

# Làm thế nào để chọn đúng kỹ thuật phổ nguyên tử?

Để đáp ứng nhu cầu của phòng thí nghiệm  
của bạn cả hiện tại và trong tương lai





## Nội dung

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Phổ nguyên tử hoạt động như thế nào?</b>                        | <b>3</b>  |
| Phổ nguyên tử                                                      | 3         |
| Phổ hấp thụ nguyên tử (AA)                                         | 3         |
| Phổ phát xạ nguyên tử                                              | 4         |
| Phổ phát xạ nguyên tử plasma vi sóng (MP-AES)                      | 4         |
| Phổ phát xạ plasma cảm ứng (ICP-OES)                               | 4         |
| Phổ khối lượng nguyên tử                                           | 5         |
| Phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS)                                   | 5         |
| Phổ khối plasma cảm ứng ba tứ cực (ICP-QQQ)                        | 7         |
| <b>Làm thế nào để tôi chọn đúng kỹ thuật?</b>                      | <b>8</b>  |
| So sánh song song                                                  | 8         |
| Bạn cần đo những nguyên tố nào?                                    | 10        |
| Bạn cần đo bao nhiêu nguyên tố và mẫu?                             | 12        |
| Khoảng tuyến tính                                                  | 13        |
| Giới hạn phát hiện                                                 | 13        |
| Nhiều                                                              | 14        |
| Chi phí                                                            | 17        |
| Bảo dưỡng thường xuyên                                             | 17        |
| Dễ sử dụng & yêu cầu kỹ năng phân tích                             | 18        |
| Phương pháp – được quy định và có sẵn đã phát triển trước          | 18        |
| <b>Chuẩn bị mẫu</b>                                                | <b>19</b> |
| Mẫu lỏng                                                           | 19        |
| Mẫu rắn                                                            | 19        |
| Phá mẫu, pha loãng và lọc                                          | 20        |
| Chuẩn bị mẫu hữu cơ                                                | 20        |
| Thành phần thiết bị chuyên dụng cho dung môi                       | 21        |
| <b>Hiệu chuẩn</b>                                                  | <b>22</b> |
| <b>Ứng dụng</b>                                                    | <b>24</b> |
| Những kỹ thuật nào thường được sử dụng cho các ứng dụng khác nhau? | 24        |
| Khuyến nghị cho các tình huống đo lường phổ biến                   | 26        |
| <b>Các thành phần khác mà bạn có thể cần</b>                       | <b>37</b> |
| <b>Thiết bị quang phổ nguyên tử của Agilent Technologies</b>       | <b>39</b> |
| Giá trị của sự hiểu biết                                           | 39        |

# Phổ nguyên tử hoạt động như thế nào?

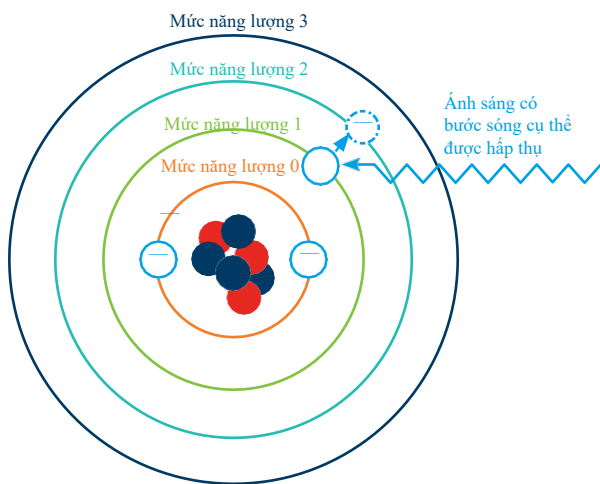
## Phổ nguyên tử

Phổ học nguyên tử mô tả một số kỹ thuật phân tích được sử dụng để xác định thành phần nguyên tố của mẫu bằng cách kiểm tra phổ điện từ hoặc phổ khối của mẫu.

Các kỹ thuật phổ nguyên tử có thể được chia thành hai loại chính; các kỹ thuật xác định nguyên tố phân tích bằng phổ điện từ của nó và các kỹ thuật xác định nguyên tố bằng phổ khối của nó. Trong phòng thí nghiệm môi trường, các kỹ thuật phổ điện từ phổ biến nhất là hấp thụ nguyên tử và phát xạ nguyên tử. Các kỹ thuật dựa trên tia X như huỳnh quang tia X (XRF) và nhiễu xạ tia X (XRD) về mặt kỹ thuật cũng là các kỹ thuật phổ điện từ.

## Phổ hấp thụ nguyên tử (AA)

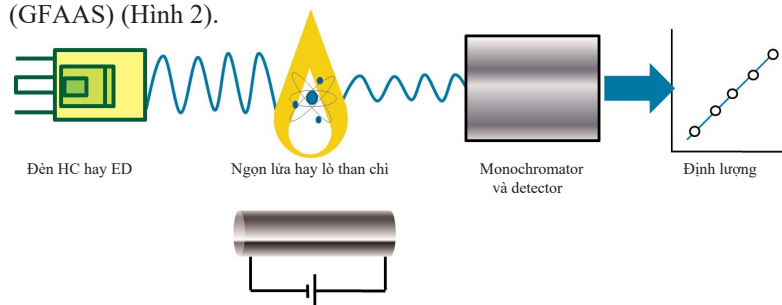
Kỹ thuật hấp thụ nguyên tử dựa trên thực tế là mọi nguyên tố đều hấp thụ ánh sáng có bước sóng đặc trưng, khi một electron được nâng lên từ trạng thái cơ bản lên trạng thái kích thích. Lượng năng lượng ánh sáng được hấp thụ tỷ lệ thuận với số nguyên tử chất phân tích trên đường đi của ánh sáng.



**Hình 1.** Một electron được kích thích từ trạng thái cơ bản lên mức năng lượng cao hơn bằng cách hấp thụ năng lượng (ánh sáng) ở một bước sóng cụ thể. Trong quang phổ hấp thụ nguyên tử, bước sóng của ánh sáng hấp thụ được xác định bởi loại nguyên tử (nguyên tố đó là gì) và mức năng lượng mà các electron đang di chuyển đến. Lượng ánh sáng được hấp thụ được xác định bởi nồng độ của nguyên tố trong mẫu.

Kỹ thuật này được hiệu chuẩn bằng cách đưa nồng độ các nguyên tử chất phân tích đã biết vào đường đi của ánh sáng và vẽ đường cong hấp thụ so với nồng độ. Nguồn sáng đặc trưng của từng thành phần chất phân tích được sử dụng là đèn catốt rỗng (HCL) hoặc đèn phóng điện không điện cực (EDL). Thông thường, mỗi đèn được dành riêng để phân tích một thành phần riêng lẻ, mặc dù đôi khi một vài thành phần có thể được kết hợp thành một đèn duy nhất. Tuy nhiên, do hạn chế này, hấp thụ nguyên tử được sử dụng cho một số lượng nhỏ các thành phần chất phân tích trên mỗi mẫu, mặc dù nó có thể đo 67 thành phần (không phải cùng một lúc).

Để hấp thụ nguyên tử hoạt động, các thành phần chất phân tích phải được nguyên tử hóa (chuyển đổi thành trạng thái nguyên tử) bằng nhiệt độ cao. Các thành phần được nguyên tử hóa bằng cách đưa mẫu lỏng qua một máy phun sương vào ngọn lửa axetilen nhiệt độ cao trong quang phổ hấp thụ nguyên tử ngọn lửa (FAAS). Các thành phần cũng có thể được nguyên tử hóa bằng cách nung nóng điện trở một mẫu đã sấy khô trong một xi lanh than chì có đường kính nhỏ - quang phổ hấp thụ nguyên tử lò than chì (GFAAS) (Hình 2).

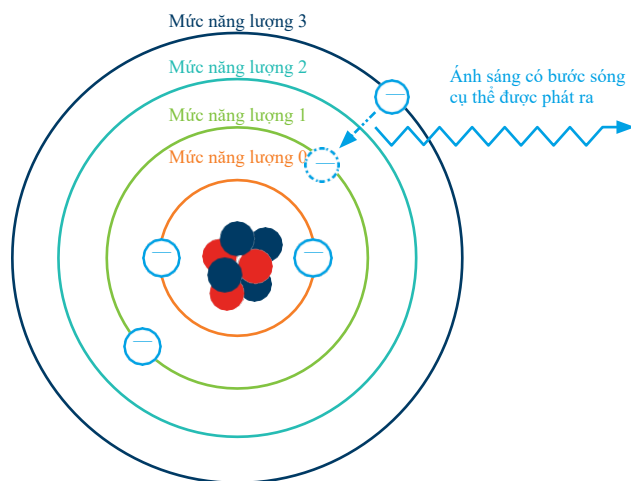


**Hình 2.** Sơ đồ hệ thống máy quang phổ hấp thụ nguyên tử lò than chì hoặc ngọn lửa

FAAS đơn giản và không tốn kém nhưng có hạn chế là mật độ nguyên tử tương đối khuếch tán và thoát qua trong ngọn lửa dẫn đến độ nhạy kém khi so sánh với các kỹ thuật khác. Giới hạn phát hiện thông thường nằm trong phạm vi ppb đến ppm cao. GFAAS có ưu điểm là kiểm soát nhiệt độ có thể lập trình. Kiểm soát này cho phép dung môi và ma trận (các thành phần của mẫu khác với các nguyên tố bạn muốn đo) được tách ra khỏi chất phân tích theo chức năng của điểm sôi. Ngoài ra, sau khi chất phân tích được nguyên tử hóa trong GFAAS, nó được giữ lại trong thể tích nhỏ của ống than chì để đo kéo dài. Do đó, giới hạn phát hiện khi sử dụng GFAAS thấp hơn nhiều so với FAAS, thường ở phạm vi dưới ppb. Tuy nhiên, GFAAS có thể đo ít chất phân tích hơn FAAS và chậm hơn nhiều.

## Phổ phát xạ nguyên tử

Vì mỗi nguyên tố đều cần một nguồn sáng HCL chuyên dụng, nên AAS bị giới hạn về số lượng nguyên tố có thể đo được trong một mẫu. FAAS cũng có độ nhạy tương đối kém, còn GFAAS thì chậm. Các kỹ thuật phát xạ nguyên tử khắc phục được những hạn chế này và do đó đã được sử dụng rộng rãi. Các kỹ thuật phát xạ nguyên tử sử dụng thực tế là khi một nguyên tử của một nguyên tố cụ thể bị kích thích (như trong quá trình hấp thụ nguyên tử), nó phát ra ánh sáng theo một mẫu đặc trưng của các bước sóng - một quang phổ phát xạ, khi nó trở về trạng thái cơ bản (xem Hình 3).



**Hình 3.** Khi một electron trở về từ mức năng lượng cao hơn về trạng thái cơ bản, nó phát ra ánh sáng có bước sóng cụ thể. Loại nguyên tử hoặc ion (tức là nguyên tố đó là gì) và các mức năng lượng mà electron đang di chuyển giữa các mức năng lượng xác định bước sóng của ánh sáng phát ra.

Mặc dù có thể thực hiện quang phổ phát xạ nguyên tử bằng thiết bị ngọn lửa tương tự như thiết bị FAAS, nhưng ngọn lửa không phải là nguồn kích thích lý tưởng cho phát xạ nguyên tử. Nhiệt độ điển hình cho ngọn lửa axetilen được sử dụng trong AA là khoảng 2.000 K đối với không khí-axetilen và 3.000 K đối với nitơ oxit-axetilen. Các nguồn phát xạ nguyên tử thay thế bao gồm plasma vi sóng (MP) và plasma argon cảm ứng (ICP). Cả hai nguồn đều nóng hơn đáng kể so với ngọn lửa.

Nhiệt độ cao mang lại phạm vi phủ sóng nguyên tố rộng hơn và độ nhạy cao hơn FAAS.

MP-AES: Microwave plasma – atomic emission spectroscopy  
ICP-OES: Inductively coupled plasma – optical emission spectroscopy  
ICP-AES: Inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy

## Phổ phát xạ nguyên tử plasma vi sóng (MP-AES)

Plasma vi sóng (MP), sử dụng Nitơ để tạo plasma, nguồn plasma Ni-tơ này nóng hơn đáng kể so với ngọn lửa Axetilen, đạt nhiệt độ gần 5.000 K. Ở nhiệt độ này, phát xạ nguyên tử mạnh đối với hầu hết các nguyên tố, dẫn đến khả năng phát hiện được cải thiện và phạm vi động tuyến tính so với AA ngọn lửa đối với hầu hết các nguyên tố. Vì MP chạy bằng Nitơ nên chi phí vận hành liên tục có thể giảm đáng kể so với AA ngọn lửa. Việc sử dụng máy sinh khí Nitơ làm nguồn Nitơ cho plasma giúp tiết kiệm thêm chi phí. Độ an toàn được cải thiện so với AA ngọn lửa vì Nitơ trơ được sử dụng thay vì Axetilen (một loại khí dễ cháy). Sử dụng Nitơ trơ cũng cho phép phân tích mẫu không cần giám sát và qua đêm, điều này không được khuyến nghị đối với FAAS.

Sử dụng máy đơn sắc quét và máy dò trạng thái rắn, MP-AES loại bỏ nhu cầu sử dụng đèn riêng lẻ. Kỹ thuật này cũng cung cấp thời gian phân tích mẫu sang mẫu nhanh hơn so với FAAS, đặc biệt là khi số lượng nguyên tố (chất phân tích) tăng lên vượt quá một vài nguyên tố. MP-AES có thể chạy mẫu lên đến khoảng 3% tổng chất rắn hòa tan (TDS), bằng cách sử dụng cấu hình đưa mẫu thích hợp.

Vì MP-AES là công nghệ tương đối mới, nên nó có thể không được chấp nhận đối với một số phương pháp được quy định, trong đó phòng thí nghiệm phải sử dụng kỹ thuật được chỉ định để phân tích. Nếu một kỹ thuật mới như MP-AES có thể được chứng minh là tương đương với kỹ thuật đã được thiết lập, các ngành công nghiệp và cơ quan quản lý khác sẽ chấp nhận xác thực dựa trên hiệu suất này.

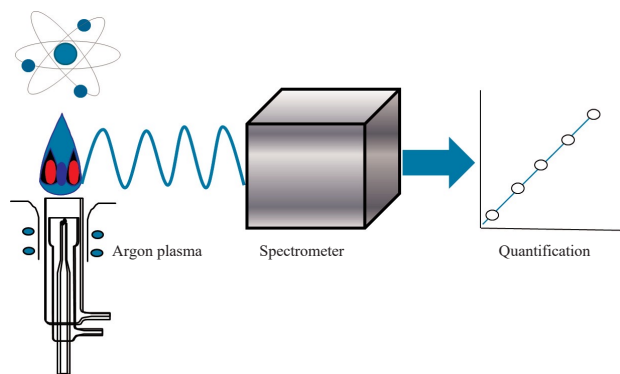
## Phổ phát xạ plasma cảm ứng (ICP-OES)

ICP Argon nóng hơn MP Nitơ và nóng hơn nhiều so với ngọn lửa Axetilen. ICP có thể đạt nhiệt độ gần 10.000 K, cho phép nguyên tử hóa hoàn toàn và ion hóa đáng kể mẫu.

Giảm nhiễu phân tử và tối đa hóa phát xạ nguyên tử và ion có sẵn để phát hiện. Tương tự như MP-AES, ICP OES sử dụng khí trơ (Argon) thay vì khí dễ cháy (như Axetilen đối với FAAS) cho phép phân tích mẫu không cần giám sát và qua đêm và cải thiện tính an toàn. Ngoài việc không yêu cầu đèn cho từng nguyên tố, ICP-OES còn có nhiều ưu điểm hơn FAAS. ICP-OES là kỹ thuật phân tích đa nguyên tố thực sự, có khả năng đo đồng thời hoặc gần như đồng thời tới 74 nguyên tố ở giới hạn phát hiện ppb thấp. Do đó, ICP-OES – hay còn được gọi là ICP-AES (phổ phát xạ nguyên tử ICP) – đã trở thành công cụ đặc lực để xác định nguyên tố trong nhiều ngành công nghiệp<sup>4</sup> bao gồm cả giám sát môi trường.

Nhiệt độ cao của plasma argon cũng có nghĩa là ICP-OES có thể chịu được các nền phức tạp chứa tổng chất rắn hòa tan (TDS) lên đến ~25%, tùy thuộc vào cấu hình cụ thể. Ngoài ra, độ nhạy của ICP-OES nằm giữa độ nhạy của FAAS/MP-AES và GFAAS (phạm vi ppb đến phần trăm thấp). Do đó, ICP-OES có thể đo tất cả các nguyên tố đã được xác định trước đó bằng FAAS. ICP-OES cũng có thể đo một số nguyên tố mà do giới hạn báo cáo bắt buộc thấp hơn nên cần sử dụng GFAAS.

Tuy nhiên, ICP-OES không thể so sánh với GFAAS về giới hạn phát hiện trong phạm vi dưới ppb và ppt. Vì lý do này, các phòng thí nghiệm sử dụng ICP-OES làm kỹ thuật phân tích nguyên tố chính của họ vẫn sẽ yêu cầu một kỹ thuật nhạy hơn như GFAAS hoặc ICP-MS (xem phần tiếp theo) để phân tích mức vết các nguyên tố như As, Se, Cd, Pb vv... Khi số lượng mẫu tăng lên, GFAAS trở thành yếu tố hạn chế năng suất của phòng thí nghiệm. Do đó, các phòng thí nghiệm có số lượng mẫu cao thường sẽ chọn ICP-MS vì phương pháp này cung cấp khả năng phân tích đa nguyên tố với giới hạn phát hiện thấp.

