$  người ta coi tổng hợp các lực tác động lên các hạt chuyển động trong tầng điện ly ở trạng thái cân bằng, khi đó chuyển động của các ion có vận tốc  $\vec{V}_i$  và điện tử có vận tốc  $\vec{V}_e$  được xác định bởi các phương trình:

$$N_e e (\vec{E} + \vec{V}_i \times \vec{B}) - N_e m_i \nu_{in} (\vec{V}_i - \vec{V}_n) - N_e m_i \nu_{ie} (\vec{V}_i - \vec{V}_e) + N_e m_i \vec{g} - \vec{\nabla} (N_e k T_i) = 0 \quad (2.6)$$

$$- N_e e (\vec{E} + \vec{V}_e \times \vec{B}) - N_e m_e \nu_{en} (\vec{V}_e - \vec{V}_n) - N_e m_e \nu_{ei} (\vec{V}_e - \vec{V}_i) + N_e m_e \vec{g} - \vec{\nabla} (N_e k T_e) = 0 \quad (2.7)$$

Phương trình (2.6) mô tả chuyển động của ion và phương trình (2.7) mô tả chuyển động của các điện tử. Trong hai phương trình trên, các lực chi phối chủ yếu là lực điện từ Lorentz ( $\vec{F}_{em}$ ) và lực va chạm ( $\vec{F}_c$ ), để đơn giản hóa người ta thường bỏ qua trọng lực và lực áp suất cũng như biến thiên theo thời gian của các vận tốc, khi đó (2.6) và (2.7) trở thành:

$$N_e e (\vec{E} + \vec{V}_i \times \vec{B}) - N_e m_i \nu_{in} (\vec{V}_i - \vec{V}_n) - N_e m_i \nu_{ie} (\vec{V}_i - \vec{V}_e) = 0 \quad (2.8)$$

$$- N_e e (\vec{E} + \vec{V}_e \times \vec{B}) - N_e m_e \nu_{en} (\vec{V}_e - \vec{V}_n) - N_e m_e \nu_{ei} (\vec{V}_e - \vec{V}_i) = 0 \quad (2.9)$$

Phương trình (2.8) và (2.9) cho phép xác định vận tốc tương đối  $(\vec{V}_i - \vec{V}_e)$  giữa điện tử và các ion trong trường từ Trái Đất. Xác định  $(\vec{V}_i - \vec{V}_e)$  theo các hướng sau: (i) song song với từ trường Trái đất  $\vec{B}$ ; (ii) vuông góc  $\vec{B}$  và song song với điện trường  $\vec{E}$  và (iii) vuông góc với cả  $\vec{B}$  và  $\vec{E}$ , bằng cách chiếu  $(\vec{V}_i - \vec{V}_e)$  trong hệ tọa độ này và sau khi biến đổi rồi thay vào phương trình (2.5) tính được mật độ dòng điện  $\vec{j}$  như sau:

$$\vec{j} = \sigma_{||} \vec{E}_{||} + \sigma_P (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B}) + \sigma_H \frac{\vec{B}}{B} \times (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B}) \quad (2.10)$$

với  $\vec{E}_{||}$  và  $\vec{E}_{\perp}$  là các hình chiếu của trường điện  $\vec{E}$  theo hướng song song và vuông góc với  $\vec{B}$  tương ứng, B là biên độ của  $\vec{B}$  và thành phần của tenxơ độ dẫn :

$$\sigma_{||} = N_e e^2 \left( \frac{1}{m_e \nu_e} + \frac{1}{m_i \nu_i} \right) \quad (2.11)$$



$$\sigma_P = \frac{N_e e}{B} \left( \frac{v_e \Omega_e}{v_e^2 + \Omega_e^2} + \frac{v_i \Omega_i}{v_i^2 + \Omega_i^2} \right) \quad (2.12)$$

$$\sigma_H = \frac{N_e e^2}{B} \left( \frac{\Omega_e^2}{v_e^2 + \Omega_e^2} - \frac{\Omega_i^2}{v_i^2 + \Omega_i^2} \right) \quad (2.13)$$

với: ký hiệu  $\Omega_e = \frac{eB}{m_e}$  và  $\Omega_i = \frac{eB}{m_i}$  tương ứng là các tần số hồi chuyển của electron

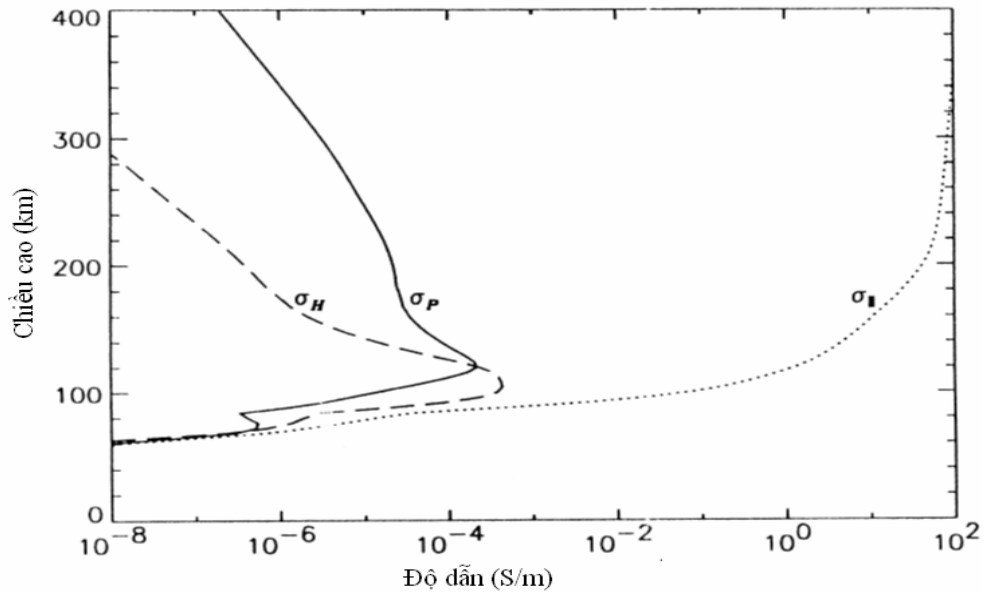
và các ion và  $v_e = v_{en} + v_{ei}$  và  $v_i = v_{in} + v_{ie}$  tương ứng với tần số va chạm của các điện tử và ion;

$\sigma_{//}$  là độ dẫn theo hướng song song với trường từ  $\vec{B}$  (đôi khi ký hiệu là  $\sigma_0$ );

$\sigma_P$  (hoặc  $\sigma_1$ ) là độ dẫn Pedersen, vuông góc với  $\vec{B}$  và song song với trường điện  $\vec{E}$ ;

$\sigma_H$  (hay  $\sigma_2$ ) là độ dẫn Hall, vuông góc với cả trường từ  $\vec{B}$  và trường điện  $\vec{E}$ .

Trên hình 2.1 biểu diễn sự thay đổi độ dẫn  $\sigma_{//}$ ,  $\sigma_P$  và  $\sigma_H$  theo chiều cao vùng vĩ độ trung bình vào tháng phân điểm và thời kỳ Mặt Trời yên tĩnh. Giá trị  $\sigma_{//}$  lớn hơn rất nhiều so với  $\sigma_P$  và  $\sigma_H$ , đạt giá trị cực đại trong lớp E. Với độ dẫn  $\sigma_P$  và  $\sigma_H$  đạt giá trị cao nhất trong khoảng 90km - 150km. Vào ban ngày, giá trị cực đại của  $\sigma_P$  là ở khoảng 125km và của  $\sigma_H$  khoảng 105 - 110km [96]. Đỉnh  $\sigma_H$  lớn hơn đỉnh  $\sigma_P$ , nhưng  $\sigma_H$  giảm nhanh hơn theo độ cao so với  $\sigma_P$ .



Hình 2.1: Sự thay đổi theo độ cao của các độ dẫn  $\sigma_{//}$ ,  $\sigma_P$  và  $\sigma_H$  (S/m).  
(Theo Richmond, [96]).

Từ phương trình (2.10), chúng ta có thể tính được mật độ dòng  $\vec{j}$  như là tổng của hai thành phần: thành phần song song ( $\vec{j}_{\parallel}$ ) và thành phần vuông góc ( $\vec{j}_{\perp}$ ) với hướng từ trường  $\vec{B}$  như sau:

$$\vec{j}_{\parallel} = \sigma_0 \vec{E}_{\parallel} \quad (2.14)$$

$$\vec{j}_{\perp} = \sigma_P (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B}) + \sigma_H \frac{\vec{B}}{B} \times (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B}) \quad (2.15)$$

trong đó  $\vec{j}_{\perp}$  bao gồm hai dòng điện liên quan đến độ dẫn Pedersen và độ dẫn Hall hay còn gọi là dòng Pedersen và dòng Hall tương ứng, hay  $\vec{j}_{\perp} = \vec{j}_P + \vec{j}_H$ . Hình 2.1 còn cho thấy  $\sigma_P$  và  $\sigma_H$  cực đại trong vùng E tầng điện ly ám chỉ rằng dòng  $\vec{j}_{\perp}$  là lớn trong vùng này. Các ion bị kéo theo bởi sự va chạm với các hạt trung hòa chuyển động cắt ngang trường từ, tạo nên trường điện  $\vec{E}_{\perp}$  tạo ra dòng Pedersen  $\vec{j}_P = \sigma_P (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B})$  và dòng Hall  $\vec{j}_H = \sigma_H \frac{\vec{B}}{B} \times (\vec{E}_{\perp} + \vec{V}_n \times \vec{B})$  được tạo bởi sự trôi dạt ( $\vec{E}_{\perp} \times \vec{B}$ ) của các điện tử.

Lưu ý rằng sự trôi dạt này độc lập với trọng lượng và điện tích của các hạt, nhưng các ion thì bị chậm lại bởi sự va chạm với hạt trung hoà. Dòng Hall vuông góc với cả trường điện và trường từ và cực đại ở độ cao khoảng 110km, dòng Pedersen cực đại và bằng dòng Hall ở độ cao khoảng 125 km (Hình 2.1). Các quá trình điện động lực học này xảy ra trong cả vùng vĩ độ trung bình và vĩ độ thấp. Nhưng ở vùng vĩ độ thấp, vector trường từ và trường điện gần như nằm ngang tạo ra một trường điện do phân cực mạnh làm tăng độ dẫn theo hướng đông tây và tạo ra một dòng điện chạy dọc xích đạo từ gọi là dòng điện xích đạo.

### 2.1.2 Sự hình thành dòng điện xích đạo

Như phần trên đã trình bày, sự hình thành dòng điện xích đạo liên quan chặt chẽ với độ dẫn tầng điện ly, cơ chế vật lý và các hệ dòng đóng góp vào việc tạo ra hệ dòng EEJ và được mô tả như sau: ở vùng vĩ độ thấp, trường điện  $\vec{E}$  trong tầng điện ly hầu như nằm ngang và hướng về phía đông vào ban ngày. Trong khu vực này, tồn

tại thành phần  $\vec{E}_y$  của điện trường vuông góc với từ trường  $\vec{B}$ . Trường điện  $\vec{E}_y$  tạo ra dòng Pedersen nằm ngang  $\vec{j}_{p1} = \sigma_p \vec{E}_y$  hướng về phía đông và tổ hợp với từ trường Trái Đất trường điện này tạo ra dòng Hall  $\vec{j}_{H1} = -\sigma_H (\vec{E}_y \times \frac{\vec{B}}{B})$  đi xuống, gây bởi sự trôi dạt thẳng đứng  $(\vec{E}_y \times \vec{B})$  của các điện tử (các ion bị ngăn cản bởi sự va chạm vì tần số va chạm của chúng với hạt trung hoà  $\nu_{in}$  là rất lớn trong lớp E). Độ dẫn của vùng D (bên dưới) và của vùng F (bên trên) thấp, gây ra sự tích tụ của điện tích dương (ion) ở bên dưới và điện tích âm (điện tử) ở bên trên, sẽ sinh ra một điện trường phân cực thẳng đứng  $\vec{E}_p$  hướng lên trên. Trường  $\vec{E}_p$  này gây ra dòng Pedersen hướng lên trên  $\vec{j}_{p2} = \sigma_p \vec{E}_p$ , có xu thế bù đắp cho dòng Hall  $\vec{j}_{H1}$ . Để bù hoàn toàn  $\vec{j}_{H1}$ , thì  $\vec{E}_p$  phải là đủ lớn để dòng thẳng đứng  $\vec{j}_z$  bằng không:

$$\vec{j}_z = \sigma_p \vec{E}_p - \sigma_H (\vec{E}_y \times \frac{\vec{B}}{B}) = 0 \quad (2.16)$$

Như vậy chúng ta thu được:

$$\vec{E}_p = \frac{\sigma_H}{\sigma_p} (\vec{E}_y \times \frac{\vec{B}}{B}) \quad (2.17)$$

Trong phần dưới của lớp E, độ dẫn  $\sigma_H \gg \sigma_p$  nghĩa là  $\vec{E}_p$  là rất lớn so với  $\vec{E}_y$ .

Trường phân cực thẳng đứng  $\vec{E}_p$  mạnh, trong sự có mặt của từ trường Trái Đất  $\vec{B}$  tạo ra sự trôi dạt  $(\vec{E}_p \times \vec{B})$  theo hướng đông tây của các điện tử (các ion và các hạt trung hoà bị va chạm mạnh trôi dạt không đáng kể) và dòng Hall  $\vec{j}_{H2}$  chạy về đông với:

$$\vec{j}_{H2} = -\sigma_H (\vec{E}_p \times \frac{\vec{B}}{B}) \quad (2.18)$$

Thay  $\vec{E}_p$  ở biểu thức (2.17) vào (2.18) thu được:

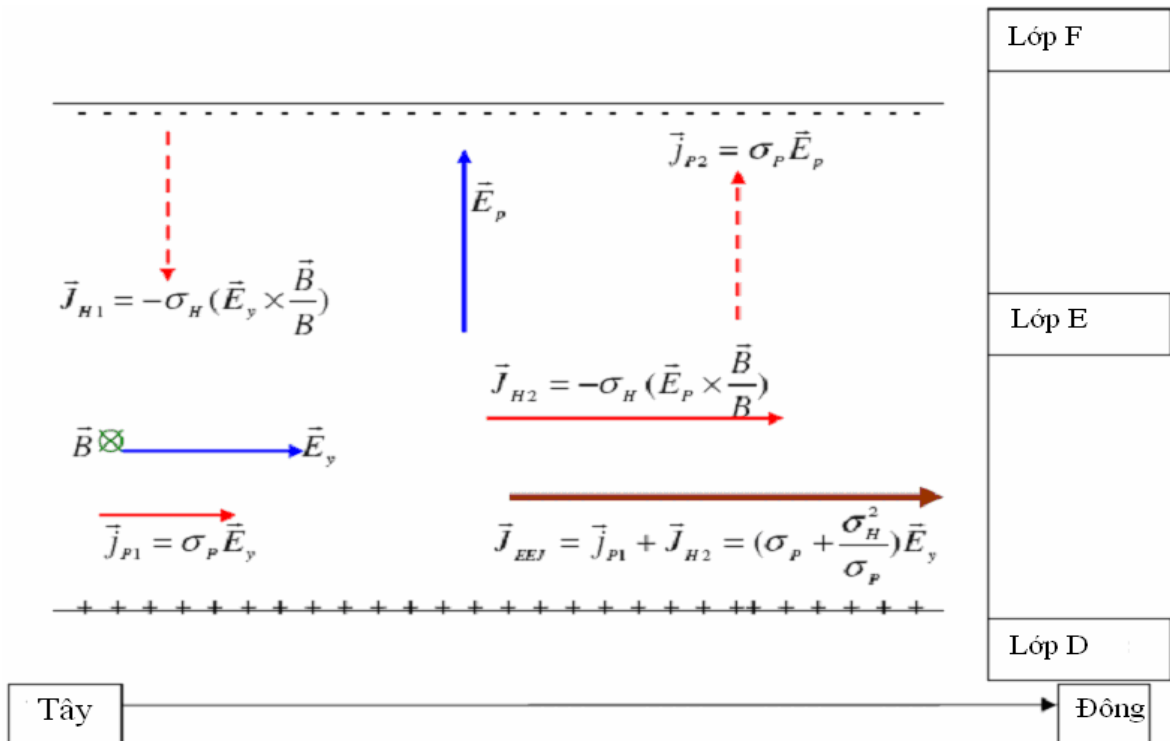
$$\vec{j}_{H2} = \frac{\sigma_H^2}{\sigma_p} \vec{E}_y \quad (2.19)$$

vì  $\vec{E}_y \perp \vec{B}$ . Dòng Hall có cường độ mạnh và thực tế tại xích đạo dòng điện xích đạo được bổ xung dòng Pedersen  $\vec{j}_{P1} = \sigma_p \vec{E}_y$  gây bởi dynamo toàn cầu, sinh ra dòng tổng cộng ở vùng xích đạo từ:

$$\vec{j} = \vec{j}_{P1} + \vec{j}_{H2} = (\sigma_p + \frac{\sigma_H^2}{\sigma_p}) \vec{E}_y = \sigma_3 \vec{E}_y \quad (2.20)$$

trong đó  $\sigma_3 = \sigma_p + \frac{\sigma_H^2}{\sigma_p}$  được gọi là độ dẫn Cowling.

Hình 2.2 là sơ đồ tổng hợp các cơ chế vật lý tạo nên hệ dòng EEJ. Lưu ý, theo Richmond [96] cường độ trường điện  $\vec{E}_y$  thay đổi rất ít dọc theo đường sức trường từ do độ dẫn song song  $\sigma_{//}$  mạnh, nhưng theo Onwumechili [87] biên độ của trường điện này tăng lên đáng kể theo độ cao trong vùng dynamo.



Hình 2.2: Cơ chế vật lý tạo ra dòng điện xích đạo trong mặt phẳng xích đạo từ.

Phương trình (2.20) và các quan sát trường từ [97] cho thấy rằng biến thiên theo vĩ độ của EEJ bị ảnh hưởng bởi độ dẫn Pedersen và độ dẫn Hall, các độ dẫn này phụ thuộc vào cường độ trường từ  $B$  và độ từ khuynh  $I$ . Các nghiên cứu EEJ theo chiều thẳng đứng bằng tên lửa cho thấy mật độ dòng EEJ phụ thuộc vào độ dẫn và cường độ điện trường  $\vec{E}_y$  trong lớp E của tầng điện ly. Như vậy bất đồng nhất về độ dẫn trong tầng điện ly, trường từ  $\vec{B}$  và trường điện  $\vec{E}_y$ , gần như nằm ngang trong vùng xích đạo đã tạo ra EEJ chạy trong một dải hẹp dọc theo xích đạo từ.

## 2.2 Mô hình thực nghiệm về dòng điện xích đạo

Những nghiên cứu về EEJ dựa trên các quan sát từ trường Trái Đất trên mặt đất hay trên các vệ tinh nhân tạo trong thời gian qua tại vùng xích đạo, ngoài việc cung cấp những thông số của hệ dòng tại các điểm quan sát còn có thể cho phép nghiên cứu các đặc trưng phân bố trong không gian và theo thời gian của nó. Tuy nhiên, các thông số này thường là rời rạc và không phản ánh được những biến đổi của EEJ trên toàn cầu, do đó chúng ta cần phải xây dựng những mô hình lý thuyết hay thực nghiệm để mô tả hệ dòng điện này dựa trên những thông tin quan sát được. Những mô hình EEJ sẽ giúp chúng ta hiểu rõ hơn về cơ chế hình thành, thời gian xuất hiện, cường độ cũng như các kích thước hình học (độ cao, bề rộng...) của hệ dòng điện này. Trong một số mô hình lý thuyết hay thực nghiệm về EEJ phổ biến hiện nay, chỉ có mô hình kiểu 3EM do Doumouya phát triển là có thể biểu diễn được sự biến đổi của EEJ theo cả kinh độ, vĩ độ và thời gian. Do mô hình 3EM sử dụng cả kết quả mô tả mật độ dòng EEJ trong nghiên cứu của Fambitakoye, do vậy trong phần này chúng tôi giới thiệu cả mô hình lý thuyết của Fambitakoye và của Doumouya.

### 2.2.1 Mô hình EEJ của Fambitakoye

Trong nghiên cứu của Fambitakoye [43], tầng điện ly được cho như là một lớp phẳng nằm trên mô hình trái đất phẳng. Hệ dòng điện như vậy gây ra một từ trường có thể được tính từ định luật của Biot- Savart. Theo định luật này, một đường dòng thẳng dài vô hạn có cường độ dòng điện  $I$ , tạo ra tại một điểm quan sát  $S$  cách đường thẳng một khoảng  $d$ , một trường từ  $B$  được cho bởi biểu diễn sau:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (2.21)$$

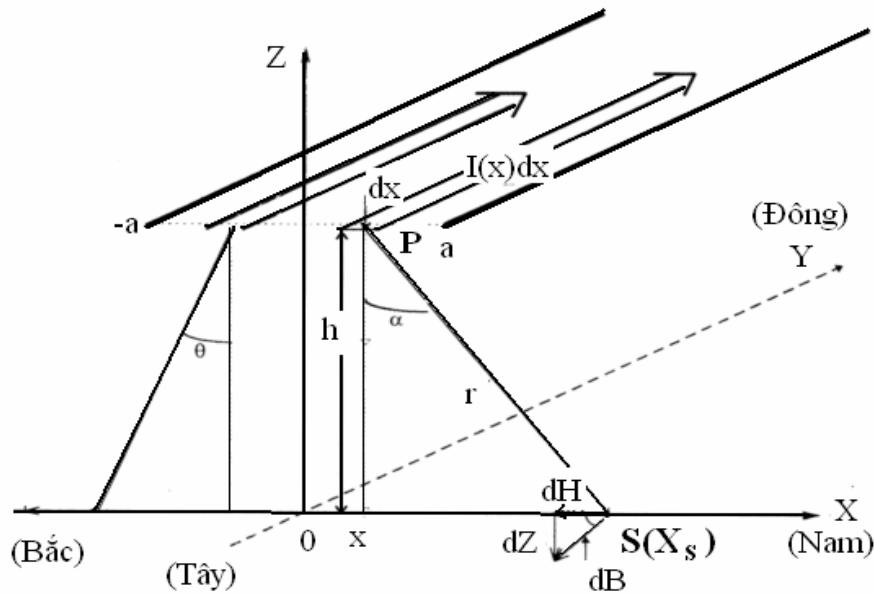
Trong đó  $I$  tính bằng A;  $d$  tính bằng m; và  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  trong hệ SI.

Trong địa từ học, người ta thường biểu thị cường độ từ trường bằng nano Tesla (nT) hoặc gamma ( $\gamma$ ),  $1\gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$ . Nếu  $d$  được đo bằng km,  $B$  tính bằng nT, khi đó phương trình (2.21) trở thành:

$$B = 0.2 \frac{I}{d} \text{ (nT)} \quad (2.22)$$

Đối với một bản dòng có nửa độ rộng là  $a$  ở độ cao  $h$  (Hình 2.3), có phân bố mật độ dòng là  $j(x)$ , hiệu ứng từ tại điểm  $S$  có thể được xác định bằng tích phân từ  $-a$  đến  $+a$ , của hiệu ứng  $dB = 0.2 \frac{j(x)dx}{d}$ . Trường này được cho bởi biểu thức:

$$B = 0.2 \int_{-a}^{+a} \frac{j(x)dx}{d} \quad (2.23)$$



Hình 2.3: Sơ đồ dải dòng EEJ để tính trường từ do dòng điện  $I(x)$  gây ra.

Từ phương trình (2.23) nhiều mô hình tính toán phân bố mật độ dòng điện của EEJ đã được đề xuất, dựa trên một quan niệm chung là EEJ là một dòng bổ sung trong một dải hẹp dọc theo xích đạo từ chòng chất lên hệ dòng toàn cầu Sq. Mô hình một chiều có dạng:

$$j(x) = j_0 \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^m \quad (2.24)$$

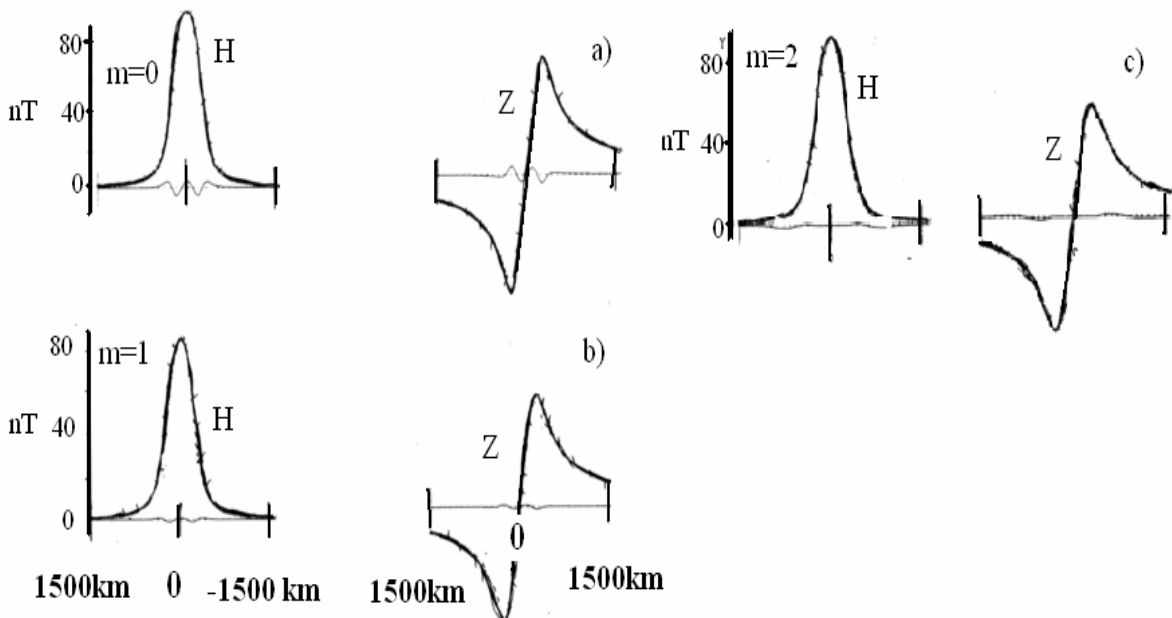
trong đó:  $j$  ( $A.km^{-1}$ ) là mật độ dòng tại vị trí  $x$  bất kỳ,  $j_0$  là mật độ dòng tại tâm,  $a$  là một nửa chiều rộng của bản dòng,  $x$  là vị trí bất kỳ theo hướng độ rộng của dải dòng,  $m$  có thể chọn các giá trị khác nhau:

$m = 0$ , phân bố dòng bậc 1 (phân bố dòng đồng nhất, Chapman [32]).

$m = 1$ , phân bố dòng bậc 2 (phân bố dòng dạng parabol, Chapman [32]).

$m = 2$ , phân bố dòng bậc 4 (Fambitakoye và Mayaud [43]).

Để lựa chọn phân bố của dòng, Fambitakoye đã sử dụng số liệu trường địa từ thu được tại 9 đài là Tamanrasset, Largeau, Bol, Koundoul, Mitou, Kotongoro, Bouca, Bangui và Binza cắt ngang xích đạo từ tại kinh độ từ  $5^0E - 19E^0$ . Với lựa chọn số liệu đầu vào là giá trị trung bình giờ của trường địa từ ghi được tại 9 đài địa từ trên trong vòng 11 tháng đầu năm 1969, các giá trị được lấy tại giữa trưa địa phương để so sánh kết quả giữa 3 mô hình trên (Hình 2.4). Kết quả cho thấy độ lệch bình phương trung bình (RMS) giữa mô hình (đường nét liền đậm) và giá trị thực tế (dấu x) tổng cộng của cả hai thành phần H và Z lần lượt là  $RMS_0 = 1,59nT$ ,  $RMS_1 = 1,57nT$ ,  $RMS_2 = 1,15nT$  tương ứng với các trường hợp khi  $m=0$ ,  $m=1$ ,  $m=2$ .



Hình 2.4: Thành phần H và Z do EEJ gây ra từ số liệu ghi được (dấu sao), tính từ mô hình (đường nét liền) và giá trị độ lệch (đường nét liền mảnh với các giá trị  $m$  khác nhau tại kinh tuyến qua châu Phi. a)  $m=0$ ; b)  $m=1$ ; c)  $m=2$  (Theo Fambitakoye et al. , [43]).

Như vậy, mô hình phân bố dòng bậc 4 ( $m=2$ ) đã cho độ lệch bình phương trung bình là nhỏ nhất và mô hình này đã mô tả tốt nhất sự biến đổi theo vĩ độ của các thành phần (H) và (Z) của trường từ do EEJ gây ra. Tuy nhiên, nó không thể cung cấp cho bất kỳ thông tin nào về thay đổi theo phương thẳng đứng của EEJ cũng như hiện tượng dòng điện ngược xích đạo và chưa mô tả được biến đổi của EEJ theo thời gian (hoặc theo kinh độ).

### 2.2.2 Mô hình 3EM

Để khắc phục một phần hạn chế trên, Doumouya [37,38] đã phát triển mô hình của Fambitakoye với phân bố dòng bậc 4 ( $m=2$ ) khi sử dụng số liệu tại mặt đất tại 3 dải kinh tuyến gồm: 10 trạm địa từ tại châu Phi, 9 trạm địa từ tại Ấn độ, 4 trạm địa từ tại Brazil cắt qua xích đạo từ, sau đó tác giả đã áp dụng mô hình thu được từ các số liệu trạm cho số liệu trên vệ tinh CHAMP để xây dựng một mô hình thực nghiệm về EEJ và gọi là mô hình 3EM (**E**mpirical **E**quatorial **E**lectrojet **M**odel). Mô hình 3EM đã cho phép mô tả được sự biến đổi của EEJ theo vĩ độ, kinh độ và thời gian địa phương, với hàm  $\mathbf{j}(\mathbf{x}, \phi, t)$  là mật độ dòng của EEJ bao gồm ba hàm số độc lập với nhau: hàm  $\mathbf{j}_0(\phi)$ ,  $\mathbf{G}(t)$  và  $\mathbf{j}(\mathbf{x})$ . Với  $\mathbf{j}_0(\phi)$  là hàm của mật độ dòng tại tâm của EEJ vào giữa trưa địa phương tại kinh tuyến ( $\phi$ ) bất kỳ, đặc trưng cho thay đổi theo kinh tuyến của EEJ;  $\mathbf{G}(t)$  là một hàm của thời gian địa phương  $t$ , mô tả sự biến đổi theo thời gian (trong một ngày đêm) của EEJ;  $\mathbf{j}(\mathbf{x})$  là hàm của mật độ dòng  $j$  theo vĩ độ ( $x$ ) mô tả sự biến đổi theo vĩ độ của EEJ. Kết hợp cả 3 hàm độc lập trên ta có sự phân bố của dòng điện do EEJ gây ra như sau:

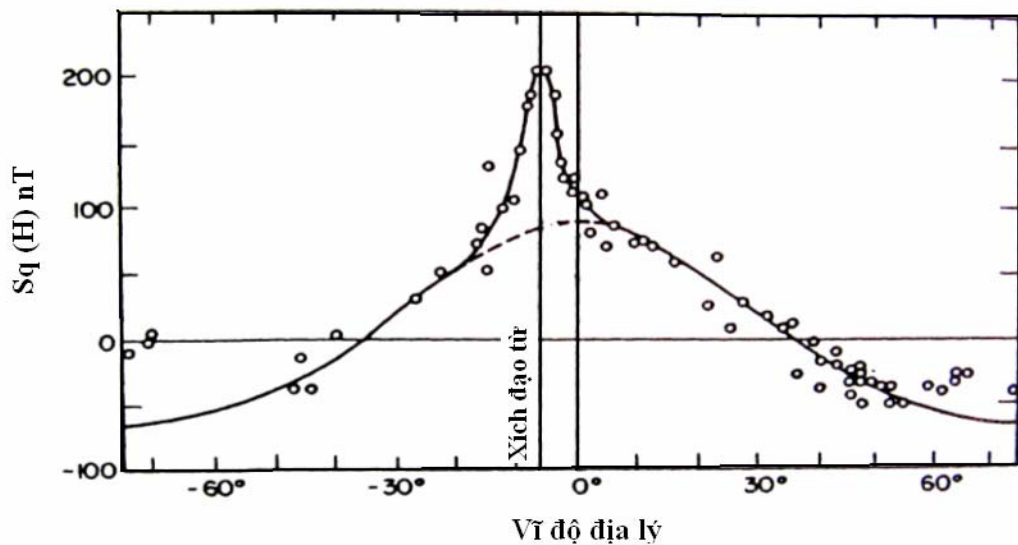
$$\mathbf{j}(\mathbf{x}, \phi, t) = \mathbf{j}_0(\phi) \cdot \mathbf{G}(t) \cdot \mathbf{j}(\mathbf{x}) \quad (2.25)$$

Các hàm  $\mathbf{G}(t)$  và  $\mathbf{j}(\mathbf{x})$  được xác định bằng thực nghiệm khi nghiên cứu sự biến thiên ngày đêm và theo vĩ độ của thành phần H và Z của trường từ do EEJ gây ra, hàm  $\mathbf{j}_0(\phi)$  được thay thế bởi sự biến thiên của mật độ dòng tại tâm của EEJ theo kinh tuyến. Chú ý rằng hàm  $\mathbf{j}_0(\phi)$  phản ánh sự thay đổi theo kinh tuyến của các hệ dòng Pedersen (độ dẫn  $\sigma_1$ ) và dòng Hall (có độ dẫn  $\sigma_2$ ) trong tầng điện ly, mà các dòng này biến đổi theo hoạt động của Mặt Trời (hay theo thời gian địa phương) và cũng được thể hiện trong hàm  $\mathbf{G}(t)$ . Sau đây, sẽ trình bày cách xác định các hàm trên.



### 2.2.2.1 Hàm biến thiên theo vĩ độ của EEJ - hàm $j(x)$

Onwumechili [85] đã nghiên cứu biến thiên hàng ngày đều đặn của thành phần nằm ngang H của trường từ tại vùng vĩ độ thấp kéo dài đến vùng vĩ độ trung bình (Hình 2.5) và nhận thấy có sự tăng bất thường về biên độ. Maynard [79]; Sampath và Sastry [103] đã dựa vào các quan trắc bằng tên lửa và quan sát tầng điện ly bằng sóng VHF đã chỉ ra rằng hệ dòng EEJ này tương đương với một dải dòng mỏng chảy về phía đông và tại độ cao khoảng 105km so với mặt đất.



Hình 2.5: Biến thiên theo vĩ độ của  $Sq(H)$  những ngày trường từ yên tĩnh (chấm tròn). Đường trung bình nét liền ở dưới là trường  $Sq$  toàn cầu, đường nét đứt biểu diễn giá trị nội suy của  $Sq$  trong vùng xích đạo (Theo Onwumechili và Agu, [85]).

Các nghiên cứu về trường từ do EEJ gây ra phụ thuộc vào vĩ độ khi sử dụng số liệu tại các đài địa từ cắt qua xích đạo từ đã cho phép xác định được bề rộng, vị trí trung tâm của dải dòng EEJ, mật độ dòng điện tại tâm  $j_0$  tại những kinh tuyến nhất định. Fambitakoye đã mô tả phân bố của mật độ dòng của EEJ theo vĩ độ được biểu diễn bằng phương trình (2.24) khi  $m=2$  và được viết lại như sau:

$$j(x) = j_0 \left( 1 - \frac{(x-c)^2}{a^2} \right)^2 \quad (2.26)$$

trong đó:  $j_0$  là mật độ dòng điện tại tâm của EEJ,  $c$  là tâm của EEJ,  $a$  là một nửa bề

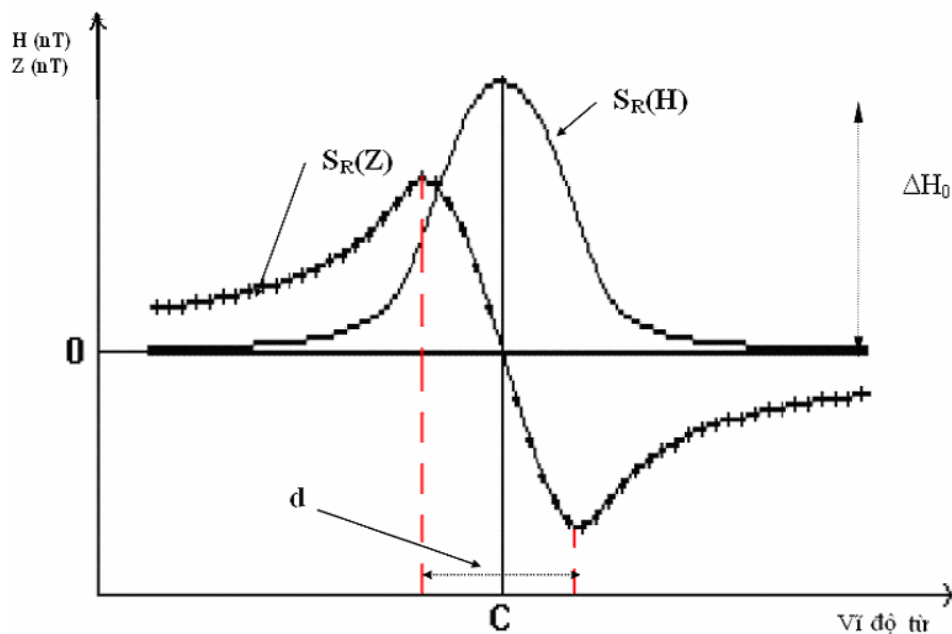
rộng,  $x$  là khoảng cách từ tâm EEJ đến điểm quan sát,  $j(x)$  là mật độ dòng tại điểm  $x$  bất kỳ trong dải dòng ( $c - a \leq x \leq c + a$ ). Các tham số  $c$ ,  $a$  được xác định khi biểu diễn thành phần  $H$  và  $Z$  của trường từ do EEJ gây ra (Hình 2.6). Giá trị  $j_0$  được xác định từ giá trị thành phần nằm ngang của trường từ ( $\Delta H$ ) do EEJ gây ra từ công thức thực nghiệm của Doumouya [37] và được biểu diễn như sau:

$$j_0 = \frac{\Delta H}{H_c \arctg\left(\frac{a}{h}\right)} \quad (2.27)$$

Với  $h$  là độ cao của EEJ (nếu sử dụng số liệu vệ tinh thì là khoảng cách từ EEJ đến quỹ đạo vệ tinh),  $H_c$  là tham số hiệu chỉnh, với số liệu vệ tinh thay thế  $\Delta H$  bằng  $\Delta F$ . Gọi  $d$  là khoảng cách giữa hai cực trị của thành phần  $Z$ , một nửa bề rộng  $a$  được xác định qua bề rộng  $d$  và độ cao  $h$  của EEJ như sau:

$$a = \sqrt{\left(\frac{d^2}{4} - h^2\right)} \quad (2.28)$$

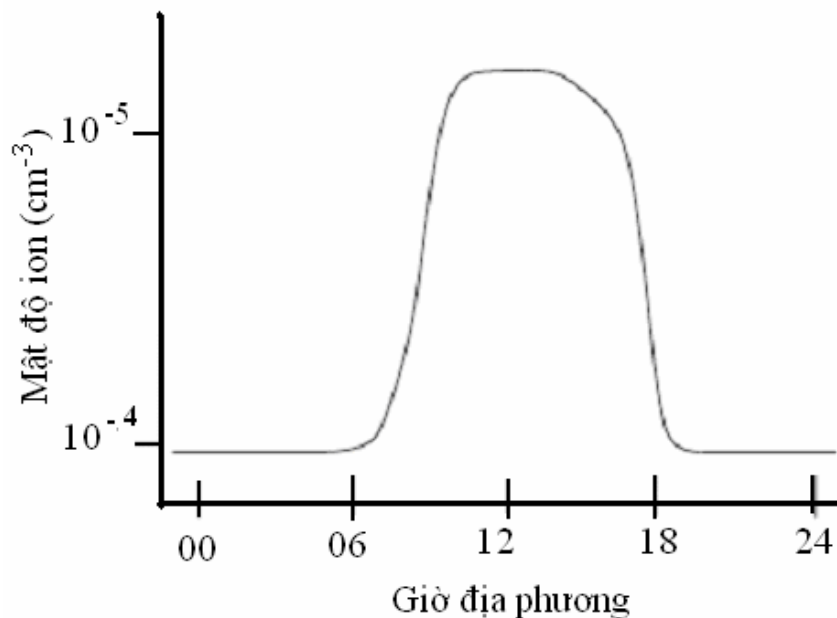
Vị trí  $c$  là trung tâm của EEJ được xác định tại đỉnh cực đại của thành phần nằm ngang  $\Delta H$  và giá trị bằng 0 của thành phần thẳng đứng  $\Delta Z$ .



Hình 2.6: Xác định các thông số của EEJ ( $\Delta H_0$  là biên độ thành phần  $H$  ở tâm của EEJ) từ các biến thiên theo vĩ độ của  $H$  và  $Z$  của một dải dòng có phân bố parabol ( $m=2$ ).

### 2.2.2.2 Hàm biến thiên theo thời gian của EEJ - hàm $G(t)$

Khi nghiên cứu số liệu biến thiên ngày đêm thành phần  $\Delta H$  và  $\Delta Z$  của các trạm địa từ cắt qua xích đạo từ chúng ta thấy rằng thành phần  $\Delta H$  đạt giá trị nhỏ lúc bình minh và hoàng hôn và đạt cực đại lúc giữa trưa. Các trạm càng gần xích đạo từ thì biên độ của thành phần  $\Delta H$  càng lớn. Với thành phần thẳng đứng  $\Delta Z$ , giá trị cực trị ở phía nam và phía bắc bán cầu có xu hướng ngược nhau và bằng không tại xích đạo từ. Sự biến đổi trong một ngày của trường từ do EEJ gây ra là kết quả của sự biến đổi hàng ngày của các hệ dòng điện trong tầng điện ly ở vùng vĩ độ thấp. Những dòng điện này được tạo bởi các quá trình điện động lực liên quan đến chuyển động của các hạt mang điện tích (ion và electron) trong vùng dynamo điện ly và chuyển động gió của triều nhiệt quyển kéo theo các hạt tích điện cắt ngang qua đường sức từ trường Trái Đất. Các ion và electron chủ yếu được hình thành bởi quá trình quang hóa gây ra do tia X và tia cực tím của Mặt Trời. Điều này làm cho lớp E của tầng điện ly dẫn điện và mật độ các ion sẽ cực đại vào giữa trưa địa phương. Hình 2.7 là kết quả nghiên cứu của Heelis [58], trình bày phân bố theo giờ địa phương của tổng nồng độ các ion trong lớp E, hay nó cũng mô tả sự phân bố của dòng Hall và dòng Pedersen trong lớp này.

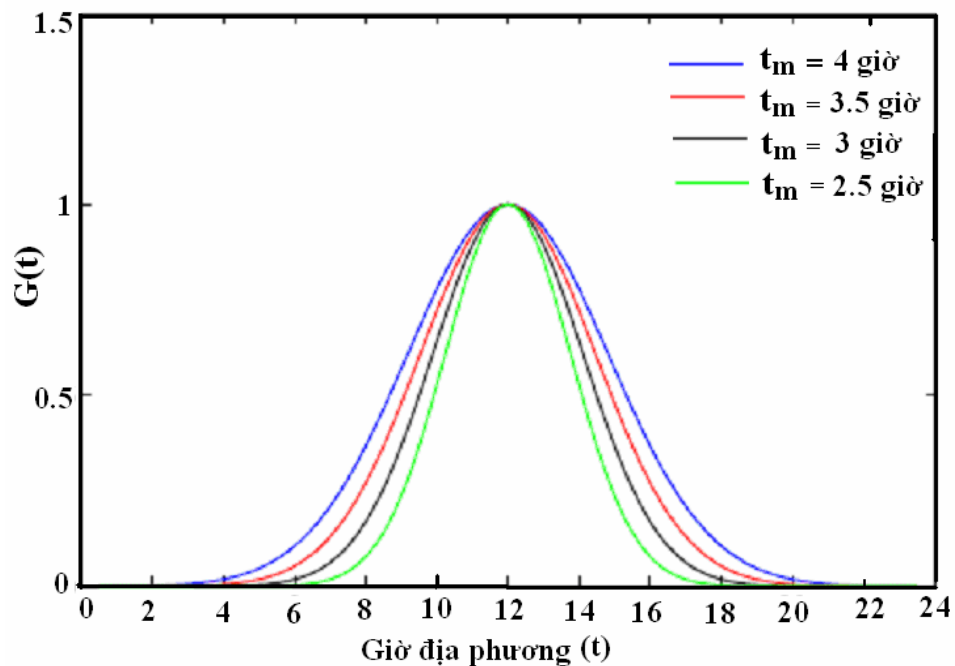


Hình 2.7: Sơ đồ sự biến đổi của nồng độ của các ion trong lớp E của tầng điện ly theo thời gian địa phương. (Theo Heelis, [58]).

Như vậy, sự vận động của các dòng điện trong tầng điện ly phụ thuộc vào thời gian địa phương và thường xuất hiện từ 6 giờ sáng đến 18 giờ chiều, đạt giá trị cực đại tại giữa trưa địa phương. Vì vậy, để mô phỏng các biến đổi trong một ngày của EEJ, Doumouya [37] đề xuất một biểu thức thực nghiệm, dựa trên thời gian địa phương  $t$  khi chọn một hàm phân bố Gauss  $G(t)$  để mô tả sự biến đổi mật độ dòng của EEJ trong một ngày như sau:

$$G(t) = \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{t_m^2}\right) \quad (2.29)$$

trong đó  $t$  là thời gian địa phương thay đổi từ 0 đến 24 giờ,  $T$  là thời gian địa phương khi EEJ đạt giá trị cực đại,  $t_m$  là tham số hiệu chỉnh của hàm phân bố Gauss và được xác định bằng thực nghiệm. Để xác định các tham số  $t_m$  và  $T$  của hàm  $G(t)$ , Doumouya [115] đã so sánh sự biến đổi thành phần nằm ngang  $\Delta H_{EEJ}$  của trường từ do EEJ gây ra từ số liệu của các đài địa từ thuộc ba vùng kinh tuyến (qua châu Phi, Ấn Độ, Brazil) và hình dáng của hàm  $G(t)$  sao cho hai đường cong trùng khớp với nhau nhất, từ đó lựa chọn  $t_m = 4$  và  $T = 12$ . Hình 2.8 biểu diễn hàm phân bố Gauss  $G(t)$  tính với các giá trị  $t_m = 2.5, 3, 3.5, 4$  giờ tại các giờ địa phương ( $t$ ) khác nhau và



Hình 2.8: Hàm phân bố  $G(t)$  phụ thuộc vào giờ địa phương ( $t$ ) với các giá trị  $t_m$  khác nhau ( $T = 12$  giờ).

hàm  $G(t)$  đạt giá trị cực đại tại 12 giờ trưa địa phương. Việc lựa chọn phân bố Gauss  $G(t)$  như trong phương trình (2.29) không những cho phép mô tả biến thiên ngày đêm của thành phần H của trường từ mà còn mô tả được sự phân bố thống kê của mật độ các ion và điện tử trong lớp điện ly nơi tồn tại EEJ mà nó chính là kết quả của bức xạ năng lượng Mặt Trời, quá trình ion hóa và quá trình triều nhiệt. Tuy nhiên, việc sử dụng hàm phân bố Gauss này sẽ không phản ánh được sự xuất hiện của dòng điện ngược xích đạo và hiện tượng không đối xứng ở giữa trưa địa phương của trường từ do EEJ gây ra.

