بسم الله الرحمن الرحيم

جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

كلية العلوم – قسم الفيزياء

إنتاج نظير الباريوم Ba 137 المشع من السيزيوم Cs 137 بإستخدام محاليل كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم وإختبار عمر النصف له

بحث لإستكمال متطلبات التخرج لنيل درجة البكالريوس في علوم الفيزياء

إعداد

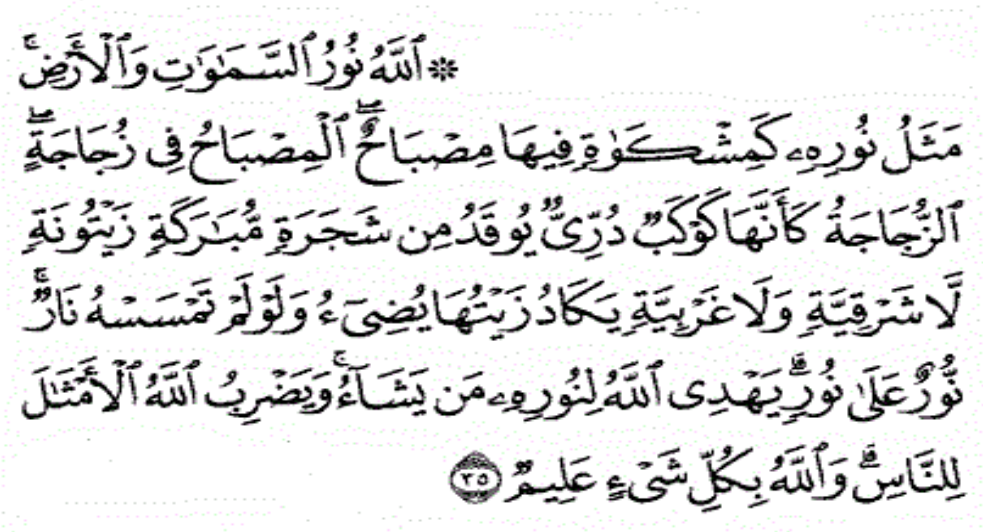
ملاذ بشير عبد الرحيم مي الفاضل عثمان

إشراف

د. أحمد حسن الفكي

يونيو 2014م

الإستهلال



صدق الله العظيم

سورة النور الأية (35)

الاهداء

إلى الينبوع الذي لا يمل العطاء إلى من حاكت سعادتي بخيوط منسوجه من قلبها

والدتي العزيزه .

إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشئ من أجل دفعي في طريق النجاح الّذي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر

والدي العزيز

...إلى كل طالب علم يبتغي المزيد

وإلى الذين أفنوا أعمارهم من أجل تعليم الآخرين...

الشكر

...الحمد والشكر لله سبحانه وتعالى من قبل

و من بعد والشكر لكل من أسهم في إخراج هذا البحث...

ملخص البحث

في هذا البحث تم التعرف على الإشعاعات والنظائر المشعة واستخداماتها كما تم التعرف على عمر النصف وهو الزمن اللازم ليقل نشاط العنصر المشع إلى نصف قيمته الأصلية. وتم إيجاد عمر النصف للباريوم 137 المشع بإستخدام محلولي كلوريد الصوديوم $NaCl$ وكلوريد البوتاسيوم KCl 137 وذلك بإحلالهما مع عنصر السيزيوم وعند استخدام كلوريد الصوديوم $\tau = 3.03\text{min}$ المشع حيث وجد أنه عند استخدام كلوريد البوتاسيوم $\tau = 2.61\text{min}$. ومن الملاحظ أنه من الأفضل استخدام كلوريد البوتاسيوم لأنه ذو عمر نصف أقل وبالتالي يمكن استخدامه في مجالات أكثر.كما أنه يمكن استخدام محاليل أخرى مثل كلوريد الليثيوم وغيره من العناصر بشرط أن تتنتج الباريوم 137 المشع عند إحلالها مع السيزيوم 137 المشع.

Abstract

This research had identified the radiations and their isotopes uses, addition to that it has also identified the half-life time. The authors found that the half-life time of the barium 137, is about $\tau = 3.03\text{min}$ for the barium 137 eluted with the cesium 137 by using the sodium chloride $NaCl$ and $\tau = 2.61\text{min}$ for the barium 137 eluted with the cesium 137 by using the potassium chloride KCl, it is noticeable that it is better to use potassium chloride because it's a half-life time is less, and therefore can be used in more areas. We can also use other solvents such as lithium chloride and other elements, provided that produces barium 137 irradiation when they replaced with radioactive cesium 137 in the elution process.

قائمة الصور

الرقم	اسم الصورة	رقم الصورة	رقم الصفحة
1	كيفية إشعاع النظائر المشعة	2.1	6
2	تواجد عنصر الباريوم في الجدول الدوري للعناصر	2.2	14
3	المظهر العام لعنصر الباريوم	2.3	15
4	العلاقة بين الزمن ومعدل الإشعاع	2.4	16
5	الدالة الأسيه لمعدل الإشعاع عند استخدام كلوريد الصوديوم $NaCl$	3.1	22
6	الدالة الأسيه لمعدل الإشعاع عند استخدام كلوريد البوتاسيوم KCl	3.2	23
7	الدالة الأسيه لمعدل الإشعاع عند استخدام كلوريد الصوديوم $NaCl$ وكلوريد البوتاسيوم KCl معا	3.3	23

قائمة الجداول

الرقم	اسم الجدول	رقم الجدول	رقم الصفحة
1	كميه المادة المتبقية بعد مرور زمن عمر النصف	2.1	17
2	نتائج عمر النصف للباريوم عند استخدام محلول كلوريد الصوديوم $NaCl$	3.1	22
3	نتائج عمر النصف للباريوم عند استخدام محلول كلوريد البوتاسيوم KCl	3.2	22

المحتويات

الرقم	العنوان	رقم الصفحة
1	الآية	I
2	الإهداء	II
3	الشكر	III
4	ملخص البحث	IV
5	Abstract	v
	الفصل الأول	
6	مقدمة	1

7	مشكلة البحث	2
8	فرضيات البحث	2
9	أسئلة البحث	3
10	أهمية البحث	3
11	طريقة البحث	3
12	تخطيط البحث	3
	الفصل الثاني	
13	مقدمة	4
14	النظائر	5
15	أنواع النظائر	6
16	خصائص النظائر المشعة	7
17	النشاط الإشعاعي	7
18	إنتاج النظائر المشعة	8
19	المفاعلات ومولدات النيوترونات	8
20	المعجلات	9
21	مراحل إنتاج النظير	10

22	تطبيقات واستخدامات النظائر المشعة	11
23	في مجال البيئة	11
24	في مجال الطب	11
25	التشخيص بحقن المواد المشعة	11
26	قياس حجم الدم	12
27	العلاج	13
28	التعقيم والحفظ	13
29	في مجال الزراعة والغذاء	13
30	في مجال المياه	14
31	عنصر الباريوم	14
32	استخدامات عنصر الباريوم	15
33	عمر النصف	16
34	تحلل نظير مشع	18
35	التحلل بطريقتين أو أكثر	19
36	الدراسات السابقة	20
الفصل الثالث		

21	مقدمة	37
21	العينات والطريقة	38
22	النتائج	39
24	الحسابات	40
الفصل الرابع		
25	مقدمة	41
25	المناقشة	42
25	التوصيات	43
26	الخاتمة	44
27	المراجع	45

الفصل الأول

المقدمة

1.0 مقدمة

لقد كان معلوما منذ زمن بعيد أن المادة عبارة عن جزيئات مميزة تشكل الأجسام في حالاتها الثلاث المعروفة (صلبة_سائلة_غازية) ومن غير الممكن تجزئتها وفق نظرية افقادرو 1811 تجزئتها يمكن الجزيئات أن بينت الأولي التجريبية المحاولات أن غير . إلي دقائق تسمي الواحدة منها(الجوهر) أو ما أطلق عليها فيما بعد (الذرة).

