

علم الحركة الكيميائية

بوعلام بلعدي¹، سيد علي ريان¹، بوبكر ناجي¹

¹أستاذ بقسم الكيمياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

sidali.rayane@g.ens-kouba.dz

1. مقدمة: مبادئ علم الحركة

نتناول في هذه المقدمة مبادئ أساسية في علم الحركة الكيميائية، والمقصود بها هنا المنطلقات التي ينبغي لكل شارح في طلب أي علم أو فن أن يبدأ بها، كما تؤكد على ذلك كتب التعليم والتعلم التراثية باللغة العربية. وفي هذا الصدد، يشير الماوردي في كتابه أدب الدين والدنيا إلى ما يلي: "...واعلم أن للعلوم أوائل تؤدي إلى أواخرها، ومداخل تفضي إلى حقائقها، فليبتدئ طالب العلم بأوائلها لينتهي إلى أواخرها، وبمداخلها ليفضي إلى حقائقها، ولا يطلب الآخر قبل الأول، ولا الحقيقة قبل المدخل، فلا يدخل الآخر ولا يعرف الحقيقة، لأن البناء على غير أسس لا يبني والثمر من غير غرس لا يُجنى" [2]. ومن هذه المبادئ نتناول اسم الفن وموضوعه وتعريفه والفائدة أو الغاية منه.

1.1. الاسم

يُسمى هذا الفرع من العلوم في اللغتين الأعجميتين الفرنسية والإنكليزية: Chemical و Cinétique chimique و kinetics. واختارنا اسم الحركة الكيميائية لنقل هذا الاسم إلى اللغة العربية، لكون مفهوم الحركة حسب التعريف الفلسفي يشمل موضوع هذا الفرع من علم الكيمياء، وهو الحركة في الكيف. وقد عرّف الجرجاني الحركة في كتابه التعريفات بأنها: "انتقال الجسم من كيفية إلى أخرى" [1]. ويقول عنها أبو حامد الغزالي: "كل تغير عندهم يسمى حركة وهي مرتبطة بالزمان". ويقصد "بعندهم"، الفلاسفة. وبذلك عرّف الزمان بأنه: "مقدار الحركة" [4]. وعرّف الجرجاني الزمان في التعريفات بما يلي: "عبارة عن متجدد معلوم يقدر به متجدد آخر موهوم، كما أقول آتيك عند طلوع الشمس، فإن طلوع الشمس معلوم ومجيئه موهوم".

أما مصطلح التغير الذي ورد في تعريف الغزالي للحركة فقد وردت له التعريفات التالية: "هو انتقال الشيء من حالة إلى حالة أخرى" [1]، و"هو تحول صفة أو أكثر من صفات الشيء، أو حلول صفة محل أخرى، وهو أنواع: تغير في الكيف ويسمى الاستحالة، أو في الكم بالزيادة والنقص، أو في المكان ويسمى الانتقال. أما التغير في الجوهر فهو تغير بالكون أو بالفساد" [4].

وبالرجوع إلى كتب الحدود الفلسفية العربية لمحاولة وجود مصطلح مكافئ لما يعرف حاليًا بالتحول الكيميائي، أو الظاهرة الكيميائية، أو التفاعل الكيميائي، وبالتدقيق في تعريف بعض المصطلحات، ومنها نوعي التغير في الجوهر وهو تغير بالكون أو الفساد، وفي مصطلح المزاج الذي كان يستعمل في الكتب العلمية التراثية باللغة العربية. فعند الجرجاني في التعريفات، يُعرّف الكون بأنه: "اسم لما حدث دفعة واحدة، كانقلاب الهواء ماء، فإن الصورة الهوائية كانت ماء بالقوة فخرجت منها إلى الفعل دفعة، فإذا كان على التدرج فهو الحركة". وهو: "حصول الصورة في المادة بعد أن لم تكن حاصلة فيها". أما الفساد فهو: "زوال الصورة عن المادة بعد أن كانت حاصلة ويقابل الكون". والمزاج هو: "كيفية مشابهة تحصل عن تفاعل عناصر منافرة لأجزاء مماسة، بحيث تكسر سورة كل منها سورة كيفية الآخر" [1].

