

الكيمياء و الذرة

Chemistry and the Atom

١ مقدمة (Introduction)

يمكن تعريف الكيمياء على أنها دراسة طبيعة المادة (nature of matter) و تحولاتها (transformation). فنحن محاطون بالكيمياء في حياتنا اليومية: مختلف حالات المادة (different phases of matter)، نمو النباتات و الثمار (crops growth)، الطبخ (cooking). فيمكننا إعتبار الكيمياء من أقدم العلوم الإنسانية. إهتم الإنسان في البداية بالجانب العملي (practical) للكيمياء دون التفكير بالأسس النظرية (theoretical principles) لما يقوم به. لكن ما هو أول تفاعل كيميائي (chemical reaction) تحكم فيه الإنسان؟ يمكننا القول أنه النار (fire)، لكن الفائدة الكبيرة وراء التحكم في النار هو إتاحة التحكم في الكثير من التفاعلات الأخرى:

- علم المعادن (metallurgy): أدوات الزراعة (farming tools)، أسلحة (weapons)، أواني (utencils)، ... إلخ.
- إعداد مواد البناء.
- صناعة أدوات الزينة و الدباغة (dyes).

بالإضافة إلى بعض الأعمال اليومية كالطبخ (cooking) و التقطير (distillation). من الصعب تقسيم تاريخ الكيمياء حسب تطور الأفكار، لأن بعض المبادئ ظهرت إلى الوجود نتيجة لتطافر عدد منها. فعلى سبيل المثال، نظرنا إلى بنية المادة تؤثر بشكل أساسي على طريقة تفكيرنا حول التفاعلات الكيميائية و العكس صحيح. فخصائص التفاعلات الكيميائية تعمل كفحص (test) لأفكارنا حول بنية المادة. و رغم ذلك يمكننا تبني التقسيم التالي:

العناصر الأربعة (Introducing the Four Elements): كانت البدايات عبارة عن مجهود فكري (intellectual effort) بدون أي دعم من التجربة. ظهر إلى الوجود -نتيجة للحالات المختلفة للمادة- التساؤل التالي:

«هل يوجد هناك جوهر أو مركب أساسي للمادة؟»

بعد محاولات عدة لإيجاد الإجابة الصحيحة، إقترحت نظرية العناصر الأربعة.

الخيمياء (The Rize and Fall of Alchemy): ظهرت الخيمياء (Alchemy) إلى الوجود نتيجة للمزج بين نظرية العناصر الأربعة و المهارات الحرفية. كانت البدايات ذات طابع مادي: الحصول على الذهب إنطلاقاً من معدن رخيص. لكن الأمور بدأت تأخذ منحنا علمياً لما إستعمل الجانب الحرفي كوسيلة للتأكد من النظرية. زرع هذا التحول بذور إندثار الخيمياء.

الكيمياء (From the Ashes Rizes Chemistry): بعد الفشل الذريع الذي منيت به تجارب الخيمياء، كان لزاما على العلماء أن يبحثوا عن نظرية جديدة لوصف المادة و تحولاتها. أدى تضافر عدة عوامل منها:

- غربة أفكار و مبادئ الخيمياء بواسطة التجربة.
- نجاح نظرية ميكانيك الأجسام مما أدى إلى بعث النظرية الذرية (atomism) من سباتها العميق.
- كثرة المعطيات التجريبية و إستعمال القياس الكمي (quantitative measurements).
- ظهور طرق التحليل الكيميائي (chemical analysis).

إلى ظهور الكيمياء الحديثة (Modern Chemistry). دعونا نبدأ رحلتنا في أعماق التاريخ لنعايش المراحل المفصلية في تطور الكيمياء. فيما يلي قائمة لبعض المراجع التي تتحدث على الموضوع:

- <http://www.chymist.com/History%20Alchemy.pdf>
- <http://www.arvindguptatoys.com/arvindgupta/asimov-chemistry.pdf>
- <http://www.arvindguptatoys.com/arvindgupta/storyofchemistry.pdf>
- <https://archive.org/details/TheHistoricalBackgroundOfChemistry>
- <http://www.columbia.edu/itc/chemistry/chem-c2507/navbar/chemhist.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_chemistry
- https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_chemistry

وجب علينا -قبل أن نبدأ رحلتنا- أن ننبه القارئ أننا لن نتكلم عن نظريات الحضارتين الهندية و الصينية لا لشيء إلا لأن هدفنا هو ترابط تطور الأفكار.

٢ العناصر الأربعة (The four Elements)

سنتكلم فيما يلي عن واحدة من أقدم النظريات حول بنية المادة ألا و هي نظرية العناصر الأربعة. رغم أن نظرية الذرة (Atomism) قديمة قدم هذه النظرية إلا أنها لم تلعب أي دور يذكر في تطور الكيمياء حتي النهضة الأوروبية، و لهذا سترجئ الكلام عن هذه النظرية لما بعد.

كانت البداية مع إدراك الإنسان أن للمادة عدة حالات: السائلة (liquid)، الصلبة (solid)، و الغازية (gas). لاحظ الإنسان أيضا أن نفس المادة يمكن أن تكون في إحدى هذه الحالات كما أنها يمكن أن تتحول من حالة إلى أخرى. هذا أدى إلى التساؤل التالي:

« هل الأشياء التي تحيط بنا هي في الأصل جوهر واحد؟ »

“ Is what we see around us manifestations of a single reality? ”

إعتقد بعض الفلاسفة أن الجواب لهذا السؤال بالإيجاب، فكان البحث عن هذا الجوهر بداية نظرية العناصر الأربعة.

١.٢ طالس (Thales 624-527 BC):

إعتمد طالس في بحثه عن الجوهر الأساسي للمادة على الملاحظة التالية. إن كان هناك جوهر ما لكل ما يحيط بنا فيجب أن يمتلك الخواص التالية:

- يمكن أن يتواجد في أي حالة من الحالات الثلاثة للمادة.
- تنعدم الحياة في حالة إنعدامه.
- يكون المكون الأوفر في الكون.

كان الجواب الذي تحصل عليه طالس هو الماء (water) للأسباب الآتية:

- الماء يمكن أن يكون في حالته الصلبة (الجليد Ice)، السائلة (ماء water)، والغازية (بخار vapor).
- لا وجود للحياة بدون ماء.
- كان الإعتقاد السائد أيام طالس أن الأرض عبارة عن قرص يطفو على أنهار من الماء و أن القبة السماوية عبارة عن نصف كرة تغطي الأرض. فإذن الماء هو العنصر الأوفر.

كما عرف طالس الروح (soul) على أنها الشيء الذي يمتلك الحركة الأبدية (eternal motion).

٢.٢ أناكسيمندر (Anaximander 610-546 BC):

لاحظ أناكسيمندر ضعفا فيما ذهب إليه طالس، فالماء لا يمكن أن يضم كل التناقضات (opposites) الموجودة في الطبيعة. فعلى سبيل المثال يكون الماء دائما رطبا (wet) و لا يمكن أن يكون جافا (dry) أبدا. و لهذا إقترح مادة أخرى كأصل كل شيء ألا و هي أيبرون (apeiron) و التي تعني لانهائي (limitless). فهي كتلة بدائية (primordial) لانهائية و غير محدودة (limitless)، لا عمر لها (age) و لا تتلاشى (decay). تعطي مادة الأيبرون بصفة دائمة (perpetually) العناصر الأولية التي تشكل كل الأشياء المرئية. يعتقد أناكسيمندر أن الكون تكون نتيجة انفصال المتناقضات من الأيبرون.

تحتوي نظرية أناكسيمندر بذور نظرية العناصر الأربعة حسب أرسطو. فيمكن استعمال حجته ضد كون الماء العنصر الأولي الوحيد لإقترح وجود أكثر من عنصر واحد. زد على ذلك، يمكننا أن نستعمل المتناقضات (opposites) لوصف هذه العناصر.

٣.٢ أناكسيمنس الملطي (Anaximenes of Miletus 585-528 BC):

وجب مراجعة إقترح طالس مع إثبات كروية الأرض، فالماء لا يمكن أن يكون خارج الأرض. زد على ذلك، إمكانية وجود الماء في أي حالة من الحالات الثلاثة يساوي بينها، مما يجعل إختيار الحالة السائلة (lequid water) كالحالة

الأساسية إعتباطيا (arbitrary). إقترح أناكسيمنس أن الهواء (air) هو العنصر الأساسي. فهو يملأ الكون، و ينتقل بين الحالات الثلاثة عن طريق التكثيف (condensation/thickning) و التخفيف (rarefaction/thinning):

- بالتكثيف يتحول الهواء إلى ضباب (fog) فسحاب (clouds) ثم مطر (rain). إن اصلنا هذه العملية نحصل على التربة (Earth) فالصخور (stones).
- بالتخفيف يصبح الماء هواء (air) فنارا (fire).

٤.٢ هرقليلطس (Heraclitus of Ephesus 544-484 BC):

آمن هرقليلطس بمبدأ التغير الدائم (everything flows) و أن لا شيء يبقى على حاله. لكن كيف يمكن للأشياء أن تبدو لنا و كأنها لا تتغير؟ فسر هرقليلطس ذلك بأن كل شيء يتلاشى (dissolve) و يولد (be generated) آنيا و باستمرار. و لهذا فالأشياء التي تظهر لنا و كأنها مستقرة (stable)، هي في الحقيقة نتيجة إنسجام (harmony) بين عمليتي البناء (building) و الهدم (tearing down). يشرح ديوجانس اللايرتي (Diogenes Laërtius 3rd century) ذلك قائلا:

«كل شيء يأتي إلى الوجود نتيجة نزاع المتضادات، و الكل يتدفق كالنهر».

“All things come into being by conflict of opposites, and the sum of things (“the whole”) flows like a stream”.

ماذا عن المكون الأساسي للمادة؟ إعتد هرقليلطس على مبدئه كمقياس للبحث عن العنصر الأساسي فإشترط أن يكون كثير و سريع التغير. لاحظ أن النار (Fire) تستجيب لمتطلباته فاعتبرها المادة الأساسية. إعتقد هرقليلطس أن النار تصبح العناصر الأخرى عن طريق التحول (transformation) أين يستبدل عنصر بعنصر آخر:

«موت النار هو ميلاد الهواء، و موت الهواء هو ميلاد الماء».