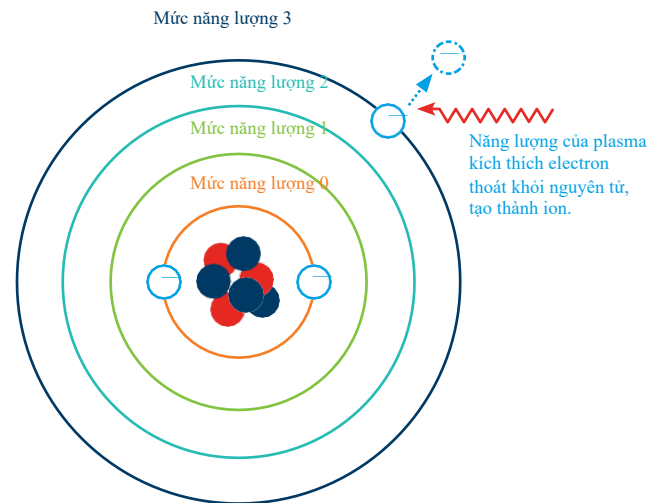


**Hình 4.** Sơ đồ đơn giản của hệ thống máy quang phổ ICP-OES

### Phổ khối lượng nguyên tử

Phổ khối nguyên tử (MS) – còn được gọi là phổ khối vô cơ – là kỹ thuật sử dụng máy quang phổ khối để tách và đo các nguyên tử hay nguyên tố. Phổ khối nguyên tử khác với các kỹ thuật MS “hữu cơ”, chẳng hạn như LC/MS và GC/MS, đo các phân tử hoặc hợp chất hữu cơ.

Để có thể đo thành phần nguyên tố của mẫu bằng MS, các nguyên tử của nguyên tố được chuyển đổi thành các ion tích điện, do đó chúng có thể được tập trung và tách ra. Nguồn ion có thể là phóng điện (glow discharge: GD), tia lửa, dây tóc, súng ion, tia laser hoặc plasma (như được sử dụng trong ICP-MS). Một số nguồn ion (GD, tia lửa, laser) được sử dụng để đo các mẫu rắn, trong khi plasma có thể xử lý các mẫu lỏng như dung dịch nước và dịch axit.



**Hình 5.** Năng lượng do plasma argon cung cấp loại bỏ một electron khỏi nguyên tử nguyên tố, tạo ra một ion dương tích điện đơn.

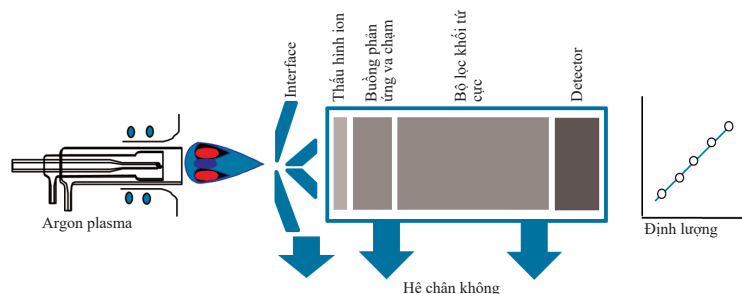
Máy phổ khối (MS) được sử dụng để tách các ion có thể là một thiết bị cung từ, thời gian bay, bẫy ion hay tứ cực. Tứ cực (quadrupole) có sự cân bằng tốt giữa độ chuyển đổi, độ phân giải dưới 1 đơn vị khối lượng (u) và chi phí tương đối thấp. Hầu hết các hệ thống ICP-MS đều sử dụng bộ lọc khối lượng tứ cực, có thể là cấu hình một tứ cực (MS) hay MS/MS sử dụng ba tứ cực (ICP-QQQ).

Để cung cấp độ chuyển đổi (chuyển từ phân tử thành ion) và độ phân giải cao, bộ lọc khối và detector của máy MS phải được đặt trong buồng chân không. Các ion được đo được hình thành bên trong buồng chân không (ví dụ như trong trường hợp phóng điện) hoặc được chuyển vào vùng chân không cao từ nguồn ion bên ngoài như plasma. Sau khi các ion nguyên tố khác nhau được tách ra trong bộ lọc khối, chúng được đếm, thường sử dụng bộ nhân điện (electron multiplier). Số lượng ion được đo ở mỗi khối được so sánh với tín hiệu cho một chuẩn đã biết và được chuyển đổi thành nồng độ của từng nguyên tố trong vật liệu đang được phân tích.

### Phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS)

Vào giữa những năm 1980, Argon ICP được ghép nối với máy phổ khối tứ cực, tạo ra các thiết bị ICP-MS thương mại đầu tiên. Sự phát triển này tận dụng lợi thế của Argon ICP như một nguồn ion hiệu quả cao, được ghép nối với máy phổ khối tứ cực vì độ nhạy cao, phổ đơn giản và khả năng quét nhanh. Kết quả là một thiết bị kết hợp khả năng đa nguyên tố đồng thời, nhanh chóng của ICP-OES và độ nhạy của GFAAS. Trong một thiết bị ICP-MS, plasma argon hoạt động như một nguồn ion.

Các ion đi vào vùng chân không cao chứa bộ phân tích khối tứ cực thông qua một bộ côn trung gian (interface cones) và thấu kính ion. Các ion được tách ra bởi tứ cực và được truyền đến bộ nhân điện (tử) để phát hiện (Hình 6).



**Hình 6.** Sơ đồ đơn giản hóa các thành phần chính của hệ thống ICP-MS tứ cực

Trong khi plasma argon trong ICP-MS tương tự như plasma được sử dụng trong ICP-OES, nhưng mục đích thì khác. Trong ICP-MS, chỉ đo các ion, do đó plasma được tối ưu hóa để ion hóa các nguyên tử nguyên tố. Plasma argon là lý tưởng cho mục đích này, vì argon có thể ion hóa (Ion Potential: IP) - năng lượng cần thiết để loại bỏ electron đầu tiên khỏi nguyên tử trung tính - là 15,76 electron vôn (eV). IP này cao hơn IP đầu tiên của hầu hết mọi nguyên tố khác, nhưng thấp hơn IP thứ hai của chúng, điều đó có nghĩa là các nguyên tử của hầu hết các nguyên tố được chuyển đổi hiệu quả thành các ion dương tích điện đơn.

Hiệu suất ion hóa – và do đó là độ nhạy – tốt hơn nếu có nhiệt độ cao ở kênh trung tâm của plasma. Nhiệt độ plasma cao đạt được bằng cách sử dụng máy phát trạng thái rắn (solid state) hiệu suất cao, đầu phun ngọn đuốc (injector torch) có đường kính bên trong rộng và các điều kiện vận hành được tối ưu hóa. Kết quả là một plasma “mạnh mẽ” cung cấp khả năng ion hóa > 95% cho hầu hết các nguyên tố. Ngay cả các nguyên tố ion hóa kém như Be, As, Se, Cd và Hg cũng bị ion hóa đáng kể, do đó có thể đo ở mức vết (ppt).

Độ bền của plasma là một đặc tính hiệu suất thường được theo dõi bằng cách đo tỷ lệ  $CeO^+$  so với  $Ce^+$ .  $CeO^+$  là một ion phân tử liên kết mạnh. Plasma ICP-MS được coi là bền nếu nó có đủ năng lượng để phân tách  $CeO^+$  để tạo ra tỷ lệ  $CeO^+/Ce^+$  khoảng 1,5% hoặc thấp hơn. Vận hành ICP-MS với nhiệt độ plasma cao giúp phân hủy nền mẫu tốt hơn, dẫn đến ít phân hủy nền hơn, độ ổn định tốt hơn và bảo trì thấp hơn. Nhiệt độ plasma cao cung cấp nhiều năng lượng hơn để phân tách các ion phân tử khác, làm giảm mức độ các ion khác có thể tạo thành nhiễu phổ tiềm ẩn.

Các ion được tách từ plasma và truyền vào vùng chân không cao để tách và phát hiện. Các photon và các hạt trung tính bị loại bỏ bằng cách sử dụng thấu kính ion lệch trục và các ion phân tử (đa nguyên tử) còn lại được loại bỏ bằng khí và chạm Heli (He) với Phân biệt năng lượng động học (Kinetic Energy Discrimination: KED) trong buồng va chạm/phản ứng (Collision/ Reaction Cell: CRC). Chế độ He KED lọc ra các ion đa nguyên tử, là những ion lớn hơn và do đó va chạm với khí và chạm/phản ứng thường xuyên hơn so với các ion nguyên tử mà chúng chồng lên nhau. Do đó, các ion đa nguyên tử mất nhiều năng lượng hơn các ion chất phân tích (nhỏ hơn), cho phép loại bỏ các ion đa nguyên tử bằng cách sử dụng điện áp phân cực ở đầu ra của buồng. Chế độ He KED đã biến đổi độ chính xác và độ tin cậy của phân tích ICP-MS, đặc biệt là đối với phân tích đa nguyên tố của các mẫu gặp phải trong các phòng thí nghiệm về môi trường và thực phẩm.



**Hình 7.** Video ngắn này giải thích cách thức hoạt động của chế độ heli để loại bỏ nhiều đa nguyên tử ICP-MS.

Máy quang phổ khối tứ cực tách các ion dựa trên tỷ lệ khối lượng trên điện tích ( $m/z$ ) của chúng. Đối với các ion tích điện đơn,  $m/z$  bằng khối lượng, do đó ICP-MS đo các nguyên tố như một quang phổ đơn giản của khối lượng nguyên tử (đồng vị) đặc trưng từ 6Li đến 238U. Nhiều nguyên tố có một số đồng vị với khối lượng khác nhau và đối với các nguyên tố này, ICP-MS cũng có thể cung cấp thông tin về tỷ lệ đồng vị và độ phong phú.

Máy quang phổ khối tứ cực là máy quang phổ khối quét, nhưng hoạt động ở tốc độ quét rất cao (hơn 10 lần quét khối lượng đầy đủ mỗi giây). Tốc độ cao này có hiệu quả đo tất cả các nguyên tố cùng một lúc. Sau khi được tách trong bộ lọc khối lượng, các ion được truyền đến một máy dò nhân điện tử, tạo ra một xung cho mỗi ion đi đến nó. Các xung hoặc "số đếm" được chuyển đổi thành nồng độ bằng cách so sánh các tín hiệu với hiệu chuẩn được tạo ra bằng cách đo các tiêu chuẩn có nồng độ đã biết.

Với phạm vi nguyên tố rộng (có thể đo thường xuyên tới 70 nguyên tố) và dải động tuyến tính từ dưới một ppt đến hàng nghìn ppm, ICP-MS bao trùm lên khả năng đo của cả ICP-OES và GFAAS.

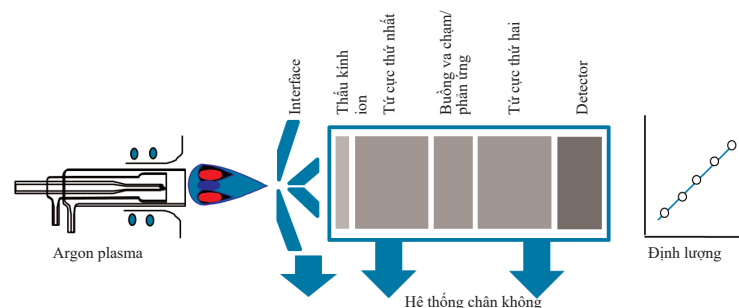
Những tiến bộ liên tục trong công nghệ đã giải quyết được thực tế là các thiết bị ICP-MS ban đầu có khả năng chịu đựng kém đối với các mẫu có tổng lượng chất rắn hòa tan (TDS) cao. Nhưng hầu hết các thiết bị ICP-MS hiện đại vẫn bị giới hạn ở mức TDS tối đa khoảng 0,2% (2000 ppm), thấp hơn gấp 100 lần so với các thiết bị OES cùng loại. Để cải thiện khả năng chịu đựng của nền mẫu ICP-MS và cho phép phân tích trực tiếp các mẫu TDS cao hơn, người ta thường sử dụng phương pháp pha loãng khí dung. Các thiết bị ICP-MS của Agilent có hệ thống Nạp nền mẫu cực cao (Ultra High Matrix Introduction: UHMI). Công nghệ này sử dụng khí Argon được hiệu chuẩn tự động bổ sung giữa buồng phun và ICP Torch để pha loãng khí dung mẫu. Lượng khí dung tiếp cận plasma được giảm xuống, cho phép phân tích các nền mẫu mức cao hơn mà không gây ra hiện tượng ức chế tín hiệu, phân hủy nền mẫu và trôi. UHMI loại bỏ thời gian và các lỗi tiềm ẩn liên quan đến pha loãng mẫu chất lỏng thông thường và tránh chi phí cũng như sự phức tạp của máy pha loãng tự động. Vì quá trình pha loãng diễn ra trong pha khí, không có khả năng nhiễm bẩn từ chất pha loãng nước có thể xảy ra và độ bền của plasma được cải thiện bằng cách giảm tải dung môi (nước) trên plasma. UHMI là tiêu chuẩn trên các hệ thống Agilent ICP-MS, cho phép các thiết bị đo trực tiếp các mẫu có mức ma trận lên đến 25% TDS, gần với khả năng của ICP-OES.

### Phổ khối plasma ba tứ cực (ICP-QQQ)

Tiến bộ mới nhất trong phép đo phổ nguyên tử là sự phát triển của ICP-MS dựa trên máy phổ khối song song – ICP-MS/MS – thường ở cấu hình ba tứ cực (QQQ). Thuật ngữ “máy quang phổ khối ba tứ cực” dùng để chỉ một thiết bị sử dụng hai bộ lọc khối tứ cực nối tiếp nhau. Hai bộ lọc khối này được tách biệt bằng một buồng va chạm/phản ứng có một đường dẫn ion đa cực (xem định nghĩa IUPAC Thuật ngữ 538).

Agilent 8900 ICP-QQQ sử dụng hai bộ lọc khối tứ cực có hình dạng hyperbol được tách biệt bằng một buồng va chạm/phản ứng của Hệ thống phản ứng bát cực (Octapole Reaction Cell: ORS). ORS tương tự như buồng được sử dụng trong các hệ thống ICP-MS tứ cực đơn của Agilent, nhưng cấu hình MS/MS cho phép sử dụng buồng với các khí trong buồng có phản ứng cao.

Các chế độ khí phản ứng với ICP-MS/MS có thể là một phương pháp hữu ích và hiệu quả để giải quyết các nhiễu có vấn đề mà không thể giải quyết được bằng chế độ He với KED. Tứ cực đầu tiên (Q1) của ICP-MS/MS được sử dụng để điều khiển các ion đi vào buồng va chạm/phản ứng. Va chạm hoặc phản ứng trong buồng loại bỏ nhiễu và sau đó tứ cực phân tích (Q2) được sử dụng để truyền các ion phân tích đã tách đến máy dò (detector). Sơ đồ đơn giản hóa của cấu hình ICP-MS/MS được thể hiện trong Hình 8.



**Hình 8.** Sơ đồ đơn giản hóa của ICP-MS ba tứ cực

### Tại sao phải cần ICP-MS/MS?

Sự khác biệt chính giữa ICP-MS/MS và ICP-MS tứ cực đơn là ICP-MS/MS cho phép hoạt động MS/MS, trong đó cả Q1 và Q2 đều hoạt động như bộ lọc khối có độ phân giải đơn vị. Q1 chọn khối lượng ion chất phân tích đi vào buồng, loại bỏ tất cả các khối lượng khác. Quá trình chọn này đảm bảo rằng các ion trong tế bào là nhất quán và không phụ thuộc vào thành phần mẫu, do đó, các phương pháp khí buồng phản ứng có thể được sử dụng một cách đáng tin cậy. Việc kiểm soát phản ứng hóa học này cho phép ICP-MS/MS giải quyết các vấn đề nhiễu mà không thể giải quyết được bằng ICP-MS tứ cực thông thường. Việc tách các ion có cùng khối lượng (isobaric - như 204Hg trên 204Pb), giải quyết các trùng lặp ion tích điện kép (ví dụ như chồng chéo REE2+ trên As và Se) và loại bỏ các nhiễu nền rất mạnh (N2 trên 28Si, O2 trên 32S vv...).

8900 ICP-MS/MS cũng có độ nhạy cao hơn đáng kể và đường nền thấp hơn nhiều so với các hệ thống ICP-MS tứ cực đơn thông thường. Ngoài ra, vì thực hiện hai bước lọc khối lượng, 8900 ICP-MS/MS có độ nhạy liên kết (abundance sensitivity: AS) vượt trội hơn nhiều, đây là thước đo mức độ chồng chéo giữa các đỉnh liên kết. Hoạt động MS/MS cho phép 8900 phân giải các đỉnh vết từ các đỉnh chính ở khối lượng liên kết (ví dụ, tách Mn-55 khỏi Fe-56).

# Làm thế nào để tôi chọn đúng kỹ thuật?

Kỹ thuật quang phổ nguyên tử phù hợp với phòng thí nghiệm của bạn, cả hiện tại và tương lai, phụ thuộc vào nhiều yếu tố. Bạn cần đo những nguyên tố nào trong loại mẫu nào? Ngân sách của bạn là bao nhiêu và các kỹ thuật viên phòng thí nghiệm của bạn có trình độ như thế nào? Chúng tôi sẽ đề cập đến các lĩnh vực chính mà bạn cần cân nhắc khi lựa chọn một kỹ thuật dưới đây.

## So sánh song song

Chúng ta hãy bắt đầu bằng cách so sánh mức độ cao các kỹ thuật quang phổ nguyên tử khác nhau (Bảng 1).

