



TRADUÇÃO - TRANSLATION

Data final do mecanismo de Anticítera
Christián C. Carman¹

Traduzido por
Beatriz Bandeira

Doutora em Epistemologia e História da Ciência – UNTREF - Buenos Aires
Pós-Doutoranda em História da Ciência – FFLCH/USP
bandeirabeatrizbb@gmail.com

Resumo: O mecanismo de Anticítera é um instrumento astronômico mecânico que foi descoberto em um antigo naufrágio (por volta de 60 A.E.C.) no início do século XX. Não existe consenso sobre a questão de saber se o aparato foi construído pouco antes do naufrágio, ou significativamente mais cedo. No entanto, há um emergente consenso entre estudiosos sobre a data dos mostradores da parte posterior do mecanismo: o mostrador de Saros começaria em 27 de abril de 205 A.E.C., e o mostrador Metônico quatro meses sinódicos antes, ou seja, em 25 de agosto do mesmo ano. Usando essas duas datas de início, junto com as posições de alguns ponteiros que ainda aparecem nos fragmentos existentes do aparato (Weinberg, 1965) calculou-se a data final do mecanismo (ou seja, a última data que ele mostrou quando a manivela foi acionada, algum tempo antes do naufrágio) por volta de 5 de março de 193 A.E.C., ou um mês anomalístico antes.

Palavras-chave: Época do mecanismo de Anticítera, data final do mecanismo de Anticítera, ponteiro Metônico, dispositivo de *pin and slot*, preditor de eclipse, anomalia lunar.

¹ Journal for the History of Astronomy 2017, Vol. 48(3) 312–323
© The Author(s) 2017
Reprints and permissions: sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav
DOI: 10.1177/0021828617721553
journals.sagepub.com/home/jha
SAGE

Introdução

O mecanismo de Anticítera é um instrumento astronômico mecânico que foi descoberto no início do século XX, em um antigo naufrágio que foi datado em torno da década de 60 A.E.C.². Não existe consenso sobre a questão de saber se o aparato foi construído pouco antes do naufrágio ou significativamente mais cedo³. Depois de vinte séculos sob a água, está incompleto e quebrado em vários fragmentos que são, no entanto, suficientes para reconstruir a principal estrutura e as funções do dispositivo. Com vários ponteiros interconectados e acionados por engrenagens dentadas, que indicavam as posições do Sol e da Lua (e provavelmente, dos planetas) no zodíaco, a data de acordo com o calendário egípcio, a data em um calendário lunisolar grego, e também as previsões de eclipses solares e lunares⁴.

Na parte de trás do mecanismo havia dois grandes mostradores em forma de espirais com alguns mostradores subsidiários dentro deles. A espiral superior (dividida com precisão de meses) mostrou a data de acordo com um calendário lunisolar baseado

Este artigo está parcialmente baseado em dados processados no arquivo de investigações experimentais do Projeto de Pesquisa Mecanismo de Anticítera em colaboração com o Museu Nacional Arqueológico de Atenas (ver Freeth et al., 2006).

² WEINBERG, G. D., GRACE, V. R.; EDWARDS, G. R.; ROBINSON, H. S.; THROCKMORTON, P. & RALPH, E. K. The Antikythera Shipwreck Reconsidered, *Transactions of the American Philosophical Society*, 55 (3), 1965, pp. 3-48; A. Cristopoulou, A. Gadolou e P. Bouyia (eds), *The Antikythera Shipwreck: The Technology of the Ship, the Cargo, the Mechanism*.

³ PRICE, D. de S. *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism — A calendar computer from ca. 80 BC —*. Trans. Am. Phil. Soc. New. Ser., 64, 1–70 (1974); reprinted by Science History Publications, New York, 1975. CARMAN, C. C., & EVANS, J. On the epoch of the Antikythera mechanism and its eclipse predictor. *Archive for History of Exact Sciences*. 182, 2014. PRICE, Derek. de Solla. *Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism - A Calendar Computador de ca. 80 a.C.*, Transactions of the American Philosophical Society, 66 (7), 1975, pp. 1-19, deduzido com um argumento provavelmente incorreto de que a data é na década de 190 B.C.E.; CARMAN, C & EVANS, J. *On the Epoch of the Antikythera Mechanism and Its Eclipse Predictor*, *Archive for History of Exact Sciences*, 68, 2014, pp. 693-774, favorecem uma data de construção dentro de alguns ciclos Saros de 205 B.C.E.; FREETH, T. *Eclipse Prediction on the Ancient Greek Astronomical Calculating Machine Known as the Antikythera Mechanism*, *PLoS ONE*, 9 (7), 2014, p. e103275, sugere a mesma data de início, mas diz que “não se deve necessariamente inferir que a data do Mecanismo de Anticítera é a mesma que a data a partir da qual o mostrador Saros foi construído” (p. 11). IVERSEN, P. *The Calendar on the Antikythera Mechanism and the Corinthian Family of Calendars*, *Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies em Atenas*, 86, 2017, pp. 129-203, e JONES, A. *A Portable Cosmos: Revealing the Antikythera Mechanism, Scientific Wonder of the Ancient World*, (Oxford: Oxford University Press, 2017), pp. 157-60, argumentam por uma datação mais próxima do naufrágio.

⁴ JONES, A. *A portable Cosmos: Revealing the Antikythera Mechanism, Scientific Wonder of the Ancient World*. Oxfor. University Press 1 edition, February 1, 2017. (ver Nota 2).

no ciclo Metônico, que distribui, em um padrão fixo, 235 meses sinódicos ao longo de 19 anos civis (de 12 ou 13 meses cada). A espiral inferior foi um preditor de eclipse com base no ciclo Saros de 223 meses sinódicos (igual a 239 meses anomalísticos, ou a 242 meses draconônicos).

Em 2014, Carman & Evans investigaram as possíveis datas da época para o ano do mostrador de Saros⁵. O principal resultado é que, o eclipse solar do mês 13 deste mostrador, pertence quase que certamente, à série solar Saros 44, previamente estabelecido⁶ pela distribuição de eclipses em 6 - (ou ocasionalmente 5-) meses de intervalo baseados no ciclo Saros da Babilônia. Os autores (Carman & Evans) assumiram este resultado, mas também mostraram que as horas do dia para os eclipses; solares e lunares, inscritas no mecanismo foram excelentemente modeladas por um esquema em que, o início do movimento médio do Sol e da Lua era concebido pelo método de aritmética estilo babilônico. (Os métodos de estilo babilônico resultaram em um ajuste melhor do que os epiciclos).

