

## O MECANISMO DE ANTIKYTHERA: POSSIBILIDADES PARA O ENSINO E A DIVULGAÇÃO DA ASTRONOMIA – PARTE I

## EL MECANISMO DE ANTICITERA: POSIBILIDADES PARA LA ENSEÑANZA Y DIFUSIÓN DE LA ASTRONOMÍA – PARTE I

## THE ANTIKYTHERA MECHANISM: POSSIBILITIES FOR ASTRONOMY TEACHING AND ITS DISSEMINATION – PART I

Wilson Guerra \*  
wilsonguerra@gmail.com

\* Universidade Estadual de Maringá, Maringá – Brasil

### Resumo

O Mecanismo de Antikythera é uma máquina composta por um intrincado sistema de engrenagens de bronze capaz de prever posições celestes, fases da Lua, eclipses e calcular calendários. Encontrado em 1901 por mergulhadores em uma embarcação romana naufragada na ilha de Antikythera junto de inúmeros artefatos arqueológicos, sua construção é estimada em 205 AEC. O objetivo e funcionamento do Mecanismo só começaram a ser entendidos a partir da segunda metade do século XX e revelaram uma elevada sofisticação técnica, surpreendente para a época em que foi construído. O objetivo do presente artigo é investigar o princípio de funcionamento do Mecanismo de Antikythera por meio de um estudo teórico de artigos publicados sobre a máquina, evidenciando as possibilidades interdisciplinares para sua utilização no Ensino e na Divulgação da Astronomia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mecanismo de Antikythera, Astronomia, Ensino de Astronomia.

### Resumen

El Mecanismo de Anticitera es una máquina compuesta por un intrincado sistema de engranajes de bronce capaz de predecir posiciones celestes, fases lunares, eclipses y calcular calendarios. Encontrado en 1901 por buzos en un barco romano destrozado en la isla de Antikythera junto con numerosos artefactos arqueológicos, su construcción se estima en 205 a. C. El propósito y el funcionamiento del Mecanismo solo comenzaron a entenderse a partir de la segunda mitad del siglo XX y revelaron una alta sofisticación técnica, sorprendente para el momento en que se construyó. El objetivo de este artículo es investigar el principio de funcionamiento del Mecanismo de Anticitera mediante un estudio teórico de artículos publicados en la máquina, destacando las posibilidades interdisciplinarias para su uso en la Enseñanza y la Difusión de la Astronomía.

**PALABRAS CLAVE:** Mecanismo de Anticitera, Astronomía, Enseñanza de la Astronomía.

### Abstract

The Antikythera Mechanism is a machine made with a complex gears system enable previewer celestial positions, lunar phases, eclipses and calculate calendars. It was found in 1901 by divers in a wrecked roman ship in the Antikythera island with many archeological artefacts, and it age is estimated in 205 BCE. The mechanism's functions started understandig in second half XX century, showing high technical sofistications for antiquity.

**KEYWORDS:** Antikythera Mechanism, Astronomy, Astronomy Education.

## I. Introdução

O Mecanismo de Antikythera era uma máquina mecânica de concepção geocêntrica capaz de prever posições de corpos celestes, fases da Lua, eclipses e calcular calendários. Seus fragmentos foram encontrados com inúmeros outros artefatos arqueológicos no começo do século XX em uma embarcação romana naufragada próximo à ilha que deu o nome ao aparelho (Figura 1).

Figura 1 - Os maiores fragmentos do Mecanismo de Antikythera.



Fonte: Museu Nacional de Arqueologia de Atenas.

Análises das inscrições no Mecanismo apontam que sua construção deve ter ocorrido por volta de 205 AEC<sup>1</sup>. Petrificada pelo tempo, inicialmente sua aparência fez parecer que se tratava de algum tipo de astrolábio ou instrumento náutico antigo (BANDEIRA, 2014). Mas com as primeiras investigações (1902 a 1910 e depois, 1925 a 1930), o dispositivo mostrou-se um instrumento complexo, muito mais avançado do que qualquer astrolábio conhecido (MOUSSAS, 2014). O objetivo e funcionamento do mecanismo só começaram a ser entendidos décadas depois, principalmente com as propostas iniciais de Price (1974) feitas a partir de análises de raios-X, e mais tarde com tomografia computadorizada e mapeamento de texturas, mostrando um intrincado sistema de engrenagens internas de bronze que revelava uma sofisticação técnica inesperada para a época em que a máquina foi construída.

Sua face frontal apresentava continha um calendário egípcio, de 365 dias e as doze constelações zodiacais dispostos circularmente. Ponteiros que indicavam posição do Sol e da Lua em relação às constelações. Tudo aponta que os cinco planetas conhecidos na época (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno) também tinham seus ponteiros correspondentes. O aparelho incluía os movimentos retrógrados destes planetas (epiciclos) e as irregularidades da

<sup>1</sup> Há uma tendência em se trocar as denominações a.C. (antes de Cristo) e d.C. (depois de Cristo) por AEC (Antes da Era Comum) e EC (Era Comum) devido a um erro de cálculo feito pelo monge Dionísio no séc. VI para o suposto nascimento de Cristo.

órbita lunar. A face posterior contemplava dois calendários dispostos em espiral e seus respectivos ponteiros indicadores: um correspondia a um preditor de eclipses e outro a um calendário lunissolar. Relógios auxiliares acompanhavam os calendários (Figura 2). Estima-se que as medidas do Mecanismo eram de 515x190x100mm (MACINNIS, 2015), que o tornava um "Cosmos portátil".

Figura 2. Réplica do Mecanismo de Antikythera, construída por Michael Wright: painel frontal (à esquerda) e painel posterior.



Fonte: Imperial College London.

## 2. Elementos de Astronomia: movimentos celestes

### 2.1 O modelo antigo: Sistema Geocêntrico ou Ptolomaico

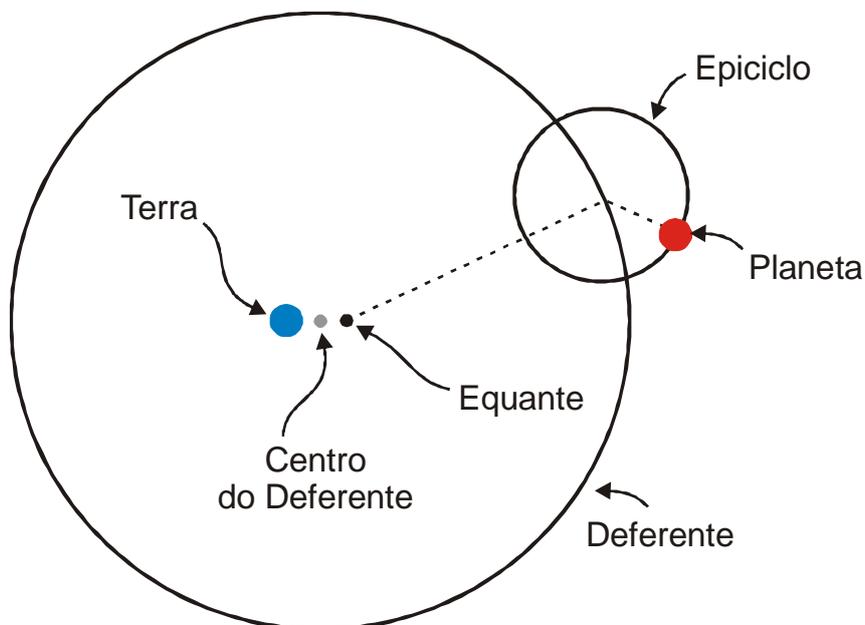
O modelo teórico que descrevia a cinemática de Cosmo na antiguidade, quando o Mecanismo de Antikythera foi construído, era o geocêntrico: a Terra no centro do Sistema. Cada um dos planetas conhecidos na antiguidade (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno), o Sol e a Lua orbitavam a Terra. A órbita mais distante era a das estrelas fixas (Figura 3).

