

الصخر أو الفلز	تصحیحة الكثافة $\Delta\rho [g/cm^3]$	الصخر أو الفلز	تصحیحة الكثافة $\Delta\rho [g/cm^3]$
النفط	-0.10	غارناتيت	-0.04
الماء	-0.12	كوارتز	+0.01
الفحم البني	-0.06	كبريتات الباريوم	+0.48
الفحم الحجري	-0.05	غرانيت	+0.04
الصخر الرملي	± 0.00	بيغماتيت	+0.05
الفضار	± 0.001	دياباز	+0.03
المارل	± 0.01	بيريت	+0.17
صخور كلسية	± 0.00	مغنيتيت	+0.27
دولوميت	+0.01	هيماتيت	+0.27
أنهدريت	± 0.00	ليمونيت	+0.09
جبس	-0.05	خام النحاس	+0.19
ملح صخري	+0.09	رصاص مشع Bleiglanz	+1.35

جدول ٢-٥ : يقدم لنا التصحيحات الليتولوجية من أجل حساب الكثافة الحقيقية باستخدام قياس غاما - غاما .

الفصل الخامس

قياس الكثافة - الليثولوجيا Litho-DensityLog (قياس غاما الاختياري)

مقدمة :

يعتبر قياس الكثافة - الليثولوجيا طريقة مطورة لقياس الكثافة المعوضة FDC . حيث من خلال هذا القياس يتم حساب أو تسجيل معامل التخماد الكهروضوئي (الفوتوني) P_e لأشعة غاما الواردة من المنبع إضافة إلى تسجيل الكثافة الطبيعية ρ_b . يمكن تحديد الفرق بين القياسين وفق التالي :

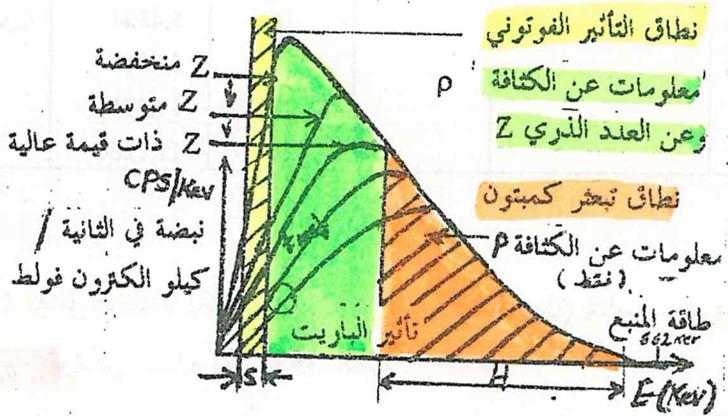
بالنسبة لقياس الكثافة نجد أن الجهاز يستجيب بالدرجة الأولى لمسامية الصخر وثانياً لكثافة الجزء الصلب من الصخر ولنوعية السائل الذي يملئ المسامات أما بالنسبة لقياس الكثافة - الليثولوجيا يحصل العكس حيث نجد أن الجهاز يستجيب بالدرجة الأولى للخصائص الليثولوجية للصخر ρ_{min} وثانياً للمسامية وللسوائل التي تملئ المسامات .

٢-٥-١ سابرة قياس الكثافة - الليثولوجيا (قياس الليثولوجية) :

من الناحية العملية والشكلية يمكن اعتبار سابرة قياس الليثولوجيا مشابهة لسابرة قياس الكثافة المعوضة FDC . أي أن هذه السابرة مؤلفة من وسادة أو مزلفة تحتوي ضمنها على منبع لأشعة غاما ولاقطين إشعاعيين . يتم ضغط المزلفة بقوة على حدار البئر من خلال نابض مربوط بذراع في الجهة الخلفية من السابرة . بعد أن يتم إنزال السابرة في البئر ، تقذف الصخور بأشعة غاما ذات الطاقة 662 كيلو إلكترون فولط عن طريق المنبع الإشعاعي ، هذه الأشعة المقذوفة تصطدم بالذرات المشكلة للصخور وتفقد نتيجة ذلك طاقتها بالتدرج وفي نهاية المطاف يتم إحتوائها كلياً من قبل النوى الذرية بفعل التأثير الكهروضوئي (Photo electric) . بعد مسافة محددة من المنبع وليكن اللاقط الإشعاعي البعيد ، وجد أن الطيف الطاقي قد بدا كما هو مبين في الشكل (٢-١٣) .

من الشكل السابق نجد أن عدد أشعة غاما في نطاق الطاقة العالية (منطقة تبعثر كمبتون) يتناسب عكساً مع الكثافة الإلكترونية للصخر . وهذا يعني أن كل تزايد في كثافة التشكيلية الصخرية سوف يؤدي إلى تناقص عدد أشعة غاما الملتقطة .

أما في نطاق التأثير الكهروضوئي PEE (بمجال الطاقة المنخفضة) نجد أن عدد أشعة غاما الملتقطة تتناسب عكسياً مع كلٍ من الكثافة الإلكترونية وخصائص الامتصاص الكهروضوئية Photo electric absorption. بإجراء المقارنة بين عدد الأشعة الملتقطة في كلا النطاقين نحصل على معامل الامتصاص الكهروضوئي P_e . إن الطيف الطاقي لأشعة غاما والمسجل بواسطة اللاقط الإشعاعي القريب، يفيد في إجراء تصحيح قياس الكثافة التي نحصل عليها بواسطة اللاقط البعيد وذلك بسبب حذف تأثير كلٍ من كعكة الحفر وحفرة البئر غير المنتظمة.



