الكلية	التربية للعلوم الصرفة
القسم	الفيزياء
المادة باللغة الانجليزية	Health physics
المادة باللغة العربية	فيزياء صحيه
المرحلة الدراسية	المرحلة الثانية
اسم التدريسي	نور زهير
عنوان المحاضرة باللغة الانجليزية	Interaction of radiation with matter
عنوان المحاضرة باللغة العربية	**تفاعل الإشعاعات مع المادة**
رقم المحاضرة	المحاضرة الاولى
المصادر والمراجع	كتاب الفيزياء الصحية المنهجي تأليف / الدكتور خالد الاحمد

محتوى المحاضرة

UNIVERSITY OF ANBAR

تفاعل الإشعاعات مع المادة

Interaction of radiation with matter

1.1مقدمة

نظراً لأهمية موضوع تفاعل الاشعاعات مع المادة ، وطرق انتقال الطاقة من هذه الاشعاعات إلى الوسط المحيط بمسارها في موضوع . تقييم الجرع الإشعاعية ووحدات القياس radiation dosimetry and units وكذلك دراسة التأثيرات البيولوجية للإشعاع Biological effects of ionizing radiation، والوقاية من الاشعاعات radiation protection، لذلك كان ضرورياً أن نتطرق إلى هذا الموضوع في بداية الكتاب.

تمتاز الاشعاعات المؤينة بقدرتها على تأيين أو تهيج ذرات المادة التي تتفاعل معها ، وذلك عندما تكون الطاقة الحركية أو طاقة فوتونات الإشعاع أكبر من الطاقة اللازمة لتهييج الالكترونات أو إقتلاعها من الحزمة التكافؤية لذرة المادة ، لذلك تسمى هذه الإشعاعات بالإشعاعات المؤينة . وتبلغ أقل طاقة تأيين مقاسة لاقتلاع الكترون من الحزمة التكافؤية 4 cv، وهكذا فإنه يمكن من خلال العلاقة 1.1. أن نلاحظ أن الاشعاعات الكهرومغناطيسية التي يمكن ان تسمى إشعاعات مؤينة يجب أن لا يزيد طولها الموجي على 320 nm ، وهذا يعني أنها تشمل بعض الإشعاعات فوق البنفسجية ، إلا أن هذه الاشعاعات أقل أهمية في مجال الفيزياء الصحية وإنما يتم الاهتمام بالاشعاعات الكهرومغناطيسية الاكثر قدرة على الاختراق وهما أشعة – X – ، وأشعة كاما.

1.2 أنواع الإشعاعات

أ. أشعة كاما : (Gamma ray) هي عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية تنطلق من النواة أو خلال تفاعلات الفناء annihilation reactions بين المادة ومضاد المادة كما يحصل عند فناء الالكترون مع البوزترون.

إن طاقة الفوتون الواحد لأي من فوتونات الاشعة الكهرومغناطيسية تعطى بالعلاقة الآتية:

$$E\gamma = hv = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12.398}{\lambda} keV$$

حيث أن h هو ثابت بلانك و v هو التردد frequency ويمكن من خلال المعادلة 1.1حساب طاقة الفوتون بعد معرفة الطول الموجي للأشعة . تتراوح طاقة الفوتونات التي تطلقها الذرات المشعة بين(2.6 keV الأشعة –X – من الطبقة K للاركون $_{37}Ar^{18}$ إلى 7.1 MeV لفوتونات أشعة كاما المنطلقة من نواة النتروجين $_{7}N^{14}$

ب. أشعة – X – : لقد كانت أشعة X هي أولى الاشعاعات المؤينة التي اكتشفت من قبل وليم رونتجن Wilhelm Roentgen في نهاية القرن الماضي وهي عبارة عن إشعاعات كهرومغناطيسية تطلقها الجسيمات المشحونة (عادة الالكترونات) عندما تغير مداراتها في الذرات أو خلال عملية الابطاء التي يمكن أن تتعرض لها في مجال كولومي ، كما هو الحال بالنسبة لأشعة –X – المستمرة أو أشعة الكبح النووي bremsstrahlemg ، ولابد لنا أن نلاحظ أن فوتونات أشعة كاما وأشعة X التي تملك نفس الطاقة تكون متماثلة تماماً والفرق الوحيد بينها هو من حيث المنشأ. تقسم أشعة –X– إلى عدة مجموعات وذلك حسب فولتية توليد هذه الأشعة ، هذه المجموعات هي:

