

A aplicação de métodos da Física à Arqueologia ⁽¹⁾

POR

Dr. M. J. Aitken

Research Laboratory for Archeological
and the History of Art, Univ. Oxford

Apresentaremos muito sumariamente, neste artigo, alguns processos laboratoriais que permitem recolher, dos vestígios arqueológicos, informações que os olhos humanos não logram descobrir. Noutro artigo discutiremos os resultados obtidos com o magnetómetro de protões e o resistivímetro em várias estações de Portugal ⁽²⁾.

Não se julgue que estas técnicas novas rivalizam com os métodos tradicionais da arqueologia; dão simplesmente maiores possibilidades ao arqueólogo no seu trabalho tão difícil de reconstruir o passado servindo-se dos raros vestígios que se conservaram até hoje. Muito naturalmente, o arqueólogo do século passado examinava os seus achados ao microscópio; o do século XX, porém, considera a radiografia como um processo normal de

(1) Tradução do original inglês pelo Sr. Dr. Jorge Alarcão, Assistente da Faculdade de Letras de Universidade de Coimbra.

(2) O Dr. M. J. AITKEN esteve em Portugal, de 28 de Setembro a 8 de Outubro de 1964, a convite do Instituto de Arqueologia da Faculdade de Letras de Coimbra e inteiramente subsidiado pela Fundação Calouste Gulbenkian. Visitou as estações de Casal do Zambujal (Torres Vedras), Muge, S. Sebastião (Leiria), Conimbriga e Chões de Alpompe (Vale de Figueira, Santarém), onde ensaiou o magnetómetro e o resistivímetro. Veja-se uma notícia desta visita na *Revista de Guimarães*, LXXIV (1964).

análise, e começa a aprender a utilizar os métodos mais complexos e sofisticados que a tecnologia moderna tornou possíveis. Não é necessário que o arqueólogo se torne um cientista mas é essencial que tome consciência das possibilidades novas que hoje existem e da confiança que podem merecer os resultados obtidos. É importante ter-se um conhecimento esclarecido dos métodos e o arqueólogo que os considerar todo-poderosos cedo sofrerá uma desilusão; deve aprender a utilizar este novo tipo de dados e a considerá-los como complementares dos que se obtêm pelos métodos tradicionais. Não obstante os progressos extraordinários da ciência moderna, a observação do arqueólogo especializado e com larga experiência continua a ser um instrumento que não encontrará facilmente um rival.

Datação pelo carbono radioactivo

A datação pelo carbono radioactivo tem sido, até agora, a mais importante de todas as técnicas novas. Como o método é hoje bem conhecido (vejam-se, por exemplo, LIBBY, 1955, AITKEN, 1961), faremos aqui apenas um breve resumo.

Baseia-se este método no facto de, por virtude das radiações cósmicas, toda a matéria orgânica viva — seja planta ou animal — ser ligeiramente radioactiva; a proporção de carbono 14 para carbono 12 é a mesma, quer se trate de plantas ou animais. Depois da morte, a radioactividade diminui lentamente; o decréscimo de radioactividade de muitos materiais, particularmente da madeira bem conservada e do carvão, processa-se rigorosamente segundo o período do carbono 14. Quer isto dizer que a radioactividade diminui de 1% por cada período de 83 anos, ou, por outras palavras, que desce para metade do seu valor original em 5.730 anos. Posto isto, e assumindo que a radioactividade da matéria orgânica viva foi sempre a mesma, é possível,

medindo a radioactividade de carvão achado nos restos de uma fogueira ou de madeira conservada num túmulo, determinar quantos séculos passaram desde que a madeira deixou de ser parte de uma árvore viva. O método também pode aplicar-se à turfa, folhas, nozes, papel, tecidos, cabelo, pele, ossos carbonizados e chifres.

A aparelhagem necessária para medir a radioactividade de uma amostra é complicada e dispendiosa, e o custo de uma análise feita por um laboratório comercial (por exemplo, Isotopes Inc., 123, Woodland Avenue, Westwood, New Jersey, E. U. A.) é de cerca de 6.000\$00. O processo destrói completamente a amostra, que deve pesar entre 1 grama, no caso de madeira ou carvão, e 100 gramas, no caso de ossos carbonizados. A radioactividade de materiais muito antigos é bastante fraca e a maior parte dos laboratórios não pode analisar amostras com mais de 50.000 anos. Além desta dificuldade de avaliação da radioactividade, os materiais muito antigos são facilmente contaminados por matérias orgânicas «modernas» e é preciso muito cuidado na recolha das amostras.

