استخدام ظاهرة الرنين النووي (ظاهرة موسباور) في مجال دراسة فخار الآثار القديمة

د . نبيل عبد الحميد عيسى : قسم الطبيعة كلية العلوم ـ جامعة الازهر .
د . هناء عبد الغني سلام : قسم الطبيعة كلية العلوم ـ جامعة قطر .

Application of Nuclear Resonance (Mössbauer Effect) for Studying Archaeological Pottery

by

N. A. Eissa

Physics Department, Faculty of Science, Al-Azhar University, Cairo, Egypt

and

H. A. Sallam

Physics Department, Faculty of Science, University of Qatar, Doha, Qatar.

ABSTRACT

It has become imperative to apply objective scientific methods to confirm subjective conclusions of archaeologists about ancient pottery. The Mössbauer Effect technique, which is characterized by its high resolving power, has been applied in the present work in order to find the origin of the pottery either through the knowledge of the type and locality of the clay from which that pottery was manufactured, or through comparison with other pottery of known structure. This identification would lead to the possibility of tracing the civilization transfer among neighbouring states in certain regions. An example of some work which we are carrying out now is the study of pottery sherds found in Qatar. Their origin is not yet known and we are aiming to throw some light on it.

The present paper reviews the results obtained by the application of the Mössbauer Effect technique for studying ancient pottery sherds covering historical periods of the ancient Egyptian, Greek, Roman and Islamic peoples. It was possible to characterize the pottery from each period. The ageing effect has been observed in pottery sherds older than a thousand years, and it is proposed that it is caused by the environmental nuclear radiations. Now we are trying to utilize this ageing phenomenon to determine the age of unknown ancient pottery.

محتويات البحث

١ ــ ملخص .
٢ ــ مقدمة .
٣ ــ أهمية الفخار في دراسة الآثار .
٤ ــ أهمية الفخار المكتشف في قطر .
٥ ــ قياس خواص الطمى الخام والفخار بواسطة ظاهرة الموسباور :
٥ . أ ــ ظاهرة موسباور .
٥ . ب ــ دراسة حالة الحديد في الطمى الخام بواسطة ظاهرة موسباور .

٦ ــ نتائج قياسات طيف موسباور على الطمى الخام :
٦ . أ ــ القياسات التي اجريناها في مصر .
أولا : قياسات الطمى النيلي الخام من مناطق مختلفة على طول نهر النيل .
ثانياً : قياسات على الطمى الخام أجريت عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة الغرفة .
ثالثاً : قياسات على الطمى النيلي الخام أجريت عند درجات حرارة أعلى من درجة حرارة الغرفة .
٦ . ب ــ القياسات التي اجراها الآخرون على الطمى في الدول الاخرى .

٧ ــ نتائج قياسات موسباور على الفخار الأثري القديم :
٧ . أ ــ مقدمة .
٧ . ب ــ القياسات التي أجريناها في مصر :
١ ــ فخار قدماء المصريين .
٢ ــ الفخار الاسلامي .
٣ ــ الفخار القطري القديم .
٧ . ج ــ القياسات التي أجراها الآخرون على الفخار الأثري القديم في الدول الاخرى .

٨ ـ نتائج قياسات طيف موسباور على الوان الفخار .
٨ . أ ـ القياسات التي أجريناها في مصر .
١ ـ دراسة لون مادة الفخار .
٢ ـ دراسة تلوين السطح الداخلي للفخار .
٣ ـ دراسة تلوين السطح الخارجي للفخار .
٨ . ب ـ القياسات التي أجراها الآخرون في الدول الاخرى :
١ ـ دراسة لون مادة الفخار .
٢ ، ٣ ـ دراسة تلوين السطحين الداخلي والخارجي بالجلاز .

٩ ـ ظاهرة القدم وتأثيرها على طيف الفخار الاثري القديم الذي ندرسه اليوم :
٩ . أ ـ مقدمة .
٩ . ب ـ القياسات التي اجراها الآخرون في الدول الاخرى .
٩ . ج ـ القياسات التي أجريناها في مصر .

١٠ ـ توقعات مستقبل طريقة اطياف موسباور على دراسة الآثار القديمة .

١ ـ ملخص :

أصبح إستخدام الطرق العلمية الموضوعية لازماً لتأكيد النتائج الذاتية التي يتوصل إليها علماء الاثار ، وطريقة طيف موسباور المستخدمة في البحث الحالي تعتبر أحدث الطرق العلمية الفيزيائية التي استخدمت في مجال دراسة الفخار الذي عثرت عليه بعثات التنقيب عن الآثار القديمة بهدف محاولة التعرف على الاماكن الاصلية لتصنيع الفخار ومصدر ونوع الطمى الخام الذي استخدم في تنصيع الفخار وطريقة التصنيع وبالتالي يمكن تكوين فكرة هل هذا الفخر محلي أم مستورد ومن أي جهة وفي النهاية يمكن تتبع إنتقال الحضارة القديمة في بعض المناطق .

والبحث الحالي يستعرض النتائج التي حصلنا عليها في معمل أبحاث ظاهرة موسباور بكلية العلوم بجامعة الازهر منذ عام ١٩٦٨ حتى الآن في مجال دراسة الآثار فقط ويعرض البحث أيضاً الابحاث المماثلة التي أجريت في معامل البلاد الاخرى في نفس المجال .

وفي البداية يبدأ البحث بعرض مقدمة وتعريف بأهمية دراسة الفخار الاثري عامة والفخار القطري خاصة ثم تعريف بظاهرة موسباور واستخداماتها ثم تعرض نتائج دراسة خواص الطمى النيلي والصحراوي في مصر عند درجة حرارة الغرفة وفي درجات حرارة أقل ثم أعلى منها أي اثناء تحوله إلى الفخار . وبعد ذلك يعرض البحث نتائج دراسة فخار قدماء المصريين والفخار اليوناني والفخار الروماني ثم الفخار الاسلامي وأخيراً الفخار القطري .

وكذلك أجرينا دراسة عن لون الفخار الناتج من تحميص الطمى وعن كيفية تلوين السطح الداخلي أو الخارجي في بعض أنواع الفخار بغرض محاولة التعرف على المواد التي استخدمت للتلوين وأخيراً يعرض البحث ظاهرة جديدة أمكن لنا وضع تفسيراً لها وهي ظاهرة القدم أي تأثير الفترة الزمنية منذ تصنيع الفخار على بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للفخار القديم وأثبتنا عملياً ان سبب هذه التغيرات هو بالدرجة الاولى بسبب الاشعة النووية الموجودة في البيئة على عكس ما توصل إليه الباحثون الآخرون في الدول الاخرى .

٢ ــ مقدمة :

ان استخدام الطرق العلمية الفيزيائية (١ ــ ٤) في كشف أسرار الآثار القديمة عن طريق معرفة مكوناتها وتركيبها الداخلي وبالتالي معرفة تكنولوجيا تصنيعها يعتبر من أهم الاضافات الحديثة للعلم في العشرين سنة الاخيرة . ولقد اضطر علماء الاثار إلى الاعتماد على هذه الطرق العلمية لانها تتحاشى الذاتية غير الموضوعية في المعايير التي يستخدمها هؤلاء العلماء لترتيب واستخلاص المعلومات مما يعثرون عليه من آثار اثناء عمليات التنقيب .

وبالرغم من ان هذه الذاتية تعتمد على الاراء الشخصية والدراسة بالعين المجردة وكذلك على الدراسات التاريخية المقارنة ، إلا أن هذا الاسلوب لدراسة الآثار كان وسيظل أساساً هاماً لدراسة الآثار . واما الطرق العلمية المعملية فتأتى أهميتها في إزالة الشك وتأكيد التفسير المقترح بواسطة علماء الآثار وذلك لانها تعطي معلومات موضوعية غير ذاتية عن التركيب الداخلي وأصل ومصدر الأداة الاثرية وكذلك عن طريق تصنيعها وعمرها مما يؤدي في النهاية إلى معرفة تطور وإنتقال الحضارة الانسانية من منطقة لاخرى .

وتوجد طرق علمية (٥) عديدة لكل منها اساسها النظري الذي يميزها عن غيرها ولكن لكل طريقة أيضاً مدى تطبيقي محدود ، ويمكن تقسيم الطرق العلمية المستخدمة في دراسة الآثار إلى ثلاثة أنواع هي :

أ ــ طرق تحليلية : مثل التحليل الكيميائي ، تحليل طيف الكتلة ، تحليل طيف الاشعة السينية ، تحليل طيف الاشعة تحت الحمراء ، تحليل طيف الانبعاث الضوئي ، تحليل التشعيع النيوتروني وتحليل طيف موسباور .

ب ــ طرق تقدير العمر : مثل القياسات المغناطيسية ، الوميض الحراري ، والكربون المشع .

ج ــ طرق الكشف عن محتويات الاعماق : باستخدام الاشعة الكونية والموجات فوق السمعية للكشف عن الفراغات أو الحجرات داخل المناطق الاثرية .

وتعتمد هذه الطرق على نفاذ أو انعكاس هذه الاشعة والموجات الصوتية من طبقات المواد المختلفة الكثافة التي تقابلها ومن ذلك يمكن التنبؤ بوجود فراغات أو مواد مختفية يصعب الكشف عنها بدون هذه الطرق .

ولقد أجريت دراسات منتظمة وعديدة باستخدام (٦ ــ ٩) هذه الطرق المختلفة منذ بداية القرن العشرين ، ولكننا نشير إلى أحدث طريقتين مثيرتين استخدمتا في العشر سنوات الاخيرة والطريقة الاولى نذكرها فقط وهي إستخدام الاشعة الكونية والموجات الصوتية بواسطة العلماء الامريكيين والمصريين للبحث عن غرف قد تكون مملؤة بالكنوز داخل اهرامات مصر (١٠) .

واما الطريقة الثانية فهي مجال البحث الحالي وهي إستخدام ظاهرة موسباور (أو الامتصاص الرنيني النووي لاشعة جاما) في دراسة الفخار . ولقد بدىء في تطبيق هذه الطريقة في هذه الدراسات في نفس الوقت بواسطة علماء من انجلترا (١١) واليونان (١٢) ومصر (١٣) وسنبدأ قريباً في دولة قطر (١٤) .

٣ ـ أهمية الفخار في دراسة الآثار :

ان الادوات الفخارية لها أهمية كبيرة في دراسة الآثار كعنصر ثقافي وكدليل على تقدم الفن والتكنولوجيا بصفة عامة وتصنيع الفخار بصفة خاصة ، وكوسيلة للتبادل التجاري في العالم القديم ولقد تم الحصول على معلومات تاريخية قيمة من دراسة النقوش والعلامات التي وجدت على السطح الخارجي للفخار وتعثر بعثات التنقيب عن الآثار على أنواع مختلفة من الادوات التي تستخدم في الحياة اليومية المنزلية والحربية وادوات الزينة وغيرها وهي تختلف باختلاف الحضارة ، ولكن العامل المشترك دائماً هو الفخار الذي قد يعثر عليه على هيئة أواني سليمة أو بقايا محطمة تسمى شقفات وفي كلتا الحالتين يكون له أهمية كبيرة عند علماء الآثار .

ولقد أوضح عالم الآثار الانجليزي فلندربتري (١٥) ان الدراسة الشاملة لكل ما يعثر عليه تؤدي غالباً إلى فهم وتفسير حضارة الموقع وتحدد زمنها بالمقارنة مع المواقع الاخرى ، ولقد أدرك بتري أهمية التغير في اشكال الفخار عبر التاريخ وكيف ان اختلاف شكل وصناعة الاواني الفخارية كثيراً ما يشير إلى مرور الزمن وإلى اختلاف في الحضارات والتقاليد والانواق وغير ذلك . هناك أنواع عادية من الفخار قد يستمر إنتاجها الاف السنين دون أي تعديل ويمكن القول أن بعضها بدأت صناعته في الالف السادس قبل الميلاد ومازال يصنع حتى اليوم وبنفس الاسلوب ، ولكن معظم الصناعات الفخارية قد مرت بأطوار مختلفة عبر الاجيال واختلفت ليس فقط باختلاف العصور بل كذلك باختلاف البلاد والحضارات وأصبح باستطاعة الخبير المطلع ان يحدد زمن أي موقع في مصر أو العراق أو سوريا مثلا وعلاقته بغيره من المواقع عن طريق النظر إلى قطع الفخار المنتشرة على سطحه ويتأكد من تاريخ الموقع ومن تسلسل الحضارات عن طريق إجراء حفر في عمق الارض ومقارنة ودراسة كل ما يجده عند كل عمق .

والفخار يساهم بنسبة كبيرة في هذه الدراسة الشاملة لأنه يستخدم في أغراض كثيرة في المنزل والحقل والمعبد مثل حفظ الطعام والشراب للاستهلاك اليومي وللتخزين لفترات طويلة ، ولكل نوع من أنواع الطعام أو الشراب نوع خاص من الفخار ، وكذلك كان

يستخدم كمستودع لزيت الانارة أو في ادوات الحرب أو الزينة وعموماً فان أشكال وأنواع واغراض إستخدام الاواني الفخارية تتغير دائماً مع مرور الزمن ومع تطور الحضارة تظهر الحاجة إلى اواني جديدة لها أشكال جديدة . كما يؤدي التطور التكنولوجي منذ حوالى ٦٠٠٠ سنة ق . م إلى تطوير الصناعة فمن صناعة يدوية بدائية تستخدم فيها الشمس كمصدر للطاقة في حالة فخار العصر الحجري الحديث (أو النيوليثي منذ حوالى ٦٠٠٠ سنة ق .م) الذي يتميز بأنه خشن وغير ملون أو مزخرف ، إلى استخدام فرن تسخين في حالة فخار العصر الاينيوليثي ، وفي مرحلة تالية استخدمت النقوش لزخرفة الاواني كما في حالة فخار تل حلف شمالي سوريا منذ حولى ٥٠٠٠ سنة ق . م ، ثم استخدم بعد ذلك الدولاب البدائي في فخار تل العبيد جنوب العراق منذ حولى ٤٠٠٠ سنة ق . م ولونه يميل إلى الاخضرار ويحمل نقوشاً هندسية غالبها بني اللون ثم استخدم الدولاب المتطور في فخار الوركاء منذ حوالى ٣٠٠٠ سنة ق . م ومعظمه أسود لا يحمل نقوشاً وفي فخار تل الشمرا (أوغاريت) شمال غربي سوريا منذ ٢٠٠٠ سنة ق . م معظمه له شكل الاواني المعدنية وهكذا ..

اما الفخار المصري القديم فلقد إكتشفت منه عينات يبلغ عمرها أكثر من ٦٠٠٠ سنة ق . م منذ الدولة القديمة وتختلف الاواني الفخارية المصرية القديمة باختلاف فترة إنتاجها .

والاواني الفخارية هشة سهلة الكسر وفي هذه الحالة ترمى قطعها التي لم تعد صالحة للاستخدام وهكذا فان هذه الشقفات ستكون كثيرة وغير ذات قيمة مادية لكي تسرق أو تنهب ، وهذا هو السبب في انها تظل مكانها عبر الاجيال لكي تصبح عوناً ووسيلة للباحث والمؤرخ وعالم الآثار الذي يحاول ان يستنطقها فتقص عليه اليوم ما شاهدته بالامس وهو يستخدم لذلك حواسه التي قد تخدع أحياناً ويستخدم كذلك معلوماته الشخصية أي ان استنتاجاته قد تكون ذاتية ، وباستخدام الطرق العلمية تصبح موضوعية .

والبحث الحالي يعرض نتائج تطبيق قياسات ظاهرة موسباور في دراسة الفخار الاثري في مصر خلال العصور التاريخية المتعاقبة منذ قدماء المصريين ثم في دولة قطر .

٤ ـ أهمية الفخار المكتشف في دولة قطر :

اثناء التنقيب على الآثار في دولة قطر بواسطة البعثة الدانيمركية (١٦) سنة ١٩٥٦ في موقع الدعسة قرب مدينة الخور شمال غربي شبه الجزيرة تم العثور على أواني فخارية

سليمة أو قطع صغيرة (شقفات) من الفخار تمثل بقايا بعض الاواني المنزلية التي كانت تستخدم في اغراض مختلفة من الحياة اليومية وهنا يجدر بالذكر ان المسؤولين عن الآثار في أي دولة يمتنعون عن التصرف في الاواني الفخارية السليمة أو شبه السليمة القابلة للترميم عندما يطلبها العالم الباحث ليجري عليها اختبارات داخل معمله ، بينما يتردد هؤلاء المسؤولون عندما يطلب منهم بعض هذه الشقفات نظراً لعدم قيمتها المادية أو الجمالية عند عرضها وغالباً ما يعطونها لاجراء البحث المعملي عليها .

وهذا الفخار الذي اكتشف في دولة قطر يعتبر الدليل الموجود حتى الآن ليربط دولة قطر اثناء عصور ما قبل التاريخ بأماكن محددة من البلدان المجاورة وعلى الاخص بلاد العراق أو إيران أو السعودية . وفي البداية أثارت هذه القطع الفخارية إهتمام علماء الاثار حيث تبينوا انها من الناحية الشكلية تشبه نوع الفخار العبيدي الذي إكتشف لأول مرة في موقع جنوب العراق يسمى اليوم تل العبيد . ولكن الحكم على الفخار من شكله الخارجي يعتبر حكماً ذاتياً غير موضوعي ، لذا فانه يتحتم ان يقول العلم الموضوعي التجريبي كلمته الفاصلة وهذا هو أحد أهداف البحث الحالي . ويمكن ان نلخص الهدف من دراسة الفخار القطري فيما يلي :

أ ـ الاجابة على السؤال : هل يقف تاريخ شبه جزيرة قطر عند العصر الحجري ؟ ولقد سبق ان قالت البعثات الدانيمركية من ١٩٥٦ إلى ١٩٦٥ إن تاريخ شبه جزيرة قطر في عصور ما قبل الميلاد يقف عند العصر الحجري ولكن اكتشاف الفخار الذي يعتقد انه من النوع العبيدي يخطىء هذه النظرية .

ب ـ الاجابة على السؤال : ما هو أصل أو منبع الفخار الذي اكتشف في دولة قطر ؟ وذلك لأننا لا نستطيع عن طريق الفحص الشكلي لعينات الفخار ان نحدد انها من منطقة تل العبيد بالعراق ، وإنما بعد ان نفحص ونعين التركيب الداخلي داخل المعمل لعينات فخار قديم من كل المناطق المحيطة بدولة قطر نستطيع ان نعرف هل أستورد هذا الفخار الذي عثرت عليه البعثة ومن أين أستورد هذا الفخار ؟

والخطوة الثانية بعد ذلك هي ان نفحص الطمى الموجود في تلك المنطقة لنعرف طريقة وتكنولوجيا تصنيع ذلك الفخار وباختصار يمكن أن نتتبع إنتقال وإنتشار الحضارة في هذه المنطقة في فترة زمنية معينة .