2.1. الموضوع

أما موضوع علم الحركة الكيميائية فهو التفاعل الكيميائي (Chemical reaction). أي ينظر في عملية تغير (تحول) مواد إلى مواد أخرى، وهي تتم في الزمن حسب آلية محددة [8].

3.1. التعريف

عُرف علم الحركة في أحد الكتب المتخصصة كالتالي:

"La cinétique chimique est l'étude de la réaction chimique, de son mécanisme et des lois présidant à son déroulement" [8].

فعلم الحركة الكيميائية يدرس سرعة التفاعلات الكيميائية، أي تغير تركيز النواتج والمتفاعلات بدلالة الزمن، وآليتها، أي الطريق أو المراحل التي يتم بها التفاعل.

4.1. مكانة علم الحركة الكيميائية والتفاعل الكيميائي في علم الكيمياء والعلوم الأخرى [5] [7]

يصنّف علم الحركة الكيميائية كتخصص في الكيمياء أو أحد فنونها ضمن أحد فروعها المسمى بالكيمياء الفيزيائية. والكيمياء الفيزيائية فرع له أهمية كبرى بين الفروع العلمية الأخرى، سواء كانت نظرية أم تطبيقية، وتدرس الكيمياء الفيزيائية بصورة رئيسة نوعين من المسائل:

- دراسة خواص وبنية مختلف المواد من حيث تركيبها الكيميائي.
 - دراسة التفاعلات الكيميائية والأشكال الأخرى للأفعال المتبادلة بين المواد أو الدقائق (السرعة، الآلية والمقادير الترموديناميكية) بدلالة تركيبها وبنيتها الكيميائية، والظروف التي تحصل فيها، إلخ.
- تقسّم الكيمياء الفيزيائية إلى عدة أقسام أساسية مترابطة فيما بينها نذكر منها:
- بنية المادة (Structure de la matière): يدرس في هذا القسم تركيب الذرات والجزيئات وحالات تجمعها.
 - الترموديناميك الكيميائي (Thermodynamique chimique): يدرس العلاقات الأساسية الناتجة عن مبادئ الترموديناميك وتطبيقها في دراسة العمليات الكيميائية والعمليات الفيزيائية-الكيميائية أي التفاعلات الكيميائية المصحوبة بتحويلات فيزيائية.
 - دراسة المحاليل (Les solutions): من ناحية طبيعتها وبنيتها الداخلية وخواصها الرئيسية.
 - الكيمياء الكهربائية (Électrochimie): تدرس بعض خواص المحاليل الكهربية والتفاعلات التي تصحب بانتقال الكهرباء.
 - الحركة الكيميائية (cinétique chimique): وتدرس سرعة وآلية التفاعلات الكيميائية المتجانسة وغير المتجانسة والحفز.
- يبين التقسيم السابق أهمية ومكانة التفاعل الكيميائي في علم الكيمياء وعلاقته بفنونه الأخرى.

5.1. منهجية وطريقة الدراسات في علم الحركة الكيميائية

يهتم علم الحركة في دراسته بالخصائص الكمية للتغير الكيميائي وذلك بتطبيق الطرائق الرياضية المختلفة. كما تتم الدراسة بتطبيق طرائق ومقاربات حركية مختلفة. وهو بالإضافة إلى ارتباطه بفروع الكيمياء الفيزيائية المختلفة، فإنه يرتبط بفروع علمية أخرى من ناحية المنهج وطريقة العمل مثل: الكيمياء التحليلية (Chimie analytique)، والكيمياء

الكوانتية (Chimie quantique)، والتحليل الكيميائي العضوي وغير العضوي (Synthèse chimique organique) (et inorganique)، والفيزياء الجزيئية (Physique moléculaire)، وتحولات الحرارة والكتلة (Transfert de la chaleur et de la masse)، والفيزياء الإحصائية (Physique statistique).

