

دراسة نظرية لمتسلسلتي اليورانيوم (235) واليورانيوم (238)

للكشف عن النشاط الإشعاعي

خالد حنين عباس

كلية التربية، قسم الفيزياء

الخلاصة:

تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد أبسط الطرق التي يمكن من خلالها رصد قمم الطاقات التي تعبر عن العناصر المشعة المنتمية إلى متسلسلتي اليورانيوم (235) واليورانيوم (238) عند انحلالها وتكوين عناصر السلسلة، ومن خلال دراسة الأطياف النووية للأشعة المنبعثة من هذه العناصر المشعة يمكن تحديد الطرق المناسبة في حساب تراكيز العناصر المشعة ومقارنة الدراسة النظرية هذه مع ما توصل إليه الباحثون في حساباتهم العملية.

إن حساب تراكيز المواد والعناصر المشعة يعطي مؤشراً واضحاً عن التلوثات الموجودة في التربة، الهواء، الماء، النباتات أو المياه الجوفية، حيث أن حساب الملوثات أصبح ضرورة ماسة بسبب تعرض البيئة لملوثات مختلفة.

Abstract

The aim of this study is to find the easiest way which determine the peaks of energy which represent the radioactive elements for Uranium series (235, 238) when it decay and make elements of series, from the study of nuclear spectra of emitted ray from radioactive elements can be determined the suitable method which leads to calculate the concentrations of radioactive elements and compare the theoretical results with previous experimental calculations.

The concentration calculations of radioactive elements refers to contamination which exist in soil, air, water, plant and ground water, The calculations of contamination are necessary for a reason of environmental contamination by the radioactive elements.

1- المقدمة:

تعتبر سلسلة اليورانيوم (235) سلسلة طبيعية تبدأ بعنصر اليورانيوم المشع (U^{235}) الذي ينحل بانبعثات جسيمة ألفا متحولاً إلى الثوريوم (Th^{231}) بعمر نصفي مقداره (7.1×10^8) سنة وتستمر عملية الانحلال تلقائياً لتنتهي بعنصر الرصاص (Pb^{207}) المستقر، وكذلك بالنسبة لسلسلة اليورانيوم (238) فهي

سلسلة طبيعية تبدأ بعنصر اليورانيوم (U^{238}) الذي ينحل بانبعثات جسيمة ألفا متحولاً إلى ثوريوم بعمر نصفه مقداره (4.5×10^9) سنة وتستمر عملية الانحلال تلقائياً لتنتهي بعنصر الرصاص (Pb^{206}) المستقر [Semat & Albright، 1972]. إن عملية الانحلال هذه تصاحبها تحرير طاقة، كل من هذه الطاقات تميز العنصر الذي بعث هذه الطاقة أثناء عملية انحلاله وتحوله إلى عنصر آخر.

2- النشاط الإشعاعي (Radioactive):

يطلق على النوييدة صفة الاستقرار (stable) إذا بقيت لمدة طويلة من الزمن دون انحلال (decay) وهناك نوييدات أخرى تنحل باعثة جسيمات وتتحول إلى نوييدات أخرى تسمى بالنوييدات المشعة (radioactive nuclide). ظاهرة النشاط الإشعاعي عملية إحصائية تخضع إلى قوانين الانحلال [الكناني والخفاجي، 1990].

يتعرض الإنسان طبيعياً إلى هذه الإشعاعات من خلال البيئة التي يعيش فيها، إن ظاهرة النشاط الإشعاعي والإشعاع كانا موجودين في الكون قبل ظهور الأرض نفسها وقد انتشر الإشعاع منذ ذلك الحين (20 بليون سنة) في أرجاء الكون وأصبحت المواد المشعة جزءاً من الأرض منذ بداية تكونها، وحتى الإنسان نفسه يشع قليلاً، لأن جميع الأنسجة الحية فيه تحوي كميات قليلة من المواد المشعة [البرنامج البيئي، 1985]. وهناك ثلاثة أنواع من مصادر الإشعاع، هي:

1- مصادر الإشعاع الطبيعي:

إن عمر الأرض يقدر ب (4×10^9) سنة [Eisenbud، 1997] لذا تعد النوييدات المشعة الناتجة خلال نشوء الأرض هي التي يكون نصف عمرها أكثر من هذا الرقم، ويوجد حوالي (20) نوييدة لها مثل هذا العمر الطويل إلا إن نشاطها الإشعاعي واطئ بحيث تعتبر نصف مستقرة مثل البوتاسيوم (K^{40})، الربيديوم (Rb^{57})، اللانثانيوم (La^{130})، النيودميوم (Nd^{150}) واللوتيتيوم (Lu^{176}).

أما النوييدات المشعة الأخرى الموجودة في البيئة فإنها نشأت في مراحل أحدث من نشوء الأرض وهي تمتلك نشاطاً إشعاعياً عالياً، ويستخدم بعضها في قياس الأعمار مثل التريتيوم (H^3) والكربون (C^{14})، وقد نشأت بوساطة الأشعة الكونية وتفاعلاتها مع النوييدات المستقرة، وهناك النوييدات المشعة الناشئة عن الانفجارات النووية والمتساقطة في البيئة مثل السترونيوم (Sr^{90}) واليود (I^{131}) [الكناني والخفاجي، 1990].