O modelo geocêntrico de cosmo mais elaborado foi o de Ptolomeu.

[...] o geocentrismo foi uma idéia dominante na astronomia durante toda a Antiguidade e Idade Média. O sistemageocêntrico também é conhecido como sistema ptolemaico, pois foi Claudius Ptolemaeus (85 d.C.- 165 d.C.), o último dos grandes astrônomos gregos, quem construiu o modelo geocêntrico mais completo e eficiente. Ptolomeu explicou o movimento dos planetas através de uma combinação de círculos: o planeta se move ao longo de um pequeno círculo chamado **epiciclo**, cujo centro se move em um círculo maior chamado **deferente**. A Terra fica numa posição um pouco afastada do centro do deferente (portanto, o deferente é um círculo **excêntrico** em relação à Terra). Para dar conta do movimento não uniforme dos planetas, Ptolomeu introduziu ainda o **equante**, que é um ponto ao lado do centro do deferente oposto à posição da Terra, em relação ao qual o centro do epiciclo se move a uma taxa uniforme. (KEPLER e SARAIVA, 2014, p. 65).

Os elementos constitutivos deste modelo estão representados na Figura 3. Com ele, Ptolomeu explicava todos os movimentos celestes<sup>2</sup> descritos anteriormente em um grau de precisão tão bom que permaneceu praticamente imutável por mais de mil anos (OLIVEIRA e SARAIVA, 2014).

Figura 3. Modelo geocêntrico proposto do Ptolomeu.



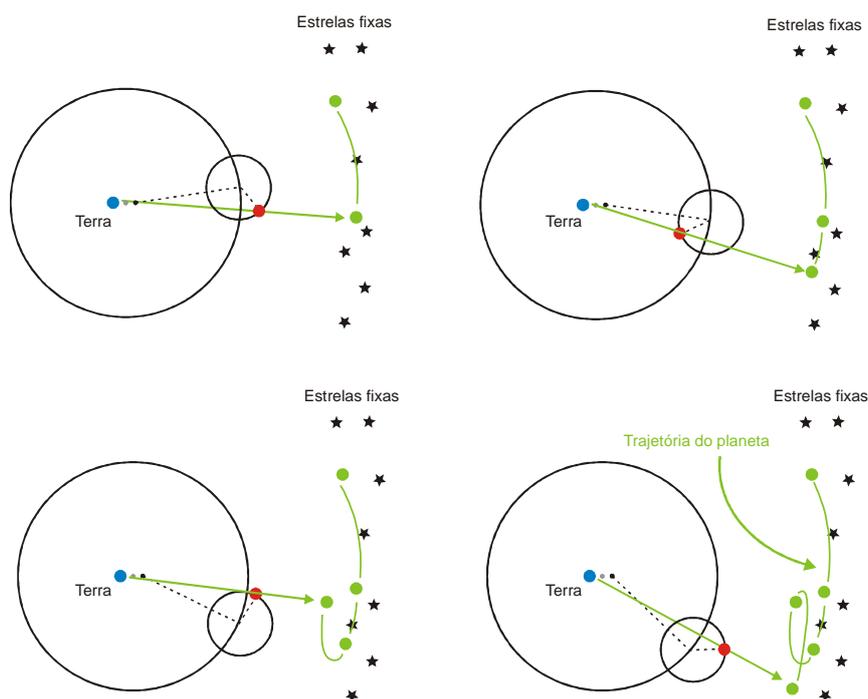
Fonte: Oliveira e Saraiva (2014).

A combinação do movimento do planeta em seu epiciclo com o movimento do próprio epiciclo no deferente compunha o movimento deste planeta observado da Terra. Desta forma, enquanto o planeta se move no epiciclo no mesmo sentido que o epiciclo se move no deferente, ele avança de leste para oeste. Em um certo momento o planeta começa a dar a volta no outro lado do epiciclo e se move no sentido contrário do movimento no deferente. Isto produz, de quem observa da Terra, uma retrogradação<sup>3</sup>: o planeta por um certo tempo "volta para trás" (oeste para leste), começando a desenhar uma "laçada" no céu. Algum tempo depois, ao se aproximar do ponto inicial no epiciclo, o planeta completa a "laçada" e volta a se deslocar no sentido normal (Figura 4).

<sup>2</sup> Veja órbita de Marte nas concepções heliocêntrica e geocêntrica em: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/node3.htm>

<sup>3</sup> Simulação do movimento retrógrado de um planeta, no modelo ptolomaico: <http://astro.if.ufrgs.br/p1/p1.htm>

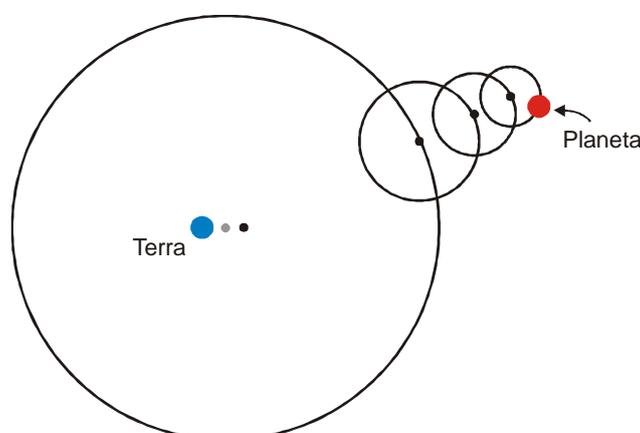
Figura 4. Avanço do planeta no seu epiciclo combinado com o avanço do epiciclo no deferente produz o movimento do planeta observado da Terra, que descreve a trajetória (em verde) descrevendo "laçadas" em relação às estrelas de fundo.



Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

É com a concepção geocêntrica de Cosmo que o Mecanismo de Antikythera foi projetado e construído. É importante ressaltar também que, mesmo com os ótimos resultados do elaborado modelo de Ptolomeu, a medida que as observações foram se tornando mais precisas foi necessário acrescentar vários epiciclos e deferentes no modelo geocêntrico para explicar as discrepâncias verificadas (Figura 5). Isto gerou uma complexidade tão grande nos cálculos da posição dos planetas que acabaram por exigir a concepção de uma reconfiguração completa do sistema, culminando no modelo helioestático moderno universalmente aceito atualmente (ROSA, 1994).

Figura 5. Modelo dos Epiciclos com vários epiciclos e deferentes.



Fonte: Rosa (1994).

### 3. Elementos de máquinas: engrenagens

Da mesma forma que é necessário entender alguns dos principais movimentos dos corpos celestes, conhecer as engrenagens e suas relações quando estão conectadas umas com as outras é igualmente importante para compreender o Mecanismo de Antikythera.

Engrenagens são:

[...] rodas com dentes padronizados internos ou externos, utilizados para transmitir movimento e força entre dois eixos. São muitas vezes usadas quando se deseja variar o número de rotações e/ou sentido da rotação de um eixo para outro. A transmissão de movimento tem normalmente como finalidade aproveitar o máximo de potência gerada em trabalho mecânico útil. Dentre as maneiras mais comuns de movimentação de peças, o processo por meio de engrenamento é o que apresenta o melhor rendimento. O processo de engrenamento possibilita a transmissão do movimento entre eixos paralelos, cruzados ou a 90°, assim como a redução ou ampliação de rotações com uma perda de potência muito reduzida. O movimento de rotação entre as engrenagens ocorre quando as rodas (engrenagens) estão engrenadas, ou seja, em contato por meio de seus dentes, permitindo que haja rotação (FRANCESCHI, 2014).

