

الفصل التاسع

الطرق الإشعاعية

Radiometric Methods

1.9 مقدمة Introduction:

لكثير من دراسات إشعاعات اصخور والمعادن أهمية كبيرة فى الجيولوجيا والجيوفيزياء. أولاً، يكون من المحتمل أن الحرارة الناتجة بواسطة التحطيم الإشعاعى هى أهم عامل فى رسوخ الحرارة فى داخل الأرض. ثانياً، تؤرخ الأحداث الجيولوجية بواسطة دراسة معدل التحلل الإشعاعى لطبيعة معينة تحدث فى بعض عناصر الصخور، خاصة فى أزمنة تكوين صخور القشرة الأرضية. بالإضافة لذلك، يمكن إستخدام المسح الإشعاعى بتميز فى البحث عن أجسام الخامات المشعة لأن أغلب الصخور تحتوى على آثار لعناصر مشعة فى تناسبات مختلفة.

2.9 أساسيات التفتت أو التحلل الإشعاعى

Fundamental of Radioactive Disintegration or Decay:

تعنى ظاهرة الإشعاع تفتت نواة الذرة بواسطة إنبعاث طاقة وكتل جزئية. يكون تفتت النواة ${}^A_Z X$ هو تحولها إلى نواة لعنصر آخر مع التغير فى الوزن الذرى A والعدد الذرى Z ، وتكون نواتج التفتت هى جزيئات α (نواة الهليوم ${}^4\text{He}_2$). جزيئات β (الكترونات) وأشعة جاما (γ) فى تجمعات مختلفة.

يكون التحلل أو التفتت الإشعاعى عملية عشوائية ويعبر عنها بمصطلحات الإحتمالية لأن الجزئ المحتوى فى النواة يهرب خلال عائق جهدى مقيد للنواة. لانتأثر إحتمالية التحلل بالحالات الطبيعية مثل الضغط والحرارة وتعتمد على عدد الذرات الموجودة. لذلك يتبع معدل التحلل لعدد نويات N لنوع خاص يكون متناسب مباشرة مع N حيث

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (9-1)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (9-2)$$

حيث N_0 العدد الموجود عند زمن $t = 0$ ، λ ثابت التحلل غير متساوى النسبة لكل تحلل نواة.

غالباً يقتبس معدل التحلل في مصطلحات لها علاقة بالكمية، ونصف الزمن. وهذا الزمن هو المأخوذ لإقلال عدد الذرات الأم (النتوج*) بواسطة النصف

$$T = \ln(2/\lambda) = 0.69325/\lambda \quad (9-3)$$

بفرض أن تحلل الأم (النتوج) ينتج وليد (daughter) مولد بالإشعاع (radiogenic) وأن عدد ذرات الوليد تساوى صفر عند $t=0$. وتعطى عدد ذرات الوليد الناتجة بواسطة تحلل نتوج N عند أى زمن t بواسطة

$$D = N_0 \bar{n} N \quad (9-4)$$

بالتعويض عن N_0 من المعادلة (9-2)

$$\therefore D = N_0 \lambda t \bar{n} N = N(e^{\lambda t} - 1) \quad (9-5)$$

يرى جدول (1-9) التحلل الميكانيكى والتجارب لتحديد ثوابت (λ) للعناصر المشعة الهامة فى الأرض.

جدول (1-9) نهج تحلل لأهم العناصر المشعة فى الأرض

العنصر	نظير النتوج	نسبة مئوية العنصر الطبيعى	تحلل ميكانيكى	الوليد المستقر	ثابت التحلل سنة ⁻¹	نصف العمر (سنة)
يورانيوم	²³⁸ U	99.274	تحلل تسلسلى إنشطار خطى (⁶ β +8 α)	206 Pb	¹⁰ 10x1.55125	⁹ 10x4.68
				مختلف		
	²³⁵ U	0.720	تحلل تسلسلى (β 4+ α 7)	207Pb	¹⁰ 10x0.9185	⁸ 10x7.038
				مختلف		
ثوريوم	²³² Tb	100	تحلل تسلسلى (β 4+ α 6)	208Pb	¹¹ 10x4.9475	¹⁰ 10x1.401
ريوبيديوم	⁸⁷ Rb	27.85	إشعاع β	⁸⁷ Sr	¹¹ 10x1.420	¹⁰ 10x4.880
بوتاسيوم	⁴⁰ K	0.1167	أسر الكتروني K-11%	⁴⁰ Ar	¹⁰ 10x0.581 (λ K)	⁹ 10x1.25
					⁴⁰ Ca	
كربون	¹⁴ C	¹⁰ 10x1.6 CO ₂	إشعاع β			
		ضغط جوى CO ₂		¹⁴ N	⁴ 10x1.209	³ 10x3.73

إذا عرفت λ ، فإن قياس نسبة كبيرة من نظائر النقوق والنهائية أو الناتج الوليد يسمح لتحديد t من المعادلة (9-5). وهذه قاعدة طرق تأرخ القياس الإشعاعى.

عندما تتفتت نظائر النتوج، غالباً فإن الوليد الأسمى أيضاً ينتج إشعاع، وتتحلل، ربما خلال سلسلة من إشعاعات نووية حتى يصل لإنتاج نهائية مستقرة. يمكن القول عن حالة الإتزان أنها توجد بين عناصر النتوج ونواتج الوليد عندما تتكون ذرات كثيرة من عضو فى السلسلة. عندما يكون التفتت لكل ثانية، تكون هذه الحقيقة

* ما ينتج مادة أخرى بالإتحلال الإشعاعى.

هامة خاصة عند البحث عن اليورانيوم. لا يمكن الاعتماد على أى تقدير لمحتوى اليورانيوم من رصد شدة الإشعاع أو توثيقه إذا لم تكن درجة الإتزان الإشعاعى فى الراسب مؤكدة.

تكون إشعاعات α ، β ، γ المصاحبة للتفتت اللحظى لمواد المحدثة لإشعاعه طبيعى مباشرة هامة فى البحث عن أجسام الخامات المشعة. حيث أن التنقيب الإشعاعى موضوع على إكتشاف فيزيائى لهذا الإشعاع. ولأن جزيئات α ، β تقف مبكرا، حتى بواسطة أرفع غطاء للغطاء الرسوبى، لذلك غالبا يمكن تحديد الرسوبيات المشعة من خلال إكتشاف إشعاع بها.

الرونتجن (roentgen R) وحدة الإشعاع وهى الوحدة العيارية لقياس إشعاع γ وهى كمية الإشعاع التى سوف تنتج $15 \times 10^2 \times 0.083$ زوج من الأيونات لكل متر مكعب من الهواء عند درجة الحرارة والضغط العاديين ميكرورونتجن ($10 \times R = 1 \mu R$).

3.9 إشعاعية الصخور Radioactivity of Rocks

يمثل توزيع وشدة إشعاع الصخور أهمية كبيرة للجيوفيزيائيين، خاصة فى اختيار مادة صخرية لتأرخ الجيولوجيا المطلقة وفى حساب الحرارة الناتجة خلال الأرض. أيضا هامة لجيوفيزيقي الإستكشاف فى البحث عن رسوبيات المعادن المشعة.

تدل قياسات الخواص الإشعاعية المواد طبيعية موجودة على أن المستوى المنخفض للنشاط موجود فى أغلب جميع الصخور والمعادن. يشترك بداية هذا النشاط غالبا كلية لآثار اليورانيوم والثوريوم ونواتج التحلل المشع. أيضا أوضحت أحر الإستكشافات أن نظائر البوتاسيوم (^{40}K) مشعة. برغم أن هذه النظائر تكون حوالى 0.012% من البوتاسيوم فى القشرة الأرضية، فإنها تشارك جيدا لمعرفة الصخور المشعة لأن وجود البوتاسيوم نفسه واسع الانتشار فى صخور القشرة الأرضية.

يعطى جدول (2-9) فكرة عن معدل احتواء أنواع الصخور العامة (الشائعة) على اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم. يلاحظ أن الجرانيت والطفلة يريان أكبر إشعاع. أيضا يوجد إختلاف واضح فى الإشعاع بين صخور البازلت والجرانيت.

جدول (2-9). نماذج وفترة أهم العناصر المشعة فى أنواع صخور مختلفة

نوع الصخر	يورانيوم (ppm)	ثوريوم (ppm)	بوتاسيوم (%)	نوع الصخر	يورانيوم (ppm)	ثوريوم (ppm)	بوتاسيوم (%)
جرانيت	5	18	3.8	رمل شاطى	3	6	0.3
حجر رملى	0.5	2	0.6	بازلت	0.6	3	0.8
طفلة	4	12	2.7	ديونايت	0.005	0.02	0.01
حجر جبرى	1.3	1	0.3	اكلوجيت	0.04	0.15	0.1

(موكسهام 1963 Moxham، ساس 1971 Sass).