2- عند انحلال النوييدات المشعة طويلة العمر تنتج نوييدات أخرى تتعرض فيما بعد للانحلال منتجة جيلاً آخر من النوييدات المشعة وهكذا حيث تنشأ سلسلة من الانحلالات [الكناني والخفاجي، 1990].

3- مصادر الإشعاع الصناعي:

يتعرض الإنسان إلى عدد من مصادر الإشعاع التي هي من صنع الإنسان [بهاء الدين، 1989]:

- 1- العناصر المشعة المنبعثة من المنشآت النووية.
- 2- المواد المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية.
- 3- تجارب الأسلحة النووية.
- 4- المواد المشعة الناتجة من تعدين وطحن (mining and milling) اليورانيوم.
- 5- المواد المشعة الناتجة من معاملة الصخور الفوسفاتية.

- 6- المواد المشعة الناتجة من استخدام الأسمدة الفوسفاتية.
 7- استخدام الأشعة السينية (X-ray) للعلاج الطبي.
 والشكل (1) يوضح النسب المئوية لمصادر الإشعاع:

3-أنواع المتسلسلات في الطبيعة:

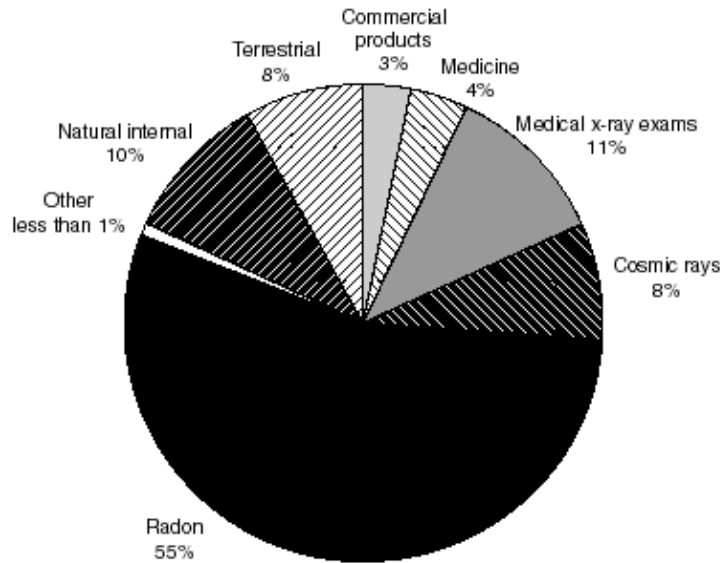
توجد في الطبيعة أربع متسلسلات منفصلة [IAEA، 1990] :

1- متسلسلة الثوريوم [Th^{232}]، والتي تنتهي بنظير الرصاص (Pb^{208}).

2-متسلسلة اليورانيوم [U^{238}]، وتنتهي بنظير الرصاص (Pb^{206}).

3-متسلسلة الأكتينيوم [U^{235}]، وتنتهي بنظير الرصاص (Pb^{207}).

أما متسلسلة النبتونيوم [Np^{227}] والتي تعاني انحلال ألفا بنصف عمر ($2.1 \times 10^6 y$)، وبما إن نصف عمر النبتونيوم (Np^{227}) هو اقل من نصف عمر الأرض ($4 \times 10^9 y$) لذلك لم تبقى أية كمية من النبتونيوم على سطح الأرض ولا توجد متسلسلتها في الطبيعة ولكن اكتشفت في أطياف بعض النجوم [Eisenbud، 1997]. وتنتهي بنظير البزموت (Bi^{209}) [IAEA، 1990].



الشكل (1) مصادر الإشعاع [HHS، 1997]

4-الكواشف النووية (Nuclear Detectors):

للكشف عن الأشعة النووية هنالك العديد من الأجهزة التي يمكن من خلالها الكشف عن وجود هذه الأشعة وقياس شدتها ونوع هذه الأشعة أيضا، ومنها:

4-1 كواشف أشباه الموصلات (Semiconductor Detectors):

تتميز هذه الكواشف عن الكواشف الأخرى بأن فصلها لطاقة الإشعاع الساقط تكون جيدة ذلك لان كمية المعلومات المتجمعة في نبضة واحدة تكون كبيرة. وفي حالة أشباه الموصلات النقية تكون جميع الالكترونات في حزام التوصيل وجميع الفجوات في حزام التكافؤ، وعند حصول التهيج الحراري تتحرك الالكترونات من حزام التكافؤ إلى حزام التوصيل تاركة فجوة في مكانها [الكناني والخفاجي،1990].

2-4 منظومة كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HpGe):

كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة له قابلية فصل (2.26 keV) عند الخط الكامي (1332 keV) العائد لنظير (Co-60)، يمتاز بقدرته العالية على فصل خطوط أشعة كاما المتقاربة وكفاءته (25%). يحاط الكاشف بدرع من قوالب الرصاص بسبك (10 cm) وذلك لحجب تأثيرات الخلفية الإشعاعية (B.G) ويبرد إلى درجة حرارة مقدارها ($196^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{K}$) عند التشغيل بواسطة النايتروجين السائل للحفاظ على البلورة من التلف والتخلص من التيارات الضعيفة.