Há vários tipos de estruturas de engrenagens. Definidas para diferentes aplicações, normalmente são classificadas pela sua forma construtiva: cilíndricas, helicoidais, cônicas, tipo parafuso sem-fim, etc. (MOLIN, 2016). As engrenagens cilíndricas podem ter dentes retos ou dentes helicoidais. As de dentes retos são de mais simples construção: possuem dentes paralelos ao eixo de rotação (SILVA, MATEUS, 2012), como ilustra a Figura 6.

Figura 6. Engrenagens cilíndricas de dentes retos.



Fonte: <http://www.engremasa.com.br>

Os dentes das engrenagens podem ter formatos distintos, a fim de otimizar contatos e transferência de movimento. O formato mais simples é triangular, geralmente próximo de um

triângulo equilátero. Todas as engrenagens do Mecanismo de Antikythera eram cilíndricas de dentes retos com denteção em formato triangular (JONES, 2018), exceto a de entrada - onde o operador movia todo o sistema provavelmente com uma manivela - e a que movimentava as fases lunares: eram cilindros com denteção em uma das bordas circulares.

### 3.1. - Relação de transmissão

O movimento de rotação entre as engrenagens ocorre quando estão **engrenadas**, ou seja, em contato por meio de seus dentes, permitindo que haja rotação. As engrenagens de um mesmo conjunto podem ter tamanhos diferentes (FRANCESCHI e ANTONELLO, 2014). A engrenagem que fornece o movimento é denominada **condutora** ou **motora**, e a que recebe o movimento chama-se **conduzida** ou **movida** (SENAI, 1996).

A **relação de transmissão** tanto pode ser de multiplicação como de divisão e expressa numericamente o fator de quanto se modificou da rotação do movimento da engrenagem motora para a engrenagem movida. Em outras palavras, esta relação é o número de vezes em que se aumentou ou diminuiu a rotação de uma engrenagem para outra. A relação de transmissão ( $i$ ) entre duas engrenagens é dada por:

$$i = \frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{Equação 01})$$

onde  $r_1$  e  $r_2$  são os raios da engrenagem motora e movida, respectivamente, e  $N_1$  e  $N_2$  são o número de dentes das engrenagens motora e movida, também respectivamente.

A relação de transmissão que o Mecanismo de Antikythera usa regula rotações diferentes em engrenagens distintas, compondo assim os ciclos do Sol, da Lua e dos planetas simulados pela máquina.

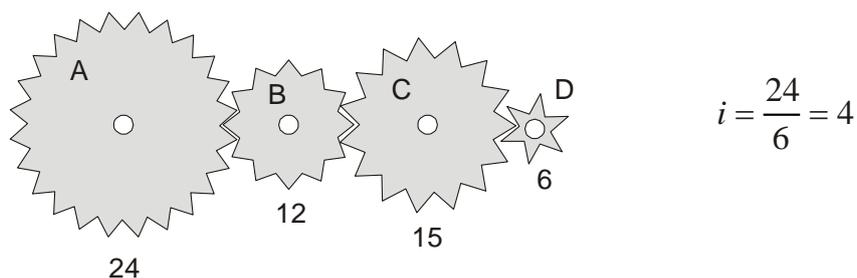
### 3.2. Trem de engrenagens

É o conjunto de engrenagens conectadas com o objetivo de transmitir movimento entre eixos diferentes. A transmissão do movimento depende de como as engrenagens estão organizadas no trem.

#### 3.2.1. Trem de engrenagens simples

Quando o conjunto possui apenas uma engrenagem por eixo. Conseqüentemente a conexão entre as engrenagens é realizada unicamente por engrenamento, ou seja, por meio do contato entre seus dentes. Em um trem de engrenagens simples, a relação de transmissão total, do conjunto, depende apenas da primeira engrenagem motora e da última engrenagem movida. As engrenagens intermediárias cumprem a função de conectar eixos que estão distantes demais. Também podem ser usadas para controlar o sentido de rotação final desejado (Figura 7).

Figura 7. Trem de engrenagens simples. A relação de transmissão do conjunto depende apenas do número de dentes da primeira e da última engrenagem.

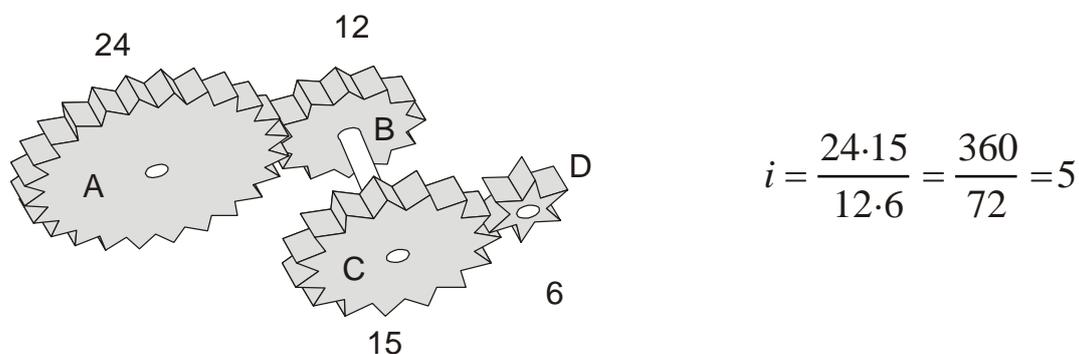


Fonte: Ilustração do autor.

### 3.2.2. Trem de engrenagens composto

Quando o conjunto possui mais de uma engrenagem por eixo. A conexão entre as engrenagens é realizada tanto por engrenamento como pelos eixos (conexão coaxial, rigidamente ligadas). Em um trem de engrenagens composto a relação de transmissão total do conjunto depende também das engrenagens intermediárias, que desempenham papel de engrenagem motora em relação à próxima conectada por engrenamento mas é movida em relação a anterior, rigidamente ligada pelo eixo. Desta forma a relação de transmissão total pode ser obtida pela razão entre produto do número de dentes das engrenagens motoras e o produto do número de dentes das engrenagens movidas. A figura 8 ilustra esta composição.

Figura 8. Trem de engrenagens composto. A engrenagem A é a motora de B; a engrenagem C é a motora de D. A relação de transmissão do conjunto é calculada pela razão entre o produto do número de dentes das engrenagens motoras pelo produto do número de dentes das engrenagens movidas.



Fonte: Ilustração do autor.

O Mecanismo de Antikythera é um conjunto de vários trens de engrenagens compostos.

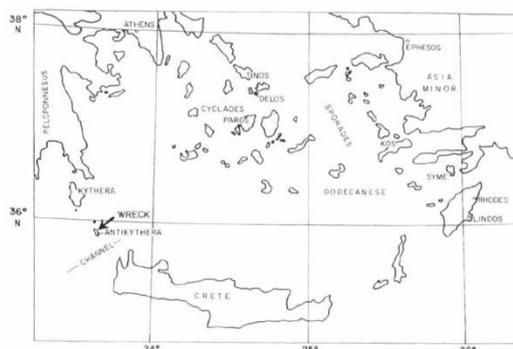
## 4. O mecanismo de Antikythera

### 4.1. A descoberta

O mecanismo de Antikythera foi encontrado com inúmeros artefatos arqueológicos em 1901 em uma embarcação romana naufragada próximo à ilha grega que deu o nome à máquina

(Figura 9). De acordo com o Museu Arqueológico de Atenas, o naufrágio é datado aproximadamente em 60-50 AEC, e a carga que estava no navio tem idade que varia do século IV ao século primeiro AEC.

Figura 9. Localização da ilha de Antikythera e o local do naufrágio (indicado pela seta).



Fonte: PRICE, D. S: *Gears from the Greeks - The Antikythera Mechanism: a calendar computer from ca. 80 B.C.* (1974).