اكتشف هنري بيكريل ظاهرة النشاط الإشعاعي عندما لاحظ أن أملاح 1896 وفي عام اليورانيوم تصدر إشعاعا يخترق العديد من المواد ويؤدي إلي اسوداد فيلم التصوير. جاءت تجربة رزرفورد الشهيرة لتخلد اسمه ولتعطي تصورا للبنية الداخلية للذرة حيث وجه حزمة من جسيمات ألفا علي صفيحة رقيقة جدا من الذهب ورصد مسار جسيمات ألفا بعد اصطدامها بصفيحة الذهب. وبعد ذلك سرعان ما تم تحديد ثلاثة أنواع من الأشعة الصادرة عن النشاط الإشعاعي وهم:

إشعاع بيتا الذي بينه بيكريل وهو عبارة عن إلكترونات وإشعاع ألفا الذي بينه رذرفورد وهو عبارة عن نوى الهليوم وإشعاع غاما والذي أيضا بينه رزرفورد وهو عبارة عن إشعاع كهرومغنطيسي.

ويعبر النشاط الإشعاعي عن العملية التلقائية التي تتحول بها النوى المثارة إلي نوى أكثر استقرارا و ذلك بإصدار جسيمات طاقه أو أشعه كهرومغنطيسية أو كلاهما حيث تسعى النوى الغير مستقرة إلي تغير بنيتها ذاتيا ويحصل بنتيجة ذلك تفكك إشعاعي بإصدار جسيمات ويتغير أثناء التحول واحد علي الأقل من العدد الكتلي أو العدد الذري (عدد البرتونات) لينتج النظير.

ونتعرض يوميا لإشعاع مصدره البيئة المحيطة وله ثلاث مصادر هي الإشعاع الكوني والإشعاع الأرضي (الصادر عن صخور الأرض) والنشاط الإشعاعي في طعامنا وشرابنا والنشاط الإشعاعي الناتج من صنع الإنسان.

وتستخدم النظائر المشعة في شتي مجالات الحياة مثل المجالات الصناعية والعلمية والطبية والزراعية. ويتم أيضا إنتاج النظائر المشعة عن طريق المفاعلات والمعجلات نظير مشع وتتراوح أعمار النصف 1000وقد أصبح بالإمكان اليوم تصنيع أكثر من لهذه النظائر بين أجزاء من الثانية ومليارات السنين.

مشكله البحث1.1

إن عمليه الإحلال هي تفاعل يتم فيه إحلال عنصر نشط محل عنصر آخر أقل نشاطا المشع مع محلول كلوريد Cs137في أحد مركباته. أي عند تفاعل عنصر السيزيوم الذي يختلف في عدده الذري مع السيزيوم Cs137الصوديوم ينتج نظير السيزيوم . كما في المعادلة أدناهBa137وعرف هذا العنصر بعنصر الباريوم

$$C_s + NaCl \rightarrow BaCl + Na^{+1}$$

ويكمن هنا السؤال هل يمكن إنتاج نظير الباريوم من السيزيوم إذا استخدمنا كلوريد البوتاسيوم وهل سيكون له نفس عمر النصف.

فرضيات البحث 1.2

يفترض في هذا البحث أن يحقق الأتي

أنعملية الإحلال تتم بين أي عنصر والعنصر الذي يسبقه في الجدول الدوري مثلا 1- Csو K. يجب أن يكون نفس الناتج بين Naو Csإذا تم تفاعل بين

- أنه يمكن إنتاج نظائر ذات عمر نصف صغير جدا من نظائر ذات عمر نصف 2 طويل.

1.3أسئلة البحث

باستخدام Cs137 من عنصر السيزيوم Ba137إمكانية إنتاج عنصر الباريوم المشع محاليل كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وإمكانية حساب عمر النصف له ومعرفة هل سيزيد عمر النصف أو العكس أم سيبقي كما هو.

1.4أهمية البحث

تستخدم النظائر المشعة في شتي مجالات الحياة مثل الصناعة الزراعة والطب وإذا تم إنتاج نظائر مشعة ذات عمر نصف قصير فيمكن بالتالي الاستفادة من هذه العناصر.

1.5طريقة البحث

Ba-137في هذا البحث تم استخدام الطريقة العملية بإجراء تجربة لصنع نظير الباريوم من عنصر السيزيوم باستخدام أولا كلوريد الصوديوم وباستخدام عداد جايجر لحساب معدل الإشعاع وبالتالي معرفة عمر النصف له. ومن ثم تم تغير المحلول بكلوريد البوتاسيوم وتم أيضا حساب عمر النصف لعنصر الباريوم الناتج.

1.6تخطيط البحث

يتكون هذا البحث من أربعة فصول الأول يهتم بالمقدمة, مشكلة البحث, فرضيات البحث, أسئلة البحث, أهمية البحث, طريقة البحث وترتيب فصول البحث ثم الفصل

الثاني الذي يحتوي علي الإطار النظري والدراسات السابقة والفصل الثالث والذي يحتوي علي العملي والنتائج أما الفصل الرابع والأخير فخصص للمناقشة والخلاصة والتوصيات.

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

مقدمة2.0

تعد النظائر المشعة من أبرز اكتشافات العلم الحديث وأعظمها, ومن أهم ما حققه الفكر 110الإنساني في الغوص إلي عالم الصغائر, للإجابة عن المادة المكونة للطبيعة علي عنصرا, نظمها العالم مندليف في جدوله الدوري ورتبها في بيوت حسب رقمها الذري من تساؤلات الحضارات المتلاحقة, حول المادة وسر تكوينها, فقد تمت الإجابة عن كثير من التساؤلات, وأعطت النظائر المشعة بعض الإجابات الوافية والشافية عن تكوين الذرة والغرض في عمق النواة ومازالت تساؤلات أخري قائمة يطمح العقل البشري إلي الإجابة عنها كي يتعرف تعرفا موثقا ومؤكدا علي القوانين الطبيعية, التي تتحكم في الكون من أصغر الصغائر(الذرة) إلي أكبر الكبائر (الكون) وبضمنة ما فيه ومن فيه.

قد بينت التجارب علي الأوكسجين الطبيعي أنه مزيج من ثلاث نظائر مستقره ,و الزئبق مزيج من تسعه 18 والأوكسجين 17والأوكسجين 16الأوكسجين وتعني iso ,من اليونانية isotopesعناصر....إلخ, وأطلق علي هذه النظائر اسم تعني(مكان), للتذكير بأنها تحتل المكان نفسه في جدول مندليف الدوري topes(نفس) و تفسيرا جديدا لتركيب النواة, وأصبح 1932للعناصر. وقد أعطي اكتشاف النترون عام التعريف الجديد للنظائر علي أنها الذرات التي تضم العدد نفسه من الإلكترونات والبرتونات ولكنها تختلف في عدد نيتروناتها, وكان لهذا الاختلاف ناتج هاما في الفيزياء النووية, إذ تتغير بة بنيه النواة وتتبدل خصائصها واستقرارها بإضافة نترون واحد أو بحذفه منها, فتصبح فاقده للاستقرار وفي حاله هيجان, وتصدر إشعاعات تختلف نوعيتها حسب درجه الإثارة, وتسمي هذه الذرات الهائجة بالنظائر المشعة.

وتتكون الإشعاعات التي تصدرها الذرات المشعة طبيعيا, أو الذرات المستقرة التي وقع تهيجها وإثارتها في المفاعلات أو في المسرعات من إشعاعات ذات طاقه مرتفعه(غاما), أو من جزيئات مادية مشحونة بالكهرباء(سالبة أو موجبة) مثل جزيئات بيتا السالبة وبيتا الموجبة وألفا الموجبة, وكذلك إشعاعات أخري صنفت جميعها في مجموعات هي: الفوتونات, اللبتونات, و الميزونات, و الباريونات.