- أشعة – X – ذات الطاقة القليلةLowenergy X– rays 20kv J 0.1kv
- أشعة – x – التشخيصية Diagnostic X – rays من 20 kv إلى 120 kv
- أشعة X التقليدية Orthovoltage X – rays من 120 kv إلى 300 kv
- أشعة X المتوسطة الطاقة intermediate – rays من 300 kv إلى 1MV
- أشعة X العالية الفولتية high voltage X – rays اكثر من1MV

ج. الالكترونات السريعة : تشمل الالكترونات السريعة عدة مجموعات من حيث المصدر والاسم فهناك الالكترونات الموجبة التي تسمى البوزترونات، أما الالكترونات المنطلقة من النواة فتسمى جسيمات بيتا (سالبة أو موجبة) ، وإذا كانت ناتجة عن تصادم جسيم مشحون مع الذرة مما يؤدي إلى اقتلاع الالكترون وإكتسابه طاقة حركية فتسمى بأشعة دلتا (δ–ray) ويمكن الحصول على حزم ذات طاقة عالية جداً من الالكترونات تصل إلى 12 Mev

بوساطة مولد فان دي كراف كما يمكن الحصول على طاقات أعلى بكثير بوساطة معجلات خاصة.

د. الجسيمات المشحونة الثقيلة : تضم هذه المجموعة عدة جسيمات أهمها:

1. البروتون : proton وهو نواة ذرة الهيدروجين.
2. الديترون : Deutron وهو نواة الديتريوم وتتكون من بروتون ونترون مرتبطين مع بعضها بقوة نووية.
3. تريتون : Triton وهو نواة التريتيوم ويتكون من بروتونين ونترون مرتبطين مع بعضها بقوة نووية.
4. جسيمات ألفا : Alpha Particles وهي نواة الهيليوم وتتكون من بروتينين نيترونيين وهي تنتج من عمليات الانحلال التي تحصل في نوى العناصر الثقيلة.
5. هناك جسيمات أخرى ثقيلة ومشحونة هي عبارة عن نوى ذرات العناصر الأثقل من العناصر السابقة وتسمى بالأيونات الثقيلة. heavy ions
6. بايون Pions وتشمل ميزون السالب والذي يمكن الحصول عليه من تفاعل الالكترونات السريعة أو البروتونات عند إسقاطها على النواة.
7. النيترونات : Neutrons وهي جسيمات متعادلة يمكن الحصول عليها من التفاعلات النووية أو من إنشطار النوى وهي غير قابلة للتعجيل.

إن الطاقة الحركية للجسيمات وطاقة الفوتونات التي يتم الاهتمام بها بالنسبة للإشعاعات المؤينة يمتد بين 10 keV و 10 MeV ، ولقد افترضت الوكالة الدولية للوحدات الاشعاعية والقياسات International Commission on radiation units and measurements ويرمز لها إختصاراً ICRU في عام 1971 تقسيم الاشعاعات المؤينة إلى مجموعتين وذلك وفقاً لطريقة تفاعلها مع المادة.

1- الاشعاعات المؤينة بصورة مباشرة Directly ionising radiations

وتشمل الجسيمات المشحونة السريعة والتي تقوم باعطاء طاقتها إلى المادة مباشرة عبر مجموعة من التفاعلات الكولومية الصغيرة على طول مسار الجسيم.

2- الاشعاعات المؤينة بصورة غير مباشرة Indirectly ionising radiotions

وتشمل أشعة – x – وأشعة كاما والنترونات . تقوم هذه الاشعاعات أثناء مرورها في المادة أولاً باعطاء طاقتها كلياً أو جزئياً إلى الجسيمات المشحونة في المادة ، وبعد ذلك تقوم الجسيمات المشحونة السريعة الناتجة بإعطاء طاقتها إلى المادة بنفس طريقة الاشعاعات المؤينة بصورة مباشرة ، أي أن عملية ترسيب الطاقة في المادة من قبل الاشعاعات غير المؤينة مباشرة تتم على مرحلتين، مرحلة انتاج الجسيمات المشحونة في المادة تليها مرحلة انتقال الطاقة من هذه الجسيمات إلى المادة.

