

الباب الثاني

قياسات غاما - غاما (Density-Loy)

الفصل الأول

١-٢ العيادن التيريزيلية :

١-١-٢ مبدأ الميادين :

تعتمد طريقة غاما - غاما على قياس الشدة الإشعاعية لأشعة غاما العائدة من الطبقات الخفيفة بساقية القياس ، والتي تم توليفها وإرسالها من منبع إشعاعي متواحد في نفس الساقية . إن لاقط الإشعاع والذي هو عادة عدد غايفرمولر أو عدد ورمضي يتم عزله عن المنبع بواسطة مرشح من الرصاص (Bleifilter) ، وبهذا الشكل فإن الشدة الإشعاعية المسجلة تتعلق بشكل رئيسي بكل من :

١- المسافة بين المنبع واللاقط (طول الساقية L) .

٢- الخصائص التخامية والتوجيهية للوسط الخفيف بالساقية .

حيث إن العامل الثاني يمكن أن يعود إلى الكثافة الحجمية للصخر أو الوزن النوعي وبالتالي فإن قياس غاما - غاما يمكن اعتباره طريقة غير مباشرة لتحديد كثافة الصخور ومن هنا جاءت تسمية هذا القياس بقياس الكثافة (Density-Loy) .

٢-١-٢ التأثيرات المتباينة لأشعة غاما مع الصخور :

من بين التأثيرات الثلاثة المتبادلة التي تحصل بين أشعة غاما والصخر والتي تم شرحها سابقاً (تأثير الفوتوني ، تبعثر كومبتون ، تشكيل الأزواج) ، نجد أنه في قياس غاما - غاما يتم الاعتماد فقط على تبعثر كومبتون (Compton-Streung) . حيث إن حصة هذا التأثير على تخدامد وتوجهن طاقة أشعة غاما الصادرة عن المنبع وبالنسبة (0,6-1,3) ميجا إلكترون فولط ، وعن العناصر المشكّلة للصخر ، هي 99% .

إن المقطع الميكروسكوبى الفعال للتبعثر كومبتون أو ما يطلق عليه بقطع التبعثر σ

مقدمة في مقطع التبعثر

والذي يعتبر صفة مميزة لتكرار عملية التبعثر ، يتاسب طرداً مع كثافة الإلكترونات (عدد الإلكترونات/واحدة الحجم) للوسط الذي يتم قلبه بأشعة غاما .

يتم تحديد هذا المقطع σ بالنسبة للعناصر المشكّلة للصخر وذلك من خلال معرفة كل من الكثافة ρ والوزن الذري A والعدد الذري Z وفق العلاقة (١-٢) .

$$\sigma = f(E_\gamma) \rho \frac{Z}{A} \quad 1-2$$

إن معامل التناسب $f(E_\gamma)$ يصف العلاقة بين مقطع التبعثر وطاقة أشعة غاما وما أن $\frac{Z}{A}$ ثابتة بالنسبة للعناصر المشكّلة للصخر وتساوي تقريرياً ٠,٥ وبالتالي فإن المقطع الفعال يمكن تحديده من خلال صيغة كثافة الصخور ρ وفق العلاقة التالية :

$$\sigma = 0,5 f(E_\gamma) \rho \quad 2-2$$

٣-١-٤ تأثير الكثافة على شدة تنقل الأشعة داخل الصخر :

إن احتمال حدوث تبعثر كمبتون والذي يحدد من خلال مقطع التبعثر σ يتزايد مع زيادة الكثافة ρ . حيث أن عدد إشعاعات غاما الواردة إلى اللاقط سوف تتزايد مع تزايد كثافة الوسط المحيط بالساقية . من جهة أخرى مع تزايد الكثافة يزداد الترهين أو التحامد لأشعة غاما المتغيرة ، وتصبح شدة إشعاعات غاما المرتدة إلى اللاقط (في حال ثبات طول الساقية) مماثلة بالعلاقة التقريرية التالية :

$$I_{\gamma\gamma} \sim \rho e^{-K\rho} \quad 3-2$$

K معامل التحامد .

إن مجال تزايد الكثافة والذي ضمنه تزداد الشدة الإشعاعية $I_{\gamma\gamma}$ يصل حتى $0,7 \text{ g/cm}^3$ بينما بعد هذا المجال أن هذه الشدة تتناقص بصورة أسرع من تزايد الكثافة كما هو مبين في الشكل (١-٢) .

في الصخور ذات الكثافة المأمورة فإن شدة إشعاعات غاما المتغيرة تخفف مع تزايد الكثافة .

