

RẠN NỨT Ở BẢNG TUẦN HOÀN

Từ năm 1860, nhà bác học người Nga Dmitri Mendeleev đã sắp xếp các nguyên tố trong tự nhiên theo một trật tự tuần hoàn nhất định. Về sau, bảng sắp xếp đó có tên là Bảng tuần hoàn Mendeleev. Điều kỳ diệu là ở cách sắp xếp các nguyên tố vào các ô theo hàng, theo cột một cách trật tự này; có những ô Mendeleev để trống và dự đoán rằng, về sau sẽ tìm ra được những nguyên tố để điền vào đó. Đến năm 2010, đã tìm ra được nguyên tố để điền vào ô trống còn lại cuối cùng là ô số 117. Đó là nguyên tố có nguyên tử số là 117.

Nhiều người tưởng rằng Bảng tuần hoàn Mendeleev đến nay đầy đủ, hoàn chỉnh nhưng sự thực không phải như vậy. Bài báo: "Cracks in the Periodic Table" đăng trên Tạp chí Scientific American số tháng 6.2013 cho thấy có rất nhiều vấn đề nảy sinh từ tính tuần hoàn của Bảng tuần hoàn các nguyên tố hoá học. Dưới đây, Tạp chí xin giới thiệu cùng bạn đọc.

Về tìm ra nguyên tố thứ 117 đã lấp xong ô trống cuối cùng còn lại ở Bảng tuần hoàn nhưng khi toàn bộ các ô trống đã được lấp đầy thì lại thấy Bảng tuần hoàn không còn đầy đủ cái uy lực vốn có của nó. Năm 2010, các nhà khoa học Nga cho biết đã tổng hợp được hạt nhân nguyên tử đầu tiên của nguyên tố 117. Nguyên tố mới này còn chưa có tên vì công đồng khoa học có truyền thống là chờ đến khi có thêm khẳng định độc lập thì mới đặt tên. Và đến nay, Bảng tuần hoàn các nguyên tố hoá học đã có nguyên tố 117 đứng vững vàng.

Tất cả các nguyên tố từ đầu tiên đến 116 và nguyên tố 118 đã được tìm thấy trước đây, và nguyên tố 117 đã lấp được ô trống còn lại ở hàng dưới cùng. Thành tựu này đánh dấu một thời điểm duy nhất trong lịch sử từ khi Dmitri Mendeleev cùng với một số người khác lập nên Bảng tuần hoàn vào những năm 60 của thế kỷ XIX, đó là đại số đó đầu tiên sắp xếp theo trật tự tất cả các nguyên tố mà khoa học biết được lúc đó. Mendeleev đã chừa ra một số ô trống trong Bảng tuần hoàn và ông đã mạnh dạn đoán rằng, một ngày nào đó, các nguyên tố mới sẽ được tìm ra để điền vào các ô

trống đó. Ở đây không thể kể hết, sau Mendeleev đã có bao nhiêu cách xét lại cách sắp xếp trật tự ở Bảng tuần hoàn, nhưng tất cả các cách sắp xếp đều có ô trống. Với nguyên tố 117, lần đầu tiên Bảng tuần hoàn là đầy đủ. Tâm nhìn xa rộng của Mendeleev có lẽ mãi mãi được ghi nhận. Nhưng khi các nhà hoá học và các nhà vật lý hạt nhân tổng hợp được một số nguyên tố nặng tiếp theo, đòi hỏi phải thêm hàng mới ở Bảng tuần hoàn, người ta thấy rằng, tính tuần hoàn như Mendeleev quan niệm bị lung lay, mà tính tuần hoàn là điều tinh túy nhất của Bảng tuần hoàn.

