كيف تعمل الأشياء

طيف الكتلة

إعداد : د . عدلي فضل العطار

يعد جهاز طيف الكتلة من أهم أجهزة التحليل الكيميائي ، حيث يعطي معلومات ممتازة عن بنية المركبات الكيميائية ، وتقدير الأوزان الجزيئية بدقة عالية جداً ، ومن ثم استنتاج الصيغة الجزيئية ، والبنائية للمركبات .

تم استخدام جهاز طيف الكتلة لأول مرة عام ١٩٤٠م . من أجل تحليل المركبات الكيميائية ، ومنذ ذلك الوقت حتى وقتنا الحاضر تم تطوير الجهاز لتحسين وزيادة حساسيته ودقته.

تطبيقات الجهاز

يستخدم الجهاز في الكيمياء التحليلية ، والحيوية ، والعضوية ، وغير العضوية ، ويعد مهماً جداً في التحليل الكيفي للمركبات العضوية ، والعضو معدنية (التي تحتوي على معادن) ، كما يستخدم في المركبات الأيونية لتقدير العناصر الفلزية واللافلزية ، وكذلك في تحليل السبائك خاصة عند اقتران جهاز طيف الكتلة مع جهاز ازدواج البلازما الحاث (ICP) الذي يستخدم في التحليل الكيفي ، والكمي .

وبصورة عامة يمكن استخدام الجهاز في تحليل جميع المركبات القابلة للتطاير ، ومعظم المركبات غير القابلة للتطاير التي يتراوح وزنها الجزيئي من ٢٠ إلى ١٠٠٠ وحدة وزنية جزيئية ، كما يمكن الحصول على معلومات جيدة عن الجزئيات الكبيرة التي يصل وزنها الجزيئي إلى حوالي عشرة آلاف وحدة وزنية جزيئية .

أجزاء الجهاز

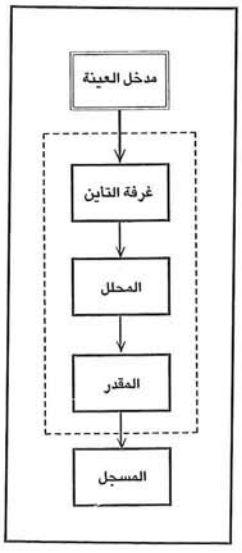
يتألف جهاز طيف الكتلة ، شكل (١) من أجزاء داخل غرفة التفريغ (Vaccum Chamber Room) هي غرفة التأين والمحلل ، والمقدر ، وأجزاء خارجها هي مدخل العينة (مقدمة الجهاز) ، والمسجل (مؤخرة الجهاز) ، ويمكن تفصيل تلك الأجزاء في مايلي :

١ ـ مدخل العينة

مدخل العينة (Sample Inlet System) مكان لإدخال العينة سواء كان في "أجهزة الكروماتوجرافيا الغازية (GLC) " أو "ذات الأداء العالي (HPLC) "، ويتم فيه تحويل المادة المراد تحليلها إلى الحالة الغازية بوساطة التسخين اعتماداً على طبيعتها ، فإن كانت قابلة للتطاير فإنها تسخن من ٢٠٠ إلى ٣٠٠°م ، أما إن كانت غير قابلة للتطاير فإنها تسخن إلى درجة ٤٠٠°م.

٢ ـ غرفة التأين

غرفة التأين (Ionization Chamber) مكان يحدث فيها تأين العينة بإمرار شعاع من الإلكترونات بطاقة قدرها ٥٠ إلى ٧٠ إلكترون فولت ، تكفي لتأينها وتكسرها إلى قطع صغيرة (Fragments) شظايا الأيون الجزيئي (Molecular ion) الذي ينتج عن تأين الجزيء الأم .



● شكل (١)

٣ ـ المحلل

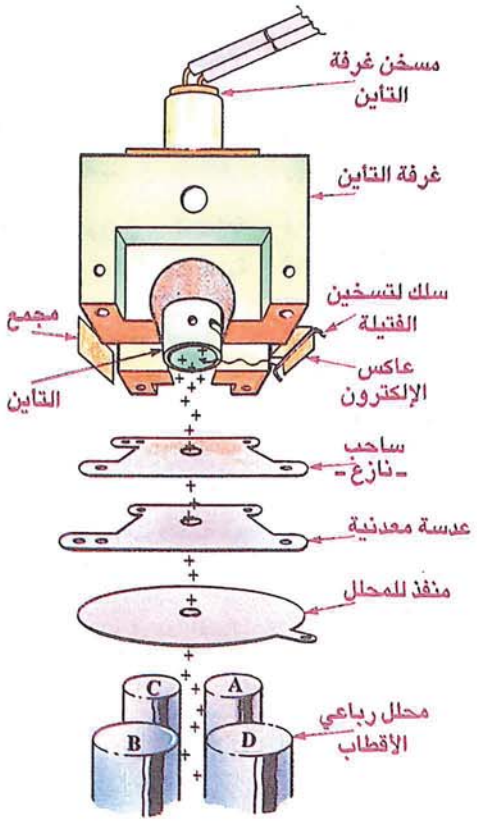
المحلل (Analyzer) عبارة عن غرفة تندفع إليها الإلكترونات من غرفة التأين حيث يحدث فصل ، وتصنيف الأيونات الناتجة تبعاً للعلاقة النسبية بين كتلتها وشحنتها الكهربية(M / e) .