“The death of fire is the birth of air, and the death of air is the birth of water.”

٥.٢ إيمبدوكلس (Empedocles of Agrigentum 492-432 BC):

بدأ التساؤل عن أي الآراء حول طبيعة العنصر الأساسي للمادة أصح عندما إحتكت مع بعضها البعض. لكن الإختيار لم يكن بالمهمة السهلة لأن كل رأي كان مبنيًا على معايير (criteria) معينة، و لا توجد أي وسيلة لمعرفة أي المعايير أدق. يجب علينا -في مثل هذه الحالات- مراجعة سؤالننا. من السهل أن نقنع أن السؤال الذي يجب طرحه هو:

«لماذا يجب أن يكون العنصر الأساسي وحيداً؟»

لاحظ إيمبدوكلس أنه لا يوجد أي سبب وجيه لوحداية العنصر الأساسي، فقرر أن يعامل كل العناصر: الماء (water)، الهواء (air)، و النار (fire) على قدم المساواة. كما أضاف عنصرا رابعا إلى المجموعة، ألا و هو التربة (Earth). فالأشياء التي نراها هي نتاج مزج هذه العناصر. يتحكم في تفاعل هذه العناصر مع بعضها البعض قوة جذب (attraction) و تنافر (repulsion)، و رمز لهما إيمبدوكلس بالحب و الكراهية (love and hate).

٦.٢ أرسطو (Aristotle 384-432 BC):

عندما بدأ أرسطو تفسير الظواهر الطبيعية، حاول ربط الكثير منها بجوهر الأشياء أي العناصر الأساسية. خذ على سبيل المثال سبب الحركة -القوة- التي قسمها أرسطو إلى ثلاثة أنواع:

- القوة التلقائية و هي قوة خاصة بالكائنات الحية.
- القوة الطبيعية و تتعلق بالعناصر الأربعة.
- القوة الخاجية و هي أي قوة لا تنتمي إلى الصنفين السابقين.

لكنه لاحظ أن خصائص هذه القوى لا تفسر حركة الكواكب فإقترح وجود عنصر خامس^(١) ألا و هو الأثير (Ether). إعتبر أرسطو أن الأثير هو المكون الوحيد للقبة السماوية و أجرامها. سيقصر حديثنا في بقية هذه المسودة على العناصر الأربعة متناسين الأثير لأنه ليس من العناصر الأرضية. قام أرسطو بإعطاء تفسير لكيفية تفاعل العناصر الأربعة حيث أعطاها أربعة خصائص: الرطوبة (wet)، الجفاف (dry)، البرودة (cold)، و الحرارة (hot). إقترح أرسطو أن إتحاد خاصيتين يعطينا عنصرا من العناصر الأربعة. هناك ستة احتمالات لكن أرسطو لم يسمح بإتحاد متضادين مما يخفض العدد إلى أربعة فقط. الإحتمالات الأربعة و العناصر الموافقة لها هي:

- الحرارة (hot) + الجفاف (dry) = النار (fire).
- الحرارة (hot) + الرطوبة (wet) = الهواء (air).
- البرودة (cold) + الجفاف (dry) = التربة (earth).
- البرودة (cold) + الرطوبة (wet) = الماء (water).

يجب أن ننبه القارئ إلى نقطة مهمة. يعتقد أرسطو أن تسمية العناصر الأربعة لا تعكس طبيعتها. فالعناصر الأساسية هي كائنات مثالية و التسمية التي نستعملها تعني أنها أقرب شيء إلى هذه العناصر لا أكثر ولا أقل. خذ على سبيل المثال الماء الذي نعرفه. هذا الماء يختلف عن الماء الذي هو أحد العناصر الأربعة. فالماء الذي نعرفه هو مزيج من العناصر الأربعة إلا أن عنصر الماء هو الغالب (dominant). كما إعتقد أرسطو أن خصائص العناصر (الحرارة، البرودة، الجفاف، و الرطوبة) لا يمكن إدراكها حسيًا (not perceptible) لما تمتزج العناصر الأربعة لتكون المواد. لكن يبقى التساؤل:

^(١)فكرة العنصر الخامس -الأثير- تعود لأستاذه أفلاطون (Plato).

«كيف تم إختيار الخصائص؟ و ما هو دورها في النظرية؟»

يمكن التخمين حول الإجابة للسؤال الأول كالاتي.

- أول شيء يقفز إلى ذهن الإنسان لما نتكلم عن النار هي الحرارة، كما نربط عادة الماء بالرطوبة.
 - الماء و النار متناقضين فيجب أن تكون خصائصهما متضادة.
 - يتبخر الماء لما نرفع درجة حرارته ليصبح هواء، مما يعني أن خاصية الهواء هي الحرارة و الرطوبة.
 - عنصر التربة و الهواء هما عنصرين متضادين مما يحدد خصائص التربة.
- نستطيع أن نستنتج الجواب للسؤال الثاني من المناقشة أعلاه. فقد كان أرسطو يعتقد أن عنصرين يتفاعلا إن كانت هناك خاصية مشتركة بينهما. فالهواء يتفاعل مع النار و الماء، لكنه لا يتفاعل مع التربة.

٣ الخيمياء (The Rize and Fall of Alchemy)

قام الإسكندر الأكبر (Alexander the Great 356-323) بإحتلال معظم العالم القديم. أدى هذا إلى إنتقال المعارف اليونانية إلى مناطق مختلفة و إحتكاكها بمعارف تلك المناطق، مما أدى إلى ظهور علوم جديدة كالخيمياء (Alchemy).

١.٣ ظهور الخيمياء (The Rize of Alchemy)

إنتقلت العلوم النظرية الإغريقية -خاصة نظرية العناصر الأربعة- إلى مصر و إحتك بها الحرفيون المصريون (Egyptian artisans). كان هؤلاء مهرة جدا في التعامل مع المعادن (metallurgy) و إستخلاص المركبات الملائمة لصناعتهم. تحول إهتمام بعض الحرفيين من صناعة الآلات و الأسلحة إلى التعامل مع المعادن في حد ذاتها نتيجة تعرفهم على نظرية العناصر الأربعة.

١.١.٣ جعل المعادن ثمينة (From Cheap to Expensive)

إنطلقت الخيمياء من الملاحظة البسيطة: بما أن كل المواد التي نعرفها تتكون من نفس العناصر الأساسية، فيجب أن يكون ممكنا أن نحصل على أي مادة إنطلاقا من أي مادة أخرى. الشيء الوحيد الذي يجب إيجاده هو الطريقة التي تمكننا من ذلك. لكن صعوبة الطريقة تتعلق بالمواد التي نتعامل معها: فكلما كانت مادة المنطلق تختلف كثيرا عن المادة المراد الوصول لها، كلما كانت الطريقة أكثر تعقيدا. زد على ذلك، يجب أن يكون العمل كله ذو فائدة و إلا ما الهدف من بذل جهد مضم للوصول إلى الطريقة لكن بدون مقابل.

أخذا بهذه الإعتبارات مجتمعة، وقع الإختيار على تحويل المعادن البخسة (cheap) إلى معادن ثمينة (expensive). فكلالهما يتكون أساسا من عنصر التربة (earth) مما يسهل طريقة الوصول. بالإضافة إلى ذلك، كلما كان المعدن رخيصا

كلما كانت الفائدة أكبر. و هكذا بدأت حمى تحويل معدن مثل الرصاص (lead) إلى ذهب (gold) تنتشر.

إكتست الكتابات الخيمائية طابع السرية (secretive) و التشفير (coded) بهدف الحفاظ على أسرار الطرق المتوصل إليها. يظهر هذا جليا في إستعمال الخيميائيين أسماء مستعارة (pseudonym) في كتاباتهم مما يجعل تحديد شخصيتهم الحقيقية محل نقاش المؤرخين. عادت هذه العادة بالسلب على تطور علم الخيمياء (alchemy) لعدم وجود تبادل و تنقيح للأفكار. قبل أن نكمل رحلتنا التاريخية، هناك تساؤل يحتاج إلى جواب:

«ماهو مفهوم التفاعلات الكيميائية (chemical reactions) في الخيمياء؟»

٢.١.٣ التحويل (Transmutation)

تصنف المواد في الخيمياء حسب خصائصها الخارجية (external properties) كاللون (color)، اللعان (brillancy)، الإنصهار أو السيالان (fusibility)، مقاومة الأكسدة ... إلخ. كان الإعتقاد أن هذه الخصائص مرتبطة بالعناصر الأساسية، فزيادة نسبة عنصر ما تزيد شدة الخاصية الموافقة له، و هكذا نغير المادة التي إنطلقنا منها. و لهذا تكون نسبة النجاح أكبر إذا انطلقنا من عنصر بدون خصائص -التربة (earth) في حالة الذهب- ثم نكسبها الخصائص التي نريدها الواحدة تلو الأخرى. فالهدف من الطريقة هو زيادة أو إنقاص خاصية ما.

نستنتج مما سبق، أن الخيميائيين يعتقدون أن ما يقومون به هو تحويل (transmutation) المواد. فالمادة التي يحصلون عليها لا تتعلق (does not depend) و لا تتذكر (doe not remember) أصلها: فالمادة معرفة بخصائصها و تغيير الخصائص يعني تغيير المادة. هذا يختلف تماما عن نظرتنا الحديثة للتفاعلات الكيميائية التي هي عبارة إعادة توزيع للذرات (atoms redistribution) و إعادة تنظيم للروابط الكيميائية (chemical bonds reorganization).

٢.٣ نحو إصباغ الصفة العلمية (Towards a Science)

كان إهتمام الخيميائيين منصبا على تطوير تقنياتهم و أدواتهم، مما أدى إلى ظهور وسائل و طرائق مخبرية عدة. لكن إتساع رقعة الأمبراطورية الرومانية و إحتلالها لمصر، و زد على ذلك ظهور الديانة المسيحية و تفرقها إلى مذاهب، جعل المعارف الخيمائية تنتقل إلى بلاد الشام و من ثم إلى الإمبراطورية الفارسية^(٢). إتسمت أعمال الخيميائيين بالغموض و السرية خلال هذه المدة، حتى بروز الحضارة الإسلامية و إطلاع المسلمين على الخيمياء، حيث إتصفت أعمالهم بالموضوعية و الوضوح و إعتبروا التجربة الوسيلة الوحيدة لبلوغ المعرفة.