4.9 الحرارة المسببة من الإشعاع Heating Due to Radioactivity:

ذكر سابقاً أن العناصر تشع جزيئات α ، β السريعة وأشعة γ ، وجميعها تمتص بواسطة الوسط المحيط منتجة حرارة. النظائر المشعة التي تشارك بأهمية لإنتاج الحرارة الحاضرة خلال الأرض هي ^{238}U ، ^{235}U هذه العناصر لها نصف عمر زمني مقابل لعمر الأرض ولذلك مازالت كافية بكثرة لأن تكون أهم مصدر للحرارة. في حالة سلسلة اليورانيوم والثوريوم. فإن 90% من الطاقة تمد بواسطة جزيئات α أما المشاركة الأصغر فتكون بجزيئات β وإشعاعات γ . في حالة تحلل ^{40}K ، فإن الطاقة تكون من كلا جزيئات β وانبعثت أشعة γ المصاحبة لعملية أسر الكترون K. يرى جدول 3 قيم الحرارة الناتجة بواسطة طول عمر النظائر.

جدول (3-9). معدلات الناتج الحراري بواسطة عناصر مشعة (برش 1954 Brich)

الحرارة الناتجة		الوفرة % (الكثرة)	العنصر أو النظير	الحرارة الناتجة		الوفرة % (الكثرة)	العنصر أو النظير
(وات كجم)	(كالكوري جم/سنة)			(وات كجم)	(كالكوري جم/سنة)		
26.6	0.20	100	^{232}Th	94	0.71	99.27	^{238}U
29	0.32	0.012	^{40}K	527	4.30	0.27	^{235}U
				97	0.73	طبيعي	U

من هذا الجدول يتضح أن الناتج الحراري لليورانيوم والبوتاسيوم يكون على أساس معرفة نسبة كثرة النظائر لهذه العناصر. يعتمد الناتج الحراري من نوع الصخر المعطى (مثل الجرانيت والبازلت) على تركيز العناصر المشعة في الصخر (جدول 2-9). من بيانات جداول (2-9)، (3-9) يمكن تقدير الناتج الحراري الحاضر في الصخور.

5.9 طرق تأرخ الإشعاع Radiometric Dating Methods:

يعتمد أغلب تحديد عمر الإشعاع على الناتج، عند معدل معروف، من النظائر الوليدة من نتوجها المشع منذ أن كان المعدن متبلور. يكون تحديد ثوابت التحلل (λ) تجريبياً ملائمة لنويات تستخدم لتأرخ الإشعاع (جدول 1-9). يستخدم الإسبكتروسكوبي الكتلي لتحديد نسبة النتوج، N، والنواة الوليدة، D، في عينات المعدن أو الصخر ويمكن تحديد العمر من العلاقة الآتية

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(1 + \frac{D}{11} \right) \quad (9-6)$$

حيث t = عمر الإشعاع بالسنين لأي حدث مسجل في العينة.

أنواع الأحداث الجيولوجية والتي تؤرخ بواسطة هذه الطرق وهي:

- (i) تبلور الصخور النارية من الصهير.
- (ii) إعادة تبلور لصخور موجودة سابقاً.
- (iii) إرتفاعات، تبريد، تجويه سلسلة الجبال.
- (iv) ترسيبات الصخور الرسوبية التي تمد معادن جديدة متكونة خلال أو بعد الترسيب مباشرة.

بناء على تحديد الأعمار يكون من المهم توضيح أن النتائج الجيدة تعتمد أولا وقبل أى شئ على تحليلات كيميائية ونظائرية يركن إليها، لعينات معدنية غير متغيرة (متجوية)، ولكن تكون هذه بعيدة جدا عن قاعدة المعيار. إذا أريد أن يكون التحديد نافع فيجب أن يكون مكان العينة معروفا بالضبط وكذلك التفاصيل الدقيقة عن أصل الصخر وعلاقته الجيولوجية بما حوله. من الأفضل اختيار العينات بتعاون مع جيولوجى، والذي يضيف تفسير ملائم مع النتائج التى تم الوصول إليها.

1.5.9 طريقة بوتاسيوم-أرجون Potassium-Argon Method:

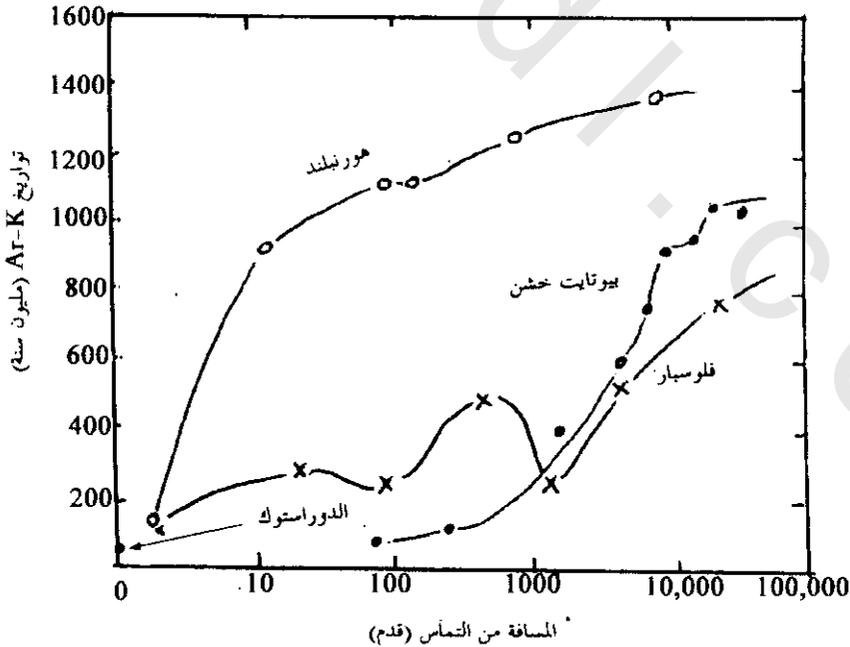
البوتاسيوم عنصر شائع وواسع الانتشار فى صخور القشرة الأرضية. يتحلل نظير البوتاسيوم ^{40}K (0.0117% من البوتاسيوم الطبيعى) فى طريقتين (جدول 1-9)، تستخدم عملية تحلل ^{40}K للتحليل فقط تعطى نسبة لحدث الإنحلال للوليد Ar بالمعادلة الآتية:

$$^{40}\text{Ar} = (\lambda_{\text{K}}/\lambda) ^{40}\text{K}(e^{\lambda t}-1) \quad (9-7)$$

حيث $\lambda_{\text{B}} + \lambda_{\text{K}} = \lambda$ (جدول 1-9).

لاستخدام المعادلة السابقة لتأريخ بوتاسيوم - معادن المحامل (سبانك المحامل) فإنه يقاس تركيز البوتاسيوم وكمية محدث الإنحلال ^{40}Ar التى تتجمع وذلك بواسطة الإسبكترومترى. عادة، تعمل التحليلات الكيميائية للبوتاسيوم الكلى، أما النسبة المئوية لـ ^{40}K فإنها تحسب من نسبة النظير. وحيث أن الأرجون غير شائع لتكون المعادن، لذلك فإن الأخطاء بسبب وجود الأرجون الأصيل ^{40}Ar تكون عادة (ولكن ليس دائما) صغيرة. ربما يكون من الضروري تصحيح شوائب أرجون الغلاف الهوائى، وتعمل بواسطة نسبة الغلاف الهوائى الموجود

$$.295.5 = \frac{^{40}\text{Ar}}{^{36}\text{Ar}}$$



شكل (1-9): تغير تواريخ Ar-K لمعادن من تكوينات ينابيع إداهوكندا فى منطقة تماس تحول ناتج بواسطة تداخل للأدور ستوك (Eldor stock) فى الثلاثى المتقدم (55 بليون سنة) تكوين ينابيع إواهو تحولت ما بين 1400-1350 مليون سنة (هارت 1964)

يشير الأرجون الناتج بواسطة التحلل من ^{40}K إلى إنتشاره من الصخور المضيفة. ويكون معدل الإنتشار ملانما في أغلب المعادن فوق درجة 300°C مئوية. يأتي مثل هذا التسخين من تداخل تماس قريب، أو كنتيجة الدفن في القشرة الأرضية. يمثل شكل (9-1) توضيح جيد لتغير Ar-K بسبب تغير كمية الأرجون المفقودة من صخور البريكامبريان، المضيفة والتي تأثرت بواسطة تداخل حدث لزمان الثلاثي الأولى. تصل تواريخ Ar-K للهورملند لأكبر قيمة 1200 مليون سنة عند حوالي 30 متر من التماس وركزت بتقدم مؤخر. بالمقارنة بهذا فإن تواريخ البيوتيت والفلدسبار ترى تأثير فقد الأرجون حتى عند مسافات أكبر من 4000 متر.