تصنع بلورة الكاشف من مادة الجرمانيوم عالي النقاوة. إن عنصر الجرمانيوم ضعيف التوصيل للكهربائية مثل باقي أشباه الموصلات الأخرى لذا تضاف شوائب معينة الى بلورة شبه الموصل لتوفير ناقلات الشحنة في البلورة [Tsouifanidis،1983]،

3-4 كواشف الأثر النووية للحالة الصلبة(SSNTDS):

إن هذه الرقائق عبارة عن مواد عازلة كهربائياً بمقدورها تسجيل آثار ضرر الإشعاع والاحتفاظ بمسارات التلف الناتج من اختراق الجسيمات المؤينة لها، حيث إن هذه المسارات للتلف تدل على نوع وطاقة الجسيم الساقط. تصنف كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة إلى:

1- الكواشف غير العضوية: وهي الكواشف التي لا يدخل في تركيب مادتها عنصر الكربون والهيدروجين، وتكون الروابط بين ذرات جزيئاتها أيونية مثل الزجاجيات، السليكات وهاليدات الإكليل.

2- الكواشف العضوية: وهي الكواشف التي يدخل الكربون والهيدروجين في تركيب مادتها مثل اللدائن(المواد البلاستيكية)اللكسان والماكروفييل)، نترات السليلوز وكاشف CR-39 وغيرها).

وتعد الكواشف العضوية أكثر تحسناً من الكواشف غير العضوية.

5-استقراء النتائج ومناقشتها

تتواجد عناصر متسلسلاتي اليورانيوم²³⁵[U] واليورانيوم²³⁸[U] في التربة طبيعياً نتيجة لانحلال النواة الأم للمتسلسلتين الجدول(1 و 2)، ولكن وجود كل عنصر من عناصر المتسلسلتين يختلف من مكان إلى آخر بحسب طبيعة التربة المحتوية على هذه العناصر، فيعتمد تركيز اليورانيوم على نوع

جدول 1: طاقات أشعة كاما للقمم الضوئية في سلسلة اليورانيوم-235 [Porritt & Bone،1970].

Isotope	Half-life	Gamma energies (MeV)
Uranium-235	7.1×10^8 y	0.95- 9% 0.143- 12% 0.185- 55%

		Others
Thorium-231 (UY)	25.6 h	0.084 Others
Protactinium-231	$3.3 \cdot 10^4$ y	0.027 0.29 Others
Actinium-227	22 y	---
Thorium-227 (Radio actinium)	18.2 d	0.05- 7.5% 0.24- 10% low energy – ‘many others weak 0.0885-Ra X-rays (abundant)
Fransium-223 (Actinium K)	22 m	0.05- Weak 0.08- Weak 0.21 Weak 0.31- weak
Radium-223 (Actinium X)	11.7 d	0.12 - 2% 0.14 – 4% 0.15 – 5.5% 0.27 – 10% 0.32 –2.3% 0.34 – 2.8% 0.0838 – Rn X-rays (abundant)
Radon-219 (Actinium)	3.9 s	0.27- 9% 0.40- 5%
Polonium-215 (Actinium A)	$1.8 \cdot 10^{-4}$ s	---
Astatine-215	$1 \cdot 10^{-4}$ s	---
Lead-211 (Actinium B)	36 m	0.40- 6% 0.43- 6% 0.83- 13%
Bismuth-211 (Actinium C)	2.16 m	0.35- 13%
Polonium-211 (Actinium C')	0.52 s	0.57- weak 0.89- weak
Thallium-207 (Actinium C'')	4.79 m	---
Lead-207 (Actinium D)	Stable	---

جدول 2: طاقات اشعة كاما للقيم الضوئية في سلسلة اليورانيوم-238 [1970، Porritt & Bone].