#### - Biểu diễn EEJ tại một kinh tuyến cố định- hàm $j(x,t)$

Kết hợp công thức (2.26) và (2.29) chúng ta có thể xác định được phân bố theo thời gian và vĩ độ của EEJ tại một kinh tuyến bất kỳ như sau:

$$j(x,t) = j_{12} \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{t_m^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{(x-c)^2}{a^2}\right)^2 \quad (2.30)$$

trong đó  $j_{12}$  là mật độ dòng điện tại tâm của EEJ tại thời điểm  $t=T$  (thời điểm EEJ đạt giá trị cực đại trong ngày) được tính từ thành phần nằm ngang  $\Delta H$  của trường từ do EEJ gây ra bằng công thức (2.27). Phương trình (2.30) được viết lại như sau:

$$j(x,t) = j_0(t) \cdot \left(1 - \frac{(x-c)^2}{a^2}\right)^2 \quad (2.31)$$

với ký hiệu:

$$j_0(t) = j_{12} \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{t_m^2}\right) \quad (2.32)$$

Như vậy, phương trình (2.30) đã mô tả được sự biến đổi của EEJ theo thời gian địa phương ( $t$ ) và vĩ độ ( $x$ ) tại một kinh tuyến cố định.

#### 2.2.2.3 Biến thiên theo kinh độ của EEJ

Trong phần trên, chúng ta đã nghiên cứu EEJ biến đổi theo vĩ độ và thời gian địa phương của EEJ. Trong phần này để xây dựng phân bố mật độ dòng EEJ theo kinh tuyến ở phạm vi toàn cầu, tất cả các lát cắt số liệu vệ tinh CHAMP ngang qua xích đạo từ ở khoảng giữa trưa địa phương thu được trong vòng sáu năm (2002-2007) được sử dụng. Như vậy, từ mỗi lát cắt số liệu chúng ta sẽ xác định được một giá trị  $j_{0i}$  là giá trị mật độ dòng của EEJ tại xích đạo từ tại kinh tuyến  $i$  bất kỳ.

Chúng ta có thể liên kết các giá trị  $j_{0i}$  trên bằng hàm  $j_0(\phi)$ , hàm này biểu diễn sự thay đổi theo kinh tuyến độ mật độ dòng tại tâm của EEJ. Trong mô hình này, coi sự thay đổi theo kinh tuyến của mật độ dòng tại tâm EEJ ký hiệu là  $j_{12}$  theo phương trình (2.32), trong đó  $j_{12}$  được viết như là hàm của kinh độ như sau:

$$j_0(\phi, t) = j_{12}(\phi) \cdot \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{t_m^2}\right) \quad (2.33)$$

Lưu ý rằng thời gian địa phương  $t$  phụ thuộc vào kinh tuyến ( $\phi$ ) và có thể được tính như sau:  $t = t_u + \frac{\lambda}{15}$  với  $-180 \leq \phi \leq 180$ ,  $t_u$  là giờ quốc tế.

#### 2.2.2.4 Hàm biến thiên theo kinh độ, vĩ độ và thời gian của EEJ- hàm $j(x, \phi, t)$

Tổng hợp các phương trình (2.26), (2.29) và (2.33) ta có:

$$j(x, \phi, t) = j_{12}(\phi) \cdot \exp\left(-\frac{(t-T)^2}{t_m^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{(x-c)^2}{a^2}\right)^2 \quad (2.34)$$

Phương trình tổng quát (2.34) mô tả sự phân bố của EEJ theo kinh tuyến  $\phi$ , vĩ độ  $x$  và thời gian địa phương  $t$ . Khi chúng ta có chuỗi số liệu trường từ do EEJ gây ra và biết các tham số  $t$ ,  $T$ ,  $a$ ,  $t_m$  thì hoàn toàn có thể sử dụng công thức trên để mô hình hóa sự biến đổi của EEJ. Từ mô hình thu được chúng tôi tính toán hiệu ứng từ của EEJ theo tọa độ và thời gian địa phương.

#### 2.2.3 Tính các thành phần của trường từ do EEJ gây ra

Theo định luật Bio-Savart, trường từ gây ra bởi một dòng điện thẳng dài vô hạn có cường độ dòng  $I$ , tính tại điểm  $S$ , khoảng cách đến dòng điện là  $d$  sẽ là  $0.2I/d$ . Các đường sức của từ trường sẽ tạo thành các vòng tròn có tâm trùng với vị trí dòng điện. Chúng ta xem xét hệ trục tọa độ như trên hình 2.3 ở trên, với dòng điện chạy trên mặt phẳng nằm ngang theo hướng  $Oy$  giới hạn từ  $-a$  đến  $+a$  có phân bố mật độ dòng là  $j(x)$  và ở độ cao là  $h$ . Cảm ứng từ gây ra từ một phần tử  $P$  bất kỳ tại điểm quan sát  $S$  (trên trục  $Ox$ ) có khoảng cách đến gốc tọa độ  $x_s$  là:

$$d\vec{B} = 0.2 \frac{(\vec{i} \wedge \vec{PS}) j(x) dx}{|\vec{PS}|^2} \quad (2.35)$$

với  $\vec{i}$  là vectơ đơn vị theo trục  $Oy$ . Hình chiếu của trường này lên các trục tọa độ

OX và OZ sẽ là các thành phần H và Z của trường từ do dòng điện này gây ra là:

$$dH = -0.2 \frac{hj(x)dx}{(x_s - x)^2 + h^2} \quad (2.36)$$

$$dZ = -0.2 \frac{(x_s - x)j(x)dx}{(x_s - x)^2 + h^2} \quad (2.37)$$

Khi dòng điện giới hạn trong khoảng từ -a đến +a (bản dòng EEJ), các thành phần trường từ gây ra do dòng j(x) sẽ là:

$$\Delta H = -0.2 \int_{c-a}^{c+a} \frac{hj(x)}{(x_s - x)^2 + h^2} dx \quad (2.38)$$

$$\Delta Z = -0.2 \int_{c-a}^{c+a} \frac{(x_s - x)j(x)}{(x_s - x)^2 + h^2} dx \quad (2.39)$$

với: c là vị trí của tâm EEJ, h là độ cao của EEJ tính bằng km,  $j_0$  tính bằng A/km,  $\Delta H$  và  $\Delta Z$  tính bằng nT. Theo Fambitakoye [117] với giả thiết phân bố mật độ dòng j(x) là bậc 2, từ các tham số c, a, T,  $t_m$ ,  $j_0$  ta có thể tính  $\Delta H$  và  $\Delta Z$  gây ra bởi dòng EEJ tại vị trí S bất kỳ như sau:

$$\begin{aligned} \Delta H = & 0.2 \frac{j_0}{a^4} [(a^2 - X_s^2)^2 + (2a^2 - 6X_s^2)h^2 + h^4] (\arctg R_B - \arctg R_A) \\ & + 0.2 \frac{j_0}{a^4} [2(a^2 - X_s^2)X_s h + 2X_s h^3] [\ln(1 + R_B^2) - \ln(1 + R_A^2)] + 0.2 \frac{j_0}{a^4} \frac{h^4}{3} (R_B^3 - R_A^3) \\ & - 0.4 \frac{j_0}{a^4} X_s h^3 (R_B^2 - R_A^2) - 0.2 \frac{j_0}{a^4} [(2a^2 - 6X_s^2)h^2 + h^4] (R_B - R_A) \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} \Delta Z = & -0.1 \frac{j_0}{a^4} [(a^2 - X_s^2)^2 + (2a^2 - 6X_s^2)h^2 + h^4] [\ln(1 + R_B^2) - \ln(1 + R_A^2)] \\ & + 0.8 \frac{j_0}{a^4} [(a^2 - X_s^2)X_s h - X_s h^3] (\arctg R_B - \arctg R_A) - 0.1 \frac{j_0}{a^4} \frac{h^4}{2} (R_B^4 - R_A^4) + 0.8 \frac{j_0}{a^4} \frac{h^4}{3} X_s (R_B^3 - R_A^3) \\ & + 0.1 \frac{j_0}{a^4} [(2a^2 - 6X_s^2)h^2 + h^4] (R_B^2 - R_A^2) - 0.8 \frac{j_0}{a^4} X_s [(a^2 - X_s^2)h + h^3] (R_B - R_A) \end{aligned} \quad (2.41)$$

$$X_s = x_s - c$$

$$\text{với: } R_A = \frac{X_s - a}{h} \quad (2.42)$$

$$R_B = \frac{X_s + a}{h}$$

### 2.3 Phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu - SCHA

Phương pháp SHA được Gauss [116] đưa ra năm 1893, đây là một phương pháp rất phổ biến để mô hình hoá trường từ trên toàn cầu. Theo Gauss, nghiệm của phương trình Laplace trong hệ tọa độ cầu đối với thế của trường từ nguồn bên trong Trái Đất được viết dưới dạng chuỗi:

$$V(r, \theta, \phi) = R_E \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^n \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n+1} \left( g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi) \right) P_n^m(\cos\theta) \quad (2.43)$$

trong đó  $R_E$  là bán kính Trái Đất,  $P_n^m(\cos\theta)$  là đa thức Legendre liên kết hạng  $m$  bậc  $n$  ( $n, m$  là nguyên),  $\theta$  là phần phụ vĩ độ. Thế  $V$  trong biểu diễn (2.43) phải liên tục, nghĩa là  $V$  và đạo hàm của nó phải có cùng giá trị khi  $\phi=0$  và  $\phi=2\pi$ ,  $g_n^m$  và  $h_n^m$  là các hệ số Gauss đơn vị là nT. Khi biết giá trị các hệ số hài điều hòa cầu  $g_n^m$  và  $h_n^m$  thì sẽ tính được giá trị các thành phần của trường từ tại mọi điểm quan sát có tọa độ  $(\theta, \phi)$ . Hiện nay, để tính trường chính tại một điểm bất kỳ có một số mô hình trường từ toàn cầu phổ biến là: mô hình IGRF, mô hình WMM, mô hình POMME... và thông thường các mô hình IGRF sử dụng hài điều hòa bậc  $n_{\max}=13$  (ứng với bước sóng khoảng hơn 3000km).

Khi mô hình hoá trường từ của một khu vực nhỏ, với chuỗi số liệu dùng để nghịch đảo chỉ tập trung tại một vùng nhỏ, việc áp dụng phương pháp SHA sẽ rất khó khăn và nghiệm sẽ không hội tụ và hơn nữa để nghiên cứu chi tiết hơn cho một khu vực đòi hỏi phải mô hình hóa một phần trường từ của lớp vỏ Trái Đất nghĩa là cần quan tâm đến sóng có bước sóng nhỏ hơn thì phương pháp SHA không đáp ứng được. Để khắc phục những nhược điểm này, Haines [54] đã đưa ra một phương pháp giải phương trình Laplace trên một chỏm cầu là một vùng nhỏ trên bề mặt Trái Đất và ngày nay được gọi là phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu (Spherical Cap Harmonic Analysis - SCHA).

Điều kiện biên của SCHA cũng tương tự phương pháp SHA ngoại trừ giới hạn góc  $\theta$  chỉ trong phạm vi chỏm cầu  $\theta_0$ . Nghiệm của phương trình Laplace trên một chỏm cầu là:



$$V(r, \theta, \phi) = R_E \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^k \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+1} \left( g_k^m \cos(m\phi) + h_k^m \sin(m\phi) \right) P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) \quad (2.44)$$

với  $g_k^m, h_k^m$  là các hệ số phân tích điều hoà chỏm cầu (đơn vị là nT) và được xác định bằng nghịch đảo số liệu trong khu vực,  $P_{n_k(m)}^m(\cos(\theta))$  là hàm Legendre liên kết loại một có hạng m nguyên còn bậc  $n_k(m)$  không nguyên. Tham số  $n_k(m)$  phụ thuộc vào m, k và  $K_{\max}$  ( $K_{\max}$  là bậc cực đại để khai triển chuỗi). Điều kiện biên theo  $\phi$  và r của thế V trên một chỏm cầu tương tự như trên toàn bộ mặt cầu, và được biểu diễn như sau:

$$V_n^m(r, \theta, \phi) = V_n^m(r, \theta, \phi + 2\pi) \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial V_n^m(r, \theta, \phi)}{\partial \theta} = \frac{\partial V_n^m(r, \theta, \phi + 2\pi)}{\partial \theta} \quad (2.46)$$

$$\lim_{r \rightarrow \infty} V_n^m(r, \theta, \phi) = 0 \quad (2.47)$$

Như vậy sự khác nhau quan trọng giữa SHA và SCHA là hàm Legendre liên kết. Theo SHA, trên toàn bộ mặt cầu thế và đạo hàm của thế bằng không tại vùng cực ( $\theta = 0, \theta = \pi$ ) khi n, m nguyên:

$$V_n^m(r, (\theta = 0, \pi), \phi) = 0 \quad \text{với } m \neq 0 \quad (2.48)$$

$$\frac{\partial V_n^m(r, (\theta = 0, \pi), \phi)}{\partial \theta} = 0 \quad \text{với } m = 0 \quad (2.49)$$

Khi tính toán chỉ trong một khu vực giới hạn bởi một góc chỏm cầu  $\theta_0$  (một nửa góc chỏm cầu) hay với  $\theta \neq 0, \pi$  thì thế V tại  $\theta_0$  và đạo hàm của nó theo  $\theta$  phải thoả mãn điều kiện sau:

$$V(r, \theta_0, \phi) = f(r, \phi) \quad (2.50)$$

$$\frac{\partial V(r, \theta_0, \phi)}{\partial \theta} = g(r, \phi) \quad (2.51)$$

với  $f(r, \phi), g(r, \phi)$  là hai hàm bất kỳ thoả mãn điều kiện hàm và đạo hàm của nó phụ thuộc vào r và  $\theta$  tương tự như thế V và đạo hàm  $\partial V / \partial \theta$ . Trong trường hợp này, điều kiện biên theo  $\theta$  của (2.50) sẽ thoả mãn khi chọn các giá trị m bất kỳ và với  $n_k(m)$  sao cho:

$$\frac{\partial V_n^m(r, \theta_0, \phi)}{\partial \theta} = 0 \text{ hay } \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} = 0 \quad (2.52)$$

Trong đó, điều kiện (2.51) với các giá trị  $n_k(m)$  sao cho

$$V_{n_k(m)}^m(r, \theta_0, \phi) = 0 \text{ hay } P_{n_k(m)}^m(\cos \theta_0) = 0 \quad (2.53)$$

Như vậy, với các giá trị thực khác nhau của  $n$  phụ thuộc vào  $m$  được biểu diễn bởi  $n_k(m)$  và được xác định như là nghiệm của phương trình:

$$\frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} = 0 \text{ khi } (k-m) \text{ chẵn} \quad (2.54)$$

$$P_{n_k(m)}^m(\cos \theta_0) = 0 \text{ khi } (k-m) \text{ lẻ} \quad (2.55)$$

Với mỗi giá trị của  $m$  cho ta hai chuỗi giá trị của  $n_k(m)$  khi  $(k-m)$  chẵn thì nghiệm của (2.54) được xác định, ngược lại với  $(k-m)$  là lẻ thì nghiệm của (2.55) được xác định. Khi đó  $V_{n_k(m)}^m(r, \theta, \phi)$  được thay thế bởi hai hàm cơ bản vô hạn cho hai trường trên và hai hàm này trực giao trên chỏm cầu. Giống như trong trường hợp phân tích điều hòa cầu thông thường, hàm  $P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)$  thỏa mãn điều kiện trực giao:

$$\int_0^{\theta_0} P_{n_j}^m(\cos \theta) P_{n_k}^m(\cos \theta) \sin \theta d\theta = 0 \quad (2.56)$$

với  $j \neq k$ , khi cả  $(j-m)$  và  $(k-m)$  là chẵn hay lẻ.

Khi  $(j-m)$  chẵn và  $(k-m)$  lẻ chúng ta có:

$$\int_0^{\theta_0} P_{n_j}^m(\cos \theta) P_{n_k}^m(\cos \theta) \sin \theta d\theta = -\frac{\sin \theta_0}{(n_k - n_j)(n_k + n_j + 1)} P_{n_k}^m(\cos \theta_0) \frac{dP_{n_k}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} \quad (2.57)$$

trong đó  $n_j$  là viết tắt của  $n_j(m)$  và  $n_k$  là  $n_k(m)$ .

Đối với  $k-m$  là chẵn ta có:

$$\int_0^{\theta_0} [P_{n_k}^m(\cos \theta)]^2 \sin \theta d\theta = -\frac{\sin \theta_0}{2n_k + 1} P_{n_k}^m(\cos \theta_0) \frac{\partial}{\partial n} \frac{dP_{n_k}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} \quad (2.58)$$

Và đối với  $k-m$  là lẻ:

$$\int_0^{\theta_0} [P_{n_k}^m(\cos \theta)]^2 \sin \theta d\theta = \frac{\sin \theta_0}{2n_k + 1} \frac{dP_{n_k}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} \frac{\partial}{\partial n} P_{n_k}^m(\cos \theta_0). \quad (2.59)$$

### 2.3.1 Khai triển đa thức Legendre:

Trong biểu thức (2.36) ở trên,  $P_{n_k(m)}^m \cos(\theta)$  là hàm Legendre liên kết loại một có  $m$  nguyên và  $n_k(m)$  là thực không nguyên có thể được biểu diễn như là chuỗi năng lượng hữu hạn của hàm  $\sin^2(\theta/2)$  tính toán đệ qui như sau:

$$P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) = \sum_{j=0}^J A_j(m, n) \sin^2(\theta/2) \quad (2.60)$$

với  $A_0(m, n) = K_n^m \sin^m(\theta)$

khi  $j > 0$  phụ thuộc vào độ chính xác khi khai triển, thông thường chọn đến  $J=60$ .

$$A_j(m, n) = \frac{(j+m-1)(j+m) - n(n+1)}{j(j+m)} A_{j-1}(m, n) \quad (2.61)$$

trong đó chỉ số  $n$  là viết tắt của  $n_k(m)$ .

Tham số  $K_n^m$  là hằng số phụ thuộc vào dạng hàm chuẩn hóa được chọn, theo chuẩn hóa Schmidt với  $m=0$  thì  $K_n^m=1$  và nếu  $m \neq 0$  thì

$$K_n^m = \frac{2^{1/2}}{2^m m!} \left[ \frac{(n+m)!}{(n-m)!} \right]^{1/2} \quad (2.62)$$

Sử dụng công thức khai triển  $x!$  của Stirling khi đó  $K_n^m$  với  $n > m > 0$  được xấp xỉ là:

$$K_n^m = \frac{2^{-m}}{(m\pi)^{1/2}} \left[ \frac{(n+m)}{(n-m)} \right]^{(n/2)+(1/4)} p^{m/2} \exp(e_1 + e_2 + \dots) \quad (2.63)$$

trong đó  $p = \left( \frac{n}{m} \right)^2 - 1$

số hạng thứ nhất và thứ hai của số hạng e mũ trong (2.63) là:

$$e_1 = -\frac{1}{12m} \left( 1 + \frac{1}{p} \right)$$

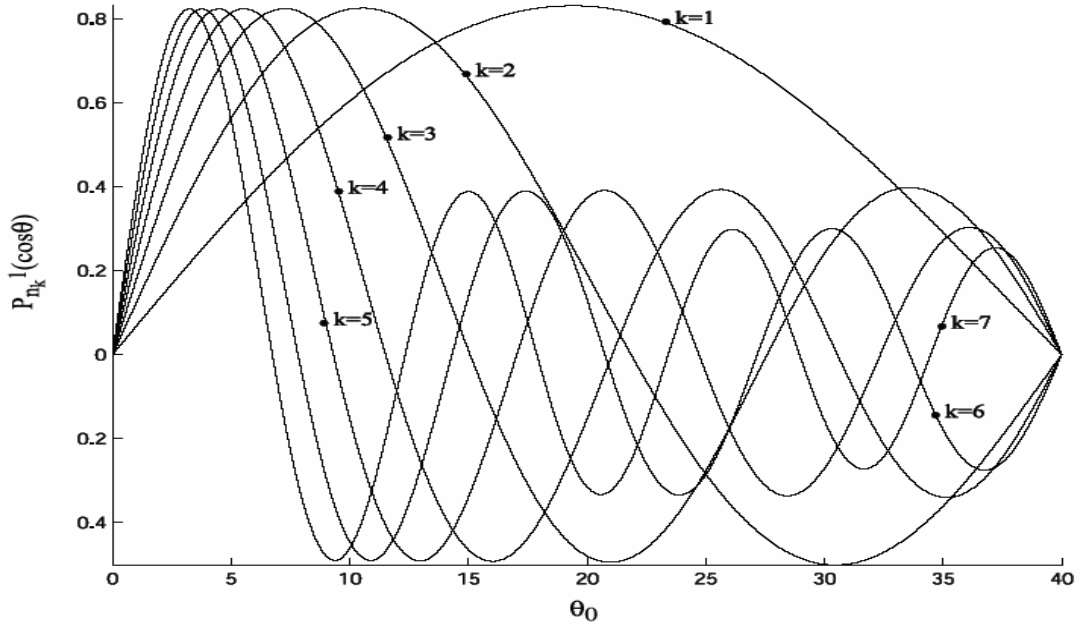
$$e_2 = -\frac{1}{360m^3} \left( 1 + \frac{3}{p^2} + \frac{4}{p^3} \right) \text{ và tương tự khai triển cho các số hạng tiếp theo.}$$

Như vậy đạo hàm của  $P_{n_k(m)}^m$  theo  $\theta$  có thể tính được như sau :

$$\frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta_0)}{d\theta} = \frac{\sin \theta}{2} \sum_{j=1}^J j A_j(m, n) \sin^{2(j-1)}(\theta/2) \text{ khi } m=0 \quad (2.64)$$

$$\frac{dP_{n_k}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} = \frac{\sin\theta}{2} \sum_{j=1}^J j A_j(m, n) \sin^{2(j-1)}(\theta/2) + \cos\left[\frac{m}{\sin\theta} P_n^m(\cos\theta)\right] \text{ khi } m \neq 0 \quad (2.65)$$

Kết hợp các công thức (2.54, 2.55) với (2.64, 2.65) có thể tính được  $n_k(m)$  phụ thuộc vào góc  $\theta$  (bảng 4.3 trong chương 4), cột thứ 3 của bảng này là các giá trị của  $n_k(m)$  được tính với  $\theta_0 = 20^\circ$ ,  $K=8$ . Hình 2.9 là một ví dụ khai triển hàm Legendre liên kết khi  $m=1$  và bậc  $k$  thay đổi từ 1 đến 7 như là hàm của góc chòm cầu  $\theta_0 = 40^\circ$  dùng chuẩn hóa kiểu Schmidt.



Hình 2.9: Hàm Legendre liên kết khi  $m=1$  và giới hạn tại  $\theta_0 = 40^\circ$  ứng với  $k$  khác nhau (Dùng chuẩn hóa kiểu Schmidt).

### 2.3.2 Tính các thành phần của trường từ

Tương tự như trong phương pháp phân tích điều hoà cầu, khi kể tới cả phần trường có nguồn gốc bên ngoài Trái Đất, thì biểu thức thế có dạng gây ra như sau:

$$V(r, \theta, \phi) = R_E \sum_{k=0}^{K_{\text{int}}} \sum_{m=0}^k \left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+1} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta) (g_k^{mi} \cos(m\phi) + h_k^{mi} \sin(m\phi)) \\ + R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{ext}}} \sum_{m=0}^k \left(\frac{r}{R_E}\right)^{n_k(m)} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta) (g_k^{me} \cos(m\phi) + h_k^{me} \sin(m\phi)) \quad (2.66)$$

Trong biểu diễn trên chuỗi thứ nhất ứng với phần trường nguồn gốc bên trong, số thứ hai ứng với phần trường có nguồn gốc bên ngoài, nghĩa là  $K_{\text{int}}$  là bậc khai triển của thế ứng với nguồn bên trong và  $K_{\text{ext}}$  là bậc khai triển của thế ứng với nguồn bên

ngoài. Các thành phần của trường từ được xác định từ thế V qua các đạo hàm tương ứng. Thành phần bắc X, đông Y và thành phần thẳng đứng Z được xác định như sau:

$$X = -\frac{1}{r} \frac{\partial V(r, \theta, \phi)}{\partial \theta} = R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{int}}} \sum_{m=0}^k \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+2} \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{d\theta} (g_k^{mi} \cos(m\phi) + h_k^{mi} \sin(m\phi)) \\ + R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{ext}}} \sum_{m=1}^k \left( \frac{r}{R_E} \right)^{n_k(m)-1} \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{d\theta} (g_k^{me} \cos(m\phi) + h_k^{me} \sin(m\phi)) \quad (2.67)$$

$$Y = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V(r, \theta, \phi)}{\partial \theta} = R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{int}}} \sum_{m=0}^k \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+2} \frac{m P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{\sin \theta} (g_k^{mi} \cos(m\phi) - h_k^{mi} \sin(m\phi)) \\ + R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{ext}}} \sum_{m=1}^k \left( \frac{r}{R_E} \right)^{n_k(m)-1} \frac{m P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{\sin \theta} (g_k^{me} \sin(m\phi) - h_k^{me} \cos(m\phi)) \quad (2.68)$$

$$Z = -\frac{\partial V(r, \theta, \phi)}{\partial r} = R_E \sum_{k=0}^{K_{\text{int}}} \sum_{m=0}^k (n_k(m)+1) \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+2} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) (g_k^{mi} \cos(m\phi) + h_k^{mi} \sin(m\phi)) \\ + R_E \sum_{k=1}^{K_{\text{ext}}} \sum_{m=1}^k (n_k(m)+1) \left( \frac{r}{R_E} \right)^{n_k(m)-1} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) (g_k^{me} \cos(m\phi) + h_k^{me} \sin(m\phi)) \quad (2.69)$$

với  $g_k^{mi}$ ,  $h_k^{mi}$ ,  $g_k^{me}$ ,  $h_k^{me}$  là các hệ số khai triển chòm cầu tương ứng với thành phần trường nguồn gốc bên trong và bên ngoài. Từ các thành phần trực giao (X, Y, Z) hoàn toàn có thể tính được các thành phần trường tổng T, thành phần nằm ngang H, độ từ thiên D và độ từ khuynh I.

#### \* Xác định bậc cực đại của chuỗi khai triển thế $K_{\text{int}}$

Bước sóng quan sát trên bề mặt Trái Đất được biểu diễn bởi mô hình với hài điều hoà bậc n được hiểu đơn giản là tỷ số giữa chu vi Trái Đất và bậc hài điều hoà. Độ dài bước sóng trong phương pháp phân tích điều hoà cầu bậc n được xác định là  $\lambda = 360^\circ / n$  hay tại bề mặt Trái Đất là 40.000km/n. Khi đó nếu bước sóng nhỏ nhất trong mô hình là  $\lambda_{\text{min}}$  thì giá trị cực đại  $K_{\text{int}}$  được xác định như sau:

$$K_{\text{int}} = \frac{\theta_0}{90^\circ} \left( \frac{360^\circ}{\lambda_{\text{min}}} + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \quad (2.70)$$

Như vậy tùy thuộc vào độ lớn góc chòm cầu  $\theta_0$  và bước sóng  $\lambda_{\text{min}}$  muốn nghiên cứu chúng ta sẽ tìm được bậc cực đại của chuỗi khai triển thế. Trong công thức (2.36), nếu giới hạn khai triển đến số hạng  $K_{\text{int}}$  thì số các hệ số của  $g_k^m, h_k^m$  sẽ là  $(K_{\text{int}}+1)^2$ .

### 2.3.3 Phương pháp nghịch đảo số liệu

Việc xác định các hệ số  $g_k^{mi}$ ,  $h_k^{mi}$ ,  $g_k^{me}$ ,  $h_k^{me}$  trong các phương trình (2.67), (2.68), (2.69) ở trên khi biết giá trị ba thành phần (X,Y,Z) và trường tổng của trường từ tại từng điểm quan sát dẫn tới việc giải phương trình tuyến tính dạng:

$$\vec{y} = A\vec{m} + \vec{e} \quad (2.71)$$

với  $\vec{y}$  là vectơ các giá trị quan sát,  $\vec{e}$  là vectơ sai số,  $\vec{m}$  là ma trận cột các hệ số  $g_k^{mi}$ ,  $h_k^{mi}$ ,  $g_k^{me}$ ,  $h_k^{me}$  phải tìm, A là ma trận chuyển vị của các khối  $A_i$  gồm  $A=(A_1, A_2, A_3, \dots, A_n)$  với n là kích thước của chuỗi số liệu đã cho, như vậy mỗi khối  $A_i$  sẽ là một ma trận gồm số liệu đầu vào là 4 cột hệ số tính toán (gồm 3 hàng 4 cột nếu số liệu để nghịch đảo gồm 3 thành phần của trường từ và 1 hàng 4 cột nếu số liệu bao gồm cả trường tổng). Nghịch đảo theo nghĩa bình phương nhỏ nhất tạo ra một nghiệm  $\vec{m}$  của (2.63) là:

$$\vec{m} = (A^T C_e^{-1} A)^{-1} A^T C_e^{-1} \vec{y} \quad (2.72)$$

$C_e$  là ma trận trọng số (dạng đường chéo), trọng số được tính là độ lệch bình phương trung bình giữa số liệu vào và tính theo mô hình với các hệ số thuộc  $\vec{m}$ . Trong phương pháp phân tích chòm cầu, theo Korte [65] phổ năng lượng các thành phần của trường từ được tính như sau:

$$\langle B_r^2 \rangle = \sum_{n_k} \sum_{n_j} \sum_m (g_{n_k}^m g_{n_j}^m + h_{n_k}^m h_{n_j}^m) (n_k + 1)(n_j + 1) \left( \frac{R_E}{r} \right)^{(n_k + n_j + 4)} a \int_0^{\theta_0} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) P_{n_j(m)}^m(\cos \theta) \sin \theta d\theta \quad (2.73)$$

Với trường tổng, phổ năng lượng cho bởi :

$$\langle B^2 \rangle = \sum_{n_k} \sum_{n_j} \sum_m (g_{n_k}^m g_{n_j}^m + h_{n_k}^m h_{n_j}^m) \left( \frac{R_E}{r} \right)^{(n_k + n_j + 4)} \left[ \sin \theta P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{d\theta} \right] \\ \cdot (n_k + n_j + 1)(n_k + n_j + 2) \frac{a}{2} \int_0^{\theta_0} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) P_{n_j(m)}^m(\cos \theta) \sin \theta d\theta \quad (2.74)$$

Trong phương trình (2.73) và (2.74) tích phân theo  $\theta$  được tính dựa vào (2.61, 2.62 và 2.63). Tham số a được tính như sau:

$$a = \frac{1}{1 - \cos \theta_0} \text{ khi } m=0 \quad (2.75)$$

và

$$a = \frac{1}{2}(1 - \cos \theta_0) \text{ khi } m \neq 0. \quad (2.76)$$

Độ lệch bình phương trung bình (RMS) giữa số liệu được tính bằng phương pháp SCHA ( $B_{r,i}$ ) và số liệu đầu vào ( $y_i$ ) bằng công thức sau:

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - B_{r,i})^2} \quad (2.77)$$

với  $N$  là số điểm quan sát,  $y_i$  là thành phần bất kỳ của trường từ.

Theo đề nghị của Haines, trước khi nghịch đảo số liệu, nên loại bỏ phần trường chính nhờ mô hình IGRF sẽ làm cho quá trình nghịch đảo nhanh hội tụ hơn.

$$\Delta V = V_{\text{CHAMP}} - V_{\text{IGRF}} \quad (2.78)$$

với  $\Delta V$  là số liệu để nghịch đảo,  $V_{\text{CHAMP}}$  là các thành phần trường thu được trên vệ tinh CHAMP,  $V_{\text{IGRF}}$  thành phần trường tính từ mô hình IGRF tại độ cao quỹ đạo tương ứng.

### **Kết luận chương 2:**

Như vậy quá trình hình thành EEJ có thể tóm tắt như sau: tại vùng vĩ độ thấp, do vectơ trường điện và trường từ hầu như nằm ngang, khí quyển Trái Đất lộ ra nhiều nhất, do vậy phần lớn bức xạ điện từ của Mặt Trời đến được tầng điện ly vùng xích đạo, sự ion hóa tăng lên tạo nên một môi trường dẫn đơn nhất dẫn đến việc hình thành ở bán cầu phía Mặt Trời một dải dòng hẹp chạy từ tây sang đông. Do đó, hệ dòng EEJ phụ thuộc trực tiếp vào hoạt tính của Mặt Trời cũng như trường điện và trường từ của khu vực đó. Để mô hình hóa hệ dòng điện EEJ, trong nghiên cứu này sử dụng mô hình kiểu 3EM. Mô hình tổng quát này cho phép biểu diễn sự biến đổi của EEJ theo cả kinh độ, vĩ độ và thời gian trên toàn cầu.

Phương pháp SCHA được sử dụng để mô hình hóa TTBT cho một khu vực, đây là một phương pháp khá hiện đại nó cho phép tính TTBT của một khu vực khi chúng ta chỉ có số liệu trên khu vực đó và nó có thể mô hình hóa được cả một phần trường từ của vỏ Trái Đất mà các phương pháp phân tích điều hòa cầu không thể hiện được được, điều này rất quan trọng khi chúng ta muốn nghiên cứu chi tiết dị thường từ.

### CHƯƠNG 3

## DÒNG ĐIỆN XÍCH ĐẠO TỪ SỐ LIỆU VỆ TINH CHAMP VÀ TỪ CÁC ĐÀI ĐỊA TỪ

Như trong chương 1 và 2 đã nêu vùng ảnh hưởng của EEJ là trong khoảng  $\pm 5^\circ$  xung quanh xích đạo từ. Các đặc trưng về cấu trúc, phân bố trong không gian và biến thiên theo thời gian của EEJ phụ thuộc rất nhiều vào đặc trưng của trường địa từ vùng xích đạo, vào bức xạ điện từ đi tới khí quyển và mức độ hoạt động của Mặt Trời. Để nghiên cứu về các tính chất của hệ dòng EEJ chúng ta có thể dựa vào các tài liệu quan trắc từ vệ tinh, tài liệu thăm dò điện ly thẳng đứng, tài liệu ghi biến thiên từ tại các đài địa từ.... Số liệu trường từ ghi được trên các vệ tinh nhân tạo cho phép chúng ta nghiên cứu một cách toàn diện về EEJ do số liệu này có phân bố dày đặc và đều khắp, thời gian đo ổn định và liên tục.... Tuy nhiên, trường từ do EEJ gây ra rất nhỏ so với trường từ mà chúng ta ghi nhận được và chồng chập lên nhiều trường khác như trường từ chính, trường của vỏ Trái Đất, trường từ của các hệ dòng trong tầng điện ly và từ quyển. Do vậy, việc tách riêng phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu thu được trên các vệ tinh là rất khó khăn. Trong nghiên cứu này, để tách phần trường từ do EEJ gây ra từ sự chồng chập của các trường trên chúng tôi sử dụng “bộ lọc” là các đa thức có bậc khác nhau sau khi đã loại đi phần trường chính từ từng lát cắt số liệu. Việc xác định được phần trường từ do EEJ gây ra cho phép chúng ta nghiên cứu chi tiết về EEJ như: tính được mật độ dòng và xác định sự phân bố mật độ dòng điện của EEJ phụ thuộc vào kinh tuyến, những biến thiên theo thời gian, theo hoạt động Mặt Trời và xác định phân bố vị trí trung tâm của EEJ dọc theo xích đạo từ hay dùng những tham số của EEJ để xây dựng mô hình lý thuyết về EEJ.

### 3.1 Phương pháp tách trường từ do EEJ gây ra từ số liệu vệ tinh CHAMP

Vector trường địa từ  $\vec{B}$  quan sát được tại một điểm bất kỳ là tổng hợp của nhiều nguồn khác nhau gồm:

$$\vec{B} = \vec{B}_p + \vec{B}_v + \vec{B}_e \quad (3.1)$$

Trong đó:



- $\vec{B}_p$  là trường chính của Trái Đất, tạo ra bởi các dòng điện chạy trong nhân ngoài.
- $\vec{B}_v$  là trường vỏ, tạo bởi các đá nhiễm từ trong lớp vỏ Trái Đất.
- $\vec{B}_e$  là phần trường ngoài, tạo bởi các dòng điện bên ngoài Trái Đất gây ra bao gồm cả phần trường cảm ứng liên quan với nó.

Phần trường từ do EEJ gây ra nằm trong phần trường ngoài  $\vec{B}_e$ , sau đây chúng tôi sẽ trình bày phương pháp tách phần trường do EEJ gây ra từ phần trường từ ghi được trên vệ tinh CHAMP.

### 3.1.1 Lựa chọn số liệu vệ tinh CHAMP

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ sử dụng số liệu trường tổng F thu được trên vệ tinh CHAMP từ năm 2002 đến năm 2007, do số liệu F phong phú hơn số liệu các thành phần trường từ. Hơn nữa, biến thiên của F tương tự với biến thiên của H vùng xích đạo từ, khi ra xa xích đạo, độ từ khuynh (I) tăng lên chúng ta sẽ gặp sai số nhỏ khi xác định biên độ trường từ của EEJ, ví dụ theo kết quả nghiên cứu của Nguyễn Thị Kim Thoa và nnk. [15], biến thiên của H và của F tại trạm Đà Nẵng của Việt Nam (cách xích đạo từ 822km) chỉ gây ra sai số khoảng 5% về biên độ. Chúng tôi cũng đã thử tính sai số khi sử dụng số liệu trường tổng F thay vì dùng thành phần H trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP cho năm 2006 và 2007 mà chúng tôi có số liệu, kết quả biên độ của EEJ đã bị lệch đi trung bình 2.6nT cho toàn bộ số liệu và giá trị này là khá nhỏ so với trường từ do EEJ gây ra.

Việc lựa chọn số liệu để tính toán EEJ dựa vào ba tiêu chí sau: đầu tiên là do EEJ chỉ xuất hiện trong phần được chiếu sáng của tầng điện ly, do vậy chỉ khi vệ tinh bay qua xích đạo từ trong khoảng thời gian giữa trưa từ 10giờ đến 14giờ (giờ địa phương) được giữ lại. Tiêu chí thứ hai là các lát cắt số liệu trải dài theo vĩ độ phải bao quanh khu vực chịu ảnh hưởng của EEJ và đủ rộng để cho phép khai thác hết thông tin về EEJ (kéo dài từ 40<sup>0</sup>N đến 40<sup>0</sup>S theo vĩ độ từ). Tiêu chí thứ ba là yêu cầu về hoạt động địa từ tại thời điểm vệ tinh cắt qua xích đạo từ, để giảm ảnh hưởng do các dòng điện của từ quyển, chúng tôi giới hạn những thời gian mà có chỉ số  $K_p \leq 3^+$  tương ứng với sự biến đổi của trường từ nhỏ hơn 18nT.

Ngoài ra để giảm hiệu ứng từ vòng dòng và các hệ dòng khác chúng tôi lựa

chọn thông qua chỉ số am của những ngày trường yên tĩnh ( $am < 20nT$ ). Bảng 3.1 tổng kết toàn bộ số ngày và số lát cắt số liệu cho từng năm thỏa mãn các điều kiện trên, tổng cộng có 9695 lát cắt cho 6 năm số liệu.

*Bảng 3.1: Số liệu vệ tinh CHAMP sử dụng để nghiên cứu về EEJ*

Năm	Số ngày lấy số liệu	Số lát cắt số liệu
2002	167	1575
2003	158	1345
2004	162	1426
2005	170	1647
2006	173	1668
2007	189	2034

### 3.1.2 Tách trường từ chính và lọc nhiễu

Ngày nay, có nhiều mô hình khác nhau để biểu diễn phần trường chính  $\vec{B}_p$  trên toàn cầu. Chẳng hạn như: mô hình IGRF (**I**nternational **G** geomagnetic **R** eference **F** ield - **IGRF**) của Hội Địa từ và Cao không, mô hình WMM (**W**orld **M**agnetic **M**odel) của Cục địa chất Mỹ và Cục Địa chất Anh, mô hình POMME của Maus... Trong quá trình xử lý số liệu vệ tinh MAGSAT, trong các nghiên cứu của Langel et al., [67], Cohen [34] đã sử dụng mô hình IGRF với hài điều hòa bậc  $n=13$  để tính cho trường chính. Trong nghiên cứu của Lürh et al., [71] đã sử dụng mô hình POMME-1.4 với bậc  $n=15$  và gần đây Lürh và Maus [72] đã sử dụng mô hình POMME-2.4 với bậc  $n=90$  cho trường chính và một phần trường vỏ Trái Đất. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng mô hình IGRF-11 [47-48] với bậc  $n=13$  để loại đi phần trường chính, các hệ số tính biến thiên thế kỷ sử dụng đến bậc  $n=8$ .

Để tính được phần trường chính nhờ mô hình IGRF-11 trên, ngoài các hệ số trên chúng ta còn cần biết thông tin tại từng điểm ghi số liệu trên vệ tinh CHAMP như: kinh độ, vĩ độ, độ cao và thời gian đo. Như vậy, phần trường dư còn lại  $|\vec{F}_{res}|$  sau khi trừ đi phần trường chính  $\vec{B}_p$  là:

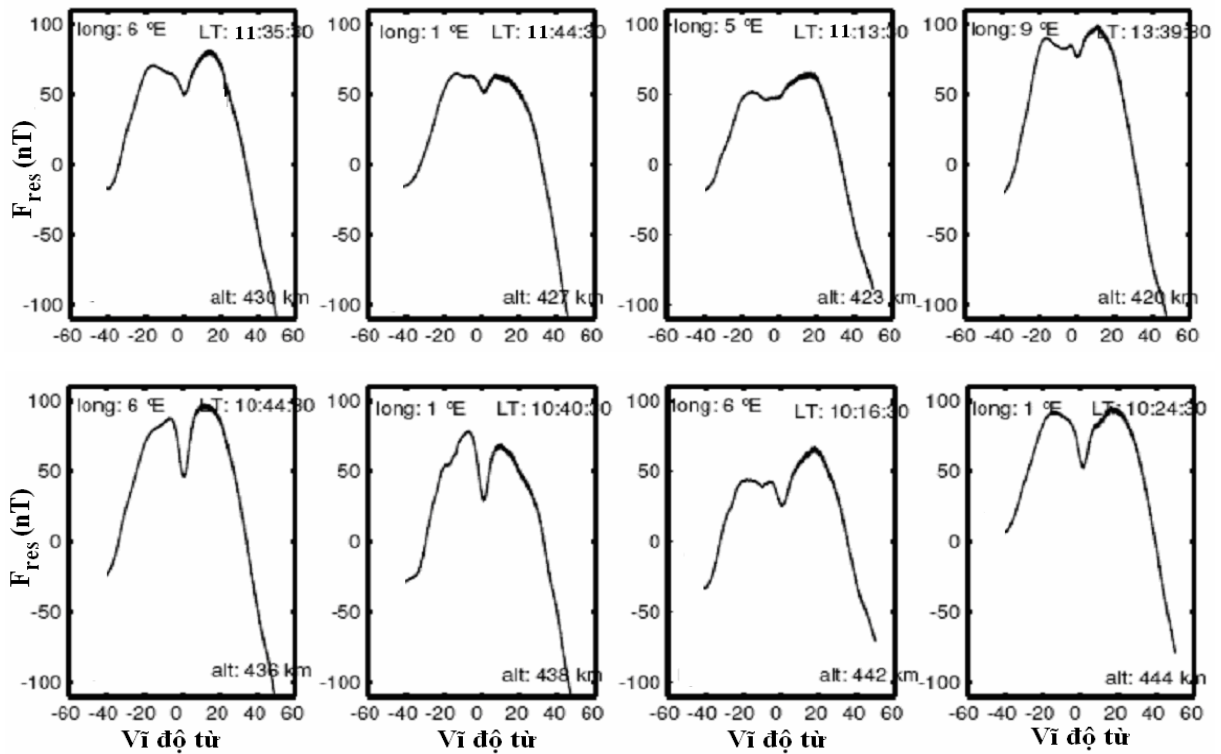
$$|\vec{F}_{res}| = |\vec{B}| - |\vec{B}_p| \quad (3.2)$$

trong đó  $|\vec{B}|$  là biên độ của trường từ ghi được trên vệ tinh CHAMP. Áp dụng công

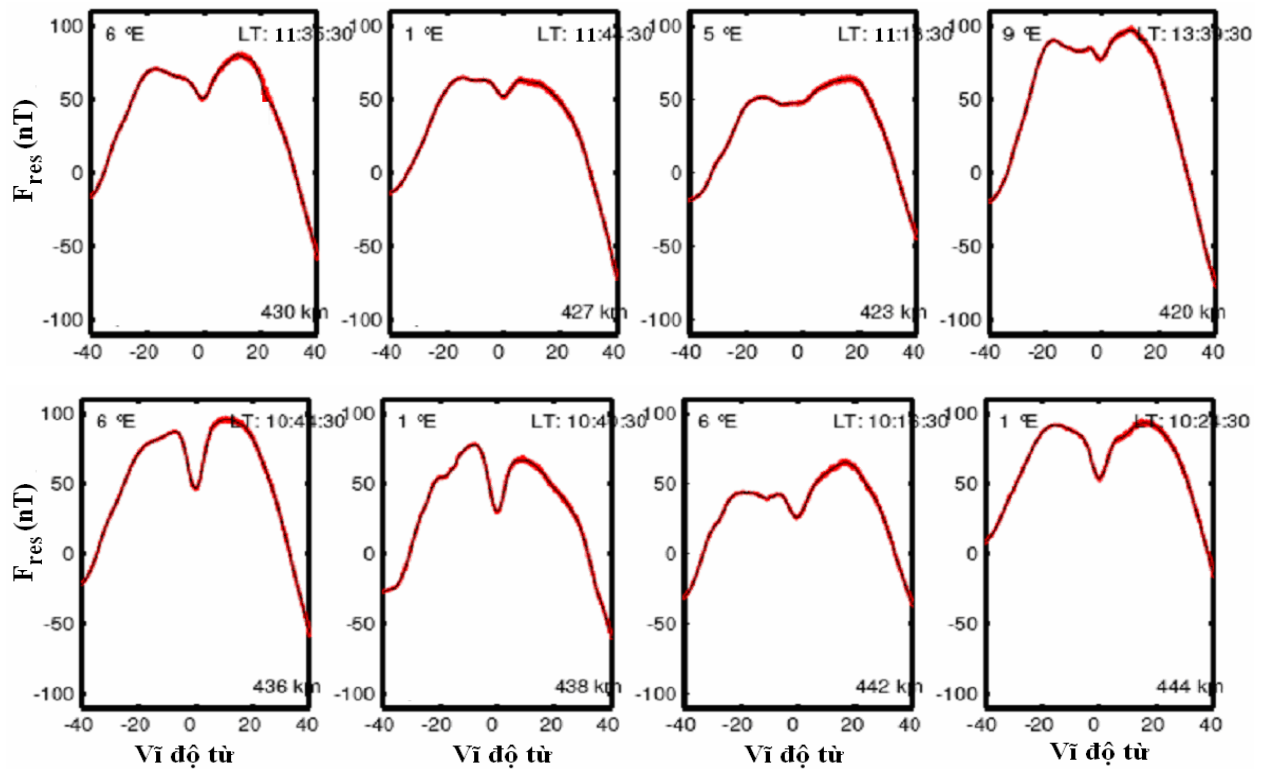
thức (3.2) cho tất cả các lát cắt số liệu trong vòng 6 năm đã lựa chọn sẽ thu được phần trường dư (một vài ví dụ như trên hình 3.1). Qua tính toán, biên độ của phần trường dư đạt khoảng từ  $-80\text{nT}$  đến  $150\text{nT}$  tùy thuộc vào vị trí và thời gian khác nhau. Như phương trình (3.2) chỉ ra phần trường dư này bao gồm trường của lớp vỏ Trái Đất, trường từ do các hệ dòng điện nằm bên ngoài Trái Đất gây ra.