O Mecanismo foi encontrado por mergulhadores gregos coletores de esponjas (figura 10). Enferrujado, coberto de algas e corais e com algumas engrenagens visíveis, inicialmente chegou a se pensar que poderia ser um relógio mecânico caído de um navio contemporâneo, mas uma inscrição em grego onde se lia "raio de sol" mostrou que se tratava de um dispositivo astronômico da antiguidade (MOUSSAS, 2014).

Figura 10. Equipe de pesquisa arqueológica em Antikythera -1903 (esquerda); moedas de prata encontradas no naufrágio (direita), que ajudaram a datar a época do naufrágio.



Fonte: Moussas (2014).

Todos os fragmentos do Mecanismo (Figura 11) encontrados na embarcação naufragada da ilha de Antikythera estão reunidas no Museu Nacional de Atenas. Somam atualmente 82 peças, que foram coletadas em várias expedições pelos mergulhadores. Dos principais fragmentos, nomeados de A a G, o maior deles (A) contém a maioria das engrenagens do dispositivo. De inscrições nos fragmentos foram extraídas cerca de 3500 textos que tem orientado as pesquisas (BANDEIRA, 2018). O Apêndice 1 um traz imagens em alta resolução dos fragmentos do Mecanismo que continham engrenagens (A, B, C e D).

Figura 11. Os 82 fragmentos do Mecanismo de Antikythera. Os principais fragmentos A, B, C, D estão na parte superior, começando no canto superior esquerdo, com E, F, G imediatamente abaixo deles. A maior peça, no canto superior esquerdo (fragmento A), é a que guarda a maioria das engrenagens da máquina.

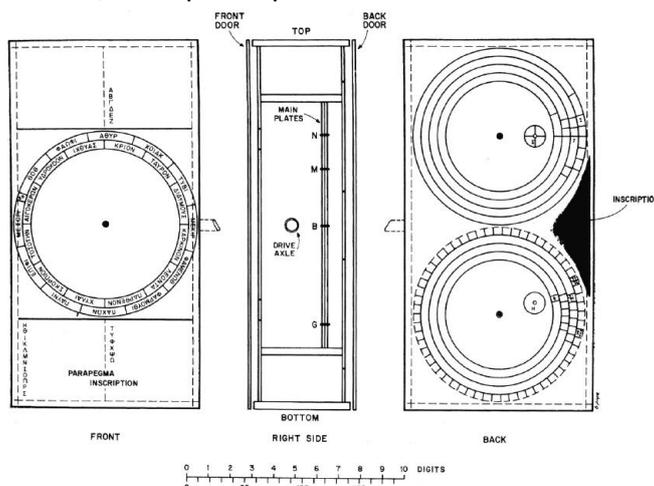


Fonte: Nature (<https://www.nature.com/articles/nature05357/figures/1>).

## 4.2. Aspectos gerais internos e externos

Segundo Price (1974), o Mecanismo de Antikythera tinha formato retangular: o centro da parte frontal exibia o planetário com os ponteiros indicativos das posições do Sol, da Lua e, proposto mais tarde, dos planetas conhecidos na antiguidade. Dois círculos concêntricos englobavam o painel do planetário: o mais externo correspondia a um calendário anual egípcio (365 dias) e o interno trazia as constelações zodiacais. Inscrições estavam presentes acima e abaixo do painel do planetário. A parte traseira incluía dois calendários, cada um com um ponteiro central, e distribuídos em uma espiral: o superior era um calendário anual lunissolar<sup>4</sup> (Metônico) e o inferior trazia um calendário de eclipses (Saros). Ambos continham pequenos relógios auxiliares em seu interior. Havia ainda inscrições nos espaços entre os dois calendários. Internamente as engrenagens eram divididas por uma placa principal, deixando um conjunto na parte frontal do aparelho e outro conjunto, que movimentavam os calendários Metônico e Saros, na parte posterior (Figura 12).

Figura 12. Reconstituição dos painéis, placas e encaixotamento do Mecanismo de Antikythera.



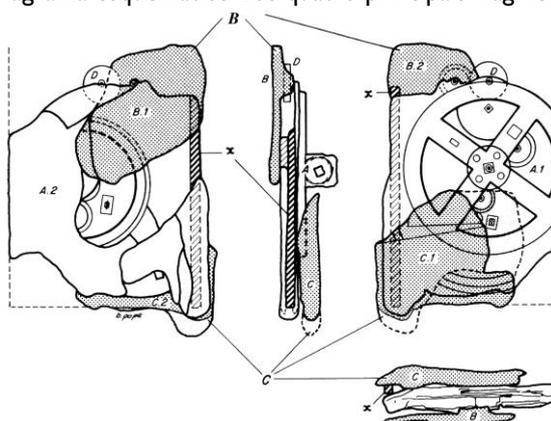
Fonte: PRICE, D. S: *Gears from the Greeks - The Antikythera Mechanism: a calendar computer from ca. 80 B.C.* (1974).

<sup>4</sup> Leva em conta as fases da Lua. O calendário judaico, por exemplo, é um calendário lunissolar.

### 4.3. As engrenagens

A junção dos quatro fragmentos maiores do Mecanismo resulta na peça ilustrada na Figura 13. O fragmento C cobre a parte inferior esquerda do fragmento principal A, o fragmento B cobre a parte superior direita e a parte posterior do fragmento A e o fragmento D se encaixa entre B e A (PRICE, 1974). Todas as engrenagens encontradas estavam acomodadas nestas peças.

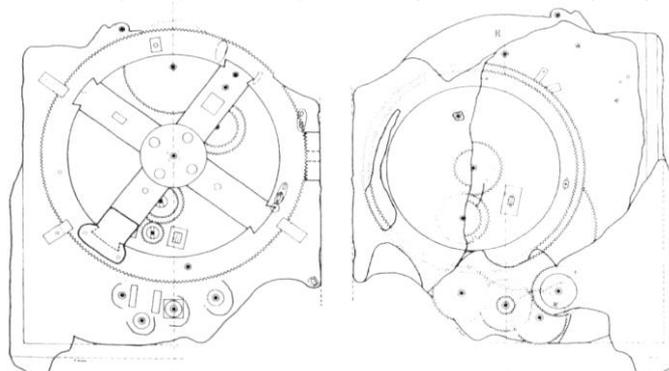
Figura 13. Diagrama esquemático dos quatro principais fragmentos, juntos.



Fonte: PRICE, D. S: *Gears from the Greeks - The Antikythera Mechanism: a calendar computer from ca. 80 B.C.* (1974).

As radiografias feitas por Haralambos Karakalos na maior peça resgatada do Mecanismo (fragmento A) revelou eixos de fixação, engrenagens e conjuntos ou trens de engrenagens (*gear trains*) cujos estudos resultaram nos esquemas da Figura 14.

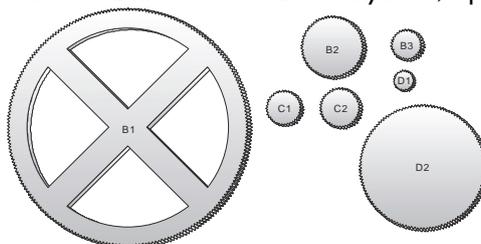
Figura 14.- Desenho esquemático das engrenagens no fragmento A: parte da frente (à esquerda) e parte de trás (à direita).



Fonte: PRICE, D. S: *Gears from the Greeks - The Antikythera Mechanism: a calendar computer from ca. 80 B.C.* (1974)

As radiografias revelaram a existência de 29 engrenagens (PRICE, 1974). A seguir é feita uma descrição das que movimentam os ponteiros do planetário exposto no painel frontal do mecanismo e posicionam os indicadores do Sol e da Lua (e, muito provavelmente, iniciavam o conjunto de engrenagens dos ponteiros dos planetas). A Figura 15 ilustra estas engrenagem, mantendo a escala entre si. A tabela 5.2 mais adiante reúne todas as engrenagens e seus respectivos número de dentes, segundo Wright (2005).