١.٢.٣ جابر بن حيان (721-815) (Geber)

ينسب بعض المؤرخين إلى ابن حيان إعطاء الخصائص: الحرارة (hot)، البرودة (cold)، الرطوبة (wet)، و الجفاف (dry) وجودا مستقلا (independent existence) عن

^(٢) هذا سبب إنتشار الرموز الفرعونية و الفارسية في كتابات الخيميائيين.

العناصر الأربعة. ففي نظره، المكونات الأساسية للمادة هي هذه الخصائص، لكنها تشكل أو لا العناصر الأربعة التي بدورها تشكل جميع الأجسام الأخرى. إعتبر ابن حيان أن المعادن تملك خصائص داخلية نتيجة العناصر الأربعة و عناصر خارجية تكتسبها نتيجة العنصرين الأساسيين الجديدين:

• **الكبريت (Sulphur):** و هو الذي يعطي خاصية القابلية للإحتراق (Combustibility) و القابلية للتفتت (Earthiness) للمعادن.

• **الزئبق (Mercury):** و هو الذي يعطي خاصية البريق (Lustre) و السيولة (Fluidity) للمعادن.

لاحظ أن التسمية لا تعكس جوهر العنصر، و إنما ترمز لمادة لها خصائص قريبة من خصائص العنصر.

إعتمد ابن حيان في أعماله على التجربة و أولها أهمية قصوى لأنها السبيل الوحيد للمعرفة. هذا ما جعله يطور و يخترع أدوات مخبرية و يحسن بعض العمليات الكيميائية مثل التقطير (distillation) و البلورة (crystallization). كما قام أيضا بالتمييز بين الأحماض (Acids) و القلويات (Alkalis). و من أهم أعماله الأخرى وضع تصنيف بدائي للعناصر الكيميائية:

• **الكحوليات (Spirit):** و هي العناصر التي تتبخر عند تسخينها. التسمية الحديثة لهذه المجموعة هي: العناصر المتطايرة (volatile chemicals).

• **المعادن (Metals):** و هي المعادن التي نعرفها.

• **المركبات (Non-malleable substnaces):** و هي المواد التي يمكن تحويلها إلى مساحيق (powder). التسمية الحديثة لهذه المجموعة هي: اللامعدن (Non-metals).

لكن ابن حيان فشل في تحويل المعادن إلى ذهب.

٢.٢.٣ استحالة التحويل (Impossibility of Transmutation)

هناك من العلماء من ذهب إلى الاعتقاد باستحالة تحول (transmutation) المواد و ذلك بسبب الفشل المتكرر للخيميائيين، و من بينهم: الكندي (Alkindus 801-873)، البيروني (Al-Biruni 973-1048)، و ابن سينا (Avicenna 980-1037). فعلى سبيل المثال، قال ابن سينا أن عملية التحويل (process of transmutation) مستحيلة و الشيء الوحيد الذي يمكن إنجازه هو تقليد (imitation).

٢.٢.٣ الرازي (Rhazes 854-925)

قام الرازي بإضافة عنصر ثالث الملح (salt) لمكونات المعادن بالإضافة إلى عنصري الكبريت (sulphur) و الزئبق (mercury) الذين إقترحهما ابن حيان. تتمثل خاصية الملح في كونه غير قابل للإشتعال (non-inflammable) و غير طيار (non-volatile). كما عرف الرازي بتصنيفه (classification) الدقيق للخصائص الملاحظة للمواد

و التفاعلات الكيميائية التي تأكد منها بإستعمال التجربة. زد على ذلك، كانت كتاباته سهلة الفهم بعيدة عن التعقيد (complexity)، و الغموض (ambiguity). قام بتصنيف المواد إلى أربعة أقسام:

• **المواد المعدنية (Minerals):** و قد قسمها إلى ستة أقسام حسب خصائصها ألا و هي: المادة الروحية (spirit)، المعادن (body)، الحجارة (stone)، الزجاج (vitriols)، البلورات (boraces)، و الأملاح (salts).

• **المواد النباتية (vegetable):** و هي المواد المشتقة من النباتات.

• **المواد الحيوانية (animal):** و هي المواد ذات الأصل الحيواني.

• **المواد المشتقة (derivative):** معظم هذه المواد عبارة عن أكاسيد المعادن.

كما قام أيضا بتصنيف الوسائل المستخدمة في المخبر، حيث وضعها في مجموعتين:

• الوسائل المستخدمة في إذابة المعادن (melting metals).

• الوسائل المستخدمة في المعالجة (manipulation) العامة للمواد.

بالإضافة إلى كل هذا قام الرازي بشرح و تدوين تجاربه. كما إستخدم الخيمياء في صناعة الأدوية.

٢.٣ المعادن و العناصر الثلاثة (Tria Prima Theory)

إحتك الأوروبيون مع المسلمين أثناء الحروب الصليبية (crusaders) و بدأوا ينقلون العلوم -بما فيها الخيمياء- إلى بلادهم. كانت بدايات تعاملهم مع الخيمياء تطبيقيا بحثا حيث بدأوا يطورون الوسائل و يبنون المخابر. أما نظرياتهم فكانت في معظمها إضافات سطحية للنظريات الإغريقية-العربية (Greeko-Arabic) بدون تغيير للجوهر. كما يلاحظ أيضا أن إهتمامات الأوربيين في هذه المرحلة كانت تتمحور حول المعادن و المناجم.

١.٣.٣ باراسيلسوس (Paracelsus 1493-1541)

وضع باراسيلسوس نظريته حول تركيب المادة و التي هي إمتداد لنظرية المسلمين -إن لم نقل نفسها- حيث اعتبر أن المعادن تتكون من ثلاثة عناصر:

• **الأملاح (salt):** و تكون جسم (body) المعدن و تمنحه خاصيتا عدم التبخر (nonvolatility) و عدم الإحتراق (noncombustibility).

• **الكبريت (Sulfur):** و تكون روح (spirit) المعدن، و تمنحه خاصية القابلية للإحتراق (Combustibility).

• **الزئبق (Mecury):** و تكون جوهر (soul) المعدن و تعطيه خاصية الإنصهار (fusibility)، الميوعة (liquidity)، و التبخر (volatility).

كان إهتمام باراسيلسوس ينصب على تطبيقات الخيمياء في الطب و كان من أشد المشجعين لذلك. يمكن نبرير هذا الهوس (obsession) بانتشار الطاعون الأسود (Black Death) الذي إجتاح أوروبا و أدى إلى موت العديد من الأوروبين. و من أهم إسهاماته (contribution) تعميم التفاعلات الكيميائية (generalization of chemical reaction) حيث غير النظرة التقليدية التي تعتبر كل تفاعل على أنه وحيد (unique) و يختلف عن التفاعلات الأخرى. كانت شخصية باراسيلسوس مثيرة للجدل لكنه قدم الحافز (stimulus) الذي إحتاجه الكيميائيون للعودة إلى مخابريهم و العمل بجد. إهتم معاصره جورج جيبوس أغريكولا (Georgius Agricola 1494-1555) بالمعادن و يعتبر مؤسس علم المعادن (mineralogy)، حيث ألف كتابا لخص فيه جميع المعرفة العملية (practical knowledge) التي جمعها من عمال المناجم (miners).

٢.٣.٣ يوهان رودولف غلاوبر (Johann Rudolf Glauber 1607-1670)

إقترح غلاوبر أن عنصر الملح ليس أساسيا لكنه يتكون من عنصرين الحمض (acid) و المعدن (metal) أو تربته (its earth or oxide). فالأملاح يمكن أن تتفاعل مع بعضها البعض أو مع الأحماض لتنتج ملحا جديدا. لاحظ أن المشاكل مع نظرية العناصر الأربعة بدأت تتفاقم مع كثرة النتائج التجريبية. فزي البداية ظهرت عناصر جديدة لوصف المعادن التي كانت في الأصل تربة. و الآن أصبح أحد العناصر الجديدة -الملح- غير أساسي. ماذا عن العناصر الأخرى كالهواء؟

٢.٣.٣ يوهان يواخيم بيشر (Johann Joachim Becher 1635-1682)

إحتوت معظم التجارب على عملية الإحتراق (burning) في مرحلة ما من مراحلها. فبدأت الحاجة لفهم هذه العملية تصبح ملحة و كان الهدف من ذلك سبر مكونات المادة. إهتم بيشر بهذا السؤال و عكف على دراسة الإحتراق. فإقترح -بناءا على نتائجه- أن المواد تتكون من ثلاثة أنواع من الأتربة (three earths):

- الأرض الحجرية (Terra lapidea): أو الملح (the salt principle) و يشكل الرماد (ash) الذي يبقى بعد الإحتراق.
- الأرض الزئبقية (Terra mercurialis): أو الزئبق (mercurial earth) و هو المسؤول عن إنصهار (fusibility) المعادن.
- الدهون (Terra pinguis): أو الكبريت (the Sulfur principle) و هو الشيء الذي تحرره النار أثناء الإحتراق و يحمله الهواء.

قام تلميذه جورج إرنست شتال (Georg Ernst Stahl 1660-1734) بتطوير هذه النظرية و إقترح نظرية الفلوجيستون (Phlogiston).

٤.٣.٣ نظرية الفلوجيستون (Phlogiston Theory)

إقترح شتال -لتفسير الإحتراق- وجود مادة يتم تحريرها أثناء الإحتراق و يحملها الهواء، و أطلق عليها إسم الفلوجيستون (Phlogiston). و يعني هذا الإسم يحترق (burning up). إعتبر شتال الفلوجيستون **جوهرًا** (principle) لا مادة فيزيائية (physical substance).