من أنواع المحلل الأكثر استخداماً "رباعي الأقطاب (Quadrupole) " ويتكون من أقطاب معدنية من الفولاذ توضع بشكل رباعي بحيث تكون شحنتها متساوية ولكل قطبين متقابلين شحنة موجبة (A , B)أو سالبة(C, D) ، شكل (٢) ، تتصل الأقطاب بمصدر كهربائي آخر بذبذبات الراديو .

٤ ـ المقدر

المقدر (Detector) غرفة تقدير كهربائي تحوى مضخم إلكتروني (Electron Multiplier) لتقوية الإشارات الكهربائية الناتجة من المحلل ، وتسجيلها كأطياف.

ومما يجدر ذكره أن الأجهزة القديمة كانت تستخدم صفيحة تصوير



● شكل (٢)

فوتوغرافية تتعامد مع مستوى الأيونات لتصويرها على شكل حزم ضيقة حيث تمثل كثافة هذه الحزمة عدد الأيونات التي تصل إلى الصفيحة ، ومن ذلك اشتق اسم " جهاز طيف الكتلة (Spectrograph) " ومازال الاسم شائعاً له في الوقت الحاضر رغم تغير طريقة التقدير إلى طريقة التقدير الكهربائي.

٥ ـ المسجل

المسجل (Recorder) جهاز لتوضيح النتائج على شكل خطوط طيفية متمايزة للأيونات المختلفة على ورقة التسجيل ، ويوضح شكل (٣) مثالاً لتسجيل نتائج طيف الكتلة للأكتان النظامي حيث يكون طيف الأيون الأم ١١٤ ، كما تشاهد خطوط طيف رئيسة (٩٩ ، ٨٥ ، ٧١ ، ٤٣ ، ٢٩ ، ١٥) ، يكون الفرق بين كل خط طيف والطيف الذي يليه ١٤ ، ويمثل ذلك الفرق الأيون (CH_2) الذي يبلغ وزنه الجزيئي ١٤، ومن ذلك يُستنتج أن المركب اليفاتي يحتوي على هيدروجين وكربون فقط.

كيفية عمل الجهاز

عند وصول المادة الكيميائية إلى غرفة التأين نتيجة تسليط شعاع من الإلكترونات تتراوح طاقته من ١٠ إلى ١٥ إلكترون فولت تفقد الجزيئات العضوية إلكتروناً واحداً ، ويتكون بالتالي الأيون الجزيئي ، ويسمى الأيون الأم (M^+) ، ويمكن ملاحظة ذلك من الطيف والعلاقة بين (M / e) لإعطاء الوزن الجزيئي الدقيق ، وليس التقريبي .

ومما يجدر ذكره أن حوالي ٩٠٪ من المركبات الكيميائية تعطي الجزئي الأم.

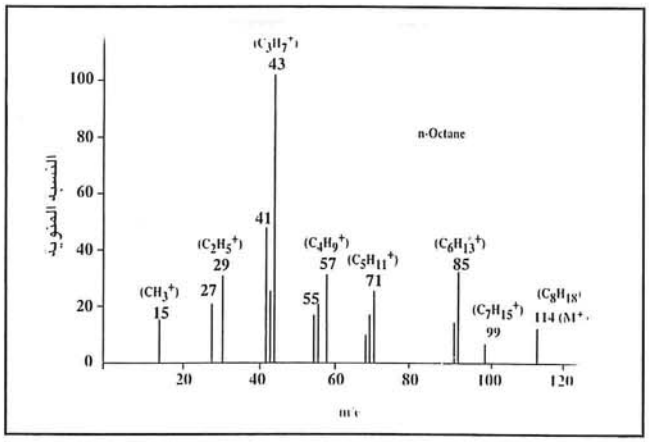
عندما تزداد الطاقة إلى حوالي ٧٠ إلكترون فولت تبدأ الأيونات الجزيئية في التفكك إلى شظايا مختلفة ، ذات خطوط طيفية ، تمثل كتلاً لها علاقة بكتلة الأيون الأم ، ومن هذه المعلومات يمكن معرفة الصيغة الجزيئية للمركب المراد تحليله .

