



Chương 4. Cấu tạo trường từ của quả đất

Tôn Tích Ái

Địa từ và thăm dò từ. NXB Đại học quốc gia Hà Nội 2006.

Từ khoá: Địa từ và thăm dò từ, Trường từ, Trường lực địa, Bartel, Bão từ, Dị thường từ, Biến thiên thế kỷ.

Tài liệu trong Thư viện điện tử ĐH Khoa học Tự nhiên có thể được sử dụng cho mục đích học tập và nghiên cứu cá nhân. Nghiêm cấm mọi hình thức sao chép, in ấn phục vụ các mục đích khác nếu không được sự chấp thuận của nhà xuất bản và tác giả.

Mục lục

Chương 4	Cấu tạo trường từ của quả đất	2
4.1	Trường địa từ là tổng các trường có nguồn gốc khác nhau	2
4.2	Trường lực địa.....	3
4.3	Các dị thường từ.....	7
4.4	Các biến thiên thế kỷ.....	10
4.5	Các biến thiên ngày đêm của địa từ trường	13
4.5.1	Nhận xét đầu tiên.....	13
4.5.2	Biến thiên ngày đêm mặt trời	13
4.5.3	Biến thiên ngày đêm mặt trăng.....	16
4.5.4	Nghiên cứu thống kê về độ hoạt từ. Chỉ số Bartel.....	16
4.5.5	Nhiều loạn từ nhận biết được trên mặt đất (bão từ).....	18
4.5.6	Độ xuyên sâu và sự dẫn điện trong nhân của quả đất.....	21
4.6	Các giả thuyết về nguồn gốc của địa từ trường	22
4.6.1	Máy phát dạng đĩa Faraday	23
4.6.2	Bản chất của các dòng đối lưu (dòng xoáy)	29

Chương 4

Cấu tạo trường từ của quả đất

4.1 Trường địa từ là tổng các trường có nguồn gốc khác nhau

Khi khảo sát các bản đồ từ thế giới và các bản đồ các vùng riêng biệt cũng như khi phân tích toán học trường từ người ta thấy rằng trường từ quan sát được trên mặt đất là tổng của một số trường có nguồn gốc khác nhau.

Nếu gọi trường từ tổng là \vec{B}_T thì chúng ta có thể biểu diễn chúng dưới dạng tổng của các trường: \vec{B}_0 là trường từ của quả cầu bị từ hóa đồng nhất, \vec{B}_m là trường do các nguyên nhân bên trong gây ra, \vec{B}_a là trường do các lớp trên của vỏ trái đất bị từ hóa tạo nên, \vec{B}_e là trường liên hệ với các nguyên nhân bên ngoài và $\delta\vec{B}$ là trường biến thiên phụ thuộc vào các nguyên nhân bên ngoài

$$\vec{B}_T = \vec{B}_0 + \vec{B}_m + \vec{B}_a + \vec{B}_e + \delta\vec{B}. \quad (4.1)$$

Trường \vec{B}_a được gọi là trường dị thường, còn trường \vec{B}_m được gọi là trường lực địa vì trường này chiếm một không gian khá rộng. Trường \vec{B}_a bao gồm hai trường: \vec{B}'_a do các đá bị từ hóa nằm ở sâu gây nên, \vec{B}''_a do các đá nằm tương đối nông gây ra được gọi trường dị thường địa phương.

Thông thường tổng các trường đồng nhất, trường lực địa và trường ngoài được gọi là trường bình thường và được ký hiệu bằng \vec{B}_n

$$\vec{B}_n = \vec{B}_0 + \vec{B}_m + \vec{B}_e \quad (4.2)$$

Với quan điểm đó, nếu không kể đến trường biến thiên thì trường quan sát được là tổng của trường bình thường và trường dị thường:

$$\vec{B}_T = \vec{B}_n + \vec{B}_a \quad (4.3)$$

Như vậy, nếu biết trước sự phân bố của trường bình thường trên mặt đất, người ta có thể xác định được thành phần dị thường của trường từ và từ đó có thể giải quyết được vấn đề về cấu tạo địa chất các lớp trên của vỏ quả đất. Vấn đề này có giá trị rất quan trọng trong thực tế. Trong lĩnh vực thăm dò từ người ta thường phân trường tổng cộng thành hai phần: trường khu vực và trường địa phương. Tùy thuộc vào khái niệm trường địa phương mà chúng ta chú ý tới, trường khu vực có thể được xem là tổng của trường $\vec{B}_0 + \vec{B}_m + \vec{B}_e$ hoặc $\vec{B}_0 + \vec{B}_m + \vec{B}_e + \vec{B}_a$.

Như vậy khái niệm về trường bình thường là khái niệm qui ước. Khái niệm đó phụ thuộc vào mục đích của việc sử dụng các trường. Khi biết trước đại lượng trường tại một điểm nào

đó người ta không thể phân chúng ra thành các thành phần tương ứng với trường này hoặc trường khác, vì trong trường hợp này bài toán thường là bất định.

Việc tách trường bình thường như là hiệu giữa trường quan sát được và trường dị thường được tiến hành bằng phương pháp trung bình cộng hoặc trung bình theo đồ thị các giá trị quan sát được tại các điểm khác nhau trên mặt đất .

Veinber đã chứng minh rằng giá trị trung bình của trường dị thường tính theo toàn bộ diện tích của trường đó rất gần với không. Vì vậy khi tính trung bình trường trên vùng có dị thường, trường dị thường sẽ bị triệt tiêu. Thông thường việc trung bình hóa được tiến hành bằng phương pháp san bằng các đường đẳng trị hoặc vẽ lại các bản đồ từ với các tỷ lệ bé hơn.

4.2 Trường lục địa

Phương pháp giải tích nhằm khai triển thế của trường từ của quả đất thành chuỗi tạo nên khả năng phân chia định lượng trường quan sát được thành ra trường của Quả Đất như quả cầu bị từ hóa đồng nhất (trường lưỡng cực) và trường tương ứng với các thành phần bất đồng nhất của nó (trường không lưỡng cực). Đôi khi người ta gọi trường này là trường dị thường thế giới hoặc là trường lục địa.

Do đó nếu theo công thức (3.4) người ta tính được trường của quả đất hình cầu bị từ hóa đồng nhất và sử dụng các bản đồ trường bình thường để trừ đi trường đồng nhất (3.4) đó thì có thể tìm được trường lục địa.

Theo bản đồ các đường đẳng trị trường lục địa (còn dư) người ta thấy rằng mặt đất bị phân chia bởi các đường đẳng Z và thành một số vùng có dạng tròn. Tại tâm của mỗi một vùng, kim nam châm treo tại trọng tâm sẽ quay thẳng đứng. Tại một số vùng đầu bắc hướng xuống dưới, còn tại một số vùng khác đầu nam lại hướng xuống dưới.

Điều đó cho phép người ta cho rằng dưới tâm của mỗi một vùng có một nam châm nằm thẳng đứng. Có cả thảy sáu vùng như vậy, trong đó vùng nằm ở Nam bán cầu gần Nam cực bị phân ra thành hai vùng. Tọa độ địa lý của tâm mỗi vùng cùng với giá trị Z tại đó được biểu diễn ở bảng 4.1.

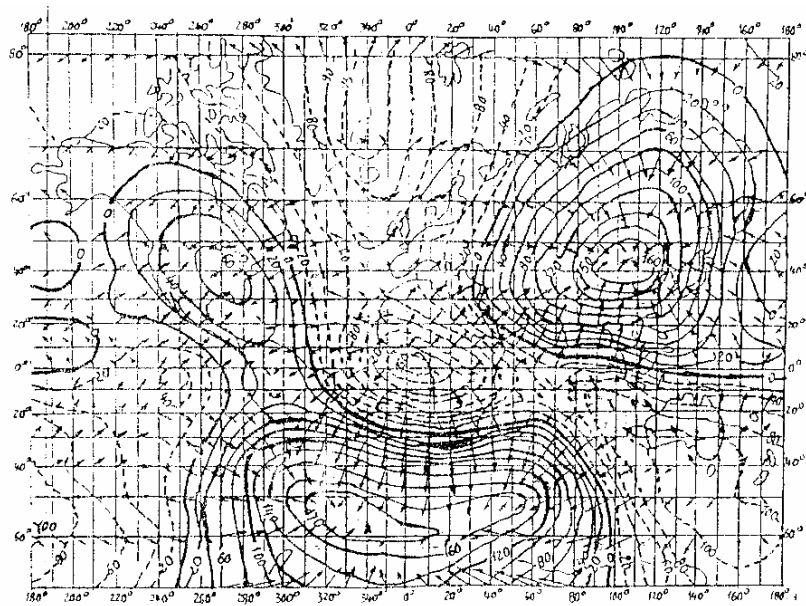
Bảng 4.1 Tọa độ tâm của vùng trường lục địa và giá trị Z (trường lục địa) tại đó

Vùng	Thời kỳ 1885		Thời kỳ 1950		Giá trị Z tại tâm (nT)	
	φ	λ	φ	λ	Thời kỳ 1885	Thời kỳ 1950

<i>Đông á</i>	<i>35°N</i>	<i>110°</i>	<i>40°N</i>	<i>100°</i>	<i>+13900</i>	<i>17500</i>
<i>Châu Phi</i>	<i>0</i>	<i>20</i>	<i>0</i>	<i>10</i>	<i>-12400</i>	<i>-15500</i>
<i>Bắc Mỹ</i>	<i>42</i>	<i>268</i>	<i>40</i>	<i>270</i>	<i>+8400</i>	<i>6600</i>
<i>Phần Bắc Thái Bình Đương</i>	<i>45</i>	<i>182</i>	<i>50</i>	<i>190</i>	<i>-2100</i>	<i>-3000</i>
<i>Icelandia (Băng đảo)</i>	<i>60</i>	<i>0</i>	<i>70</i>	<i>340</i>	<i>-10600</i>	<i>-8900</i>
<i>Đảo Tácmânia</i>	<i>45 S</i>	<i>135</i>	<i>40 S</i>	<i>140</i>	<i>-9200</i>	<i>-10500</i>
<i>Phần Nam Án Độ Đương</i>	<i>50</i>	<i>325</i>	<i>60</i>	<i>325</i>	<i>+16400</i>	<i>16700</i>
<i>Phần Nam Án Độ Đương</i>	<i>50</i>	<i>325</i>	<i>60</i>	<i>33</i>	<i>+16400</i>	<i>16600</i>

Tính hiện thực của các dị thường lực địa có thể được thiết lập bằng cách chứng minh rằng quả đất dạng cầu bị từ hóa đồng nhất, vì theo định nghĩa trường lực địa là hiệu số giữa trường quan sát được và trường của quả đất dạng cầu bị từ hóa đồng nhất. Tuy nhiên vẫn chưa có những bằng chứng trực tiếp để chứng minh quả đất là quả cầu bị từ hóa đồng nhất. Dấu hiệu chứng minh gián tiếp là một số các hiện tượng địa từ cũng như cực quang phụ thuộc vào vĩ độ. Hiện tượng này như chúng ta đã thấy ở trên có liên quan đến trục từ hóa đồng nhất.

