د. مُظفر جاسم
2018

الفصل الثالث
التركيب الذري
Atomic Structure

3-1: اكتشاف النشاط الاشعاعي الطبيعي Discovery of Natural Radioactivity

اكتُشفت ظاهرة النشاط الإشعاعي في عام 1896 من قبل بيكريل Becquerel بعد اكتشاف رونتكن Roentgen للأشعة السينية عام 1895. وقد لاحظ بيكريل أن إشعاعات معينة تنبعث من مركبات اليورانيوم، حيث وجد أن أملاح اليورانيوم تؤثر على الألواح الفوتوغرافية بالرغم من أنها كانت ملفوفة بورق سميك وموضوعة في ظلام دامس. وبعد ذلك بفترة وجيزة اختبر رذرفورد Rutherford نفاذية هذه الأشعة وبيَّن أن هناك نوعين، أشعة ضعيفة تُمتص بسهولة من قبل المواد سمّاها أشعة ألفا alpha rays وأشعة أكثر نفاذية سمّاها أشعة بيتا beta rays. ومن الواضح الآن أن الإشعاع الذي أثر على اللوح الفوتوغرافي في تجربة بيكريل قد احتوى على أشعة بيتا. وباستخدام مثل هذه الطريقة أظهرت السيدة كوري Curie أن نشاط أي ملح من اليورانيوم يتناسب طردياً مع كمية اليورانيوم الموجودة فيه، مما يدل على أن النشاط الإشعاعي هو ظاهرة ذرية. وفي عام 1898 تمكنت هي وزوجها من اكتشاف عنصرين جديدين نشطين إشعاعياً هما البولونيوم polonium والراديوم radium. وقد وُجد أن نشاط الراديوم أكبر من مليون مرة من كمية مماثلة من اليورانيوم. وقد تم اكتشاف العديد من المواد المشعة منذ ذلك الحين، وبذلك امتلأت معظم الفراغات التي كانت موجودة في الجدول الدوري قبل اكتشاف النشاط الإشعاعي. وبالإضافة إلى ألفا وبيتا التي تبعثها العناصر النشطة إشعاعياً يوجد نوع ثالث من الأشعة أكثر نفاذية منهما اكتشفه فيلارد villard عام 1900 وأطلق عليه اسم أشعة گاما.

إن هذه الأنواع الثلاثة من التحلل الإشعاعي التي تحدث في المواد المشعة هي كما يلي:

1- تحلل ألفا alpha decay (α)، وفيه تكون الدقائق المنبعثة ذات تركيب نفس تركيب أنوية الهيليوم ^{4}He nuclei. وهي ذات شحنة موجبة مقدارها $2e$.

2- تحلل بيتا beta decay (β)، وفيه تكون الدقائق المنبعثة إما إلكترونات (e^-) electrons أو بوزترونات (e^+) positrons. والبوزترون هو ضديد الإلكترون antielectron ويشبهه في كل النواحي ما عدا الشحنة.

3- تحلل گاما (gamma decay (γ)، وفيه تكون الدقائق المنبعثة هي الفوتونات عالية الطاقة.

ومما يجدر ذكره أن استخدام مصطلح "الإشعاع" لوصف الانبعاثات من النوى المشعة لا يعني أنها جميعاً إشعاعات كهرومغناطيسية بل هو اصطلاح رائج منذ بداية تاريخ الفيزياء النووية. ونحن نعلم الآن أن ألفا وبيتا كليهما دقائق مادية لا تكون الطاقة السكونية لأي منهما صفراً، أما گاما فيصح أن نسميها إشعاعاً بلا تحفظ لأنها مكونة من فوتونات والتي هي الجسيمات المكونة للإشعاع الكهرومغناطيسي وتكون طاقتها السكونية مساوي للصفر.

