

## الفصل الثاني

### قياس أشعة غاما الطبيعية وتطبيقاته

١-٢-١ تخلص أشعة غاما :

إن أشعة غاما الناتجة عن تفكك العناصر المشعة تخضع لعملية التوهين (تخامد) وذلك بعد اصطدامها أو اجتيازها لمادة ما . هذا التوهين لأشعة غاما يخضع لثلاث تحولات مختلفة ، وذلك تبعاً لطاقة الأشعة من جهة ، وخصائص الوسط أو المواد التي تجتازها من جهة أخرى . هذه التحولات هي :

١- التأثير الفوتوني Photoelectric absorption (الامتصاص الألكتروني)  $E_\gamma \leq 0.6 \text{ MeV}$

٢- تأثير أو تبعثر كمبتون Compton Scattering  $0.6 \text{ MeV} < E_\gamma < 1.2 \text{ MeV}$

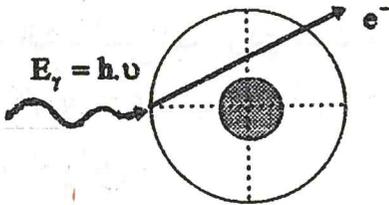
٣- تشكيل الأزواج Pair production  $E_\gamma > 1.2 \text{ MeV}$

أ- التأثير الفوتوني ( فوتو الكرون/كهرضوئي ) :

يُعبّر التأثير الفوتوني عن عملية امتصاص فعليه للثققات  $\gamma$  الساقطة على المادة ، حيث يحصل نتيجة اصطدام هذه الثققات مع ذرات المادة خروج فوتو الكرون من المدارات الخارجية بطاقة  $E_e$  . هذه الطاقة تعرف على أنها الفرق ما بين طاقة ثققات غاما الساقطة  $h\nu$  والتي قادت إلى نزع الإلكرون وبين طاقة ارتباط هذا الإلكرون مع نواة الذرة شكل (١-١) . ويمكن تمثيل ذلك وفق المعادلة التالية :

$$E_e = h\nu - E_{e1}$$

١-١



حيث أن :  $E_e$  - طاقة فوتو إلكرون

$E_\gamma = h\nu$  طاقة أشعة غاما الساقطة

$E_{e1}$  - طاقة ارتباط الإلكرون مع

نواة الذرة

$h$  - ثابت بلانك

$\nu$  - تردد الفوتون

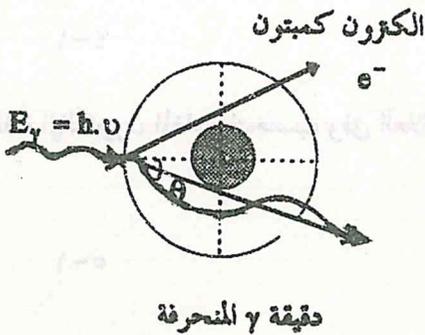
شكل ١-١ : التأثير الفوتوني وفق

مبليزر 1975

إن الجزء الأساسي من كامل عملية التوهين التي تحدث للقيقات  $\gamma$  بعد الاصطدام ترجع للتأثير الفوتوني لأشعة غاما ذات الطاقة الضعيفة وذلك في العناصر ذات الوزن النوعي الكبير .

إن المكان الذي يتركه الإلكترون المغادر للذرة سوف يحتل من قبل الإلكترون من مدار داخلي ، حيث إن طاقته أكبر من طاقة الإلكترون المغادر وبالتالي سوف يصدر عن عملية انتقاله إصدار أشعة الكرومغناطيسية والتي تشكل الأثر الوميضي للذرة .

### ب- تأثير أو انحراف كمبتون Compton Scattering : تبعثر



وفق هذا التأثير تصطبغ دقيقات غاما مع الإلكترونات الذرفوالتي يدورها سوف تنخفض طاقة أشعة غاما الساقطة وبالتالي انحرافها عن مسارها الأساسي وخروج إلكترون حر يطلق عليه بالإلكترون كمبتون حيث يأخذ جزءاً من طاقة فوتون أشعة غاما المنحرفة كما هو موضح في الشكل (٢-١) .

شكل ٢-١ : تأثير كمبتون وفق ميلنر 1975

إن مقدار التبعر (تبعثر كمبتون) الذي يطراً على أشعة غاما الساقطة يتناسب طردياً مع عدد الإلكترونات في واحدة الحجم للمادة التي تخترقها هذه الأشعة أي :

$$\sigma = k \frac{\rho \cdot z}{A}$$

٢-١

K معامل التصحيح

وبما أن القيمة  $\frac{Z}{A}$  ثابتة تقريباً بالنسبة لكافة العناصر فإن معامل التبعر  $\sigma$  يتعلق

بكتافة الوسط المعتمد  $\rho$  . إن عملية انحراف أو تبعثر دقيقة أشعة غاما عن مسارها ينجم عنه تغير في طول الموجة وترددها بحيث إن التردد لهذه الأشعة (الدقيقات) سوف يصبح أقل ويزداد طول الموجة ، وبقدر ما يكون نقصان التردد  $\nu$  ملاحظاً بقدر ما تكون زاوية التبعر كبيرة . يتم حساب تزايد طول الموجة ل غاما كوانتن بعد عملية الاصطدام وفق العلاقة :

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 \cdot c} (1 - \cos\theta)$$

٣-١

حيث إن  $m_0$  - كتلة الإلكترون الأساسي .

$c$  - سرعة الضوء في الخلاء .

$h$  - ثابت بلانك .

$\theta$  - زاوية الانحراف .

إذا فرضنا أن طاقة غاما - كوانتم قبل الاصطدام هي  $h \cdot \nu$  وبعد الاصطدام أصبحت  $h \cdot \nu'$  أي انخفضت حتى المقدار  $h \cdot \nu'$  هذا المقدار يمكن حسابه من العلاقة التالية :

$$h \cdot \nu' = \frac{m_0 \cdot c^2}{1 + \cos\theta} + \frac{m_0 \cdot c^2}{h \cdot \nu}$$

٤-١

أما طاقة الإلكترون المغادر فتحسب وفق العلاقة :

$$E_e = h \cdot \nu \left[ 1 - \frac{1}{1 + \frac{h \cdot \nu (1 - \cos\theta)}{m_0 \cdot c^2}} \right]$$

٥-١

يحدث تأثير كمبتون لنظائرات غاما ذات الطاقة المتوسطة  $0,6 < E_\gamma < 1,02$  ميغا إلكترون فولط ، ويصبح هذا التأثير مهماً في حال استخدام نظائرات ذات طاقة أكبر من

1,02 ميغا إلكترون فولط ، أو أصغر من 0,6 ميغا إلكترون فولط  $MeV$  .