Figura 15. Engrenagens da parte frontal do Mecanismo de Antikythera, a partir de dados de Derek Price (1974).



Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

**Engrenagem A:** provavelmente sua função era apenas transmitir movimento para fazer funcionar todo o sistema. Devia ser fixada a uma manivela que ficava externamente na lateral da caixa do Mecanismo. Esta engrenagem possuiria de 45 a 48 dentes.

**Engrenagem B1:** é a maior do Mecanismo, com raio externo de 63mm e interno de 52,5mm. Estimada entre 223 e 231 dentes. Wright (2005) sugere que, para esta engrenagem, as diferenças entre estes números impactam pouco no funcionamento do Mecanismo.

**Engrenagens B2:** ligada rigidamente com B1, com 64 dentes.

**Engrenagens B3 e B4:** ambas com 32 dentes. Wright (2005) suprimiu B3 e considerou apenas B4, que fica na parte posterior da placa central principal.

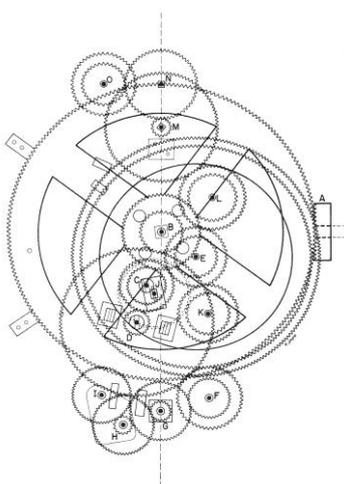
**Engrenagem C1 e C2:** 38 e 48 dentes, respectivamente.

**Engrenagem D1:** possui um eixo que a liga rigidamente com D2, esta na parte posterior da placa principal interna do mecanismo. Tem 24 dentes.

**Engrenagem D2:** com 127 dentes, um número crucial para que a relação de 19 anos coincida com 254 ciclos siderais da Lua.

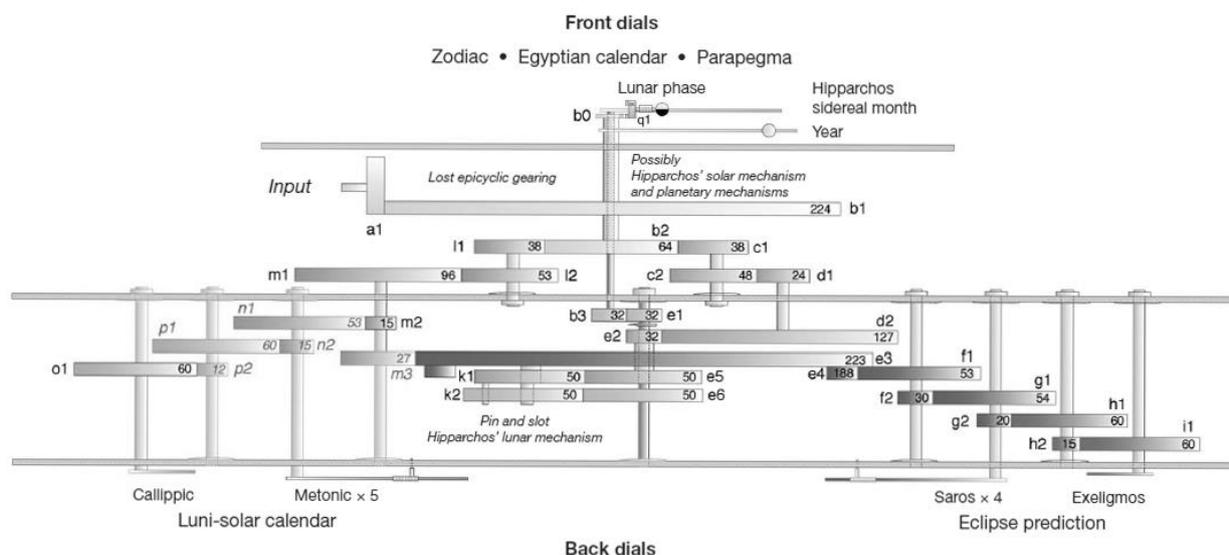
As engrenagens identificadas por Price (de A a O) e suas disposições são mostradas na Figura 16. Freeth e tal (2006) sugerem um engrenamento conforme a Figura 17.

Figura 16. engrenagens, de A à O



Fonte: Price (1974).

Figura 17. Diagrama do sistema de engrenagens (vista lateral),



Fonte: segundo proposta de Freeth. Fonte: FREETH et al, *Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism*, Nature vol. 444, p. 509, 2006

Price sugeriu que o conjunto das engrenagens que moviam o ponteiro da Lua no painel frontal do Mecanismo deveriam ter uma relação de transmissão total de forma que cada 19 ciclos solares resultavam em 254 ciclos lunares siderais<sup>5</sup>. Esta relação de 254/19 é reproduzida pela relação de transmissão das engrenagens B2 com C1, C2 com D1 e D2 com B4, que formam um trem de engrenagens composto (Figura 18).

$$i = \frac{N_{B2}}{N_{C1}} \times \frac{N_{C2}}{N_{D1}} \times \frac{N_{D2}}{N_{B4}} \quad (\text{Equação 03})$$

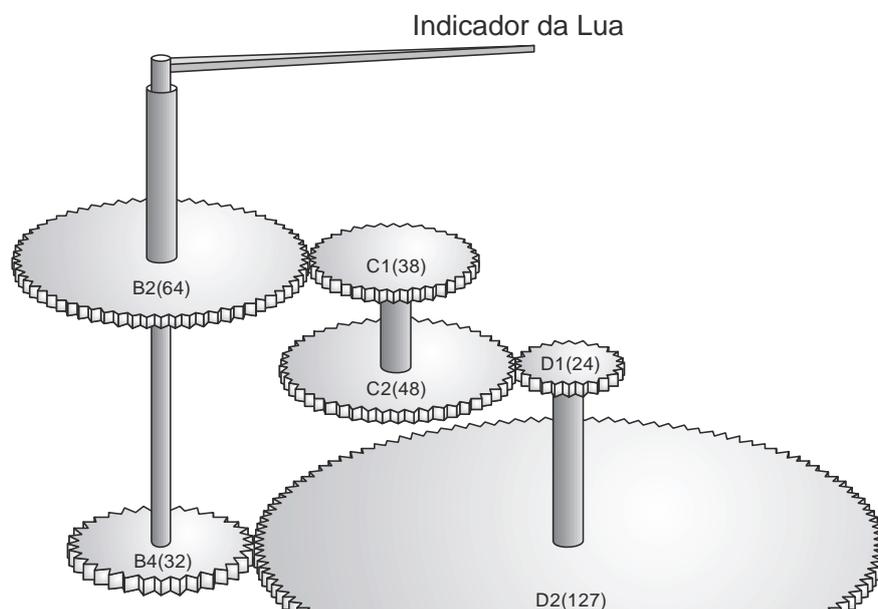
A relação de transmissão, pelo número de dentes das engrenagens, fica:

$$i = \frac{64}{38} \times \frac{48}{24} \times \frac{127}{32} = \frac{254}{19} \quad (\text{Equação 04})$$

Portanto, cada 19 voltas completas dadas pelo ponteiro que representa a posição do Sol implica em 254 voltas completas do ponteiro que representa a Lua, com ambos retornando a posição inicial. Este ciclo, já conhecido pelos egípcios, é importante para que o Mecanismo possa prever as posições do Sol e da Lua em relação às constelações com precisão.

<sup>5</sup> O período denominado sideral é aquele em que o astro retorna à posição inicial em relação ao fundo das estrelas fixas, ou seja, das constelações.