Chính vì vậy mà một số nhà địa vật lý như Sulêikin và Glêbôpski cho rằng hướng của độ từ hóa đồng nhất của quả cầu trùng với hướng của trục quay của quả đất. Góc lệch 11° giữa hai trục là do các dị thường lực địa tạo nên. Tuy chưa chứng minh được tính hiện thực của trường dị thường lực địa, nhưng sự phụ thuộc của nhiều hiện tượng đối với vĩ độ địa từ và tính địa phương rõ ràng của các dị thường lực địa buộc người ta phải cho rằng giả thiết về sự từ hóa đồng nhất của quả đất dạng cầu dọc theo trục địa từ và tính độc lập của các dị thường lực địa do các đá bị từ hóa hoặc các dòng xoáy nằm trong vùng gây nên có nhiều khả năng hơn cả.



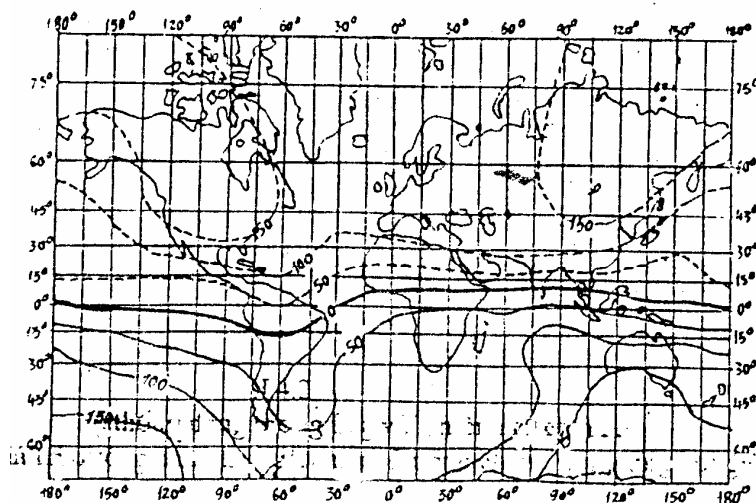
Hình 4.1

Thành phần thẳng đứng của trường lực địa thời kỳ 1942 (Vesetin 1947)

Vấn đề còn chưa được giải quyết là độ sâu của các đá hoặc các dòng điện đó. Một số các nhà nghiên cứu cho rằng các đá đó nằm ở độ sâu bằng khoảng một nửa hoặc một phần ba bán kính quả đất, ngược lại một số khác lại cho rằng các đá đó tập trung ở trong vỏ quả đất với độ sâu khoảng vài trăm kilômét.

Vesetin cùng với đồng nghiệp của mình đã tìm được lời giải đầy đủ và toàn diện về nguồn gốc của trường lực địa (trường dị thường thế giới).

Hình 4.2 biểu thị hệ thống các dòng chạy theo mặt cầu tại độ sâu 3000 km để tạo nên trường chính, còn hình 4.3 thể hiện hệ thống dòng tương ứng với trường lực địa. Vấn đề còn chưa được giải quyết là độ sâu của các đá hoặc các dòng điện đó.



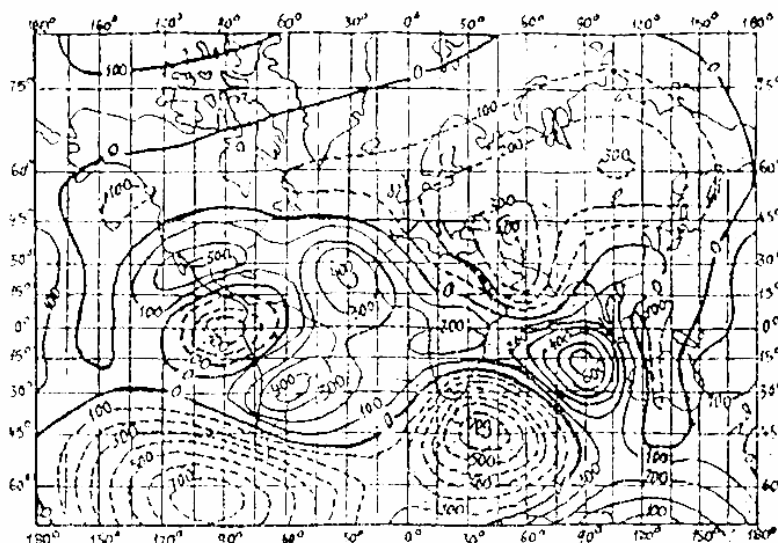
Hình 4.2

Hệ thống dòng tương ứng với trường từ chính

(Giá trị các đường đẳng trị -kilôampe- Đường chấm tương ứng với giá trị dòng âm)

Một số các nhà nghiên cứu cho rằng các đá đỏ nằm ở độ sâu bằng khoảng một nửa hoặc một phần ba bán kính quả đất, ngược lại một số khác lại cho rằng các đá đỏ tập trung ở trong vỏ quả đất với độ sâu khoảng vài trăm kilômét.

Từ tính chất cộng được của trường từ do các dòng gây ra người ta suy ra rằng hệ thống dòng tương ứng với trường từ chính (Hình 4.2) phải là tổng của các dòng gây nên trường lực địa (Hình 4.3) và dòng gây nên sự từ hóa đồng nhất của quả đất.



Hình 4.3

Hệ thống dòng tương ứng với trường lực địa (trường dị thường thế giới)

(Giá trị đường đẳng trị -kilôampe-Đường chấm tương ứng với giá trị âm)

Một sự kiện quan trọng nhằm xác định đơn giản vấn đề về vị trí của các nguồn gây nên trường lực địa hoặc còn gọi là phân không lưỡng cực của trường từ của quả đất là sự trôi dạt về phía tây, tức là sự dịch chuyển của các đường đẳng trị và trường dị thường thế giới từ đông sang tây. Sự kiện này dựa trên việc so sánh các đường đẳng trị dị thường thế giới (trường lực địa) được xây dựng tại các thời kỳ khác nhau. Rõ ràng rằng sự dịch chuyển các dị thường thế giới dọc theo mặt đất phải liên hệ với sự dịch chuyển các nguồn gây ra chúng. Nếu các nguồn gây nên trường này nằm trong vỏ quả đất thì dù vỏ có dịch chuyển đối với nhân thì chúng ta cũng thấy rằng không thể quan sát được sự dịch chuyển của các đường đẳng trị. Vì vậy khả năng duy nhất để giải thích nguồn gốc của trường lực địa (trường dị thường thế giới) là giả thuyết về sự có mặt của dòng xoáy tại ranh giới giữa nhân và manti. Trong trường hợp này sự dịch chuyển tâm các dị thường là do sự khác nhau về vận tốc quay của nhân và của manti.

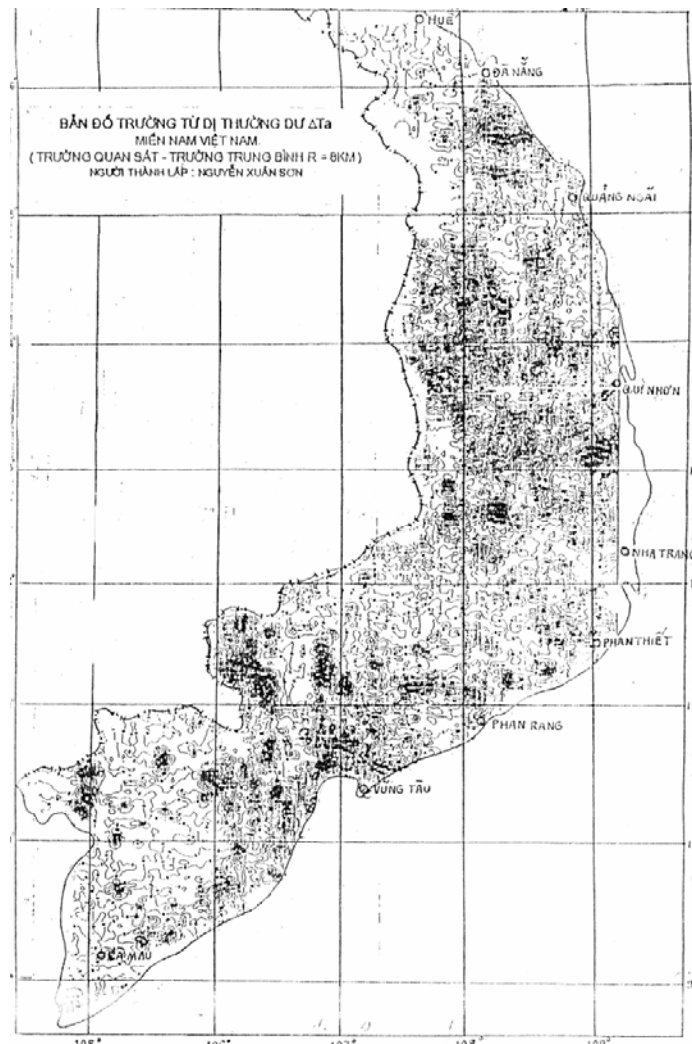
4.3 Các dị thường từ

Từ các quan điểm hiện đại về các nguyên nhân gây ra trường từ của quả đất chúng ta thấy rằng vì khoảng cách từ tâm đến mặt đất lớn cho nên trên mặt đất trong giới hạn vài chục kilômét, trường từ phải thay đổi theo qui luật tuyến tính tùy thuộc vào gradient của trường bình thường theo hướng đã chọn. Trong thực tế, người ta thấy sự thay đổi trường từ khác nhiều so với qui luật của trường bình thường. Sự sai lệch đó có thể rất nhỏ và có thể đạt đến đại lượng lớn gấp hàng ngàn lần gradient trường bình thường.

Sự chênh lệch của cường độ trường từ so với giá trị bình thường tại điểm cho trước được gọi là dị thường từ.

Nguồn gốc của dị thường từ là sự thay đổi thành phần của các đá tạo nên vỏ quả đất.

Hiện nay người ta còn chưa xác định được các đá nằm đến độ sâu bao nhiêu còn tạo nên dị thường quan sát trên mặt đất .



Hình 4.4

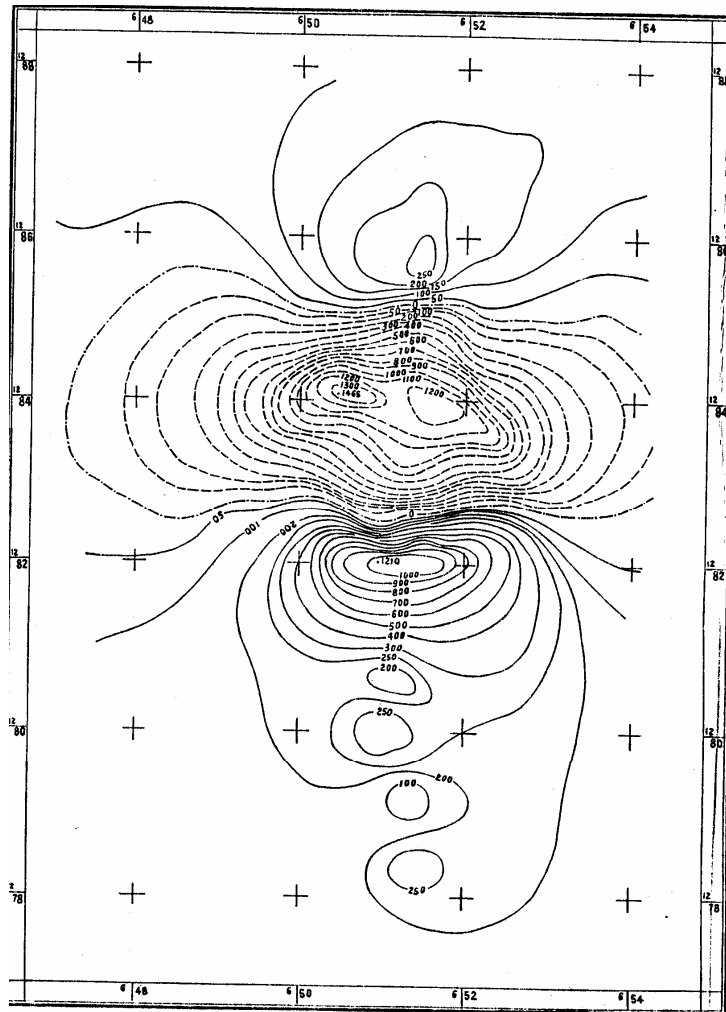
Một bản đồ dị thường từ Miền Nam Việt Nam

Nếu xem gradient nhiệt độ bình thường của quả đất theo hướng chiều sâu là 33 độ/km thì có thể giả thiết rằng, các đá còn nằm trong trạng thái bị từ hóa không thể sâu quá vài chục kilômét, vì sâu hơn nữa nhiệt độ của các đá đó vượt quá nhiệt độ Curie. Tuy nhiên do sự dao động gradient nhiệt độ lớn trong vùng các đá trầm tích và các đá phun trào, cũng như không có các số liệu ngoại suy về sự thay đổi nhiệt độ ở những độ sâu lớn nên vấn đề về giới hạn dưới của các đá bị từ hóa còn chưa được giải quyết. Theo các tính toán được tiến hành tại các vùng dị thường lớn trên lãnh thổ của Liên Xô và Mỹ thì giới hạn độ sâu của các thành hệ địa chất bị từ hóa khoảng 20-25 km.