تفقد نظائرات غاما طاقتها من خلال تأثير كمبتون حتى تصل إلى حد معين بحيث تتمتع بشكل كامل من قبل الذرة وذلك وفقاً للتأثير الفوتوني . لقد تبين للعلماء أنه نتيجة لتأثير كمبتون فإن التركيب الطيفي لأشعة غاما يتغير ، وهذا التغير في الطيف له أهميته البالغة من أجل تفسير قياسات أشعة غاما الطبيعية لمعرفة الفعالية الإشعاعية الطبيعية للصخور .

### ج- تشكيل الأزواج Pair Production :

يحصل هذا التأثير عندما تكون طاقة أشعة غاما أكبر من 1 ميغا إلكترون فولط ، حيث ينجم عن تصادم دقيقة غاما مع نواة الذرة ويحصل بنتيجته تحول هذه الدقيقة إلى إلكترون سالب وإلكترون موجب (بوزيترون) ، كما هو ملاحظ في الشكل (٣-١) .

إن البوزيترونات المتكونة نتيجة الاصطدام لها عمر قصير جداً حيث لا تلبث أن

تتلاشى بعد اصطدامها ثانية مع

الإلكترونات ، وينتج من ذلك نوعين من

فقايق غاما ذات الطاقة 0.51 ميغا إلكترون

فولط والتي تتابع سيرها في الاتجاه

المعاكس، وتتلاشى بتأثير الكهرضوئي.

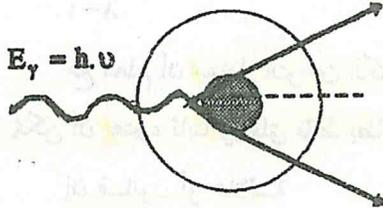
يمكن ملاحظة التعماد الذي يفعله

تشكل الأزواج فقط على دقائق غاما

الساقطة والتي طاقتها أكبر من 2 ميغا

إلكترون فولط . حيث إن قيمة التعماد

تلاحظ بشكل واضح نسبة إلى كامل



شكل ١-٣ : مبدأ تشكل الأزواج وفق

ميلوتزر 1975

التعماد الذي تحدته المؤثرات الأخرى . إن الأمر الذي يجب معرفته بالنسبة للحيوفيزيائيين هو

أن تخامد أشعة غاما الناجمة عن تأثير تشكل الأزواج في الصغور ليس له أي دور في القياسات

الإشعاعية .

إن قيمة انخفاض طاقة أشعة غاما ( تخامدما ) أثناء عبورها للوسط يمكن التصور عنه

وفق المعادلة الأسية التالية :

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

٦-١

حيث إن : I - الشدة الإشعاعية للقيقة غاما بعد الإحتياز .

I<sub>0</sub> - الشدة الإشعاعية للقيقة غاما قبل الإحتياز .

$\mu$  - المسافة المتخاضة ( سماكة الامتصاص ) وهي تابعة لطاقة الإشعاع وخصائص المادة المتخاضة .

$\mu$  - معامل التوهين أو التعماد ويمكن حسابه وفق العلاقة :

$$\mu = \tau + \sigma + \rho$$

٧-١

أي عبارة عن مجموع التعمادات التي تحدثها التحولات الثلاثة السابقة الذكر .

$\tau$  - معامل الامتصاص الناجم عن التأثير الفوتوني .

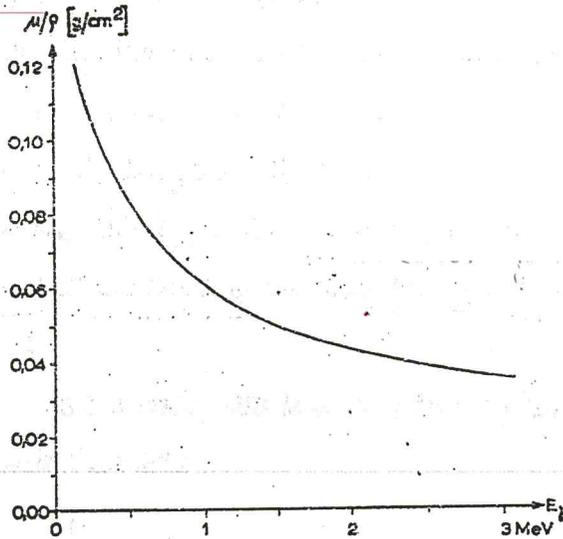
$\sigma$  - انحراف كميون .

$\rho$  - معامل تشكل الأزواج .

وبما أنه في التشكيلات الجيولوجية لا يؤخذ بعين الاعتبار سوى تأثير كمبتون في حساب تخامد أو توهين أشعة غاما ومعروف أن معامل توهين كمبتون يتناسب طردياً مع كثافة الصخور لذا نجد أنه من الممكن كتابة قانون التخامد أو التوهين لأشعة غاما وفق الصيغة التالية

$$I = I_0 e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right) \rho x} \quad ٨-١$$

مع العلم أن معامل التوهين الكتلي  $(\mu/\rho)$  لجميع الصخور ، في حال استخدام دقة عالية يمكن أن نعتبره ثابتاً ويتعلق فقط بطاقة أشعة غاما  $(E_\gamma)$  وهذا ما يوضحه الشكل (١-٤) . إن قانون أو علاقة



شكل ١-٤: معامل التوهين الكتلي للصخور كتابع لطاقة إشعاعات غاما .