Bảng 1. So sánh song song các kỹ thuật quang phổ nguyên tử.

|                                               | FAAS<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                    | GFAAS<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                      | MP-AES<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                        | ICP-OES<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ICP-MS<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                           | ICP-QQQ<br><a href="#">View products</a>                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Giá tương đối                                 | \$                                                                                                                                                                                                                                                       | \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                       | \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                          | \$ \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | \$ \$ \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                       | \$ \$ \$ \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Chi phí tương đối cho mỗi mẫu                 | \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                    | \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                       | \$                                                                                                                                                                                                                                                             | \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | \$ \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                          | \$ \$ \$                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Độ nhạy tương đối                             |                                                                                                                                                                         |                                                                                           |                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                             |                                                                                             |
| Đánh giá                                      | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                            | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                               | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                                  | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                                     | <a href="#">SelectScience</a>                                                                                                                                                                                                                                     |
| Số lượng mẫu tối đa cho một ngày <sup>1</sup> | 100 đến 200<br>(6 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                             | 60<br>(4 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                                         | 300 đến 400<br>(10 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                                  | 2.000 đến 2.500<br>(> 50 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1200<br>(> 50 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                                          | 1200<br>(> 50 nguyên tố)                                                                                                                                                                                                                                          |
| Khoảng động học <sup>2</sup>                  | 100 ppb to 1000 ppm                                                                                                                                                                                                                                      | 10 ppt to 1000 ppb                                                                                                                                                                                                                                          | 100 ppb to 1000 ppm                                                                                                                                                                                                                                            | 10 ppb to 10,000 ppm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <1 ppt to 1000 ppm                                                                                                                                                                                                                                                | <1 ppt to 1000 ppm                                                                                                                                                                                                                                                |
| Yêu cầu thể tích mẫu tương đối                |    |                                                                                                                                                                           |    |                                                                                                                                                                                 |                                                                                           |                                                                                           |
| Chịu được lượng chất rắn tương đối trong mẫu  |                                                                                    |    |                                                                                                                                                                           |     |    |    |
| Kiểu đo các nguyên tố                         | Lần lượt                                                                                                                                                                                                                                                 | Lần lượt                                                                                                                                                                                                                                                    | Lần lượt                                                                                                                                                                                                                                                       | Đồng thời                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Đồng thời                                                                                                                                                                                                                                                         | Đồng thời                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Đo được bao nhiêu nguyên tố?                  | 67                                                                                                                                                                                                                                                       | 48                                                                                                                                                                                                                                                          | 70                                                                                                                                                                                                                                                             | 74                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 86                                                                                                                                                                                                                                                                | 87                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Yêu cầu bảo dưỡng hàng ngày, tương đối        |                                                                                                                                                                       |                                                                                       |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                               |    |    |
| Yêu cầu kỹ năng người vận hành                |                                                                                                                                                                       |    |                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                               |    |    |
| Có thể hoạt động không cần giám sát           | ✗                                                                                                                                                                                                                                                        | ✓                                                                                                                                                                                                                                                           | ✓                                                                                                                                                                                                                                                              | ✓                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ✓                                                                                                                                                                                                                                                                 | ✓                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Tuân thủ Part 11/Annex 11 GMP                 | ✓<br>(with optional software)                                                                                                                                                                                                                            | ✓<br>(with optional software)                                                                                                                                                                                                                               | ✗                                                                                                                                                                                                                                                              | ✓<br>(with optional software)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ✓<br>(with optional software)                                                                                                                                                                                                                                     | ✓<br>(with optional software)                                                                                                                                                                                                                                     |

|                                       | FAAS<br><a href="#">View products</a>                                                                                                         | GFAAS<br><a href="#">View products</a>                            | MP-AES<br><a href="#">View products</a>                   | ICP-OES<br><a href="#">View products</a>                                       | ICP-MS<br><a href="#">View products</a>                                | ICP-QQQ<br><a href="#">View products</a>                               |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Thông số kỹ thuật                     |                                                                                                                                               |                                                                   |                                                           |                                                                                |                                                                        |                                                                        |
| Tiêu thụ điện năng, tương đối         | ⚡                                                                                                                                             | ⚡ ⚡                                                               | ⚡ ⚡                                                       | ⚡ ⚡                                                                            | ⚡ ⚡ ⚡                                                                  | ⚡ ⚡ ⚡                                                                  |
| Kích thước<br>(mm – Rộng x Sâu x Cao) | 790 x 580 x 590 <sup>3</sup>                                                                                                                  | 1030 x 600 x 590 <sup>3</sup>                                     | 960 x 660 x 660                                           | 625 x 740 x 887                                                                | 730 x 600 x 595                                                        | 1060 x 600 x 595                                                       |
| Khối lượng                            | 75 kg                                                                                                                                         | 119 kg                                                            | 73 kg                                                     | 90 kg                                                                          | 100 kg                                                                 | 139 kg                                                                 |
| Yêu cầu về khí                        | Không khí nén<br>Axetilen 99,0% (và/hoặc<br>N <sub>2</sub> O 99,5% - tùy thuộc<br>vào nguyên tố được đo),<br>Khí thải 2,5 m <sup>3</sup> /min | Argon 99,99% hay Nito<br>99,99%<br>Khí thải 3 m <sup>3</sup> /min | Nito <sup>4</sup> 99,5%<br>Khí thải 3 m <sup>3</sup> /min | Argon 99,95%<br>Tùy chọn: Nitrogen, Oxygen<br>Khí thải 2,5 m <sup>3</sup> /min | Argon, 99,99% <sup>5</sup> ,<br>Khí thải 5,0 – 7,0 m <sup>3</sup> /min | Argon, 99,99% <sup>5</sup> ,<br>Khí thải 5,0 – 7,0 m <sup>3</sup> /min |
| Bảo hành <sup>6</sup>                 | 12 tháng                                                                                                                                      | 12 tháng                                                          | 12 tháng                                                  | 12 tháng                                                                       | 12 tháng                                                               | 12 tháng                                                               |
| Phụ kiện                              |                                                                                                                                               |                                                                   |                                                           |                                                                                |                                                                        |                                                                        |
| Lấy mẫu tự động                       | Tùy chọn                                                                                                                                      | Bao gồm                                                           | Tùy chọn                                                  | Tùy chọn                                                                       | Tùy chọn                                                               | Tùy chọn                                                               |
| Hệ thống làm mát bằng nước            | Không yêu cầu                                                                                                                                 | Yêu cầu nguồn nước làm mát                                        | Không yêu cầu                                             | Yêu cầu, không bao gồm                                                         | Yêu cầu, không bao gồm                                                 | Yêu cầu, không bao gồm                                                 |

1. Các thiết bị ICP-OES và ICP-MS phải được vận chuyển đúng để đạt được số lượng mẫu này.
2. Chỉ có khoảng động học của thiết bị, không có thiết bị đưa mẫu vào giúp tăng độ nhạy.
3. Chiều cao phụ thuộc vào kiểu máy được chọn.
4. MP-AES chỉ yêu cầu Nito, có thể được tách từ không khí xung quanh bằng máy sinh khí Nito. Ngoài ra, có thể sử dụng chai khí Nito.
5. Đối với các ứng dụng cần kiểm soát ô nhiễm, tức là đo tạp chất trong hóa chất trong công nghệ bán dẫn, có thể yêu cầu độ tinh khiết của argon ít nhất là 99,999 %
6. Agilent có nhiều tùy chọn bảo hành và hỗ trợ mở rộng

## Bạn cần đo những nguyên tố nào?

Câu hỏi đầu tiên cần hỏi là bạn cần đo những nguyên tố nào, vì mỗi kỹ thuật có thể đo một nhóm nguyên tố khác nhau. Bảng tuần hoàn mã màu sau đây là hướng dẫn về kỹ thuật nào có thể đo những nguyên tố nào. Tuy nhiên, nồng độ mà mỗi kỹ thuật có thể đo được khác nhau tùy theo nguyên tố.

1

H

hydrogen

1.008

2

He

helium

4.003

3

Li

lithium

6.941

4

Be

beryllium

9.012

11

Na

sodium

22.99

12

Mg

magnesium

24.31

19

K

potassium

39.10

20

Ca

calcium

40.08

27

Rb

rubidium

85.47

38

Sr

strontium

87.62

55

Cs

cesium

132.9

56

Ba

barium

137.3

87

Fr

francium

(223)

88

Ra

radium

(226)

21

Sc

scandium

44.96

22

Ti

titanium

47.88

29

Y

yttrium

88.91

40

Zr

zirconium

91.22

71

Lu

lutetium

175.0

72

Hf

hafnium

178.5

103

Lr

lawrencium

(262.11)

104

Rf

rutherfordium

(261.10)

109

Pr

praseodymium

140.9

110

Ce

cerium

140.1

117

Nd

neodymium

144.2

118

Pm

promethium

144.9

125

Sm

samarium

150.4

126

Eu

europium

152.0

133

Gd

gadolinium

157.3

134

Tb

terbium

158.9

141

Dy

dysprosium

162.5

142

Ho

holmium

164.9

149

Er

erbium

167.3

150

Tm

thulium

168.9

157

Yb

ytterbium

173.0

158

Lu

lutetium

175.0

89

Ac

actinium

227

90

Th

thorium

232

91

Pa

protactinium

231

92

U

uranium

238

93

Np

neptunium

(237)

94

Pu

plutonium

(244)

95

Am

americium

243

96

Cm

curium

247

97

Bk

berkelium

247

98

Cf

californium

251

99

Es

einsteinium

252

100

Fm

fermium

257

101

Md

mendelevium

258

102

No

nobelium

259

23

V

vanadium

50.94

24

Cr

chromium

52.00

31

Mn

manganese

54.94

32

Fe

iron

55.85

39

Co

cobalt

58.93

40

Ni

nickel

58.69

47

Cu

copper

63.55

48

Zn

zinc

65.39

59

Ga

gallium

69.72

60

Ge

germanium

72.64

75

As

arsenic

74.92

76

Se

selenium

78.96

83

Br

bromine

79.90

84

Kr

krypton

83.80

91

Ru

ruthenium

101.1

92

Rh

rhodium

102.9

101

Pd

palladium

106.4

102

Ag

silver

107.9

109

Cd

cadmium

112.4

110

In

indium

114.8

119

Sn

tin

118.7

120

Sb

antimony

121.8

127

Te

tellurium

127.6

128

I

iodine

126.9

135

Xe

xenon

131.3

136

La

lanthanum

138.9

143

Ce

cerium

140.1

144

Pr

praseodymium

140.9

151

Nd

neodymium

144.2

152

Pm

promethium

144.9

159

Sm

samarium

150.4

160

Eu

europium

152.0

167

Gd

gadolinium

157.3

168

Tb

terbium

158.9

175

Dy

dysprosium

162.5

176

Ho

holmium

164.9

183

Er

erbium

167.3

184

Tm

thulium

168.9

191

Yb

ytterbium

173.0

192

Lu

lutetium

175.0

103

Tc

technetium

98.91

104

Mo

molybdenum

95.94

111

Ru

ruthenium

101.1

112

Rh

rhodium

102.9

119

Pd

palladium

106.4

120

Ag

silver

107.9

127

Cd

cadmium

112.4

128

In

indium

114.8

135

Sn

tin

118.7

136

Sb

antimony

121.8

143

Te

tellurium

127.6

144

I

iodine

126.9

151

Xe

xenon

131.3

152

La

lanthanum

138.9

159

Ce

cerium

140.1

160

Pr

praseodymium

140.9

167

Nd

neodymium

144.2

168

Pm

promethium

144.9

175

Sm

samarium

150.4

176

Eu

europium

152.0

183

Gd

gadolinium

157.3

184

Tb

terbium

158.9

191

Dy

dysprosium

162.5

192

Ho

holmium

164.9

199

Er

erbium

167.3

200

Tm

thulium

168.9

207

Yb

ytterbium

173.0

208

Lu

lutetium

175.0

105

Db

dubnium

(268.10)

106

Sg

seaborgium

(271.10)

113

Hs

hassium

(277.10)

114

Mt

meitnerium

(288.10)

121

Ds

darmstadtium

(281.10)

122

Rg

roentgenium

(280.10)

129

Cn

copernicium

(285.10)

130

Nh

nihonium

(284.10)

137

Fl

flerovium

(289.10)

138

Mc

moscovium

(288.10)

145

Lv

livermorium

(293)

146

Ts

tennessine

(294)

153

Og

oganesson

(294)

154

La

lanthanum

138.9

25

Mn

manganese

54.94

26

Fe

iron

55.85

33

Co

cobalt

58.93

34

Ni

nickel

58.69

41

Cu

copper

63.55

42

Zn

zinc

65.39

51

Ga

gallium

69.72

52

Ge

germanium

72.64

61

As

arsenic

74.92

62

Se

selenium

78.96

69

Br

bromine

79.90

70

Kr

krypton

83.80

77

Ru

ruthenium

101.1

78

Rh

rhodium

102.9

85

Pd

palladium

106.4

86

Ag

silver

107.9

93

Cd

cadmium

112.4

94

In

indium

114.8

101

Sn

tin

118.7

102

Sb

antimony

121.8

109

Te

tellurium

127.6

110

I

iodine

126.9

117

Xe

xenon

131.3

118

La

lanthanum

138.9

125

Ce

cerium

140.1

126

Pr

praseodymium

140.9

133

Nd

neodymium

144.2

134

Pm

promethium

144.9

141

Sm

samarium

150.4

142

Eu

europium

152.0

149

Gd

gadolinium

157.3

150

Tb

terbium

158.9

157

Dy

dysprosium

162.5

158

Ho

holmium

164.9

165

Er

erbium

167.3

166

Tm

thulium

168.9

173

Yb

ytterbium

173.0

174

Lu

lutetium

175.0

107

Tc

technetium

98.91

108

Mo

molybdenum

95.94

115

Ru

ruthenium

101.1

116

Rh

rhodium

102.9

123

Pd

palladium

106.4

124

Ag

silver

107.9

131

Cd

cadmium

112.4

132

In

indium

114.8

139

Sn

tin

118.7

140

Sb

antimony

121.8

147

Te

tellurium

127.6

148

I

iodine

126.9

155

Xe

xenon

131.3

156

La

lanthanum

138.9

163

Ce

cerium

140.1

164

Pr

praseodymium

140.9

171

Nd

neodymium

144.2

172

Pm

promethium

144.9

179

Sm

samarium

150.4

180

Eu

europium

152.0

187

Gd

gadolinium

157.3

188

Tb

terbium

158.9

195

Dy

dysprosium

162.5

196

Ho

holmium

164.9

203

Er

erbium

167.3

204

Tm

thulium

168.9

211

Yb

ytterbium

173.0

212

Lu

lutetium

175.0

109

Db

dubnium

(268.10)

110

Sg

seaborgium

(271.10)

117

Hs

hassium

(277.10)

118

Mt

meitnerium

(288.10)

125

Ds

darmstadtium

(281.10)

126

Rg

roentgenium

(280.10)

133

Cn

copernicium

(285.10)

134

Nh

nihonium

(284.10)

141

Fl

flerovium

(289.10)

142

Mc

moscovium

(288.10)

149

Lv

livermorium

(293)

150

Ts

tennessine

(294)

157

Og

oganesson

(294)

158

La

lanthanum

138.9

27

V

vanadium

50.94

28

Cr

chromium

52.00

35

Co

cobalt

58.93

36

Ni

nickel

58.69

43

Cu

copper

63.55

44

Zn

zinc

65.39

53

Ga

gallium

69.72

54

Ge

germanium

72.64

63

As

arsenic

74.92

64

Se

selenium

78.96

71

Br

bromine

79.90

72

Kr

krypton

83.80

79

Ru

ruthenium

101.1

80

Rh

rhodium

102.9

87

Pd

palladium

106.4

88

Ag

silver

107.9

95

Cd

cadmium

112.4

96

In

indium

114.8

103

Sn

tin

118.7

104

Sb

antimony

121.8

111

Te

tellurium

127.6

112

I

iodine

126.9

119

Xe

xenon

131.3

120

La

lanthanum

138.9

127

Ce

cerium

140.1

128

Pr

praseodymium

140.9

135

Nd

neodymium

144.2

136

Pm

promethium

144.9

143

Sm

samarium

150.4

144

Eu

europium

152.0

151

Gd

gadolinium

157.3

152

Tb

terbium

158.9

159

Dy

dysprosium

162.5

160

Ho

holmium

164.9

167

Er

erbium

167.3

168

Tm

thulium

168.9

175

Yb

ytterbium

173.0

176

Lu

lutetium

175.0

113

Tc

technetium

98.91

114

Mo

molybdenum

95.94

121

Ru

ruthenium

101.1

122

Rh

rhodium

102.9

129

Pd

palladium

106.4

130

Ag

silver

107.9

137

Cd

cadmium

112.4

138

In

indium

114.8

145

Sn

tin

118.7

146

Sb

antimony

121.8

153

Te

tellurium

127.6

154

I

iodine

126.9

161

Xe

xenon

131.3

162

La

lanthanum

138.9

169

Ce

cerium

140.1

170

Pr

praseodymium

140.9

177

Nd

neodymium

144.2

178

Pm

promethium

144.9

185

Sm

samarium

150.4

186

Eu

europium

152.0

193

Gd

gadolinium

157.3

194

Tb

terbium

158.9

201

Dy

dysprosium

162.5

202

Ho

holmium

164.9

209

Er

erbium

167.3

210

Tm

thulium

168.9

217

Yb

ytterbium

173.0

218

Lu

lutetium

175.0

115

Db

dubnium

(268.10)

116

Sg

seaborgium

(271.10)

123

Hs

hassium

(277.10)

124

Mt

meitnerium

(288.10)

131

Ds

darmstadtium

(281.10)

132

Rg

roentgenium

(280.10)

139

Cn

copernicium

(285.10)

140

Nh

nihonium

(284.10)

147

Fl

flerovium

(289.10)

148

Mc

moscovium

(288.10)

155

Lv

livermorium

(293)

156

Ts

tennessine

(294)

163

Og

oganesson

(294)

164

La

lanthanum

138.9

29

V

vanadium

50.94

30

Cr

chromium

52.00

37

Co

cobalt

58.93

38

Ni

nickel

58.69

45

Cu

copper

63.55

46

Zn

zinc

65.39

55

Ga

gallium

69.72

56

Ge

germanium

72.64

65

As

arsenic

74.92

66

Se

selenium

78.96

73

Br

bromine

79.90

74

Kr

krypton

83.80

81

Ru

ruthenium

101.1

82

Rh

rhodium

102.9

89

Pd

palladium

106.4

90

Ag

silver

107.9

97

Cd

cadmium

112.4

98

In

indium

114.8

105

Sn

tin

118.7

106

Sb

antimony

121.8

113

Te

tellurium

127.6

114

I

iodine

126.9

121

Xe

xenon

131.3

122

La

lanthanum

138.9

129

Ce

cerium

140.1

130

Pr

praseodymium

140.9

137

Nd

neodymium

144.2

138

Pm

promethium

144.9

145

Sm

samarium

150.4

146

Eu

europium

152.0

153

Gd

gadolinium

157.3

154

Tb

terbium

158.9

161

Dy

dysprosium

162.5

162

Ho

holmium

164.9

169

Er

erbium

167.3

170

Tm

thulium

168.9

177

Yb

ytterbium

173.0

178

Lu

lutetium

175.0

117

Tc

technetium

98.91

118

Mo

molybdenum

95.94

125

Ru

ruthenium

101.1

126

Rh

rhodium

<

## Các nguyên tố khó đo bằng phương pháp quang phổ nguyên tử

Có một số nguyên tố không thể đo được bằng bất kỳ kỹ thuật phổ nguyên tử nào hoặc cần một phương pháp chuyên biệt. Các nguyên tố này bao gồm:

### N, O, Kr, Xe

Nitơ và Oxy có nhiều trong không khí môi trường xung quanh của phòng thí nghiệm, cũng như có trong các dung dịch nước thông thường được đo, thường được ổn định bằng axit nitric (HNO<sub>3</sub>). Mức nền cao thu được khiến việc đo các nguyên tố này ở mức thấp trở nên khó khăn nếu không có phương pháp chuyên biệt. ICP-MS có giới hạn phát hiện tốt nhất cho N và O nhưng sẽ yêu cầu phương pháp đưa mẫu "khô" thay thế, chẳng hạn như phụ kiện lấy mẫu khí trung gian hay GC-ICP-MS. Các kỹ thuật thay thế cho phổ nguyên tử được khuyến nghị cho các phân tích thường quy các nguyên tố này.