A melhor concordância entre as horas do dia inscritas para os eclipses, e as horas do dia calculadas teoricamente a partir deste modelo ocorre se, a Lua Cheia do mês 1 do mostrador de Saros corresponde a 12 de maio de 205 A.E.C., com o mostrador Exeligmos definido como 0 (zero). As soluções também são possíveis em um ciclo Saros mais tarde com o mostrador Exeligmos definido em 8 horas (neste caso, a Lua Cheia do mês 1 = 23 de maio de 187 A.E.C.), e dois ciclos Saros depois com o mostrador Exeligmos ajustado para 16 horas (Lua Cheia do mês 1 = 3 de junho de 169 A.E.C.), embora estes sejam alguns dos maiores erros de ajuste⁷. Para épocas posteriores possíveis, o ajuste se torna progressivamente pior.

É também digno de nota, que a série solar Saros 44 terminou com o eclipse solar de 7 de junho de 168 A.E.C.⁸. Assim, é improvável que o mostrador do eclipse tenha sido projetado mais de um, ou dois ciclos de Saros após 168 A.E.C.. De modo geral, o sistema babilônico passou por uma recalibração após o término de uma série de

⁵ CARMAN, C. C., & EVANS, J. On the epoch of the Antikythera mechanism and its eclipse predictor. *Archive for History of Exact Sciences*. 182, 2014.

⁶ FREETH, T., JONES, A. STEELE, J. & BITSAKIS, Y. Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism. *Nature* 454, 2008. 614–617. Additional information is available in the “Supplementary Notes”. <http://www.nature.com/nature>.

⁷ FREETH, op. cit., 2014. Em princípio, datas de início um ou dois ciclos Saros antes da data de início de erro mínimo também funcionariam.

⁸ ESPENAK, F. Catalog of the eclipses of solar Saros series 44 at <http://www.eclipse-wise.com/solar/SEsaros/SEsaros044.html>.

Saros. De fato, houve uma recalibração entre 132 e 110 A.E.C.⁹. Freeth (2014), usando um procedimento parcialmente independente, obteve resultados semelhantes para as datas de épocas possíveis.¹⁰

Na sequência, trabalharemos, portanto, com 12 de maio de 205 A.E.C., como a possibilidade mais adequada para a Lua Cheia do primeiro mês do mostrador do eclipse (com o mostrador Exeligmos ajustado para 0).

Neste cenário, o primeiro dia do mostrador do eclipse foi 15 dias antes, ou seja, em 27 de abril de 205 A.E.C. Chama-se isso, de período de erro mínimo (ou data inicial) para o mostrador Saros. Contudo, deve-se ter em mente, que datas de início um ou vários ciclos Saros mais tarde não podem ser excluídos com base nos eclipses.

Esta data implica que o início dos mostradores Saros e Metônicos não podem corresponder ao mesmo mês, pois como Paul Iversen e John Morgan apontaram para o autor em comunicações pessoais, há fortes evidências de que o início do mostrador Metônico caiu em agosto ou setembro¹¹. Recentemente, Paul Iversen (2017), usando uma análise completa do calendário, argumentou que o primeiro dia do primeiro mês do mostrador Metônico foi (aproximadamente) 25 de agosto do mesmo ano (205 A.E.C.)¹². Assim, o quadrante de Saros começou 4 meses sinódicos antes no mesmo ano que o mostrador Metônico.

⁹ CARMAN, & EVANS, op. cit., 2014. p.702. STEELE, J. M. Eclipse prediction in Mesopotamia. *Archive for History of Exact Science*. 2000a. pp. 422–424; 431–433.

¹⁰ FREETH, T. Eclipse Prediction on the Ancient Greek Astronomical Calculating Machine Known as the Antikythera Mechanism. *PLoS ONE* 9(7): e103275, 2014. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0103275>. CARMAN, & EVANS, op. cit., 2014. pp. 772–3. Freeth, *Eclipse Prediction*, (ver Nota 2). No entanto, Freeth também incluiu várias possibilidades em que o eclipse solar do mês 13 pertence à série solar 50 do Saros. Carman e Evans, *On the Epoch* (ver Nota 2), pp. 772-3, mostraram que essas soluções podem certamente ser excluídas. Freeth também usou um método no qual a distribuição de eclipses não era baseada no ciclo de Saros, mas em um sistema mais complexo de sua própria concepção. Porém, sua solução, e a solução da série Saros diferem apenas nos meses em que ocorrem dois eclipses - e são meses que não são preservados no mecanismo. (O esquema Saros descrito por Carman & Evans tem um eclipse solar no mês 148, enquanto o esquema Saros desenvolvido por Freeth coloca o mesmo eclipse no mês 149. O esquema Saros de Carman & Evans tem um eclipse lunar no mês 213, enquanto no esquema de Freeth, ele o coloca no mês 214).

¹¹ CARMAN, & EVANS, op. cit., 2014. (Nota 2) p. 762.

¹² IVERSEN, 2017. (Nota 2).

Neste artigo, usaremos essas duas datas de início (uma para o preditor de eclipse e outra para o mostrador do calendário Metônico) em 205 A.E.C., junto com as posições que alguns indicadores ainda mostram nos fragmentos existentes do mecanismo, para calcular sua data final. Por data final, queremos dizer a data que o aparato mostrou quando foi acionado pela última vez, algum tempo antes do naufrágio.

Para fazer isso, devemos supor que os ponteiros existentes não se moveram significativamente após o naufrágio. Discutiremos a plausibilidade desta hipótese em cada caso. A data final obtida é, aproximadamente, 5 de março de 193 A.E.C., ou um mês anomalístico anterior. O procedimento que seguiremos é bastante simples. Existem apenas dois ponteiros existentes nos fragmentos: um no mostrador Metônico, e outro no mostrador Exeligmos. Sabendo-se o começo de discagem de cada data, podemos calcular as datas em que ambos os ponteiros apontariam para a posição para a qual, eles ainda estão apontando agora. Chegou-se a quatro candidatos, mas ambos, o contexto histórico e as considerações mecânicas, favorecem fortemente o candidato de 193 A.E.C..

Encontrando a data final

No fragmento B, quase todo o ponteiro do Metônico sobreviveu (ver parte inferior da figura 1)¹³. Uma parte do ponteiro perto da haste, e parte do dispositivo de rolamento que o segurava na haste estão faltando. No entanto, por meio de uma análise cuidadosa de tomografia computadorizada por microfocos (TC) deste fragmento, os restos do dispositivo de rolamento ainda existentes permitem-nos confirmar, que ele está bem alinhado com a ponta do ponteiro (Figura 1).