شكل ٢-١٣ : التغييرات الطيفية الطاقية الناتجة عن تشكيلة صخرية ذات كثافة ثابتة مع تغير العدد الذري (Z) شلوميرجير 1989

٢-٥-٢ للتخامد أو الامتصاص الكهروضوئي Photoelectric Absorption :

في مجال الفيزياء النووية فإن مقطع التصادم (Cross Section) يُعرّف على أنه قياس لإمكانية تفاعل نوري ما بين زوج من النوى أو ما بين جزيء والكاتون يحصل نتيجة أن يحمل أحد مكان الآخر أو يُحتوى فيه وذلك تحت الشروط النوعية. وعادة ما يعبر عن ذلك بالمقطع الفعال للجزيء أو الإلكترون والذي يمثل مساحة السطح أو المقطع الذي يستقبل من خلاله الجزيئات الواردة إليه (فوتونات غاما مثلاً). الجدول (٢-٦) يعرض لنا قيمة مقطع التصادم الكهروضوئي بوحدة البارن/ذرة (بارن = 10^{-24} cm^2) لعدد من العناصر والتي كلفت بأشعة غاما ذات الطاقة المنخفضة ويقدم أيضاً العدد الذري Z لكل عنصر من العناصر المعروضة.

تصبح التلكه وتطراست ودمر الانظام
Spine & Ribs
الخيار الباطن
الخيار الباطن

P_e P_e

العدد الذري Ze	مقطع التصادم الفوتوني [barn]	اسم العنصر	العدد الذري Ze	مقطع التصادم الفوتوني [barn]	اسم العنصر
22	17,0890	تيتانيوم	1	0,00025	هيدروجين
26	31,1860	حديد	6	0,15898	كربون
29	46,2000	نحاس	8	0,44784	أكسجين
38	122,2400	سترونتيوم Sr	11	1,4093	صوديوم
40	147,0300	زيركونيوم	12	1,9277	منغنيزيوم
56	493,7200	باريوم	13	2,5715	ألنيوم
			14	3,3579	سيليكون
			16	5,4304	كبريت (سلفور)
			17	6,7549	كلور Cl
			19	10,0810	بوتاسيوم K
			20	12,1260	كالسيوم

لاحظ ان عدد باد المقطع مع تزايد العدد الذري

جدول ٦-٢

إن معامل التصادم الكهروضوئي P_e (بارن/ الكترون) يتناسب طردياً مع العدد الذري للعنصر Z ويمكن حسابه وفق العلاقة التالية :

$$P_e = \left(\frac{Z^{3,6}}{10} \right) \quad ١٤-٢$$

من أجل جزئية مؤلف من عدد من الذرات المختلفة فإن معامل مقطع التصادم الامتصاصي الكهروضوئي P_e يمكن أن يحسب وفقاً للتركيب الجزئي وفق العلاقة (١٥-٢) :

$$P_e = \frac{\sum A_i Z_i P_i}{\sum A_i Z_i} \quad ١٥-٢$$

حيث إن A_i عدد ذرات كل عنصر في الجزئية أو المركب .

من خلال الجدول (٧-٢) نجد أنه لا يظهر بشكل واضح عدم الارتباط النسبي ما بين مقطع التصادم P_e والمسامية ϕ من جهة والسوائل التي تشبع بها هذه المسامات . للتأكد من عدم الارتباط النسبي هذا يتم التعبير عن معامل الامتصاص الكهروضوئي بوحدة الحجم عوضاً عن الألكترون وذلك من خلال العلاقة التالية :

$$U = P_e \cdot \rho_a \quad ١٦-٢$$

$$U = P_e \cdot \rho_a \left[\frac{\text{بـارن}}{\text{الكترون}} \right] \cdot \rho_a \left[\frac{\text{الكترون}}{\text{cm}^3} \right]$$

$$U = P_e \cdot \rho_a \left[\frac{\text{بـارن}}{\text{cm}^3} \right] \cdot \rho_a$$

جدول ٧-٢: يقدم لنا قيمة P_e للعديد من الصخور الخزنة، فلزات معدنية والسوائل التي تصادف في الحقول النفطية .

