



[19] المملكة العربية السعودية SA

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

[11] رقم البراءة : ١٩٢٩

[45] تاريخ المنح : ١٤٢٨/١٢/٢٨ هـ

الموافق : ٢٠٠٨/٠١/٠٧ م

[12] براءة اختراع

[72] اسم المخترع: نيكولاس جيه. هيتون، روبرت فريدمان	[30] بيانات الأسبقية:
[73] مالك البراءة: سيرفيسوس دي بيرفيلاجيز اليكترونيكوس، اس. ايه.	براءة أمريكية ٢٠٠١/١٢/١٨ م امريكا [US] ٠٢٩٦٩٨/١٠
[74] عنوانه: كرايمور شامبيرز، ٧١ رود تاون، تورتولا، الجزر العذراء البريطانية	[51] التصنيف الدولي ^:
[21] رقم الطلب: ٠٢٢٣٠٤٦٠	Int. Cl. ⁸ :G01V 3/00
[22] تاريخ الإيداع : ١٤٢٣/٠٩/٢٢ هـ	[56] المراجع:
الموافق : ٢٠٠٢/١١/٢٧ م	براءة أمريكية ٦٣٣٧٥٦٨ ٢٠٠٢/٠١/٠٨ م
	براءة أمريكية ٦٣٤٦٨١٣ ٢٠٠٢/٠٢/١٢ م
	براءة أمريكية ٦٤٢٤٩١٩ ٢٠٠٢/٠٧/٢٣ م
	اسم الفاحص: إبراهيم بن منصور الفوزان

اختياره من مجموعة تتكون من زمن الارتخاء الطولي، وزمن الارتخاء العرضي، ونسبة زمن الارتخاء الطولي إلى زمن الارتخاء العرضي، ومعدل الانتشار.

٣١ عنصر حماية، ٦ أشكال

[54] اسم الاختراع: طريقة لتحديد الخواص الجزيئية

لمخاليط هيدروكربونات hydrocarbon mixtures

من بيانات الرنين النووي المغنطيسي NMR data

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بطريقة لتحديد

الخاصية الجزيئية لكل مكون في خليط من

الهيدروكربونات hydrocarbons شتمل على

اشتقاق متغير ديناميكي dynamic parameter

واحد على الأقل لكل مكون في الخليط من بيانات

الرنين النووي المغنطيسي (data NMR) المقاسة

للخليط، وحساب الخاصية الجزيئية لكل مكون في

الخليط من متغير ديناميكي dynamic parameter

واحد على الأقل لكل مكون. يمكن أن تشمل خطوة

اشتقاق المتغير الديناميكي dynamic parameter

الواحد على الأقل على توليد نموذج يحتوي على

مجموعة من العناصر لمكونات الخليط والتعديل

المتكرر لنموذج المكونات للوصول إلى أنسب

نموذج من بيانات الرنين النووي المغنطيسي data

(NMR). يشتمل المتغير الديناميكي dynamic

parameter الواحد على الأقل على متغير يتم

طريقة لتحديد الخواص الجزيئية لمخاليط هيدروكربونات hydrocarbon mixtures من

بيانات الرنين النووي المغنطيسي NMR data

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

يتعلق الإختراع الحالي بمجال طرق معالجة البيانات للتسجيل وأخذ العينات في آبار النفط. بتحديد أكثر يتعلق الإختراع الحالي بطرق لتحديد خواص مخاليط الهيدروكربونات hydrocarbons وأنواع النفط الخام تشمل التركيب الجزيئي، والحجم الجزيئي، والوزن الجزيئي، وعدد الكربون الجزيئي باستخدام بيانات الرنين النووي المغنطيسي NMR data .

تشمل أدوات تسجيل وأخذ عينات آبار النفط أجهزة الرنين النووي المغنطيسي NMR. يمكن استخدام أجهزة الرنين النووي المغنطيسي لتحديد خواص التركيبات الأرضية، مثل الحجم الجزيئي الذي تشغله المسام، والحجم الجزيئي للمائع المتحرك الذي يملأ المسام، ومسامية التركيبات الأرضية. بالإضافة إلى ذلك يمكن استخدام بيانات الرنين النووي المغنطيسي NMR data لتقييم محتوى المحلول الملحي والهيدروكربونات hydrocarbons في التركيب. تم ذكر الخلفية العامة لتسجيل الآبار باستخدام الرنين النووي المغنطيسي في البراءة الأمريكية رقم ٦,١٤٠,٨١٧ المتنازل عنها للمتنازل له لهذا الطلب.

تنشأ نمطياً الإشارات المقاسة بواسطة أدوات التسجيل باستخدام الرنين النووي المغنطيسي NMR من الأنوية المختارة الموجودة في الحجم الذي يتم جسسه. ولأن أنوية الهيدروجين hydrogen nuclei هي الأكثر انتشاراً ومن السهل اكتشافها فإن معظم أدوات التسجيل باستخدام

الرنين النووي المغنطيسي يتم توليفها لاكتشاف إشارات رنين الهيدروجين hydrogen resonance signals (سواء من الماء أو الهيدروكربونات hydrocarbons). لأنوية الهيدروجين hydrogen nuclei هذه خواص ديناميكية مختلفة (مثل معدل الانتشار ومعدل التدرج، الدوران) والتي تعتمد على الأوساط الموجودة فيها، وهذه الخواص مثل التركيب الكيميائي وحجم الجزيئات التي تستقر فيها أنوية الهيدروجين hydrogen nuclei. تتضح الخواص الديناميكية المختلفة لهذه الأنوية نفسها في أزمنة ارتخاء الحركة المغزلية النووية (أي زمن ارتخاء الحركة المغزلية - الشبكة (T_1) وزمن ارتخاء الحركة المغزلية - الحركة المغزلية (T_2))؛ يشار أيضاً إلى ارتخاء الحركة المغزلية - الشبكة بالارتخاء الطولي، وإلى ارتخاء الحركة المغزلية - الحركة المغزلية بالارتخاء العرضي. على سبيل المثال، لا يمكن أن تنتشر الجزيئات في أنواع النفط الثقيلة أو تتدرج كما في أنواع النفط الخفيفة. نتيجة لهذا يكون لها أزمنة ارتخاء قصيرة نسبياً. توحى هذه الملاحظات بأن بيانات الرنين النووي المغنطيسي NMR data يمكن أن توفر معلومات عن الخواص الجزيئية للهيدروكربونات في التركيبات الأرضية.

وصف عام للاختراع

تتعلق أحد صور الاختراع بطرق لتحديد الخواص الجزيئية مثل التركيب، والحجم، والعدد الكربوني والوزن في خليط (مثل أنواع النفط الخام) من بيانات الرنين النووي المغنطيسي. تشمل طريقة لتحديد الخواص الجزيئية في خليط من الهيدروكربونات hydrocarbons على قياس بيانات NMR للخليط باستخدام أداة NMR أو جهاز NMR معلمي؛ واشتقاق متغير واحد على الأقل لكل مكون تمت ملاحظته في الخليط من بيانات NMR؛ وحساب الخاصية الجزيئية لكل مكون تمت ملاحظته في الخليط من متغير واحد على الأقل. تستخدم طرق وفقاً لبعض نماذج

الإختراع الارتباطات بين أزمنة الارتخاء والخواص الجزيئية و/أو بين معدلات الانتشار والخواص الجزيئية.

سوف تصبح صور أخرى من الإختراع واضحة من الوصف التالي، والرسومات، وعناصر الحماية.

٥ شرح مختصر للرسومات

شكل (١) هو مخطط لأداة رنين نووي مغنطيسي magnetic resonance tool في ثقب حفر يخرق تركيبات أرضية.

شكل ٢ هو مخطط يوضح مكونات أداة الرنين النووي المغنطيسي.

شكل (٣) يوضح مخطط لدائرة أداة NMR لإنتاج نبضات ذات تردد راديوية لاستقبال وتخزين أصداء الحركات المغزلية. ١٠

شكل (٤) هو مخطط يوضح سلسلة ترددات عادية لقياس أزمنة الارتخاء العرضي لإشارات NMR وأصداء الحركات المغزلية الناتجة التي يمكن استخدامها لاشتقاق أزمنة ارتخاء عرضي لإشارات نووية مغنطيسية.

شكل (٥) يوضح مخطط سير عمليات لخطوات الطرق وفقاً لنماذج الإختراع.

شكل (٦) يوضح نتائج تحديد الأحجام الجزيئية في مخاليط باستخدام طرق الإختراع بالمقارنة بتلك التي تم الحصول عليها من كروماتوجراف الطور الغازي gas phase . ١٥

الوصف التفصيلي

يوضح شكل (١) أداة تسجيل باستخدام الرنين النووي المغنطيسي (٣٠) لاستكشاف التركيبات الأرضية (٣١) التي يخترقها ثقب الحفر borehole (٣٢). يتم تعليق وسيلة التسجيل باستخدام NMR (٣٠) في ثقب الحفر borehole (٣٢) بواسطة كابل مسلح armored cable (٣٣)، طوله يحدد بشكل جوهري العمق النسبي للوسيلة (٣٠). يتم التحكم في طول الكابل بواسطة وسائل مناسبة على السطح مثل اسطوانة وآلية رفع (غير موضحة). يمكن أن تكون معدة السطح Surface equipment (٧) من النوع التقليدي ويمكن أن تشتمل على نظام فرعي للمعالجة يتصل بمعدة أسفل البئر التي تشمل وسيلة تسجيل باستخدام NMR (٣٠).