Portanto, é razoável supor que o ponteiro, apesar de seu estado danificado, quase mostra com sua ponta bem preservada, a posição que tinha quando não estava quebrado, com o pino-guia ainda na fenda espiral, e o pino em forma de seta (que servia como o ponteiro) no lugar. É possível medir, portanto, a última posição que o ponteiro mostrou. Posição esta, que está apontando para os primeiros dias do mês 143, isto é, um pouco mais de 142 meses após o dia 1 do mostrador Metônico.

¹³ ANASTASIOU, M., SEIRADAKIS, J. H.; CARMAN, C. C. & EFSTATHIOU, K. The Antikythera Mechanism: The construction of the Metonic pointer and the back plate spirals, *Journal for the History of Astronomy*. Vol. 45, 2014. pp. 418–41.

É importante lembrar, que o mostrador Metônico não oferece a precisão de leitura para um único dia, e provavelmente não se esperava que um usuário antigo lesse uma data precisa neste discador. (Ele poderia saber o dia exato lendo o mostrador do calendário Egípcio situado na parte da frente do mecanismo). No entanto, medições cuidadosas mostram que o ponteiro está apontando para o dia 6 do mês 143 (ver Figura 2). Ou seja, indica um período que é 142 meses sinódicos, 5 dias, além do dia 1 do ciclo Metônico.

Se assumirmos a data de início de Iversen (2017) de 25 de agosto de 205 A.E.C. para o mostrador Metônico, então a última posição foi por volta de 22 de fevereiro de 193 A.E.C., se tivesse avançado em menos de um ciclo Metônico. Claro, não podemos assumir que a última posição é menor do que um ciclo Metônico a partir da data de início, mas o que sabemos é que a posição final é 22 fevereiro de 193 A.E.C., ou qualquer múltiplo inteiro de 19 anos antes ou depois dessa data.

Usa-se como data padrão aqui, 22 fevereiro, mas esta análise não exige uma leitura tão precisa do ponteiro Metônico. O fato deste ponteiro estar quebrado, e com o alinhamento imperfeito entre o dispositivo de rolamento e o próprio ponteiro, impede-nos de supor uma data estritamente definida. Além disso, um erro devido à construção dos dentes das engrenagens deve ser aceitável. Esse tipo de erro já foi analisado por Edmunds (em comunicação pessoal), e segundo ele, no caso do ponteiro Metônico, o desvio máximo de uma exibição perfeitamente precisa, no pior cenário (tendo folga, divisão desigual dos dentes e a imperfeição por conta dos dentes triangulares) seria de 15 dias¹⁴. Em nossa análise, assumiremos como admissível qualquer data até um mês sinódico, após ou antes, de 22 de fevereiro.

¹⁴ EDMUNDS, M. “An Initial Assessment of the Accuracy of the Gear Trains in the Antikythera Mechanism,” *Journal for the History of Astronomy*, 42, 2011, pp. 307–20 (Ver p. 316).

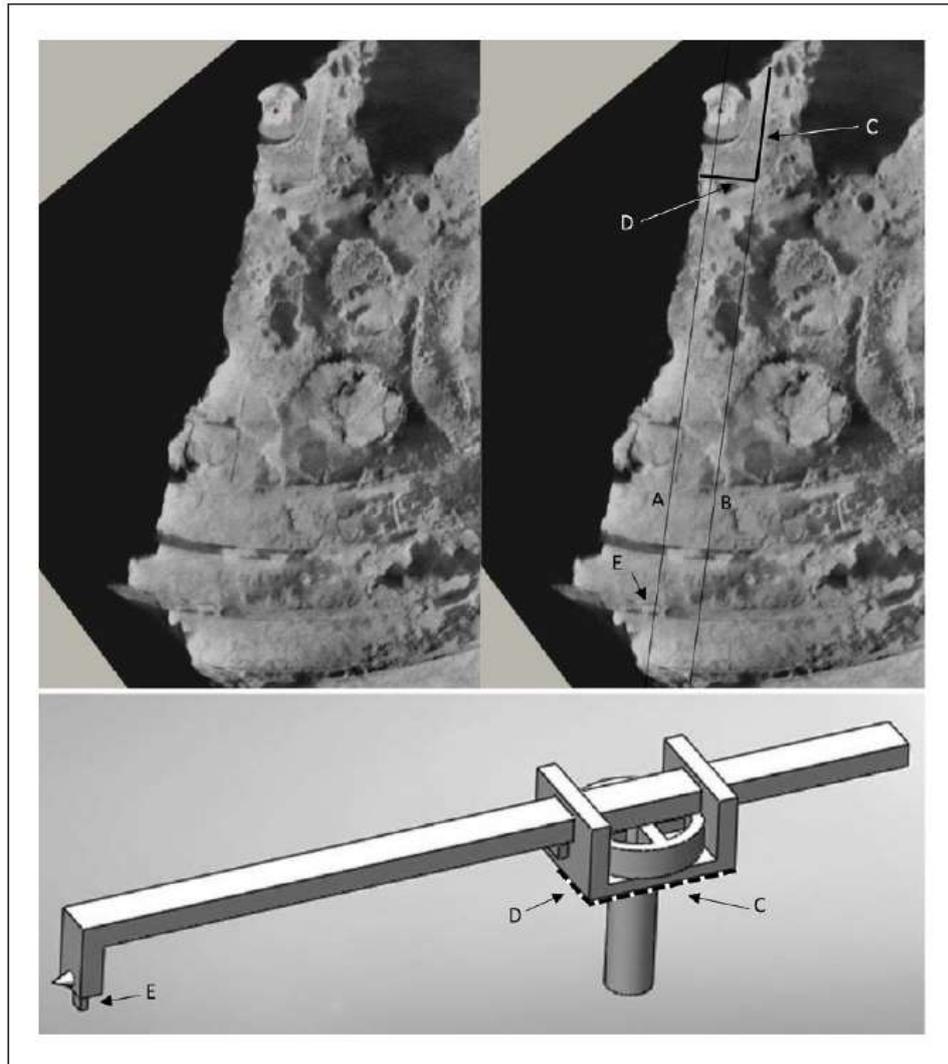


Figura 1. Os dois lados da figura superior são imagens idênticas de Tomografia Computadorizada (TC), mas à direita, sobreposemos algumas linhas e referências. *E*, é o pino-guia e, *C* e *D*, são os lados inferiores do suporte do ponteiro. A linha *B* é colinear com a borda, *C*, do suporte do ponteiro. A linha *A*, é paralela a linha *B*, mas passa pelo centro do eixo. A linha *A*, passa pelo pino-guia *E*, mas não exatamente no centro, então o ponteiro está muito bem, mas não perfeitamente alinhado com o suporte do ponteiro. A parte inferior da figura reproduz a reconstrução do ponteiro Metônico em 453, para comparação em Anastasiou et al., (2014, Nota 12), (Direitos autorais reservados ao Projeto de Pesquisa do Mecanismo de Anticítera. Imagem gentilmente cedida por T. Freeth).