Có một khó khăn là từ phần trường dư này, chúng ta không thể tách riêng được phần trường từ của từng nguồn khác nhau khi chỉ dựa vào các tính chất vật lý của chúng. Tuy nhiên, do trường từ của lớp vỏ Trái Đất coi như không đổi theo thời gian và khi nhìn vào phần trường dư này, có nhận xét là các đường cong hầu như có hình dạng gần giống nhau và bao gồm một “tín hiệu” cơ sở có bước sóng dài chồng chập lên một “tín hiệu” có bước sóng ngắn hơn, tín hiệu có bước sóng ngắn tương ứng với vùng “lõm” xuống của tín hiệu và trùng với vùng xích đạo từ (trung tâm của xích đạo từ được hiển thị bằng điểm  $0^\circ$  trên trục vĩ độ từ và vị trí của điểm thấp nhất vùng lõm xuống thì trùng với điểm  $0^\circ$  này). Như vậy, vùng lõm xuống này được cho là phản ánh phần ảnh hưởng của EEJ thu được trên các lát cắt số liệu vệ tinh CHAMP. Vùng lõm xuống trên những lát cắt số liệu (Hình 3.1) cũng thay đổi từ lát cắt này sang lát cắt khác kể cả về biên độ cũng như bề rộng và hình dáng, nó phản ánh sự thay đổi của EEJ theo thời gian và trong không gian mà điều này sẽ được nghiên cứu kỹ hơn trong phần tiếp theo. Do vậy chúng ta cần tìm một phương pháp để tách riêng phần “lõm xuống” của tín hiệu thì sẽ tính được phần trường từ gây ra bởi EEJ cần quan tâm.

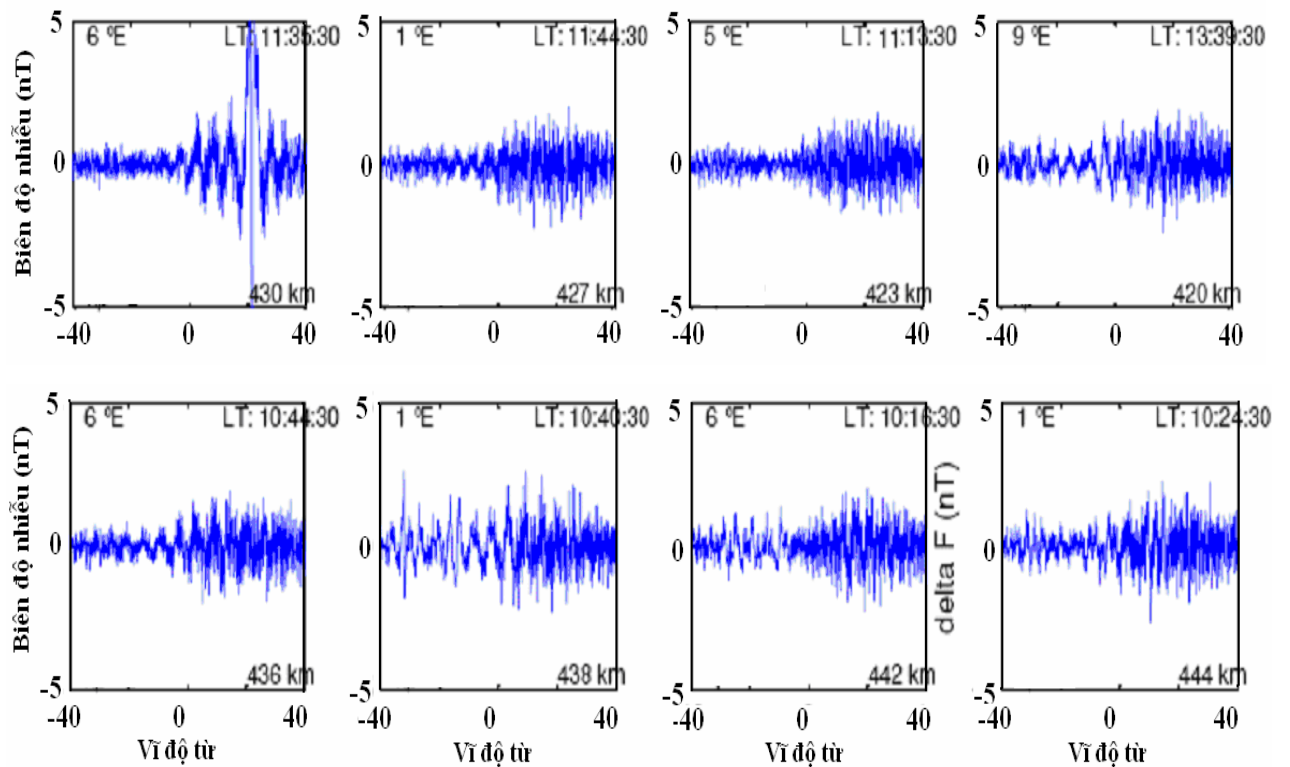
Trong phần trường dư chúng ta nhận thấy cùng với tín hiệu cơ sở tồn tại các dao động có biên độ nhỏ, tần số cao không ứng với tín hiệu cần quan tâm, và các tín hiệu tần số cao này được coi như nhiễu. Để lọc đi các dao động này, chúng tôi dùng các đa thức bậc rất cao (trong nghiên cứu này sử dụng bậc 60) như được biểu diễn trên hình 3.2 với đường màu đỏ là phần trường dư, đường màu đen (nằm giữa đường màu đỏ) là phần trường đã lọc đi phần dao động tần số cao. Trên hình 3.3 là phần nhiễu loạn tần số cao được tách ra từ phần trường dư. Qua tính toán, biên độ của phần nhiễu loạn này khá nhỏ và chỉ nằm trong khoảng  $\pm 5\text{nT}$  có rất ít giá trị vượt ra ngoài khoảng trên.



Hình 3.1: Phân trường dư ( $F_{res}$ ) sau khi trừ đi phân trường chính tại các kinh tuyến khác nhau (Một vài lát cắt số liệu trong tháng 1/2002).



Hình 3.2: Loại nhiễu chu kỳ nhỏ trong phân trường dư (đường màu đỏ là trường dư, màu đen là trường đã lọc với đa thức bậc 60).

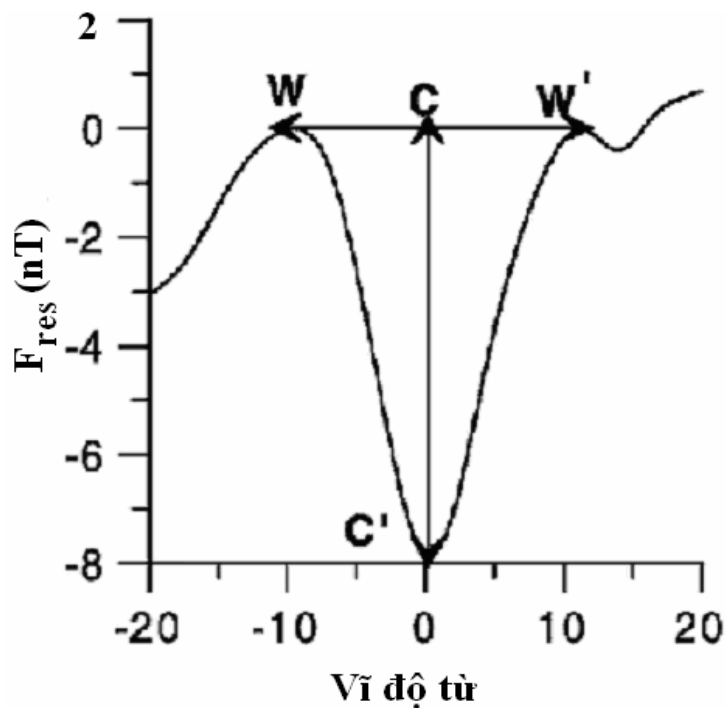


Hình 3.3: Biên độ của nhiễu (nT) lọc bằng đa thức bậc cao.

### 3.1.3 Tách phần trường từ do EEJ gây ra từ phần trường dư

Như trên đã trình bày, phần trường dư còn lại sau khi loại bỏ nhiễu sẽ gồm trường của hệ dòng nằm ngoài (EEJ, Sq...) cũng như cảm ứng của nó và trường của vỏ Trái Đất gây ra. Do vậy, chúng ta cần tìm một cách hợp lý để tách riêng phần trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ). Điều này có thể thực hiện được khi dựa vào tính chất trường từ do EEJ gây ra chỉ giới hạn trong một khoảng vĩ độ hẹp, từ đó có thể tách riêng ra được vùng vĩ độ bị ảnh hưởng bởi EEJ. Hiện nay, để tách phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu trường từ thu được trên các vệ tinh, hầu hết các tác giả đều dựa trên các phương pháp nội suy toán học hoặc sử dụng các “bộ lọc” khác nhau. Chẳng hạn để tách phần ảnh hưởng của EEJ quan sát trên vệ tinh POGO và Orsted, trong nghiên cứu của Cain [30]; Agu [22]; Jadhav [61] đều dùng phương pháp kết nối các cạnh của tín hiệu bằng một đoạn thẳng để tách lấy phần lõm xuống của tín hiệu (Hình 3.4). Biên độ của phần trường từ do EEJ gây ra được đánh giá bằng sự chênh lệch giữa giá trị ở trung tâm của đoạn thẳng này và giá trị cực tiểu của tín hiệu trong khoảng vĩ tuyến mà EEJ tác động và chính là độ dài đoạn thẳng CC’.

Phần trường dư thu được từ vệ tinh MAGSAT trong nghiên cứu của Langel [69] cũng bao gồm một tín hiệu cơ sở có bước sóng dài và một tín hiệu có bước sóng ngắn hơn và có tính đối xứng nhất định qua hai bên xích đạo từ, do vậy tác giả đã sử dụng bộ lọc cắt tần số cao Kaiser với bước sóng 8000km để tách phần ảnh hưởng của EEJ. Trong nghiên cứu của Kim [62] cũng đã áp dụng bộ lọc Kaiser khi tác giả cắt các sóng có bước sóng lớn hơn 12000km. Trong nghiên cứu của Lühr [71], tác giả đã sử dụng bộ lọc là các cửa sổ với kích thước là  $8^\circ$  (hay đã lọc sóng bước sóng lớn hơn 10000 km) để loại bỏ phần trường từ của các hệ dòng trong từ quyển, dòng Sq để tính phần trường do EEJ gây ra từ số liệu vệ tinh CHAMP. Doumouya [37] đã sử dụng bộ lọc là đa thức có bậc cố định là 12 để tính cho toàn bộ số liệu vệ tinh CHAMP để thuận tiện cho việc tính toán. Tuy nhiên, chúng ta nhận thấy các phương pháp trên đều sử dụng một bộ lọc cố định áp dụng cho toàn bộ số liệu, điều này đồng nghĩa với việc chúng ta đã cắt đi với cùng một bước sóng từ tín hiệu cơ sở, mà trong thực tế các hệ dòng điện này đều biến đổi theo cả không gian và thời gian do vậy nó sẽ có các bước sóng khác nhau. Do vậy, biên độ của EEJ tính được từ các phương pháp này sẽ không phản ánh hết được hết các quy luật phân bố của nó.



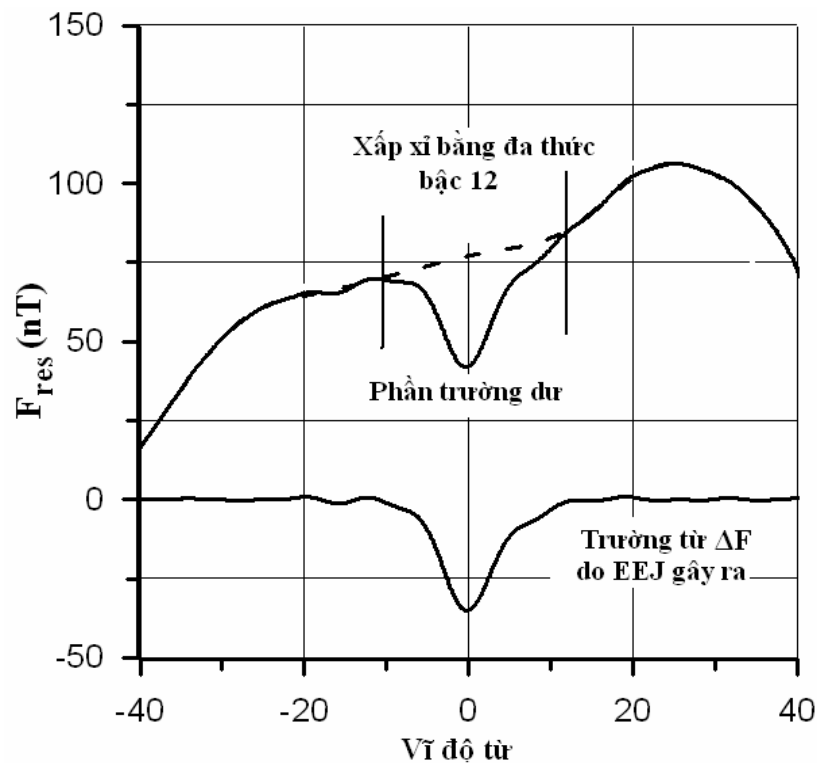
Hình 3.4: Tách phần trường từ do EEJ gây ra từ phần trường dư  $F_{res}$ .  
(Theo Cain và Sweeney, [30]).

Trong nghiên cứu này, để tách phần trường từ do EEJ gây ra chúng tôi sử dụng bộ lọc là các đa thức dạng như của Doumouya nhưng các đa thức có bậc khác nhau cho từng lát cắt số liệu. Việc các tín hiệu được xấp xỉ bằng các đa thức và lựa chọn bậc của đa thức dựa vào các giả thiết sau:

- Trường từ biến thiên theo thời gian ghi được trên vệ tinh cho một lát cắt số liệu là không đáng kể (thời gian để vệ tinh CHAMP cắt qua xích đạo từ  $10^0$  đến  $-10^0$  mất khoảng 5 phút).

- Trường từ của EEJ gây ra chỉ trong một dải hẹp dọc theo xích đạo từ và làm giảm đi biên độ của trường tổng (F) thu được trên vệ tinh và tạo ra phần lõm xuống trong số liệu của từng lát cắt trên số liệu vệ tinh (Hình 3.5).

- Độ rộng vùng ảnh hưởng của EEJ: Do EEJ chỉ tồn tại như một dải dòng hẹp chạy trong khoảng vĩ độ  $\pm 5^0$  dọc theo xích đạo từ, dựa vào tính chất này ta có thể giới hạn vùng ảnh hưởng của EEJ trên các lát cắt số liệu của vệ tinh CHAMP trên độ cao quỹ đạo của vệ tinh CHAMP trong khoảng từ  $-10^0$  đến  $10^0$  theo vĩ độ. Với bề rộng này đảm bảo hầu như lấy hết được phần lõm xuống trong phần trường dư và thuận tiện cho việc xây dựng thuật toán xử lý số liệu. Hình 3.5 trình bày một ví dụ



Hình 3.5: Ví dụ việc sử dụng đa thức để tách phần trường từ do EEJ gây ra.

về việc tách phần trường từ do EEJ gây ra từ phần trường dư, vùng lõm xuống do EEJ trong khoảng  $\pm 10^0$  (vĩ độ từ) sẽ được xấp xỉ bằng đa thức bậc 12 (ứng với đường nét rời phía trên) còn vùng nằm ngoài ảnh hưởng của EEJ (từ  $-40^0$  đến  $-10^0$  và từ  $10^0$  đến  $40^0$ ) sẽ được xấp xỉ bằng đa thức bậc cao tùy ý để sao cho phản ánh hết được tín hiệu cơ sở này (trong nghiên cứu này sử dụng đa thức bậc 30). Phần trường do EEJ gây ra (đường nét liền ở phía dưới) được tính bằng hiệu của hai đường cong trên.

- Bậc của đa thức: việc lựa chọn bậc của đa thức dùng để xấp xỉ phần trường vỏ và phần trường ngoài không do EEJ gây ra trong vùng ảnh hưởng của EEJ có ảnh hưởng đến biên độ của trường từ do EEJ thu được, nên việc lựa chọn bậc đa thức tối ưu cũng rất quan trọng. Bậc đa thức phụ thuộc vào hình dáng đường cong, bề rộng của vùng lõm trong lát cắt số liệu thu được và cùng với kinh nghiệm tính toán. Việc lấy đa thức bậc quá cao có thể làm suy giảm tín hiệu cần tách và ngược lại, do vậy Doumouya [37] đã khuyến nghị chỉ nên sử dụng các đa thức có bậc từ 6-12 là hợp lý vì sử dụng những đa thức có bậc nhỏ hơn 6 sẽ làm thay đổi quá nhiều hình dáng đường cong cả phần nằm ngoài vùng ảnh hưởng của EEJ và lấy những đa thức có bậc lớn hơn 12 thì biên độ của trường từ do EEJ gây ra thay đổi không nhiều.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng đã thử nghiệm dùng các đa thức có bậc từ 6 đến 18 cho phần trường dư với một số lát cắt được biểu diễn trên các hình 3.6-3.7-3.8. Trên hình 3.6, đường màu xanh nước biển là phần trường từ dư chứa phần ảnh hưởng của EEJ, đường màu xanh lá cây ứng với đa thức bậc 6 và đường màu đỏ là đa thức bậc 8. Tương tự, trên hình 3.7 biểu diễn đường màu xanh lá cây là đa thức bậc 6 và màu đỏ là đa thức bậc 12. Trên hình 3.8, đường màu xanh lá cây ứng với đa thức bậc 6 và đường màu đỏ là đa thức bậc 18. Qua tính toán, chúng tôi cũng nhận thấy rằng với các đa thức có bậc lớn hơn 12 sẽ cho biên độ của EEJ thay đổi không nhiều như kết quả nghiên cứu của Doumouya. Hình 3.9 là kết quả tính biên độ của EEJ tính được với đường màu xanh ứng với đa thức bậc 12, và đường màu đỏ là đa thức bậc 18, hai đường cong này trong vùng ảnh hưởng của EEJ (vĩ độ từ  $-10^0$  đến  $10^0$ ) hầu như trùng khít với nhau. Do vậy trong nghiên cứu này chỉ lựa chọn các đa thức có bậc từ 6-12.



Để sử dụng các đa thức có bậc khác nhau áp dụng cho toàn bộ các lát cắt số liệu được tự động, dựa trên những giả thiết sau:

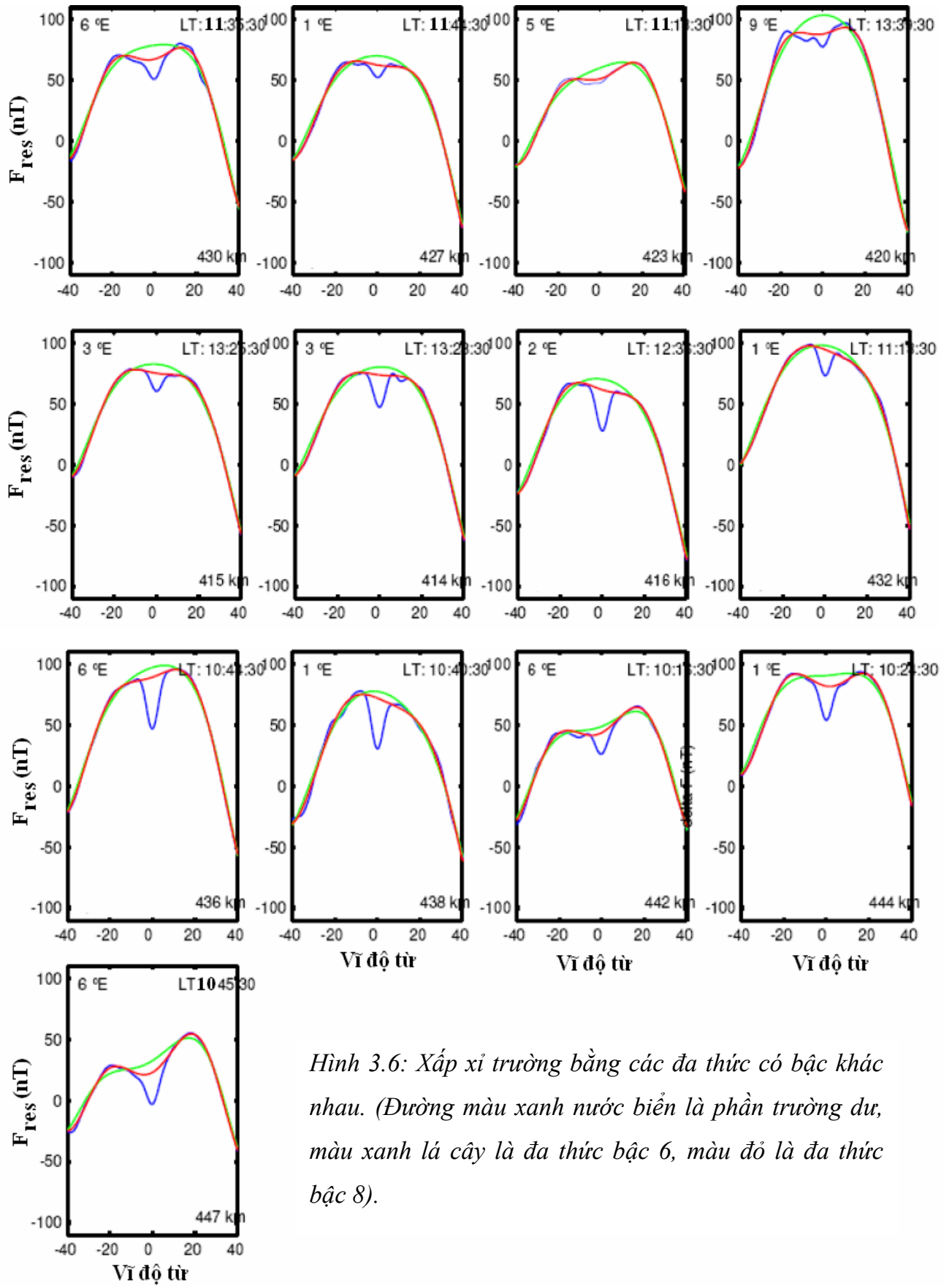
- Trường từ do EEJ gây ra thu được trong cùng một vùng kinh tuyến giới hạn trong khoảng  $10^0$  là thay đổi không nhiều (thường  $<4nT$  so với giá trị trung bình trong khoảng kinh tuyến trên).

- Với những ngày trường từ yên tĩnh, trường từ do EEJ gây ra trong cùng một vùng giới hạn trên thay đổi không quá nhanh từ ngày này qua ngày khác (thường  $<5nT$  so với giá trị trung bình).

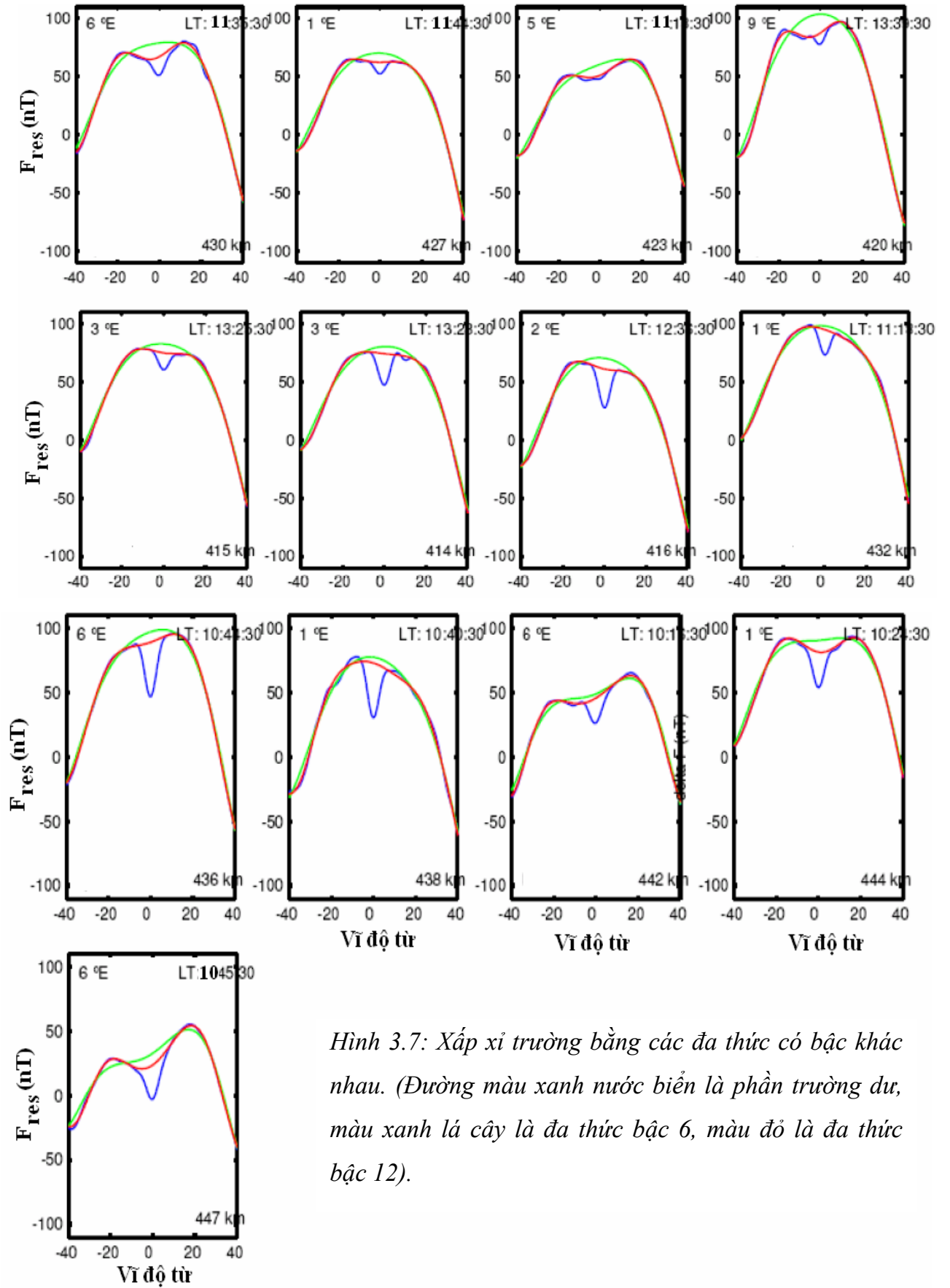
Dựa vào hai giả thiết trên, để viết chương trình tính toán cho toàn bộ số liệu và lấy ra bậc đa thức tối ưu sao cho với các lát cắt số liệu trong cùng một khoảng kinh tuyến trên và cho những ngày có số liệu liên tục, sẽ tự động chọn bậc đa thức tối ưu sao cho biên độ của EEJ thu được trong vùng đó có sự chênh lệch là ít nhất. Với những khoảng thời gian ngắt quãng quá dài (như những ngày bão từ, ngày không có số liệu vệ tinh...) thì quá trình trên lại lặp lại từ đầu. Quá trình tính toán này được tự động hoàn toàn và đảm bảo phản ánh được tính chất khu vực vừa có tính địa phương của hệ dòng EEJ.

Tiếp theo, so sánh kết quả tính trường từ do EEJ gây ra của nghiên cứu này với kết quả tính của Doumouya với cùng một khoảng thời gian số liệu (tháng 8,9 năm 2001). Hình 3.10 là kết quả tính  $\Delta F$  với đa thức có bậc cố định 12 của Doumouya [37] còn hình 3.11 là kết quả tính với việc sử dụng các đa thức có bậc từ 6 đến 12 (lấy giá trị tuyệt đối). Từ hình này chúng ta nhận thấy: giá trị cực đại của EEJ trên hình 3.11 lớn hơn hình 3.10 khoảng  $4nT$ ; Tại các khu vực có  $\Delta F$  thấp (Đại Tây Dương, trung tâm Thái Bình Dương và Brasil nơi các kết quả tính của Doumouya cho biên độ EEJ gần như bằng zero) đã có sự phân bố theo kinh tuyến liên tục hơn và EEJ có độ lớn nhất định; các vùng có biên độ lớn tại châu Á và Peru, kết quả của nghiên cứu này và kết quả của Doumouya tương đương nhau. Như vậy, việc sử dụng các đa thức có bậc khác nhau đã cho phép tách hết được phần trường từ do EEJ gây ra trên toàn kinh tuyến và việc tính toán vẫn hoàn toàn tự động.

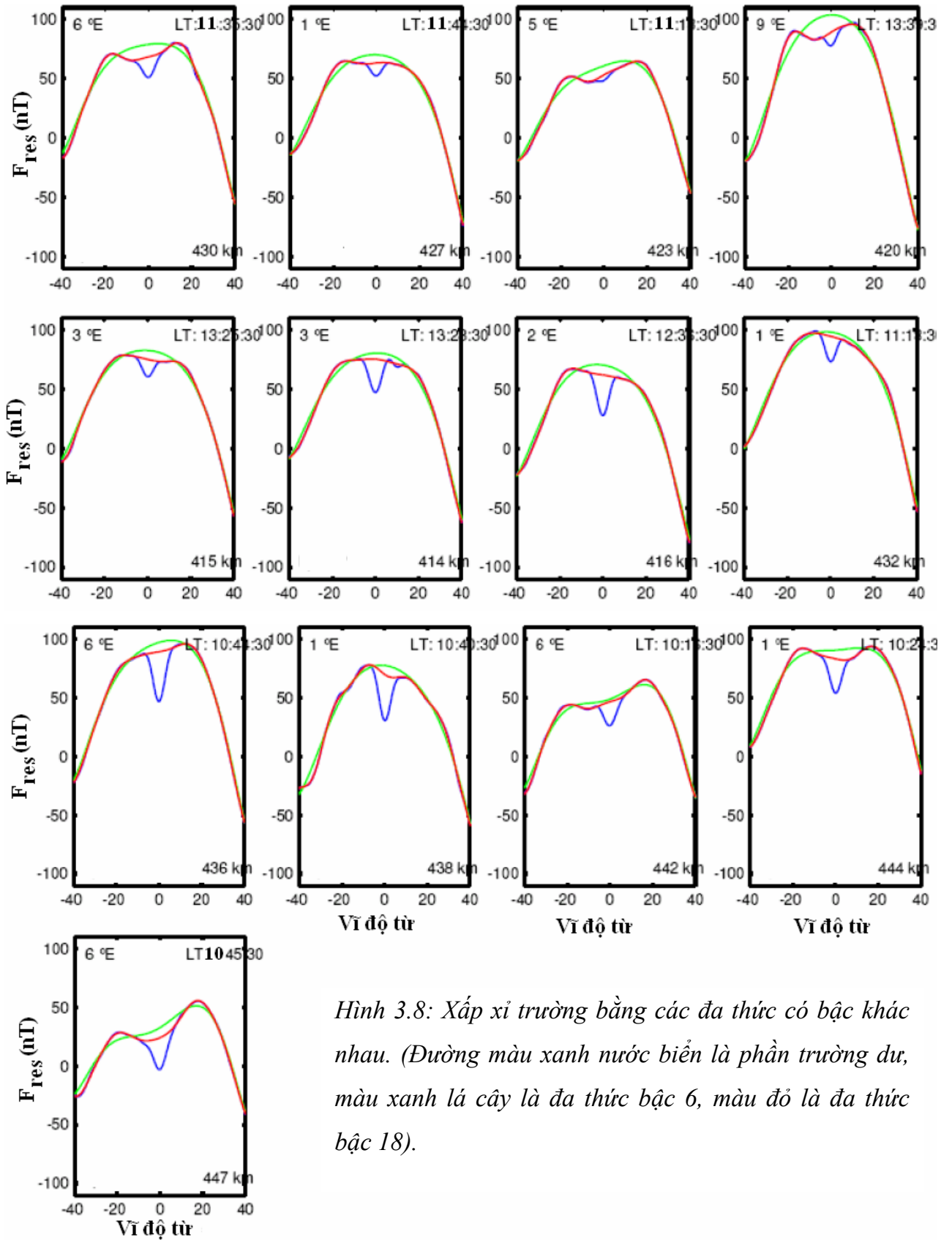
Lưu ý rằng, việc sử dụng một đa thức để mô tả các tín hiệu trong phân trường dư về cơ bản là không dựa trên một cơ sở vật lý nào, mà các đa thức chỉ để biểu diễn



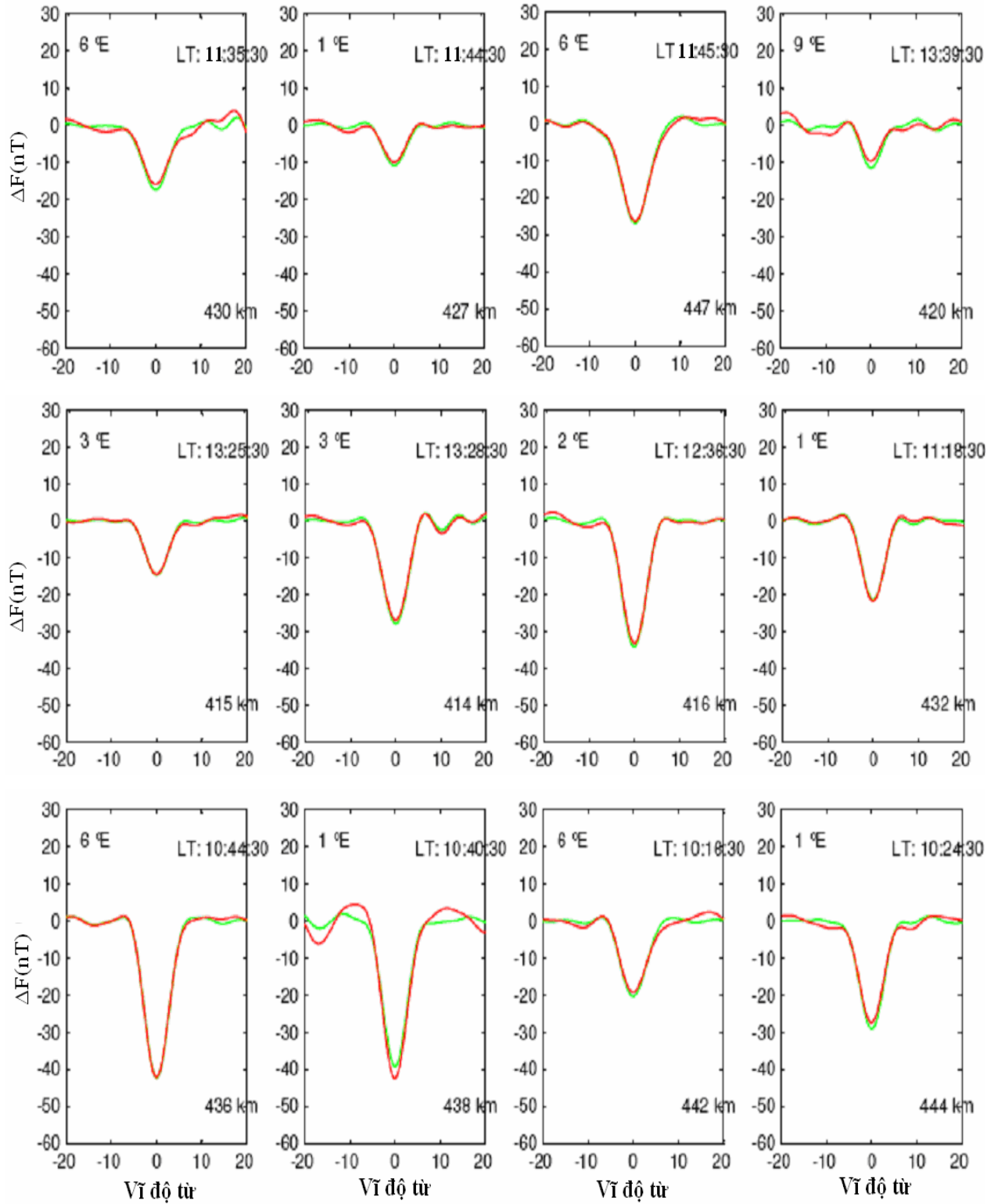
Hình 3.6: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 8).



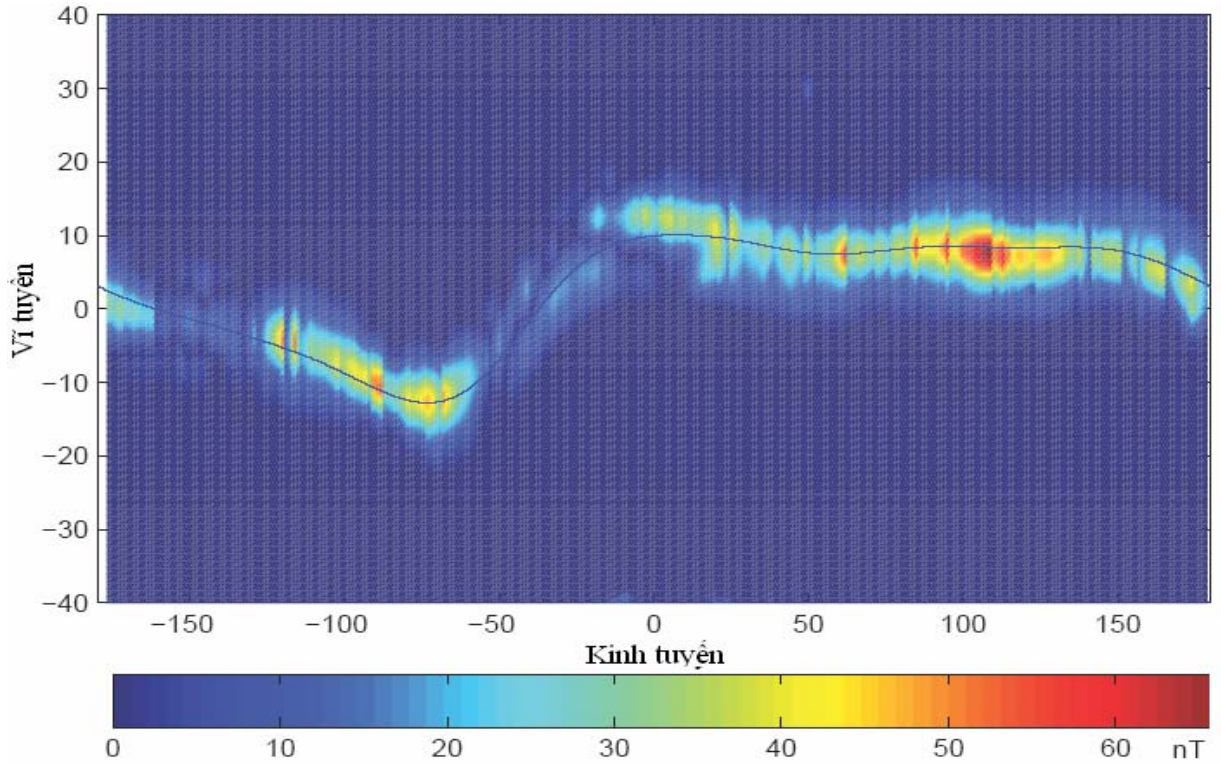
Hình 3.7: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 12).



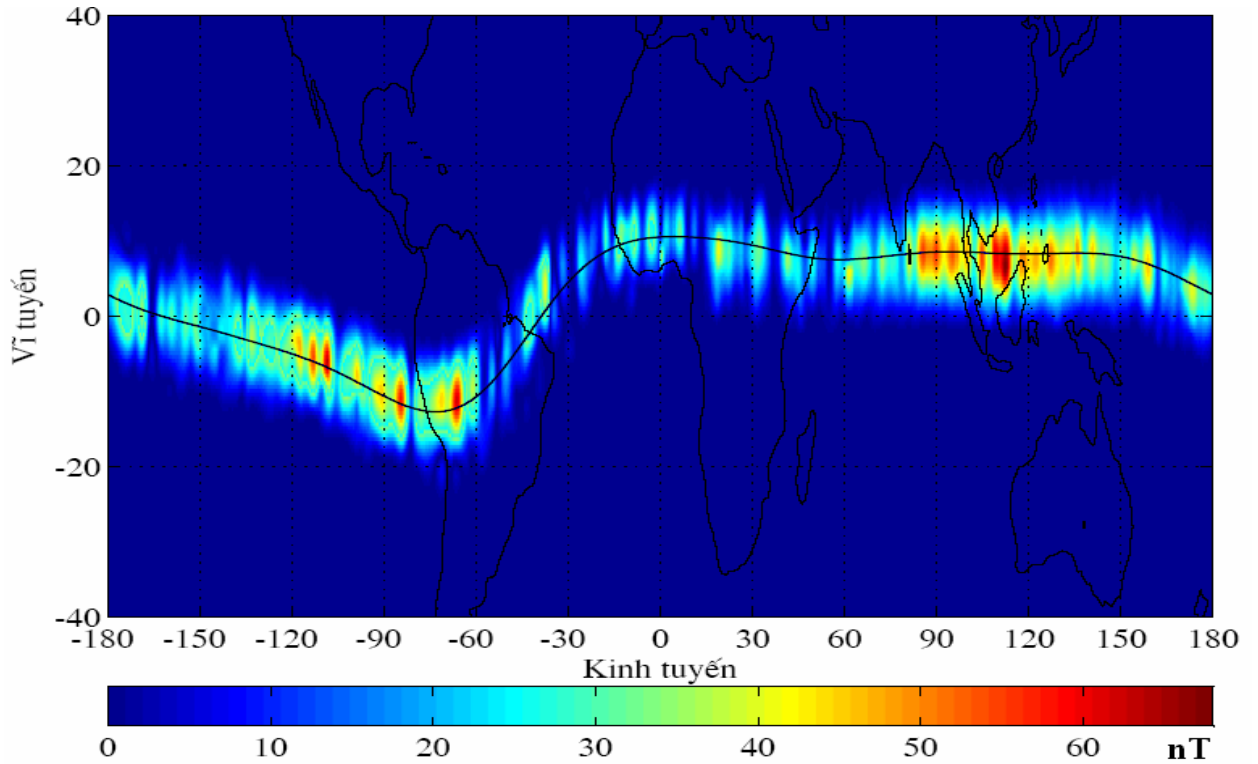
Hình 3.8: Xấp xỉ trường bằng các đa thức có bậc khác nhau. (Đường màu xanh nước biển là phần trường dư, màu xanh lá cây là đa thức bậc 6, màu đỏ là đa thức bậc 18).



Hình 3.9: Trường từ do EEJ gây ra (đường màu xanh dùng đa thức bậc 12, đường màu đỏ là đa thức bậc 18).



Hình 3.10: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP bằng đa thức có bậc cố định là 12 (Theo Doumouya et al., [37]).



Hình 3.11: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP bằng các đa thức có bậc từ 6-12.

phần trường từ của các dòng điện trên quy mô toàn cầu gây ra như hệ dòng Sq, các hệ dòng trên từ quyển và sự đóng góp của trường từ do lớp vỏ của Trái Đất. Các phần trường từ của hệ dòng Sq và trường vỏ phân bố trên phạm vi vĩ độ rộng hơn, chỉ có phần trường từ do EEJ gây ra là được giới hạn trong một khoảng vĩ độ nhất định dựa vào tính chất này chúng ta xấp xỉ phần trường từ bằng đa thức với một mục đích là để “cô lập” phần ảnh hưởng của EEJ. Tính chất này cũng đã được Alken và Maus [23]; Kim và Scott [62]; Langel et al. [69] và nhiều nghiên cứu khác đã đề cập đều cho rằng các bước sóng dài của tín hiệu cơ sở thì ứng với hệ dòng Sq và trường của vỏ Trái Đất để tách phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu thu được trên các vệ tinh khác nhau.

## **3.2 Kết quả tính trường từ do EEJ gây ra từ số liệu CHAMP**

### **3.2.1 Biên độ trường từ do EEJ gây ra**

Trong nghiên cứu này sử dụng số liệu trường tổng (F) thu được trên CHAMP từ tháng 1/2002 đến 12/2007. Áp dụng thuật toán đã nêu ở trên cho toàn bộ 9695 lát cắt số liệu là biên độ (lấy giá trị tuyệt đối) của trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) hình 3.12. Với các hình 3.12a,b,c,d,e,f ứng với các năm từ 2002 đến 2007. Từ kết quả tính này có những nhận xét quan trọng sau:

- $\Delta F$  nằm trong khoảng từ 20nT đến 67nT (tính tại độ cao quỹ đạo của CHAMP), tại các vùng kinh tuyến khác nhau và tại các thời gian khác nhau giá trị này cũng khác nhau.

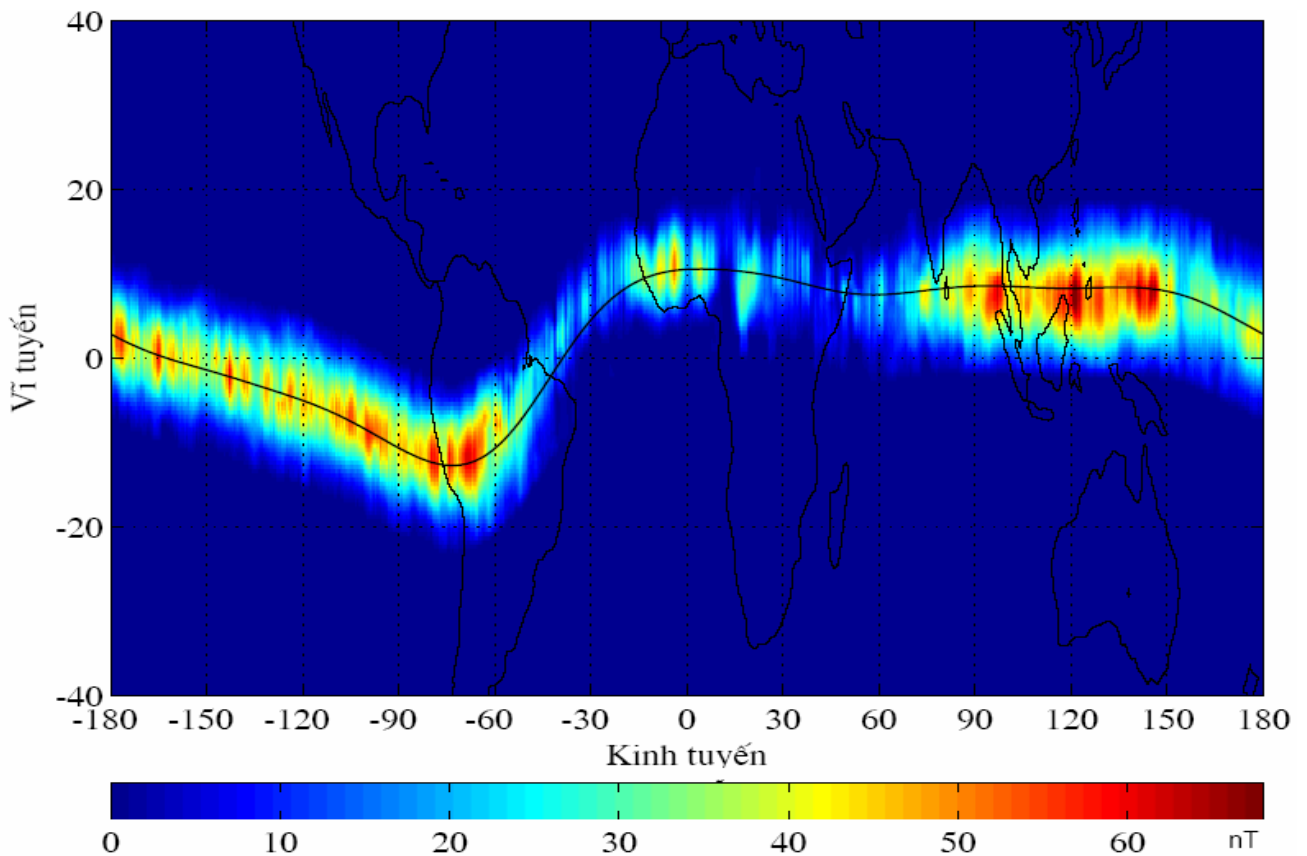
- Tại khu vực kinh tuyến châu Á ( $90^{\circ}E - 140^{\circ}E$ ),  $\Delta F$  tăng lên đáng kể (có thể đạt tới 67nT) vào năm 2002 và 2003 và xuất hiện đều đặn trong tất cả các năm đã tính. Sự xuất hiện cực trị ở khu vực này đã được Doumbia et al. [38], Doumouya [115], hay của Alken [23,24] đề cập, trong nghiên cứu này với chuỗi số liệu dài 6 năm liên tục khẳng định tồn tại đỉnh cực trị của EEJ tại khu vực kinh tuyến qua Việt Nam. Cho đến nay, vẫn chưa có bất kỳ một nghiên cứu nào đề cập về nguồn gốc của cực trị này để giải thích sự tồn tại của nó, vì vậy cần thiết phải có thêm nhiều số liệu cho khu vực này để khẳng định sự tồn tại và tăng cường nghiên cứu thêm.