يمكن أن تكون وسيلة تسجيل باستخدام NMR (٣٠) أي وسيلة تسجيل مناسبة باستخدام الرنين النووي المغنطيسي ، وقد تكون واحدة تستخدم في تطبيقات التسجيل باستخدام السلك كما هو موضح في شكل (١)، أو تكون واحدة يمكن استخدامها في تطبيقات التسجيل أثناء الحفر (LWD). تشتمل وسيلة التسجيل باستخدام NMR (٣٠) عادة على وسائل لإنتاج مجال مغنطيسي ساكن في التركيبات، ووسائل هوائيات ترددات راديوية (RF) لإنتاج نبضات مجال مغنطيسي في التركيبات ولاستقبال أصداء الحركات المغزلية من التركيبات. قد تتضمن وسائل إنتاج المجال المغنطيسي الساكن على مغنطيس دائم أو مصفوفة من المغنطيسات، ووسائل هوائيات RF لإنتاج نبضات المجال المغنطيسي واستقبال أصداء الحركة المغزلية من التركيبات وقد تحتوي على هوائي RF واحد أو أكثر.

تم توضيح مخطط تمثيلي لبعض مكونات وسيلة التسجيل باستخدام NMR (٣٠) في شكل (٢) ، والذي يوضح مغنطيس مركزي أول أو مصفوفة من المغنطيسات (٣٦) وهوائي RF (٣٧)، والذي قد يكون ملف أو ملفات موجهة بشكل مناسب. يوضح شكل (٢) أيضاً

تمثيل عام لصفائح أسطوانية رقيقة بينها فواصل صغيرة ٣٨ - ١ ، ٣٨ - ٢ ،
٣٨ - ن يمكن اختيار عدد منها في عملية تسجيل الحفر متعددة الترددات. تم الكشف عن
إحدى هذه الوسائل في البراءة الأمريكية رقم ٤,٧١٠,٧١٣. في شكل (٢) تم توضيح مغنطيس
آخر أو مصفوفة من المغنطيسات (٣٩). يمكن استخدام مصفوفة المغنطيسات (٣٩) لعمل
استقطاب مسبق للتركيب الأرضي أمام منطقة الاستكشاف عند رفع وسيلة التسجيل (٣٠) في
ثقب الحفر borehole في اتجاه السهم Z. تم الكشف عن هذه الوسائل في البراءات الأمريكية
أرقام ٣,٥٩٧,٦٨١ و ٥,٠٥٥,٧٨٨ .

يوضح شكل (٣) مخطط دائرة لأداة NMR لإنتاج نبضات ذات ترددات راديوية (RF)
واستقبال وتخزين أصداء الحركات المغزلية. سوف يقدر أحد المتمرسين في الفن أن أي دائرة
مناسبة أخرى يمكن استخدامها بدون البعد عن مجال الاختراع.

في شكل (٣) يوجد معالج (٢١٠) أسفل البئر به ذاكرة، وجهاز توقيت، ووسائل بينية،
وطرفيات (لم توضح منفصلة)، كما هو معروف في الفن. يقترن النظام الفرعي للمعالج
(٢١٠) بدائرة القياس عن بعد (٢٠٥) للاتصال مع معالج على السطح (غير موضح).
تشمل دائرة تكوين النبضة على مذئذب متغير الترددات (٢٢٠) والذي ينتج تحت تحكم
المعالج (٢١٠) إشارات ذات ترددات راديوية (RF) بالترددات المطلوبة. يقترن خرج المذبذب
(٢٢٠) بمزيج للطور (٢٢٢) وبعد ذلك بمضمن (٢٣٠) وكل منهما تحت تحكم النظام الفرعي
للمعالج (٢١٠). يمكن التحكم في مزيج الطور (٢٢٢) والمضمن (٢٣٠) بأسلوب معروف في
الفن لإنتاج النبضات المطلوبة في مجال الترددات الراديوية (RF)، على سبيل المثال النبضات
٩٠° و ١٨٠° لأنواع سلاسل كار- بورسيل - ميبوم - جيل (CPMG) أو أي سلاسل نبضات
NMR مطلوبة. يقترن خرج المضمن (٢٣٠) عن طريق مكبر قدرة (٢٣٥) بهوائي

الترددات الراديوية (RF) (٢٤٠). يمكن توفير مفتاح - Q (يعمل في نطاق الترددات Q) (٢٥٠) لإخماد نظام هوائيات RF لتقليل رنين الهوائي. يقترن أيضاً الهوائي (٢٤٠) مع قسم الاستقبال عن طريق دائرة مزدوجة للإرسال والاستقبال (٢٦٥)، ويقترن خرج الدائرة بمكبر المستقبل (٢٧٠). تحمي الدائرة المزدوجة للإرسال والاستقبال (٢٦٥) مكبر المستقبل (٢٧٠) من النبضات عالية القدرة التي تمر إلى هوائي RF (٢٤٠) أثناء أوضاع الإرسال والإخماد. أثناء وضع الاستقبال، تعمل الدائرة المزدوجة للإرسال والاستقبال (٢٦٥) كوصلة ذات معاوقة منخفضة من الهوائي (٢٤٠) إلى مكبر المستقبل (٢٧٠). يقترن خرج مكبر المستقبل (٢٧٠) بكشاف حساس مزدوج الأطوار (٢٧٥)، والذي يستقبل أيضاً، كمرجع، الإشارة المشتقة من إشارة المذبذب. يقترن الخرج المكتشف بمحول من قياسي إلى رقمي (٢٨٠)، وخرجه يكون الترجمة الرقمية لإشارة الرنين النووي المغنطيسي المستقبلية. على الرغم من توضيح وسيلة أو أداة التسجيل (٣٠) كجسم واحد في شكل (١)، فإنه بديلاً لذلك قد تحتوي على مكونات منفصلة، ويمكن تجميع الأداة مع أدوات تسجيل أخرى. وفي حين تم أيضاً توضيح خط سلكي، فإنه يمكن استخدام أشكال بديلة من الدعم المادي والوصلات على سبيل المثال في نظام القياس أثناء الحفر.

١٥ يمكن قياس العديد من متغيرات NMR والتي يمكن استخدامها لاشتقاق خواص التركيب. تقاس معظم عمليات تسجيل الحفر باستخدام NMR أزمنة ارتخاء الحركة المغزلية - الشبكة (الطولي) (T_1) و/أو أزمنة ارتخاء حركة مغزلية - حركة مغزلية (العرضي) (T_2) لأنوية الهيدروجين hydrogen nuclei. بالإضافة إلى ذلك، قد توفر بعض أدوات التسجيل باستخدام NMR نسبة T_2/T_1 مباشرة، وقد توفر أدوات NMR أخرى ثوابت الانتشار (D). يمكن استخدام بيانات NMR هذه (T_1 ، T_2 ، و T_2 / T_1 و D) جميعها مع نماذج الإختراع الحالي، على الرغم من أنه في الشرح التالي قد تم استخدام أزمنة الارتخاء T_2 لتوضيح الإختراع الحالي.

توجد سلاسل نبضات مختلفة متاحة لقياس أزمنة ارتخاء NMR. على سبيل المثال، يمكن قياس زمن الارتخاء T_1 باستخدام الاستعادة العكسية أو سلسلة نبضة حركة مغزلية - صدى بسيطة أو أياً من مشتقاتهما. يتم غالباً قياس زمن الارتخاء T_2 من قطار من الحركة المغزلية - الأصداء يتولد بواسطة سلسلة من النبضات مثل سلسلة نبضات كار - بورسيل - ميبوم - جيل (CPMG) أو بعض الأشكال المختلفة منها. تعتبر سلسلة نبضات CPMG معروفة جيداً في الفن

٥ أنظر :

Meiboom, S., Gill, D., 1958 " Modified Spin Echo Method for Measuring Nuclear

Relaxation Times" Review of Scientific Instruments, 29, 688 - 91)

كما هو موضح في شكل (٤) تولد سلسلة نبضات CPMG قطار من أصداء الحركات المغزلية والتي تضمحل سعتها بصورة أسية كدالة في الزمن. يشار إلى زمن عمر الاضمحلال الأسي بزمن الارتخاء العرضي T_2 . وهكذا يتم قياس T_2 بواسطة تحليل ساعات أصداء الحركات المغزلية التي تم الحصول عليها هكذا.

١٠

كما هو موضح في شكل (٤) في سلسلة CPMG، أو نبضة RF يتم تسليطها على الهوائي (٣٧) في شكل (٢)) هي نبضة 90° ، والتي تعيد تنظيم أنوية الهيدروجين hydrogen nuclei على مستوى (" المستوى العرضي ") عمودي على المجال المغنطيسي الساكن المنتج بواسطة المغنطيس الساكن المنتج بواسطة المغنطيس الدائم (٣٦). بعد فترة قصيرة من النبضة الابتدائية 90° يتم تسليط قطار من نبضات 180° (مع زمن تأخير بين نبضات 180° المتتالية، T_{180} ، تقريباً ضعف التأخير الابتدائي بين النبضة 90° والنبضة الأولى 180° ، T_{90}) على الهوائي (٣٧) في شكل (٢)). ينتج عن كل من هذه النبضات 180° صدى حركة مغزلية ونمو ثم اضمحلال تالي لمقادير الإشارات المكتشفة. أثناء هذه القياسات، تقلل بالتدرج الحركات المغزلية النووية في

٢٠

المستوى العمودي السعات بسبب تداخل حركة مغزلية - حركة معزلية وآليات الارتخاء الأخرى. نتيجة لذلك يكون لكل حركة مغزلية - صدى نالي سعة أقل من السعة التي تسبقها. بعد ذلك يتم اشتقاق معلومات زمن الارتخاء T_2 (زمن الارتخاء العرضي) من تحليل منحني الاضمحلال الأسي.