طرق التحليل الطيفي

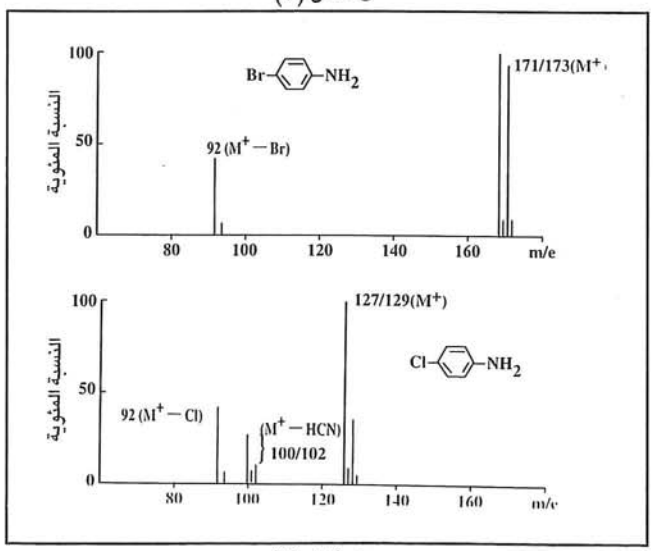
يمتاز جهاز طيف الكتلة بالقدرة على تسجيل الأيونات التى تنشأ من الجزىء المحتوى على نظير ، أو أكثر من النظائر الثقيلة للذرات المكونة لهذا الجزىء ـ شكل (٤) ـ لتظهر خطوط طيفية لها علاقة (M/e) مطابقة للأيون الأم (M^+) والأيون الأم (M^{+2}) .

يحتوي الجدول (١) بعض العناصر التي قد توجد في المركبات العضوية ، ويلاحظ أن بعض العناصر لها نظير واحد فقط ، والبعض الآخر له أكثر من نظير ، ويوضح الجدول أن أكثر هذه النظائر وفرة في الطبيعة أخفها كتلة ، ولهذا فالجزىء الأم يتألف من أكثر النظائر وفرة.

عند تحليل مركب عضوي مثلاً ينشأ في طيف الكتلة العديد من الخطوط الطيفية يمثل كل منها شظية خاصة ؛ تختلف في كثافتها النسبية وفقاً لوفرتها ، ويسمى الخط الطيفي الأكثر كثافة في الطيف " بالخط الطيفي الأساس " وتكون نسبته ١٠٠٪ ، وإليه تنسب كثافة الخطوط الطيفية الأخرى الموجودة بالطيف ، وتعرف هذه " بالخطوط السائدة " التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار في تفسير النتائج . ويلاحظ كذلك أن كل خط طيفي محاط بخطوط طيفية أخرى أقل كثافة ، ويوضح الجدول (١) نسبة خط الطيف لمعظم النظائر الأكثر شيوعاً في المركبات الكيميائية، وبصورة عامة تكون نسبة كثافة طيف النظير الأقل كتلة حوالي ١٠٠ ٪ ، بينما تقل كثافة طيف النظير الأكثر كتلة ، ومن أمثلة ذلك : تبلغ كثافة الكلور ٣٥ حوالي ١٠٠٪ ، بينما تبلغ كثافة الكلور ٣٧ حوالي٣٣٪ ، شكل (٤).



● شكل (٣)



● شكل (٤)

العنصر	الكتلة	الوفرة الطبيعية (٪)	نسبة خط الطيف (٪)
الهيدروجين ^{1}H	١,٠٠٧٨٣	٩٩,٩٨٥	١٠٠,٠٠٠
^{2}H	٢,٠١٤١٠	٠,٠١٥	٠,٠١٦
الكربون ^{12}C	١٢,٠٠٠٠٠	٩٨,٩٠٠	١٠٠,٠٠٠
^{13}C	١٣,٠٠٣٣٥	١,١٠٠	١,٠٨٠
النيتروجين ^{14}N	١٤,٠٠٣٠٧	٩٩,٦٤٠	١٠٠,٠٠٠
^{15}N	١٥,٠٠٠١١	٠,٣٦٠	٠,٣٦٠
الفلور ^{19}F	١٨,٩٩٨٤١	١٠٠,٠٠٠	١٠٠,٠٠٠
الفوسفور ^{31}P	٣٠,٩٧٣٧٦	١٠٠,٠٠٠	١٠٠,٠٠٠
الكلور ^{35}Cl	٣٤,٩٦٨٨٥	٧٥,٨٠٠	١٠٠,٠٠٠
^{37}Cl	٣٦,٩٦٥٨٩	٢٤,٢٠٠	٣٢,٧٠٠
البروم ^{79}Br	٧٨,٩١٨٣٥	٥٠,٥٠٠	١٠٠,٠٠٠
^{81}Br	٨٠,٩١٦٣٤	٤٩,٥٠٠	٩٧,٥٠٠

● جدول (١) نسبة بعض نظائر العناصر في الطبيعة وكتلتها ونسبة خطوط الطيف