- Tại khu vực Nam Mỹ, trung tâm Thái Bình Dương, phía tây của Trung Phi ( $60^{\circ}\text{W}$ - $10^{\circ}\text{E}$ ;  $150^{\circ}\text{E}$ - $180^{\circ}\text{E}$ ) biên độ của trường từ do EEJ gây ra ở mức trung bình trong khoảng 30-55nT.

- Tại khu vực phía đông châu Phi, một phần phía tây Ấn Độ Dương, Đại Tây Dương và tây bắc Brazil biên độ của EEJ đạt mức thấp chỉ còn khoảng 20nT-30nT.

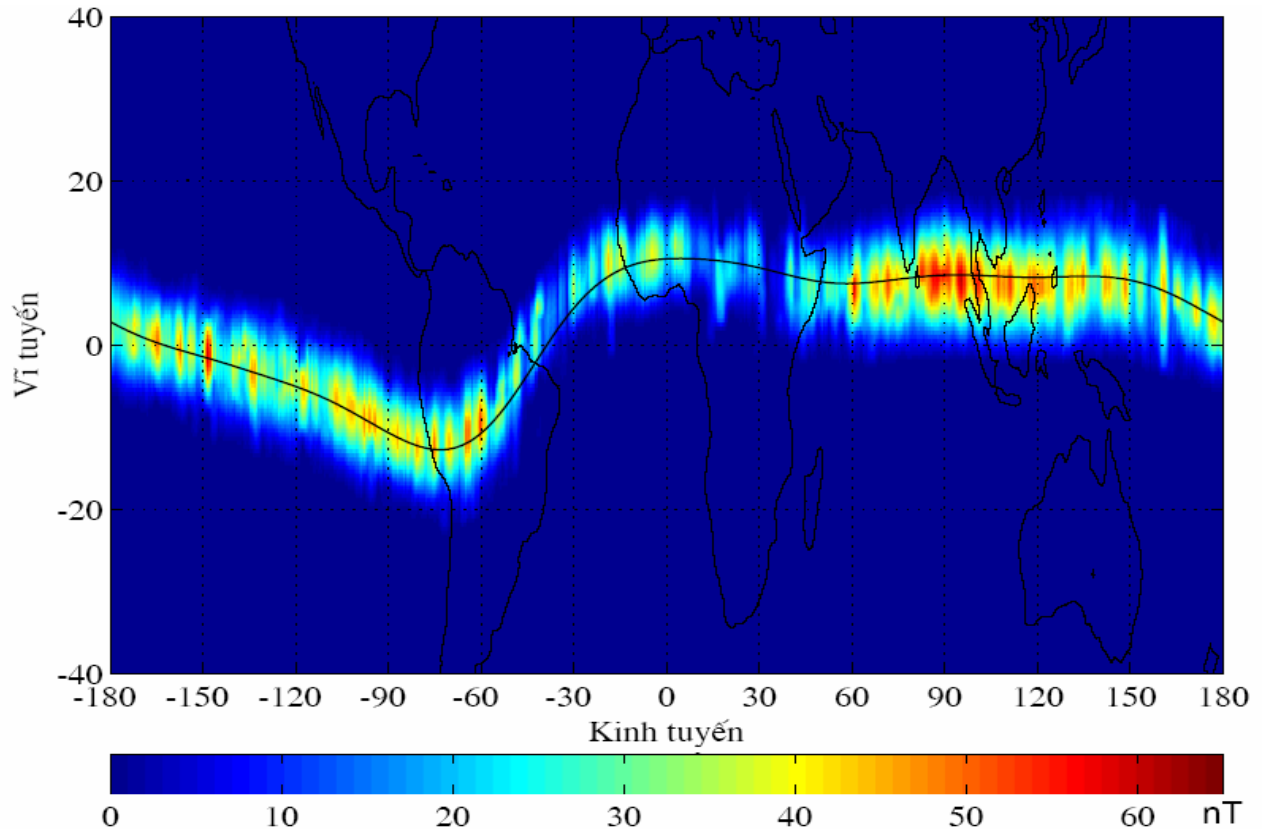
- Vị trí cực trị của trường từ do EEJ gây ra nằm khá trùng với xích đạo từ và biên độ của trường từ giảm dần về hai phía của xích đạo từ nên việc lựa chọn độ rộng ảnh hưởng của EEJ trên quỹ đạo của vệ tinh CHAMP là  $\pm 10^{\circ}$  là phù hợp.

- Biên độ của trường từ do EEJ gây ra tính được từ số liệu vệ tinh CHAMP có xu hướng giảm dần từ 67nT năm 2002 còn 53nT năm 2007 và không hoàn toàn đối xứng qua xích đạo từ. Chú ý rằng trên hình vẽ này cũng có những khu vực không có số liệu, có nghĩa rằng trong khoảng thời gian này vệ tinh CHAMP không bay qua vùng kinh tuyến này vào giữa trưa địa phương.

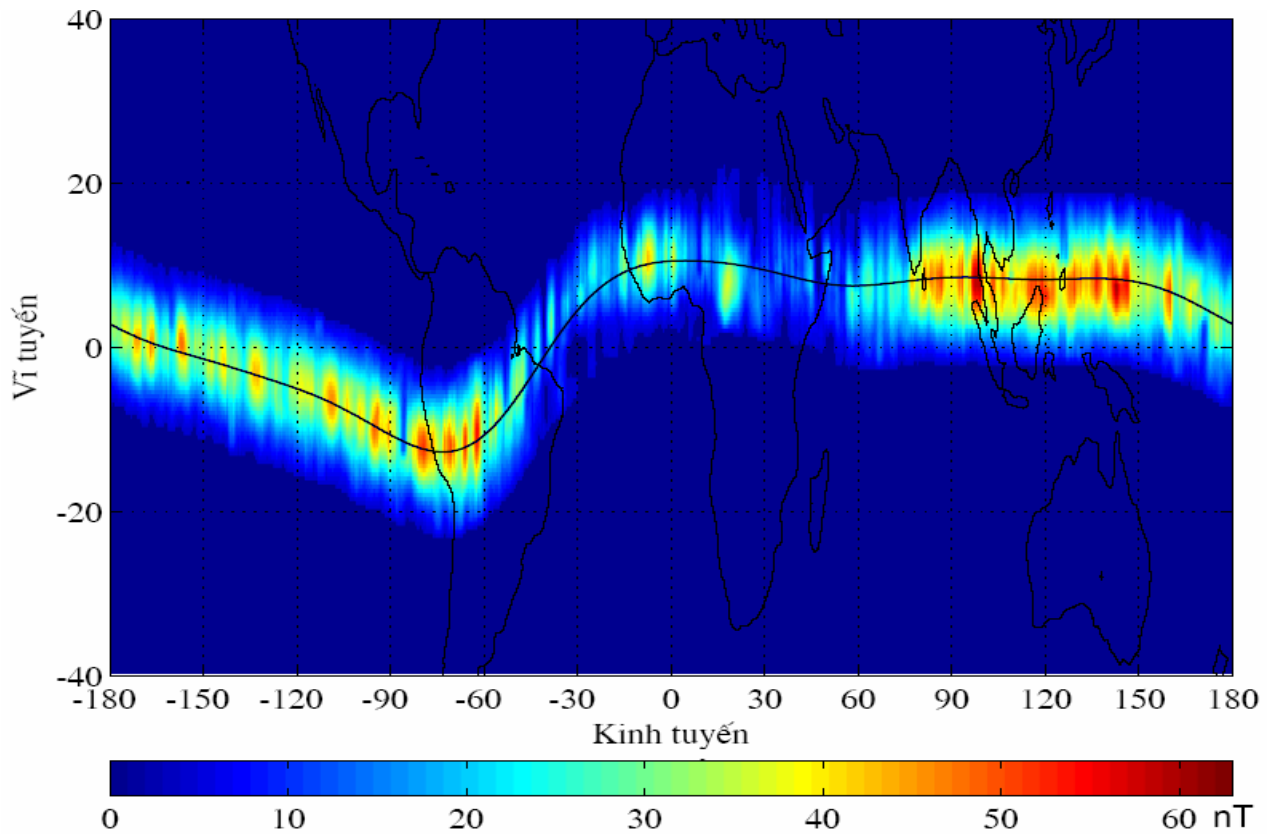


Hình 3.12a: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2002.

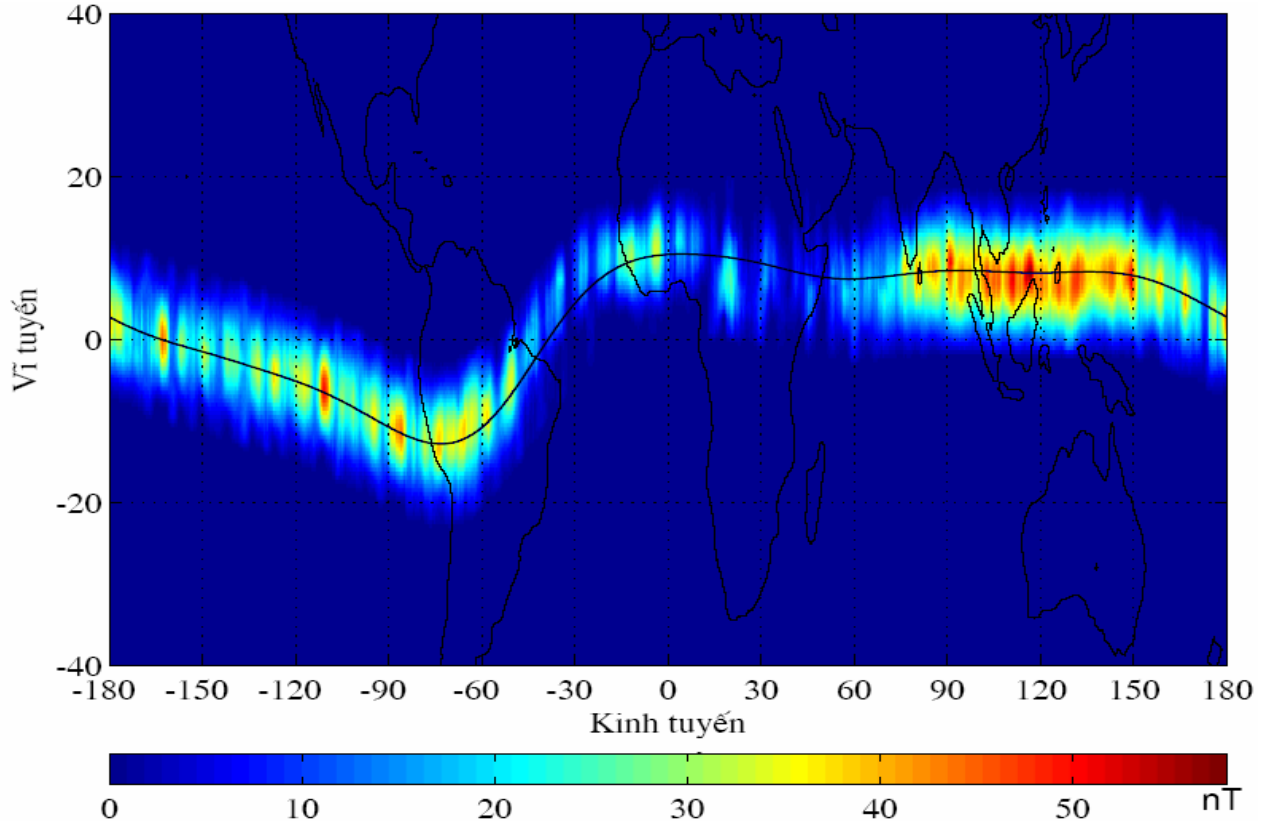




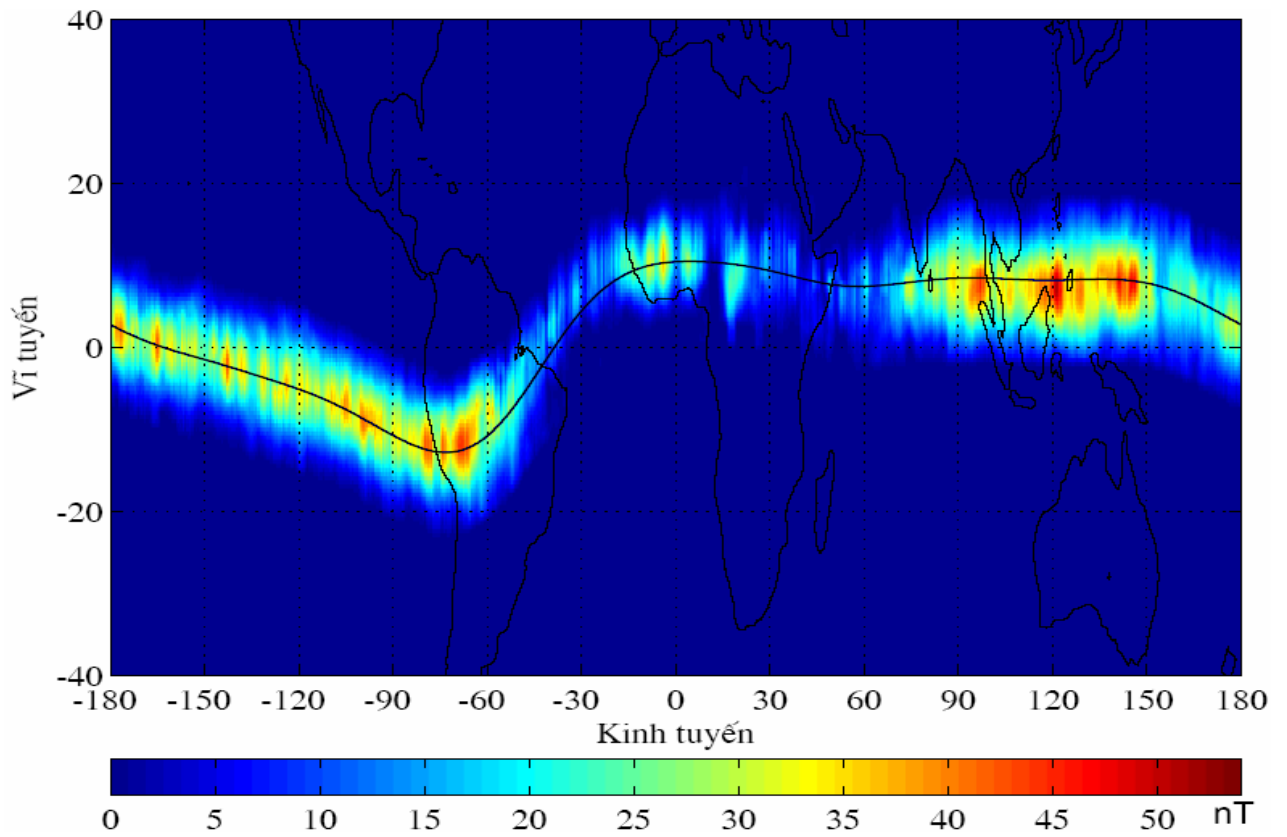
Hình 3.12b: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2003.



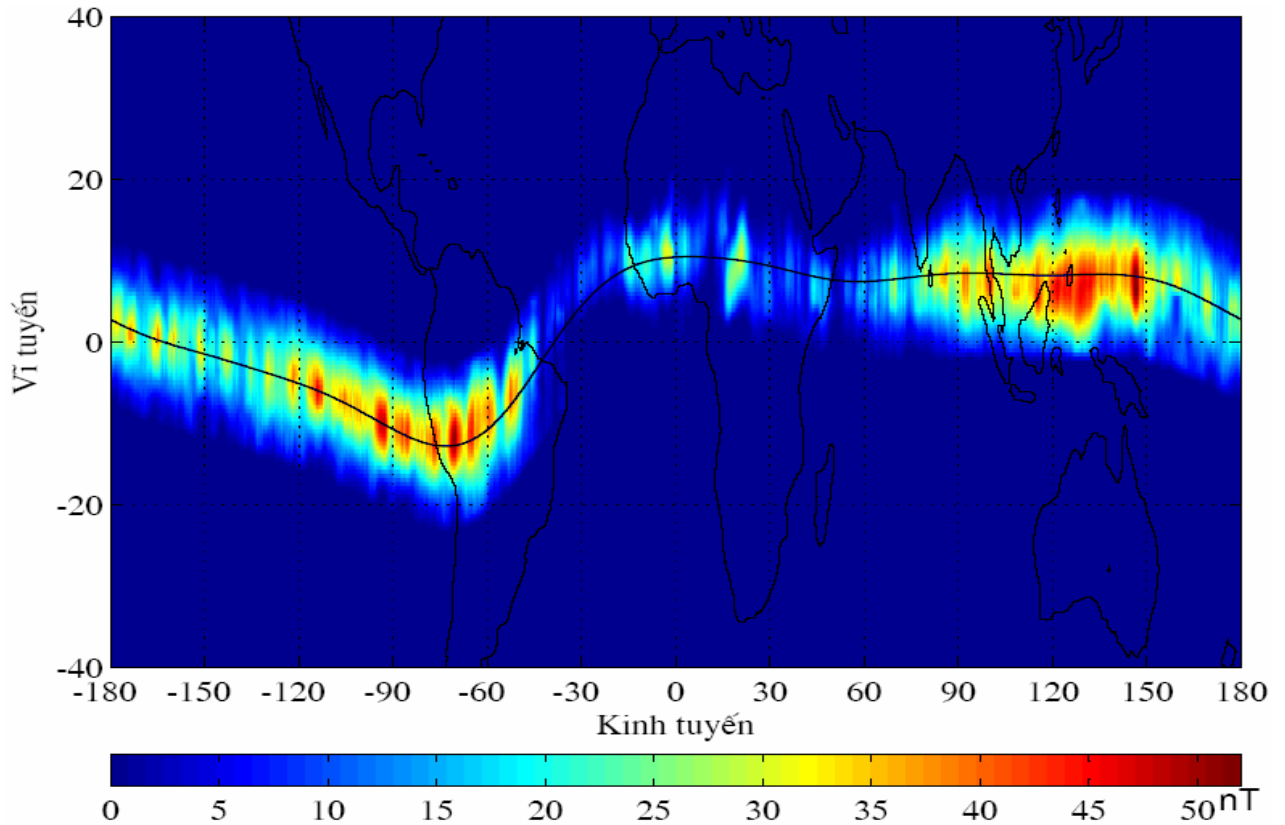
Hình 3.12c: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2004.



Hình 3.12d: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2005.



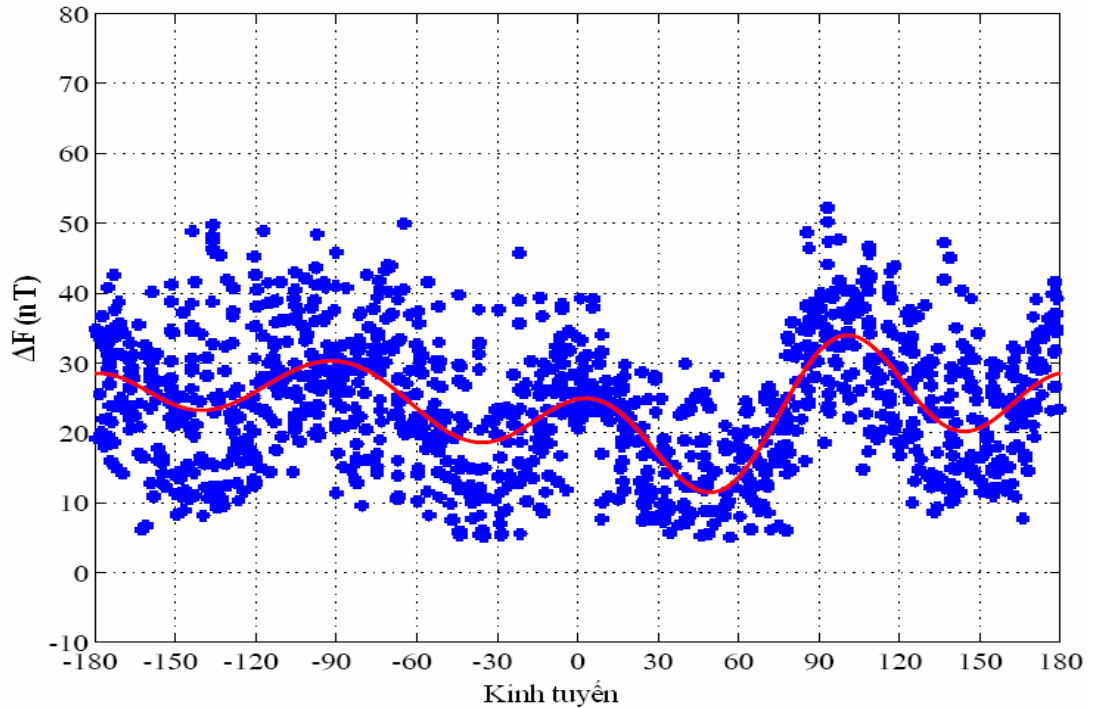
Hình 3.12e: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2006.



Hình 3.12f: Trường từ do EEJ gây ra ( $\Delta F$ ) tính từ số liệu CHAMP-2007.

### 3.2.2 Mật độ dòng điện tại tâm EEJ

Từ giá trị biên độ trường từ do EEJ gây ra tính cho từng năm lấy ra giá trị lớn nhất (giá trị tuyệt đối) trên từng lát cắt số liệu cho từng năm. Hình 3.13 là một ví dụ biểu diễn biên độ cực đại (dấu chữ thập) của trường từ do EEJ gây ra cho cả năm 2007 tại các kinh tuyến khác nhau. Để xác định giá trị trung bình (đường màu đỏ) biên độ của trường từ cho từng kinh tuyến, chúng tôi xấp xỉ các giá trị biên độ trường từ do EEJ tính được bằng các đa thức theo kinh tuyến có bậc (D) sao cho giá trị độ lệch bình phương trung bình (RMS) của các giá trị biên độ EEJ quan sát được so với giá trị xấp xỉ bằng đa thức là nhỏ nhất đối với từng khu vực kinh tuyến trong dải  $15^\circ$ . Để tránh sự thay đổi nhảy bậc ở đầu và cuối dải kinh tuyến, chúng tôi lấy gời khoảng kinh tuyến  $10^\circ$ . Với cách tính toán như vậy, bậc của đa thức và giá trị độ lệch bình phương trung bình của trường từ gây bởi EEJ tính cho từng năm được tổng hợp trong bảng 3.2. Theo bảng này, bậc của đa thức cùng thay đổi không nhiều trong khoảng 52 đến 55; từ 2002 đến 2007 hoạt động mặt trời giảm dần, bậc đa thức xấp xỉ giá trị trung bình mật độ dòng EEJ cũng có xu thế giảm dần từ 54 - 55 xuống



Hình 3.13: Giá trị cực trị của trường từ do EEJ gây ra trên từng lát cắt số liệu tại các kinh tuyến khác nhau trong năm 2007 (chữ thập) và giá trị trung bình (đường nét liền màu đỏ).

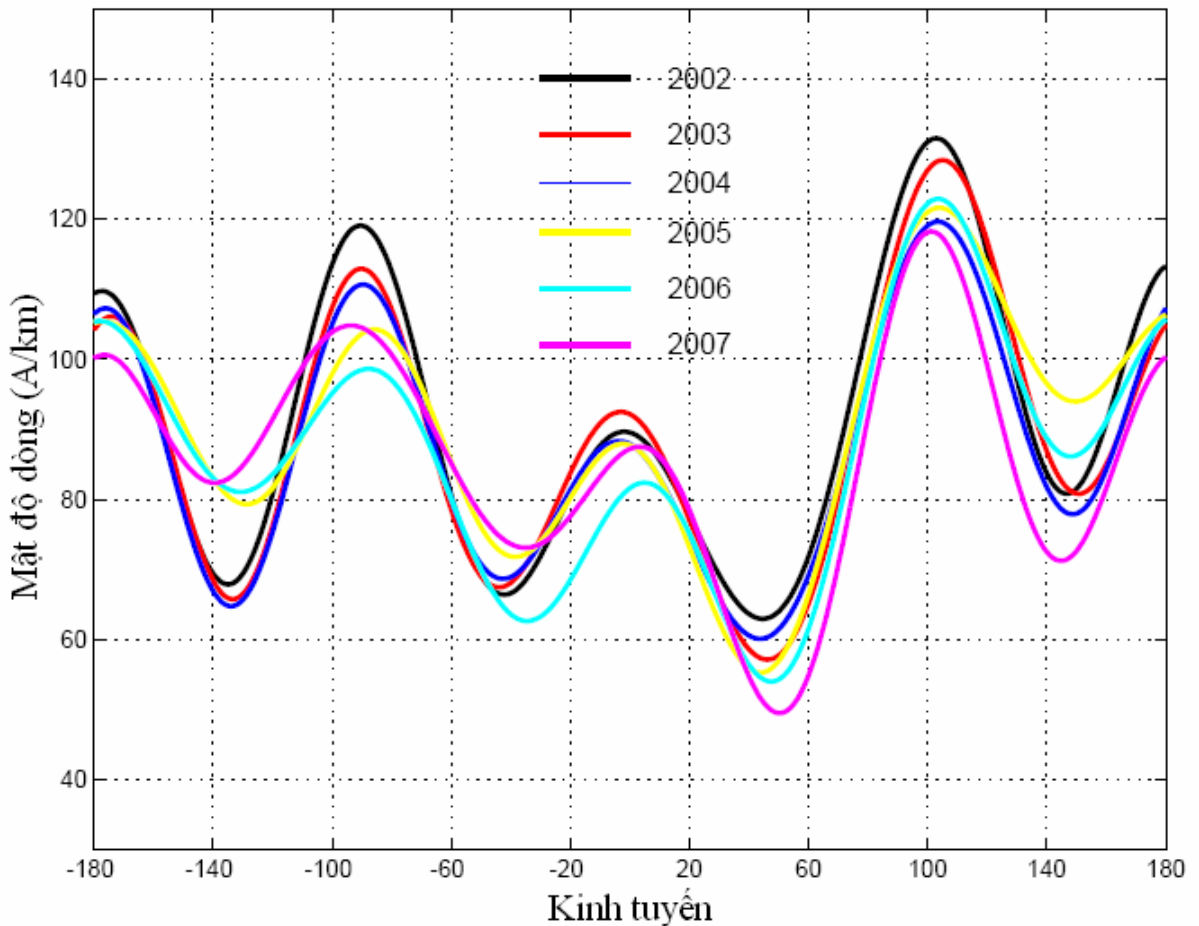
còn 52 và độ lệch bình phương trung bình cũng có xu thế giảm dần từ  $RMS=6,6$  nT xuống  $RMS=4,5$  nT. Giá trị độ lệch bình phương trung bình tính cho toàn bộ 6 năm số liệu  $RMS=5,3$  nT, giá trị này cũng như các giá trị RMS cho từng năm là khá nhỏ so với biên độ của trường gây bởi EEJ quan sát được (cỡ 20-67 nT).

Bảng 3.2: Bậc của đa thức và độ lệch bình phương trung bình để tính giá trị trung bình năm trường từ do EEJ gây ra từ số liệu CHAMP

Năm	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Bậc đa thức	54	55	54	53	52	52
RMS (nT)	6.6	5.8	5.4	4.9	4.7	4.5

Từ biên độ  $\Delta F$  do EEJ gây ra tính cho từng năm ở trên, áp dụng công thức (2.27) đã nêu trong chương 2 (với số liệu CHAMP,  $\Delta H$  trong công thức này được thay thế bởi  $\Delta F$ ; chọn  $H_c$  trung bình bằng 0,4 ( $H_c$  xác định bằng phương pháp độ lệch bình phương nhỏ nhất khi tính giá trị các thành phần của trường từ do EEJ gây ra bằng công thức (2.40) và (2.41) của chương 2 của luận án này).

Mật độ dòng điện trung bình tại tâm của EEJ ( $j_0$ ) thu được cho từng năm (Hình 3.14). Giá trị  $j_0$  nằm trong khoảng từ 40-140A/km, trong các năm đều tồn tại bốn đỉnh cực đại trên toàn kinh tuyến tại các kinh tuyến có vị trí:  $105^{\circ}\text{E}$ ,  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}\text{W}$ ,  $180^{\circ}\text{W}$  và bốn đỉnh cực tiểu tại vị trí:  $45^{\circ}\text{E}$ ,  $140^{\circ}\text{E}$ ,  $40^{\circ}\text{W}$ ,  $135^{\circ}\text{W}$ . Trong đó đỉnh cực đại tại vùng kinh tuyến  $105^{\circ}\text{E}$  có biên độ lớn nhất.



Hình 3.14: Giá trị trung bình mật độ dòng EEJ (A/km) trên toàn kinh tuyến cho từng năm (từ 2002-2007).

Sự xuất hiện 4 đỉnh cực trị này phù hợp với các đỉnh cực trị trong các nghiên cứu của England [41] và Brahmanandam [29] khi nghiên cứu về biến thiên theo kinh độ của điện trường và mật độ điện tử trên lớp E của tầng điện ly vào ban ngày. Các nghiên cứu này đã chỉ ra sự biến đổi của điện trường dọc theo các kinh tuyến trên toàn cầu chịu sự chi phối của các quá trình điện động lực học trong lớp E của tầng điện ly. Những hoạt động điện động lực học trong lớp E phụ thuộc vào sự biến đổi theo kinh tuyến của gió trung hòa kết hợp với triều ngày đêm không di chuyển, do

đó, sự xuất hiện “sóng - 4” được cho là tạo bởi các trường dynamo vùng E và những chuyển động trôi dạt thẳng đứng liên quan xảy ra ở tầng điện ly phía ban ngày. Tuy nhiên, cho đến nay vấn đề này vẫn chưa được giải thích một cách thỏa đáng và đang được cộng đồng các nhà nghiên cứu địa từ điện ly quan tâm.

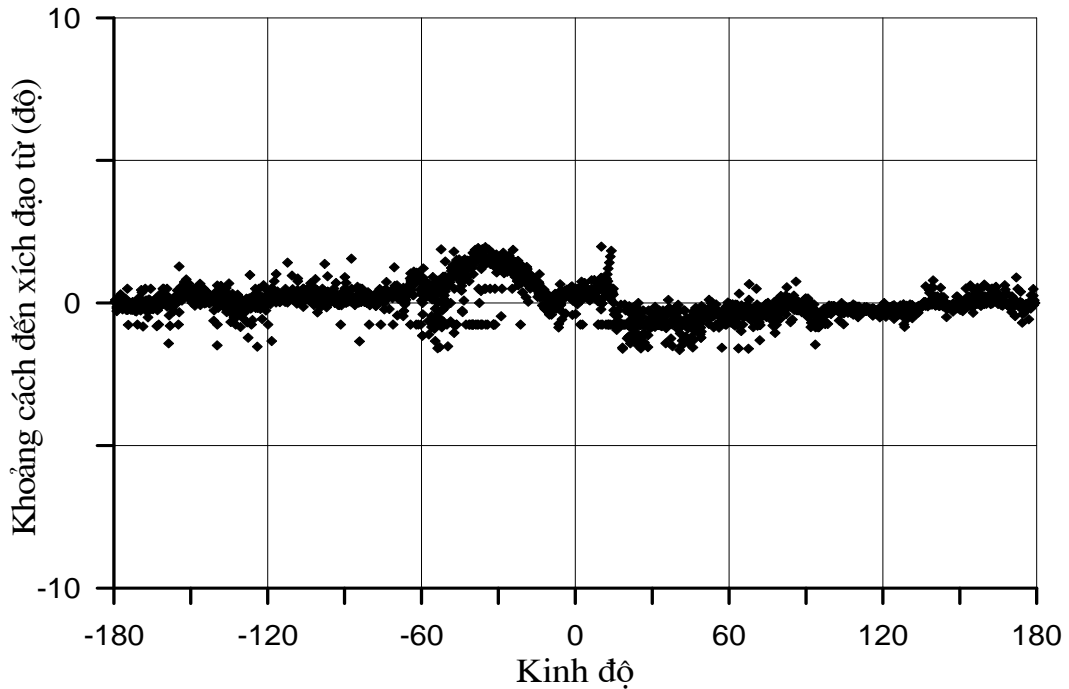
Mật độ dòng của EEJ có giá trị lớn nhất vào năm 2002 và có xu hướng giảm dần cho các năm tiếp theo, như vậy mật độ dòng đã giảm theo sự hoạt động của Mặt Trời, điều này cũng được khẳng định khi so sánh với EEJ tính từ số liệu tại các đài địa từ trong phần sau của luận án.

Những kết quả tính mật độ dòng này phù hợp với kết quả của Alken [23] và Lühr [71]. Như tại vùng kinh tuyến  $105^{\circ}\text{E}$ , EEJ theo kết quả của Lühr là  $152\text{A/km}$ , theo Alken là  $122\text{A/km}$  còn theo tính toán của chúng tôi là  $127\text{A/km}$  (với chú ý là cùng số liệu CHAMP nhưng thời gian lấy số liệu của Luhr khác với chuỗi số liệu của Alken, số liệu của Alken gần trùng với chuỗi số liệu của chúng tôi do vậy mật độ dòng khá trùng nhau). Khi so sánh với tính toán của Lương Văn Trương [20] tính từ số liệu mặt đất thì mật độ dòng tính trung bình trong tháng 1 và 2 năm 1990 tại Việt Nam là  $152\text{A/km}$ . Tương tự tại vùng kinh tuyến qua Ấn Độ tính từ số liệu mặt đất năm 1993 là  $114.6\text{A/km}$  và tính từ số liệu CHAMP (2002-2007) là  $108\text{A/km}$ .

### 3.2.3 Phân bố vị trí tâm của EEJ tại các kinh tuyến khác nhau

Vị trí trung tâm của EEJ được xác định như là vị trí theo vĩ độ của điểm mà giá trị trường gây bởi EEJ đạt giá trị thấp nhất hay trùng với cực trị ở vùng lõm xuống trong các lát cắt số liệu thu được từ CHAMP. Các vị trí trung tâm này ở các kinh tuyến khác nhau trong toàn bộ sáu năm số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP được biểu diễn trên hình 3.15. Các tâm này hầu như dao động xung quanh xích đạo từ đối với niên đại 2005.0 trong khoảng  $\pm 1^{\circ}$  (đường có vĩ độ từ bằng không). Tuy nhiên tại khu vực có kinh tuyến từ  $20^{\circ}\text{W}$  đến  $60^{\circ}\text{W}$  vị trí của tâm EEJ lại bị lệch ra ngoài nhiều nhất độ lệch đạt tới khoảng  $\pm 2^{\circ}$ . Vùng kinh tuyến này trùng với khu vực mà quỹ đạo vệ tinh không bay vuông góc với xích đạo từ hay tương ứng với vùng bị sụt giảm giá trị biên độ của EEJ như đã nêu ở trên. Điều này tái khẳng định sự ảnh hưởng của việc đo EEJ bằng vệ tinh trong khu vực có đường xích đạo từ lệch nhiều với đường xích đạo địa lý. Ngoài ra, từ hình 3.15 này chúng ta cũng nhận

thấy, tại vùng có kinh tuyến từ  $90^{\circ}\text{E}$  đến  $180^{\circ}\text{E}$  và từ  $60^{\circ}\text{W}$  đến  $180^{\circ}\text{W}$  vị trí của tâm EEJ hầu như trùng với đường xích đạo từ, khu vực có kinh độ từ  $20^{\circ}\text{W}$  đến  $50^{\circ}\text{W}$  thì tâm EEJ hầu như nằm phía bắc của xích đạo từ, vùng có kinh độ từ  $20^{\circ}\text{E}$  đến  $90^{\circ}\text{E}$  có tâm nằm ở phía nam xích đạo từ.



Hình 3.15: Vị trí trung tâm của EEJ thu được từ CHAMP (tính cho niên đại 2005,0).

### 3.3 So sánh với mật độ dòng EEJ tính từ số liệu đài địa từ

Từ các kết quả trình bày ở trên, biên độ của trường từ do EEJ gây ra thu được trên vệ tinh CHAMP trong vòng sáu năm số liệu liên tục phản ánh sự biến đổi của mật độ dòng EEJ dọc theo các kinh tuyến khác nhau và xuất hiện các khu vực có giá trị mật độ dòng EEJ cực đại hoặc cực tiểu tương đối phù hợp nhau về mặt không gian trong những năm khác nhau. Để khẳng định những quan sát EEJ từ vệ tinh đã trình bày, chúng tôi so sánh các quan sát EEJ từ số liệu các đài địa từ mặt đất ở khu vực xích đạo trong các khu vực kinh tuyến châu Á, châu Phi và châu Mỹ trong khoảng thời gian tương ứng.

#### 3.3.1 Tính trường từ do EEJ gây ra từ số liệu đài địa từ

Số liệu trong vòng 6 năm 2002-2007 tại 6 đài địa từ (Hình 3.16) đại diện cho các cặp đài địa từ ở vùng xích đạo từ ảnh hưởng của EEJ và trạm ngoài vùng ảnh hưởng của EEJ như đã trình bày trong chương 1 được xem xét. Chúng tôi lựa chọn

số liệu thu được từ các đài địa từ tương ứng với những ngày trường yên tĩnh (chỉ số  $am < 20$ ), chỉ số  $K_p \leq 3^+$  tương ứng với sự biến đổi của trường từ nhỏ hơn  $18nT$  và cũng không lấy những ngày trước và sau bão từ. Với mỗi cặp trạm trong một khu vực kinh tuyến, để tách phần ảnh hưởng của EEJ từ số liệu trường từ thu được từ số liệu các trạm mặt đất chúng tôi dựa vào giả thiết sau: dòng điện xích đạo chỉ là một dải dòng hẹp chạy dọc theo xích đạo từ như vậy có thể coi trường từ ghi được tại



Hình 3.16: Vị trí các đài địa từ phục vụ nghiên cứu (đường liền nét là vị trí xích đạo từ niên đại 2005.0).

Bảng 3.3: Các cặp đài địa từ được sử dụng để nghiên cứu về EEJ (tọa độ từ tính theo niên đại 2005.0)

Khu vực	Ký hiệu đài	Tọa độ địa lý		Vĩ độ từ	Khoảng cách giữa hai trạm theo vĩ độ từ
		Kinh độ	Vĩ độ		
Khu vực châu Á	BCL	$105.73^0$	$9.28^0$	$1.35^0$	$13.7^0$
	PHU	$105.57^0$	$21.2^0$	$15.05^0$	
Khu vực châu Mỹ	HUA	$284.67^0$	$-12.5^0$	$0.59^0$	$16.47^0$
	FUQ	$286.27^0$	$5.47^0$	$17.06^0$	
Khu vực châu Phi	AAE	$38.77^0$	$9.02^0$	$0.95^0$	$29.94^0$
	QSB	$35.64^0$	$33.87^0$	$30.89^0$	



một đài nằm cách xa xích đạo từ khoảng  $>10^0$  là coi như không bị ảnh hưởng của hệ dòng EEJ. Bảng 3.3 trình bày các các cặp trạm trong vùng xích đạo từ (vùng ảnh hưởng của EEJ) và trạm không ảnh hưởng của EEJ trong các vùng kinh tuyến châu Á, châu Phi và châu Mỹ một cách tương ứng. Kết quả chúng tôi lựa chọn được các trạm BCL và PHU trong vùng châu Á, AAE và QSB trong vùng kinh tuyến châu Phi và các trạm HUA và FUQ trong vùng kinh tuyến châu Mỹ. Với việc lựa chọn ba cặp đài trên, khoảng cách theo vĩ tuyến theo vĩ độ từ giữa FUQ-HUA là  $16.47^0$ , QSB-AAE là  $29.94^0$ , PHU-BCL là  $13.7^0$  và độ lệch giữa hai đài trong từng cặp đài theo kinh tuyến trong khoảng  $3^0$ . Chúng tôi tính biên độ ngày đêm của biến thiên trường từ từ giá trị trung bình giờ của thành phần trường nằm ngang  $\Delta H$  (trong những ngày yên tĩnh  $< 20$  nT) đối với từng ngày bằng công thức sau:

$$\Delta H = H - (H_{23} + H_{24} + H_1 + H_2)/4 \quad (3.3)$$

Với H là giá trị trường tại giờ bất kỳ,  $H_{23}$   $H_{24}$   $H_1$   $H_2$  là giá trị H tại các giờ 23,24,1,2 giữa đêm địa phương. Khi ta coi trường do hệ dòng Sq gây ra tại từng cặp đài trên là bằng nhau thì giá trị của thành phần nằm ngang H do EEJ gây ra tại ba đài địa từ được tính như sau:

$$\begin{aligned} \Delta H_{EEJ}(HUA)_{sq} &= \Delta H(HUA) - \Delta H(FUQ) \\ \Delta H_{EEJ}(AAE)_{sq} &= \Delta H(AAE) - \Delta H(QSB) \\ \Delta H_{EEJ}(BCL)_{sq} &= \Delta H(BCL) - \Delta H(PHU) \end{aligned} \quad (3.4)$$

trong đó: -  $\Delta H(HUA)$  là biến thiên thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) của trường từ tại đài HUA sau khi đã trừ đi mức giữa đêm và tương ứng cho các đài khác.

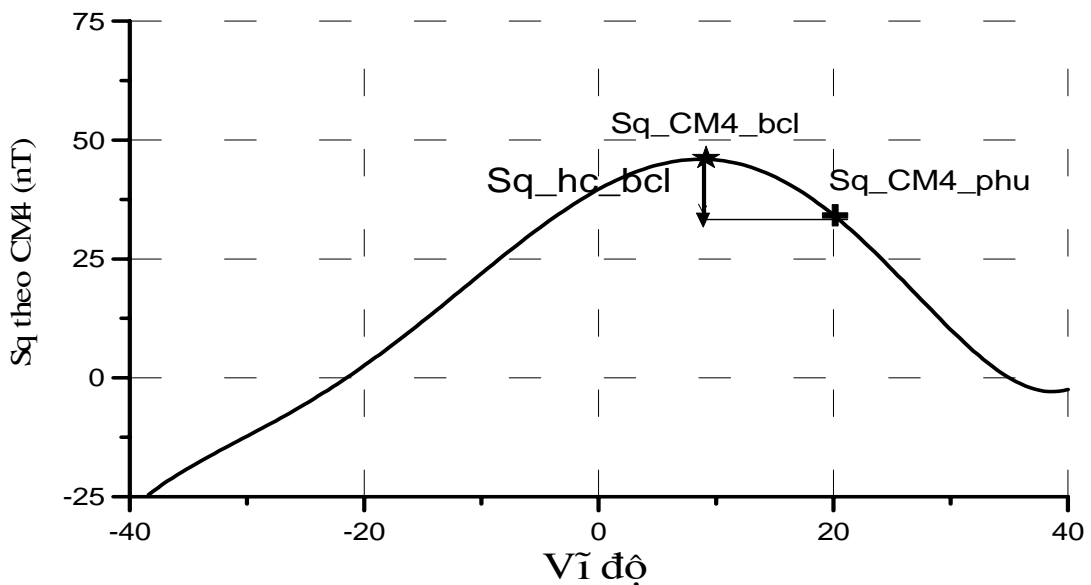
-  $\Delta H_{EEJ}(HUA)_{sq}$  là biến thiên thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) của trường từ do EEJ gây ra thu được tại HUA khi chưa hiệu chỉnh và tương ứng cho các đài khác.

Trong thực tế, trường từ do hệ dòng Sq gây ra không những phụ thuộc vào thời gian mà còn phụ thuộc vào tọa độ của từng đài địa từ mà ở đây là phụ thuộc vĩ độ, do đó, trường từ do hệ dòng Sq gây ra thu được tại từng đài trong từng cặp đài địa từ là khác nhau. Để loại bỏ ảnh hưởng sự chênh lệch Sq phụ thuộc vào vĩ độ, chúng tôi đưa vào một giá trị hiệu chỉnh ( $Sq_{hc}$ ) sử dụng mô hình CM4 do Sabaka [98] phát triển. Mô hình CM4 cho phép tính trường từ do hệ dòng Sq gây ra tại từng

vị trí dựa vào chỉ số thông lượng Mặt Trời (chỉ số F10.7) tại từng vị trí và từng thời điểm khác nhau. Khi đó giá trị hiệu chỉnh  $Sq_{hc}$  cho từng vị trí đài địa từ được tính như sau:

$$\begin{aligned} Sq_{hc}(HUA) &= Sq_{CM4\_HUA} - Sq_{CM4\_FUQ} \\ Sq_{hc}(AAE) &= Sq_{CM4\_AAE} - Sq_{CM4\_QSB} \\ Sq_{hc}(BCL) &= Sq_{CM4\_BCL} - Sq_{CM4\_PHU} \end{aligned} \quad (3.5)$$

trong đó  $Sq_{CM4\_HUA}$  là giá trị trường  $Sq$  tính theo mô hình tại đài Huancayo, và tương ứng cho các đài khác;  $Sq_{hc}(HUA)$  là giá trị để hiệu chỉnh sự chênh lệch do dòng  $Sq$  gây ra tại đài Huancayo và tương tự cho các trạm khác. Hình 3.17 biểu diễn hệ dòng  $Sq$  tính theo mô hình CM4 phụ thuộc vào vĩ độ tại kinh tuyến  $105^{\circ}E$ , tính tại giữa trưa địa phương ngày 3/1/2005 và giá trị hiệu chỉnh  $Sq_{hc}(BCL)$  do ảnh hưởng của vị trí giữa đài PHU và BCL là  $19nT$ , tương tự giữa HUA và FUQ là  $21nT$ , giữa AAE và QSB là  $17nT$  (cùng tính cho ngày 3/1/2005).

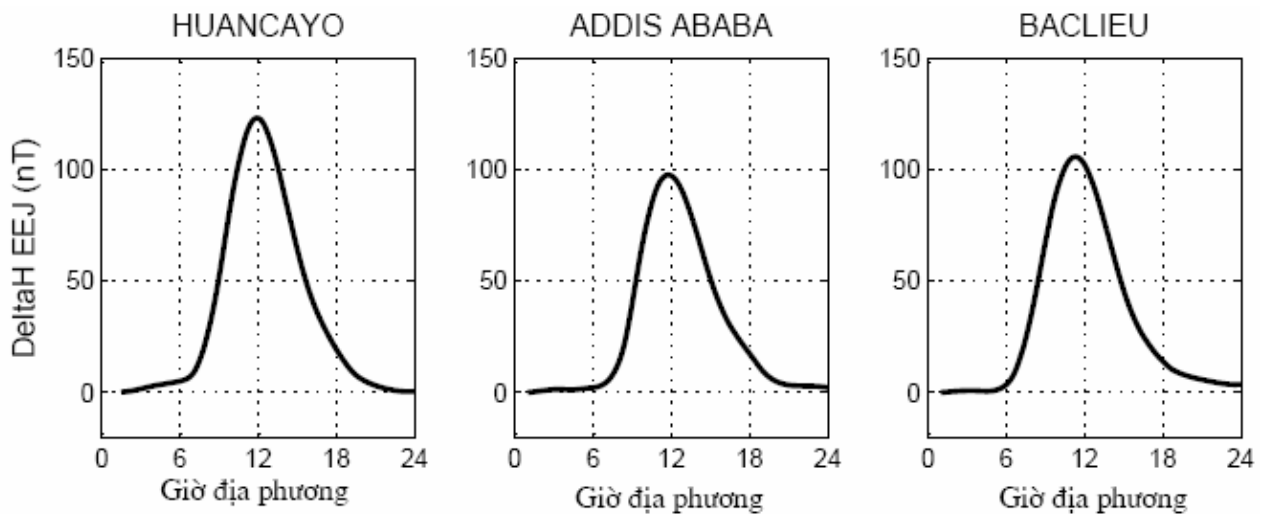


Hình 3.17: Biên độ  $Sq$  phụ thuộc vào vĩ độ tính theo mô hình CM4 tại kinh tuyến  $105^{\circ}E$  (kinh tuyến qua Việt Nam).