اسم المادة	الصفة الكيميائية	الوزن الجزيئي	معامل الامتصاص P_e	الكثافة الكلية P_b	الكثافة الظاهرية P_a	U بارن/cm ³
الفلزات						
أنهدريت	CaSO ₃	136,146	5,055	2,960	2,957	14,95
باريت	BaSO ₄	233,366	266,800	4,500	4,011	1070,00
كالكسيت	CaCO ₃	100,090	5,084	2,710	2,708	13,77
كارناليت	KCl - MgCl ₂ - 6H ₂ O	277,880	4,089	1,610	1,645	6,73
كالستيت	SrSO ₄	183,696	55,130	3,960	3,708	204,00
كورندوم	Al ₂ O ₃	101,900	1,550	3,970	3,894	6,04
مولوميت	CaCO ₃ , MgCO ₃	184,420	3,142	2,850	2,864	9,00
جيس	CaSO ₄ - 2H ₂ O	172,180	3,420	2,320	2,372	8,11
ملح صخري (هاليت)	NaCl	58,450	4,650	2,165	2,074	9,65
هماتيت	Fe ₂ O ₃	159,700	21,480	5,210	4,987	107,00
المنيث	FeO - TiO ₂	151,750	16,630	4,700	4,460	74,20
مغنيزيت	MgCO ₃	84,330	0,829	3,037	3,025	2,51
مفتيت	Fe ₃ O ₄	231,550	22,080	5,180	4,922	109,00
ماركزيت	FeS ₂	119,980	16,970	4,870	4,708	79,90
بيريت	FeS ₂	199,980	16,970	5,000	4,834	82,00
كوارتز	SiO ₂	60,090	1,806	2,654	2,650	4,79
روتل	TiO ₂	79,900	10,080	4,260	4,052	40,80
سيلفيت	KCl	74,557	8,510	1,984	1,916	16,30
زيرفون	ZrSiO ₄	183,3101	69,100	4,560	4,279	296,00
السوائل						
ماء	H ₂ O	18,016	0,358	1,000	1,110	0,40
ماء ملح	(120,000ppm)		0,807	1,086	1,185	0,96
نفط	CH _{1,6}		0,119	0,850	0,948	0,11
	CH ₂		0,125	0,850	0,970	0,12
مفتوحات						
صخر رملي ثقيل			1,745	2,308	2,330	4,07
صخر رملي ملوث			2,700	2,394	2,414	6,52
غضار وسطى			3,420	2,650	2,645	9,05
انتراسيت	C:H:O -		0,161	1,700	1,749	0,28
فحم	93:3:4					
ببتومين	C:H:O -		0,180	1,400	1,468	0,26
فحم من ذرة قمح	82:5:13					

التصادم الكهرضوئي

بما أن معامل p_e يقاس بوحدة بارن/إلكترون و p_e إلكترون/ cm^3 وبذلك نجد أن القيمة U تقاس بوحدة $barn/cm^3$. إن العامل U الجديد يمكن حسابه لمزيج حجمي مؤلف من عناصر مختلفة تؤلف التشكيلة الصخرية وذلك باستخدام معادلة المتوسط الوزني البسيطة التالية **Simple Weighted average manner**:

$$U = \phi U_f + (1 - \phi) U_{ma}$$

Capture photo electric Unit

حيث إن U_{ma} , U_f , U تمثل معامل التصادم الامتصاصي الكهرضوئي لكل من المركب الصخري وسائل المسامات والجزء الصلب من الصخر على التوالي. إن جميع هذه المعاملات تقاس بوحدة $barn/cm^3$.

إن الانتقال من الاستجابة للصخر المتعدد الفلزات U والتي تحسب بالعلاقة (٢-١٧) إلى العامل P_e يقدم لنا الاستجابة التي يمكن أن نراها في اللوحة CP-16 وذلك عندما تقاطع القيمة P_e مع الكثافة الطبيعية للتشكيلة الصخرية (لاحظ القسم العملي).

٢-٥-٣ استجابة سايرة للقياس للكثافة - الليتولوجيا L-DT: Litho - Density Tool

تتميز سايرة القياس L-DT بأنها مؤلفة من مزجعة ونظام لاقط إشعاعي يسمح بالحصول على معدل نبضات Counting rates أكبر بكثير مما هو عليه بالنسبة لسايرة قياس الكثافة المعوضة FDC وعلى منحني قياس نحالي إلى حد كبير جداً من التغيرات الاحتمالية وعلى إمكانية عالية لإعادة القياس.

إن شكل وتركيب السايرة المذكورة قابل للتغير بحيث يمكن الحصول على قراءات للكثافة تكون فيها الاستجابة العمودية أكبر بكثير مما هي عليه في سايرة القياس FDC. وبهذا الشكل نجد أن قياسات P_e تستجيب بشكل جيد وفق الاتجاه الشاقولي، وهذا بدوره يسمح بالكشف عن التوضعات ذات السماكة القليلة والتي يمكن أن تتواجد ضمن التراكيب الصخرية. من أجل حذف تأثير كعكة الحفر وعدم انتظامية جدار البئر، فقد زودت سايرة القياس L-DT بالآلية نفسها التي زودت بها سايرة القياس FDC (Spine & rib).

الفصل السادس

طرائق النظائر المشعة The Isotope Methods :

إن استخدام ذرات العناصر المشعة المعروفة في القياسات البعيرة قد احتل في السنوات الأخيرة حيزاً هاماً وخاصة في مجال الصناعة النفطية . تعتمد هذه الطريقة على انحلال النظائر المشعة في سوائل الحفر أو في الخلطة الاسمنتية وحقنها ضمن البئر لفترة زمنية معينة ، بعدها يتم تفكك هذه النوى والتي يطلق عليها بالكواشف الإشعاعية مصدرة أشعة غاما التي يتم تسجيلها فيما بعد . إن الطريقة المذكورة يمكن تطبيقها بأشكال متعددة من أجل دراسة الصخور وأيضاً دراسة الحالة الفنية للبئر .

٢-٦-١ استخدام طرائق النظائر المشعة من أجل حل المشاكل الجيولوجية :

من خلال تطبيق طريقة النظائر المشعة (الكواشف المشعة) يمكن التوصل إلى حل المشاكل التالية وخاصة في الآبار النفطية :

- ١- تقسيم بروفيل القياس وفق الخصائص الخزنوية للصخور .
- ٢- تفسير كمي للخصائص الخزنوية لكل مسترٍ على حدة .
- ٣- الفصل بين النفط والماء وتحديد مستوى التقاء النفط بالماء.