3-2: النماذج الذرية Atomic Models

في بداية القرن العشرين ثبت أن الذرة قابلة للانقسام وهي ليست جسيماً أولياً بخلاف ما كان يُعتقد سابقاً وفق أفكار دالتون حول الذرة. ففي عام 1897 اكتشف تومسون الإلكترون، وأجريت عدة تجارب تتعلق بإلكترونات الذرة. وتم الاستدلال من هذه التجارب على ما يلي:

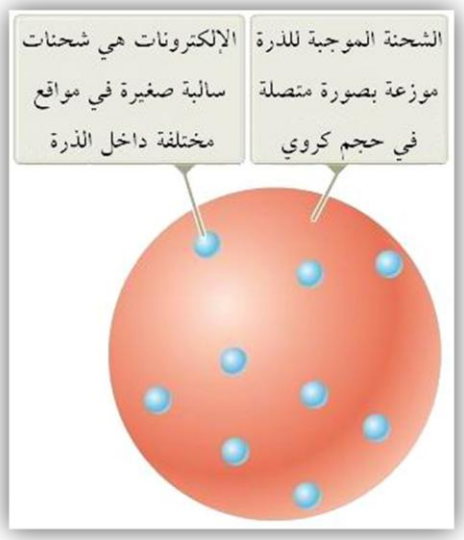
أ- تحتوي الذرة المتعادلة كهربائياً على z من الإلكترونات السالبة الشحنة، ولذا يجب أن تحتوي الذرة على شحنة موجبة مساوية لها في المقدار لأنها متعادلة.

ب- إن كتلة الإلكترون صغيرة جداً بحيث يمكن إهمالها مقارنة بكتلة أخف ذرة، مما يدل على أن معظم كتلة الذرة ناتجة عن كتلة الجسيمات التي تحمل الشحنة الموجبة.

ونتيجة لذلك اقتُرحت عدة نماذج حول ترتيب الشحنات السالبة والموجبة داخل الذرة. ومن هذه النماذج:

1- نموذج تومسون Thomson's model

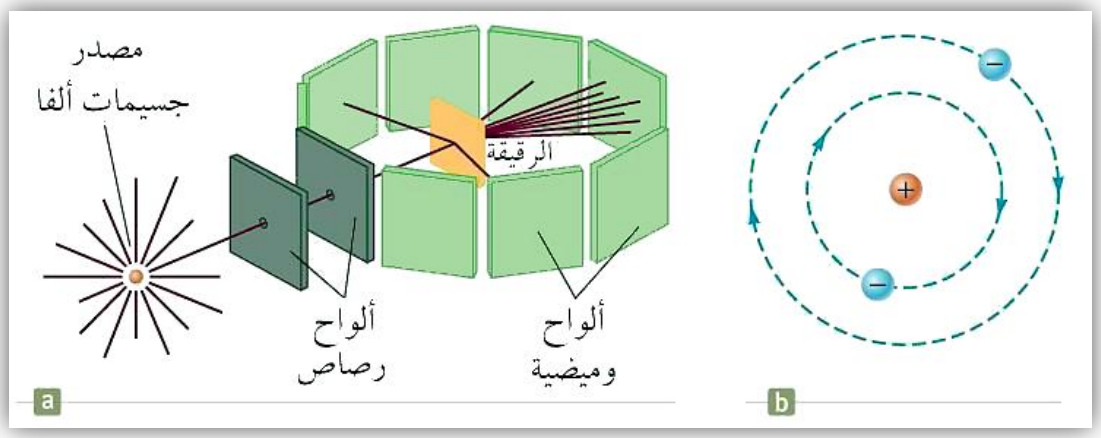
اقترح تومسون نموذجاً سنة 1898 يصف الذرة بأنها منطقة تنتشر في أرجائها الشحنة الموجبة والإلكترونات وأن الذرة ستكون حينئذ متعادلة كهربائياً. ولم يستطع الحصول على ترتيب يؤدي إلى توازن مستقر ولم يتمكن من إعطاء تفسير لترددات خطوط الطيف المرئي، وكذلك فشل هذا النموذج في تفسير استطارة جسيمات ألفا.