A ideia de que a radioactividade da matéria orgânica viva foi sempre a mesma não é exacta. Algumas análises de árvores cuja idade se conhecia (pelo número de anéis de crescimento) mostraram que, nos últimos 2.000 anos, houve variações de cerca de 2% acima e abaixo do nível médio. Estas variações correspondem a uma indeterminação cronológica de ± 170 anos — o que limita a utilidade do método quando aplicado a amostras recentes. Além disto, deve ter-se presente a possibilidade de um intervalo considerável entre a morte da árvore e o espólio arqueológico no qual se encontrou a amostra.

É possível que, em milénios anteriores, as flutuações de radioactividade da matéria viva correspondam a uma indeterminação cronológica superior a ± 170 anos; todavia, as provas

feitas com amostras cuja cronologia era conhecida indicam que, antes de 2.000 a.C., o erro é inferior a ± 170 anos. Nestas experiências usaram-se madeiras de túmulos egípcios, anéis interiores de sequoias gigantes e pinhas. Ainda que a datação pelo carbono 14 não forneça necessariamente uma cronologia indiscutível antes de 2.000 a.C. — embora essa cronologia tenha quase todas as probabilidades de ser efectivamente certa —, de qualquer modo fornece uma cronologia útil aplicável a todo o mundo.

Arqueomagnetismo (datação magnética)

Tal como a datação pelo carbono radioactivo, a *datação magnética* (veja-se, por exemplo, AITKEN, 1961) é outro método baseado num fenómeno natural alheio à acção do homem. O *quantum* variável com o tempo em que este método se baseia é a direcção do campo magnético terrestre. Esta direcção é definida pela declinação magnética (ângulo entre o norte geográfico e o magnético) e pelo ângulo de inclinação (desvio das linhas magnéticas em relação à horizontal). Conhecemos a *variação secular* destes ângulos em Londres, no curso dos últimos séculos, pelos registos, feitos por cientistas, de observações directas em agulhas magnéticas (Fig. 1), mas dispomos também de um registo accidental quase desde que o homem descobriu o fogo. Quando se coze a argila, os domínios magnéticos do óxido de ferro que a argila contém em pequena percentagem (sob as formas ferromagnéticas de *magnetite* e *hematite*) alinham-se de um modo geral pelo campo magnético terrestre (Fig. 2). Quando a argila arrefece a direcção destes domínios conserva-se «congelada» e a argila adquire um ligeiro momento magnético cuja direcção é idêntica à do campo terrestre. Este fenómeno, chamado *magnetismo termo-remanescente* foi objecto de aturadas investigações pelo Professor E. Thellier do Institut de Physique du Globe, de Paris. O mesmo