التخامد السابقة هي صحيحة تماماً من أجل حزمة مراقبة من أشعة غاما فقط ، وهذا الموضوع غير محقق في الآبار والصخور . يجب الانتباه إلى أن دقيقتات غاما الناتجة عن تأثير كمبتون سوف تشارك ثانية في حقل أشعة غاما الأربي وهذا سيؤدي بدوره إلى تسجيل قيمة للتخامد أقل من القيمة الحقيقية

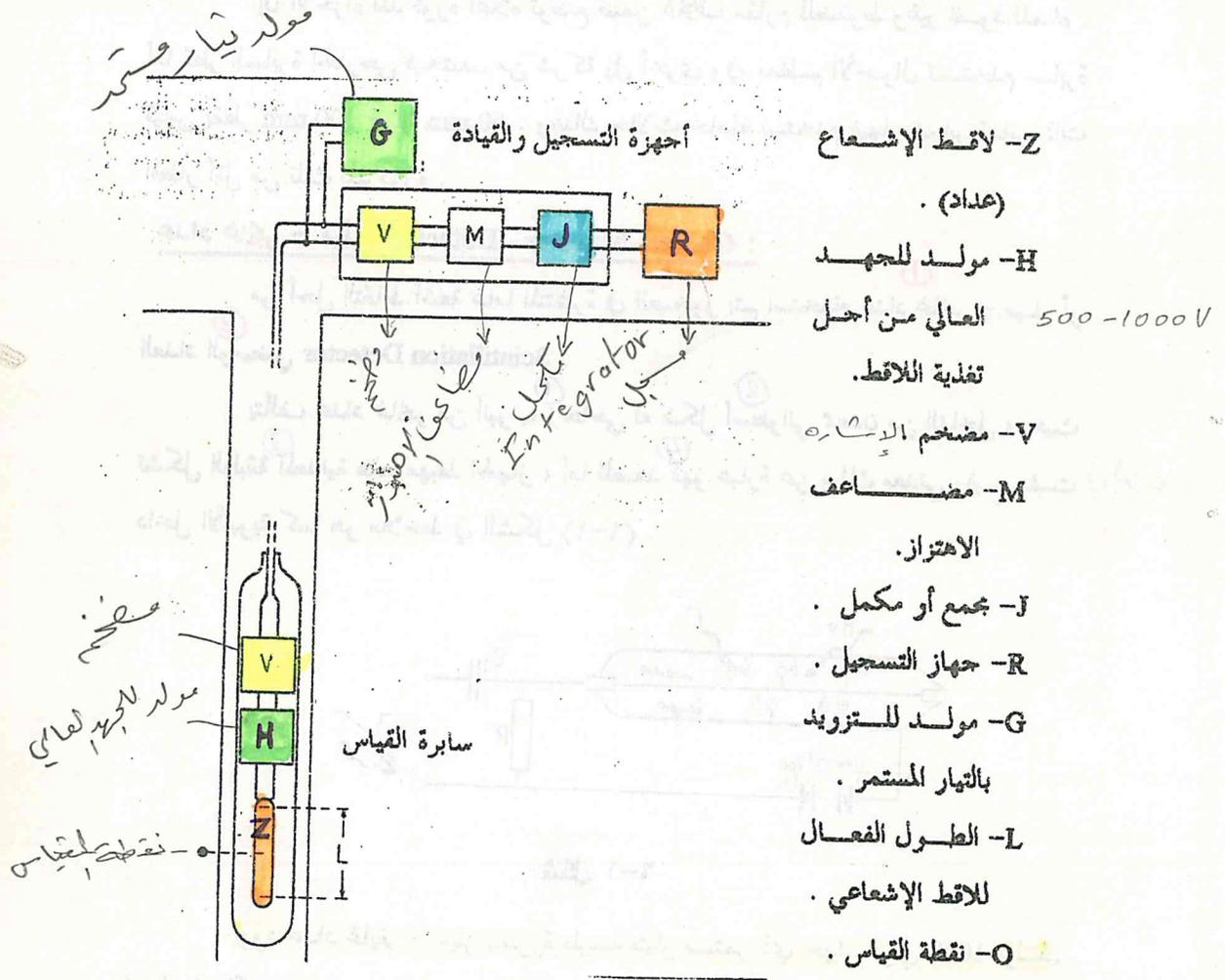
وقد تصل في بعض الأحيان حتى 50% . هذه الظاهرة تلعب دوراً كبيراً في تفسير قياسات

غاما الطبيعية الكمية حيث تؤدي إلى أخطاء كبيرة في التفسير وخاصة إذا لم يكن هناك انحراف ذو أهمية في منحنى القياس .

٢-٢-١ الأجهزة المستخدمة لقياس إشعاعية غاما الطبيعية في الصخور :

كمقياس لشدة إشعاعية الصخور في الآبار يتم قياس وتسجيل شدة إشعاعات غاما فقط وذلك لقدرتها على النفاذ في الأوساط المختلفة حيث إن أشعة  $\alpha$  و  $\beta$  لا تكاد تصل إلى

سابرة القياس وحتى تكون قد امتصت كلياً من قبل سائل الحفر وجدار سابرة القياس .  
 إن تسجيل إشعاعات غاما يتم باستخدام جهاز إشعاعي خاص والذي يتألف من  
 جزئين رئيسيين هما سابرة القياس التي ترسل عبر البئر والجزء السطحي والذي يتألف من  
 أجهزة التوجيه والقياس كما هو موضح في الشكل (٥-١).  
 إن المصطلحات الواردة على المخطط التوضيحي هي :



شكل ٥-١ : المخطط التوضيحي للجهاز المستخدم في قياس شدة إشعاعات غاما في الآبار .

## سابرة القياس النثرية لإشعاعات غاما (Gamma -Sonde) :

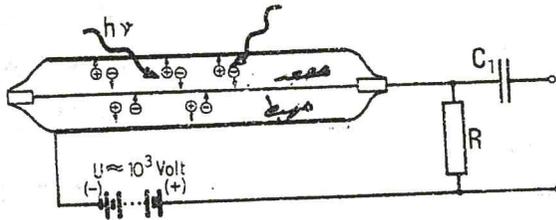
تتألف سابرة القياس هذه من لاقط إشعاعات غاما (Detector) <sup>1</sup> والذي يعمل على تحويل طاقة إشعاعات غاما الواردة إليه إلى إشارات كهربائية ويسجلها (نبضات جهدية - تيار) <sup>2</sup> . ومن منبع للجهود العالي من أجل عمل اللاقط أو المشعر ومن مضخم الإشارة <sup>3</sup> في المرحلة الأولى <sup>4</sup> .

إن الأجزاء المذكورة أعلاه توضع ضمن غلاف مقاوم للضغط وغير نفوذ للماء . أما قطر السابرة الخارجي فيختلف من شركة إلى أخرى وفي معظم الأحوال تستخدم سابرة قياس بقطر 100 mm - أو 60 mm . وهناك حالات خاصة تستخدم فيها سوابر قياس ذات أقطار أقل من تلك المذكورة .