٥ بمجرد جمع بيانات NMR (مثل أزمنة الارتخاء T_1 ، و T_2 ، أو نسبة T_2 / T_1 ، أو معدلات الانتشار)، يتم تحليلها بواسطة طريقة عكسية لاشتقاق معلومات عن التركيب الأرضي earth formation . تعتبر أي من الطرق العكسية في الفن مناسبة. على سبيل المثال، كشفت براءة الإختراع الأمريكية رقم ٥,٢٩١,١٣٧ لـ Freedman وتم التنازل عنها لنفس المتنازل له عن هذا الطلب عن طريقة " ويندوز " للمعالجة. تعتبر طريقة " ويندوز " هذه مناسبة لمعظم تحليل بيانات NMR. ١٠

يحدث الارتخاء العرضي (T_2) في سائل بشكل رئيسي من خلال التداخلات ثنائي القطبية - ثنائي القطبية والتي تتأثر بواسطة الخواص الديناميكية للجزيئات (مثل معدلات الانتشار، ومعدلات دحرجة الجزيئات) والموائع (مثل اللزوجة). وهكذا يمكن استخدام بيانات NMR (خاصة T_2) لتوفير معلومات عن تركيب الموائع وخواص المكونات (مثل الأحجام الجزيئية). ١٥ في حين يمكن استخدام بيانات NMR لتوفير معلومات تفصيلية بشأن المكونات المنفصلة وخواصها، فإن معظم طرق تحليل بيانات NMR في الفن السابق تركز فقط على الخواص التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة للتركيب الأرضي مثل أين توجد مناطق الهيدروكربونات hydrocarbons والمحلول الملحي، ونفاذية التركيبات الأرضية، والأحجام الجزيئية للمسام؛ والقليل منها قد ركز على تحليل أكثر تفصيلاً لخواص المكونات المنفصلة (مثل توزيعات الحجم الجزيئي) داخل مائع معين. ٢٠

كما نوقش من قبل تعتمد معدلات ارتخاء NMR على الخواص الديناميكية للجزيئات والموائع. وهكذا يمكن استخدام بيانات NMR لاشتقاق معدلات الانتشار ومعدلات الدرجة للجزيئات. ولأن معدلات انتشار الجزيئات ومعدلات الدرجة حساسة للأحجام الجزيئية بالإضافة إلى لزوجة الموائع، يمكن استخدام بيانات NMR لاشتقاق معلومات تتعلق بتركيب أنواع النفط الخام بمدلول الأحجام الجزيئية. يحتاج تحديد معلومات بشأن خاصية جزيئية من بيانات NMR إلى أزمنة الارتخاء و/أو توزيع معدلات الانتشار لقطعة الهيدروكربونات hydrocarbons في الخزان و/أو موائع ثقب الحفر borehole . الأسلوب المناسب للحصول على هذه التوزيعات في مخاليط تحتوي على كل من الهيدروكربونات hydrocarbons والماء هي طريقة التمييز باستخدام الرنين المغنطيسي لمائع (MRF) كما تم الكشف عنها في البراءة الأمريكية رقم B1 6,229,308 Freedman . تم التنازل عن هذه البراءة لنفس المتنازل له عن هذه البراءة وتم تضمينها كمرجع.

تنشئ طريقة MRF نموذج لزوجة المكون (CVM)، والذي يتعلق بزمان الارتخاء ومعدلات الانتشار للزوجات مكون يكون متوسطها الهندسي مطابق للزوجات المائع ككل. تم تأسيس صلاحية نموذج CVM بواسطة Freedman وآخرين باستخدام بيانات معملية تم الحصول عليها من مخاليط هيدروكربونية حية وميتة وأنواع من النفط الخام. تم نشر هذه النتائج بواسطة Freedman وآخرين في الورقة رقم ٦٣٢١٤ وعنوانها :

“ A New NMR Method of Fluid Characterization in Reservoir Rocks; Experimental Confirmation and Simulation Results”

مقدمة عام ٢٠٠٠ إلى المؤتمر الفني السنوي واجتماع المعرض لجمعية مهندسي البترول.

في حين سوف تستخدم طريقة MRF كمثال في الشرح التالي لكيفية اشتقاق متغيرات NMR للمكونات المنفصلة، سوف يقدر أحد المترسين في الفن أنه يمكن استخدام طرق أخرى مشابهة بدون البعد عن مجال الإختراع. في المواقع التي تكون فيها عينات الهيدروكربونات hydrocarbons غير الملوثة متاحة، يمكن تحديد متغيرات NMR مثل زمن الارتخاء، وتوزيعات معدلات الانتشار بدون استخدام طريقة MRF.

باستخدام نموذج CVM، تكون طريقة MRF قادرة على اشتقاق توزيع لزوجات المكونات في مخاليط موائع تحتوي على أنواع من النفط الخام. تتعلق لزوجات المكونات مباشرة بتوزيع أزمنة ارتخاء NMR المقاسة في عينات النفط الخام الكاملة (مكونة من عدة أنواع) وهي تعكس التركيب المعقد لأنواع النفط الخام كخليط من أنواع كثيرة مختلفة من جزيئات الهيدروكربونات hydrocarbons يبسط استخدام لزوجات المكونات الانعكاس بواسطة توفير مجموعة واحدة من المتغيرات لتمييز توزيعات النفط الخام من أزمنة الارتخاء الكلية وثوابت الانتشار. يوفر أسلوب MRF تطويرات لجميع صور تحليل NMR القياسي، بما فيها تحديد المسامية الكلية، ومسامية المائع الحر ومسامية المائع المرتبط، وتوزيعات T_2 ، والنفاذية في الرمال الطفلية.

أثناء اشتقاق لزوجات المكونات، تستخدم طريقة MRF نموذج الارتخاء العام للحركة المغزلية - الصدى لتركيب يحتوي على محلول ملحي، وهيدروكربونات hydrocarbons ورشيع من خلال الطين أساسه النفط (OBMF). يستخدم OBMF عادة في حفر تقب الحفر borehole. كما هو موضح في شكل (٤)، في قياس NMR تضمحل أسياً ساعات أصداء الحركات المغزلية كدالة في الزمن. دع $A^P z$ تمثل سعة الصدى الذي ترتيبه z الذي تم الحصول عليه أثناء القياس P . ضع في الاعتبار النموذج العام للارتخاء،

$$\begin{aligned}
 A_J^P = & \sum_{l=1}^{N_\delta} a_l \exp\left(-\frac{j * TE_p}{T_{2,l}^+(p)}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{W_p}{\xi * T_{2,l}}\right)\right) + \\
 & \sum_{k=1}^{N_o} b_k \exp\left(-\frac{j * TE_p}{T_{2,o}^+(\eta_k, p)}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{W_p}{T_{1,o}(\eta_k)}\right)\right) + \\
 & A_{OBMF} \exp\left(-\frac{j * TE_p}{T_{2,OBMF}^+(p)}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{W_p}{T_{1,OBMF}}\right)\right)
 \end{aligned} \tag{1}$$

حيث تكون الحدود الأولى، والثانية، والثالثة هي إشارات محلول ملحي، وهيدروكربونات hydrocarbons و OBMF على التوالي. يأخذ هذا النموذج ثلاثي الأطوار في الحسبان صراحة المساهمات من المكونات المنفصلة في أطوار المحلول الملحي، والهيدروكربونات hydrocarbons ولكنه يفترض فقط متوسط توزيع زمن ارتخاء في طور OBMF. يعتبر الحد المبسط لـ OBMF له ما يبرره لأن القياسات العملية في OBMF أوضحت أن توزيعات أزمنة ارتخاء NMR للمكونات المنفصلة في OBMF متقاربة جداً ويمكن اعتبارها دالة أسية واحدة.

تشمل الارتخاءات العرضية الظاهرة (ثنائي القطبية - ثنائي القطبية) في أي من الأطوار الثلاثة الموجودة في المعادلة (١) ارتخاءً عرضياً أصلياً وارتخاءً بسبب الانتشار الذاتي للجزيئات في تدرج المجال المغناطيسي الساكن G_p . لتحديد انتشار غير مقيد في تدرج مجال مغناطيسي منتظم في محلول ملحي، يمكن كتابة معدلات الارتخاء العرضي الظاهري كالاتي :

$$\frac{1}{T_{2,l}^+(p)} = \frac{1}{T_{2,l}} + \frac{(\gamma_H * G_p * TE_p)^2}{12} D_w(T) \tag{2}$$

هنا، تعتبر $T_{2,i}$ في الحد الأول على الطرف الأيمن مجموعة من أزمنة الارتخاء التي تمثل مجموع الارتخاء السطحي والارتخاء الكلي لطور المحلول الملحي. الحد الثاني هو مساهمة الانتشار في معدل الارتخاء، حيث $\gamma_H = 2\pi * 4258 G^{-1} S^{-1}$ هو النسبة الجيرومغناطيسية للبروتون و $D_w(T)$ هو معامل الانتشار الذاتي المعتمد على درجة الحرارة للماء بوحدات سم²/ثانية. لاحظ أن المعادلة (٢) تفترض انتشار غير مقيد وتدرج مجال مغناطيسي منتظم G_p . سوف يقدر أحد المترسين في الفن أنه يمكن استخدام تصحيحات لـ $D_w(T)$ من أجل تأثيرات الانتشار المقيد ولـ G_p من أجل تأثيرات التدرج داخل الصخور إذا كان ذلك ملائماً.

بالمثل، يمكن كتابة معدلات الارتخاء العرضي في النفط الأصلي $(T_{2,0}(\eta_k, P))$ في الصورة،

$$\frac{1}{T_{2,o}(\eta_k, p)} = \frac{1}{T_{2,o}(\eta_k)} + \frac{(\gamma_H * G_p * TE_p)^2}{12} D_o(\eta_k) \quad (3)$$

حيث $T_{2,0}(\eta_k)$ هو زمن الارتخاء الكلي المصاحب لسعة bk في توزيع زمن ارتخاء الهيدروكربونات hydrocarbons و $D_o(\eta_k)$ هي ثابت الانتشار المعتمد على اللزوجة. تعتبر عادة الهيدروكربونات hydrocarbons (النفط الخام) طوراً لا يتبلل ولا يتأثر بالارتخاء السطحي. أنواع النفط الخام هي مخاليط تتكون من أنواع كثيرة مختلفة من جزيئات الهيدروكربونات hydrocarbons ذات الأحجام، والأشكال، والأوزان الجزيئية المختلفة. أنظر على سبيل المثال، ١٥

Mc CAIN, W.D., The Properties of Petroleum Fluids, Penn Well Publishing Co.