Isotope	Half-life	Gamma energies (MeV)
Uranium-238	$4.5 \cdot 10^9$ y	0.048

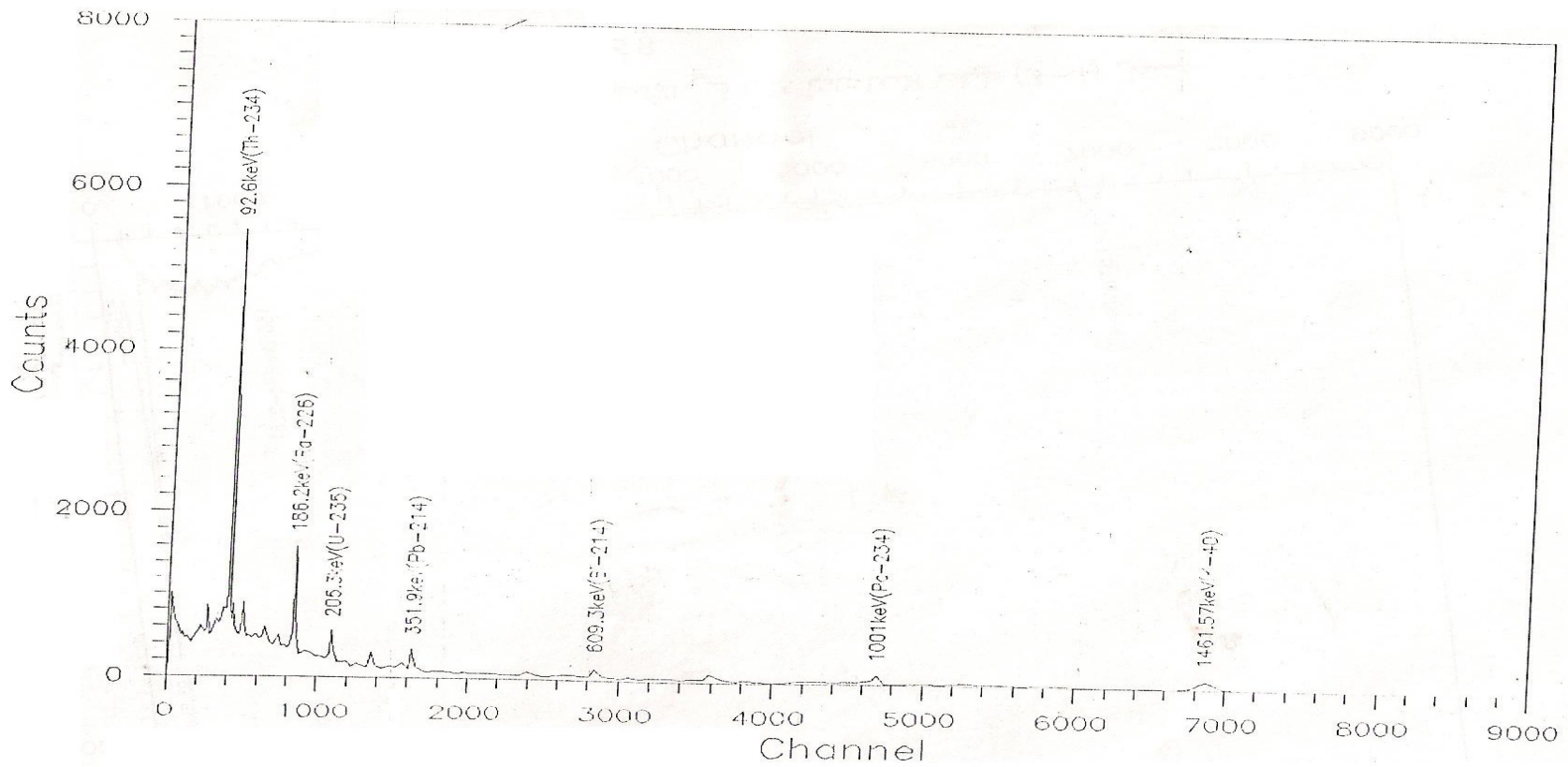
Thorium-234 (UX ₁)	24.1 d	0.029 0.063 0.091
Protactinium-234m (UX ₂)	1.18 m	0.75 1.00 Others
Protactinium-234 (UZ)	6.66 h	0.043 0.80 Others
Uranium-234 (U11)	2.5*10 ⁵ y	0.051
Thorium-230 (Ionian)	8.0*10 ⁴ y	0.067 Others-very weak
Radium-226	1620 y	1620 y
Radon-222	3.825 d	3.825 d
Polonium-218 (Radium A)	3.05 m	3.05 m
Astatine-218	1.3 s	1.3 s
Radon-218	1.9*10 ⁻² s	1.9*10 ⁻² s
Lead-214 (Radium B)	26.8 m	0.24 0.30 0.35 Others weak
Bismuth-214 (Radium C)	19.9 m	--- 0.61 1.12 1.75 1.4 other to 2.43 MeV
Polonium-214 (Radium C')	1.6*10 ⁻⁴ s	---
Thallium-210 (Radium C'')	1.3 m	Several very weak
Lead-210 (Radium D)	21 y	0.047
Bismuth-210 (Radium E)	5.0 d	---
Polonium-210 (Radium F)	138.4 d	0.8-1.2*10 ⁻³ %
Thallium-206 (Radium E''')	2.4 m	---
Lead-206	Stable	---

التربة وبالتالي على نوع الصخور المكونة لهذه التربة حيث إن أعلى تركيز لليورانيوم في الصخور البركانية الحامضية، أما تركيزه في الصخور النارية فتعتمد على وفرة السليكات [بهاء الدين، 1989]، كما وان العمر النصفى للعنصر له أهمية واضحة وكبيرة في ظهور العنصر بتراكيز اكبر من غيره كما نرى ذلك واضحاً بالنسبة الى عنصر الراديوم وتكون تراكيزه على الرادون للسبب نفسه.