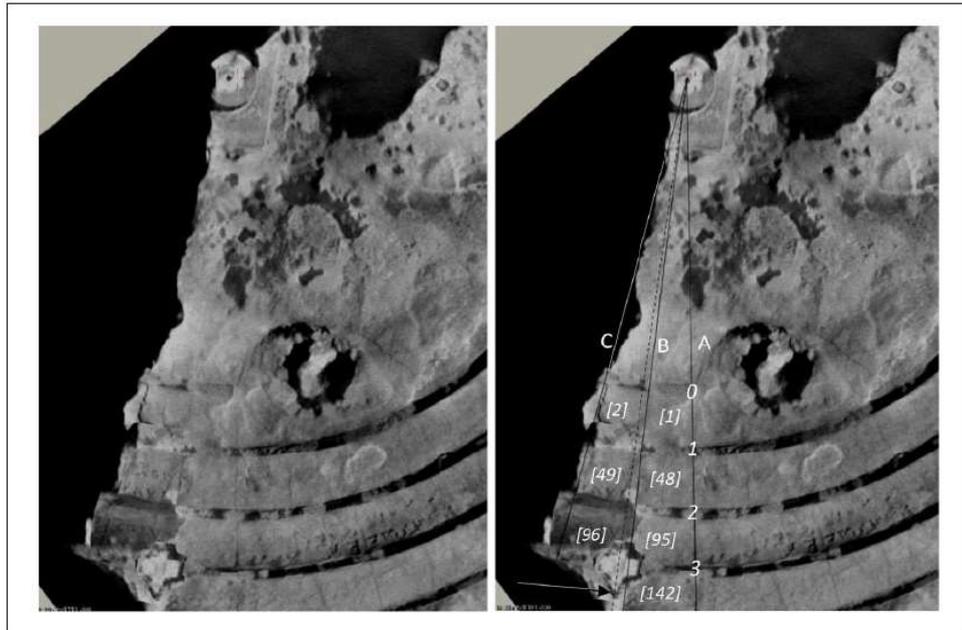


Figura 2. Os dois lados da figura são compostos de TC idênticos, mas à direita, sobreposemos algumas linhas. Como linhas A, B, e, C, passam pelas linhas que dividem os primeiros meses de giro separado da espiral Metônica. Os números de 0 a 3 indicam as voltas da espiral. A linha tracejada une o centro do eixo do ponteiro com o meio do pino em forma de seta. Os números entre colchetes indicam o mês. O ponteiro está, portanto, no segundo mês da terceira volta, ou seja, no mês 143, próximo ao início do mês. (Direitos autorais reservados ao Projeto de pesquisa Mecanismo de Anticítera. Imagem gentilmente cedida por T. Freeth).

Uma revolução do mostrador Exeligmos compreende três ciclos Saros, ou seja, 669 meses sinódicos. No fragmento A, há vestígios nítidos do ponteiro de Exeligmos, como Freeth e Jones apontaram¹⁵. Portanto, nosso próximo passo foi calcular a posição que o ponteiro Exeligmos teria em cada extrapolação Metônica de 22 de fevereiro de 193 A.E.C.. Já sabemos que a primeira volta do mostrador Saros e, portanto, do mostrador do Exeligmos também, começaram quatro meses antes da primeira volta do mostrador Metônico. Isso significa que quando o ponteiro do Metônico indicava o início do mês 1, o mostrador do Saros já estava no início do mês 5. Após 142 meses, quando o mostrador do Metônico indicava o início do mês 143, o mostrador do Saros estava no início do mês 147. O ponteiro do Exeligmos apontado para o dia 6 do mês 147 em seu primeiro Saros quando o ponteiro do Metônico indicava dia 6 do mês 143, ou seja, 22 de fevereiro de 193 A.E.C. Quando, após 235 meses, o ponteiro do Metônico está novamente no dia 6 do mês 143, o ponteiro do Exeligmos direcionado no dia 6 do mês

¹⁵ FREETH & JONES, op. cit., 2014.

382 (147 + 235) após mais um ciclo Metônico, no dia 6 do mês 617; e depois mais um ciclo de Saros, terá completado um Exeligmos inteiro e apontará para o dia 6 do mês 183 (47 + 235 + 235 + 235 - 669); e assim por diante. Como está evidente na Figura 4(a), o ponteiro do Exeligmos, embora danificado, aponta claramente no sentido horário no meio do primeiro terço (ou “zero horas”) do mostrador Exeligmos, por isso estamos interessados em datas consistentes com esta condição.

Na Figura 3, traçou-se um mapa das posições do ponteiro do Exeligmos para todas as extrapolações Metônicas e dentro de 800 anos a partir da data do naufrágio¹⁶, podemos presumir com segurança que o mecanismo não indicaria uma data fora desse intervalo.