Trong vùng các đá kết tinh cổ, người ta thấy rằng trong khoảng độ sâu vài chục kilômét, gradient nhiệt độ thấp hơn nhiều so với gradient nhiệt độ trung bình. Sở dĩ như vậy là vì độ dày của các đá nằm trong trạng thái bị từ hóa trong các vùng đó lớn hơn nhiều so với độ dày thông thường. Nhưng trên các vùng đã được khảo sát, hiện nay vẫn chưa phát hiện được các dị thường từ mà theo đó với những phương tiện hiện đại có thể tính được độ sâu giới hạn của các đá bị từ hóa mặc dầu chỉ là gần đúng.

Vì các dị thường từ do các đá có mức độ từ hóa và độ dày khác nhau gây ra nên ta có thể quan sát được chúng tại các vùng hẹp (một vài phần của kilômét vuông) đến các vùng rộng lớn (hàng chục kilômét vuông). Về cường độ các dị thường từ có khi vượt quá trường bình thường đến vài lần. Ví dụ dị thường vùng Cuốc (Liên Xô cũ) tại một số nơi đạt đến giá trị $2 \cdot 10^5$ nT, tức là bốn lần lớn hơn giá trị trường bình thường tại vùng đó. Giới hạn dưới của các dị thường từ quan sát được tùy thuộc vào mức độ chính xác của các phép đo từ. Các dị thường từ do các vật thể địa chất có kích thước giới hạn gây ra trong tất cả các trường hợp đều gồm các trường dương và trường âm, tức là tuân theo quy luật:

$$\oint Z dS = 0 \quad (4.4)$$



Hình 4.5

Một bản đồ địa thường từ trong khu vực nhỏ

Trong đó tích phân được tính theo diện tích có kích thước khoảng vài lần lớn hơn kích thước và độ sâu của vật thể gây ra dị thường. Cơ sở vật lý của qui luật này là tính khép kín của các đường sức của trường từ.

Người ta thừa nhận dùng hàm tự tương quan $R(\tau, x)$ để biểu thị các tính chất của trường từ dị thường. Hàm tự tương quan miêu tả mức độ liên hệ thống kê giữa hai tiết diện của một quá trình ngẫu nhiên, tức là mức độ phụ thuộc giữa các giá trị của hàm ngẫu nhiên dịch chuyển đối với nhau một khoảng τ . Khi quá trình là một quá trình dừng thì hàm số tự tương quan không phụ thuộc vào tọa độ x mà chỉ là thông số của độ dịch chuyển τ . Hàm số tự tương quan được xác định như sau:

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T H(x)H(x + \tau)dx \quad (4.5)$$

Trong đó T là khoảng tích phân. Nếu sử dụng biểu thức Vinerơ-Khinsin thì từ biểu thức của hàm số tự tương quan thì người ta có thể tìm được mật độ phổ của trường dị thường. Các kết quả đo từ hàng không ở Liên Xô cũng như ở Bắc Mỹ được sử dụng rộng rãi để thành lập

các sơ đồ đẳng sâu móng kết tinh trong các vùng nền. Theo các số liệu khoan và địa chấn sai số xây dựng như vậy khoảng 15%.

Việc nghiên cứu và phân tích trường dị thường từ của quả đất có giá trị thực tế rất lớn không những trong lĩnh vực vẽ bản đồ địa chất, tìm kiếm và thăm dò các mỏ khoáng có ích mà còn làm sáng tỏ các đặc điểm cấu kiến tạo của các vùng thể hiện trong trường từ và trong mặt cắt địa từ của vỏ quả đất.

4.4 Các biến thiên thế kỷ

Khi tiến hành quan sát lặp lại trường từ trên toàn quả đất cũng như khi nghiên cứu độ từ hóa của các vật thể kiến trúc cổ người ta thấy rằng trường từ của quả đất chịu sự biến thiên lâu dài về độ lớn cũng như về hướng. Biến thiên này được gọi là biến thiên thế kỷ. Sự thay đổi giá trị trung bình hàng năm của mỗi một yếu tố địa từ sau một năm được gọi là chu trình thế kỷ.

Người ta thường xác định chu trình thế kỷ tại các đài vật lý địa cầu (địa từ), nơi mà người ta có thể ghi được liên tục và chính xác các yếu tố địa từ.

Để nghiên cứu biến thiên thế kỷ người ta thành lập bản đồ về các đường đẳng trị về chu trình thế kỷ (Hình 4.6). Từ các bản đồ đó người ta thấy rằng có một qui luật nhất định về sự phân bố chu trình thế kỷ trên mặt đất. Các đường đẳng trị bao quanh một vài tâm nào đó. Các tâm này được gọi là tâm chu trình thế kỷ.

Bảng 4.2 là chu trình thế kỷ về độ từ thiên tại London, Paris và Roma (La Mã).

Quan sát sự thay đổi về mômen từ của quả đất người ta thấy rằng sau khoảng 100 năm mômen từ thay đổi khoảng 5% và cực từ dịch chuyển dọc theo tuyến khoảng 5° về hướng tây. Từ đây chúng ta thấy rằng trục từ chuyển động tuế sai xung quanh trục quay của quả đất với tốc độ $0,05^\circ/\text{năm}$.

Bản thân các đường đẳng chu trình thế kỷ cũng dịch chuyển. So sánh các bản đồ theo các thời kỳ khác nhau chúng ta thấy rằng các tâm chu trình thế kỷ liên tục thay đổi. Sự dịch chuyển của các tâm đó và sự thay đổi độ lớn của chúng rất giống với sự dịch chuyển của các tâm dị thường thế kỷ về hướng tây.

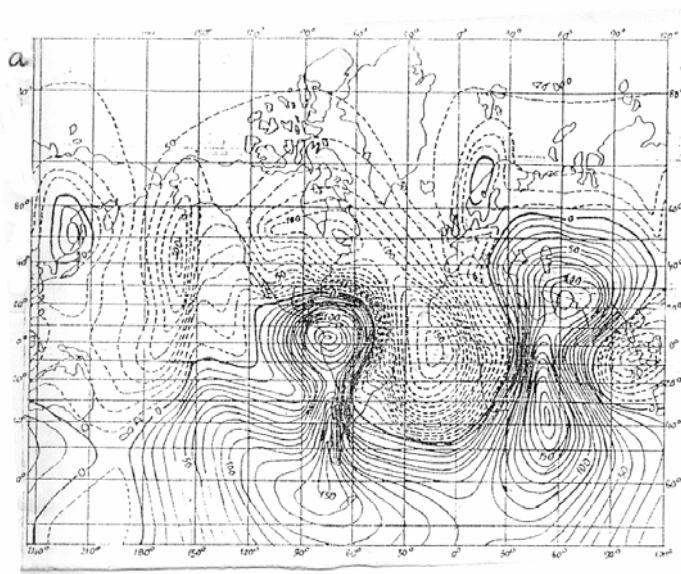
Bảng 4.2 Chu trình thế kỷ về độ từ thiên

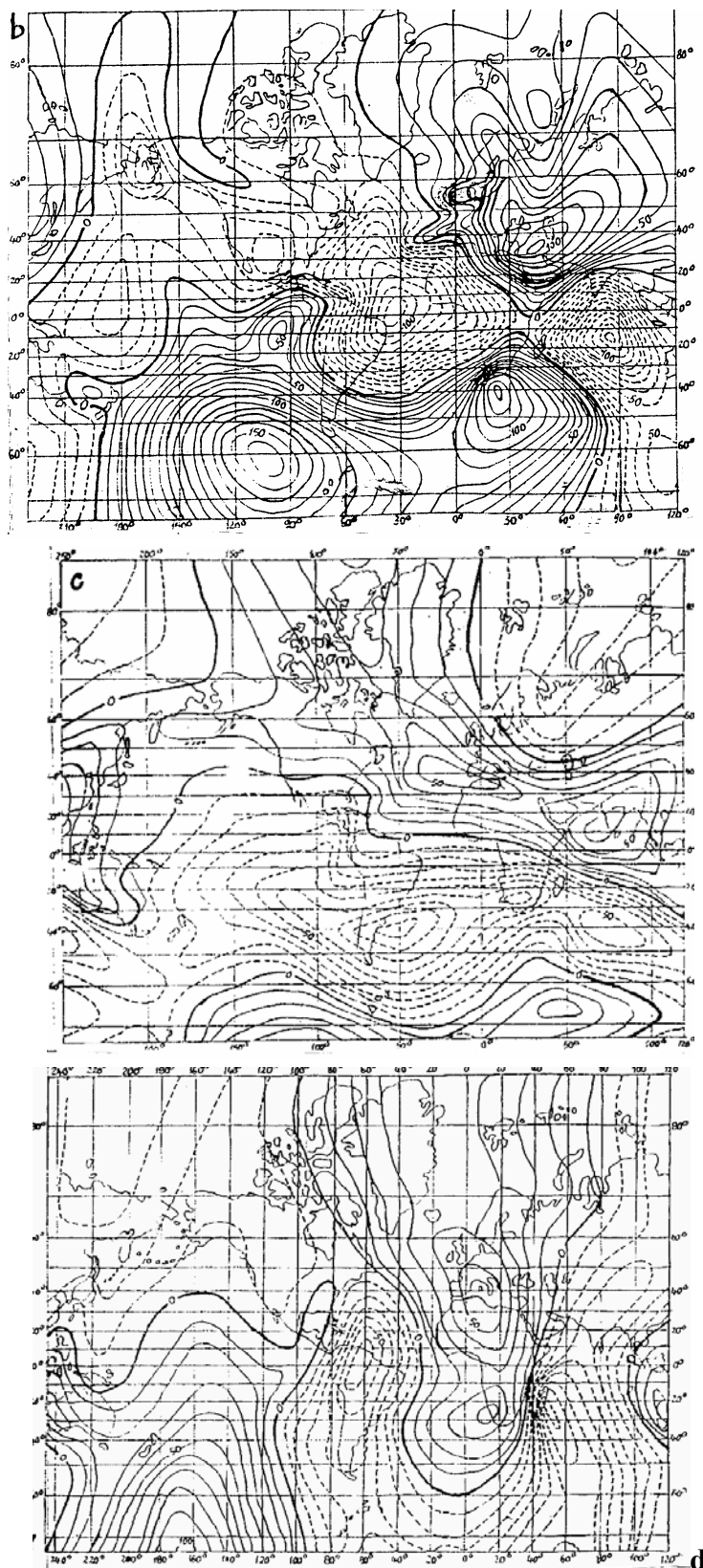
Thời kỳ	London		Paris		Roma	
	D^0	$\delta D'/\text{năm}$ m	D^0	$\delta D'/\text{năm}$ m	D^0	$\delta D'/\text{năm}$ m

