الباب الثالث عشر :

الكيميـاء الإشعاعيـة

مجـال الكيميـاء الإشعاعيـة

مصـادر الأشعـة المؤينـة

أولا : النظائر المشعة للعناصر

(أ) دقائق ألفا (α)

(ب) دقائق بيتا (β)

تأثيـر دقائـق ألفـا وبيتـا

(جـ) أشعـة جامـا (γ)

أنـواع المعجـلات

(1) المعجل الالكترونى الخطى

(2) السايكلوترون

(3) مكائن أشعة اكس

أشعـة إكـس

(4) معجل فان دى كراف

المفاعـلات النوويـة

امتصاص أشعة جاما واكس

1) التأثيـر الكهروضوئـي

2) ظاهـرة استطـارة كومبتـون

3) إنتاج مزدوج الإلكترون - بوزترون

obeikan.com

ثانيا : امتصاص دقائق بيتا

1- امتصاص دقائق ألفا والدقائق الثقيلة المشحونة الأخرى

2- امتصاص النيوترونات

ثالثا : الحالة الفيزيائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة

(1) الحالة الفيزيائية للفوتونات والالكترونات

(2) الحالة الفيزيائية للدقائق الثقيلة المشحونة

رابعا : الحالة الكيميائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة

(1) تفكك الحالة المثارة

(2) تفاعلات الايون الموجب

(3) تفاعلات الجذور الحرة

(4) تفاعلات الإلكترون

خامسا: تفاعلات الالكترونات والجذور الحرة النافذة

الأسئلـــة

obeikan.com

الباب الثالث عشر :

الكيمياء الإشعاعية

لكي نفهم الكيمياء الإشعاعية والمعنى الدقيق لعمليات التحلل الإشعاعي يجب علينا التمييز بين هذا الحقل وحقول الكيمياء المقاربة له ككيمياء العناصر المشعة وظاهرة النشاط الإشعاعي والكيمياء النووية والكيمياء الضوئية . حيث تتضمن كيمياء العناصر المشعة دراسة العناصر المشعة نفسها .

فمثلا طرق عزلها من خاماتها وتنقيتها وخواصها الكيميائية والفيزيائية والاستفادة من تطبيقاتها فى حقول الكيمياء الأخرى كالكيمياء التحليلية والعضوية والفيزيائية وقياس شدة فعاليتها.

وتتناسب فعالية العنصر المشع A أو معدل سرعة انحلاله تناسبا طرديا مع عدد نوياته N ويسمى ثابت التناسب λ ثابت الانحلال كما فى المعادلة التالية :

$$A = - \frac{dN}{dt} = \lambda N$$

ويؤدى تكامل المعادلة السابقة بعد تطبيق الشروط الابتدائية N=N0 عند بدء الانحلال t = 0 الى المعادلة التالية :

$$N = N_o e^{- \lambda t}$$

حيث تمثل N_o عدد نويات العنصر المشع الابتدائية . وهذه المعادلة تثبت أن انحلال العناصر المشعة جميعا يخضع الى قانون تفاعلات الدرجة الأولى . ويعرف وقت عمر نصف

الانحلال بأنه الوقت اللازم لانحلال عدد نويات العنصر المشع الى النصف ، وبموجب هذا التعريف تصبح المعادلة السابقة كما يلي :

$$\frac{N_o}{2} = N_o\, e - \lambda\, \tau$$

$$\tau = \frac{0.693}{\lambda} = \text{وقت عمر النصف}$$

والكيمياء الضوئية تشمل دراسة امتصاص المادة للأشعة الكهرومغناطيسية أي الفوتونات وكل فوتون يحمل طاقة تساوى $h\nu$ أو مضاعفاتها ، h ثابت بلانك و ν التردد بالمنطقتين فوق البنفسجية والمرئية من مناطق الطيف .

ينحصر طول موجة الضوء الممتص فى المنطقة فوق البنفسجية بين 200-340 nm بينما ينحصر فى المنطقة المرئية بين 340-700 nm ويتناسب طول موجة الضوء الممتص λ عكسيا مع تردده ν ويساوى ثابت التناسب سرعة الضوء C :

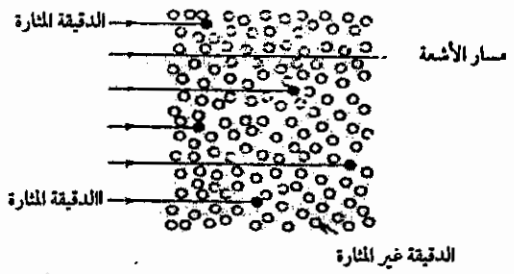
$$\lambda = \frac{C}{\nu}$$

ويسبب امتصاص الضوء من قبل المادة فى هاتين المنطقتين نشاطا كيميائيا للجزيئة قد يؤدى الى انتقالها الكترونيا الى الحالة المثارة وتسمى العملية عندئذ الإثارة وتحمل الجزيئة فى حالتها المثارة طاقة إضافية تسمى طاقة الإثارة نتيجة امتصاصها للفوتونات لذا تكون فى حالة عدم استقرار ثم ترجع الى حالتها الاعتيادية المستقرة فى احد الطريقين التاليين :

الطريقة الأولى : إذا كانت طاقة الإثارة الممتصة أعلى من قيمة طاقة تفكك إحدى روابط فان الجزيئة تتفكك من خلال تلك الرابطة مولدة الجذور الحرة ومنها تحصل التغيرات الكيميائية .

الطريقة الثانية : إذا كانت طاقة الإثارة أقل من طاقة تفكك جميع روابط الجزيئة فإنها تتبعثر لتصادماتها المتلاحقة مع الجزيئات الأخرى أو مع الجدار الداخلي لوعاء التفاعل غير محدثة أي تغير كيميائي .

ويسبب كل فوتون إثارة جزيئة واحدة فقط كما هو موضح فى الشكل التالي وتتكون حالة مثارة للجزيئة معرفة جيدا باستخدام ضوء أحادى الطول الموجى



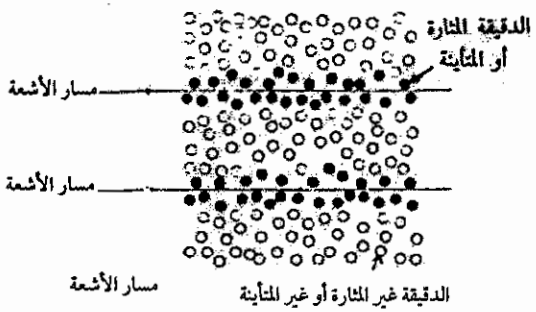
$$A + h\nu \rightarrow A^*$$

ووجد أن امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية بطاقة أقل من المنوه عنها فى المنطقتين فوق البنفسجية والمرئية فمثلا بطول موجه أقل من 50 nm يسبب الإثارة وقد يسبب التأين بنفس الوقت وتسمى العملية آنذاك بالتأين الضوئي كما يلي :

$$A + h\nu \; ; \lambda \, nm \, 50 \longrightarrow A^* + A^+ + e^-$$

ونري أن موضوع الكيمياء الإشعاعية يتضمن امتصاص الإشعاعات ذات الطاقة العالية كأشعة اكس وجاما ودقائق ألفا وبيتا والنيوترون من قبل جزيئات المادة الذي يسبب التأين بالإضافة الى تصعيد الجزيئة الى الحالات المثارة ذات الطاقة العالية .

وان امتصاص كل فوتون أو دقيقة إشعاعية يسبب تأين وإثارة عدد كبير من الجزيئات بنفس الوقت وفى حالة الفوتون يرجع السبب الى الالكترونات الثانوية كما هو مبين فى الشكل التالي :



ويتم الكثير من التفاعلات الكيميائية الثانوية نتيجة تكون عدد كبير من المركبات الكيميائية غير المستقرة من جزيئات ودقائق متأينة أي الجزيئة الموجبة والإلكترون السالب وجزيئات مثارة ذات الطاقة العالية والذى يؤدى تفككها الى تكون الجذور الحرة .

فمثلا تفاعلات الجذور الحرة مع الإلكترون السالب والجزيئة المتعادلة والجزيئة الموجبة وتفاعلات الإلكترون السالب مع الجزيئات المتعادلة وتفاعلات الجزيئة الموجبة والسالبة مع الجزيئة المتعادلة وهكذا ، وتنتهي جميع هذه التفاعلات بتكوين المركبات الكيميائية المستقرة .

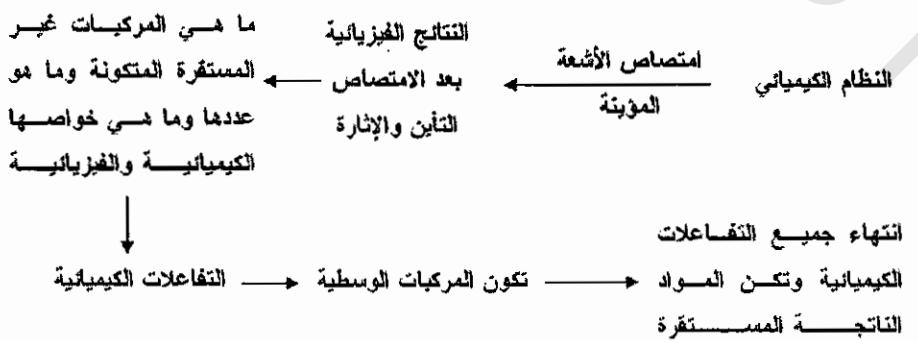
مجال الكيمياء الإشعاعية :

(أ) دراسة المركبات الوسطية غير المستقرة المتولدة نتيجة امتصاص الأشعة وذلك بتشخيصها بأحدث الطرق الفيزيائية وحساب عددها نسبة الى جرعة الإشعاع المعطاة وملاحقة معدل سرعة تفاعلاتها مع نفسها أو مع المركبات غير المستقرة الأخرى أو مع مركبات مستقرة شديدة الفعالية معها تضاف الى النظام قبل البدء بتسليط الإشعاع وتسمى هذه بالمواد المذابة .

