# الباب الأول

# الكيمياء الإشعاعية ومصادرها

obeikandl.com

obeikandl.com

# الباب الأول

## " الكيمياء الإشعاعية ومصادرها "

### مقدمة في الكيمياء الإشعاعية والتحلل الإشعاعي :

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 ( **Radiochemistry** ) دراسة العناصر المشعة نفسها . فمثلا طرق عزلها من خاماتها وتنقيتها وخواصها الكيميائية والفيزيائية والاستفادة من تطبيقاتها في 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 ( $\lambda$ ) ثابت الانحلال كما في 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 :

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

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

إذن نستطيع معرفة مقدار ما ينحل من العنصر المشع بعد مرور وقت معين ومن ثم حساب مقدار التعرض ( **Exposure rate** ) للنموذج نتيجة تعرضه للعنصر المشع بدقة عالية .

وتتضمن الكيمياء النووية ( **Nuclear Chemistry** ) دراسة التحولات النووية ونظريات التركيب النووي والقوى المتواجدة داخل النوى والنواتج النووية المتكونة نتيجة الإنشطارات إضافة الى دراسة دقائق النيوترون والبوزترون وكيفية انبعاث دقائق ألفا وبيتا وأشعة جاما من نويات العنصر المشع .

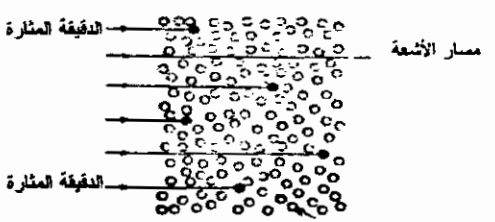
أما الكيمياء الضوئية ( **Photochemistry** ) فتشمل دراسة امتصاص المادة للأشعة الكهرومغناطيسية ( أي الفوتونات وكل فوتون يحمل طاقة تساوى $h\nu$ أو مضاعفاتها ، **h** ثابت بلانك و $\nu$ التردد ) بالمنطقتين فوق البنفسجية ( **Ultraviolet** ) والمرئية (**Visible** ) من مناطق الطيف . ينحصر طول موجة الضوء الممتص في المنطقة فوق البنفسجية بين **nm 340-200** بينما ينحصر في المنطقة المرئية بين **nm 700-340** ويتناسب طول موجة الضوء الممتص ($\lambda$) عكسيا مع تردده ( $\nu$ ) 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 (**Electron transition**) الى الحالة المثارة (**Excited state**) وتسمى العملية عندئذ الإثارة (**Excitation**) وتحمل الجزيئة فى حالتها المثارة طاقة إضافية تسمى طاقة الإثارة (**Energy of excitation**) 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 (**Bond dissociation energy**) فان الجزيئة تتفكك من خلال تلك الرابطة مولدة الجذور الحرة ومنها تحصل التغيرات الكيميائية .

**الطريقة الثانية :** إذا كانت طاقة الإثارة اقل من طاقة تفكك جميع روابط الجزيئة فإنها تتبعثر لتصادماتها المتلاحقة مع الجزيئات الأخرى أو مع الجدار الداخلي لوعاء التفاعل غير محدثة اى 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 (**Monochromatic light**)

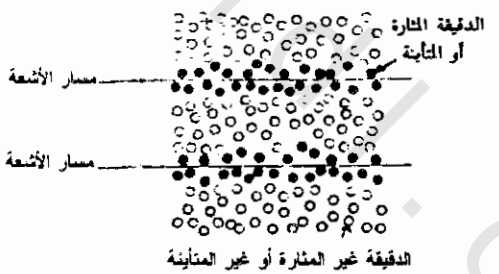



$$A + h\nu \rightarrow A^{*}$$

ووجد أن امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية بطاقة اقل من المنوه عنها فـــى المنطقتين فوق البنفسجية والمرئية فمثلا بطول موجه اقل من (50 nm ) يسبب الإثارة وقـد يســبب التــأين بــنفس الوقــت وتســمى العمليــة آنــذاك بالتــأين الضــوئي (Photoionization ) كما يلي :