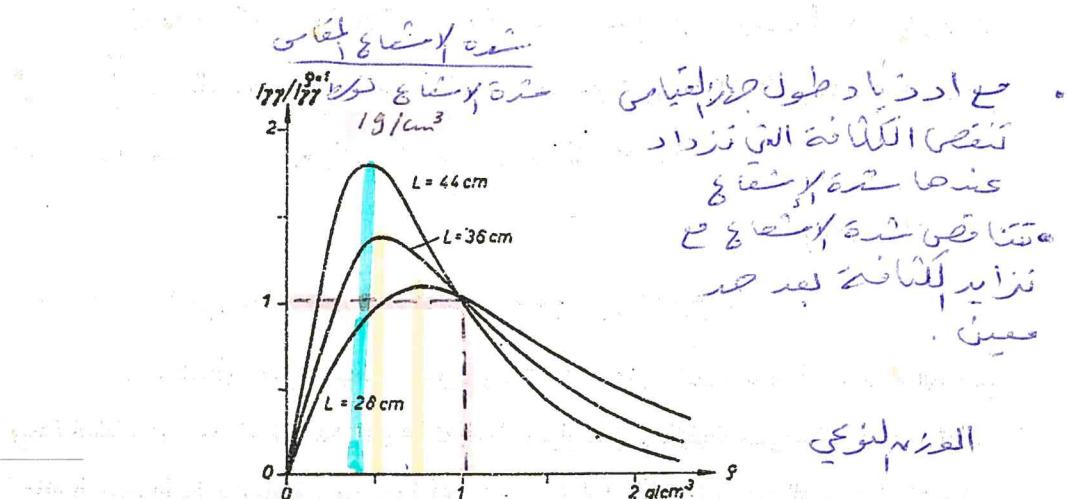
إن إيجاد الحل الملائم لهذه المشكلة يمكن في تحديد توزع الشدة لأشعة غاما المبعثرة في الأوساط المختلفة الكثافات ، وهذا طبعاً يشير عمل صعب للغاية .

لقد قام العالم فيليب (Fillipow) كمرحلة أولى بتحديد توزع الشدة الإشعاعية من أجل إشعاع وحمد ، وذلك ضمن وسط متجانس لامتصاص وحصل نتيجة ذلك على العلاقة التقريبية :

$$I_{\gamma} = a \frac{Q \rho e^{-0.06 \rho L}}{L (\rho L)^{-0.3}}$$

٤-٢

مع العلم أن : a عامل النسب و Q فعالية منبع أشعة غاما .



شكل ١-٢: يبين العلاقة بين شدة إشعاعية غاما - غاما I_{γ} وبين كثافة الوسط المحيط ρ من أجل سوابير قياس ذات أطوال مختلفة L . ثم حسابها وفق العلاقة للسلبية منسوبة إلى شدة إشعاعية غاما - غاما I_{γ} من أجل كثافة صغر مساوية $1 g/cm^3$ - وفق هوميليوس Homilius وأخرين .

من أجل تبعير أشعة غاما وباستخدام الكربالت 60 (Co^{60}) كمصدر مشع

حصل فيليب على العلاقة الثانية :

$$I_{\gamma} = b \frac{Q \rho e^{-0.25 \rho L}}{4 \pi L^{2.32}}$$

٥-٢

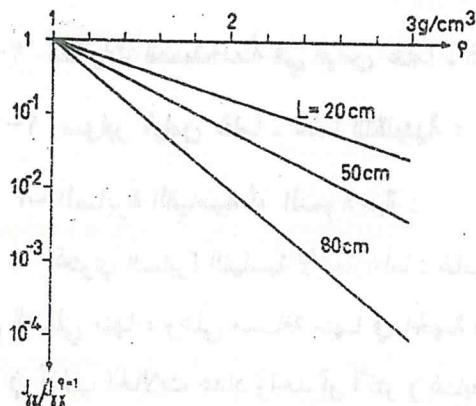
حيث أن : b عامل النسب أيضاً .

إن الشكل البياني (٢-٢) والمحسوب من قبل فيليب يدعنا نستنتج الأسس التالية :

١- إن تزايد كثافة الوسط المحيط أو تزايد طول السابر يقود إلى انخفاض شدة الإشعاعات

المتغللة أو المبعثرة .

٢- إن تزايد طول السايرة يقود إلى انخفاض أكبر في شدة الإشعاعات بالمقارنة مع تزايد الكثافة .



شكل ٢-٢ : العلاقة بين الشدة الإشعاعية وبين كثافة الوسط المحيط من أجل سواير القياس المختلفة الأطوال L وفق بارسوكوف (Barsukow) .