(ب) تشخيص المركبات الناتجة المستقرة كميا بعد انتهاء جميع التفاعلات الكيميائية .

(ج) اقتراح ميكانيكية التحلل الإشعاعي للمادة المراد دراستها بموجب نتائج الدراسة .

ويمكننا أن نلخص جميع الظواهر الفيزيائية والكيميائية التي تحدث عند امتصاص الإشعاعات ذات الطاقة العالية من قبل الأنظمة الكيميائية التي تمثل حقل الكيمياء الإشعاعية بالمخطط التالي :



مصادر الأشعة المؤينة :

تشمل مصادر الاشعة المؤينة ثلاثة انواع :

(أ) النظائر المشعة للعناصر الطبيعية منها كعنصر الراديوم والرادون والبولونيوم والصناعية كنظير عنصر الكوبلت -60 (العدد 60 يمثل العدد الكتلى) ونظير عنصر السيزيوم -137 ونظير عنصر السترونيوم-90 .

(ب) مكائن المعجلات الالكترونية واشعاعات الفا ذات الطاقة العالية ومثال ذلك معجل الفان دى كراف والمعجل الالكترونى الخطى والسايكلوترون .

(ج) يشمل المفاعل النووية ومصادر النيوترونات .

وفيما يلي نتناول بالشرح والتحليل المصادر السابقة :

أولا : النظائر المشعة للعناصر :

تشع النظائر المشعة لبعض عناصر الجدول الدوري الطبيعية والصناعية ثلاثة أنواع من الإشعاعات هى دقائق ألفا وبيتا وأشعة جاما . تعد أشعة جاما أهم هذه الأنواع والأكثر استعمالا فى حقل الكيمياء الإشعاعية لقدرتها العالية على تأين المواد وقوة اختراقها فى مختلف المحيطات .

وفيما يلى نبذه عن كل نوع من هذه النظائر المشعة :

(أ) دقائق ألفا (α) :

دقائق ألفا عبارة عن نوى ذرات عنصر الهيليوم وبعبارة أخرى ذرات الهيليوم الفاقدة الكتروناتها الخارجية وهناك بعض العناصر الطبيعية ذات العدد الذرى العالي تشع هذا النوع من الأشعة مثل عنصر البولونيوم واليورانيوم والثوريوم والرادون والراديوم كما هو مبين فى الجدول التالى :

ونجد أن طاقات دقائق الفا من النوع المنفرد المتميز وتحدث دقائق الفا خلال مرورها بالمادة تصادمات غير مرنة مع الكترونات جزيئات المادة مسببة الإثارة والتأين لذرات تلك الجزيئات .

وتأخذ هذه الدقائق مسارا مستقيما ثم تفقد جزءا قليلا من طاقتها بفعل تلك التصادمات ونقول جزءا قليلا وذلك بسبب الفرق الكبير بين كتلة دقيقة الفا وكتلة الإلكترون ثم تبطىء تدريجيا نتيجة فقدان تلك الطاقة .

وبما ان كل دقيقة الفا تنبعث من نفس العنصر تملك نفس الطاقة لذا فان جميع الدقائق لها نفس المدى وبمعنى آخر تسير جميع الدقائق خلال مرورها بالمادة الى نفس المسافة وتنتج دقائق الفا الصادرة من عنصر البولونيوم - 210 ما يعادل 150,000 من الأزواج الأيونية .

وكل مزدوج ايوني عبارة عن الإلكترون السالب والايون الموجب للذرة الواحدة ، وان حجم التفاعل الكيميائي الذي يعقب تكون الأزواج الأيونية يعتمد على عدد هذه الأزواج الفعالة ويعتمد أيضا على تركيزها الذي يعتمد بدوره على معدل فقدان الطاقة .

ويعبر عن معدل فقدان الطاقة بدلالة انتقال الطاقة الخطى ويعرف بأنه المعدل الخطى لفقدان الطاقة الممتصة محليا بواسطة الدقيقة المؤينة او الطاقة المتراكمة بوحدة مسافة مسيرة الدقيقة المؤينة وتقدر وحدة هذه الطاقة بالكيلو الكترون فولت لكل مايكرون واحد .

ويعتمد انتقال الطاقة الخطى على طاقة دقيقة الفا ويزداد كلما قلت سرعة الدقيقة كما هو مبين فى الجدول التالى حيث ان قوة اختراق دقائق الفا للمادة أقل بكثير من قوة اختراق دقائق بيتا وأشعة جاما ولكن تمتلك اعلى قيمة لانتقال الطاقة الخطى منهما

قوة اختراق دقائق ألفا في محيطي الماء والهواء ومتوسط انتقال الطاقة الخطي لها في الماء

النظير	الطاقة (Mev)	متوسط المدي في الهواء بالسنتيمتر	متوسط المدي في الماء بالسنتيمتر	متوسط انتقال الطاقة الخطي في الماء بوحدة كيلو الكترون فولت لكل مايكرون واحد
راديوم -226	4.683	3.3	0.0033	145
بولونيوم -210	5.3	3.8	0.00389	136
رادون -222	5.49	4.0	0.00411	134

(ب) دقائق بيتا (β) :

ليست طاقات دقائق بيتا المنبعثة من عنصر مشع معين متساوية كما هو الحال فى دقائق الفا ولكن تنبعث بطاقات مختلفة وتأخذ قيما تتراوح من الصفر الى أعلى قيمة وتعد هذه القيم صفة خاصة للعنصر المشع نفسه ، وتأتى هذه الفروق فى طاقات دقائق بيتا من حقيقة واحدة وهى أن جزءا من الطاقة المنبعثة عند انحلال العنصر المشع تحمل بواسطة الدقائق نفسها .

ويحمل الجزء الثاني بواسطة الانتينيترينات ولا تملك هذه الانتينيترينات شحنة كهربائية ولا كتلة لذلك يكون تأثيرها خلال مرورها فى المادة قليلا جدا وبالامكان إهماله ولكن فرض وجودها بسبب حفظ الطاقة . وتفقد دقائق بيتا معظم طاقتها عند مرورها خلال محيط المادة نتيجة التصادمات غير المرنة مع الكترونات تلك المادة بنفس الطريق الذي تفقد فيه دقائق الفا طاقتها .

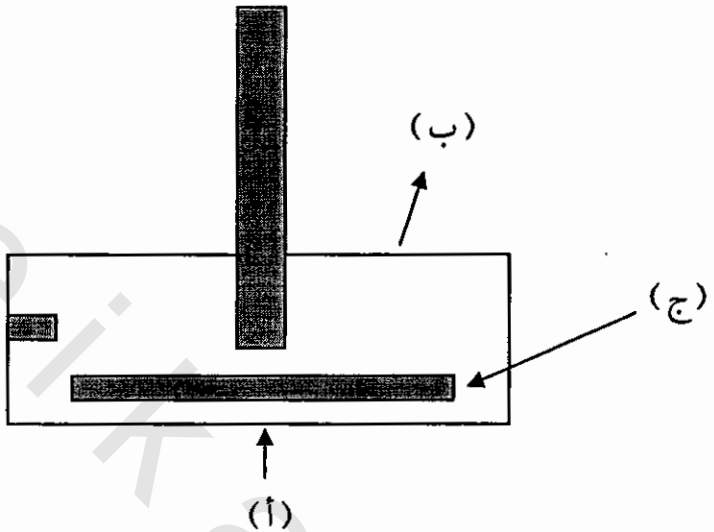
ولكن هناك اختلافا واحدا فى كيفية فقدان الطاقة بين الدقيقتين وهو ان دقيقة بيتا والإلكترون الذي تصطدم به لهما نفس الكتلة لذلك تفقد دقيقة بيتا نصف طاقتها فى كل تصادم منفرد إضافة الى احتمالية انحرافها بدرجة كبيرة . لذلك لا تملك دقائق بيتا مدى اختراق ثابت عند مرورها فى محيط المادة ولكن تظهر أعلى مسافة للاختراق او أعلى مدى .

ووجد أن طول المسافة التي تقطعها دقيقة بيتا فى محيط المادة اكبر من مدى اختراق الدقيقة للمحيط وذلك لعدم مسارها بصورة مستقيمة فى المحيط بسبب الانحراف الذي يظهر نتيجة التصادمات وعلى عكس الدقائق الثقيلة مثل دقائق الفا التى تسير غالبا ما بصورة مستقيمة الذي يكون طول مسافة مسيرها مساويا الى مدى الاختراق ويمثل الجدول التالي طول المسافة وأعلى مدى اختراق لدقائق بيتا فى مختلف المحيطات ومتوسط انتقال الطاقة الخطى لها فى الماء .

تأثير دقائق ألفا وبيتا :

يتم دراسة تأثير دقائق ألفا وبيتا على المواد الكيميائية بشكلين الأول : يستعمل العنصر المشع لهذه الدقائق كمصدر داخلي وذلك بخلطه مع المادة المراد دراستها ثم تدرس التغيرات

الكيميائية الناتجة كالهيدروجين - 3 والفسفور - 32 والكبريت - 35 والرادون - 222 والثاني : كمصدر خارجي كما هو مبين في الشكل التالي :



ويمثل (أ) صفيحة رقيقة من معدن الذهب يطلي عليها كهربائيا عنصر البولونيوم - 210 ومعلقة في الماسك الفولاذي (ب) ولكن (ج) صفيحة الميكا وهي مادة شبه زجاجية عازلة ومثبتة على مقدمة الماسك لكي تمنع تراكم البولونيوم وهناك أيضا مقبض فولاذي يوجه باتجاه خلفي وجانبي للماسك.

ولتقليل طاقة دقائق ألفا المنبعثة من المصدر توضع صفيحة رقيقة من الميكا بين المصدر والمادة المراد تسليط الأشعة عليها. وفي حالة استعمال عناصر مشعة تبعث دقائق بيتا كالسترونتيوم -90 . كما يستخدم الجهاز في الشكل السابق نفسه ولكن بدون الصفيحة (ج) وتقيض الصفيحة الفعالة (أ) بعنصر الفضة ثم يصان بطبقة سطحية من الفضة .