٥ ـ قياس خواص الطمى الخام والفخار بواسطة ظاهرة موسباور :

٥ . أ ـ ظاهرة موسباور أو ظاهرة الرنين النووي (١٧) :

تتلخص في أن النواة المستثارة تشع أشعة جاما لكي تصل إلى حالة الاستقرار (وتسمى هذه النواة بالمصدر) مثل نواة ذرة نظير الحديد ٥٧ (نسبة ٢٪ من الحديد الموجود في الطبيعة والباقي ٦,٢٪ حديد ٥٤ ـ ٩١,٥٪ حديد ٥٦ ـ ٠,٣٪ حديد ٥٨) الموجود في عنصر الحديد والذي تترتب ذراته في الحالة الصلبة في تركيب بلوري مكعب من ناحية الشكل الهندسي في الفراغ ، هذه النواة عندما تكون في الحالة المستثارة فانها تشع أشعة جاما لها طاقة محددة تعتمد على عدد البروتونات والنيوترونات داخل نواة هذا النظير وتعتمد كذلك على عدد الالكترونات خارج هذه النواة ، وعندما تخرج أشعة جاما فان النواة المستثارة تصل إلى حالة الاستقرار وتصبح غير مشعة بعد زمن معين فاذا سقطت نفس هذه الاشعة على نفس نواة ذرة الحديد ٥٧ المستقرة (وتسمى هذه النواة بالممتص) فانها تمتص أشعة جاما الساقطة عليها من نواة المصدر وهذا ما يسمى بظاهرة الرنين النووي أو ظاهرة موسباور ، تكريماً للعالم الالماني رودلف موسباور الذي امكنه قياس هذه الظاهرة عام ١٩٥٨ في ميونيخ بالمانيا ثم حصل على جائزة نوبل عام ١٩٦٠ وتنبعث اشعة جاما مرة اخرى من نواة الحديد الممتصة بعد نفس الزمن المعين . وفي حالة اذا ما كانت البيئة الموجودة فيها نواة ذرة الحديد ٥٧ الممتصة تختلف اختلافاً ضئيلا من ناحية التركيب الكيميائي عن حالة نواة ذرة الحديد ٥٧ المصدر ، كأن يكون المصدر مكوناً من ذرات معدن الحديد والممتص من ذرات اكسيد الحديد ، ففي هذه الحالة لا يحدث الرنين ولكي نحدثه فاننا نغير من طاقة اشعة جاما الخارجة من المصدر تغييراً طفيفاً جداً ولكنه محسوب حتى يحدث الرنين . أي أن اختلاف عدد الالكترونات حول ذرة الحديد عنه في حالة اكسيد الحديدوز (الحديد ثنائي التكافؤ) أو الحديديك (الحديد ثلاثي التكافؤ) أو في أي من مركبات الحديد يتسبب في إختفاء الرنين الذي يمكن إعادته عن طريق حساب التعديل الذي تحدثه صناعياً في طاقة أشعة جاما حتى يعود الرنين . هذا ومن تحليل خواص اشعة جاما قبل سقوطها وبعد خروجها من نواة ذرة الممتص يمكن معرفة تفاصيل كثيرة هامة (بارامترات موسباور) عن التركيب الداخلي الدقيق ، وأحياناً التركيب فوق الدقيق لنواة الذرة الممتصة مثل المجالين الكهربي والمغناطيسي الناتج عن تأثير الالكترونات عند النواة حيث ان ذرة الحديد لها خواص مغناطيسية وكهربية معينة في الحالة العادية وتتغير هذه الخواص بتغير درجات الحرارة أو بتغير عدد أو ترتيب الالكترونات خارج نواة ذرة الحديد . وفي المعمل تستخدم مطياف موسباور لقياس هذه التغيرات الطفيفة التي تظهر في طاقة اشعة جاما وبطريقة عكسية نتعرف على مسببات هذه التغيرات داخل نواة الذرة الممتصة .

هذا وتبلغ قدرة التحليل في مطياف موسباور ١٠ – ١٣أي انه يمكننا ان نقيس تغيراً طفيفاً في الطاقة يبلغ ١٠ – ١٣من القيمة الاصلية لطاقة اشعة جاما مثلا ، وهذه الحساسية لم يبلغها أي مطياف آخر حتى الآن وهذا هو أحد الاسباب التي جعلت ظاهرة موسباور تسترعي إهتمام كل المهتمين بالبحث العلمي في هذه المجالات .

واذا رجعنا إلى دراسة الفخار بواسطة الطرق العلمية المختلفة نجد ان الطرق السابق ذكرها في المقدمة تعتمد أساساً على تعيين العناصر الموجودة داخل عينة الفخار (أو على تعيين عمر الفخار) وهذا يعطي دلائل على نوعية الطمى الذي استخدم لتحضير الفخار حيث ان الفخار عبارة عن طمى محروق تحت ظروف خاصة وهذه الطرق استخدمت في أبحاث الفخار الاثري لتعيين اصل البلد التي صنعت الفخار ولكن هذه الطرق لا تعطي أية معلومات عن طريقة تصنيع الفخار .

وخلال السنوات الاربع الاخيرة استخدمت ظاهرة موسباور في عديد من أبحاث الفخار الاثري (١٨ ــ ١٩) لتعيين طريقة تصنيع الفخار عن طريق قياس طيف موسباور للفخار الاثري ومقارنته باطياف موسباور لانواع معينة من الطمى المتوقع ان يكون الفخار قد صنع منه بعد معالجة هذا الطمى حرارياً تحت ظروف مؤكسدة أو مختزلة .

وكذلك بدأت أخيراً في السنتين الاخيرتين (٢٠ ــ ٢١) مشاهدة ظاهرة التأثير الزمني في أطياف موسباور للفخار القديم الذي يزيد عمره عن ألف سنة حيث تحدث تغيرات كيميائية وفيزيائية في حالة ذرات الحديد الموجود في الفخار وبالرغم من ان الدراسات الاولية لم تتأكد نتائجها بعد ، إلا أنها سوف تستخدم في تقدير عمر الفخار بعد استكمال الدراسات الحالية .

٥ . ب ــ دراسة حالة الحديد في الطمى الخام بواسطة ظاهرة موسباور :

يصنع الفخار من الطمى الذي يحرق عند درجات حرارة مرتفعة في جو مؤكسد أو مختزل بعد إضافة بعض المواد التي تكسبه مرونة معينة ولون معين ويوجد الحديد في معظم أنواع الطمى بنسبة عالية تتراوح بين ٥ إلى ١٠٪ مما يتيح استخدام الحديد كمعيار أو مجس في دراسات الفخار الاثري بطريقة طيف موسباور ولتحضير عينات القياس في هذه الطريقة يلزم حوالى ١٠٠ مليجرام ولا تتأثر العينة نفسها بظروف القياس (تحليل غير اتلافي) وتستمر القياسات حوالى عشرة ساعات للحصول على طيف موسباور واضح .

ويعيب هذه الطريقة بالمقارنة بالطرق التحليلية الاخرى انها تعتمد على دراسة عنصر واحد (الحديد) من العناصر العديدة الموجودة في تركيب الفخار ولكنها تمتاز بقدرتها العالية على التحليل كما انها تعطي فكرة شاملة وواضحة عن معظم الخواص الكيميائية والفيزيائية للحديد الموجود في أنواع الطمى المختلفة سواء في حالته الخام أو بعد معالجته حرارياً لانتاج الفخار .

وفيما يلي ملخص لأهم الدراسات التي نشرت عن قياسات موسباور للطمى الخام ، وهذه الدراسات خطوة هامة ومطلوبة أساساً قبل إجراء تحليل للقياسات الخاصة بالفخار القديم لتعيين حجم أو قيمة المشاكل التي يمكن حلها بنجاح ، كما ان هذه الدراسات المطلوبة أيضاً في علوم التربة وتكنولوجيا صناعة الخزف .

ويعرف الطمى في علوم الاراضي بانه جزء التربة الذي يحتوي على حبيبات قطرها يقل عن ٤٠ انجستروم والمكونات الاساسية للطمى هي طبقات متداخلة من السليكا رباعية السطوح والالومنيا ثمانية السطوح ويوجد الحديد في الطمى على هيئة اكاسيد مرتبطة بحبيبات الطمى أو في حالة حرة ، كذلك يمكن ان يوجد الحديد على هيئة ايونات احلالية داخل تركيب الطمى بدلا من أحد الايونات في التركيب الرباعيْ أو الثماني السطوح لعناصر الطمى وفي كل حالة ينتج معدن من معادن الطمى وهذا يتسبب في أن الطمى الموجود في جهة معينة يكون متميزاً بوجود نسبة أعلى لمركبة معينة ، ولقد ثبت هذا بواسطة تحليل الاشعة السينية وباستخدام ظاهرة موسباور امكن الحصول على بارامترات جديدة تعطي فكرة أوضح عن توزيع ذرات الحديد ونسبتها في كل من الاشكال الكيميائية المختلفة للطمى .

٦ ـ نتائج قياسات طيف موسباور على الطمى الخام :

٦ . أ ـ القياسات التي أجريناها في مصر :

أولا : قياسات على الطمى النيلي الخام من مناطق مختلفة على طول نهر النيل :

لقد جمعنا عينات كثيرة من مناطق مختلفة على طول مجرى نهر النيل من أسوان حتى مصب النيل في البحر الابيض المتوسط ، وشكل (١) يوضح خريطة للمناطق التي جمعت منها عينات الطمى ، ومن كل موقع أخذنا عينة من الطمى من مجرى النيل واخرى من الاراضي المجاورة وعينة ثالثة من عمق حوالى ٢٠ سم بعيداً عن المجرى ، ولقد قيست أطياف موسباور لهذه العينات عند درجة حرارة الغرفة ، وشكل (٢) يوضح نماذج

لاطياف عينات الطمى وهو يعطي الشكل العام المشترك بين جميع العينات ويتكون من قمة مركزية مزدوجة بارامغناطيسية تميز الحديد في الحالة الثنائية (وهذا يميز الطمى النيلي) بالاضافة إلى القمة المميزة للحالة الثلاثية البارامغناطيسية وإلى نموذج زيمان المكون من ستة قمم إمتصاص تميز وجود اكسيد الحديد المغناطيسي .

ولقد كان من المتوقع مشاهدة اختلاف في طيف موسباور نتيجة اختلاف الموقع كما هو مبين في الخريطة شكل (١) ولكن الاختلاف الذي لوحظ هو في الشدة النسبية للحديد في الحالة البارامغناطيسية والحالة المغناطيسية ، كذلك في الحالة الثنائية والحالة الثلاثية كما يوضح شكل (٣) .

كذلك لم يظهر اختلاف واضح في طيف موسباور لعينات الطمى من مجرى النيل وللعينات من الاراضي المجاورة أو من العينات المستخرجة من على عمق ٢٠ سم .

ثانياً : قياسات على الطمى النيلي الخام أجريت عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة الغرفة :

يوجد في مصر مصدران للطمى هما الطمى النيلي والطمى الصحراوي ولقد قمنا بقياس عينات من النوعين في عام ١٩٧٢ فحصلنا على اطياف موسباور (شكل ٤) لكل من النوعين ، ويتضح من الشكل كذلك ومن تحليل النتائج (جدول رقم ١) ان الطمى النيلي يحتوي على نسبة أكبر من المركبة المغناطيسية التي تمثل اكاسيد الحديد وكذلك يحتوي على عدد أكبر من المركبات ذات الحديد الثنائي (مركبات الحديدوز) ويمكن تفسير ذلك بأن الطمى الصحراوي هو طمى نيلي قديم وبمرور الوقت تأكسد الحديد وصغر حجم حبيباته . ويمكن اثبات هذا باجراء قياسات طيف موسباور عند درجات حرارة منخفضة فاذا بردنا عينة الطمى إلى درجات حرارة منخفضة حتى درجة حرارة النتروجين السائل نحصل على نفس الطيف ، ولكن نلاحظ ان شدة المركبة المغناطيسية تزداد بالنسبة للقمة المزدوجة وهذا السلوك يدل على ان حجم حبيبات الطمى يعطي الطيف المميز للحالة فوق البارامغناطيسية حيث انه عندما يكون قطر حبيبات أكسيد الحديد في حدود مائة انجستروم فانها تسلك كأنها مجموعة من الحبيبات الصغيرة التي تظهر لها خواص بارامغناطيسية عند درجات الحرارة المعتادة ، وكلما بردنا هذه الحبيبات فانها تكتسب الخاصة المغناطيسية التي يميزها ظهور نموذج طيف زيمان النووي المكون من ستة قمم امتصاص ، وهذا السلوك يعتمد على درجة حرارة وحجم الحبيبات التي تحدد زمن الاسترخاء (٢٢) . والنسبة بين شدة هاتين المركبتين تعتمد على درجة الحرارة فاذا اجرينا القياس عند درجات حرارة مختلفة امكننا ان نعين حجم حبيبات الاكاسيد المغناطيسية ولقد وجد انها في حدود مائة انجستروم للطمى النيلي .

صفات عامة مشتركة ولكن الاختلاف يوجد فقط في الوفرة النسبية للحديد في الحالة الثنائية او الحالة الثلاثية سواء اكان لها خواص مغناطيسية أو غير مغناطيسية وهذه الاختلافات الطفيفة هى التى سوف نستغلها فى المستقبل لمعرفة نوع الطمى الذى صنع منه أى فخار مجهول ، واوضحت هذه القياسات ان طريقة اطياف موسبارو تعطى نتائج وحيدة لا يمكن الحصول عليها باى من الطرق الفيزيائية السابق ذكرها نتيجة للقدرة الفائقة على التحليل التى تبلغ ١٠-١٣

٧ ـ نتائج قياسات طيف موسبار على الفخار الاثري القديم

٧٠أ ـ مقدمة

ان قياسات الفخار التي اجريناها كانت بغرض تعيين اصل او مصدر الفخار وكذلك تكنولوجيا تصنيع الفخار الذي عثرت عليه بعثات التنقيب عن الاثار في مصر منذ عهد قدماء المصريين اي منذ حوالي ستة الاف سنة ، ثم بعد ذلك درسنا الفخار الذي وجد ضمن الآثار اليونانية والرومانية والقبطية (٢٦) واخيرا الفخار الاسلامي (٢٧) من العصر العباسي والعصر الفاطمي وعصر المماليك . وحاليا تجري دراسة عينات من الفخار القطري (٢٨) الذي عثرت عليه البعثات الدانمركية من ١٩٥٦ وحتى ١٩٦٥ للتنقيب عن الاثار في دولة قطر والتي عثرت على اثار قدرتها على انها من فترة ما قبل التاريخ ، هذا وقد حصلنا اخيرا على بعض العينات التي عثرت عليها البعثة الاثرية الفرنسية برئاسة الاستاذ تكسييه في يناير ١٩٧٨ في منطقة الخور وسنقوم بدراستها ايضا بغرض تعيين مصدر وتكنولوجيا تصنيع هذا الفخار الذي عثر عليه حديثا (١٤) .

سبق ان اوضحنا ان الطرق العلمية التحليلية التي كانت تستخدم في دراسة الفخار الاثري بغرض تحديد المصدر الاصلي للفخار كانت تعتمد على فكرة تعيين العناصر الموجودة (ولو كانت بنسبة ضئيلة) في تركيب انواع الطمي الخام المتاحة في منطقة معينة والتي كان يصنع منها الفخار ثم تحليل الفخار تحت الدراسة لمعرفة العناصر المكونة له ومقارنتها بتلك التي عرفنا انها موجودة في الطمي الخام . وبالرغم من ان هذه الطرق التحليلة اثبتت كفائتها في عديد من الحالات الا انه يوجد بعض الامثلة التي لم تستطع هذه الطرق ان تعطي المعلومات المطلوبة ، ومثال ذلك الحالات التي عثر فيها على عدة انواع من الفخار تختلف في الشكل واللون والجوهر . ولكن الطرق التحليلية أظهرت انها جميعا تحتوي على نفس العناصر الموجودة في الطمي الخام ، وهنا يأتي دور طريقة موسباور التي تعطي اطياف تفسر هذه الاختلافات نتيجة لاختلاف المركبات التي تتكون من نفس العناصر اثناء عملية التصنيع وبالتالي تعطي اختلافا في الشكل واللون والجوهر لأن اطياف موسباور تعطي صورة مميزة للتركيب الداخلي التفصيلي

(بارامترات التركيب فوق الدقيق) الذي يختلف نتيجة استخدام تكنولوجيا معينة كانت معروفة لانتاج نوع معين يستخدم لغرض معين في زمن انتاج هذا الفخار الاثري ، وهكذا اثبتت طريقة اطياف موسباور كفائتها لتحقيق هذه الاهداف عن طريق قدرتها الفائقة على تحليل خطوط الطيف التي تصل الى ١٠- ١٣ وتحليل هذه الخطوط يعطي بارامترات موسباور للتركيب الداخلي فوق الدقيق لكل نوع من انواع الفخار ، وبالتالي يمكن تحديد مكان واصل الفخار بالمقارنة بالطمي الخام وكذلك يمكن تعيين تكنولوجيا تصنيع هذا الفخار بالمقارنة بالطمي المعالج حراريا ، هذا ويمكن استخدام طريقة اطياف موسباور لمعرفة الفخار الاثري الحقيقي من الفخار المزيف مهما كانت دقة التقليد التي لا يمكن تمييزها بالعين او حتى بالطرق العلمية التقليدية .

٧ . ب : القياسات التي اجريناها في مصر

فخار قدماء المصريين :

من المتحف المصري حصلنا على بعض شقفات من فخار قدماء المصريين من الدولة القديمة من الاسرات الاولى والثانية (٣٢٠٠ ـ ٢٧٧٧ ق.م) ، الاسرة الرابعة والخامسة من سقارة (٢٧٧٨ ـ ٢٧٢٣ ق.م) ، الاسرة السادسة (٢٧٢٣ ـ ٢٢٣٤ ق.م) ، الاسرة السادسة والعشرين من سقارة (٦٦٢ ـ ٥٢٥ ق.م) ، العصر اليوناني (٣٢٣ ق.م ـ ٢٨٦ ب.م) والعصر الروماني (٢٨٦ ـ ٦٤٠ ب.م) حيث تحتل مصر مركزا وحيدا بالنسبة للفخار لسببين : اولهما ان الفخار القديم الذي يبلغ من العمر ما بين خمسة الى ستة الاف سنة قد ثبت من الناحية التاريخية انه قد صنع في مصر وهذا يعزز استنتاجنا والسبب الثاني انه يوجد مصدر واحد فقط للطمي هو النيل حيث يترسب معادن الطمي الموجودة في ماء نهر النيل اما الطمي الصحراوي فهو اصلا طمي نيلي قديم جدا ، وليس من السهل توافر مثل هذه الظروف عند دراسة فخار عثر عليه في دولة اخرى مما شجعنا على دراسة طرق تصنيع هذا الفخار المصري القديم ، حيث ان النتائج التي توصلنا اليها من مقارنة طيف موسباور للطمي النيلي المعالج حراريا مع طيف موسباور للفخار المصري القديم تكون شبه اكيدة لهذين السببين لانه لا يتطرق شك في ان هذا الفخار لم يصنع في مصر وايضا لا يتطرق شك في ان الطمي محلي ومن مصر .