عامة وجود معادن المايكا والهورينلند بالصخور النارية والمتحولة يكون ملانما لتأرخ Ar-K، أيضا تكون درجات الحرارة العالية للبتواسيوم - فلدسبار (مثال، سانيدين) والفلدسبارات البلاجوكليزية ملانمة لهذا التأرخ. في المقابل يكون أغلب بوتاسيوم - فلدسبارات، مثل أورثوكليس وميكروكلين ملانمة لأنها تستطيع فقد أرجون مبكرا حتى عند درجات حرارة الأتموسفير. جميع تحليلات الصخور مثل البازلت، تقدم تواريخ ملانمة حفظ إذا لم تحلل وتكون خالية من النسيج الزجاجي. حدث التأرخ يكون زمن البرودة النهائية أسفل تقريبا 200°C مئوية. أحيانا تحتوى الصخور البحرية، الحجر الجيري، والحجر الرملي على البوتاسيوم - معدن الجلوكونيت المحامل، والذي يتكون عند زمن الترسيب ويمكن تأرخه بواسطة طريقة Ar-K.

أهم مميزات طريقة Ar-K كثرة البوتاسيوم ونسبيا قصر نصف عمر زمن ^{40}K . ويمكن استخدام الطريقة بتوسع لتأرخ صخور مختلفة. أغلب جميع الأزمنة الجيولوجية تتراوح من أقدم الصخور الأرضية (3700 مليون سنة) إلى أغلب الصخور الحديثة والتي تكون أحيانا أحدث من 30,000 سنة. تأرخ Ar-K للصخور الحديثة لها ميزة كبيرة. خاصة في تأسيس علم الأزمنة للانعكاسات الحديثة للمجال المغناطيسى الأرضي، حيث لا توجد طريقة أخرى ملانمة لمثل هذه الصخور الحديثة. في الحقيقة، توجد فجوة في ملانمة الأزمنة المطلقة بين زمن تأرخ الصخور الحديثة بواسطة طريقة Ar-K وزمن أقدم المواد العضوية التي أرخت بواسطة طريقة الكربون ^{14}C .

في المناطق المعقدة التاريخ، أشارت طريقة Ar-K أن هناك شك أو ظن بأن التحويلات الهامة تالية للتبلور الأصلي. ولأن الأرجون ربما يفقد بواسطة الإنتشار حتى عند درجات الحرارة الأقل جدا من نقطة الإنصهار، فإن تأرخ Ar-K يمثل الزمن المنقضى منذ التبريد إلى درجات الحرارة التي عندها يكون فقد الأرجون لايعتد به.

يمكن أن تتغلب طريقة $\frac{^{40}\text{Ar}}{^{39}\text{Ar}}$ على بعض تحديات طريقة Ar-K العادية، وتعرف هذه الطريقة بطريقة

أرجون-أرجون، وتكون على أساس إنتاج ^{39}Ar من ^{40}K بواسطة تشعيع عينات بوتاسيوم مدفونه ببيتورانات في مفاعل نووى. الميزة الأساسية للطريقة أن القياسات تكون فقط لنسب النظائر للأرجون المطلوب، ولذلك يبعد الإحتياج لقياس التركيزات المطلقة للبتواسيوم. ولهذا تكون الطريقة مناسبة لتأرخ عينات صغيرة جدا أو قيمة مثل النيازك أو عينات صخرية هلالية. كان تأرخ زجاج برتقالى مشهور من القمر (17 عينة من أبولو Apollo) مثال لتطبيق هذه الطريقة، وقد وجد هيوساس وشيفر Husais and Shoemaker 1973 أن عمر هذه العينات 0.06 ± 3.71 بليون سنة.

2.5.9 طريقة ريوبيديوم - سترنشيوم Rubidium-Strontium Method

برغم أن الريوبيديوم واسع الإنتشار بين المعادن مثل الميكاك والفلدسبرات وكثرته فى الطبيعة لاتقارن باليوتاسيوم فإن النظير ^{87}Rb المشع يحتوى على 27.85% من تواجد الريوبيديوم الطبيعى. يمثل التخطيط التحالى (جدول 9-1) أبسط تكون واحد من انبعاث ضعيف لجزئ β ليكون ^{87}Sr . تعطى المعادلة الآتية العلاقة بين المولد والوليد الناتج من معدن غنى فى Rb لزمن t سنه

$$^{87}\text{Sr} = (^{87}\text{Sr}) + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1) \quad (9-8)$$

حيث (^{87}Sr) المحتوى الأساسى الذى أدمج فى المعدن عند زمن تكوينه.

لتحديد t يقاس كثرة ^{87}Sr ، ^{87}Rb ومعرفة λ . ولايزال وجود عدم توافق على القيمة المطلوبة لنصف العمر الزمنى ^{87}Rb لوجود صعوبات فى تحديده بواسطة قياسات الأشعاع المباشر. القيمتين المستخدمتين بواسطة التقويم الجيولوجى هما 47,000، 50,000 مليون سنة. حدد تركيز البروبيديوم بواسطة تحليل المعدن، وحسب محتوى ^{87}Rb من نسبة الكثرة المعروفة، المقبسة سابقا لتحديد محتوى ناتج الوليد، ^{87}Sr ، عزل الاسترنشيوم كيميائيا فى العينة وحلل بواسطة السبكترومترى الكلى. بما أن الاسترنشيوم الشائع يحتوى على ثلاثة نظائر اخرى (^{84}Sr ، ^{86}Sr ، ^{88}Sr). لذلك يوجد دائما تعقيد لعمل تصحيح للمساهمة إلى ^{87}Sr الاسترنشيوم الشائع.

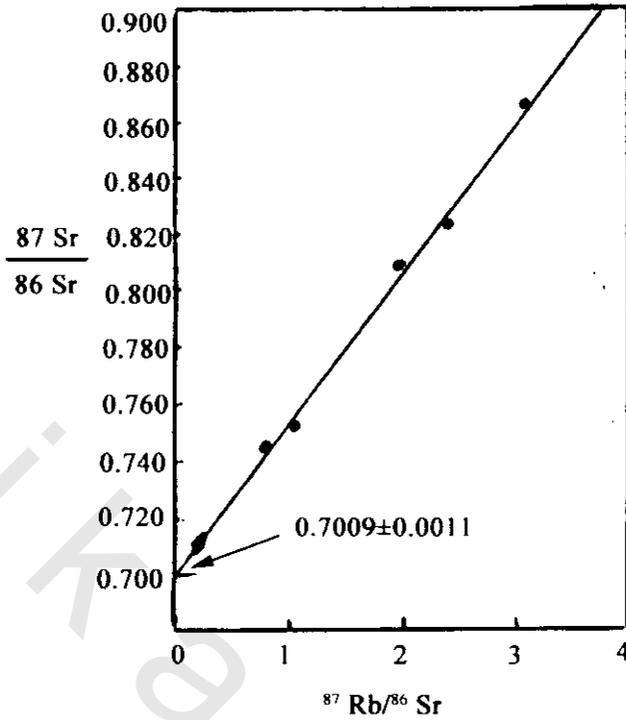
غالبا ماتستخدم جميع الصخور لتحديدات عمر Sr - Rb لأنها تكون أكثر احتمالا لتحقيق متطلب النظام المغلق. لتصحيح المسبب بواسطة الاسترنشيوم الشائع. تعدل المعادلة (9-8) بواسطة قسمة كل حد بواسطة المحتوى المستقر لـ ^{86}Sr والذى يكون ثابت لأن هذا النظير غير مولد بالأشعاع، وتصبح المعادلة كالتى:

$$\left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right) = \left(\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}} \right) + \left(\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}} \right) (e^{\lambda t} - 1) \quad (9-9)$$

وتكون نتيجة رسم العلاقة بين النسبة المرصودة $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ مقابل $\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$ لمجموعات من العينات خط

مستقيم. يسمى هذا الخط متساوى الزمن isochron ويعطى ميله $(e^{\lambda t} - 1)$ وفيها يمكن حساب t، وكذلك يعطى الجزء المقطوع من الخط مباشرة النسبة الأصلية لـ $\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$ ، للاسترنشيوم الشائع فى الصخور.