إستطاعت نظرية الفلوجيستون أن تفسر إحتراق المواد العضوية (organic material) بنجاح. فوزن الرماد أصغر من وزن المادة المحترقة. و يمكننا مقارنة هذه النظرية في هذه الحالة بالتفسير الحديث. عند إحتراق مادة عضوية فإن الأكسجين O_2 من الهواء يتحد مع الكربون C الموجود في المادة لتكوين ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يحرر في الهواء. فهناك شبه كبير بين النظرتين. لكن هذه النظرية تصادف مصاعب جمة عند محاولة تفسير تكليس (calcination) المعادن، و ذلك لأن وزن الناتج -أكسيد المعدن (metal oxide)- أكبر من وزن المعدن الذي إنطلقنا منه. لاحظ أن التفسير الحديث لهذا التفاعل هو عكس تفسير نظرية الفلوجيستون. فالمعدن يثبت الأكسجين O_2 من الهواء عند إحتراقه.

٤.٣ الأيام الأخيرة (The Last Days)

رغم أن نظرية العناصر الأربعة و النظريات المشابهة كانت تعاني من مشاكل جمة إلا أن إكتشاف الغازات مكن من دق المسامير الأخيرة في نعوشها. لكن كيف تم إكتشاف الغازات؟ و ما الدور الذي لعبته في بروز الكيمياء الحديثة (modern chemistry)؟

١.٤.٣ يان بابتست فان هيلمونت (Jan Baptist van Helmont 1580-1644)

كان فان هيلمونت أول من لاحظ ان هناك غازات (gases) تختلف عن الهواء. فقد لاحظ أن الغاز الذي ينتج عن حرق الفحم (charcoal) هو نفسه الغاز الذي ينتج عن تخمير (fermentation) سلافة العنب (must). هذا الغاز CO_2 يختلف عن الهواء الجوي (air) و يجعل التنفس صعبا.

أطلق فان هيلمونت إسم **غاز** (gas) -من الإغريقية (chaos) و تعني الفوضى- على هذه المواد لأنه لم يعرف طبيعتها. كانت هذه بداية إهتمام الكيميائيين بدراسة الغازات. درس الكيميائيون في البداية الخصائص العامة للغازات لأنهم لم يعرفوا طبيعتها. فعلى سبيل المثال، إكتشف **روبرت بويل** (Robert Boyle 1627-1691) قانونه^(٣) الذي يربط ضغط (pressure) الغازات بحجمها (volume).

٢.٤.٣ ستيفن هايلز (Stephen Hales 1677-1761)

قام هايلز بفحص طبيعة و كمية الغازات التي تنتج عن تسخين عناصر متعددة. و قام بتطوير الوسائل التي تساعد على فصل الغازات و جمعها لتسهيل دراستها.

^(٣) إكتشف **أدم ماريوت** (Edme Mariotte 1630-1684) نفس القانون بصفة مستقلة، لكنه زاد أن درجة الحرارة (temperature) يجب أن تبقى ثابتة.

تعتمد فكرته البسيطة على حصر الغازات في كرة زجاجية فوق الماء. لكنه اكتشف فيما بعد أن بعض الغازات تذوب في الماء مما يؤثر سلبا على دقة القياس. استعمل جوزيف بريستلي (Joseph Priestley 1733-1804) الزئبق (mercury) بدل الماء في تجاربه لتفادي مثل هذه المشاكل. مما مكنه من عزل غازات جديدة مثل: CO , NO , SO_2 , HCl , NH_3 و O_2 ⁽⁴⁾.

٣.٤.٣ جوزيف بلاك (Joseph Black 1728-1799)

قام بلاك بدراسة الغازات و تفاعلاتها الكيميائية فكان الأول الذي إكتشف أن الغاز يمكن أن ينظم إلى جسم صلب. فقد لاحظ أن المركب $CaCO_3$ يفقد غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 أثناء تسخينه تاركا وراءه المركب CaO . كما لاحظ أنه عند إضافة العنصر Na_2CO_3 للعنصر CaO نحصل على $CaCO_3$. لاحظ أن النظريات المبنية على نظرية العناصر الأربعة لا تسمح بمثل هذا التفاعل. فطبيعة الهواء (air) في هذه النظريات هي ضد طبيعة التربة (Earth) سواء أكانت فيزيائية -القوة الطبيعية لكل عنصر- أو التركيبية -الهواء رطب و ساخن على عكس التربة التي هي جافة و باردة-. قام بلاك أيضا بإقتراح مفهوم الحرارة الكامنة (latent heat) حيث لاحظ أن درجة حرارة المواد لا تتغير أثناء الإنتقال من حالة إلى أخرى (phase transition) رغم أنها تحتاج إلى حرارة.

٤.٤.٣ لافوازييه (Antoine-Laurent de Lavoisier 1743-1794)

أدرك لافوازييه أن تكليس (calcination) المعادن هو مثل (analogous) إحتراق الفوسفور (phosphorus) و الكبريت (sulphur) و يشمل إتحادا (combination) مع الهواء. كانت التجربة التي إستعملها لإثبات ذلك بسيطة جدا، حيث قام بإحراق مادة داخل قارورة مسدودة و لاحظ أنه عند نزع السدادة يسمع صوت الهواء و هو يدخل القارورة.

كما إكتشف أن الهواء يتكون أساسا من غاز الأكسجين (oxygen) و غاز آخر أطلق عليه إسم الأزوت (Azote) و التي هي كلمة إغريقية و تعني بدون حياة. قام شابتال (Jean Antoine Chaptal 1756-1832) بإختيار إسم جديد للأزوت ألا و هو نيتروجين (Nitrogen). كان لافوازييه يعرف⁽⁵⁾ أن الأكسجين ضروري للتنفس (لهذا سمى بقية مركب الهواء الأزوت) و الإحتراق (burning) و تكليس (calcination) المعادن. حيث قدم التفسير الحديث للإحتراق و تكليس المعادن. ففي التفاعل الأول يتحد الأكسجين مع عنصر (element) ما من المادة المحترقة لتشكيل غاز يتبخر في الهواء. أما التفاعل الثاني فيتضمن تثبيت المعدن لعنصر الأكسجين مكونا أكسيد المعدن. هذا التفسير لا يعاني من نقائص نظرية الفلوجيستون و بهذا كانت نهايتها.

⁽⁴⁾ قام كارل فلهلم شيله (Carl Wilhelm Scheele 1742-1786) أيضا بإكتشاف غاز الأكسجين و بصفة مستقلة.

⁽⁵⁾ كانت التجارب المستعملة آنذاك لإثبات ذلك تتضمن إستعمال الفئران و ملاحظة مدة حياتها.

٥.٤.٣ تركيب الماء (The Composition of Water)

بدأ الكيميائيون يتناقشون حول ما إذا كان الوقت للبحث عن نظرية جديدة للكيمياء أم لا. لكن هذا النقاش تحول إلى يقين عند إكتشاف تفاعل تركيب الماء^(٦). لاحظ **بريستلي** (Joseph Priestly 1733-1804) و **كافندش** (Henry Cavendish 1731-1810) تكون قطرات (droplets) في الأنابيب التي إحترق فيها الهيدروجين (Hydrogen) في إحدى تجاربهما حول هذا الغاز. كما تمكنا من إثبات أن هذه القطرات المتكونة هي قطرات ماء. و فسر لافوازييه هذه النتيجة بإستعمال نظريته حول الإحتراق:

«الماء هو نتاج إتحاد الأكسجين و الهيدروجين.»

من الواضح أن أي نظرية من فئة نظرية العناصر الأربعة هي عاجزة عن تفسير هذا الكم من النتائج. لكن كيف يمكننا إقتراح نظرية كيمياء جديدة؟ إستجد الكيميائيون بالفيزياء و نظرياتها، خاصة تلك المحاولات لتفسير قوانين الطبيعة عن طريق تصادم جسيمات. مما أدى إلى إعادة الإعتبار لنظرية قديمة ألا و هي نظرية الذرة (Atomism).

٤ النظرية الذرية (Atomism)

تعتمد النظرة الحديثة لبنية المادة و التفاعلات الكيميائية على مفهوم **الجزئي** (molecule) و **الذرة** (atom). لكن قبل مناقشة التطورات التي أفضت إلى هذه النظرة، دعونا نعود إلى الوراء و نناقش بدايات النظرية الذرية.

١.٤ دعونا نجزي المادة (Let us Divide Matter)

من بين الأفكار التي تنشأ لما نتساءل عن بنية المادة الفكرة:

«لماذا لا نجزي المادة و ندرس الناتج؟»

لكن الإشكالية التي علينا مواجهتها هي محدودية وسائلنا لإكمال هذه المهمة. الحل الذي إقترحه و إستعمله الفلاسفة هو إستعمال خيالنا لمواصلة العملية، لكن ماذا كانت إستنتاجاتهم؟ دعونا نزرور بعض هؤلاء الفلاسفة و نسألهم عن إجاباتهم.

١.١.٤ فيثاغورس (Pythagoras 570-490 BC)

كانت إجابة فيثاغورس تستند على كونه مختصا في علم الهندسة (Geometer) حيث حاول أن يصف المكونات الأساسية (fundamental constituents) للمادة بإستعمال الهندسة (geometry). لكن ما الشيء الذي يميز المكونات الأساسية عن الباقي؟ فكر فيثاغورس في معيار هندسي لإنتقاء المكونات الأساسية و إهتدى إلى الإقتراح التالي:

^(٦)يعتبر بعض المؤرخين أن هذا التفاعل هو الذي دق المسمار الأخير في نعش نظرية العناصر الأربعة إن بقي حاجة لذلك من البداية.

«يجب أن نقرن العناصر الأساسية بالمجسمات المنتظمة (regular solid polygones)»
لكننا لا نعلم تفاصيل نظريته هذه.

٢.١.٤ أناكسوغوراس (Anaxagoras of Klazomenae 500-428 BC)

نظر أناكسوغوراس إلى هذه الإشكالية من زاوية أخرى، حيث إعتد على الملاحظة المباشرة. عندما نقوم بتجزأة أي مادة، فالأجزاء التي نحصل عليها تحمل نفس خصائص الجسم الأصلي. لكن التساؤل الذي يطرح نفسه:

«كم مرة نستطيع أن نكرر عملية التجزئة هذه؟»

لم يجد أناكسوغوراس أي مانع لإستمرار عملية التجزأة، فبالنسبة إليه مهما كان الجزء المتحصل عليه صغيراً، يمكننا تجزئته مرة أخرى. إعتبر أناكسوغوراس أن الكون (universe) يتكون من جسيمات صغيرة سماها بذور (seeds) عدد أنواعها لا نهائي. هذه الجسيمات قابلة للتقسيم و تعطي جسيمات بنفس الخصائص إذا جزئت. كما تملك هذه البذور خاصية تجعل المتشابه يجذب بعضه بعضاً (like attracts like)، مما يؤدي إلى تشكيل الأجسام التي نراها.