في البداية جري الكشف عن النظائر المشعة بواسطة جهاز رقيق يتكون من وريقات ذهب, وأول من فكر في استعمال هذا المكشاف في إقتفاء أثر المادة المشعة هو عندما كان طالبا ومعيدا في مانشستر 1943(هيفري) الحاصل علي جائزة نوبل عام 1911عام ,فقد كان يتناول طعاما مخبوزا من أيام وأسابيع, تقدمة له ربه المنزل المتواضع الذي يسكنه لتناسبه مع حالته المادية, فتشكك فيه, وتكدر منه, ولم يكن لديه أي دليل علي إثبات قدمه, فما كان منه إلا أن وضع ماده مشعة في الطعام المتبقي من العشاء, وبعد عدة أيام قدمت له الجارة الطعام نفسه, فقرب منه مكشاف الإشعاع البسيط فشاهد حالا انفراج وريقات الذهب ولم تدرك ربه المنزل مرماه من هذه التجربة وعده أعمالة ضربا من السحر وطلبت منه مغادره منزلها.

واكتشفت بعض العناصر المشعة مثل الراديوم, ولكن أكثر الذرات المشعة تنتج في المفاعلات النووية أو في المسرعات, وقد تمكن العلماء من تحضي نظائر مشعة لأغلب العناصر الطبيعية ومن فصلها عن مزيجها.

النظائر2.1

النظائر هي ذرات تحتوي أنويتها على نفس العدد من البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات التي تحتويها . ويعني ذلك أن العدد الذري للعنصر الواحد لايتغير في حين يتغير عدده الكتلي . ويوصف العنصر في تلك الحالة بأن له عدة نظائر .وعموماً فإن لكل عنصر عدداً من النظائر قد يصل إلى خمسين نظير بالنسبة للعناصر الثقيلة .

أي نفس الموضع , (isotopes) والنظائر هي ترجمة لكلمة مشتقة من اللغة اليونانية ويدل ذلك المعنى على أن النظائر تقع في نفس المكان من الجدول الدوري للعناصر.

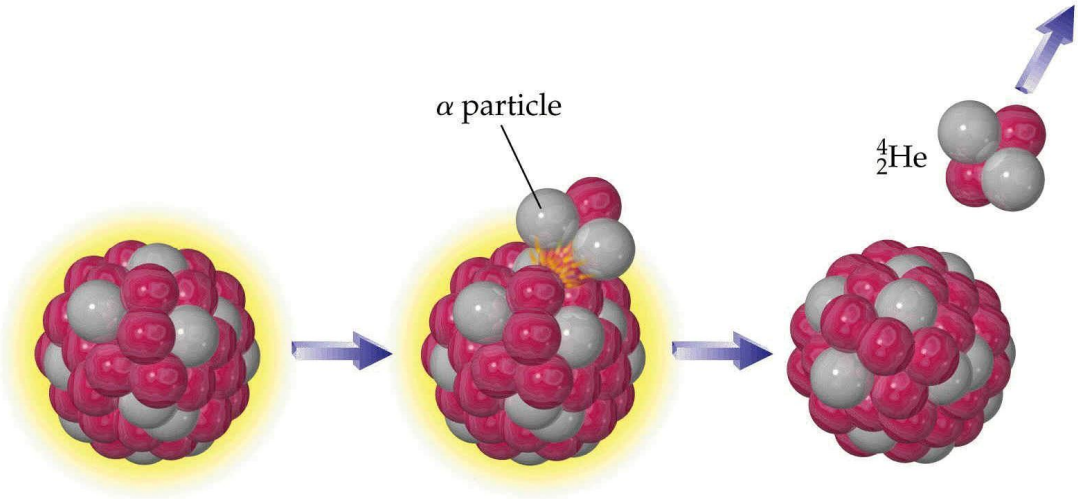
يطلق مصطلح نظير مشعّ على نظير نشط إشعاعياً. والنظائر المشعّة هي أشكال لعنصر ما، حيث تكون ذرّاته متساوية بعدد البروتونات ومختلفة عن بعضها البعض فذرّات .بعدد النترونات الموجودة في نوياتها، وبالتالي مختلفة في كتلها الذرّية الهدروجين[1] والهدروجين [2] والهدروجين [3] جميعها نظائر لبعضها البعض. ففي ذرّة بحالة تعادل كهربائي، يكون عدد الإلكترونات مساوياً للعدد الذرّي، وتكون الكتلة الذرّية مساوية لمجموع عدد النترونات والبروتونات.

ولنظائر العنصر نفس الخواص الكيميائية , وعادة ما توجد العناصر الكيميائية في الطبيعة على هيئة مخاليط من نظائرها المتنوعة . وبعض النظائر لا توجد في الطبيعة بصفة عامة ولكنها تنتج صناعياً باستخدام المفاعلات والمعجلات النووية.

أنواع النظائر2.2

نقسم النظائر إلى نوعين , يعرف النوع الأول بالنظائر المستقرة , بينما يعرف النوع الثاني بالنظائر غير المستقرة أو النظائر المشعة .

الشكل(2.1) يبين كيفية اشعاع النظائر المشعة



ويبلغ عدد النظائر المستقرة حوالي 300 في حين أنه قد تم الإنتاج الصناعي لما يزيد عن 1500 نظير مشع حتى الآن , وهناك 21عنصراً متواجد طبيعياً في صورة وتنقسم النظائر المشعة إلى نظائر طبيعية موجودة في الطبيعة . نقيةأي بدون أية نظائر منذ خلقها الله سبحانه وتعالى وأخرى صناعية تمكن الإنسان من إنتاجها ليستخدمها في الأغراض المختلفة .

2.3خصائص النظائر المشعة

تتشابه نظائر العنصر الواحد فيما بينها في السلوك الكيميائي ، أي أنها تتفاعل مع غيرها بنفس الطريقة والآلية والسرعة ، ويعود ذلك لتشابهها في العدد الذري والذي يمثل عدد الإلكترونات كما هو يمثل عدد البروتونات ، وأنت تعلم أن التفاعل الكيميائي تشارك فيه الإلكترونات وليس للنواة علاقة بة .

أما السلوك الفيزيائي لنظائر العنصر الواحد فهو حتماً مختلفة كدرجات الغليان والانصهار والكثافة وغيرها ، ويعود ذلك إلى كتل أنويتها ، فكل نظيرمن نظائر العنصر الواحد يختلف عن سواه في عدد النيوترونات مما يؤدي إلى اختلافها في الكتلة.

النشاط الإشعاعي2.4

كل نظير من نظائر العنصر الواحد لديه كتله و استقرارية مختلفين. بعض النظائر غير المستقرة أي أنها في حالة مضطربة وفي أي لحظة يمكن أن تتحلل عن طريق السقوط الإشعاعي(تحرير الإشعاعي). والنشاط الإشعاعي للعناصر يكون غالبا متكونا من دقائق نيترون معا) وكذلك من دقائق بيتا. تتكون المادة من عدد هائل جدا 2 برتون مع 2ألفا(من الذرات وهناك أعداد معينة من أنويه الذرات تتحلل إشعاعيا وتوقيت حصول ذلك يمكن أن يحدث في أي لحظه. الذرات النشطة الموجودة في المادة تكون بعد مرور زمن معين قد أصابها التحلل الإشعاعي. وهذا يعتمد علي مدي عدم استقرارية تلك الذرات. وهذه الإستقراية يمكن تعريفها وقياسها تحت مفهوم نصف العمر لنظائر العناصر. ونصف العمر هو الوقت اللازم لكي يتحلل نصف المادة اشعاعيا. وكل نظير من نظائر العناصر المختلفة له نصف العمر ثابت طبيعي معروف. معظم النظائر المشعة يتحلل في عدة خطوات(سلسة متتابعة من التحلل) إلي عناصر مستقرة تسمي بعنصر البنت بينما النظائر الأصلية قبل التحلل تسمي بعناصر الأم. أي نظير يستخدم في تحديد العمر الإشعاعي يجب أن يتراوح نصف العمر له من بضعة آلاف سنه إلي بضعة مليارات من السنين.