(جـ) أشعة جاما (γ):

تبين ان إشعاعات جاما عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية ذات اصل نووي شبيه بإشعاعات الضوء المرئي وموجات الراديو وأشعة اكس ولكن طول موجتها قصير جدا

وحتى انه اقصر من طول موجة أشعة اكس بكثير اذ يتراوح طول موجتها بين -0.0003 nm 0.03 ويعادل بوحدات الطاقة عالى وجه التقريب 40 kev الى 4 Mev.

وتنبعث أشعة جاما من النظير المشع بشكل إشعاع أحادى الطاقة او على عدد قليل من طاقات منفردة متميزة فمثلا ينبعث من نظير الكوبلت -60 إعداد متساوية من فوتونات جاما ذات طاقة مساوية الى 1.332 و 1.173 مليون إلكترون فولت. وتفقد أشعة جاما معظم طاقاتها خلال تداخل واحد مع المادة وعلى عكس دقائق الفا وبيتا اللتين تفقدان طاقتهما بصورة تدريجية .

ويمتص جزء من اشعة جاما الساقطة على المحيط امتصاصا كاملا. واما الجزء العابر (غير الممتص) فيحتفظ بطاقته الابتدائية كاملة، فاذا كانت I تمثل عدد فوتونات جاما النافذه خلال المادة الممتصة ذات السمك x و I_0 عدد الفوتونات الساقطة و μ معامل الامتصاص الكلى فان المعادلة التالية تمثل عدد الفوتونات غير الممتصة من قبل المادة

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

ولا تملك أشعة جاما مدي اختراق معروف في المحيط وتستعمل قيمة السمك النصفي للتعبير عن ربط عدد الفوتونات النافذة مع سمك المادة الممتصة. وتعرف قيمة السمك النصفي بأنها سمك المادة الممتصة اللازم لاختزال شدة أشعة جاما أي عدد الفوتونات النافذة إلى النصف وبالامكان حسابه من المعادلة السابقة اذا كانت قيمة معامل الامتصاص الكلي معلومة كما يلي :

$$\text{In } \frac{I}{I_o} = -\mu X \qquad \text{In } \frac{I_o/2}{I_o} = \mu X_{1/2} = \text{In } (1/2)$$

$$X_{1/2} = \frac{\text{In } 2}{\mu} = \frac{0.693}{\mu}$$

ويمثل الجدول التالي قيم السمك النصفي لأشعة جاما في مختلف المحيطات ومتوسط الطاقة الخطي لها في الماء.

النظيـر	طاقة الفوتون (Mev)	قيمة السمك النصفي بالسنتمتر في				انتقال الطاقة الخطي في الماء بالكيلو الكترون فولت لكل مايكرون
		الماء	الألمونيوم	الكونكريت	الرصاص	
سيزيوم- 137	0.66	8.1	3.4	3.8	0.57	0.39
كوبلت - 60	1.25	11	4.6	5.2	1.06	0.27
كثافة المادة المتصة جرام / سم^3		2.72	2.35	11.34		

ولقد كان المصدر الرئيسي لأشعة جاما المستعمل في الدراسات الكيميائية في بادئ الأمر عنصر الراديوم وكان يحفظ بوعاء ذو جدار سمكه قابل لامتصاص دقائق ألفا وبيتا (كصفيحة بلاتين سمكها 0.5 مليمتر) ثم استبدل مؤخرا بالنظائر الصناعية كنظير الكوبلت - 60 ونظير السيزيوم - 137 وذلك لرخص ثمنها.

ووجد أن نظير الكوبلت - 60 الصناعي هو الأكثر فائدة كمصدر لأشعة جاما ويحضر في المفاعل النووي بواسطة التفاعل النووي بين عنصر الكوبلت - 59 غير المشع والنيوترونات الحرارية البطيئة :

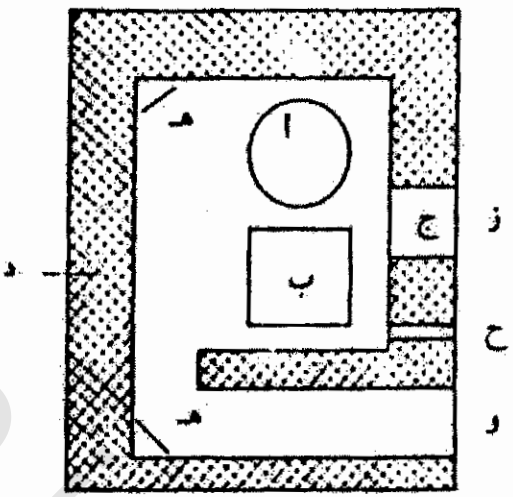
$$^{59}Co + {}^{1}n \longrightarrow {}^{60}Co + \gamma$$

ويكتب هذا التفاعل عادة على النحو التالي : $^{59}Co\,(n,\gamma)\,{}^{60}Co$

ونجد ان بناء غرف التعرض لأشعة جاما يكلف أسعارا باهظة الثمن ولاسيما أنها تشمل أجهزة أمنية شاملة لحماية العامل أو الباحث من خطر هذا الإشعاع ، وتكون هذه الغرف نوعين وتستعمل للأغراض الصناعية وأغراض الدراسة والبحث العلمي .

فالنوع الأول عبارة عن برميل مصنوع من عنصر الرصاص يخترقه تجويف عمودي توضع على جانبيه وفى وسط المسافة قضبان الكوبلت - 60 وتتصل بفوهة التجويف العليا رافعة تساعد على وضع النموذج المراد تعرضه لأشعة جاما بين قضبان الكوبلت - 60 وإخراجه بعد تعرضه للفترة الزمنية المطلوبة .

إما النوع الثاني فهو الأكثر كفاءة والأوسع استعمالاً فى معظم الجامعات ومراكز البحوث ويمثل الشكل التخطيطي التالي أهم مواصفاته .



حيث (أ) فتحة تجويف يرتفع منها الكوبلت - 60 ، (ب) الأدوات العملية التى تستعمل فى التحليل ، (ج) نافذة للرؤية ، (د) حاجب وقائي كونكريتى ، (هـ) مرايا ، (و) مدخل ، (ز) الشخص العامل او الباحث ، (ح) قناة تستعمل لوضع النموذج المراد تعريضه للإشعاع أمام المصدر .

أنواع المعجلات :

(1) المعجل الالكترونى الخطى :

إن المعجل الالكتروني الخطى عبارة عن معجل الموجة المنتقلة . تحقن الالكترونات بشكل نبضات فى خط مستقيم ثم تعجل بواسطة حقل كهربائي ذو موجهة كهرومغناطيسية تنتقل الى أسفل الأنبوب وتتراوح طاقة الالكترونات المعجلة بهذا المعجل الى 630 مليون إلكترون فولت .

تستلم الالكترونات المعجلة بشكل دفعات أمام كل نبض منها مضاعفات قليلة للمايكروثانية وتخرج بمعدل متكرر يقدر بحوالى 500 نبض فى الثانية الواحدة . وهناك أيضا معجلات الكترونية خطية ذات طاقة أقل التي ذكرناها متوفرة تجاريا .

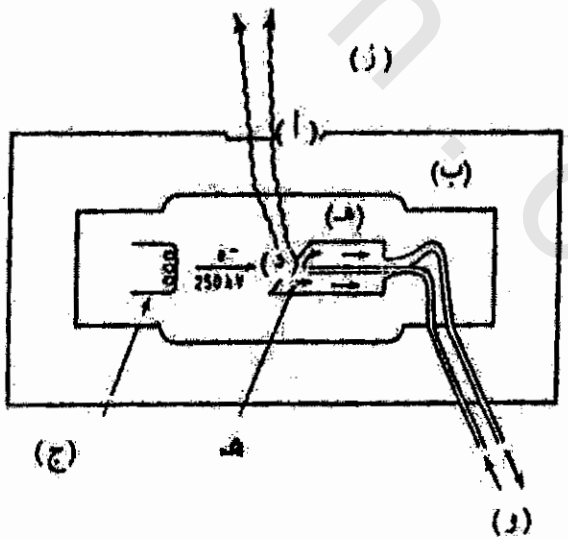
(2) السايكلوترون :

تدخل فى هذا المعجل بعض الايونات الموجبة الخفيفة فى مركز قرص مسطح ومجوف ومفرغ من الهواء ومقسوم الى نصفين قائمين بين قطبي مغناطيسي كهربائية ومصمم لان يكون بينهما مجالا منتظما ، وتعجل الايونات بواسطة التغير السريع للجهد المسلط على النصفين بموازاة مسار حلزوني يزداد قطره بازدياد طاقة الايونات .

تعجل البروتونات وأيونات الهيدروجين الثقيل أي الديوتريوم فى السايكلوترون الى طاقة مقدارها **20** مليون إلكترون فولت بينما تعجل نويات الهيليوم الموجبة أي دقائق ألفا الى طاقة تقدر بحوالي **40** مليون إلكترون فولت .

(3) مكائن أشعة اكس :

إن أشعة اكس عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية ذات طول موجة أقل من **nm** وطاقة أعلى من **0.1 kev** وتتولد عند سقوط أو قصف سيل من الالكترونات المعجلة بواسطة مجال كهربائي فى أنبوب مفرغ بصفيحة معدنية كما هو مبين فى الشكل التالي :



حيث (أ) نافذة لاستلام أشعة اكس المتولدة .

(ب) أنبوب زجاجي داخلي مفرغ تفريغا عاليا .

(ج) سلك مسخن يمثل الكاثود ومولد للالكترونات .

(د) سيل من الالكترونات المعجلة بواسطة المجال الكهربائي عبر الأنبوب .

(هـ) الصفيحة المعدنية التي تستعمل كأنود وهدف للالكترونات المعجلة .

(و) من وإلى مستودع تبريد الزيت الذي يستخدم لتبريد الهدف (هـ).