1540	7,2	-	8,2	-	-	-
1560	9,6	7,2	9,3	3,3	10,47	-
1580	10,93	4,0	9,6	0,9	10,61	0,4
1600	10,43	-1,5	8,8	-2,4	11,41	2,4
1620	7,26	-9,5	6,9	-5,7	9,88	-4,6
1640	3,27	-12,0	4,42	-7,4	7,29	-7,8
1660	-0,59	-11,6	0,86	-10,7	3,96	-10,3
1680	-3,89	-9,9	-3,47	-13,0	-0,01	-11,6
1700	-7,03	-9,4	-7,99	-13,6	-4,01	-12,0
1720	-10,97	-11,8	-12,27	-12,8	-7,77	-11,3
1740	-13,30	-13,0	-13,83	-10,7	-11,02	-9,8
1760	-19,57	-12,8	-18,76	-8,8	-13,63	-7,8
1780	-22,65	-9,2	-20,87	-6,3	-15,51	-5,6
1800	-24,07	-4,3	-22,12	-3,8	-16,64	-3,4
1820	-24,09	-0,06	-22,40	-0,8	-17,06	-1,3
1840	-23,22	2,6	-21,34	3,2	-16,77	0,9
1860	-21,55	5,0	-19,54	5,4	-15,84	2,8
1880	-18,73	8,5	-16,76	8,3	-14,17	5,0
1900	-16,5	6,7	-14,60	6,5	-	-
1942	-10,0	9,3	-8,00	9,4	-3,00	10,8

Hiện tượng này được gọi là hiện tượng trôi dạt về hướng tây. Theo các số liệu quan sát được thì vận tốc trôi dạt trung bình khoảng $0,18^{\circ}$ /năm.

Ngoài việc chuyển động về hướng tây, các tâm của các đường đẳng trị còn dịch chuyển về phía Bắc (đối với các tâm ở bán cầu bắc) và xuống phía nam đối với các tâm ở bán cầu nam. Nhưng các dịch chuyển này ít rõ ràng hơn so với việc trôi dạt.





Hình 4.6

Bản đồ đẳng trị chu trình thế kỷ của thành phần thẳng đứng (a,b) và thành phần đông (c, d) tại thời kỳ 1912 (a, c) và thời kỳ 1942 (b, d)

(Giá trị ghi tại các đường đẳng trị là $nT/năm$. Các đường chấm tương ứng với các giá trị âm, còn các đường liền tục là các đường dương)

4.5 Các biến thiên ngày đêm của địa từ trường

4.5.1 Nhận xét đầu tiên

Khảo sát các giản đồ từ ghi được trong một số ngày liên tiếp ta có thể nhận thấy rằng các thành phần của trường từ của quả đất biến đổi theo ngày với biên độ khoảng vài chục nT . Các biến thiên ghi nhận được theo ngày như vậy được gọi là các biến thiên ngày đêm của điện từ trường. Nghiên cứu và phân tích kỹ các biến thiên ngày đêm ta thấy rằng biên độ dao động của các thành phần trường địa từ biến đổi theo mùa đồng thời phụ thuộc vào độ hoạt động của mặt trời.

Tu chỉnh các số liệu thu được về các biến thiên của trường địa từ người ta đã nhận biết được rằng trong các thành phần phổ của chúng một số chu kỳ biến thiên như sau đã được phát hiện:

Chu kỳ 8 h, 12 h và 24 h

Chu kỳ 13,5 ngày và 27 ngày

Chu kỳ 6 tháng và 12 tháng.

Người ta nhận thấy rằng các biến thiên có chu kỳ ngắn trong các thành phần phổ của các băng từ thường là do các nguyên nhân bên ngoài gây ra.

4.5.2 Biến thiên ngày đêm mặt trời

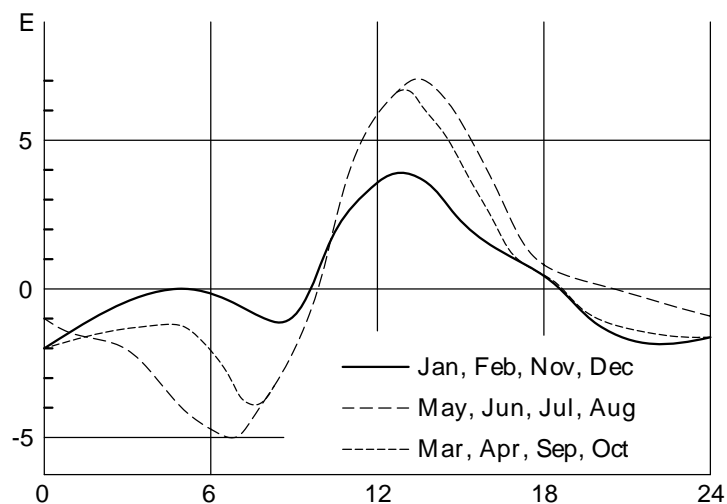
Nếu ta khảo sát kỹ các băng từ ghi được tại các ngày kế tiếp nhau trong những ngày hoạt động từ yên tĩnh, ta nhận biết rằng biến thiên tổng cộng của các thành phần trường trong khoảng 24 h là bằng không. Nếu sử dụng công thức tính trung bình cho một đại lượng trong phạm vi một chu kỳ:

$$\overline{P_{0,t_0}} = \frac{1}{T} \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} P_{0,t} dt \quad (4.6)$$

ta có thể xác định được sự biến thiên ngày đêm của thành phần trường B tại trạm địa từ O theo công thức sau:

$$S_r(O, t) = B(O, t) - \frac{1}{T} \int_{t - \frac{T}{2}}^{t + \frac{T}{2}} B(O, t) dt \quad (4.7)$$

với $T=24$ h.

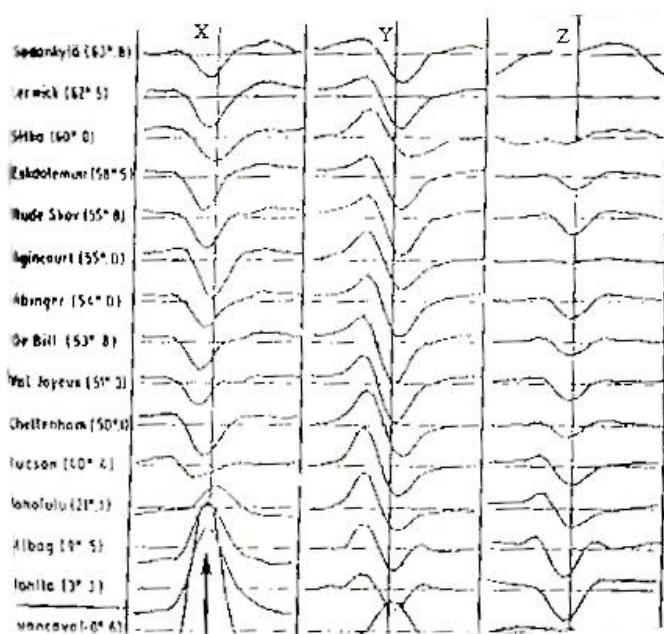


Hình 4.7

Ví dụ về biến thiên ngày đêm về độ từ thiên tại đài địa từ Chambon La Foret của Pháp

Nếu muốn chỉ sự biến thiên trong tất cả các ngày thay cho chỉ số r ta dùng chỉ số a . Tuy nhiên để làm sáng tỏ sự biến thiên nội tại của S_a người ta thường tiến hành nghiên cứu sự biến thiên ngày đêm trong các ngày yên tĩnh S_q (q là chữ đầu của tiếng Anh quiet có nghĩa là yên tĩnh). Các giá trị này được lấy từ giá trị 5 ngày trong tháng được xem là yên tĩnh nhất. Tất nhiên người ta phải khừ bỏ các ngày mà trường địa từ bị nhiễu loạn. Người ta còn nghiên cứu các biến thiên S_d trong các ngày trường địa từ bị nhiễu loạn (d là chữ đầu của tiếng Anh disturbed- bị nhiễu loạn).

Nếu người ta vẽ các đường cong $S_a - S_q$ và $S_d - S_q$ ta phát hiện ra chúng có cùng một dạng trong khi biên độ thì có thể khác nhau. S_q là một hiện tượng tương đối cố định bổ sung thêm cho hiện tượng nhiễu loạn S_d .



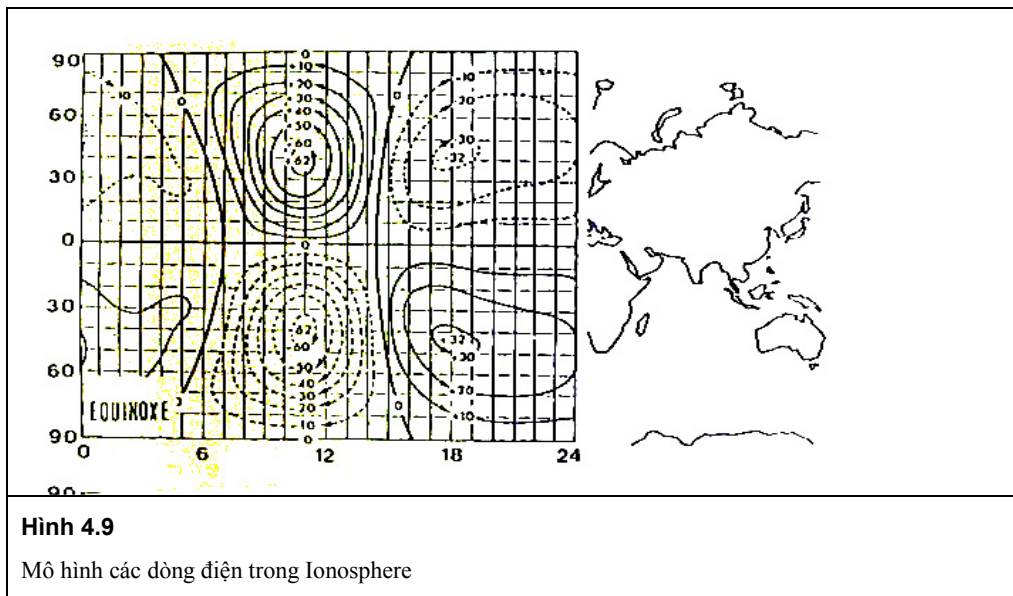
Hình 4.8

Biến thiên ngày đêm trung bình tại các kinh độ khác nhau tại các mùa xuân phân và thu phân (Tháng 3, 4 và 9,10)

Với một trạm quan sát địa từ cố định, S_a thay đổi chậm từ tháng này qua tháng khác và theo thông lệ người ta lập thành nhóm gồm các tháng có đường cong biến đổi tương tự như nhau:

- Nhóm mùa hè (hạ chí) gồm các tháng 5, 6, 7 và tháng 8.
- Nhóm mùa đông (đông chí) gồm các tháng 11, 12, 1 và tháng 2
- Nhóm Xuân-Thu (Xuân-Thu phân) gồm các tháng 3, 4 và 9,10.