Như vậy, biên độ thành phần H chỉ do EEJ gây ra sau khi đã hiệu chỉnh ảnh hưởng của hệ dòng  $Sq$  thu được tại đài Huancayo  $\Delta H_{EEJ}(HUA)$ , Addis Ababa  $\Delta H_{EEJ}(AAE)$  và Bạc Liêu  $\Delta H_{EEJ}(BCL)$  tương ứng là:

$$\begin{aligned}\Delta H_{EEJ}(HUA) &= \Delta H_{EEJ}(HUA) - Sq_{hc}(HUA) \\ \Delta H_{EEJ}(AAE) &= \Delta H_{EEJ}(AAE) - Sq_{hc}(AAE) \\ \Delta H_{EEJ}(BCL) &= \Delta H_{EEJ}(BCL) - Sq_{hc}(BCL)\end{aligned}\quad (3.6)$$

Hình 3.18 biểu diễn kết quả tính giá trị trường từ thành phần H do EEJ gây ra tính tại các đài HUA, AAE, BCL cho toàn bộ số liệu năm 2002 sau khi đã hiệu chỉnh ảnh hưởng của dòng Sq, với giá trị lớn nhất thu được tại HUA là 126nT, tại AAE là 99nT, và tại BCL là 104nT.

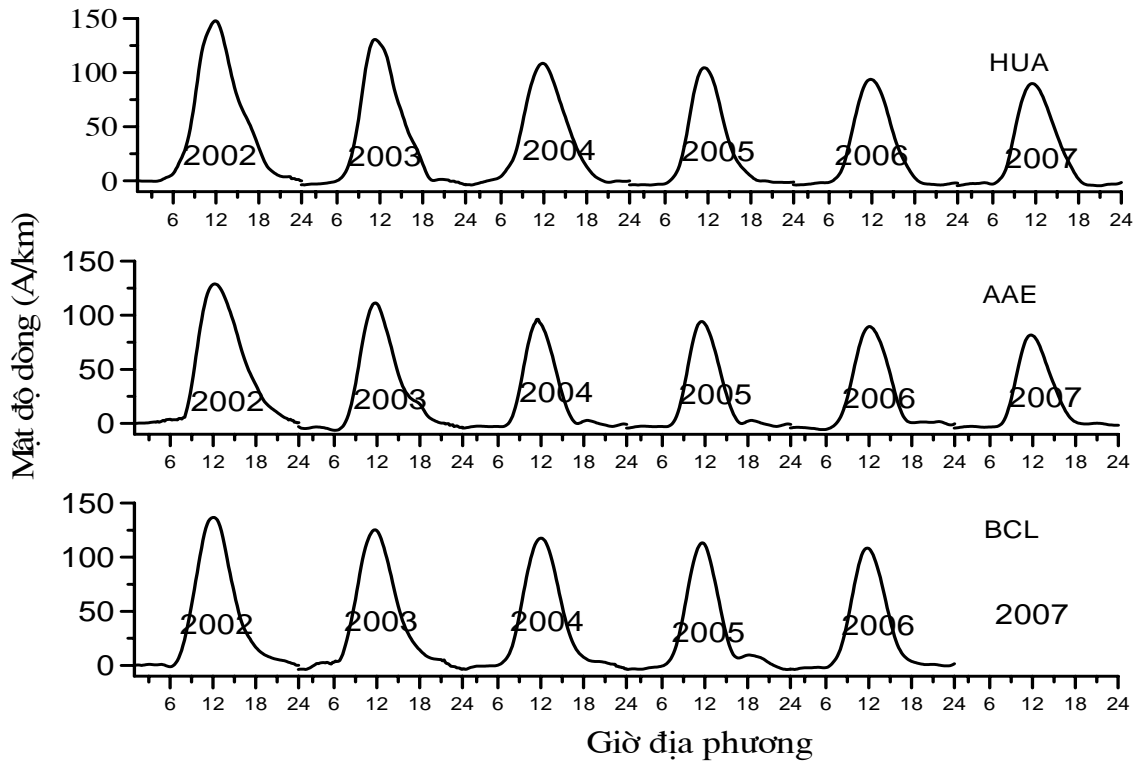


Hình 3.18: Giá trị trung bình giờ thành phần trường nam ngang H do EEJ gây ra tính tại 3 trạm HUA, AAE, BCL năm 2002.

### 3.3.2 Mật độ dòng điện tại tâm của EEJ tính từ số liệu các đài địa từ

Từ các số liệu thành phần nam ngang H của trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu đài địa từ cho từng năm (2002-2007) tính cho đài địa từ HUA, AAE và BCL tính được ở trên, chúng tôi tính được giá trị mật độ dòng điện xích đạo (Hình 3.19) bằng công thức (2.27) trong chương 2 của luận án lấy giá trị độ cao trung bình của EEJ so với mặt đất  $h=105\text{km}$ .

Giá trị  $j_0$  tính cho cho cả ba đài địa từ đều đạt cực đại vào khoảng 12 giờ LT và đều đạt giá trị lớn nhất vào năm 2002 và có xu hướng giảm dần. Tại đài HUA giá trị  $j_0$  giảm dần từ 149 A/km vào năm 2002 xuống còn 83 A/km vào năm 2007; tương tự tại đài AAE giá trị  $j_0$  giảm từ 123 A/km năm 2002 xuống còn 85 A/km năm 2007; tại đài BCL giá trị  $j_0$  giảm từ 129 A/km vào năm 2002 xuống còn 112A/km vào năm 2006 (năm 2007 trạm BCL mất số liệu).



Hình 3.19: Mật độ dòng điện tại tâm EEJ tại các giờ địa phương tính tại 3 trạm HUA, AAE, BCL (giá trị trung bình giờ cho từng năm từ 2002-2007).

### 3.3.3 So sánh mật độ dòng EEJ tính từ số liệu CHAMP và đài địa từ

Bảng 3.4 tổng kết giá trị trung bình năm mật độ dòng tại tâm của EEJ tại vị trí ba đài địa từ HUA, AAE, BCL từ số liệu tại các đài địa từ và từ số liệu CHAMP tại kinh tuyến tương ứng. Trên bảng này cũng đưa vào giá trị độ chênh lệch mật độ dòng EEJ tính từ hai loại số liệu trên ứng với vị trí các đài địa từ. Từ bảng này chúng tôi rút ra một số nhận xét chính sau:

- Giá trị  $j_0$  tính từ số liệu các đài địa từ ở cả ba khu vực đều giảm dần theo hoạt tính mặt trời,  $j_0$  giá trị lớn nhất vào năm 2002 và nhỏ nhất vào năm 2007.  $j_0$  tính từ số liệu CHAMP cũng có xu hướng như vậy, nhưng không biến đổi hoàn toàn tuyến tính như  $j_0$  tính từ số liệu mặt đất; ở vị trí đài HUA  $j_0$  giảm dần từ 111 A/km vào năm 2002 đến 94 A/km vào năm 2006 sau đó lại tăng lên 98 A/km vào năm 2007, ở vị trí đài AAE các giá trị  $j_0$  tính được cho các năm thay đổi không nhiều và không tuyến tính từ 64 A/km và năm 2002 đến 52 A/km vào năm 2007, ở vị trí đài BCL các giá trị  $j_0$  cũng biến đổi ít và không tuyến tính từ 132 A/km vào năm 2002 đến 117 A/km vào năm 2007.

Bảng 3.4: Giá trị  $j_0$  trung bình năm tính từ số liệu CHAMP và từ số liệu đài địa từ cho 6 năm và độ chênh lệch  $\Delta j_0$  giữa chúng

Năm	$j_0$ tại HUA (A/km) tính từ số liệu			$j_0$ tại AAE (A/km) tính từ số liệu			$j_0$ tại BCL (A/km) tính từ số liệu		
	đài địa từ	CHAM P	$\Delta j_0$	đài địa từ	CHAM P	$\Delta j_0$	đài địa từ	CHAM P	$\Delta j_0$
2002	149	111	<b>38</b>	123	64	<b>59</b>	129	132	<b>-3</b>
2003	134	109	<b>25</b>	115	59	<b>56</b>	125	125	<b>0</b>
2004	112	107	<b>5</b>	99	61	<b>38</b>	121	119	<b>2</b>
2005	108	102	<b>6</b>	98	56	<b>42</b>	117	121	<b>-4</b>
2006	97	94	<b>3</b>	93	56	<b>37</b>	112	123	<b>-11</b>
2007	94	98	<b>-4</b>	85	52	<b>33</b>	Mất số liệu	117	

- Các giá trị độ lệch ( $\Delta j_0$ ) của các giá trị  $j_0$  tính từ số liệu mặt đất và tính từ số liệu vệ tinh hầu như đều có giá trị dương có nghĩa là mật độ dòng của EEJ tính từ số liệu các đài địa từ thường lớn hơn tính từ số liệu vệ tinh, tuy nhiên độ lớn  $\Delta j_0$  khác nhau ở các vị trí đài địa từ khác nhau.

-  $\Delta j_0$  tại đài BCL là nhỏ nhất, vào năm 2006  $\Delta j_0=11$  A/km (chiếm khoảng 9% biên độ), đối với những năm khác  $\Delta j_0$  khá nhỏ thậm trí  $\Delta j_0=0$  vào năm 2003.

- Tại đài HUA, giá trị  $\Delta j_0$  lớn nhất vào những năm 2002-2003 và đạt tới 38A/km và -25 A/km tương ứng cho từng năm. Vào những năm còn lại,  $\Delta j_0$  là rất nhỏ đạt từ -4 A/km đến 6 A/km. Sự lớn bất thường của  $j_0$  tính từ số mặt đất cũng như sự lớn bất thường của  $\Delta j_0$  trong hai năm 2002-2003 có thể do những bất ổn định plasma địa phương trong lớp E của tầng điện ly. Tuy nhiên để có kết luận tin cậy cần có số liệu từ tại các trạm cũng như các số liệu vệ tinh tin cậy trong những khoảng thời gian dài hơn trong chu kỳ tiếp theo của hoạt động Mặt Trời.

- Tại vị trí đài AAE, giá trị  $j_0$  tính từ số liệu đài địa từ lớn hơn  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh khá nhiều, giá trị  $\Delta j_0$  thay đổi từ 33 A/km vào năm 2007 đến 59 A/km vào năm 2002. Điều này có thể do  $j_0$  tính từ số liệu CHAMP ở khu vực này có giá trị

thấp (Hình 3.13), thêm nữa do điều kiện tự nhiên khó khăn không có các trạm địa từ ngoài vùng ảnh hưởng của EEJ ở khoảng cách thích hợp như ở khu vực châu Mỹ và châu Á chúng tôi đã phải chọn trạm QSB cách xa trạm AAE tới  $29.94^{\circ}$  theo vĩ độ từ. Do khoảng cách giữa AAE và QSB lớn như vậy nên việc tính trường từ do EEJ gây ra từ cặp đài địa từ này không được chính xác như đối với các vùng kinh tuyến châu Mỹ và châu Á.

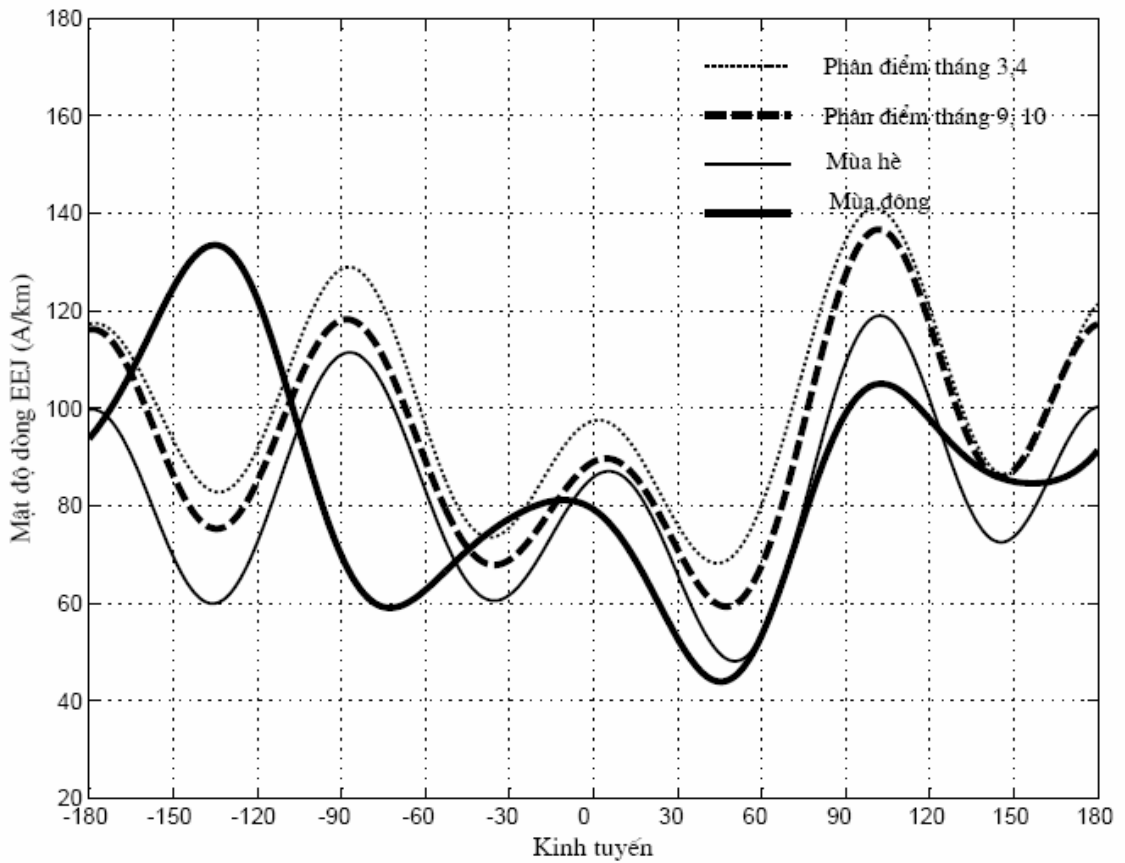
- Ngoài các năm 2002-2003, giá trị  $j_0$  tính từ cả hai loại số liệu tại vị trí đài BCL đều lớn hơn tại vị trí đài AAE và HUA. Cường độ trường từ tổng (F) tại từng vị trí của đài địa từ tính bằng mô hình IGRF-11 niên đại 2005.0 là như sau:  $F_{HUA} = 25683.2\text{nT}$ ;  $F_{AAE} = 35478.3\text{nT}$ ;  $F_{BCL} = 41321.2\text{nT}$ , như vậy cường độ trường từ tại BCL là lớn nhất và  $j_0$  cũng lớn nhất. Tuy nhiên  $F_{AAE} > F_{HUA}$  mà  $j_0(\text{HUA}) > j_0(\text{AAE})$ , do đó mối quan hệ giữa cường độ trường tổng và  $j_0$  ở từng khu vực kinh tuyến không phải là tuyến tính trên phạm vi toàn cầu.

Một hiện tượng quan trọng khác trong lớp F của tầng điện ly cũng ảnh hưởng đến mật độ điện tử vùng vĩ độ thấp và ảnh hưởng đến hệ dòng EEJ đó là hiện tượng dị thường điện ly xích đạo EIA (Equatorial Ionization Anomaly) xuất hiện do hiệu ứng “vòi phun” plasma xích đạo. Trong vùng vĩ độ thấp và trong thời gian ban ngày plasma điện ly bị nâng lên bởi sự trôi dạt ( $\vec{E} \wedge \vec{B}$ ), đến độ cao nhất định plasma khuếch tán xuống dưới dọc theo đường sức từ trường dưới tác dụng của trường trọng lực và gradient áp suất tạo nên dị thường mật độ điện tử trong lớp F tầng điện ly ở khoảng  $\pm 15^{\circ}$  đến  $\pm 20^{\circ}$  ở hai phía của xích đạo từ. Nghiên cứu của Rao et al., nghiên cứu của Rao et al. [91] tại khu vực Ấn Độ (kinh tuyến  $77^{\circ}\text{E}$ ) chỉ ra rằng đỉnh của EIA nằm trong khoảng vĩ độ địa lý từ  $15^{\circ}\text{N}$  đến  $25^{\circ}\text{N}$  hay từ vĩ độ từ từ  $5^{\circ}\text{N}$  đến  $15^{\circ}\text{N}$  tùy thuộc vào thời gian trong năm. Rao cũng khẳng định sự liên quan chặt chẽ giữa biên độ trường từ của EEJ và mật độ điện tử tổng cộng (TEC) vùng đỉnh EIA trong khu vực kinh tuyến nghiên cứu. Tuy nhiên, các nghiên cứu về sự ảnh hưởng của nồng độ điện tử tổng cộng; vị trí của EIA và biên độ của EEJ mới chỉ hoàn toàn dựa trên thống kê tại khu vực Ấn Độ mà chưa được nghiên cứu tại các vùng khác cũng như chưa được giải thích một cách đầy đủ.

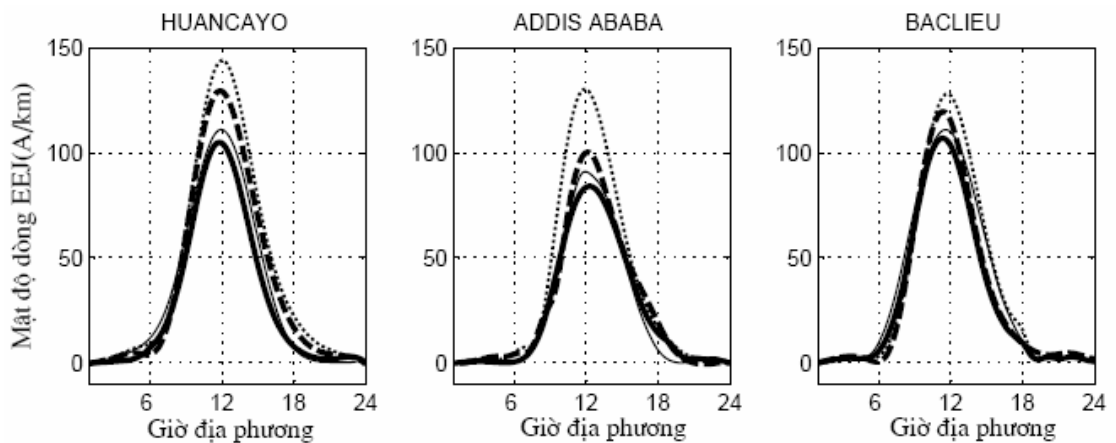
Như vậy, hệ dòng EEJ vừa có tính địa phương và vừa có tính toàn cầu và nó còn bị ảnh hưởng bởi nhiều quá trình địa động lực khác, hay nghiên cứu về EEJ từ hai loại số liệu trên rất khó để tương đồng với nhau do đặc thù của cả hai phép đo đặc này. Để nghiên cứu kỹ hơn về hệ dòng điện xích đạo phức tạp này, gần đây trong nghiên cứu của Doumbia et al., [35] và Fang et al., [42] sử dụng biên độ của trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu mặt đất cũng như từ vệ tinh, so sánh với biên độ EEJ tính từ mô hình TIE-GCM (mô hình luân chuyển tổng quát nhiệt quyển- tầng điện ly và điện động lực học – Thermosphere - Ionosphere - Electrodynamics – General Circulation Model) để đánh giá ảnh hưởng của các quá trình điện động lực ảnh hưởng đến độ lớn và sự phân bố trong không gian của các hệ dòng điện trong tầng điện ly trong đó có dòng điện xích đạo. Đây là một mô hình số do Trung tâm Nghiên cứu khí quyển Quốc gia Mỹ (NCAR) phát triển, mô hình này được thiết kế để tính toán kết hợp giữa động lực học, hóa học, năng lượng, điện động lực học trên toàn cầu trong độ cao từ 97km – 500km. Chúng tôi hy vọng trong thời gian tới sẽ sử dụng mô hình này kết hợp với các số liệu đo đạc mặt đất hay trên vệ tinh để có thể đánh giá được sự ảnh hưởng của từng quá trình điện động lực trên để giải thích sự chênh lệch mật độ dòng của EEJ từ điểm này đến điểm khác trên toàn cầu hay độ lệch mật độ dòng khi tính từ hai loại số liệu ghi ở hai độ cao khác nhau và về hai phía của dải dòng EEJ.

### 3.4 Biến thiên theo mùa của EEJ

Với chuỗi số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và tại 3 đài địa từ trong vòng 72 tháng liên tục trên, ngoài việc nghiên cứu biến đổi biên độ của EEJ trung bình trong từng năm như ở trên, chúng tôi cũng sử dụng chuỗi số liệu này để nghiên cứu biến thiên theo mùa của nó. Các mùa địa từ được quy định như sau: mùa hè gồm các tháng 5, 6, 7, 8; mùa đông gồm: tháng 11, 12, 1, 2 và hai phân điểm là: xuân phân: tháng 3, 4; thu phân: tháng 9, 10. Hình 3.20a, biểu diễn  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh CHAMP tại giữa trưa địa phương cho toàn bộ 6 năm số liệu (từ 2002-2007) phụ thuộc vào kinh tuyến, hình 3.20b biểu diễn giá trị  $j_0$  tính được từ số liệu đài địa từ HUA, AAE, BCL với các mùa và thời gian tương ứng. Từ các hình này thấy rằng:



Hình 3.20a: Biến thiên theo mùa mật độ dòng của EEJ từ số liệu vệ tinh CHAMP trên toàn kinh tuyến với 6 năm số liệu (2002-2007).



Hình 3.20b: Biến thiên theo mùa của EEJ từ số liệu 3 trạm mặt đất (2002-2007). (Đường đậm nét liền là mùa đông, đường mảnh nét liền là mùa hè, đường mảnh nét rời là phân điểm tháng 3, 4 và đường đậm nét rời là phân điểm tháng 9, 10).



- Giá trị  $j_0$  vào phân điểm và mùa hè trên toàn kinh tuyến đều tồn tại bốn đỉnh cực đại và bốn đỉnh cực tiểu như giá trị trung bình năm mật độ dòng của EEJ (Hình 3.14) hay còn gọi là “số sóng - 4”. Trong đó cực trị tại vùng kinh tuyến qua châu Á (khoảng  $105^{\circ}\text{E}$ ) là mạnh nhất.

- Biến thiên của  $j_0$  vào mùa đông thì lại có xu hướng khác với các mùa khác, trên toàn kinh tuyến chỉ xuất hiện 3 cực đại tại kinh tuyến:  $135^{\circ}\text{W}$ ,  $10^{\circ}\text{W}$  và  $110^{\circ}\text{E}$  (tại kinh tuyến  $135^{\circ}\text{W}$  là mạnh nhất) và 3 cực tiểu tại kinh tuyến:  $75^{\circ}\text{W}$ ,  $45^{\circ}\text{E}$ ,  $160^{\circ}\text{E}$ , hay còn gọi là “số sóng - 3” trên toàn kinh tuyến.

- Biên độ  $j_0$  theo từng mùa tính từ cả hai loại số liệu trên đều phản ánh qui luật: lớn nhất vào xuân phân và giảm dần vào thu phân, mùa hè, yếu nhất vào mùa đông

Hagan và Forbes [52] đã sử dụng mô hình sóng quy mô toàn cầu (Global Scale Wave Model - GSWM) nghiên cứu các thành phần triều ngày đêm di trú và không di trú ở quyển giữa và phần quyển nhiệt bên dưới truyền lên trên từ tầng đối lưu, ở đó các hoạt động triều kích thích bởi các quá trình giải phóng nhiệt liên quan với đối lưu sâu trong vùng nhiệt đới. Các kết quả mô phỏng số của Hagan et al. [53] sử dụng các hiệu ứng triều có nguồn gốc trong tầng đối lưu lên khí quyển tầng cao và tầng giữa đã phát hiện ra các dấu hiệu rõ rệt của triều ngày đêm số sóng 3 theo hướng vĩ tuyến (DE3), có cực đại gần  $110\text{ km}$  và thâm nhập vào nhiệt quyển bên trên. Hagan cũng chỉ ra rằng phân rã triều không di trú chiếm ưu thế bởi hiệu ứng DE3 trong phần trên quyển giữa và phần dưới của nhiệt quyển (MLT) làm gia tăng mạnh mẽ trường gió vĩ hướng trung bình, ảnh hưởng lên độ cao và biên độ của các dòng điện trong vùng vĩ độ thấp kể cả EEJ. Các tác giả cũng xác định được dao động dừng số sóng 4 quy mô hành tinh (sPW4) trong vùng MLT, kích thích bởi tương tác phi tuyến giữa DE3 và triều ngày đêm di trú (DW1), nghĩa là sPW4 điều khiển hưởng ứng DE3 trong MLT và có thể ảnh hưởng tới dynamo vùng E cũng như các dấu hiệu điện ly và nhiệt quyển ở các độ cao lớn hơn. Kil [63] nghiên cứu mật độ plasma tầng điện ly trên toàn cầu đã khẳng định sự trôi dạt thẳng đứng ( $\vec{E} \wedge \vec{B}$ ) đã tạo ra các sóng có cấu trúc bậc 3 hay bậc 4 dọc theo kinh tuyến và cho rằng sự dịch chuyển về phía đông của triều là nguồn gốc của “số sóng -3” trên tầng điện ly. Như vậy cho tới nay sự tồn tại

của các cấu trúc sóng 3 và 4 trong biến thiên mùa của  $j_0$  đều được cho là liên quan tới hoạt động triều khí quyển có nguồn gốc từ tầng đối lưu.

Tarpley [107] đã cho rằng chuyển động theo mùa của các tâm của hệ dòng Sq có thể giải thích biến thiên mùa biên độ EEJ. Dòng hướng về phía đông tổng cộng (dòng Sq, EEJ) chạy giữa các tâm ở nam và bắc bán cầu được cho là như nhau ở tất cả các mùa, tuy nhiên dòng chạy trong vùng electrojet xích đạo tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa các tâm của hệ dòng Sq. Khi khoảng cách giữa các tâm giảm, cường độ dòng EEJ tăng và ngược lại. Như vậy, chuyển động về phía xích đạo của mỗi tâm ở những tháng phân điểm sẽ gây nên sự gia tăng biên độ EEJ. Dịch chuyển về phía cực của tâm hệ dòng Sq ở bán cầu bắc vào thời kỳ đông chí (các tháng 11 và 12) và tâm ở bán cầu nam vào thời kỳ hạ chí các tháng 5 và 6 gây nên sự suy giảm biên độ EEJ và các thời kỳ chí điểm. Hơn nữa, một yếu tố khác có thể làm gia tăng ít nhiều mật độ dòng EEJ vào các tháng phân điểm là mật độ điện tử khu vực xích đạo được tăng thêm (vì vậy độ dẫn điện tăng lên) khi Mặt Trời ở đỉnh đầu ở các thời kỳ phân điểm. Sự gia tăng về độ dẫn là nhỏ, chỉ khoảng 5-6% so với giá trung bình năm, trong khi biến thiên mùa của cường độ EEJ là khoảng 15-30%, như vậy chuyển động theo mùa của các tâm của hệ dòng Sq được cho là nguyên nhân chính của các biến thiên về biên độ của EEJ.

Riêng khu vực kinh tuyến từ  $110^{\circ}\text{W}$  -  $170^{\circ}\text{W}$ , EEJ tính từ số liệu CHAMP vào mùa đông lại mạnh lên đáng kể tuy nhiên do không có số liệu của đài trạm trong khu vực này để so sánh, và đây vẫn là vấn đề chưa giải thích được.

Bảng 3.5 là kết quả tính  $j_0$  và  $\Delta j_0$  tính từ hai loại số liệu thu được tại vị trí 3 trạm HUA, AAE, BCL tính từ số liệu vệ tinh CHAMP và từ các trạm cho các mùa khác nhau. Ở từng trạm với cả hai loại số liệu  $j_0$  lớn nhất vào xuân phân và nhỏ nhất vào mùa đông. Tương tự như giá trị trung bình năm, giá trị  $\Delta j_0$  tại vị trí của trạm AAE giữa hai loại số liệu lệch nhau nhiều điều này cũng đã được đề cập trong mục 3.4.3 ở trên.

Giá trị  $j_0$  tính từ số liệu đài địa từ tại đài HUA lại lớn hơn tại đài BCL (bảng 3.5) trong thời kỳ phân điểm và có biên độ bằng nhau trong mùa hè. Nhưng  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh tại HUA lại nhỏ hơn tại BCL trong các mùa.

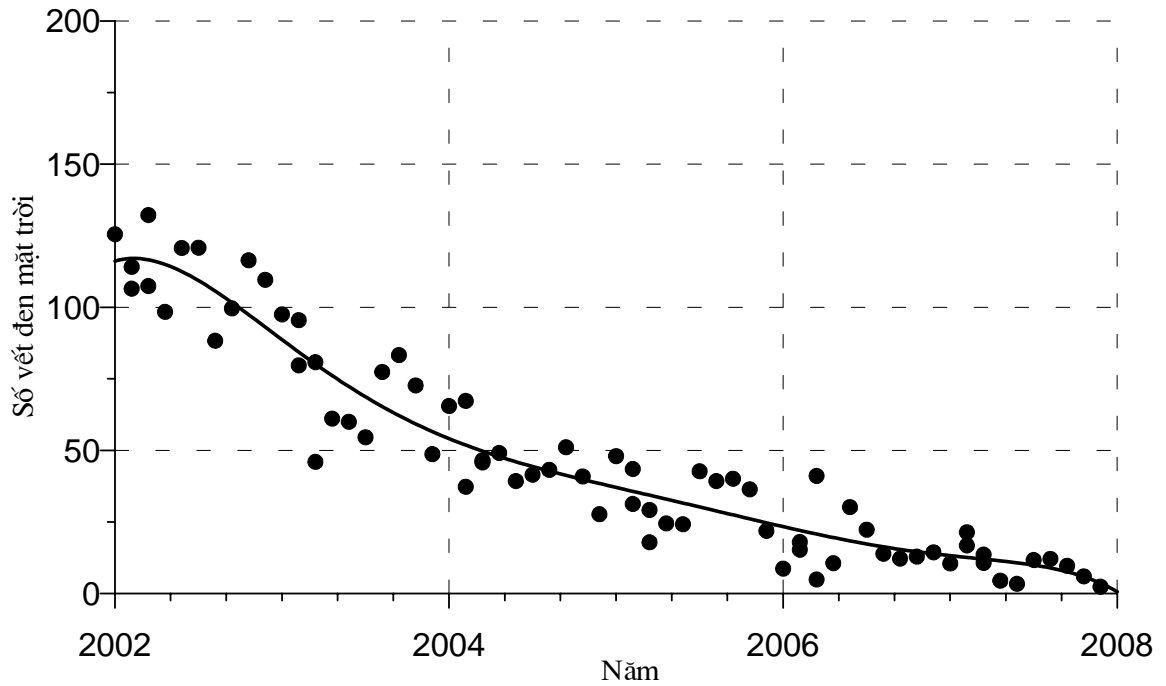
Bảng 3.5: Giá trị  $j_0$  tại vị trí các đài địa từ vào các mùa khác nhau

Mùa	$j_0$ tại HUA (A/km) tính từ số liệu			$j_0$ tại AAE (A/km) tính từ số liệu			$j_0$ tại BCL (A/km) tính từ số liệu		
	đài địa từ	CHAMP P	$\Delta j_0$	đài địa từ	CHAMP P	$\Delta j_0$	đài địa từ	CHAMP P	$\Delta j_0$
Xuân phân	144	124	<b>20</b>	130	69	<b>61</b>	128	139	<b>-11</b>
Thu phân	124	115	<b>9</b>	100	62	<b>38</b>	119	135	<b>-16</b>
Mùa hè	110	105	<b>5</b>	91	54	<b>37</b>	110	118	<b>-8</b>
Mùa đông	104	60	<b>44</b>	84	45	<b>39</b>	106	104	<b>2</b>

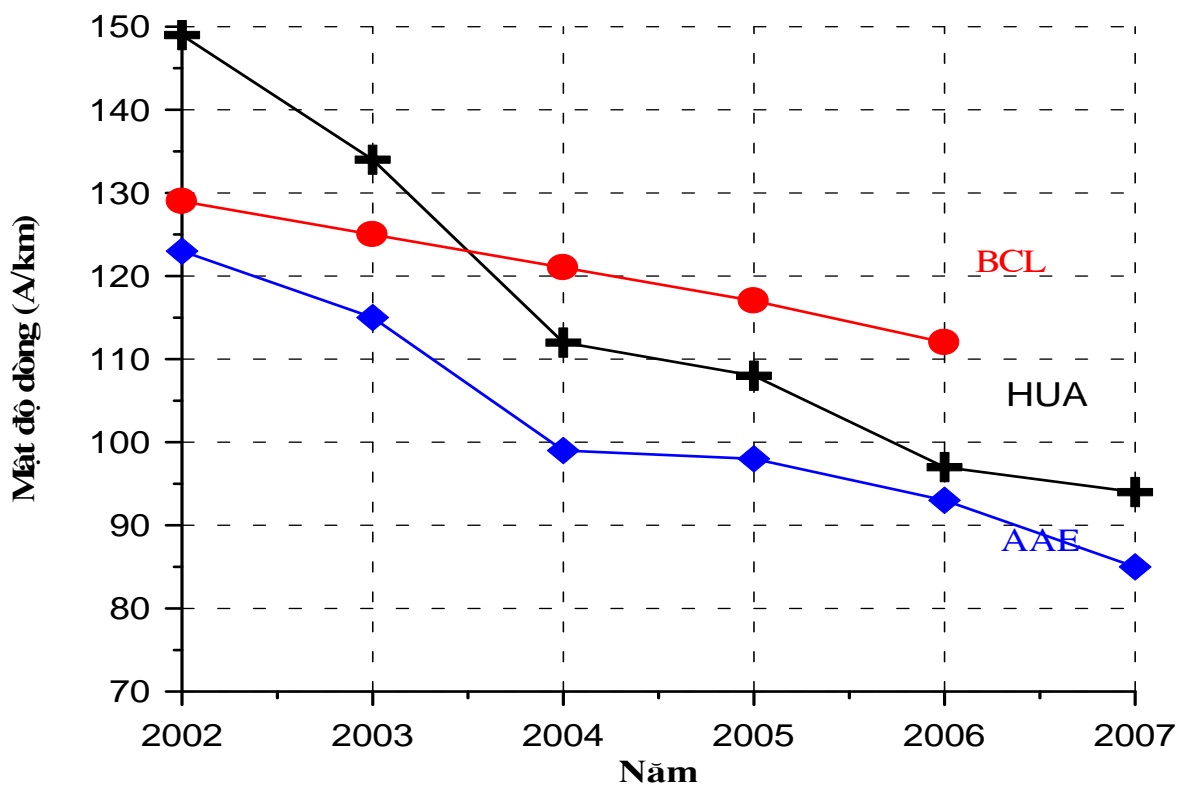
### 3.5 Biến thiên theo hoạt động Mặt Trời của EEJ

Hình 3.21a biểu diễn giá trị trung bình tháng số vết đen Mặt Trời thu được trong khoảng thời từ năm 2002 đến hết năm 2007 với đường liền nét là giá trị trung bình (tính với cửa sổ trượt 12 tháng cho toàn bộ số liệu), số vết đen Mặt Trời có xu hướng giảm dần trong khoảng thời gian nghiên cứu. Hình 3.21b biểu diễn giá trị trung bình năm mật độ dòng EEJ tính từ số liệu của 3 đài địa từ (HUA, AAE, BCL) cho từng đài và hình 3.21c biểu diễn giá trị trung bình năm mật độ dòng của EEJ phụ thuộc vào kinh tuyến trong các năm 2002, 2004, 2007 thu được trên vệ tinh CHAMP với khoảng thời gian tương tự như hình 3.21a. Từ các hình 3.21a, 3.21b, 3.21c chúng ta thấy rằng  $j_0$  tính từ số liệu mặt đất và số liệu vệ tinh CHAMP tại vị trí của cả 3 đài địa từ đều giảm theo hoạt tính mặt trời từ 2002 đến 2007. Ngoài ra, trên hình 3.21c còn cho thấy  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh CHAMP biến đổi phức tạp theo kinh tuyến, biến đổi của mật độ dòng EEJ và hoạt tính mặt trời không đồng nhất ở các vùng kinh tuyến khác nhau. Tại các khu vực có kinh tuyến trong khoảng từ  $40^0E$  đến  $180^0E$ , từ  $70^0W$  đến  $100^0W$ , từ  $160^0W$  đến  $180^0W$  giá trị mật độ dòng giảm dần theo số vết đen Mặt Trời, ở các khu vực kinh tuyến còn lại giá trị mật độ dòng biến đổi không theo quy luật trên.

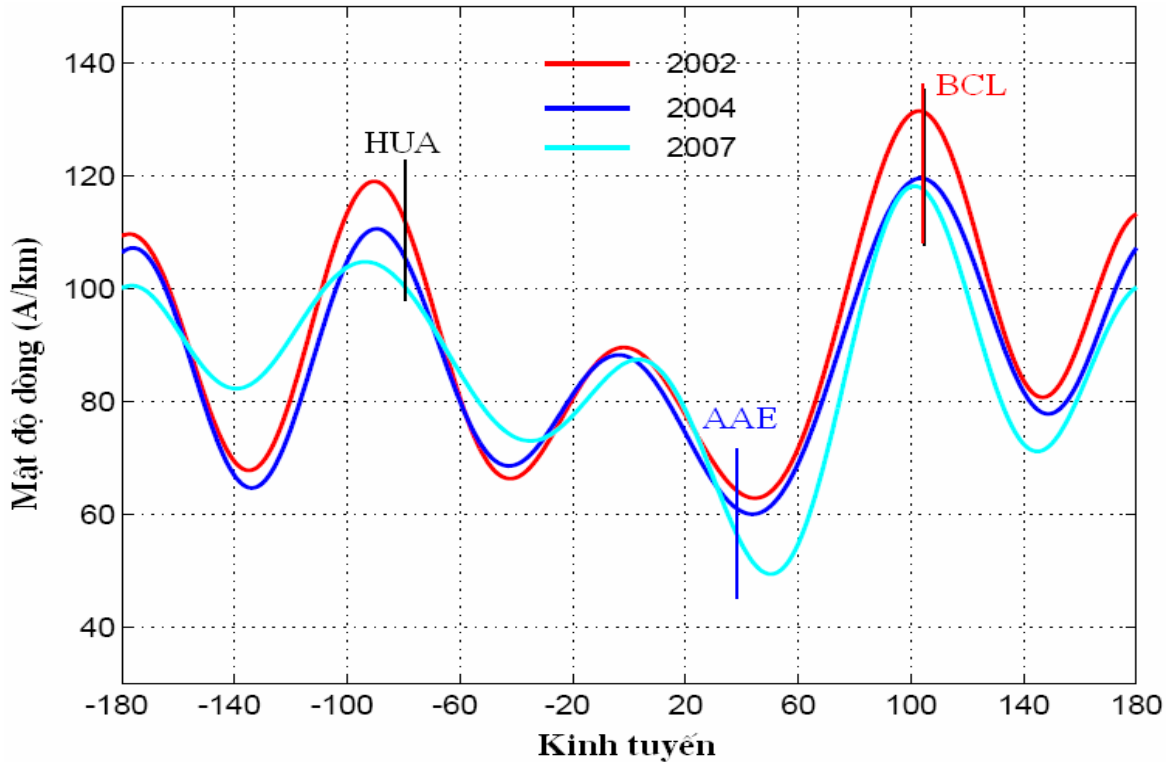
Như vậy, sự biến đổi mật độ dòng EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP với sự hoạt động của Mặt Trời thể hiện tính bất đồng nhất theo kinh tuyến của EEJ, điều này phản ánh rằng biến đổi của mật độ dòng  $j_0$  chịu ảnh hưởng từ nhiều nguồn phức tạp: hoạt tính mặt trời, các quá trình điện động lực trong tầng điện ly, triều khí quyển có nguồn gốc từ tầng đối lưu... như đã phân tích.



Hình 3.21a: Giá trị trung bình tháng(chấm tròn) số vết đen Mặt Trời từ năm 2002-2007, đường nét liền là giá trị trung bình trượt 12 tháng.



Hình 3.21b: Giá trị  $j_0$  cho từng năm tính từ số liệu 3 trạm (HUA; AAE; BCL).



Hình 3.21c: Giá trị  $j_0$  tính từ số liệu vệ tinh CHAMP năm 2002, 2004, 2007 và vị trí để xác định  $j_0$  tại vị trí các đài địa từ HUA, AAE, BCL.

### 3.6 Mô hình hóa EEJ từ số liệu vệ tinh CHAMP

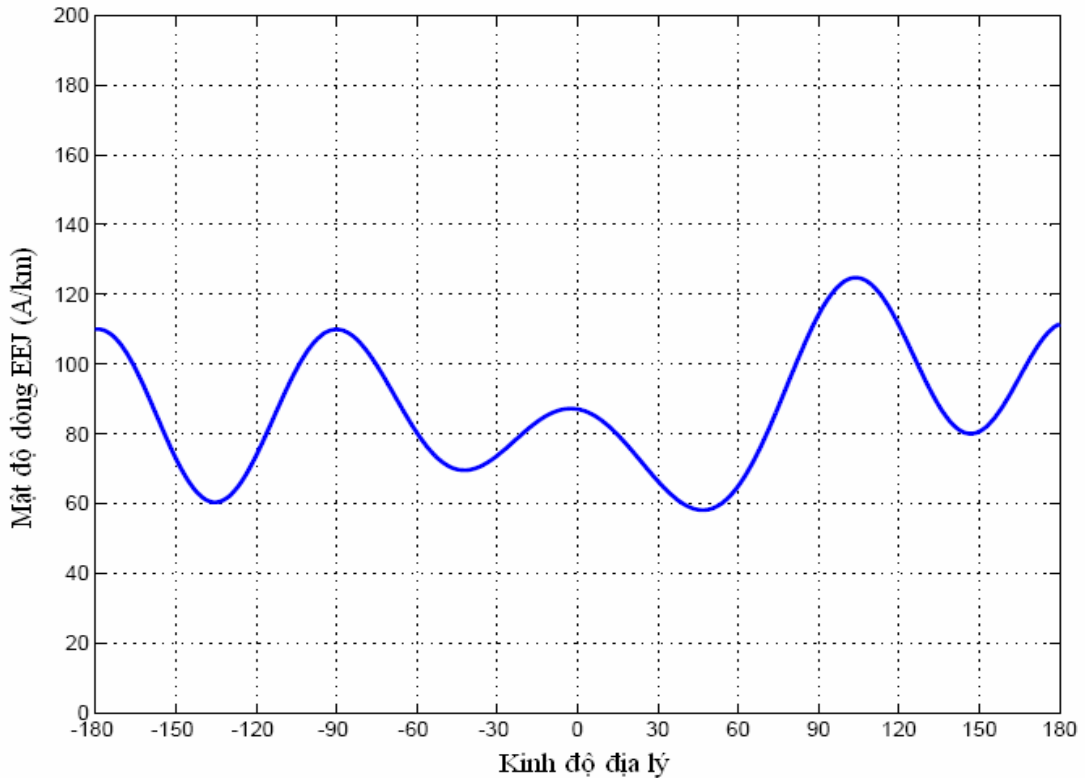
Từ giá trị mật độ dòng  $j_0$  tính từ 6 năm số liệu CHAMP (Hình 3.22), và áp dụng phương trình tổng quát 2.34 đã nêu trong chương 2 (với  $j_{12}(\lambda)$  chính là giá trị  $j_0$  tại kinh tuyến bất kỳ). Sau đó, áp dụng công thức 2.40 và 2.41 để dàng tính được các thành phần của trường từ do EEJ gây ra.

#### 3.6.1 Mô hình hóa các thành phần trường từ do EEJ gây ra

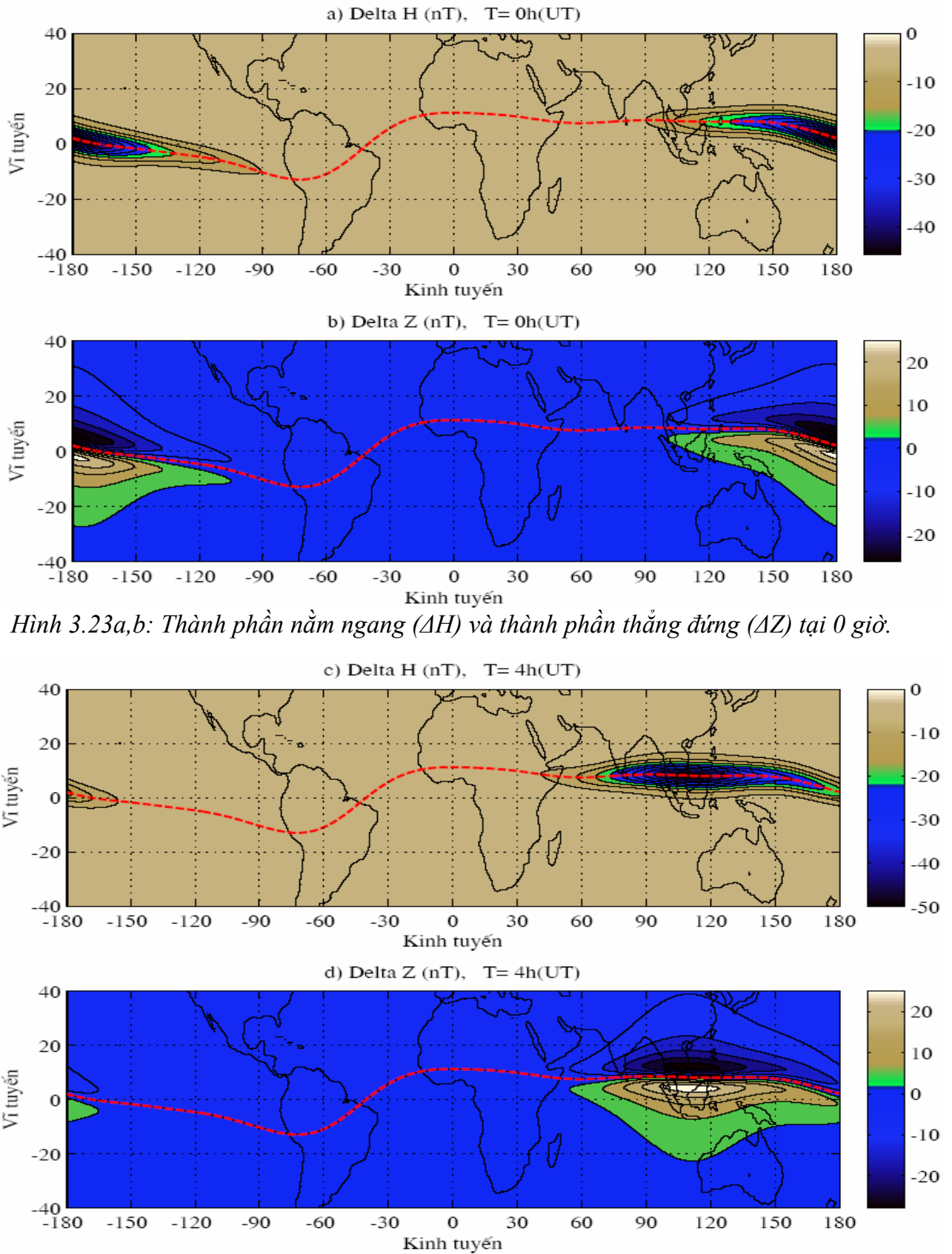
Hình 3.23a,c,e,g,m,p và hình 3.23b,d,f,h,q lần lượt là giá trị của các thành phần  $\Delta H$  (Delta H) và  $\Delta Z$  (Delta Z) trung bình 6 năm số liệu trên toàn cầu tính tại độ cao  $h=400\text{km}$  so với mặt đất; một nửa bề rộng  $a=330\text{km}$ ;  $t_m=4$  giờ;  $T=12$  giờ; tương ứng tại 0giờ, 4giờ, 8giờ, 12giờ, 16giờ và 20giờ (giờ quốc tế). Giá trị đạt cực đại của  $\Delta H$  khoảng 60nT (lấy trị tuyệt đối), biên độ cực đại của  $\Delta Z$  vào khoảng 40nT, khoảng cách đường đồng mức cho các hình vẽ là 10nT. Từ các hình vẽ này có thể nhận thấy rằng hiệu ứng của EEJ nằm tại từng thời điểm đều tồn tại trong khoảng nửa ngày (dải kinh tuyến khoảng  $180^\circ$ ), và theo thời gian hiệu ứng EEJ di chuyển từ

đông sang tây do hiệu ứng quay của Trái Đất.