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

ونري أن موضوع الكيمياء الإشعاعية يتضــمن امتصــاص الإشــعاعات ذات الطاقة العالية كأشعة اكس وجاما ودقائق ألفا وبيتا والنيوترون من قبل جزيئات المــادة الذي يسبب التأين بالإضافة الى تصعيد الجزيئة الى الحالات المثارة ذات الطاقة العالية . وان امتصاص كل فوتون أو دقيقة إشعاعية يسبب تأين وإثــارة عــدد كبيــر مــن الجزيئات بنفس الوقت وفى حالة الفوتون يرجع السبب الى الالكترونات الثانوية كما هو مبين فى الشكل التالي :




ويتم الكثير من التفاعلات الكيميائية الثانوية نتيجة تكــون عــدد كبيــر مــن المركبات الكيميائية غير المستقرة من جزيئات ودقــائق متأينــة ( الجزيئــة الموجبــة 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 ( تكون الجزيئة السالبة ) وتفاعلات الجزيئة الموجبة والسالبة مع الجزيئة المتعادلة وهكذا ، وتنتهي جميع هذه التفاعلات بتكوين المركبات الكيميائية المستقرة .

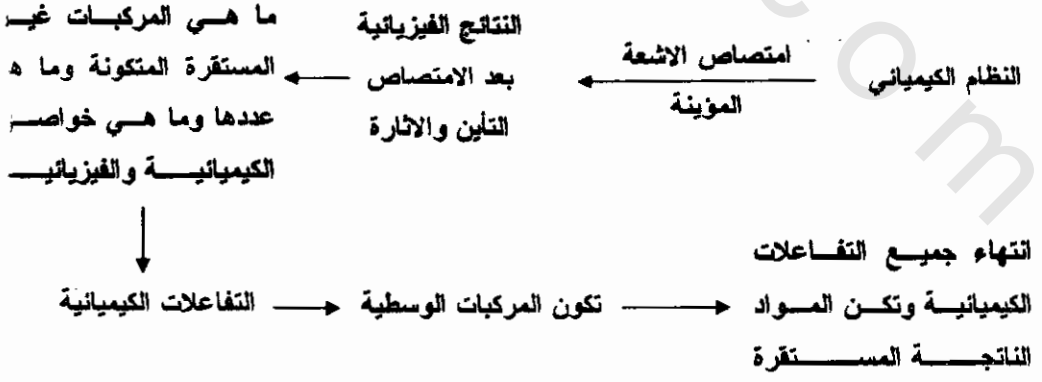
**وتدرس الكيمياء الإشعاعية كلا من :**

**أولاً :** 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 .

**ثانياً :** تشخيص المركبات الناتجة المستقرة كميا بعد انتهاء جميع التفاعلات الكيميائية .

**ثالثاً :** 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 :

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

**الثانى :** مكائن المعجلات الالكترونية واشعاعات الفا ذات الطاقة العالية ومثال ذلك معجل الفان دى كراف **(Van de graaff )** والمعجل الالكترونى الخطى والسايكلوترون .

**الثالث :** يشمل المفاعل النووية ومصادر النيوترونات .

**وفيما يلي نتناول بالشرح والتحليل المصادر السابقة :**

### اولا : 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 يلي 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 اى ( $^{4}_{2}He^{2+}$ ) 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 :