Nếu ta khảo sát các giản đồ từ trên các kinh độ khác nhau nhưng có cùng vĩ độ thì ta thấy chúng chồng khít lên nhau nhưng phải xây dựng các giản đồ đó theo giờ địa phương (thời gian mặt trời). Như vậy người ta có thể nói rằng các biến thiên có nguồn gốc ở trong một vùng xác định đối với mặt trời mà quả đất của chúng ta đi qua dưới đó.



Các phân tích cầu đã được tiến hành chứng tỏ rằng 2/3 nguyên nhân của biến thiên ngày đêm có nguồn gốc bên ngoài còn 1/3 có nguồn gốc bên trong. Một nghiên cứu bổ sung chứng tỏ rằng có sự liên quan chặt chẽ giữa hai nguồn gốc đó. Thành phần bên trong là thành phần cảm ứng trong phần dẫn của quả đất do nguồn gốc bên ngoài gây nên. Như người ta đã biết hiện tượng này là do dòng điện trong tầng cao của khí quyển (ionosphere) có cường độ đến hàng chục nghìn Ampe gây nên.

Hàng loạt các nghiên cứu được thực hiện ở vùng xích đạo xác nhận một hiện tượng khá thú vị là biến thiên ngày đêm của thành phần H thường tăng đến gấp hai lần dọc theo xích đạo từ. Sau này bằng nghiên cứu thực nghiệm người ta xác nhận được ngay rằng hiện tượng này có liên quan đến một vành dòng có cường độ biến thiên nằm ở độ cao hàng trăm km trên xích đạo từ. Dòng điện này được gọi là dòng điện xích đạo.

Dưới tác dụng của các thành phần trong bức xạ mặt trời như các tia tử ngoại (UV) và các tia X mức độ dẫn điện của tầng cao khí quyển tăng lên. Do tác dụng nhiệt cũng như do tác dụng của trọng lực các khối khí chuyển động so với từ trường của quả đất tạo nên các hiệu điện thế trong môi trường dẫn. Kết quả là các hiệu điện thế này tạo nên các dòng điện. Chính các dòng điện này là nguyên nhân bên ngoài dẫn đến các biến thiên ngày và đêm S_a . Hiện tượng cảm ứng xảy ra trong phần dẫn của quả đất đã tạo nên nguyên nhân bên trong của các biến thiên đó.

4.5.3 Biến thiên ngày đêm mặt trăng

Nếu ta nghi ngờ hiệu ứng triều từ phía mặt trời thì ta phải tính đến hiệu ứng triều từ phía mặt trăng. Đo đạc các thông số khí tượng nhiều lần và lâu dài về khí quyển người ta đã nhận thấy rằng:

Hiện tượng triều trong khí quyển có khác với hiện tượng triều trên đại dương.

Trong quá trình triều trên đại dương tác dụng trọng lực của mặt trăng là chủ yếu (tác dụng triều của mặt trăng lớn gấp 2,2 lần so với tác dụng triều của mặt trời: mặt trăng làm thay đổi trọng lực tối đa trên mặt đất một lượng 0,12 mgal, trong lúc mặt trời chỉ tác dụng tối đa một lượng 0,05 mgal) và tác dụng trọng lực của mặt trăng tạo nên hiện tượng triều trên đại dương với chu kỳ nửa ngày mặt trăng. Ngược lại ta không quan sát được hiện tượng triều này trong khí quyển. Biên độ triều trong trường hợp này rất thấp.

Các nghiên cứu thống kê trên đất liền đối với khí quyển lại cho thấy rằng tác dụng triều của mặt trời lại quan trọng hơn tác dụng triều của mặt trăng (gấp 16 lần). Tại xích đạo tác dụng này làm thay đổi khoảng 0,08 mbar.

Hiện tượng triều của mặt trời với chu trình nửa ngày có bản chất nhiệt do việc khí quyển hấp thụ các tia bức xạ từ mặt trời.

Tại độ cao 100 km biên độ triều khí quyển lớn hơn biên độ triều trên mặt đất cỡ 100 lần.

Qua nhận định về các hiện tượng triều trong khí quyển này, như vậy hiện tượng trong khí quyển do mặt trời gây ra chủ yếu phụ thuộc và vị trí của mặt trời so với kinh tuyến của điểm khảo sát.

Như vậy tác dụng triều của mặt trăng chủ yếu tác dụng về mặt trọng lực và yếu hơn rất nhiều tác dụng triều của mặt trời trong trường hợp này có bản chất nhiệt. Vì những lẽ trên mà biến thiên ngày đêm theo mặt trăng không được thể hiện rõ trên các băng ghi từ mà chỉ bằng các xử lý thông kê người ta mới có thể thấy được sự biến thiên trường địa từ theo mặt trăng. Biên độ biến thiên này khoảng 8 nT.

4.5.4 Nghiên cứu thống kê về độ hoạt từ. Chỉ số Bartel

Sử dụng các đại lượng trung bình không phải là phương tiện hữu hiệu để mô tả một hiện tượng có tính chất bán chu kỳ như là hiện tượng bão từ. Vì lẽ đó trong quá trình nghiên cứu người ta đã đưa vào một loạt các chỉ số để biểu thị biên độ từ quá độ. Mỗi chỉ số này có tính riêng biệt trong từng trạm ghi từ và có tính cơ cấu thể giới được tổ hợp lại để tạo nên một chỉ số toàn cầu.

Chỉ số C. Chỉ số này liên quan đến hoạt động địa từ hàng ngày nó đặc trưng cho trạng thái hoạt động của từng địa phương:

C=0 tương ứng với trạng thái yên tĩnh.

C=1 tương ứng với trạng thái hoạt động yếu.

C=2 tương ứng với trạng thái nhiễu loạn.

Các chỉ số địa phương này là các số nguyên, còn đặc tính quốc tế trung bình lại là một số thập phân. Do không tính đến việc đo thực tế các biên độ như không tính đến thang chia độ nên chỉ số C thường mang tính chủ quan.

Chỉ số K (Chỉ số ba-giờ Bartels)

Đây là chỉ số địa phương xuất phát từ việc ghi ba thành phần vuông góc của trường địa từ như X, Y, Z hoặc D, H, Z. Chỉ số này cho biết cường độ biến thiên liên hệ với các bức xạ hạt của mặt trời.

Đây là sự biến thiên tổng thể của thành phần trường chịu sự biến thiên lớn nhất trong khoảng thời gian ba tiếng đồng hồ. Như vậy có 8 chỉ số K trong một ngày.

Biểu thức liên hệ giữa biên độ chuyển tiếp và chỉ số K gần đúng là biểu thức loga và được xác định tại mỗi một trạm địa từ.

Tại trạm địa từ Bourbes:

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Biên độ biến thiên (nT)	5	10	20	40	70	120	200	330	500	

Ta nhận thấy rằng phép đo độc lập đối với giá trị trung bình của trường và độ chính xác càng lớn khi biên độ biến thiên bé.

Chỉ số K là chỉ số có tính địa phương, còn trên phạm vi toàn cầu người ta lấy số đo trong hàng chục các trạm trên cùng một bán cầu Bắc tại các vĩ độ trung bình để xác định chỉ số K_p cho toàn cầu.

K	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Chuyển đổi tương đương thành a_k (nT)	0	3	7	15	27	48	80	140	240	400

Vì khó thực hiện phép lấy trung bình loga người ta quay trở về biên độ tuyến tính dựa trên chỉ số ba giờ tương đương với a_k có giá trị cho mỗi một trạm địa từ, ví dụ tại Bourbes:

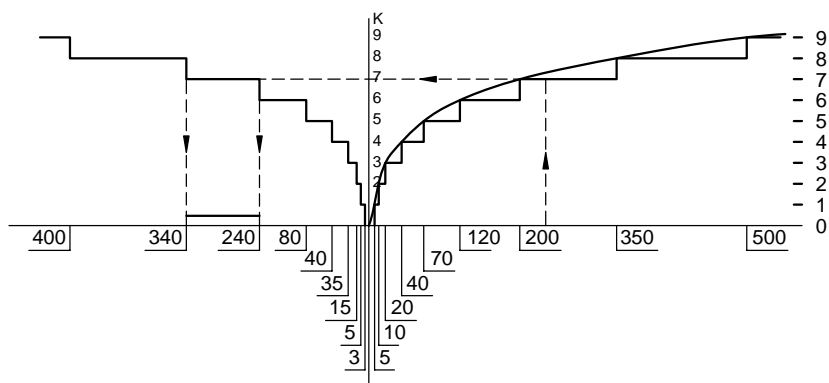
Giá trị trung bình của 8 đại lượng a_k cho một ngày được dùng làm chỉ số A_k cho ngày đó và được gọi là biên độ tương đương của một ngày.

Các chỉ số C, K, A_k thường được đính kèm với các mô tả về biên độ của các quá trình trong vòng 27 ngày cũng như nửa năm.

Còn có những chỉ số khác mô tả sự hoạt động từ được xây dựng trên sự phân chia đồng nhất các băng từ trong cả hai bán cầu. Người ta đã định nghĩa K_N cho bán cầu bắc và K_S cho bán cầu nam. Quay trở về biên độ cho phép ta tính toán một chỉ số “thế giới” a_m tương ứng với chỉ số loga K_M .

Ta có thể kể thêm một số chỉ số sau:

- Chỉ số AA từ hai trạm đối ngược nhau.
- Chỉ số AE nhằm phục vụ cho việc xác định các vùng rạn đông.
- Chỉ số D nhằm xác định độ hoạt động trong miền xích đạo.



Hình 4.10

Các chỉ số

Chỉ số Bartels mô tả biên độ các hiện tượng chuyển tiếp liên hệ với độ hoạt động của mặt trời và do đó về nguyên tắc không liên hệ với giá trị trung bình của trường địa từ cảm ứng. Tuy nhiên trong trường hợp hoạt tính yếu, do sự co dãn của thước đo K mà ta không dễ gì khử bỏ được thành phần ban ngày.

Chỉ số K được đính kèm với trạm địa từ. Người ta có thể xây dựng chỉ số K_p làm chỉ số cho hàng chục trạm địa từ.

Có một công thức thực nghiệm để mô tả mối liên hệ giữa x chỉ số K_p với vận tốc của gió mặt trời:

$$v_{(km/s)} = (8,44 \pm 0,74) \sum K_p \text{ bartel} + (330 \pm 17)$$

Tổng lấy trong một ngày

4.5.5 Nhiễu loạn từ nhận biết được trên mặt đất (bão từ)

Hiện tượng nhiễu loạn từ thường được đề cập đến trong các phần nghiên cứu về điện ly hay trong phần nghiên cứu về từ quyển. Nguồn gốc của nhiễu loạn từ trong các phần kể trên đã được nghiên cứu khá chi tiết. Về mặt hình thái học người ta phân biệt bão từ với thời gian bắt đầu khá đột ngột với nhiễu loạn từ có giai đoạn bắt đầu tiến triển từ từ. Trường hợp thứ nhất là do sóng va chạm gây nên, còn trường hợp thứ hai là do sự phân tách của gió mặt trời trong không gian.

Trong bão từ theo truyền thống người ta thường tiến hành mô tả:

- Biên độ của một thành phần trường.
- Vĩ độ từ.
- Kinh độ từ.

- Thời điểm bắt đầu có bão từ.

Vì hiện tượng này liên hệ với sự hoạt động của mặt trời và không phụ thuộc vào sự quay của quả đất nên thông thường để làm gốc, người ta dùng kinh tuyến nửa đêm và cho quả đất quay xung quanh kinh tuyến đó.