Second Edition, Chapter 1, 1990.

تم افتراض وجود توزيع على مستوى الجزيئات للزوجات المكونات (η_k) في أنواع النفط الخام.

يرتكز هذا الفرض على بيانات معملية أنه يوجد توزيع لأزمنة ارتخاء في أنواع النفط الخام.

تعكس اللزوجة المقاسة (η_o) خاصية الانتقال الماكروسكوبية للنفط الخام التي تحدد خواصه

التدفقية وهي الكمية المستخدمة في معادلات الانتقال الهيدروديناميكية مثل معادلة نافير -

ستوكس. أوضح موريس وآخرون أنه بالنسبة لأنواع النفط الخام الميتة (أي لا تحتوي على

غازات ذائبة في المحلول) يوجد ارتباط قوي بين لوغاريتم متوسط أزمنة الارتخاء لمكوناتها

والزوجات المقاسة. أنظر Morriss وآخرون ،

Hydrocarbon Saturation and Viscosity Estimation From NMR Logging In The Belridge

Diatomite, Paper C

١٠ مقدمة إلى الاجتماع السنوي الخامس والثلاثين لجمعية المحللين المحترفين لتسجيل الآبار عام

١٩٩٤. تتعلق اللزوجة الماكروسكوبية (η_o) لأنواع النفط الخام الحية تجريبياً بلوغاريتم متوسط

($\log m(T_{2,0})$) توزيعات أزمنة الارتخاء العرضي بواسطة معادلة تكوينية لها الصورة

$$\frac{1}{(\bar{T}_{2,0})_{\log m}} = \frac{a \eta_o f(GOR)}{T} \equiv c \eta_o \quad (4)$$

حيث قد يتم تجريبياً تحديد a ثابت المكون بواسطة Morriss وآخرون ووجد أنه حوالي ٢٥٠

١٥ (أي $a \cong 250$ درجة كلفن ثانية^{-١} سنتي بواز^{-١})، لـ ($\log m(T_{2,0})$) بالثانية و η_o بالسنتي بواز

و T درجة الحرارة بدرجات الحرارة المطلقة (كلفن). وهكذا

$$c \equiv \frac{af(GOR)}{T} .$$

تأخذ الدالة $F(GOR)$ المشتقة تجريبياً في الحساب أنواع النفط الحية (تلك التي تحتوي على غازات ذائبة في المحلول) وقد تمت مناقشتها بواسطة Freedman وآخرين في الورقة رقم ٦٣٢١٤ وعنوانها : "A New NMR Method of Fluid Characterization in Reservoir Rocks : Experimental Confirmation and Simulation Results" مقدمة عام ٢٠٠٠ إلى المؤتمر الفني السنوي واجتماع المعرض لجمعية مهندسي البترول.

η_k في المعادلة رقم ٣ هي اللزوجات الميكروسكوبية التي تعكس التركيب المتعدد لأنواع النفط الخام. بالقياس إلى المعادلة السابقة، يفترض أن لزوجات المكونات تتعلق بالمركبات في توزيع زمن الارتخاء عن طريق نفس المعادلة.

$$\frac{1}{T_{2,o}(\eta_k)} = \frac{a\eta_k f(GOR)}{T} \equiv c\eta_k \quad (5)$$

يتم تعريف لوغاريتم متوسط زمن الارتخاء كالتالي،

$$(\bar{T}_{2,o})_{\log m} = 10 \sum_{k=1}^{N_o} \bar{b}_k \log(T_{2,o}(\eta_k)) \quad (6)$$

with

$$\bar{b}_k = \frac{b_k}{\sum_{k=1}^{N_o} b_k} ,$$

حيث b_k هي الساعات N_0 في توزيع زمن الارتخاء الكلي للنفط الخام. بالتعويض بالمعادلات (٤) و (٥) في المعادلة (٦) تنتج اللزوجة الماكروسكوبية للنفط الخام، η_0 ، والتي هي لوغاريتم متوسط اللزوجات الميكروسكوبية المنفصلة η_k

$$\eta_0 = 10^{\sum_{k=1}^{N_0} \bar{b}_k \log(\eta_k)}$$

٥ حيث \bar{b}_k هي "تركيز" المكون في المخلوط ذي اللزوجة η_k . اللزوجة الماكروسكوبية η_0 تشبه لزوجة الخليط عند الحد الأعلى لدرجة الحرارة وفقاً لقاعدة أرهينيوس للخلط
Arrenhius mixing rule " أنظر

. Bondi, Physical Properties of Molecular Crystals, Liquids, and Glasses, pp. 348-349, 1968.

١٠ يتوافق اعتماد أزمنا الارتخاء على اللزوجة والحرارة في المعادلات (٤) و (٥) مع الملاحظات العملية والحرارة والتوقعات النظرية Bloembergen, Purcell, and Pound

Relaxation Effects in Nuclear Magnetic Resonance Absorption, Physical Review, Vol 73, pp 679 – 712, 1948

١٥ تتوقع نظرية الانتشار ل Stokes-Einstein أن الانتشارية تتعلق بدرجة الحرارة واللزوجة وفقاً للمعادلة $D = Kt / 6\pi \eta R'$ حيث k هي ثابت Boltzmann ، و R هي نصف قطر الجسيم الكروي، و T هي درجة الحرارة بالدرجات المطلقة - كلفن). بالمثل كما في معادلة Stokes-Einstein ، تم افتراض أن ثوابت الانتشار الذاتي لأنواع النفط الخام ولمكونات النفط الخام، $D_0(\eta_k)$ ، لها نفس الاعتماد على T/η_k . لذلك بالنسبة لأنواع النفط الخام.

تعتبر طريقة MRF السابق ذكرها فقط أحد الطرق للحصول على توزيعات لثوابت الانتشار وأزمنة الارتخاء. تعد طريقة MRF مناسبة خاصة عندما يتم الحصول على بيانات NMR من موائع مختلطة (مثل الماء، ومائع الحفر، ونواتج الترشيح، والنفط). إذا لم تكن عينة النفط ملوثة بموائع أخرى (مثل أنواع من النفط الخام) لن تكون هناك حاجة لاستخدام طريقة MRF للحصول على توزيعات ثوابت الانتشار وأزمنة الارتخاء. ٥

بمجرد تحديد توزيعات ثوابت الانتشار وأزمنة الارتخاء يمكن استخدامها أيضاً لاشتقاق الخواص الجزيئية للمكونات المنفصلة وفقاً لنماذج الإختراع الحالي.

تشير الخواص الجزيئية كما تستخدم في هذا الطلب إلى الحجم الجزيئي، والعدد الكربوني، والوزن، أي إلى تلك الخواص المتعلقة بالأبعاد المادية للجزيئات. على سبيل المثال، بافتراض وجود جزيء كروي له نصف قطر R، فإن العلاقة بين ثابت الانتشار المنفصل ونصف القطر R (ومن ثم الحجم الجزيئي) وفقاً لمعادلة Stokes-Einstein هي : $Do = Kt / 6\pi \eta R$ ، حيث Do هو ثابت الانتشار الملاحظ، و k هو ثابت Boltzmann ، و T هي درجة الحرارة بالدرجات المطلقة (كلفن)، و η هي اللزوجة بالسنتي بواز. ١٠

لذلك لاشتقاق معلومات الحجم الجزيئي من بيانات NMR يمكن تقريب أزمنة الارتخاء ($T2_k$) ومعدلات الانتشار (D_k) للجزيئات المنفصلة (يرمز لها باللاحقة k) في خليط من الهيدروكربونات hydrocarbons كالآتي :

$$T2_k = \frac{a'(T)}{\eta^{\alpha'} f(GOR) N_k^{\beta'}} \quad (9)$$

$$D_k = \frac{b'(T)}{\eta^{\phi'} N_k^{\theta'}} \quad (10)$$

حيث N_k هو عدد ذرات الكربون في المكون الذي ترتيبه k ، و $a'(T)$ ، و $b'(T)$ هي دوال في درجة الحرارة T ، و η هي لزوجة المائع، و α ، و β ، و ϕ ، و θ أسس غير معلومة (حتى الآن). لاحظ أن هذه التعبيرات هي تعميمات لعلاقات Stokes-Einstein and Bloembergen لانقشار وارتخاء الحركة المغزلية للجسيمات الكروية في السوائل. تحتوي المعادلة (٩) على معامل يمثل نسبة الغاز/ النفط (GOR). هذا المعامل موجود لأنه من المعروف أنه نسبة GOR تعتبر متغيراً هاماً في تحديد اعتماد زمن الارتخاء على اللزوجة ودرجة الحرارة أنظر Lo وآخرون

Relaxation Time And Diffusion Measurements of Methane And N – Decane Mixtures,

The log Analgst, pp, 43 – 46, November- December, 1988

أنظر أيضاً براءة الإختراع الأمريكية رقم B1 ٣٠٨,٢٢٩,٦. داخل سياق الاتجاه CVM تتناسب مقامات المعادلات (٩) و (١٠) مع لزوجات المكونات constituent Equations.

بواسطة التقريبات في المعادلات (٩) و (١٠) يتم افتراض أن الأسس α و ϕ تساوي ١ ويتم بعد

ذلك عمل بعض الارتباط بين N_k ونصف القطر الجزيئي R ليحاكي التعبيرات الخاصة بالجسيم

الكروي المثالي. يقترح هذا الفرض الاعتماد على مقلوب ηR و D وعلى مقلوب ηR^3 لـ T_2 .