الشكل 3-1: نموذج تومسون للذرة

2- نموذج رذرفورد Rutherford model

في عام 1911، قام رذرفورد وتلميذاه گايگر Geiger ومارسدن Marsden بإجراء تجربة تم فيها قذف حزمة من جسيمات ألفا نحو رقائق معدنية foils كالهدف المبين في الشكل 3-2، a. ومرّت معظم الجسيمات من خلال الرقائق كما لو كانت فضاءً فارغاً، ولكن بعضها انحرفت عن اتجاهها الأصلي واستطارت بزوايا كبيرة، وبعضها الآخر انحرفت مرتدة إلى الوراء بزاوية 180°. ولم يكن من المتوقع حدوث مثل هذه الانحرافات الكبيرة على أساس نموذج تومسون لأنه يفترض أن الشحنة الموجبة في الرقيقة foil منتشرة في الذرة بأكملها وليست متمركزة في حيزٍ منها كي تسبب هكذا انحرافات لدقائق ألفا الموجبة الشحنة، كما إن الإلكترونات أخف بكثير من جسيمات ألفا ولا يمكنها أن تسبب هكذا انحرافات كبيرة. وقد أوضح رذرفورد نتائجه من خلال تطوير نموذج ذري جديد افترض فيه أن الشحنة الموجبة في الذرة تتركز في منطقة صغيرة بالنسبة لحجم الذرة، وسمّاها نواة الذرة، وأن الإلكترونات التي تنتمي للذرة تتواجد في الحجم الكبير نسبياً خارج النواة ولا تسقط في النواة الموجبة لأنها تدور في مدارات حول النواة بنفس الطريقة التي تدور بها الكواكب حول الشمس (الشكل 3-2، b). وقد واجه نموذج رذرفورد مشكلتين أساسيتين، الأولى أنه لا يستطيع تفسير ظاهرة انبعاث وامتصاص ترددات محددة دون غيرها للإشعاع الكهرومغناطيسي من قبل الذرة. والثانية هي أن الإلكترونات في النموذج والتي تتحرك حركة دائرية منتظمة تمتلك تعجيلاً مركزياً، ووفق نظرية ماكسويل للكهرومغناطيسية فإن الشحنات المتعجلة مركزياً والتي تدور بتردد f يجب أن تشع موجات كهرومغناطيسية بتردد f. وبالتالي فإنه وفق هذا النموذج ستتدمر الذرة ذاتياً. هذا وقد طور بور Bohr هذا النموذج بعد حين.



الشكل 3-2: (a) تقنية رذرفورد لمراقبة استطارة جسيمات ألفا عن رقيق معدنية. والمصدر هو مادة مشعة بشكل طبيعي مثل الراديوم. (b) نموذج رذرفورد للذرة.

3-3: نظرية الإستطارة لرذرفورد Rutherford Scattering Theory

لأجل تطوير نظرية لاستطارة جسيمات الفا بواسطة النوى الذرية افترض رذرفورد ما يلي:

1- إن جسيم ألفا والنواة صغيران جداً بحيث يمكن اعتبار كل منهما جُسيماً ذا كتلة وشحنة نقطية.

2- القوة الوحيدة المؤثرة بين جسيمات ألفا والنواة هي قوة التنافر لكولوم Coulomb repulsive force.

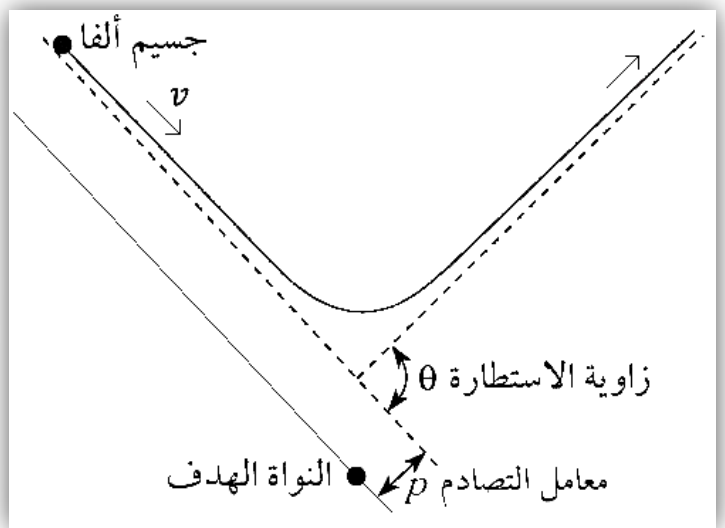
3- يمكن استخدام الميكانيك التقليدي لمعالجة هذه الظاهرة.