## عداد غايجر - ميلر Geiger - Mueller - Detector :

من أجل التقاط أشعة غاما المنتشرة في الصخور يتم استخدام عداد غايجر - ميلر أو العداد الوميضي Scintillation Detector <sup>1</sup> .

يتألف عداد غايجر من أنبوب زجاجي له شكل أسطواني معدن من الداخل ، حيث تشكل الطبقة المعدنية هذه المهبط للجهاز ، أما المصعد فهو عبارة عن سلك معدني رفيع مثبت في الوسط داخل الأنبوبة كما هو ملاحظ في الشكل (٦-١) .



شكل ٦-١

يزود عداد غايجر - ميلر بصورة طبيعية بتيار مستمر ذي جهد حوالي 1000 فولط . إن الفرق الكبير في الجهد بين المهبط والمصعد يؤدي إلى إكساب فوتونات أشعة غاما الواردة إلى اللاقط سرعة كبيرة ، بحيث تكون كافية لتأيين ذرات الغاز الموجودة داخل الأنبوب الزجاجي .

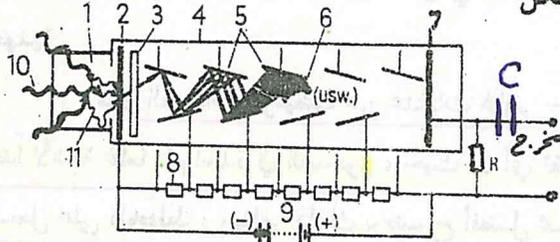
إن الإلكترونات الثانوية التي تنشأ عن عملية التأين تتسرع بدورها ، حيث تقوم بتأين الذرات الأخرى من الغاز . وبهذا الشكل فإنه يتم في نهاية المطاف تشكيل تيار كبير من الإلكترونات والتي تصل إلى المصعد الذي يصبح بعدها حياً من الناحية الكهربائية وينتج عن ذلك نبضة كهربائية من خلال الإنفراغ الكهربائي بين القطبين والتي يتم تسجيلها على شكل تيار مستمر من خلال مكمل (Integrator) . إن شدة التيار يتناسب طرماً مع شدة الإشعاع الطبيعي - أي أن ساعات المنحني المسجل يجري تفسيرها فيما بعد ويحدد بعدها العمود الليتولوجي للمصحور المحترقة بالبرق .

يتألف المكمل (Integrator) من مكثفة C تشحن بواسطة النبضات الكهربائية المتكونة نتيجة ورود أشعة غاما على أنبوبة الجهاز ويتم تفريغها عن طريق المقاومة R . في حالة التعادل للجهاز (حالة التوازن) فإن جهد المكثف يتناسب طرماً مع وسطي معدل النبضات ، وبالتالي شدة التيار المستمر الذي يسري في جهاز التسجيل الأخير والذي كما ذكرنا سوف يسجل على شكل منحنى ، هذا المنحنى يظهر لنا إشعاع غاما الطبيعية والذي سيتم شرحه لاحقاً .

### العداد الوميضي Scintillation Detector

ويطلق عليه وفق المدرسة الأمريكية بالمضاعف الفوتوني Photomultiplier يتألف

هذا العداد كما هو ملاحظ في الشكل



(1-7) من الأجزاء التالية :

- 1- بلورة ومضية (Scintillation kristall)
- 2- مهبط فوتوني .
- 3- محرق Fokus .
- 4- مضاعف الكروني ثانوي elektronen multipliere Sekundare
- 5- دينود (Dynod) الكترود مهمته إصدار الإلكترونات الثانوية .
- 6- الإلكترونات الثانوية .
- 7- مصعد الكروني (Anode) .
- 8- أجزاء الجهد .

شكل 1-7 : المخطط التوضيحي لعداد

وميضي .

كما هو ملاحظ من الشكل السابق يتألف الجهاز من جزئين رئيسين هما :

**الجزء الأول :** وهو عبارة عن بلورة وميضية رقم (1) .

**الجزء الثاني :** رقم (4) وهو عبارة عن مضاعف الكتروني ثانوي SEM . إن مهمة

البلورة الرئيسية هي تحويل طاقة إشعاعات غاما الواردة إليها إلى ومضات ضوئية ، حيث إن الطاقة الناتجة عن التأثيرات التصادمية المختلفة (الفوتوني - كمبتون - تشكيل الأزواج ) ضمن البلورة ، يتم امتصاصها بشكل كلي من قبل حزميات هذه البلورة . إن جزءاً من هذه الطاقة الممتصة يتم تحويلها إلى ضوء فلوريسينسي Fluorescence Light .

من البلورات المستخدمة في ساهرة القياس البصرية نذكر بلورة يود الصوديوم المشع + التاليم

. Thallium-aktivierte Natriumjodid

إن الفوتونات الفلوريسينية (Fluorescence photons) المتكونة في البلورة الوميضية

تصل إلى المهبط الفوتوني ذي الحساسية العالية جداً التابع للمضاعف الإلكتروني الثانوي (4) ، وفي المهبط تصدر الإلكترونات الضوئية والتي يتم تسريعها وذلك بإخضاعها إلى حقل كهربائي ذي جهد كبير من 1000-2000 فولط وبعدها توجه عن طريق المحرق (3) إلى أقطاب زوجية (دائود) ، والتي تقوم بمضاعفة عدد الإلكترونات الضوئية بشكل تدريجي وعلى مراحل حيث تخضع الإلكترونات في كل مرحلة للتسريع حتى تصل في نهاية المطاف إلى المصدد الإلكتروني، وذلك على شكل حرف من الإلكترونات والتي تحدث في مخرج المضاعف الإلكتروني نبضة جهدية .

تمتاز العدادات الوميضية عن عدادات غايغر - ميلر على أنها ذات حساسية عالية

جداً لأشعة غاما المتواجدة في الصخور ، حيث أن أي تغير بسيط في هذه الإشعاعات يمكن أن يسجل على المخطط ، ويظهر ذلك بوضوح أفضل مما هو عليه في قياسات غاما المنحزة بواسطة عداد غايغر-ميلر .