## أنواع الأشعة الصادرة من بعض النظائر الطبيعية والاصطناعية مع طاقاتها وأعمار نصف اتحلالها

| النظير | عمر النصف | نوع الاشعاع وطاقته (MeV) | الاشعاع المهم | تفاعل الاضمحلال |
|---|---|---|---|---|
| *النظائر الطبيعية* | | | | |
| بولونيوم – 210 | 138 يوم | ألفا (5.304) | الفا | $^{210}Po \rightarrow {}^{206}Pb + \gamma , \alpha$ |
| | | جاما (0.8) | | $^{226}Ra \rightarrow {}^{222}Rn + \gamma , \alpha$ |
| راديوم – 226 | 1620 سنة | الفا (4.683) | الفا | |
| | | جاما (0.188) | | $^{222}Rn \rightarrow {}^{218}Po + \alpha$ |
| رادون – 222 | 3.83 يوم | الفا (5.49) | الفا | $^{238}U \rightarrow {}^{234}Th + \gamma , \alpha$ |
| يورانيوم – 238 | $4.51 \times 10^9$ سنة | الفا (4.171) | الفا | |
| | | جاما (0.048) | | |
| *النظائر الصناعية* | | | | |
| كوبلت – 60 | 5.27 سنة | جاما (1.253) | جاما | $^{60}Co \rightarrow {}^{60}Ni + \beta , \gamma$ |
| | | بيتا (0.314) | | |
| سيزيوم – 137 | 30 سنة | جاما (0.662) | جاما | $^{137}Cs \rightarrow {}^{137}Ba + \beta , \gamma$ |
| | | بيتا (0.52) | | |
| سترونتيوم – 90 | 28 سنة | بيتا (0.544) | بيتا | $^{90}Sr \rightarrow {}^{90}Y + \beta$ |
| كبريت – 35 | 87.2 يوم | بيتا (0.167) | بيتا | $^{35}S \rightarrow {}^{32}Cl + \beta$ |
| فسفور – 32 | 14.22 يوم | بيتا (1.71) | بيتا | $^{32}P \rightarrow {}^{32}S + \beta$ |
| هيدروجين – 3 | 12.26 سنة | بيتا (0.018) | بيتا | $^{3}H \rightarrow {}^{3}He + \beta$ |

obeikandl.com

ونجد ان طاقات دقائق الفا من النوع المنفرد المتميز (Discrete energies ) وتحدث دقائق الفا خلال مرورها بالمادة تصادمات غير مرنة مع الكترونات جزيئات المادة مسببة الإثارة (Excitation ) والتأين (Ionization ) 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 تبطيء 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 (ion-pairs ) 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 الخطي LET (Linear energy transfer ) ويعرف بأنه المعدل الخطي لفقدان الطاقة الممتصة محليا بواسطة الدقيقة المؤينة او الطاقة المتراكمة بوحدة مسافة مسيرة الدقيقة المؤينة وتقدر وحدة هذه الطاقة بالكيلو الكترون فولت لكل مسايكرون واحد (Kev /micron ) ، ويعتمد انتقال الطاقة الخطي على طاقة دقيقة الفا ويزداد كلما قلت سرعة الدقيقة كما هو مبين في الجدول التالي حيث ان قوة اختراق دقائق الفا للمادة اقل بكثير من قوة اختراق دقائق بيتا وأشعة جاما ولكن تمتلك اعلى قيمة لانتقال الطاقة الخطي 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 تتبعث بطاقات مختلفة وتأخذ قيما تتراوح من الصفر الى أعلى قيمة (**Maximum value** ) 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 (**Antineutrions** ) 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 .

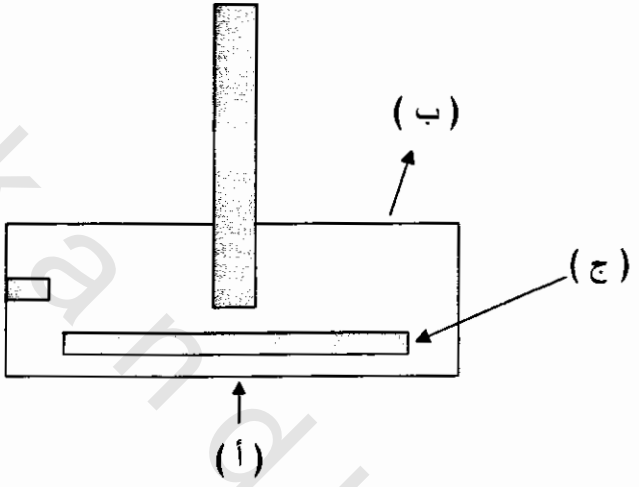
ووجد أن طول المسافة (**Path length** ) التي تقطعها دقيقة بيتا فـــى محـــيط المادة اكبر من مدى اختراق الدقيقة للمحيط وذلك لعدم مسارها بصورة مســـتقيمة فـــى المحيط بسبب الانحراف الذي يظهر نتيجة التصادمات وعلى عكس الدقائق الثقيلة مثل دقائق الفا التى تسير غالبا ما بصورة مستقيمة الذي يكون طول مسافة مسيرها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