Mendeleev không đoán trước được chính xác những nguyên tố nào còn chưa tìm thấy nhưng ông lại đoán trước rất đúng các tính chất hoá học của chúng dựa trên tinh lặp lại của Bảng tuần hoàn. Những khi nguyên tử số, tức là số proton trong hạt nhân là rất lớn, các nguyên tố thêm vào Bảng tuần hoàn không còn "hành xử" theo cách vốn có ở Bảng tuần hoàn. Những tương tác hoá học của chúng, tức là các loại liên kết chúng tạo ra với các nguyên tử không giống như các nguyên tố khác ở cùng cột của Bảng tuần hoàn. Lý do là một số điện tử quanh các hạt nhân nặng nhất có tốc độ đáng kể so với tốc độ ánh sáng. Theo ngôn ngữ vật lý, chúng trở thành "tương đối tính", làm cho các tính chất của nguyên tử khác với những gì dự đoán theo vị trí ở Bảng tuần hoàn. Hơn nữa, dự đoán một cách chính xác về cấu trúc orbital (cấu trúc mây điện tử) của từng nguyên tử của nguyên tố rất nặng cũng là một thách thức lớn đối với các nhà khoa học. Bởi khi có thêm nhiều nguyên tố rất nặng được tìm ra, được xếp vào hàng mới của Bảng tuần hoàn theo kiểu như Mendeleev đã lập ra, thì đối với hàng mới này, Bảng tuần hoàn lại mất đi khả năng giải thích và dự đoán theo vị trí các ô như ưu điểm vốn có ở Bảng tuần hoàn.

Thành công trọn vẹn

Mặc dù có hơn 1.000 kiểu bảng tuần hoàn đã được công bố với những thay đổi ở cách sắp xếp các nguyên tố cũng như số các nguyên tố chứa trong đó, tất cả đều có một nét chủ yếu. Đó là khi các nguyên tố được sắp xếp lần lượt dựa theo nguyên tử số của chúng (ban đầu thì thay cho nguyên tử số, người ta dùng trọng lượng nguyên tử), các tính chất hoá học của chúng có xu hướng lặp lại sau những dãy đặc biệt của các nguyên tố. Ví dụ, nếu chúng ta bắt đầu với lithium và tiến về trước 8 ô, chúng ta có sodium (Na) với nhiều tính chất tương tự; cả hai kim loại đều mềm, đều có thể cắt bằng dao, tác dụng rất mạnh với nước. Nếu sau đó

chúng ta lại dịch chuyển 8 ô về phía trước, chúng ta gặp potassium (K), chất này cũng mềm, cũng tác dụng với nước..., rồi cứ như thế lặp lại. Ở những bảng tuần hoàn ra đời sớm, chiều dài của mỗi chu kỳ cũng là chiều dài của mỗi hàng luôn là 8. Tuy nhiên, không lâu sau đó, người ta mới thấy rõ ràng, chu kỳ thứ 4 và thứ 5 rộng hơn trước để hợp với cụm đứng riêng các nguyên tố (các nguyên tố chuyển tiếp, ở các bảng tuần hoàn quen thuộc thì nằm ở giữa) Chu kỳ thứ 6 còn dài hơn, có tất cả 32 nguyên tố vì nó bao gồm cả dãy gọi là lanthanoid. Năm 1937, các nhà vật lý hạt nhân bắt đầu tổng hợp nguyên tố mới bắt đầu với technetium. Nguyên tố này điền vào 1 trong 4 ô trống ở bảng tuần hoàn được biết thời đó bắt đầu từ 1 (hydrogen) đến 92 (uranium). Ba ô còn trống cũng sớm được tìm thấy, 2 trong đó là do tổng hợp mà có (astatine và promethium) và ô thứ 3 tìm thấy trong tự nhiên (francium). Nhưng ngay cả khi những ô trống đó được điền đầy, những phát hiện mới lại thêm vào bảng tuần hoàn những nguyên tố dưới uranium và lại tạo ra những ô trống mới.

Nhà hoá học người Mỹ Glenn Seaborg đã xếp actinium, thorium và protactinium cùng với uranium và 10 nguyên tố tiếp theo là một phần của dãy mới, dãy này tương tự như dãy lanthanoid: có 14 nguyên tố và trở thành dãy actinide hay actinoids (vì rằng những nguyên tố thêm vào 2 dãy này sẽ còn làm cho bảng tuần hoàn rộng hơn, các bảng tuần hoàn chuẩn trình bày 2 dãy 14 nguyên tố thành một cụm riêng ở phía dưới bảng).