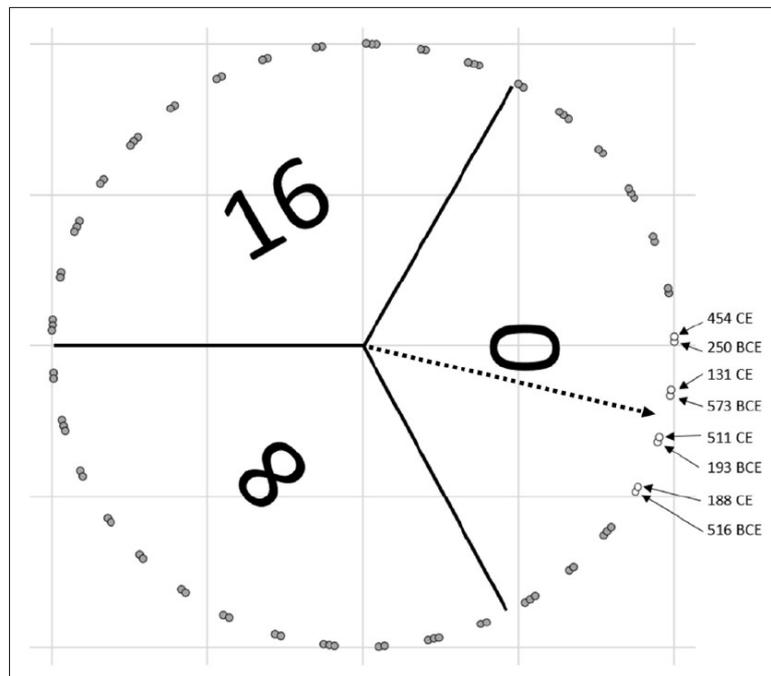


Figura 3. Posições do ponteiro de Exeligmos nas diferentes extrapolações Metônicas de 22 fevereiro de 193 A.E.C., de 858 A.E.C.a 758 E.C. A linha pontilhada mostra a orientação atual do ponteiro.

¹⁶ Como exemplo, descreve-se o procedimento seguido para o valor correspondente a 511 E.C. na Figura 3. sabemos que em 22 de fevereiro de 193 A.E.C., quando o ponteiro do Metônico indicava o dia 6 do mês 143, o ponteiro do Exeligmos indicava o dia 6 do mês 147. Avançando no tempo por 37 ciclos Metônicos ($37 \times 19 = 703$ anos) nos leva a 511 E.C. ($= -192 + 703$). Em 37 ciclos Metônicos, ambos mostradores passaram de 8695 meses sinódicos (37×235). O ponteiro Metônico obviamente estaria apontando novamente na mesma direção. Mas o indicador do Exeligmos girou $8695/669 = 12,99701$ voltas completas, ou seja, 12 voltas completas mais 667 meses sinódicos, o que é exatamente 2 meses sinódicos menos que 13 voltas completas. Portanto, o ponteiro do Exeligmos estará apontando para uma posição dois meses antes até então, ou seja, para o dia 6 do mês 145. Assim, o ponteiro estará 5 dias e 144 meses além do início da "zona 0 horas". Como o mostrador exeligmos gira uma volta a cada 669 meses, cada mês implica uma rotação do ponteiro de $(360^\circ/669 =) 0,538^\circ$. Portanto, 144 meses e cinco dias correspondem a uma rotação de $77,58^\circ$ a partir do início da zona 0 horas. Isto é a posição traçada no círculo correspondente a 511 E.C., na Figura 3.

Como a Figura 3 mostra claramente, devemos considerar apenas oito candidatos, 22 de fevereiro dos anos 573, 516, 250 e 193 A.E.C., e 131, 188, 454 e 511 E.C.. Mas uma análise detalhada mostra que o ponteiro definitivamente não está apontando para os pares nos dois extremos. Na Figura 4 (c) e (d), sobrepomos na posição existente do ponteiro, a direção que o contorno do ponteiro teria se apontasse para esses candidatos. A discordância é evidente, então podemos abandonar com segurança os quatro candidatos extremos e manter apenas os quatro do meio: 573 A.E.C., 193 A.E.C., 131 E.C. e 511 E.C.. O ponteiro está alojado em seu eixo e as engrenagens motrizes estão no lugar, portanto, ao contrário do caso do ponteiro do Metônico, não há razão para supor que poderia ter ocorrido qualquer desvio significativo do ponteiro após o naufrágio. Por outro lado, um erro de 1 mês na posição do ponteiro Metônico implicaria um deslocamento de apenas $0,54^\circ$ do ponteiro do Exeligmos.

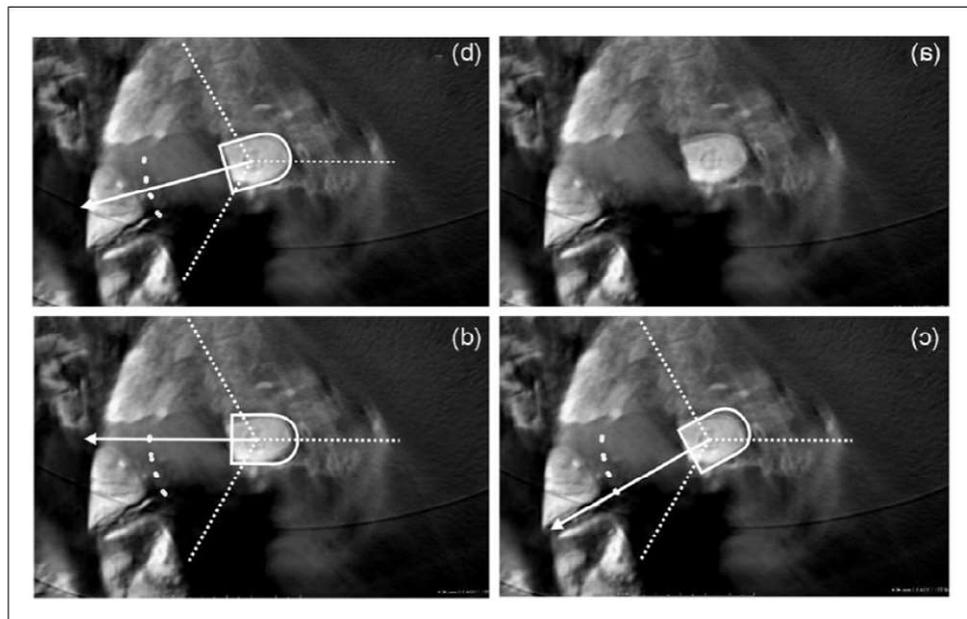


Figura 4 As quatro imagens de TC são idênticas. 4(a) é uma TC não marcada do ponteiro Exeligmos existente. Em 4(b), sobrepomos sobre o ponteiro existente uma forma simétrica e estendemos sua linha de simetria para descobrir para onde aponta. Na Figura 4(c) e (d), sobrepomos sobre a posição existente do ponteiro, a direção que o contorno do ponteiro teria, se apontasse para os candidatos extremos entre as extrapolações Metônicas. O desacordo é evidente em 4(c) e 4(d). (Direitos reservados ao Projeto de Pesquisa Mecanismo de Anticítera. Imagem gentilmente cedida por T. Freeth).

