

TRẦN ĐỨC THIỆP

# MÁY GIA TỐC



NHA XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

Pgs, Ts. TRẦN ĐỨC THIỆP

# MÁY GIA TỐC



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT  
HÀ NỘI - 2002

*Chịu trách nhiệm xuất bản:*

***Pgs. Ts. Tô Đăng Hải***

*Biên tập:*

***Lê Thanh Định***

*Trình bày và chế bản:*

***Quang Hùng***

*Sửa bản in:*

***Thanh Nga***

*Trình bày bìa:*

***Hồng Việt***

$\frac{53-530.3}{KHKT-02} 442-65-02$

---

In 500 cuốn khổ 16 x 24 cm tại Xí nghiệp in 19-8.

Số 3 đường Nguyễn Phong Sắc – Nghĩa Tân – Cầu Giấy – Hà Nội.

Giấy phép xuất bản số 442-65, cấp ngày 7/1/2002.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 3/2002.

## LỜI NÓI ĐẦU

Từ nửa đầu thế kỷ 20 cho đến nay máy gia tốc liên tục đóng góp để xây dựng những kiến thức quan trọng và rộng lớn trong vật lý. Có thể nói nếu như không có máy gia tốc, sự hiểu biết của chúng ta về thế giới tự nhiên chắc hẳn là rất khác với cái mà chúng ta đang có.

Máy gia tốc từng được phát triển nhờ những sáng kiến về vật lý hạt nhân và vật lý hạt cơ bản xuất phát từ những khát vọng khám phá thế giới tự nhiên của con người. Tiếp theo đó các máy gia tốc được xây dựng đã mở ra một lĩnh vực khoa học máy gia tốc mới đan xen với rất nhiều lĩnh vực ứng dụng của máy gia tốc.

Sự đa dạng của các loại hạt được gia tốc, năng lượng, cường độ và chất lượng cùng với các dòng hạt thứ cấp sinh ra từ chúng như bức xạ hãm (bremsstrahlung), bức xạ đồng bộ (Synchrotron radiation), neutron, mesons, các chùm hạt nhân phóng xạ... đã mở rộng lĩnh vực ứng dụng của máy gia tốc. Ngày nay máy gia tốc đang tìm thấy những ứng dụng hết sức đa dạng và phong phú trong nhiều lĩnh vực của khoa học và đời sống và trong nhiều trường hợp chúng là những phương tiện không thể thay thế.

Ở nước ta cũng đã có máy gia tốc gần ba mươi năm nay, nhưng đáng tiếc là rất ít người biết đến điều đó. Năm 1974 một máy gia tốc detori (máy phát neutron NA-3-C do Hungary sản xuất) và sau đó năm 1982 một máy gia tốc điện tử (Microtron MT-17 do Liên Xô sản xuất) được lắp đặt và hoạt động tại Viện Vật lý, Trung tâm KHTN & CNQG. Cả hai máy gia tốc này đều là quà của chính phủ Liên Xô tặng Việt Nam, được Viện Liên hợp nghiên cứu hạt nhân Dubna trực tiếp giúp đỡ lắp đặt và đưa vào hoạt động. Trên cơ sở hai máy gia tốc này nhiều công trình nghiên cứu cơ bản về vật lý hạt nhân và ứng dụng có ý nghĩa đã được các cán bộ khoa học của Viện tiến

*hành thành công. Có thể xem đây là những công trình nghiên cứu cơ bản về vật lý hạt nhân thực nghiệm đầu tiên tiến hành thành công ở nước ta. Năm 2000 một máy gia tốc thẳng được lắp đặt và đưa vào hoạt động tại bệnh viện K nhằm phục vụ yêu cầu điều trị bệnh ung thư.*

*Có thể nói máy gia tốc đang dần dần thâm nhập vào nước ta và chắc chắn rằng trong tương lai không xa kỹ thuật gia tốc ở nước ta sẽ được ứng dụng rộng rãi như một khuynh hướng chung của thế giới.*