Như các nhà khoa học đã thực hiện ở nửa đầu thế kỷ XX, tính toán hoàn của các nguyên tố dựa trên nguồn gốc từ vật lý lượng tử và đặc biệt là cách các điện tử chuyển động quanh hạt nhân như thế nào. Điện tử chuyển động quanh hạt nhân theo những quỹ đạo có hình dạng và kích thước khác nhau một cách gián đoạn. Những nguyên tố có nguyên tử số lớn

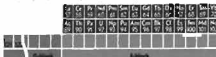
có cùng những dạng quỹ đạo (orbital) giống như các orbital ở các nguyên tố có nguyên tử số thấp cộng với những orbital loại mới. Chu kỳ thứ nhất chỉ có một kiểu orbital gọi là orbital s. Orbital này có thể có 1 hoặc 2 điện tử (hydrogen có 1 điện tử, helium có 2 điện tử). Chu kỳ thứ hai và chu kỳ thứ ba, mỗi chu kỳ có thêm 1 orbital kiểu s cộng với 3 orbital kiểu mới là kiểu p. Cũng tương tự như vậy, ở 1 trong 4 orbital đó có thể có 1 hoặc 2 điện tử, tổng cộng nhiều nhất là 8 điện tử, điều này làm cho các bảng tuần hoàn đầu tiên có chu kỳ là 8. Ở chu kỳ thứ 4 và thứ 5, thêm vào các orbital kiểu s và kiểu p còn có thêm kiểu thứ 3 là kiểu d, kiểu này có 10 chỗ cho điện tử nên kéo rộng chu kỳ đến $8+10=18$. Sau hết là 2 chu kỳ cuối cùng có các orbital s, p, d và f, nơi rộng chu kỳ đến $18+14=32$. Khi Yuri Oganessian và các cộng sự ở Viện Liên hiệp nghiên cứu hạt nhân gần Moscow (Liên bang Nga) cho biết, họ đã tổng hợp được nguyên tố không họ đất hiếm là nguyên tố 117 thì tất cả các ô ở hàng cuối hiện đã có đầy đủ số nguyên tố. Giữa cấu trúc của bảng tuần hoàn và cấu trúc các nguyên tử có mối liên hệ rất mật thiết. Nguyên tố 118 là nguyên tố duy nhất có tất cả các orbital s, p, d và f được điền đầy điện tử.

Nếu như tổng hợp thêm được những nguyên tố nữa, chúng sẽ nằm ở hàng mới của bảng tuần hoàn Nguyên tố 119 là nguyên tố hy vọng sắp tới sẽ tìm ra (hình 1) sẽ bắt đầu với orbital đơn giản nhất, orbital s. Nguyên tố 119 và tiếp theo đó là nguyên tố 120 sẽ chiếm 2 ô trống đầu tiên ở chu kỳ 8 mới. Nhưng với nguyên tố 121, một cụm hoàn toàn mới sẽ bắt đầu, ít nhất là về nguyên tắc, ở đây có orbital kiểu mới từ trước tới nay chưa từng có: đó là orbital g.

Như trước đây, orbital kiểu mới tạo thêm nhiều khả năng mới cho các điện tử và kéo dài thêm tính tuần hoàn, tăng thêm số cột. Cụm các nguyên tố này sẽ làm cho bảng tuần hoàn rộng ra đến 50 cột (mặc dù các nhà hoá

(1) Bảng tuần hoàn sắp xếp các nguyên tố theo tính lặp lại của các tính chất hóa học của chúng. Những tính chất này được quy định bởi quỹ đạo các điện tử của nguyên tố quyết định, hay là "orbital" - đặc biệt là orbital ngoài cùng. Đa nguyên tử số thấp đến nguyên tử số cao, cấu trúc của các orbital ngoại tầng đổi theo cách lặp lại, hay là có chu kỳ. Ví dụ, những nguyên tử từ 5 đến 10 có các orbital ngoài thuộc kiểu p và dĩ nhiên thay lại lại đổi với các nguyên tố từ 13 đến 18, do đó, thuộc cùng "cụm p" (màu xanh).

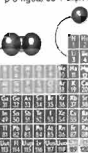
(2) Bảng tuần hoàn là của Charles Janet lập ra thường có tên là Bảng tuần hoàn Janet. Nó có các bên trái. Hàng dưới cùng sẽ được đầy đủ khi tìm ra các nguyên tố 119 và 120, có các orbital ngoài kiểu s. Nguyên tố 121 sẽ là nguyên tố đầu tiên có orbital kiểu mô, gọi là kiểu g, và nó sẽ ở vị trí của một cụm mới (đỏ, bên trái).



(4) Cơ hệ chu kỳ, tức là 2 hàng ở bảng tuần hoàn, có một loại của orbital điện tử xuất hiện. Bên phải là ví dụ về hình dạng các orbital.