## طول المسافة وقوة اختراق ومتوسط انتقال الطاقة الخطي لدقائق بيتا في مختلف المحيطات

| النظير | الطاقة (Mev) | طول المسافة في الهواء ( سم ) | مدي الاختراق في الألمونيوم ( سم ) | مدي الاحتراق في الماء ( سم ) | متوسط انتقال الطاقة الخطي في الماء (kev / μ ) |
|---|---|---|---|---|---|
| هيدروجين - 3 | 0.018 | 0.65 | 0.0002 | 0.00055 | 2.6 |
| كبريت - 35 | 0.167 | 31.00 | 0.012 | 0.032 | 0.52 |
| سترونتيوم - 90 | 0.544 | 185.00 | 0.066 | 0.18 | 0.27 |
| فوسفور - 32 | 1.71 | 770.00 | 0.29 | 0.79 | 0.21 |
| باتريوم - 90 | 2.25 | 1020.00 | 0.40 | 1.10 | 0.20 |

**دراسة تأثير دقائق ألفا وبيتا علي المواد الكيميائية :**

يتم دراسة تأثير دقائق ألفا وبيتا علي 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 ) و لكن ( ج ) صفيحة الميكا وهي مادة شبه زجاجية عازلة ومثبتة علي 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 ( **Visible light** ) وموجات الراديو وأشعة اكس ولكن طول موجتها قصير جدا وحتى انه اقصر من طول موجة أشعة اكس بكثير اذ يتراوح طول موجتها بين **0.0003-0.03 nm** ويعادل بوحدات الطاقة عالى وجه التقريب ( **40 kev** الى ( **4 Mev**.

وتنبعث أشعة جاما من النظير المشع بشكل إشعاع أحادى الطاقة ( **Monoenergetic** ) او على عدد قليل من طاقات منفردة متميزة ( **Discrete energies** ) 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

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

ولا تملك أشعة جاما مدي اختراق معروف في المحيط وتستعمل قيمة السمك النصفي (**half-thickness value**) 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) الي النصف وبالامكان حسابه من المعادلة السابقة اذا كانت قيمة معامل الامتصاص الكلي معلومة كما يلي :

$$\mathbf{In}\ \frac{I}{I_o} = -\mu X$$

$$\mathbf{In}\ \frac{I_o/2}{I_o} = \mu X_{1/2} = \mathbf{In}\ (1/2)$$

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

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

**قيم السمك النصفي لأشعة جاما في مختلف المحيطات ومتوسط الطاقة الخطي لها في الماء**

| النظير | طاقة الفوتون (Mev) | قيمة السمك النصفي بالسنتمتر في | | | | انتقال الطاقة الخطي في الماء بالكيلوالكترون 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 الممتصة جرام / سم$^3$ | | 2.72 | 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 :

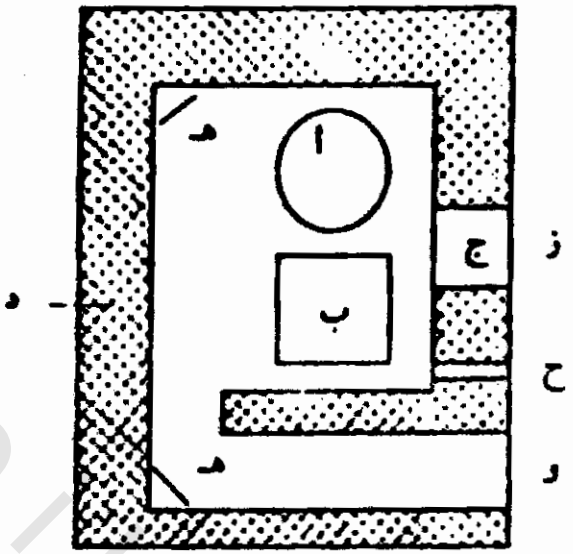
$$^{59}Co + ^{1}n \longrightarrow ^{60}Co + \gamma$$

ويكتب هذا التفاعل عادة علي 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 وفي 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 في 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 .