Kr và Xe là khí, vì vậy hiệu chuẩn không đơn giản. Chúng cũng bị ion hóa kém và có thể có ở mức vết trong Argon có độ tinh khiết cao được sử dụng để hỗ trợ plasma ICP. Các nguyên tố này có thể được đo bằng ICP-MS, nếu sử dụng hệ thống đưa mẫu phù hợp. Ví dụ, Xe (dưới dạng chuẩn khí Xe 100 ppm trong Heli) thường được sử dụng để điều chỉnh và làm chuẩn nội cho các ứng dụng GC-ICP-MS.

### F, Cl

Những chất này có thể được đo ở mức tương đối thấp bằng cách sử dụng ICP-MS tứ cực, có thể sử dụng phản ứng hóa học để chuyển đổi ion F hoặc Cl thành ion sản phẩm có thể đo được. Cl có thể được đo bằng cách sử dụng ICP-MS tứ cực đơn, nhưng tín hiệu nền cao, do đó giới hạn phát hiện kém.

### H, He, Ne

Các nguyên tố này không thể đo được bằng bất kỳ kỹ thuật phổ nguyên tử nào. Điều này là do các nguyên tố này không phát ra hoặc hấp thụ ánh sáng trong phạm vi có thể đo được bằng bất kỳ kỹ thuật quang học nào. ICP-MS không đưa ra giải pháp, vì H và He nằm ngoài phạm vi khối lượng được đo bằng ICP-MS, và Ne không bị ion hóa trong plasma argon.

## Ar

Argon được sử dụng làm khí nguồn cho plasma cho cả ICP-OES và ICP-MS. Thực tế này có nghĩa là mức Ar nền rất cao, khiến việc đo lường bằng các kỹ thuật đó trở nên khó khăn.

### Các yếu tố tồn tại trong thời gian ngắn

Các nguyên tố như At, Fr, Rn và các nguyên tố có số nguyên tử lớn hơn 99 có tính phóng xạ cao, nghĩa là chúng nhanh chóng phân rã thành một nguyên tố hoặc đồng vị khác. Một số nguyên tố có trong tự nhiên – ví dụ như radon (Rn) – nhưng các nguyên tố phóng xạ này thường có tuổi thọ quá ngắn để có thể đo bằng các kỹ thuật quang phổ nguyên tử. Kỹ thuật đo bức xạ (đếm phân rã phóng xạ) là phương pháp thông thường được sử dụng để xác định các nguyên tố này.

### Đo tỷ lệ đồng vị

Một trong những ứng dụng tiên tiến được hỗ trợ bởi phép đo phổ khối (ICP-MS) là khả năng tách và đo các đồng vị riêng lẻ của một nguyên tố. Khả năng này cho phép xác định tỷ lệ của hai hoặc nhiều đồng vị, hữu ích cho các ứng dụng mà sự phong phú của đồng vị thay đổi tự nhiên. Ví dụ bao gồm địa niên học, trong đó sự phong phú của đồng vị tự nhiên của một số nguyên tố nhất định (như Pb, Hf và Sr) thay đổi tùy thuộc vào độ tuổi của đá. Khoa học khí hậu cũng có thể sử dụng tỷ lệ đồng vị và nguyên tố trong các khoáng chất kết hợp trong trầm tích đại dương hoặc san hô để tái tạo nhiệt độ nước biển trong lịch sử.

Phân tích đồng vị cũng được sử dụng trong các ứng dụng như sản xuất nhiên liệu hạt nhân, nghiên cứu phân đoạn nguyên tố, khảo cổ học và nghiên cứu chất đánh dấu sinh học. Đo tỷ lệ đồng vị cũng là cơ bản đối với kỹ thuật hiệu chuẩn được gọi là phổ khối pha loãng đồng vị (IDMS). IDMS thường được sử dụng trong các phòng thí nghiệm như viện đo lường và để chứng nhận vật liệu tham chiếu, nơi yêu cầu khả năng truy xuất nguồn gốc và độ chính xác và độ chính xác tốt là điều cần thiết.

## Bạn cần đo bao nhiêu nguyên tố và mẫu?

Số lượng nguyên tố và số lượng mẫu bạn phải đo cũng là những cân nhắc quan trọng khi lựa chọn kỹ thuật phân tích nguyên tố. Cả ICP-OES và ICP-MS đều đo tất cả các nguyên tố cần thiết trong một lần lấy mẫu (phân tích đồng thời). AAS ngọn lửa và lò than chì và MP-AES đo các nguyên tố lần lượt (phân tích tuần tự). Đo đồng thời nhanh hơn nhiều so với đo tuần tự, vì tất cả các chất phân tích được đo trong một lần tiếp xúc đến lọ mẫu. Nếu bạn phải đo nhiều nguyên tố (hơn 10) trong nhiều mẫu (hơn 50), các kỹ thuật tuần tự sẽ quá chậm.

Ví dụ, mỗi phép đo nguyên tố đơn lẻ sử dụng GFAAS mất khoảng 2 hoặc 3 phút tùy thuộc vào nguyên tố được đo. Điều này có nghĩa là việc đo năm nguyên tố với ba lần lặp lại của mỗi mẫu sẽ mất khoảng 30 đến 45 phút cho mỗi mẫu (5 nguyên tố x 3 lần đo lặp lại x 2 đến 3 phút cho mỗi lần lặp lại).

Do đó, một thiết bị GFAAS có thể thực hiện khoảng 240 phép đo ba lần trong 24 giờ. Có thể là 1 nguyên tố trong 240 mẫu, 4 nguyên tố trong 60 mẫu hoặc 10 nguyên tố trong 24 mẫu.

Ngược lại, khi được cấu hình với van chuyển dòng, các kỹ thuật ICP có thể đo hơn 50 nguyên tố theo bộ ba trong thời gian phân tích mẫu - mẫu khoảng 30 giây (đối với ICP-OES) hoặc 1 phút (đối với ICP-MS). Điều này tương đương với khoảng 60.000 phép xác định ba lần một ngày, đối với ICP-MS và lên đến 125.000 đối với ICP-OES.

Tất cả các kỹ thuật, ngoại trừ AAS ngọn lửa, đều có thể để không cần giám sát, do đó bạn có thể nạp mẫu tự động và để thiết bị chạy 24 giờ mỗi ngày.

Vì lý do an toàn, AAS ngọn lửa phải được giám sát liên tục. Điều này giới hạn hoạt động trong giờ làm việc.



Hình 9. Sử dụng máy lấy mẫu tự động sẽ tăng năng suất và cho phép thiết bị chạy mà không cần giám sát.

## Khoảng tuyến tính

Mỗi kỹ thuật quang phổ nguyên tử có thể đo nồng độ các nguyên tố khác nhau. Các kỹ thuật này có thể được chia thành GFAAS và ICP-MS, có thể đo mức vết (dưới 10 ppb), và AAS ngọn lửa, MP-AES và ICP-OES, có thể đo mức cao hơn – hơn 10 ppb.

Nhưng đó không phải là toàn bộ câu chuyện. Các mẫu có thể chứa các nguyên tố ở các nồng độ khác nhau, từ mức vết đến mức phần trăm. Ví dụ, bạn có thể có các mẫu chứa cả 100 ppm Na và 10 ppb Mo.

Bạn luôn có thể pha loãng hoặc cô đặc các mẫu, nhưng điều này tốn thời gian và có thể gây ra lỗi. Để có năng suất và độ chính xác tốt nhất, các kỹ thuật đa nguyên tố như ICP-OES và ICP-MS cần có khả năng đo các mức nồng độ khác nhau này trong cùng một phép phân tích. Và một số nguyên tố có thể thay đổi rất nhiều giữa các mẫu, do đó, khoảng nồng độ của từng nguyên tố mà kỹ thuật có thể đo được cũng rất quan trọng.

Khoảng nồng độ của một kỹ thuật phân tích thường được mô tả theo khoảng tuyến tính động học của nó – trong khoảng này, detector có độ đáp ứng thay đổi tuyến tính với thay đổi nồng độ chất phân tích.



**Hình 10.** Các mẫu môi trường như đất, bùn và nước thường chứa hàm lượng cao của một số nguyên tố và hàm lượng rất thấp của các nguyên tố khác. Điều quan trọng là kỹ thuật đa nguyên tố như ICP-OES hoặc ICP-MS có thể xử lý được những sự khác biệt về nồng độ này trong một lần đo, nếu không sẽ phải thực hiện nhiều lần đo của cùng một mẫu, kèm theo là công việc chuẩn bị mẫu tương ứng với các lần đo này.

Bạn nên chọn một kỹ thuật có thể xử lý phạm vi nồng độ của từng nguyên tố có khả năng có trong mẫu của bạn. Nếu phòng thí nghiệm của bạn sẽ nhận được các mẫu có nồng độ phần lớn chưa biết, thì bạn sẽ cần chọn một kỹ thuật có phạm vi rộng, chẳng hạn như ICP-MS, để đảm bảo bạn có thể thực hiện các phép đo. Ngược lại, nếu bạn đang theo dõi mức của một hoặc hai nguyên tố mà bạn biết sẽ ở mức 100 ppm, thì hệ thống AAS ngọn lửa đơn giản hơn, ít tốn kém hơn sẽ phù hợp. Xem Bảng 2 để xem phạm vi đo của từng kỹ thuật so sánh như thế nào.

Bảng 2. Phạm vi nồng độ có thể đo được bằng từng kỹ thuật quang phổ nguyên tử. Đối với từng kỹ thuật, thanh hiển thị phạm vi giữa giới hạn phát hiện thông thường và giới hạn đo lường trên của thiết bị cơ sở (không có bất kỳ cải tiến nào của hệ thống đưa mẫu vào).

|           |  | <ppq |    |     |      | ppt |    |     |      | ppb |    |     |      | ppm |    |     |      |   |
|-----------|--|------|----|-----|------|-----|----|-----|------|-----|----|-----|------|-----|----|-----|------|---|
|           |  | 1    | 10 | 100 | 1000 | 1   | 10 | 100 | 1000 | 1   | 10 | 100 | 1000 | 1   | 10 | 100 | 1000 | % |
| Flame AAS |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |
| MP-AES    |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |
| ICP-OES   |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |
| GFAAS     |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |
| ICP-MS    |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |
| ICP-QQQ   |  |      |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |     |    |     |      |   |

## Giới hạn phát hiện

Giới hạn phát hiện (detection limit: DL) có thể đạt được bằng từng kỹ thuật phân tích có thể là yếu tố chính trong việc quyết định xem kỹ thuật đó có phù hợp với mục đích phân tích hay không. Nhiều phương pháp được quy định có chứa nồng độ tối đa cho phép đối với các loại mẫu quan tâm và kỹ thuật được chọn phải có khả năng đo các nồng độ này một cách đáng tin cậy đối với phương pháp đó. Phương pháp có thể xác định cách tiếp cận được sử dụng để thiết lập nồng độ thấp nhất mà tại đó có thể đạt được phân tích đáng tin cậy, đôi khi được gọi là giới hạn định lượng (limit of quantitation: LOQ). LOQ thường cao hơn "giới hạn phát hiện của thiết bị" (instrument detection limit: IDL) từ 3 đến 10 lần. Một tham số khác thường được trích dẫn là giới hạn phát hiện ("method" detection limit: MDL) của "phương pháp", bao gồm hệ số pha loãng mẫu và bất kỳ đóng góp nào (chẳng hạn như nhiễu bản) từ quy trình chuẩn bị mẫu



### ICP-OES chiếu dọc và ngang

Các thiết bị ICP-OES có hai cấu hình phổ biến: chế độ chiếu ngang (radial view) và chế độ chiếu dọc (axial view). Trong cấu hình chiếu ngang, plasma được xem từ bên cạnh (đường màu đỏ trong sơ đồ), theo chiều rộng của plasma. Trong cấu hình chiếu dọc, plasma được xem theo chiều dài của nó (đường màu xanh). Chế độ chiếu dọc làm tăng chiều dài đường đi và làm giảm tín hiệu nền plasma, dẫn đến giới hạn phát hiện thấp hơn tới 5-10 lần so với cấu hình chiếu ngang đối với một số nguyên tố.

Chế độ chiếu ngang cũng hữu ích khi đo kim loại Nhóm 1 như Na và K vì nó khắc phục được các vấn đề nhiễu với các nguyên tố này. Agilent 5900 ICP-OES có thể đo cả chế độ chiếu dọc và chiếu ngang cùng một lúc, do đó có cấu hình xem tốt nhất cho tất cả các nguyên tố.

Nhìn chung, các kỹ thuật phân tích "vết nguyên tố", GFAAS và ICP-MS, có giới hạn phát hiện thấp hơn đáng kể so với các kỹ thuật quang phổ nguyên tử khác. Nhưng câu chuyện về giới hạn phát hiện phức tạp hơn thế. Mỗi kỹ thuật sẽ mang lại hiệu suất tốt hơn đối với một số nguyên tố này so với các nguyên tố khác, thường tùy thuộc vào độ nhạy và tín hiệu nền của nguyên tố. Ví dụ, trong ICP-OES, một vạch phát xạ rất mạnh sẽ mang lại độ nhạy cao hơn và do đó DL thấp hơn so với vạch phát xạ yếu hơn. Tương tự như vậy, đối với ICP-MS, một đồng vị phong phú hơn sẽ mang lại độ nhạy cao hơn và DL thấp hơn so với đồng vị có hàm lượng thấp.

Một trong những lý do khiến ICP-MS nhanh chóng được áp dụng trong các phòng thí nghiệm kim loại là kỹ thuật này thường có DL thấp đối với các nguyên tố thường được đo ở mức thấp nhất. Nhóm này bao gồm nhiều kim loại nặng, chẳng hạn như Cr, As, Cd, Hg và Pb. Các nguyên tố có DL cao hơn trên ICP-MS có xu hướng là các chất phân tích thường được đo ở mức cao hơn, chẳng hạn như các nguyên tố khoáng Na, K, Ca, S, Fe vv...

Nền mẫu và thành phần nguyên tố chính cũng có thể ảnh hưởng đến DL. Ví dụ, DL của một nguyên tố có thể bị suy giảm nghiêm trọng do sự trùng lặp phổ trong một nền mẫu cụ thể. Môi trường phòng thí nghiệm và chất lượng thuốc thử cũng sẽ có tác động lớn đến DL thực tế có thể đạt được thường xuyên bằng từng kỹ thuật. Người ta thường nói rằng các kỹ thuật nhạy hơn với DL thấp nhất đòi hỏi hóa chất sạch nhất và chất lượng không khí tốt nhất, chẳng hạn như phòng sạch. Nhưng chính các giới hạn báo cáo có thể đạt được phụ thuộc vào các yếu tố này, chứ không phải bản thân kỹ thuật. Ví dụ, chất lượng thuốc thử kém hoặc mẫu bị ô nhiễm do môi trường phòng thí nghiệm nhiều bụi có thể ngăn ICP-MS đạt được DL ở mức ppt và dưới ppt mà kỹ thuật có thể đạt được. Nhưng điều đó không quan trọng nếu mức báo cáo tối thiểu ở mức ppb.

### Nhiều

Nhiều là những tương tác trong quá trình đo mẫu có thể ảnh hưởng tiêu cực đến kết quả đo. Nhiều phổ nguyên tử có thể được chia thành ba nhóm:

- Nhiều vật lý do nền mẫu hoặc dung dịch mẫu được chuẩn bị.
- Nhiều hóa học do tương tác giữa các thành phần của mẫu và chất phân tích.
- Nhiều phổ, trong đó tín hiệu đo được cho một thành phần không tách biệt hoàn toàn với tín hiệu cho một thành phần khác trên thang bước sóng hoặc khối lượng.

Mỗi kỹ thuật đều chịu ảnh hưởng của ba loại nhiễu ở mức độ khác nhau. Điều này được minh họa trong Bảng 3. Mặc dù các kỹ thuật quang phổ nguyên tử có các mức nhiễu khác nhau, nhưng tất cả đều có những cách đã được thiết lập tốt để chống lại tác động của các nhiễu đó. Điều này đạt được thông qua cấu hình phần cứng, điều kiện vận hành và các công cụ phần mềm hoặc thông qua quy trình chuẩn bị mẫu và kiểm soát chất lượng. Sự khác biệt về nhiễu không nên là yếu tố chính trong việc lựa chọn kỹ thuật cho phòng thí nghiệm của bạn. Tuy nhiên, nếu bạn không biết thành phần của nhiễu mẫu mà bạn sẽ phân tích (thường được gọi là các mẫu 'không xác định'), bạn sẽ cần phải xử lý nhiễu trong quá trình phát triển phương pháp.

Bảng 3. Tỷ lệ xuất hiện tương đối của các loại nhiễu khác nhau cho từng kỹ thuật (nhiều chấm hơn biểu thị mức độ nhiễu cao hơn).

| Loại nhiễu | Kỹ thuật phổ nguyên tử |       |        |         |        |         |
|------------|------------------------|-------|--------|---------|--------|---------|
|            | Flame AAS              | GFAAS | MP-AES | ICP-OES | ICP-MS | ICP-QQQ |
| Vật lý     | ••                     | •     | ••     | ••      | ••     | ••      |
| Hóa học    | •••                    | ••••  | ••     | •       | ••     | ••      |
| Phổ        | •                      | •     | ••     | •••     | ••     | •       |

### Nhiễu vật lý

Sự can thiệp vật lý xảy ra khi mức độ nền và dung môi thay đổi gây ra những thay đổi về độ nhớt, sức căng bề mặt và tốc độ bay hơi của dung dịch, dẫn đến sự khác biệt về mức tín hiệu được đo.

Sự can thiệp vật lý xảy ra với tất cả các kỹ thuật liên quan đến việc bơm chất lỏng. Những tác động này thường xảy ra trong hệ thống đưa mẫu vào, mặc dù một số cũng có thể ảnh hưởng đến bước chuẩn bị mẫu, ví dụ như trong quá trình hút dung dịch. Các tác động vật lý có thể do:

- Dung môi có thành phần khác nhau giữa dung dịch chuẩn và mẫu (ví dụ: HCl so với HNO<sub>3</sub> hoặc dung môi nước so với 10% cồn)
- Mức độ axit hay dung môi hữu cơ khác nhau giữa các chuẩn và mẫu (ví dụ: dung dịch chuẩn có axit 0,1% trong khi mẫu có axit 10%)
- Mức các nguyên tố chính khác nhau trong các mẫu, so với các chuẩn (ví dụ: các chuẩn tổng hợp đơn giản cho các mẫu được phá có chứa hàm lượng cacbon hòa tan cao hoặc có chất rắn hòa tan 1%).