يمكن استخدام طريقة Sr-Rb لتأريخ مثل هذه الصخور الشائعة المكونه من معادن كالميكا، وجميع أنواع اليوتاسيوم والفسبرات، وهذه الطريقة ملائمة لجميع تحليلات الصخور خاصة الجرانيتات والجرانيتات النيسيه. ويرى شكل (9-2) تساوى الزمن لنيس أمتسوك Amitsoq من منطقة جود ثاب Godthaab بغرب جرين لاند Greenland. ينتج ميل تساوى الزمن عمر 100 ± 3740 مليون سنة والتي توضح أن هذه الصخور واحدة من أقدم صخور القشرة الأرضية المعروفة، وقد فسرها موريثا وآخرين Morbath et al 1972 على أنها تأريخ حدث التحول التى أنتجت نيس أمتسوك Amitsoq.



شكل (2-9): كل ثوابت المدة الصخرية لنيس أمتسوك Amitsoq من منقطة جودتاب Godthaab من جنوب غرب جرين لاند Greenland. تكون هذه بين صخور أرضية قديمة معروفة (موربات وأخرين Moorbat et al 1972)

أكبر ميزة لطريقة Sr-Rb أنها تمثل نظام صلب-صلب، ولذلك نسبيا توجد أقل فرصة لفقدان المنتج والوليد المنتج. ومن عدم ميزات هذه الطريقة أن عنصر Rb غير متكاثر في القشرة الأرضية، وطول نصف عمره الزمنى يجعله صعب التطبيق للصخور الحديثة، أيضا وجود Sr الغير مولد بالإشعاع فى معظم المعادن يتطلب تصحيح. ربما تكون هذه الطريقة نسبيا أكثر ملائمة لتأرخ مناطق دروع صخور البركاريان.

3.5.9 طريقة اليورانيوم-الرصاص وتأرخ الأرض: Uranium-Lead Method and the Age of the Earth:

يوجد اليورانيوم والثوريوم (تواتريا) معا فى نفس المعادن وتحلل نظائره (U²³⁸، U²³⁵، Th²³²) (جدول 1-9) ليكونوا الرصاص (Pb²⁰⁶، Pb²⁰⁷، Pb²⁰⁸). يسمى تكوين هذا الرصاص برصاص مولد بالإشعاع، ويكون قاعدة طرق اليورانيوم لتحديد الزمن. علاوة على الثلاث نظائر المولدين بالإشعاع فإن للرصاص نظير آخر ²⁰⁴Pb غير مولد بالإشعاع. فى أى يورانيوم يكون ملائمة التدقق على ملائمة الأزمنة المستنتجة الممكنة كالنظائر المختلفة بثوابت تحلل مختلفة. وهذه ليست حالة فى طرق Ar-K، Sr-Rb.

أغلب المعادن شيوعا لإستخدام Pb-Th-U للتأرخ هو معدن الزركوندا ZrSiO₄ حيث يوجد كمعدن ثانوى فى أغلب الصخور ويحتوى على جزء صغير من ذرات اليورانيوم بديلا للزركونيوم. يصاد الرصاص الناتج من

تحلل اليورانيوم فى بلورة ويحفظ أثناء أحداث التحول. وصف تحول اليورانيوم والثوريوم فى نظام مغلق بواسطة المعادلة المشهورة الشكل كالاتى:

$$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} = \left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}} \right)_i + \frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}} (e^{\lambda t} - 1) \quad (9-10)$$

يشير المصطلح المقرون بـ i إلى النسبة الأساسية الموجودة فى النظام عند زمن تكوينه منذ t سنوات. يمكن كتابة نفس المعادلة لنظام يشمل ^{232}Th ، ^{235}U .

يمكن تحديد الأزمنة من بسبب $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$ ، $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$ ، $\frac{^{208}\text{Pb}}{^{232}\text{Th}}$ ، ويقاس تركيز U، Th عادة بواسطة نظير

مخفف ويحدد التركيب النظائرى للرصاص بواسطة السبكترومترى الكتللى. يمكن أن تحل المعادلات الشبيهة للمعادلة (9-10) بالنسبة للزمن باستخدام قيم ملائمة مفروضة أساس نسب نظائر الرصاص الأصلية. الثلاثة تواريخ المحددة متوافقة وتمثل عمر المعدن، كذلك جميع الفروض الممدة الشاملة مرضية.

فى كثير من الحالات لاتكون التواريخ المحددة لاتكون متوافقة، وذلك لاحتمال أن معظم المعادن ليست أنظمة مغلقة، وربما تفقد أو تكتسب Pb، U، Th بعد التبلور. تتم الطرق المختلفة لتقليل تأثيرات اليورانيوم وفقد الرصاص وتفسير أنظمة Pb-U الغير متوافقة بواسطة رسومات بيانية توافقية (فورى 1977 Faure).

لاستنتاج عمر الأرض يمكن تتبع تاريخ عينة الرصاص من نسب نظائر الرصاص نفسه $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ ،

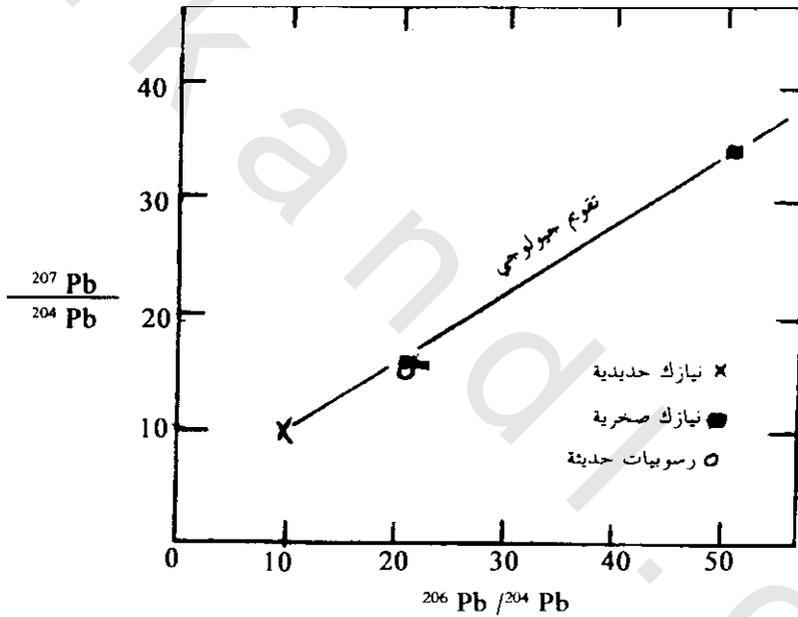
$$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}، \frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}. \text{ حيث أن الطريقة نوعا ما معقدة لذلك يعطى هنا ملخص موجز.}$$

فى بداية الأرض، كان الرصاص الموجود طبيعيا له كميات معينة من ^{208}Pb ، ^{207}Pb ، ^{206}Pb ، ^{204}Pb وبمرور الزمن الجيولوجى فإن كمية الرصاص ^{204}Pb (مولد غير إشعاعى) يجب بقاءه غير متحول بينما الثلاثة الأخرى يجب أن تزداد بسبب تفتت اليورانيوم والثوريوم. تشير المقارنة الحقيقية للمكونات النظائرية لمعدن الرصاص (مثل الجالينا) لأزمنة مختلفة إلى أن ^{206}Pb ، ^{207}Pb ، ^{208}Pb تزيد فى الحقيقة بكميات مع الزمن. بمجرد تحديد معدل الزيادة كليا فإنه يمكن استكمال الاستقراء لعمر الأرض، حيث تعطى هذه العملية فى الحقيقة نتائج غير مؤكدة لأن الكميات الأصلية لـ ^{206}Pb ، ^{207}Pb ، ^{208}Pb الموجودة عند زمن مولد الأرض غير معروفة. للتغلب على هذه الصعوبة، وضع افتراض أن الأرض والكوكب النيوزكى سلفها ولدا عند قرب نفس الزمن. وحيث أن نيازك معينة، خاصة طور معدن كبريت الحديد FeS الموجود بكميات صغيرة فى أغلب جميع النيازك لنيازك الحديد، يحتوى على نسبة معينة من الرصاص ونسب مهمة لليورانيوم والثوريوم، لذلك يمكن ملاحظة نسب النظائر للرصاص على أنها غير متغيرة منذ تكون النيازك.