4- طاقة الارتداد للنواة بسبب تصادمها مع جسيمات ألفا يمكن إهمالها لصغرها.

عند توجيه حزمة من جسيمات ألفا على رقيقة معدنية من الذهب أو أي عنصر آخر مناسب يحدث تأثير متبادل بين جسيمات ألفا ونوى ذرات العنصر، فيُستطار جسيم ألفا لصغر كتلته مقارنة مع كتلة نواة عنصر الرقيقة. ولو فرضنا أن Ze تمثل شحنة النواة و M كتلة جسيم ألفا و Q شحنته و v سرعته الأصلية فستكون هنالك قوة تنافر بين شحنتي النواة وجسيم ألفا تُعطى بقانون كولوم:

$$F = k\frac{ZeQ}{r^2} \qquad \ldots\ldots 3.1$$

حيث r: المسافة بين النواة في الرقيقة وجسيم ألفا الساقط، و k: ثابت التناسب في قانون كولوم. وبسبب قوة تنافر كولوم يكون مسار جسيم ألفا بشكل قطع زائد وتقع النواة في بؤرة الجانب المحدب من المسار كما في الشكل 3-3 الذي يظهر فيه خطان منقطان يمثل الأول اتجاه سقوط جسيمات ألفا ويمثل الثاني اتجاه انحرافها، وتعرف الزاوية θ بين الاتجاهين بزاوية الإستطارة. أما p فيمثل أصغر مسافة يبعد بها جسيم ألفا عن النواة لو استمر باتجاهه الأصلي بدون انحراف، أي في حالة عدم وجود قوة التنافر، ويسمى p معامل التصادم impact parameter.

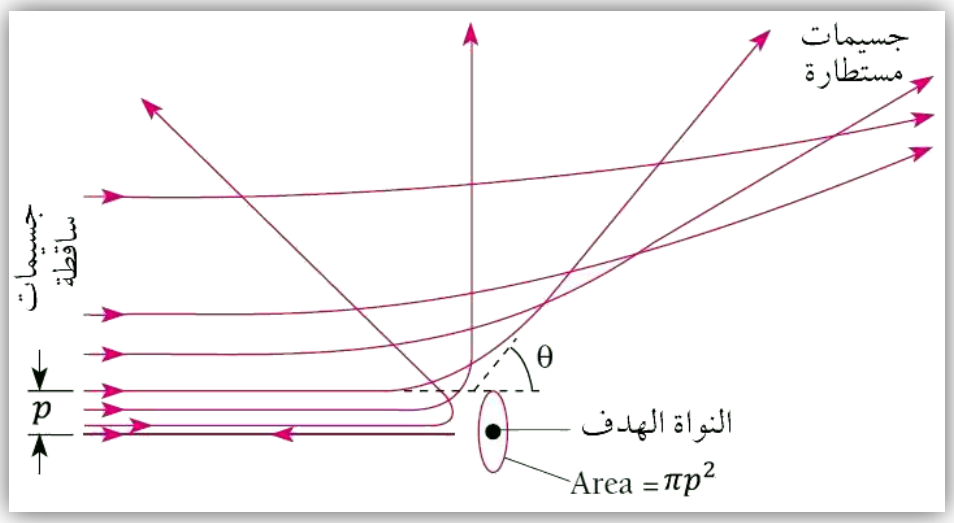


الشكل 3-3: استطارة رذرفورد.

ويمكن تمثيل زاوية الإستطارة في الشكل 3-3 بالعلاقة:

$$\cot\frac{\theta}{2}=\frac{Mv^2}{kZeQ}p \qquad \ldots\ldots 3.2$$

$$or \quad p=\frac{kZeQ}{Mv^2}\cot\frac{\theta}{2} \qquad \ldots\ldots 3.2'$$



الشكل 3-4: تنقص زاوية الإستطارة بزيادة معامل التصادم.