من أجل الحصول على دقة قياس كبيرة لشدة إشعاعات غاما - غاما مقابل تغيرات الكثافة يجب في هذه الحالة استخدام سايرة قياس بطول أكبر ما يمكن . لكن هذا الأمر يقود من جانب آخر إلى تحفيض قيمة المطلقة للشدة الإشعاعية أو بال التالي تزايد الخطأ الإحتمالي وتآثر أشعة غاما الطبيعية ، وينجم عن ذلك الحصول على نتائج غير صحيحة .

٤-١-٤ عمق اختراق قياس غاما - غاما :

يمكن تعريف عمق اختراق قياس غاما - غاما على أنه السماكة الحلقية المشكّلة للطبقة الصخرية المحيطة بالسايرة والتي توافق نسبة 99% من شدة غاما - غاما الإشعاعية المسجلة .

هذا العمق يعتبر قليلاً نسبياً . فعلى سبيل المثال حصل العالم EIFE خلال التجربة من أجل صخر ذو كثافة $1,8 \text{ g/cm}^3$ وطول السايرة $L = 50 \text{ cm}$ ، على عمق اختراق مساوي إلى 18 cm .

بينما العالم فيليب FILIPPOW حصل على أقل من هذه القيمة . بشكل عام نستطيع القول أنه مع تزايد كثافة الصخر يقل عمق الاختراق وهذا يعود إلى تزايد التحامد .

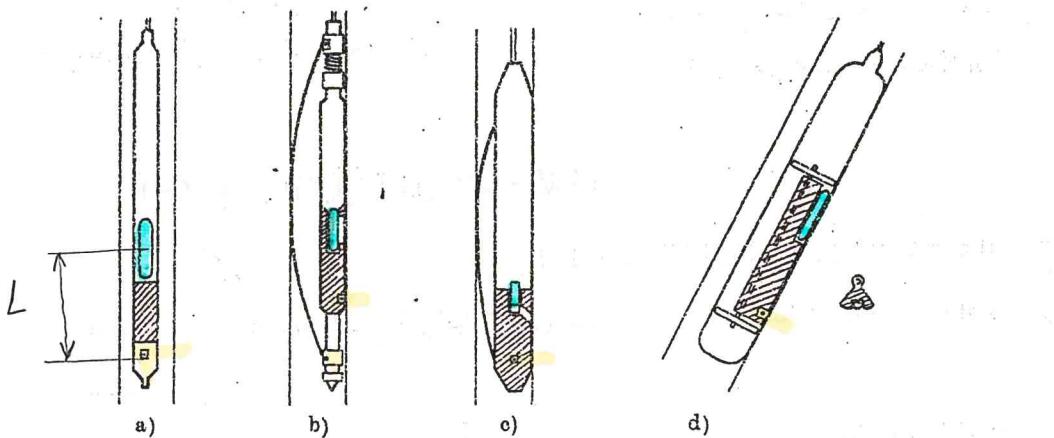
الفصل الثاني

٢-٢ التقنيات المستخدمة في قياس غاما - غاما :

١-٢-٢ سوابير قياس غاما - غاما للتنببية :

أ- السايرة القياسية أو النموذجية :

تحتوي السايرة القياسية لأشعة غاما - غاما على منبع لهذه الإشعاعات متمركز في القسم السفلي منها ، وعلى مسافة منها في الجهة المقابلة يتواجد اللاقط الإشعاعي والذي يكون في أغلب الحالات عداد واحد أو أكثر (غايغر - مولر) . يوجد بين المنبع واللاقط سدادة أو حشوة من الرصاص بطول يتراوح بين $10\text{-}20\text{ cm}$ ، الغاية منها منع وصول الإشعاعات من المنبع إلى اللاقط بشكل مباشر ، شكل (٣-٢) .



شكل ٣-٢: سوابير قياس غاما - غاما ، a - السايرة النموذجية ، b - سايرة قياس الكثافة التابعة لشركة Lone wells ، c - سايرة قياس الكثافة التابعة لشركة Schwenksonde ، d - السايرة المقترضة McCulloch tool.