٢-٦-٢ الحقن الأولي بسائل نشيط إشعاعياً :

بعد أن يتم الانتهاء من عملية الحفر، يتم حقن البئر مباشرة بسائل نشيط إشعاعياً وذلك بتطبيق ضغط عالي . هذا السائل سوف يتغلغل في الطبقات النفوذة التي تصبح بعدها غنية بالنظائر المشعة . إن كمية السائل الإشعاعي الذي يتم دخوله إلى الطبقة يتعلق بكل من المسامية الفعالة والنفوذية التابعة لكل طبقة من طبقات البئر . بعد عملية الحقن هذه يخضع البئر لعملية غسيل بصورة جيدة وذلك باستخدام سائل غير مشع وذلك من أجل إزالة ما تبقى من السائل المشع الذي تم حقنه ، وبعدها يتم إجراء قياس غاما الثاني أما القياس الأول فيتم قبل إجراء عملية الحقن ويطلق عليه بالقياس الاستنادي ومن خلال مقارنة القياسين يتم الحصول على المجالات النفوذة وذلك بشكل نوعي . حيث إن هذه المجالات أو الطبقات سوف تظهر

شدة إشعاعية عالية مقابل القياس الأول .

من مساوئ هذه الطريقة هو أن المحلول الإشعاعي يتم حقنه في الطبقات بعد أن يتم تشكيل كعكة الحفر التي تتشكل من حبيبات دقيقة وهذا ما يسبب حدوث أخطاء في تقدير المسامية للصخور الخازنة ، حيث تكون سماكة كعكة الحفر أكبر ما يمكن بسبب عملية الإرتشاح لسوائل الحفر ضمن هذه الطبقة (صعوبة الحصول كمياً على مسامية هذه الصخور).

٢-٦-٣ الحفر بسوائل مشعة :

من أجل التخلص من الظاهرة السابقة التي ذكرناها في الفقرة السابقة فإنه يتم الحفر بسائل حفر نشيط إشعاعياً وبهذه الحالة فإن راسح سائل الحفر المشع سوف يتغلغل بسبب عملية الحفر في الطبقات النفوذة ، وتصبح المنطقة المتاحة بكاملها نشيطة إشعاعياً وبالتالي فإن الفعالية الإشعاعية المسجلة سوف تكون تابعة لمسامية الصخور الخازنة بشكل مباشر . على الرغم من ذلك يبقى لكعكة الحفر تأثير صغير على المسامية المحسوبة لهذه الطبقات .

٢-٦-٤ تحديد مستوى التقاء النفط بالماء :

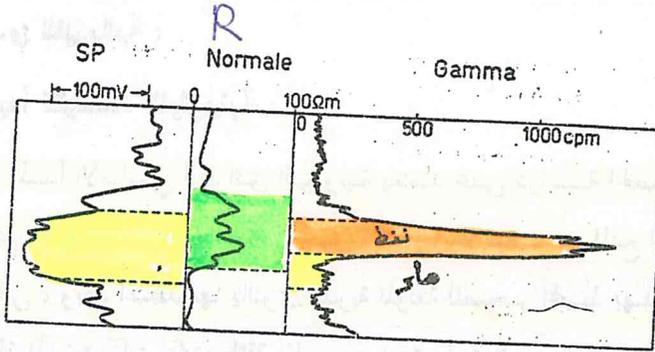
اعتماداً على النظائر المشعة المنحلة بالسائل والتي تحقن بها الآبار النفطية ، يتم تحديد مستوى التقاء النفط بالماء المالح ، حيث أن معرفة هذا المستوى يقدم معلومات هامة للعاملين في الصناعة النفطية . من أجل هذا الفرض يتم اتباع الطريقة التالية :

بشكل مواز لعملية حقن السائل المشع يتم أيضاً حقن محلول كيميائي على سبيل المثال نפט متصين، هذا المحلول يشكل حموضاً نيتينية بعد تلامسه مع المياه الطبقيّة . هذه الحموض تولف ندفات ثلجية أو حبيبات صغيرة من أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم غير المنحلة ، حيث تقوم بسد المسامات العائدة للطبقة الحاملة للمياه وتمنع من دخول السائل المشع إلى داخلها بينما تسمح لهذا السائل بالدخول إلى المسامات الحاملة للنفط وبهذا الشكل وبعد تسجيل قياس غاما سوف يظهر مقابل الطبقة النفطية شدة إشعاعية عالية بالمقارنة مع الشدة المسجلة مقابل الطبقة المائية كما هو مبين في الشكل (٢-١٦) .

٢-٦-٥ للتطبيقات للتقنية أو لفنية لطرائق النظائر أو الكواشف المشعة :

تطبق طرائق النظائر المشعة أيضاً في حل العديد من المشاكل الفنية للآبار المغلفة ، من أهم هذه التطبيقات نذكر مايلي :

① - ضبط مستوى الاسمنت خلف مواسير التغليف ويتم ذلك بحقن الخلطة الإسمنتية وهي في الطور السائل بكمية قليلة من النظائر المشعة ، وبعدها يتم إجراء قياس غاما حيث يظهر على المنحني بصورة واضحة ارتفاع الاسمنت خلف المواسير من خلال الشدة الإشعاعية العالية بالنسبة لتواجد الاسمنت مقارنة بالحالة التي لا يتواجد فيها اسمنت .