إنتاج النظائر المشعة2.5

يتم إنتاج النظائر المشعة المختلفة عن طريق تعريض (أي تشعيع) النظائر المستقرة لسيل من الجسيمات النووية كالنيوترونات أو البرتونات أو الديوترونات (الديوترون عبارة عن نواة تتكون من بروتون ونيوترون) أو جسيمات ألفا أو غيرها. وتستخدم لهذا الغرض المفاعلات النووية أو مولدات النيوترونات كمصدر للنيوترونات في حين تستخدم المعجلات النووية كمصدر للجسيمات المشحونة كالبروتونات والديوترونات وجسيمات الفا وغيرها. ويتم إنتاج النظائر المشعة بواسطة المفاعلات والمعجلات.

2.5.1 المفاعلات ومولدات النيوترونات

تتكون النظائر المشعة عند التشعيع بالنيوترونات من خلال التفاعل المعروف باسم تفاعل الأسر النيوتروني حيث تأسر النواة أحد النيوترونات الساقطة عليها فتتكون نواة النظير الجديد (المستقرة) النواة الهدف.

24 المستقر للنيوترون وتكون الصوديوم 23ومن أمثلة هذا التفاعل أسر نواة الصوديوم المشع, وكذلك 32 المستقر للنيوترون مكونة نواة فسفور 31المشع وأسر نواة الفسفور المشع.60 المستقرة للنيوترون وتكون الكوبلت 59أسر نواة الكوبلت

ويتم إنتاج عدة مئات من النظائر المشعة المختلفة بالتشعيع النيوتروني لنظائر المستقرة. , الفسفور 60,الكوبلت131 , اليود197ومن أمثلة النظائر المنتجة بهذا الأسلوب الزئبق وغيرها.198, الذهب 32

كذلك تستخدم التفاعلات النووية المستحثة بالنيوترونات والتي تنطلق عنها جسيمات مشحونة مثل البروتونات أو جسيمات ألفا أو غيرها في الحصول علي العديد من النظائر المشع نتيجة قصف 24المشعة. ومن الأمثلة علي ذلك تجهيز نظير الصوديوم بالنيوترونات وأسرها وانطلاق البرتون.24المغنيسيوم

2.5.2 المعجلات

تنتج العديد من النظائر المشعة بقصف النظائر المستقرة بحزمة من الجسيمات المشحونة المسرعة في المعجلات النووية لطاقة تتراوح ما بين 10 إلى 40 م.أ.ف تبعا لنوع النظير وللمقطع العرضي للتفاعل المعين.

ويعد معجل السيكلوترون متغير الطاقة من أنسب المعجلات لإنتاج أكبر عدد من النظائر المشعة باستخدام عملية قصف النظائر المستقرة بالجسيمات المشحونة . ولزيادة معدل الإنتاج ينبغي أن يتميز المعجل بتيار كبير من الجسيمات المشحونة بحيث يصل

إلى حوالي 100 ميكرو أمبير بل ويزيد وذلك لإمكانية الحصول على النظائر التي تتميز المقاطع العرضية المؤدية لها بقيم صغيرة .

وتجدر الإشارة إلى أنه يمكن إنتاج مئات العينات من نفس النظير أو من النظائر المختلفة في آن واحد داخل المفاعل وذلك بوضع جميع العينات المراد تشعيعها داخل المفاعل في نفس الوقت . إلا أنه بالنسبة للمعجلات لا يوجد سوى حزمة واحدة من الجسيمات المعجلة يتم توجيهها للنظير المستقر المطلوب تحضير نظير مشع منه.

يندر استخدام النظائر المشعة المنتجة على المعجلات إلا في حالات الضرورة كعدم ملاءمة الخصائص النووية للنظير المنتج في المفاعل للدراسة أو عدم إمكانية أنتاج النظير المطلوب في المفاعل أو بُعد المفاعل عن المكان الذي سوف يستخدم فيه النظير المشع خاصة إذا كان النظير من النوع ذي العمر النصفي القصير.

ومن النظائر التي تنتج باستخدام المعجلات (الصوديوم 22 , المنجنيز 52 , الكوبلت 57 , الزنك 65 , الجاليوم 67).

مراحل انتاج النظير2.6

تمر عملية إنتاج النظائر بمراحل عديدة . وتعني المرحلة الأولى بإعداد النظير المستقر المطلوب تشعيعه بحيث يكون على درجة عالية من النقاوة . ويعبأ النظير سواء كان في شكل منفرد أو في شكل مركب كيميائي داخل وعاء التشعيع الذي ينبغي أن يستوفي بعض المتطلبات , ويوفر وصول الجسيمات فيه المساهمة في التفاعل إلى النظير وتتم بعد ذلك عملية التشعيع سواء في المفاعل أو على المعجل . المستقر الموجود داخله وتستمر لفترات متفاوتة تفاوتاً كبيراً تبعاً لنوع النظير وللمقطع العرضي للتفاعل وقد تستمر عملية التشعيع لدقائق محدودة كما قد تمتد لعدة . وللنشاط الإشعاعي اللازم

وبعد التشعيع داخل المفاعل أو على المعجل تبدأ مرحلة . أيام بل لعشرات الأيام المعالجات المختلفة للنظير المشع . وتتضمن هذه المرحلة عمليات فصل النظير المشع عن النظير المستقر الذي تبقى بعد التشعيع أو عن النظائر الأخرى التي تتكون كعمليات جانبية . ويتم في نهاية هذه المرحلة الحصول على النظير المشع المطلوب في الصورة الكيميائية المناسبة للاستخدام للغرض المعين وبالنقاوة المطلوبة . وقد يتطلب الأمر إجراء بعض عمليات التعقيم للنظير المشع في الحالات التي يستخدم فيها النظير داخلياً للأغراض الطبية . وفي نهاية المرحلة تجرى العمليات الخاصة باختيار جودة المنتج وتحديد مدى صلاحيته للاستخدام وتحديد الشدة الإشعاعية النوعية له وتعبئته في العبوات الملائمة ووضعه داخل الدروع الإشعاعية الواقية وغير ذلك من الأعمال وهكذا فإنه لتنفيذ برنامج متكامل لإنتاج النظائر المشعة يتطلب الأمر توفر . الأخرى قاعدة تقنية تقوم على مفاعل أبحاث متوسط القدرة ومعجل متغير الطاقة للجسيمات المشحونة تصل طاقته إلى حوالي (30 – 40 م .إ.ف) ويصل تيار حزمة الجسيمات فيه الي حوالي 100 ميكرو امبيروفضلاً عن ذلك يتطلب الأمر توفر بعض الوحدات الرئيسة الأخرى التي تعني بإعداد المادة المطلوب تشعيعها وتنفيذ عمليات الفصل والمعالجات الكيميائية والتقنية وإجراء اختبارات الجودة والصلاحية وإجراء القياسات الإشعاعية وتنفيذ الدروع وغير ذلك من الأعمال المرتبطة بالإنتاج .

2.7 تطبيقات واستخدامات النظائر المشعة

أهم تطبيقات استخدام النظائر المشعة هو اقتفاء الأثر وتعقب حركة بعض الذرات ومسارها في الغازات والسوائل وفي الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، وتشتمل هذه الحالات مجالات عديدة ومختلفة تمس مباشرة حياة الإنسان وتحسين عيشه في بيئة

سليمة من التلوث، وتوفير الماء والغذاء وفي المعالجة الصحية الناجعة، وفيما يلي بعض استخداماتها:

2.7.1 في مجال البيئة

استعملت النظائر المشعة للكشف عن ملوثات البيئة وتحليلها ومراقبتها المستمرة حتى لا تتأثر مياه الشرب بكمية غير مسموح بها من النترات المتسربة من الأسمدة أو من مبيدات الحشرات أو من الفضلات السائلة، إضافة إلى استعمال الأشعة في تطهير مياه المجاري وفي معالجة فضلات الصناعة.