## ثانياً : مصادر المكائن المعجلة :

تكون النظائر التى تبعث دقائق الفا وبيتا غير ملائمة فى عملها كمصادر إشعاع خارجية لدراسة الكيمياء الإشعاعية للمحيطات السائلة والمواد الصلبة وذلك لضعف قوة اختراقها فى هذه المحيطات كما ذكرنا من قبل وبسبب انبعاثها بطاقات قليلة نسبيا . والمكائن المعجلة لهذه الدقائق تجعل منها دقائق ذات طاقة عالية بحيث

تخترق المحيطات الكثيفة بعمق كبير ، وتعمل الطاقة العالية وقوة الاختـراق الكبيـرة للإشعاع على توليد تراكيز عالية من المركبات الوسيطة الشديدة الفعالية ( من حـالات إثارة وجذور حرة وايونات موجبة والكترونات سالبة ) ومن ثم تكون نواتج كيميائيـة مستقرة ذات تراكيز معقولة يسهل تحليلها ، وان الطاقة العالية وحدها لا تكفى بل يجب أن تكون شدة الإشعاع عالية أيضا .

ونجد ان الركائز الأساسية لجميع المكائن المعجلـة متشـابهة علـى وجـه التقريب وسنذكر الآن أهم أنواع هذه المعجلات وكيفية عملها بصورة مختصرة ثم نأتي على شرح واحدة منها كمثال بنوع من التفصيل .

## أنواع المعجلات وعملهـــا :-

### ( 1 ) المعجل الالكتروني الخطي : (Linear Electron Accelerator ) :-

ان المعجل الالكتروني الخطي عبارة عن معجل الموجـة المنتقلـة . تحقـن الالكترونات بشكل نبضات في خط مستقيم ثم تعجل بواسطة حقل كهربائي ذو موجهـة كهرومغناطيسية تنتقل الى أسفل الأنبوب وتتراوح طاقة الالكترونـات المعجلـة بهـذا المعجل الى **630** مليون إلكترون فولت . تستلم الالكترونات المعجلة بشكل دفعات امـد كل نبض منها مضاعفات قليلة للمايكروثانية وتخرج بمعدل متكرر يقدر بحـوالى **500** نبض في الثانية الواحدة . وهناك أيضا معجلات الكترونية خطية ذات طاقة اقـل مـن المنوه عنها توا متوفرة تجاريا .

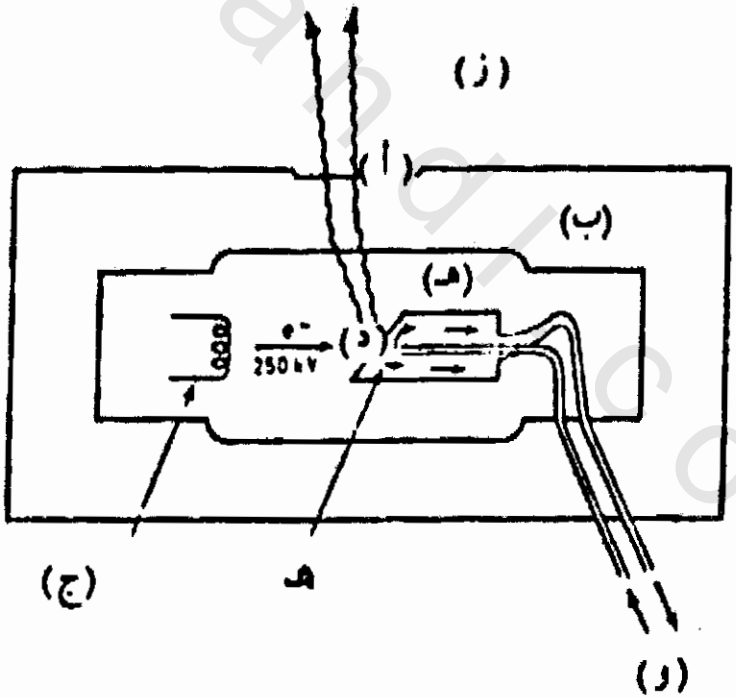
### ( 2 ) السايكلوترون : ( Cyclotron ) :-

تدخل في هذا المعجل بعض الايونات الموجبة الخفيفة في 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 وايونات الهيدروجين الثقيل ( الديوتريوم ) في السايكلوترون الى طاقة مقدارها **20** مليون إلكترون فولت بينما تعجل نويات الهيليوم الموجبة ( دقائق ألفا ) الى طاقة تقدر بحوالي **40** مليون إلكترون فولت .