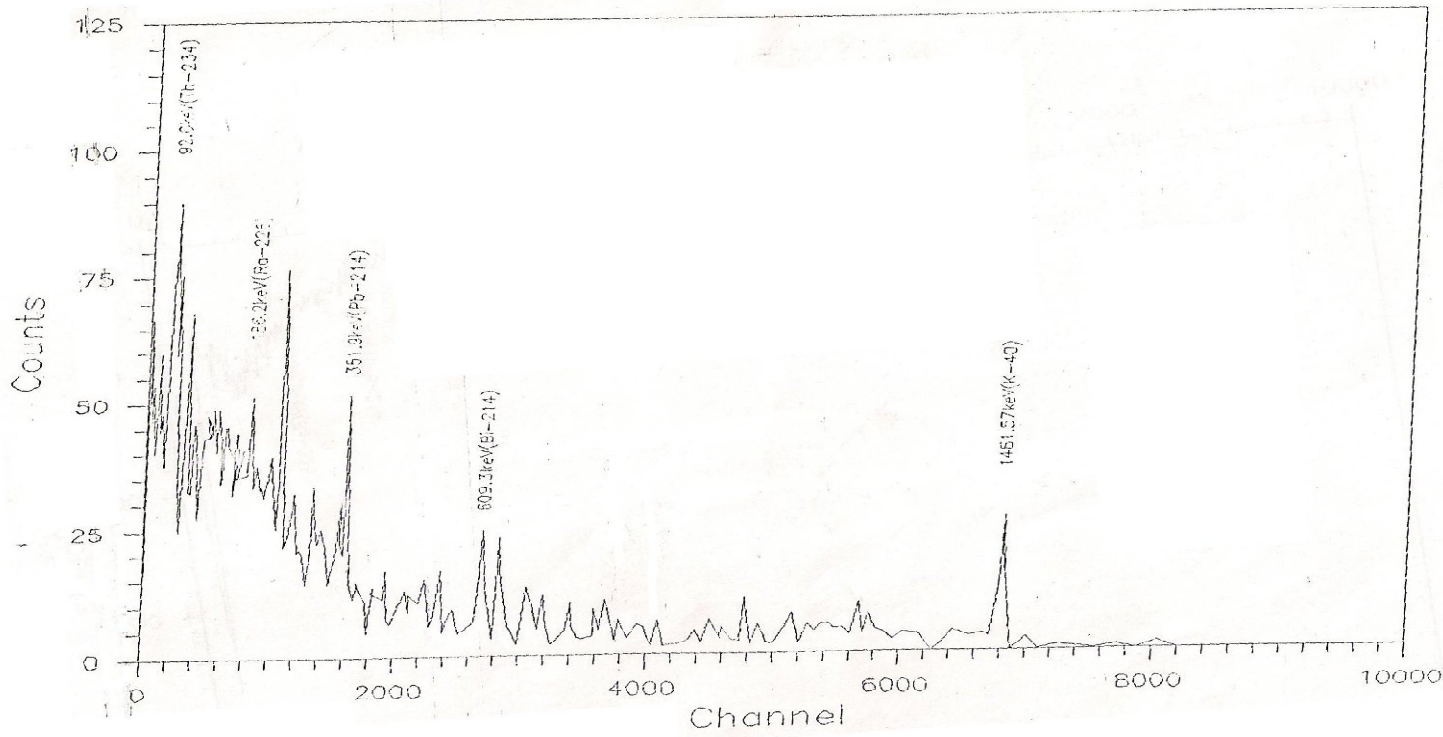
هنالك العديد من الطرق والأجهزة التي من خلالها يتم الكشف عن وجود العناصر وتراكيزها، ولكل من هذه الطرق والأجهزة مبادئ وأساسيات للاستخدام، فمنها ما يتميز بسهولة استخدامه وتحضيره مثل كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة ومنها الأكثر صعوبة وتعقيداً مثل منظومة الجرمانيوم عالي النقاوة، كما ويمكن اعتبار كاشف يوديد الصوديوم (NaI) مثلاً أسهل استخداماً من منظومة كاشف الجرمانيوم. ولكن لكل كاشف خواص وميزات تميزه عن الآخر كسهولة الاستخدام، التحضير، التكلفة، الوفرة أو الدقة في الحسابات.

فعند الكشف عن اليورانيوم المنضب الموجود في التربة يمكن استخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) الذي يستخدم التحليل الطيفي لأشعة كاما ورصد القمم الكامية لطاقت العناصر التي تساعدنا في حساب تراكيز العناصر ومن خلالها نحدد كمية اليورانيوم المنضب الموجود في التربة. إن الطريقة المذكورة أعلاه لتحديد تركيز اليورانيوم المنضب الموجود في التربة يتطلب رصد الطاقة (186 keV) التي تظهر بصورة واضحة في نماذج التربة المختارة الأشكال (2-5) التي تمثل التداخل الحاصل بين الطاقة (185.5 keV) التي تعود لليورانيوم (U^{235}) والطاقة (188 keV) العائدة لنظير الراديوم (Ra^{226})، ويتم فصل التداخل بين هاتين الطائقتين من خلال إيجاد تركيز القمة الضوئية للطاقة (205 keV) العائدة إلى نظير اليورانيوم (U^{235}) وطرحها من التركيز الكلي للقمة الضوئية للطاقة (186 keV) لنحصل على تركيز الراديوم (Ra^{226}) أي مساهمة الراديوم في القمة الكامية (186 keV)، ويمكن إيجاد تركيز اليورانيوم (U^{238}) من خلال القمة الضوئية (92 keV) العائدة إلى الثوريوم (Th^{234}) وبهذا يمكن إيجاد النسبة U^{238}/U^{235} لحساب تركيز اليورانيوم المنضب الموجود في التربة [2000، UNEP].