ويوضح شكل (٩) طيف موسباور لعينات من الفخار المصري القديم ومن تحليل هذه الاطياف كما هو موضح بالجداول ارقام (٢أ) و (٢ب) وجد انها تتكون اساسا من مركبة مغناطيسية مكونة من ستة خطوط ومركبة بارامغناطيسية مكونة من قمة مزدوجة ذات انفلاق رباعي القطب وتختلف نسبة هاتين المركبتين من عينة لاخرى ، واثبتت

القياسات عند درجات الحرارة المختلفة ان المركبة المغناطيسية ناتجة عن اكسيد الحديد الاحمر حـ٢أ وان المركبة البارامغناطيسية ناتجة عن مركبات سيليكات الحديد التي يوجد فيها الحديد في كلتا الحالتين الثنائية والثلاثية التكافؤ . ومن مقارنة بارامترات موسباور لهذه الشقفات الفخارية ببارامترات موسباور للطمي النيلي والطمي الصحراوي المعالج حراريا ، ثم تأكيد بعض النتائج بواسطة قياسات حيود الاشعة السينية وطيف الاشعة تحت الحمراء ، امكن استنتاج طريقة انتاج كل نوع من أنواع الفخار (نوع الطمي درجة حرارة التحميص وفترة التحميص وهل تم الاحتراق في جو مؤكسد او جو مختزل) .

٢ ـ الفخار الاسلامي :

من المتحف الاسلامي بالقاهرة حصلنا على بعض شقفات من الفخار الاسلامي من العصر الاموي والعصر العباسي والعصر الفاطمي وعصر المماليك في الفترة من سنة ٩٠٠ الى ١٣٠٠ ب .م ولقد درسنا هذه العينات بهدف :

١ ـ معرفة طرق تصنيعها .

٢ـ معرفة الفرق بين الفخار العباسي المصنوع في مصر وبين الفخار العباسي المصنوع في العراق في نفس الفترة الزمنية .

٣ ـ معرفة الدور الذي يلعبه عنصر الحديد في الفخار الذي صنع في نفس المكان لاستخدامه في صنع اواني تستعمل في اغراض الحياة المختلفة .

وشكل (١٠) يوضح نموذج من الاطياف التي حصلنا هليها لفخار العصور السابق ذكرها ، وفي اطياف جميع العينات ماعدا عينات فخار العصر العباسي ظهرت مركبتان الاولى مغناطيسية تميز واحد من اكاسيد الحديد والثانية غير مغناطيسية تميز مركبات الحديد الثلاثي في الطمي (كما هو واضح بالجدول رقم ٣) مما يجعلنا نعتقد ان نوع الطمي وتكنولوجيا التصنيع لم يختلفوا كثيرا في العصرين الفاطمي والمملوكي . هذا وما يجدر ذكره انه لم يظهر اي مركب يوجد فيه الحديد في الحالة الثنائية الا في حالة الانية المصنعة في جو مختزل او اضيف اليها مواد عضوية للاستعمال في اغراض خاصة ، هذا ولقد امكننا ايضا استنتاج طريقة تصنيع فخار كل عصر بنفس الطريقة التي شرحناها في حالة فخار قدماء المصريين . اما بالنسبة للهدف الثاني فان طيف عينات الفخار العباسي سواء الذي وجد في مصر او في بغداد يتكون من مركبة واحدة بارامغناطيسية تميز الحديد في الحالة الثلاثية ولم تظهر المركبة المغناطيسية (شكل ١١) مما يؤدي الى استنتاج ان الطمي الذي استخدم في هذا العصر لم يكن من مصر ومن المحتمل ان يكون من العراق اي ان الفخار قد صنع في العراق ثم صدر الى مصر خلال العصر العباسي .

ولتحقيق الهدف الثالث فحصنا عينات فخار اسلامي كان يستعمل في اغراض الحياة المختلفة وحصلنا على الاطياف الموضحة في شكل (١٢) ويظهر فيها الحديد في صور مختلغة . ومن تحليل النتائج (جدول رقم ٤) توصلنا الى ان نوع الطمي كان يختلف حسب غرض استعمال الانية الفخارية كذلك فان ظروف التمحيص كانت تختلف باختلاف الغرض الذي من اجله صنعت الآنية الفخارية .

٣ـ الفخار القطري القديم :

من الفخار الذي عثرت عليه بعثات التنقيب الدانمركية في الفترة من ١٩٥٦ الى ١٩٦٥ حصلنا على بعض شقفات الفخار واجرينا عليها قياسات اطياف موسباور بهدف :

١ـ معرفة تركيب الفخار القطري .

٢ ـ مقارنة الفخار القطري بفخار البلاد المجاورة لمعرفة اول دولة في المنطقة قامت بتصنيع الفخار وكذلك منطقة الخامات التي استخدمت ثم الدول الاخرى التي انتقل اليها الفخار اي معرفة اتجاه حركة الحضارة في المنطقة وكيفية انتشارها من مكان الى اخر .

ولاجراء هذه الدراسة فحصنا عينات من الفخار من كل من قطر والسعودية ومصر وحللنا اطياف موسباور لها وكذلك اطياف الاشعة تحت الحمراء وبعض الخواص المغناطيسية لتأكيد نتائج اطياف موسباور .

يوضح شكل (١٣) نموذج طيف موسباور لفخار قطري وفخار من المدينة المنورة ، ويتكون طيف الفخار القطري من خمسة مركبات احداها مغناطيسية تميز وجود اكسيد الحديد وباقي المركبات غير مغناطيسية تميز وجود الحديد في الحالة الثنائية والحالة الثلاثية اما فخار المدينة الموضح في الشكل فيتكون من نفس المركبات تقريبا مع اختلاف في الشدة النسبية لهذه المركبات . هذا وسبق ان ذكرنا ان الفخار المصري الاسلامي يتكون من مركبتين احدهما مغناطيسية تماثل الموجودة في طيف الفخار القطري وفخار المدينة المنورة والمركبة الاخرى غير مغناطيسية ولكن تركيبها ابسط كثيرا من نظيرتها في الفخار القطري وفخار المدينة (شكل ١٤) .

هذا وبعد دراسة وتحليل جميع نتائج طيف موسباور وطيف الاشعة تحت الحمراء كما هو موضح بالجداول رقام (٥) ، (٦) وكذلك قياسات القابلية المغناطيسية امكننا ان نقترح ان الفخار القطري وفخار المدينة المنورة يمكن ان يكونا قد صنعا من نفس نوع الطمي الخام الذي يختلف عن الطمي النيلي المصري ولقد وجدت شقفة من طبق فخار لونها اخضر وعليها طلاء ، واوضح طيف هذه العينة انها مصنوعة من طمي اخر يشبه الطمي الصحراوي المصري .

هذا ولقد اجرينا دراسة مبدئية لالوان الفخار القطري وثبت ان الفخار الملون باللون الاسود يحتوي على الحديد في الحالة الثنائية التي قد تكون موجودة في الطمي الخام او تكون قد تكونت اثناء عملية التحميص في جو مختزل من اول اكسيد الكربون . وكذلك ثبت ان الفخار ذا اللون الاحمر يحتوي على اكسيد الحديد ح٢أ٣ ، واللون الخارجي للفخار القطري يشبه الفخار العراقي المسمى بفخار تل العبيد مما شجع بعض الباحثين الى القول بان الفخار القطري قد استورد من العراق بناء على هذا التشابه ، ونحن نرى لذلك انه يلزم اجراء دراسة تفصيلية لعينات من الفخار وعينات من الطمي من كل دولة من دول الخليج بهدف الوصول الى معلومات تؤدي الى معرفة اصول وانتقال الحضارة في هذه المنطقة ويجدر بالذكر هنا اننا حصلنا على بعض عينات من الفخار الذي عثرت عليه البعثة الفرنسية في موسمها الثاني ١٩٧٨م في منطقة الخوروسوف نقوم بدراستها .

٠٧ج : الدراسات التي اجراها الاخرون على الفخار الاثري القديم في الدول الاخرى .

نشر كل من كوسين ودارماوردينا (١١) اول دراسة اجريت بواسطة ظاهرة موسباور سنة ١٩٦٩ على الفخار الانجليزي من القرون الوسطى من موقعي كيم وكنجستون ووجدوا ان بارامترات موسباور للتركيب فوق الدقيق تنقسم الى مجموعتين منفصلتين فالفخار من منطقة كيم يختلف قيم بارامترات موسباور له عنها في حالة فخار كنجستون وذلك على الرغم من انه لم يكن هناك فرق في الشكل الخارجي لكل من النوعين وتوصلوا الى ان فخار منطقة كيم قد صنع من طمي محلي بتسخينه الى درجة ١٠٠٠ م .

وفي اليونان نشر حانجاس وزملاؤه (١٢) سنة ١٩٧١ دراسة على الفخار اليوناني من اثينا في الفترة من ٨٠٠ الى ٥٠٠ ق.م وامكن تقسيم عينات الفخار من ناحية الشكل الخارجي الى اربعة مجموعات وتوصلوا الى ان بارامترات موسباور تقع في اربعة مجموعات منفصلة .

وفي عام ١٩٧٤ نشرت نفس المجموعة (٣٠) بحثا عن دراسة الفخار اليوناني القديم من الحضارة الميسينية (١٤٠٠ ــ ١١٠٠ ق.م) والحضارة المينوينية (٣٠٠٠ ــ ١١٠٠ ق.م) وذكروا انه لم تشاهد فروق جوهرية في قيمة بارامترات موسباور للتركيب فوق الدقيق للفخار من كل من الحضارتين ، اي انه لا يمكن التمييز بسهولة بين هذين النوعين من الفخار ، لذلك لجأوا الى عمل توزيع احصائي لقيم هذه البارامترات فوجدوا انه يمكن تمييز مجموعتين للبارامترات كل مجموعة تميز فخار احد الحضارتين ، ولقد اتفقت نتائجهم مع نتائج تعيين العناصر الموجودة في فخار كل نوع بواسطة التشعيع الذي اثبت ان فخار الحضارة المينوينية يحتوي على كمية اكبر من الحديد .

وفي عام ١٩٧٤ نشر جانوت ودلكرو (٢٥) دراسة على الفخار الفرنسي الحديث (١٠٠٠ ــ ١٥٠٠ ب.م) واستخدموا نفس الطريقة اي اجراء معالجة حرارية للطمي الخام المحلي ومقارنة باراميترات اطياف موسباور في كل حالة بباراميترات اطياف موسباور ومن قيم الانفلاق رباعي القطب توصلوا الى ان درجة حرارة التمحيص كانت حوالي ١٠٠٠م لجميع العينات .

٨ ــ نتائج قياسات طيف موسباور على الوان الفخار :

عندما نتكلم عن لون الفخار يجب التمييز بين لون مادة الفخار نفسه وبين لون سطح الفخار سواء كان السطح الداخلي او السطح الخارجي ، ويكون لون مادة الفخار ناتجا عن مكونات الطمي وكذلك المواد التي أضيفت اليه قبل عملية التحميص وهذا اللون يكون منتظما داخل سمك الفخار وكذلك السطحان الداخلي والخارجي للفخار اذا لم تستعمل مادة جديدة لطلاء اي من السطحين او كليهما بمادة جديدة تكسب الفخار اللون المطلوب وذلك طبقا لغرض استخدامه وقد استخدمنا ظاهرة موسباور لدراسة دور الحديد ومركباته في اكتساب الفخار لون معين وحصلنا على نتائج هامة نوجزها فيما يلى :

٨أ : القياسات التي اجريناها في مصر :

١ ــ دراسة لون مادة الفخار

لقد اجرينا قياسات عديدة (٣،١٣،١٨،٢٦،٢٧) على انواع مختلفة من الفخار المصري من العصور المختلفة ابتداء من ٣٠٠٠ سنة ق.م حتى اليوم ، وفي جميع هذه القياسات كانت مادة الفخار ذات لون بني ولكن بدرجات مختلفة تبدأ من البني الفاتح « الاحمر » الى البني الداكن وهذا دليل على ان مصدر الطمي المستخدم كان واحدا طوال هذه العصور وهو الطمي النيلي .

ويرجع ظهور هذا اللون البني الى مركبات الحديد في الحالة الثلاثية حيث اوضحت نتائج جميع هذه القياسات ان ايون الحديد في حالة التكافؤ الثنائية يوجد بنسبة ضئيلة في الطمي النيلي الخام وكانت اعلى قيمة للنسبة ح + ٢ = ٠,٢٥ وبالتسخين نقصت هذه القيمة الى ٠,٠٨ نتيجة اكسدة الحديد الثنائي الى ثلاثي داخل فرن التحميص بينما كانت قيمة نسبة الحديد المغناطيسي الى الحديد الكلي في عينة الطمي الخام ٠,٢٠ وتحولت بعد التسخين الى ٠,٨٠ اما الفخار المصري القديم الذي يمثل العصور المختلفة والذي درسناه فان نسبة ايونات الحديد الثنائية الى الثلاثية كانت اكبر قيمة سجلناها هي ٠,٠٥ وفي حالة الفخار الاسلامي لم تظهر ايونات الحديد الثنائية الا في الانية التي صنعت في مختزل للاستعمال في اغراض خاصة . ان هذه الارقام تدل على ان الطمي المصري المحلي كان هو المستخدم في صناعة الفخار وان عملية التحميص كانت تتم

دائما في الهواء الجوي عند درجات حرارة بين ٦٠٠ الى ٧٠٠ م في حالة الفخار المصري القديم ، وبين ٨٥٠ الى ١٠٠٠م في كالة الفخار الاسلامي وان زمن التحميص كان يتراوح بين ٥ ساعات الى عشر ساعات اذا كانت درجة الحرارة اقل من ١٠٠٠ م وتحت هذه الظروف كان ينتج فخار لونه بني والاختلاف في درجات هذا اللون ترجع الى الاختلاف في نسبة ايونات الحديد الثنائية والثلاثية وكذلك الحديد المغناطيسي .

٢ ـ دراسة تلوين السطح الداخلي للفخار :

استخدم قدماء المصريين من الدولة القديمة (٣٢٠٠ ـ ٥٢٥ ق . م) بعض أنواع الفخار لحفظ الاغذية وقاموا بطلاء هذه الاواني من الداخل باللون الاسود بينما لم يتغير لون الفخار من الخارج وظل لونه بنياً فاتحاً أو أحمر . ولقد اختلف الباحثون حول أصل اللون الاسود على السطح الداخلي لهذا الفخار فلقد توصل لوكاس (٣١) إلى ان اللون الاسود ينتج من تعريض السطح الداخلي للفخار إلى الدخان حيث تتخلل ذرات الكربون مسام الفخار وتبقى فيها وتسبب اللون الاسود . بينما وجد بتري (٣٢) ان اللون الاسود ينتج من اختزال أكسيد الحديد الاحمر إلى اكسيد الحديد المغناطيسي عند حرق الفخار في جو مختزل ، وقد اظهرت قياساتنا (٣٣) لاطياف موسباور لعينة من الطبقة السوداء واخرى من الطبقة الحمراء (شكل ١٥) احتواء طيف العينة الحمراء على مركبة مغناطيسية تميز وجود اكسيد الحديد الاحمر بالاضافة إلى مركبة اخرى غير مغناطيسية تميز وجود حديد في الحالة الثلاثية ، اما طيف الطبقة السوداء فقد نقصت فيه شدة المركبة المغناطيسية وظهرت مركبة اخرى بارامغناطيسية تميز وجود الحديد في الحالة الثنائية لذلك فاننا استنتجنا ان جزءاً من أكسيد الحديد اختزل إلى حديد ثنائي وليس إلى اكسيد الحديد المغناطيسى كما ذكر بترى . ولقد بحثنا عن الطيف المميز لاكسيد الحديد المغناطيسي فلم نشاهده ، ولقد اجرينا قياسات بواسطة حيود الاشعة السينية (جدول رقم ٧) فأثبتت صحة استنتاجنا ، كذلك اجرينا قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء للتأكد من نظرية لوكاس فوجدنا نسبة ضئيلة جداً من الكربون (جدول رقم ٨) .

٣ ـ دراسة تلوين السطح الخارجي للفخار :

يتميز الفخار في كل من العصور الاموي والفاطمي والمملوكي بمصر (٩٠٠ ـ ١٣٠٠ ب . م) بتلوين سطحه الخارجي بطبقة زجاجية ملونة نسميها الجلاز ولم يسبق ان درست هذه الطبقة بواسطة طريقة اطياف موسباور فقررنا دراستها (٣٤) بغرض معرفة .

١) تأثير الحديد في لون الجلاز .

٢) طبيعة جو الاحتراق الذي يوضع فيه الفخار بعد سقايته بالجلاز .

٣) طريقة تغطية الفخار بالجلاز .

ولقد درسنا طبقة زرقاء اللون من الجلاز الذي كانت تسقى فيه آنية الفخار ودرسنا كذلك الطبقات المتعاقبة داخل سمك الفخار ، ويوضح شكل (١٦) طيف موسباور لطبقة الجلاز وطبقات الفخار التي تليها ، وطيف الجلاز يتكون من مركبتين إحداهما غير مغناطيسية والاخرى مغناطيسية تميز وجود الحديد في الحالة المعدنية أي ان عملية الطلاء بالجلاز تمت في جو شديد الاختزال ، وقد إزدادت نسبة الحديد المعدني بدرجة كبيرة في طبقة الفخار المبطنة للجلاز وكان لونها اسود وذلك دليل على إنعزال هذه الطبقة تماماً عن الاكسجين الجوي . وفي هذه الطبقة تحول اكسيد الحديد كله إلى حديد معدني ، اما في طبقة الفخار التي تلي تلك الطبقة فكان الطيف فيها عادياً ويتكون من مركبتين إحداهما مركبة غير مغناطيسية نتيجة الحديد في الحالة الثلاثية ومركبة مغناطيسية نتيجة اكسيد الحديد الاحمر .

هذا ، ونعتقد ان طريقة تغطية الفخار بالجلاز تتم بغمس الفخار في محلول السقاية المكون من الطمى وبعض العناصر الاخرى لفترة زمنية ثم تسخينه في جو مختزل ، ولقد بنى هذا الاعتقاد على اساس اننا وجدنا ان اكسيد الحديد الذي اختزل إلى الحديد قد انتشر داخل الفخار إلى مسافة حوالى ٤ مليمترات اسفل طبقة الجلاز .

ودرسنا بعد ذلك طبقة من جلاز لونه اخضر قاتم وعينة اخرى لونها اخضر عادي وعينة ثالثة لونها بين الاخضر والازرق ، ويوضح شكل (١٧) اطياف هذه العينات ويتضح ان اللون الاخضر القاتم والاخضر العادي قد نتجا عن جلاز وضع في جو مختزل ولكنه أقل اختزالا عنه في حالة جلاز اللون الازرق لأن اكسيد الحديد ($ح_{٢}أ_{٣}$) لم يختزل إلى حديد بل اختزل جزئياً إلى اكسيد الحديد المغناطيسي ($ح_{٣}أ_{٤}$) اما اللون بين الاخضر والازرق فلم يظهر أي دور للحديد في عملية التلوين حيث ان طيف موسباور له (شكل ١٧ – ج) يحتوي على مركب الحديد الموجود اصلا في طمى السقاية ، ويوضح الجدول رقم (٩) نتائج موسباور لهذه العينات .