إلى أن هذا الاتجاه يفضل على الفور بالنسبة للمخاليط لأنه يتضمن أن المتوسط الهندسي لتوزيع

N_k يعتمد على مكونات الخليط. ينشأ هذا التعارض مباشرة عندما يتم التعويض بالتعبيرات في

المعادلات (٤) و (٧) على التوالي في معادلات المكونات (٩) و (١٠).

بتضمين النتائج التجريبية الخاصة بالعلاقة بين اللزوجة والمتوسط الهندسي لأزمنة الارتخاء

ومعدلات الانتشار، أي، T_{LM} و D_{LM} التي تعتمد خطياً على T/η ، يمكن صياغة المعادلات

٥ (٩) و (١٠) كالتالي:

$$N_k = \frac{a(T)T_{LM}^\alpha [f(GOR)]^{\alpha-1}}{T_k^\beta} \quad (11)$$

$$N_k = \frac{b(T)D_{LM}^\phi}{D_k^\theta} \quad (12)$$

لاحظ أنه يتم الحصول على المعادلات (١١) و (١٢) ببساطة من المعادلات (٩) و (١٠) بإدخال

التعبيرات التجريبية $T_{LM} = a' T/\eta F(GOR)$ و $D_{LM} = b' T/\eta$ وإعادة ترتيب المتغيرات

وتعريف مجموعة جديدة من الأسس (بدون رمز).

١٠ توضح المعادلات (١١) و (١٢) أنه إذا كانت الأسس α و β و Φ و θ معروفة فإن N_k (العدد

الكربوني) يمكن الحصول عليه من المتوسطات الهندسية لـ T و D (أي T_{LM} و D_{LM}). لأن

العلاقات الموضحة في المعادلات (١١) و (١٢) لا تعتمد على الطبيعة الخالصة للمكونات

المنفصلة في الخليط، فمن الممكن بالضرورة اشتقاق هذه الأسس α و β و Φ و θ باستخدام

نموذج بسيط لنظام خليط بمجرد اشتقاق هذه الأسس، يمكن استخدامها في أنظمة أخرى ذات

١٥ تركيبات مشابهة.

كمثال يمكن اشتقاق تقديرات تقريبية للأسس α و β و Φ و θ التي سوف تكون مفيدة في أنظمة مخاليط هيدروكربونات hydrocarbon mixtures أخرى من الخليط المعمل لسكوالين squalene (C30) وهكسان hexane (C6). بالنسبة لهذا الخليط، $\text{GOR} = \text{صفر}$ و $\text{F(GOR)} = ١$. يوضح جدول (١) البيانات بالنسبة لسكوالين squalene نقي (C30) و هكسان hexane نقي (C6) ولثلاثة مخاليط من هذين المكونين عند ٣٠ م. لاحظ أن أي مجموعة من عينات الهيدروكربونات hydrocarbons بما فيها أنواع النفط الخام يمكن استخدامها لاشتقاق هذه المتغيرات.

جدول (١)

أزمنة الارتخاء ومعدلات الانتشار لنظام hexane - squalene							
η (سنتي بواز)	D_{LM} (سم ^٢ ثانية ^{-١})	T_{2LM} (مللي ثانية)	D_{C6} (سم ^٢ ثانية ^{-١})	D_{C30} (سم ^٢ ثانية ^{-١})	T_{2C6} (مللي ثانية)	T_{2C30} (مللي ثانية)	مائع (%C6)
١١	$٦^{-١٠} \times ١,٠$	٣٠٠	-	$٦^{-١٠} \times ١,٠$	-	٣٠٠	صفر
١,٧	$٦^{-١٠} \times ٦,٠$	١٦٧٠	$٥^{-١٠} \times ١,٣$	$٦^{-١٠} \times ٣,٧$	٤٦٠٠	٩٠٠	٣٨
١,٢	$٦^{-١٠} \times ٩,١$	٢٦١٠	$٥^{-١٠} \times ١,٧$	$٦^{-١٠} \times ٤,٩$	٥٨٠٠	١١٨٠	٥٠
٠,٦	$٥^{-١٠} \times ٢,٧$	٤٧٨٠	$٥^{-١٠} \times ٣,٠$	$٦^{-١٠} \times ٩,٩$	٧٥٠٠	١٦٩٠	٦٩
٠,٣	$٥^{-١٠} \times ٤,٦$	٩٨٠٠	$٥^{-١٠} \times ٤,٦$	-	٩٨٠٠	-	١٠٠

بمجرد الحصول على قيم T_2 و T_{2LM} ، و D ، و D_{LM} للسكوالين (C30) squalene والهكسان (C6) hexane يمكن إدخالها في المعادلات (١١) و (١٢) للحصول على تقديرات تقريبية للأسس α و β و Φ و θ . من مجموعة البيانات المنشورة في جدول (١)، يتم تحديد الأسس المناسبة والدوال السابقة لمعامل الضرب، ويتم تبسيط التعبيرات N_k (عند 30°م) كما هو موضح في المعادلات (١١) و (١٢) كالتالي:

$$N_k \approx \frac{650T_{2LM}^{1/2}}{T_{2k}} \quad (13)$$

$$N_k \approx \frac{0.04 \times D_{LM}}{D_k^{3/2}} \quad (14)$$

يمكن استخدام المعادلات (١٣) و (١٤) لتحديد الأحجام الجزيئية للمكونات المختلفة في مخلوط مشابه. باستخدام المعادلات (١٣) و (١٤) وبيانات الارتخاء والانتشار المقاسة الموضحة في جدول (١)، تم إدراج قيم N_k لنظام hexane - squalene في جدول (٢).

جدول (٢)

عدد ذرات الكربون المقدرة لـ (C6) hexane و (C30) squalene من قياسات زمن الارتخاء (T2) ومعدل الانتشار (D)				
$N_{C6}(D)$	$N_{C6}(T2)$	$N_{C30}(D)$	$N_{C30}(T2)$	المانع (%C6)
-	-	٤٠	٣٧	صفر
٥,١	٥,٨	٣٤	٣٠	٣٨
٥,٢	٥,٧	٣٤	٢٨	٥٠
٦,٦	٦,٠	٣٤	٢٧	٦٩
٥,٩	٦,٠	-	-	١٠٠

كما هو موضح في جدول (٢)، يمكن الحصول على قيم معقولة لـ N_k باستخدام إما أزمنة الارتخاء أو معدلات الانتشار. يجب ملاحظة أن المعادلات (١٣) و (١٤) والمثال المستخدم هنا هم لمجرد توضيح المفهوم الأساسي بشأن كيفية الحصول على هذه القيم، ولا يجب أن تقيّد الإختراع. سوف يقدر أحد المتمرسين في الفن أن الأسس المشتقة في المثال السابق تم تقريبها لتعطي كسور مقربة إلى أقرب نصف عدد صحيح للتبسيط يمكن اشتقاق قيم بديلة مثلى والتي توفر تقديرات أفضل لـ N_k . إلا أنه، كما هو موضح في المثال السابق، على الرغم من التقديرات التقريبية المبسطة، يمكن الحصول على قيم N_k بدقة معقولة. لذلك فإن اتجاه التقدير التقريبي كما هو موضح هنا يجب أن يكون كافياً في معظم المواقف.

تكون للحدود المضروب فيها ٦٥٠، ٠،٠٤ في المعادلات (١٣) و (١٤) على التوالي، سارية من حيث المبدأ فقط عند درجة حرارة للقياس مقدارها ٣٠ م. إلا أن اعتماد هذه القيم على درجة الحرارة ضعيف نسبياً (تقريباً $T^{1/2}$ عندما تكون T بالدرجات المطلقة (كلفن)). وهكذا يمكن استخدام هذه القيم في مدى لدرجات الحرارة حول ٣ م. بالنسبة لأنواع النفط الخام فإن الأسس المثلى والحدود المضروب فيها قد تختلف بدرجة طفيفة عن تلك المشتقة من المخاليط البسيطة ذات المكونين. لا تتواءم بدقة المعادلات (١٣) و (١٤) مع معادلات CVM لأن D_k و $T2_k$ يعتمدان بطريقة مختلفة على N_k و η . تظهر ثوابت الانتشار D_k كما هو موضح في المعادلة (١٤) اعتمادية أضعف على N_k مما نظهره أزمنة الارتخاء، $T2_k$ ، كما هو موضح في المعادلة (١٣). تتمشى هذه النتيجة نوعياً مع علاقات الجسيم الكروي المثالي. في ضوء التقريبات والفروض الكثيرة المتضمنة في نموذج من هذه النوع/ يجب بالتأكيد اعتبار أي توزيع "العدد كربوني" (أو حجم جزيئي) كمؤشر تقريبي بدلاً من اعتباره تحليلاً محددًا ودقيقاً للتركيب الجزيئي.

- يجب اعتبار المعادلات (٩ - ١٢) تطبيقات خاصة للطريقة. يمكن أيضاً اشتقاق ومعايرة تعبير رياضي بديل يتعلق بأزمة الارتخاء، ومعدلات الانتشار مع الحجم الجزيئي، أو العدد الكربوني أو خاصية مكون أخرى وبالنسبة لمخاليط الهيدروكربونات hydrocarbons من المجدي أيضاً تحديد الخواص الجزيئية من بيانات NMR مقاسة باستخدام طرق تعرف على العينة لا تعتمد على النموذج مثل الشبكات العصبية. في هذا الاتجاه لا توجد معادلات تعتمد على النموذج (مثل المعادلات (١٣) و (١٤)). بدلاً من ذلك يتم استخدام " مجموعة بيانات التدريب " للخواص الجزيئية مقابل NMR وخواص الانتشار لتدريب شبكة عصبية neural network على التنبؤ بالخواص الجزيئية مع وجود بيانات NMR لعينة خارج مجموعة بيانات التدريب. يمكن تهيئة أي برمجيات شبكة عصبية neural network متاحة تجارياً (مثل تلك التي يمكن الحصول عليها من Mathworks Inc. at www.mathworks.com) لتحديد الخواص الجزيئية بدون الحاجة إلى أن نضع معادلات النموذج موضع التنفيذ. قد تتضمن أيضاً هذه الطرق بيانات إضافية تشتق من قياسات أخرى، على سبيل المثال طيف NMR أو التحليل الضوئي optical analysis.
- يلخص شكل (٥) خطوات طريق تقييم توزيع الحجم الجزيئي في خليط هيدروكربونات hydrocarbons وفقاً لنماذج الإختراع. أولاً يتم جمع بيانات NMR (عملية ٤١ في شكل (٥)). يمكن إجراء هذا بواسطة أي أداة تسجيل باستخدام NMR. على سبيل المثال، يمكن استخدام نماذج الإختراع مع خط سلكي وأدوات NMR أثناء الحفر بالإضافة إلى أي أداة جمع عينات مناسبة بها وحدة NMR مثل وحدة اختبار ديناميكيات التركيب (MDTTM من شلمبرجير تكنولوجي، هيوستون، تكساس). في الواقع، يجب أن يؤدي غياب التداخلات بين المائع - الصخر، والتي تعقد تحليل MRF لأدوات NMR بها خط سلكي أو للتسجيل أثناء الحفر، إلى دقة وقوة أكثر للطريقة في وحدة أخذ العينات أو التحليل المعمل laboratory analysis.