(ز) أشعة اكس المتولدة .

وتتراوح قيمة طاقة أشعة اكس بين الصفر وأعلى قيمة . وتشبه بذلك قيمة طاقات دقائق بيتا ولاسيما أن كلا الاشعاعين ذو أساس واحد وهو الالكترونات .

أشعة إكس :

النوع الأول أشعة أكس العادية ويتولد هذا النوع من أشعة اكس عندما تبطئ الالكترونات المعجلة فى منطقة المجال الكهربائي لنوية الذرة.وان طيف طاقة هذه الأشعة مستمر من أعلى قيمة للالكترونات الساقطة والى الصفر وكلما زاد العدد الذرى لمادة الهدف (المادة الممتصة للالكترونات المعجلة داخل الأنبوب المفرغ) كلما زادت نسبة طاقةالإلكترون المتحولة لأشعة .

أما النوع الثاني فيسمى أشعة اكس المميزة ولها طاقة معروفة تعتمد على العنصر الذى تتكون منه مادة الهدف وتتولد هذه الأشعة من تأين ذرات عنصر الهدف عند تصادم الالكترونات المعجلة بها وذلك بإحدى الكترونات الذرة من الغلاف الداخلي ثم سقوط إلكترون آخر من الغلاف الخارجي لتلك الذرة وذلك لسد فراغ الغلاف الداخلي الذى أحدثه الإلكترون الملفوظ .

ووجد ان فقدان الطاقة الذى يسببه هبوط الإلكترون من الغلاف الخارجي الى الغلاف الداخلي ينبعث على شكل أشعة تسمي أشعة اكس المميزة وتعادل طاقتها الفرق بين طاقتي الإلكترون فى كلا الغلافين .

وان المجموع الكلى لأشعة اكس المنبعثة يشمل أشعة اكس المميزة وأشعة علما بان الأشعة الأخيرة تعطى معظم المدى لطاقة الجهد المسلط داخل الأنبوب المفرغ ولذلك تحسب طاقتها فقط لأغراض الكيمياء الإشعاعية .

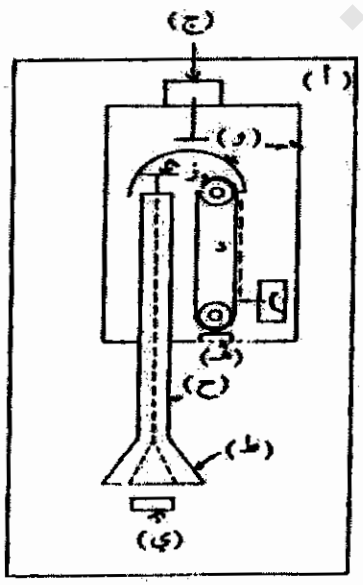
(4) معجل فان دى كراف :

يحتوى معجل فان دى كراف على ثلاثة أجزاء رئيسية : عمود عازل يسند طرف الفولتية العالي وحزام متحرك وأنبوب تعجيل مفرغا من الهواء تفريغا عاليا وجميعها معلقة فى خزان يحتوى على غاز تحت الضغط العالي .

وتستعمل الفولتية العالية المتولدة من قبل معجل فان دى كراف بالاشتراك مع أنبوب التعجيل لتعجيل سيل من الالكترونات المستمر إلى طاقة عالية ، وبعكس فرق الجهد في أنبوب التعجيل تعجل الأيونات الموجبة .

وتتولد الفولتية العالية بواسطة حزام متحرك بصورة مستمرة بحيث يجعل الشحنة الالكتروستاتيكية تتراكم على ثقب قطبي دائري وتزداد بهذه الطريقة الشحنة وأعلى جهد يحصل عليه يتراوح بين 5-30 مليون فولت .

وتعلق هذه المحتويات جميعا داخل خزان يحتوى على غاز تحت ضغط عالي ليقلل من تفريغ الشحنة الى المحيط الخارجي ، وان أنبوب التعجيل بحد ذاته عبارة عن قطبي تعجيل تسلط عبره الفولتية العالية المولده من قبل المعجل ويمثل الشكل التالي تخطيطا مبسطا لمعجل فان دى كراف مبينا عليه أهم مظاهره الخارجية .



حيث يمثل (أ) خزان عازل يحتوى على غاز تحت ضغط عالى ويتكون الغاز من خليط يشمل أربعة أجزاء من غاز النيتروجين بحيث يكون خالي من الأوكسجين وجزءاً واحدا من غازي ثاني أوكسيد الكاربون .

(ب) حاقنة الالكترونات وتقوم بتنظيم كمية الشحنة المنتشرة على الحزام ويعين جهد طرف الفولتية العالي بواسطة فولتيمتر الكتروستاتيكى دوار .

(ج) و(د) حزام متحرك يحرك بواسطة محرك كهربائي معلق تحت بكرة الحزام السفلى وتحتوى بكرة الحزام العليا على مولد لتيار متردد يولد قوة كهربائية وذلك لتزويد متلف دوائر التنظيم فى طرف الفولتية بالطاقة او القوة . يحمل النصف الصاعد من الحزام الشحنة الكهربائية السالبة ويحمل النصف النازل تحت العمل المكثف للمعجل فقط - الشحنة الموجبة ويصبح هذا غير مهم عند عمل المعجل تحت الظروف المخففة .

(و) طرف الفولتية العالي .

(ز) مصدر الانبعاث الحراري للالكترونات من كاثود مسخن بصورة غير مباشرة .

(ح) أنبوب التعجيل المفرغ .

(ط) نافذة خروج الالكترونات المعجلة .

(ى) خلية النموذج المراد تسليط الاشعة علية .

وهناك أجهزة إضافية مساعدة ملحقة بالمعجل وهى أجهزة التفريغ وأجهزة تبريد الماء ويعمل جهاز التفريغ على تفريغ أنبوب التعجيل بمساعدة مضخة انتشار الزئبق التقليدية المسببة للتفريغ العالي إما أجهزة تبريد الماء فتعمل على تبريد مضخة انتشار الزئبق من جهة ومن جهة ثانية تبريد الأسلاك الموصلة الملفوفة داخل خزان الغاز نتيجة الحرارة المتولدة عند تزويد دوائر التنظيم بالطاقة وتمون أجهزة التبريد بالماء من مستودع درجة حرارته (7) مئوي ويبرد ماء المستودع بواسطة مبرد الماء.

وهناك معجلات أخرى منها البيتاترون لتعجيل الالكترونات بطاقة تعادل **300** مليون إلكترون فولت والسينكروترون لتعجيل الايونات الموجبة بطاقة تعادل **1500** مليون إلكترون فولت وتستخدم كذلك لتعجيل الالكترونات ويستعملأيضاالسينكروسايكلوترون ومعجل كوكروفت – والتن لتعجيل الايونات الموجبة .

المفاعلات النووية :

إن الأشعة الصادرة من المفاعلات النووية عبارة عن خليط معقد من الإشعاعات والطاقات تتغير بتغير نوعية المفاعل وموقع النموذج فى المفاعل وعمر الوقود المستعمل والشروط العملية المتبعة .

وتشمل الأشعة الصادرة من المفاعلات بصورة رئيسية على النيوترونات السريعة ذات الطاقة المساوية الى مليون إلكترون فولت والنيوترونات البطيئة الحرارية وهي ذات الطاقة المعادلة الى **0.025** إلكترون فولت وأشعة جاما .

والنيوترونات عبارة عن دقائق غير مشحونة كهربائيا وغير مستقرة فى حالتها الحرة ما لم تتفاعل او تجذب من قبل بعض النوى ، وتضمحل النيوترونات تلقائيا مكونة بروتون وإلكترون بعمر نصف يقدر بحوالى (**13**) دقيقة ، وان المصير العادي للنيوترونات تفاعلها مع نوى بعض العناصر الكيميائية .

تتحمل النيوترونات السريعة عند تصادمها مع المادة استطارة مرنة تبعثر مرن مولدة ايونات موجبة ذات طاقة عالية وخصوصا بروتونات اذا كان التصادم مع مركبات تحتوى ذرات الهيدروجين .

وأما النيوترونات البطيئة فتجذب من قبل عدة نوى محدثة تحولا نوويا مصحوبا بانبعاث أشعة فمثلا عند تصادم هذه النيترونات مع ذرة الصوديوم – **23** تنبعث أشعة جاما نتيجة التفاعل التالي .

$$^{23}_{11}\mathrm{Na} + ^{1}_{0}\mathrm{n} = ^{24}_{11}\mathrm{Na} + \gamma$$

كما أن النوية المتحولة تملك طاقة إثارة كافية بحيث تسبب كسر الرابطة التي تجعل تلك الذرة فى المركب الأساسي وان هذه الذرة لها المقدرة على إحداث تأثيرات كيميائية إشعاعية أخرى ويمثل الجدول التالي بعض التفاعلات النووية المولدة للنيوترونات :

وتعرف طاقة البدء بأنها أقل طاقة تحملها الأشعة الساقطة لكي تبدأ التفاعل النووي . تعتمد طاقة النيوترونات المتولدة فى التفاعلات النووية على نوع وطاقة الأشعة الساقطة وعلى مادة عنصر الهدف ولكن باختيار التفاعل الملائم والشروط المناسبة يصبح بالامكان توليد النيوترونات ذات الطاقة المطلوبة والأحادية .

وبالرغم من صعوبة تفسير ظاهرة التحلل الإشعاعي عند استعمال المفاعلات النووية كمصدر للأشعة الساقطة . بسبب الخليط المعقد من الإشعاعات التي ينتجها المفاعل . وهناك بحوث كثيرة قد أنجزت على بعض الأنظمة الكيميائية ومنها دراسة الأضرار التي تحدثها الإشعاعات للأنظمة البايولوجية وخاصة الكائنات الحية .