1.6. الغاية والفائدة من علم الحركة الكيميائية

يمكن حصر أهداف المعارف الكيميائية، حسب التوزيع التاريخي لتطورها وحجمها من عصر الكيمياء الحرفية إلى العصر الحالي في هدف رئيسي واحد هو: "الحصول على مواد تحدد خواصها مسبقاً" وهذا يتطلب حل المسألتين التاليتين:

- معرفة طريقة إجراء التغيير الكيفي للمواد (تغيير مواد إلى مواد أخرى أو تكوين مواد).
- معرفة أصل خواص المادة (جانب نظري).

يعرف لحد الآن ملايين المركبات الكيميائية، منها حوالي 96% مركبات عضوية، تتركب من عدد محدود العناصر المعروفة (6-18) عنصرياً، و4% مركبات لا عضوية تتكون من 95-99 عنصرياً.

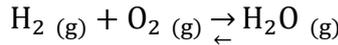
للحصول على المركبات المطلوبة، يقوم الباحث عادة بدراسة نظرية يكون الغرض منها البحث عن السبل والطرائق التي تمكنه من التحكم في تفسير وتوجيه خواص المواد إلى الحالة المطلوبة. وهذا يبين الدور الهام لعلم الكيمياء بصفة عامة وعلم التفاعل الكيميائي خاصة، الذي يتلخص في إنتاج مواد جديدة أو بديلة، وإنتاج معارف كيميائية. يمكن أن نقدم مثلاً عن الجانب التطبيقي، وهو يتعلق بصناعة بعض المواد المستعملة في الحياة العامة: في سنة 1960 أمكن الحصول على مواد غازية نفطية ومواد بديلة عن المواد الطبيعية بالنسب التالوية: الكحول التقني 100%، مواد التنظيف 80%، الأصباغ 90%، خيوط النسيج 35%، المطاط 65%، الجلود 20%. أما في سنة 1935، فكانت المواد تستخلص بنسبة 100% من مواد غذائية حيوانية ونباتية [6]. وهذا يبرز الدور الأساسي لعلم الحركة الكيميائية في تطوير علم الكيمياء وتطبيقاته الاقتصادية.

2. مفاهيم أساسية في علم الحركة الكيميائية (تعريفات)

نعرض في هذا الجزء تعريفات المفاهيم الأساسية التي تبني منها مبادئ وقواعد ومسائل علم الحركة الكيميائية وهي:

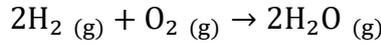
1.2. خطاطة التفاعل ومعادلة التفاعل

نظراً للبس الذي يوجد عند الكثير، نحاول، في البداية، توضيح الفرق بين خطاطة التفاعل (Schéma réactionnel) ومعادلة التفاعل الكيميائي (équation de la réaction chimique). اصطلاح على تمثيل التفاعل الكيميائي بخطاطة للتفاعل، نستخدم فيه رموز مواد التفاعل وإشارات مصطلح علمها تمثل بعض خصائص الظاهرة الكيميائية، وهو يعبر عن الخصائص الكيفية للتفاعل ومواده. تتحول هذه الخطاطة إلى معادلة تفاعل عندما تضبط المعاملات الكمية للخطاطة لتحقيق خاصية تساوي عدد ذرات مواد التفاعل وعدد شحنات الشوارد في طرفي الخطاطة للتعبير عن قانوني انحفاظ الكتلة والشحنة، وهو ما يعبر عنه خطأً بموازنة المعادلة، والصحيح هو موازنة خطاطة التفاعل لتتحول إلى معادلة للتفاعل. وتتحقق في حالة معادلة التفاعل قوانين التفاعلات الكيميائية المختلفة، وهي: قانون حفظ الكتلة للافوازييه (Lavoisier) 1755، وقانون النسب الثابتة لبروست (Proust) 1799، وقانون النسب المتعددة لدالتون (Dalton) 1809، وقانون المكافئات لريشتر (Richter) 1792-1800، وقانون النسب بين أحجام الغازات المتفاعلة لغي لوساك (Gay-Lussac) 1823. وبذلك فإن المعادلة تعبر عن الخصائص الكيفية والكمية للتفاعل [8]. فمثلاً يمكن كتابة خطاطة تفاعل غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين لإنتاج الماء في الحالة الغازية كالآتي:

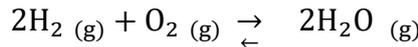


حيث نلاحظ عدم تساوي عدد ذرات الأكسجين في الطرفين. وحسب قواعد الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) يصطلح على كتابة معادلة تفاعل غاز الأكسجين وغاز الهيدروجين لإنتاج الماء الغازي في الظروف المختلفة كالتالي:

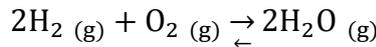
• عند التعبير عن التفاعل المباشر: أي من المتفاعلات إلى النواتج:



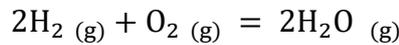
• عند التعبير عن التفاعل في الاتجاهين أي المباشر والعكسي:



• عند التعبير عن التفاعل في حالة التوازن: وهي حالة تكون فيها قيم تراكيز مواد التفاعل ثابتة بالرغم من تقدم التفاعل في الاتجاهين:



• عند التعبير عن بعض العلاقات الكمية والكيفية بين النواتج والمتفاعلات كما في حالة تطبيق قانون حفظ الكتلة أو قانون حفظ الشحنة وغيرها:



وتكتب المعادلة الكيميائية بالشكل العام التالي:

$$\sum_{i=1}^l \gamma_i A_i \rightleftharpoons \sum_{j=1}^m \gamma_j B_j$$

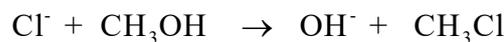
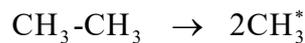
A_i : الرمز الكيميائي للمتفاعل i . B_j : الرمز الكيميائي للمتفاعل j .

γ_i : المعامل الستوكيومترى للمتفاعل i . γ_j : المعامل الستوكيومترى للمتفاعل j [6].

من الضروري أحياناً أن نوضح الحالة الفيزيائية للمواد المتفاعلة والمواد الناتجة في المعادلة الكيميائية، حيث يرمز إلى المادة الموجودة في الحالة الصلبة (Solide) بالرمز (s) أو (↓)، وفي الحالة السائلة (Liquide) بالرمز (l)، وفي الحالة الغازية (Gas) بالرمز (g) أو (↑). أما المواد المنحلة في الماء أي الموجودة في المحلول المائي (Aqueux) فيرمز إليها بالرمز (aq). وفي بعض الأحيان توضع رموز فوق سهم المعادلة لتدل على ظروف التفاعل. فمثلاً، إذا كان التفاعل يتم تحت درجة حرارة عالية فإنه يستخدم الرمز (Δ) ليدل على التسخين، وقد تكتب درجة الحرارة عوضاً عن الرمز (Δ) فوق السهم. وإذا استعمل حافز في التفاعل فإن صيغته تكتب فوق السهم [3].