٢.١.٤ الذرة (The Atom)

ذهب كلا من ليوكيبوس (Leucippus 5th century BC) و ديمقراط (Democritus 460-370 BC) إلى ما ذهب إليه أناكسوغوراس لكنهم إختلفوا معه في نقطة جوهرية. حيث إعتقدوا أن عملية التجزئة ستتوقف في مرحلة من المراحل، و أطلقوا على هذه الجسيمات النهائية إسم الذرة (Atom) و الذي يعني: لا يتجزأ. إعتقد ليوكيبوس و ديمقراط أن جميع المواد تتكون من ذرات متشابهة حيث تختلف فقط في الحجم (size)، الشكل (shape)، الموضع (position)، و الكتلة (mass). هذه الذرات تتواجد في فضاء فارغ (vacuous space) و الذي يفصل بينها مما يمكن الذرات من التحرك (movement).

٤.١.٤ أفلاطون (Plato 427-347 BC)

عندما بدأ أفلاطون التفكير في مسألة مكونات المادة إكتشف أن هناك نظريتين: نظرية العناصر الأربعة -الماء، الهواء، النار، و التربة- و نظرية الذرة تحت مقترحين -مقترح فيثاغورس و مقترح ليوكيبوس-ديمقراط-. لاحظ أن لكل نظرية جوانبها الجذابة. فنظرية العناصر الأربعة قلصت (reduced) عدد العناصر التي يجب التعامل معها إلى عدد صغير الشيء الذي لم توفره نظرية الذرة. لكن و في المقابل، تعطي النظرية الذرية وسيلة لتخيل مكونات المادة الشيء الذي لا توفره نظرية العناصر الأربعة. فقرر أفلاطون الدمج بينهما. كانت فكرة أفلاطون تتمثل في إعطاء كل عنصر ذرته الخاصة، لكن الإشكالية التي واجهته هي تحديد خصائص هذه الذرات. بالنظر إلى النظريات الذرية المتواجدة آنذاك لاحظ أن إقتراح ليوكيبوس-ديمقراط لا يقدم معياراً واضحاً للتمييز بين الذرات عكس النظرة الهندسية لفيثاغورس. فقرر الدمج بين نظرية العناصر الأربعة و فكرة فيثاغورس ليحصل على ما يلي:

- ذرات عنصر النار (fire) عبارة عن رباعي السطوح (tetrahedron).
- ذرات عنصر التربة (earth) عبارة عن مكعب (cube) ذو ستة أوجه.
- ذرات عنصر الماء (water) عبارة عن عشروني الوجوه (icosahedron).
- ذرات الهواء (air) عبارة عن ثماني الوجوه (octahedron).

كما إقترح أفلاطون وجود عنصر خامس الأثير (Ether) الذي هو عبارة عن هواء مثالي (ideal air).

- ذرات عنصر الأثير (Ether) عبارة عن إثنا عشري الوجوه (dodecahedron) و هو الجسم المنتظم الأقرب إلى الشكل المثالي: الكرة (sphere).

لكن كيف تخيل أفلاطون تشكل الأجسام التي نراها من هذه الذرات؟ إعتقد أفلاطون أن أوجه الذرات يمكن أن تحلل (resolve) إلى مثلثات (triangles). حيث تستطيع المثلثات التي تنتمي إلى ذرتين أن ترتبط (interconnect) فيما بينها، مما يؤدي إلى وصل هذه الذرات لتشكيل الأجسام. لاحظ أن نظرية أفلاطون تشبه لحد بعيد نظرتنا الحديثة: فهناك ذرات أساسية ترتبط ببعضها البعض لتشكيل الجزيئات (molecules) عن طريق تكوين روابط باستعمال إلكتروناتها. يمكن تشبيه أسطح أو أوجه الذرات عند أفلاطون بالمدار الخارجي للإلكترونات، و المثلثات بهذه الإلكترونات التي تشكل الروابط بين الذرات. لاحظ أن عدد المثلثات (الإلكترونات) يختلف حسب العنصر.

٥.١.٤ سببات النظرية (Hibernation)

عانت النظرية الذرية من إشكالية الفراغ (vacuum). فحسب النظرية، الفراغ بين الذرات أساسي لحركتها، لكن وجود الفراغ كان محل نقاش في تلك الفترة. فأرسطو على سبيل المثال كان لا يؤمن بوجود الفراغ. و رغم ذلك دافع بعض الفلاسفة عن النظرية الذرية من أمثال إبيقور (Epicurus 342-270 BC). كما قام الشاعر لوكريتيوس (Titus Lucretius Carus 99-55 BC) بنظم شعر يصف فية النظرية الذرية لأبيقور.

أجبرت النظرية على السببات بسبب عدة نقاط منها:

- إشكالية الفراغ و التساؤل عن وجوده من عدمه.
- عدم خصوبة النظرية الذرية مقارنة بنظرية العناصر الأربعة. فالنظرية الذرية -بإستثناء إقترح أفلاطون- تقرن كل مادة بذرتها الخاصة الشيء الذي يجعل التفاعلات الكيميائية غامضة. في المقابل، تعطي نظرية العناصر الأربعة عدة احتمالات لنتائج التفاعلات الكيميائية.

رغم شبه إنعدام نشاط النظرية الذرية إلا أنها كانت تبرز أحيانا في النقاشات، خاصة الفلسفية منها. فعلى سبيل المثال، هناك النقاش حول ما إذا كان الفضاء و الزمن ذو بنية ذرية أم لا. هناك أيضا آراء تشبه آراء أفلاطون حيث يعطى كل عنصر أساسي ذرته الخاصة، لكن هذه الذرات لا تلعب أي دور يذكر. فالأساس في هذه النظريات هو وصف الأجسام بنسبة العناصر -عدد الذرات- في تركيبها.

٢.٤ الذرة من جديد (Atoms once Again)

قرر الكيميائيون - مع النجاحات التي حققها الفيزيائيون في وصف الظواهر الطبيعية و فشل نظرية العناصر الأربعة في تفسير النتائج التجريبية - الإستعانة بأعمال الفيزيائيين بهدف وصف التفاعلات الكيميائية ميكانيكيا. مما أدى إلى مراجعة النظرية الذرة و نفض الغبار عنها.

١.٢.٤ إنبعاث النظرية (Revival)

كانت البداية مع روبرت بويل (Robert Boyle 1627-1691) حين نشر كتابه: **الكيميائي المتشكك** (The Sceptical Chymist)، الذي حاول فيه الفصل بين الخيمياء (alchemy) و الكيمياء (chemistry). فشد على عدم قبول أي معلومة ما لم يتم إثباتها عن طريق التجربة (experiment). و إستعمل أسلوب التهكم في وصف الخيميائيين حيث إعتبر أعمالهم مزيج بين الحقيقة المفيدة و الخرافات. إحتوى كتاب روبرت بول على بعض المفاهيم الحديثة كالذرة (atom)، الجزيء (molecule)، و التفاعلات الكيميائية (chemical reaction). كما أدخل مصطلح^(٧) **العنصر الكيميائي** (element) بمفهومه الحديث إلى قائمة المصطلحات الكيميائية. إعتقد^(٨) أن العناصر الكيميائية (elements) هي أولية (primitive) و بسيطة (simple) أي أنها نقية و غير مختلطة (unmingled). و تصورها على شكل جسيمات (corpuscles) - أو ذرات (atoms) - ذات أنواع و أحجام مختلفة و التي تكون - بعد إرتباطها - المركبات (compounds) التي تعرفها حواسنا. كما إعتقد أيضا بإمكانية تفكيك المركبات إلى مكوناتها الأساسية.

يظهر من أعمال بويل أنه كان يحاول إعطاء نظرية العناصر الأربعة بعدا ماديا كما أراد أن يجعل قائمة هذه العناصر أكبر ليتمكن من تفسير سبب تفاعل مركبات مع معينة دون أخرى. لكنه كان يجهل ماهية العناصر الأساسية، و لهذا إستعمل كلمة المجهول لإشتقاق إسمها كما أسلفنا سابقا. كان هدفه الأساسي زحزحة الكيمياء من العلوم الفكرية إلى خانة العلوم المادية. و سبقه في هذا الإتجاه **يونس** (Joachim Jungius 1587-1657) الذي نظر إلى التفاعلات الكيميائية على أنها تبادل للذرات.

سار في نفس الإتجاه **نيكولا ليميري** (Nicolas Lémery 1645-1715)، الذي أراد أن يفسر التفاعلات الكيميائية بإستخدام شكل (shape) الجسيمات و حركتها (movement). تصور ليميري أن جزيئات الأملاح الحامضة (acid salts) تمتلك شكلا ذو نتوءات حادة (sharp pointed particels) لأن طعمها حاد و لأن بلوراتها (crystals) ذات نتوءات. و في المقابل تصور جزيئات الأملاح القلوية - أو القاعدية - (Alkalis salts) على أنها تحتوي مساما (pores) لكي تدخل فيها نتوءات الأحماض. فأقترح أن التفاعل بين الأحماض و القلويات لا يحدث إلا إذا كانت هناك علاقة بين حجم نتوءات الجزيئات الحمضية و حجم مسام الجزيئات القلوية. لتكوين فكرة عن تصور ليميري يمكن الإطلاع على الرابط:

^(٧) إشتق هذا الإسم من اللاتينية و يعني المجهول (unknown).

^(٨) يظهر هنا جليا أنه يحاول أن يستبدل العناصر الأربعة - التي لا تملك وجودا ماديا - بالعناصر الكيميائية التي لها وجود مادي.