أول إقرار لأعمار النيازك تم بواسطة باترسون Patterson 1956 من دراسة مكونات نظير رصاص في نيزك تروليت (FeS) في ثلاث أحجار ونيازكين حديدين. يدل شكل (9-3) على العلاقة بين نسب $\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$ ،

هي خط مستقيم والذي يتفق مع الفروض بأن النيازك لها تقريبا نفس العمر حيث تحتوى أصلا على $\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$

رصاص بسيط من نفس تكوين النظير. أيضا أوضح باترسون Patterson باستخدام كثرة نظير الرصاص في رسوبيات المحيطات (لأنها تحتوى على رصاص أرضي) أنها تلائم تساوى عمر النيزك خلال تجارب الأخطاء. هذا الإستنتاج أمد بأن عمر الرض متساوى نسبيا كعمر النيازك، والذي قدره باترسون Patterson بـ 70 ± 4550 مليون سنة، وأن نسبة الرصاص-النظير ثابتة في نيزك تروليت والممكن استخدامه كنسبة الرصاص-النظير في بداية الأرض. استخدمت تقنيات متقدمة لقيم أكثر حداثة حيث دلت على أن تقدير عمر الأرض تقترب من 4600 مليون سنة. وقد أعطت التحديدات المطلقة لعمر أحجار النيازك و عدة عينات قمرية نفس القيم.



شكل (9-3): دورة زمن الرصاص لنيزيكات ورسوبيات محيطية حديثة تحتوى على رصاص أرضي. يدل ميل دورة الزمن على عمر عام حوالى 4550 مليون سنة للنيزيكات والرصاص الأرضي (بارسون Patterson 1956)

4.5.9 تاريخ تتبع الإشطار :Fission-Track Dating

طريقة يورانيوم أخرى للتأريخ على أساس الإشطار اللحظي لـ ^{238}U في المعادن والزجاجيات، فعندما تنتقل الجزيئات الناتجة من الإشطار خلال وسط فإنها تترك تسجيل أثر المسارات والتي تكبر بواسطة الحفر. يكون عدد أثر المسارات لكل وحدة مساحة دالة لعمر العينة وتركيز اليورانيوم بها، وإمدادها لايعيد تسخينها مؤخرا منذ تبريدها لأصلى. تستخدم هذه الطريقة الآن بتوسع لتأريخ معادن مختلفة مثل المايكا، أباتيت، أبيدوت – سفين والزيرون. بالإضافة، يمكن استخدامها لتأريخ النترات القمرية، وزجاجيات بركانية وبعض المشاريع الأثرية.

5.5.9 طرق الكربون المشع والترتيوم و Radiocarbon and Tritium Methods:

وضع أساس هذه الطرق على إشعاعات النظائر، والتي لها اقصر عمر، ولكن توجد فى الطبيعة لأنها ذات إنتاج مستمر بواسطة العمليات الطبيعية.

من أكبر أهميتها إنتاج الكربون المشع ^{14}C فى أعلى الغلاف الجوى بواسطة تصادمات الأشعة الكونية (cosmic-ray) بـ ^{12}N . ^{14}C مشع بنصف عمر زمنى حوالى 5730 سنة، ويمتزج مبكرا مع الغلاف الجوى العادى وكربون المحيطات (^{12}C ، ^{13}C) ويؤخذ بواسطة النباتات والكاننات العضوية الحية الأخرى. بعد موت الكائنات العضوية، يقف تبادل الكربون مع الغلاف الجوى وتنقطع امدادات ^{14}C . بعد ذلك يتحلل ^{14}C عند معادلة المميز، ويحسب عمر الكربون المشع من كثرة نسبة ^{14}C فى عينات الحفريات إلى كثرة ^{14}C فى مواد حيه مشابهة.

$$\frac{{}^{14}\text{C} \text{ (مواد حفرية)}}{{}^{14}\text{C} \text{ (مواد حية)}} = e^{-\lambda t} \quad (9-11)$$

يجب أن تكون العينات المستخدمة لتأريخ الكربون المشع فرضية بحيث تكون الحالة التى عندها ^{14}C الموجود الآن نفس الكربون الموجود فى المادة عند وقت موتها، وقد وضع ليبي Libby 1955 الافتراضات الشاملة وتقنيات القياسات لهذه الطريقة. ولأن عمر ^{14}C قصيره لذلك لا يمكن استخدامه لتأريخ أكثر من 30,000 سنة مضت، وايضا تقيد هذه الطريقة لدراسة الأحداث الجيولوجية الحديثة بتوسع، ولكن تستخدم أساسا لتأريخ مواد نباتية. الجزء الخاص من هذه الطريقة هو تأريخ أصداف المولاسكا Molluska فى شواطئ ما قبل ترسيب الجليد والذى يستخدم لتحديد مدى حركة سطح الأرض الراسية. ايضا نجحت هذه الطريقة لتأريخ ثلج الثلجات من كتل ثلجية عائمة فى جرين لاند Green Land. وحيث أن ثلج الثلجات يحتوى على فقائيع من هواء غلاف جوى محصورة عند زمن تكوين الثلج، لذلك فإن تأريخ ^{14}C لفقائيع محتوية على ثانى أكسيد الكربون يعطى عمر الثلج.

ينتج أيضا الترييوم (نظير الهيدروجين المشع (^3H)) فى أعلى الغلاف الجوى كنتيجة لنشاط الأشعة الكونية، ونصف عمره الزمنى حوالى 12.5 سنة، فحتى فى هذا الزمن يمتزج الترييوم بسرعة مع مخزن الهيدروجين النشط للأرض. وتحفظ دورات المياه نشاط الترييوم بواسطة الإضافة المستمرة والخلط للمطر. فى الماء المعزول، يتحلل محتوى الترييوم أسيا. تفتح هذه الطريقة إمكانية دراسة دورة الماء عبر القارات والمحيطات وتحديد خواص المياه التحت أرضية بالمقابل لمعدل العمر وإعادة شحنها. تحققت هذه الإمكانية بواسطة ليبي Libby 1951 والذى قام بعمل قياسات واسعة لمحتويات ^3H لمياه مختلفة. لسوء الحظ، يكون للترييوم المنتج من تفجيرات نووية حرارية عدم منفعة فى الدراسات الجيولوجية. فقط فى المناطق التى سبق قذف مستوياتها طبيعيا بـ ^3H ومازالت موجودة لليوم هى المياه القديمة العميقة على القارات أو فى أعماق المحيطات والتي لم تتأثر بواسطة نشاط الإنسان العائد إلى هجرة المياه.

6.9 مقياس تأريخ المياه الظاهرية Phanerozoic Time Scale:

يلخص هنا إشتراك التأريخ الإشعاعي لتوطيد مقياس التأريخ الجيولوجي مع العصور المطلقة. قبل ورود طرق التأريخ الإشعاعي، قورنت عصور التكوينات الجيولوجية في مناطق مختلفة من العالم باستخدام الحفريات المرشدة المحفوظة في الطبقات الرسوبية. إمتد السجل الحفري فقط، مع استثناء لمدى محدد جدا للحفريات الدقيقة لغاية زمن الكمبري الأولى، مغطية بذلك حقب الحياة الظاهرة لحوالي 600 مليون سنة.

عملت أولا محاولات لانتساب هذه العصور لمقياس الزمن الاستراتيجي من زمن العصور المطلقة الملائمة. لسوء الحظ، أمكن مباشرة تأريخ صخور رسوبية قليلة ومعادن قليلة موجودة فيها بواسطة الطرق الإشعاعية، تم أغلب التحديدات الحسنة للعصور على بلورات حصل عليها من بيجماتيتات موجودة حول حافات لأجسام كبيرة متداخلة. في أغلب الحالات تقطع صخور البيجماتيت أو النارية تكوينات الرسوبيات القديمة والتي تغطي بعد ذلك بواسطة تكوينات رسوبية حديثة، وهكذا أي عمر يحصل عليه يقع في مكان ما في الفجوة بين التكوينين لتتابع رسوبي. في الأعوام الحديثة، أدت تكرارات في طرق التأريخ الإشعاعي لتقديرات لبدائية ودوام تقسيمات مختلفة للزمن الجيولوجي.