والآن نفترض أن عدداً كبيراً من جسيمات ألفا قد تم توجيهه بشكل طبيعي على رقيقة من مادة مساحتها A وسمكها t تحتوي على ذرات عددها n لوحدة الحجم. وسيكون عدد الذرات لوحدة المساحة من هذه الطبقة الرقيقة (وأيضاً عدد النوى لوحدة المساحة) هو nt، وتسقط حزمة من جسيمات ألفا على مساحة A، ولذلك ستواجه عدداً من النوى يبلغ ntA. وأي جسيم ألفا تؤدي به سرعته الابتدائية إلى مسافة p من النواة سيُستطار بزاوية θ، وكلما كان أقرب – أي كلما كانت p أصغر– فإن زاوية استطارة ألفا ستكون أكبر (لاحظ الشكل 3-4). وستكون $(\sigma=\pi p^2)$ هي مساحة المقطع العرضي المحيط بكل نواة، وتمثل المساحة الفعالة لإحداث الإستطارة، و p هنا تمثل نصف قطر دائرة مفترضة حول كل نواة. وستكون المساحة الفعالة الكلية مساوية لعدد نوى الهدف ntA مضروباً بمساحة المقطع العرضي σ لهكذا استطارة للنواة الواحدة، أي $ntA\sigma$. والقسم f من جسيمات ألفا الساقطة التي ستُستطار ضمن زاوية مساوية لـ θ أو أكثر سيساوي النسبة بين المساحة الفعالة الكلية $ntA\sigma$ والمساحة الكلية للرقيقة A:

$$f=\frac{\text{عدد جسيمات ألفا المستطارة بزاوية } \theta \text{ أو بزوايا أخرى}}{\text{عدد جسيمات ألفا الساقطة}}=\frac{\text{المساحة الفعالة الكلية}}{\text{مساحة الهدف}}=\frac{ntA\sigma}{A}=nt\pi p^2$$

$$f=\pi ntp^2=\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2\cot^2\frac{\theta}{2} \qquad \ldots\ldots 3.3$$

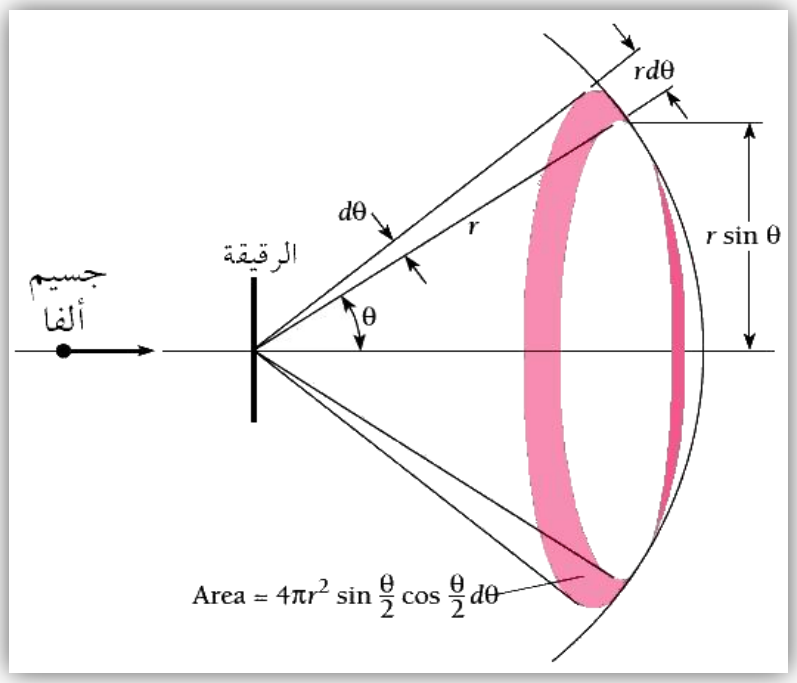
وهنا قد تم تعويض قيمة p من المعادلة $3.2'$. وفي هذه الحسابات قد فُرض أن الرقيقة نحيفة جداً بحيث أن المقاطع العرضية للنوى المجاورة لا تتداخل مع بعض وأن انحراف جسيم ألفا المستطار يحدث بمواجهة نواة واحدة فقط.