٢.٢.٤ الفحوص الأولى (First Tests)

نحن الآن في حضرة نظريتين: نظرية العناصر الأربعة أو إحدى تعديلاتها و النظرية الذرية. هذا يضعنا أمام التساؤل:

« كيف نتأكد تجريبياً أي النظريتين أفضل؟ »

فكلاهما نتاج مخلية الإتسان. للإجابة عن هذا السؤال يجب أن نبحت عما يميز النظريتين عن بعضهما البعض. من السهل أن نلاحظ الآتي:

- مفهوم التفاعل الكيميائي يختلف في النظريتين. ففي نظرية العناصر الأربعة التفاعل عبارة عن تحويل (transmutation) أين يفقد الناتج أي ذكرى عن المواد المتفاعلة. لكن التفاعل الكيميائي في النظرية الذرية هو عبارة عن تبادل الذرات فلا شيء يختفي و لا شيء يخلق. هذا يعني أن النظرية الذرية تتوقع إنحفاظ الكتلة (mass conservation) أثناء التفاعل الكيميائي.

- الشيء الآخر الذي يميز النظريتين هو طبيعة العناصر الأساسية. ففي نظرية العناصر الأربعة لا يوجد تكميم لهذه العناصر، مما يعني أنه لا توجد أي قيود على النسبة بين كمية المواد المتفاعلة. و على العكس من ذلك، كون الذرة -التي هي أساس النظرية الذرية- لا تتجزأ يفرض نسبة محددة بين المواد المتفاعلة.

تشكل هذه الملاحظات البسيطة أول العقبات التي يجب أن تتجاوزها النظرية الذرية لكي تؤخذ على محمل الجد.

إنحفاظ الكتلة (Mass Conservation): كان الطوسي (Al-Tusi 1201-1274) من أوائل الذين صاغوا قانون إنحفاظ الكتلة في الكيمياء حيث قال:

«لا يمكن لجسم مادي أن يختفي تماماً. لكن الشيء الوحيد الذي يمكن أن يتغير فيه هو شكله، حالته، تركيبه، لونه أو أحد خصائصه الأخرى و بهذا يتحول إلى مركب أو عنصر آخر.»

“A body of matter cannot desappear completely. It only changes its form, condition, composition, color and other properties and turns into a different complex or elementary matter.”

كانت أعمال **فان هيلمونت** (van-Helmont 1580-1644) أول تجربة تتكلم عن إنحفاظ الكتلة. إنطلق فان هيلمونت من فرضية أن هناك عنصرين أساسيين فقط وهما **الماء** (water) و **الهواء** (air). فقام بتجربة لإثبات أن النبات يأخذ غذاءه من الماء فقط. تتمثل تجربته في متابعة تغير وزن شجرة لمدة زمنية معينة (خمس سنوات). قام بوزن الشجرة و التراب قبل بداية التجربة، كما وزن الماء الذي كان يضيفه و احتفظ بتلك القيم. ثم قام بوزن الشجرة و التراب عند نهاية التجربة، و قارن ذلك بالقيم الأولى و وزن الماء المضاف. لاحظ أن تغير وزن التراب

مهمل و أن الضرق في وزن الشجرة يساوي تقريبا وزن الماء المضاف. فاستنتج أن غذاء الشجرة يأتي فعلا من الماء. رغم أن إستنتاجه لم يكن دقيقا لكن تجربته تثبت أنه إنطلق من مبدأ مكافئ لمبدأ إنحفاظ الكتلة.

تعود الصياغة اللفظية لقانون إنحفاظ الكتلة إلى **ميخائيل لومونوسوف** (Mikhail Lomonosov 1711-1765) كما قام بإثبات القانون تجريبيا. لكن بعض المؤرخين قالوا بغير ذلك و إقترحوا أسماء مثل **جون راي** (Jean Rey 1583-1645)، **هنري كافنديش** (Henry Cavendish 1731-1810)، **جوزيف بلاك** (Joseph Black 1728-1799)، و **لافوازييه** (Antoine Lavoisier 1743-1794). هناك أيضا أعمال **جون ستاس** (Jean Stas 1813-1891).

قانون النسب الثابتة (Law of Definite Proportion): كما أسلفنا سابقا، عدم قابلية الذرة للإنقسام -على الأقل بالنسبة للنظرية الذرية- يضع قيودا على نسب المواد المتفاعلة. هناك صياغتين لهذا القانون: صياغة بإستعمال الكتل و صياغة بإستعمال حجوم الغازات.

جوزيف بروست (Joseph Proust 1754-1826)

« تتحد العناصر الكيميائية دائما بنسب تتكون من أعداد طبيعية صغيرة لتكوين المركبات. »

“ The elements always combine in small, whole number ratios to form compounds. ”

جوزيف غي-لوساك (Joseph Louis Gay-Lussac 1778-1850)

« تشمل نسب حجوم الغازات المتفاعلة أعداد طبيعية صغيرة. »

“ The ratios of the volumes of reacting gases are small whole numbers. ”

٢.٢.٤ الذرات و الجزيئات (Atoms and Molecules)

دعونا -قبل أن نناقش الجانب التجريبي- نراجع بعض التفسير التي قدمت لشرح قانون النسب الثابتة.

جون دالتون (John Dalton 1766-1844): طور دالتون نظريته الذرية لتفسير ملاحظات بروست، و تمكن من وضع أسس التفكير الحديث حول المركبات الكيميائية. كان دالتون يعتقد أن الذرة عبارة عن كرة صلبة كثيفة (dense sphere) ذات حجم مختلف حسب العنصر. كما كان يعتقد أن جزيئات المركبات ثنائية العنصر تحتوي على ذرة واحدة من كل عنصر.

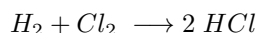
يونس بيرسيلوس (Jöns Jacob Berzelius 1779-1848): صحح بيرسيلوس نظرة دالتون حول المركبات الكيميائية حيث لا حظ أن عدد ذرات العناصر التي تشكل جزيئات المركبات الكيميائية يمكن أن يختلف عن الواحد.

أميديو أفوغادرو (Amedeo Avogadro 1776-1856): وضع أفوغادرو القانون التالي:

«تحتوي الحجوم المتساوية لمختلف الغازات نفس عدد الجزيئات. هذا يعني أن النسبة بين كثافة غازين -تحت نفس الضغط و عند نفس درجة الحرارة- تساوي النسبة بين كتل جزيئاتهما».

“Equal volumes of different gases contain the same number of particles. Thus the ratio of the densities of two gases (at the same temperature and pressure) represents the ration between the masses of their particles.”

كما إقترح أن جزيئات الغازات البسيطة تحتوي على ذرتين لنفس العنصر H_2 ، O_2 ، إلخ. و تنقسم هذه الجزيئات أثناء التفاعلات الكيميائية لتشكّل جزيئات جديدة. لم يصدق هذا الإقتراح في البداية لأن الكيميائيين لم يؤمنوا بإمكانية اتحاد ذرتي نفس العنصر. من بين التفاعلات الكيميائية التي غيرت هذه النظرة:



حيث لوحظ أن حجم الغاز الناتج HCl هو ضعف حجم الغازين H_2 و Cl_2 . يظهر من النتائج المتحصل عليها لحد الآن، أن النظرية الذرية يمكن أن تكون في الموقع الصحيح لوصف بنية المادة و التفاعلات الكيميائية. لكن كيف يمكننا أن نعرف خصائص الذرات؟

٥ التحليل الكيميائي (Chemical Analysis)

هناك أسئلة عدة يجب الإجابة عليها قبل أخذ النظرية الذرية على محمل الجد. من بينها: ما هي خصائص الذرات؟ ما هي العناصر الأساسية؟ ما هي طبيعة التفاعلات الكيميائية و ماذا يحدث للذرات أثناءها؟ هل هناك خصائص مشتركة بين الذرات؟ هل الذرات فعلا لا تتجزأ؟

سنحاول فيما يلي شرح بعض الطرائق التي أستعملت لتحديد خصائص الذرات، و بعض التفسير التي قدمت لشرح نتائجها. و سنترك الإجابة عن السؤالين الأخيرين للفقرات الموالية.

١.٥ استعمال الغازات (The Use of Gases)

تقدم لنا الغازات نقطة بداية لدراساتنا بدون منازع. هذا لأن الخصائص العامة للغازات و التي تتمثل في الحجم (volume)، الضغط (pressure)، و درجة الحرارة (temperature) لا تتعلق بنوعية الغاز. بالإضافة إلى ذلك، هناك قانوني غاي-لوساك و أفوغادرو اللذان يسمحان بإستنتاج كتلة ذرات الغازات البسيطة و بنية جزيئات الغازات المركبة. كما يمكننا أيضا معرفة تركيب بعض الجزيئات الغير غازية كالماء H_2O مثلا.

٢.٥ التحليل الكهربائي (Electrolysis)

حدثت بعض الإكتشافات الكبيرة التي غيرت نظرتنا إلى بعض الأشياء عن طريق الصدفة. من بين هذه الصدفة إكتشاف التفاعل بين الكهرباء و الكيمياء.

١.٢.٥ البداية (The Beginning)

كانت البداية تجارب في علم التشريح (anatomy)، لكن النظر إلى النتيجة من زوايا مختلفة أدى إلى إكتشاف الكيمياء الكهربائية (electro-chemistry) و التحليل الكهربائي (electrolysis).

لويجي غالفاني (Luigi Galvani 1737-1798): قام غالفاني -أثناء درس في التشريح (anatomy)- بلمس عضلة رجل ضفدع موضوعة على صفيحة معدنية (iron) مبللة بإبرة من النحاس (copper)، فلاحظ إنتفاض (twitch) العضلة. إعتد تفسير غالفاني لهذه التجربة على كونه عالم أحياء (biologist)، حيث إعتقد أن جسم الضفدع ينتج الكهرباء.

ألسندرو فولتا (Alessandro Volta 1745-1827): نظر فولتا إلى نتيجة تجربة غالفاني من زاوية أخرى:

«يمكن أن يكون أصل الكهرباء شيء آخر و ما إنتفاض العضلة إلا مؤشر للكهرباء المنتجة».

و لإثبات وجهة نظره، قام بإستبدال رجل الضفدعة في تجربة غالفاني بشيء مكافئ: قطعة قماش مبللة بالماء و الملح (brine). مما قاده إلى إختراع **عمود فولتا** (voltaic pile) المنتج للكهرباء، و الذي يتكون من أقراص من الفضة (silver) و الزنك (zink) بينها قطعة قماش مبللة بالماء و الملح.