Nếu người ta kiểm tra lại các ghi chép thu được từ các trạm địa từ khác nhau có kinh độ tạm thời người ta có thể kết luận:

- Hiện tượng bão từ có tính toàn cầu.

- Nếu khảo sát thành phần nằm ngang thì ta thấy thành phần này được cấu thành từ bốn pha kế tiếp nhau.

- Lúc đầu khi bất ngờ xảy ra bão từ giai đoạn bão từ bất ngờ (SSC-Sudden Storm Commencement) thường kéo dài vài chục phút và kéo theo sự tăng thành phần nằm ngang H đến hàng chục nT.

- Sau pha ban đầu, thành phần H vượt quá giá trị bình thường. Biên độ này giảm dần trong khoảng từ ba đến bốn giờ kể từ lúc SSC xảy ra.

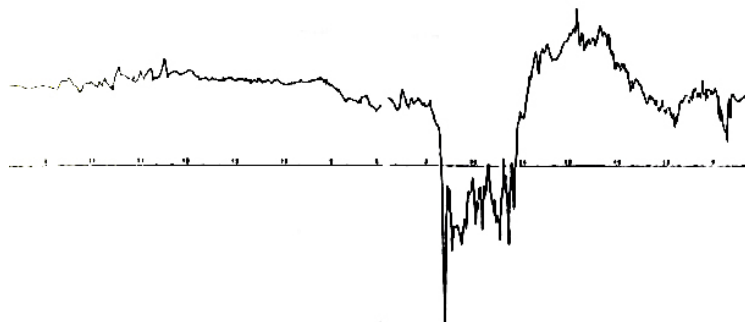
- Giai đoạn tiếp theo thành phần H lại tiếp tục giảm (30 đến 40 nT và có thể nhiều hơn)

- Giai đoạn cuối cùng là giai đoạn phục hồi và thường kéo dài từ ba đến bốn ngày để cho thành phần H trở về trạng thái đầu tiên khi chưa có bão từ.

Vì biên độ của pha đầu tiên có khuynh hướng không đổi cho nên pha ngắn ban đầu có thể được xem là dấu hiệu báo trước những trận bão từ quan trọng.

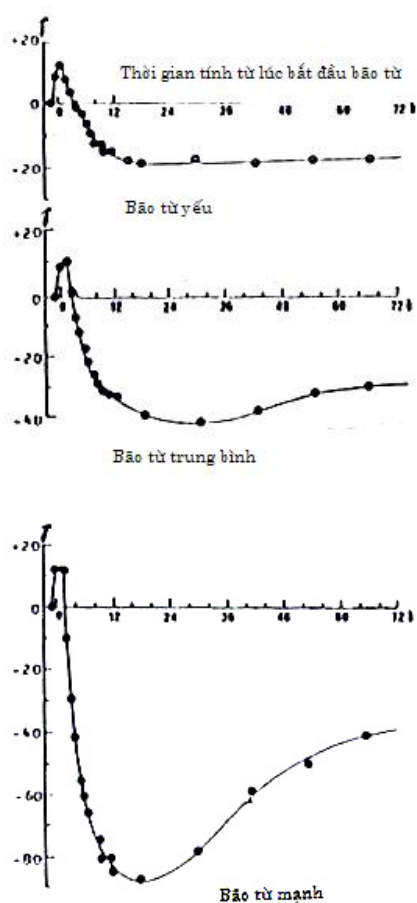
- Bằng cách so sánh các băng ghi từ cùng thể hiện một trận bão từ tại các trạm địa từ khác nhau, Chapman đã chứng tỏ rằng hiện tượng biểu thị trên một thành phần biến đổi như nhau trên mọi vĩ độ (thành phần trung bình do quay được kí hiệu bằng chữ D_{st} và thành phần mà trong đó kinh độ được xem như là biến số (thành phần bất đối xứng, dư được kí hiệu bằng chữ D_s)

Nếu D là nhiễu động của bão từ, thì ta có: $D = D_{st} + D_s$



Hình 4.11

Băng ghi sự thay đổi của T trong ngày bão từ



Hình 4.12

Mô hình bão từ

Các nguồn khác nhau tương ứng với các thành phần D_{st} và D_s được mô hình hóa bằng lớp các dòng điện ảo trong khí quyển tầng cao tại các khoảng cách bằng nhiều lần bán kính quả đất.

Trong cách biểu diễn như vậy, D_{st} là do lớp dòng điện chạy trong lớp cầu song song với xích đạo gây ra. Để đơn giản ta thay lớp cầu này bằng một dòng điện tròn chạy song song với xích đạo trong lớp khí quyển tầng cao. Nếu tính từ trường theo công thức từ trường của vòng dây tròn tại tâm (Theo Tôn Tích Ai- Điện và Từ 2005) thì:

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{I}{2R} \quad (4.8)$$

trong trường hợp này nếu lấy R xấp xỉ 4,5 bán kính quả đất tức là khoảng $30 \cdot 10^6$ m và khi có bão từ thành phần B thay đổi cỡ 40 nT, tức là cường độ từ trường H biến đổi khoảng 0,03 A/m, thì thay vào trong công thức trên cường độ dòng điện khoảng $I \approx 2 \cdot 10^6$ A.

Dòng điện này có thể giảm đi 1/3 để có thể tính đến sự tham gia của dòng cảm ứng có trong nhân quả đất.

Người ta rút ra dòng điện cỡ $10^6 - 10^7$ A và dòng này không liên quan gì đến dòng trong tầng điện ly gây nên biến thiên S_q nhỏ hơn nhiều.

Sự suy giảm của trường cảm ứng trong pha chính tại các vùng vĩ độ thấp và trung bình chứng tỏ vòng dây có dòng tương đương như vậy dịch chuyển từ Đông sang Tây.

4.5.6 Độ xuyên sâu và sự dẫn điện trong nhân của quả đất

Nếu đơn giản ta xem từ trường Quả Đất có nguồn gốc bên ngoài có dạng $B \cos(\omega t + \varphi)$ và dòng cảm ứng bên trong được tạo ra trong quả cầu có độ dẫn đều σ , thì người ta có thể chứng minh rằng biên độ của dòng cảm ứng có độ lớn bằng $1/e$ có tại độ sâu h với:

$$h = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}} \quad (4.9)$$

Mặt khác, nếu ta xem nhân quả đất là đồng nhất và có bán kính r_0 và độ dẫn điện σ thì hằng số thời gian (thời gian mà sau đó hiện tượng quá độ đến 63% đại lượng cố định) trong hiện tượng cảm ứng, được xác định bằng công thức:

$$T = \mu_0 \sigma \left(\frac{r_0}{\pi} \right)^2 \quad (4.10)$$

Người ta có thể sử dụng thành phần D_{st} như là thành phần kích động trung bình. Nghiên cứu phân chia thành phần D_{st} ra thành hai thành phần gồm thành phần nằm ngang hướng lên phía Bắc X và thành phần thẳng đứng Z cho phép ta xác định được rằng nếu e là phần do trường bên ngoài gây ra dòng cảm ứng trong nhân, còn i là phần đóng góp do chính bên trong quả đất gây ra thì :

$$\begin{aligned} X(D_{st}, t, \theta) &= -[i(t) + e(t)] \sin \theta \\ Z(D_{st}, t, \theta) &= [-2i(t) + e(t)] \cos \theta \end{aligned} \quad (4.11)$$

trong đó θ là góc phụ của vĩ độ điểm quan sát ($\theta + \varphi = 90^\circ$)

Tại mỗi giá trị của θ cho trước, bằng cách đo các thành phần X và Z ta có thể xác định được các giá trị của i và của e .

Ví dụ nếu lấy nhân quả đất có bán kính $r_0 = 3500$ km, độ dẫn điện của nhân khoảng $\sigma = 3.10^5 \Omega^{-1} m^{-1}$ thì

$$T = 4\pi.10^{-7} 3.10^5 \left(\frac{3500.10^3}{\pi} \right)^2 \approx 15.10^3 \text{ năm.} \quad (4.12)$$

Một ví dụ khác, nếu như sự trôi dạt sang hướng Tây được thực hiện với vận tốc từ 0,2 đến 0,3 độ trong một năm, chu kỳ của hiện tượng là 1000 năm và độ kéo dài của trung tâm hiện tượng khoảng vài chục năm, thì ta có thể dùng công thức (4.9) để tính độ sâu mà có thể đạt được và nếu xem trong lớp trên của nhân đã xảy ra hiện tượng:

$$h = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \sigma \omega}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 3,10^5 \cdot 2\pi}} \approx 50 \cdot 10^3 \text{ (m)} \quad (4.13)$$

4.6 Các giả thuyết về nguồn gốc của địa từ trường

Lí thuyết Gauss là lí thuyết hình thức, lí thuyết này không thể và cũng không có mục đích giải thích về nguồn gốc từ trường của Quả Đất. Tuy đã có nhiều công trình nghiên cứu về sự phân bố trường từ trên mặt Quả Đất cũng như nguyên nhân của từ trường đó, nhưng vấn đề về nguồn gốc của trường từ của Quả Đất cho đến nay vẫn còn để ngỏ chưa có câu trả lời trọn vẹn.

Cho đến giữa những năm 50 của thế kỷ 20 vẫn chưa có lấy một giả thuyết nào trả lời được câu hỏi về nguồn gốc trường từ không đổi của Quả Đất, thời gian sau này mới xuất hiện các giả thuyết về nguồn gốc trường từ của Quả Đất dựa trên các giả thuyết về các dòng điện xoáy tồn tại trong nhân Quả Đất.

Có thể phân chia các giả thuyết về nguồn gốc trường từ Quả Đất ra thành hai nhóm:

Nhóm thứ nhất gồm các giả thuyết dựa trên các định luật vật lí được thiết lập bằng thực nghiệm từ các quan sát trên mặt Quả Đất và nhóm thứ hai bao gồm các giả thuyết hoàn toàn không dựa trên các quy luật vật lí vẫn tồn tại trên mặt Quả Đất mà xem Quả Đất là một vật thể vũ trụ mà trên đó tồn tại những quy luật vật lí đặc biệt khác với các quy luật mà ta đã biết từ trước cho đến nay.

Nghiên cứu độ từ hóa dư của các đất đá cổ ta thấy từ trường trên Quả Đất đã tồn tại từ lúc thành tạo trái đất cỡ 4,5 tỉ năm. Tất cả các giả thuyết về nguồn gốc từ trường Quả Đất nhất thiết phải tính đến các yếu tố sau đây:

- Dạng lưỡng cực của trường địa từ.
- Cường độ trường từ giảm dần (?), tối thiểu cũng phải giải thích cho được sự biến thiên giả chu kì bao gồm cả pha cũng như hiện tượng tăng và giảm cường độ trường từ.
- Sự dịch chuyển trường từ về hướng Tây.
- Hiện tượng đảo cực mà ta sẽ xem xét sau này.

Các số liệu cơ học xảy ra bên trong Quả Đất được dùng để nghiên cứu các sự kiện động đất, thủy triều hoặc sự cộng hưởng của Quả Đất. Các số liệu về điện là các điểm tựa để giải thích sự phản ứng của Quả Đất đối với các kích thích bên ngoài về phương diện cảm ứng như hiện tượng bão từ. Các số liệu về hoá học cũng như về nhiệt động học được sử dụng để nghiên cứu sự dồi dào của một số vật liệu khác nhau cũng như được dùng để so sánh với các hành tinh khác trong hệ mặt trời cũng như đối với các thiên thạch.