(3) Lithium (Li) có hai orbital s chưa lấp công 3 điện tử (không vẽ). Boron (B) có hai orbital s (tổng công 4 điện tử) và orbital p ở ngoài có 2 điện tử.



sáng nhìn thấy không bị Ag hấp thụ, ánh sáng chỉ phản xạ, ta thấy Ag như cái gương phản xạ tối ánh sáng trắng. Ở Au, hiệu ứng tương đối tính làm hạ thấp năng lượng của các orbital s và còn làm tăng năng lượng của orbital d, vậy là làm hẹp khoảng cách giữa 2 mức năng lượng. Do đó, để chuyển tiếp cần năng lượng thấp hơn của photon, nói một cách chính xác thì cần năng lượng của các photon ở phần xanh của phổ là đủ. Chiếu ánh sáng trắng vào Au, các photon của ánh sáng trắng bị bật lại, chỉ trừ các photon của ánh sáng xanh bị hấp thụ để chuyển tiếp (nhảy mức). Do đó, nhìn vào Au ta thấy có ánh sáng trắng trừ đi ánh sáng xanh, tức là màu vàng đặc trưng của Au. Pekka Pyykkö cũng công sự ở Đại học Helsinki (Phần Lan) đã dự đoán các hiệu ứng tương đối ảnh hưởng lên Au, kể cả nó có thể liên kết với các nguyên tố khác một cách kỳ lạ. Hợp chất kỳ vọng có được từ các tương tác đó đã được tìm ra, đó là một thành công phần nào đó giống như điều mà Mendeleev dự kiến về các nguyên tố mới. Pyykkö đã thành công khi dự đoán là có một sự liên kết giữa Au và khí hiếm xenon, đó là khí cực kỳ trơ; và liên kết ba giữa Au và cacbon. Một thành công khác của ông là tạo ra phân tử hình cầu gồm 12 nguyên tử kim loại vonfram (W) và 12 nguyên tử Au kiểu như fulleren. Fuldren Au này được tạo thành một cách hoàn toàn tự phát khi vonfram và Au được cho bay hơi trong khí helium.

Các phép tính cơ lượng tử tương đối tính tỏ ra là cần thiết khi nghiên cứu làm thế nào mà chùm các nguyên tử Au có thể tác dụng như là xúc tác, ví dụ như để làm giảm các hoá chất độc hại, điển hình ở khí thải xe hơi. Mặc dù Au khối có tính trơ nổi tiếng nhưng nguyên tử vàng trong Au khối lại là chất xúc tác hiệu quả.

Ngạc nhiên về các nguyên tố siêu nặng

Ngay cả khi có các hiệu ứng tương đối tính nổi trội, các nguyên tử của Au

hoc đã cho rằng, có cách sắp xếp gọn hơn với không quá nhiều cột như vậy). Bảng tuần hoàn đầy đủ là bảng tuần hoàn có các hàng được điện đầy đủ có lẽ là sẽ hoàn thiện như mong muốn của Mendeleev. Có thể sẽ là như vậy nếu như Einstein không tìm ra lý thuyết tương đối hẹp...

Dung đến thuyết tương đối

Khi chúng ta đi từ nguyên tố có nguyên tử số thấp đến nguyên tố có nguyên tử số cao, điện tích của hạt nhân tăng lên vì số proton của hạt nhân tăng. Khi điện tích của hạt nhân tăng lên thì tốc độ của các điện tử ở các orbital bên trong tăng lên. Đến một lúc nào đó, tốc độ điện tử khá cao, lý thuyết tương đối hẹp của Einstein phát huy vai trò cần thiết để giải thích các tính chất, hiện tượng. Hiệu ứng tương đối làm cho những orbital bên trong co kích thước lại và làm cho chúng ổn định hơn. Sự co lại này gây ra hiệu ứng phụ lên những orbital s và p khác cũng bị co lại, kể cả orbital "hoá trị", tức là orbital ngoài cùng điều khiển các tính chất hoá học. Tất cả các hiệu ứng đó có tên là hiệu ứng tương đối tính trực tiếp. Nói chung, các hiệu ứng này càng tăng lên khi tăng điện tích của hạt nhân nguyên tử. Nhưng một số hiệu ứng cạnh tranh làm cho sự