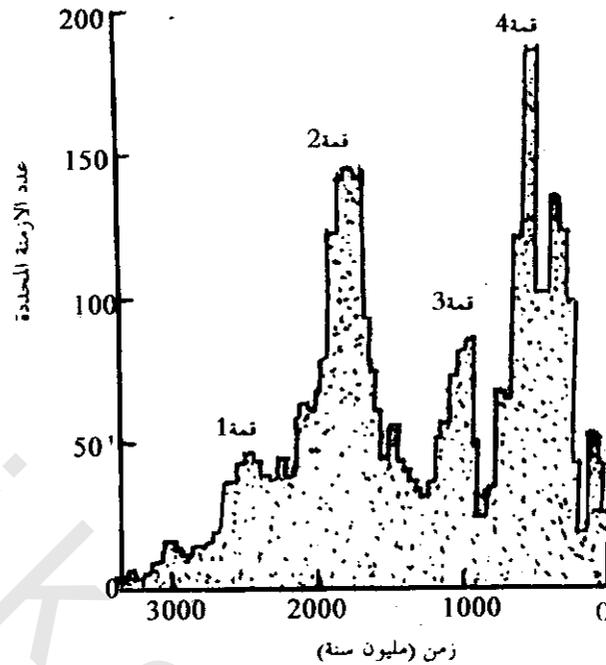
7.9 تحديد أزمنة وتسلسل البريكامبري Precambrian Chronology:

معروف ان عمر البريكامبري 400 مليون سنة ويمثل 87% من عمر الأرض الذي نعرفه الآن. بالتأكيد كان تأريخ أحداث صخور البريكامبري (أقدم من 600 مليون سنة) واحدة من المشاركات الكبيرة لعلم تحديد الأزمنة الإشعاعية. مثل هذه البيانات كونت قاعدة تقسيم مناطق دروع البريكامبري للقارات إلى مناطق كل منها يتميز بواسطة نشاط تكتوني.

من بيانات Ar-K تأريخ صخور البريكامبري عبر كل الدرع الكندي. من هذه البيانات وجد ستوكويل Stokwell 1972 أربع مجموعات كبيرة للتأريخ والتي عرفها كأعمار أصلية، جرنفليان Grenvillian (1070 مليون سنة) - إلسونيان Elsonian (1370 مليون سنة)، هودسونيان Hudsonian (1850 مليون سنة)، كينوران Keonran (2700 مليون سنة). على هذه القاعدة قسم الدرع الكندي إلى مناطق تركيبية والتي تتفق بتوسع مع المناطق العصرية.

وضح ديرنلي Dearnely 1966 بأنه إذا عمل مخطط توزيع التواتر (هستوجرام) لجميع الأعمار الممكنة التحديد، فإنه يوجد ثلاث قمم (شكل 9-4) تبعا للنشاط التكتوني بداية من أعمار حوالي 2700 مليون سنة، 1900 م. سنة، 1000 م. سنة.

في كل قارة، ماعدا انتراكنا كان من الأهمية بمكان تعريف صخور عاشت بعد غيرها زمن كبير من الزمن (2000 مليون سنة) بدون تحول متأخر. قادت هذه المعرفة للتمعن على أن هذه المناطق الصغيرة ذات الصخور الأقدم تكون النواة التي نمت حولها القارات مع الوقت.



شكل (9-4): تواتر (هستوجرامات) مترددة لأزمنة محددة لصخور نارية و متحولة. حدوث ثلاث قمم للبريكامبرى تبعا للنشاط التكتوني البادى منذ حوالي 2700، 1900، و 1000 مليون سنة (ديرنلى 1966 Dearnley)

8.9 نظائر الأوكسجين والمناخات القديمة Oxygen Isotopes and Paleoclimates

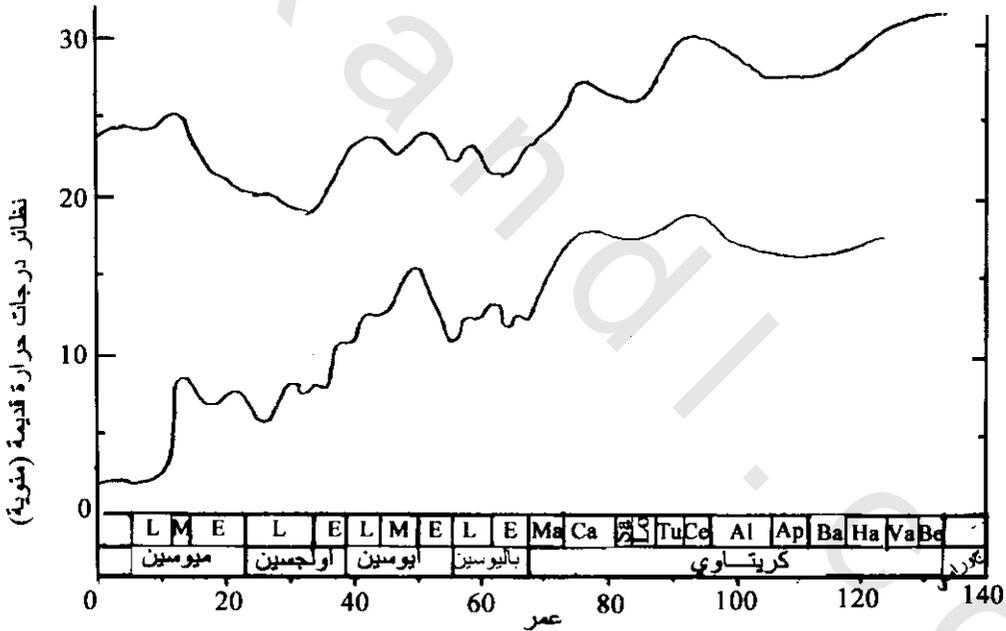
يكون لدراسة علم المناخ القديم جذور عميقة فى الجيولوجيا وفى العشر سنوات الحديثة وجدت مطبوعات مجمعة لبيانات دالة على المناخات القديمة المختلفة. أغلب هذه الأدلة تقدير كمى لظواهر مناخية قديمة هى درجات الحرارة القديمة المشتقة من تحليلات نظائر الأوكسجين فى أهداف الحفريات لعضويات بحرية معينة. تعتمد نسبة $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ فى أهداف الفورامينفرا البحرية والقاعية على درجة حرارة التكوين والنظائر المكونة للمياه المحيطية. المعادلة المستخدمة لحساب درجة الحرارة القديمة (T) من مكونات نظير الأوكسجين هى حيث δ مقياس الانحراف فى كل ميل (%) لنسبة $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ من المعيار (النموذج)، A الانحراف لكل ميل لماء المحيط من نفس المعيار.

$$T = 16.5 \bar{n} 4.3 (\delta - A) + 0.14 (\delta - A)^2 \quad (9-12)$$

قام ايميليانى 1955 Emiliani بأول دراسات تفضيلية على عينات بحار عميقة من محيطى الباسيفيى والأطلنطى وبحر الكاريبى، والذى قدر اختلافات درجات الحرارة لعمق المحيط عبر 300,000 سنة مضت. دلت تحليلات اختلافات درجات الحرارة على أن موجات المناخ المسؤولة لفترة البلايستوسين الجليدية كانت ظاهرة عالمية الإتساع. أيضا تمت دراسات نظائر درجات الحرارة القديمة لفرومينفرا الترياسى والكريتاوى وذلك بإمكانية أعداد كبيرة من عينات لوبيه لمشاريع حفر بحرى عميق من قاع المحيطات لمواقع مختلفة. دلت منحنيات درجات الحرارة شكل (9-5) للمحيط الباسيفيى الإستوائى على بداية التبريد العام لمياه المحيط منذ الكريتاوى الأوسط، مع موجات شديدة فى درجات حرارة سطح وقاع المياه فى الأيوسين-أولجوسين والميوسين