ويتضح من هذه الدراسات ان الحديد يوجد في حالات عديدة وهذه المركبات تميز فخار كل منطقة عن أي منطقة اخرى . وطريقة اطياف موسباور تعطي معلومات واضحة ومؤكدة عن أية تحولات تحدث في هذه المركبات اثناء عملية تكوين الفخار من الطمى المحلي بتحميصه عند درجة حرارة معينة لفترة زمنية معينة في وسط طبيعة مؤكسدة أو مختزلة . واتضح أيضاً ان لون مادة الفخار يتوقف على هذه العملية وكذلك عملية التلوين للسطح الداخلي أو الخارجي بواسطة الجلاز . وهكذا تتوقف اطياف موسباور للفخار على تركيب الطمى الخام والمعالجة الحرارية التي يتعرض لها ، وهذه بالتالي تعطي معلومات أكيدة عن عملية تكنولوجيا تصنيعه وكذلك المنطقة التي صنع فيها .

٨ . ب : الدراسات التي اجراها الآخرون في الدول الاخرى :

١ ـ دراسة لون مادة الفخار :

في عام ١٩٧٤م نشر بوشيه ومجموعته (٣٥) في فرنسا دراسة على نوعين من الفخار احدهما أحمر والآخر رمادي وقد عثر عليهما في المنطقة بين إيران وتركستان ويرجع تاريخها إلى الالف الثالث ق . م . وكان السؤال المطروح هل النوع الرمادي مستورد من إيران ام انه صنع في تلك المنطقة باستخدام تكنولوجيا تختلف عن تكل التي استخدمت لانتاج النوع الاحمر . ولو كان مستوردا فهل هو مستورد من شمال غربي إيران وشمال الهند لأنه كان يوجد في هذه المنطقة فخار رمادي والاجابة على هذه الاسئلة تعطي معلومات هامة عن إنتشار الحضارة في هذه المناطق وأظهرت قياسات تعيين العناصر المكونة لكل نوع انه لا يوجد أي اختلاف في نتائج التحليل ، ولكن اطياف موسباور أظهرت اختلافات جوهرية فتبين ان الفخار الذي لونه رمادي يحتوي على ٧٠٪ من الحديد في الحالة الثنائية بينما تبين ان الفخار الذي لونه أحمر يحتوي على ٧٠٪ من الحديد في الحالة الثلاثية ، أي ان الاختلاف نتج اثناء عملية التحميص فبينما كان جو الفرن مختزل في حالة الفخار الرمادي فانه كان مؤكسداً في حالة الفخار الاحمر . وفي نفس العام ١٩٧٤ نشر هيس وبرلمان (٣٦) بحثاً عن علاقة الحديد بلون الفخار في منطقة تل اشدود ووجدا انه يمكن انتاج فخار ذي الوان مختلفة من نفس الطمى وذلك بالتحكم في عمليتي الاكسدة والاختزال اثناء عملية التحميص ، وحصلوا على نفس لون الفخار الاحمر بتحميص الطمى عند درجات من ٨٥٠ ـ ١١٥٠°م ، في جو مؤكسد ، اما اللون الاخضر الرمادي فحصلوا عليه في جو مختزل وذكروا ان هذا اللون ظهر نتيجة تكون اكسيد الحديد المغناطيسي .

٢ ـ دراسة تلوين السطح الداخلي للفخار .

٣ ـ دراسة تلوين السطح الخارجي بالجلاز .

لم تنشر حتى الآن أية دراسة عن هذين الموضوعين باستخدام ظاهرة موسباور .

٩ ـ ظاهرة القدم وتأثيرها على طيف الفخار الاثري القديم الذي ندرسه اليوم :

٩ . أ ـ مقدمة :

عند دراسة الحالة الكيميائية والطبيعية للحديد الموجود في الفخار القديم المصنوع منذ الاف السنين فاننا لابد أن نأخذ في الاعتبار تأثير القدم ، حيث ان ما نقيسه اليوم يحكي ما عاناه الحديد داخل الفخار طوال هذه السنين ، وبعبارة اخرى اننا نقيس

اليوم خواص لم تكن موجودة بالامس أثناء التصنيع منذ الاف السنين ، أو على الاصح حـدث لها بعض التغيرات وبالتالي فان ما نجريه من قياسات اليوم يمكن أن تقودنا إلى إستنتاجات خاطئة اذا لم نأخذ في اعتبارنا هذا التأثير الذي نسميه تأثير ظاهرة القدم .

وعلى العكس يمكن الاستفادة من التغيرات التي حدثت في الخواص الفيزيائية والكيميائية لذرات الحديد اذا اجرينا معايرة لمعدل هذه التغيرات ، ومنها يمكن حساب عمر الآنية الفخارية .. وهذه الطريقة ما زالت تحت الدراسة حيث انه لم يثبت بطريقة قاطعة سبب التغيرات التي تحدث في الخواص الطبيعية لذرات الحديد . وأحد الخواص الطبيعية التي شوهدت هو تغير حجم حبيبات الحديد الذي يسبب تغير في شكل طيف موسباور ، وكما سبق ذكره فان الحبيبات الصغيرة تعطي طيف موسباور مكون من قمة امتصاص مركزية ذات انفلاق رباعي القطب ولها خواص فوق بارامغناطيسية . واذا اجرينا قياس طيف موسباور لنفس هذه الحبيبات عند درجات حرارة منخفضة ، يظهر طيف نموذج زيمان الذي يتكون من ستة قمم امتصاص لها خواص مغناطيسية كما هو واضح في شكل (١٨) . وهذا السلوك ينتج من زيادة زمن استرخاء غزل الالكترون (بالنسبة لزمن اشعاع جاما من مستوى الطاقة داخل النواة) كلما قلت درجة الحرارة عند ثبوت حجم حبيبات الفخار ، وهذا السلوك أيضاً ينتج من إزدياد زمن إسترخاء غزل الالكترون (ز) كلما إزداد حجم الحبيبات (ح) طبقاً للمعادلة :

$$ز = ز_{\circ} \, هـ^{\frac{ك ح}{ك ت}}$$

حيث (ز) مقدار ثابت ، (ك) ثابت تباين الخواص ، (ح) حجم حبيبات الفخار ، (ك) ثابت بولتزمان ، (ت) درجة الحرارة المطلقة .

وكما يوضح شكل (١٨) فان نسبة عدد ذرات الحديد المغناطيسي إلى الحديد غير المغناطيسي تتغير بتغير درجة الحرارة ، ونسبة عدد ذرات الحديد المغناطيسي إلى العدد الكلي لذرات الحديد تسمى النسبة المغناطيسية ، ودرجة الحرارة التي تساوي عندها هذه النسبة النصف تسمى درجة الاعاقة ، وقيمة هذه الدرجة يحددها متوسط حجم حبيبات الفخار طبقاً للمعادلة السابقة . وحجم حبيبات الفخار يتغير كلما زادت الفترة الزمنية بين إنتاج الفخار وبين قياس طيف موسباور ، أي ان شكل طيف موسباور يعتبر دالة لعمر الفخار وهذا ينتج من تأثير ظاهرة القدم التي لم يتضح ميكانيكية ما يحدث داخل حبيبات الفخار حتى الآن وكما سيتضح من العرض التالي :

٩ . ب : دراسات ظاهرة القدم التي اجراها الآخرون في الدول الاخرى :

نشر جانجاس ومجموعته (٢٠) بحثاً في مؤتمر تطبيقات ظاهرة الموسباور الذي عقد

في اليونان عام ١٩٧٦ ، وذكروا في هذا البحث انهم لاحظوا ان الفخار القديم من الحضارة الميسينية والحضارة المينيونية يحتوي على نسبة كبيرة من الحبيبات صغيرة الحجم ، ولقد قاموا باجراء دورات حرارية صناعية للفخار تشبه ما يتعرض له الفخار من تغيرات اثناء الصيف والشتاء ، فاعطى نفس شكل طيف موسباور للفخار القديم . ولقد اقترحوا ان عوامل التعرية هي سبب حدوث تفتت لحبيبات الفخار القديم . وفي نفس المؤتمر نشر دانون ومجموعته (٢١) بحثاً يؤيدون فيه وجود تأثير ظاهرة القدم ، وعند إجراء القياسات عند درجات الحرارة المنخفضة لاحظوا ان النسبة المغناطيسية تزداد كلما إزداد عمر الفخار القديم . ولقد اقترحوا ان تكرار دخول وخروج جزيئات الماء من تركيب الفخار هو سبب حدوث التفتت لحبيبات الفخار القديم .

٩ . ج : دراسات ظاهرة القدم التي أجريناها في مصر :

بدأنا في عام ١٩٧٧ دراسة لتأثير ظاهرة القدم على الفخار القديم وذلك بتسخين عينات من الفخار القديم لدرجة حرارة ٧٦٠°م (اقل من درجة حرارة تصنيعه لتجنب حدوث أي تحول لم يكن قد حدث اثناء التصنيع) ولاحظنا أيضاً عدم زيادة شدة المركبة المغناطيسية بل زيادة شدة مركبة اخرى غير مغناطيسية ، مما يدل على ان التأثيرات الزمنية لا تتوقف على احداث تفتت في حبيبات أكسيد الحديد التي تميز وجود طيف نموذج زيمان (من ستة قمم امتصاص) فقط بل هناك في بعض الحالات والمناطق تحدث تأثيرات اخرى أقوى . لاننا نشك في أن ما حدث في دراسة كيش ومجموعته (٣٧) من زيادة في شدة المركبة المغناطيسية عند إعادة تسخين الفخار القديم إلى درجة ١٠٠٠°م إنما هو نتيجة تحطيم بعض مركبات الطمى السيليوكونية غير المغناطيسية عند هذه الدرجة العالية وتحول هذه المركبات إلى اكسيد الحديد .

وللتوصل إلى العوامل الزمنية الاخرى التي تؤثر على حالة الحديد في الفخار قمنا بتشعيع العينات (التي حرقناها عند درجة ٧٦٠°م) بواسطة جرعات من أشعة جاما مقدارها ٤٠٠ راد من مصدر كوبالت ٦٠ ، حيث انه من المعروف ان الجرعة الناتجة من الاشعة الكونية والبيئة الموجود فيها تتراوح بين ٠,٢ إلى ٠,٤ راد في السنة (٣٨) ، فلاحظنا زيادة شدة المركبة غير المغناطيسية مرة اخرى وكانت قد نقصت بالتسخين مما يدل على ان الاشعاعات التي تعرض لها الفخار القديم على مدى الفترة الزمنية منذ تصنيعه (من التربة المدفون فيها الفخار وكذلك من المواد المشعة الداخلة في تركيبه بالاضافة إلى الاشعة الكونية) ، هذه الاشعاعات قد تسببت في احداث عيوب أو فجوات في شبكية التركيب البلوري لبعض مركبات الحديد في الفخار مما يؤثر على طيف موسباور . وعند إعادة تسخين الفخار حتى ٧٦٠°م يحدث انتشار داخلي وتلاشيي للعيوب التي حدثت في شبكية التركيب البلوري وهذا ما لاحظناه في شكل (٢٠) حيث

إنخفضت شدة قمة الامتصاص الرنيني عند السرعة صفر ، ثم إزدياد شدة هذه القمة مرة اخرى بعد تشعيعها بجرعة ٤٠٠ راد من أشعة جاما ويلخص جدول رقم (١٠) ما حصلنا عليه من نتائج . هذا ولقد نشرنا (٣٩) هذه النتائج في المؤتمر الاخير لتطبيقات ظاهرة موسباور الذي عقد اخيراً في سبتمبر ١٩٧٧ في رومانيا ، وما زالت دراستنا مستمرة لتفسير ميكانيكية تأثير ظاهرة القدم ، وهدفنا هو حساب معدلات الجرعات الاشعاعات السنوية التي يمتصها الفخار في المناطق المختلفة ، ثم دراسة تأثيرها على طيف موسباور . ومن ذلك يمكن عمل منحنيات معايرة لحساب عمر أي عينة فخار مجهولة العمر وذلك بتشعيعها بجرعات معروفة من أشعة جاما ثم مقارنة أطياف موسباور بالمنحنيات العيارية .

١٠ ـ مستقبل طريقة أطياف موسباور على دراسة الآثار القديمة :

ذكرنا في هذا البحث الدور الذي تلعبه طريقة اطياف موسباور لدراسة الفخار الاثري القديم وما زال هناك بعض ثغرات في هذه الدراسات يجب استكمالها حتى يمكن الاعتماد بدون شك على نتائج القياسات . فيجب إجراء قياسات اطياف موسباور لجميع انواع الطمى المستخدم لصناعة الفخار في المناطق الجغرافية المختلفة . ثم إجراء معالجة حرارية لهذه الانواع لمعرفة التغيرات الكيميائية والفيزيائية التي تحدث في مركبات الحديد عندما يكون طبيعة جو الاحتراق مختزلة أو مؤكسدة . وهذا بالتالي يعطي فكرة عن عملية تلوين الفخار ، وبعد أن يعرف تأثير ظاهرة القدم يمكن ان نعرف كافة المعلومات عن أي نوع من الفخار يعثر عليه اثناء عمليات التنقيب عن الاثار ، بالاستعانة بآراء علماء الآثار نستطيع معرفة مكان وتكنولوجيا تصنيع الفخار الذي يؤدي إلى معرفة إنتقال الحضارة من منطقة لاخرى .

وفي النهاية فان طريقة موسباور سوف تمتد لدراسة أنواع اخرى من الآثار التي يعثر عليها بخلاف الفخار الذي يعتمد على ذرات الحديد حيث سوف يدرس أنواع وسبائك البرونز الذي يعتمد على ذرات القصدير وكذلك سوف يدرس أنواع وسبائك الذهب الذي يعتمد على ذرات الذهب .

TABLE 1A

The components of iron present in a Nile and desert clay samples.

Sample	*Mag. field KOe*	*I.S. mm/sec*	*Q.S. mm/sec*	*Type of iron*	*Lattice position*
	498			Fe^{3+} (mag.)	
Nile		0.44	0.55	Fe^{3+} (non-mag)	Octahedral
clay		1.19	2.02	Fe^{2+} (non-mag)	Octahedral
sample		1.09	2.69	Fe^{2+} (non-mag)	Octahedral
		1.43	Zero	Fe^{2+} (	
	505			Fe^{3+} (mag)	
Desert	417			Fe^{3+} (mag)	
clay		0.44	0.44	Fe^{3+} (non-mag)	Octahedral
sample		1.36	2.16	Fe^{2+} (non-mag)	Octahedral
		1.20	Zero	Fe^{2+} (non-mag)	

TABLE 1B

The ratios of the total iron, magnetic iron and divalent iron in both Nile and desert clays.

Type of iron	*Nile clay ratio*	*Desert clay ratio*
Total iron	5	6
Magnetic	4	3
Ferrous	3	1

TABLE 2A

ME parameters of pottery sherds from different archaeological periods.

Sample No.	Period	Non-magnetic component						Magnetic component			
		Fe^{3+}			Fe^{2+}						
		Q.S. mm/sec	I.S. mm/sec	Line width mm/sec	Q.S. mm/sec	I.S. mm/sec	Line width mm/sec	H (KOe)	Q.S. mm/sec	I.S. mm/sec	Line width mm/sec
1	Protodynastic Old Kingdom 3200-2777 B.C.	1.12 (2)	0.56 (1)	0.89 (4)	2.25 (5)	1.23 (3)	0.32 (8)	511 (1)	0.20 (3)	0.59 (1)	0.49 (4)
2	Old Kingdom (Saccara) 2778-2723 B.C.	0.84 (2)	0.46 (1)	0.59 (2)	2.13 (4)	1.32 (2)	0.58 (4)	509 (1)	0.16 (2)	0.54 (1)	0.58 (2)
3	Old Kingdom first intermediate 2723-2242 B.C.	0.96 (3)	0.95 (2)	0.75 (4)				500 (8)	0.49 (25)	0.59 (13)	0.87 (47)
4	Late Egyptian (Saccara) 662-525 B.C.	0.96 (2)	0.52 (1)	0.83 (3)				503 (1)	0.15 (3)	0.57 (2)	0.58 (6)
5	Greek Roman 323 B.C. - 286 A.C.	0.82 (3)	0.64 (2)	0.75 (6)	2.88 (15)	0.82 (7)	0.75 (6)	497 (5)	0.36 (15)	0.58 (6)	0.75
6	Koptic 286 A.C. - 640 A.C.	1.06 (1)	0.58 (1)	0.79 (2)	2.58 (4)	1.17 (2)	0.29 (6)	512 (1)	0.44 (2)	0.46 (1)	0.36 (5)

TABLE 2B

Quantitative analysis of the data of the pottery sherds.

Sample No.	*Period*	*Fe^{3+}*		*Fe^{2+}*		*Mag. component*		*Fe^{2+} / Fe^{3+}*	*Mag. Total iron*
		Rel. intensity	*Rel. area*	*Rel. intensity*	*Rel. area*	*Rel. intensity*	*Rel. area*		
1	Protodynastic Old Kingdom 3200-2777 B.C.	0.0183	0.0163	0.0039	0,0012	0.0080	0.0078	0.051	0.304
2	Old Kingdom (Saccara) 2778-2723 B.C.	0.0110	0.0065	0.00653	0.0038	0.0106	0.0164	0.165	0.614
3	Old Kingdom First intermediate 2723-2242 B.C.	0.0310	0.233			0.0018	0.0032	0.000	0.120
4	Late Egyptian (Saccara) 622-525 B.C.	0.0177	0.0147			0.0060	0.0070	0.000	0.322
5	Greek—Roman 323 B.C.— 286 A.C.	0.0121	0.0091	0.0029	0.0022	0.0023	0.0034	0.173	0.231
6	Coptic 286 A.C.— 640 A.C.	0.0210	0.0166	0.0035	0.0011	0.0045	0.0032	0.056	0.160

TABLE 3A

ME parameters of Islamic pottery sherds from different periods.

Sample No.	Period	Non-magnetic component Fe^{3+}			Magnetic component			
		Q.S mm/sec	I.S mm/sec	Line width mm/sec	H Koe	Q.S mm/sec	I.S mm/sec	L.W mm/sec
7	Saljuq	0.72	0.32	0.800	525	0.40	0.20	0.720
4	Unknown	0.70	0.42	0.740	500	0.42	0.50	0.690
3	Fatimid	0.21		0.891	512.5	0.72	0.37	0.675
6	Saljuq	0.50	0.40	0.810	490	0.52	0.49	0.57
5	Saljuq	0.42	0.32	0.93	497.5	0.50	0.43	0.57
1	Amayyed (in Cairo)	0.70	0.24	0.88	294	0.00	0.40	1.17
2	Abbasid (in Cairo)	0.54	0.44	0.72	–	–	–	–

error in velocity scale = ± 0.8 mm/sec error in H ≈ 10 Koe

TABLE 3B

Quantitative analysis of the data of Islamic pottery sherds from different periods.

Sample No.	Period	Fe^{3+}		Magnetic component		Total
		Rel. intensity	Rel. area	Rel. intensity	Rel. area	
7	Saljuq	0.74	0.592	0.288	0.414	0.41
4	unknown	0.81	0.610	0.362	0.485	0.44
3	Fatimid	0.86	0.760	0.360	0.486	0.38
6	Saljuq	0.07	0.050	0.076	0.832	0.58
5	Saljuq	0.074	0.044	0.070	0.080	0.65
1	Amayyed (in Cairo)	0.076	0.059	0.210	0.036	0.37
2	Abbasid (in Cairo)	0.120	0.864			0

TABLE 4

The ME parameters of Islamic pottery sherds used for different purposes.