بمجرد جمع بيانات NMR، يتم تحليلها باستخدام طريقة العكس لاشتقاق متغيرات ديناميكية للمكونات المنفصلة (مثل T1، و T2، و T2 / T1، وثوابت الانتشار؛ عملية ٤٢ في شكل (٥)). كما نوقش من قبل، يمكن استخدام طريقة MRF أو أي طريقة مشابهة لهذا الغرض. لاحظ أن أسلوب MRF وامتداده المذكور في هذا الطلب قادر على توفير معلومات في الوقت الحقيقي عن مواعع الخزان (مثل اللزوجة، والتركيب الجزيئي) والتي يمكن توفيرها حالياً فقط باستخدام تحليل مطول للضغط - الحجم - درجة الحرارة (PVT) يتم إجرائه في المعامل.

أخيراً يمكن استخدام المتغيرات الديناميكية للمكونات المنفصلة لاشتقاق معلومات عن الحجم الجزيئي (عملية ٤٣ في شكل (٥)). كما نوقش من قبل، يمكن الربط بين الأحجام الجزيئية وأزمنة الارتخاء العرضي وثوابت الانتشار وفقاً للمعادلات (١١) و (١٢).

يمكن تقدير الأسس في هذه المعادلات باستخدام نموذج لخليط به مكونات مشابهة و/أو له خواص مشابهة (أي هيدروكربونات hydrocarbons تحت ظروف مشابهة (مثل درجة الحرارة)). سوف تكون التقديرات لهذه المكونات ("المتغيرات التجريبية empirical parameters") كافية. بعد الحصول على هذه الأسس يمكن تبسيط المعادلات (١١) و (١٢) إلى معادلات مثل (١٣) و (١٤). بعد ذلك يمكن استخدام المتغيرات الديناميكية للمكونات المنفصلة (مثل T1، و T2، و T2 / T1). و ثوابت الانتشار (diffusion constants) في الخليط موضع الاهتمام المشتقة في العملية ٤٢ في حساب الأحجام الجزيئية للمكونات (أو توزيعها في الخليط).

توضح الأشكال (٦أ - ٦د) النتائج التي تم الحصول عليها بطرق الإختراع الحالي مقارنة بتلك النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة كروماتوجراف الطور الغازي gas phase (GPC) الشائع استخدامه في معمل PVT لإجراء هذا التحليل. يوضح أيضاً هذا المثال أنه بالإضافة إلى

التطبيقات في موضع البئر، يمكن تطبيق طرق الإختراع بنفس القدر على التحليل المعلمي القياسي لعينات النفط الخام.

يوضح شكل (٦أ) توزيعات زمن الارتخاء T2 لثلاثة عينات مية من النفط الخام. تمثل المنحنيات A1 - A3 العينات ١ - ٣ التي لها قيم متوسط هندسي T_{2LM} هي ١٠٥ مللي ثانية، ٣٢٩ مللي ثانية، و ٦٠٣ مللي ثانية على التوالي. تم الحصول على هذه القياسات عند $k = ٣٠٠$.

تم تحليل المنحنيات A1 - A3 بواسطة طرق الإختراع وتم توضيح توزيعات الأوزان الجزيئية كمنحنيات B2 - D3 في الأشكال (٦ب - ٦د) على التوالي. تم الحصول على هذه النتائج باستخدام $a(T) = ١٧٠$ ، و $T = ٣٠٠$ ، و $\alpha = ٠,٥١$ ، و $\beta = ٠,٩٠$ في المعادلة (١١). للمقارنة تم وضع توزيعات الأوزان الجزيئية كما تم الحصول عليها بواسطة تحليل GPC في الأشكال (٦ب - ٦د) كمنحنيات B1 - D1 على التوالي. يبدو واضحاً من هذه الأشكال أن طرق NMR وفقاً لنماذج الإختراع الحالي تعطي نتائج مشابهة لتلك التي تم الحصول عليها من طريقة GPC. يجب ملاحظة أن تحليل GPC يستغرق عدة ساعات، بينما يستغرق قياس NMR دقائق قليلة فقط.

علاوة على ذلك، يعتمد تحليل GPC على الارتباط بين أزمنة احتجاز المكونات مع وزنها الجزيئي، والتي قد لا يمكن الاعتماد عليها أكثر من طرق الإختراع الحالي. لاتجاه NMR مميزات أخرى هي أنه غير إتلافي، وأن تداول العينة بسيط نسبياً.

على الرغم من أن المثال الموضح في شكل (٦) يستعمل زمن ارتخاء عرضي باستخدام NMR (T2)، فإن أحد المتمرسين في الفن سوف يقدر أنه يمكن استعمال متغيرات NMR أخرى (T1، أو T2/T1، أو ثابت انتشار). علاوة على ذلك، في حين يستخدم هذا المثال خليطاً

من الهيدروكربونات hydrocarbons (أنواع نطف خام)، فإنه يمكن استخدام طرق الإختراع مع مخاليط سائلة أخرى.

في حين تم وصف الإختراع باستخدام أمثلة محدودة، فإن أولئك المتمرسين في الفن، الذين يستفيدون من الكشف عنه، سوف يقدرّون أنه يمكن استنباط طرق أخرى بدون البعد عن مجال الإختراع كما تم الكشف عنه في هذا الطلب. وفقاً لذلك، تحدد فقط عناصر الحماية المرفقة مجال الإختراع.

عناصر الحماية

- ١ - طريقة لتحديد خاصية جزيئية لكل مكون في خليط من الهيدروكربونات hydrocarbons
- ٢ في جزء من تركيب أرضي earth formation يحيط بتقب الحفر ، تشتمل على:
- ٣ توليد مجال مغنطيسي ساكن static magnetic field في جزء من التركيب الأرضي
- ٤ earth formation المحيط بتقب الحفر borehole ؛
- ٥ إنتاج مجال مغنطيسي RF من جزء من التركيب الأرضي earth formation ؛
- ٦ قياس إشارات الرنين المغنطيسي النووي magnetic resonance signals لجزء من التركيب
- ٧ الأرضي earth formation ؛
- ٨ اشتقاق متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون في الخليط من
- ٩ إشارات الرنين المغنطيسي النووي magnetic resonance signals ؛
- ١٠ حساب خاصية جزيئية واحدة على الأقل يتم اختيارها من قائمة من توزيعات الأحجام
- ١١ الجزيئية، وتوزيعات الأوزان الجزيئية، وتوزيعات الرقم الكربوني carbon number للخليط
- ١٢ من متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون.

- ١ -٢ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١)، حيث يتضمن اشتقاق المتغير الديناميكي dynamic
- ٢ parameter الواحد على الأقل توليد نموذج يحتوي على مجموعة من المركبات لمكونات
- ٣ الخليط والتعديل التكراري لمركبات النموذج لجعل النموذج في أفضل صورة بالنسبة لبيانات
- ٤ الرنين النووي المغنطيسي nuclear magnetic resonance data .

- ١ -٣ الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١)، حيث يتضمن المتغير الديناميكي dynamic parameter
- ٢ الواحد على الأقل واحداً يتم اختياره من زمن ارتخاء طولي، وزمن ارتخاء عرضي، ونسبة
- ٣ زمن الارتخاء الطولي إلى زمن الارتخاء العرضي، ومعدل الانتشار.

- ١ ٤ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١) حيث يكون خليط الهيدروكربونات hydrocarbons في
- ٢ تركيب جيولوجي geological formation.
- ١ ٥- الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية لكل مكون في
- ٢ الخليط من متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل ارتباط المتغير الديناميكي
- ٣ dynamic parameter الواحد على الأقل لكل مكون مع اللزوجة الفعالة effective viscosity
- ٤ لكل مكون.
- ١ ٦ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٥)، حيث يتضمن الارتباط اشتقاق متغيرات تجريبية من
- ٢ مجموعة من عينات الهيدروكربونات hydrocarbons
- ١ ٧ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٦)، حيث تتضمن مجموعة عينات الهيدروكربونات
- ٢ hydrocarbons أنواع نפט خام.
- ١ ٨ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية استخدام شبكة
- ٢ عصبية neural network .
- ١ ٩ - طريقة لتحديد خاصية جزيئية لكل مكون في خليط من الهيدروكربونات hydrocarbons
- ٢ في جزء من تركيب أرضي earth formation يحيط بتقبة الحفر borehole ، تشمل على:
- ٣ توليد مجال مغنطيسي ساكن في جزء من التركيب الأرضي earth formation المحيط بتقبة
- ٤ الحفر borehole ؛
- ٥ إنتاج مجال مغنطيسي RF من جزء من التركيب الأرضي earth formation ؛
- ٦ قياس إشارات الرنين المغنطيسي النووي magnetic resonance signals لجزء من التركيب

- ٧ الأرضي earth formation ؛
- ٨ اشتقاق متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون في الخليط من
- ٩ إشارات الرنين المغنطيسي النووي magnetic resonance signals ؛
- ١٠ حساب خاصية جزيئية واحدة على الأقل يتم اختيارها من قائمة من توزيعات الأحجام
- ١١ الجزيئية، وتوزيعات الأوزان الجزيئية، وتوزيعات الرقم الكربوني carbon number للخليط
- ١٢ من متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون.