Có một số cách tiếp cận có thể được sử dụng để giải quyết các nhiễu vật lý, trong đó cách được sử dụng rộng rãi nhất là khớp ma trận, cộng chuẩn và hiệu chỉnh tín hiệu.

Ghép ma trận là khi người dùng xác định các thành phần chính của mẫu và chuẩn bị các chuẩn (và mẫu trắng, dung dịch QC, v.v.) trong một ma trận tương tự. Điều này có thể đơn giản như thêm cùng một lượng axit hoặc một cách tiếp cận phức tạp hơn như chuẩn bị các chuẩn trong cùng một dung dịch được sử dụng để chuẩn bị và pha loãng mẫu. Nếu các chuẩn nằm trong cùng một ma trận với các mẫu, thì các hiệu ứng vật lý phải giống nhau đối với cả hai, do đó, sự khác biệt về tín hiệu sẽ được giảm thiểu.

Cộng chuẩn là một dạng khớp ma trận nâng cao, trong đó các dung dịch chuẩn được thêm vào chính mẫu, loại bỏ mọi sự thay đổi trong thành phần ma trận. Mặc dù hấp dẫn về nguyên tắc và được sử dụng rộng rãi trong một số ngành, nhưng cộng chuẩn có nhược điểm là mỗi loại mẫu khác nhau phải được hiệu chuẩn bằng bộ xung cộng chuẩn riêng của nó.

Hiệu chỉnh tín hiệu thường dựa vào việc thêm một thành phần không phải mục tiêu làm chuẩn nội (ISTD). Một ISTD lý tưởng là một thành phần không phải là chất phân tích bắt buộc, không bị hoặc gây nhiễu cho chất phân tích khác và sẽ không có trong mẫu một cách tự nhiên. Thành phần ISTD được thêm vào (thường tự động bằng cách sử dụng đầu nối trộn trực tuyến) ở cùng một mức cho tất cả các dung dịch (chuẩn, mẫu trắng, QC và chất chưa biết).

Các nhiễu vật lý thường ảnh hưởng đến tổng lượng dung dịch được vận chuyển đến nguồn, vì vậy bất kỳ thay đổi nào đối với tín hiệu cũng sẽ ảnh hưởng đến tất cả các thành phần ở cùng một mức độ. Sau khi phân tích, sự thay đổi trong tín hiệu ISTD được sử dụng để hiệu chỉnh tín hiệu cho các chất phân tích. Ví dụ: nếu tín hiệu ISTD thấp hơn 10% trong mẫu so với chuẩn (phục hồi 90%), tín hiệu chất phân tích sẽ được hiệu chỉnh tăng lên theo cùng một tỷ lệ phần trăm. Hiệu chỉnh ISTD này bù cho sự mất tín hiệu do ma trận mẫu.

Hiệu chỉnh ISTD được sử dụng rộng rãi trong các kỹ thuật quang phổ nguyên tử với lợi ích là nó có thể hiệu chỉnh độ trôi dài hạn cũng như nhiễu vật lý. Các kỹ thuật đa nguyên tố (ICP-OES và ICP-MS) thường sử dụng một số nguyên tố ISTD để đưa ra hiệu chỉnh tốt nhất có thể cho tất cả các chất phân tích.



## Chi phí

### Chi phí đầu tư.

Cũng như giá mua thiết bị, bạn có thể cần phải đầu tư vào những thay đổi đáng kể cho phòng thí nghiệm của mình để phù hợp với thiết bị quang phổ nguyên tử. Danh sách chung các yêu cầu được hiển thị như sau.

- Hệ thống hút khí thải.
- Nguồn cung cấp khí.
- Tủ hút khí để chuẩn bị mẫu (tùy thuộc vào loại mẫu của bạn).
- Thiết bị chuẩn bị mẫu như lò vi sóng (tùy thuộc vào loại mẫu của bạn)
- Bàn thí nghiệm có thể chứa được kích thước và trọng lượng của một thiết bị phân tích lớn.
- Điều hòa không khí.
- Nước làm mát (dành cho GFAAS, ICP-OES hoặc ICP-MS).
- Khả năng tiếp cận và nâng để đưa thiết bị vào phòng thí nghiệm.
- Nguồn điện một pha (thường là với thiết bị trên một mạch riêng).
- Các nhà phân tích được đào tạo phù hợp hoặc có kinh nghiệm.

Nếu đo các nguyên tố ở mức ppt

- Phòng sạch hoặc tủ hút laminar để cung cấp điều kiện không bụi.
- Thuốc thử cấp độ tinh khiết cao.
- Chất chuẩn cấp độ cao

Tiện ích và cơ sở vật chất cần thiết cho một thiết bị quang phổ nguyên tử

### Chi phí hoạt động

Mỗi kỹ thuật quang phổ nguyên tử có các yêu cầu khác nhau về bảo trì và vật tư. Bạn sẽ cần phải tính đến chi phí vật tư và bảo dưỡng thiết bị trong ngân sách của mình. Sau đây là tổng quan về những gì cần thiết cho từng kỹ thuật:

#### Cho phí tiêu hao

Khí và điện là chi phí tiện ích lớn nhất liên quan đến phân tích quang phổ nguyên tử. Ví dụ, chất lượng và số lượng argon thay đổi tùy theo kỹ thuật. GFAAS chỉ sử dụng 3 L/min Argon (hoặc N<sub>2</sub>, tùy thuộc vào các nguyên tố được đo) trong khi các kỹ thuật dựa trên plasma của ICP-OES và ICP-MS sử dụng khoảng 20 L/min (vì plasma được cung cấp nhiên liệu bằng Argon). ICP-MS cũng có thể yêu cầu nguồn cung cấp He, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> và O<sub>2</sub> với thể tích thấp hơn (tùy thuộc vào yêu cầu của phương pháp). ICP-OES có thể chạy bằng Argon 99,95% rẻ hơn và có độ tinh khiết thấp hơn, trong khi GFAAS và ICP-MS yêu cầu Argon có độ tinh khiết tối thiểu 99,99%.

AAS ngọn lửa yêu cầu khí nén, Axetilen và khí Nitơ Oxit, tùy thuộc vào các nguyên tố bạn cần đo.

MP-AES có chi phí tiêu hao thấp nhất và do đó, chi phí cho mỗi mẫu thấp nhất. Nó chỉ yêu cầu nguồn Nitơ được cấp liên tục, có thể được lấy từ không khí xung quanh bằng cách sử dụng máy sinh Nitơ. Một nguồn cấp nhỏ khí Argon tinh khiết 99,0% (chai khí tích hợp tổng máy) là cần thiết để đốt cháy plasma. MP-AES cũng điện thấp, với nguồn điện 10 A.

ICP-OES và ICP-MS đều tiêu thụ nhiều điện hơn các kỹ thuật khác. ICP-MS và ICP-QQQ tiêu thụ nhiều nhất, cả hai đều có bơm chân không hoạt động liên tục. Cả ICP-MS và ICP-QQQ đều yêu cầu nguồn điện riêng, cường độ lên đến 30 A. ICP-OES yêu cầu nguồn điện 15 A.

Có thể cần điều hòa không khí cho bất kỳ kỹ thuật nào, tùy thuộc vào khí hậu địa phương. Phòng thí nghiệm nên được giữ ở nhiệt độ từ 15 đến 30 °C và độ ẩm từ 20 đến 80%.

Điều quan trọng là phải so sánh chi phí dựa trên phân tích chi phí trên mỗi mẫu. ICP-OES và ICP-MS đều là các kỹ thuật đa nguyên tố có thể đo nhanh một lô mẫu. Mặc dù chúng cần nhiều khí hơn và nhiều năng lượng hơn khi chạy, nhưng chúng mất ít thời gian hơn các kỹ thuật khác để đo cùng một số lượng mẫu.

### Bảo dưỡng thường xuyên

Tất cả các kỹ thuật quang phổ nguyên tử đều cần được vệ sinh và bảo dưỡng thường xuyên. Bạn đo càng nhiều mẫu và mẫu càng phức tạp thì càng cần được bảo dưỡng nhiều hơn. Đặc biệt, các kỹ thuật GFAAS và ICP-MS có độ nhạy cao (bao gồm cả ICP-QQQ) cần được vệ sinh thường xuyên hơn nếu thực hiện phân tích mức siêu vết.

Nếu bạn sử dụng thiết bị hàng ngày, bạn có thể mong đợi thực hiện các hoạt động bảo dưỡng sau:

#### Hàng ngày

Kiểm tra và vệ sinh khu vực đưa mẫu vào. Bao gồm đầu phun, buồng phun, đuốc (Torch), đầu đốt hoặc ống than chì, ống bơm và thùng chứa chất thải. Các hạng mục bảo dưỡng này tương tự nhau ở tất cả các kỹ thuật, ngoại trừ GFAAS, có các thành phần khác nhau. Dự kiến sẽ mất tới 30 phút để thực hiện các hoạt động này. Lưu ý rằng một số thiết bị có thể tự động cung cấp cho người vận hành báo cáo tình trạng hệ thống vào mỗi buổi sáng, nêu chi tiết những gì - nếu có - cần bảo dưỡng.

## Hàng tuần

Kiểm tra và vệ sinh khu vực mẫu được gia nhiệt (ví dụ: khoang đèn khô). Dự kiến sẽ mất 30 đến 60 phút để thực hiện các hoạt động này.

Theo quy định, tất cả các kỹ thuật đều có yêu cầu bảo trì hàng ngày/hàng tuần tương tự nhau. Tuy nhiên, GFAAS, ICP-OES và ICP-MS có nhiều nhiệm vụ bảo trì hơn được thực hiện không thường xuyên. Các nhiệm vụ này bao gồm kiểm tra mức nước trong hệ thống làm mát và mức dầu bơm chân không.

## Để sử dụng và yêu cầu kỹ năng phân tích

Có xu hướng ngày càng tăng đối với các thiết bị phân tích bao gồm mức độ tự động hóa cao và chức năng phần mềm giúp giảm kỹ năng phân tích cần thiết. Đối với các loại mẫu thông thường, các phương pháp và công cụ đi kèm với thiết bị sẽ giúp đảm bảo bạn báo cáo kết quả chính xác.

Các thiết bị AAS ngọn lửa và MP-AES yêu cầu các nhà phân tích ít kỹ năng hơn để vận hành chúng. GFAAS yêu cầu trình độ kỹ năng cao hơn chủ yếu là do hóa học phức tạp liên quan và mức độ phát hiện thấp hơn. GFAAS cũng thường có ít chức năng tự động hơn, do đó dựa vào kỹ năng của nhà phân tích để phát triển các phương pháp và chạy các phân tích.

Khi đã thiết lập được phương pháp thường quy, hoạt động hàng ngày của bất kỳ kỹ thuật quang phổ nguyên tử nào cũng tương đối đơn giản. Phát triển một phương pháp mới đòi hỏi trình độ kỹ năng cao hơn, với các phương pháp đa nguyên tố phức tạp hơn và các loại mẫu đa dạng hơn làm tăng mức độ kỹ năng cần thiết. Các thiết bị quang phổ nguyên tử hiện đại thường sẽ bao gồm các tài nguyên như thư viện phương pháp và hướng dẫn quy trình làm việc phần mềm để hỗ trợ những người mới làm quen với nhiệm vụ khó khăn này.

Bảng 4. So sánh mức độ phức tạp tương đối của việc phát triển các phương pháp cho các kỹ thuật quang phổ nguyên tử khác nhau..

|                                        | Flame AAS                                                                           | GFAAS                                                                               | MP-AES                                                                                                                                                                                                                                                      | ICP-OES                                                                                                                                                                 | ICP-MS                                                                                                                                                                  | ICP-QQQ                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Độ phức tạp của phát triển phương pháp |  |  |    |   |   |    |

## Phương pháp - được quy định và có sẵn đã phát triển trước

### Phương pháp được quy định

Nhiều phân tích nguyên tố điển hình được chính phủ quản lý ở nhiều quốc gia. Ví dụ, việc đo kim loại trong nước uống được Cơ quan Bảo vệ Môi trường (EPA) Hoa Kỳ quản lý. EPA đã ban hành các phương pháp sau đây đối với nước uống:

- 200.5 Xác định các nguyên tố vết trong nước uống bằng phương pháp ICP-AES chiếu dọc (2003)
- 200.7 Xác định kim loại và vết các nguyên tố trong nước và chất thải bằng phương pháp ICP-AES (1994)
- 200.8 Phương pháp EPA 200.8 Xác định vết các nguyên tố trong nước và chất thải bằng phương pháp ICP-MS (1994)
- 200.9 Xác định vết các nguyên tố bằng phương pháp hấp thụ nguyên tử lò than chì nhiệt độ ổn định (1994)

Đối với mỗi phương pháp này, kỹ thuật phân tích cần thiết được xác định bởi phương pháp đã chọn. Đổi lại, phương pháp có thể được xác định bởi các quy định mà bạn phải tuân thủ.

Có hơn 1.500 phương pháp chuẩn trên toàn cầu để phân tích nguyên tố. Chúng bao gồm từ phương pháp rất cụ thể, chẳng hạn như đo Molybden trong không khí tại nơi làm việc (GB/T 17087), cho đến phương pháp rộng hơn, chẳng hạn như đo 26 nguyên tố trong nước (US EPA 200.8).

### Phương pháp được phát triển trước và phát triển phương pháp

Nhiều thiết bị sẽ được cung cấp một bộ mẫu phương pháp phù hợp với các loại phân tích thông thường, ví dụ, đo các nguyên tố trong nước uống. Các phương pháp được cung cấp có xu hướng dành cho các phân tích được quy định. Nếu các phân tích của bạn không bình thường hoặc bạn có các yêu cầu rất cụ thể thì bạn sẽ cần tìm một phương pháp đã được công bố cho thiết bị của mình hoặc tự phát triển một phương pháp.

Các kỹ thuật nguyên tố đơn như AAS ngọn lửa và lò than chì đã có từ lâu và có xu hướng có các phương pháp được thiết lập tốt cho nhiều loại chất phân tích và mẫu.

Các phương pháp đa nguyên tố được sử dụng trên ICP-OES và ICP-MS có nhiều biến hơn và do đó phức tạp hơn khi thiết lập. Các phương pháp này cũng có thể yêu cầu nhiều sửa đổi hơn khi chuyển một phương pháp hiện có sang một thiết bị mới.

# Chuẩn bị mẫu

## Mẫu lỏng



Hình 12. Các mẫu thường được đưa vào dưới dạng lỏng để đo bằng bất kỳ kỹ thuật quang phổ nguyên tử nào. Tất cả các kỹ thuật, ngoại trừ GFAAS, đều sử dụng máy phun sương để biến mẫu chất lỏng thành sương mù dạng khí dung. GFAAS tiêm mẫu chất lỏng bằng ống tiêm.

Đối với phân tích thông thường, các mẫu được đo bằng các kỹ thuật quang phổ nguyên tử dựa trên ngọn lửa, lò nung và plasma được đưa vào dưới dạng lỏng. Ngay cả những mẫu đã ở dạng lỏng thường cần được chuẩn bị trước khi đo. Việc chuẩn bị mẫu này có thể bao gồm lọc, axit hóa, phá mẫu hoặc một số hình thức ổn định khác để đảm bảo rằng các chất phân tích vẫn ổn định trong dung dịch.

Hầu hết các phương pháp được quy định hoặc tiêu chuẩn sẽ chỉ định quy trình chuẩn bị mẫu cần sử dụng. Ngoài ra còn có rất nhiều 'công thức' để chuẩn bị mẫu cho các loại mẫu khác nhau trực tuyến. Ví dụ, Agilent xuất bản các [bài ứng dụng mô tả nhiều loại phân tích](#).

## Mẫu rắn



Hình 13. Xác định hàm lượng nguyên tố của mẫu đất, đá hoặc quặng là một ứng dụng phổ biến của quang phổ nguyên tử.

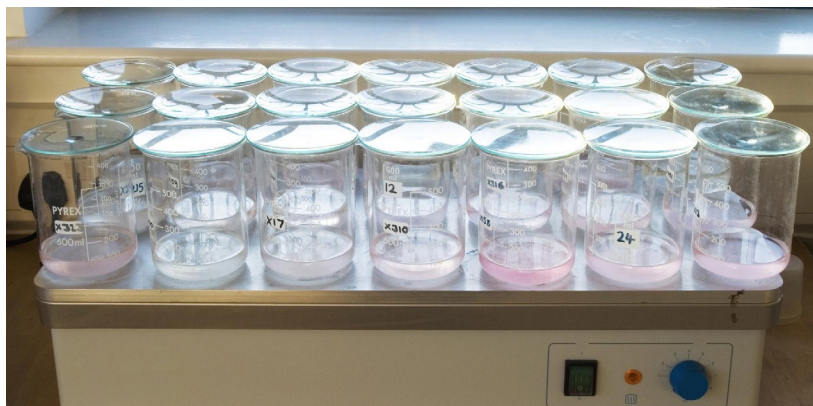
Mẫu đất và trầm tích thường được sấy khô trước khi xử lý. Các mẫu như đá hoặc quặng được nghiền thành bột mịn, trộn và sau đó lấy một phần mẫu để đảm bảo bạn có mẫu đại diện cho phân tích.

Sau đó, mẫu đất, trầm tích hoặc đá được xử lý bằng axit để chiết các nguyên tố bạn muốn phân tích (chất phân tích) thành dung dịch.

Quá trình xử lý axit này được gọi là phá mẫu (tương tự như quá trình tiêu hóa trong dạ dày của chúng ta).

Đối với phân tích ở mức vết, quá trình phá mẫu và bất kỳ bước chuyển mẫu hoặc lưu trữ nào cũng phải được thực hiện trong các thùng chứa làm bằng vật liệu trơ như thạch anh hoặc polyme. Không được sử dụng các bình làm bằng thủy tinh borosilicate hoặc soda để phân tích kim loại vết vì vật liệu thủy tinh sẽ chứa các nguyên tố có thể bị rò rỉ vào dung dịch axit. Thủy tinh cũng sẽ hấp thụ các nguyên tố vết từ dung dịch, dẫn đến mất ổn định và khả năng thu hồi kém.