2.2. التفاعل الأولي

التفاعل الأولي (Acte chimique élémentaire, Réaction (stade) élémentaire) هو تغير دقيقة أو عدة دقائق من الجزيئات أو الجذور أو الشوارد إلى دقائق أخرى (أي نوع آخر) في زمن من مرتبة 10⁻¹⁰-13 ثانية. على أن تكون الدقائق المتفاعلة متلامسة. ويعبر عن التفاعل الأولي بمعادلة كالاتي [8]:



3.2. آلية التفاعل الكيميائي

آلية التفاعل الكيميائي (Mécánisme de la réaction chimique) هي الطريق الذي تسلكه مواد التفاعل من الحالة الابتدائية إلى الحالة النهائية مرورًا بالحالات الوسيطة، أي تختفي وتشكل خلاله المواد المتفاعلة والمواد الوسيطة وتتكون النواتج النهائية. فالآلية هي مجموعة المراحل الأولية، أي التفاعلات الأولية التي تمثل تغير المواد المتفاعلة إلى مواد ناتجة.

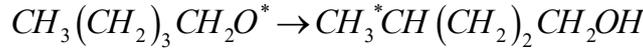
- **خطاظة حركة التفاعل** (Schéma de la cinétique de la réaction): هي مجموعة معادلات التفاعلات الأولية المقترحة التي تعبر عن التفاعل العام.
- **التفاعل البسيط** (Réaction simple) و**التفاعل المعقد** (Réaction complexe): التفاعل البسيط يتم وفق نفس التفاعلات الأولية، أي مراحل وحيدة نعبر عنها بمعادلات بسيطة (مثل التفاعل الأولي). أما التفاعل المعقد فيتم وفق أنواع مختلفة من التفاعلات الأولية، تتكون عادة أثناء التفاعلات المعقدة مواد وسيطة تخضع لتغيرات. ويمكن اختصار الفرق بين التفاعلات البسيطة والتفاعلات المعقدة في الخصائص الحركية التالية [7]:

التفاعل البسيط	التفاعل المعقد
1- تركيب نواتج التفاعل بسيط، ولا يعتمد على ظروف تقدمه (درجة الحرارة، التركيز الابتدائي، إلخ).	1- يمكن أن يتغير تركيب النواتج بدلالة تغير ظروف التفاعل (درجة الحرارة، التركيز الابتدائي، زمن التفاعل، إلخ).
2- رتبة التفاعل تساوي عددًا تامًا $n=1,2,3$.	2- رتبة التفاعل يمكن أن تساوي عددًا تامًا $n=1,2,3$ ، أو كسريًا (غير تام).
3- المعاملات الكمية (الستكيومترية) تكون دومًا مساوية لقيم الرتبة.	3- قيم المعاملات الكمية وقيم الرتبة يمكن أن تكون مختلفة.
4- إضافة مواد لا تؤدي إلى تغيير خصائص الوسط (الضغط P ، ثابت العزل الكهربائي، القوة الشاردية) ولا يؤدي إلى تغيير سرعة التفاعل.	4- إضافة كمية قليلة من المركبات يمكن أن تسرع (حوافز، مساعدة على بدء)، أو تثبط (مثبطات) تقدم التفاعل.
5- سرعة التفاعل لا تتعلق بأبعاد ومادة إناء التفاعل.	5- مادة وأبعاد الإناء يمكن أن تؤثر على سرعة التفاعل (الحفز، مساعد على البدء، بداية وكسر الربط على جدار الإناء).
6- قيمة طاقة التنشيط دومًا موجبة $E \geq 0$ (الاستثناء في حالة التفاعلات الثلاثية الجزيئات السريعة).	6- طاقة التنشيط يمكن أن تكون موجبة أو ناقصة أو متغيرة (عند تغير قيم درجة الحرارة في مجال كبير).
7- عند تغير ظروف حدوث التفاعل مثل الضغط والتركيز ودرجة الحرارة، تتغير سرعة التفاعل تغيرًا طفيفًا (تناسب مع x^n حيث x هو العامل المتغير، مقدار n صغير مثل 1، 2، 3).	7- في بعض الحالات مثل: التفاعلات المتسلسلة وتفاعلات الحفز الذاتي (Autocatalyse) والتفاعلات اللاإيزوترمية، يلاحظ ظاهرة حرجة، حينما يؤدي التغير الصغير في الظروف التجريبية إلى تغير كبير في سرعة التفاعل (إلى عدد من المرتبات). إما تحدث عملية انفجار في التفاعل أو بالعكس يتوقف التفاعل.