2.7.2 في مجال الطب

2.7.2.1 التشخيص بحقن المواد المشعة

يتم تشخيص العديد من الأمراض والقصور في وظائف الأعضاء عن طريق حقن نظائر مشعة معينة إلى داخل الجسم البشري أو لعضو معين , ويتم بعد ذلك متابعة سلوك وانتشار المادة المشعة في الجسم وتركيزها في الأعضاء المختلفة , وعادة ما تكون النظائر المشعة المستخدمة للحقن هي التي تصدر إشعاعات جاما التي تتميز بقدرة كبيرة على اختراق المواد وبالتالي اختراق الأنسجة والأعضاء البشرية.ويتم متابعة سلوك النظير المشع المحقون وانتشاره في الجسم البشري عموماً وفي الأعضاء المختلفة عن طريق رصد الإشعاعات الصادرة عن النظير في الأعضاء والأنسجة البشرية المختلفة وذلك باستخدام مجس أو كاشف مخصص للكشف عن هذه الإشعاعات يمكن توجيهه إلى نقاط الجسم المختلفة وتصوير الإشعاعات الصادرة في لحظات معينة.يسمى الجهاز المستخدم للكشف عن الإشعاعات الصادرة عن النظائر المشعة في أعضاء الجسم المختلفة بآلة تصوير غمايوجد حالياً ما يقرب من ثلاثمائة من المواد الصيدلية المشعة التي تستخدم في تشخيص مختلف الأمراض , وهي في معظمها

مركبات عضوية وتتوفر في الأسواق ويمكن الحصول عليها بسهولة , ولتقليل الجرعة الإشعاعية المستخدمة في التشخيص تستخدم نظائر مشعة ذات عمر نصفي قصير بحيث تكون لها القدرة على التفككإلى عناصر مستقرة خلال دقائق أو ساعات محددة , ويستخدم هذا النوع من المركبات في تشخيص وتحليل وظائف الكبد والدماغ والرئة والقلب والكلى وغيرهفمثلاً يستخدم اليود المشع في الكشف عن عيوب الغدة الدرقية

2.7.2.2 قياس حجم الدم

تستخدم النظائر المشعة في قياس أحجام السوائل التي لا يمكن قياس أحجامها بالطرق العادية ,فمثلاً يمكن قياس حجم البلازما أو الخلايا الحمراء اللذين يمثلان أهمية للطبيب حسب الحالة المرضية , ولقياس حجم البلازما تستعمل عينة من زلال آدمي موسوم باليود 131 المشع , أما في حالة قياس الخلايا الحمراء فتستعمل عينة من هذه الخلايا مضافاً إليها الكروم 51 المشع , وتوضع المادة الموسومة في العينة ويستخدم كاشف وبعد ذلك يتم حقن العينة بما فيها من المادة , مناسب لتقدير كمية الإشعاع المحتواة الموسومة في أحد الأوردة , ثم ينتظر بعض الوقت حتى يتم الاتزان باختلاط العينة التي حقنت اختلاطاً جيداً مع سائر الدم ,بعدها تؤخذ عينة من الدم , ويتم مقارنة كمية الإشعاع فيعينة الدم الذي تم أخذها بعد فترة الاتزان مع كمية الإشعاع المضافة أولاً , وبذلك يمكن حساب الحجم الكلي للدم , أما خلايا الدم الحمراء أو البلازما فتوجد أجهزة ويتميز هذا النوع , آلية مبرمجة تقوم بقياس الإشعاع وإجراء الحسابات وعرض النتائج من الأجهزة بسهولة استعماله مما يجعله مفيداً في حالة الطوارئ والعمليات.

2.7.2.3 العلاج

تستخدم الإشعاعات والنظائر المشعة استخداماً واسعاً في علاج بعض الأمراض مثل علاج السرطان والأورام الأخرى, فمن المعلوم أن الإشعاع يتلف الخلايا الحية ويقتلها مما يساعد على استخدامه لقتل الخلايا السرطانية ووقف نموها, غير أن الجرعات

الإشعاعية التي تؤدي إلى قتل الخلايا السرطانية يمكنها أن تؤدي في نفس الوقت إلى قتل الخلايا السليمة فتتأثر بالإشعاع إلا أن هذه الخلايا تشفى بعد ذلك .

2.7.2.4 التعقيم والحفظ

أصبح تعقيم الأدوات الطبية والصيدلية والعقاقير بالإشعاعات أمراً واسع الانتشار وقد تفوقت الطرق النووية للتعقيم على نظائرها التقليدية لما لهذه الطرق من مزايا عديدة فضلاً عن أنها الطريقة الوحيدة بالنسبة لأنواع معينة من العقاقير والأدوات الطبية لعدم ملاءمة طرق التعقيم التقليدية لها.

يجرى التعقيم في الوقت الحالي باستخدام مصادر مشعة عالية الشدة (كالسيزيوم 137 و الكوبلت 60) وتبلغ الشدة الإشعاعية للمصادر المستخدمة عدة آلاف من الكيوري.

2.7.3في مجال الغذاء والزراعة

استعملت النظائر المشعة لتحسين الإنتاج الزراعي من خلال تحديد كمية الأسمدة اللازمة، ولإنتاج أصناف تعطي محصولين أو ثلاثة في العام، وفي مكافحةالحشرات الضارة والناقلة للعدوى، وكذلك استعملت في مراقبة الهرمونات التي تتحكم في تكاثر الحيوانات بتقصير المدة بين الولادات، والزيادة في عددها وتحسين نوعيتها، إضافة إلى استعمالها في تعقيم الأغذية(حبوب، فواكه، لحوم، سمك) وحفظها من التفكك والتعفن والتلف لمدة طويلة. أما في مكافحة الحشرات الضارة بالإنتاج الزراعي، والتي تنقل العدوى مثل ذبابة تسي تسي، والبعوض، فقد أمكن للنظائر المشعة أن تعطي نتائج هامة في هذه المكافحة أحسن من المبيدات الكيميائية، التي أصبحت لا تؤثر على بعض الحشرات المكتسبة للمقاومة، إضافة إلى أنها تترك أثاراً سامة وخطيرة على علي بعض الحشرات المكتسبة للمقاومةإضافة إلى أنها تترك أثاراً سامة وخطيرة على جسم الإنسان، وتحدث تلوثاً للبيئه إلي درجة منع استعمال بعض المواد الكيميائية.

2.7.4في مجال المياه

استعملت النظائر المشعة في قياس السيلان السطحي لمياه الأمطار والثلوج، وفي معرفة جريان الأودية والأنهار، وفي قياس تسرب الماء من السدود والبحيرات، وكذلك في دراسة المياه الجوفية بتحديد مصدرها وعمرها وسرعة جريانها واتجاهها، وفي معرفة الاتصال بين الأحواض المائية وقابلية ترشحها بالإضافة إلى تطهير مياه الصرف الصحي.

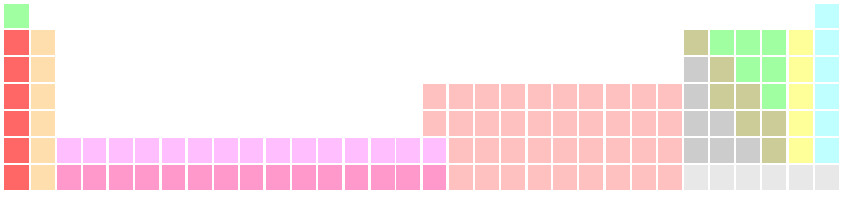
2.8عنصر الباريوم

الباريوم عنصركيميائيرمزهBaولهالعددالذري 56 فيالجدولالدوري. وهوفلزأبيضفضيطريمنالفلزاتالقلويةالترابية،تدخلأملاحهفيصنعالزجاجوالدهاناتوالألعابالنارية،عَزَلَهُالكيميائيالبريطاني همفري دايفيعام 1808 م

الشكل (2.2) يبين تواجد عنصر البار يوم في الجدول الدوري للعناصر

سيزيوم ←**باريوم** → لانثانوم

Sr
↑
Ba
↓
Ra



الشكل (2.3) يبين المظهر العام لعنصر الباريوم

2.8.1استخدامات عنصر الباريوم

استخدامات الباريوم خارج المعمل قليلة ولكنة يتحد بسهولة مع مواد كيميائية أخري ليكون مركبات ذات استخدامات عديدة في مجال الصناعة.