وفي تجربة فعلية تم الكشف عن جسيمات ألفا مستطارة بين θ و $(\theta + d\theta)$ كما في الشكل 3-4. والجزء المستطار بشدة من جسيمات ألفا الساقطة تم معرفته بواسطة المعادلة التفاضلية 3.3 بالنسبة لـ θ :

$$df = 2\pi pnt\, dp$$

$$or \quad df = -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta \qquad \ldots\ldots 3.4$$

والإشارة السالبة تعني أن f يتناقص مع زيادة θ .



الشكل 3-5: استطارة الجسيمات في تجربة رذرفورد بزاوية بين θ و $(\theta + d\theta)$.

كما لاحظنا في الشكل 3-2 فقد وضع گايگر ومارسدن شاشة فلورية على مسافة r من الرقيقة وتم الكشف عن جسيمات ألفا المستطارة بواسطة التلألؤ الذي سببته. وتلك الجسيمات المستطارة بين θ و $(\theta + d\theta)$ وصلت إلى منطقة كروية نصف قطرها r وعرضها $r\, d\theta$. وستكون مساحة المنطقة التي ضربتها جسيمات ألفا من الشاشة هي:

$$dA = (2\pi r\sin\theta)(r\, d\theta) = 2\pi r^2 \sin\theta\, d\theta$$

$$= 4\pi r^2 \sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}d\theta \qquad \ldots\ldots 3.5$$

وإذا فرضنا أن N_i يمثل العدد الكلي لجسيمات ألفا الساقطة على الرقيقة خلال التجربة فإن العدد الذي يضرب وحدة المساحة من الشاشة عند الزاوية θ هو:

$$N_s = N_i \frac{|df|}{dA} = N_i \frac{\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \cot\frac{\theta}{2} \csc^2\frac{\theta}{2} d\theta}{4\pi r^2 \sin\frac{\theta}{2} \cos\frac{\theta}{2} d\theta}$$

$$N_s = \frac{N_i k^2 nt (Ze)^2 Q^2}{4r^2 (Mv^2)^2 \sin^4(\theta/2)} \qquad \ldots\ldots 3.6$$

وهذه المعادلة هي صيغة استطارة رذرفورد. ويمكن كتابتها بصيغة أخرى بعد معرفة أن شحنة جسيم ألفا $(Q = 2e)$ وطاقته الحركية $\left(E_k = \frac{1}{2}Mv^2\right)$:

$$N_s = \frac{N_i nt}{4r^2 \sin^4(\theta/2)} \left(\frac{k\, Ze^2}{E_k}\right)^2 \qquad \ldots\ldots 3.7$$

حيث N_s: عدد جسيمات ألفا لوحدة المساحة والتي تصل إلى شاشة المراقبة بزاوية استطارة θ.

N_i: العدد الكلي لجسيمات ألفا الساقطة على الرقيقة.

n: عدد الذرات (أو النوى) لوحدة الحجم في الرقيقة. و t: سمك الرقيقة.

K: ثابت التناسب في قانون كولوم: $(K = 1/4\pi\epsilon_o = 9 \times 10^9\ N.m^2.C^{-2})$

و ϵ_o: سماحية الفراغ $(\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}\ F.m)$.

Z: العدد الذري لذرات الرقيقة. و e: شحنة الإلكترون. و Ze تمثل شحنة النواة.

r: المسافة من الشاشة إلى الرقيقة.

E_k: الطاقة الحركية لجسيمات الفا.

ويمكن حساب n لمادة معينة من العلاقة التالية:

$$n = \frac{\rho N_A}{W} \qquad \ldots\ldots 3.8$$

حيث تمثل ρ كثافة المادة و W وزنها الذري و N_A عدد أفوكادرو = $6.02 \times 10^{23} mole^{-1}$.

مسائل محلولة

(1) احسب نسبة جسيمات ألفا التي تُستطار بزاوية $90°$ أو أكبر عندما تسقط حزمة منها بطاقة حركية $(1.4 \times 10^{-12} J)$ على رقيقة من الذهب سمكها $(2 \times 10^{-7} m)$.