*Với suy nghĩ đó cuốn sách MÁY GIA TỐC ra mắt với ý định giới thiệu với bạn đọc những nguyên lý cơ bản về hoạt động và những ứng dụng điển hình của máy gia tốc. Sách được biên soạn trên cơ sở những bài giảng của tác giả cho sinh viên Vật lý hạt nhân và Công nghệ hạt nhân, Đại học Quốc gia Hà Nội và sinh viên Vật lý hạt nhân và Kỹ thuật môi trường, Đại học Bách Khoa Hà Nội nơi mà tác giả là giảng viên kiêm nhiệm và cho học viên cao học chuyên ngành Vật lý hạt nhân của Viện Vật lý.*

*Sách có thể sử dụng làm tài liệu về môn Máy gia tốc cho sinh viên đại học và sau đại học về Vật lý hạt nhân và Công nghệ hạt nhân ở các trường đại học và các viện nghiên cứu. Nó cũng có thể làm tài liệu tham khảo cho các cán bộ nghiên cứu trên máy gia tốc cũng như những ai quan tâm đến máy gia tốc.*

*Trong quá trình biên soạn cuốn sách này chắc chắn không thể tránh khỏi những thiếu sót và nhược điểm, vì vậy tác giả xin chân thành tiếp thu và mong nhận được ý kiến đóng góp của độc giả để cuốn sách được hoàn thiện hơn trong lần xuất bản sau.*

**Tác giả**

## CHƯƠNG 1

**CƠ SỞ VẬT LÝ CỦA MÁY GIA TỐC****1.1. MỞ ĐẦU**

Khi nói đến máy gia tốc chắc chắn chúng ta ai cũng nghĩ rằng đó là thiết bị để tăng năng lượng cho các hạt cần gia tốc. Câu hỏi đặt ra ở đây là tại sao lại phải gia tốc và năng lượng cần gia tốc phải đạt đến bao nhiêu. Hơn thế nữa ngoài chức năng tăng năng lượng cho các hạt thì máy gia tốc còn có những vai trò gì.

Như chúng ta đã biết để nghiên cứu cấu trúc của vật chất ở trạng thái vi mô cần có những phương tiện khác hẳn đối với trạng thái vĩ mô. Một trong những phương tiện đó là sử dụng các loại hạt bắn phá vào vật chất bao gồm các hạt cơ bản cũng như các ion của các nguyên tử. Cấu trúc và tính chất của vật chất được phát hiện nhờ vào sự tương tác của các hạt kể trên với vật chất. Điều cần thiết là để có được khả năng như vậy thì các hạt phải có năng lượng nhất định và cường độ của chúng phải đủ lớn. Phương tiện duy nhất có thể giúp chúng ta làm điều đó là các máy gia tốc.

Trong tự nhiên không tồn tại các nguồn hạt có năng lượng phù hợp để gây ra các loại tương tác với vật chất. Ta hãy lấy ví dụ khi nghiên cứu cấu trúc của các nguyên tử ta dùng một chùm tia gamma hoặc chùm hạt tích điện có năng lượng từ vài chục đến trên 100 KeV bắn phá các nguyên tử. Nhờ hiện tượng quang điện các điện tử ở lớp K của nguyên tử được bứt khỏi quỹ đạo và điện tử ở các lớp L, M chuyển xuống lớp K và phát ra các tia X

với năng lượng  $E_k = \varepsilon_k - \varepsilon_l$  trong đó  $\varepsilon_k$  và  $\varepsilon_l$  là năng lượng liên kết của điện tử ở lớp K và L tương ứng.

Để nghiên cứu cấu trúc tinh thể của vật chất người ta sử dụng hiện tượng nhiễu xạ của tia Ronghen hoặc điện tử trong đó độ dài bước sóng  $\lambda$  của chúng phải tương đương với kích thước của mạng cơ bản, tức là

$$2d \sin\theta = n\lambda$$

trong đó  $d$  - kích thước của mạng cơ bản;

$\theta$  - góc tán xạ của mặt phẳng tinh thể.

Để có điều kiện trên năng lượng của photon và điện tử  $E = hc/\lambda$  phải đủ lớn.