**( 3 ) مكائن أشعة اكس :**

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



حيث ( أ ) نافذة لاستلام أشعة اكس المتولدة .

( ب ) أنبوب زجاجي داخلي مفرغ تفريغا عاليا .

( ج ) سلك مسخن يمثل الكاثود ومولد للالكترونات .

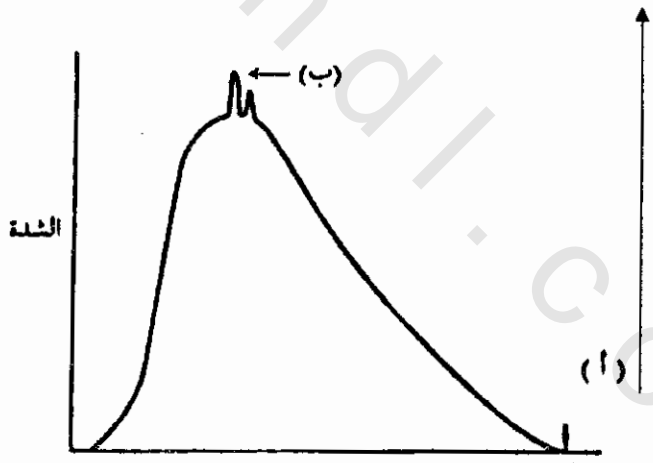
( د ) سيل من الالكترونات المعجلة بواسطة المجال الكهربائي عبر الأنبوب .

( 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 . وتتواجد فى طيف طاقة أشعة اكس عدة ذروات (**peaks** ) كما هو موضح فى الشكل البياني التالي وان طول موجة هذه الذروات يعد صفة خاصة تتعلق بمادة الهدف اى الصفيحة المعدنية .




حيث ( أ ) اعلى قيمة للطاقة .

( ب ) عدد الذرات التى تتعلق بعنصر مادة الهدف .

وتوضع فى بعض الأحيان قطعة معدنية فى مسار أشعة اكس كمرشح للأشعة ذات طول الموجة العالية وطاقة قليلة وذلك لتنقية وتحسين مواصفات أشعة اكس المحضرة ، وهناك نوعان من أشعة اكس :

## أنواع أشعة إكس :-

الأول يسمى **(Bremsstrahlung )** ومعناه كبح او تخميل الإشعاع 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 طاقة الإلكترون المتحولة لأشعة **(Bremsstrahlung )** .

اما النوع الثاني فيسمى أشعة اكس المميزة **(Characteristic x-rays )** 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 .

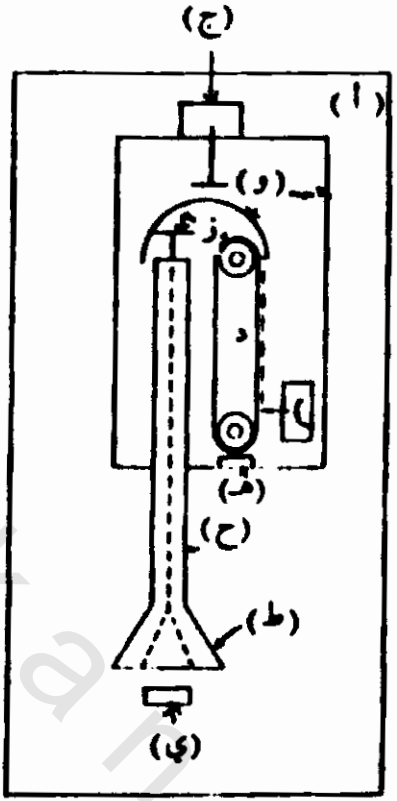
ووجد ان فقدان الطاقة الذى يسببه هبوط الإلكترون من الغلاف الخارجي الى الغلاف الداخلي ينبعث على شكل أشعة تسمي أشعة اكس المميزة وتعادل طاقتها الفرق بين طاقتي الإلكترون فى كلا الغلافين . وان المجموع الكلى لأشعة اكس المنبعثة يشمل أشعة اكس المميزة وأشعة **(Bremsstrahlung )** علما بان الأشعة الأخيرة تعطى معظم المدى لطاقة الجهد المسلط داخل الأنبوب المفرغ ولذلك تحسب طاقتها فقط لأغراض الكيمياء الإشعاعية .