امتصاص أشعة جاما واكس:

يخضع امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية من قبل المادة إلى قانون لامبرت – بيرز كما بالمعادلة التالية :

$$I = I_O\, e^{-\mu x}$$

يمثل μ معامل الامتصاص الخطي الكلي ويشمل مجموع ثلاث كميات كما يلي :

$$\mu = \mu_E + \mu_C + \mu_P$$

حيث μ_E معامل الامتصاص الخطي للتأثير الكهروضوئي و μ_C معامل الامتصاص الخطي لظاهرة استطارة كومبتون و μ_P معامل امتصاص الخطي لظاهرة إنتاج مزدوج الإلكترون – بوزترون وتعرف لطاقة الممتصة من قبل المادة بموجب قانون لامبرت – بيرز على النحو التالي :

الطاقة الممتصة $= I_a = I_O - I = I_O - I_O\, e^{-\mu x} = I_O\,(1 - e^{-\mu x})$

حيث كل من I و I_O عدد الفوتونات النافذة والساقطة على التوالي .وعند تقسيم معامل الامتصاص الخطي μ على كثافة المادة الممتصة e نحصل على معامل امتصاص الكتلة الذي له أهميته في الكيمياء الإشعاعية ويقدر بوحدات سم^2 / جرام μ/e .

وان معامل الامتصاص الذري $a\mu$ والالكتروني $e\mu$ لا يقلان أهمية عن امتصاص الكتلة ويرتبطان بمعامل الامتصاص الخطي ومعامل امتصاص الكتلة على النحو التالي :

$$e\mu = \frac{\mu A}{Q N_O Z}$$ وتكون الوحدات سم^2 / الكترون

حيث يمثل Q و A و Z و N_O الكثافة والوزن الذري والعدد الذري وعدد أفوجادور على التوالي .

ويعبر عن معامل الامتصاص الذري والالكتروني في أغلب الأحيان بالمقطع العرضي (σ) ويقدر بوحدة البارن للذرة الواحدة أو للإلكترون الواحد وان كل بارن واحد يساوي 10^{-24} سم^2 . ونستطيع أن نحسب نسبة الطاقة الممتصة من قبل مادتين مختلفتين A و B ومعرضتين لنفس شدة الأشعة الساقطة كما يلي :

إذا كان المقدار μx في معادلة الطاقة الممتصة ذا قيمة قليلة فان $1-\mu x$ يمثل الحد الأكثر أهمية عند فتح المقدار $e^{-\mu x}$ وبذلك تأخذ معادلة الطاقة الممتصة الشكل التالي :

$$I_a = I_O (1 - (1-\mu x)) = I_O \mu x$$

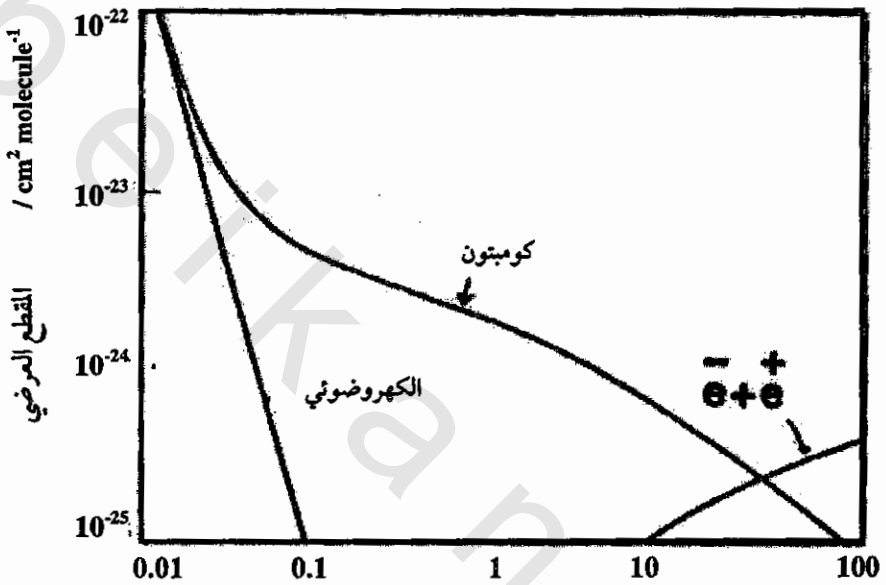
وبدلالة معامل امتصاص الكتلة نحصل على ما يلي : $I_a = I_O (\mu / e)$

وتعد المعادلتين الأخيرتين صحيحتين فقط عندما تكون طبقة المادة الممتصة رقيقة أي لا تستطيع أن تخفض أو تضعف الأشعة الساقطة بنسبة ممكن تقديرها، ومن المعادلة الأخيرة نستطيع أن نشق المعادلة التالية التي تحسب لنا نسبة الطاقة الممتصة بواسطة المادتين A و B كالأتي:

$$\frac{(I_a)A}{(I_a)B} = \frac{I_O (\mu/Q)_A}{I_O (\mu/Q)_B} = \frac{(\mu/Q)_A}{(\mu/Q)_B}$$

$$\frac{(I_a)A}{(I_a)B} = (\mu_A / \mu_B) . (Q_B / Q_A)$$

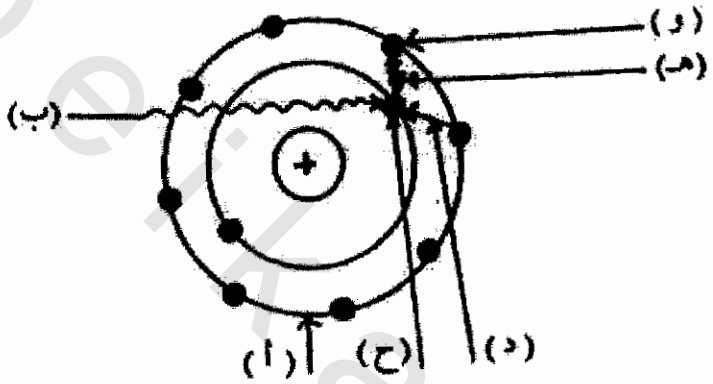
إن الأهمية النسبية لكل من التأثيرات الكهروضوئية واستطارة كومبتون وإنتاج مزدوج الإلكترون – بوزترون تعتمد على طاقة الفوتون الابتدائية كما هو مبين في الشكل البياني التالي :



ويكون التأثير الكهروضوئي السائد عند الذرات ذات العدد الذري العالي وعندما تكون طاقة الفوتون الابتدائية مساوية الى 0.1 مليون إلكترون فولت أو أقل ،بينما تكون ظاهرة استطارة كومبتون المرجحة عندما تتراوح طاقة الفوتون الابتدائية بين 0.1 و 10 مليون إلكترون فولت ثم تصبح ظاهرة إنتاج مزدوج الإلكترون – بوزترون الأكثر أهمية عندما ترتفع طاقة الفوتون الابتدائية الى أعلى من 10 مليون إلكترون فولت . أما كيفية امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية من قبل المادة الممتصة بموجب ميكانيكية تلك الظواهر الثلاث فهي كما يلي :

1) التأثيـر الكهروضوئي:

تنتقل فى هذه الظاهرة طاقة الفوتون كلية الى الإلكترون الـذرى مـسببة لفـظ إلكـترون الذرة الممتصة من غلافها الداخلي وعادة من الغلاف -K وبصورة دقيقة تكون احتمالية لفظه من الغلاف - K تساوى 80 ٪ و20 ٪ من الغلاف - L وكما هو موضح فى الشكل التالي :



حيث يمثل (ب) فوتون الأشعة الكهرومغناطيسية الداخل فى الذرة

(أ) و(ج) الإلكترون الملفوظ من الغلاف -K إذ يسمي بـالإلكترون الـضوئي وتقدر طاقته الحركية بطاقة الفوتون الابتدائية مطروحا منها الطاقة الرابطة B

$$K.E = h\nu - B$$

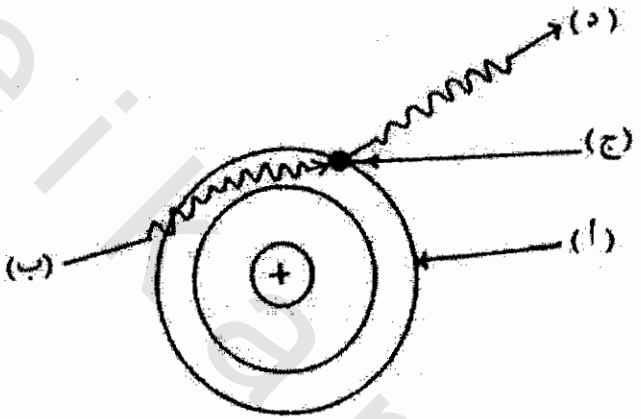
(د) إلكترون الغلاف الخارجي الساقط لسد فراغ الإلكترون الملفوظ من الغـلاف -K إذ تنبعث فرق الطاقة بين الغلافين على شكل أشعة اكس .

(هـ) تصادم أشعة اكس المنبعثة مع إلكترون فى الغلاف الخارجي .

(و) الإلكترون الملفوظ من الغلاف الخارجي نتيجة تصادم أشعة اكـس معـه ، ويسمي هذا الإلكترون بإلكترون أوكر وتقدر طاقته الحركية بطاقـة أشـعة اكس المنبعثة مطروحا منها جهد التأين للذرة .

2) ظاهرة استطارة كومبتون :

إذا كانت طاقة ربط الإلكترون بالذرة قليلة بالمقارنة مع طاقة الفوتون الساقط فمن الممكن اعتبار ذلك الإلكترون حرا ، فعند تصادم فوتون مع إلكترون حر أو غير مرتبط بإحكام فى الذرة ينتقل قسم من طاقة الفوتون الى ذلك الإلكترون الملفوظ والقسم الباقي من الطاقة يحملها الفوتون المنحرف باتجاه مختلف كما هو مبين فى الشكل التالي :



وان الطاقة الحركية للإلكترون الملفوظ تساوى طاقة الفوتون الساقط مطروحا منها طاقة الفوتون المنحرف .