Além disso, a estimativa de Edmunds (em comunicação pessoal) de erro máximo na posição angular (devido as imperfeições- nas engrenagens mencionadas acima), neste caso, pode atingir cerca de $2,2^\circ$. Portanto, um erro total de 3° é mais generoso do

que o necessário. Nós também devemos permitir, digamos, 5° de incerteza, uma vez que não temos certeza da direção exata do ponteiro, porque o próprio ponteiro está incompleto. Mas a distância angular do candidato nos extremos da linha ao longo da qual o ponteiro parece apontar está em torno de 15° , o que significa que eles podem ser excluídos com segurança.

No fragmento A (atrás), parte do dispositivo de *pin and slot* (Um dispositivo ligado a engrenagens superiores e inferiores, que faz com que elas girem de maneira que, o *pin* desliza para trás e para frente no *slot*, fazendo com que a velocidade de topo da roda varie, mesmo que a velocidade da roda inferior seja constante) mantem-se preservada¹⁷. Isso nos permite calcular a anomalia lunar que o mecanismo mostrou em sua data final, que como pode ser visto na Figura 5, é cerca de 211° medido a partir do apogeu (o ponto mais distante da Lua à Terra, no qual a velocidade da Lua é mais lenta).

Alguém pode ficar tentado a usar este dado (211°) para restringir nossas possibilidades ainda mais, mas isso exigiria a existência de um erro irracionalmente pequeno na posição medida do ponteiro Metônico. Um mês anomalístico é em torno de 27,55 dias. Portanto, à margem de um mês sinódico em cada lado do ponteiro Metônico, todas as possíveis anomalias são cobertas duas vezes. Não seria seguro presumir um limite mais estreito.

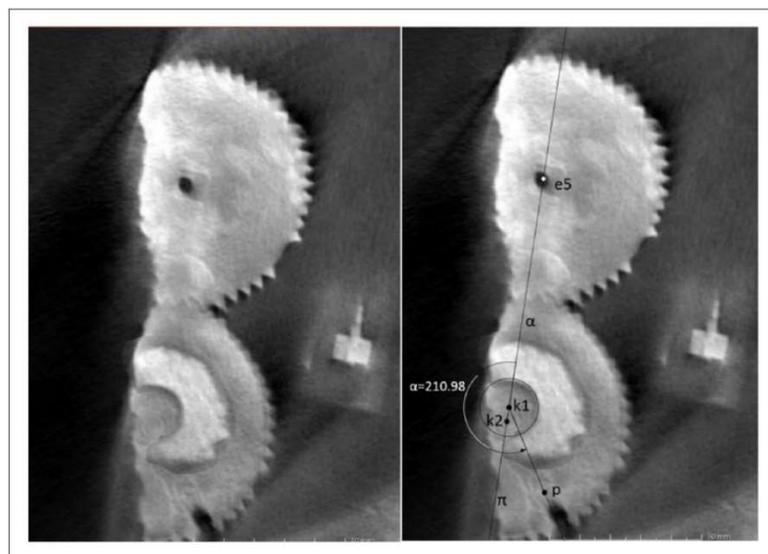


Figura 5. Ambos os lados da figura são idênticos. A engrenagem com centro $k1$ (não visível como é visível na engrenagem debaixo) carrega o pino P , enquanto a engrenagem

¹⁷ FREETH, et al., op. cit., 2006.

centrada em k_2 possui a ranhura. Ambas as engrenagens giram no sentido anti-horário. Portanto, o *slot* gira mais rápido em relação a k_2 quando está na parte inferior da figura, mais perto de k_2 e mais lento quando está mais longe, no apogeu (α). A anomalia média medida do apogeu é próxima a 211° . (Todos os direitos autorais reservados ao Projeto de Pesquisa Mecanismo de Anticítera Imagem gentilmente cedida por T. Freeth).

Mas o valor da anomalia lunar pode nos ajudar a identificar com mais precisão o dia, ou dias exatos por volta de 22 de fevereiro, que o mecanismo mostrava no momento do naufrágio. A leitura do ângulo anômalo na TC é muito precisa e todas as peças relevantes (mandril, engrenagens, *pin*, *slot*, etc.) estão no lugar. No entanto, Mike Edmunds (em comunicação pessoal) revelou que para esta engrenagem, o desvio padrão na posição angular é de cerca de $\pm 14^\circ$ na anomalia. Neste caso, por não estarmos usando o valor para descartar possibilidades, mas para encontrar a mais provável, é melhor usarmos o desvio padrão em um cenário razoável em vez, do desvio máximo no pior cenário. Se também permitirmos um erro de ± 4 dias na configuração mecânica (porque corrigir a anomalia em um valor desejado não é muito fácil), devemos tolerar um erro de ± 5 dias.

Sabemos que na primeira Lua Cheia do ciclo de Saros, uma anomalia lunar era 0^{18} e, pelo fato de o ciclo Saros (e, portanto, também os Exeligmos) envolve um número completo de meses anomalísticos, somos capazes de calcular uma anomalia lunar que o mecanismo mostraria em qualquer posição possível do mostrador Exeligmos. Na Tabela 1, damos os dois dias mais próximos de cada candidato que mostra uma anomalia lunar correta (um antes e um após 22 de fevereiro), e o número de dias entre esses dias e 22 de fevereiro. Claro que, o par de datas para cada ano candidato terá um mês anomalístico de diferença.

¹⁸ANASTASIOU, M.; BITSAKIS, Y.; JONES, A.; MOUSSAS, X.; TSELIKAS, A. and M. ZAFEIROPOULOU, M. "The Front Cover Inscription," *Almagest*, 7(1), 2016, pp. 250–97 (especially pp. 185–91); CARMAN & EVANS, "On the Epoch" (VER Nota 2), pp. 722–9.

Tabela 1. Exame dos candidatos para a data final do Mecanismo de Anticítera.

Ano	Data	Mês Exelig- mos ¹⁹	Representa Anomalia	Fevereiro- Diaa	Reconfiguração Metônico/Saros	Giros da Ma- nivela
573 B.C.E.	13 de Fevereiro	129.9	220°	-9	-41	-1718
	11 de Março	130.8	213°	18		
193 B.C.E.	6 de Fevereiro	146.7	213°	-16	0	55
	5 de Março	147.6	213°	12		
131 E.C.	16 de Fevereiro	128	208°	-6	35	1562
	15 de Março	128.9	213°	22		
511 E.C.	2 de Fevereiro	144.8	208°	-12	76	3335
	8 de Março	145.7	213°	16		

No momento, dos quatro pares de candidatos, o único que tem algum plausibilidade histórica razoável é a do ano 193 A.E.C.. É difícil imaginar um cenário em que algum usuário escolheria girar a manivela 1718 vezes e redefinir os ponteiros do Saros e do Metônico 41 vezes para chegar a uma data 500 anos antes do naufrágio, e algo semelhante poderia ser dito para os candidatos de 131 e 511 E.C.. Portanto, 193 A.E.C. é o único candidato razoável. Entre os dois candidatos 193 A.E.C., o de 5 de março deve ser ligeiramente eleito por estar mais perto de 22 de fevereiro.