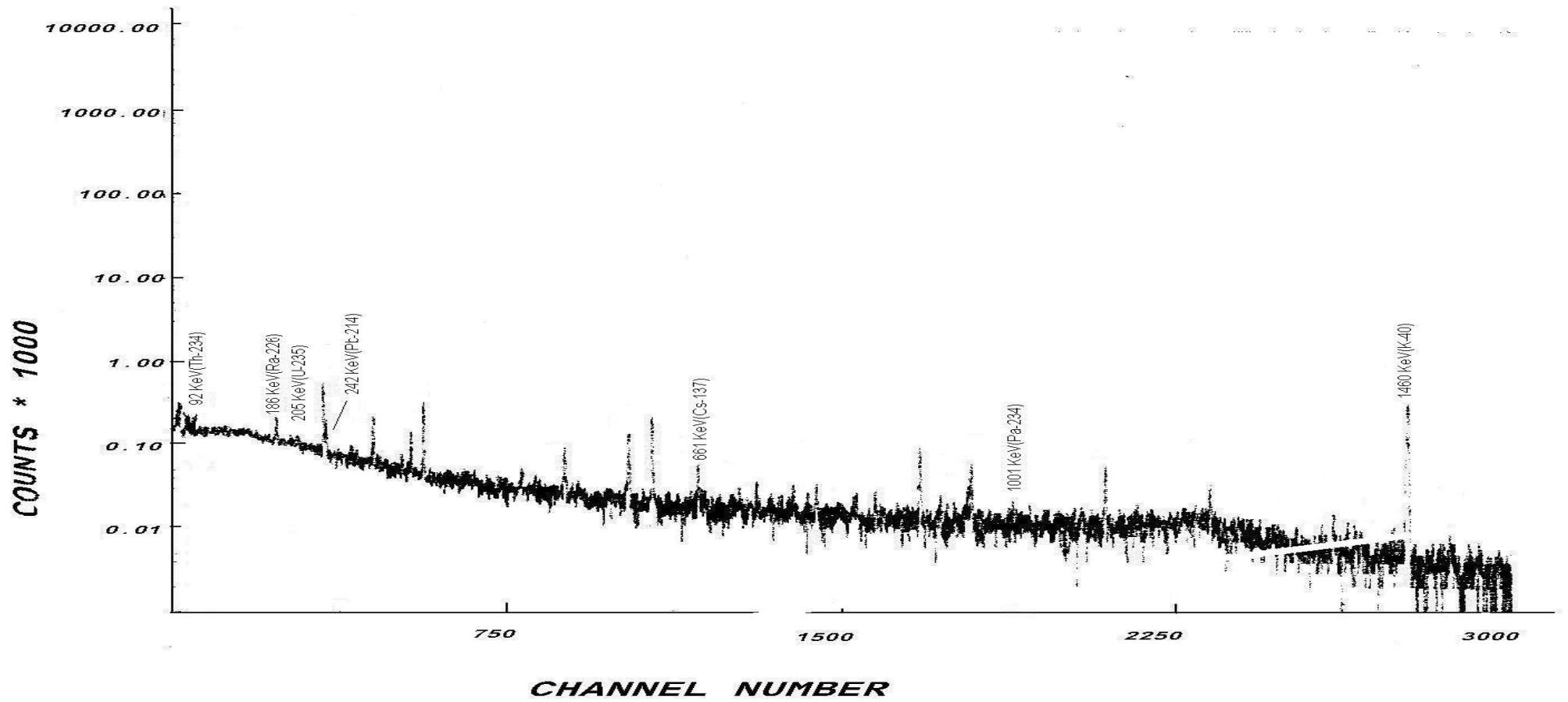
عند البحث عن الطاقة (205 keV) العائدة إلى نظير اليورانيوم (U^{235}) الأشكال (2-5) نلاحظ إن هذه الطاقة ضعيفة ولا تظهر بصورة واضحة في كل النماذج، لذا يمكن فصل التداخل بين هاتين الطائقتين من خلال حساب تركيز نظير الرصاص (214) ذو طاقة مقدارها (242 keV) المنحلة من نظير الراديوم (Ra^{226})، وبعد ضرب تركيز نظير الرصاص (Pb^{214}) بثابت مقداره (0.935) [Porritt & Bone 1970] نحصل على تركيز الراديوم (Ra^{226}) أي مساهمة الراديوم في القمة الكامية (186 keV)، نطرح تركيز الراديوم من القمة الضوئية الكامية (186 keV) لنحصل على تركيز اليورانيوم (U^{235}). أي إننا نقوم هنا بفصل التداخل من خلال حساب تركيز الراديوم (Ra^{226})