شكل ٢-١٦ : تحديد مستوى النقاء النفط بالماء وفق طريقة النظائر داخونوف DACHNOW

- ② - التأكد من عدم نفوذية السدادات الإسمنتية .
- ③ - ضبط عملية الأسمنت بواسطة الحقن تحت الضغط العالي .
- ④ - التأكد من ضبط أجهزة الاختبار .
- ⑤ - تعيين عمق وفعالية الثقوب . **الناتج من عملية التغليف**
- ⑥ - تعيين الربط والاتصال بين الطبقات .
- ⑦ - تعيين المناطق النفوذة خلف مواسير التغليف .
- ⑧ - تعيين مناطق الكسور في أعمدة التغليف .
- ⑨ - التأكد من عدم نفوذية مواسير التغليف .
- ⑩ - ضبط عملية التحميص .
- ⑪ - ضبط عملية الإنتاج الثانوي .
- ⑫ - ضبط التشقق الهيدروليكي الخ

الباب الثالث

القياسات النيترونية NEUTRON LOGGING

الفصل الأول

٣-١ المبادئ الفيزيائية :

٣-١-١ مبدأ القياسات النيترونية :

إن المبدأ الأساسي للطرائق النيترونية يعتمد على دراسة الخصائص النيترونية للصخور، ويتم ذلك بهدف هذه الصخور بنيترونات سريعة تنبعث من المنبع النيتروني المتواجد في سائبة القياس ، وبعد اصطدامها بالنوى الذرية المؤلفة للصخر المحيط بهذه السائبة تتباطأ تدريجياً متحولة إلى نيترونات ذات طاقة أقل ، حيث يتم احتوائها من قبل هذه النوى ، أي بمعنى آخر يحصل للنيترونات السريعة ظاهرتين أساسيتين هما التخميد والامتصاص . من أجل دراسة خصائص الفرملة أو الممانعة وخصائص الامتصاص أو التخميد لهذه النيترونات من قبل الصخر والتي تتعلق بالدرجة الأولى بالتركيب الكيميائي للصخر ، فقد تم تصميم طريقتين للقياس هما :

- قياس نيترون - نيترون (دراسة خاصية الفرملة للنيترونات أو كثافة النيترونات المتوقعة في الصخر . نيترونات سريعة ← تخامد ← نيترونات صرارية
↓
لا مائة تخميد
- قياس نيترون - غاما (لمعرفة شدة إشعاعات غاما الثانوية التي تصدر بسبب احتواء الصخر للنيترونات) . نيترونات صرارية ← اختراق ← أشعة غاما
↓
لا مائة انتشار

٣-١-٢ تباطؤ النيترونات :

إن النيترونات المنبعثة من المنبع النيتروني ذات طاقة تبلغ بضع ميغا إلكترون فولت MeV وذات سرعة انتشار من مرتبة (10^9 cm/s) . ويطلق على هذه النيترونات بالنيترونات السريعة . وطالما أن هذه النيترونات لا تحمل أية شحنة كهربائية فهي لاتتعامل مع المدارات الإلكترونية للذرات وإنما مع نوى هذه الذرات ، حيث تحدث التصادمات المرنة ويفقد فيها

النيوترون جزءاً من طاقته وينحرف عن مساره الأساسي (يتبعثر) .

تنص قوانين التصادم المرن على أنه كلما كانت كتلة نوى الذرة المصطدمة كبيرة تقل كمية الطاقة المفقودة للنيوترون بعد التصادم ، وبناء على ذلك فإن أكبر كمية فقدان لطاقة النيوترون تحدث عند اصطدامه بنوى ذرات الهيدروجين (بروتونات) . وبما أن كتلة البروتون تساوي تقريباً كتلة النيوترون فإن كمية الطاقة التي يفقدتها النيوترون بعد اصطدامه بنوى ذرة الهيدروجين تصل إلى نصف طاقته الأصلية . وبالتالي نجد أنه بعد 15-20 تصادم يحصل تباطؤ للنيوترونات السريعة وتصبح طاقتها مساوية لطاقة الحركة الحرارية للذرات (0.025eV) . ولهذا السبب يطلق عليها بالنيوترونات الحرارية (Thermal Neutrons) . وفي حال امتلاك النيوترونات التي تم توقفها عن الاستمرار في الحركة ضمن التشكيلة الجيولوجية على طاقة أكبر من الطاقة الحرارية المذكورة أعلاه عندها يطلق على هذه النيوترونات بالنيوترونات فوق حرارية (Epithermal Neutrons) .

يتم معرفة كل من خصائص التخميد والتبعثر من قبل الصخر من خلال تحديد أو

معرفة كل من :

١- مقطع التبعثر σ_s (المقطع الفعال) وهو المقطع من نوى الذرة والذي يتأثر بشكل مباشر بعملية الاصطدام ويعمل على تبعثر النيوترون وتعطى قيمته بالبارن Barn حيث إن :

$$1\text{Barn} = 10^{-24} \text{cm}^2$$

٢- طول أو مسافة التخميد L وهو المسافة الواقعة بين منبع النيوترونات والنقطة التي تتحول فيها النيوترونات السريعة إلى نيوترونات حرارية (تباطؤ) . الجدول التالي يبين لنا مقطع التبعثر σ_s لبعض العناصر معطى بوحدة البارن :

اسم العنصر	σ_s [Barn]	اسم العنصر	σ_s [B]	اسم العنصر	المقطع الفعال σ_s [B]
هيدروجين	38±4	المنيوم	1,5	الحديد	11,0
الكربون	4,8	سيلسيوم	1,7	نحاس	8,0
أكسجين	4,1	الكلور	10,0	الباريوم	8,2
الصوديوم	4,0	بوتاسيوم	1,5		
مغنيزيوم	3,6	كالمسيوم	9,5		

جدول ٣-١ : المقطع الفعال σ_s لبعض العناصر بالبارن σ_s Barn

اسم الفلز أو الصخر	مسافة التخميد [cm]	اسم الفلز أو الصخر	مسافة التخميد [cm]
أنهدريت كثيف	27cm	ماء	7,7cm
صخور كلسية كثيفة	29-35 cm	نفط	9,3cm
كوارتز	37cm	رمل مجوي على 45% ماء من حجمه	11cm
الجبس Ca, Sou, H_2O	11cm	رمل مجوي على 22% ماء من حجمه	17cm
مغنيتيت	19,6cm		
هيماتيت	34cm		

جدول ٣-٢ : يبين مسافة التخميد للنيوترونات السريعة في بعض الصخور والفلزات بالاسم.