Podemos concluir, portanto, que a última data que o mecanismo apontou foi 5 de março 193 A.E.C. (± 5 dias) ou, provavelmente, 6 de fevereiro do mesmo ano (± 5 dias).

Conclusões

O fato de que o único candidato remotamente razoável está a menos de um ciclo Metônico da configuração inicial é intrigante, mas não é óbvio qual conclusão

¹⁹A fração do mês é expressa antecipadamente, não importando se para chegar a essa data em particular, o botão teve que ser girado para trás. Portanto, 129,9 significa 129 meses e 9/10 do mês 130.

deveria ser tirada deste acontecimento. Parece haver duas possibilidades principais: (1) Pode ser o caso de o mecanismo simplesmente não ter sido muito usado e nunca ter avançado além de sua época (data de início). Presumivelmente, a data do mecanismo estava definida para sua época, no tempo em que foi feito, mas durante o tempo subsequente entre a fabricação e a destruição ninguém o acionou muito. Esta visão das coisas pode ser apoiada pelo fato de que o anel do calendário egípcio está vários meses fora da posição da data do naufrágio, o que pode implicar que, no momento do naufrágio, o mecanismo não estava nas mãos de um usuário capaz. Ou, (2) em uma visão completamente diferente das coisas, talvez o mecanismo foi definido para a data de sua época, e durante o tempo subsequente foi às vezes girado para datas mais remotas do período, mas depois sempre foi selecionado cuidadosamente de volta a uma época próxima. Este teria sido um procedimento sábio, porque não há mostrador que ajude a controlar o tempo em uma escala maior que um período Calíptico. Manter-se próximo a época teria evitado que o usuário se perdesse no tempo.

A data final exibida pelo dispositivo tem alguma relação com a data possível de construção? Decisivamente não, uma vez que as possibilidades (1) e (2) permanecem abertas. Mas vamos observar que uma data de construção posterior a um ciclo Calíptico (76 anos) após 205 A.E.C., época favorecida por Carman e Evans (2014), por Freeth (2014) e por Iversen (2017) parece improvável. Isto porque, pelo que sabemos, não houve exibição no mecanismo para desambiguar duas datas com mais de 76 anos de diferença (exceto talvez o anel do calendário egípcio, que estava solto e móvel e, portanto, como vimos, estava sujeito a deslocamento).

Portanto, se o usuário girasse além de 129 A.E.C., ele corria o risco de se perder no tempo. Além disso, como mencionado acima, o preditor de eclipse deixou de funcionar satisfatoriamente após o final da série solar Saros 44 (que terminou em 168 A.E.C.), embora talvez isso não tenha sido notado até a recalibração babilônica do Saros que ocorreu em algum momento entre 132 e 110 A.E.C.. Essas considerações, juntamente com o fato de que as datas finais exibidas pelo mecanismo estão próximas da época, isto parece pesar fortemente contra uma data de construção próxima a data do naufrágio. A máquina provavelmente estava velha quando o navio afundou.

No entanto, é importante destacar que o resultado de que a data final é cerca de 11 ½ anos após a data de início não depende da atribuição aos mostradores de datas. Ou seja, se uma data de início de Iversen para o mostrador Metônico não estiver correta, na data final ainda faltam 11 anos e meio após a data de início. A análise requer apenas

a periodicidade do ciclo Exeligmos e Metônico, conforme o mostrador do mecanismo. A única exceção é a parte que envolve uma anomalia lunar, mas isso tem sido usado para determinar com maior precisão as datas candidatas, para não eliminar nenhuma delas. Mesmo aqui, só é necessário assumir que o ciclo Metônico começou 4 meses após o ciclo Saros, sem assumir algum par particular de datas.

Agradecimentos

Sou grato a Alexander Jones, que generosamente discutiu comigo um rascunho anterior do artigo para fazer a melhoria do inglês. Algumas das idéias no papel foram o resultado de seu generoso comentário. Quase toda essa pesquisa foi feita em colaboração com James Evans. Ele também discutiu diferentes rascunhos deste artigo. Partes desta pesquisa foram discutidas com Tony Freeth, Paul Iversen, John Morgan e Lina Anastasiou. Estou em dívida com todos eles. Mike Edmunds ajudou muito discutindo comigo possíveis erros na posição dos ponteiros e fazendo alguns cálculos ad hoc para esta pesquisa. Agradeço também pelos comentários Gonzalo Recio, Anibal Szapiro e Diego Pelegrin. O Projeto de Pesquisa do Mecanismo de Anticítera foi, como sempre, extremamente generoso no compartilhamento de imagens e dados.

Financiamento

Os autores divulgaram o recebimento do seguinte apoio financeiro para a pesquisa, autoria e /ou publicação deste artigo: Gostaria de expressar meus agradecimentos pelo apoio do Projeto de Pesquisa PICT-2014-0775 da Agência Nacional de Promoção Científica e Tecnológica da Argentina.

Nota sobre o contribuidor

Christián C. Carman (ccarman@gmail.com) é Professor e Pesquisador da Universidade Nacional de Quilmes, Argentina, e membro pesquisador do Conselho Nacional de Pesquisa da Argentina (CONICET). Ele trabalha em tópicos relacionados à filosofia da ciência (particularmente debate realismo científico), bem como a história da astronomia antiga, relacionada ao mecanismo de Anticítera e com os cálculos das distâncias do Sol e da Lua.