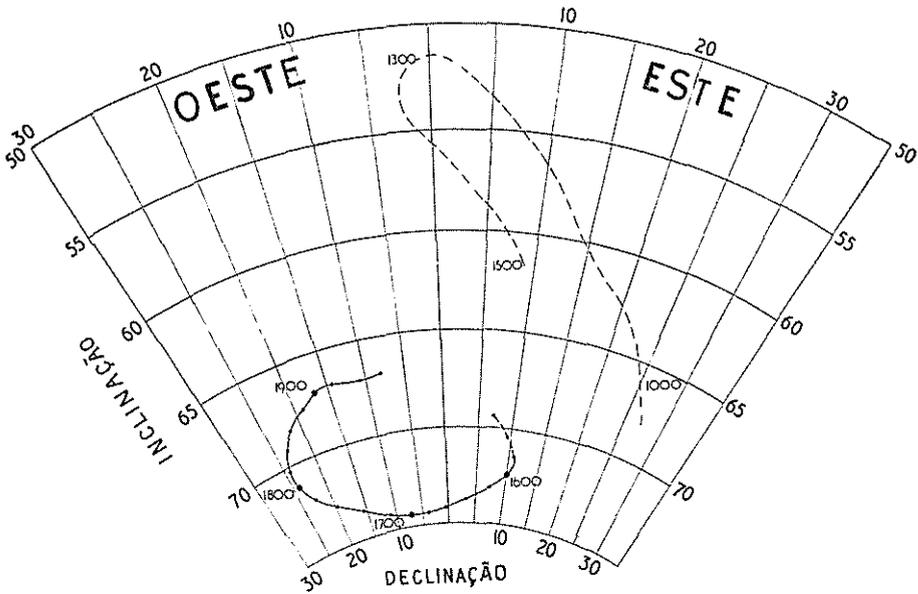


Fig. 1 — Variação do campo magnético terrestre (no centro da Inglaterra) através dos séculos. A curva a traço cheio obteve-se por medidas directas. A curva a tracejado mostra os valores prováveis obtidos pela análise do magnetismo remanescente da argila cozida de fornos e lareiras. Todas as datas são posteriores ao nascimento de Cristo.

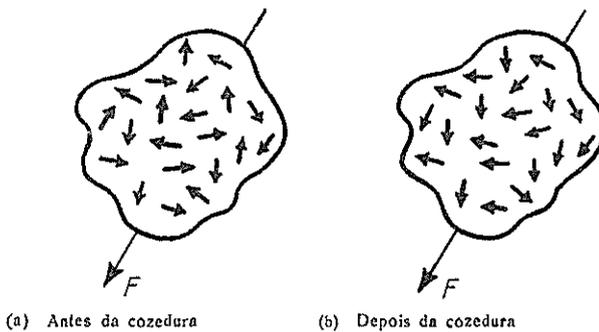


Fig. 2 — Ilustrativa da aquisição do magnetismo termo-remanescente por uma massa de argila. As setas representam os domínios magnéticos da pequena percentagem de óxido de ferro presente na argila.

fenómeno explica o magnetismo que as rochas adquiriram há milhões de anos quando arrefeceram e se solidificaram; a determinação da direcção magnética conservada nas lavas vulcânicas permite definir as posições e orientações dos continentes nos estádios iniciais da estabilização da crosta terrestre.

Para se poder determinar a orientação magnética de antanho que a cozedura «congelou» é evidentemente necessário que a argila cozida seja encontrada exactamente na mesma posição em que arrefeceu. Satisfazem esta condição os fornos de cozer cerâmica, as lareiras, fornos e fornalhas constituídos ou simplesmente revestidos de barro, devido às propriedades refractárias sem par da argila. Para determinar a direcção magnética é necessário trazer para o laboratório uma amostra de argila, a fim de se analisar com um magnetómetro particularmente sensível; antes, porém, de se colher a amostra, deve anotar-se com rigor a sua posição geográfica. A amostra é envolvida parcialmente em gesso, cuja face superior se alisa de modo a ficar horizontal (Fig. 3). Marca-se na superfície do gesso uma linha com o auxílio de um teodolito assestado contra o sol, tornando-se assim possível determinar a orientação dessa linha relativamente ao norte geográfico (Fig. 4). À análise laboratorial define a direcção magnética em relação à linha marcada no gesso e assim se podem determinar os ângulos de declinação e inclinação. Dispondo de uma dúzia de amostras de cada forno ou lareira pode obter-se uma média segura.

Infelizmente, a variação secular não se faz regularmente e não podem determinar-se *à priori* os valores do passado. Para se usar o método da datação magnética é necessário por isso, antes de mais nada, estabelecer a curva da variação secular a partir de amostras de argila cozida bem datadas. Dado que a variação secular diverge de região para região, tem de estabelecer-se uma curva para cada região de cerca de 800 quilómetros de diâmetro, dentro da qual se poderá utilizar o método. A neces-