إن المبدأ الأساسي المستخدم في تفسير منحنيات قياس غاما الطبيعية ، هو العلاقة

الخطية ما بين الطاقة الممتصة من قبل البلورة لإشعاعات غاما الساقطة وعدد الفوتونات الضوئية الناتجة عن امتصاص هذه الطاقة . وبما أن كمية الطاقة الممتصة من قبل البلورة متعلقة بطاقة الإشعاعات الواردة إلى البلورة ، وبهذا الشكل نستطيع تحديد طاقة الإشعاعات الواردة



صام

صام

من خلال معرفة سعة النبضة المسجلة .

إن أهم مساوئ العدادات الوميضية هي حساسيتها الكبيرة للحرارة (المضاعفات الإلكترونية) وبسبب ذلك يلزم عزلها عزلاً تاماً في أثناء القياس في الآبار العميقة وذلك بسبب الإرتفاع الكبير في درجة الحرارة .

### منبع الجهد العالي ومضخم الإشارة :

من الأجزاء التي يتألف منها عداد غايغر- ميلر أو العداد الوميضي ، منبع الجهد العالي 1000 فولط بالنسبة لعداد غايغر - ميلر 1000-2000 فولط بالنسبة للعداد الوميضي .

إن الغاية من توفر هذا الجهد هو تسريع الإلكترونات الثانوية والتي يتم مضاعفتها بسبب تزايد عملية الاصطدام . إن هذا الجهد يتم تأمينه بواسطة دائرة إلكترونية متواحدة في سابرة القياس نفسها ويتم التحكم بها إلكترونياً . أما المضخم فغايته الرئيسية هو تضخيم النبضة عند مخرج العداد وذلك قبل إرسالها عبر كابيل القياس إلى الأجهزة السطحية وذلك حتى لا يحدث لها تخامد كلي قبل وصولها إلى أجهزة التسجيل النهائية .

### جهاز تحديد وصلات مواسير التغليف Casing collar locator :

من الأجهزة التي ترافق سابرة قياس إشعاعات غاما الطبيعية نذكر جهاز قياس وصلات مواسير التغليف المغناطيسي يركب هذا الجهاز على رأس سابرة القياس ، حيث يعطي مخطط تواحد وصلات المواسير ، وذلك على شكل تنوعات تظهر على المنحني المغناطيسي وهذا يسمح بإعطاء العمق بالنسبة للآبار المغلفة ، والذي يسمح بتفسير منحني أشعة غاما الطبيعية دون الحاجة إلى جهاز تسجيل العمق . ويفيد أيضاً في عمليات الإختبار اللاحقة للآبار ، وإجراء عمليات التقيب .

### أجهزة التسجيل الإشعاعي السطحية :

تتألف الأجهزة السطحية من أجزاء القيادة والتوجيه ومن أجهزة التسجيل ، انظر

الشكل (١-٥) . وهي مولفة بشكل عام من :

١- مضخم الإشارة الكهربائي V ٢- مضاعف الاهتزاز M

٣- مكمل Integrator ٤- جهاز التسجيل R

إن النبضات الجهدية الواردة من سابرة القياس البترية تضخم ثانية على السطح

وبعدها تدخل إلى جهاز مضاعف الإهتزاز (Multivibrator) الذي يحولها إلى نبضات ذات سعة ودور واحد .

من أجل تسجيل مستمر للشدة الإشعاعية والتي تقاس من خلال عدد النبضات في واحدة الزمن (Imp/min نبضة/الدقيقة أو Cpm كوانت/دقيقة أو بالثانية) ، ويطلق على ذلك معدل النبضات ، في هذه الحالة لاضرورة لتسجيل عدد النبضات خلال مجال زمني ، وإنما الأمر المهم في هذا المجال هو تكامل هذه النبضات المفردة وتحويلها إلى تيار مستمر ، بحيث تكون شدة هذا التيار متناسبة طردياً مع معدل النبضات ، ويسمح ذلك بعمل جهاز التسجيل .

إن العملية السابقة (تسجيل مستمر) تحدث بمساعدة جهاز التكامل Integrator والمولف من مكثف سعته C والذي يشحن من قبل النبضات الكهربائية التي جرى توحيدها ، ويفرغ عن طريق المقاومة R . أثناء حالة التوازن لجهاز التكامل فإن جهد المكثف وبالتالي شدة التيار الذي يجري من خلال المقاومة ، أي القيمة RC تتناسب طردياً مع معدل النبضات الكهربائية أو الجهدية . من أجل إزالة التذبذبات النبضية الاحتمالية المتتالية يتم إجراء المكاملة Integration في مجال زمني صحيح والذي يطلق عليه بالثابت الزمني هذا الزمن يحسب من العلاقة :

$$\tau = RC$$

٩-١

حيث أن :  $\tau$  الثابت الزمني

C - سعة المكثف ، R - المقاومة الكهربائية\* (يتم توضيح ذلك في الجلسات العملية) .

٣-٢-١ منحني قياس أشعة غاما وتصويراته :

- الدذبذبات الاحتمالية :

من المعلوم أن عملية الإنقسام الإشعاعي هي عملية عفوية تخضع لقوانين الاحتمال ، ولهذا السبب فإن قياس الفعالية الإشعاعية والشدة الإشعاعية يتم فقط من خلال القيمة الوسطية كتابع للزمن وليس كقيمة مطلقة ، ونحصل على هذه القيمة من خلال قياسات طويلة ومستمرة بحيث يتم حذف الدذبذبات الناتجة في أثناء القياس . للحصول على القيمة الوسطية هذه ، يلجأ إلى استخدام جهاز التكامل Integrator والذي تم شرحه سابقاً ، وذلك في حالة القياسات الجيوفيزيائية البحرية الإشعاعية .

إن التذبذبات الملاحظة على منحنى القياس وكذلك القيمة المحتملة للشدة الإشعاعية

والخطأ المنتظر من القياس يخضعوا جميعاً لقوانين حساب الاحتمالات ، وبسبب التشتت

الإحتمالي للنبضات الصادرة عن اللاقط فإن عدد هذه النبضات المقاسة في الزمن  $t$  سوف

تتذبذب أو تتأرجح حول القيمة الوسطية  $n$  .