التحليل (electrolysis): أثبت فولتا أن التفاعلات الكيميائية يمكن أن تنتج الكهرباء، لكن هل يمكن إستعمال الكهرباء في التفاعلات الكيميائية؟ كانت الإجابة نعم، و الطريقة المعتمدة هي إذابة الأملاح في الماء ثم يتم ملاحظة الغازات المتكونة أو الرواسب عند اللبوسين (electrodes).

• قام **مارتن فان ماروم (Martin van Marum 1750-1837)** بإستعمال الكهرباء لإستخلاص المعادن: القصدير (Tin)، الزنك (zink)، و الإثمد (Antimony) إنطلاقاً من أملاحها.

• قام **كل من وليام نيكلسون (William Nicholson 1753-1815)** و **أنثوني كارليس (Anthony Carlisle 1768-1840)** بتحليل الماء إلى هيدروجين و أكسجين عن طريق تمرير تيار كهربائي في الماء. كما قام **جون فيلهلم رايتز (Johann Wilhelm Ritter 1776-1810)** بإعادة التجربة و قياس حجم الغازين الناتجين.

- قام همفري ديفي (Humphry Davy 1778-1829) باكتشاف العناصر: البوتاسيوم (Potassium)، الصوديوم (sodium)، الباريوم (barium)، الكالسيوم (Calcium)، والمنغنيز (magnesium).

تم إكتشاف عناصر أخرى بنفس الطريقة، لكن كيف نعرف خصائص العناصر؟

٢.٢.٥ صياغة القوانين (What Laws)

قام فاراداي (Michael Faraday 1791-1867) باكتشاف قانونيه للتحليل الكهربائي.

- تتناسب كمية المادة المتحللة (decomposed) مع شدة التيار (current strength) و زمن التجربة.
- تتناسب كتلة المادة المترسبة (deposited) مع وزنها المكافئ (equivalent weight).

تساعد هذه القوانين على معرفة تركيب الجزيئات و وزن الذرات. لكن ما هو سر العلاقة بين الكهرباء و المادة؟

٢.٢.٥ الروابط الكيميائية؟ (Chemical Forces?)

بدأ الكيميائيون يفكرون أن القوة الكهربائية الساكنة و الشحنات يمكن أن تفسر الروابط الكيميائية نتيجة للنتائج الباهرة للتحليل الكهربائي. إقترح بيرسيلوس التفسير التالي:

«تملك كل ذرة فائض (excess) في الشحنة الموجبة أو السالبة، و الذي يؤدي إلى تشكل المركبات الكيميائية. لكن شحنة المركب الناتج لا تصبح معدومة دوماً لأنه غالباً ما تكون شحن الذرات التي تشكله ليست متساوية».

يتوافق هذا التفسير مع خصائص التحليل الكهربائي لكنه لا يخلو من التناقضات مع بعض النتائج التجريبية الأخرى خاصة نتائج الكيمياء العضوية (organic chemistry). كما لا يسمح هذا التفسير بتكون جزيئات من نفس الذرات -كالغازات البسيطة وفق إقترح أفوغادرو-.

رغم كل هذه المشاكل، إلا أن هذه النظرية تفسر بشكل جيد تفاعل الأحماض (acids)، القلويات (alkalis)، و الأملاح (salts)، و تحوي على أسس النظرية الحديثة لتفسير المركبات الأيونية (ionic compounds).

٢.٥ السعة الحرارية (Specific Heat)

هناك طريقة لمعرفة الوزن الذري (atomic mass) للمعادن و تعتمد على قياس السعة الحرارية (specific heat). إكتشف بيير ديلون (Pierre Louis Dulong 1785-) و ألكسيس بوتتي (Alexis Petit 1791-1820) القانون الذي يحمل إسمهما و الذي ينص على أن السعة الحرارية للمعادن تتناسب عكسا مع وزنها الذري.

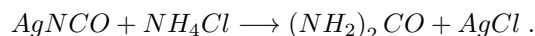
٤.٥ الكيمياء العضوية (Organic Chemistry)

يمكن تعريف المواد العضوية (organic compounds) على أنها نتاج الكائنات الحية (living organism). كان الإعتقاد السائد بوجود قوة حيوية (vital force) خاصة بالكائنات الحية و التي تعطي المركبات العضوية خصائصها. و لهذا كان الكيميائيون مقتنعين أنه يستحيل صناعة هذه المواد خارج جسم كائن حي.

١.٤.٥ لا نحتاج القوة الحية (No Need for the Vital Force)

كانت البدايات مع تركيب المواد العضوية في المخبر.

فريدريخ فولر (Friedrich Wöhler 1800-1882): تمكن فولر من الحصول على مركب البولة (urea) عن طريق التفاعل:



كان هذا بداية فرع جديد في الكيمياء ألا و هو الكيمياء العضوية (organic chemistry).

في المخبر (In the Lab): قام يوستوس فون ليببيغ (Justus Freiherr von Liebig) 1803-1873 بإجراء عدة تجارب لتحليل المركبات العضوية. إعتمدت معظم هذه التجارب على حرق المركبات العضوية و فحص المواد الناتجة و التي هي غالبا ثاني أكسيد الكربون CO_2 و الماء H_2O . ثم قام بمقارنة الأوزان لمعرفة كمية العناصر: الأكسجين O ، الهيدروجين H ، و الكربون C في المادة العضوية.

إقترح كلا من جان-باتيست أندريه دوما (Jean Baptiste André Dumas 1800-) و يوستوس فون ليببيغ (Justus von Liebig) مفهوم الجذور (radicals) في 1884 الكيمياء العضوية، و التي تلعب دور العناصر الكيميائية (elements) في الكيمياء العامة. فهي التي تتحكم في نوعية التفاعلات و لا تتغير أثناءها. و الفرق الوحيد بين الجذور و العناصر العادية هو أن الجذور تكون مركبة من أكثر من عنصر.

٢.٤.٥ التكافؤ الكيميائي (Chemical Valence)

أدى ظهور مفهوم الجذور إلى وضع طريقة لتنظيم النتائج التجريبية و دراستها.

إدوارد فرانكلاند (Edward Frankland 1825-1899): لاحظ فرانكلاند أن ذرات الأزوت (Nitrogen)، الفوسفور (Phosphorus)، و الزرنيخ (Arsenic) تتحد دائما مع ثلاثة أو خمسة جذور كيميائية (organic radicles). في حين أن ذرات الزنك (Zink)، الزئبق (Mercury)، و الأكسجين (Oxygen) تتحد مع جذرين. تخيل فرانكلاند -لتفسير هذه الملاحظات- أن كل ذرة تملك عددا معيناً من السنابير (hooks) التي تستعملها للإرتباط بالذرات و الجذور.

بنية الجذور (Structure Formation): قام كل من أوغست كيكولة (Friedrich August Kekulé 1829-1896) و بصفة مستقلة أرشيبالد سكوت كوبر (Archibald Scott Couper 1831-1892) بدراسة بنية الجذور العضوية مما أدى إلى تطوير الأفكار الأساسية لوصفها. لاحظا أن الكربون ذو ذرة رباعية (tetraatomic) أي أن ذرة الكربون تملك أربعة روابط و التي تسمح لها بالإرتباط مع أربعة ذرات أحادية (monatomic) مثل ذرة الهيدروجين، أو ذرتين ثنائيتين (diatomic) مثل ذرة الأكسجين. كما يمكن لذرة الكربون أن تستعمل بعض روابطها للإرتباط بذرة كربون أخرى مما يؤدي إلى تشكل سلاسل الكربون (Carbon chains).
تمكنا -لحد الآن- من دراسة الذرات المكونة للأملاح، الغازات، المواد العضوية، و المعادن كل بطريقة خاصة. لكن هل توجد هناك طريقة عامة لدراسة الذرات؟

٥.٥ المطيافية (Spectroscopy)

كان معروفا أن أملاح الصوديوم (Sodium) و البوتاسيوم (Potassium) تملك لها ذا لون مميز عند الإحتراق. للإستفادة من هذه الظاهرة، قام روبرت بنسن (Robert Bunsen 1811-1899) و غوستاف روبرت كيرشهوف (Gustav Robert Kirchhoff 1824-) (1887) ببناء آلة جديدة: **المطياف (spectroscope)**، لدراسة الضوء الصادر من المواد المحترقة. يقوم المطياف بدراسة تذبذب (frequency) الإشعاع الصادر من اللهب.

- كل عنصر يصدر موجات بذبذبات خاصة (characteristic frequencies) و التي لا تتأثر بوجود العناصر الأخرى في المركب.

- يمكن إستعمال هذه الذبذبات كبصمة الأصبع (fingerprint) لتعريف العناصر. فوجود ذبذبات غير معروفة يعني وجود عنصر جديد.

ساعدت المطيافية على إيجاد عناصر جديدة مثل: **السيوم (Caesium)** و **الروبيديوم (Rubidium)**.

إستطاع الكيميائيون بتظافر جهودهم و إستعمال مختلف الطرق الحصول على قائمة للعناصر الكيميائية مع بعض خصائصها: كوزنها الذري، تكافؤها الكيميائي، و طبيعة تفاعلاتها. مما يؤدي إلى التساؤل:

«هل هناك خصائص مشتركة بين العناصر؟ و هل إكتشفنا جميع العناصر الممكنة؟»

٦ تصنيف العناصر (Classification of Elements)

من بين الطرائق التي نستعملها لإيجاد خصائص جديدة أو نمط (pattern) في قائمة من المعطيات -العناصر الكيميائية في حالتنا- تنظيم معلوماتنا في جداول أو رسوم بيانية. قام الكيميائيون بمحاولات عدة لتقسيم العناصر و المركبات الكيميائية و قد رأينا بعض المحاولات إبان الحضارة الإسلامية.