حيث يمثل : (أ) الذرة الممتصة للأشعة الكهرومغناطيسية . (ب) الفوتون الساقط .

(ج) الإلكترون المرتد ويدعى إلكترون كومبتون . (د) الفوتون المنحرف .

إذا كان معامل امتصاص كومبتون الكلى ($_e\sigma$) و($_e\sigma_s$) معامل الامتصاص لدى الفوتون المنحرف فان ($_e\sigma_a$) معامل امتصاص كومبتون الذي يمثل الجزء من الطاقة المنتقلة الى الالكترونات المدارية يكون مساويا الى : $_e\sigma_a = \sigma_e - {}_e\sigma_s$

وإن كمية الطاقة المنتقلة الى المحيط (الممتصة) تقدر بما يلي :

$$E_m = \frac{2E_i^2}{m_o c^2 + 2E_i}$$

حيث E_m و E_i الطاقة المنتقلة الى المحيط وطاقة الفوتون الابتدائية و m_oc^2 طاقة الإلكترون عند سكونه وتساوى **0.51** مليون إلكترون فولت ، وكذلك يكون معدل جزء الطاقة المنتقل الى المحيط أي الجزء الممتص بموجب المعادلة السابقة مساويا على وجه التقريب نصف طاقة الفوتون الابتدائية .

3) إنتاج مزدوج الإلكترون ـ بوزترون:

عند اقتراب أشعة اكس أو جاما من نوية الذرة تتحول الأشعة الى دقيقتي الإلكترون والبوزترون والعملية عبارة عن تحول الطاقة الى مادة وهى معاكسة للإنشطارات النووية إذ فى هذه الحالة تتحول المادة الى طاقة .

وتحتاج عملية توليد تلك الدقيقتين الى طاقة تعادل m_0c^2 لكل دقيقة منهما وبما أن قيمة m_0c^2 تساوى **0.51** مليون إلكترون فولت فان مجموع الطاقة اللازمة لتوليد تلك الدقيقتين يجب أن يكون مساوٍ الى :

$$2m_OC^2 = 2 \times 0.51 = 1.02$$

لذلك تساوى طاقة الفوتون الساقط مجموع طاقتي الإلكترون والبوزترون مضافا اليهما **1.02** مليون إلكترون فولت أي :

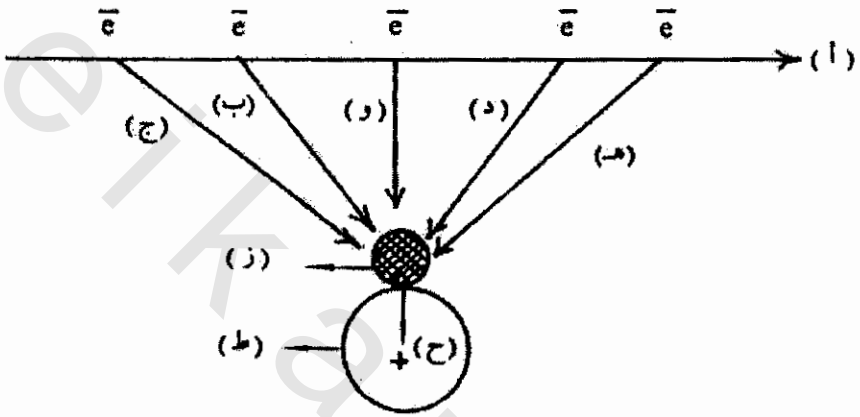
$$E_\gamma = E_P + E_e + 2m_o c^2 = E_P + E_e + 1.02$$

حيث E_γ وE_p و E_e طاقة الفوتون والبوزترون والإلكترون على التوالي . وتبطىء سرعة كل من البوزترون الذي يتواجد لفترة قصيرة جدا وتعادل 10^{-9} ثانية ، والإلكترون بنفس الطريقة ومن ثم يتحدان فى النهاية محرران فوتونين بطاقة تعادل **0.51** مليون إلكترون فولت لكل فوتون ويسيران باتجاه متعاكس .

وتسمى عملية الاتحاد بين الإلكترون والبوزترون بأنها أبطال أو إبادة أو كبح الإشعاع وتتداخل أو تتفاعل هذه الفوتونات المتكونة نتيجة اتحاد الإلكترون والبوزترون مع المادة بواسطة التأثير الكهروضوئي أو ظاهرة استطارة كومبتون .

ثانيا : امتصاص دقائق بيتا :

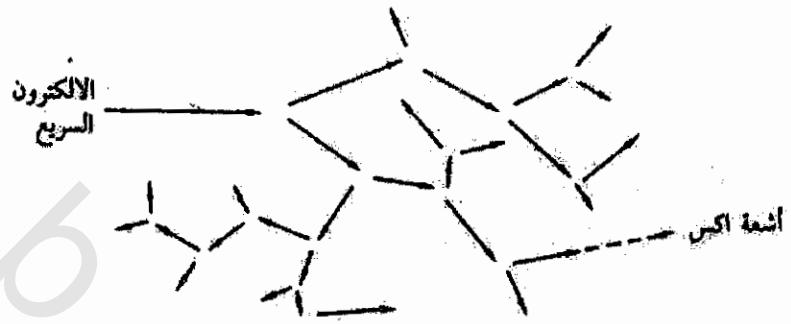
وتلك الالكترونات ذات الطاقة العالية التي ترتفع نتيجة استطارة كومبتون تسبب جميع هذه الالكترونات عند امتصاصها من قبل المادة لفظ الالكترونات المدارية من الجزيئة أو الذرة بعملية تسمي التفاعل أو التداخل الكولومبي وتتم هذه العملية وفقا لما هو موضح فى الشكل التالي :



حيث يمثل كل من (ب) و(ج) و(د) و(هـ) قوى التنافر بين الإلكترون السريع (أ) المار فى مجال الذرة (ط) وإلكترونها المدارى (ز) بسبب التشابه فى الشحنة الكهربائية و (و) محصلة قوى التنافر هذه وتكون عالية عادة .

وتتولد حالة الإثارة للذرة إذا كانت المسافة (و) قريبة من الإلكترون المدارى ويتم التأين بلفظ الإلكترون المدارى باتجاه السهم (ح) إذا كانت المسافة (و) قريبة جدا من الإلكترون المدارى .

وتسمى الالكترونات المدارية الملفوظة بهذه الطريقة الالكترونات الأولية وطاقتها أقل من طاقة الإلكترون السريع وهذه الالكترونات بدورها تقوم مقام الإلكترون السريع بتأين الذرات مكونة الكترونات ذات طاقة أقل من الالكترونات الأولية تسمي الالكترونات الثانوية كما فى الشكل التالي . وهذه بدورها تولد الكترونات ثالثية ذات طاقة أقل من طاقة الالكترونات الثانوية وتستمر هذه العملية الى أن تفقد الالكترونات مقدرتها على التأين .



وفى حالات نادرة تفقد الالكترونات السريعة ذات الطاقة العالية قسما من طاقتها بتفاعلها مع النويات باعثة أشعة اكس ، وتقدر الطاقة المفقودة بوحدة المسافة المقطوعة من قبل الدقيقة المشحونة بسبب انبعاث أشعة اكس وفقا للمعادلة التالية :

$$-\left(\frac{dE}{dX}\right) = K\,\frac{z^2 Z^2}{m^2}$$

حيث أن z و m يمثلان شحنة وكتلة الدقيقة و Z شحنة النوية و k كمية ثابتة . ويفقد قسم قليل من الطاقة أيضا على شكل إشعاع سيرينكوف ، يصدر هذا الإشعاع على شكل توهج ازرق مذهل حين تبطئ الالكترونات السريعة وتصبح سرعتها مقاربة الى سرعة الضوء فى المواد التي يكون معامل انكسارها أعلى من واحد .

1- امتصاص دقائق ألفا والدقائق الثقيلة المشحونة الأخرى :

يتم امتصاص هذه الدقائق من قبل المادة بنفس الطريق الذي تم فيه امتصاص الالكترونات المعجلة ودقائق بيتا إذ يحدث الامتصاص التأين والإثارة لجزيئات المحيط وبما أن الطاقة جميعها تتراكم بمسافة قصيرة لذلك تكون كثافة التأين عالية جدا وخاصة فى نهاية مدى الاختراق .

2- امتصاص النيوترونات :

لا تستطيع النيوترونات التفاعل مع الالكترونات المدارية لأنها دقائق غير مشحونة بشحنة كهربائية ولكنها تفقد طاقتها بواسطة التصادم المرن مع نويات الذرات وكلما كان

العدد الذرى للنوية قليلا كانت كمية الطاقة المنتقلة لها كبيرة .

وتبطئ النيوترونات أي تقل طاقتها . بعد عدة تصادمات وتصبح بعدئذ نيوترونات حرارية ذات طاقة تساوى على وجه التقريب **0.025** إلكترون فولت ، بعدئذ تجذب من قبل بعض نويات العناصر مسببة انبعاث أشعة جاما ثم ترتد النوية الجاذبة من جزيئاتها الأساسية .

وتسمى النوية المرتدة بالذرة الساخنة ثم تقوم بدور يشبه الدور الذى تلعبه الدقائق المشحونة الثقيلة وتبعث بعض نويات العناصر بعد جذبها للنيوترون دقائق ألفا ، وتسمي هذه العناصر بمحولات الطاقة ومثال ذلك عنصر البورون . $^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n = ^{7}_{3}Li + \alpha$

ونري أن العملية الأخرى التي تفقد بواسطتها النيترونات طاقتها هي التصادمات غير القوية مع النويات وتعد هذه أقل أهمية من التصادمات المرنة .

خلال التصادم غير المرن ترتفع النوية نتيجة امتصاصها للنيترون الساقط الى الحالة المثارة ثم ينبعث النيترون الممتص مرة ثانية ولكن بطاقة أقل وترجع النوية الى حالتها الاعتيادية باعثة أشعة جاما .