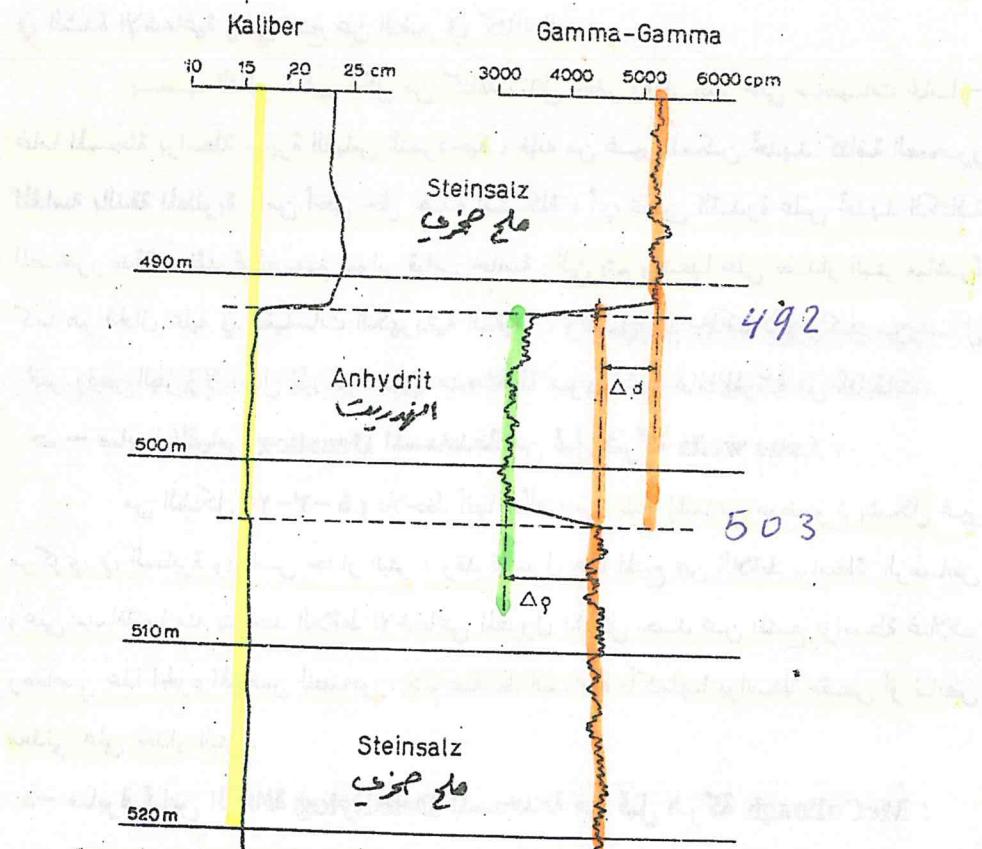
أما تباعد السايرة فهو المسافة المحددة ما بين المنبع ومركز اللاقط الإشعاعي ويمكن تغيير هذا التباعد بإزاحة الجسم الحاوي على المنبع ضمن السايرة .

ب - تأثير سائل الحفر على قياس غاما - غاما باستخدام سايرة القياس النموذجية :

بسبب عمق الانحراف القليل لقياس غاما - غاما فإن الشدة الإشعاعية المسجلة

بالقياس لإشعاعات غاما المرتدة من الطبقات تتأثر بشكل كبير بالوسط المحيط مباشرة بسايرة القياس أي بسماكه وكتافة خلاف سائل الحفر الذي يحيط بالسايرة ، وقد لوحظ أنه من بين جميع الطرائق الإشعاعية فإن قياس غاما - غاما هو أكثر تأثيراً بسائل الحفر .

الشكل (٤-٢-أ) يربنا منحني غاما - غاما المسجل بالسايرة التموجية ذات القطر الخارجي 60mm حيث كان التغير في كثافة الصخور المحيطة ما بين 2.1 g/cm^3 (ملح صخري) و 2.9 g/cm^3 (طبقة الانهدريت) ، وهذا التغير في الكثافة أدى في العمق (503m) إلى تغير في معدل النبضات (Impulsrate) يقع ما بين 4500 و 3250 نبضة في الدقيقة (cpm) . كما هو ملاحظ على الشكل (٤-٢) .



شكل ٤-٤ : تأثير تغير قطر البئر على قياس غاما - غاما باستخدام سيرة التموجية (Standard sonde) .

- أما بالنسبة لتأثير قطر البتر فيلاحظ ذلك في العمق 492m من الشكل ، حيث عند هذا العمق يبدأ ازدياد قطر البتر من 16cm حتى 24cm ، ويلاحظ بشكل واضح أن هذه الزيادة أدت إلى زيادة مقدمة في معدل النبضات المسجلة مقابل الملح الصخري تقع في الحال ما بين 4500 و 5250 نبضة في الدقيقة (cmp) أي بزيادة قدرها 1250 نبضة في الدقيقة .

إضافة للعوامل السابقة فإن تغير كثافة سائل الحفر والتي يمكن أن تزاح بـ 5-10% على طول عمود سائل الحفر (عند مستوى التقاء سائل حفر ذي أساس نفطي مع سائل حفر غضاري يمكن أن يكون التغير في الكثافة أكبر) ، يمكن أن تؤدي إلى نفس التغير في الشدة الإشعاعية والتي تتبع عن التغير في كثافة الصخر .