وفقاً لقدرة التخميد التي تمتلكها ذرات الهيدروجين المتواجد في الصخر للنيوترونات السريعة ، فإن خصائص التخميد التي يتميز بها الصخر تجاه النيوترونات السريعة تتعلق بمحتوى هذا الصخر من الهيدروجين .

وبالتالي فإن أصغر طول للتخميد يمكن أن يلاحظ في الصخور ذات المسامية العالية والتي تكون حاوية على النفط والماء ، وكذلك في الصخور المولفة من الفلزات ذات البلورات المائية ، أما بقية العناصر الكيميائية فيكون تأثيرها قليلاً على طول الفرملة* في النيوترونات السريعة . حيث نجد أن هذا الطول في الصخور ذات التركيب المزلوجي المختلف (صخور رملية -صخور كلسية) ودرجة رطوبة واحدة متساوية تقريباً . وكما هو ملاحظ من الجدول السابق (٣-٢) نجد أن طول الفرملة Li من أجل صخور عديدة ومختلفة يتراوح ما بين 7,7 cm للماء و 35 cm للصخور الكلسية القاسية والصخور الانفجاعية أو النارية .

٣-١-٣ انتشار النيوترونات الحرارية :

إن احتمالية رد فعل النوى الذرية المشكلة للصخر على النيوترونات السريعة قليل نسبياً وتزداد هذه الاحتمالية مع انخفاض سرعة النيوترونات المتباطئة بشكل سريع . وفقاً لذلك نستطيع التوصل إلى النتيجة التالية : كلما صغرت سرعة انتشار النيوترون فإن ذلك يسمح

* يقصد بالفرملة طول التخميد أو مسافة التخميد

بتواجهه فترة أطول بالقرب من نوى الذرة وهذا يقود إلى تزايد احتمالية فعل الاحتواء الذي يتم وصفه من خلال مقطع الاحتواء σ_c Capture cross Section .

2,53	حديد	0,21	النيوم	0,33	هيدروجين
3,6	نحاس	0,08	سليسيوم	70	ليثيوم
1,06	توتياء	31,6	كلور	0,003	كربون
1,17	باريوم	1,97	بوتاسيوم	0,002	أكسجين
0,17	رصاص	0,43	كالمسيوم	0,54	صوديوم
		13,2	منغان	0,03	مغنيزيوم

جدول ٣-٣ : يبين لنا مقطع احتواء σ_c لبعض العناصر للنيوترونات الحرارية مقدرة بالبارن .

بعد أن تتحول النيوترونات السريعة إلى نيوترونات حرارية تمتلك هذه النيوترونات إمكانية على الانتشار في الصخر قبل أن يتم احتوائها من قبل نوى الذرات ويطلق على الزمن الذي تستغرقه في الانتشار بفترة حياة النيوترونات الحرارية τ (Lifeduration) .

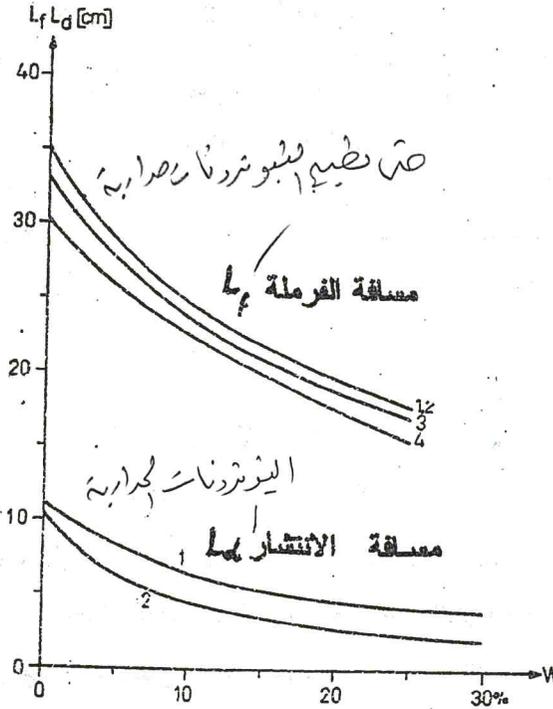
خلال الزمن المذكور تستطيع هذه النيوترونات الحرارية اجتياز المسافة L_d والتي يطلق عليها بمسافة الانتشار ، وتحدد هذه المسافة ما بين النقطة التي تحولت بها النيوترونات السريعة إلى نيوترونات حرارية وحتى المنطقة التي وصلت إليها بانتشارها . وقد تبين نتيجة الدراسات أن هذه المسافة L_d لها علاقة وطيدة بكل من التركيب الكيميائي والمزولوجي للصخر وبالتالي بخصائص التخميد والامتصاص للنيوترونات وهذا ما يظهره الجدول التالي :