١.٦ الألفة الكيميائية (Chemical Affinity)

حاول الكيميائيون تصنيف المركبات الكيميائية حسب التفاعلات الكيميائية حيث أدخلوا مفهوم الألفة الكيميائية (chemical affinity). نقول أن مركب A يملك ألفة كيميائية كبيرة مع المركب B إن كانا يتفاعلان بسرعة و العكس صحيح، و نقول أنهما لا يملكان ألفة كيميائية بينهما إن كانا لا يتفاعلان. كان الهدف من تصنيف المركبات على هذا الأساس هو إيجاد سبب أو تفسير للألفة الكيميائية. قام إتيان فرانسوا جوفروا (Étienne François Geoffroy 1672-1731) بوضع المركبات الكيميائية في أعمدة (columns). حيث وضع على رأس كل عمود مركبا مستعملا رمزه الخيميائي ثم ملأ بقية العمود بالمركبات التي تتفاعل معه من أعلى لأسفل وفق ترتيب تنازلي في الألفة الكيميائية. طالع الصفحة:

https://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_affinity#/media/File:Affinity-table.jpg

لمشاهدة مثال عن هذا الجدول. يضطر الكيميائيون للتخلي عن مثل هذا التصنيف لأن عدد المركبات الجديدة المكتشفة أصبح كبيرا.

٢.٦ الوزن الذري (Atomic Weight)

كانت المحاولة الثانية لتصنيف العناصر الكيميائية من طرف يونس ياكوب بيرسيليوس (Jöns Jacob Berzelius 1779-1848) حيث إختار الوزن الذري (Atomic Weight) كمعيار. تذكر أن التعاريف المستعملة للذرة آنذاك تميز بين ذرات العناصر حسب حجم و وزن الذرة. كما قام بيرسيليوس بإدخال التسمية الجديدة للعناصر بإستعمال الأسماء اللاتينية.

٣.٦ الجدول الدوري (The Periodic Table)

يعاني تصنيف بيرسيليوس من كونه أحادي البعد، مما يجعل مهمة إيجاد نمط ما بين الذرات صعبا. دفع هذا الضعف كلا من يوليوس لوثر ماير (Julius Lothar Meyer 1830-1895) و ديميتري إيفانوفيتش مندليف (Dmitri Ivanovich Mendeleev 1834-1907) إلى إضافة معيار آخر ألا و هو الخصائص الكيميائية مثل عدد الروابط و نوع التفاعلات الكيميائية... إلخ. إعتد كلاهما على التخمين (conjecture):

« إذا قمنا بترتيب العناصر الكيميائية وفق وزنها الذري ترتيبا تصاعديا، يمكن ملاحظة تكرار دوري لخصائصها الفيزيائية و الكيميائية. »

“ if we arrange the elements in the order of increasing atomic weight, a periodic recurrence of properties, physical and chemical can be noted. ”

إستعمل الجدول الدوري بطريقتين:

- تصحيح خصائص بعض العناصر.

• إحتوى الجدول الدوري في البداية على خانات فارغة، مما أعطى توقعات دقيقة لنوعية العناصر التي يمكننا البحث عنها. كما يمكننا معرفة خصائص أي عنصر أكتشف جديدا إنطلاقا من موقعه في الجدول.

أدى النجاح الباهر للجدول الدوري إلى التسائل التالي:

«ما هو السر وراء ترتيب العناصر؟ و ما سر البنية الدورية لخصائصها؟»

كان علينا إنتظار ظهور **نظرية الكم** (quantum mechanics) للإجابة عن هذين السؤالين. لكن قبل ذلك وجب علينا معرفة بنية الذرة.

٧ نظرة داخل الذرة (A Look Inside the Atom)

ظهرت نظرية الذرة إلى الوجود لما إعتقد الإنسان أن تجزيء المادة لا يمكن أن يستمر إلى الأبد و لا بد أن يكون هناك جزء لا يمكن تجزئته. لكن هذا المفهوم تغير مع الزمن إلى أن أصبحنا نتكلم عن ذرات العناصر الكيميائية (atoms of elements). لكن التساؤل المطروح الآن: «ماهي بنية هذه الذرات؟»

١.٧ الإلكترون (The Electron)

كان الإلكترون أول مركب للذرة الذي تم إكتشافه.

١.١.٧ إكتشاف الإلكترون (Electron Discovery)

وليام كروكس (William Crookes 1832-1919): عندما كان كروكس يدرس أنبوب الأشعة الكاثودية (cathode ray tube) لاحظ دوران ناعورة (paddle wheel) موضوعة على مسار الأشعة. إستنتج من ذلك أن الأشعة تملك قوة و بالتالي فهي عبارة عن جسيمات (particles). ثم قام بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على مسار هذه الجسيمات و إستنتج أنها تحمل شحنة سالبة.

جوزيف جون طومسون (Joseph John Thomson 1856-1940): أعاد طومسون تجربة كروكس لكن مع أنبوب أشعة كاثودية ذو فراغ عالي (high vacuum) لتجنب تشويش (interference) أيونات جزيئات الغاز المتبقية. كما قام بدراسة إنحراف الجسيمات في الحقلين الكهربائي و المغناطيسي (electric and magnetic fields) مما مكنه من قياس أدق لنسبة كتلة الجسيم إلى شحنته. سمي الجسيم **إلكترون** (electron) بعد إقتراح هذا الإسم من طرف **جورج فيتزجيرالد** (George Francis FitzGerald 1851-1901).

٢.١.٧ أول نموذج ذري (The First Atomic Model)

تصور طومسون أن الإلكترونات تتوزع بانتظام على مادة ذات شحنة موجبة واصفا ذلك بقوله:

« تتكون الذرة من إلكترونات موزعة على شحنة موجبة منتظمة كما يتوزع البرقوق في الكعكة. »

“ The atom consists of unifrom positive charge through which electrons are distributed, much like plums in a pudding. ”

٢.٧ النشاط الإشعاعي (Radioactivity)

لعبت الجسيمات التي تكون الإشعاعات النووية دورا هاما في سبر بنية الذرة.

١.٢.٧ إكتشاف النشاط الإشعاعي (The Discovery)

فيلهلم كونراد رونتغن (Wilhelm Conrad Röntgen 1845-1923): عندما قام رونتغن بتغطية أنبوب الأشعة الكاثودية بورق أسود لاحظ أن بلورات موضوعة خارج الجهاز بدأت تتوهج. أطلق على هذه الأشعة إسم الأشعة السينية (X-rays) لأنه لم يكن يعرف ماهيتها.

أنطوان هنري بيكريل (Antoine Henri Becquerel 1852-1908): فكر بيكريل في الإتجاه المعاكس لنتيجة تجربة رونتغن حيث طرح التساؤل التالي:

«إن كانت الأشعة السينية تسبب توهج المواد، فهل يعني هذا أن المواد المشعة تنبعث منها الأشعة السينية؟»

قرر بيكريل أن يجري تجربة للتأكد من تخمينه، و لغرض التحضير لها قام بوضع ملح اليورانيوم (Uranium salt) مع لوحة فوتوغرافية (photographic plate) و الكل مغطى في ورق أسود في درج مكتبه. ترك بيكريل هذه المواد لعدة أيام في درج مكتبه لأن الجو كان سيئا^(٩). لكن كل ذلك كان من حظه لأنه إكتشف أن هناك أشعة تنبعث من اليورانيوم.

٢.٢.٧ أنواع الإشعاعات (Types of Radiation):

قام العلماء بدراسة هذه الإشعاع لإكتشاف طبيعتها.

إرنست روثرفورد (Ernest Rutherford 1871-1937): إكتشف روثرفورد بعد دراسة الأشعة المنبعثة من اليورانيوم أن هناك نوعين من الإشعاعات:

• أشعة α و التي أثبتت فيما بعد أنها نواة ذرة الهيليوم.

• أشعة β و التي أثبت أنها عبارة عن إلكترونات.

^(٩) إحتاج بيكريل للشمس لكي يجعل ملح اليورانيوم يتوهج.

بول أولريش فيلارد (Paul Ulrich Villard 1860-1934): إكتشف فيلارد نوعاً آخر من الإشعاعات: أشعة γ ، والتي تشبه الأشعة السينية. كما إكتشف أن اليورانيوم يتحول إلى عنصر آخر بعد إصدار أشعة α أو β .

٢.٧ النواة (The Nucleus)

أراد رودرفورد أن يجمع معلومات أكثر عن طبيعة الذرة و ذلك بهدف فهم سبب و كيفية إصدار اليورانيوم لأشعة α و β .

١.٢.٧ التجربة (The Experiment)

قام رودرفورد و تلميذه هانز غايغر (Hans Geiger 1882-1945) و إرنست مارسدن (Ernest Marsden 1889-1970) بقذف صفيحة رقيقة من الذهب بجسيمات α و قام بمتابعة مسارها. لاحظ أن معظم الجسيمات α مرت دون أن تنحرف عن مسارها لكن كانت هناك بعض الجسيمات التي عادت أدراجها (deflected) و بزوايا حادة (sharp angles).

٢.٢.٧ ثاني نموذج ذري (The Second Atomic Model)

فسر رودرفورد رجوع الجسيمات α على أنها إصطدمت بجسم ثقيل و ذو شحنة موجبة. أدى هذا إلى إقتراح نموذج ذري يشبه المجموعة الشمسية (The Solar System) حيث أن معظم كتلة الذرة تتواجد في مركزها و تحمل شحنة موجبة و الإلكترونات ذات الشحنة السالبة تدور حولها. أطلق على الجزء المركزي إسم النواة (nucleus). قال رودرفورد واصفاً نموذجها:

« تتكون الذرة من جزء ثقيل و ذو حجم صغير أين تجتمع الجسيمات الموجبة، و حولها يدور نفس العدد من الإلكترونات ذات الشحنة السالبة. »

“ The atom is composed of a heavy but relatively small nucleus where the positive charged particles are lumped together and outside it an equal number of negatively charged electrons are in motion around it. ”

لكن إقتراح رودرفورد يطرح الأسئلة التالية:

- ما هو سبب عدم إنفجار النواة بسبب التنافر بين الجسيمات الموجبة الشحنة؟
- حسب نظرية ماكسويل (Maxwell)، فإن أي شحنة متسارعة تفقد طاقة على شكل أشعة كهرومغناطيسية. مما يؤدي إلى سقوط الإلكترونات على النواة الشيء الذي لا نلاحظه. فما سبب ذلك؟

سنحاول الإجابة على هذه التساؤلات في المحاور القادمة.