1.3 تفاعل الاشعاعات المؤينة مع المادة

كما لاحظنا سابقا فإن الاشعاعات المؤينة يمكن أن تقسم من حيث المنشأ إلى مجموعتين رئيستين هما مجموعة الاشعاعات الذرية، وتشمل الأشعة فوق البنفسجية ، أشعة X ، والالكترونات (أشعة بيتا). أما المجموعة الثانية فتضم الاشعاعات التي تنطلق من النواة وهي جسيمات بيتا الفا، البروتونات، النيترونات، الميزونات وفوتونات كاما بالاضافة إلى عدد من الجسيمات الأولية . إلا ان هذا التقسيم لا يعني ان عناصر المجموعة الواحدة متشابهة من حيث طريقة تفاعلها مع المواد والنسيج ، لذلك فإننا خلال دراستنا لموضوع تفاعل الاشعاعات مع المادة سوف نقسم الاشعاعات المؤينة عموما إلى ثلاث مجموعات رئيسة ، حيث ان عناصر كل مجموعة متشابهة فيما بينها من حيث طريقة تفاعلها مع المواد، هذه المجموعات هي:

1- الجسيمات المشحونة Charged porticles وهي تشمل الجسيمات المشحونة الثقيلة وكذلك أشعة بيتا.

2- الإشعاعات الكهرومغناطيسيةElectro magnetic radiations

3- النيتروناتneatrons

1.4 تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة

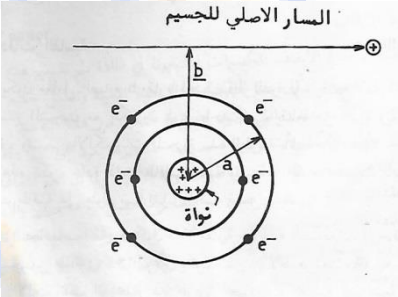
تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها عند مرورها في وسط ما بصورة رئيسة عن طريق سلسلة من التفاعلات الكولومية مع الالكترونات الذرية أو نوى الذرات في المادة المعترضة ، وتكون الطاقة التي تفقدها الجسيمات المشحونة في التصادم الواحد قليلة وعدد التصادمات التي تخوضها كبيراً بحيث يبدو الجسيم وكأنه يخسر طاقته بشكل مستمر ويتعرض لعملية إبطاء تدريجية Continous slowing downوليس على شكل دفعات منفصلة عن بعضها البعض، لذلك يتم استخدام المعدل الوسطي

للطاقة المفقودة من قبل الجسيم المشحون في وحدة المسافة من مساره للتعبير عن مايخسره من طاقة في الوسط، ويعرف هذا المعدل الوسطي للطاقة المفقودة باسم قدرة الإيقاف للمادة Stopping power وتعتمد قيمة قدرة الايقاف على نوع المشحون وطاقته ونوع المادة الموقفة.

1.4.1 أنواع التصادمات التي تجريها الجسيمات المشحونة

تفقد الجسيمات المشحونة طاقتها بطريقة تختلف تماما عن الاشعاعات الكهرومغناطيسية أو النترونات ، حيث أن الجسيمات المشحونة تكون محاطة عادة بمجال من القوة الكولومية بسبب شحنتها ، حيث يتفاعل هذا المجال مع احد الالكترونات أو أكثر أو مع نواة كل ذرة يجتازها الجسيم المشحون.

إن التفاعلات الكولومية التي تجريها الجسيمات المشحونة يمكن تصنيفها على أساس قرب وبعد مسار الجسيم من الذرة المعترضة وهو ما يعبر عنه بمعامل الصدم impact parameter ويرمز له بالرمز b مقارنة مع نصف قطر الذرة ، a، وكما هو موضح في الشكل 1.1 فإن هناك ثلاثة انواع من التصادمات الممكنة والتي تكون مهمة في هذا المجال وهي عندما يكون $b \sim a, b >> a$ ، وعندما b < < a



الشكل (1.1) : العناصر الرئيسة في التصادم بين الجسيمات المشحونة والذرة a : نصف قطر الذرة ، h معامل الصدم.