việc phức tạp hơn. Trái với hiệu ứng tương đối tính trực tiếp làm ổn định một số orbital nào đó, hiệu ứng "tương đối tính gián tiếp" làm cho các orbital d và f mất ổn định. Đó là một kiểu che chắn tinh đến do các điện tử s và p gây nên, ở đây các điện tích âm một phần làm trung hoà lực hút của điện tích dương của hạt nhân. Vậy là các điện tử ở xa hạt nhân ít bị lực kéo tinh điện hơn. Một vài hiệu ứng tương đối tính ở các nguyên tố thể hiện trong đời sống hàng ngày. Ví dụ, nhờ hiệu ứng tương đối tính có thể giải thích màu của vàng (Au). Au có màu tách biệt hẳn với các nguyên tố xung quanh, là những nguyên tố không có màu như là bạc (Ag) nằm ở vị trí ngay trên Au. Cả hai đều nằm ở cụm có orbital d ở Bảng tuần hoàn.

Nguyên tử của kim loại ở cụm d khi có photon với bước sóng thích hợp chiếu vào sẽ bị chuyển tiếp (nhảy mức). Nguyên tử sẽ hấp thụ photon và năng lượng của photon làm cho điện tử nhảy từ orbital d lên orbital s ở ngay trên nó. Ở Ag, khoảng cách giữa 2 mức năng lượng của 2 orbital là khá lớn, do đó phải có photon ở vùng tử ngoại của phổ mới đủ kích thích sự chuyển tiếp. Nhưng các photon của ánh sáng nhìn thấy có năng lượng thấp hơn năng lượng photon tử ngoại, do đó, ánh

cũng không lệch khỏi quá xa với những tính chất vốn có của nó. Cho đến gần đây, những nguyên tố mới là khả phức hợp với những tính chất dự đoán trước đây trên cơ sở vị trí của chúng ở Bảng tuần hoàn. Nhưng những điều lý thú chưa đến. Một vài phép thử về hoá đổi với những nguyên tố mới tìm ra gần đây nhất bắt đầu chứng tỏ có những ran nút nghiêm trọng ở Bảng tuần hoàn. Dùng những máy gia tốc hạt để bắn phá hạt nhân, các nhà vật lý hạt nhân có khả năng chế tạo ra các nguyên tố "siêu nặng", những nguyên tố có nguyên tử số lớn hơn 103. Những thí nghiệm ban đầu trong những năm 90 của thế kỷ XIX đối với rutherfordium (104) và dubnium (105) đã cho thấy, những nguyên tố này không có những tính chất như suy ra theo vị trí của chúng ở Bảng tuần hoàn. Ví dụ, Ken Czerwinski cùng đồng nghiệp ở Đại học California Berkeley (Mỹ) đã tìm thấy, trong dung dịch, rutherfordium phản ứng theo cách như là plutonium, một nguyên tố cách rất xa trong Bảng tuần hoàn. Tương tự, dubnium có những dấu hiệu là có những tính chất như nguyên tố protactinium, cũng lại cách xa với dubnium ở Bảng tuần hoàn. Theo các quy luật về tuần hoàn, hai nguyên tố này lẽ ra phải có những tính chất tương tự với nguyên tố ngay trên nó trong Bảng tuần hoàn là hafnium và tantalum. Trong một công trình gần đây, các nhà khoa học đã có khả năng tổng hợp những nguyên tố siêu nặng với số lượng rất ít: sự phát hiện ra nguyên tố 117 dựa trên quan sát chỉ có đúng 6 nguyên tử. Những nguyên tố siêu nặng cũng có xu hướng là rất không ổn định, phân rã thành các nguyên tố nhẹ hơn chỉ trong một ít phần của giây. Quan lớn các chuyên gia đã phải quan sát các mảnh vỡ của sự phân rã hạt nhân ấy để tìm những thông tin về vật lý và hoá học của hạt nhân. Trong tình hình như vậy, việc nghiên cứu các tính chất hoá học theo hoá học "ướt" truyền thống, tức là cho vào ống nghiệm, lắc đều rồi chờ phản ứng xảy ra đối với

các hoá chất khác là không áp dụng được. Vì vậy các nhà khoa học đã đến với những kỹ thuật mới - nghiên cứu hoá học của những nguyên tố mà mới lần thí nghiệm chỉ có một nguyên tử.