الحل :

$$df = -\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta$$

$$f = \int_\theta^\pi df = -\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \int_\theta^\pi \cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta$$

$$f = -\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \left[-\cot^2\frac{\theta}{2}\right]_\theta^\pi$$

$$= -\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \left[0 + \cot^2\frac{\theta}{2}\right] = -\pi nt \left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \cot^2\frac{\theta}{2}$$

$$\because E_k = \frac{1}{2}Mv^2\ ,\ \theta = 90°\ ,\ Q = 2e$$

$$\therefore\ f = -\pi nt \left(\frac{kZe(2e)}{Mv^2}\right)^2 \cot^2\frac{90}{2} \quad \rightarrow \quad |f| = \pi nt \left(\frac{kZe^2}{E_k}\right)^2$$

$$for\ gold:\ \rho = 1.932 \times 10^4 kg/m^3\ ,\ W = 197\ kg/mole\ ,\ Z = 79$$

$$n = \frac{\rho N_A}{W} = \frac{(1.932 \times 10^4 kg/m^3)(6.02 \times 10^{23} mole^{-1})}{0.197\ kg/mole} = 5.9 \times 10^{28}\ atom/m^3$$

$$|f| = (3.14)(5.9 \times 10^{28} m^{-3})(2 \times 10^{-7} m)\left[\frac{(9 \times 10^9\ N.m^2/C^2)(79)(1.6 \times 10^{-19} C)^2}{1.4 \times 10^{-12} J}\right]^2$$

$$= 6.26 \times 10^{-6}$$

وهذا يعني أن 6.26×10^{-6} من جسيمات ألفا الساقطة يُستطار بزاوية $90°$ أو أكبر، أي حوالي 0.0006%. وهكذا رقيقة هي شفّافة عملياً تجاه جسيمات ألفا الساقطة.

(2) في إحدى التجارب أُسقط 10^8 من جسيمات ألفا كل ثانية على رقيقة من الفضة $^{107}_{47}Ag$ سمكها $(5 \times 10^{-7} m)$. فإذا كانت الطاقة الحركية لجسيم ألفا تساوي $8.22\ MeV$ وعدد الذرات في وحدة الحجم للفضة يساوي $(5.9 \times 10^{28}\ atom/m^3)$ فاحسب عدد جسيمات ألفا الذي يسجله عداد گايگر خلال عشر ثوان إذا علمت أن مساحة نافذة العداد تساوي $10^{-4} m^2$ وأن بُعدَها عن مركز الاستطارة يساوي $0.05\ m$ وأن العداد موضوع باتجاه يصنع زاوية مقدارها $60°$ مع اتجاه الحزمة الساقطة.

الحل :

$$N_s = \frac{N_i nt}{4r^2 \sin^4(\theta/2)}\left(\frac{k\ Ze^2}{E_k}\right)^2$$

$$= \frac{10^8(5.9\times10^{28}m^{-3})(5\times10^{-7}m)}{4(0.05\,m)^2\sin^4(30)}\left[\frac{(9\times10^9\,N.m^2/C^2)(47)(1.6\times10^{-19}C)^2}{(8.22\times10^6eV)(1.6\times10^{-19}J/eV)}\right]^2$$
$$= 3.2\times10^5\,particles/m^2$$

$$for\ 10\ seconds:\ N_s = 3.2\times10^5\times10 = 3.2\times10^6\,particles/m^2$$

سيكون عدد جسيمات ألفا الذي يسجله عداد گايگر خلال عشر ثوان:

$$N_s dA = 3.2\times10^6\,particles/m^2\times10^{-4}m^2 = 320\,particles$$

(3) في إحدى التجارب أُسقط 10^{10} من جسيمات ألفا في اتجاه عمودي على سطح رقيقة من الذهب Au سمكها $10^{-7}m$. فإذا كانت الطاقة الحركية لجسيم ألفا تساوي $7.11\ MeV$ وعدد الذرات في وحدة الحجم للذهب يساوي $(5.9\times10^{28}\ atom/m^3)$ فاحسب عدد جسيمات ألفا المستطارة بزاوية $(60°\le\theta\le90°)$.