## Phá mẫu, pha loãng, và lọc



Hình 14. Mẫu có thể cần được tiêu hóa bằng axit để giải phóng các nguyên tố vào dung dịch.

Tùy thuộc vào các nguyên tố bạn muốn đo và loại mẫu, bạn có thể cần phải phá mẫu bằng axit. Phá mẫu và các yêu cầu chuẩn bị mẫu khác sẽ phụ thuộc vào ứng dụng và phương pháp. Các phương pháp được quy định hoặc tiêu chuẩn thường sẽ chỉ định việc chuẩn bị mẫu cần thực hiện.

Để phá mẫu mẫu, mẫu có thể được đặt trong cốc thủy tinh có axit và đun nóng trên bếp điện – Hot Plate (bên trong tủ hút khí phòng thí nghiệm). Bạn cũng có thể sử dụng hệ thống phá mẫu bằng vi sóng hoặc hệ thống 'khối nóng – Hot Block'. Hệ thống khối nóng có thể xử lý nhiều mẫu cùng một lúc và kiểm soát nhiệt độ tốt hơn so với bếp điện. Máy phá mẫu bằng vi sóng sử dụng "bình kín" để có thể sử dụng nhiệt độ và áp suất cao hơn, cải thiện quá trình tiêu hóa.

Các axit bạn sử dụng để phá mẫu phụ thuộc vào loại mẫu và các nguyên tố bạn cần đo (một nguồn tài liệu hữu ích là [Sổ tay về các phương pháp phân hủy trong hóa học phân tích](#)). Các nguyên tố khó như molybden cần một loại axit mạnh hơn như axit hydrofluoric (HF) để đi vào và tồn tại trong dung dịch. Trên thực tế, bạn có thể cần kết hợp nhiều loại axit để phân hủy mẫu. Nếu bạn cần sử dụng axit hydrofluoric trong quá trình chuẩn bị mẫu, bạn sẽ cần sử dụng các thành phần trợ vì axit này sẽ ăn mòn thủy tinh. Agilent cung cấp các thành phần trợ cho các thiết bị quang phổ nguyên tử của chúng tôi, ví dụ như [Hệ thống đưa mẫu trợ vào ICP-OES](#).

Các bước cuối cùng trong quá trình chuẩn bị mẫu sẽ là pha loãng và có khả năng lọc. Phương pháp này thường sẽ chỉ định thể tích cuối cùng để pha loãng mẫu. Bạn có thể cần pha loãng thêm để đưa mẫu vào phạm vi hiệu chuẩn của thiết bị hoặc để giảm mức tổng chất rắn hòa tan (TDS) trong mẫu xuống mức mà thiết bị có thể xử lý (điều này thay đổi tùy theo kỹ thuật và kiểu máy). Các mẫu có chứa các hạt không hòa tan sẽ cần được lọc, nếu không các hạt sẽ gây tắc nghẽn trong hệ thống đưa mẫu vào thiết bị.

## Chuẩn bị mẫu hữu cơ

Các mẫu hữu cơ như mẫu dầu thường có thể được phân tích bằng phương pháp "pha loãng và chạy", sử dụng dung môi hữu cơ phù hợp (hexan, xylen, toluen vv...). Tuy nhiên, nếu có các hạt lớn trong mẫu (ví dụ: mẫu dầu để phân tích kim loại mài mòn), chúng sẽ cần được phá mẫu.

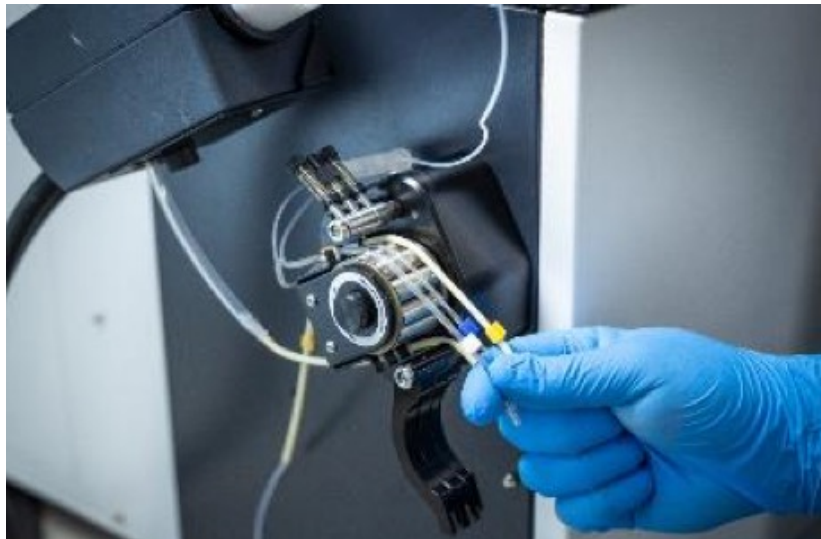
Đo các chất hữu cơ có thể yêu cầu lắp các bộ phận cụ thể vào thiết bị và thiết lập thiết bị cụ thể. Với các kỹ thuật AA, MP và ICP-OES, điều quan trọng là phải ngăn Cacbon từ các mẫu hữu cơ tích tụ trên plasma Torch hoặc đầu đốt ngọn lửa. Khi đo các dung môi hữu cơ bằng ICP-OES hoặc ICP-MS, khí oxy (hỗn hợp 20% trong Argon) được thêm vào Torch để phân hủy nền mẫu và tránh chặn Cacbon trên đầu phun của Torch hoặc cơn giao diện ICP-MS. Trong ICP-MS, việc bổ sung oxy sẽ dẫn đến sự phân hủy nhanh chóng của đầu côn Niken tiêu chuẩn, do đó, nên thay thế nón giao diện bằng côn bạch kim khi phân tích dung môi hữu cơ.

### Hệ thống lọc Agilent FilterMate

cho phép bạn phá mẫu, lọc và phân tích mẫu bằng cùng một ống. Các ống lọc tương thích với hệ thống phá mẫu giá nhiệt (hot block), nhưng không phù hợp để sử dụng trong lò phá mẫu vi sóng.



## Thành phần thiết bị chuyên dụng cho dung môi



Hình 15. Ống bơm phải tương thích với dung môi bạn đang sử dụng

Ống dẫn được sử dụng trên bơm nhu động của thiết bị phải tương thích với dung môi bạn đang sử dụng. Ví dụ, Agilent cung cấp các loại ống dẫn khác nhau cho các dung môi khác nhau để sử dụng với các thiết bị AA, MP-AES, ICP-OES và ICP-MS của chúng tôi.

Toàn bộ hệ thống đưa mẫu có thể cần được hoán đổi thành hệ thống tương thích với dung môi bạn đang sử dụng. Ví dụ, nhiều nhà phân tích giữ một bộ thành phần riêng để sử dụng với các mẫu hữu cơ

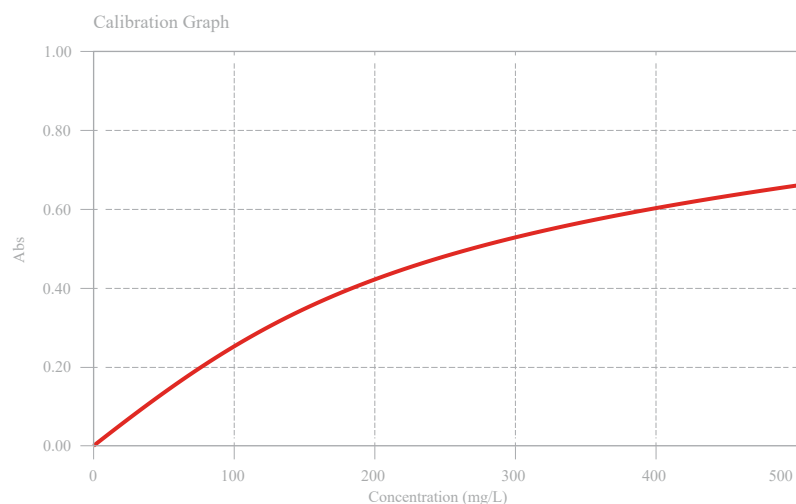
## Hiệu chuẩn

Các kỹ thuật quang phổ nguyên tử đo nồng độ của các nguyên tố quan tâm so với dung dịch có nồng độ đã biết, được gọi là chuẩn. Quá trình xác định mối quan hệ giữa giá trị đo được và nồng độ trong chuẩn đã biết được gọi là "hiệu chuẩn - calibration". Chuẩn đã biết thường là dung dịch hiệu chuẩn được chứng nhận (certified calibration solution) hay vật liệu tham chiếu (reference material). Các giải pháp hiệu chuẩn thường có sẵn từ các nhà cung cấp thiết bị. Ví dụ, Agilent cung cấp một loạt các chuẩn hiệu chuẩn được chứng nhận một nguyên tố và đa nguyên tố. Các nhà cung cấp hóa chất cũng sản xuất và cung cấp các chuẩn hiệu chuẩn, trong khi các nhà sản xuất vật liệu tham chiếu như Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia Hoa Kỳ (NIST) cung cấp các vật liệu tham chiếu đã được chứng nhận và tiêu chuẩn (CRM/SRM) có liên quan đến nhiều ngành công nghiệp và ứng dụng. CRM và SRM có thể được sử dụng để hiệu chuẩn thiết bị hoặc chạy dưới dạng mẫu kiểm soát chất lượng (QC) để cung cấp kiểm tra độc lập về độ chính xác của các tiêu chuẩn hiệu chuẩn.

Cách tiếp cận thông thường để hiệu chuẩn trong quang phổ nguyên tử là chuẩn bị một loạt các chuẩn hiệu chuẩn từ dung dịch gốc đã được chứng nhận có chứa nguyên tố hoặc các nguyên tố quan tâm. Các kỹ thuật phân tích đơn nguyên tố như AAS thường sử dụng hiệu chuẩn riêng cho từng nguyên tố đang được đo. Chuẩn đơn thành phần chỉ được chứng nhận cho nồng độ của thành phần xác định. Các kỹ thuật phân tích đa thành phần như ICP-OES và ICP-MS thường sử dụng các chuẩn hiệu chuẩn hỗn hợp có chứa tất cả các thành phần quan tâm. Tiêu chuẩn ICP đắt hơn nhiều so với tiêu chuẩn AAS vì tiêu chuẩn ICP không chỉ được chứng nhận cho mức độ chính xác của các thành phần dự định mà còn được kiểm tra và chứng nhận không có các thành phần khác.

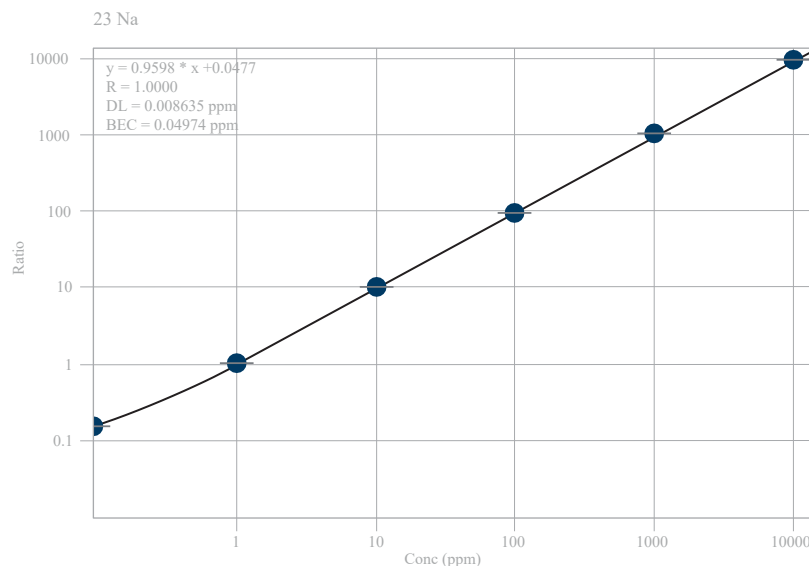
Các dung dịch chuẩn gốc được pha loãng để cung cấp các mức chuẩn bao phủ phạm vi nồng độ dự kiến trong các mẫu chưa biết. Sau đó, các chuẩn pha loãng được đo bằng cùng phương pháp sẽ được sử dụng cho các mẫu chưa biết. Tín hiệu (hấp thụ, phát xạ hoặc đếm) được đo cho từng thành phần ở mỗi mức nồng độ được xử lý bởi phần mềm thiết bị, đưa ra biểu đồ về mối quan hệ giữa tín hiệu và nồng độ.

Đối với các kỹ thuật có nguồn nguyên tử nhiệt độ tương đối thấp, chẳng hạn như AAS ngọn lửa, phản ứng tuyến tính sẽ chỉ bao phủ một phạm vi nồng độ nhỏ (như thể hiện trong Hình 16). Điều này có nghĩa là sẽ khó đạt được kết quả chính xác ở nồng độ cao hơn, khi mối quan hệ giữa độ hấp thụ và nồng độ không tuyến tính. Điều này có thể khắc phục bằng cách pha loãng mẫu để đưa chúng vào phần tuyến tính của hiệu chuẩn hoặc sử dụng toán học phức tạp hơn để thiết lập mối quan hệ giữa độ hấp thụ và nồng độ.



**Hình 16.** Mối quan hệ tuyến tính giữa độ hấp thụ và nồng độ chỉ có thể bao trùm một khoảng nồng độ nhỏ đối với các kỹ thuật như AAS ngọn lửa. Điều này có nghĩa là bạn phải pha loãng mẫu sao cho nồng độ của chúng nằm trong khoảng tuyến tính của đường chuẩn hoặc sử dụng phép tính phức tạp. Trong biểu đồ đường chuẩn được hiển thị ở đây, mối quan hệ chỉ tuyến tính đến 100 mg/L.

Trên các thiết bị nguồn nhiệt độ cao hơn (plasma) (ICP-OES và ICP-MS), hiệu chuẩn thường là tuyến tính trên một số cấp độ lớn. Đường chuẩn độ phù hợp cho các hiệu chuẩn tuyến tính này có thể được biểu thị là  $y = ax + b$ , trong đó  $a$  là độ dốc và  $b$  là giao điểm trục Y. Hiệu chuẩn dễ dàng hơn khi kỹ thuật này đưa ra phản hồi tuyến tính trên một khoảng nồng độ rộng, vì cần ít chuẩn hơn. Ngoài ra, các phương pháp linh hoạt hơn, vì các chuẩn không cần phải khớp chặt với nồng độ mẫu. Hiệu chuẩn ICP-MS tuyến tính cho Na bao phủ năm cấp độ lớn được minh họa trong Hình 17. Hiệu chuẩn ICP-MS này là tuyến tính từ 0,1 đến 10.000 ppm.



**Hình 17.** Hiệu chuẩn ICP-MS cho Na này là tuyến tính từ 0,1 đến 10.000 ppm

## Ứng dụng

Phổ nguyên tử được sử dụng cho nhiều phép đo khác nhau trong nhiều ngành công nghiệp. Bảng 5 cho thấy các kỹ thuật nào được sử dụng phổ biến nhất cho các loại phép đo khác nhau.

### Những kỹ thuật nào thường được sử dụng cho các ứng dụng khác nhau?

Bảng 5. Các ngành công nghiệp sử dụng quang phổ nguyên tử và các kỹ thuật thường được sử dụng trong từng ngành. Càng nhiều chấm thì kỹ thuật đó càng được sử dụng phổ biến

| Lĩnh vực              | Ứng dụng điển hình                                                           | Flame AAS | GFAAS | MP-AES | ICP-OES | ICP-MS | ICP-QQQ                |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|--------|---------|--------|------------------------|
| Nông nghiệp           | Đất                                                                          | ••        | •     | •      | •••     | •••    | •                      |
|                       | Cây trồng                                                                    | ••        | ••    | •      | •••     | ••     | •                      |
|                       | Phân bón                                                                     | ••        |       | ••     | •••     |        |                        |
| Cần sa (Cannabis)     | Sản xuất /QC                                                                 |           | •     |        | ••      | •••    | •                      |
| Nghiên cứu lâm sàng   | Dịch sinh học                                                                |           | ••    |        |         | •••    | ••                     |
| Năng lượng & hoá chất | Hoá chất tinh khiết                                                          | •         | ••    |        | •••     | •••    | ••<br>(tinh khiết cao) |
|                       | Năng lượng tái tạo:<br>Nhiên liệu sinh học, tấm pin mặt trời, pin nhiên liệu | •         | •     | ••     | •••     | •••    | ••                     |
|                       | Đất                                                                          | •••       | ••    | •      | •••     | •••    | ••                     |
| Môi trường            | Nước                                                                         | •••       | ••    | •      | •••     | •••    | ••                     |
|                       | Không khí                                                                    |           | ••    |        | ••      | •••    | ••                     |
|                       | Giám sát chất thải từ công nghiệp và sản xuất điện                           | •         |       |        | •••     | •••    | •                      |
|                       | Vật liệu phế thải                                                            | •••       | •     | •      | •••     | ••     | •                      |

| Lĩnh vực                | Ứng dụng điển hình                     | Flame AAS | GFAAS | MP-AES | ICP-OES | ICP-MS | ICP-QQQ |
|-------------------------|----------------------------------------|-----------|-------|--------|---------|--------|---------|
| Thực phẩm & đồ uống     | An toàn thực phẩm                      |           | •     |        | •       | •••    | ••      |
|                         | Thành phần dinh dưỡng                  | ••        | •     | ••     | ••      | •      |         |
|                         | Nguồn gốc thực phẩm                    | •         | •     | •      | ••      | •••    | ••      |
| Pháp y                  | Phân tích thủy tinh, sơn, mực          |           | •     |        | ••      | •••    | ••      |
|                         | Vết đạn bắn                            |           | ••    |        | •       | •••    | •       |
| Địa hoá và khai thác mỏ | Khai thác                              | •••       | •     | •      | •••     | ••     | •       |
|                         | Sản xuất (giám sát sản phẩm cuối cùng) | •         | •     | •      | •••     | ••     | ••      |
|                         | Nghiên cứu và địa niên học             |           |       |        |         | ••     | •••     |
| Khoa học sự sống        | Phân tích tế bào đơn                   |           |       |        |         | ••     | •••     |
|                         | Hình ảnh sinh học                      |           |       |        |         | •••    | •••     |
|                         | Proteomics                             |           |       |        |         | •      | •••     |
|                         | Metallomics                            |           |       |        |         | ••     | •••     |
| Vật liệu                | Gốm                                    | •         | •     |        | •••     | ••     | •••     |
|                         | Pin/ắc quy                             | •         | •     |        | •••     | ••     | •       |
|                         | Nam châm                               | •         | •     |        | •••     | •••    | •••     |
|                         | Xúc tác                                |           |       |        | •••     | •••    | ••      |
|                         | Thủy tinh & sợi quang                  |           | •     |        | •       | ••     | •••     |
| Kim loại & hợp kim      | Siêu hợp kim                           |           | •     |        | ••      | •••    | ••      |
|                         | Kim loại quý                           |           | •     |        | •••     | ••     | •••     |
|                         | Sắt thép                               |           |       |        | •••     | ••     | •       |

| Lĩnh vực            | Ứng dụng điển hình                   | Flame AAS | GFAAS | MP-AES | ICP-OES | ICP-MS | ICP-QQQ |
|---------------------|--------------------------------------|-----------|-------|--------|---------|--------|---------|
| Vật liệu Nano       | R&D và sản xuất                      |           |       |        |         | •••    | •••     |
|                     | Quan trắc môi trường                 |           |       |        |         | •••    | •••     |
|                     | Phụ gia thực phẩm                    |           |       |        |         | •••    | •••     |
|                     | Sản phẩm tiêu dùng                   |           |       |        |         | •••    | •••     |
|                     | Sản xuất nhiên liệu                  |           |       |        |         | •      | ••      |
| Hạt nhân            | Phá dỡ tàu biển                      |           |       |        |         | ••     | •••     |
|                     | Theo dõi nước làm mát lò phản ứng    |           |       |        |         | •••    | ••      |
| Hoá dầu             | Kim loại mài mòn trong chất bôi trơn | ••        |       | ••     | •••     | •      |         |
|                     | Dầu thô                              | ••        |       | ••     | •••     | ••     | ••      |
|                     | Điều khiển quá trình                 |           |       |        | •••     | ••     | ••      |
|                     | QC nhiên liệu                        | ••        |       | ••     | •••     | ••     | •       |
|                     | Phát triển thuốc                     |           | •     |        |         | ••     | •••     |
| Dược/sinh dược phẩm | Dịch chiết & chất phát thải          |           | •     |        | ••      | •••    | •       |
|                     | Sản xuất/ QC                         |           | •     |        | ••      | •••    | •       |
| Bán dẫn             | Độ tinh khiết của hóa chất xử lý     |           | •     |        | ••      | ••     | •••     |
|                     | Độ tinh khiết của Silicon wafer      |           | •     |        |         | ••     | •••     |
|                     | Kim loại có độ tinh khiết cao        |           | •     |        | •       | ••     | •••     |