Sample No.	Purpose	Non-magnetic component						Magnetic component			
		Fe^{3+}			Fe^{2+}						
		Q.S mm/sec	I.S mm/sec	Line width mm/sec	Q.S mm/sec	I.S mm/sec	Line width mm/sec	H Koe	Q.S mm/sec	I.S mm/sec	L.W mm/sec
1	Plate (dish)	0.64	0.56	0.81	–	–	–	491	0.40	0.57	0.73
2	Oil storage for burning bombs	0.64	0.56	0.64	2.50 1.70	1.417 1.09	0.64 0.86	–	–	–	–
3	Plate (dish)	0.648	0.48	0.931	–	–	–	502	0.40	0.47	0.850
4	Part of a pot vessel	0.72	0.45	0.89	–	–	–	497	0.40	0.37	0.68
5	Oil container for lighting	0.68	0.38	0.85	–	–	–	–	–	–	–
6	Oil container for lighting	0.60	0.3	0.85	–	–	–	–	–	–	–
7	Filters from necks of jugs	0.64	0.56	0.85	2.18	1.33	0.80	–	–	–	–

error in velocity scale ≈ ± 0.08 mm/sec error in H = 10 Koe I.S. relative to Fe metal

TABLE 5

The ME parameters of pottery samples from different localities.

Sample	*Compo -nent*	*I.S mm/sec*	*Q.S. mm/sec*	*H Koe*	*mm/sec*	*R.A.*	*total R.A.*	*% of total iron*
C_1	A	0.396	0.328	503.89	0.553	0.0275	0.0626	43.99
	B	0.369	0.574	—	0.492	0.0171		27.28
	C	0.328	1.312	–	0.492	0.0135		21.58
	D	0.082	–	–	0.409	0.0020		3.21
	E	0.328	1.967	–	0.409	0.0025		3.94
C_2	B	0.369	0.820	–	0.574	0.0403	0.0403	100
C_3	B	0.195	0.594	–	0.410	0.0180	0.0407	44.28
	C	0.215	1.250	–	0.539	0.0080		19.48
	F	1.088	1.844	–	0.574	0.0147		36.24
C_4	B	0.410	0.738	–	0.492	0.020	0.0426	46.88
	C	0.246	1,557	–	0.492	0.0113		26.56
	D	0.151	–	–	0.492	0.0113		26.56
C_5	B	0.348	0.492	–	0.492	0.0192	0.0284	67.61
	C	0.615	1.394	–	0.492	0.0092		32.39
M_1	A	0.389	0.287	511.5	0.594	0.0466	0.0811	57.46
	B	0.369	0.738	–	0.533	0.0215		26.53
	C	0.246	1.312	–	0.451	0.0066		8.14
	D	0.164	–	–	0.451	0.0043		5.33
	E	0.328	1.927	–	0.409	0.0021		2.54
M_2	A	0.375	0.451	503.88	0.553	0.0198	0.0470	42.14
	B	0.328	0.656	–	0.451	0.0168		35.68
	D	0.205	–	–	0.451	0.0050		10.61
	F	0.615	2.049	–	0.451	0.0054		11.57
T_1	A	0.470	0.400	–	0.850	0.0818	0.1321	61.91
	B	0.480	0.648	–	0.931	0.0503		38.09
T_2	B	0.380	0.680	–	0.850	0.0160	0.0160	100
	B	0.560	0.640	–	0.850	0.0525	0.0707	74.26
	F	1.330	2.180	–	0.850	0.0182		25.74

I.S. relative to Fe metal Errors in velocity scale ± 0.082 mm/sec.
Errors in magnetic field ± 5 KOe
C pottery from Qatar, M from Madina (Saudi Arabia), T from Egypt

TABLE 6

Summarization of the position of maximum absorption of the bands appears in I.R. measurements for the ancient pottery from different localities.

C_1	C_2	C_3	M_1	T_1	T_2	T_3
–	–	–	–	–	410	–
–	–	–	–	–	415	415
–	430	–	–	–	–	–
–	–	–	–	435	435	–
450	–	450	450	–	–	–
–	462	–	–	–	–	470
–	500	–	–	–	–	–
–	–	–	520	515	–	–
–	–	–	–	–	–	540
562	–	–	562	–	–	–
–	–	–	–	–	600	600
–	–	–	–	620	–	620
–	632	632	–	–	–	–
690	685	–	690	–	–	–
–	–	–	–	–	730	–
770	–	770	–	–	–	–
–	780	–	782	780	–	–
790	–	–	–	–	–	790
–	–	–	–	800	800	800
–	910	–	910	–	910	910
–	–	–	–	–	–	990
–	–	1012	–	–	1020	–
–	1050	–	–	1050	–	1050
1090	–	–	1080	–	–	–
–	–	–	–	–	–	1150
–	–	1335	–	–	–	–
–	–	–	–	1390	1390	1390
1420	–	1420	–	–	1420	–
–	1483	–	–	1470	1480	–
–	–	–	–	–	–	1500
–	1565	–	–	1560	–	–
–	–	–	–	1580	–	–
1612	1600	1600	1600	1600	1600	1600
–	–	–	–	–	1710	–
–	–	1800	–	–	–	–
1870	–	–	–	–	–	–
–	–	2390	–	–	–	–
–	–	–	–	2830	2830	2830
–	–	2900	–	2900	2900	2900
3400	3400	3400	3400	3400	3400	3400

TABLE 7

Summary of the X-ray diffraction results of the black pottery samples from different periods. (Iron compounds only)

Period	*Sample*	*Iron compound present*	*A.S.T.M. card no.*
Badarian	19 red core	Hematite (α-Fe_2O_3)	13-534
		Magnetite (Fe_3O_4)	11-614
	19 black core	Fe_2SiO_4	11-262
		Magnetite (Fe_3O_4)	11-614
	14 red surface	Hematite (α-Fe_2O_3)	13-534
		Magnetite (Fe_3O_4)	11-614
		γ-Fe_2O_3	11-615
	14 red core	Hematite (α-Fe_2O_3)	13-534
		Magnetite (Fe_3O_4)	11-614
		FeOOH	18-639
	14 black core	m.t. Fe_2SiO_4	11-262
		m.t. $FeCO_3$	8-133
	14 black surface	Muscovite	7-42
		Geothite (α-FeOOH)	17-536
Twelve Dynasty	6 red core	Hematite (α-Fe_2O_3)	13-534
		Magnetite (Fe_3O_4)	11-614
	6 black core	m.t. γ-FeOOH	8-98

TABLE 8

The I.R results of sample from the Badarian period.

	Sample		
	Red Part	*Black Part*	
Band (1) cm^{-1}	465 (s)	470 (m)	
Band (2) cm^{-1}	553 (m)	540 (w)	Fe_2O_3
Band (3) cm^{-1}	590 (vw)	570 (vw)	
Band (4) cm^{-1}	790 (w)	780 (vw)	
Band (5) cm^{-1}	920 (w)	880 (w)	SiO_2
Band (6) cm^{-1}	1040 (s)	1030 (s)	
Band (7) cm^{-1}	1470 (vw)	1240 (vw)	CO_3
Band (8) cm^{-1}	1625 (w)	1610 (w)	

(vw) = very weak, (w) = weak, (m) = medium, (s) = strong

TABLE 9

The ME parameters of coloured glaze samples.

Sample	*Component*	*I.S. mm/sec*	*Q.S. mm/sec*	*H KOe*	*mm/sec*	*R.A.*	*total R.A.*	*% of total iron*
A_1	A	0.041	0.369	336.25	0.677	0.0181	0.0274	66.11
	B	0.245	–	–	0.775	0.0093		33.89
A_2	A	0.041	0.00	332.5	0.282	0.0426	0.0510	83.48
	B	0.082	–	–	0.636	0.0084		16.52
A_3	B	0.246	–	–	0.492	0.0036	0.0053	67.35
	C	0.410	0.820	–	0.492	0.0017		32.65
B_1	A	0.441	0.267	452.48	0.902	0.0082	0.01505	54.44
	B	0.164	–	–	0.656	0.0043		28.58
	C	0.144	0.697	–	0.656	0.0017		11.32
	D	1.025	–	–	0.656	0.00085		5.66
B_2	A	0.103	0.472	451.85	0.902	0.0146	0.0198	73.87
	B	0.123	–	–	0.267	0.0026		13.10
	C	0.226	0.697	–	0.410	0.0014		6.95
	D	1.025	–	–	0.513	0.0012		6.08
B_3	B	0.205	–	–	0.574	0.0025	0.0087	28.68
	C	0.164	0.738	–	0.574	0.0050		57.35
	D	1.025	–	–	0.574	0.0012		13.97

I.S. relative to Fe metal errors in velocity ± 0.082 mm/sec errors in magnetic field ±5 KOe

TABLE 10

The ME parameters of pottery samples at different temperature for C_1 from Qatar and M_1 from El-Medina.

Sample	*Temperature °C*	*Component*	*I.S. mm/sec*	*Q.S. mm/sec*	*H K Oe*	*mm/sec*	*R.A.*	*% of total iron*
C_1	RT	A	0.396	0.328	503.89	0.553	0.0275	43.00
		B	0.369	0.574	–	0.492	0.0171	27.28
		C	0.328	1.312	–	0.492	0.0135	21.58
		D	0.082	–	–	0.409	0.0020	3.21
		E	0.328	1.967	–	0.409	0.0025	3.94
	400	A	0.403	0.451	510.23	0.541	0.0243	44.06
		B	0.287	3.574	–	0.451	0.0149	27.11
		C	0.328	1.230	–	0.475	0.0124	22.48
		D	0.082	–	–	0.328	0.0012	2.23
		E	0.328	1.967	–	0.395	0.0027	4.2
	760	A	0.430	0.615	507.69	0.430	0.0199	43.52
		B	0.246	0.462	–	0.410	0.0122	26.74
		C	0.287	1.065	–	0.287	0.0112	24.60
		D	0.082	–	–	0.246	0.00025	0.54
		E	0.328	1.885	–	0.328	0.0021	4.60
M_1	RT	A	0.389	0.287	511.5	0.594	0.0466	57.46
		B	0.369	0.738	–	0.533	0.0215	26.53
		C	0.246	1.312	–	0.451	0.0066	8.14
		D	0.164	–	–	0.451	0.0043	5.33
		E	0.328	1.967	–	0.409	0.0021	2.54
	760	A	0.389	0.328	507.7	0.574	0.0469	56.86
		B	0.369	0.738	–	0.502	0.0215	25.96
		C	0.246	1.066	—	0.492	0.0168	12.92
		D	0.164	–	–	0.328	0.00086	1.04
		E	0.287	1.885	–	0.328	0.0027	3.22
	760	A	0.389	0.298	511.5	0.586	0.0489	57.12
		B	0.369	0.738	–	0.512	0.0225	26.25
		C	0.246	1.212	–	0.462	0.0081	9.42
		D	0.164	–	–	0.328	0.0041	4.42
		E	0.302	1.912	–	0.352	0.0024	2.79

I.S. relative to Fe metal errors in velocity scale ± 0.082 mm/sec
errors in magnetic field ± 5 K Oe

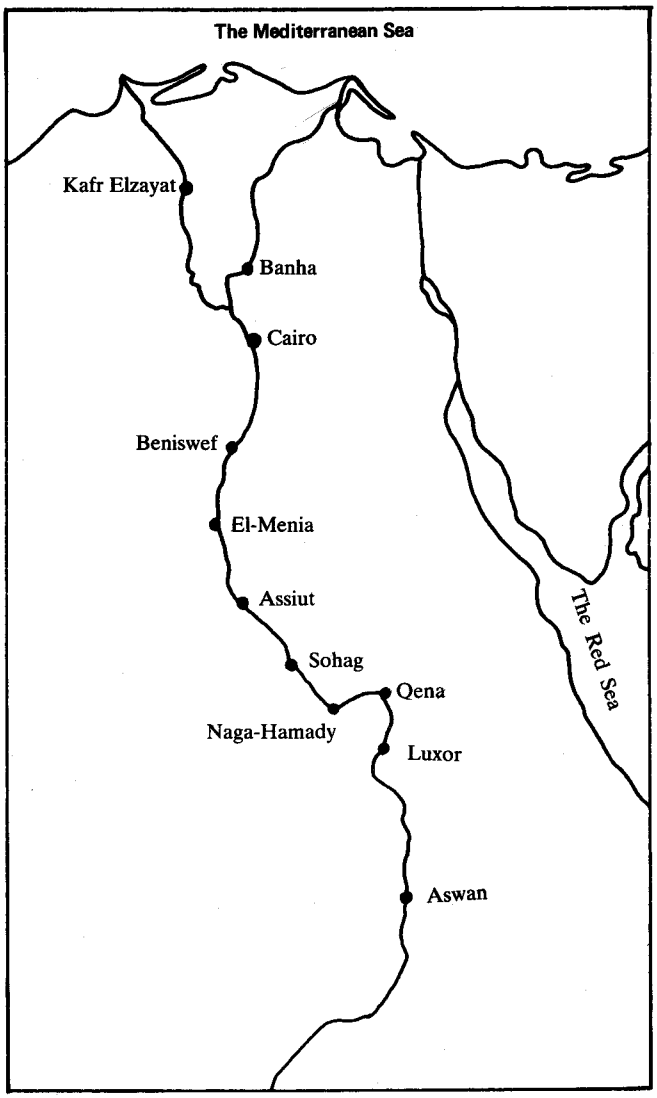

Fig. 1: Map of Egypt showing the different localities from which Nile clay samples were obtained

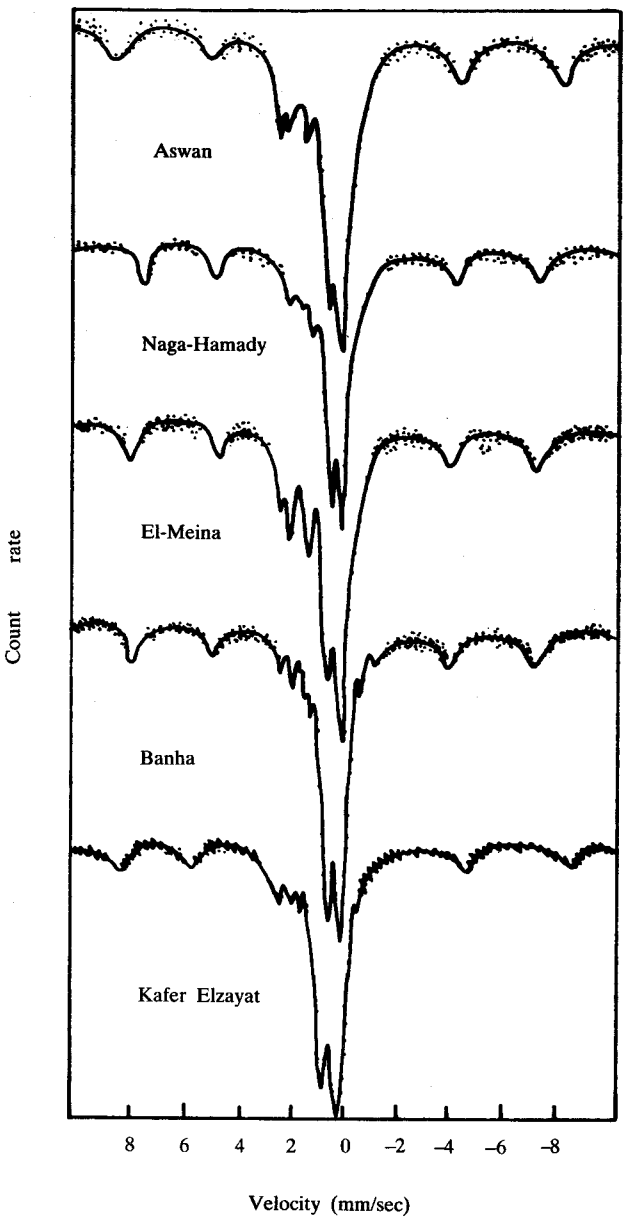

Fig. 2: ME spectra of Nile clay samples from different localities

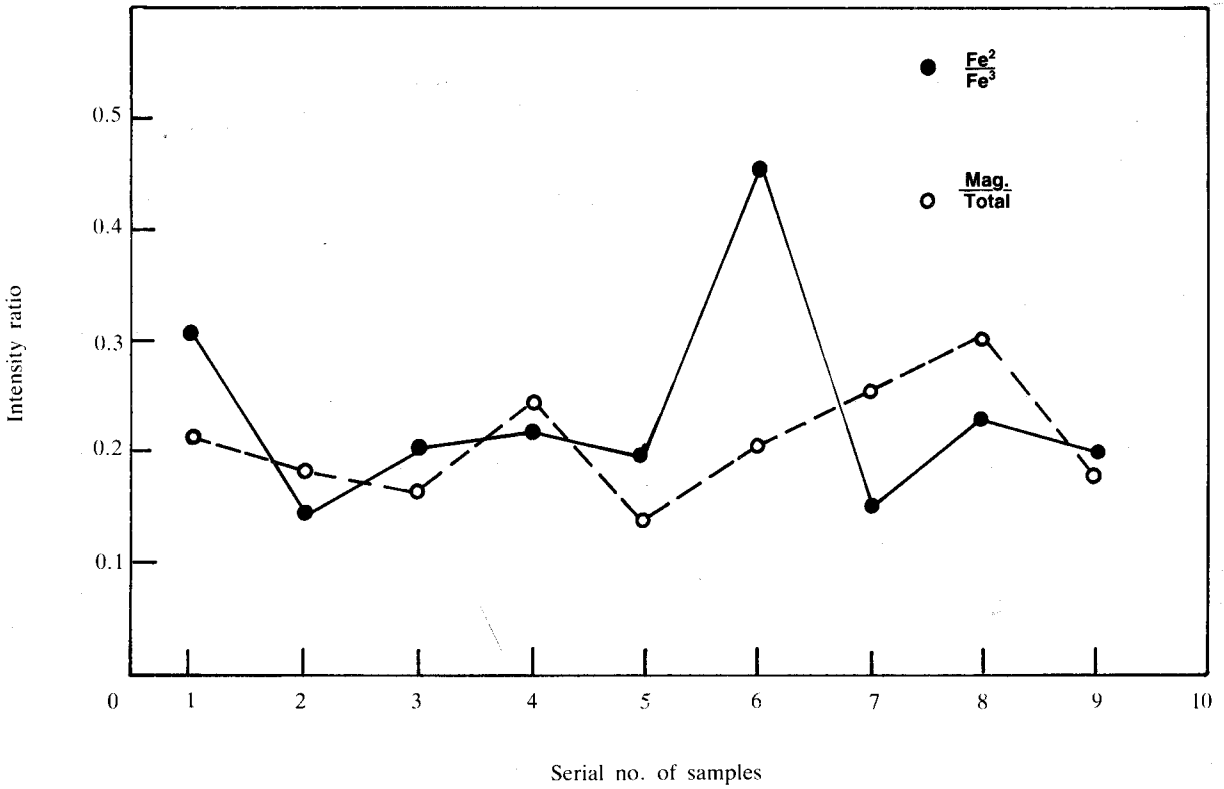

Fig. 3: The $\frac{Fe^{2+}}{Fe^{3+}}$ and $\frac{Mag.}{Total}$ iron ratios for Nile clay samples from different localities