يساهم التأثير الكبير لكل من كثافة سائل الحفر وقطر البتر على منحنيات غاما - خاما المسجلة بواسطة سايرة القیاس التموجية ، فإنه من غير الممكن تحديد كثافة الصخور المقاسة بالدقة المطلوبة ، من أجل حل هذه المشكلة ، أي يعني القدرة على تحديد الكثافة للصخور بدقة ، فقد تم تصميم سواير قیاس خاصة والتي يتم وضعها على حدار البتر مباشرة كما هو الحال عليه في القياسات الكهربائية الدقيقة ، وبالتالي يتم حذف تأثير كل من سائل الحفر وقطر البتر ولا يصل إلى اللاقط في هذه الحالة سوى أشعة غاما المرئية من الطبقات .

ح - سايرة القياس Densilog المستخدمة من قبل شركة Lane wells :

من الشكل (٣-٦) نلاحظ أنها تتألف من منبع إشعاعي موضوع بشكل غير مركزي في السايرة ويلامس حدار البتر ، وقد تم عزل هذا المنبع عن اللاقط بواسطة الرصاص وعلى مسافة ما منه يتواجد اللاقط الإشعاعي المعزول بشكل جيد عن المنبع بواسطة غلاف رصاصي عدا الجزء الملائم للصخور . يتم ضغط السايرة بأكمليها بواسطة مقص أو نابض معدني على حدار البتر .

د - سايرة قياس الكثافة Densitylog المستخدمة من قبل شركة McCullough :

هذه السايرة يتم ضغطها على حدار البتر بشكل مشابه للسايرة السابقة ولكن الفرق هنا هو أن المنبع الإشعاعي يتواجد بشكل مركزي ضمن جسم السايرة وهو مختلف من جميع الاتجاهات بالرصاص ، بحيث يسمح فقط لزمرة من الإشعاع بالتوجه إلى الطبقات الصخرية .

وبشكلٍ مماثل فإن اللاقط الإشعاعي الرمادي Scintillometer مصمم بشكل يلتقط فيه حزمة محددة من إشعاعات غاما المرتدة من الصخور . هذا النوع من السواير الذي يستخدم فيه العداد الرمادي Scintillation detector يمكن أن يقدم لنا إمكانية التمييز بين طاقات إشعاعات غاما المبعثرة في الصخور وذلك من خلال تسجيلها فقط بحال من الطاقة الخاصة بالأشعة التي اخترقت أكبر مسافة في الصخور أو التشكيلات الصخرية ، وهذه الخاصية ترجع إلى إمكانية تركيز أو ترجيحه الأشعة في الاتجاه المرغوب به (Fokussierung) من قبل سايرة القياس ومن هنا جاء تسمية القياسات الموجهة والتي سرت في القياسات الكهربائية . وفقاً للخاصية التوجيهية لهذه السايرة يمكن الوصول إلى عمق اخترق كبير في الصخور شكل (٢-٣-٣) .

٦ - السايرة المأرجحة : Schwenksonde

لقد تم تصميم هذه السايرة انطلاقاً من الحقيقة التالية :

إن جمجم الآبار العميقه تميل بزاوية ماس عن الشاقول ، وبالتالي فإن سايرة القياس سوف تتوضع من تلقاء نفسها تحت تأثير ثقلها على حدار البر . ففي الاتحاد السوفيتي السابق تم تصميم أول سايرة من هذا النوع ، والتي تتألف كما هو مبين بالشكل (٤-٣-٢) من قطاع أو قطاع من الرصاص مثبت مع ثغور دوار وضمن هذا القطاع يتواجد المبع الإشعاعي واللاقط . إن ثغور الدوران هذا يسمح بتوسيع المبع واللاقط بشكل ملائم لحدار البر . إن السبقة الوحيدة لهذه السايرة هو الحاجة إلى استخدام قطاع رصاصي ينصف قطره بزءوح من ٥-٦ cm ، وذلك من أجل عزل فعال بين المبع واللاقط وهذه العملية تتطلب استخدام سايرة قياس بقطر خارجي يصل إلى 140 mm ، إضافة إلى ذلك فإن آلية عمل السايرة تتطلب ميلان للبر يزدوج بين ١,٥-٢ درجة .