## Khuyến nghị cho các tình huống đo lường phổ biến

### Đo nồng độ vết (< 10 ppb) hay siêu vết (ppt) với số lượng mẫu nhỏ

Đối với phòng thí nghiệm đo một số nguyên tố ở mức vết hoặc siêu vết (ppt) trong một số lượng nhỏ mẫu mỗi ngày, có hai lựa chọn: Phổ hấp thụ nguyên tử lò than chì (GFAAS hay AAS lò than chì) hay phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS)

GFAAS có thể đo 48 nguyên tố, trong khi ICP-MS có thể đo 86 nguyên tố. Các nguyên tố phổ biến mà GFAAS không thể đo, nhưng ICP-MS có thể đo là: Br, C, Ce, Cl, F, Gd, Hf, Ho, I, La, Lu, Nb, Nd, Os, Pr, Re, S, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tm, U, W, Y và Zr. Ngay cả với ICP-MS, giới hạn phát hiện đối với C cũng kém và F đòi hỏi phương pháp tiếp cận ICP-QQQ chuyên biệt.

GFAAS có giá mua thấp hơn và chi phí vận hành thấp hơn ICP-MS. Tuy nhiên, ICP-MS cung cấp khả năng phân tích nhanh hơn nhiều, dải động tuyến tính rộng hơn nhiều và ít nhiễu hơn. Đối với nhiều nguyên tố hơn hoặc số lượng mẫu cao hơn, ICP-MS nhanh hơn và tiết kiệm chi phí hơn vì nó đo tất cả các nguyên tố trong thời gian thu thập từ 2 đến 3 phút cho mỗi mẫu. Ngược lại, GFAAS đo từng nguyên tố riêng biệt trong mẫu, với mỗi phép đo nguyên tố đơn lẻ mất khoảng 2 hoặc 3 phút. Điều này có nghĩa là việc đo năm nguyên tố với ba lần lặp lại của mỗi mẫu sẽ mất khoảng 30 đến 40 phút cho mỗi mẫu (5 nguyên tố x 3 phép đo lặp lại x 2 phút cho mỗi lần lặp lại) khi sử dụng GFAAS. Do đó, một thiết bị GFAAS có thể thực hiện khoảng 240 phép đo ba lần trong 24 giờ. Có thể là 1 nguyên tố trong 240 mẫu, 4 nguyên tố trong 60 mẫu hoặc 10 nguyên tố trong 24 mẫu.

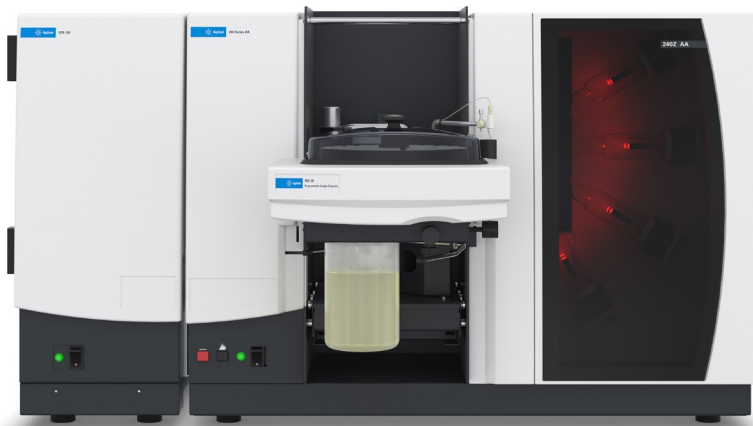
Cả hai kỹ thuật đều cần trình độ kiến thức và kỹ năng hợp lý để vận hành. Cả hai đều có thể chạy mà không cần giám sát, do đó bạn có thể nạp mẫu tự động và để thiết bị hoàn tất quá trình phân tích. Một phòng thí nghiệm QA/QC thông thường thường chọn GFAAS, nhưng nếu phòng thí nghiệm đang mở rộng và cần đảm bảo có thể xử lý được lượng mẫu lớn hơn trong tương lai, ICP-MS có thể cung cấp phạm vi phù hợp nguyên tố bổ sung và thông lượng mẫu cao hơn cần thiết cho quá trình phát triển.



### Ưu điểm của ICP-MS

ICP-MS là lý tưởng khi bạn:

- Cần đo hơn 10 nguyên tố trên một mẫu, nếu không số lượng nguyên tố có thể tăng lên trong tương lai.
- Cần đo các nguyên tố mà GFAAS không thể đo được.
- Có hơn 100 mẫu mỗi ngày hoặc bạn có lô mẫu gồm hơn 200.
- Đo các nguyên tố có thể có ở mức không xác định hoặc nồng độ các nguyên tố thay đổi rất nhiều từ mẫu này sang mẫu khác.



### Ưu điểm của GFAAS

GFAAS là lý tưởng cho những phòng thí nghiệm:

- Cần định lượng ở mức vết, trong đó lượng mẫu và nguyên tố không quá khoảng 240 phép đo mỗi ngày (bốn nguyên tố x 60 mẫu trong 24 giờ). Điều này giảm ba lần lặp lại cho mỗi phép đo.
- Biết phạm vi nồng độ gần đúng của chất phân tích và nồng độ sẽ không thay đổi đáng kể từ mẫu này sang mẫu khác.
- Chỉ cần đo một vài nguyên tố.
- Muốn giữ chi phí đầu tư thấp, giảm thiểu chi phí thiết lập phòng thí nghiệm và giảm chi phí vận hành.



Agilent cung cấp hệ thống hấp thụ nguyên tử Duo, kết hợp một thiết bị hấp thụ nguyên tử ngọn lửa và GFAAS. Các nguyên tố ở nồng độ thấp được đo trên GFAAS và các nguyên tố ở nồng độ cao hơn được đo bằng AAS ngọn lửa. Cả hai đều có thể đo mẫu cùng lúc, giúp tăng thông lượng mẫu. Thiết bị hấp thụ nguyên tử ngọn lửa không thể để không có người giám sát, do đó, phân tích bị giới hạn ở thời điểm nhà phân tích có thể theo dõi thiết bị.

**Đo hơn mười nguyên tố ở nồng độ thấp (< 10 ppb) trong hơn 50 mẫu**

Nếu phòng thí nghiệm của bạn cần đo mười hoặc nhiều nguyên tố có nồng độ thấp hơn 10 ppb và bạn phải đo hơn 50 mẫu mỗi ngày thì phương pháp phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS) là kỹ thuật phù hợp nhất.

ICP-MS cũng có thể đo nồng độ các nguyên tố cao hơn, nhưng nếu số lượng nguyên tố và số lượng mẫu thấp, các kỹ thuật như AAS ngọn lửa hoặc MP-AES là lựa chọn có chi phí thấp hơn để đo các chất phân tích có nồng độ cao.

**ICP-MS mang đến:**

- Đo nhanh hầu hết mọi nguyên tố trong lần đọc mẫu 3 phút (1 phút cho mỗi mẫu nếu bạn sử dụng van chuyển dòng).
- Độ nhạy cao và giới hạn phát hiện thấp (xuống đến mức ng/L (ppt) hoặc dưới ppt) đối với hầu hết các nguyên tố. Tỷ lệ đồng vị nguyên tố cũng có thể được đo.
- Khả năng đo các nguyên tố ở nồng độ dưới 0,1 ppt đến hơn 1000 ppm trong cùng một lần đo.
- Các chức năng có thể khắc phục hầu hết mọi nhiễu đo.
- Khả năng đo nhiều loại mẫu, bao gồm dung môi hữu cơ và dung dịch có mức chất rắn hòa tan (TDS) lên đến 25%.
- Kết nối với các kỹ thuật khác như sắc ký lỏng hoặc sắc ký khí để tách sắc ký hoặc ăn mòn bằng laser (LA) để phân tích trực tiếp mẫu rắn.
- Hoạt động không cần giám sát, sử dụng máy lấy mẫu tự động.



### **Bạn cần loại ICP-MS nào?**

ICP-MS có hai cấu hình phổ biến: ICP-MS một tứ cực hay ICP-MS ba tứ cực (gọi tắt là ICP-QQQ). ICP-QQQ còn được gọi là ICP-MS hai lần hay ICP-MS/MS. Cả hai cấu hình đều có thể đo 86 nguyên tố, trong đó ICP-QQQ có thể đo F, trong khi ICP-MS một tứ cực không thể đo được.

ICP-MS một tứ cực có giá mua thấp hơn và chi phí vận hành thấp hơn một chút so với ICP-QQQ. ICP-QQQ yêu cầu trình độ kỹ năng cao hơn để thiết lập và vận hành, mặc dù điều này phụ thuộc vào các phương pháp đang chạy.

Nhiều phương pháp được phát triển cho ICP-MS một tứ cực có thể chạy mà không cần sửa đổi trên ICP-QQQ.

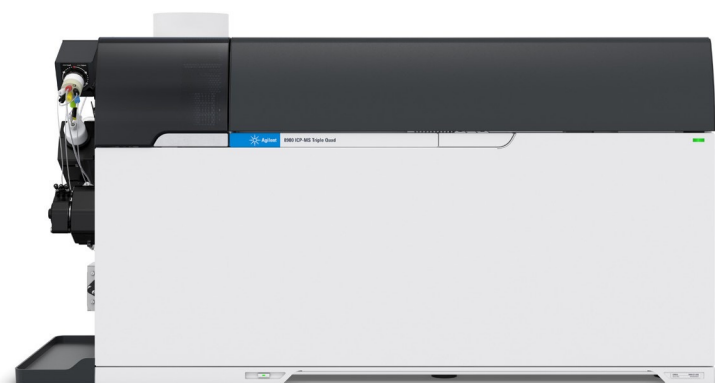
Ưu điểm chính của ICP-QQQ là khả năng giải quyết nhiễu quang phổ mà ICP-MS một tứ cực không thể. ICP-QQQ có giới hạn phát hiện thấp hơn nhiều và kết quả nhất quán hơn đối với các loại mẫu thay đổi. Ví dụ, các nguyên tố Si, P và S chịu sự nhiễu phổ mạnh khi đo bằng ICP-MS một tứ cực, do đó giới hạn phát hiện tương đối kém. ICP-QQQ có thể khắc phục được những nhiễu này, cho phép đo các nguyên tố khó này ở mức vết.



### ICP-MS một tứ cực

ICP-MS là lý tưởng cho những phòng thí nghiệm:

- Chạy các phương pháp ICP-MS thường quy (thường được quy định)
- Đo một phạm vi điển hình của các nguyên tố vết, không bao gồm các nguyên tố "khó" như F, Cl, Si, P hoặc S.
- Phân tích các loại mẫu phổ biến như mẫu môi trường.
- Không cần đo các nguyên tố ở mức thấp nhất, siêu vết (thấp hơn ppt).



### ICP-MS ba tứ cực

ICP-MS ba tứ cực là lý tưởng cho những phòng thí nghiệm:

- Chạy các ứng dụng đòi hỏi khắt khe bao gồm các loại mẫu phức tạp, yêu cầu phân tích F, Cl, Si, P hoặc S hoặc liên quan đến các nhiễu khó khắc phục.
- Cần đo mức siêu vết (thấp hơn ppt) của các nguyên tố trong vật liệu có độ tinh khiết cao hoặc hóa chất trong quy trình bán dẫn.
- Cần đo các chất phân tích có cùng khối lượng trực tiếp (nguyên tố) (như 204Pb/204Hg, 87Sr/87Rb, 176Hf/176Lu) hoặc đồng vị phóng xạ, các phòng thí nghiệm đo mẫu địa hóa hoặc hạt nhân thường cần khả năng này.
- Cần đo nồng độ thấp của các nguyên tố ở khối lượng bên cạnh một nguyên tố chính, ví dụ: B trong nền Cacbon, Mn trong thép, Np trong Uran.
- Muốn có khả năng xử lý phạm vi rộng nhất các loại mẫu và nguyên tố, cả hiện tại và trong tương lai.

**Đo nhiều nguyên tố ở nồng độ trung bình đến cao (>10 ppb) trong một số lượng lớn mẫu**

Các phòng thí nghiệm có khối lượng công việc lớn – cần đo nhiều nguyên tố trong nhiều mẫu sẽ cần kỹ thuật phân tích kim loại plasma cảm ứng nhanh như ICP-OES hoặc ICP-MS.

Khi so sánh hai kỹ thuật này, điều quan trọng là phải nhận ra rằng có sự chồng lấn giữa các phạm vi nồng độ mà ICP-OES và ICP-MS có thể đo. Nếu tất cả các nguyên tố đều có nồng độ trên 10 ppb, thì ICP-OES là lựa chọn tốt nhất. Nếu bạn cần đo nồng độ thấp hơn của một số nguyên tố hoặc bạn cần đo C, F, Cl, Br hoặc I thì nên sử dụng ICP-MS. Ngay cả với ICP-MS, giới hạn phát hiện đối với C cũng kém và F đòi hỏi phương pháp ICP-QQQ chuyên biệt. Xem phần, [Bạn cần đo những nguyên tố nào?](#) ở phần trước.

Mặc dù ICP-OES không thể đo nồng độ kim loại xuống mức phần nghìn tỷ mà ICP-MS có thể đo, nhưng ICP-OES thường được sử dụng cho các phép đo mà trước đây có thể đã được thực hiện bằng AA ngọn lửa.

Các ứng dụng có tính chuyên biệt cao cần đo các nguyên tố phóng xạ Np, Pu, Am hoặc Ra hoặc các nguyên tố actinide rất hiếm khác (Ac, Bk, Cf, Cm, Pa, Po) cũng sẽ yêu cầu ICP-MS.



## ICP-OES

ICP-OES là lý tưởng khi:

- Có số lượng mẫu lớn (hơn 1200 mẫu mỗi ngày).
- Trong những tình huống này, bạn sẽ cần tốc độ của ICP-OES, mất chưa đầy một phút để đo nồng độ của tối đa 74 nguyên tố trong một mẫu.
- Cần đo các mẫu có mức phần trăm tổng chất rắn hòa tan (TDS) hoặc chất rắn lơ lửng rất cao. ICP-MS có thể đo các mẫu này, nhưng sẽ dễ dàng hơn nếu chạy chúng thường xuyên trên ICP-OES.
- Đang đo các mẫu sẽ luôn chứa hơn 10 ppb của mỗi nguyên tố.



## ICP-MS

ICP-MS là một lựa chọn tốt hơn nếu bạn cần:

- Phân tích ở mức dưới 10 ppb đối với một số nguyên tố hoặc bạn có thể cần hiệu suất này trong tương lai (ví dụ do thay đổi về quy định).
- Khả năng đo tỷ lệ đồng vị nguyên tố.
- Kết hợp phân tích nguyên tố với các kỹ thuật khác như sắc ký lỏng hoặc sắc ký khí để phân tách sắc ký hoặc phá hủy bằng laser (LA) để lấy mẫu rắn trực tiếp.

### Đo ít hơn 10 nguyên tố ở nồng độ cao (>100 ppb) trong ít hơn 100 mẫu mỗi ngày

Khi đo một vài nguyên tố ở nồng độ trên 100 ppb trong số lượng mẫu ít, phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử ngọn lửa (gọi tắt là FAAS, AAS ngọn lửa hoặc chỉ là AA) hoặc quang phổ phát xạ nguyên tử plasma vi sóng (MP-AES) là lý tưởng.

MP-AES có thể đo 70 nguyên tố so với 67 nguyên tố của AAS ngọn lửa. Nếu bạn cần đo S, Ce hoặc Th thì MP-AES là lựa chọn tốt nhất trong số hai lựa chọn này. Tuy nhiên, có những nguyên tố mà cả AAS và MP-AES đều không thể đo được.