إن سعة أو قيمة هذه التذبذبات يمكن حسابها من خلال الخطأ الوسطي أو التربيعي

وفقاً لما يلي :

$$\sigma = \pm \sqrt{n}$$

١٠-١

وذلك بفرض أن  $n$  هي عدد النبضات المسجلة . وبالرجوع إلى نظرية حساب

الاحتمالات نجد أن 70% من الانحرافات عن القيمة الوسطية واقعة ضمن القيمة  $\sigma$  و 95%

ضمن القيمة  $2\sigma$  و 0,3% من هذه الانحرافات فقط يمكن أن تتجاوز القيمة  $3\sigma$  . إن حساب

الخطأ النسبي في القياس يتم وفق العلاقة :

$$\delta = \frac{\sigma}{n} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

$$\frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n} \cdot \sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

١١-١

إن العلاقة السابقة تصلح فقط في حساب الخطأ الإحتمالي في حال حساب القيمة

الوسطية للشدة الإشعاعية لأشعة غاما وذلك من أجل طبقة متجانسة . إن عدد النبضات  $n$

والذي يتم تسجيله من قبل سائرة القياس البصرية في الطبقة يتناسب طردياً مع معدل النبضات  $N$

الذي يميز الشدة الإشعاعية وذلك في المنطقة التي تتواجد فيها سائرة القياس وأيضاً مع الزمن  $t$

$$n = N \cdot t$$

أي أن :

وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن الزمن  $t$  يتعلق بكل من سرعة إنزال أو رفع سائرة

القياس وسماكة الطبقة  $h$  أي أن  $t = h/v$  عندها يمكن حساب الخطأ النسبي من أجل طبقة

متجانسة سماكتها  $h$  وبالتالي يمكن حساب الشدة لهذه الطبقة :

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{N \cdot t}} = \sqrt{\frac{v}{N \cdot h}}$$

١٢-١

حيث أن :  $v$  - سرعة القياس م/ثا .

$N$  - معدل النبضات في الطبقة .

$h$  - سماكة الطبقة المتجانسة .

من أجل تحديد الشدة الإشعاعية لأشعة غاما في نقطة ما من منحنى غاما فإن الخطأ النسبي الوسطي لهذه القيمة المقروءة تتعلق بكل من المعدل الوسطي للنبضات  $N$  وأيضاً بالثابت الزمني  $T$  والذي يجري خلاله شحن جهاز التكامل Integrator أي أن :

$$\delta' = \frac{1}{\sqrt{2NT}}$$

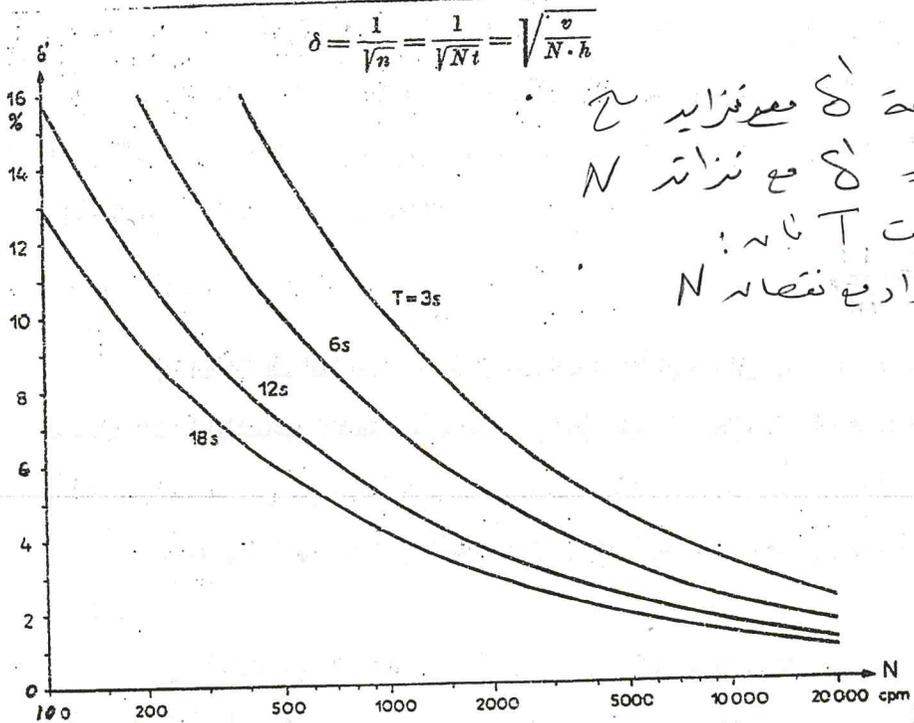
$$C = R - C$$

١٣-١

الخطأ النسبي الوسطي

الشكل (٨-١) يوضح لنا بعض المنحنيات وذلك من أجل معرفة الخطأ النسبي

الوسطي اعتماداً على العلاقة السابقة .



شكل ٨-١ : لوحة لحساب الخطأ الإحصائي النسبي  $\delta'$  للقياسات الإشعاعية من أجل قيم مختلفة للثابت الزمنية  $T$  .

من أجل تخفيض الذبذبات الإحصائية التي تظهر على المنحنى القياسي وبالتالي تخفيض الخطأ النسبي الإحصائي ، فإنه يلجأ إلى إجراء عملية التكامل أو حساب القيمة الوسطية ضمن مجال زمني كبير ، وذلك كما هو ملاحظ من الشكل السابق ، حيث نجد أنه بإزدياد الثابت الزمني تنخفض قيمة الخطأ النسبي الإحصائي .

صام

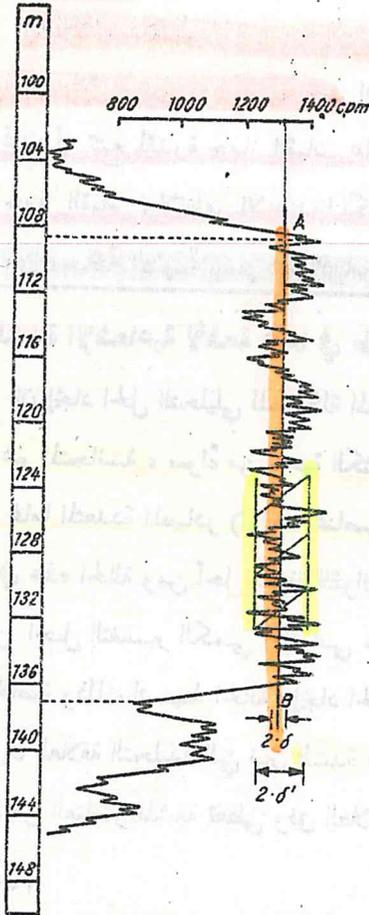
اعتماداً على قيمة الخطأ النسبي الإحصائي المسموح به في القياس  $\delta$  يمكن حساب

الثابت الزمني T . وفق العلاقة :

$$T = \frac{1}{2N\delta^2}$$

١٤-١

إن تقدير الخطأ النسبي الإحصائي ومعرفته  $\delta$  ذا أهمية بالغة في تفسير منحني القياس



غاما وذلك لأنه اعتماداً على هذا

الخطأ نحدد دقة نتائج القياس وأيضاً

يتم تقييم نوعية عمل أجهزة القياس

فيما إذا كانت جيدة أو سيئة كما في

الشكل (٩-١) الذي يرينا منحنى

غاما مقابل طبقة ذات سماكة كبيرة.