٤-٢-٢ سايرة قياس كثافة التشكيلة للمعرضة (FDC)

: Formation density compensated Tool

لقد قامت شركة شلومرجر في الآونة الأخيرة بتصميم سايرة قياس جديدة أطلق عليها سايرة قياس كثافة التشكيلة الصخرية المعرضة (FDC) . تتألف هذه السايرة من لاقطين إشعاعيين يتوضسان على مسافتين مختلفتين من المبع الإشعاعي (Source) . يتم عزل اللاقط والمبع عن سائل الحفر الذي يملئ البر بواسطة درع راقي أنظر الشكل (٥-٢) .

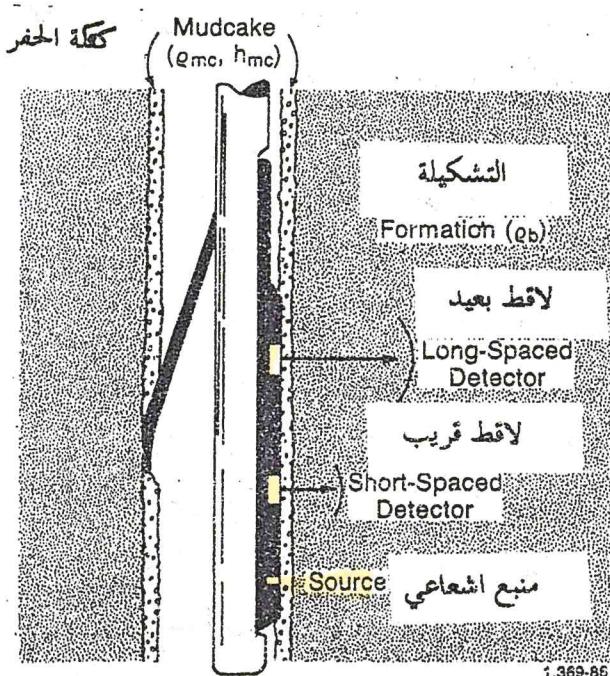
لسابرة التفاس على جدار البتر، تخفف من تأثير سائل الحفر والكعكة معاً على نتائج القياس. في حال عدم حدوث تلامس جيد ما بين السابرة وبين التشكيلة (بسبب كعكة الحفر أو عدم انتظامية جدار البتر) عندها يتوجه أجزاء التصحيحات لقيم المسجلة بالقياس وغالباً ما تكون كبيرة جداً في حال القياس وفق شروط غير مناسبة، وهذا ما نلاحظه وبشكل واضح عندما يتم أجراء

القياس باستخدام سوابر قياس ذات لاقط إشعاعي واحد.

شكل ٥-٢ : مخطط توضيحي لسابرة قيلس كلافة التشكيلة المعوضة (FDC).

من هنا تأتي أهمية السابرة الجديدة والتي تقوم آلها بتصحيح الأخطاء السابقة وذلك من خلال إعطاء قيمتين مختلفتين للشدة الإشعاعية (لاقط بعيد ، لاقط قريب) وبذلك تختلف تأثير كل من سائل الحفر وكعكة الحفر وهذا مالاحظناه في القياسات الصوتية أجزاء الأول . إن المبدأ الذي يعتمد عليه بتصحيح الأخطاء وفقاً لهذه السابرة يطلق عليه مبدأ (Spine & ribs) ونحصل في النهاية على تسجيلين متوازيين ، إحداهما يمثل قياس الكثافة الحقيقة ρ_0 والثاني يمثل قيمة التصحيح $\Delta\rho$ كما هو موضح في الشكل (٦-٢) .

يمكن الحصول على قياس قطر البتر من الجهاز نفسه وذلك بعد معرفة المسافة ما بين



1,369-86

نهاية ذراع السايرة وجسم السايرة الملams للتشكيلة . وهذا التفاص يفيد في إعطاء معلومات عن نوعية التلامس ما بين السايرة وجدار المغر .

٤-٢-٢ المنابع الإشعاعية المستخدمة في توليد أشعة غاما الصناعية :

إن المنابع الإشعاعية المستخدمة من أجل توليد إشعاعات غاما هي نظائر إشعاعية صناعية لبعض العناصر ، وتصف بأن لها عمر نصفـي كبير نسبياً ، وقادرة على إعطاء أشعة غاما ذات الطاقات المناسبة . من هذه المنابع والتي تستخدم بشكل كبير في التطبيقات العملية ذكر المنيع المشع كروبات (60) Co^{60} والذي يصدر دقائق غاما ذات الطاقة الوسطية 1,25 ميفا الكترون فولط وله عمر نصفـي مساوي إلى 5,28 أي $T_{\frac{1}{2}} = 5,28$ هي مخلوق

$$\left| \frac{dN}{dT} \right|$$

ولكن بسبب التزايد الكبير في معامل التحامـد مع تناقص طاقة أشعة غاما والذي يحصل وبشكل مشابـه عند زيادة طول السايرة ، فقد تم الاستعاضـة عن هذا المنيع بمنيع آخر هو منيع السيريوم (137) Cs^{137} الذي يصدر إشعاعات غاما ذات الطاقة 0,66 ميفا الكترون فولـط وعمر نصفـي ($T_{\frac{1}{2}} = 338$) وهذا يزيد من الحساسـية تجاه تغيرات الكثافة ويقلـل من عمق الإختراق .