Referências

1. G. Weinberg, V.R. Grace, G. Roger Edwards, H.S. Robinson, P. Throckmorton and E.K. Ralph, “The Antikythera Shipwreck Reconsidered,” *Transactions of the American Philosophical Society*, 55(3), 1965, pp. 3–48; A. Cristopoulou, A. Gadolou and P. Bouyia (eds), *The Antikythera Shipwreck: The Technology of the Ship, the Cargo, the Mechanism* (Athens: National Archaeological Museum, 2012); N. Kaltsas, E. Vlachogianni and P. Bouyia (eds), *The Antikythera Shipwreck: The Ship, the Treasures, the Mechanism* (Athens: National Archaeological Museum, 2012).
2. D. de Solla Price, “Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism – A Calendar Computer from ca. 80 B.C.,” *Transactions of the American Philosophical Society*, 66(7), 1975, pp. 1–19, deduced with a probably incorrect argument that the date is in the 1980s bce; C. Carman and J. Evans, “On the Epoch of the Antikythera Mechanism and Its Eclipse

Predictor,” *Archive for History of Exact Sciences*, 68, 2014, pp. 693–774, favor a construction date within a few Saros cycles of 205 bce; T. Freeth, “Eclipse Prediction on the Ancient Greek Astronomical Calculating Machine Known as the Antikythera Mechanism,” *PLoS ONE*, 9(7), 2014, p. e103275, suggests the same starting date, but says that “it should not necessarily be inferred that the date of the Antikythera Mechanism is the same as the date from which the Saros dial was designed” (p. 11). P. Iversen, “The Calendar on the Antikythera Mechanism and the Corinthian Family of Calendars,” *Hesperia: The Journal of the American School of Classical Studies at Athens*, 86, 2017, pp. 129–203, and A. Jones, *A Portable Cosmos: Revealing the Antikythera Mechanism, Scientific Wonder of the Ancient World* (Oxford: Oxford University Press, 2017), pp. 157–60, argue for a dating closer to the shipwreck.

3. For a systematic introduction to the research on the mechanism as well as an updated bibliography see: Jones, *A Portable Cosmos* (see Note 2).

4. Carman and Evans, “On the Epoch” (see Note 2).

5. T. Freeth, A. Jones, J.M. Steele and Y. Bitsakis, “Calendars with Olympiad Display and Eclipse Prediction on the Antikythera Mechanism,” *Nature*, 454, 2008, pp. 614–7.

6. In principle, starting dates one or two Saros cycles before the minimum-error starting date would also work.

7. See Fred Espenak’s catalog of the eclipses of solar Saros series 44 at <https://eclipse-wise.com/solar/SEsaros/SEsaros044.html>

8. Carman and Evans, “On the Epoch” (see Note 2), 702; J. Steele, “Eclipse Prediction in Mesopotamia,” *Archive for History of Exact Sciences*, 54, 2000, pp. 421–54 (see pp. 442–3).

9. Freeth, “Eclipse Prediction,” (see Note 2). However, Freeth also included several possibilities in which the solar eclipse of month 13 belongs to solar Saros series 50. Carman and Evans, “On the Epoch” (see Note 2), pp. 772–3, showed that these solutions may certainly be excluded. Freeth also used a method in which the distribution of eclipses was not based on the Saros cycle, but on a more complex system of his own devising. However, his solution and the Saros series solution differ only in the months in which two eclipses occur – and these are months that are not preserved on the mechanism. (The Saros scheme described by Carman and Evans has a solar eclipse in month 148, while the non-Saros scheme developed by Freeth puts the same eclipse in month 149. The Saros scheme of Carman and Evans has a lunar eclipse in month 213, while Freeth’s scheme puts it in month 214).

10. Carman and Evans, “On the Epoch,” (see Note 2), p. 762.

11. Iversen, “The Calendar” (see Note 2).

12. M. Anastasiou, J.H. Seiradakis, C. Carman and K. Efstathiou, “The Antikythera Mechanism: The Construction of the Metonic Pointer and the Back Dial Spirals,” *Journal for the History of Astronomy*, 45, 2014, pp. 418–41.

13. M. Edmunds, “An Initial Assessment of the Accuracy of the Gear Trains in the Antikythera Mechanism,” *Journal for the History of Astronomy*, 42, 2011, pp. 307–20 (see p. 316).

14. T. Freeth and A. Jones, “The Cosmos in the Antikythera Mechanism,” *ISAW Papers*, 4, 2012, <<http://dlib.nyu.edu/awdl/isaw/isaw-papers/4/>>.

15. As an example, I describe the procedure followed for the value corresponding to 511 ce in Figure 3. We know that on 22 February 193 bce, when the Metonic pointer indicated day 6 of month 143, the Exeligmos pointer indicated day 6 of month 147. Moving forward in time by 37 Metonic cycles ($37 \times 19 = 703$ years) brings us to 511 ce ($= -192 + 703$). In 37 Metonic cycles, both dials moved through 8695 synodic months (37×235). The Metonic pointer would obviously again be pointing in the same direction. But the exeligmos pointer turned through $8695/669 = 12.99701$ complete turns, that is, 12 complete turns plus 667 synodic months, which is exactly 2 synodic months less than 13 complete turns. Therefore, the exeligmos pointer will be pointing to a position two months earlier than before, that is, to day 6 of month 145. Thus, the pointer will be 5 days and 144 months beyond the beginning of the “0 hours zone.” Because the exeligmos dial turns one revolution every 669 months, each month implies a rotation of the pointer by $(360^\circ/669=)$ 0.538° . Therefore, 144 months and five days correspond to a rotation of 77.58° from the beginning of the 0 hours zone. This is the position plotted on the circle corresponding to 511 ce in Figure 3.

16. See T. Freeth, Y. Bitsakis, X. Moussas, J.H. Seiradakis, A. Tselikas, H. Mangou, M. Zafeiropoulou, R. Hadland, D. Bate, A. Ramsey, M. Allen, A. Crawley, P. Hockley, T. Malzbender, D. Gelb, W. Ambrisco and M.G. Edmunds, “Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator Known as the Antikythera Mechanism,” *Nature*, 444, 2006, pp. 587–91.

17. M. Anastasiou, Y. Bitsakis, A. Jones, X. Moussas, A. Tselikas and M. Zafeiropoulou, “The Front Cover Inscription,” *Amagest*, 7(1), 2016, pp. 250–97 (especially pp. 185–91); Carman and Evans, “On the Epoch” (see Note 2), pp. 722–9.

18. The fraction of the month is expressed in advance, no matter if for arriving at that particular date the knob had to be rotated backward. Therefore, 129.9 means 129 months and 9/10 of the way through month 130.

19. Alexander Jones (personal communication) has suggested that perhaps the Egyptian calendar ring was moved by someone as an aid in measuring the time interval required for the sun to move between two points in the zodiac, and so it should not be considered as necessarily out of place. Of course, one cannot exclude something like this – but moving the calendar ring would not have been necessary for measuring a time interval, since one could simply count months and days on the calendar ring.