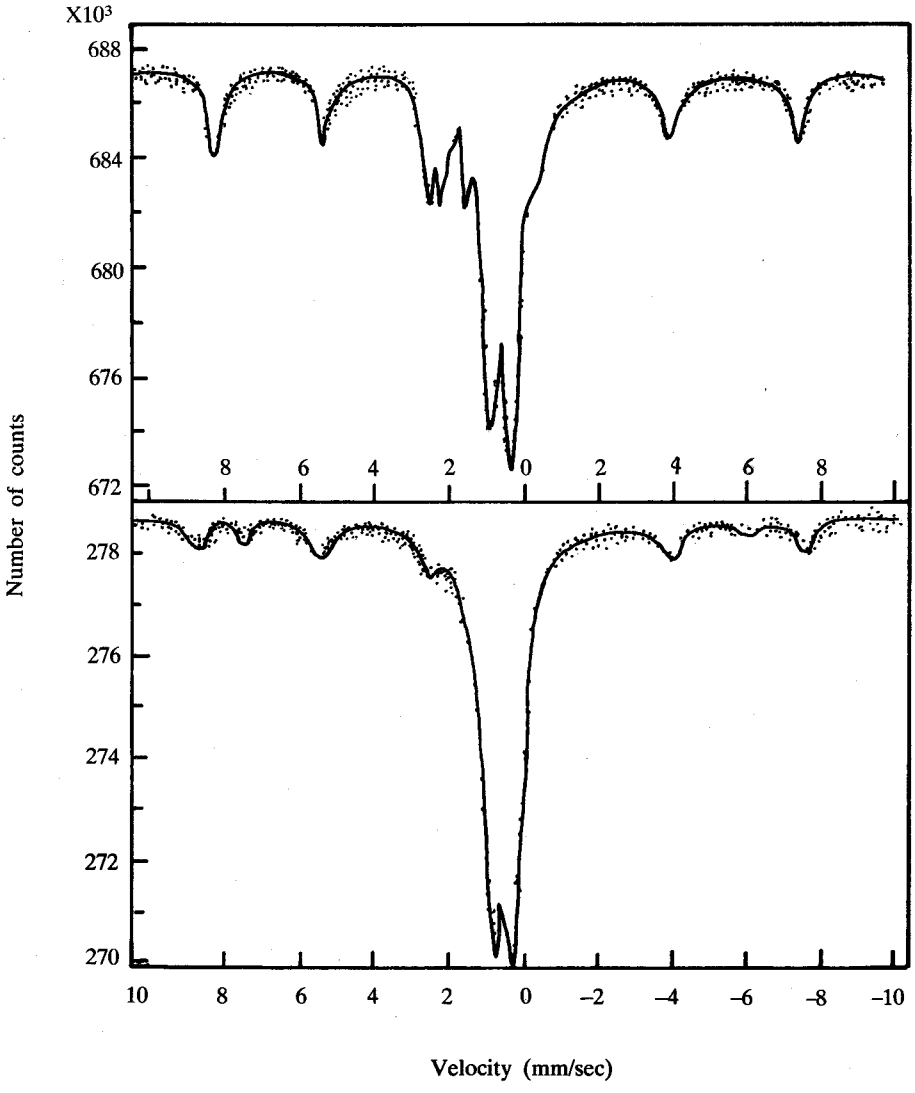

Fig. 4: The Mössbauer spectra of two samples of clay, the upper spectrum is for a Nile clay and the lower one is for a desert clay.

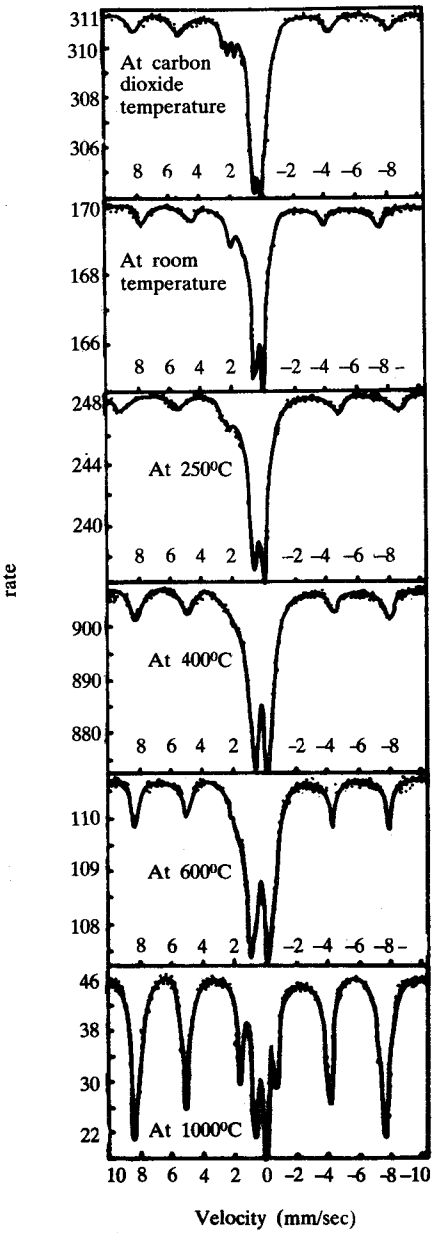

Fig. 5: The Mössbauer spectra of a Nile clay sample baked for 5 hours at different temperatures

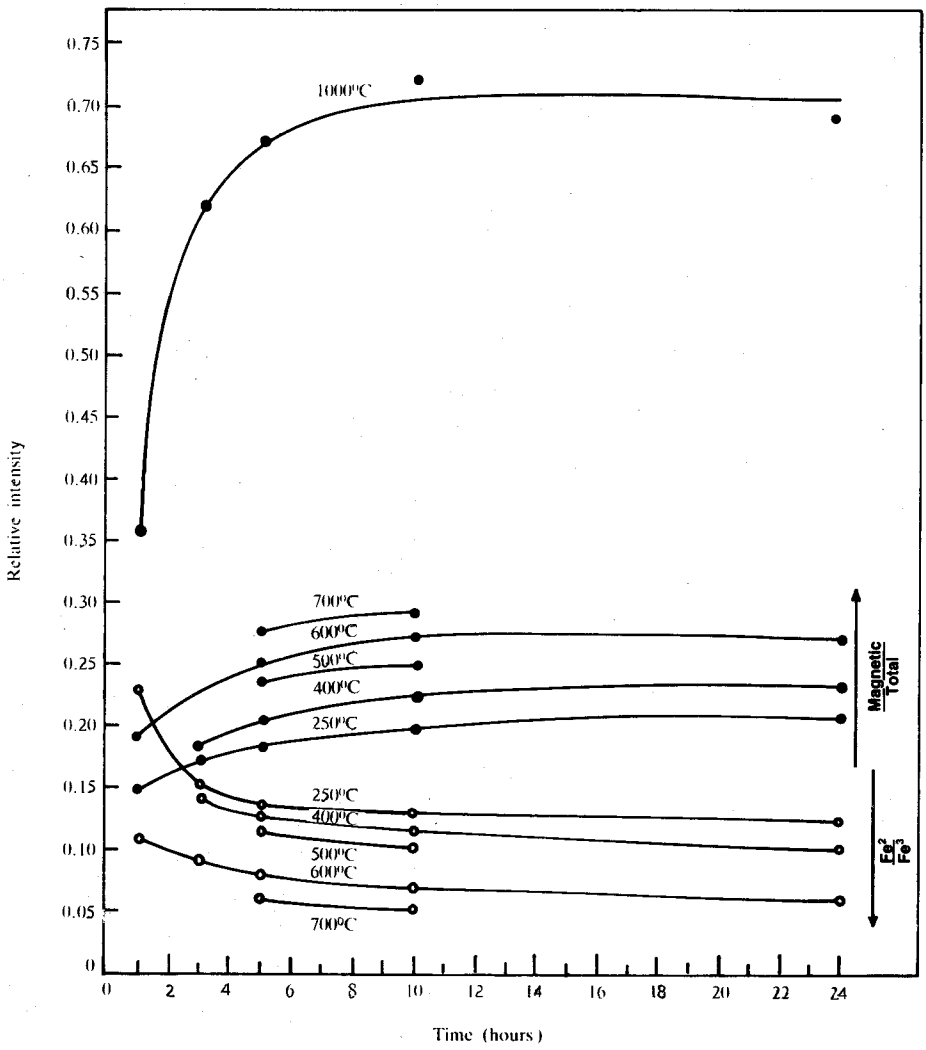

Fig. 6: The time dependence of Fe^{2+}/Fe^{3+} and mag./total iron ratios in a Nile clay sample baked at different temperatures.

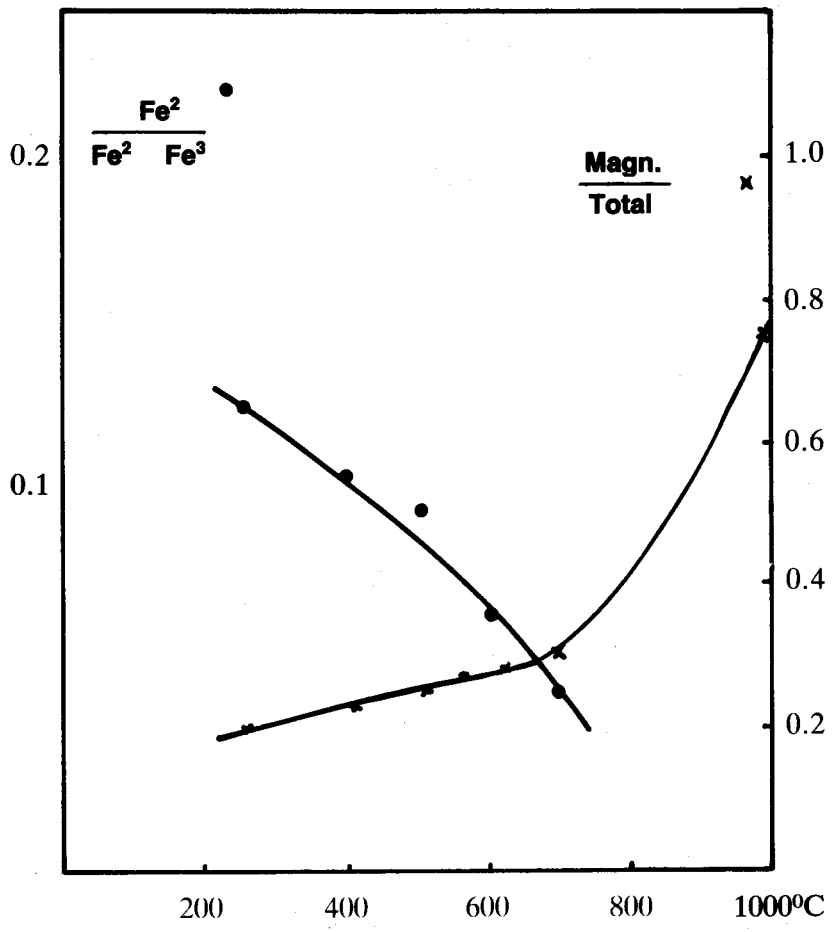

Fig. 7: Intensity ratios after 10 hours of firing depending on firing temperatures

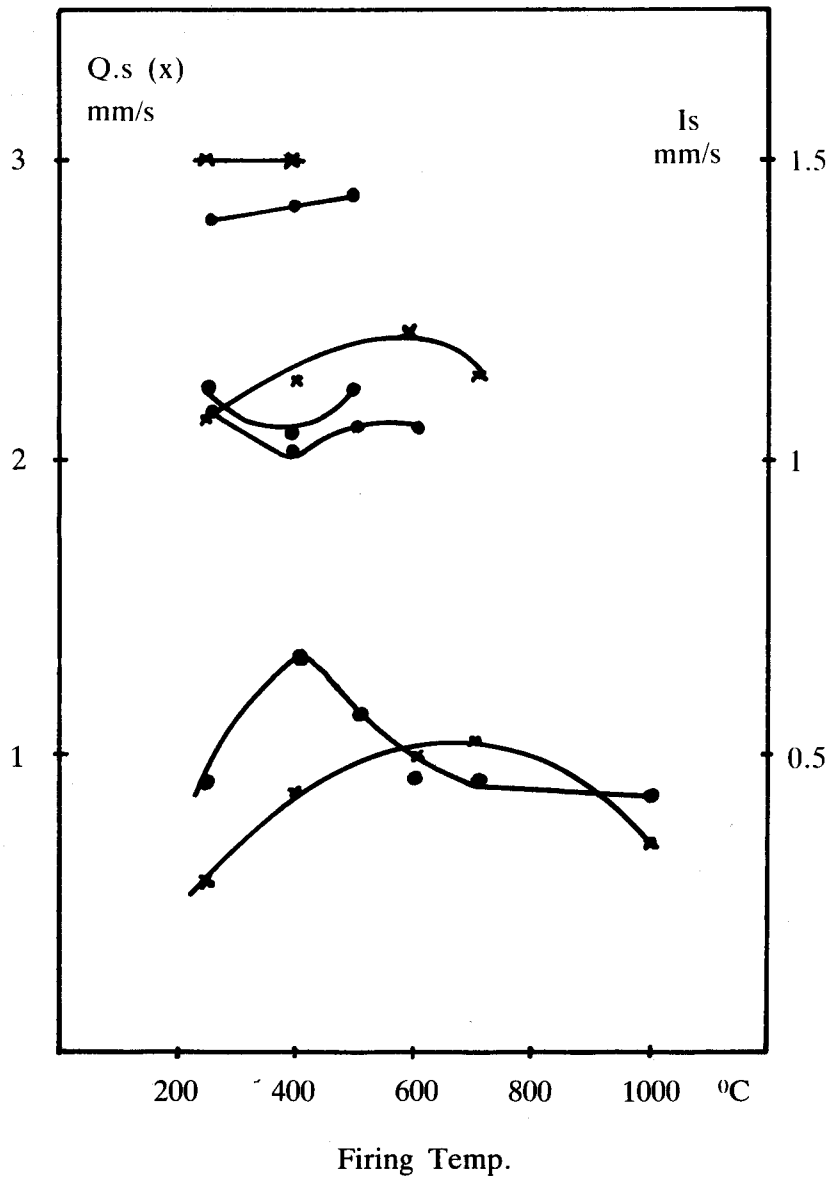

Fig. 8: Quadrupole splitting (x) and insomeric shift ( ) values of clay at different temperatures (after 10 hours of firing). One Fe^{3+} and two Fe^{2+} groups are seen.

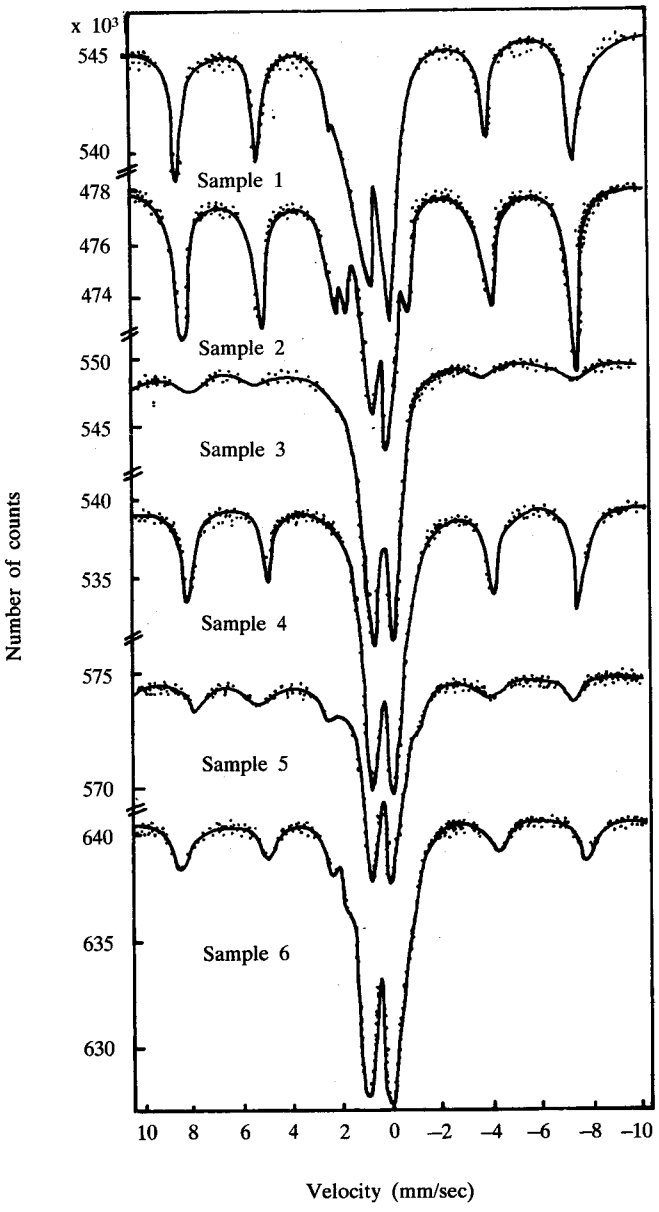

Fig. 9: The ME spectra of the pottery samples from different periods (3200 B.C. - 640 A.C.)

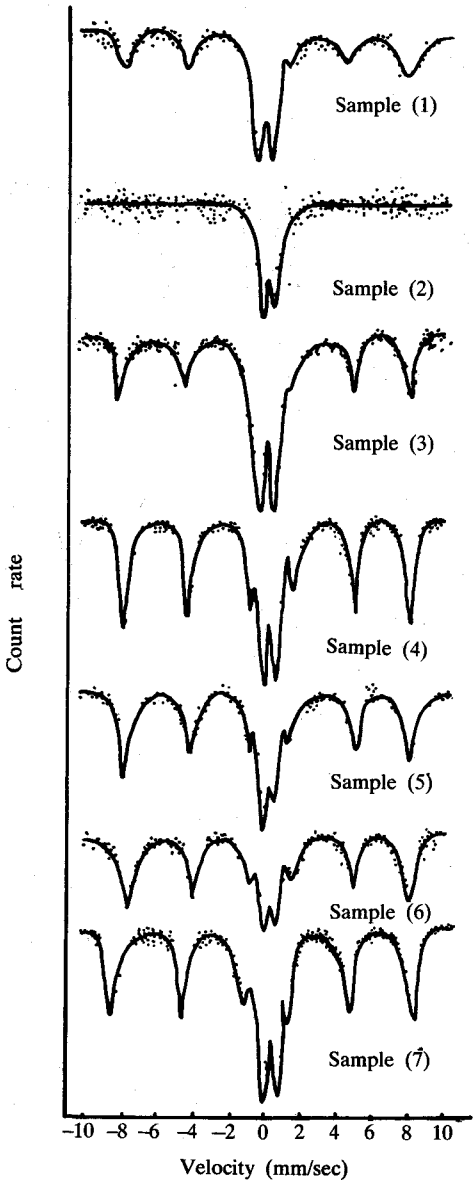

Fig. 10: ME spectra of pottery samples from Fatimid and Saljuq Islamic periods.