تستخدم كربونات الصوديوم في صناعة الخزف والزجاج كما تستخدم في تنقية محاليل كيميائية معينة وتدخل أيضا في تركيب الطفلة السائلة التي تستخدم في حفر آبار النفط.

وكثيرا ما تستخدم المصانع الكيميائية كربونات الباريوم في صناعة مركبات الباريوم الآخري. وكربونات الباريوم مادة سامة مثل جميع مركبات الباريوم التي تذوب في الماء وتستخدم تيتانات البار يوم في كشاف السونار وغيره من الأجهزة الكهربائية.

وتجعل نترات الباريوم أضواء الاشارة تشتغل بلون أخضر ويستخدم حديديت الباريوم في صناعة المغنطيس وكبريتات الباريوم مركب غير سام ولا يذوب في الماء ويستخدمة الأطباء في فحص الجهاز الهضمي للمرضي بالأشعة السينية حيث تمتص كبريتات الباريوم الأشعة فتظهر صورة الأمعاء علي الفيلم بعد تحميضه.

وتكون كبريتات الباريوم مع الزنك مادة الليتوبون وهي صبغة بيضاء تستخدم في الطلاء.

ولا يوجد الباريوم في حالة نقية أبدا اذ أنه يتحد بسهولة مع عناصر الآخري ويمكن الحصول علي الباريوم النقي بامرار تيار كهربي في مركب باريوم منصهر (سائل) مثل كلوريد الباريوم وتتفاعل قطعة من الباريوم بسرعة مع الاكسجين وبخار الماء في الهواء مكونة أكسيد الباريوم ويجب تخزينها مغطاة بالبرافين لكي تحتفظ بنقاءها.

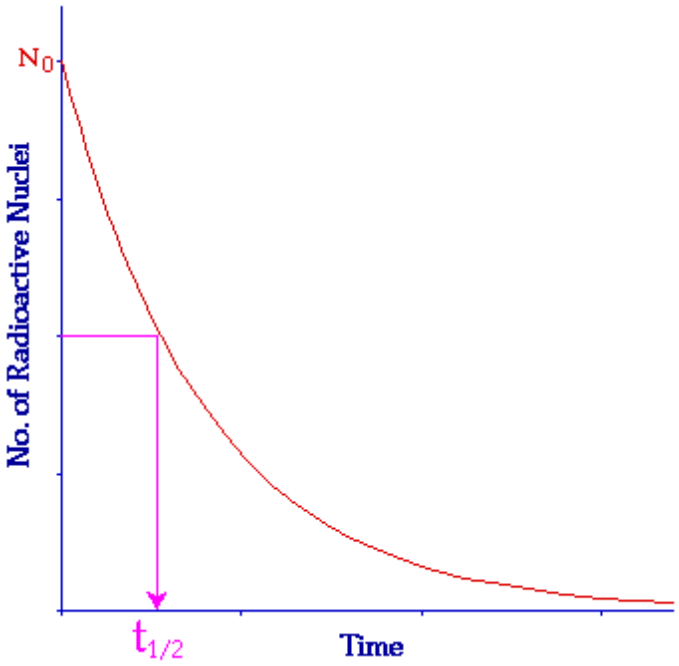
2.9 عمر النصف

فتره عمر النصف لماده نشطه اشعاعيا هو الزمن اللازم لنصف العينه المأخوذه من الماده يحدث له تحلل اشعاعي . يتسم كل نظير مشع بنصف عمر مميز له, ونجد انواع

نظائر مشعه يبلغ نصف العمر لها ثوان أو أقل,واخرى يبلغ عمرها الاف السنين واخرى يبلغ عمر النصف لها مئات الاف السنين .

تتبع معادله التحلل الاشعاعي التحلل الاسي. وتكون فتره عمر النصف هو الزمن اللازم لتحلل نصف كميه الماده, وذلك بصرف النظر عن كون العينه 1جرام او 1000 جرام, فهو زمن ثابت يميز النظير المشع مهما كانت كميته .

الشكل (2.4) يبين العلاقة بين الزمن ومعدل الاشعاع



نجد ان الجزء الباقي من $t_{\frac{1}{2}}$ في الشكل يتبين انه بعد انقضاء نصف العمر, أي عند الزمن $t_{\frac{1}{2}}$ نجد ان كميه الماده التي الماده ولم يتحلل قد بلغ النصف. واذا انتظرنا مده تاليه قدرها لم تتحلل بعد مقدارها نصف النصف, أي ربع الكميه الاصليه. واذا

الكميه الاصليه $\frac{1}{8}$ نجد ان الكميه التي لم تتحلل اصبحت $t_{\frac{1}{2}}$ انتظرنا مده ثالثه قدرها

وهكذا.

الجدول الموجود علي اليسار يعطي نسبه الباقي من الماده علي اساس فترات متتاليه من عمر النصف لتتحلل المادة.

الجدول(2.1) يبين كمية المادة المتبقية بعد مرور زمن عمر النصف

نسبة الكمية المتبقية	منnبعد عمر النصف
100%	0
50	1
25	2
12.5	3
6.25	4
3.125	5
1.5625	6
0.78125%	7

تحلل نظير مشع2.10

التي بقت $N_{(t)}$ ، فيمكننا حساب الكمية $t=0$ عند الزمن N_0 نفترض أن كمية نظير مشع منالمعادلة t دون تحلل خلال الزمن:

$$N_{(t)} = N_0 e^{-\lambda\tau} \qquad (1)$$

حيث

- N_0 هي القيمة الأصلية ل N عند $(t=0)$
- λ ثابت موجب (*ثابت التحلل*).

تقترب من t عندما . N_0 مساوية لـ N_t ، وتكون 1تكون الدالة الأسية , $t=o$ عندما تكون $t_{\frac{1}{2}}$ اللانهاية، تقترب الدالة الأسية من الصفر. عند تحلل نصف الكمية فإنه يوجد وقت تصبح:

$$N_{\left(t_{\frac{1}{2}}\right)} = N_0 \frac{1}{2} \qquad (2)$$

وبالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على

$$N_0 \frac{1}{2} = N_0 e^{-\lambda\tau_{\frac{1}{2}}} \qquad (3)$$

$$e^{-\lambda\tau_{\frac{1}{2}}} = \frac{1}{2} \qquad (4)$$

$$-\lambda\tau_{\frac{1}{2}} = \ln\frac{1}{2} = -\ln 2 \quad (5)$$

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6)$$

وعلى هذا فإن فترة عمر النصف تكون 69.3% من متوسط عمر النصف.

2.11 التحلل بطريقتين أو أكثر

العنصر النشيط إشعاعيا يمكن أن يتحلل بطريقتين أو أكثر . وهذه الطرق لها إمكنيات مختلفة لحدوثها ، ولذا فإن لكل منها فترة عمر نصف خاصة بها .

فمثلا لنظامين من أنظمة التحلل ، فإن كمية المادة المتبقية بعد زمن قدره t يتم حسابها من المعادلة :

$$N_{(t)} = N_0 e^{-\lambda_1\tau} e^{-\lambda_2\tau} = N_0 e^{-(\lambda_1=\lambda_2)\tau} \quad (7)$$

وبنفس النظام المتبع في القسم السابق ، يمكن حساب عمر النصف النهائي الجديد $T_{\frac{1}{2}}$ كالتالي :

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (8)$$

أو بالتعبير عنه بواسطة فترتي عمر النصف :

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2} \quad (9)$$

فترة عمر النصف بالطريقة الثانية. t_2 فترة عمر النصف بالطريقة الأولى t_1 حيث

2.12 الدراسات السابقة

- توصل الأستاذ ممدوح فتحي عبد الصبور الي أن النظائر المشعة تلعب دورا كبيرا في الحياة اليومية كالطب والصناعة والبيئة واستخدام هذه النظائر في التطبيقات الزراعية حيث أنها تلعب دور فعال كمقتنيات أثر في دراسة التفاعلات الكيميائية ومركباتها سواء في التربة أو في النبات. ويمكن الحصول علي النظائر المشعة بوسائل عدة منها تعريض أهداف مناسبة لقذف جسيمات مختلفة كالنيترونات.