Hình 3.24 biểu diễn giá trị 2 thành phần  $\Delta H$  và  $\Delta Z$  tại giữa trưa địa phương trên toàn kinh tuyến. Nó cho phép chúng ta có cái nhìn tổng thể về phân bố của từng thành phần trường do EEJ gây ra trên toàn cầu tại cùng một thời điểm. Trên hình vẽ này, chúng ta nhận thấy rằng cả  $\Delta H$  và  $\Delta Z$  đều thể hiện được các khu vực có đỉnh cực trị như trên hình 3.22 ở trên và chúng ta cũng có thể thấy hiệu ứng của EEJ cực đại ở khu vực có kinh tuyến  $105^\circ$  như đã kết luận ở chương trước. Như vậy, mô hình 3EM là mô hình thực nghiệm đã cho phép mô tả khá tốt dòng điện xích đạo phụ thuộc vào kinh độ, vĩ độ và thời gian địa phương, cho chúng ta một bức tranh khá hoàn chỉnh về biên độ, qui luật phân bố, thời gian xuất hiện, hướng dịch chuyển của hệ dòng điện này trên toàn cầu mà khi chỉ dựa vào các quan sát rời rạc đã không phản ánh được. Dựa vào mô hình này chúng ta có thể tính được giá trị mật độ dòng điện của một điểm quan sát bất kỳ hay dự báo được biên độ của nó trong tương lai mà các giá trị này khá tin cậy. Tiếp theo, chúng tôi sẽ đánh giá độ lệch bình phương trung bình giữa giá trị thực tế và mô hình.

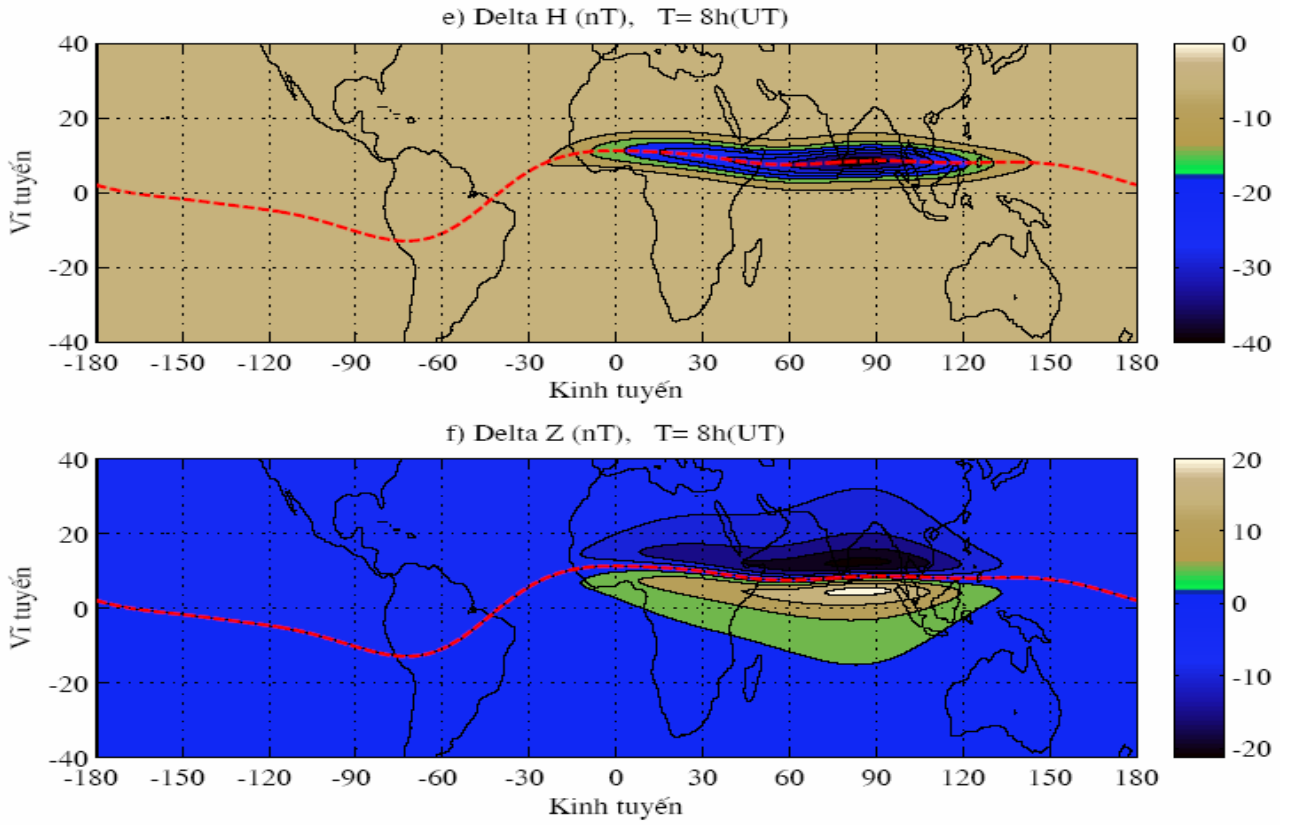


Hình 3.22: Giá trị  $j_0$  trung bình từ 6 năm số liệu vệ tinh CHAMP (2002-2007) tại các kinh tuyến khác nhau.

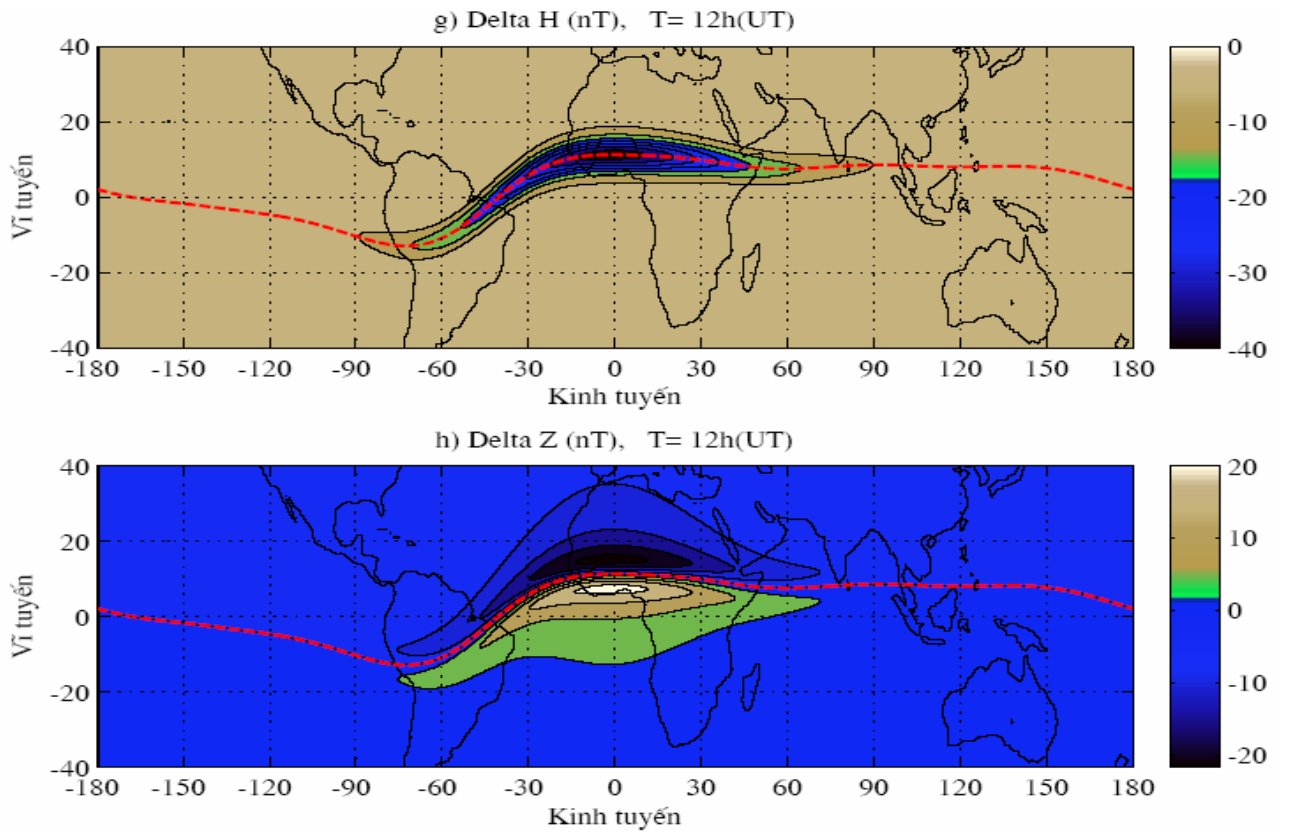


Hình 3.23a,b: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 0 giờ.

Hình 3.23c,d: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 4 giờ.

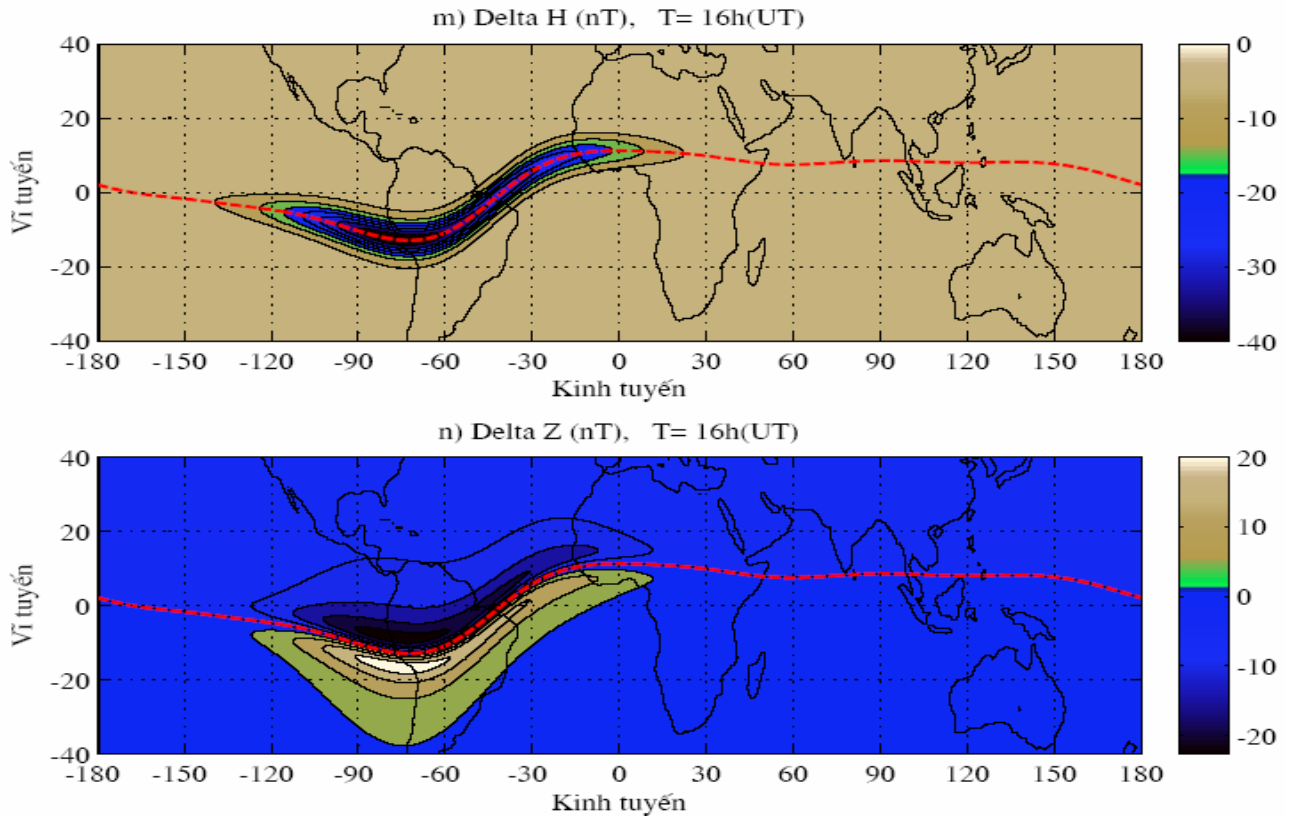


Hình 3.23ef: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 8 giờ.

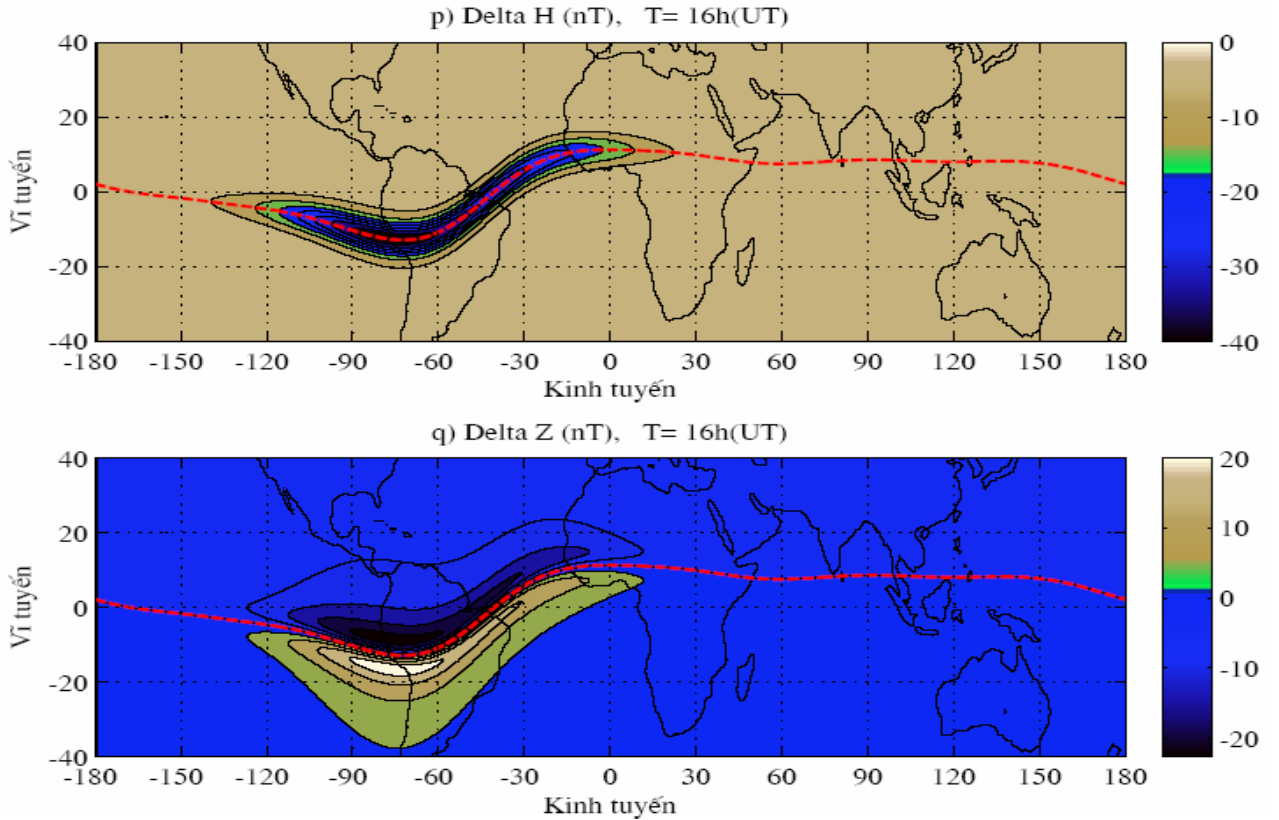


Hình 3.23g,h: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 12 giờ.

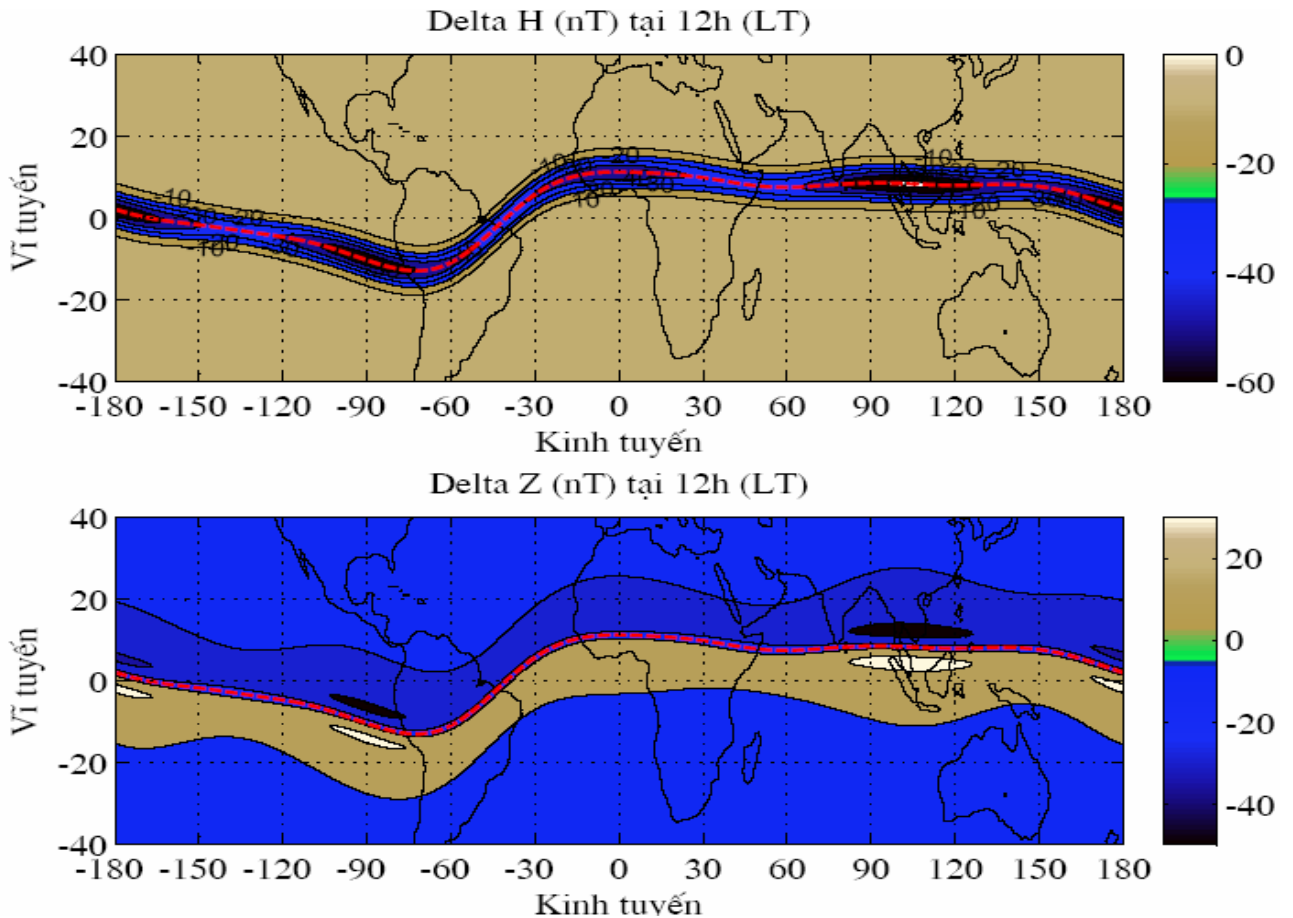




Hình 3.23m,n: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 16giờ.



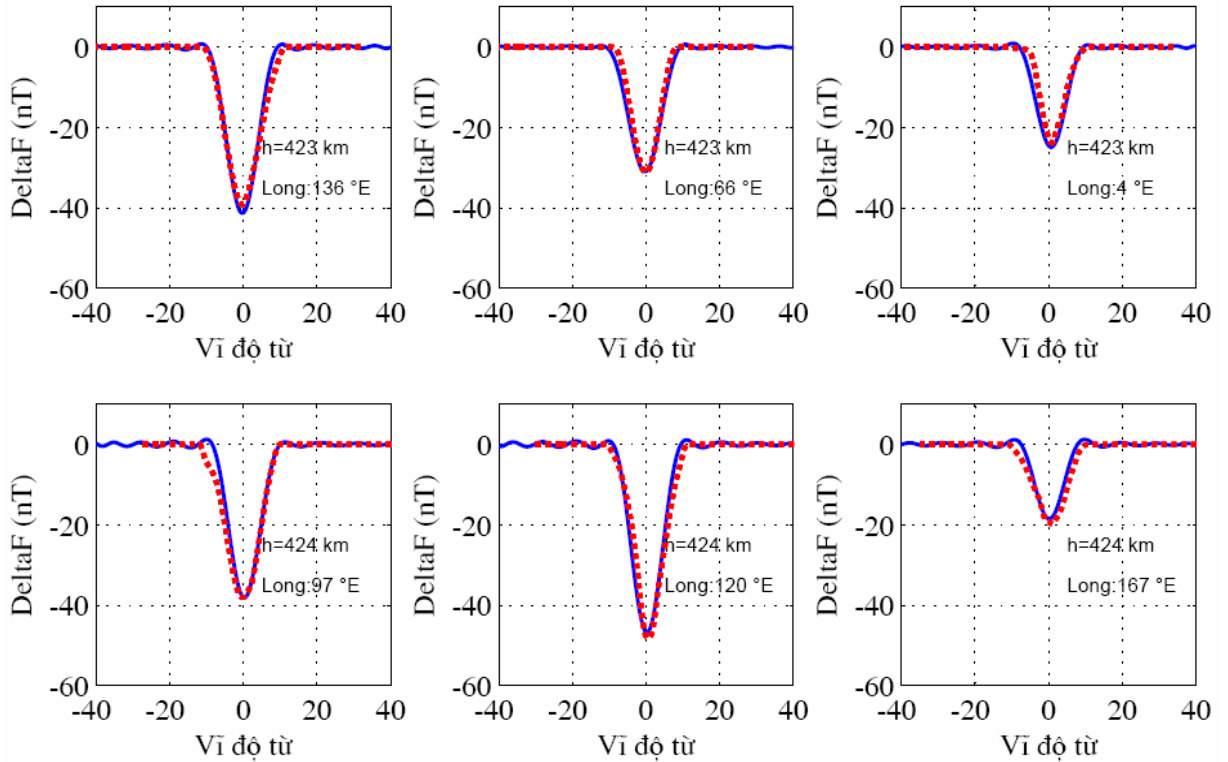
Hình 3.23p,q: Thành phần nằm ngang ( $\Delta H$ ) và thành phần thẳng đứng ( $\Delta Z$ ) tại 20giờ.



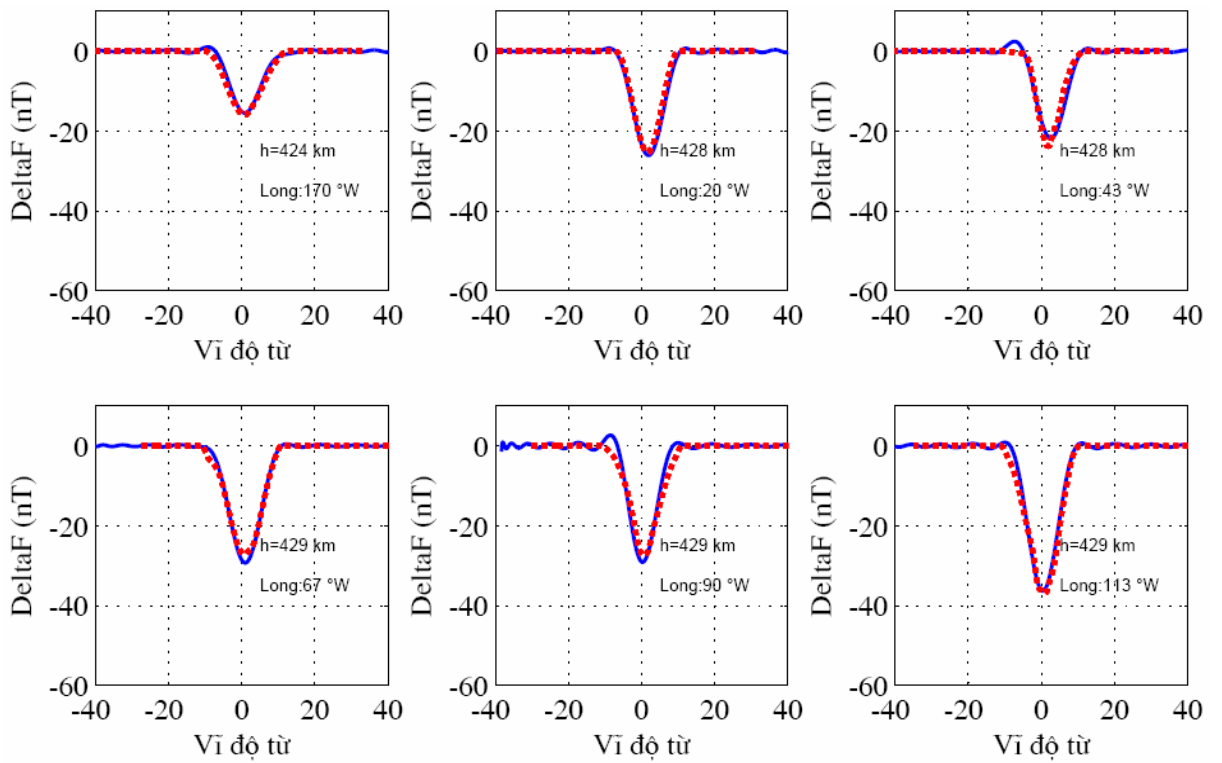
Hình 3.24a,b: Giá trị  $\Delta H$  (hình trên) và  $\Delta Z$  (hình dưới) tại giữa trưa địa phương trên toàn cầu.

### 3.6.2 So sánh kết quả tính mô hình và số liệu thu được từ CHAMP

Hình 3.11 biểu diễn việc so sánh giữa EEJ thu được từ mô hình và EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP cho năm 2003 tại các vùng có kinh tuyến khác nhau: hình 3.11a là một vài lát cắt số liệu cho khu vực có kinh tuyến từ  $0-180^{\circ}E$ , hình 3.11b cho khu vực kinh tuyến  $0=180^{\circ}W$ . Trên mỗi hình vẽ đường nét đứt màu đỏ là giá trị  $\Delta F$  (hay DeltaF) do EEJ gây ra tính được từ mô hình, đường nét liền màu xanh là giá trị  $\Delta F$  từ số liệu CHAMP cho mỗi lát cắt số liệu. Trên mỗi hình còn được biểu diễn các tham số khác như:  $h$  là giá trị độ cao của vệ tinh, Long là kinh tuyến vệ tinh bay qua. Chúng ta nhận thấy rằng các đường  $\Delta F$  tính từ mô hình và từ số liệu quan sát là khá trùng nhau. Chúng tôi đã tiến hành tính độ lệch bình phương trung bình (RMS) cho toàn bộ số liệu của 6 năm (2002-2006) là  $5.4nT$ , giá trị độ lệch này là rất nhỏ so với trường từ do EEJ gây ra (khoảng vài chục nT) và mô hình mật độ EEJ xây dựng như đã trình bày hoàn toàn có thể chấp nhận được.



Hình 3.25a:  $\Delta F$  thu được từ mô hình (đường màu đỏ) và từ CHAMP (đường màu xanh) của một vài lát cắt trong vùng kinh tuyến từ  $0^0 - 180^0E$ .



Hình 3.25b:  $\Delta F$  thu được từ mô hình (đường màu đỏ) và từ CHAMP (đường màu xanh) của một vài lát cắt trong vùng kinh tuyến từ  $0^0 - 180^0W$ .

### Kết luận chương 3

Từ việc sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP với hơn 9600 lát cắt số liệu trong vòng 6 năm và số liệu trường từ thu được tại 3 cặp đài địa từ đại diện cho 3 châu lục khác nhau, chúng tôi đã tính được phần trường từ và giá trị mật độ dòng điện của EEJ trên toàn cầu cũng như tại vị trí của các đài địa từ. Tiếp theo, sử dụng kiểu mô hình thực nghiệm kiểu 3EM của Doumouya và chuỗi số liệu là giá trị mật độ dòng điện của EEJ tính từ số liệu CHAMP trong vòng 6 năm để mô hình hệ dòng này. Sau đây là một số kết luận quan trọng:

- Việc sử dụng các đa thức có bậc khác nhau cho các lát cắt số liệu CHAMP khác nhau để xấp xỉ phần trường không phải do EEJ gây ra đã cho phép tách hết được phần trường từ do EEJ gây ra.

- Biên độ của trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu vệ tinh CHAMP nằm trong khoảng từ 20nT đến 67nT (tính tại độ cao quỹ đạo vệ tinh), tùy từng kinh tuyến và tại các thời gian khác nhau giá trị này cũng khác nhau. Tại vùng có kinh tuyến khoảng 105<sup>0</sup>E (qua Việt Nam) trường từ do EEJ gây ra đạt giá trị lớn nhất.

- Giá trị trung bình năm của mật độ dòng điện tính tại tâm của EEJ tính từ số liệu vệ tinh CHAMP biến đổi trong khoảng từ 40 A/km đến 140 A/km và mật độ dòng EEJ tại vùng có kinh tuyến khoảng 105<sup>0</sup>E cũng lớn nhất. Trên toàn kinh tuyến, thường có 4 cực đại và 4 cực tiểu hay còn gọi là số sóng bậc 4 trên toàn cầu.

- Vị trí trung tâm của dải dòng EEJ xác định từ số liệu CHAMP hầu như nằm xung quanh xích đạo từ trong khoảng  $\pm 1^0$ .

- Mật độ dòng của EEJ cũng biến đổi theo mùa rõ rệt, EEJ lớn nhất vào xuân phân và giảm dần vào thu phân, mùa hè, yếu nhất vào mùa đông. Sự thay đổi này chủ yếu do quy luật dịch chuyển tâm của hệ dòng Sq theo mùa mà cường độ của EEJ lại tỷ lệ nghịch với khoảng cách của 2 tâm Sq ở hai bán cầu.

- Mật độ dòng của EEJ các tháng mùa hè và các phân điểm tồn tại 4 đỉnh cực đại và 4 đỉnh cực tiểu EEJ trên toàn cầu. Vào mùa đông, EEJ chỉ tồn tại 3 đỉnh cực đại và 3 đỉnh cực tiểu, cực đại qua vùng kinh tuyến 135<sup>0</sup>W là lớn nhất.

- Mật độ dòng EEJ tính từ số liệu các đài địa từ trong khoảng từ 70A/km – 150A/km.

- Các biến thiên theo mùa của EEJ tính từ số liệu vệ tinh và từ số liệu mặt đất khá tương ứng với nhau, mạnh nhất vào xuân phân, yếu dần vào thu phân, mùa hè và yếu nhất vào mùa đông (trừ khu vực trong khoảng từ kinh tuyến  $110^{\circ}\text{W}$  đến  $170^{\circ}\text{W}$ , EEJ vào mùa đông lại lớn hơn vào mùa hè).

- Với số liệu mặt đất tính tại vị trí của 3 đài địa từ, mật độ dòng của EEJ tỷ lệ với số vết đen Mặt Trời. Nhưng với số liệu mật độ dòng EEJ tính từ số liệu CHAMP mỗi liên hệ này phức tạp hơn, một số vùng kinh tuyến không theo quy luật trên. Điều này phản ánh những bất đồng nhất theo kinh tuyến của EEJ.

- Mô hình 3EM là mô hình thực nghiệm đã cho phép mô tả khá tốt dòng điện xích đạo phụ thuộc vào kinh độ, vĩ độ và thời gian địa phương, với độ lệch bình phương trung bình (RMS) giữa số liệu thực tế và từ mô hình nhỏ hơn  $5.4\text{nT}$  của trường từ do EEJ gây ra cho toàn bộ các kinh tuyến khác nhau và cho toàn bộ 6 năm số. Độ lệch này cũng thể hiện sự biến đổi phức tạp của EEJ trên toàn cầu do sự tác động của nhiều nguyên nhân khác nhau như đã trình bày trong phần đầu chương này, ngoài ra có thể do chất lượng số liệu vệ tinh do độ cao quỹ đạo của nó, do phương pháp tách trường từ do EEJ gây ra từ số liệu thu được...

- Tại những khu vực có biên độ của EEJ lớn (như vùng kinh tuyến  $105^{\circ}\text{E}$ ) thì độ lệch giữa mô hình và giá trị thu được thường nhỏ hơn những vùng EEJ có giá trị nhỏ. Nhìn chung, giá trị của mô hình thường nhỏ hơn giá trị quan sát.

- Theo mô hình này, EEJ tại vùng kinh tuyến qua Việt Nam sẽ đạt cực đại vào khoảng 5 giờ (UT) hay 12 giờ (LT), khi đó thành phần  $\Delta H$  đạt giá trị cực đại vào khoảng  $60\text{nT}$  và thành phần  $\Delta Z=0$  tại xích đạo từ.

Từ kết quả của nghiên cứu này, khi so sánh giá trị mật độ dòng tại tâm của EEJ trong vòng 6 năm số liệu ứng với một nửa chu kỳ hoạt động của Mặt Trời giữa hai loại số liệu ghi được ở phía trên về phía dưới của dải dòng EEJ cùng với những nghiên cứu khác đã công bố trong thời gian gần đây chúng ta nhận thấy rằng hệ dòng EEJ ngoài liên quan trực tiếp đến hoạt động của Mặt Trời nó còn bị ảnh hưởng của nhiều quá trình điện động lực học khác nhau trên tầng điện ly và các quá trình nhiệt trong tầng khí quyển. Ví dụ hoạt động dynamo trong tầng điện ly, một trong những quá trình ảnh hưởng trực tiếp đến cấu trúc độ dẫn trong lớp E tầng điện ly bao

gồm sự chuyển động của các ion, gió trung hòa và sự trôi dạt thẳng đứng điện từ  $\vec{E} \wedge \vec{B} \dots$ . Như vậy có thể thấy rằng mật độ EEJ ở quy mô toàn cầu bị ảnh hưởng bởi nhiều quá trình vật lý phức tạp trong tầng điện ly và tầng khí quyển bên dưới, và nghiên cứu về EEJ vẫn đang được sự quan tâm của cộng đồng các nhà khoa học quốc tế.

## CHƯƠNG 4

### TRƯỜNG TỪ BÌNH THƯỜNG KHU VỰC VIỆT NAM VÀ LÂN CẬN TỪ SỐ LIỆU VỆ TINH CHAMP

Trong chương 3 luận án đã trình bày việc sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP để tính toán các thông số EEJ, nghiên cứu các đặc trưng biến đổi của nó trên phạm vi toàn cầu và mô hình hóa hệ dòng này. Trong chương này sử dụng chuỗi số liệu này để xây dựng các bản đồ từ trường bình thường (TTBT) khu vực Việt Nam và lân cận dựa trên một phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu (chương 2) sau đó tách ra bản đồ dị thường từ của các thành phần khác nhau.

Phần trường do các nguồn nằm phía trong Trái Đất gây ra là tổng của trường chính và trường vô. TTBT của một khu vực bao gồm trường chính có nguồn gốc trong nhân, trường lực địa và trường khu vực; trường dị thường có thể coi là trường địa phương, do đất đá có từ tính trong vỏ Trái Đất ở phạm vi địa phương gây ra. Việc xây dựng bản đồ TTBT cho từng khu vực hay mỗi quốc gia rất quan trọng, nó được sử dụng trong hàng hải, hàng không hay tính trường dị thường phục vụ nghiên cứu cấu trúc địa chất, tìm kiếm khoáng sản, nghiên cứu tầng điện ly... Trên thế giới, để tính trường TTBT cho mỗi khu vực nhất định (ví dụ một lãnh thổ) người ta thường sử dụng: phương pháp phân tích đa thức, phương pháp phân tích điều hòa hình chữ nhật, phương pháp SCHA.... Tại Việt Nam, gần đây nhất là vào năm 2003, Hà Duyên Châu [33] đã xây dựng bản đồ TTBT cho Việt Nam sử dụng kết quả đo đạc ở 58 điểm đo lập phân bố rải rác trên khắp lãnh thổ nước ta và sử dụng đa thức bậc hai để loại bỏ trường dị thường cho từng điểm. Tuy nhiên, do hạn chế về số liệu và do phân lãnh thổ Việt Nam kéo dài cũng như chỉ sử dụng đến đa thức bậc hai dẫn đến sai số khá lớn. Để khắc phục những hạn chế trên, trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp SCHA dựa trên số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP để xây dựng bản đồ TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận (bao gồm toàn bộ lãnh thổ, lãnh hải của Việt Nam và một số Quốc Gia trong khu vực). Kết quả của nghiên cứu này là bộ sơ đồ các thành phần TTBT niên đại 2007.0 cho khu vực Việt Nam và các quốc gia lân cận cũng như một số nhận xét ban đầu về trường do lớp vỏ Trái Đất gây

ra khi so sánh bản đồ này với mô hình trường từ chuẩn quốc tế (IGRF) khi sử dụng hệ số phân tích điều hòa chỏm cầu  $K_{int}=8$  (ứng với bước sóng khoảng 1000km) với chuỗi số liệu thu được tại quỹ đạo của CHAMP đã được lưới hóa với kích thước lưới  $0.1^0 \times 0.1^0$ . Phần cuối là tập sơ đồ về dị thường từ cho khu vực nghiên cứu bao gồm cả khu vực Biển Đông tại độ cao quỹ đạo của vệ tinh CHAMP trung bình là 350km, nơi mà thời gian vừa qua được nhiều nhà khoa học quan tâm nhưng chúng ta còn rất ít số liệu.

#### **4.1 Kết quả tính TTBT khu vực Việt Nam và lân cận**

##### **4.1.1 Lựa chọn số liệu CHAMP và tiền xử lý**

Để sử dụng phương pháp SCHA trình bày ở trên cho việc xây dựng mô hình TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận, trong nghiên cứu này sử dụng số liệu các thành phần X, Y, Z và trường tổng F của trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP trong vòng 2 năm (2006, 2007). Việc chỉ sử dụng hai năm số liệu là do đây là những năm hoạt động Mặt Trời yếu nhất trong chuỗi số liệu chúng tôi hiện có và do mật độ số liệu đối với cả khoảng thời gian 2002-2007 là quá lớn, hơn nữa quỹ đạo của vệ tinh CHAMP trong hai năm này là thấp nhất và thay đổi ít nhất, chỉ giảm dần từ khoảng 370km xuống 340km và giảm khá tuyến tính trừ một lần điều chỉnh tăng độ cao đầu năm 2006 (Hình 1.13 chương 1).

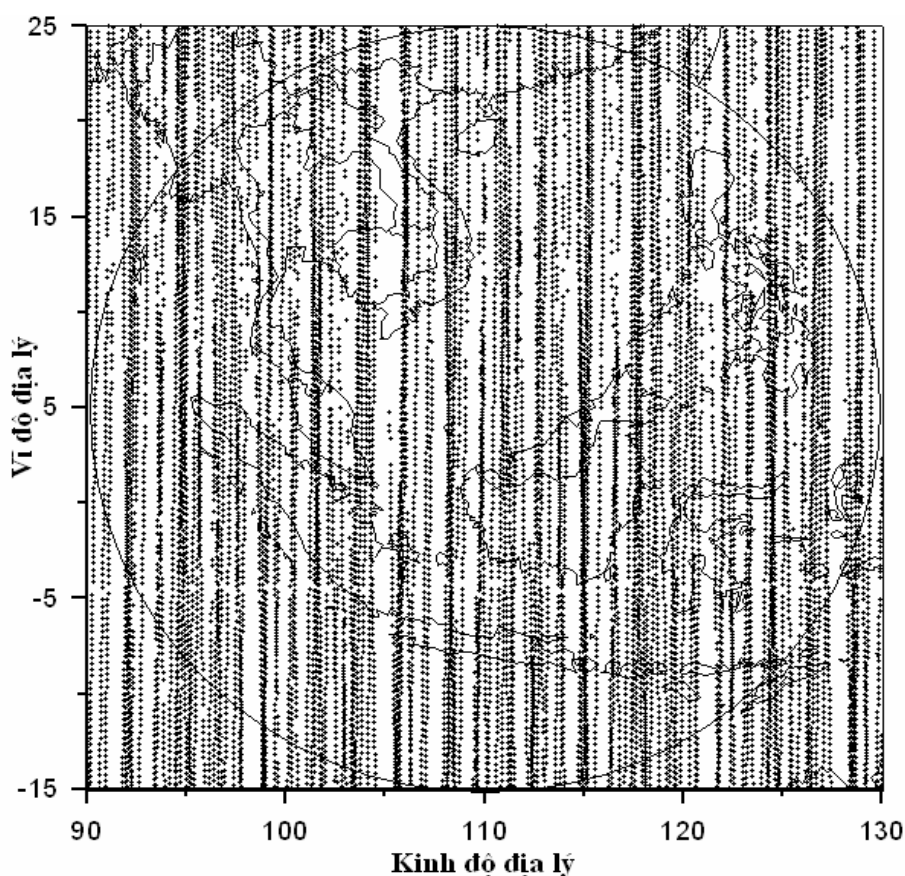
Các số liệu được lựa chọn trong giới hạn theo kinh tuyến từ  $90^0E$  đến  $130^0E$ , theo vĩ tuyến từ  $15^0S$  đến  $25^0N$  (Hình 4.1), với diện tích trên bao gồm toàn bộ phần đất liền một số quốc gia trung khu vực như Việt nam, Thái Lan, Malaysia, Philipin, Indonesia... và bao trọn vùng biển Đông và lân cận. Về mặt địa chấn thì khu vực nghiên cứu trên bao gồm hai vành đai động đất lớn nhất hành tinh là phần Tây Nam của vành đai Thái Bình Dương kéo dài từ Đài Loan, qua quần đảo Philipin tới đông Timor và phần cuối của vành đai động đất Địa Trung Hải-Hymalaya-Myanmar-Andaman-Sumatra-Java –Timor.

Số liệu vệ tinh CHAMP trong khu vực trên được lựa chọn vào những ngày trường từ yên tĩnh, chỉ số  $K_p \leq 3^+$  và giá trị Dst nằm trong khoảng -30 đến 30nT và  $dDst/dt \leq 3$  nT/1giờ và trong khoảng thời gian quanh giữa đêm địa phương (từ 22



giờ đêm đến 5 giờ sáng ngày hôm sau). Việc lựa chọn này đảm bảo trường do các hệ dòng bên ngoài Trái Đất gây ra là nhỏ nhất và tránh được hiệu ứng nhiễu loạn từ.

Toàn bộ số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP thỏa mãn các điều kiện trên trong vòng 2 năm bao gồm 612.002 điểm đo. Hình 4.1 biểu diễn khu vực nghiên cứu và các điểm số liệu thu được (lấy đại diện 1 điểm trong chuỗi 100 điểm dọc theo kinh tuyến) trên vệ tinh CHAMP trong 4 tháng đầu năm 2007. Thực tế, với tốc độ lấy mẫu 1 giây một số liệu và quỹ đạo nghiêng  $87.3^{\circ}$  tập hợp số liệu mà nghiên cứu này sử dụng hầu như phủ kín toàn bộ khu vực nghiên cứu.



Hình 4.1: Khu vực nghiên cứu và số liệu CHAMP trong 4 tháng đầu năm 2007 (khoảng cách biểu diễn là 100 giá trị dọc theo kinh tuyến).

Do các số liệu được đo đạc liên tục trong một khoảng thời gian 2 năm, nên để loại bỏ ảnh hưởng của phần biến thiên theo thời gian chúng tôi tiến hành đưa toàn bộ số liệu về niên đại 2007.0 (tức là thời điểm 0h00 ngày 1.1.2007), việc qui nạp này được thực hiện bằng việc sử dụng các hệ số khai triển trường chuẩn quốc tế IGRF-11 được khai triển đến bậc  $n=8$  đối với biến thiên thế kỷ. Tiếp theo, toàn bộ số liệu

sẽ được loại bỏ phần trường có phạm vi toàn cầu nhờ mô hình IGRF-11 được khai triển đến bậc  $n=13$  trong nghiên cứu [48] tính tại thời điểm tương ứng.

Do mật độ số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP dày đặc nên tại cùng một điểm có thể có nhiều số liệu có giá trị khác nhau và có độ cao khác nhau cũng như do số liệu đầu vào để nghịch đảo quá lớn máy tính không đáp ứng được, do vậy trước khi tính toán phải lưới hóa chuỗi số liệu. Toàn bộ 612.002 điểm đo (tương ứng với 2.448.008 giá trị của 3 thành phần và trường tổng của trường từ) trên sẽ được lưới hóa với kích thước lưới theo kinh tuyến và vĩ tuyến là  $0.1^0 \times 0.1^0$ . Việc lựa chọn kích thước ô như trên đảm bảo trong ô đều có ít nhất một điểm số liệu, giá trị của mỗi ô được lấy là giá trị trung bình của tất cả các điểm quan sát có trong ô và giá trị trung bình này được coi như giá trị trường quan sát ở tâm của ô lưới. Để loại bỏ những giá trị có độ lệch lớn so với các giá trị còn lại trong ô lưới, các giá trị lệch quá  $2nT$  (đối với cả 4 thành phần trường từ) so với giá trị trung bình tương ứng trong ô lưới sẽ được loại bỏ. Sau quá trình lựa chọn trên, số điểm số liệu còn lại để tính trung bình cho mọi ô lưới là 586.375 điểm (ứng với 2.345.500 giá trị 3 thành phần và trường từ tổng).

Trong quá trình tính toán, nghiên cứu này cũng thử so sánh khi dùng toàn bộ số liệu của 2.448.008 điểm đo để xây dựng TTBT và khi chỉ dùng số liệu đã lưới hóa với 160801 điểm đo, độ lệch bình phương trung bình khi dùng số liệu chưa lưới hóa với các thành phần X,Y,Z của trường là:  $RMS-X=10.8nT$ ;  $RMS-Y=11.5nT$ ;  $RMS-Z=16.1nT$  (cùng tính với  $K_{int}=8$ ) độ lệch này là lớn hơn khi dùng số liệu lưới hóa trình bày dưới đây.