وتعمل أشعة جاما المنبعثة على تأين وإثارة جزيئات المحيط وتصبح أهمية التصادم غير المرن كبيرة ومقاربة الى أهمية التصادم المرن عندما تكون طاقة النيترونات الساقطة أعلى من **10** مليون إلكترون فولت .

ثالثا : الحالة الفيزيائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة :

تتأين الذرة أو الجزيئة بلفظ احد الالكترونات المدارية إذا كانت الطاقة المنتقلة للإلكترون كافية للفظة من ذلك المدار وأما إذا كانت الطاقة غير كافية للفظه من مداره فمن المحتمل أن ينتقل الى مستوى طاقة أعلى من مستوى طاقته الأول وبذلك تكون الذرة فى حالة إثارة .

وإذا لفظ إلكترون من مداره وانتقل آخر بنفس الذرة الى مستوى طاقة أعلى يصبح الايون المتكون فى الحالة المثارة وتقوم الالكترونات الأولية أي الملفوظة بتأين وإثارة ذرات أو جزيئات المحيط مولدة الكترونات ثانوية تحتوى على طاقة أقل من طاقة الالكترونات الأولية

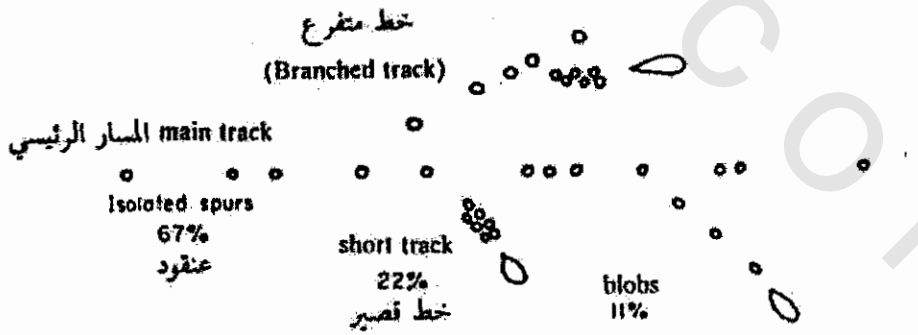
وهكذا تستمر العملية الى أن تصل طاقة الالكترونات الى القيمة الحرارية 0.025 إلكترون فولت بحيث لا تستطيع آنذاك على تأين وإثارة الجزيئات .

وتسبب الالكترونات الثانوية فى نهاية مسارها الإثارة بدرجة كبيرة وذلك لقلة طاقتها ، عندئذ تتولد طبقة من الحالات المثارة تحيط بطبقة الجزيئات المتأينة على طول مسار الدقيقة المؤينة . وتسمى الالكترونات الثانوية فى اغلب الأحيان بأشعة دلتا **δ-Rays** ويكثر عددها وتزداد كثافتها عند نهاية مسارها فى محيط المادة .

(1) الحالة الفيزيائية للفوتونات والالكترونات :

وجد أن الالكترونات السريعة تتولد عند مرور أشعة جاما خلال جزيئات المادة وعندما تكون طاقة أشعة جاما الابتدائية بحدود المليون إلكترون فولت تكون الكترونات كومبتون هي الأكثر أهمية .

وتعمل هذه الالكترونات على إثارة وتأين جزيئات المادة ونتيجة لذلك تتولد الالكترونات الثانوية التي تتخذ على طول مسارها الجزيئات المتأينة والمثارة شكلا عنقوديا وخطوطا متفرعة وخطوطا قصيرة وموزعة توزيعا غير منتظما ويعتمد حجم كل منهم على طاقة الالكترونات الثانوية كما بالشكل التالي :



ويقدر القطر الابتدائي للعنقود بحوالى 2 nm والمسافة بين كل عنقودين حوالي 100 nm . ويحتوى كل عنقود على 2-4 مزدوج ايوني أي الجزيئة الموجبة والإلكترون السالب ، وذلك فى

حالة الجزيئات ذات الوزن الجزيئى المنخفض مثل جزيئة الماء والامونيا والهيدرازين يحتوى العنقود على جزيئات مثارة أيضا .

وتتكون العناقيد قريبة جدا من بعضها إذا كانت طاقة أشعة دلتا أقل من خمسة ألاف إلكترون فولت وعندئذ تتداخل وتتشابك مع بعضها مكونة الخطوط القصيرة التى تكون على هيئة اسطوانات تختلف تمام الاختلاف من حيث الشكل عن العناقيد أو الخطوط المتفرعة .

أما فى نهاية المسار الرئيسي فتنخفض طاقة الالكترونات الى حوالي **100-500** إلكترون فولت عندئذ تتكون مناطق كثيفة على شكل الكمثرى تحتوى على عدد كبير من الجزيئات المثارة والمتأينة تسمي وتشبه الى حد ما العناقيد .

وتفقد الالكترونات طاقتها بسبب التصادم غير المرن من خلال التداخل الكولومبي مع الالكترونات المدارية لذرات المادة المتصة كما ذكر سابقا محدثة التأين والإثارة لجزيئات أو ذرات تلك المادة ، وبموجب ذلك فلقد استطاع العالم بيث أن يشتق انتقال الطاقة الخطى **LET** ($-\frac{dE}{dx}$) (أو الطاقة المفقودة) لهذه الدقائق كما هو فى المعادلة التالية :

$$\frac{dE}{dx}=\frac{2\pi N e^4 Z}{m_0 v^2}\left[\ln\frac{m_0 v^2 E}{2I^2(1-B)^2}-(2\sqrt{1-B^2}-1+B^2)\ln 2+1-B^2+\frac{1}{8}(1-\sqrt{1-B^2})^2\right]\text{erg/cm}$$

حيث يمثل (**I**) متوسط جهد الإثارة لذرات المادة المتصة ويساوى (**kz**).

(**K**) كمية ثابتة تقاس عمليا .(**Z**) العدد الذرى للذرة المتصة.

(**B**) نسبة سرعة الإلكترون الى سرعة الضوء (**v /c**) .

(**e**) شحنة الإلكترون. (**N**) عدد الذرات فى السنتيمتر المكعب الواحد.

(m_0) كتلة الإلكترون فى حالة السكون . (**E**) طاقته .

(**X**) المسافة المقطوعة من قبل الإلكترون فى محيط المادة .

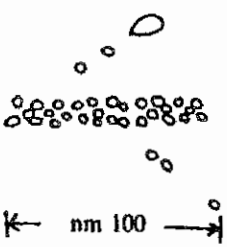
ونري أن أهم مظاهر المعادلة السابقة تناسب انتقال الطاقة الخطى عكسيا مع مربع سرعة الإلكترون $1/v^2$ أي يزداد انتقال الطاقة الخطى كلما قلت طاقة الإلكترون وبذلك تكون قيمة انتقال الطاقة الخطى عالية جدا عندما تبطئ سرعة الالكترونات أي عند نهاية مسارها .

والمظهر الثاني هو أن حاصل ضرب ZN يتناسب مع انتقال الطاقة الخطى وبما أن ZN يمثل الكثافة الالكترونية فلذلك يكون انتقال الطاقة الخطي قليلا جدا في الغازات بالمقارنة مع المواد الصلبة والسائلة .

وأما المظهر الثالث فهو ظهور I في حد لوغاريتمي أي لا يؤثر إلا قليلا على انتقال الطاقة الخطي مما يؤكد أن جميع الالكترونات لها على وجه التقريب نفس الكفاءة بامتصاصها للطاقة، ولذلك فإذا تعرض خليط لأشعة معينة فان الجزء من مجموع الطاقة الممتصة من قبل مكونة واحدة في الخليط تساوي تقريبا الجزء من مجموع الالكترونات المتواجدة في تلك المكونة.

(2) الحالة الفيزيائية للدقائق الثقيلة المشحونة :

نجد أن كثافة التأين تصبح في حالة دقائق ألفا والبروتونات المعجلة عالية جدا بحيث تتداخل جميع النتائج مكونة سلسلة من الخطوط القصيرة والنبظات بالإضافة إلى نسبة قليلة من العناقيد تكون بواسطة الخطوط المتفرعة للالكترونات كما هو مبين في الشكل التالي :



ويكون انتقال الطاقة الخطي للدقائق الثقيلة المشحونة كدقائق ألفا والبروتونات والديوترونات عالي جدا بسبب الكتلة الكبيرة للدقيقة وانتقالها البطيء في المحيط بالمقارنة مع الالكترونات التي تملك نفس الطاقة، وتمثل المعادلة التالية قياس انتقال الطاقة الخطي لهذه الدقائق :

$$-\frac{dE}{dx}=\frac{4\pi\ e^4Z^2}{m_o v^2}NZ\left[\ In\ \frac{2m_o v^2}{I\ (1-B)^2}\ -B^2\right]erg/cm$$

حيث eZ شحنة الدقيقة و E طاقتها و v سرعتها ، ويحسب متوسط انتقال الطاقة الخطي بصورة عامة من تقسيم طاقة الدقيقة الابتدائية على مدي اختراق الدقيقة في المحيط قيد الدرس.

رابعا : الحالة الكيميائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة :

تجري العديد من التفاعلات الكيميائية السريعة حال اجتياز الأشعة المؤينة لمحيط المادة بسبب تكون الالكترونات السالبة والايونات الموجبة لجزيئات المادة وحالات إثارتها والجذور الحرة التي قد تتكون منها نتيجة التفكك . $A \rightarrow A^+,\ e^-,\ A^*$

الحالة المثارة — الإلكترون السالب — الايون الموجب

وتشمل هذه التفاعلات تلك التي تتم بين المركب غير المستقر نفسه أو مع المركبات غير المستقرة الأخرى وسنذكر الآن أهم أنواع هذه التفاعلات .

(1) تفكك الحالة المثارة :

ترجع الحالة المثارة إلى حالة الجزيئة الاعتيادية وذلك بعد انبعاث كمية من الطاقة تدعي الكوانتا وتساوي hυ أي $A^* \longrightarrow A + h_\upsilon$

أو التحلل إلى ذرتين متعادلتين تسمي الجذور الحرة .