عند دراسته لمعدل الإشعاع للنواة و معرفة نشاط James E. Parks- أوضح الدكتور لإيجاد عمر النصف له 137 الانوية كيفية حساب عمر النصف واستخدم عنصر الباريوم باستخدام القانون

$$\tau = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

ووجد أن عمر النصف لعنصر الباريوم يساوي

$$\tau = 2.55\,\text{min}$$

الفصل الثالث

العملي والنتائج

مقدمة3.0

في هذا الفصل سوف نتحدث عن العملي أو التجربة العملية لمعرفة عمر النصف وذلك عن طريق استخدام عينتين من محلولين لاثنين من الأملاح 137لعنصر الباريوم لإنتاج عنصر الباريوم 137وإجراء عملية الإحلال لهما مع نظير السيزيوم المشع ومعرفة عمر النصف له مع كل محلول .137

العينات والطريقة3.1

وكلوريد $NaCl$ في هذه التجربة سوف نستخدم عينتان هما كلوريد الصوديوم بتركيز واحد مولاري لكل منهما ويوجد أيضا عنصر السيزيوم المشع KCl البوتاسيوم من المصدر المخصص لايجاد نظائر عنصر السيزيوم.137

تم توصيل عداد جايجر ببعد معين CASSY Labبعد توصيل جهاز الكمبيوتر مع ال) عن الأنبوب وبعد ذلك تم فتح جهاز الكمبيوتر و أدخلت القيم الآتية في الـ (6cm CASSY Lab , Rate RA = $50\,\mathrm{sec}^{-1}$, Gate time = $12\,\mathrm{sec}$, Means time = $700\,\mathrm{sec}$.

بالماصة وتم تمريره من خلال مصدر السيزيوم $NaCl$) من (3mlوبعد ذلك تم سحب المشع إلي الأنبوب ومع آخر نقطه من المحلول تم فتح الزمن, وبدا جهاز الكمبيوتر في رسم العلاقة بين معدل الإشعاع والزمن.

وبعد انتهاء الرسم أخذت ثلاث قيم معينة من معدل الإشعاع ومعرفة الزمن الذي يقابلها من الرسم لمحلولي كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم وسجلت النتائج في الجدول ادناه.

النتائج3.2

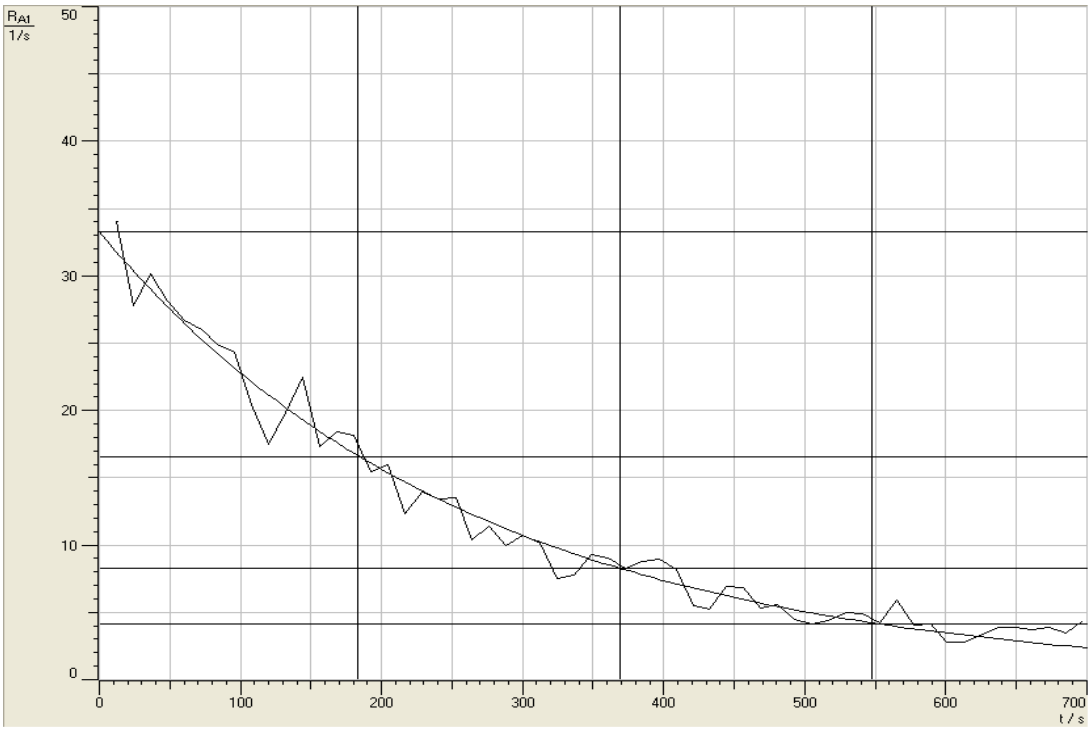
جدول (3.1) يبين محلول كلوريد الصوديوم $NaCl$

$R/\sec^{-1}$	16.6	8.3	4.1
$t/\sec$	183.1	369.1	547.5

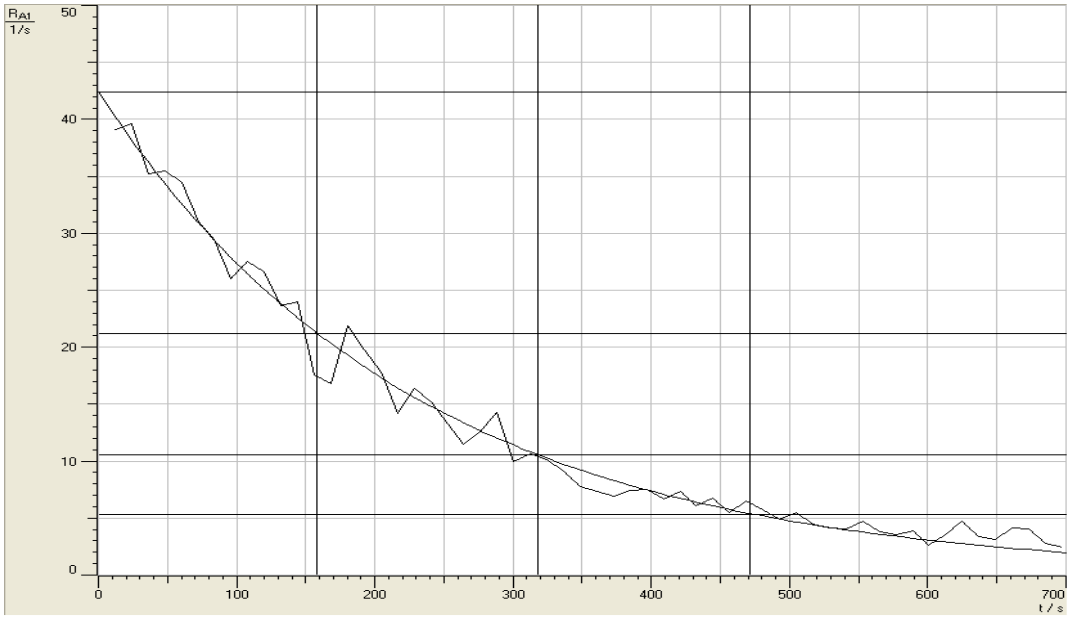
جدول (3.2) يبين محلول كلوريد البوتاسيوم KCl