Qua hai ví dụ trên ta thấy cho dù để nghiên cứu cấu trúc nguyên tử các hạt bắn phá chỉ cần thiết phải có năng lượng tương đối nhỏ nhưng cũng cần phải gia tốc các điện tử vì trong tự nhiên không tồn tại các điện tử có năng lượng phù hợp. Trong trường hợp đối với hạt nhân thì tình hình lại còn khác hơn. Như chúng ta đã biết hạt nhân được cấu tạo từ các proton và neutron (hay còn gọi là các nucleon). Các hạt này được liên kết trong hạt nhân bằng một năng lượng phụ thuộc vào số khối A của hạt nhân phản ứng. Trong vật lý hạt nhân để nghiên cứu bản chất và các đặc trưng của lực hạt nhân, các hạt cơ bản và thậm chí là cả cấu trúc của các nucleon cần có những nguồn hạt gia tốc đến năng lượng rất cao. Một loại nguồn như vậy không mất tiền là tia vũ trụ. Năng lượng của các hạt trong tia vũ trụ lên đến  $10^{18}$  eV, nhưng số hạt với năng lượng cao như vậy lại rất nhỏ. Vì vậy để tiến hành một nghiên cứu cần thiết phải chờ cả năm trời để tích lũy các số liệu đáng tin cậy. Thông thường trong phản ứng hạt nhân tiết diện của phản ứng là một đại lượng rất nhỏ và để xảy ra một phản ứng hạt nhân phải có một chùm hạt với mật độ lớn hơn  $10^{10}$  hạt/cm<sup>2</sup>.s. Trong trường hợp này máy gia tốc là phương tiện giúp chúng ta thực hiện điều mong muốn bởi vì ngoài việc gia tốc hạt nó còn tạo ra những chùm hạt có mật độ rất lớn.

Một điều rất quan trọng nữa cần nhấn mạnh là các hạt trong tự nhiên do các nguyên tố phóng xạ tự nhiên phát ra chẳng những hoàn toàn không

đủ về số lượng mà cả về năng lượng cũng không đủ đáp ứng. Chúng ta biết rằng liên kết trung bình của nucleon trong hạt nhân là khoảng 7,8 MeV. Để tách một nucleon ra khỏi hạt nhân thì năng lượng của chùm hạt bắn phá phải lớn hơn năng lượng liên kết. Điều đó có nghĩa là trong trường hợp của hạt nhân việc nghiên cứu đòi hỏi cần phải gia tốc hạt tới năng lượng cao gấp rất nhiều so với trường hợp nguyên tử. Trong thực tế muốn nghiên cứu cấu trúc hạt nhân và phản ứng hạt nhân các hạt gây phản ứng phải được gia tốc đến năng lượng từ hàng chục đến hàng trăm MeV. Còn để nghiên cứu cấu trúc của các nucleon người ta cần thiết các điện tử gia tốc lên đến hàng chục đến hàng trăm ngàn MeV (tức là 10-100 GeV) hoặc cao hơn nữa. Ở những năng lượng như vậy bước sóng của điện tử mới ở vào khoảng kích thước của nucleon và như vậy mới nghiên cứu được cấu trúc của nucleon.

Một vấn đề rất quan trọng là ngoài việc các chùm hạt gây phản ứng phải có năng lượng cao thì cần thiết phải có mật độ dòng hạt rất lớn mới đủ tạo ra về chủng loại để nghiên cứu một cách sâu sắc và toàn diện đối với hạt nhân nguyên tử. Không có một nguyên tố phóng xạ tự nhiên nào phát ra proton hoặc đêteri. Về phương diện này máy gia tốc là phương tiện duy nhất tạo ra đầy đủ các chủng loại hạt để nghiên cứu vật lý hạt nhân. Cũng cần nhấn mạnh là nơtron là hạt có vai trò rất quan trọng thì lại không thể gia tốc được. Nhưng nhờ có các máy gia tốc qua việc gia tốc hạt tích điện và các phản ứng hạt nhân mà tạo ra được các nơtron có năng lượng cao, thậm chí cả nơtron đơn năng nữa.

Tóm lại việc nghiên cứu thế giới vi mô đòi hỏi cần có các chủng loại hạt khác nhau với mật độ lớn và gia tốc đến năng lượng cần thiết. Tùy thuộc vào những nghiên cứu cụ thể mà tạo ra loại hạt nào, mật độ lớn hay nhỏ và năng lượng cần phải đạt được. Tất cả những vấn đề này có thể giải quyết được nhờ vào các máy gia tốc. Đó là phương tiện duy nhất có thể giúp chúng ta trong quá trình nghiên cứu thế giới vi mô.