في أثناء تفسير وتقدير القياسـات الكـثافية يجب الأخـذ بعين الاعتـبار انخفـاض الفـعـالية الإشعـاعـية للمنـيع مع الزـمن والـذي يخـضع لـقانون التـفكـك الإـشعـاعـي التـالـي :

$$Q = Q_0 e^{-0.693t/T}$$

٦-٢

حيـث : t - الزـمن الـذي انـقضـى عـلـى استـخدـام المـنيـع .

T - العـمر النـصـفي لـلعنـصر المشـع .

الفصل الثالث

تفسيرات وتطبيقات قياس غاما - غاما

١-٣-٢ الكثافة الإلكترونية والكثافة الطبيعية ρ_e

: Electron Density and Bulk Density

إن قياس الكثافة المنشور سابقاً يستجيب للكثافة الإلكترونية العائد للتشكيلة من أهل تركيب مولف من عنصر واحد ، نجد أن معامل الكثافة الإلكترونية ρ_e يتاسب طرداً مع الكثافة الطبيعية ρ_b وفقاً للعلاقة التالية :

$$\rho_e = \rho_b \left(\frac{2Z}{A} \right)$$

٧-٢

حيث إن : ρ_b كثافة الصخر الطبيعية .

Z العدد الذري (عدد الإلكترونات في الدرة) .

A الوزن الذري (A / ρ_b تتناسب مع عدد الذرات / cm^3 من المادة الصخرية) .

من أهل تركيبة صخرية مولفة من عدد من العناصر ، فإن معامل الكثافة الإلكترونية ρ_e يرتبط مع الكثافة الطبيعية ρ_b وفقاً للعلاقة :

$$\rho_e = \rho_b 2 \left(\frac{\sum Z_s}{Mol - Wt} \right)$$

٨-٤

حيث إن : $\sum Z_s$ مجموع العدد الذري للذرات المشكّلة للتركيب الصخري وتساوي إلى عدد الإلكترونات في الجزيء المذكور .

Mol-Wt الوزن الجزيئي .

من أهل معظم المركبات التي تشكّل التركيب الصخري ، فإن الكمية أو المقدار والتي تمثل الجزء من المعادلين (٧-٢) و (٨-٢) والواقعة ضمن قوسين ، تكون قريبة من الواحد وهذا ما يلاحظ في الجدولين (٣-٢) و (٤-٢) العاًمود الرابع .

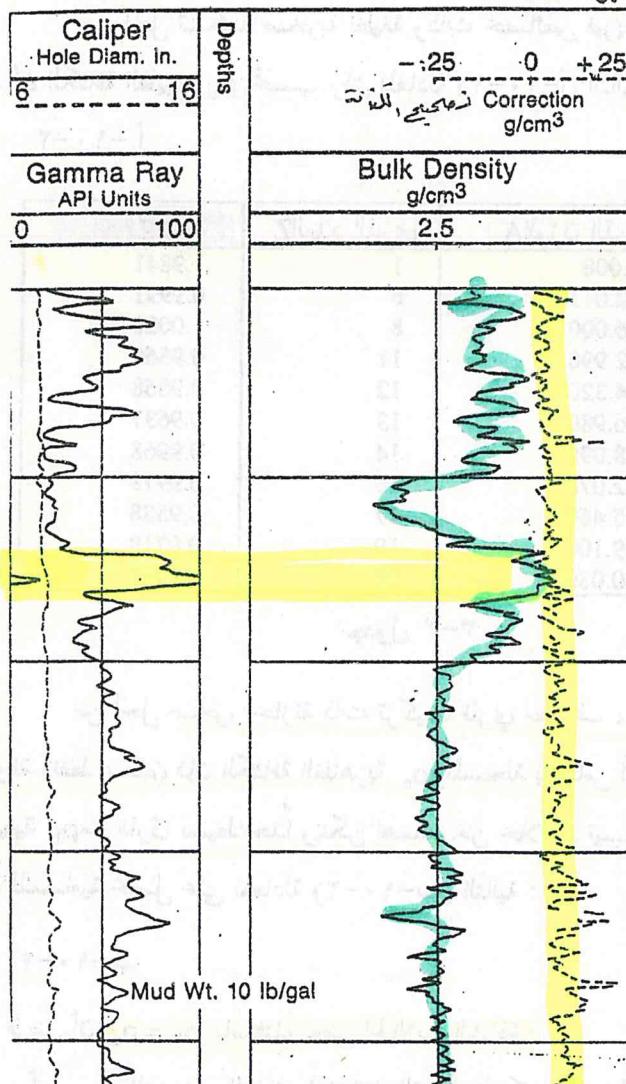
إذا ثُمت معايرة سابرة القياس FDC ضمن نموذج مولف من تشكيلة من الصخور الكلسية المشبعة بعياه عذبة ، فإن الكثافة الصخرية الظاهرة ρ_e والتي تسجل بالقياس سوف ترتبط بمعامل الكثافة الإلكترونية ρ_b وفقاً للعلاقة :