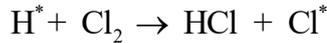
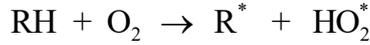
- **مركز نشاط التفاعل الكيميائي** (Centre actif d'une réaction chimique): هو ناتج وسطي غير مستقر في التفاعل المعقد، يشارك في تغيير متفاعلات أو نواتج وسيطة.
- **التفاعل الكيميائي المتجانس** (Réaction chimique homogène): يتم التفاعل في طور واحد.
- **التفاعل الكيميائي غير المتجانس** (Réaction chimique hétérogène): يتم التفاعل في الحد الفاصل بين طورين.

- **تفاعل أحادي الجزيء** (Réaction monomoléculaire): تفاعل بسيط، وهو تفاعل أولي لدقيقة واحدة.

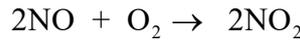
مثال:



- **تفاعل ثنائي الجزيء** (Réaction bimoléculaire): تفاعل بسيط، وهو تفاعل أولي لدقيقتين. مثال:



- **تفاعل ثلاثي الجزيء** (Réaction trimoléculaire): تفاعل بسيط، وهو تفاعل أولي يتم بين ثلاث دقائق. مثال:



- **الحافز** (Catalyseur): مادة دورها المساعدة على بداية أو تسريع التفاعل الكيميائي. لا يستهلك الحافز في التفاعل الذي يحفزه، يمكن أن يستهلك أو يفقد نشاطه نتيجة تفاعلات أو عمليات أخرى.

- **المثبط** (Inhibiteur): مادة مثبطة ومعرقلة لسير التفاعل. في الحالة العادية يكون تركيزه أقل بكثير من تركيز المتفاعلات، وسرعة زواله أقل بكثير من سرعة التفاعل.

- **جملة متفاعلة مغلقة** (Système fermé): في علم الحركة هي نظام من المواد المتفاعلة لا تتبادل المادة مع المحيط، ويحدث تبادل في الطاقة بين النظام والمحيط.

- **جملة متفاعلة مفتوحة** (Système ouvert): هي نظام من المواد المتفاعلة تتبادل المادة والطاقة مع المحيط.

المراجع

- [1] الجرجاني، الشريف علي بن محمد، معجم التعريفات، دار الفضيلة، القاهرة، 2004.
- [2] الحسن، عبد الله يوسف، ربانية التعليم، دار البشير للثقافة والعلوم، طنطا، 1997.
- [3] الزامل، إبراهيم، وآخرون، التفاعلات الكيميائية: الكتاب المرجع، المنظمة العربية للثقافة والعلوم والثقافة، تونس، 1987.
- [4] مجمع اللغة العربية مصر، المعجم الفلسفي، الهيئة العامة لشؤون المطابع الأميرية، القاهرة، 1983.
- [5] ناجي، بوبكر، الحركة الكيميائية، دروس مقدمة للسنة النظرية في ماجستير الدراسة الفيزيائية والكيميائية للعمليات البيئية (غير منشورة)، المدرسة العليا للأساتذة، القبة.
- [6] ناجي، بوبكر، معادلة التفاعل الكيميائي، ملتقى وطني حول العلوم الفيزيائية (16-18) ديسمبر 1995، مركز تكوين الإطارات التربوية-الحراش-الجزائر، 1995.
- [7] Denisov, E.T., Cinétique des réaction chimiques homogènes (en russe), Editions Vichaya Chkola, 1978.
- [8] Emanuel, N., Knorre, D., Cinétique chimique, Traduit du russe par Anissimov, A., Editions Mir, Moscou, 1975.