من المنحني نجد أن الطبقة متجانسة

وأن الانحرافات على المنحني وعن

الخط AB تتأرجح ضمن المجال . 2٥١

إن قيم الشدة الإشعاعية الوسطية

المانحودة من المنحني ذات خطأ نسبي

قدره  $\pm 0,02$  .

بشكل عام يلاحظ على

منحني غاما شواذات أو انحرافات

كبيرة واضحة ، وانحرافات صغيرة

جداً يمكن أن تكون ناتجة إما عن تغير

ضعيف في الشدة الإشعاعية للطبقة ،

أو عبارة عن تأرجحات احتمالية .

من أجل الحصول على الجواب

الصحيح لابد من إعادة القياس عدة

مرات أو الاعتماد على قياسات

شكل ٩-١: مثال على حساب الخطأ النسبي

الإحصائي  $\delta$  و  $\delta$  في حال حساب

للشدة الإشعاعية من منحنى غاما مع

فرض أن  $(T=65 \text{ دقيقة}) (v = 10m)$

وفق بيركوف PERKOW

عام

نموذجية قياسية . ففي حال إعادة القياس وظهرت نفس التذبذبات نقول عندها أنها ناجمة عن تغيرات في الشدة الإشعاعية ، وإن لم تظهر نفسها فإننا نجزم بأنها تذبذبات احتمالية .

إذا لم يتوفر هناك قياسات استنادية فإن الانحرافات الضعيفة على منحني القياس لأشعة غاما يمكن أهلها بعين الاعتبار عندما تكون ساعاتها مساوية على الأقل ثلاث أضعاف الانحرافات الاحتمالية .

عام

الكبرية  
38

$$\delta' = \frac{1}{\sqrt{2N}} T$$

إن الاعتبارات السابقة سارية المفعول ليس فقط على قياسات غاما وإنما على جميع طرق القياسات الإشعاعية بدون استثناء . إن الانحرافات في المنحني عن التشتت الاحتمالي يمكن أن تحدد أو تتبع لمقدرة جهاز القياس على التقاط الإشعاع وإعطاء النبضات أي على حساسية جهاز القياس ولا تظهر إلا عندما يكون معدل النبضات عالي جداً .

**تأثير كل من سماكة الطبقة وسرعة القياس على منحني القياس :**

توزع الشدة الإشعاعية لأشعة غاما في طبقة نشيطة إشعاعياً :

إن إيجاد الحل التحليلي للمشكلة المطروحة أمامنا وهي معرفة توزيع الشدة الإشعاعية للأوساط غير المتجانسة ، سواء من ناحية الكثافة أو الفعالية الإشعاعية ، أي الأوساط الحاوية على أشعة غاما المتعددة المصادر (تواجد عناصر مشعة مختلفة) هي عملية شبه مستحيلة وصعبة التحقق . في هذه الحالة ومن أجل معرفة القوانين التي يخضع لها قياس غاما والتي تشكل الأسس الحقيقية من أجل التفسير الكمي والنوعي لهذه القياسات، فإنه يلجأ إلى استخدام بعض الحالات الخاصة وذلك لتبسيط الحالة وإيجاد الحل الأمثل . يمكن أن نوضح ذلك فيما يلي :

إن العلاقة التحليلية التي تبين الشدة الإشعاعية ضمن وسط متجانس كتابع لحتوى هذا الوسط من العناصر المشعة تعطى وفق العلاقة (1-10) :

$$I_{\gamma} = D_{\gamma} \frac{Q}{r^2} e^{-\mu r} \quad 10-1$$

- حيث :  $I_{\gamma}$  - شدة الإشعاع  $[r/h]$  أو  $[Mr/h]$
- $Q$  - الفعالية الإشعاعية بالكوري Ci .
  - $D_{\gamma}$  - معامل التناسب ويعطى  $\frac{Mr}{h} \cdot g \cdot cm^2$
  - $r$  - المسافة بين المنبع والنقطة المفروضة .
  - $\mu$  - معامل التخميد .

$\mu r/h$

وقد لاحظنا عند اشتقاق هذه العلاقة أن تأثير كل من البئر وسابرة القياس لم يؤخذنا بعين الاعتبار . يمكن أن نحصل على نفس العلاقة السابقة مع مراعاة تأثير البئر والسابرة ، وذلك بفرض أن البئر مملوءة بالهواء ن أي بمعنى أن البئر ذا معامل امتصاص معلوم ويحترق طبقة ذات سماكة كبيرة ومتجانسة (حوالي  $h = 2m$ ) .

من أجل أن ندرس تأثير سماكة محددة مؤلفة من طبقات صخرية مختلفة فإنه لا بد من أن ندرس الحالة الخاصة أولاً وهي حساب الشدة الإشعاعية لأشعة غاما على طول محور بئر شاقولي ذي قطر لامتناهي في الصغر ويحترق طبقة أفقية ذات سماكة  $h$  وكثافة  $\rho$  حاوية على كمية من العناصر المشعة  $q$  (حالة افتراضية) .

في هذه الحالة فإنه يفترض بأن أشعة غاما وحيدة المصدر وأن كثافة الوسط المحيط متماثلة وتساوي  $\rho$  ، أو غير حاروي على عناصر مشعة ، كما يفترض أيضاً أن يكون معامل الإمتصاص  $\mu$  لأشعة غاما ثابت على كامل الحجم المدروس .