الحل :

$$df = -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2\cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta$$

$$f = \int_{60}^{90}df = -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2\int_{60}^{90}\cot\frac{\theta}{2}\csc^2\frac{\theta}{2}d\theta$$

$$f = -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2\left[-\cot^2\frac{\theta}{2}\right]_{60}^{90} = -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2\left[-\cot^2\frac{90}{2}+\cot^2\frac{60}{2}\right]$$
$$= -\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2[-1+3] = -2\,\pi nt\left(\frac{kZeQ}{Mv^2}\right)^2 \rightarrow |f| = 2\,\pi nt\left(\frac{kZe^2}{E_k}\right)^2$$

$$|f| = 2\,(3.14)(5.9\times10^{28}m^{-3})(10^{-7}m)\left[\frac{(9\times10^9\,N.m^2/C^2)(79)(1.6\times10^{-19}C)^2}{(7.11\times10^6eV)(1.6\times10^{-19}J/eV)}\right]^2$$
$$= 9.49\times10^{-6}$$

سيكون عدد جسيمات ألفا المستطارة بزاوية $(60°\le\theta\le90°)$:

$$N_i|f| = 10^{10}\times9.49\times10^{-6} = 94900\,\alpha-particles$$

(4) إذا كان معامل التصادم p يساوي (2.6×10^{-13}) عند اسقاط جسيمات ألفا طاقتها الحركية $5\ MeV$ على رقيقة من الذهب سمكها $10^{-6}m$ فاحسب زاوية الاستطارة.

الحل :

$$\cot\frac{\theta}{2} = \frac{Mv^2}{kZeQ}p$$
$$= \frac{E_k}{kZe^2}p = \frac{(5\times10^6eV)(1.6\times10^{-19}J/eV)}{(9\times10^9\,N.m^2/C^2)(79)(1.6\times10^{-19}C)^2}(2.6\times10^{-13}) = 11.43$$
$$\therefore\ \theta/2 = \cot^{-1}11.43 = 5° \quad\rightarrow\quad \theta = 10°$$

(5) احسب أصغر مسافة من النواة تقترب بها بروتونات ذات طاقة حركية $1\ MeV$ ساقطة على أنوية ذهب.

الحل: كلما كان معامل التصادم p أصغر- فإن زاوية الإستطارة ستكون أكبر، وعليه فإن أصغر مسافة تحدث عند أكبر استطارة. وأكبر استطارة يمكن حدوثها هي عندما يرتد الجسيم الساقط بنفس اتجاه سقوطه، أي يستطير بدرجة 180°، (لاحظ الشكل 3-4).

$$p = \frac{kZeQ}{Mv^2}\cot\frac{\theta}{2} = \frac{kZe^2}{E_k}\cot\frac{\theta}{2}$$

$$= \frac{(9\times10^9\ N.m^2/C^2)(79)(1.6\times10^{-19}C)^2}{(1\times10^6 eV)(1.6\times10^{-19}J/eV)}\cot\frac{180}{2} = 1.137\times10^{-13}m$$

فهرست الفصل الثالث

الموضوع	الصفحة
3-1: اكتشاف النشاط الاشعاعي الطبيعي	1
3-2: النماذج الذرية	2
1- نموذج تومسون	2
2- نموذج رذرفورد	3
3-3: نظرية الإستطارة لرذرفورد	4
مسائل محلولة	8

مصادر الفصل الثالث

1- الفيزياء الذرية، د. طالب ناهي الخفاجي و د. عباس حمادي و د. هرمز موشي.
2- مفاهيم في الفيزياء الحديثة، آرثر بايزر، ترجمة الطبعة الثانية.
3- Concepts of Modern Physics, Arthur Beiser, 6th ed. 2003.
4- Fundamentals of physics- Halliday, Resnick, Walker—10th ed. 2014.
5- Introduction to Atomic and Nuclear Physics, Semat and Albright, 5th ed. 1972.
6- Modern Physics, A. Serway, J. Moses and A. Moyer, 3rd ed. 2005.
7- Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Serway and Jewett, 9th ed. 2014.