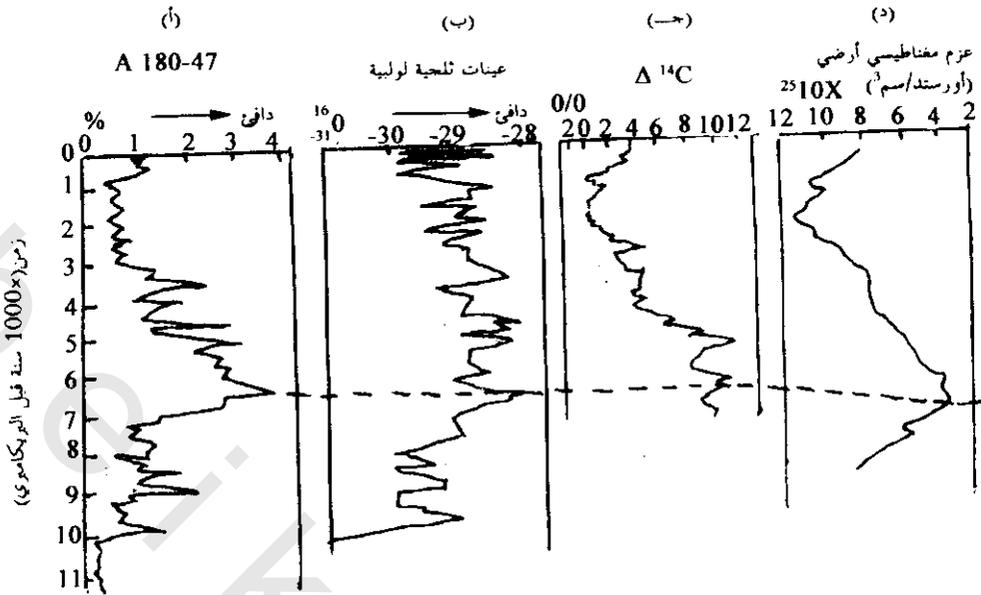
الأوسط حدثت درجات الحرارة العالية لقاع مياه الترياسى حول 14° خلال زمن الأيوسين، وقورنت هذه مع درجات الحرارة النموذجية لقاع المياه (1°-2°) في المحيطات الحديثة. كدلالة لإنحراف درجة الحرارة السريع، فإن تغير المناخ العالمى الهام حدث خلال الميوسين المتوسط، وهذا يدل على بداية أكبر مقياس زمنى للفترة الجليدية لقارة انتركتكا Antarctica.

ايضا استخدم تركيز ^{18}O فى ثلج الثلجات لدراسة تغير درجات الحرارة القديمة (دانسمار وآخرين 1973 Dansgaard et al). فى شكل (6-9) قورن منحنى درجات الحرارة النسبى الموضوع على تحليلات ^{18}O لعينات لوبيه لثلج جرين لاند Green land ومنحنى مناخ الفورامينفرا فى عينات لوبيه لرسوبيات بحرية عميقة من قرب جزر كاب فردى Cape Verde مع نشاط كربون الغلاف الجوى المشع وتغير شدة المناطيسية الأرضية. دل أمثل مناخ عند حوالى 6500 قبل البريكامبرى حيث من المحتمل أن تكون الذبذبات المتوترة فى ^{18}O لها علاقة مع التموجات فى الإشعاع الشمسى، والذى يسبب أيضا تبعا لذلك تغيرات فى تركيز ^{14}C للغلاف الجوى. ملحوظة، العلاقة اللافتة للنظر بين المناخ الدافى وزيادة نشاط الكربون المشع، يقابله نقص شدة المجال المغناطيسى الأرضى حول 6500 قبل البريكامبرى.



شكل (5-9): منحنيات درجات حرارة قديمة موضوعة على أساس تحليلات نظائر الأوكسجين للحفريات الدقيقة من مواقع مشروع حفر بحرى عميق. المنحنى العلوى يمثل أحسن تقدير لدرجات حرارة الماء السطحية مشتقة من فورومينفرا البلاكتون وكوكولثس (أجسام دقيقة من قاع المحيط (سافن 1977 Savin)). يدل المنحنى السفلى على درجات حرارة قاع الماء موضوع على أساس فورومينفراينتك (خاص بالأحياء المائية العميقة) (دوجلاس، وودرف Woodruff 1981).

Woodruff 1981



شكل (9-6): مقارنة بين منحنى مناخ فورامينفرالى فى (أ) عينة بحرية عميقة لوبيه (A180-47)، (ب) مناخ منحنى نظير الأوكسجين فى عينة ثلجية لوبيه من جرين لاند (Green land، ج) التغير فى نشاط الإشعاع الكربونى الجوى، (د) التغيرات فى شدة المغناطيسية الأرضية (ولن وآخرين 1971 Wollin et al)

9.9 المسح الإشعاعى Radioactivity Surveying

أصبحت طرق التنقيب الإشعاعى هامة فى العشر سنوات الحديثة، ليس فقط لنمو الإحتياج لليورانيوم ولكن أيضا لتحديد مواقع المعادن وأجسام الخامات المصاحبة له. غالبا، يمكن أيضا استخدام الطرق بتميز فى الإستقصاء الجيولوجى والتركيبى.

ذكر سابقا أن البحث الجيوفيزيائى للعناصر المشعة فى قشرة الأرض تشمل أولا تحديد مواقع مناطق لشادات عالية لأشعة γ ، هذا لأن إشعاعات α ، β أقل كثيرا نسبيا للاختراق، ولاكتشف بمجرد أن تعطى الرسوبيات الإشعاعية بقليل من السنتمرات. الآتى شرح أولى ومختصر جدا للموضوع.

1.9.9 الأجهزة وطريقة الحقل Instruments and Field Procedure

من الأنواع الكثيرة المصممة للاستعمال الحقلى لإكتشاف الإشعاع، كلا من عداد جيجر والومضات التى تكون أكثر ملاءمة لعمل الإستكشاف.

يتكون عداد جيجر من أنبوبة زجاجية عازلة بكاثود اسطوانى حول سلك رفيع مركزى (أنون). الأنبوبة مملوءة بغاز (عادة أرجون مع كمية صغيرة من الكحول) ويطبق جهد على بين الأقطاب. عادة يكون الغاز غير موصل، ولكن عندما تمر أشعة بها خلال الغاز بتأين، وتعمل الأيونات والإلكترونات المنتجة فى إتجاه الأقطاب. ويمكن تكبير نبضات التيار الناتج وتسجل على مقياس أو تسمع "تكتكه" فى زوج من السماعات. يعمل الجهاز كمعدل قياس باستخدام دائرة كهربية ملائمة، حيث يقرأ معدل النبض فى تعداد لكل دقيقة. فى مقارنة لجزيئات α ، β ، فإن إشعاعات γ تكون ضعيفة التأين جدا. ولذلك فإن كفاءة إكتشاف أشعة γ بعداد جيجر منخفضة جدا.

العداد الوميضى أكثر الأنواع كفاءة للكشف، حيث ينتفع بالحقيقة أن بلورات معينة مثل تاليوم يشع أيوديد الصوديوم النشط الذى يبيت بريق ضوئى مرئى (ومضات) عندما يمتص أشعة γ . يمكن إكتشاف الوميض بواسطة أنابيب تعدد الضوء، وبعد تكبير ملائم يمكن قراءة شدة الوميض مقياس العد لكل دقيقة.

لأن كفاءة إكتشاف العداد الوميضى كبيرة جدا (غالبا 100% لاكتشاف اشعاع γ) لذلك يستخدم لحل كثير من الحالات بدلا من عداد جيجر فى الأعمال الحديثة. فى هذه الأيام غالبا تستخدم عدادات الوميض باتساع فى المسح بالطائرة لقياس سطح الإشعاع من الهواء. صممت أكثر كشافات الوميض حديثة للتفريق بين العدد الوميضى لإشعاعات γ من طاقات مختلفة، مثال لهذا، فإن لها القدرة للتمييز بين رسوبيات اليورانيوم والثوريوم.

يعمل المسح الأرضى الإشعاعى بواسطة السير على طول خطوط والكاشف ممسوك على ارتفاع حوالى نصف متر من سطح الأرض. إذا وجد دليل لتواجد إشعاع فى أى منطقة، تعمل قياسات تفصيلية فى نموذج شبكى لمسافات أمتار قليلة مقللة. إذا سجل الكاشف مدى عد عدة مرات أكبر من "الخلفية" فهذا يدل على رسوبيات إشعاعية. يعود تأثير الخلفية اساسا للإشعاع الكونى والبوتاسيوم والذى يكثر نسبيا فى صخور الجرانيت. ربما يعطى منكشف لسد بيجميتيت بمحتوى عالى للبتواسيوم-للفلدسبار مدى عد كراسب يورانيوم أقل من ثلث متر تحت الأرض، وباستخدام عداد ووميضى يمكن التفريق بينهم. قياسات الإسبكترومتر تجعل لأشعة γ إمكانية التمييز بين النشاطات الإشعاعية لمناطق مختلفة ولهذا يمكن القول عن اليورانيوم والثوريوم فى مكان المسح.