مسافة الانتشار L_d	اسم الفلز أو الصخر	مسافة الانتشار L_d	اسم الفلز أو الصخر
9,5cm	دولوميت ، صخر كلسي	1,2cm	ملح صخري
14,7cm	غضار جاف	2,0cm	نפט
4,5cm	غضار بحري 40% ماء	2,3cm	ماء
20,0cm	رمل جاف	2,6cm	الفحم البني
6,0cm	رمل رطب 25%	2,9cm	الفحم الحجري
2,3cm	هيماتيت	3,2cm	الجبس
2,3cm	مغنيتيت	4,9cm	أنزاسيت
3,4cm	سيدريرت	8,2cm	أنهدريت

جدول ٣-٤ : يبين فيه مسافة انتشار النيوترونات الحرارية في بعض الصخور والفلزات.

كذلك فإن مسافة الانتشار للنيوتونات الحرارية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بكل من مقطع

الاحتواء ومقطع التبعثر لنوى الذرات المولفة للصخر ، اعتماداً على هذه الخاصية وبسبب



المقطع التبعثري الكبير نسبياً

للهدروجين من جهة ،

ومقطع الاحتواء الواسع

بالنسبة إلى الكلور تجاه

النيوتونات الحرارية من جهة

أخرى ، نجد أن مسافة

الانتشار هذه تكون أقل ما

يمكن في الأوساط التالية : ماء

- نفط - كربون أو فحم -

جبس - ملح صخري ،

وكذلك في الصخور ذات

المسامية العالية والحاوية على

النفط والماء .

شكل ٣-١ : يبين العلاقة ما بين مسافة الفرملة ، مسافة

الانتشار مع حجم الماء المتواجد في مسامات

الصخر وفق DACHNOW & GULIN

١-صخور كلسية مشبعة بمياه حلوة .

٢-صخور كلسية مشبعة بمياه مالحة 20% من كلور

الصوديوم NaCl .

٣-Schluff شلوف .

٤-شلوف غضاري .

الشكل (٣-١) يرينا كيف

أن مسافة الانتشار ضمن

الصخور الكربوناتيّة والرملية

والغضارية تتعلق بشكل كبير

بنوعية السوائل المتواجدة

ضمن مساماتها . إضافة إلى ذلك يوجد أيضاً بعض الفلزات المعدنية والتي تبدي أيضاً مسافة

انتشار قليلة . بينما نجد أن مسافة الانتشار هذه تكون كبيرة نسبياً في الصخور الصلبة

كالصخور الرملية والكلسية والدولوميتية والنارية والأنهدريتية على الرغم من احتوائها على كمية قليلة جداً من الماء المالح أو أية عناصر أخرى تتصف بأن لها مقطع احتواء وتبعثر كبيرين. الجدول (٣-٤) .

إن تواجد عناصر ذات مقطع احتواء كبير مثل الكلور (31,6 بارن) ، البور (752 بارن) ، منغان (13,2 بارن) ، كوبالت (37 بارن) ، زيتيق (380 بارن) ، لثيوم (67 بارن) ، تنغستن (19 بارن) ، والعديد من العناصر النادرة في الصخور يؤدي إلى تزايد فعالية الإمتصاص للنيوترونات الحرارية من قبل نوى الذرات هذه وبالتالي نقصان مسافة الانتشار .

٣-١-٤ الإحتواء وإصدار أشعة غاما :

أثناء عملية احتواء النوى الذرية للنيوترونات الواردة إليها ينشأ نتيجة ذلك نوى ذرية جديدة والتي تكون في وضع غير مستقر ، هذه الذرات تسعى إلى حالة الإستقرار عن طريق إصدار أشعة غاما . يطلق على هذه الأشعة في مجال القياسات البصرية بأشعة نيوترون - غاما أو بشكل أصح قياس نيوترون - غاما والذي سنبحثه لاحقاً . تتصف هذه الأشعة بأن لها طاقة أكبر من طاقة أشعة غاما الطبيعية وهذا ما يظهره الجدول (٣-٥) .

عدد دقائق غاما الناتجة عن كل تفاعل احتواء (القيمة الوسطية)	طاقة غاما الصادرة عن تفاعل الإحتواء E_{γ}	اسم العنصر
1,0	2,2 ميغا إلكترون فولط	هيدروجين
3,0	6,4-0,5 MeV	صوديوم
0,9	6,4-1,9 MeV	كاليوم
0,9	3,9-1,8 MeV	مغنيزيوم
1,1	7,7-2,1 MeV	المنيوم
2,0	8,6-1,2 MeV	كلور
1,1	5,7-1,6 MeV	بوتاسيوم
0,5	7,2-5,0 MeV	منغان
1,0	7,6-1,7 MeV	حديد

جدول ٣-٥ : طاقة أشعة غاما الصادرة بعد احتواء النيوترون من قبل عناصر مختلفة

الفصل الثاني

٢-٣ قياس نيوترون - نيوترون N-N-Log :

١-٢-٣ سابرة قياس النيوترونات Neutron Sende :

تتألف سابرة قياس النيوترونات من منبع للنيوترونات يوجد في القسم السفلي من السابرة وبشكل مركزي وعلى مسافة محددة في الجزء المقابل يتواجد لاقط النيوترونات الحرارية والذي يطلق عليه عداد نيوتروني (Neutron detector) .