Figura 18 - Trem de engrenagens do indicador da Lua, segundo Price (1974). B2 é rigidamente ligada a B1 (engrenagem principal não mostrada na figura), que por sua vez recebe o movimento da manivela externa. Note que B4 não é ligada ao eixo de B2: trata-se de um tubo no eixo de B2 por onde se acomoda internamente o eixo de B4. Posteriormente Wright descobriu uma engrenagem intermediária entre B4 e D2 e que era idêntica a B4.

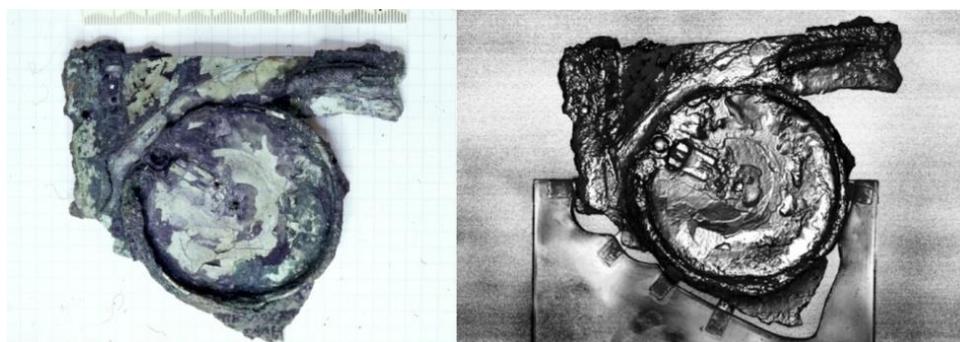


Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

#### 4.4. Fases da Lua

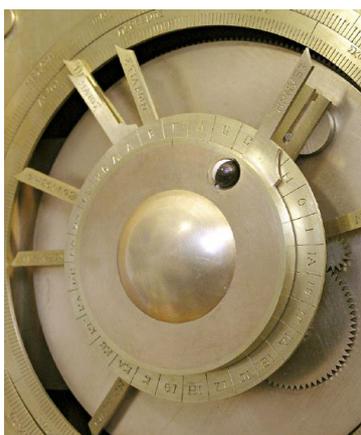
Wright (2005) reconstruiu o indicador de fases da Lua do Mecanismo de Antikythera a partir de análises do fragmento C (Figura 19). Uma esfera giratória com um hemisfério claro e outro escuro, ligada ao ponteiro lunar, mostra a fase da Lua no painel frontal do Mecanismo (Figura 20).

Figura 19. Parte posterior do fragmento C, à esquerda (WRIGHT, 2005).



Fonte: Imagem produzida por PTM, à direita (CARMAN, 2016); o espaço para uma pequena esfera é visível na parte superior esquerda da estrutura circular.

Figura 20. Indicador das fases da Lua, em reconstrução física de Michael Wright



Fonte: Wright (2005).

No fragmento C, Wright identificou uma engrenagem em forma cilíndrica com denteição na borda (forma de coroa) que conferia rotação à pequena esfera que girava no painel frontal (Figura 21). Esta se conectava com uma engrenagem na parte central, abaixo da capa que cobria o conjunto com o ponteiro indicador da Lua (Figura 22).

Figura 21. Indicador da fase da Lua: face externa à esquerda e interna à direita.



Fonte: Wright (2005).

Figura 22. Engrenagem que transfere movimento para a engrenagem em forma de coroa, responsável pela rotação da esfera que representa as fases da Lua. WRIGHT, 2005.



Fonte: Wright (2005).

A elegante idéia de se usar um globo giratório para representar as fases da Lua expressava concepções astronômicas fundamentais já compreendida pelo pensamento grego: que a Lua é esférica, que o que vemos vem da luz refletida do Sol e que a fase varia com o ângulo entre os raios do Sol para a Lua e nossa linha de visada para nosso satélite natural (WRIGHT, 2005).

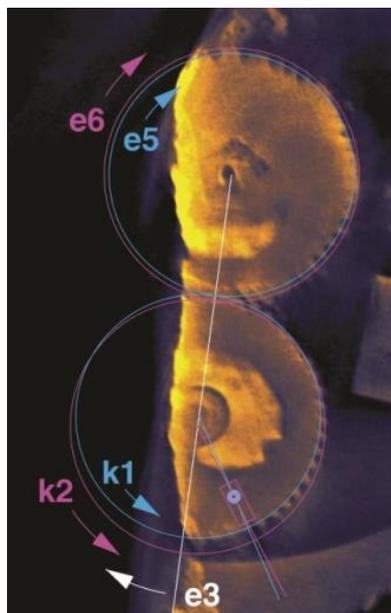
#### 4.5. Anomalia lunar e o sistema "pin and slot"

O movimento da Lua ao redor da Terra não ocorre de maneira uniforme (não tem sempre a mesma velocidade angular): ora a Lua se acelera, enquanto se aproxima da Terra, ora desacelera, enquanto se afasta (conseqüência da Lei das Áreas de Kepler). Isto ocorre porque a órbita lunar em relação à Terra não é circular, mas se aproxima muito de uma elipse (SILVEIRA, 2001). Este movimento variável é denominado anomalia lunar.

A Lua é o corpo celeste mais próximo da Terra. O valor atual de sua distância foi obtido por laser, utilizando um espelho colocado na Lua pelos astronautas. Medindo o tempo de ida e vinda de um feixe de laser disparado da Terra na direção da Lua, se obtém que sua distância varia de 356.800 km a 406.400 km, com um valor médio de 384.000 km. A excentricidade da órbita da Lua é de 0,0549" (OLIVEIRA e SARAIVA, 2014).

Para simular esta anomalia do movimento lunar, um engenhoso sistema de "pin and slot" (pino e fenda, em tradução livre) foi usado pelo projetista do Mecanismo de Antikythera (Figura 23).

Figura 23. Sistema *pin and slot* (pino e fenda) revelado por imagens usando técnica PTM

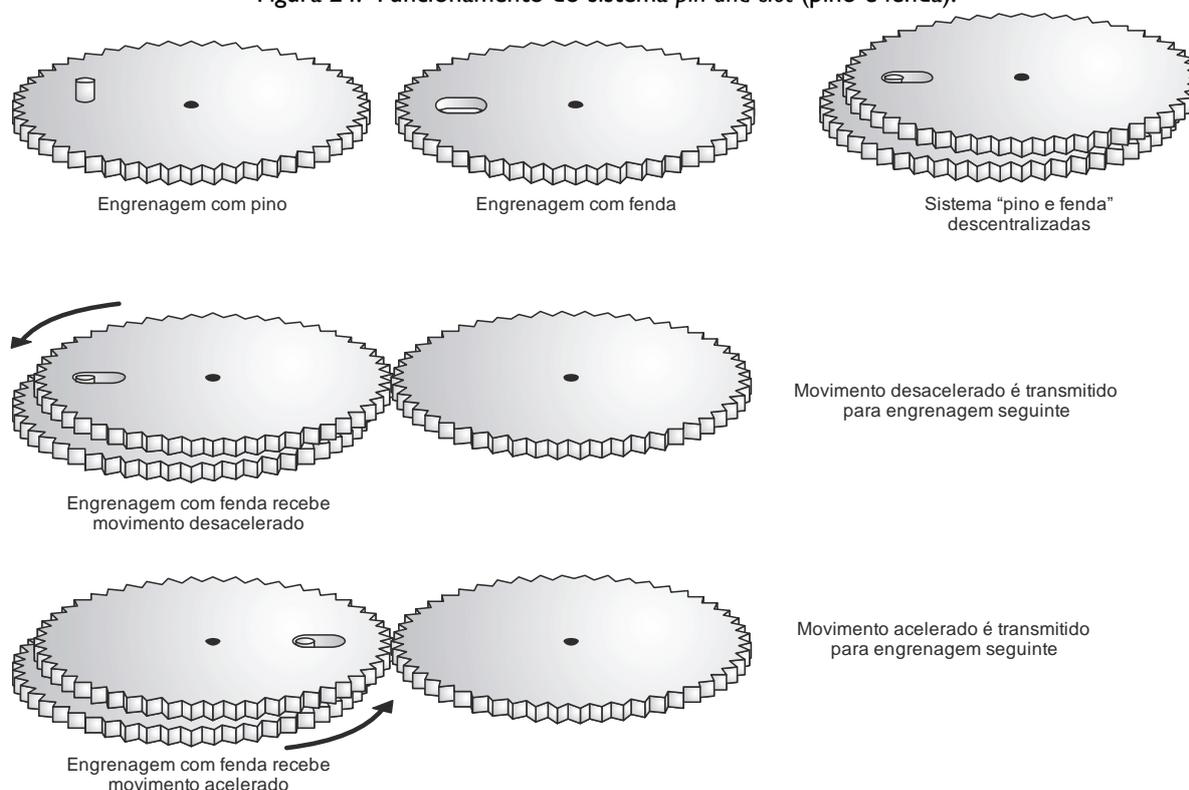


Fonte: Freeth (2013).