Ta có thể tổng quan các tính chất bên trong của Quả Đất như sau:

- Phần ngoài cùng của Quả Đất, dưới đại dương, có độ dày từ 5 đến 8 km và từ 10 đến 70 km, tại các vùng lục địa, được gọi là vỏ quả đất. Mật độ của các đất đá trong vỏ đại dương dao động từ 3 đến $3,2 \text{ g/cm}^3$ (3200 kg/m^3), và từ 2,7 đến 2,8 trong vùng vỏ lục địa. Độ dẫn điện dao động từ $0,1 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ đến $0,3 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$. Tại các độ sâu lớn của vỏ Quả Đất cũng như trong môi trường dưới vỏ, nhiệt độ khá cao và do đó khó tồn tại các vật liệu sắt từ.

- Dưới lớp vỏ là phần cùi (manti), vật chất trong phần này ở thể rắn. Về mặt cơ học có thể xem vật chất trong phần manti nằm tại trạng thái gần nóng chảy (hiện tượng nhão). Có thể xem manti gồm hai phần với phần trên có chiều dày cỡ 700 km và phần dưới gồm các yếu tố đối lưu. Cả hai miền của manti được đặc trưng bởi các pha tinh thể hoá khác nhau cũng như được đặc trưng bằng sự thay đổi các thành phần tạo nên chúng. Người ta nhận biết được vùng giới hạn của hai vùng của manti này qua sự thay đổi của vận tốc truyền sóng đàn hồi vượt quá giới hạn 6 km/s. Độ dẫn điện trong phần manti được xác định nằm trong khoảng $200 \Omega^{-1}m^{-1}$ tương ứng với điện trở suất khoảng $5.10^{-3} \Omega m$.

- Tại độ sâu khoảng 2900 km có nhân lỏng với độ nhớt tương đương với độ nhớt của nước. Nhân lỏng này dẫn điện cũng như dẫn nhiệt tốt hơn đồng. Trong nhân này có một lớp chứa các dòng điện và chính các dòng điện này là nguồn gốc của từ trường trên Quả Đất. Nhân có bán kính 3485 km và có thể tích bằng khoảng 1/6 thể tích của Quả Đất với khối lượng bằng 1/3 khối lượng của Trái Đất. Về mặt kích thước, ta có thể nói rằng, nhân Trái Đất tương đương với sao Hoả (Mars). Trên mặt phân chia giữa manti và nhân mật độ có giá trị khoảng $9000kg/m^3$. Nhân chứa Fe, Ni và giàu các nguyên tố S, Si, O, K. Có thể tại phần sâu của manti có chứa silicate tại nhiệt độ cao hơn nhiệt độ nóng chảy, trong khi trong nhân lỏng có sulfur nằm tại điểm nóng chảy. Trong nhân lỏng có thể xảy ra các chuyển động khác nhau mà tổ hợp phức tạp các chuyển động này chính là nguyên nhân gây nên từ trường của Trái Đất. Độ dẫn điện của nhân lỏng $\sigma = 3.10^4$ đến $3.10^5 \Omega^{-1}m^{-1}$ tương ứng với điện trở suất $\rho = 3.10^{-5}$ đến $3.10^{-6} \Omega m$.

- Trong nhân có một lõi chứa Ni và Fe nằm tại pha rắn và không nhất thiết phải cân bằng về mặt vật lý hoá học với nhân. Có thể lõi này kết tinh từng phần từ các hợp chất tồn tại trong nhân lỏng. Kích thước của lõi khoảng 1200km và có áp suất khoảng 1,3 đến 3,5 triệu atm. Mật độ tại phần trung tâm của lõi khoảng $12000kg/m^3$ và nhiệt độ khoảng 4000 đến 5000K.

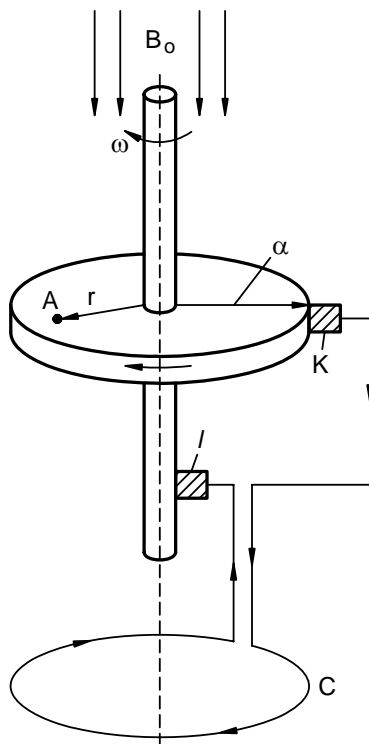
Từ mô hình kể trên người ta đi đến tìm hiểu nguồn gốc từ trường của Trái đất theo cơ cấu máy phát tự kích động.

4.6.1 Máy phát dạng đĩa Faraday

Để hiểu về cơ cấu tạo nên từ trường của quả đất theo mô hình này người ta cho rằng các chuyển động xoáy-đối lưu (convection) của khối chất lỏng tạo nên nhân Quả Đất dưới tác dụng của lực Coriolis xảy ra trong các mặt phẳng thẳng góc với trục quay của Quả Đất. Chuyển động xoáy như vậy tương đương với một đĩa tròn bán kính bằng a quay tròn xung quanh từ trường có hướng trùng với trục quay của Quả Đất.

Máy phát vận hành theo nguyên lý cho một vật dẫn chuyển động trong trường cảm ứng từ và tạo nên dòng một chiều trong phụ tải. Trong trường hợp này, các thanh dẫn nằm xuyên tâm và không quay. Giả sử rằng đầu tiên có trường từ B đồng nhất và đĩa quay với vận tốc không đổi ω (Hình 4.13).

Ta hãy khảo sát những quá trình vật lý xảy ra trong quá trình này.



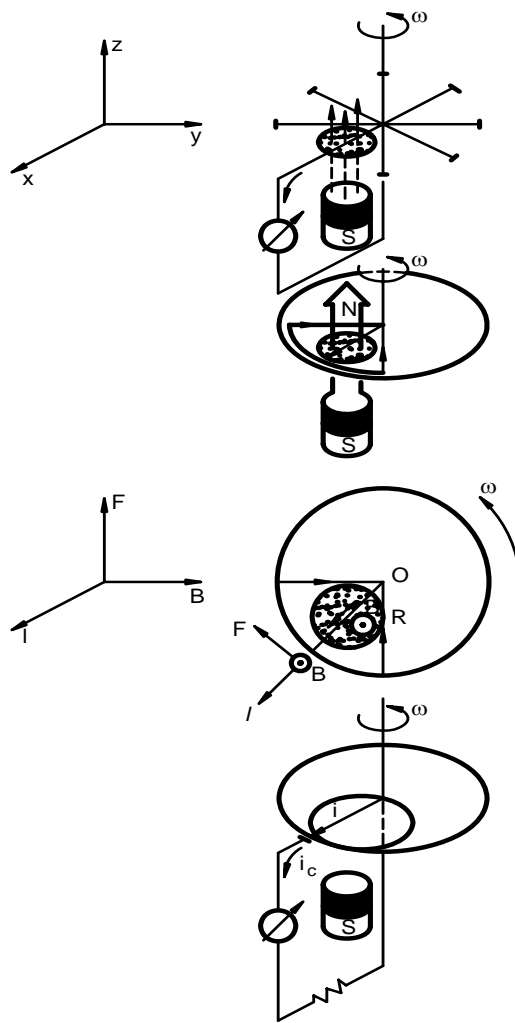
Hình 4.13

Mô hình máy phát đinamô

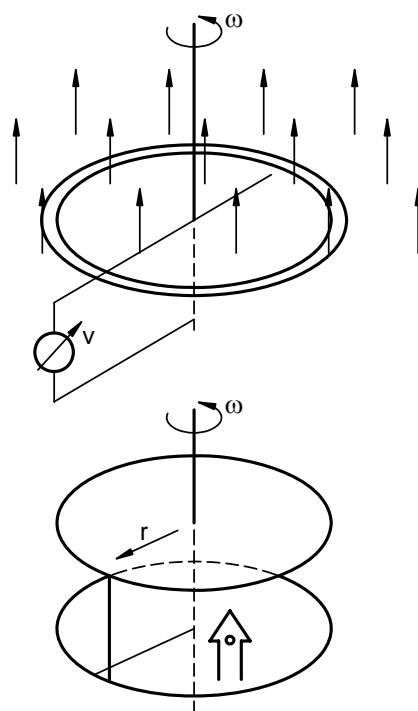
Trước khi xét các quá trình vật lý xảy ra đối với đĩa, ta hãy xét một loạt các thanh dẫn gắn vào một trục cũng dẫn điện và dưới tác dụng của mômen ngẫu lực lần lượt đi vào vùng Z , trong đó có từ trường với cảm ứng từ bằng B do một nam châm nằm thẳng góc với mặt phẳng chứa các thanh dẫn tạo nên (Hình 4.14).

Như vậy, theo định luật cảm ứng điện từ, khi các thanh dẫn đi vào vùng có từ trường Z , thì trên hai đầu mút của nó xuất hiện một thế điện động cảm ứng:

$$\varepsilon = vBl$$



Hình 4.14
Lí thuyết đinamô



Hình 4.15

Lí thuyết máy phát dinamo (tiếp)

Vì các thanh dẫn được giả thiết nằm xuyên tâm, nên mỗi một phần của dây dẫn tạo nên một thể điện động khác nhau vì vận tốc dài của mỗi một phần đó khác nhau. Nếu ta mắc vào một ampe kế nằm trong mạch kín gồm một dây dẫn với trục, thì ta thu được dòng điện I chạy từ tâm thanh dẫn đến một đầu dây dẫn (Hình 4.14). Như vậy ta đã có một bộ góp và dòng điện thu được do toàn bộ các thanh dẫn gây ra sẽ là một mạch đập có tần số ωn , trong đó n là số các thanh dẫn tạo nên máy phát dinamo.

Trở về với mô hình máy phát đã nêu, ta hãy tưởng tượng rằng, rôto bây giờ lại là một đĩa dẫn điện (Hình 4.14) và hãy tưởng tượng hai đầu của vòng dây A' và A , trong đó A là điểm mà đĩa thoát ra vùng Z , còn A' là điểm đi vào vùng Z . Sử dụng định luật Lenz, người ta xác định được chiều dòng điện cảm ứng trong vòng dây như trong hình vẽ. Hướng của dòng I theo hướng OX có tác dụng hãm lại sự chuyển động của đĩa.

Để hiểu được bản chất của hiện tượng vừa nêu, ta hãy xét đến chuyển động của vòng nhẫn có độ rộng l quay tròn với vận tốc v trong từ trường thẳng góc với mặt phẳng của nhẫn. Điện trở giữa mặt trong và mặt ngoài của một đoạn dây cung dài một đơn vị chiều dài là r .

Hai chổi ép vào mặt trong và mặt ngoài đi qua một điện trở R .