- ١ ١٠ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث يتضمن اشتقاق متغير ديناميكي dynamic
- ٢ parameter واحد على الأقل توليد نموذج يحتوي على مجموعة مركبات لمكونات الخليط
- ٣ والتعديل التكراري لمركبات النموذج لجعل النموذج في أفضل صورة بالنسبة لقياسات الرنين
- ٤ النووي المغنطيسي magnetic resonance measurements .

- ١ ١١ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث يتضمن المتغير الديناميكي
- ٢ dynamic parameter الواحد على الأقل واحداً يتم اختياره من زمن ارتخاء طولي، وزمن
- ٣ ارتخاء عرضي، ونسبة زمن الارتخاء الطولي إلى زمن الارتخاء العرضي، ومعدل الانتشار.

- ١ ١٢ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث حيث يكون خليط الهيدروكربونات
- ٢ hydrocarbons في تركيب جيولوجي geological formation .

- ١ ١٣ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية لكل مكون
- ٢ في الخليط من المتغير الديناميكي dynamic parameter الواحد على الأقل ارتباط متغير
- ٣ ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون مع اللزوجة الفعالة
- ٤ effective viscosity لكل مكون.

- ١ ١٤ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٣)، حيث يتضمن الارتباط اشتقاق متغيرات تجريبية
- ٢ من مجموعة من عينات الهيدروكربونات hydrocarbons .
- ١ ١٥ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٤)، حيث تتضمن مجموعة عينات الهيدروكربونات
- ٢ hydrocarbons أنواع نפט خام.
- ١ ١٦ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية استخدام
- ٢ شبكة عصبية neural network .
- ١ ١٧ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٩)، حيث يشمل قياس بيانات الرنين النووي المغنطيسي
- ٢ NMR data على استخدام أداة واحدة يتم اختيارها من أداة رنين نووي مغنطيسي
- ٣ nuclear magnetic resonance tool لاسلكية ، وأداة تسجيل رنين نووي مغنطيسي
- ٤ magnetic resonance tool أثناء الحفر while-drilling ، وأداة لاختبار ديناميكيات التركيب
- ٥ مكونة من وحدات أو جهاز معلمي للرنين النووي المغنطيسي
- ٦ .magnetic resonance instrument
- ١ ١٨ - طريقة لتسجيل أداة بئر well logging تشتمل على:
- ٢ تحريك أداة رنين نووي مغنطيسي magnetic resonance tool على امتداد تقب حفر؛
- ٣ إنتاج مجال مغنطيسي RF في جزء من تركيب أرضي earth formation ، وعمل قياسات
- ٤ للرنين النووي المغنطيسي magnetic resonance measurements لخليط من الهيدروكربونات
- ٥ hydrocarbons في جزء من التركيب الأرضي earth formation ؛
- ٦ اشتقاق متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون من قياسات الرنين
- ٧ النووي المغنطيسي magnetic resonance measurements ؛

- ٨ حساب خاصية جزيئية واحدة على الأقل يتم اختيارها من قائمة من توزيعات الأحجام
٩ الجزيئية، وتوزيعات الأوزان الجزيئية، وتوزيعات الرقم الكربوني carbon number للخليط
١٠ من متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون.

- ١ ١٩ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٨)، حيث يتضمن اشتقاق المتغير الديناميكي
٢ dynamic parameter الواحد على الأقل توليد نموذج يحتوي على مجموعة من المركبات
٣ لمكونات الخليط والتعديل التكراري لمركبات النموذج لجعل النموذج في أفضل صورة بالنسبة
٤ لقياسات الرنين النووي المغنطيسي magnetic resonance measurements .

- ١ ٢٠ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٨)، حيث يتضمن المتغير الديناميكي
٢ dynamic parameter الواحد على الأقل يتم اختياره من زمن ارتخاء طولي، وزمن
٣ ارتخاء عرضي، ونسبة زمن الارتخاء الطولي إلى زمن الارتخاء العرضي، ومعدل الانتشار.

- ١ ٢١ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٨)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية لكل مكون
٢ في الخليط من متغير ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل ارتباط المتغير
٣ الديناميكي dynamic parameter الواحد على الأقل لكل مكون مع اللزوجة الفعالة
٤ effective viscosity لكل مكون.

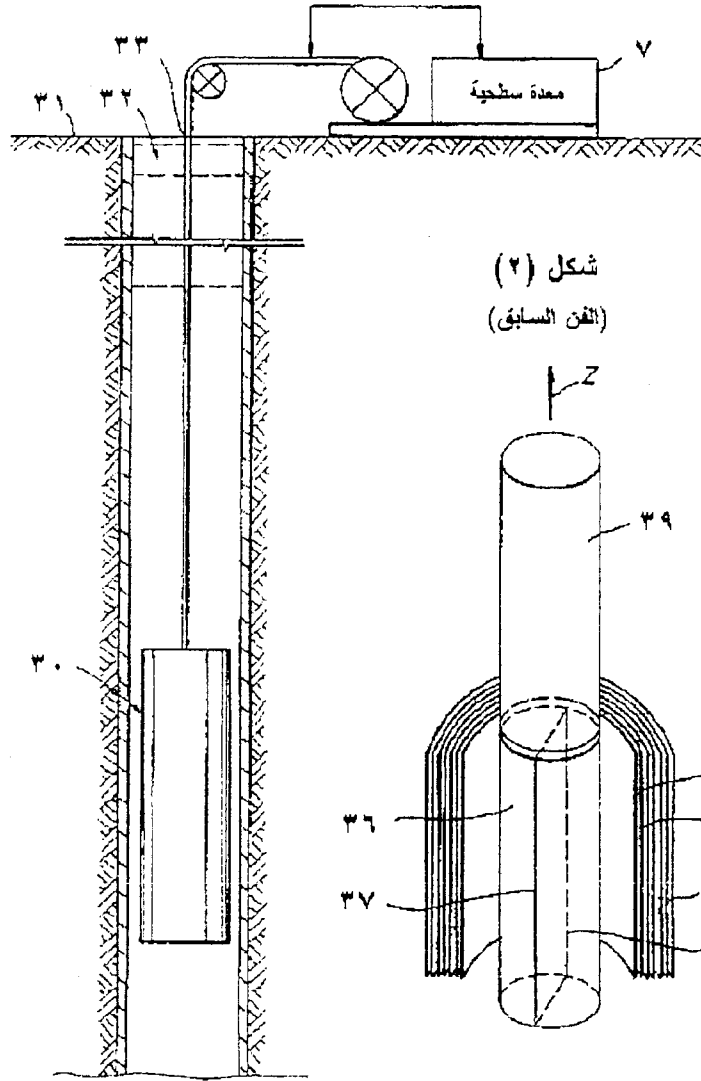
- ١ ٢٢ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢١)، حيث يتضمن الارتباط اشتقاق متغيرات تجريبية
٢ من مجموعة من عينات الهيدروكربونات hydrocarbons .

- ١ ٢٣ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٢)، حيث تتضمن مجموعة عينات الهيدروكربونات
٢ hydrocarbons أنواع نפט خام.

- ١ ٢٤ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٨)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية استخدام
- ٢ شبكة عصبية neural network .
- ١ ٢٥ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (١٨)، حيث يشتمل قياس بيانات الرنين النووي
- ٢ المغنطيسي NMR data على استخدام أداة واحدة يتم اختيارها من أداة رنين نووي مغنطيسي
- ٣ magnetic resonance tool لاسلكية، وأداة تسجيل رنين نووي مغنطيسي
- ٤ magnetic resonance tool أثناء الحفر، وأداة لاختبار ديناميكيات التركيب مكونة من وحدات
- ٥ أو جهاز معلمي للرنين النووي المغنطيسي.
- ١ ٢٦ - طريقة لتحديد توزيع خاصية جزيئية في عينة سائلة تشتمل على:
- ٢ الحصول في أداة أخذ عينات من أسفل البئر على عينة سائلة من تركيب أرضي
- ٣ ، earth formation
- ٤ إجراء قياسات رنين نووي مغنطيسي magnetic resonance measurements على العينة السائلة
- ٥ ؛ liquid sample
- ٦ تحديد توزيع متغيرات الرنين النووي المغنطيسي magnetic resonance parameter للعينة
- ٧ السائلة ، حيث يشتمل متغير الرنين النووي المغنطيسي على متغير ديناميكي
- ٨ dynamic parameter واحد على الأقل يتم اختياره من زمن ارتخاء طولي، وزمن ارتخاء
- ٩ عرضي، ونسبة زمن الارتخاء الطولي إلى زمن الارتخاء العرضي، ومعدل الانتشار، وحساب
- ١٠ خاصية جزيئية واحدة على الأقل يتم اختيارها من قائمة من توزيعات الأحجام الجزيئية،
- ١١ وتوزيعات الأوزان الجزيئية، وتوزيعات الرقم الكربوني carbon number للخليط من متغير
- ١٢ ديناميكي dynamic parameter واحد على الأقل لكل مكون للعينة السائلة من توزيع متغيرات
- ١٣ الرنين النووي المغنطيسي magnetic resonance parameter .