Freeth explica que Price apontou uma ideia para solucionar o movimento reproduzido pelo Mecanismo da anomalia lunar, mas foi Wright quem entendeu corretamente o funcionamento.

A engrenagem K1 gira em rotação constante, guiando a engrenagem K2 por um pino. Como o eixo central de K2 está fora do eixo central de K1 (excêntrico), K2 recebe uma rotação variável: gira mais rapidamente quando o pino de K1 se encontra na parte mais interna de sua fenda, e gira mais lentamente quando o pino se encontra na parte mais externa (Figura 24). Isto reproduz exatamente as acelerações e desacelerações do movimento da Lua (anomalia lunar). Mas há mais do que isso: os pontos onde a Lua acelera e desacelera não são fixos, mas "giram" com um período de aproximadamente 9 anos devido a interações gravitacionais do Sol com o sistema Terra-Lua. É como se a elipse que descreve a órbita da Lua também girasse. Para dar conta deste movimento, o sistema de engrenagens *pin and slot* era acomodado sobre uma engrenagem maior que girava lentamente, reproduzindo este período de 9 anos, que era transmitido para o ponteiro indicador da posição da Lua no painel frontal o Mecanismo. O conjunto de engrenagens, assim, simulava a Teoria Grega dos Epiciclos para a Lua (FREETH, 2013).

Figura 24. Funcionamento do sistema *pin and slot* (pino e fenda).



Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

A reprodução de movimentos variáveis usando o sistema *pin and slot* começou a ser aplicada em réplicas do Mecanismo para reproduzir anomalia solar e o movimento epicíclico dos planetas conhecidos na antiguidade (Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno). Hoje há muitas evidências de inscrições que estavam presentes no aparelho e de referências feitas por historiadores antigos de que as posições dos planetas eram contempladas pelo Mecanismo de Antikythera (FREETH, 2013).

#### 4.6. Engrenagens epicíclicas

Wright (2005) relatou orifícios na engrenagem maior do Mecanismo (B1). Propôs que esta engrenagem representa o movimento do Sol Médio e que os orifícios fixariam um sistema de engrenagens epicíclicas para os ponteiros dos planetas. As engrenagens epicíclicas da Lua estariam acomodadas sobre a grande engrenagem E3 (Figura 25).

Figura 25. Engrenagens epicíclicas lunares, fixadas sobre a engrenagem E3.



Fonte: Wright (2005).

Freeth (2013), ao analisar imagens de tomografia do fragmento A, propôs que hastes vistas na engrenagem B1 poderiam ser suporte de placas onde se alocaiam engrenagens epicíclicas dos planetas. Depois desenvolveu este modelo e acrescentou um ponteiro indicador do Sol Verdadeiro, que inclui o movimento irregular (anomalia solar); o ponteiro do Sol Médio passou a indicar então apenas a data (Figura 26).

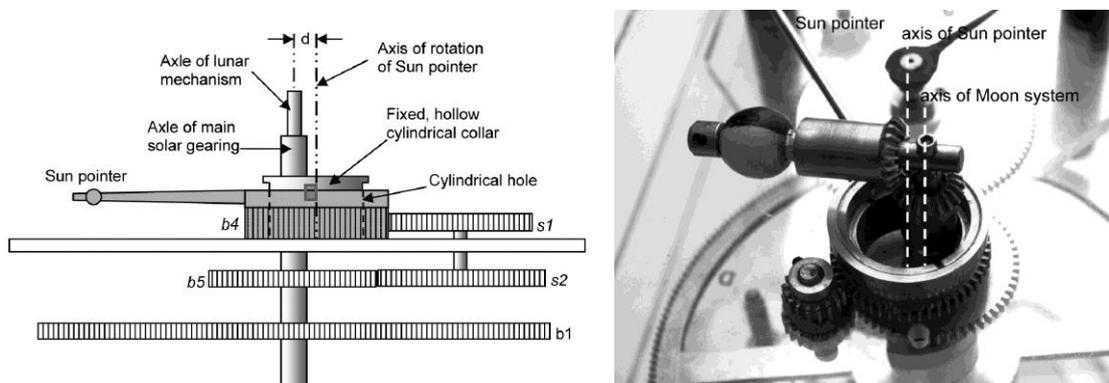
Figura 26. Sol Médio (B1), o mecanismo de Vênus (1h), de Mercúrio (4h) e Sol Verdadeiro (7h).



Fonte: Freeth (2013).

Carman e Evans (2010) propuseram um único ponteiro do Sol. A anomalia solar seria contemplada pelo Mecanismo graças a uma distribuição não uniforme das constelações zodiacais no painel frontal e da origem do ponteiro ser descentralizada (Figura 27).

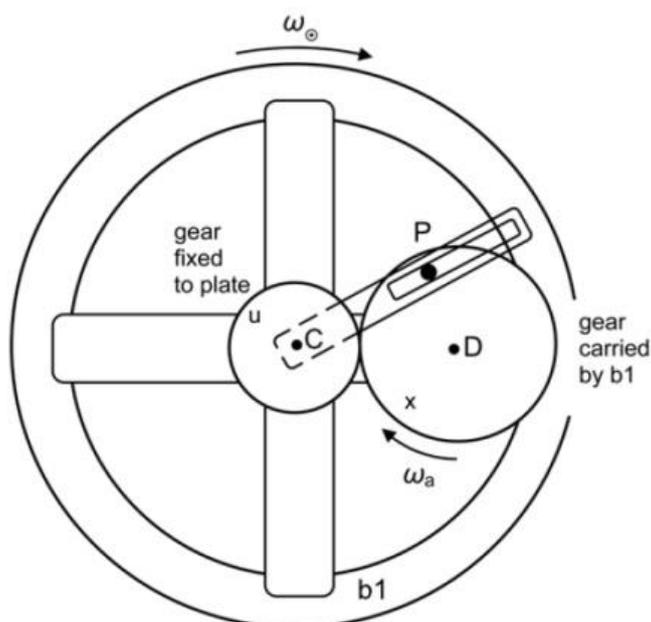
Figura 27. Possível engrenagem para um ponteiro do Sol único e descentralizado que reproduziria a anomalia solar (esquerda) e modelo físico para estas engrenagens (direita).



Fonte: Evans, Carman (2010).

A Figura 28 traz uma proposta de engrenagens epicíclicas para os planetas internos (Mercúrio e Vênus) feita por Carman e Evans (2012).