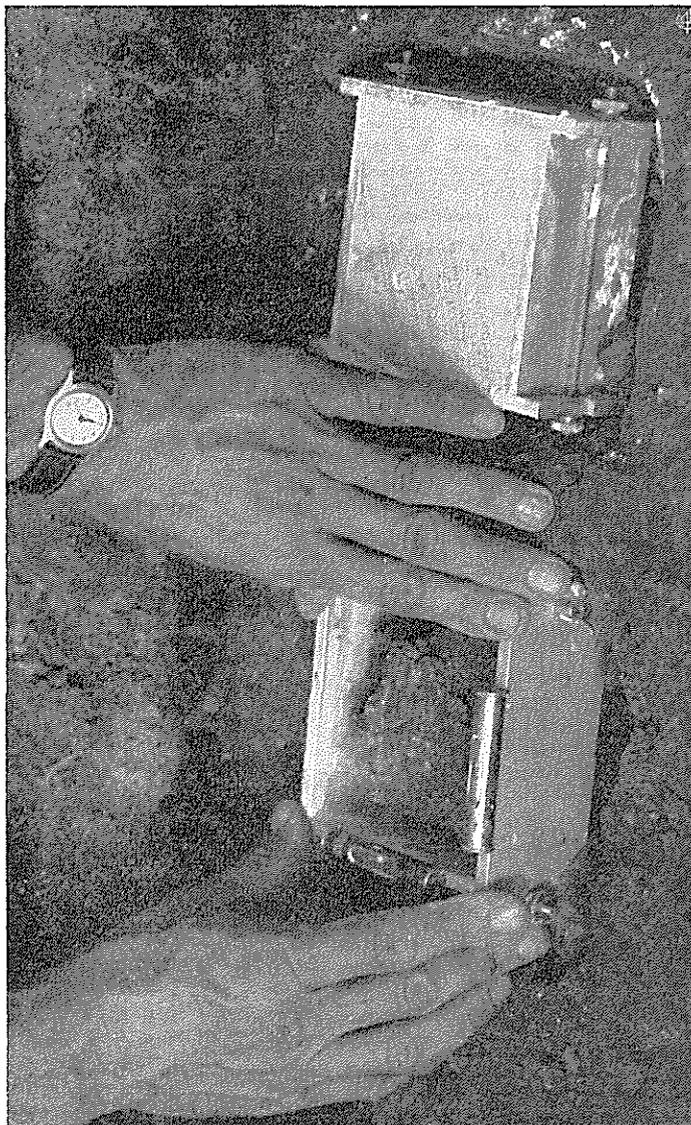


Fig. 3 — Recolha de amostras de argila cozida.

sidade de estabelecer uma curva à qual se devem reportar as análises é uma desvantagem séria que não tem o método do carbono 14, o qual, com ligeira margem de erro, é absoluto.

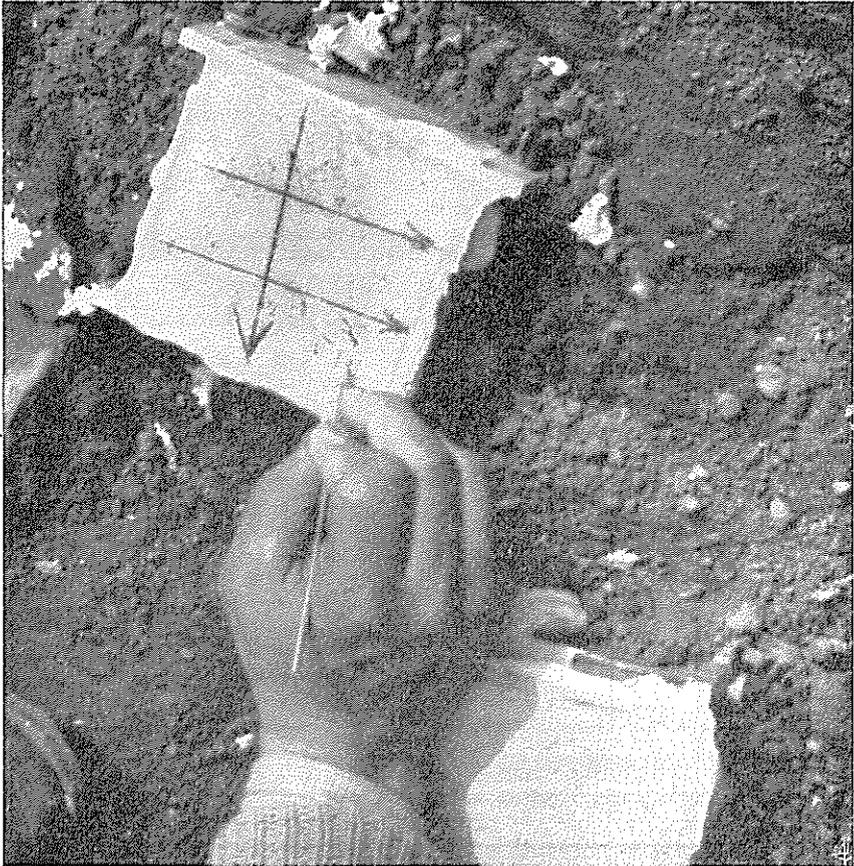


Fig. 4 — Marcação do Monte sobre a caixa de gesso que contém a amostra.