Các thí nghiệm hoá học này đã được tiến hành với hai nguyên tố ứng với nguyên tố 104 và 105 song không cho kết quả thỏa đáng. Seaborgium (106) và bohrium (107) có vẻ như là cho các kết quả đúng như Mendeleev đã dự đoán. Chu kỳ tuần hoàn được chú ý trở lại. Trong trường hợp nguyên tố thứ 112, các nhà hoá học và vật lý đều băn khoăn liệu có phải nguyên tố này có nhiều biểu hiện giống thủy ngân nằm trực tiếp ở trên Bảng tuần hoàn giống như khí hiếm radon theo như dự đoán. Chu kỳ tuần hoàn tương đối linh. Trong các thí nghiệm này, người ta đã tổng hợp các nguyên tố của nguyên tố 112 cùng với một số đồng vị khác của thủy ngân và radon (mặc dù trong tự nhiên dễ dàng có được 2 nguyên tố này nhưng các nhà nghiên cứu muốn chế tạo thủy ngân và radon trong điều kiện như là điều kiện chế tạo các nguyên tử nặng).

Các thí nghiệm cho phép phủ tất cả các nguyên tử đó trên bề mặt ở nhiệt độ rất thấp và bề mặt này có phủ một ít Au với nước đá. Nếu nguyên tố 112 đúng là có tính chất tương tự kim loại, chúng phải liên kết với Au. Nếu nguyên tố 112 giống với khí hiếm radon hơn, nó sẽ liên kết với nước đá. Cho đến nay, các phòng thí nghiệm đều có được các kết quả riêng khác nhau nên chưa biết bao giờ điều này mới được làm rõ. Hiệu ứng tương đối với nguyên tố 114 cũng đã được xem xét. Những kết quả đầu tiên được Robert Eichler cùng nhóm nghiên cứu ở Viện Paul Scherrer (Thụy Sĩ) thông báo cho thấy có một số điều khác biệt so với lý thuyết đã nêu.

Người ta đang tìm thêm những nguyên tố mới cho Bảng tuần hoàn và những nghiên cứu hoá học đối với những nguyên tố mới này giúp làm rõ vấn đề tranh luận. Câu hỏi là

quá là có thể có nguyên tố cuối cùng của Bảng tuần hoàn không? Sự nhất trí chung là khi số proton quá lớn thì hạt nhân sẽ không hình thành được mặc dù chỉ hình thành trong một khoảnh khắc rất nhỏ. Nhưng ý kiến khác nhau ở chỗ: đến nguyên tố mới nào là đúng? Một số chuyên gia tinh toán xem hạt nhân nhỏ như là một điểm, dẫn đến kết quả cuối cùng là hạt nhân nặng nhất có nguyên tử số là 137. Nhưng một số chuyên gia lại cho rằng, hạt nhân vẫn còn một thể tích nhất định nên tính ra thì nguyên tử nặng nhất có nguyên tử số là 172 hay 173. Đơn giản là hiện nay còn chưa rõ nguyên lý khi nằm cùng cột, tính chất của các nguyên tố trong Bảng tuần hoàn là tương tự nhau có còn có giá trị đối với những nguyên tố nặng hay không? Câu trả lời này nếu không có ý nghĩa thực tiễn lớn thì ít ra cũng có ý nghĩa trong dự đoán ở tương lai. Thiếu đi sức mạnh dự đoán ở thế giới các nguyên tử nặng không ảnh hưởng đến tính hữu ích của Bảng tuần hoàn đối với những nguyên tố còn lại trong bảng. Và các nhà hóa học tiêu biểu sẽ không bao giờ chạm đến những nguyên tố có nguyên tử số cao nhất bởi hạt nhân của tất cả các nguyên tố này là không ổn định, có nghĩa là một khoảnh khắc ngắn ngủi sau khi hình thành chúng đã phân rã thành những nguyên tố nhẹ hơn. Vấn đề về hiệu ứng của thuyết tương đối hẹp vẫn còn là một thách thức đối với hoá học. Nếu quy luật tuần hoàn mất đi thế mạnh thì về một ý nghĩa nào đó hoá học phải cậy nhờ vào vật lý để phần nào thoát khỏi bế tắc do những quy luật tuần hoàn tạo ra. Trong khi chờ đợi các kết quả mới, bóng dáng của Mendeleev vẫn oai hùng, trí tuệ của ông đã dẫn đến đến những thành công kỳ diệu.

Nguyễn Xuân Chánh lược dịch