#### **4.1.2 TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận**

Trước khi tính toán, công việc quan trọng nhất là phải lựa chọn các tham số sao cho phù hợp với khu vực nghiên cứu và làm giảm thời gian tính toán nhưng vẫn đảm bảo mô hình hóa được phần trường từ cần quan tâm.

- Lựa chọn góc chỏm cầu  $\theta_0$ : do khu vực nghiên cứu như trên hình 4.1 có diện tích trải rộng trong khoảng  $40^0$  theo kinh tuyến cũng như theo vĩ tuyến nên lựa chọn  $\theta_0=20^0$  đủ để phủ kín diện tích cần quan tâm và tâm của chỏm cầu được chọn là tâm của khu vực tại vị trí có tọa độ:  $5^0N$  và  $110^0E$ .

- Tính phần trường do các nguồn bên ngoài Trái Đất gây ra: trong nghiên cứu này, để tính phần trường do các nguồn bên ngoài gây ra tương tự như trong [64] đã lựa chọn bậc  $K_{\text{ext}}=2$  (Bảng 4.1). Hiệu ứng của phần trường ngoài thu được từ mô hình SCHA bằng cách nghịch đảo chuỗi số liệu quan sát khi  $K_{\text{ext}}=2$  và chọn  $K_{\text{int}}=0$ . Sau khi nghịch đảo các hệ số chuỗi khai triển của phần trường ngoài được trình bày trong bảng 4.1. Bảng này cho thấy rằng các hệ số  $(g_k^{\text{me}}, h_k^{\text{me}})$  khá nhỏ và giảm nhanh theo  $k, m$ . Từ các hệ số này chúng ta tính được các thành phần của trường từ ứng với thành phần bên ngoài cho toàn khu vực nghiên cứu, với trường tổng  $F$  tại bề mặt Trái Đất nằm trong khoảng  $\pm 18\text{nT}$  (niên đại 2007.0). Nguồn gốc của trường này có thể do hệ dòng  $S_q$  và các hệ dòng trong từ quyển gây ra. Như vậy, việc lựa chọn  $K_{\text{ext}}=2$  tính cho trường từ do các hệ dòng ở bên ngoài Trái Đất gây ra cho khu vực và niên đại này là hợp lý và chúng ta cũng nhận thấy trường ngoài đã được hạn chế rất nhiều do quá trình lựa chọn số liệu vệ tinh CHAMP ở trên. Chúng tôi cũng so sánh kết quả tính phần trường từ có nguồn gốc bên ngoài Trái Đất gây ra, trong nghiên cứu này dùng số liệu vệ tinh CHAMP cho  $g_1^{0e} = 12,032\text{nT}$  nó khá gần với kết quả nghiên cứu của Kotze [64] dùng số liệu vệ tinh Orsted cho  $g_1^{0e} = 16,91\text{nT}$ , Langel [68] dùng số liệu vệ tinh MAGSAT xác định  $g_1^{0e} = 20,4\text{nT}$ . Như vậy, phần trường bên ngoài đóng góp vào chuỗi số liệu ghi nhận được trên vệ tinh CHAMP tính bằng phương pháp SCHA trong nghiên cứu cho giá trị nhỏ hơn so với các nghiên cứu trên vài nT là do việc lựa chọn số liệu vệ tinh CHAMP để tính toán như đã đề cập ở trên đã hạn chế tối đa sự đóng góp của trường này và theo Langel [68],

Bảng 4.1: Các hệ số  $g_k^{\text{me}}, h_k^{\text{me}}$  ứng với phần trường ngoài

<b>k</b>	<b>m</b>	<b><math>n_k(\text{m})</math></b>	<b><math>g_k^{\text{me}}</math></b>	<b><math>h_k^{\text{me}}</math></b>
1	0	6.3832	12.032	
1	1	4.8432	-4.493	-3.721
2	0	10.4885	-5.650	
2	1	10.0815	0.932	1.107
2	2	8.3553	-0.076	-0.180

đã chỉ ra rằng các hệ số thấp của chuỗi biểu diễn phần lớn phần đóng góp của trường bên ngoài, như vậy việc chọn bậc  $K_{ext}=2$  là phù hợp.

- Lựa chọn bậc  $K_{int}$ : Trước khi sử dụng số liệu theo lưới đã lựa chọn trên để tính các hệ số  $(g_k^{mi}, h_k^{mi})$  ứng với phần trường từ có nguồn gốc bên trong Trái Đất, chúng ta phải loại đi phần trường có nguồn gốc bên ngoài, điều này được thực hiện dễ dàng dựa vào việc khai triển trường từ các hệ số  $g_k^{me}, h_k^{me}$  ở trên. Từ chuỗi số liệu này, sử dụng phương trình (2.44) để nghịch đảo chúng ta tính được các hệ số  $(g_k^{mi}, h_k^{mi})$  ứng với các  $K_{int}$  khác nhau và áp dụng phương trình (2.67, 2.68, 2.69 trong chương 2) ta sẽ thu được ba thành phần trực giao cũng như tính các thành phần khác của trường từ tại từng điểm.

Để lựa chọn bậc  $K_{int}$  tối ưu, chúng tôi tính độ lệch bình phương trung bình (RMS-X, RMS-Y, RMS-Z) ứng với thành phần X,Y,Z của trường bằng phương trình (4.35) với  $K_{int}$  thay đổi từ 1 đến 10 (Bảng 4.2). Hình 4.2 biểu diễn các giá trị RMS-X, RMS-Y, RMS-Z ứng với  $K_{int}$  từ 1-10. Nhìn vào hình vẽ này chúng ta nhận thấy rằng với khu vực nghiên cứu, khi  $K_{int} \geq 8$  thì giá trị RMS cho cả ba thành phần của trường từ đều nhỏ dần và khá ổn định, vì vậy để đảm bảo thời gian tính nghiên cứu này chọn  $K_{int} = 8$  để tính toán (ứng với số phương trình tối thiểu là 81). Khi đó theo công thức (4.28), với việc lựa chọn các thông số như trên chúng ta đã quan tâm đến các sóng có bước sóng khoảng 1000km. Với việc lựa chọn các tham số như trên, các hệ số  $g_k^{mi}, h_k^{mi}$  tính với  $k=m=8$  được trình bày chi tiết trong bảng 4.3, khi các chỉ số k,m càng lớn thì giá trị các hệ số  $g_k^{mi}, h_k^{mi}$  càng nhỏ dần. Các tham số của nghiên cứu này thì phù hợp với kết quả nghiên cứu của Kotze [64] với  $\theta_0=20^0$  và  $K_{int}=7$ ; của Rotanova [100] với  $\theta_0=12^0$  và  $K_{int}=6$ ; của Torta [109] với  $\theta_0=16^0$  và  $K_{int}=10$ .

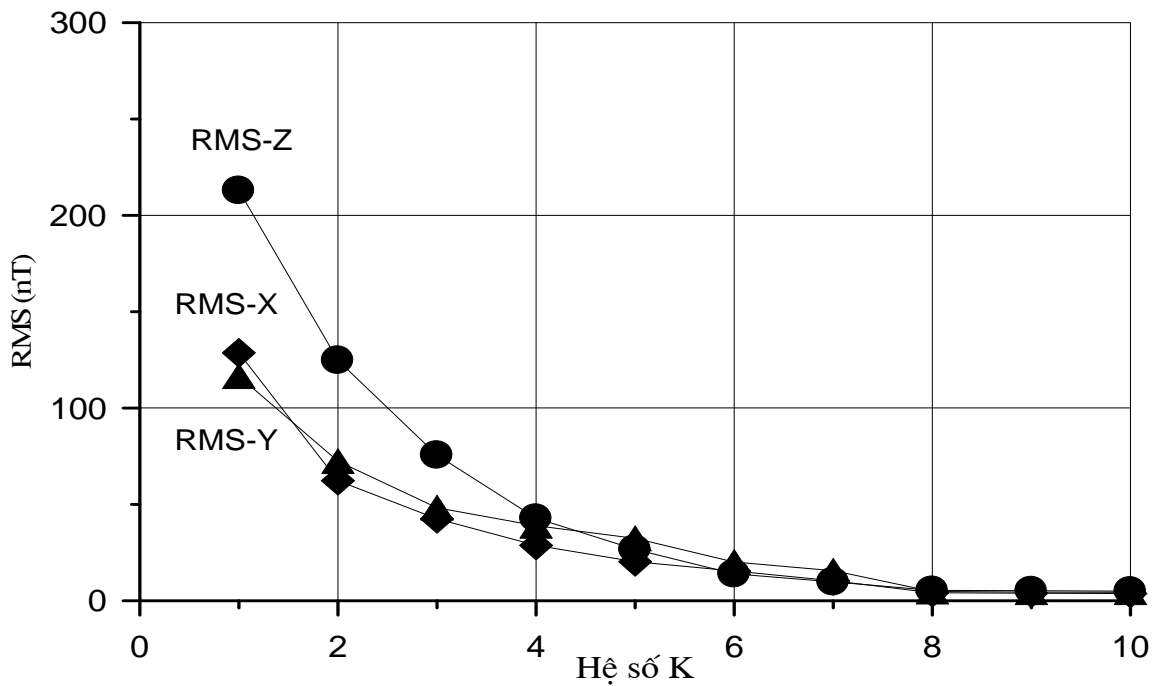
Khi biết được các hệ số điều hòa chòm cầu, nghĩa là chúng ta có được mô hình giải tích của phần trường từ đã loại đi phần trường chính từ mô hình IGRF-11, từ đó có thể tính được giá trị của các thành phần của trường nhờ công thức (2.67), (2.68), (2.69).

Cuối cùng, các thành phần TTBT của khu vực mong đợi thu được bằng cách cộng phần trường tính từ mô hình IGRF với phần trường tính được bằng phương

pháp SCHA đã nêu ở trên. Kết quả TTBT cho niên đại 2007.0 được biểu diễn trên hình 4.3. Các hình 4.3a,b,c,d,e,f,g tương ứng là thành phần trường từ F,H,X,Y,Z,D,I cho khu vực Việt Nam và lân cận.

Bảng 4.2: Độ lệch bình phương trung bình RMS ứng với các  $K_{int}$  khác nhau

$K_{int}$	RMS-X	RMS-Y	RMS-Z
1	128.6	116.5	212.9
2	62.3	72.4	124.8
3	42.5	48.3	75.6
4	28.7	38.9	42.8
5	20.2	32.4	26.7
6	15.4	20.1	13.9
7	10.3	15.6	9.8
<b>8</b>	<b>4.2</b>	<b>4.8</b>	<b>5.4</b>
9	3.9	4.5	5.2
10	3.7	4.4	5.0



Hình 4.2: Độ lệch bình phương trung bình (RMS) ứng với các  $K_{int}$  khác nhau của các thành phần X,Y,Z trường từ.

Bảng 4.3: Các hệ số  $g_k^{mi}, h_k^{mi}$  ứng với phân trường bên trong

<b>k</b>	<b>m</b>	<b><math>n_k(m)</math></b>	<b><math>g_k^{mi}</math></b>	<b><math>h_k^{mi}</math></b>
0	0	0	217.03	
1	0	6.3832	-126.1	
1	1	4.8432	-43.31	55.478
2	0	10.489	191.16	
2	1	10.489	78.385	-46.21
2	2	8.3553	-27.96	22.023
3	0	15.311	-208.7	
3	1	14.793	-112.1	47.909
3	2	14.255	45.331	-30.81
3	3	11.686	15.284	-9.601
4	0	19.604	201.95	
4	1	19.604	105.69	-31.67
4	2	18.754	-83.79	-6.185
4	3	17.858	31.574	22.01
4	4	14.933	20.093	7.336
5	0	24.289	-150.2	
5	1	23.967	-75.46	13.533
5	2	23.64	84.257	9.389
5	3	22.535	-32.33	-29.22
5	4	21.361	-19.45	-14.24
5	5	18.13	-0.012	8.542

<b>k</b>	<b>m</b>	<b><math>n_k(m)</math></b>	<b><math>g_k^{mi}</math></b>	<b><math>h_k^{mi}</math></b>
6	0	28.649	84.355	
6	1	28.649	65.285	-35.11
6	2	28.089	-54.46	-27.02
6	3	27.516	44.944	24.604
6	4	26.2	31.31	15.149
6	5	24.794	-10.64	-8.431
6	6	21.292	8.537	-6.179
7	0	33.279	-28.33	
7	1	33.044	-12.24	31.249
7	2	32.807	18.917	22.661
7	3	32.055	-5.129	-12.99
7	4	31.282	-0.99	-9.902
7	5	29.783	1.009	4.496
7	6	28.176	-5.509	-8.026
7	7	24.429	-2.1	4.964
8	0	37.673	5.545	
8	1	37.673	2.382	-0.528
8	2	37.252	-2.952	0.078
8	3	36.825	2.119	2.277
8	4	35.909	-1.407	0.786
8	5	34.965	-0.948	0.731
8	6	33.304	1.7	-1.044
8	7	31.519	-0.388	-0.417
8	8	27.546	1.392	-1.319

Từ các hình vẽ này, có một số nhận xét về biên độ và hình dáng đường đẳng trị các thành phần của TTBT trong khu vực nghiên cứu niên đại 2007.0 như sau:

- Trường tổng F (hình 4.3a) có độ lớn trong khoảng từ 38600nT đến 49500nT, các đường đẳng trị có xu hướng thưa dần khi vào vùng vĩ độ giữa bản đồ với miền có giá trị thấp nhất nằm ở phía nam của Việt Nam xung quanh vĩ tuyến  $8^{\circ}\text{N}$  và đỉnh cực tiểu nằm ở phía đông của Philippin đạt giá trị nhỏ nhất là 38624nT.

- Thành phần nằm ngang H (hình 4.3b) có độ lớn trong khoảng từ 31600nT đến 41500nT, các đường đẳng trị ở phía bắc và phía nam của bản đồ có xu hướng mau hơn ở giữa bản đồ. Các đường đẳng trị có xu hướng bao quanh giá trị cực đại 41460 nT ở vị trí  $9.2^{\circ}\text{N}- 98.3^{\circ}\text{E}$ .

- Giá trị trường bình thường thành phần bắc X (hình 4.3c) có độ lớn trong khoảng từ 31300nT đến 41500nT. Hệ thống các đường đẳng trị thể hiện một dị thường lớn, đỉnh cực đại nằm ở điểm tọa độ ( $97.8^{\circ}\text{E}$  và  $9.1^{\circ}\text{N}$ ) và đạt giá trị 41458nT.

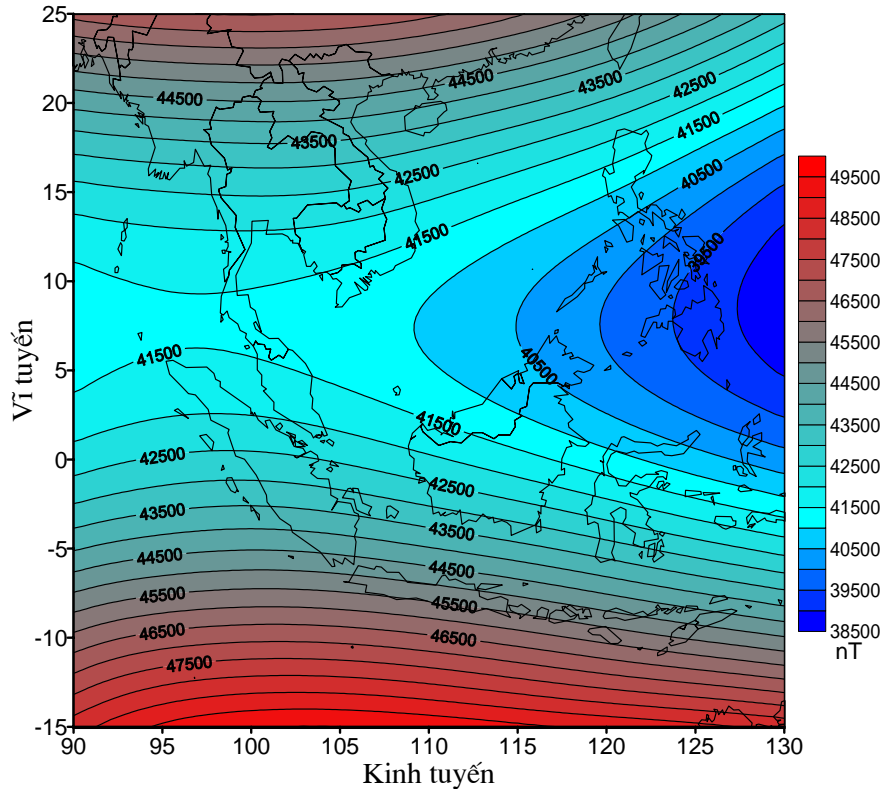
- Giá trị trường bình thường thành phần đông Y (hình 4.3d) các đường đồng mức có biên độ biến đổi trong khoảng từ -3820nT đến 2130nT. Tại phía bắc của Việt Nam các đường đẳng trị cong võng xuống dưới, còn phía nam thì cong võng lên trên. Vùng phía Bắc của Thái Lan (Chiềng Mai) là vùng giao nhau của bốn đỉnh cực trị của bốn dị thường lớn khu vực Châu Á.

- Thành phần trường thẳng đứng Z (hình 4.3e) có độ lớn nằm trong khoảng từ -37000nT đến 28400nT, các đường đẳng trị gần như song song, nằm ngang và cách nhau khá đều đặn. Phía bắc Việt Nam đạt giá trị lớn nhất, sau đó giá trị giảm dần xuống phía nam và đường  $Z=0$  nằm xung quanh vĩ tuyến  $8.2^{\circ}\text{N}$ , tiếp theo Z đạt giá trị âm.

- Độ từ thiên D (hình 4.3f): có độ lớn biến đổi trong khoảng  $-7^{\circ}$  đến  $3.5^{\circ}$ . Các đường đẳng trị nằm khá giống với thành phần Y. Tại phía bắc của Việt Nam các đường đẳng trị cong võng xuống dưới, còn phía nam thì cong võng lên trên. Trên toàn lãnh thổ Việt Nam thành phần D mang giá trị âm, đường đẳng trị  $D=0^{\circ}$  nằm ở phía đông nam của cực nam Việt Nam.

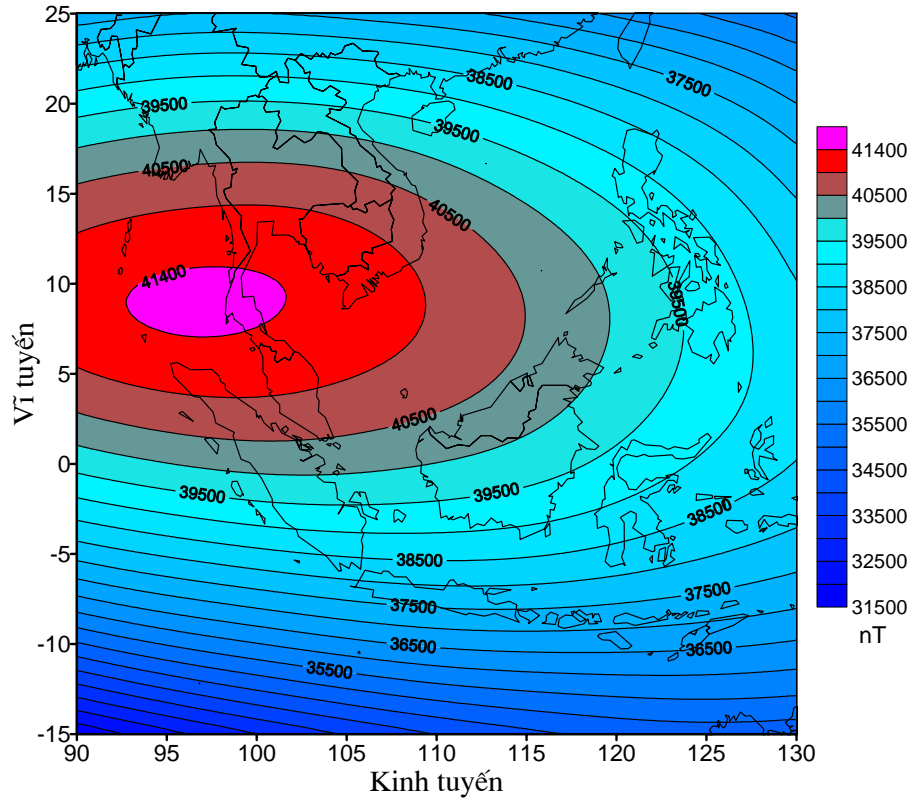
- Độ từ khuynh I (hình 4.3g): các đường đẳng trị nằm thẳng, gần như song song nhau cách đều nhau như thành phần Z. Ở phần phía Nam của Việt Nam, các đường đẳng trị hơi nghiêng về phía đông nam càng xuống phía nam các đường đẳng trị càng nghiêng hơn. Biên độ I biến đổi trong khoảng  $-49^{\circ}$  đến  $37^{\circ}$ . Tại phía bắc Việt Nam, I đạt giá trị lớn nhất, sau đó giá trị giảm dần xuống phía nam và đường  $I=0$  nằm xung quanh vĩ tuyến  $8^{\circ}\text{N}$ , tiếp theo I đạt giá trị âm.

Để khẳng định sự chính xác của phương pháp, tiến hành so sánh TTBT tính bằng phương pháp SCHA tại vị trí ứng đài địa từ Phú Thụy và đài xích đạo từ Bạc Liêu với số liệu ghi được tại hai đài địa từ này (cả hai đài địa từ này đều sử dụng máy ghi từ hiện số có độ chính xác cao). Từ số liệu trong vòng hai năm 2006, 2007 tại Phú Thụy, và năm 2006 tại Bạc Liêu (năm 2007 mất số liệu), sau khi hiệu chỉnh biến thiên theo thời gian thì độ lệch giữa mô hình TTBT và số liệu tại các đài địa từ cho ba thành phần X,Y,Z như sau: tại vị trí đài Phú Thụy:  $\Delta X= 1.3\text{nT}$ ;  $\Delta Y= -2.4\text{nT}$ ;  $\Delta Z= -2.8\text{nT}$ . Tại Vị trí đài Bạc Liêu:  $\Delta X= 1.7\text{nT}$ ;  $\Delta Y= -2.1\text{nT}$ ;  $\Delta Z= -3.0\text{nT}$ . Các giá trị này là khá nhỏ so với biên độ của trường từ tính được.

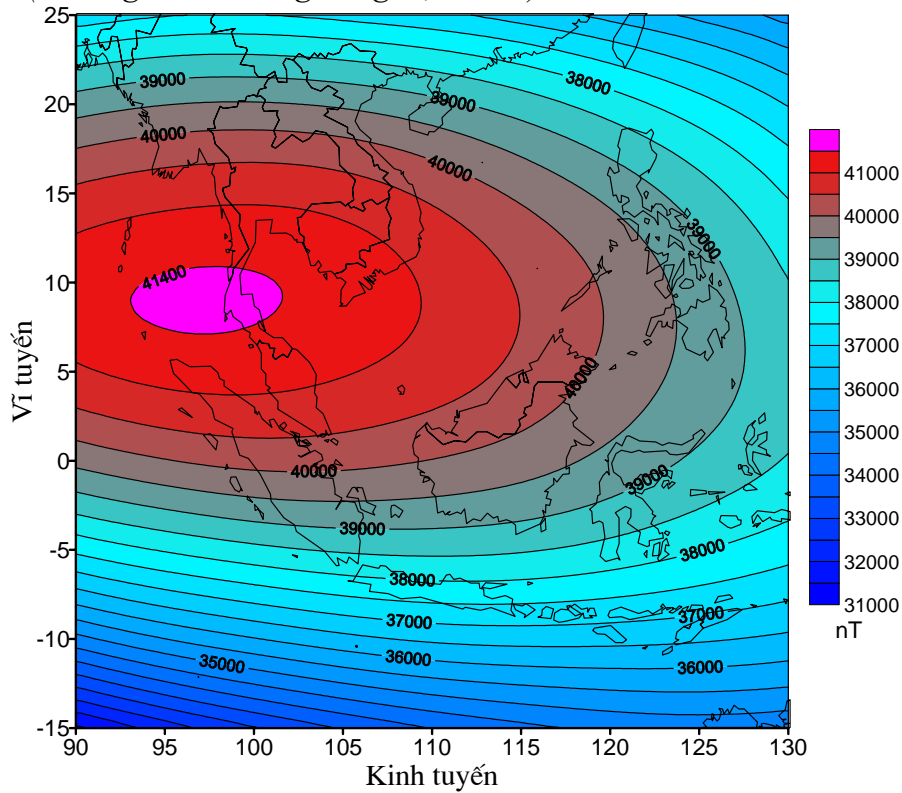


Hình 4.3a: TTBT thành phần F niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).

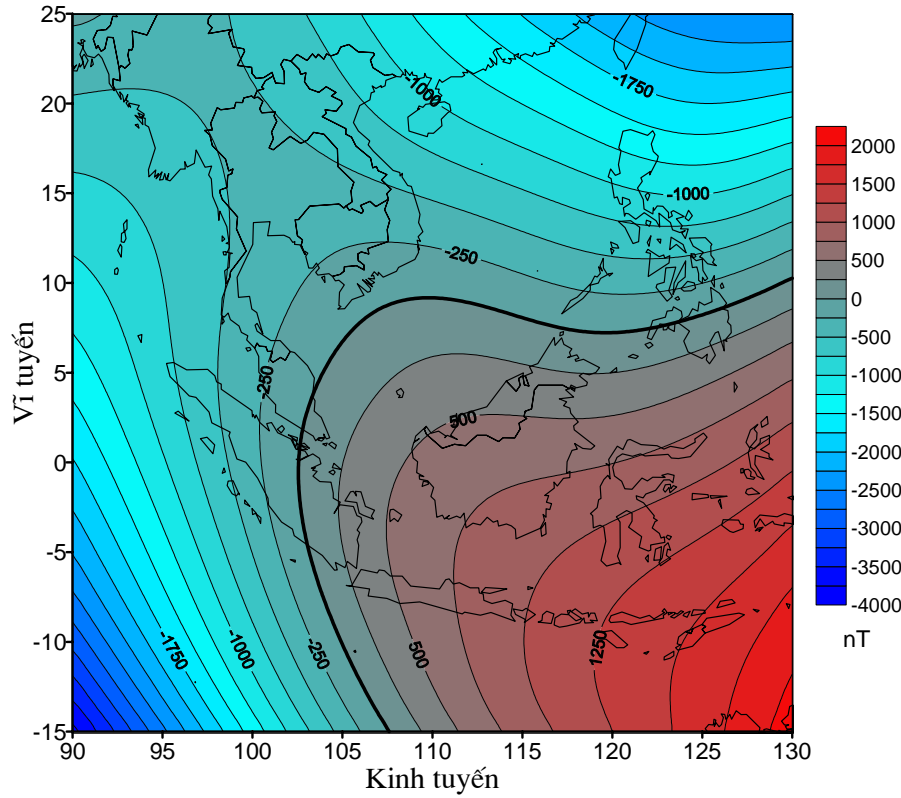




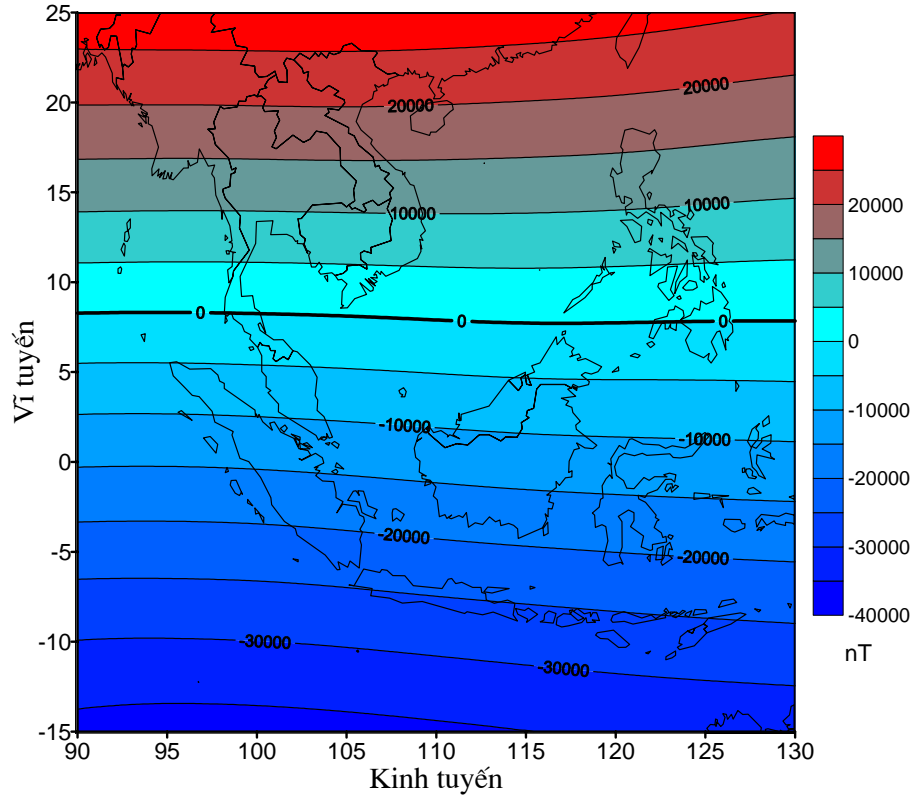
Hình 4.3b: TTBT thành phần H niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).



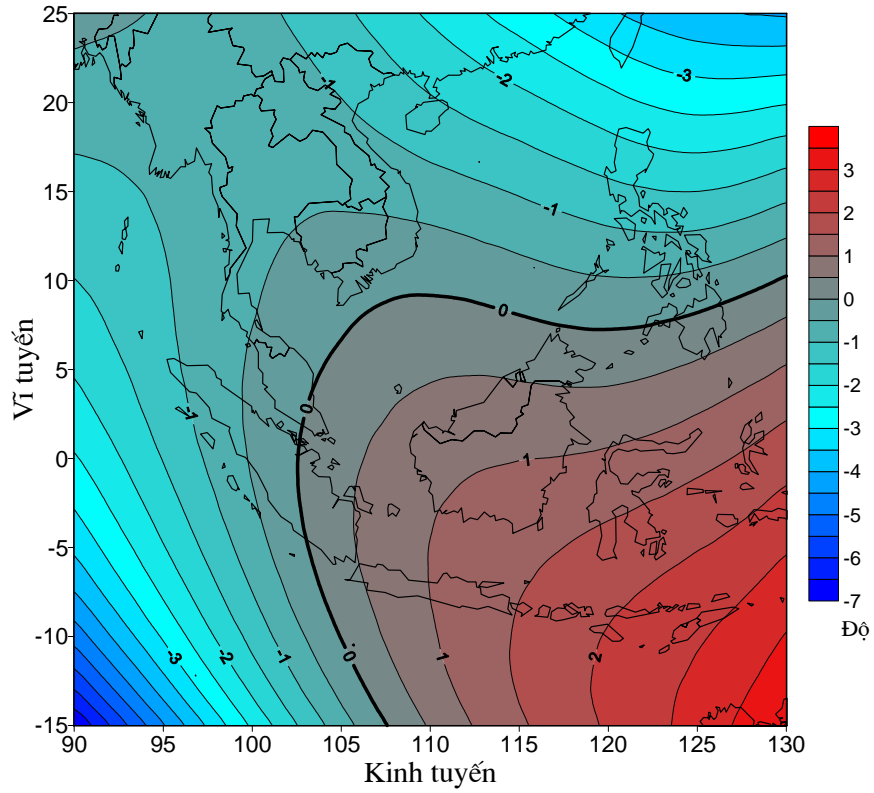
Hình 4.3c: TTBT thành phần X niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).



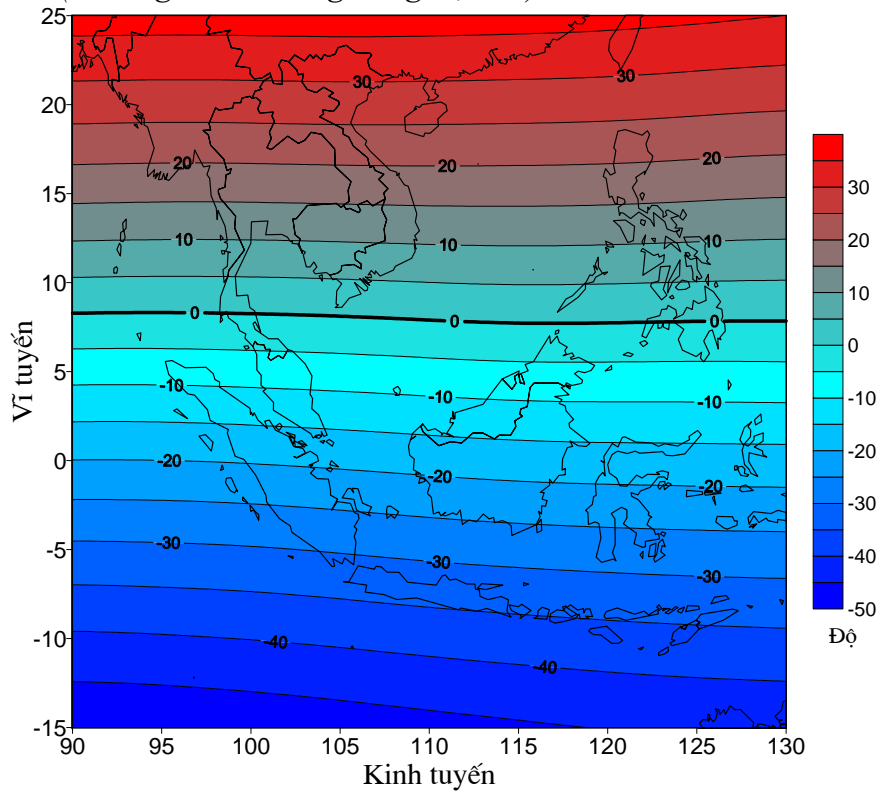
Hình 4.3d: TTBT thành phần Y niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 250nT).



Hình 4.3e: TTBT thành phần Z niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị 5000nT).



Hình 4.3f: TTBT độ từ thiên  $D$  niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị  $0.5^{\circ}$ ).



Hình 4.3g: TTBT độ từ khuyh  $I$  niên đại 2007.0 tính từ phương pháp SCHA (khoảng cách đường đẳng trị  $5^{\circ}$ ).

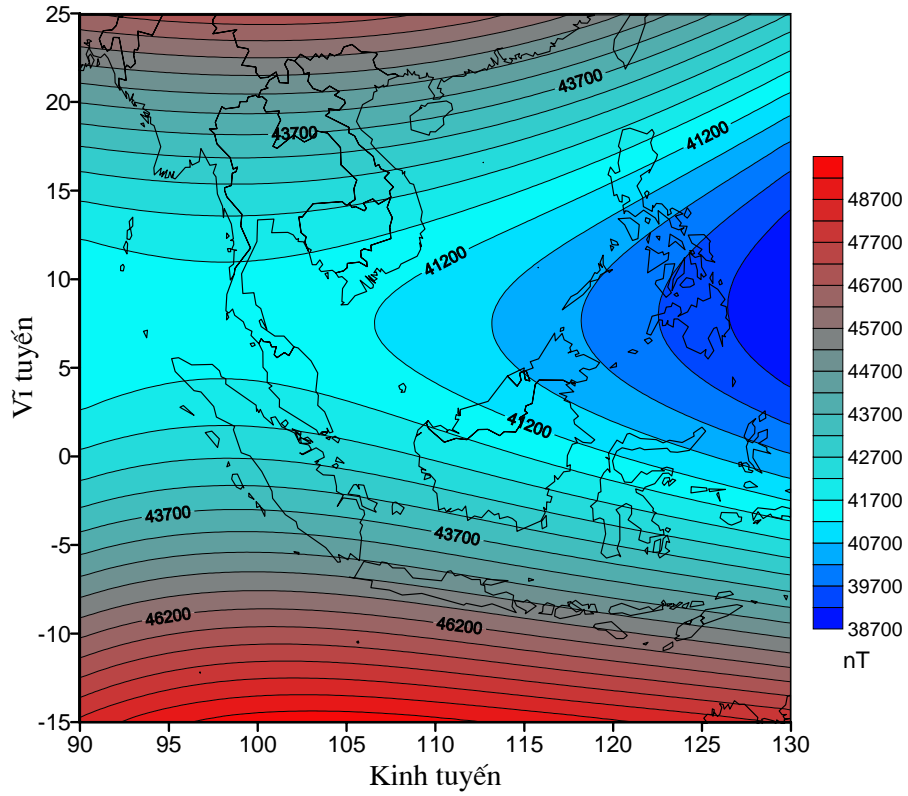
### 4.1.3 So sánh với trường từ chính tính từ mô hình IGRF

Tiếp theo, tiến hành so sánh bản đồ TTBT các thành phần của trường từ tính từ phương pháp SCHA với bản đồ trường từ tính từ mô hình IGRF-11 ở cùng niên đại 2007.0 và tại bề mặt Trái Đất. Khi so sánh với TTBT trường toàn phần (F) tính từ phương pháp SCHA (Hình 4.3a) và tính từ mô hình IGRF (Hình 4.4), chúng ta nhận thấy rằng hình thái biến đổi của các đường đẳng trị hầu như khá giống nhau, điều này chứng tỏ rằng TTBT tính từ phương pháp SCHA phản ánh khá tốt phần trường từ của các dòng điện trong nhân ngoài, một phần trường của vỏ Trái Đất gây ra. Độ chênh lệch của trường toàn phần ( $\Delta F_{DL}$ ) tính từ phương pháp SCHA và từ IGRF được biểu diễn trên hình 4.5, đây cũng chính là phần trường của trường toàn phần tính từ các hệ số SCHA ở trên. Từ hình này chúng ta thấy giá trị  $\Delta F_{DL}$  biến đổi trong khoảng từ -90 nT đến 98 nT, trong toàn bộ khu vực nghiên cứu,  $\Delta F_{DL}$  chủ yếu có giá trị âm và chỉ tồn tại hai khu vực mà  $\Delta F_{DL}$  có giá trị dương là khu vực vùng biển phía bắc Philippines và nam đảo Đài Loan và khu vực phía đông nam Indonsia. Những vùng có biên độ lớn phải chú ý đến vùng Myanmar, Philippines, trung tâm biển Đông, Indonesia...

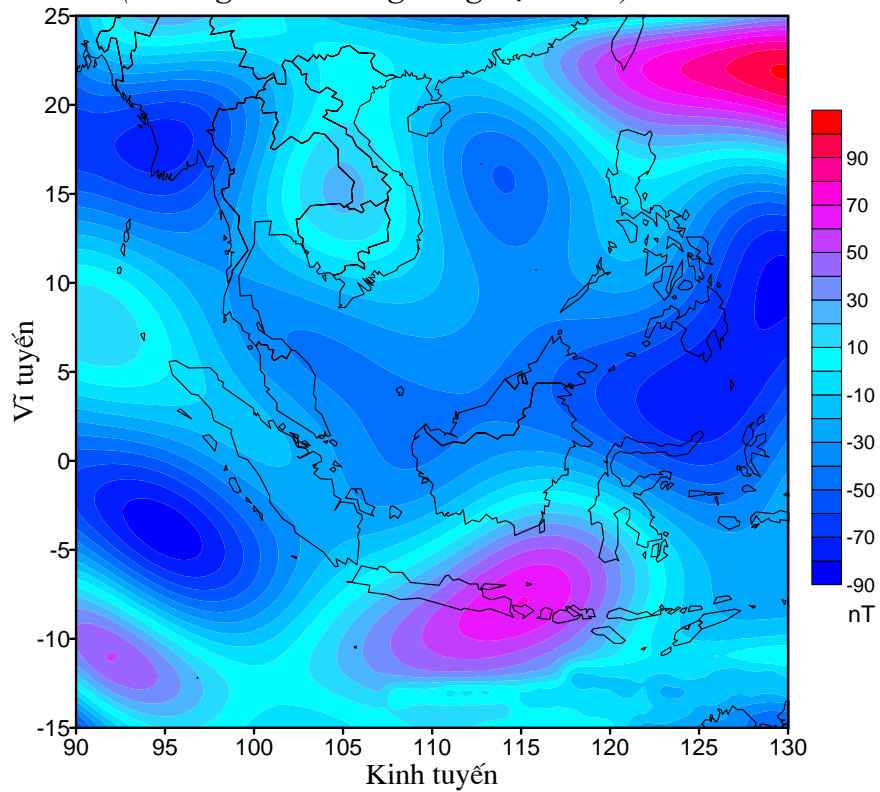
Với độ chênh lệch  $\Delta F_{DL}$  trong khoảng gần  $\pm 100$  nT như đã thấy, rõ ràng nếu dùng mô hình IGRF như là mô hình trường từ bình thường trong khu vực, trường dị thường sẽ chênh lệch khá nhiều so với trường dị thường thu được với trường bình thường thu được bằng phương pháp phân tích điều hòa cầu đã trình bày. Như vậy có thể khẳng định giá trị của cường độ trường từ toàn phần  $\Delta F_{DL}$  đã phản ánh một phần trường từ của lớp vỏ Trái Đất và một phần trường mang tính khu vực mà mô hình trường từ toàn cầu IGRF đã không phản ánh được. Các kết quả nghiên cứu này khá phù hợp với mô hình trường bình thường tính cho khu vực Trung Quốc đã được Zuwen Gu công bố [51] và cho Nam Cực của Gaya-Piqué [50].

### 4.2 Đánh giá sai số xác định TTBT

Sai số của một mô hình TTBT bao gồm: sai số của phép đo đạc ( $\delta_1$ ), sai số do quá trình tính toán ( $\delta_2$ ) và sai số của việc biến đổi trường ( $\delta_3$ ). Sai số của phép đo (do thiết bị, do xác định tọa độ, thời gian) khi sử dụng số liệu vệ tinh CHAMP được trình bày trong [77] được xác định là  $\delta_1 = \pm 3$  nT. Sai số trong quá trình tính toán là



Hình 4.4: TTBT thành phần  $F$  niên đại 2007.0 tính từ mô hình IGRF (khoảng cách đường đẳng trị 500nT).



Hình 4.5: Sự chênh lệch của cường độ trường toàn phần  $\Delta F_{DL}(nT)$  giữa mô hình SCHA và IGRF tại bề mặt Trái Đất niên đại 2007.0.

sai số trong khâu xử lý số liệu thực hiện việc hiệu chỉnh biến thiên. Do trong quá trình tính TTBT từ số liệu vệ tinh CHAMP đã loại trừ biến thiên theo thời gian bằng mô hình IGRF-11, do vậy sai số này vào khoảng  $\delta_2 = \pm 6\text{nT}$  [48]. Tiếp theo, là xác định sai số của phép biến đổi trường khi sử dụng số liệu vệ tinh, nghiên cứu này đã xác định sai số khi hạ trường ứng với các trường hợp  $K_{int}=8$  là  $\delta_3 = \pm 30\text{ nT}$  cho khu vực nghiên cứu, tương tự như kết quả nghiên cứu của Haines [54]. Do vậy, tổng sai số cho việc xây dựng mô hình TTBT cực đại khoảng  $\delta = \pm 39\text{ nT}$ . Giá trị sai số này nhỏ hơn so với sai số trong việc xây dựng bản đồ TTBT của Haines [56] cho Canada niên đại 1985.0 là  $\pm 75\text{ nT}$ , hay của trong nghiên cứu của Nguyễn Văn Giảng [3] xây dựng TTBT cho Việt Nam với sai số là  $\pm 60\text{ nT}$  cho các niên đại từ 1960-1985. Sai số này là đặc trưng cho các mô hình TTBT khi xây dựng cho mỗi quốc gia hay mỗi khu vực.

### 4.3 Dị thường từ khu vực Việt Nam và lân cận

Trong địa vật lý, dị thường từ là độ chênh lệch giá trị trường từ của một vùng so với xung quanh, nó phản ánh sự thay đổi về từ tính của đá hay cấu trúc vỏ Trái Đất trong khu vực. Việc thành lập bản đồ dị thường từ cho một khu vực như vậy cho phép nghiên cứu đặc trưng của cấu trúc vỏ trái đất trong phạm vi nghiên cứu. Việc nghiên cứu và phân tích về trường dị thường từ có giá trị thực tế rất lớn không những trong nghiên cứu về cấu trúc, các quá trình địa chất và sự tiến hoá kiến tạo của lục địa cũng như cung cấp cho ta thông tin về cấu trúc địa chất và thành phần vật chất của Trái Đất. Để nghiên cứu về dị thường từ, người ta có thể sử dụng nhiều loại số liệu khác nhau, như số liệu trường từ thu được trên đất liền nhờ các chuyến khảo sát, trên biển, trên máy bay, từ vệ tinh. Tại Việt Nam việc xây dựng bản đồ dị thường từ cho khu vực từ trước đến giờ cũng chỉ tập trung cho một vài khu vực trên đất liền hoặc vài vùng nhỏ trên biển và số liệu được sử dụng chủ yếu là từ hàng không, từ trên biển, các khảo sát phục vụ tìm kiếm khoáng sản, nghiên cứu cấu trúc địa chất. Tuy nhiên, như chúng ta đã biết các số liệu này thường thu thập trong một khoảng thời gian ngắn và phân bố không đều trong khu vực. Lợi thế của việc sử dụng số liệu vệ tinh CHAMP như đã thấy là chúng ta có một tập hợp số liệu đồng nhất, phân bố khá dày đặc nên chất lượng các giá trị trường quan sát được cũng như

các bản đồ trường từ bình thường là đồng nhất trong cả khu vực nghiên cứu và vì thế bản đồ các thành phần của trường dị thường từ cũng có tính đồng nhất cao, nhưng do độ cao bay của vệ tinh lớn nên bản đồ dị thường từ thu được từ số liệu vệ tinh sẽ không phản ánh được những cấu trúc nhỏ địa phương.

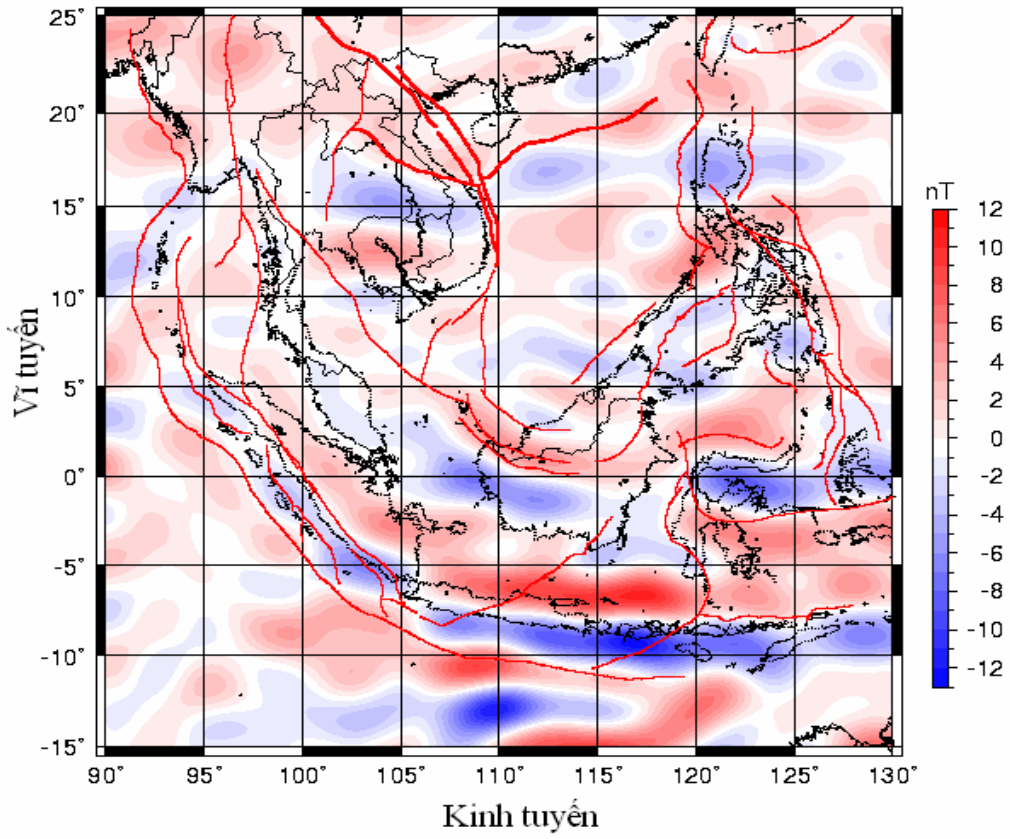
Trong phần trên, đã sử dụng phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu áp dụng cho số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP để nghiên cứu về từ trường bình thường khu vực Việt Nam và lân cận khi sử dụng hệ số  $K_{\max}=8$  cho phần trường có nguồn gốc bên trong Trái Đất cho khu vực đồng nghĩa với việc chúng ta đã xem xét đến các sóng có bước sóng khoảng 1000 km hay chúng ta đã mô hình hóa được trường từ do nhân và một phần lớp vỏ Trái Đất gây ra. Phần trường dị thường từ còn lại sau khi trừ đi phần trường từ bình thường tính ở độ cao quỹ đạo của vệ tinh (trung bình khoảng 350km trong năm 2006 và 2007) được biểu diễn trên hình 4.6a,b,c,d lần lượt là các thành phần  $\Delta X_a$ ,  $\Delta Y_a$ ,  $\Delta Z_a$  và trường tổng  $\Delta F_a$  (các hình đều lấy lưới số liệu là  $0.1 \times 0.1^\circ$  theo cả kinh độ và vĩ độ) tại độ cao 350 km so với mặt đất.