غالبا ما يصاحب عملية مسح الطيران الإشعاعى مسح طيران مغناطيسى وكهرومغناطيسى للتقريب المعدنى. يستخدم عدد من حساسات وميضية كبيرة، بتقارن فى ترتيب ملائم، لتعزيز حساسية الكشف لوحدة العد، ويسجل العد أتوماتيكيا على شريط الورق المتحرك. عادة لايزيد ارتفاع الطيران فوق سطح الأرض عن 100 متر، ويفضل أقل إذا كان المطلوب منكشفات حاوية ليورانيوم قليل جدا قام بمبرتون 1970 Pemberton ودارنلى 1972 Darnley بإعطاء مقالات تدريبية عن مسح الطيران الإشعاعى.

10.9 أمثلة للمسوحات الإشعاعية Examples of Radioactivity Surveys

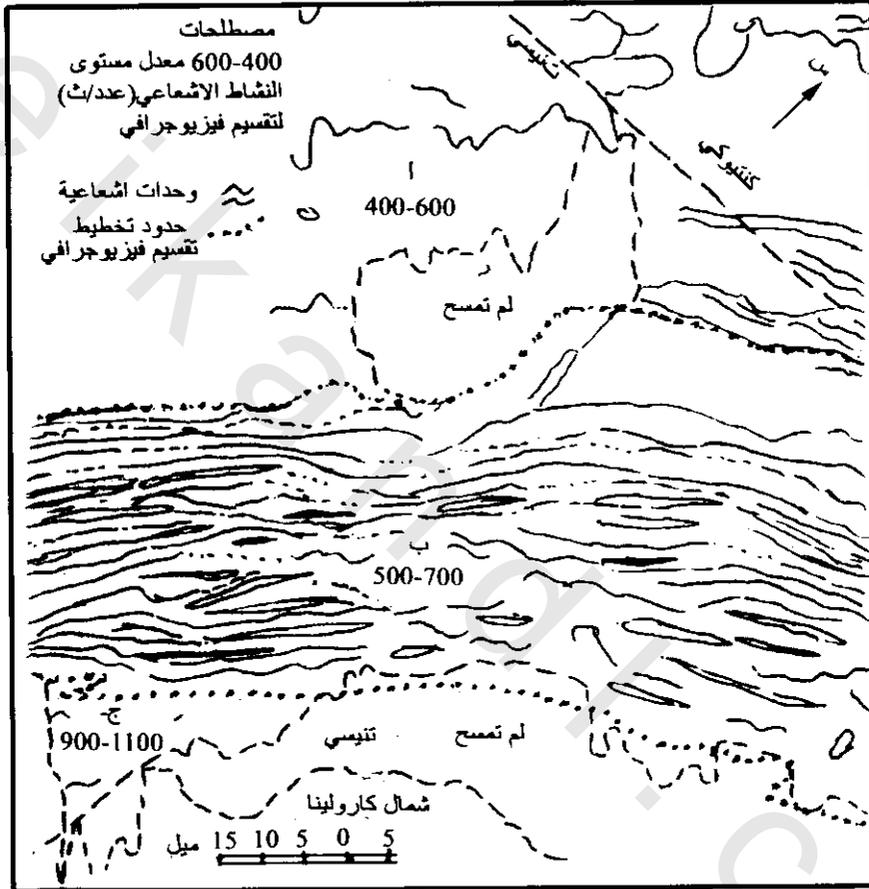
المسوحات الإشعاعية أداة نافعة جدا فى التخريط الجيولوجى والبرامج الأستكشافية. لتوضيح هذه المنافع يعطى مثالين:

المثال الأول:

يوضح شكل (7-9) المأخوذ من مقالة باتس 1966 Bates خريطة إشعاعية لمنطقة ينيس كينتيوكى Tennessee-Kentucky بالولايات المتحدة U.S. أهم ظاهرة ملحوظة للخريطة هى مناطق (أ، ب، ج) بنماذج ومستويات مختلفة للأشعة. تتفق هذه المناطق الثلاث تقريبا مع حدود ثلاث تقسيمات فرعية لتضاريس طوبغرافية مدروسة وموصوفة (فيزيوجرافى). المنطقة (ب) لها متوسط مستوى إشعاعى كلى مع نموذج خطى إشعاعى قوى. فى عدة حالات تحيط بدقة أحزمة مستويات إشعاعية خطية عالية أثار فوالق دسر (دفع). حدد بدقة الحد بين منطقتى ب، ج بواسطة ارتفاع حاد فى مستوى الإشعاع لطبقة النتوء الأزرق (بلورد Blue Ridge).

المثال الثاني:

تداخل البيموسا Ilimaussag القلوى في هضبة كفانيفجلد Kvanefjeld بجنوب جرين لاند Greenland. أشار سورنس وآخرين Srensen et al 1969 لوجود تركيز عالي لليورانيوم والثوريوم في ليوجافريتس Lujavrites* بأقصى شمال منطقة التداخل، حيث يكون ليوجافريتس في تماس مباشر مع سطح الصخور. يصاحب ستينستروبين Steenstrupine** (يورانيوم كثير التغير مع مونايزيت وثوريت) أغلب شدة تمعدن اليورانيوم والثوريوم. يرى شكل (8-9) نتائج بأبعاد قياسات لشبكة أبعاد 1 متر بسببتر ومتر.



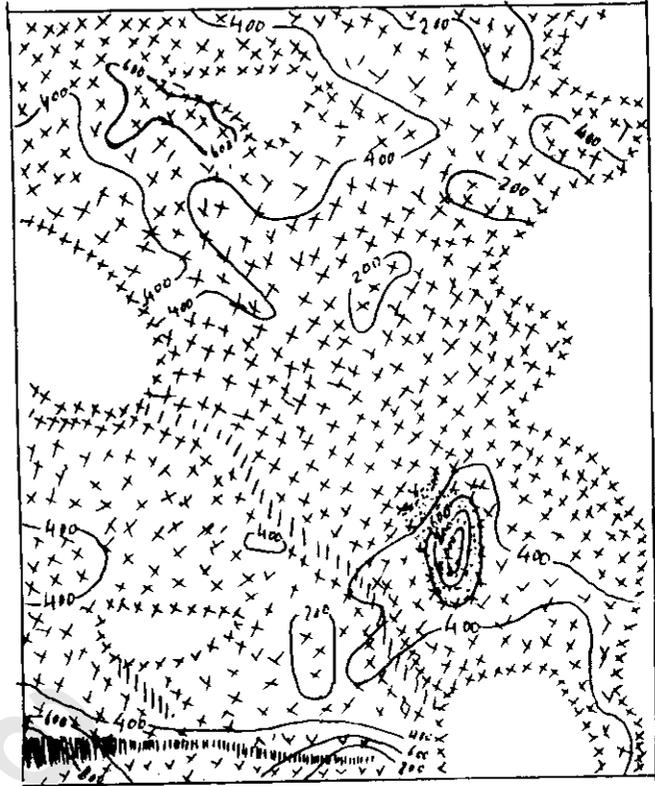
شكل (7-9): خريطة إشعاعية لشرق تينيس كوينتولي بالولايات المتحدة U.S، Tennessee and Kentucky ميزت ثلاث مناطق إشعاعية بواسطة معدل مستويات إشعاعية ونموذج واضح، وحدود التقسيمات الفيزيوجرافية. (أ) هضبة كمبرلاند (Cumberland، ب) منطقة وديان وتنوعات، (ج) منطقة النتوء الأزرق (بلوردج Blue Ridge) (باتس Bates 1966)

أشعة γ المحمول (لوفبرج 1972 Lovberg). توجد مقارنة جيدة بين كنتور الإشعاع والليثولوجي، ويوضح المثال ميزة فحص اليورانيوم والثوريوم في المكان، خاصة في حالات حقلية صعبة.

* حبيبات خشنة من تركيبة ورايوليت حاملة نغيل ساينيت.

** معدن بني غامق إلى أسود، معدن سداسي $(Ce, La, Na, Mn)_6(Si, P)_6O_{18}(OH)$

- مفتاح المصطلحات
- جيوب ليو جافريت (متوسطة - خشنة) 
 - تداخل برجنبيت preagpaitic 
 - عرق البيت - انلكيم analcime مع ستينستريون 
 - عرق البيت - انلكيم analcime بدون ستينستريون 
- 400 س خط كنتوري (PP m u)
- 5 4 3 2 1 0



شکل (8-9): خطوط كنتورية لتركيزات يورانيوم (ppm) مركبة على خريطة جيولوجية لتمعدن المنطقة في تداخل ليمايوساك Greenland جنوب جرين لاند