A datação magnética tem todavia a vantagem de ser muito mais precisa.

A informação que pode obter-se do magnetismo termo-remanescente não se limita à datação. O método, por exemplo, ajudou

a resolver o problema de saber se a cabeça partida de uma estatueta grega de terracota pertencia ou não ao corpo. Determinaram-se as direcções magnéticas da cabeça e do corpo; estas indicaram que, se as duas peças tivessem pertencido uma à outra, a cabeça estaria voltada para trás numa posição anatomicamente impossível. Além disso, a magnetização específica de uma peça divergia da da outra em três unidades — indicando ou argila diferente ou condições de cozedura diversas.

Datação pela análise da termoluminescência

Este método ainda se acha numa fase experimental, mas, se for bem sucedido, terá enorme importância para a arqueologia pré-histórica. Pode aplicar-se a fragmentos de cerâmica e atingir um rigor de $\pm 5\%$. Baseia-se nos efeitos lentos da radiação nuclear sobre minerais presentes na argila da cerâmica. Esta radiação provém de quantidades mínimas de urânio, tório e potássio que se encontram habitualmente na argila como impurezas. Os efeitos acumulam-se e podem medir-se sob a forma de uma termoluminescência. A cozedura de um vaso anula a luminescência anterior da argila; por conseguinte, a quantidade de luminescência que se observe num fragmento de cerâmica antiga será proporcional à idade do fragmento: quanto mais antigo for, maior será a luminescência — até ao limite de cerca de 10.000 anos.

Este método tem sido ensaiado na Califórnia (KENNEDY e KNOPFF, 1960), Berne (GRÖGLER e STAUFFER, 1959) e Oxford (AITKEN, TITE e REID, 1964). Também tem sido usado por geólogos (ZELLER, WRAY e DANIELS, 1957; SABELS, 1962).

Métodos de análise da composição química dos objectos

Os três métodos que acabámos de descrever têm de comum o analisarem quantitativamente uma determinada propriedade que varia com o tempo. Pela análise química dos objectos, porém, podem determinar-se diferenças de composição que podem traduzir os diferentes pontos de produção das matérias-primas ou processos de manufactura diversos; indirectamente, estas diferenças podem fornecer indicações cronológicas.

Só muito raramente é que a análise de um único objecto dá informações úteis; habitualmente, é preciso pelo menos vinte análises semelhantes para se poder definir uma composição típica.

Os métodos químicos tradicionais não só levam muito tempo como também destroem parcialmente os objectos. Recorrendo a métodos físicos, a análise faz-se mais rapidamente e com menos prejuízos — por vezes até sem dano algum. O método tradicional de *espectrografia óptica* é mais adequado à análise de objectos de metal e de cerâmica; a amostra obtém-se fazendo um pequeno furo num ponto menos conspícuo. O *espectrómetro fluorescente de Raios-X* é o método ideal para a análise dos vernizes da cerâmica e do vidro; este método não destrói absolutamente nada. A *análise por activação com neutrões* também pode fazer-se de modo a que não se destrua nada e é particularmente indicada para as moedas feitas de metais preciosos.

Usámos este último método em Oxford para determinar a percentagem de ouro e de cobre presentes como impurezas numas 600 moedas de prata gregas, antigas (AITKEN, EMELEUS e HALL, 1960). Dado que, na Antiguidade, não se conhecia nenhum processo de refinação que permitisse separar o ouro da prata, a percentagem do primeiro destes metais existente nas moedas depende unicamente do minério do qual se extraiu a prata.

As moedas de Atenas do século V a. C. têm uma percentagem de ouro baixa — 0,06 % ou ainda menos —, o que é muito característico; supõe-se que a prata provinha dos filões ricos e profundos das minas de Lavrium, que ficavam perto daquela cidade. Por outro lado, as moedas de prata de Corinto, vizinha de Atenas mas sem minas de prata nas redondezas, têm uma percentagem de ouro muito variável, mas que, algumas vezes, sobe a 0,5 %.