Trên các hình này, để làm nổi bật kết quả nghiên cứu còn biểu diễn đường màu đỏ là các đứt gãy chính trong khu vực đã được lược bỏ của Nguyễn Đình Xuyên [21]. Từ các hình vẽ trên, có một số nhận xét sơ bộ về dị thường từ cho khu vực nghiên cứu như sau:

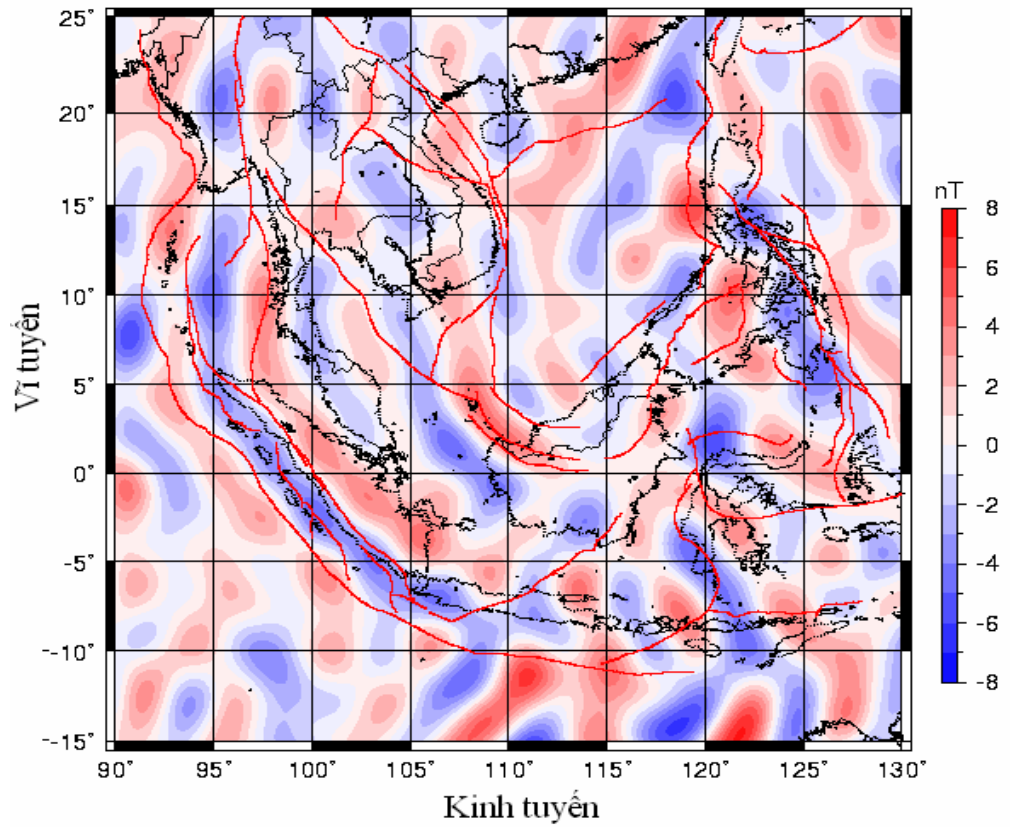
- Thành phần bắc  $\Delta X_a$ , biến đổi từ  $-13nT$  đến  $12nT$ ,  $\Delta Y_a$  biến đổi trong khoảng  $-8nT - 8nT$ ,  $\Delta Z_a$  biến đổi trong khoảng  $-8nT - 10nT$ . Trường dị thường từ có biên độ khá đối xứng nhau.

- Các dị thường từ trong khu vực khá phức tạp, với các âm và dương xen kẽ nhau, các dị thường từ lớn trùng với với các cấu tạo chính trong khu vực. Điển hình là dị thường trùng với đới hút chìm kéo dài từ Myanmar qua Sumatra – Timor- Philipin- Đài Loan. Tại Việt Nam bản đồ dị thường từ này hầu như chỉ phản ánh được khối bazan ở Kontum, một số cấu trúc ở biển Đông.

Tuy nhiên, do đặc thù của việc quan sát trường từ trên tinh CHAMP ở một độ cao nhất định, nên trường dị thường từ tính được từ chuỗi số liệu này chỉ phản ánh những dị thường từ lớn như là sự tiếp xúc giữa các mảng thạch quyển hoặc những

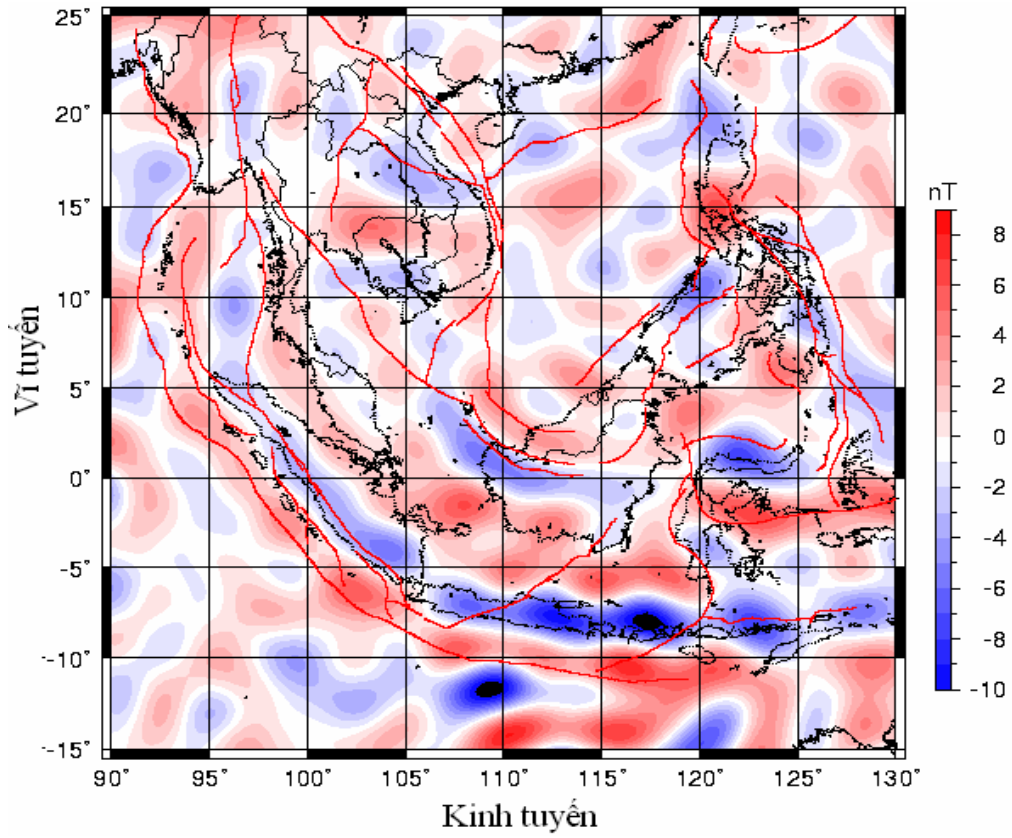


Hình 4.6a: Dị thường từ thành phần  $\Delta X_a$  (nT).

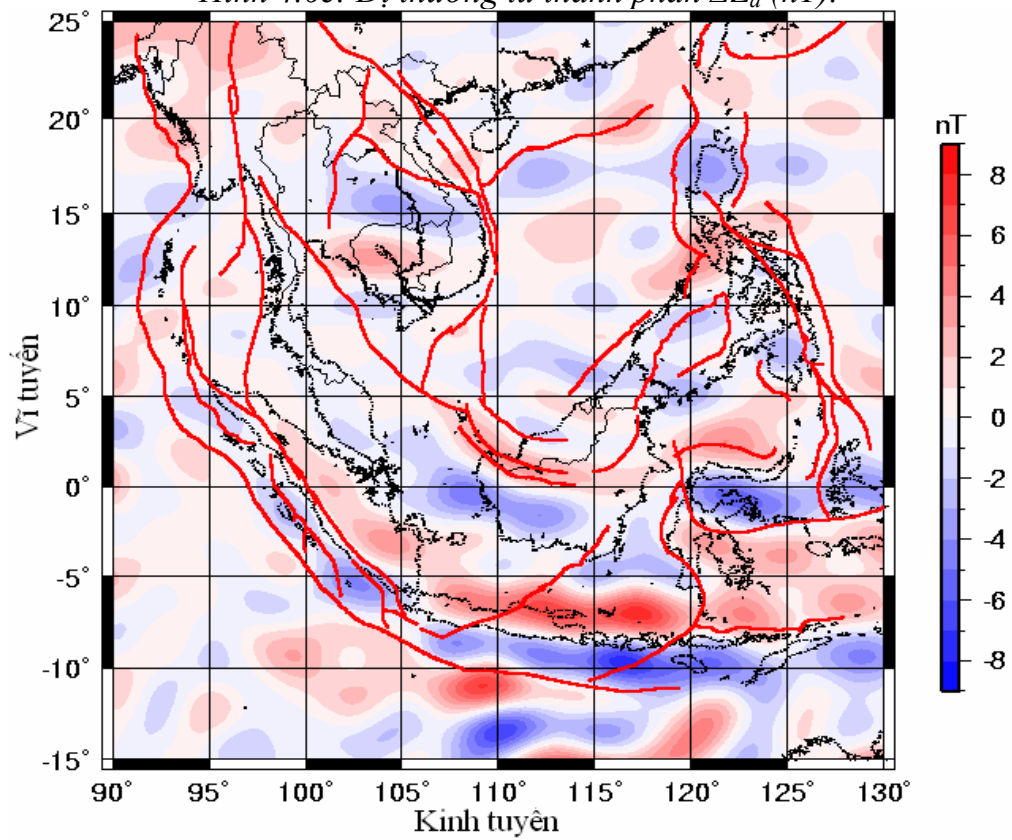


Hình 4.6b: Dị thường từ thành phần  $\Delta Y_a$  (nT).





Hình 4.6c: Dị thường từ thành phần  $\Delta Z_a$  (nT).



Hình 4.6d: Dị thường từ thành phần  $\Delta F_a$  (nT).

khối bazan lớn. Đây mới chỉ là những nghiên cứu và ứng dụng ban đầu của chuỗi số liệu này, trong thời gian tới chúng tôi sẽ tiếp tục hoàn thiện phương pháp và sẽ so sánh bản đồ dị thường từ này với các bản đồ dị thường từ trên toàn cầu như mô hình MF7, EMAG2.... và tiến tới sẽ minh giải các bản đồ dị thường từ này.

#### **Kết luận chương 4**

Trong nghiên cứu này đã sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP và áp dụng phương pháp phân tích điều hoà chỏm cầu để mô hình hoá trường từ bình thường và trường dị thường cho khu vực Việt Nam và lân cận niên đại 2007.0. Với số liệu đầu vào để tính toán trong vòng hai năm 2006-2007 là những năm Mặt Trời hoạt động trung bình trong chu kỳ kết hợp với việc chỉ lựa chọn số liệu của những ngày trường từ yên tĩnh và vào lúc giữa đêm để đảm bảo sự ảnh hưởng của trường ngoài vào chuỗi số liệu là nhỏ nhất. Chúng tôi đã lựa chọn các tham số cho phương pháp SCHA như: góc chỏm cầu  $\theta_0=20^0$ , vị trí tâm chỏm cầu tại ( $5^0N$ ,  $110^0E$ ), hệ số  $K_{int}=8$  (tương ứng với các sóng có bước sóng khoảng 1000km) để tính TTBT cho khu vực. Bước đầu nghiên cứu và sử dụng phương pháp phân tích điều hoà chỏm cầu để xây dựng mô hình TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận khi chỉ sử dụng số liệu các thành phần của trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP có một số kết luận sau:

- Thành phần Z cho phép xác định được đường xích đạo từ cho niên đại 2007.0 chạy qua phía nam Việt Nam tại vĩ độ khoảng  $8.2N^0$ , các đường đẳng trị thành phần Z hầu như có phương á vĩ tuyến.

- Tâm một cực đại của thành phần H toàn cầu nằm tại Ấn Độ Dương, gần biên giới Myanmar và Thái Lan. Miền nam của Việt Nam gần tâm này nên giá trị thành phần H khá lớn.

- Trong khu vực, giá trị của D là rất nhỏ và các đường đẳng trị có hình dáng đặc biệt nên việc đo D trong khu vực cần phải chú ý khi đo đạc.

- Với trường tổng F, phía nam của Việt Nam là nơi giao nhau của các cực trị toàn cầu của F, nên F ở khu vực này khá phức tạp.

Với việc lựa chọn các tham số như trên, độ lệch bình phương trung bình giữa giá trị tính từ mô hình và giá trị từ trường thu được trên vệ tinh cho các thành phần

là  $RMS-X=4.2nT$ ;  $RMS-Y=4.8nT$ ;  $RMS-Z=5.4nT$  và từ số liệu thu được tại trạm Phú Thụy là  $\Delta X= 1.3nT$ ;  $\Delta Y= -2.4nT$ ;  $\Delta Z= -2.8nT$ ; tại Bạc Liêu là:  $\Delta X= 2.7nT$ ;  $\Delta Y= -3.2nT$ ;  $\Delta Z= -3.5nT$ , các giá trị này là khá nhỏ. Tổng sai số của mô hình TTBT này nhỏ hơn  $\pm 39nT$ , sai số này khá nhỏ và là đặc trưng cho các mô hình TTBT lập cho mỗi khu vực.

Khi so sánh TTBT này với mô hình IGRF-11 thì nhận thấy rằng TTBT tính bằng phương pháp SCHA khá tương đồng với các phương pháp khác nhau và ngoài ra nó còn biểu diễn được phần trường có nguồn gốc trong nằm trong vỏ Trái Đất gây ra mà với mô hình IGRF đã không thể hiện được.

Dị thường từ thu được có biên độ nhỏ do độ cao quỹ đạo vệ tinh nhưng phản ánh khá tốt những dị thường từ lớn trong khu vực như ranh giới tiếp xúc giữa các mảng thạch quyển hoặc những khối bazan lớn.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### Kết luận

Kết quả trong luận án tiến sĩ: *”Nghiên cứu dòng điện xích đạo (EEJ) từ số liệu vệ tinh CHAMP và từ số liệu mặt đất ở khu vực Việt Nam và các vùng lân cận”*, ngoài việc đã nghiên cứu về EEJ và những biến đổi của nó trong khu vực cũng như trên toàn cầu dựa trên số liệu thu được trên vệ tinh CHAMP và số liệu từ các đài địa từ trên mặt đất, trong quá trình thực hiện do nhu cầu cấp thiết của thực tế, trong luận án này còn áp dụng phương pháp phân tích điều hòa chòm cầu để mô hình hóa trường từ bình thường cho khu vực Việt Nam và lân cận dựa trên số liệu vệ tinh CHAMP. Từ kết quả của nghiên cứu này, chúng tôi rút ra một số kết luận chính sau:

1. Việc sử dụng các đa thức có bậc thay đổi từ 6-12 tùy thuộc vào các lát cắt số liệu khác nhau đã cho phép tách được phần trường từ do EEJ gây ra từ số liệu CHAMP. Biên độ của trường từ do EEJ gây ra tính từ số liệu vệ tinh CHAMP cho 6 năm số liệu (2002 - 2007) nằm trong khoảng từ 20nT đến 67nT, tùy thuộc vào vị trí kinh tuyến khác nhau và tại các thời gian khác nhau giá trị này cũng khác nhau. Biên độ trường từ do EEJ gây ra từ kết quả nghiên cứu này đã cao hơn trong nghiên cứu của Doumouya khoảng 4nT và tại các khu vực có biên độ EEJ thấp (Đại Tây Dương, vùng trung tâm Thái Bình Dương và Nam Mỹ) đã có sự phân bố theo kinh tuyến liên tục hơn mà vẫn đảm bảo xuất hiện các vùng EEJ có biên độ lớn (tại Châu Á, Nam Mỹ). Qua tính toán 6 năm số liệu, có thể khẳng định EEJ tính từ CHAMP tại vùng kinh tuyến qua Việt Nam ( $105^{\circ}\text{E}$ ) là lớn nhất.

2. Mật độ dòng của EEJ trên toàn cầu tính từ số liệu vệ tinh CHAMP biến đổi từ 40 A/km đến 140 A/km. EEJ cũng thể hiện biến thiên theo mùa rõ rệt, vào mùa hè và phân điểm tồn tại 4 đỉnh cực đại và 4 đỉnh cực tiểu EEJ trên toàn cầu. Nhưng vào mùa đông EEJ chỉ tồn tại 3 đỉnh cực đại và 3 đỉnh cực tiểu, cực đại qua kinh tuyến  $135^{\circ}\text{W}$  là lớn nhất.

3. Mật độ dòng điện của EEJ tính từ số liệu các đài địa từ biến thiên theo thời gian tỷ lệ với số vết đen Mặt Trời, với năm Mặt Trời hoạt động mạnh thì mật độ dòng EEJ lớn hơn so với những năm Mặt Trời hoạt động yếu. Tuy nhiên, với số liệu vệ tinh CHAMP thì không hoàn toàn như vậy trên toàn kinh tuyến.

4. Áp dụng mô hình kiểu 3ME cho số liệu thu được trên CHAMP cho phép chúng ta có cái nhìn tổng quan về EEJ biến đổi theo kinh tuyến, vĩ tuyến và theo thời gian địa phương trên toàn cầu. Với độ lệch bình phương trung bình (RMS) giữa mô hình lý thuyết và số liệu đo được nhỏ hơn 5.4nT trên toàn bộ số liệu là khá nhỏ.

5. Trong nghiên cứu này cũng tính TTBT cho khu vực Việt Nam và lân cận niên đại 2007.0 khi sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP bằng phương pháp phân tích điều hòa chòm cầu. Với sự lựa chọn một số tham số chính như: góc chòm cầu  $\theta_0=20^0$ , vị trí tâm chòm cầu ở vị trí ( $5^0\text{N} - 110^0\text{E}$ ), hệ số  $K_{\text{int}} = 8$  cho phần trường từ có nguồn gốc bên trong Trái Đất,  $K_{\text{ext}}=2$  cho phần trường từ của các hệ dòng bên ngoài Trái Đất gây ra. Kết quả mô hình hóa cho thấy các thành phần của TTBT tính bằng phương pháp SCHA khá tương đồng với các phương pháp khác và ngoài ra nó còn biểu diễn được phần trường có nguồn gốc trong nằm trong vỏ Trái Đất gây ra mà với mô hình IGRF đã không thể hiện được. Tổng sai số của mô hình TTBT này nhỏ hơn  $\pm 39\text{nT}$ . Độ lệch bình phương trung bình giữa giá trị tính từ mô hình và giá trị từ trường thu được trên vệ tinh cho các thành phần X,Y,Z là  $\text{RMS-X}=4.2\text{nT}$ ;  $\text{RMS-Y}=4.8\text{nT}$ ;  $\text{RMS-Z}=5.4\text{nT}$  và với số liệu thu được tại trạm Phú Thọ là  $\Delta X=1.3\text{nT}$ ;  $\Delta Y=-2.4\text{nT}$ ;  $\Delta Z=-2.8\text{nT}$ ; tại Bạc Liêu là:  $\Delta X=1.7\text{nT}$ ;  $\Delta Y=-2.1\text{nT}$ ;  $\Delta Z= -3.0\text{nT}$ , các giá trị này là khá nhỏ và chấp nhận được cho mô hình TTBT.

6. Dị thường từ tính từ số liệu CHAMP có biên độ khá nhỏ chỉ trong khoảng  $\pm 10\text{nT}$  tính tại độ cao trung bình 350km nhưng nó phản ánh khá tốt những những dị thường từ lớn trong khu vực như ranh giới tiếp xúc giữa các mảng thạch quyển hoặc những khối bazan lớn.

## **KIẾN NGHỊ**

Luận án mới chủ yếu sử dụng số liệu trường từ thu được trên vệ tinh CHAMP để nghiên cứu về EEJ trên toàn cầu và tính TTBT cho khu vực Việt nam, trong quá trình tính toán và xử lý số liệu, tác giả có một số kiến nghị sau:

1. Cần tiếp tục nghiên cứu và giải thích sự tồn tại đỉnh cực trị của EEJ tại vùng kinh tuyến qua khu vực Việt Nam như: thu thập và sử dụng thêm số liệu tại các đài địa từ hay trên vệ tinh Swarm; sử dụng những mô hình toàn cầu để đánh giá ảnh hưởng của các quá trình điện động lực học trong tầng điện ly đến hệ dòng điện này.

2. Cần áp dụng phương pháp SCHA với tổ hợp số liệu như số liệu các đài địa từ, số liệu các điểm đo lặp, số liệu từ hàng không, trên biển... để nâng cao độ tin cậy các bản đồ TTBT.

NCS hy vọng sẽ tiếp tục hướng nghiên cứu này để hoàn thiện hơn những nghiên cứu của mình trong thời gian tới.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Hà Duyên Châu, Về một thuật toán tính trường bình thường cho phần phía bắc Việt Nam niên đại 1973.0, *Tuyển tập các công trình nghiên cứu của Viện các khoa học về Trái Đất năm 1977-1978*, **1979**, trang 153-170, Hà Nội.
2. Hà Duyên Châu, D. Gilbert, Bản đồ từ trường bình thường lãnh thổ Việt Nam (phần đất liền) niên đại 1997.5, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1999**, tập 21(4), trang 241-253.
3. Nguyễn Văn Giảng, Một số đặc điểm cấu trúc của trường địa từ trên lãnh thổ Việt Nam, *Luận án phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật*, **1988**, Hà Nội.
4. Trương Quang Hào và nnk, Báo cáo kết quả thành lập tập bản đồ các yếu tố địa từ mặt đất Việt Nam niên đại 1975.5, *Tuyển tập các công trình khoa học của Trung tâm nghiên cứu Vật lý địa cầu*, **1984**, tập 5 (1985-1986), trang 65-69.
5. Trương Quang Hào, Lê Huy Minh, Một số đặc điểm của trường địa từ biên thiên ở Việt Nam, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1987**, tập 9(1), trang 7-13.
6. Trương Quang Hào, Xác định một vài thông số của dòng điện xích đạo ở Việt Nam, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1998**, tập 7, trang 12- 19.
7. Trương Quang Hào, Lương Văn Trương, Dòng điện xích đạo và sự phân bố biến thiên trường địa từ trên lãnh thổ Việt Nam, *Báo cáo khoa học tại hội nghị Vật lý toàn quốc*, **2001**, Hà Nội.
8. Đặng Văn Hưng, Kết quả mô hình hóa trường điện từ của vòng điện xích đạo theo tham số địa điện ở Việt Nam, *Các công trình Khoa học của Trung tâm nghiên cứu Vật lý địa cầu*, **1985**, tập 5 (1985-1986), trang 78-88.
9. Hoàng Thái Lan, Vĩnh Hào, Dương Văn Vinh và Đào Ngọc Hạnh Tâm, Dự báo foF2 điện ly xích đạo từ Việt Nam và ứng dụng cho truyền sóng vô tuyến HF, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học quốc tế Kỷ niệm 55 ngành Vật lý địa cầu Việt Nam*, **2012**, Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, trang 63-69.
10. Hoàng Thái Lan, Tầng điện ly xích đạo từ ở Việt Nam và dự báo thời tiết vũ trụ *Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ*, **2014**, 350 trang.
11. Lê Huy Minh, Biến thiên từ tại Việt Nam và dòng điện ngược xích đạo, *Tạp chí*

- các khoa học về Trái Đất*, **1998**, tập 19(3), trang 189-199.
12. Lê Trường Thanh, V. Doumouya, Lê Huy Minh và Hà Duyên Châu, Mô hình dòng điện xích đạo từ số liệu vệ tinh CHAMP, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **2010**, tập T32(1), trang 48-56.
  13. Lê Trường Thanh, Lê Huy Minh, Hà Duyên Châu, V. Doumouya, Y. Cohen, Dị thường và biến thiên theo mùa của dòng điện xích đạo, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **2011**, tập T33(1), trang 29-36.
  14. Nguyễn Thị Kim Thoa, Y. P. Sizov, Về sự phát triển động học của dòng điện xích đạo, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1973**, tập 15(3), trang 65-70.
  15. Nguyễn Thị Kim Thoa, Nguyễn Văn Giảng và nnk, Đặc trưng biến thiên của trường địa từ dưới ảnh hưởng của vòng điện xích đạo quan sát được trên lãnh thổ Việt Nam, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1990**, tập T12(2), trang 33-42.
  16. Nguyễn Thị Kim Thoa, D. Gilbert, Nguyễn Văn Giảng, Xây dựng bản đồ từ trường bình thường lãnh thổ Việt Nam (phần đất liền) niên đại 1991.5, *Tạp chí các khoa học về Trái Đất*, **1992**, tập T14(4), trang 97-109.
  17. Nguyễn Thị Kim Thoa, Trường địa từ và kết quả khảo sát tại Việt Nam, *Bộ sách chuyên khảo Tài nguyên thiên nhiên và Môi trường Việt Nam, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ*, **2007**, 332 trang, Hà Nội.
  18. Phạm Văn Thục, Nguyễn Văn Giảng và nnk, Những kết quả sơ bộ trong việc lập bản đồ các yếu tố địa từ mặt đất phần phía bắc lãnh thổ Việt Nam niên đại 1975.5, *Tuyển tập các kết quả nghiên cứu vật lý địa cầu*, **1979**, trang 130-143.
  19. Lê Minh Triết và nnk, Sự phân bố từ trường bình thường miền bắc Việt Nam cho thời kỳ 1973.0, *Hội nghị khoa học Ủy ban khoa học và kỹ thuật Nhà nước*, **1974**, Hà Nội.
  20. Lương Văn Trương, Nghiên cứu một số đặc điểm biến thiên trường địa từ qua số liệu trạm Đà Lạt, Bạc Liêu và các trạm lân cận, *Luận án tiến sĩ vật lý*, **2003**, Hà Nội.
  21. Nguyễn Đình Xuyên, Nghiên cứu đánh giá độ nguy hiểm sóng thần vùng ven biển Việt Nam và các giải pháp phòng tránh, *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện*



*Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Vật lý địa cầu, 2008, Hà Nội.*

### **Tiếng Anh**

22. C.E. Agu, C.A. Onwumechili, Comparison of the POGO satellite and ground measurement of the magnetic field of the equatorial electrojet, *J. Atmos. and Terr Phys*, **1981**, Vol. 43(8), pp. 801-807.
23. P. Alken, S. Maus, Spatio-temporal characterization of the equatorial electrojet from CHAMP, Ørsted, and SAC-C satellite magnetic measurements, *J. Geophys. Res.*, **2007**, Vol. 112, pp. 1978-2012.
24. P. Alken A. Chulliat and S. Maus, Longitudinal and seasonal structure of the ionospheric equatorial electric field, *J. Geophys. Res.*, **2013**, Vol. 118, pp. 1298-1305.
25. L.R. Alldredge, Rectangular Harmonic Analysis applied to the geomagnetic field. *J. Geophys. Res.*, **1981**, Vol. 86(4), pp. 3021- 3026.
26. C. An, et al, Spherical cap harmonic analysis of the geomagnetic field of eastern Asia, *Geomag Aeron*, **1994**, Vol. 34(4), pp. 581-583.
27. G.E. Backus, Non-uniqueness of the external geomagnetic field determined by surface intensity measurements, *J. Geophys. Res.*, **1970**, Vol. 75, pp. 6337-6341.
28. B.B. Balsley, Electric Field in the Equatorial Ionosphere: A Review of Techniques and Measurements, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **1973**, Vol. 35, pp. 1035-1044.
29. P.S. Brahmanandam, et al., Vertical and longitudinal electron density structures of equatorial E- and F- regions, *Ann Geophys.*, **2011**, 29, pp 81-89.
30. J.C. Cain, R.E. Sweeney, The POGO data, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1973**, Vol. 35, pp. 1231-1247.
31. H. Chandra, H.S.S. Sinha and R.G. Rastogi, Equatorial electrojet studies from rocket and ground measurements, *Earth Planets Space*, **2000**, Vol. 52, pp. 111-120.
32. S. Chapman, The equatorial electrojet as detected from the abnormal electric current distributions above Huancayo, Peru and elsewhere, *Arch. Meteorol.*

- Geophys. Bioclimatol*, *A4*, **1951**, pp. 368-390.
33. H.D. Chau, Normal magnetic models for epoch 2003.5 in Vietnam, *Advances in Natural Sciences*, **2007**, Vol. VIII, Nr. 1., 81-96, ISSN: 0992-7689
  34. Y. Cohen, J. Achache, New global vector anomaly maps derived from MAGSAT data, *Journal of Geophysical Research*, **1990**, Vol. 95, pp. 10783-10800.
  35. V. Doumouya, J. Vassal, Y. Cohen, O. Fambitakoye, M. Menvielle, The Equatorial Electrojet at African longitudes: First Results From Magnetic measurement, *Ann. Geophysic*, **1998**, Vol. 16, pp. 658-676.
  36. V. Doumouya, Y. Cohen, Local time and longitude dependence of the equatorial electrojet magnetic effects, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, **2003**, Vol. 65, pp. 1265-1282.
  37. V. Doumouya, Y. Cohen, Improving and testing the empirical equatorial electrojet model with CHAMP satellite data, *Ann. Geophys.*, **2004**, Vol. 22, pp. 3323-3333.
  38. V. Doumbia, A. Maute and A. D. Richmond, Simulation of equatorial electrojet magnetic effects with the thermosphere-ionosphere-electrodynamics general circulation model, *Journal of Geophysical Research*, **2007**, Vol. 112, pp. -16.
  39. B. Duka, Comparison of different methods of analysis of satellite geomagnetic anomalies over Italy, *Anali De Geofisica*, **1998**, Vol. 41(1), pp. 49-61.
  40. J. Egedal, The magnetic diurnal variation of the horizontal force near the magnetic equator, *Terr. Magn. Atmos. Electr.*, **1947**, Vol. 52, pp. 449 – 451.
  41. S.L. England, S. Maus, T.J. Immel and B. Mende, Longitudinal variation of the E-region electric fields caused by atmospheric tides, *Geophysical Research Letters*, **2006**, Vol. 33, L21105.
  42. T.W. Fang, A. Richmond, J. Liu, A. Maute, C. Lin, C. Chen, and B. Harper, Model simulation of the equatorial electrojet in the Peruvian and Philippine sectors, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, **2008**, Vol. 70(17), pp. 2203–2211.
  43. O. Fambitakoye, P.N. Mayaud, The Equatorial Electrojet and Regular Daily

- Variation  $S_R$ : - I. A Determination of the Equatorial Electrojet Parameters, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1976**, Vol. 38, pp. 1-17.
44. O. Fambitakoye, P.N. Mayaud, The Equatorial Electrojet and Regular Daily Variation  $S_R$ : - II. The Centre of the Equatorial Electrojet, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1976**, Vol. 38, pp. 19-26.
  45. O. Fambitakoye, P.N. Mayaud, A.D. Richmond, The Equatorial Electrojet and Regular Daily Variation  $S_R$ : - III. Comparison of Observations with a Physical Model, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **1976**, Vol. 38, pp. 113-121.
  46. O. Fambitakoye, P.N. Mayaud, The Equatorial Electrojet and Regular Daily Variation  $S_R$ : - IV. Special Features in Particular Days, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1976**, Vol. 38, pp. 123-134.
  47. C. C. Finlay, S. Maus and T. I. Zvereva, International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation, *Geophys. J. Int.*, **2010**, Vol. 183, pp. 1216–1230.
  48. C. C. Finlay, S. Maus et al., Evaluation of candidate geomagnetic field models for IGRF-11, *Earth Planets Space*, **2010**, Vol. 62(10), pp. 787-804.
  49. S.E. Forbush, M. Casaverde, The Equatorial Electrojet in Peru, *Carnegie Institut. Washington Publ.*, **1961**, Washington.
  50. L.R. Gaya-Piqué, D. De Santis, J.M. Torta, Use of Champ magnetic data to improve the Antarctic Geomagnetic Reference Model, *Proceedings of the 2nd Champ Scientific Meeting*, Springer, **2004**, Vol. , pp. 317-321.
  51. Z. Gu, Zhijia Zhan et al., Geomagnetic survey and geomagnetic model research in China, *Earth planet. space.*, **2006**, Vol. 58, pp. 741–750.
  52. M.E. Hagan, J.M. Forbes, Migrating and nonmigrating diurnal tides in the middle and upper atmosphere excited by tropospheric latent heat release, *J. Geophys Res.*, **2002**, Vol. 107, D24, pp. 6-15.
  53. M. E. Hagan, A. Maute and R. G. Roble, Tropospheric tidal effects on the middle and upper atmosphere, *J. Geophys. Res.*, **2009**, 114, DOI: 10.1029/2008JA013637.
  54. G.V. Haines, Spherical cap harmonic analysis, *J. Geophys. Res.*, **1985**, Vol. 90,

- pp. 2583– 2592.
55. G.V. Haines, Spherical cap harmonic analysis of geomagnetic secular variation over Canada 1960–1983, *J. geophys. Res.*, **1985**, Vol. 90, pp. 2563–2574.
  56. G.V. Haines, L.R. Newitt, Canadian geomagnetic reference field 1985, *J. Geomag. Geoelectr.*, **1986**, Vol. 38(9), pp. 895–921.
  57. G.V. Haines, Regional magnetic field modeling: a review, *J. Geomag. Geoelectr.*, **1990**, Vol. 42, pp. 1001–1018.
  58. R.A. Heelis, Electrodynamics in the low and middle latitude ionosphere: A tutorial, **2004**, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, Vol. 66, pp. 825– 838
  59. D. Hesse, An Investigation of the Equatorial Electrojet by Means of Ground-based Magnetic Measurements in Brazil, *Ann. Geophys.*, **1982**, Vol. 38, pp. 315-320.
  60. R. Holme, M.A. James, H. Luhr, Magnetic field modelling from scalar-only data: Resolving the Backus effect with the equatorial electrojet, *Earth Planets Space*, **2005**, Vol. 57, pp. 1203–1209.
  61. G. Jadhav, M. Rajaram, R. Rajaram, A detailed study of the quatorial electrojet phenomenon using Ørsted satellite observations, *J. Geophys. Res.*, **2002**, 107 (A8) 1175, doi: 10.1029/2001JA000183.
  62. H.R. Kim, D.K. Scott, A study of Local time and longitudinal variability of the amplitude of the equatorial electrojet observed in POGO satellite data, *Earth Planets Space*, **1999**, Vol. 51, pp. 373-381.
  63. H. Kil, L.J. Paxton W.K. Lee, Z. Ren, S.J. Oh and Y.S. Kwak, Is DE2 the source of the ionospheric wave number 3 longitudinal structure, *J. Geophys. Res.*, **2010**, 115, A11319.
  64. P.B. Kotzé, Spherical cap modelling of Oersted magnetic field vectors over Southern Africa, *Earth Planets and Space*, **2001**, Vol. 53, pp. 357–361.
  65. M. Korte, V. Haak, Modelling European repeat station and survey data by SCHA in search of time-varying anomalies, *Phys. Earth planet. Inter.*, **2000**, Vol. 122, pp. 205–220.
  66. M. Korte, R. Holme, Regularization of spherical cap harmonics, *Geophys J.*

- Int.*, **2003**, Vol. 153, pp. 253–262.
67. R.A Langel, C.C. Schnetzler, J.D. Philips, R.J. Horner, Initial vector magnetic anomaly map from MAGSAT, *Geophysical Research Letters*, **1982**, Vol. 9, pp. 273-276.
  68. R.A Langel, R.H. Estes, Large-scale near – Earth magnetic fields from external sources and corresponding induced internal field, *J. Geophys. Res.*, **1985**, Vol. 90, pp. 2487-2494.
  69. R.A. Langel, M.M Purucker, M. Rajaram, The Equatorial Electrojet and Associated Currents as Seen in MAGSAT Data, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1993**, Vol. 55, pp. 1233-1269.
  70. W. Lowrie, Fundamentals of Geophysics, *Cambridge University Press*, ISBN-13: 978-0521675963, **2007**, pp. 3930.
  71. H. Lühr, S. Maus, M. Rother, Noon-time equatorial electrojet: Its spatial features as determined by the CHAMP satellite, *J. Geophys. Res.*, **2004**, 109, A01306, doi:10.1029/2002JA009656.
  72. H. Lühr, S. Maus, Direct observation of the F region dynamo currents and the spatial structure of the EEJ by CHAMP, *Geophys. Res. Lett.*, **2006**, 33, L24102.
  73. H. Lühr, M. Rother, K. Häusler et al., The influence of nonmigrating tides on the longitudinal variation of the equatorial electrojet, *Geophys. Res. Lett.*, **2008**, 113, A08313, doi:10.1029/2008JA013064.
  74. Le Mouél, P. Shebalin, A. Chulliat, The field of the equatorial electrojet from CHAMP data, *Ann. Geophys.*, **2006**, Vol. 24, pp. 515–527.
  75. Manju, K.S. Viswanathan, Short period fluctuations in the equatorial electrojet electric fields, *India Journal of Radio & Space physics*, **2006**, Vol. 35, pp. 90-97.
  76. C. Manoj, H. Lühr, S. Maus, N. Nagarajan, Evidence for short spatial correlation lengths of the noontime equatorial electrojet inferred from a comparison of satellite and ground magnetic data, *J. Geophys. Res.*, **2006**, Vol. 111, pp. 11312-11321,
  77. S. Maus, H. Lühr, G. Balasis, M. Rother and M. Manda, Introducing

- POMME, Potsdam Magnetic Model of the Earth, in Earth Observation With CHAMP: Results From Three Years in Orbit, *Edited by C. Reigber.*, **2005**, pp. 293–298, Springer, New York.
78. N.C. Maynard, L.J. Cahill, Measurement of the Equatorial electrojet over India, *J. Geophys. Res.*, **1965**, Vol. 70, pp. 5923-5936.
  79. N.C. Maynard, Measurements of ionospheric currents off the coast of Peru, *J. Geophys. Res.*, **1967**, Vol. 72, pp. 1863-1875.
  80. A.G. McNish, A possible test for theories of magnetic diurnal-variations and of magnetic storms, *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, **1934**, Vol. 39, doi: 10.1029/TE039i001p00005. issn: 0096-8013.
  81. I. Nakagawa and T. Yukutake. Rectangular Harmonic Analyses of Geomagnetic anomalies Derived from MAGSAT data over the area of the Japanese islands, *J. Geophys. Res.*, **1985**, Vol. 37, pp. 957-977.
  82. N. Olsen, T.J. Sabaka, L. Tøffner-Clausen, Determination of the IGRF 2000 model, *Earth Planets Space*, **2000**, Vol. 52, pp. 1175–1182.
  83. N. Olsen, H. Lühr, T.J. Sabaka, M. Manda, M. Rother, L.T. Clausen and S. Choi, CHAOS—a model of the Earth's magnetic field derived from CHAMP, Ørsted, and SAC-C magnetic satellite data, *Geophys. Res. International*, **2006**, Vol. 166, pp. 67-75.
  84. C.A. Onwumechili, A study of the equatorial electrojet, part I: An experimental study, *J. Atmos. Terr. Phys.*, **1959**, Vol. 13, pp. 222-234.
  85. C.A. Onwumechili, Geomagnetic Variations in the Equatorial Zone, *Physics of Geomagnetic Phenomena-I*, **1967**, pp. 425-507, Acad. Press, New York and London.
  86. C.A. Onwumechili, C. Agu, General features of the magnetic field of the equatorial electrojet measured by the POGO satellites, *Planet. Space Sci.*, **1980**, Vol. 28, pp. 1125–1130.
  87. C.A. Onwumechili, The Equatorial Electrojet, **1997**, *Gordon and Breach*, New York.

88. A. Patric, M. Stefan, Spatio-temporal characterization of the equatorial electrojet from CHAMP, Orsted and SAC-C satellite magnetic measurements, *Geophys. J. Int.*, **2002**, 112, 1-10.
89. E. Qamili, et al., A revised geomagnetic model for Albania, south-east Italy from 1988 to 2006 with prediction to 2010, *Geophysical Research*, **2007**, Vol 9, pp. 02815-02826.
90. E. E. Qamili, et al., Two geomagnetic regional models for Albania and South-east Italy from 1990 to 2010 with prediction to 2012 and comparison with IGRF-11, *Earth planet Sapace*, **2010**, Vol. 62, pp. 1-9.
91. V. S. Rama Rao, S. Gopi Krishna, K. Niranjana, and D. S. Prasad, Temporal and spatial variations in TEC using simultaneous measurements from the Indian GPS network of receivers during the low solar activity period of 2004–2005, *Ann. Geophys.*, **2006**, Vol. 24, pp. 3279-3292.
92. R.G. Rastogi, Longitudinal variation in the equatorial electrojet, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1962**, Vol. 24, pp. 1031-1040.
93. R.G. Rastogi, K.N. Iyer, Quiet Day Variation of Geomagnetic H-field at Low Latitudes, *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, **1976**, 28, 461-479.
94. R.G. Rastogi, The dip equator over Peninsular India and its secular movement, *Earth and Planet Sapace*, **1989**, Vol. 100(4), pp. 361-368.
95. A.D. Richmond, Equatorial Electrojet- I. Development of a Model Including Winds and Electric Field, *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1973**, Vol. 35, pp. 1083-1103.
96. A.D. Richmond, Ionospheric Electrodynamics, *In: Volland H. (Ed.), Handbook of Atmospheric Electrodynamics, CRC press, Boca Raton, Florida*, **1995**, Vol. II, pp. 249-290.
97. S. Rishbeth, O.K. Garriott, Introduction to ionospheric physics, *Academic Press*, **1969**, New York and London, 331p.
98. N.M. Rotanova, Y.P. Tsvetkov, Trong Ly Hoang, Nguyen Thi Kim Thoa, Features of magnetic field of the equatorial electrojet determined from experiment data for the south - eastern asia region, *J. Atmosphere and Solar.*,

- 1992, Vol. 59(5), pp. 527-535.
99. N.M. Rotanova, Y.P. Tsvetkov, Nguyen Thi Kim Thoa, Khoang Chong Lee, Solar-diurnal variations, the magnetic equator and central line of the electrojet according to Geomagnetic Observations on the Territory of Viet Nam, *Geomagnetism and Aeronomy*, **1992**, Vol. 32(2), pp. 141-146.
  100. N.M. Rotanova and S.D. Odintsov, Model of the Magsat Magnetic Anomaly Field over Europe using Spherical Cap Harmonic Analysis. *Phys. Chem. Earth (A)*, **1999**, Vol. 24(N5), pp. 455-459.
  101. T.J. Sabaka, N. Olsen and R.A. Langel, A comprehensive model of the quiet-time near Earth magnetic field: phase 3, *Geophys. J. Int.*, **2002**, Vol. 151, pp. 32-68.
  102. T.J. Sabaka, N. Olsen and M. Purucker, Extending comprehensive models of the Earth's magnetic field with Ørsted and CHAMP data, *Geophys. J. Int.*, **2004**, Vol. 159, pp. 521–547.
  103. S. Sampath, T.S.G. Sastry, Results from in situ measurements of ionospheric currents in the equatorial region, *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, **1979**, Vol. 31(3), pp. 373-379.
  104. D. Santis, A.O. Battelli and D.J. Kerridge, Spherical cap harmonic analysis applied to regional field modelling for Italy, *J. Geomag. Geoelectr.*, **1990**, Vol. 42, pp. 1019–1036.
  105. D. Santis, Regional geomagnetic field modelling: the contribution of the Istituto Nazionale di Geofisica, *Analy di Geofisca*, **1997**, 5, 1161–1169.
  106. R.J. Stening, Modeling the equatorial electrojet, *Journal of Geophysical Research*, **1985**, Vol. 90, pp. 1705-1719.
  107. J.D. Tarpley, Seasonal movement of the Sq current foci and related effects in the equatorial electrojet, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, **1973**, Vol. 35, pp. 1063–1071.
  108. E. Thébault, J.J. Schott, M. Manda, J.P. Hoffbeck, A new proposal for spherical cap harmonic analysis, *Geophys. J. Int.*, **2004**, Vol. 159, pp. 83–105.



109. J.M. Torta, A. Garcia, and A. de Santis, A geomagnetic reference field for Spain at 1990, *J. Geomag. Geoelectr.*, **1993**, Vol. 45, pp. 573–588.
110. Y.P. Tsvetkov, S.D. Odinson, T.Q. Hao et al, The position of the equatorial electrojet according to data of geomagnetic observations on the territory of Vietnam, *Geomagnetism and Aeronomy*, **1989**, Vol. 29(3), pp. 439-441.
111. B.T. Vikramkumar, VHF backscatter radar observations of equatorial electrojet irregularities, *Ann. Geophysic.*, **1984**, Vol. 2, pp. 495-500.
112. A. Yacob, B.N. Bhargava, The electrojet field from satellite and surface observations in the Indian equatorial region, *J. of Atmospheric and Terrestrial Physics*, **1973**, Vol. 35, pp. 1253-1255.
113. M. Yanagisawa and M. Kono, 1985: Mean ionospheric field correction for MAGSAT data, *J. Geophys. Res.*, **1985**, Vol. 90(B3), pp. 2527-2536.
114. D. C. Zhi, G.Z. Wen et al., The study of magnetic field models for Philippines and its neighboring regions, *Chinese J. of Geophysics*, **2011**, Vol. 54(4), pp. 508-515.

### **Tiếng Pháp**

115. V. Doumouya, Étude des effets magnétiques de l'électrojet équatorial: de la paramétrisation à la modélisation physique de l'électrojet équatorial, *Thèse de doctorat*, **2008**, Paris.
116. C.F. Gauss, Allgemeine Theorie des Erdmagnetismus, Resultate aus des Beobachtungen des magnetischen Vereins im Jahre 1838, **1839**, pp. 1-58.
117. O. Fambitakoye, Etude des Effets Magnétiques de l'Electrojet Equatorial, *Serv. Géophys.*, vol. 14, ORSTOM, Bondy, **1976**, France.
118. E. Thébault, Modélisation régionale du champ magnétique terrestre, *Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur*, **2003**, Strabourg I.