$$\rho_s = 1,0704 \rho_e - 0,1883$$

٩-٢

من أجل الصخور الرملية والكلسية والدولomite المشبعة بالسوائل ، وجد أن قراءة سابرية القياس ρ_s هي عملياً مساوية إلى الكثافة الطبيعية ρ_b . أما في حالة الصخور التالية : سيلفيت (سيلفين) KCl ، الصخر الملحي ، الجبس ، أنهريت ، الطبقات الفحمية والتشكيلات الحاملة للغاز ، فإن قيمة التصحيح تختلف من الشكل (٧-٢) وبعد معرفة قيمة الكثافة المقررة من القياس .

٦-٣-٢ تمثيل القياس وفقاً للسابرية FDC :



شكل ٦-٢: تمثيل القياس وفق سابرية FDC

إن نتائج التفاس أو السبر تمثل وفقاً للشكل (٦-٢) حيث يتم تسجيل منحنى الكثافة في الحقل الثاني والثالث وفقاً لمقاييس خططي مدرج بواحدة g/cm^3 . يمكن وبشكل اختياري أن يسجل عوضاً عن الكثافة ، المسامية وذلك ضمن الحقولتين المذكورتين أعلاه . يتم ذلك اعتماداً على المعادلة (١٠-٢) باستخدام قيم معروفة للصخر الصلب ρ_{ms} وأيضاً كثافة سائل الحفر الذي تملئ مسامات الصخر في الشروط الطبيعية ρ_b . الحقل الثالث يحتوي على قيمة تصحيحية الكثافة من تأثير كعكة الحفر

عدم انتظامية جدار البتر .

أما قياس قطر البتر Caliper ف يتم تسجيله في الحقل الأول بشكل مساوي وموازي لقياس غاما الطبيعية. في حال قياس نيزرون المعرض CNL مع قياس FDC في الوقت نفسه ، عندما يتم تمثيل هذا القياس (CNL) في الحقولين الثاني والثالث .

٣-٣-٢ حساب المسامية وفق قياسات الكثافة :

من أجل تشكيلة صخرية نظيفة ذات خصائص فيزيائية معروفة ρ_f ، ρ_m ، ρ_b ، ϕ من أجل الكثافة الطبيعية ρ_b نحسب وفق المعادلة (٢-١-أ) التالية :

$$\rho_b = \phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_m$$

٢-١-١

العنصر	A الوزن الذري	Z العدد الذري	2Z/A
H	1.008	1	1.9841
C	12.011	6	0.9991
O	16.000	8	1.0000
Na	22.990	11	0.9569
Mg	24.320	12	0.9868
Al	26.980	13	0.9637
Si	28.090	14	0.9968
S	32.070	16	0.9978
Cl	35.460	17	0.9588
K	39.100	19	0.9719
Ca	40.080	20	0.9980

جدول ٣-٢

من أجل صخور خازنة ذات تركيب فلزى معروف ، والتي تكون مشبعة بسوائل معروفة (نفط ، ماء) فإن الكثافة الظاهرية ρ_b والمسجلة بالقياس المباشر تكون متساوية للكثافة الطبيعية ρ_b مع فارق بسيط جداً ويمكن إهماله. من خلال ترتيب المعادلة السابقة (٢-١-أ) وفقاً للمسامية نحصل على المعادلة (٢-١-ب) التالية :

$$\phi = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m - \rho_f}$$

٢-١-٢

على فرض أن $\rho_b = \rho_f$ باستثناء بعض الحالات الشاذة .

أما ρ_m للصخور التي نصادفها في القياس فيمكن الحصول عليها من الجدول (٤-٢).

إن السائل المتواجد في مسامات التشكيلة الصخرية وضمن نطاق النقطة المختارة

وهي تسمى كثافة ρ_m في خطط حقل بمحرك المحرر لعينات .