Os numismatas têm levantado por diversas vezes o problema da fonte onde Corinto se abastecia de prata. Seria nas minas de Lavrium, que eram as mais próximas, ou as frequentes rixas entre Atenas e Corinto paralisariam este comércio? O resultado das análises feitas pelo método da activação com neutrões exclui a hipótese de Lavrium ter sido a *única* fonte de prata de Corinto mas sugere que aquelas minas foram *um* dos pontos de abastecimento; o quadro que as análises sugerem corresponde aos períodos alternados de paz e de guerra entre as duas cidades.

Se, na Antiguidade, não se conhecia processo de eliminar, da prata, os vestígios de ouro, conhecia-se todavia o processo de copelação (aquecimento por meio de corrente de ar) para eliminar o cobre — processo que se applicava ao chumbo argentífero extraído do minério. Este processo removia o chumbo por oxidação e, ao mesmo tempo, o cobre. A pequena percentagem de cobre (menos de 1 %) da prata ateniense testemunha a mestria dos seus artifices. As percentagens mais elevadas de cobre na prata de outras cidades reflecte menos habilidade; nalguns casos, porém, as variações sistemáticas do teor de cobre podem interpretar-se como uma adição intencional, já com a intenção de produzir moedas de maior duração já com a de desvalorizar a moeda. As análises que realizámos por activação com neutrões denunciaram uma curiosa usança das oficinas monetárias macedónicas durante todo o século V a. C. O anverso do tetróbolo cunhado neste período apresenta umas vezes um cavalo com um

cavaleiro, e outras vezes o cavalo sem cavaleiro. Verificou-se, pelas análises, que as moedas «com cavaleiro» tinham um teor de cobre inferior a 0,25 % e que o teor do mesmo metal nas moedas «sem cavaleiro» variava de 5 a 24 %. Havia portanto uma desvalorização intencional em larga escala. Os tetróbolos «sem cavaleiro» eram possivelmente moedas só para uso interno, e os tetróbolos «com cavaleiro» seriam reservados para manter a reputação da moeda macedónica nos mercados estrangeiros. Podemos até, dando largas à imaginação, pensar que só os familiares da oficina monetária conheceriam o significado dos símbolos e que fizeram fortuna com a prata que arrecadavam.

Dentre as análises realizadas em Oxford pelo método da espectrografia óptica, a da cerâmica pintada minóica e micénica comum no Egeu entre 1500 e 1100 revestiu-se de particular interesse (CATLING, 1963). Provou-se que a composição dos fragmentos provenientes de Micenas era diferente da dos fragmentos de Cnossos e isso tornou possível determinar a importância relativa das duas cidades como centros de exportação para vários pontos do Mediterrâneo — o Egipto e o Levante por exemplo. Também se analisaram alguns fragmentos encontrados em Chipre, uns em tudo semelhantes aos micénicos e outros «a imitar a cerâmica de Micenas». Enquanto todos os quarenta fragmentos do primeiro grupo apresentavam a composição típica da cerâmica de Micenas, nenhum dos do segundo grupo tinha essa composição. Isto deita por terra a ideia de que a «cerâmica imitativa da micénica» era feita em Micenas e exportada e, pelo contrário, alicerça a hipótese de que era fabricada em Chipre por oleiros micénicos emigrados.

Referências bibliográficas

- AITKEN, M. J.; EMELEUS, V. M.; HALL, E. T., 1960: «Neutron Activation of Ancient Silver Coins», *Copenhagen Conference. I. A. E. A.*, Viena.
- AITKEN, M. J., 1961: *Physics and Archaeology* (Interscience, New York e Londres).
- AITKEN, M. J.; TITE, M. S.; REID, J., 1964; «Thermoluminescent Dating of Ancient Ceramics», *Nature*, vol. 202, n.º 4936, 1032-1033.
- CATLING, H. W., 1963: «Minoan and Mycenaean Pottery: Composition and provenance». *Archaeometry*, 6, 1-9.
- GRÖGLER, N.; STAUFFER, H., 1959: *Helv. Phys. Acta*, 32, 129-34 e 284-6.
- KENNEDY, G.; KNOPFF, L., 1960: *Archaeology*, 13, 147-8.
- LIBBY, W. F., 1955: *Radiocarbon Dating* (2ª edição), Univ. of Chicago Press, Chicago (1955).
- SABELS, B. E., 1962: *Symp. Radioactive Dating, Athens*, International Atomic Energy Agency, Viena, 87.
- ZELLER, E. J.; WRAY, J. L.; DANIELS, F., 1957: *Bull. Am. Ass. Pet. Geol.*, 41, 121-9.