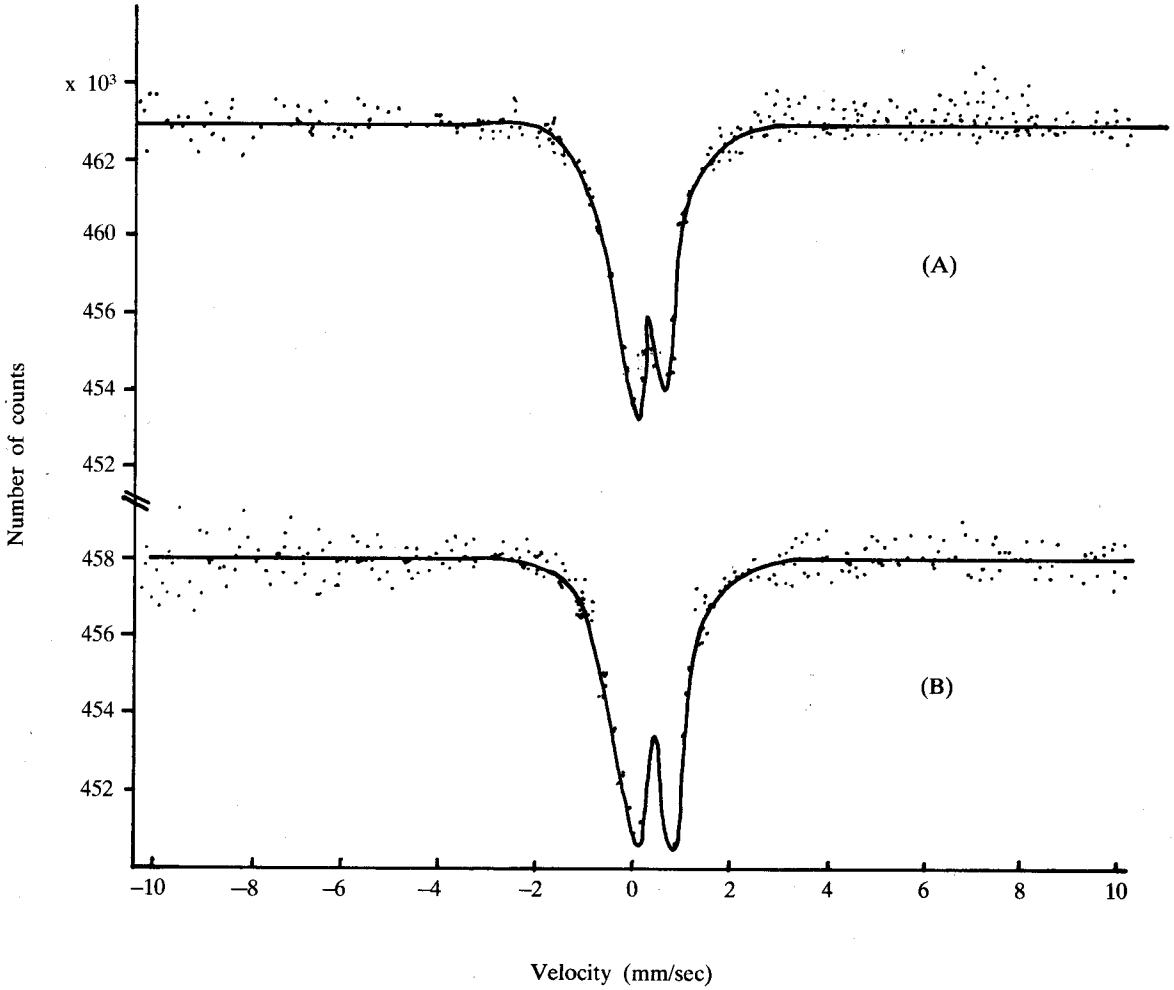

Fig. 11: ME spectrum of two Abbasid samples A- is from Cairo B- is from Bagdad

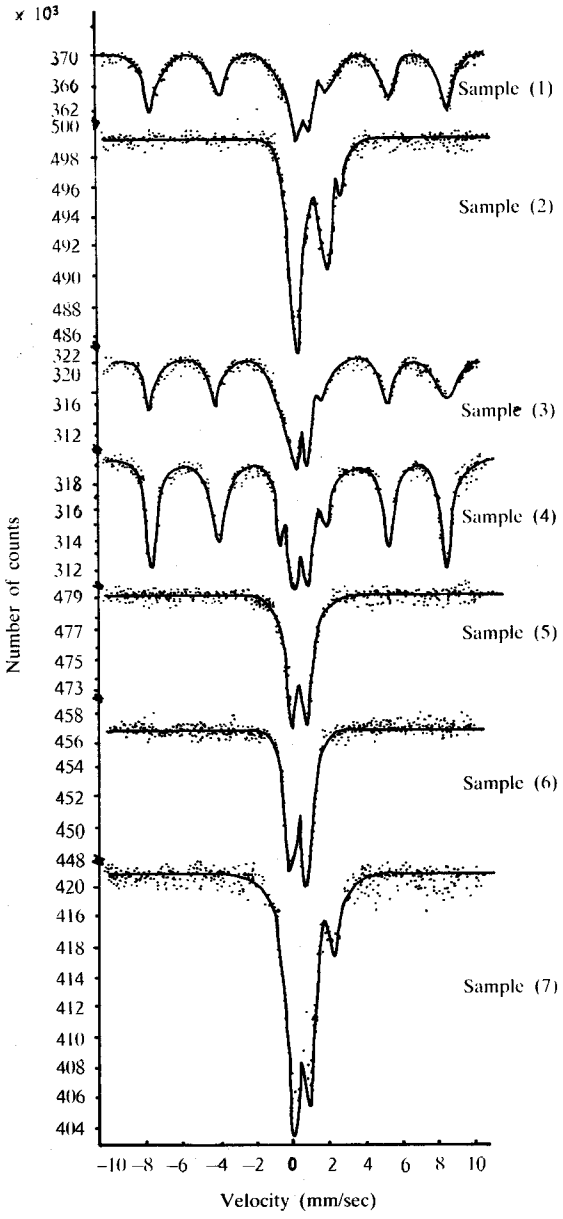

Fig. 12: The ME spectra of Islamic pottery samples used for different purposes

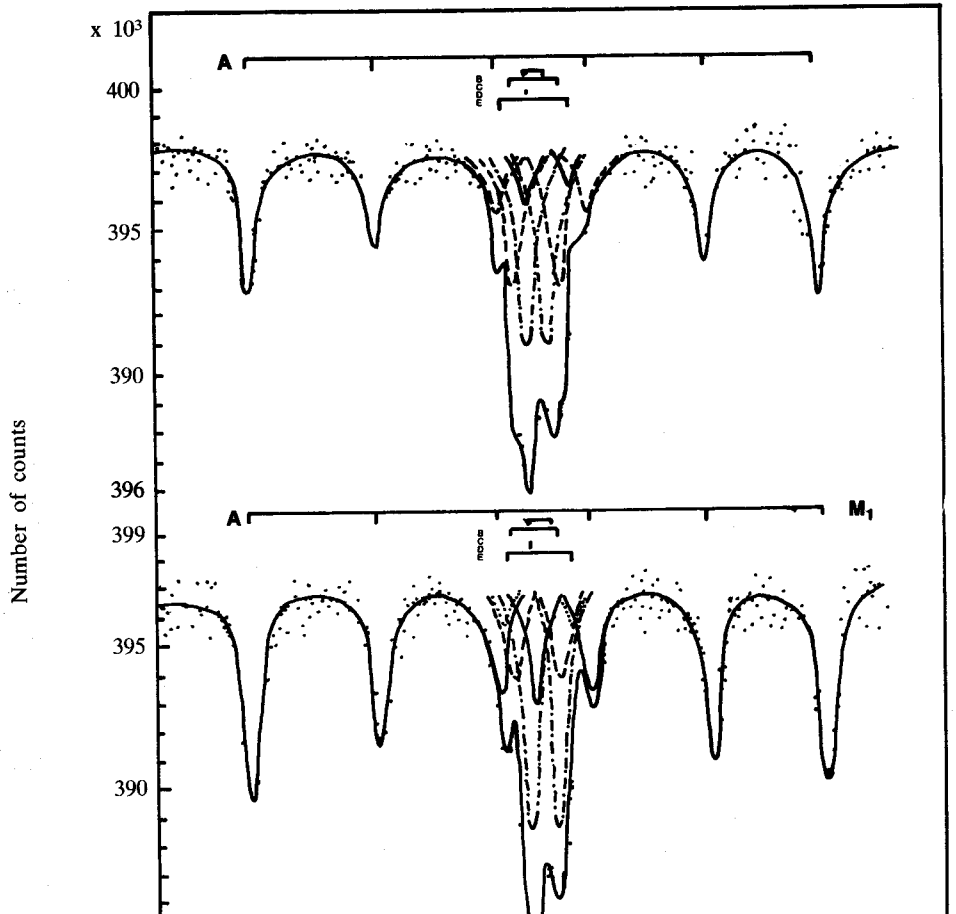

Fig. 13: The ME spectra of two pottery samples, C_1 from Qatar and M_1 from El-Medina

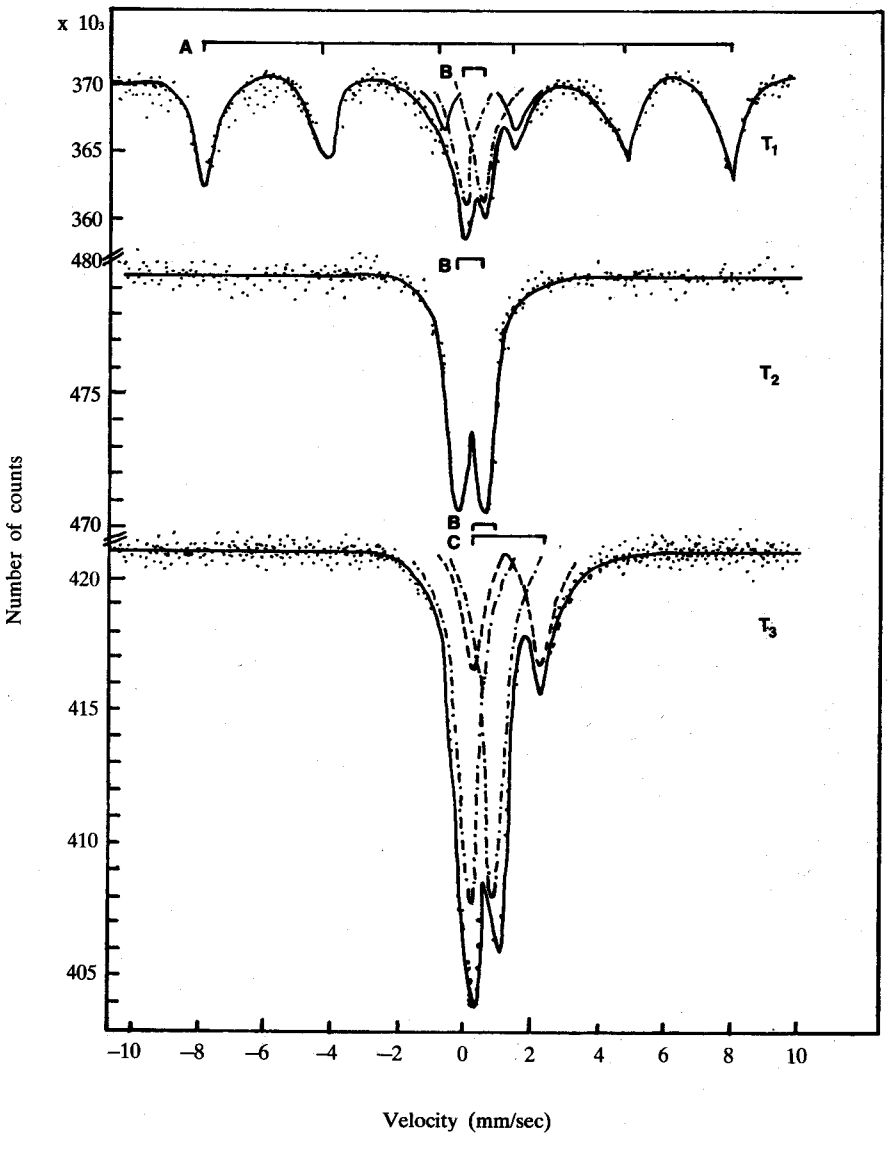

Fig. 14: The ME spectra of Islamic pottery samples used for different purposes from Egypt.

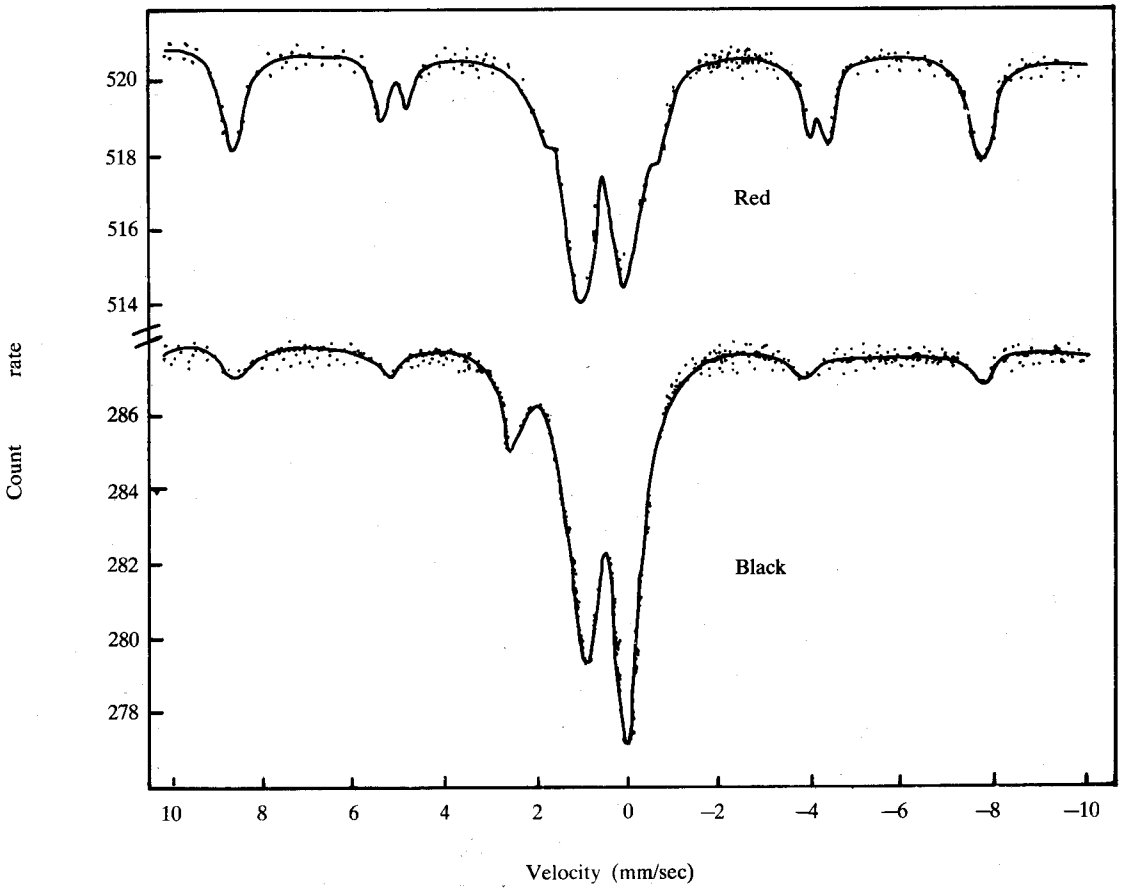

Fig. 15: The Mossbauer spectra of a Badarian sample. The upper spectrum is for the red part and the lower one for the black part.

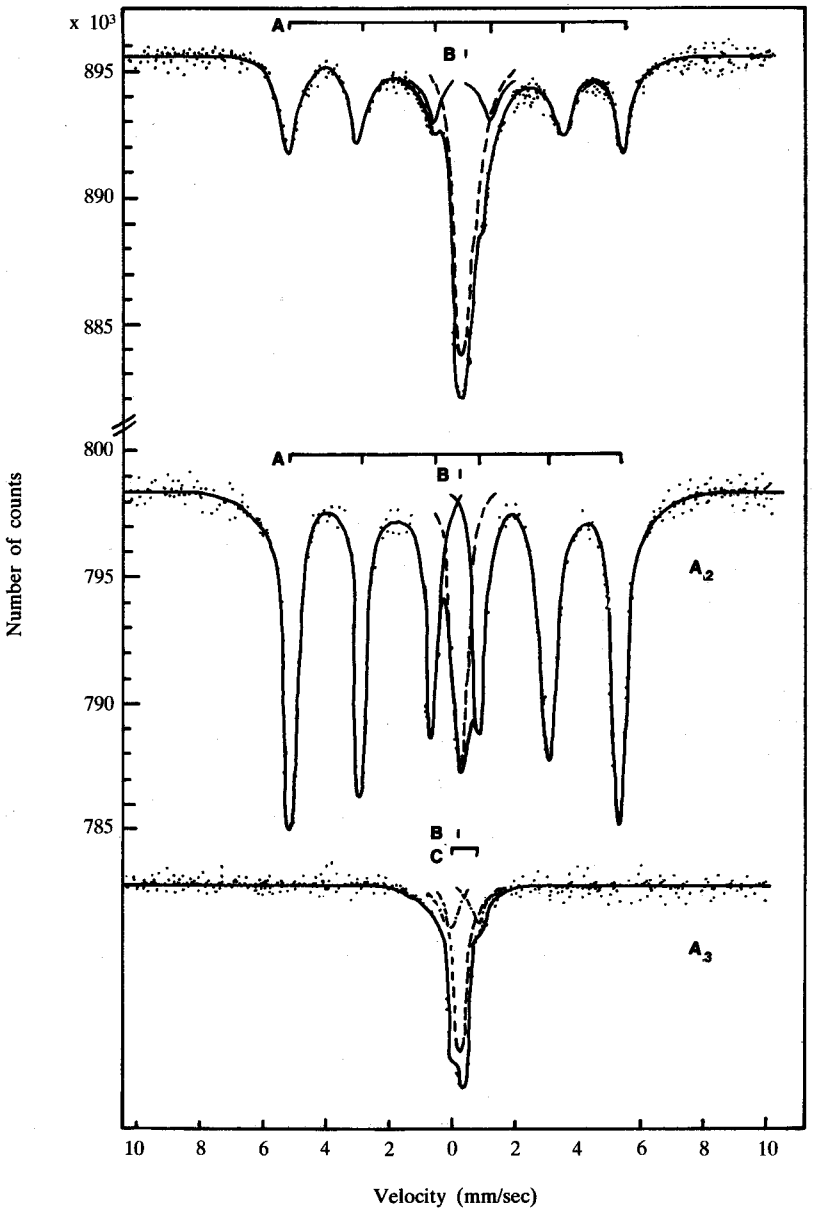

Fig 16. The ME spectra of a blue glaze sample and the layers of pottery below at R.T.