إن الشدة الجزئية لأشعة غاما  $dI_\gamma$  في نقطة  $p$  واقعة على محور البئر وتبعد مسافة  $r$  عن الحجم العنصري  $dv$  من الطبقة المفترضة يمكن أن تعطى بالعلاقة : شكل ١٠ - ١١

$$dI_\gamma = D_\gamma \frac{q \rho \cdot dv}{r^2} e^{-\mu r} \quad 16-1$$

$q$  نسبة نواحد الراديوغيم نسبة وزلية

أما الشدة الكلية لأشعة غاما  $I_\gamma$  في النقطة  $p$  والناجمة عن التأثير الكلي للطبقة التي سماكتها  $h$  ، فنحصل عليها وذلك بعد استخدام الإحداثيات الأسطوانية  $(\rho, Z, \phi)$  ، باعتبار مبدأ الإحداثيات في النقطة  $p$  . يرمز إلى المسافة ما بين حافة الطبقة وبين النقطة  $p$  بالرمز  $a$  ووجهة المحور  $Z$  موجبة نحو الأسفل كما هو في الشكل (١٠-١) وهكذا فإن العلاقة السابقة تصبح على الشكل التالي :

$$dI_\gamma = D_\gamma q \rho \frac{e^{-\mu \sqrt{r^2 + z^2}}}{r^2 + z^2} r dr d\phi dz \quad 17-1$$

والآن نجري عملية التكامل المحددة بالعناصر :

$r = \infty \leftarrow r = 0$   
 $\phi = 2\pi \leftarrow \phi = 0$   
 $z = a + h \leftarrow z = a$

فنحصل على قيمة الشدة الإشعاعية الكلية :

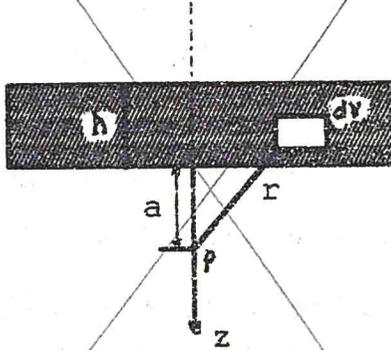
$$I_{\gamma} = 2\pi D_{\gamma} q \rho \int_a^{a+h} -E_i(-\mu z) dz$$

١٨-١

على اعتبار أن التعبير :

$$-E_i(-\mu z) = \int_{\mu z}^{\infty} \frac{e^{-x} dx}{x}$$

١٩-١



شكل ١-١٠ : شكل توضيحي من أجل اشتقاق منحني غاما النظري .

هو ما يعرف بالتكامل الأسي (يعطى في جداول خاصة) . نعتبر الآن أن قطر البئر هو  $d$  عندها وبعد إجراء نفس التحليل نجد أن الشدة الإشعاعية تحسب وفق العلاقة :

$$I_{\gamma} = 2\pi D_{\gamma} q \rho \int_a^{a+h} -E_i \left( -\mu \sqrt{\frac{d^2}{4} + z^2} \right) dz$$

٢٠-١

### تأثير طول لاقط الإشعاع على منحني القياس :

يجب التمييز بين حالتين هما :

أ- عند استخدام سواير القياس الومضية فإنه يمكن أن نعتبر توزيع الشدة الإشعاعية لأشعة غاما ضمن محيط اللاقط الحساس متجانسة في حالة المسح على طول صغير بالنسبة إلى طول البلورة الومضية . في هذه الحالة فإن المنحني غاما المسجل بواسطة سواير القياس الومضية يمكن أن يتشابه تماماً مع المنحني النظري للشدة الإشعاعية والمحسوب وفق العلاقة (٢٠-١) وذلك ضمن البئر .

ب- في حال استخدام سوابر القياس التي تستخدم العداد الأنبوبي (عداد غايغر-ميلر) والتي

تتميز بطول لاقط فعال يبلغ بضع ديسيمترات فإن توزع الشدة الإشعاعية في هذه الحالة

لا يمكن اعتباره متجانساً. في هذه الحالة فإن الشدة الإشعاعية المقاسة تقدم على شكل

قيمة وسطية على طول اللاقط الأنبوبي ذو الطول  $L$  وذلك وفق الشكل التالي:

$$I_{reg} = \frac{1}{L} \int_{z-\frac{L}{2}}^{z+\frac{L}{2}} I_{\gamma}(Z) dz$$

٢١-١

الشكل (١١-١) يقدم لنا عدد من المنحنيات النظرية من أجل قيم مختلفة للشدة

الإشعاعية لأشعة غاما وذلك مقابل طبقات مشعة وقد حسبت تبعاً للعلاقين (٢٠-١) و

(٢١-١)، مع فرض أن معامل الامتصاص  $\mu = 0.1 \text{ cm}^{-1}$  ،  $\rho = 2 \text{ g/cm}^3$  ، قطر البئر

$d = 15 \text{ cm}$  ، طول اللاقط  $L = 70 \text{ cm}$  ، وذلك من أجل سماكات  $h$  مختلفة للطبقة.

- تأثير سماكة الطبقة على منحنى القياس :

بالنسبة للطبقات السميكة فإن شدة إشعاعات غاما المقاسة في الجزء الأوسط منها

لا ترتبط مطلقاً بالسماكة وإنما تقدم معلومات عن الفعالية الإشعاعية للطبقة (Radioaktivität)

وذلك وفق المعادلة (٢٢-١):  $q = \frac{D_{\gamma}}{\mu r/h}$  نسبة تلامس لاقط البئر

$$I_{\gamma} = 4\pi \frac{D_{\gamma}}{\mu/\rho} q$$

٢٢-١

أما بالنسبة للطبقات ذات السماكات القليلة فإن سعة الشواذ الإشعاعي سوف تقل

وذلك مع تناقص السماكة. إن المنحنى ذا القيمة  $V.T = 0$  الشكل (١٣-١) يمثل لنا العلاقة

$$I_{\gamma} / I_{\gamma}^{h=\infty} = f(h)$$

وذلك في حال استخدام سابرة قياس بطول  $70 \text{ cm}$ . من أجل الطبقات ذات

السماكات الأكبر من  $(1 \text{ m})$  فإن حدود الطبقة تحدد في النقاط التي تكون فيها الشدة

الإشعاعية متوافقة مع منتصف السعة للشواذ المسجل. أما في حالة الطبقات ذات السماكة

القليلة (أقل من  $1 \text{ m}$ ) فإن السماكة الظاهرية والمحددة بالفرق ما بين عمق القيمة النصفية

وعرض القيمة النصفية أكبر من السماكة الحقيقية  $h$  أي بمعنى آخر فإن السماكة التي يتم

تحديدها وفق العلاقة السابقة هي أكبر من السماكة الفعلية للطبقة.