$R/\sec^{-1}$	21.2	10.6	5.3
$t/\sec$	158	317.9	471.3

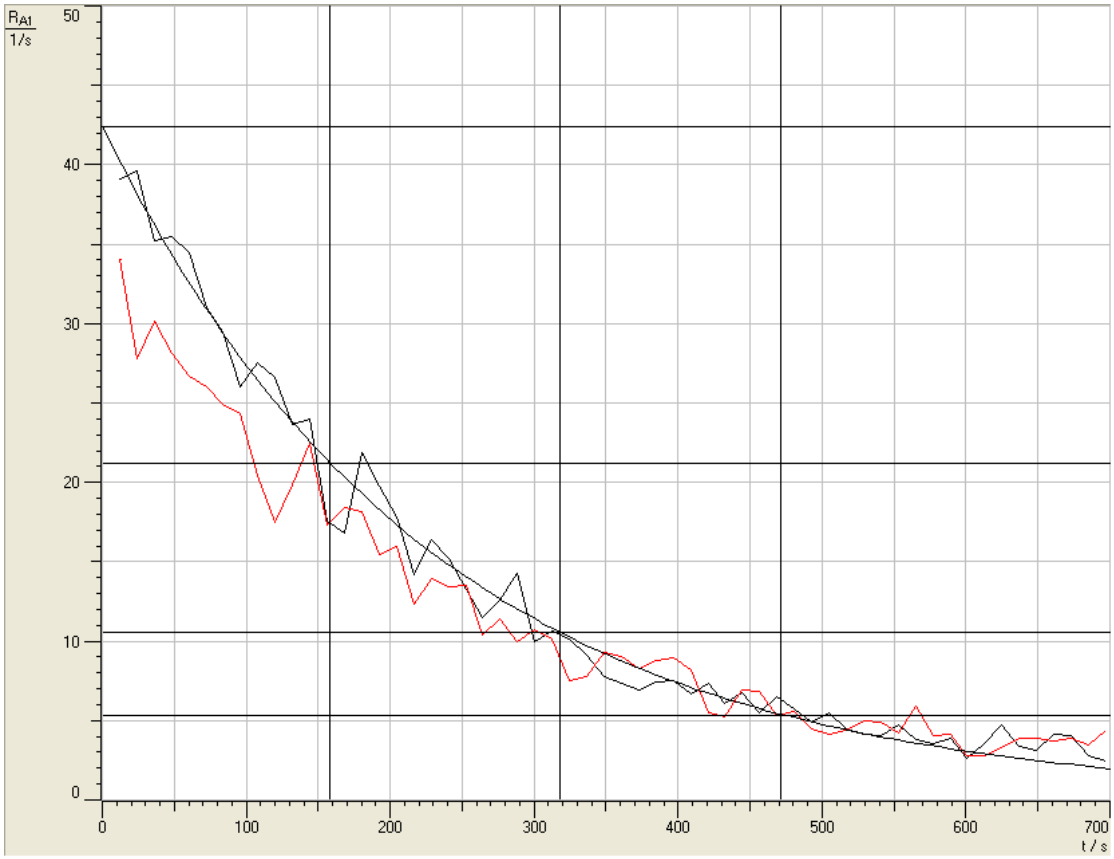
شكل (3.1) يوضح الدالة الأسيه لمعدل الإشعاع مع الزمن عند استخدام كلوريد الصوديوم $NaCl$



شكل (3.2) يوضح الدالة الأسيه لمعدل الإشعاع مع الزمن عند استخدام كلوريد البوتاسيوم KCl



شكل (3.3) يوضح الداله الأسيه لمعدل الإشعاع مع الزمن عند إستخدام كلوريد الصوديوم $NaCl$ وكلوريد البوتاسيوم KCl معا



3.3الحسابات

عينة كلوريد الصوديوم *NaCl*

$$t_1 = \frac{186}{60} = 3.1\text{min}$$

$$t_2 = \frac{178.4}{60} = 2.97\,\text{min}$$

$$t' = \frac{3.1 + 2.97}{2} = 3.03\,\text{min}$$

عينة كلوريد البوتاسيوم KCl

$$t_1 = \frac{159.9}{60} = 2.665\,\text{min}$$

$$t_2 = \frac{153.4}{60} = 2.556\,\text{min}$$

$$t' = \frac{2.665 + 2.556}{2} = 2.61\,\text{min}$$

الفصل الرابع

- المناقشة
- التوصيات
- الخاتمة

مقدمة4.0

في هذا الفصل سيتم مناقشة النتائج التي تم الحصول عليها من كلا المحلولين والمقارنة بينهما والخلاصه التي تم الحصول عليها وبناء عليهما تقديم التوصيات والخاتمه لهذا البحث.

المناقشة4.1

في هذا البحث تم إيجاد عمر النصف لعنصر الباريوم 137 المشع عن طريق إستخدام محلولي كلوريد الصوديوم وكلوريد البوتاسيوم باحلالهما مع عنصر السيزيوم المشع 137 كما في المعادلات التالية:

$$NaCl + C_s \rightarrow BaCl + Na$$

$$KCl + C_s \rightarrow BaCl + K$$

ووجد انه عند استخدام كلوريد البوتاسيوم $\tau = 2.61\text{min}$

وعند إستخدام كلوريد الصوديوم $\tau = 3.03\text{min}$

وفي هذا البحث عند إستخدامنا كلوريد الصوديوم وجد أن عمر النصف للباريوم 137 المشع أكبر من عمر النصف للباريوم عند إستخدامنا كلوريد البوتاسيوم .

وبالتالي من الأفضل إستخدام كلوريد البوتاسيوم لإيجاد عمر النصف للباريوم وإذا أردنا إستخدام عنصر الباريوم المشع بعمر نصف طويل فمن الأفضل إستخدام كلوريد الصوديوم لإيجاده.

التوصيات 4.2

من المعروف أن النظائر المشعة تستخدم في شتى مجالات الحياة ,وإذا تم إنتاج عناصر ذات عمر نصف كبير يمكن الإستفاده منها في مجالات أكثر من العناصر ذات عمر النصف القصير.

كما يمكننا أيضا إستخدام محاليل أخرى في هذا البحث بشرط ان تنتج عنصر الباريوم 137 المشع عند إحلالها مع السيزيوم المشع مثل كلوريد الليثيوم وعناصر أخرى.

4.3 الخاتمة

يتم إستخدام النظائر المشعه في مجالات عديده من الحياة مثلا في علاج السرطانات وفي الزراعة ومجالات أخرى كثيره وذلك من خلال النظائر ذات عمر النصف الصغير.

وبالتالي يجب معرفة عمر النصف لهذه العناصر لكي يستفاد منها.وفي هذا البحث درسنا عمر النصف لعنصر الباريوم 137 المشع وذلك عن طريق إستخدام محلولين بإحلالهما مع عنصر السيزيوم KCl وكلوريد البوتاسيوم $NaCl$ هما كلوريد الصوديوم 137 المشع ووجد أن عمر النصف عند إستخدام كلوريد الصوديوم $NaCl$ $\tau = 3.03\text{min}$ وعند إستخدام كلوريد البوتاسيوم KCl $\tau = 2.61\text{min}$.

فمن الأفضل إستخدام محلول كلوريد البتاسيوم لإنتاج عنصر الباريوم 137 المشع لأن عمر النصف له أقل وبالتالي يمكن إستخدامه في مجالات عديده.

المراجع والمصادر

- الفيزياء النووية والطبية ، تأليف: أ.د.عذاب طاهر الكناني ، جامعة بغداد ، دار الفجر للنشر والتوزيع 2009 .

- الكيمياء النووية والمشعة ، تأليف : فوازعزت الخليل ، تاريخ النشر 1.1.2008 (الدار البيضاء).

-الفيزياء النووية من قبل ايرفينغ كايلان الطبعه2 ، 1962 اديسون ويسلي.

-نماذج من النواة الذرية من قبل نون كوك سبرينغر فيرلاغ ، 2006.

- كيمياء عام 1970 من قبل لينوس بولينغ.

-chemistry explain ،Indium

http://www.startimes.com-

-http://www.sehha.com/generalheagth/nuclearMedicine.htm

htttp://ar.wikipedia.org-

-الطب النووي "جامعة أم القري"

- التطبيقات المفيدة للنظائر المشعة في الحياة ، مجلة أسيوط للدراسات البيئية ،21 يوليو 2001 ، الدكتور ممدوح فتحي عبد الصبور.