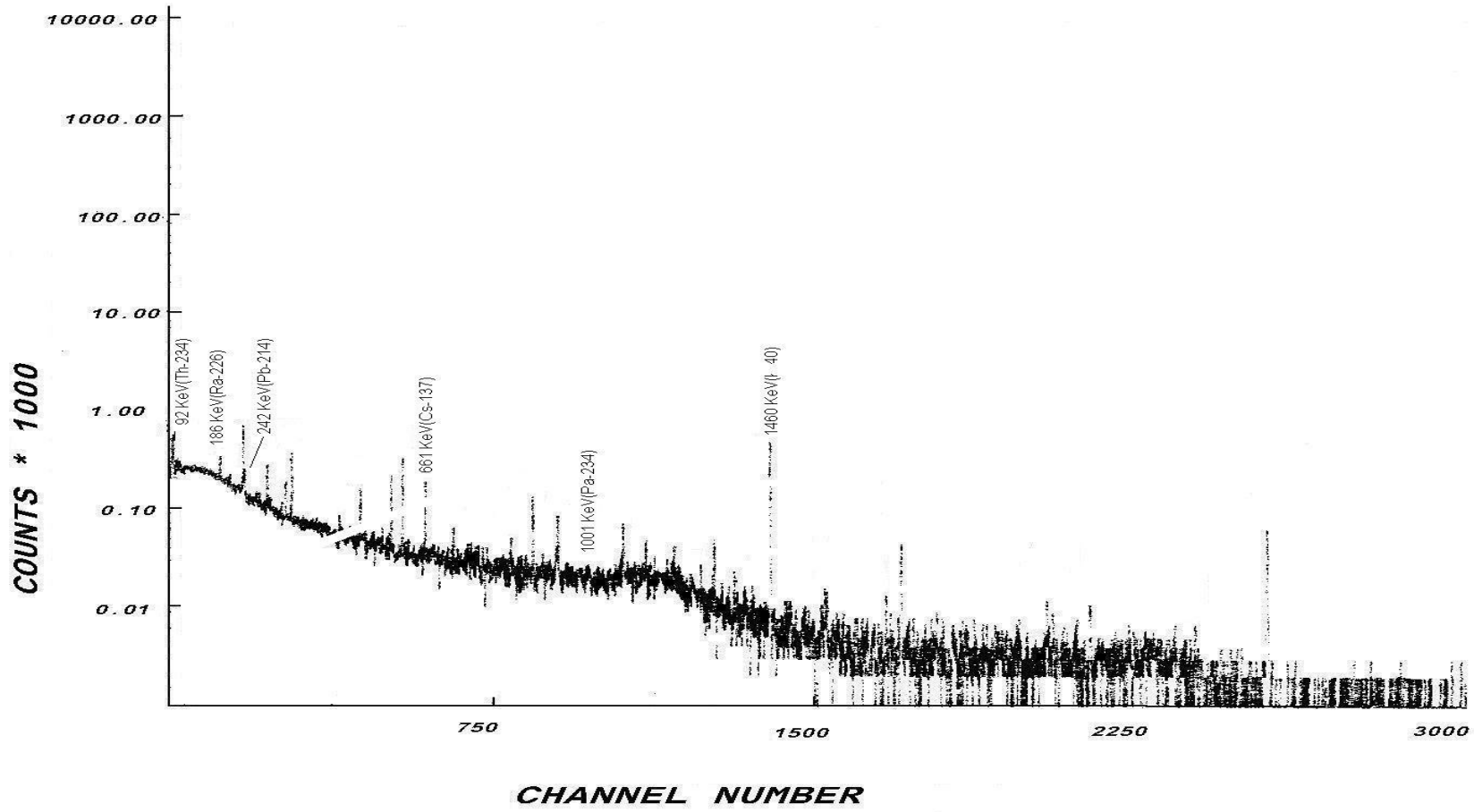
!!>2001•!!!! 3/4 @!!!!!!!!!!!! de!!!!!!! f!!2!!3!! ICE



!!>2001•!!! %e (!!!!!!! !!!!!!! da!!!! !!! f !!!3!! %! !k



الشكل (4) طيف أشعة كاما لنموذج تربة [خالد حنين، 2004]



الشكل (5) طيف أشعة كاما لنموذج تربة [خالد حنين وآخرون، 2008]

وطرحه من القمة الضوئية (186 keV) بدلاً من حساب تركيز اليورانيوم (U^{235}) وطرحه من القمة الضوئية (186 keV).

عند الرجوع إلى الجداول (1 و 2) نلاحظ بان طاقات أشعة كاما لنظائر الرادون هي ليست من ضمن مدى تحسس كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) لذا فان التحليل الطيفي لأشعة كاما هو غير مناسب لحساب تراكيز الرادون (Rn).

إن كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة (SSNTDS) تعتبر من الكواشف المهمة لبساطتها ورخص ثمنها وسهولة استخدامها، حيث توضع هذه الرقائق أو الكواشف بتماس مع مادة مشعة أو نموذج يراد حساب النشاط الإشعاعي فيه، فان عدد الحفر (pits) سوف تظهر على سطح البلورة بعد معاملتها كيميائياً بمزيج من حامض الهيدروفلوريك وحامض الخليك أو احد المحاليل القاشطة الأخرى، وبما ان هذه الكواشف مواد عازلة كهربائياً لذا بمقدورها تسجيل آثار ضرر الإشعاع والاحتفاظ بمسارات التلف الناتج من اختراق الجسيمات المؤينة لها، حيث إن هذه المسارات للتلف تدل على نوع و طاقة الجسيم الساقط. أما بالنسبة للمعادن أو المواد شبه الموصلة التي تكون مقاومتها النوعية قليلة ($2 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$) لا يمكنها الاحتفاظ بمسارات التلف الإشعاعي لوفرة الالكترونات فيها. اي ان كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة تكون مناسبة أيضاً للكشف عن اليورانيوم المنضب حيث يوضع الكاشف بتماس مع النموذج المعد والمراد حساب تركيز اليورانيوم المنضب فيه حيث يقوم الكاشف بتسجيل آثار أو مطلقات ألفا من النموذج بعد إظهارها من خلال استعمال احد المحاليل القاشطة.