٢-٢-٣ المنابع المشعة للنيوترونات Common Neutron Source :

مع العلم أنه لا توجد منابع نيوترونية طبيعية بالمعنى الحقيقي للكلمة وإنما يتم الاعتماد على التفاعلات النووية والتي تحصل بعد قذف نوى بعض العناصر الخفيفة مثل (البريليوم - البور - الليثيوم) بأشعة α (ألفا) الصادرة عن عنصر الراديوم المشع ، وينجم عن ذلك التفاعل سبيل من النيوترونات بطاقة تبلغ بضعة MeV .

في بداية ظهور القياسات النيوترونية تم استخدام مزيج من الراديوم والبريليوم كمنبع للنيوترونات حيث إن أشعة α الصادرة عن الراديوم المشع تتفاعل مع نوى عنصر البريليوم وفق المعادلة التالية :



من أهم صفات هذا المنبع هو إعطاء أكبر كمية ممكنة من النيوترونات ، حيث أن 1 كوري راديوم يمكن أن يعطي إذا مزج مع بعض الغرامات من البريليوم 1.7×10^7 نيوترون في الثانية مع طاقة تتراوح ما بين 5-13 ميغا إلكترون فولط . بسبب أشعة غاما التي تصدر عن التفاعل والتي تكون شديدة الخطورة على الإنسان من جهة وعلى نتائج قياسات نيوترون غاما من جهة أخرى ، فقد استعوض في الوقت الحاضر عن المنبع المذكور بمنبع آخر مؤلف من مزيج من البولونيوم والبريليوم ، ويستخدم هنا البولونيوم كمولد للأشعة α التي يتم بواسطتها قذف نوى البريليوم . من ميزات هذا المنبع أنه يصدر أشعة غاما المتعامدة نسبياً وفي المقابل عدد أقل من النيوترونات (3×10^6 نيوترون لكل كوري بالثانية) .

يضاف إلى ذلك أن العمر النصفى للبولونيوم صغير (139) يوم وبالتالي فإن الفعالية الإشعاعية سوف تنخفض بشكل سريع ، ويجب أخذ هذه الظاهرة بعين الاعتبار في أثناء مقارنة القياسات المختلفة والتي تعتمد على نفس المنبع .

٣-٢-٣ مولدات النيوترونات :

تم في السنوات الأخيرة تطوير تصميم جديد من أجل توليد النيوترونات في سائبة القياس البثرية ، هذا التصميم عبارة عن مسرع ذي أبعاد صغيرة جداً وبمساعده يتم أحداث انفجار ما بين نوى الهيليوم H_1^3 ونوى الديتيريوم H_1^2 وفق المعادلة التالية :



- إن النيوترونات التي تصدر عن مثل هذه المولدات تملك طاقة تبلغ وسطياً 14 ميغا إلكترون فولط ، وهذا يعني أن لها قدرة على النفوذ في الطبقات أكبر مما هي عليه بالنسبة للنيوترونات التي تصدر عن منبع البولونيوم-البيريليوم الموضح في الفقرة السابقة. من أهم ما يميز هذه المولدات عن المنابع السابقة هو الفعالية العالية لهذه النيوترونات وعدم تأثيرها على الإنسان الذي يتعامل مع القياس (لا حاجة لأخذ الحيطة) .

٤-٢-٣ العداد النيوتروني ، Neutron detector :

إن العداد النيوتروني المستخدم في سائبة قياس نيوترون - نيترون عبارة عن أسطوانة شبيهة بعداد غايغر - مولر والتي تملئ بثالث فلور البور (BF_3) . إن النيوترونات الحرارية تتجاوب مع نوى البور مشكلة دقيقتات α والتي تسبب عملية الانفراغ داخل الأنبوبة أو العداد:



نتيجة للمقطع الفعال الكبير لعنصر البور بالنسبة للنيوترونات الحرارية وللتجاوب العالي الذي يتصف به الأنبوب للدقيقتات α فإن ورود أي نيوترون إلى الأنبوبة سوف يتم إدراكه وتسجيله .

وبما أن هذا العداد والذي يطلق عليه العداد التناسبي ذو حساسية عالية تجاه النيوترونات الحرارية ، فهو من جهة أخرى لا يتحسس بأشعة غاما الطبيعية أو الأشعة الصادرة عن التهيح النيوتروني في أثناء اصطدام النيوترونات بنوى الذرات المشكلة للصخر . يستعاض حالياً

عن العدادات الأنبوبية المستخدمة في سابرة القياس بالعدادات الوميضية والتي تنشط بلورتها بواسطة البور (B).

٣-٢-٥ قياس النيوترونات فوق لحرارية Epithermal Neutrons :

هناك حالات خاصة يكون من المستحسن تسجيل النيوترونات فوق الحرارية وإهمال^(٤) النيوترونات الحرارية. من أجل هذا الغرض يتم تعديل اللاقط النيوتروني وذلك بتغليفه بمعدن ما بحيث يقوم بامتصاص النيوترونات الحرارية وتبطيء النيوترونات الفوق حرارية (عادة يستخدم البارافين مع البور أو الكادميوم ، حيث أن الأخير يمتلك مقطع احتواء للنيوترونات الحرارية يصل إلى 2550 بارن).

وبهذا الشكل فإن اللاقط النيوتروني يقوم بتسجيل النيوترونات التي تتواجد في التشكيلة وذات طاقة حرارية عالية (طاقة فوق حرارية 10-100 إلكترون فولط) والتي تتباطأ^(٦) فقط عندما تصل إلى داخل السابرة (ضمن الغلاف البارافيني).