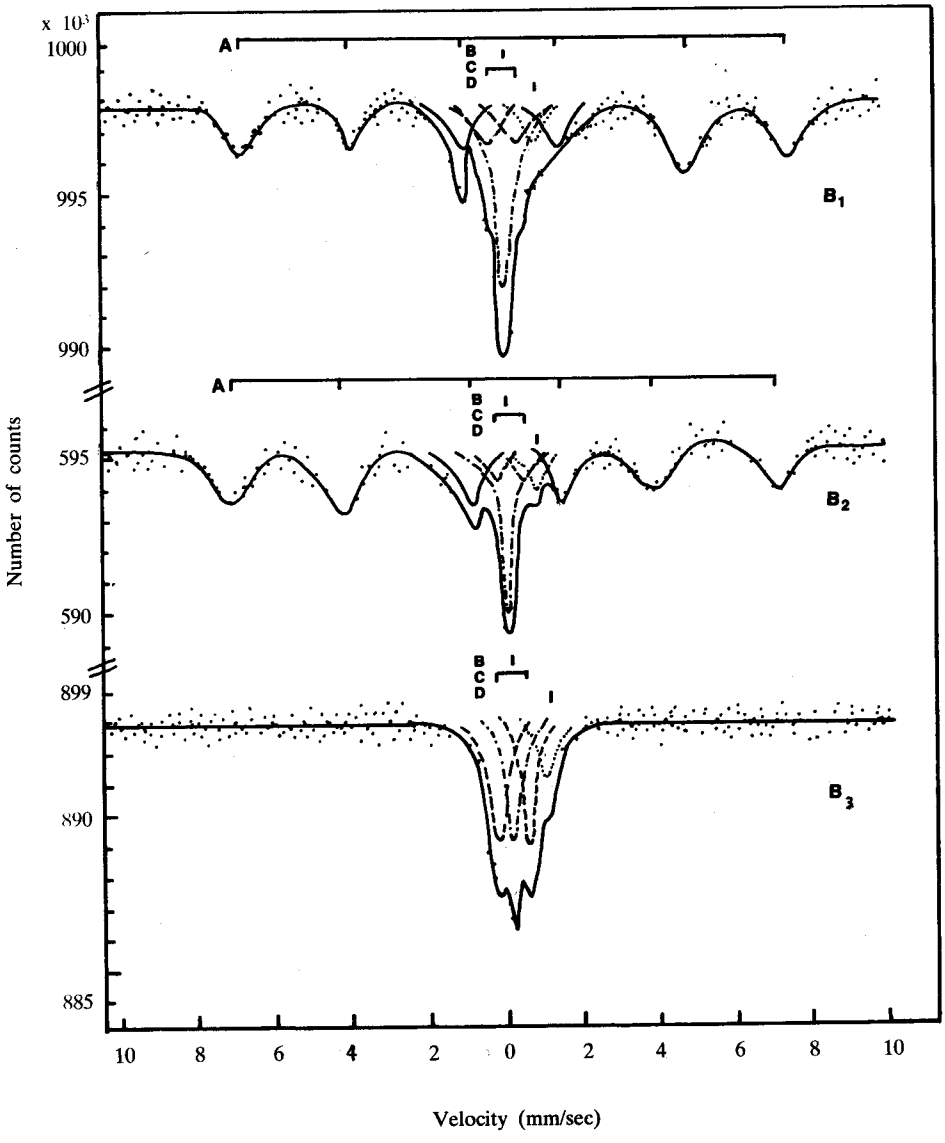

Fig. 17: The ME spectra of a green glaze sample at R.T.

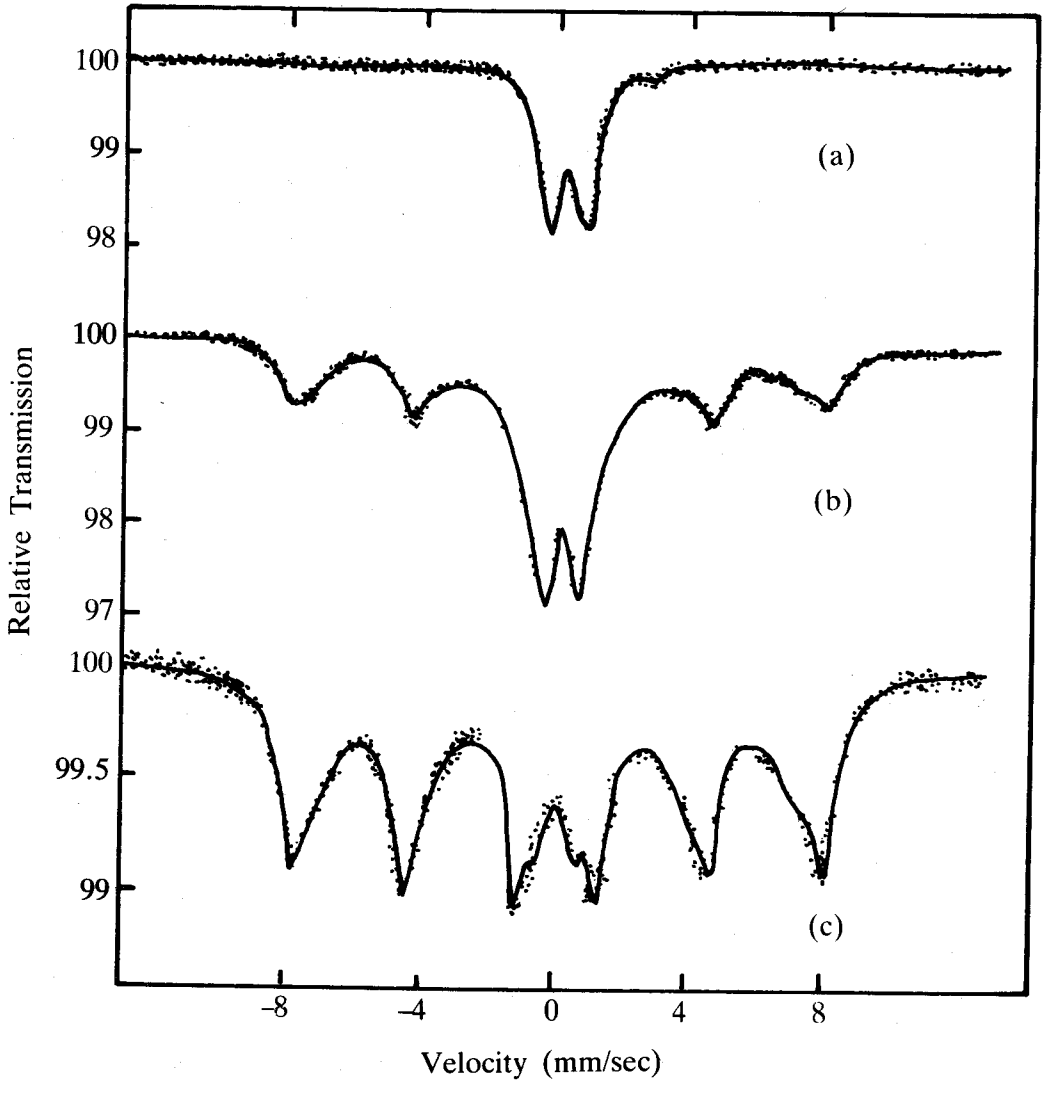

Fig. 18: Mossbauer spectra of a Mycenean sample (MCI) at (a) 77°, (b) 4.2°, and (c) 1.5°K. The solid lines represent computer least-squares fits. Two magnetic components have been used for the spectra at 4.2° and 1.5°K in order to approximate the effective field distribution.

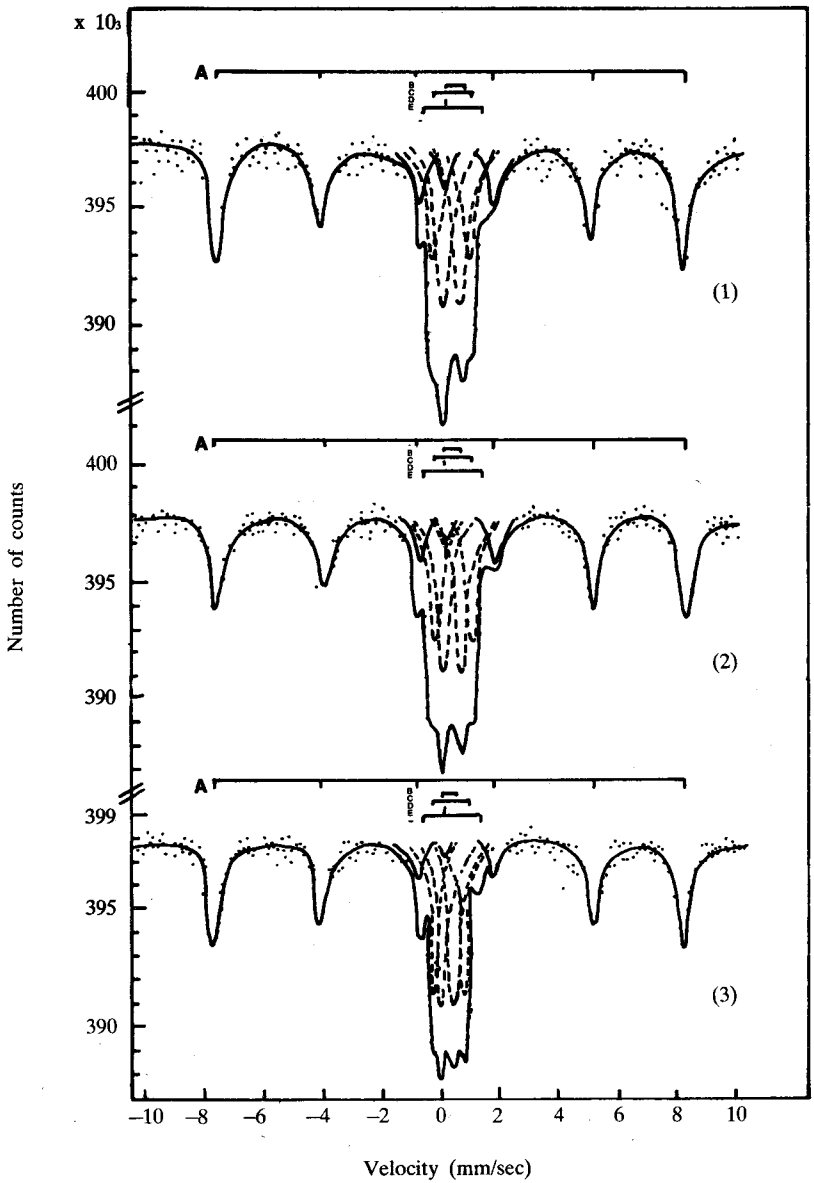

Fig. 19: The R.T. ME spectra of an ancient Qatari pottery sample.
(1) – Before refired
(2) – After refired to 400°C
(3) – After refired to 700°C

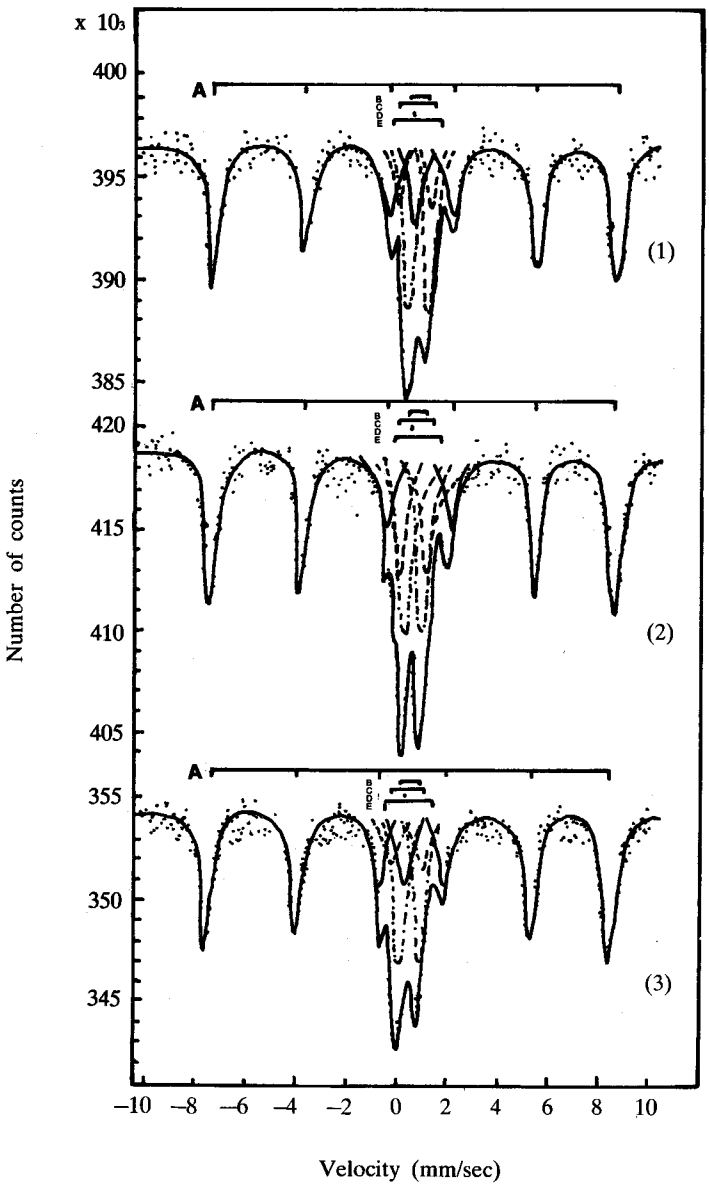

Fig. 20: The R.T. ME spectra of an ancient pottery sample from El-Medina
(1) – Before refired
(2) – After refired to 760°C.
(3) – After refired to 760°C then irradiated with 400 rads gamma-ray dose.

REFERENCES

1. Brothwell, D., and Higgs, E. S. (eds.) 'Science in Archaeology', 2nd ed. Thames and Hudson, London (1969).
2. Gangas, N. H., Simopoulos, A., Kostikas, A., Yassoglou, N. J., and Filippakis, S. Clays & Clay Min. 21, 151 (1973).
3. Sallam, H. A., Ph.D. Thesis, Islamic College for Women, Al-Azhar University (1974)
4. Coey, J. M. D., Bouchez, R., Nguyen van Dang and Deshayes J., Inter. Conf. on the Appl. of Mössbauer Effect, Corfu, Greece (1976).
5. Aitken, M. J. Contemporary Phys. 3, 161 (1961).
6. Libby, W. F. Science, 133, 621 (1961).
7. Aitken, M. J., Zimmerman, D. W., and Fleming, S. J. Nature, 219, 442 (1968).
8. Fleming, S. J., "Thermoluminescence of Archaeological Materials" ed. McDougall, D. T., Academic Press (1968)
9. Aitken, M. J., Contemp. Phys., 3, 334 (1962).
10. Alvarez, et al. Science, 167, 832 (1970).
11. Cousins, D. R., and Dharma wardena, K. G., Nature (London) 223, 733 (1969).
12. Gangas, N. H., Kostikas, A., Simopoulos, A. and Vokotopoulon, J., Nature (London) 229, 485 (1971).
13. Eissa, N. A., Sallam, H. A., and Keszthelyi, L. Acta Physica Hungerica, 34 (4), 337 (1973).
14. Eissa et al., A new Mössbauer Laboratory, Physics Department, Faculty of Science, Qatar University.
15. Petrie, W. M. F., Descriptive Sociology, Ancient Egyptians.
16. Danish Mission for Excavations in Qatar (1956-1964).
17. Mössbauer, R. L.; Z. Physik 151, 124 (1958) – Z. Naturforsch 14a, 211 (1959).
18. Eissa, N. A., Sallam, H. A., and Keszthelyi, L., Inter Conf. on Mössbauer Spec. Part 3, P. 749 (1977a), held in Bratislava Czechoslovakia (1973), edt. M. Huel & Zemci, Published by Nuclear Information Center, Prague.
19. Simopoulos, A., Kostikas, A., Sigala, I., Gangas, N. H. and Moukarika, A., Clays Clay Min. 23, 393 (1975).
20. Gangas, N. H. J. Sigals, I., and Moukarika, A. Inter. Conf. on the Appl. of Mössbauer Effect, Corfu, Greece (1976). J. de Phys, 37, 867 (1976).
21. Danon, J., Enriquez, C. R., Inter. Conf. on the Appl. of Mössbauer Effect, Corfu, Greece (1976). J. de Phys. 37, 866 (1976).
22. Kundig W., Boemmel, H. Konstabaria, G., and Lindquist, R. H., Phys. Rev. 142, 327 (1966).
23. Eissa, N. A., Sallam, H. A., and Keszthelyi, L., Proc. Inter, Conf. Appl. Mössbauer Effect, Bendor, (1974b). J. de Phys. 35, C_6–569 (1974b).
24. Kostikas, A., Simopoulos, A. and Gongas, N. H., Proc. Inter. Conf. Appl. Mössbauer Effect, Bendor (1974). J. D. Phys. 35, C_6–537 (1974a).
25. Janot, C., and Delcroix, P., Proc. Inter. Conf. Appl. Mössbauer Effect, Bendor (1974). J. de Phys. 35, C_6–557 (1974).
26. Eissa, N. A., Sallam, H. A., Saleb, S. A., Taiel, F. M., and Keszthelyi, L., Recent Advances in Science and Technology of materials vol. 3, P. 85 (1974c). Edited by Adli Bishay, Published by Plenum Press New York and London.
27. Eissa, N. A., Sallam, H. A., and Negm, S. M., Inter Conf. Appl. Mössbauer Effect, Corfu, Greece (1976). J. de Phys. 37, C_6–873 (1976a).
28. Eissa, N. A., and Sallam, H. A. J. Qatar Museum (1977).
29. Permele, C. W., 'Ceramics Glazes' Chicago Industrial Publishing Co. (1948).
30. Kostikas, A., Simopoulos, A., and Gangas, N. H., J. de Phys., 35 C_1–107 (1974b).

31. Lucas, A., 'Ancient Egyptian Materials and Industries', Edward Arnold Co. chapter 15 (1948).
32. Petrie, W. M. F., "The Arts and Crafts of Ancient Egyptians" P.130.
33. Eissa, N. A., and Sallam, H. A., Inter. Conf. Mössbauer Spec., Bratislava (1974d) part 3, P. 752.
34. Eissa, N. A., Sallam, H. A., Sanad, A. M., and Mira, F. A., Inter. Conf. Mössbauer Spec. Bucharest (1977b) to be published in Archaeometry.
35. Bouchez, R., Coey, J. M. D., Coussement R., Schmidt, K. P., Van Rossum, M., Aprahamian, J., and Deshayes, J., Proc. Inter. Conf. Appl. Mössbauer Effect, Bendor (1974). J. de Phys. 35, C_6–541 (1974).
36. Hess J., and Perlman I. Archaeometry, 16, 137 (1974).
37. Keisch, B., "Application of Mössbauer Spec.", Vol. I, edt. by Cohen, R. L., Acad. Press, New York (1976).
38. Aitten, M. J., "Recent Advances in Science and Technology of Materials" vol. 3, p. 191, Edt. by Adli Bishay, Plenum press, New York and London (1974).
39. Eissa, N. A., Sallam, H. A., Sanad, A. M., and Mira, F. A., Proc. Inter. Conf. Mössbauer Spec. Bucharest, C_8–8 (1977c). To be published in Archaeometry.