Bên cạnh việc phát triển máy gia tốc do mục đích nghiên cứu thì ngày nay nhiều nhu cầu thực tế đòi hỏi phải xây dựng các máy gia tốc. Đó chính là:



- Tạo ra các vật liệu mới có những tính chất đặc biệt.
- Là phương tiện phân tích hiệu quả.
- Phục vụ nghiên cứu và điều trị trong Y học.
- Là phương tiện chụp ảnh có hiệu quả trong công nghiệp và rất nhiều ứng dụng khác.

Để hiểu được nguyên lý hoạt động của máy gia tốc chúng ta hãy xem xét sự chuyển động của hạt tích điện trong điện trường và từ trường

## 1.2. CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT TÍCH ĐIỆN TRONG ĐIỆN TRƯỜNG VÀ TỪ TRƯỜNG

Nguyên lý chung của máy gia tốc dựa trên sự tương tác của hạt tích điện với điện từ trường. Để làm sáng tỏ hơn chúng ta sẽ xem xét sự chuyển động của các hạt tích trong điện từ trường. Cũng cần phải nhấn mạnh rằng loại chuyển động này là đối tượng của một ngành mới của Vật lý học hiện đại - quang học điện tử và ion trong đó nó được xem xét một cách tỷ mỉ nhằm mục đích ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như kỹ thuật đo đạc, gia tốc hạt và tách đồng vị.

Nghiên cứu tương tác giữa điện trường và từ trường với các hạt tích điện cho phép chúng ta điều khiển được chúng tức là thay đổi được lực và hướng chuyển động của chúng. /

### 1.2.1. CHUYỂN ĐỘNG CỦA HẠT TÍCH ĐIỆN TRONG ĐIỆN TỪ TRƯỜNG ĐỒNG NHẤT

Khi một hạt tích điện chuyển động trong điện từ trường sẽ có hai lực tác động đồng thời lên nó. Lực thứ nhất là lực điện trường  $eE$ , còn lực thứ hai là lực Lawrence  $e/c [v \times H]$ . Phương trình mô tả chuyển động của hạt được biểu diễn như sau:

$$F = m \frac{dv}{dt} = eE + \frac{e}{c} [v \times H] \quad (1.1)$$

trong đó: F - lực chung tác dụng lên hạt;  
 E- vectơ điện trường;  
 c - tốc độ ánh sáng;  
 v- vectơ tốc độ hạt;  
 H- vectơ từ trường.

Từ phương trình (1.1) chúng ta thấy rằng lực mà điện trường tác dụng lên hạt có hướng trùng với hướng của điện trường. Còn lực tác dụng của từ trường có hướng vuông góc với véc tơ vận tốc của hạt và vectơ từ trường. Lực này bằng 0 khi hạt không chuyển động hoặc khi véc tơ vận tốc của nó song song với vectơ từ trường.

Phương trình(1.1) là phương trình vectơ có thể phân ra thành ba phương trình vô hướng mô tả chuyển động của hạt theo các hướng tương ứng.

Chúng ta sẽ xem xét các trường hợp riêng của chuyển động

**1.2.1.1. Chuyển động của hạt tích điện trong điện trường đồng nhất**

**1. Trong điện trường dọc đồng nhất**

Trên hình 1.1 biểu diễn chuyển động của hạt tích điện trong điện trường dọc. Từ phương trình (1.1)

Khi không có mặt của từ trường  $H=0$ ,  
 $E_y = E_z=0$ ,  $E_x=E$  ta có phương trình:

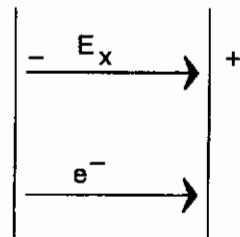
$$F=e E \tag{1.2}$$

Phương trình chuyển động của hạt tích điện là:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = eE \tag{1.3}$$

Phương trình (1.3) cũng có thể viết dưới dạng:

$$m \frac{dv}{dt} = eE \tag{1.4}$$



Hình 1.1. Chuyển động của hạt tích điện trong điện trường dọc đồng nhất