$A^* \longrightarrow X. + Y.$

أو تتحمل انشقاقا مولدة زوجا أيونيا : $A^* \longrightarrow X^+ + Y^-$

أو تتحمل حذف جزيئة مستقرة من تركيبها وعادة تكون الجزيئة المحذوفة غاز الهيدروجين أي : $A^* \longrightarrow B + C$

(2) تفاعلات الايون الموجب :

يتفاعل الايون الموجب مع الجزيئة الأم مولدا جذور حرة أخري ويسمي هـذا التفاعـل تفاعل الايون الموجب مع الجزيئة المتعادلة .

$$A.^{+} + A \longrightarrow AD^{+} + E. \quad , \quad A.^{+} + A \longrightarrow A_2.^{+}$$

أو يتجزأ الايون الموجب مكونا جذور حرة تختلـف عـن تلـك المتولـدة نتيجـة تفاعـل الايون الموجب مع الجزيئة المتعادلة. $A^{\cdot +} \longrightarrow X^{+} + Y.$

وهناك تفاعل آخر للايون الموجب مع الإلكترون السالب سيذكر في فقـرة تفـاعلات الإلكترون .

(3) تفاعلات الجذور الحرة :

تتفاعل الجذور الحرة تفاعلات كثيرة مع نفسها أو مع بعضها كما يلي :

(أ) الانتقال الالكتروني مكونة الايون السالب

$$X^{\cdot} + e^{-} \longrightarrow X^{-} \quad , \quad Y^{\cdot} + e^{-} \longrightarrow Y^{-}$$

(ب) السلب الهيدروجيني :-

انتقال ذرة هيدروجين الى الجذر الحر من جزيئة متواجدة فى المحلول وتحتوى عـلى ذرة هيدروجين مولدة جزيئة مستقرة وجذر حر جديد .

$$X^{\cdot} + A \longrightarrow XH + R. \quad , \quad Y^{\cdot} + A \longrightarrow YH + R.$$

(ج) التفاعل مع نفسها أو مع بعضها مكونة مركبات مستقرة نهائية.

$$X. + X. \longrightarrow X_2 \quad , \quad X^{\cdot} + y. + A$$

(د) تفاعلاتها مع الجزيئة المتعادلة (الجزيئة الأم) مكونة جذورا حرة جديدة.

$$X^{\cdot} + A \longrightarrow AX^{\cdot} \quad , \quad Y^{\cdot} + A \longrightarrow AY^{\cdot}$$

(هـ) تفاعلات التفكك مكونة جذور حرة جديدة ومركبات مستقرة.

$$X. \longrightarrow M^{\cdot} + N \quad , \quad Y^{\cdot} \longrightarrow P^{\cdot} + O$$

obeikan.com

(و) التفاعلات المتفاوتة (غير المتناغمة) مولدة جزيئتين مستقرتين.

$$X^{\cdot} + X^{\cdot} \longrightarrow I + J$$

(4) تفاعلات الإلكترون:

ينفذ الإلكترون لصغره بعيدا عن موقع تولده فى العناقيد والخطوط القصيرة أسرع من الايونات الموجبة الثقيلة ، وبموجب نظرية صمائيل - ماكى لا تستطيع هذه الالكترونات الهرب أو التحرك من القوى الالكتروستاتيكية التى تربطها مع ايوناتها الموجبة وخاصة فى جزيئة الماء والجزيئات القطبية الأخرى .

وخلافا لذلك فقد اقترح بولتزمان أن أكثر هذه الالكترونات تهرب من تلك القوى الالكتروستاتيكية وقد أصبح معلوما الآن بان نسبة الالكترونات التى تجذب الى ايوناتها الموجبة وتتحمل اتحاد المزدوج الأيوني تعتمد عكسيا على ثابت عزل مادة المحيط وتكون النسبة قليلة فى الماء والمواد القطبية الأخرى وكبيرة فى السوائل العضوية .

وفى حالة المذيب القطبي تحيط جزيئاته الإلكترون والايون الموجب كل على انفراد مقللة احتمالية إتحادهما . أن اتحاد الإلكترون مع أيونه الموجب يكون الجزيئة الأم بحالتها المثارة لاحتواء كل منهما على طاقة عالية أثناء تولدهما ثم تضمحل الحالة المثارة فى إحدى الطرق التي ذكرت أي : $A^{+} + e^{-} \longrightarrow A^{*}$

ويتفاعل الإلكترون مع الجذور الحرة الجزيئة المتعادلة وخاصة الجزيئة الأم مكونة ايونات سالبة وهناك تفاعلات أخرى كثيرة تتم بين الجذور الحرة الثانوية أي المتولدة نتيجة تفاعلات الايون الموجب وتفاعلات الجذور الحرة الناتجة من الحالات المثارة والايونات السالبة والموجبة وبين الجزيئات المستقرة والجذور الحرة من جهة والالكترونات من جهة أخرى .

خامسا: تفاعلات الالكترونات والجذور الحرة النافذة :

تسمى الأصناف التي تهرب من مواقع تولدها فى العناقيد والخطوط القصيرة الى المحيط بالأصناف الأولية وليس من الضروري أن تكون هذه الأصناف هي الأصناف المبكرة جدا فى

النظام بعد امتصاص الأشعة مباشرة ولكنها المبكرة فى التفاعلات الكيميائية .

وينفذ الصنف الأكثر استقرارا من غيره بعيدا عن موقع تكونه ويتحمل تفاعلات كالتي ذكرت مع مكونات النظام الاخري كالمواد المضافة للنظام والشديدة الفعالية مع تلك الأصناف وتسمي هذه المواد بالمواد الكاسحة. وهناك نوعان من المواد الكاسحة الأول خاص للجذور الحرة ويسمي المواد الكاسحة للجذور . $A^{\cdot} + S \longrightarrow AS.$

والثاني خاص للالكترونات ويسمى المواد الكاسحة للالكترونات . حيث يتفاعل الإلكترون بعد أن تصل طاقته الى الطاقة الحرارية ثم يحاط بجزيئات المذيب القطبي مع تلك المواد مكونا جذرا سالبا يسمى الإلكترون بعد أن يحاط بجزيئات المذيب بالإلكترون المتمذوب (e_{solv})

$$e^- + \text{مذيب} \longrightarrow e^-_{solv} \quad , \quad e^-_{solv.} + S \longrightarrow S.^-$$

وتستعمل المركبات $AS.$ و $S.^-$ فى اغلب الأحيان لتعيين كمية الأصناف الفعالة (الالكترونات والجذور الحرة) المتكونة نتيجة تسليط الأشعة بمعدل جرعة معينة على المادة المراد دراستها .

وتتفاعل المواد الكاسحة مع جميع الأصناف النافذة إذا كان تركيزها بحدود 10^{-4} مولار ومن المحتمل تفاعلها مع الأصناف الأولية إذا كان تركيزها أعلى من 0.1 مولار عندئذ تمنع الكثير من التفاعلات التي تجرى داخل العناقيد والخطوط القصيرة .

أما إذا كان تركيز المواد الكاسحة أقل من 10^{-4} مولار فتتفاعل مع قسم من الأصناف النافذة تاركة القسم الأخر يتفاعل مع بعضها البعض . وفى بعض الأحيان تستعمل مواد كاسحة خاصة لصنف متنافذ معين إذ تسمح للأصناف الأخرى بالتفاعل مع بعضها .

الأسئلة

1- وضح العلاقة بين سرعة انحلال المادة إشعاعيا مع عدد النويات ؟

2- اشرح بالتفصيل الموضوعات المختلفة التي تدرسها الكيمياء الإشعاعية ؟

اكتب مذكرات علمية منفصلة عن :

(أ) مصادر الأشعة المؤينة . (ب) دقائق ألفا

(ج) دقائق بيتا (د) أشعة جاما

3- بين كيف يمكن دراسة تأثير دقائق ألفا و بيتا على المواد الكيميائية .

4- قارن بين الهيدروجين -3 ، الكبريت 35 والفوسفور -32 من حيث الآتي :

(أ) الطاقة . (ب) طول المسافة في الهواء .

(ج) مدي الاختراق في الماء . (د) مدي الاختراق في الألمونيوم .

(هـ) متوسط انتقال الطاقة الخطي في الماء .

5- اشرح قيم السمك النصفي لأشعة جاما في الماء والألمونيوم والرصاص ومتوسط الطاقة الخطي لها في الماء . وضح اجابتك في جدول .

6- اكتب مذكرات وافية عن أهم أنواع المعجلات وكيفية عملها .

7- تكلم عن المفاعلات النووية ومصادر النيترونات ؟

8- وضح بالتفصيل كيفية امتصاص أشعة جاما وإكس . موضحاً إجابتك بالمعادلات .

9- وضح بالشرح والرسم التأثير الكهروضوئي .

10- اكتب مذكرات تفصيلية عن كل مما يأتي :

(أ) استطارة كومبتون . (ب) إنتاج مزدوج الإلكترون – بوزترون

obeikan.com

11- تكلم بالتفصيل عن كيفية امتصاص دقائق بيتا والالكترونات المعجلة . موضحاً إجابتك بالرسم ؟

12- وضح كيفية امتصاص دقائق ألفا والدقائق الثقيلة المشحونة الأخري . ثم بين كيف يتم امتصاص النيترونات ؟

13- بين بالشرح الحالة الفيزيائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة وكذلك الحالة الفيزيائية للفوتونات والالكترونات ؟ وأيضاً الدقائق الثقيلة المشحونة ؟

14- وضح الحالة الكيميائية بعد امتصاص المادة للأشعة المؤينة . ثم اذكر بالمعادلات اهم التفاعلات التي تتم بين المركب غير المستقر نفسه أو مع المركبات غير المستقرة الأخرى .

15- أكتب مذكرات علمية عن ما يأتي :-

(أ) تفاعلات الالكترون . (ب) تفاعلات الجذور الحرة

(ج) تفاعلات الالكترونات والجذور الحرة النافذة .

obeikan.com