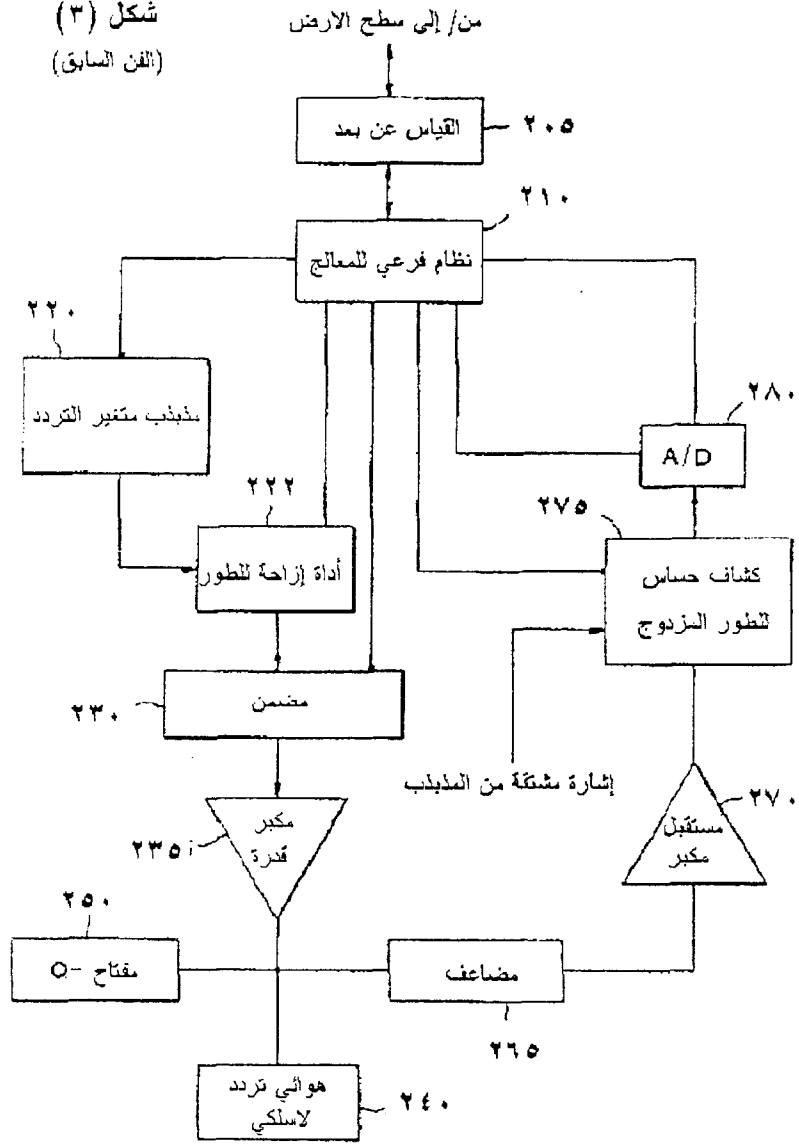
- ١ ٢٧ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٦)، حيث يشتمل الحساب على ارتباط متغير رنين
- ٢ نووي مغنطيسي magnetic resonance parameter لكل مكون في العينة السائلة مع اللزوجة
- ٣ الفعالة effective viscosity لكل مكون.
- ١ ٢٨ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٧)، حيث يتضمن الارتباط اشتقاق متغيرات تجريبية
- ٢ من مجموعة من عينات الهيدروكربونات hydrocarbons .
- ١ ٢٩ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٨)، حيث تتضمن مجموعة عينات الهيدروكربونات
- ٢ hydrocarbons أنواع نפט خام.
- ١ ٣٠ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٦)، حيث يتضمن حساب الخاصية الجزيئية استخدام
- ٢ شبكة عصبية neural network .
- ١ ٣١ - الطريقة وفقاً لعنصر الحماية (٢٦)، حيث تشتمل العينة السائلة على هيدروكربونات
- ٢ hydrocarbons .

شكل (١)
(الفن السابق)

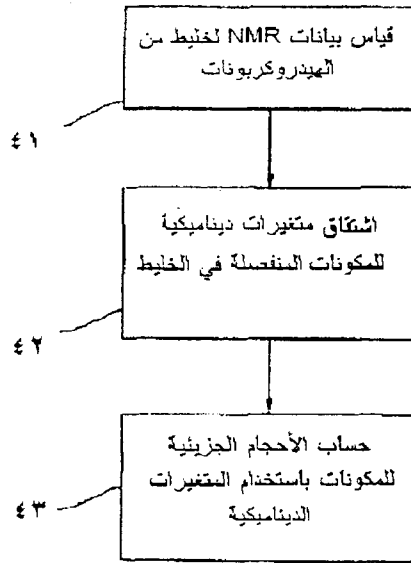
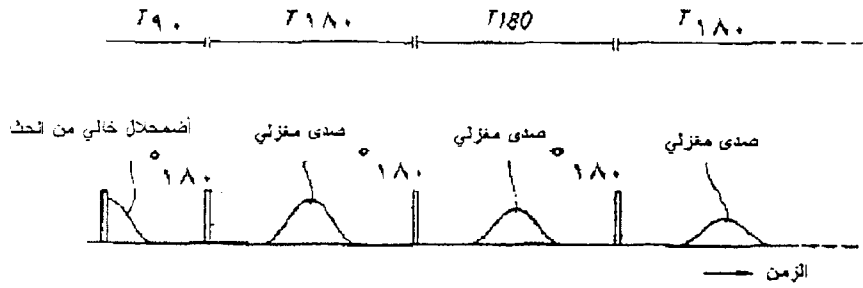


شكل (٢)
(الفن السابق)

شكل (٣)
(الفن السابق)



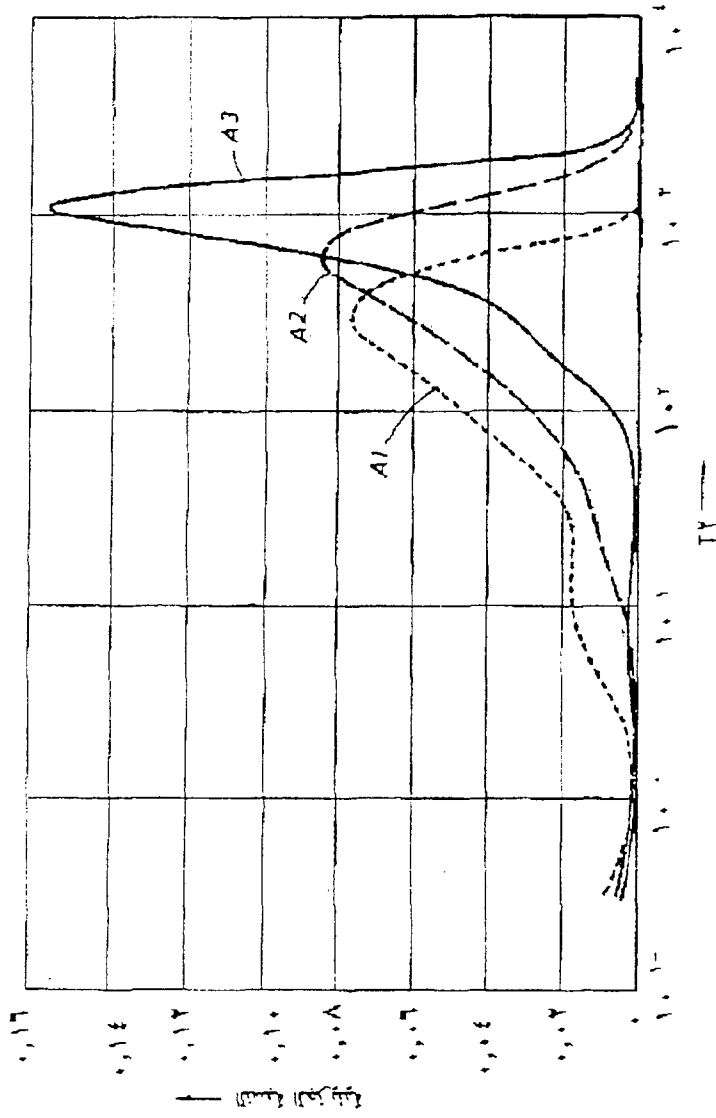
شكل (٤)



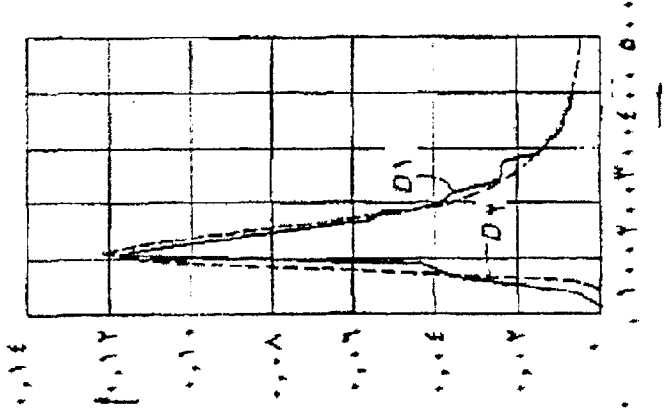
شكل (٥)

(انظر السابق)

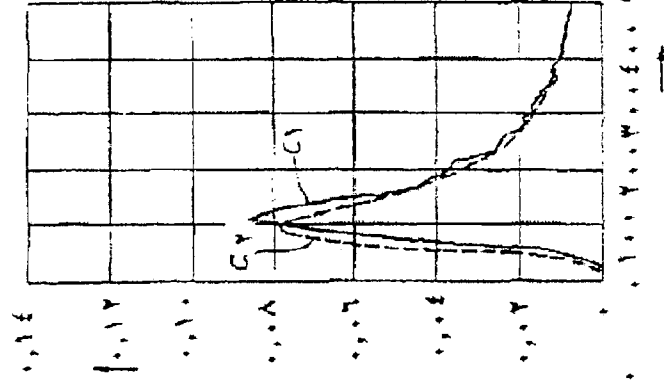
شکل (۱۶)



شکل (٥٦)



شکل (٥٧)



شکل (٥٨)