يمكن حساب تركيز الرادون (Rn) من رصد انحلالات ألفا التي يسهل ظهورها على كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة بعد استعمال احد المحاليل القاشطة لإظهار آثار جسيمات ألفا المارة خلال الكاشف، حيث يوضع النموذج المراد حساب تركيز غاز الرادون فيه في قديم من زجاج المايكا محكم الغلق (لان الوعاء المارنيولي المستخدم في كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة يسرب جزء من غاز الرادون الموجود في النموذج [IAEA، 1990])، ويوضع الكاشف على مسافة أكثر من (2 cm) أعلى النموذج ذلك لان جسيمات ألفا المنطلقة من العناصر المشعة الموجودة في النموذج لا يمكنها أن تسير أكثر من (2 cm) في الهواء وبذلك نضمن بان الكاشف سوف يسجل جسيمات ألفا المارة خلاله من غاز الرادون المتجمع في أعلى القديم الزجاجي.

إن لكاشف (CR-39) شفافية بصرية فائقة مما يسهل مشاهدة الآثار من خلال الضوء النافذ وانه مترابط المقطع وعند تعرضه للإشعاع تنكسر الأواصر الكيميائية وبذلك يفقد تلك الخاصية وتزداد احتمالية تكوين الآثار فيه، كما انه لا يذوب في المحاليل الكيميائية القاشطة بل يتحلل ويتفسخ من خلال نقصان سمكه أثناء عملية القشط، بالإضافة إلى ذلك فان لكاشف (CR-39) كفاءة عالية على التحسس بالإشعاعات النووية المؤينة وفي تحديد تراكيز الرادون واليورانيوم الموجودة في نماذج مختلفة من التربة والصخور والأبنية والدور السكنية كما جاء في بحوث كل من [Singh & Virk، 1987]، [Tell et al.، 1994] و [Jonsson، 1991].

6-الاستنتاجات:

1-بسبب ظهور الطاقة (242 Kev) يتم فصل التداخل الحاصل للقمة الضوئية (186 Kev) من خلال إيجاد تركيز الراديوم وطرحه من القمة الضوئية (186 Kev) بدلاً من إيجاد تركيز اليورانيوم (U^{235}) وطرحه من القمة الضوئية (186 Kev).

2-نستخدم كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة بتماس مع النموذج في حالة حساب النشاط الإشعاعي للنموذج، وعند حساب تركيز غاز الرادون يوضع الكاشف على مسافة أكثر من (2 cm) أعلى النموذج.

3-يعتبر كاشف (CR-39) من أحسن كواشف الأثر النووي للحالة الصلبة للكشف عن الرادون.

المصادر:

- البرنامج البيئي للأمم المتحدة، ترجمة موسى الجنابي و وهاب احمد محمد "مصادر الإشعاع والجرع الإشعاعية"، 1985.
- الكناني، عذاب طاهر و الخفاجي، أسعد، "الكشف عن الإشعاعات المؤينة"، هيئة المعاهد الفنية، 1990.
- جهاء الدين حسين معروف، "الوقاية من الإشعاعات المؤينة"، منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية، 1989.
- خالد حنين عباس، " دراسة التلوث الإشعاعي البيئي باليورانيوم المنضب والعناصر المشعة الأخرى"، رسالة ماجستير، كلية التربية، الجامعة المستنصرية، 2004.
- خالد حنين، حمد رحمن، علي رزاق، "دراسة طيف أشعة كاما للكشف عن اليورانيوم المنضب"، مؤتمر كلية التربية الثاني، جامعة بابل، 2008.
- كمال عمر عبد الله، " قياس عامل الانتقال الإشعاعي لليورانيوم المنضب في نباتات المناطق الجنوبية"، رسالة ماجستير، كلية التربية(ابن الهيثم) جامعة بغداد، 2001.
- IAEA، "The Environmental behavior for Radium " vol.1، Vienna، 1990.
- HHS 1997a (as adapted from NCRP 1987 Report #93).
- H. Semat، J. Albright، " Introduction to Atomic and Nuclear Physics "، 5th ed.، 1972.
- M. Eisenbud، "Environmental Radioactivity "، 4th ed. Academic press London، 1997.
- N. Tsouifanidis، "Measurement and detection of Radiation "، MeCrowHill، series in nuclear engineering، 1983.
- R. Porritt، and S. Bone، "Determination of uranium in ore by radiometric samples"، in proceedings of a symposium on the analytical chemistry of uranium and thorium، Sydney، Australian Atomic Energy Commission، 1970.
- UNEP، scientific Mission to Kosovo،" Depleted Uranium in Kosovo"، post-conflicted Environment assessment-2000.