## ( 4 ) معجل فان دى كراف : (Van de Graaff Accelerator) :-

يحتوى معجل فان دى كراف على ثلاثة أجزاء رئيسية : عمود عازل (Insulating column ) يسند طرف الفولتية العالي (High voltage terminal ) وحزام متحرك ( Moving belt ) وأنبوب تعجيل (Accelerating tube ) 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 الي 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 اوكسيد 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 ( **Terminal** ) 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 (**High voltage terminal** ) .

(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 (**Mercury diffusion pump** ) إما أجهزة تبريد الماء فتعمل على تبريد مضخة انتشار الزئبق من جهة ومن جهة ثانية تبريد الأسلاك الموصلة الملفوفة ( **Coils** ) 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 (**Water chiller** ) .

وهناك معجلات أخرى منها البيتاترون (**Betatron** ) لتعجيل الالكترونات بطاقة تعادل **300** مليون إلكترون فولت والسينكروترون (**Synchrotron** ) لتعجيل الايونات الموجبة بطاقة تعادل **1500** مليون إلكترون فولت وتستخدم كذلك لتعجيل الالكترونات ويستعمل أيضا السينكروسايكلوترون ومعجل كوكروفت – والتن لتعجيل الايونات الموجبة .

## ثالثاً : المفاعلات النووية ومصادر النيوترونات :-

ان 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 ) 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 ) **(Elasting scattering )** 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 .

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

كما ان 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 :

بعض التفاعلات النووية المولدة للنيترونات

| نوع الإشعاع الساقط | عنصر الهدف | طاقة البدء ( Mev ) | الناتج |
|---|---|---|---|
| دقائق ألفا | البريليوم - 9 | ـــــ | الكاربون – 12 |
| دقائق ألفا | الليثيوم – 7 | ـــــ | البورون – 10 |
| البروتونات | التريتيوم ( 3 – H ) | 1.19 | الهيليوم – 3 |
| البروتونات | الليثيوم – 7 | 1.88 | البريليوم – 7 |
| أشعة جاما أو أكس | البريليوم – 9 | 1.67 | البريليوم – 8 |
| أشعة جاما أو أكس | اليورانيوم - 238 | 6.00 | اليورانيوم - 237 |

وتعرف طاقة البدء (**Threshold energy** ) بأنها اقل طاقة تحملها الأشعة الساقطة لكي تبدأ التفاعل النووي . تعتمد طاقة النيوترونات المتولدة في 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 (**Monoenergetic** )

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 .

## الأسئلـــــــة

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

2- اشرح بالتفصيل الموضوعات المختلفة التي تدرسها الكيمياء الإشعاعية ؟

3- اكتب مذكرات علمية منفصلة عن :

( أ ) مصادر الأشعة المؤينة .

( ب ) دقائق ألفا

( ج ) دقائق بيتا

( د ) أشعة جاما

4- بين كيف يمكن دراسة تأثير دقائق ألفا و بيتا علي المواد الكيميائية .

5- 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 .

6- اشرح قيم السمك النصفي لأشعة جاما في المـــاء والألمونيـــوم والرصـــاص ومتوسط الطاقة الخطي لها في الماء . وضح اجابتك في جدول .

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

8- تكلم عن المفاعلات النووية ومصادر النيترونات ؟

obeikandl.com