Suất điện động cảm ứng xuất hiện trên hai chổi được xác định bằng công thức sau:

$$\varepsilon = vBl \quad (4.14)$$

và như vậy dòng điện chạy trong vòng dây sẽ là:

$$i = \frac{vBl}{R + r} \quad (4.15)$$

Công suất tỏa nhiệt trong trường hợp này sẽ là:

$$P = \frac{v^2 B^2 l^2}{R + r} \quad (4.16)$$

Trường từ sẽ tác dụng một lực $F = iBl$ lên yếu tố, lực này có tác dụng lên yếu tố vòng nhẫn và cản trở sự chuyển động của vòng nhẫn, và theo các định luật của cơ học, công suất hãm trong trường hợp này sẽ là:

$$P = F \cdot v$$

Ta có:

$$v^2 = \frac{P(R + r)}{B^2 l^2} \quad (4.17)$$

Từ biểu thức trên, với một công suất P cho trước, khi $R + r \rightarrow 0$, thì v cũng có khuynh hướng tiến tới không. Như vậy khó có thể có sự chuyển động tương đối giữa môi trường dẫn điện tốt với từ trường.

Như vậy trong trường hợp đĩa dẫn điện quay trong từ trường, trường dòng điện cảm ứng “chạy” theo sự quay của đĩa và làm cho các đường sức của trường cảm ứng B thay đổi.

Nếu ta đặt một phụ tải nằm giữa biên và tâm của đĩa, thì dòng chạy qua phụ tải i_c , sẽ là một hàm số của điện trở của đĩa và của phụ tải ($i_c < i$).

Điều này sẽ thay đổi nhiều nếu vùng tồn tại trường từ B choán toàn bộ diện tích của đĩa (rotor). Trong điều kiện đó, không thể tồn tại một vòng dây trong đĩa và cũng không có phụ tải ngoài. Trong trường hợp đó đĩa không bị hãm lại.

Khảo sát trường hợp khi một thanh của bộ góp cố định trong quá trình đĩa quay. Nếu gọi a là bán kính của đĩa, ω là vận tốc góc quay của đĩa, thì suất điện động cảm ứng tồn tại giữa một bộ góp và trực dẫn được xác định bằng công thức sau:

$$\underline{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \omega B \int_0^a r dr d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^a \omega B r dr d\theta \quad (4.18)$$

Ta có thể tưởng tượng có một phụ tải dạng một ống dây cùng với cách đấu các đầu dây sao cho nó tạo ra từ trường B . Với các điều kiện như vậy, nếu không tính đến các điều kiện ban đầu, và xem $2\pi M$ là hệ số hỗ cảm giữa vòng dây dẫn và rotor (đĩa quay), và nếu I là dòng điện chạy trong đĩa thì ta có:

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^a \omega B r dr d\theta = MI\omega \quad (4.19)$$

Lấy tích phân biểu thức tích phân trên ta có:

$$\underline{\varepsilon} = \frac{1}{2\pi} 2\pi \omega B \frac{a^2}{2} = \frac{\omega}{2\pi} B a^2 \pi \quad (4.20)$$

Thành phần $B a^2 \pi$ chính là thông lượng của từ trường gửi qua mặt đĩa (bộ phận cảm ứng). Từ thông do dòng điện I của bộ phận gây cảm ứng được xác định bằng công thức:

$$\Phi = mI \quad (4.21)$$

Trong đó m là hệ số hồ cảm giữa bộ phận gây cảm ứng và bộ phận cảm ứng. Hệ số này phụ thuộc vào các thông số hình học cũng như vị trí tương đối giữa hai bộ phận. Trong trường hợp này, có thể lấy $m = 2\pi M$, và như vậy:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{2\pi} 2\pi MI = \omega MI \quad (4.22)$$

Vì hệ thống gồm phần điện trở thuần R (rotor và bộ phận gây cảm ứng) và phần cảm L nên:

$$\varepsilon = L \frac{dI}{dt} + RI \quad \text{nên} \quad (4.23)$$

$$\omega MI = L \frac{dI}{dt} + RI \quad (4.24)$$

Mỗi một đường xuyên tâm có dòng chạy qua là nơi có lực từ $\vec{F} = \vec{I} \wedge \vec{B}dl$ và như vậy:

$$C_f = IB \int_0^a r dr$$

trong đó $B \int_0^a r dr = MI$, từ đó

$C_f = MI^2$ hoặc chứng minh thật chính xác:

$$C_f = -MI^2 \quad (4.25)$$

Nếu C_M là mô men ngẫu lực của mô tơ, μ là mômen quán tính của rotor, và như vậy ta có:

$$\mu \frac{d\omega}{dt} = C_M - MI^2 \quad (4.26)$$

Với chế độ làm việc cố định, khi mà $\frac{dI}{dt} = 0$, $\frac{d\omega}{dt} = 0$ thì ta thu được các đại lượng tới hạn ω_{th} và I_{th} , trị số của chúng được tính bằng các công thức sau:

$$\omega_{th} = \frac{R}{M} \quad (4.27)$$

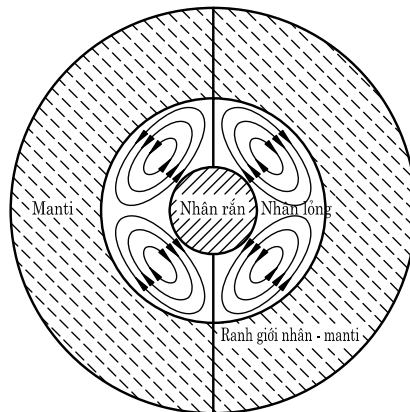
và

$$I_{th} = \sqrt{\frac{C_{th}}{M}} \quad (4.28)$$

Các phương trình vi phân nêu trên(4.24, 4.26) mô tả chế độ hoạt động của máy phát dynamô một cực. Từ nghiệm của các phương trình này ta có thể đưa ra các kết luận sau:

- Dòng điện I luôn có cùng một hướng và luôn thẳng giăng. Chính dòng điện mới này là nguyên nhân gây nên từ trường của Quả Đất.

- Do đó không có hiện tượng đảo cực của bộ phận gây cảm ứng (mô hình không hoàn chỉnh).
 - Vận tốc góc quay của rotor (đĩa) là hàm số tuần hoàn dao động xung quanh giá trị tới hạn.
 - Như vậy mô hình vẫn chưa thể hiện được đầy đủ bản chất của trường từ của quả đất.
- Còn tồn tại hai vấn đề lớn cần được phải giải quyết là:
- Tại sao dòng chất lỏng trong chuyển động đối lưu khi quay dưới sự cải biến của một trường từ tồn tại từ trước lại có thể tạo ra dòng điện theo kiểu máy phát dinamo.
 - Những yếu tố như nhiệt nào, chức năng quay nào cũng như các hiệu ứng khác nào tạo nên hiện tượng phát từ trường trong lí thuyết dinamo.



Hình 4.16

Các dòng xoáy trong nhân tạo nên từ trường của quả đất

Chính vì lẽ đó ta cần phải tìm một mô hình phức tạp hơn, và một trong các mô hình đó là mô hình của E. Bullard dựa trên sự cấu tạo của nhân Quả Đất. Theo Bullard, nhân Quả Đất gồm phần ngoài lỏng và phần bên trong rắn. Theo mẫu này, nhân quay xung quanh trục quay với vận tốc quay bé hơn vận tốc quay của vỏ. Hiệu số các vận tốc này tương ứng với vận tốc dịch chuyển về hướng Tây, và các dòng xoáy trong phần lỏng của nhân, trong các mặt phẳng đi qua kinh tuyến có dạng như trên hình 4.16.

Với mô hình này ta cũng có thể tìm được cách giải thích các biến thiên thế kỷ cũng như phần không lưỡng cực của từ trường của Quả Đất. Cho nên nay, vì những lí do kể trên, mà mô hình này được nhiều nhà địa từ quan tâm nhất. Để hiểu được bản chất toán lí của mô hình này ta cần có kiến thức đầy đủ về điện động lực học cũng như các hiện tượng về thủy từ học.

4.6.2 Bản chất của các dòng đối lưu (dòng xoáy)

Chắc chắn là hiện tượng quay của nhân quả đất dưới dạng mạch đập có vận tốc gần đúng cỡ 1 vòng /ngày có vai trò cơ bản trong hiệu ứng tạo nên từ trường của Quả Đất. Trong thực tế, Mặt trời (Các ngôi sao) và các hành tinh có nhân lỏng đều tạo nên một từ trường định hướng dọc theo trục quay. Như vậy, chắc chắn là trong hiện tượng quay, lực Coriolis có vai trò nào đó mà ta không thể bỏ qua mà không tính đến. Nếu ta quan tâm đến sự chuyển động của một khối chất lỏng nằm ở trung tâm của nhân thì phải chú ý đến các lực sau:

- Lực hấp dẫn tại phần biên của nhân lỏng $g = 10,4 \text{ m/s}^2$ còn tại phần bên trong của nhân $g = 3,94 \text{ m/s}^2$.

- Lực ly tâm tại biên của nhân $\gamma_n = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$ còn tại phần bên trong của nhân lỏng $\gamma_n = 6,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$.

- Lực Coriolis $\gamma_c \approx 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}^2$ ($\gamma_c = 2\omega v_r$) trong đó $v_r \approx 10^{-5} \text{ m/s}$.

- Lực do các hiện tượng đối lưu (Archimede).

- Lực ma sát (lực nhớt cùng với sự phụ thuộc vào vận tốc quay).

- Lực do sự tương tác giữa các vật dẫn tạo trong quá trình chuyển động trong trường từ (có độ lớn cỡ độ lớn của lực Coriolis).

Cần chú ý là ở đây, trong mô hình của chúng ta, có các dòng trong môi trường dẫn tương tự như dòng trong một cuộn cảm. Sơ lược ta có thể hình dung quá trình như sau:

- Dưới tác dụng của chuyển động đối lưu, các vật chất chuyển từ tâm nhân ra biên của nhân lỏng.

- Dưới tác dụng của lực Coriolis, các vật chất khi đi đến biên của nhân lỏng không đi thẳng mà lại dịch chuyển về hướng Tây (Người ta có thể chứng minh rằng, nhân bị bao bọc bởi manti cũng quay theo hướng Tây-Đông với vận tốc gần đúng 1 vòng/ngày). Dưới tác dụng của lực này, vật chất sẽ có một chuyển động phụ sang hướng Tây. Như vậy, phần trường không lưỡng cực liên quan đến hiện tượng này, sự dịch chuyển cỡ 1 độ trong khoảng thời gian 5 năm. Ta có thể dễ dàng thấy được trên xích đạo của nhân lỏng, vận tốc khoảng $v = 0,5 \text{ mm/s}$. Các đĩa dẫn trong lí thuyết dinamo có bán kính khác nhau. Vận tốc góc ω có khuynh hướng dịch chuyển từ Đông sang Tây và như vậy trên biên của mỗi một đĩa xuất hiện một suất điện động ε giảm dần theo vĩ độ. Hiệu ứng tổng cộng của các dòng này trong hai bán cầu đối nghịch với nhau.

Với các chuyển động được nêu trên, người ta đã cố gắng đi đến giải thích bản chất lưỡng cực của trường địa từ.

Tuy có nhiều giả thuyết về nguồn gốc trường từ của Quả Đất nhưng chưa có giả thuyết nào giải thích được hiện tượng đảo cực của trường từ. Qua các tài liệu về cổ từ, cực địa từ cùng với thời gian đã chạy theo các quỹ đạo trên mặt đất. Trong thời gian đảo cực từ, từ trường của Quả Đất không biến mất mà giữ lại giá trị của nó khoảng 10% giá trị bình thường. Có thể cho rằng hiện tượng đảo cực là do sự sắp xếp lại các yếu tố chất lỏng tạo nên nhân Quả Đất và như vậy có thể tạo nên sự thay đổi định hướng các đầu ống dây trong nhân, điều đó có thể dẫn đến sự thay đổi cực của trường từ của Quả Đất.