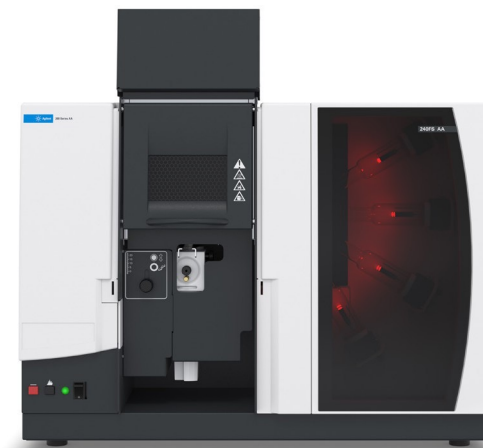
#### Bạn có cần đo những nguyên tố này không?

Nếu danh sách các nguyên tố bạn muốn đo bao gồm: Cl, I hoặc Tc hoặc Pm phóng xạ, thì ICP-OES là lựa chọn tốt nhất vì cả AAS và MP-AES đều không thể đo các nguyên tố này. Lưu ý rằng nếu bạn cần đo mức thấp của các nguyên tố đó (< 20 ppm Cl hoặc < 200 ppm I) hoặc nếu danh sách các nguyên tố bạn muốn đo bao gồm Br, Np phóng xạ, Pu, Am hoặc Ra, hoặc bất kỳ nguyên tố Actinide nào không rõ ràng (Ac, Bk, Cf, Cm, Pa, Po) thì ICP-MS là lựa chọn duy nhất của bạn. Tuy nhiên, chi phí cao hơn của một thiết bị ICP-MS có nghĩa là nó thường không được chứng minh là hợp lý để đo số lượng mẫu nhỏ với nồng độ các nguyên tố từ trung bình đến cao mà Flame AAS, MP-AES hoặc ICP-OES có thể đo được.

#### Sự khác biệt giữa MP-AES so với ICP-OES so với ngọn lửa AAS

AAS ngọn lửa là thiết bị có chi phí mua thấp nhất. Cả MP-AES và AAS ngọn lửa đều có thời gian đo mẫu tương tự nhau, nếu chế độ [Agilent Fast Sequential](#) được sử dụng cho AAS. Thiết bị ICP-OES đắt hơn khi mua nhưng đo mẫu nhanh hơn nhiều so với AAS ngọn lửa hay MP-AES. ICP-OES sẽ là lựa chọn tốt nhất nếu số lượng mẫu hoặc số lượng nguyên tố cần đo có khả năng tăng.

MP-AES có chi phí vận hành thấp nhất và không sử dụng khí dễ cháy. Nó có thể hoạt động mà không cần giám sát và lý tưởng cho các địa điểm xa xôi, nơi nó có thể được sử dụng với máy sinh Nitơ, do đó chỉ cần nguồn điện (không cần cung cấp khí).



#### Ưu điểm của AAS ngọn lửa.

FAAS là lý tưởng cho các phòng thí nghiệm:

- Sử dụng các phương pháp FAAS được quy định. Thông thường, chúng được sử dụng trong các ứng dụng thực phẩm và môi trường.
- Muốn sử dụng các phương pháp tiêu chuẩn. Vì FAAS đã được sử dụng trong một thời gian dài nên có nhiều phương pháp được ghi chép rõ ràng.
- Muốn chỉ đo một vài nguyên tố, một vài lần một tuần.



### Ưu điểm của MP-AES

MP-AES lý tưởng khi :

- Bạn có nhiều mẫu hơn. Có thể để qua đêm mà không cần giám sát, với máy lấy mẫu tự động, để hoàn thành một lô lớn.
- Bạn muốn giảm chi phí cung cấp khí và vật tư tiêu hao so với FAAS.
- Bạn cần đo S, Ce hoặc Th.
- Phòng thí nghiệm nằm trong nhà máy hóa dầu hoặc một địa điểm khác không được phép sử dụng ngọn lửa trần.
- Việc xử lý bình khí hoặc sử dụng khí dễ cháy gây ra rủi ro an toàn không thể chấp nhận được.



### Ưu điểm của ICP-OES

ICP-OES lý tưởng khi:

- Bạn muốn sử dụng các phương pháp ICP-OES được điều chỉnh. Những phương pháp này thường được sử dụng trong các ứng dụng thực phẩm và môi trường
- Bạn cần đo Cl hoặc I
- Số lượng mẫu hoặc số lượng nguyên tố bạn cần đo có khả năng tăng lên
- Nồng độ các nguyên tố trong mẫu của bạn có khả năng giảm xuống, đòi hỏi giới hạn phát hiện thấp hơn
- Bạn muốn chạy thiết bị mà không cần giám sát qua đêm, sử dụng máy lấy mẫu tự động

### **Đo một số nguyên tố ở nồng độ khá thấp (hàng chục ppb đến ppm thấp) trong một số lượng nhỏ mẫu?**

Đối với phòng thí nghiệm đo một số ít nguyên tố ở mức độ tương đối thấp (hơn 10 ppb) trong một số lượng nhỏ mẫu mỗi ngày, có ba lựa chọn: Phân tích lò than chì (gọi là GFAAS hoặc AAS lò than chì) và hai kỹ thuật plasma cảm ứng là phổ khối plasma cảm ứng (ICP-MS) hoặc phổ phát xạ quang học plasma cảm ứng (ICP-OES).

Lựa chọn có thể phụ thuộc vào các nguyên tố bạn cần đo. ICP-MS có thể đo 86 nguyên tố, ICP-OES có thể đo 74 nguyên tố và lò graphite có thể đo 48 nguyên tố. Các nguyên tố phổ biến mà GFAAS không thể đo bao gồm Br, C, Ce, Cl, F, Gd, Hf, Ho, I, La, Lu, Nb, Nd, Os, Pr, Re, S, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Tm, U, W, Y và Zr. Tương tự như vậy, ICP-OES không thể đo C, F, Cl, Br hoặc I, vì vậy, nếu cần bất kỳ nguyên tố nào trong số này, bạn sẽ cần ICP-MS. Ngay cả với ICP-MS, giới hạn phát hiện đối với C cũng kém và F đòi hỏi phương pháp tiếp cận ICP-QQQ chuyên biệt. Phần Bạn cần đo những nguyên tố nào? ở trên cung cấp thông tin chi tiết về các nguyên tố mà mỗi kỹ thuật có thể đo.

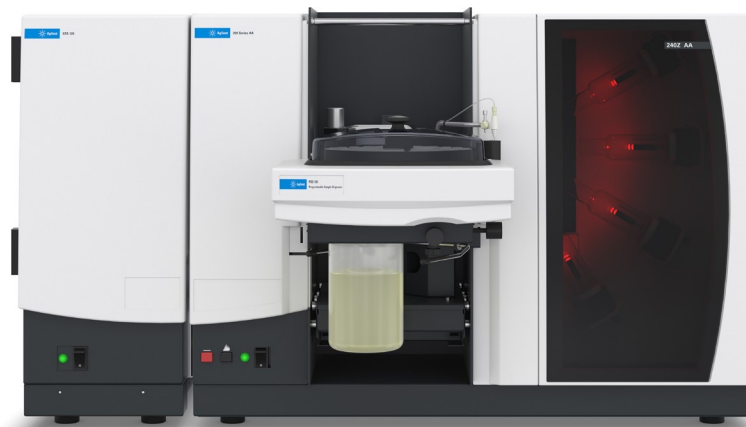
GFAAS có giá mua và chi phí vận hành thấp nhất trong ba kỹ thuật, nhưng GFAAS đo từng nguyên tố riêng biệt, với mỗi phép đo một nguyên tố mất khoảng 2 hoặc 3 phút tùy thuộc vào nguyên tố được đo. Điều này có nghĩa là việc đo năm nguyên tố với ba lần lặp lại của mỗi mẫu sẽ mất khoảng 30 đến 40 phút cho mỗi mẫu (5 nguyên tố x 3 lần đo lặp lại x 2 phút cho mỗi lần lặp lại) khi sử dụng GFAAS. Do đó, một thiết bị GFAAS có thể thực hiện khoảng 240 phép đo ba lần trong 24 giờ. Có thể là 1 nguyên tố trong 240 mẫu, 4 nguyên tố trong 60 mẫu hoặc 10 nguyên tố trong 24 mẫu.

Thiết bị ICP-MS đắt hơn khi mua và vận hành, nhưng cung cấp khả năng phân tích đa nguyên tố nhanh, dải động tuyến tính rộng hơn nhiều và ít nhiễu hơn. ICP-MS đo tất cả các nguyên tố trong thời gian thu thập từ 2 đến 3 phút cho mỗi mẫu, do đó nhanh hơn nhiều so với lò than chì. Nếu số lượng mẫu và/hoặc số lượng nguyên tố có khả năng tăng lên, hoặc nồng độ bạn cần đo có thể giảm (ví dụ như do những thay đổi về quy định) thì ICP-MS là lựa chọn tốt nhất.

Trong hai kỹ thuật plasma cảm ứng, thiết bị ICP-OES có giá thành thấp hơn ICP-MS. ICP-OES cũng có thời gian đo mẫu nhanh nhất, có thể đo nhiều nguyên tố trong tối đa 2500 mẫu mỗi ngày. ICP-OES là lựa chọn tốt nếu lượng mẫu của bạn có khả năng tăng nhiều hoặc số lượng nguyên tố sẽ tăng nhưng nồng độ bạn cần đo sẽ không giảm. ICP-OES không thể đo xuống mức nồng độ dưới ppb như GFAAS hoặc ICP-MS.

Cả GFAAS và ICP-MS đều cần trình độ kiến thức và kỹ năng hợp lý để vận hành mặc dù các phương pháp tiêu chuẩn, được quy định có thể được tự động hóa.

ICP-OES dễ sử dụng hơn. Tất cả các kỹ thuật đều có thể chạy mà không cần giám sát, do đó, bạn có thể tải một máy lấy mẫu tự động và để thiết bị hoàn tất quá trình phân tích. Một phòng thí nghiệm QA/QC cần đo các nguyên tố giống nhau trong một vài mẫu mỗi ngày thường chọn GFAAS. Tuy nhiên, nếu phòng thí nghiệm đang mở rộng và cần đảm bảo có thể xử lý khối lượng mẫu lớn hơn trong tương lai, thì bất kỳ kỹ thuật plasma cảm ứng nào cũng có thể cung cấp phạm vi bao phủ phần tử bổ sung và thông lượng mẫu cao hơn cần thiết cho quá trình phát triển.



### Ưu điểm của Lò than chì

GFAAS lý tưởng khi bạn:

- Cần định lượng ở mức vết khi mẫu và tải phần tử xấp xỉ 240 phép đo mỗi ngày (ví dụ: bốn phần tử trong.
- 60 mẫu). Điều này giả định ba lần lặp lại cho mỗi phép đo.
- Chỉ cần đo một vài phần tử.
- Có khối lượng mẫu rất nhỏ.
- Biết phạm vi nồng độ gần đúng của chất phân tích và nồng độ sẽ không thay đổi đáng kể từ mẫu này sang mẫu khác.
- Có ngân sách nhỏ và bạn muốn giảm thiểu cả giá thiết bị và chi phí vận hành.



### Ưu điểm của ICP-MS

ICP-MS lý tưởng khi bạn:

- Cần phân tích nhiều nguyên tố ở mức dưới 10 ppb hoặc bạn có thể cần hiệu suất này trong tương lai (ví dụ như do thay đổi về quy định)
- Cần kết hợp giới hạn phát hiện thấp, phân tích nhiều nguyên tố và thông lượng mẫu cao
- Phân tích các nguyên tố bao gồm một số nguyên tố chỉ có thể đo được bằng ICP-MS (như Br hoặc I)
- Cần kết hợp phân tích nguyên tố với các kỹ thuật khác như sắc ký lỏng hoặc sắc ký khí để phân tách sắc ký hoặc phá hủy bằng laser (LA) để lấy mẫu rắn trực tiếp.



### Ưu điểm của ICP-OES

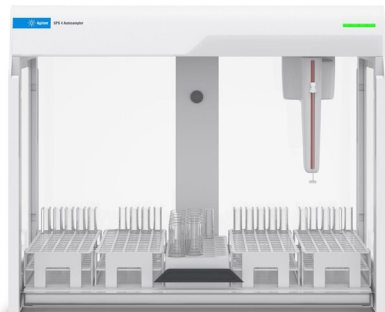
ICP-OES lý tưởng khi bạn

- Luôn đo tất cả các chất phân tích ở mức ppb cao hoặc cao hơn.
- Có thể có sự gia tăng lớn về số lượng mẫu (hơn 1200 mẫu mỗi ngày). Trong những tình huống này, bạn sẽ cần tốc độ của ICP-OES, mất chưa đầy một phút để đo nồng độ của tối đa 74 nguyên tố trong một mẫu
- Cần đo các mẫu có mức phần trăm tổng chất rắn hòa tan (TDS) hoặc chất rắn lơ lửng rất cao. ICP-MS có thể đo các mẫu này, nhưng sẽ dễ dàng hơn nếu chạy chúng thường xuyên trên ICP-OES

# Các tùy chọn khác bạn có thể cần

## Các thành phần khác bạn có thể cần

Ngoài dụng cụ, bạn có thể cần các phụ kiện giúp tăng năng suất hoặc độ nhạy. Ngoài ra còn có các phụ kiện giúp đo các loại mẫu cụ thể hoặc các thành phần cụ thể.



### Lấy mẫu tự động

Máy lấy mẫu tự động cho phép thiết bị đo một lô mẫu khi không có người giám sát. Đầu dò của máy lấy mẫu tự động sẽ lần lượt kéo mẫu từ mỗi ống, rửa sạch giữa các lần. Máy lấy mẫu tự động được khuyến nghị nếu bạn có lô mẫu lớn hơn 100 mẫu hoặc các nhà phân tích được yêu cầu quản lý nhiều thiết bị



### Các bơm nạp mẫu

Một phụ kiện cho AA ngọn lửa, Hệ thống bơm đưa mẫu Agilent (SIPS) tự động chuẩn bị chuẩn, pha loãng mẫu và thêm các dung dịch khác vào mỗi mẫu như chất điều chỉnh và chuẩn nội bộ. Một phụ kiện SIPS là lý tưởng nếu bạn muốn giảm các tác vụ chuẩn bị mẫu thủ công, mất nhiều thời gian và gây ra lỗi.



### Các van chuyển dòng

Van chuyển dòng làm tăng năng suất và giảm lượng khí tiêu thụ trên các thiết bị ICP-OES hoặc ICP-MS. Các van hoạt động bằng cách nạp trước mẫu tiếp theo vào van trong khi thiết bị đang đo mẫu trước đó. Nên sử dụng van chuyển dòng nếu bạn thường xuyên đo số lượng mẫu lớn. Chi phí đầu tư van sẽ được thu hồi lại bằng chính lượng Argon tiết kiệm được do giảm lượng tiêu thụ so cấu hình thông thường.



### Bộ tạo hydrua

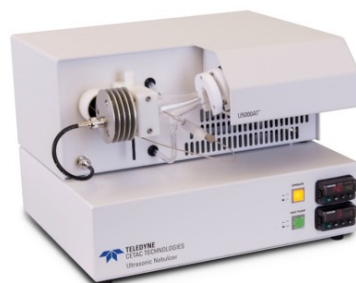
Phụ kiện tạo hydrua có thể được sử dụng với hầu hết các kỹ thuật quang phổ nguyên tử để đo thủy ngân và các nguyên tố tạo hydrua (như As, Bi, Ge, Pb, Sb, Se, Sn và Te) ở mức ppb. Phụ kiện này kiểm soát phản ứng hóa học cần thiết để tạo hydrua.

Trên các thiết bị Agilent ICP-OES và MP-AES, bạn có thể sử dụng Hệ thống đưa mẫu đa chế độ (MSIS) để nhanh chóng chuyển đổi giữa chế độ tạo hơi và chế độ phun sương tiêu chuẩn mà không cần phải thay đổi bất kỳ phần cứng nào.



### **Buồng phun điều khiển nhiệt độ**

Buồng phun có điều khiển nhiệt độ, như Agilent IsoMist, được khuyến nghị khi đo các mẫu dầu nhớt hoặc các mẫu có chứa dung môi hữu cơ dễ bay hơi. Lưu ý rằng buồng phun có điều khiển nhiệt độ là tiêu chuẩn trên tất cả các thiết bị ICP-MS và ICP-QQQ.



### **Đầu phun siêu âm**

Đầu phun siêu âm (giống như máy được hiển thị ở đây từ CETAC Technologies) được sử dụng với thiết bị ICP-OES để cải thiện độ nhạy và độ ổn định của phép đo cho các ứng dụng môi trường.

# Thiết bị phổ nguyên tử của Agilent Technologies

## Giá trị của sự hiểu biết

Agilent đã tạo ra một danh mục quang phổ nguyên tử sáng tạo - bao gồm các thiết bị, vật tư tiêu hao, tiêu chuẩn, dịch vụ, phần mềm và nhiều hơn nữa - để mang lại sự tự tin cho phòng thí nghiệm của bạn, sự tự tin rằng bạn sẽ nhận được câu trả lời bạn cần, khi bạn cần. Phạm vi thiết bị của chúng tôi bao gồm :



[AAS Ngọn lửa và Lò than chì](#)



[MP-AES](#)



[ICP-OES](#)



[ICP-MS](#)



[ICP-QQQ](#)

## Agilent CrossLab: Những hiểu biết sâu sắc và kết quả thực tế

CrossLab không chỉ cung cấp các thiết bị đo mà còn mang đến dịch vụ, vật tư tiêu hao và quản lý tài nguyên cho toàn bộ phòng thí nghiệm. Điều này giúp phòng thí nghiệm của bạn nâng cao hiệu suất, tối ưu hóa quy trình làm việc, kéo dài thời gian hoạt động của thiết bị, đồng thời phát triển kỹ năng cho người sử dụng vv...

Tìm hiểu thêm:

CÔNG TY TNHH SAO ĐỎ VIỆT NAM  
CHI NHÁNH CMS (REDSTAR-CMS)

Hotline: +84986 712 712

Email: [info@redstar-cms.vn](mailto:info@redstar-cms.vn)

Website: [www.redstar-cms.vn](http://www.redstar-cms.vn)

### CHI NHÁNH HÀ NỘI

Tầng 3, tòa nhà Hà Nội Paragon,  
Số 181 Trần Quốc Vượng,  
P. Dịch Vọng Hậu, Q. Cầu Giấy, TP. Hà Nội

### CHI NHÁNH HỒ CHÍ MINH

Tòa nhà Vạn Đạt, Lô II-1,  
Đường số 8, Nhóm CN 2, KCN Tân Bình,  
P. Tây Thạnh, Q. Tân Phú, TP HCM.

DE44444.6577546296

This information is subject to change without notice.