1- التصادمات الرخوة Soft collisions

عندما يمر جسيم مشحون في المادة المعترضة وعلى بعد كبير من الذرة فإن مجال قوة كولوم للجسيم سوف يؤثر على الذرة ككل مما يسبب تهيجها إلى مستوى أعلى من الطاقة ، وأحيانا قد يؤين الذرة باقتلاع أحد الالكترونات التكافؤية ، والنتيجة النهائية لهذه العملية انتقال جزء صغير من الطاقة (بضع ev) إلى ذرة المادة المعترضة . ويوضح الشكل (1.1)عملية التصادم .هذه وحيث ان احتمالية مرور الجسيم المشحون على بعد كبير من الذرة (b كبيرة) هي اكبر من احتمالية مروره إلى جوار الذرة فإن

هذا النوع من التصادمات الذي يعرف باسم التصادمات الرخوة soft collisions لأنها تتم من بعيد هو أكثر أنواع التفاعلات بين الجسيمات المشحونة والذرة ، وتعد مسؤولة عن انتقال نصف الطاقة تقريبا من الجسيم المشحون إلى المادة المعترضة . في المواد الكثيفة (السوائل والمواد الصلبة) يسبب التفاعل بين الجسيم المشحون والنواة ظاهرة الاستقطاب أو ما يعرف باسم تأثير الكثافة density effectوسوف يتم التطرق لهذه الظاهرة لاحقا.

في بعض الحالات الخاصة هناك جزء صغير من الطاقة التي يعطيها الجسيم المشحون للمادة خلال التصادمات الرخوة يمكن ان تطلقها المادة على شكل إشعاع ضوئي يعرف باسم اشعة سيرنكوف Cerenko radiations . إن الطاقة المنبعثة من الوسط المعترض على شكل اشعة سيرنكوف تكون قليلة ولا نتعدى 0.1% من الطاقة التي يخسرها الجسيم المشحون في تهييج وتأيين الذرات. وهي غير ذات اهمية في مجال الفيزياء الصحية.

2- التصادمات القاسية Hard collisions

عندما يكون معامل الصدم b مقاربا لنصف قطر الذرة فإنه يصبح أكثر احتمالا لأن يتفاعل الجسيم المشحون مع الكترون ذري واحد بحيث يقتلعه من الذرة ويعطيه طاقة حركية كبيرة ، وتسمى الالكترونات المتحررة بهذه الطريقة بأشعة دلتا . ($\delta-$ rays) إن أشعة دلتا هذه تكون عادة ذات طاقات عالية وتستطيع القيام بعمليات تأيين ثانوية وبذلك تفقد طاقتها على طول مساراتها الخاصة ضمن المادة.

إن عدد التصادمات القاسية يكون قليلا مقارنة مع عدد التصادمات الرخوة ، إلا أن ما يفقده الجسيم من طاقة في كلا النوعين يكون متقارباً . لابد من ملاحظة أنه عندما يتم إقتلاع أحد الالكترونات الداخلية عن طريق التصادمات القاسية فإن أشعة-X- سوف تنطلق ، كما يمكن أن ينطلق الكترون أوجر Auger electron تماما كما يحدث عند إزالة الالكترون بوساطة أشعة كاما . لذلك فإن بعض الطاقة المنتقلة إلى المادة قد يذهب بعيدا عن مسار الجسيم الاصلي أو حتى خارج المادة باحدى هاتين الطريقتين.

3- التفاعل الكولومي مع المجال النووي الخارجي a >> b

عندما يكون معامل الصدم صغيراً مقارنة مع نصف قطر الذرة فإن تفاعلا كولومياً سوف يحصل مع النواة بصورة رئيسية. هذا النوع من التفاعلات يتمتع بأهمية خاصة بالنسبة للإلكترونات سواء أكانت

موجبة أم .سالبة في معظم هذه الحالات تستطار الالكترونات استطارة مرنة ولا تطلق أشعة – X– أو تسبب تهييج النواة ، إنما يفقد الالكترون جزءاً ضئيلاً من طاقته لتحقيق انحفاظ الزخم لعملية التصادم ، ولكن هذه التصادمات مهمة جدا في عملية حرف الالكترونات عن مسارها.

في بعض الحالات القليلة يمر الالكترون في جوار النواة فيحصل تفاعل غير مرن وينطلق فوتون من أشعة – X – ، في هذه الحالة يخسر الالكترون جزءاً كبيراً من طاقته قد يصل إلى 100% فضلاً عن تغيير اتجاهه، هذا النوع من أشعة – X – يسمى بالاشعاع التباطؤي أو إشعاع الكبح النووي bremsstrahlungحيث أن الالكترون يخضع لعملية ابطاء بتأثير النواة.

جامعة الانبار
1987 1428
UNIVERSITY OF ANBAR