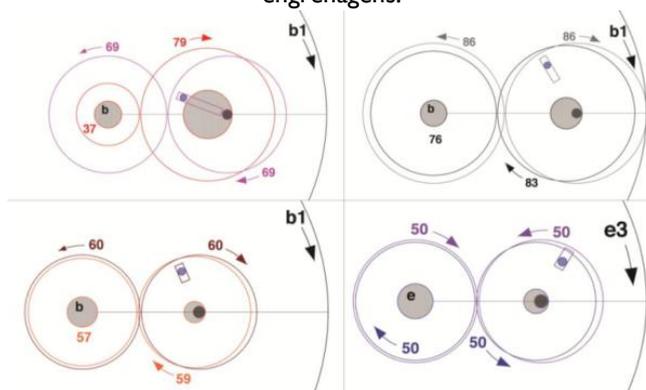
Figura 28. Engrenagem à direita, presa num dos eixos de BI (Sol Médio), simulando epiciclos de algum planeta interno do Sistema Solar (Mercúrio ou Vênus).



Fonte: Carman, Evans (2012).

A Figura 29 traz proposta de Freeth (2013) para os planetas externos (Marte, Júpiter e Saturno), comparando-as com o sistema de engrenagens epicíclicas da Lua.

Figura 29. Acima: Marte e Júpiter. Abaixo: Saturno e Lua. Os números representam a quantidade de dentes das engrenagens.

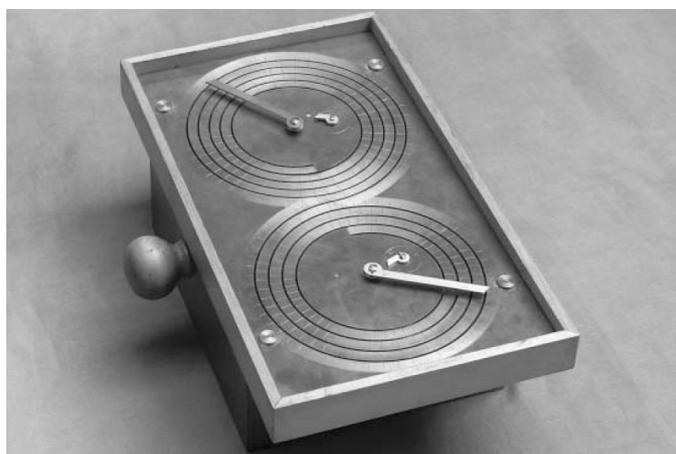


Fonte: Freeth (2013).

#### 4.7. Os calendários

Como já tratado no capítulo 1, a parte posterior do Mecanismo de Antikythera traz dois painéis: o superior é um calendário lunissolar (Metônico) e o inferior é um previsor de eclipses lunares e solares (Saros). A Figura 30 é uma fotografia da reconstrução deste painel feita por Michael Wright.

Figura 30. Reconstrução física da parte posterior do Mecanismo de Antikythera por Michael Wright. O mostrador superior é um calendário e o inferior é um previsor de eclipses.

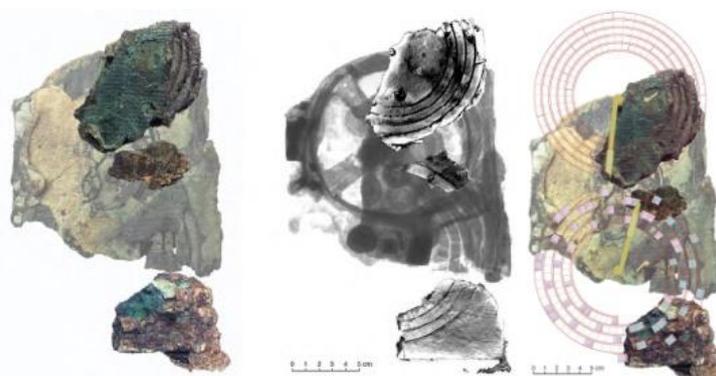


Fonte: Wright (2005).

A reconstrução do painel traseiro do Mecanismo foi feita reunindo os fragmentos A, B, E e F. A Figura 31 exibe à esquerda, fragmentos A (fundo), B (acima), E (centro) e F (abaixo) sobrepostos como eram montados originalmente. Ao centro, imagens obtidas das engrenagens internas por radiografia (fragmento A) e tomografia computadorizada (CT) dos demais fragmentos (Freeth, 2008). À direita, a reconstituição dos calendários Metônico (acima) e Saros (abaixo). No calendário Saros, as inscrições relativas a eclipses nos quadros em azul claro foram recuperadas; as dos quadros em rosa claro são hipotéticas, obtidas pela análise das inscrições

recuperadas. São 16 inscrições recuperadas com a técnica de tomografia computadorizada e outras 35 inferidas a partir das recuperadas (Freeth, 2006).

Figura 31. Os fragmentos à esquerda, imageamento por radiografia e tomografia computadorizada ao centro (Freeth 2008), e a reconstrução das inscrições à direita.



Fonte: Freeth (2006).

#### 4.7.1 O calendário Metônico

O calendário Metônico concentrava 19 anos solares divididos em 235 lunações ou meses sinódicos<sup>6</sup> distribuídos em uma espiral de 5 voltas e possuía internamente dois relógios auxiliares: o Calíptico e o Olímpico (Figura 32).

As engrenagens que controlavam o ponteiro do calendário Metônico, segundo Freeth (2006) estão em um conjunto disposto da seguinte forma: E3 (223 dentes) engrenada com M3 (27 dentes); rigidamente ligada a M3 estava M2 (15 dentes) engrenada com N1 (53 dentes). O movimento iniciava-se por E3, que era rigidamente ligada ao eixo de E2 (32 dentes), uma engrenagem que fazia parte do conjunto que controlava o ponteiro lunar da parte frontal do Mecanismo. O ponteiro do calendário Metônico era rígida e diretamente ligado à engrenagem N1 (Figura 33; nomenclatura das engrenagens adotada por Freeth).

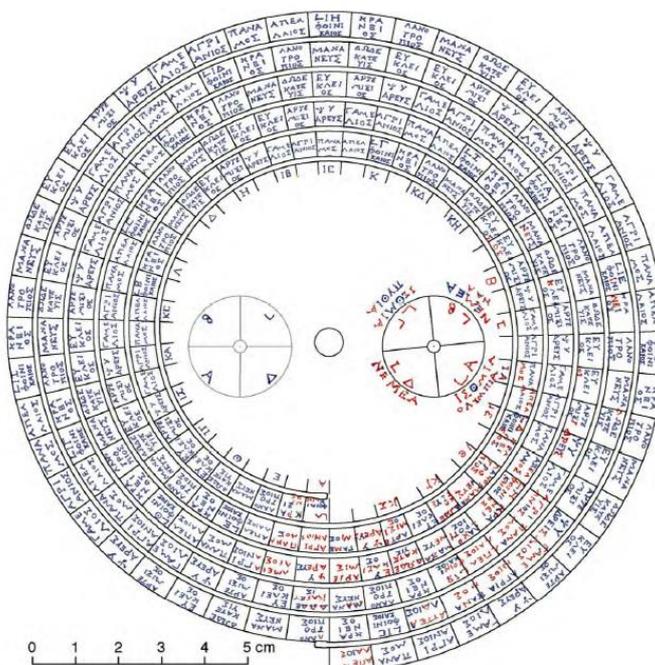
Esta relação de 19/235 porém gerava uma pequena sobra de quase um terço de dia a cada 19 anos. Para corrigir esta imprecisão o relógio auxiliar Calíptico indicava quando seria necessário omitir um dia na contagem de cada quatro ciclos de 19 anos (FREETH, 2008). Com este recurso, a precisão na predição do Mecanismo poderia ser mantida para escalas maiores. Freeth (2006) propõe dois pares de engrenagens para controlar o ponteiro do relógio auxiliar Calíptico: N2 com 15 dentes engrenada com P1 de 60 dentes. Rigidamente ligada a P1 está P2 com 12 dentes engrenada com Q1 de 60 dentes. O ponteiro recebe o movimento da engrenagem Q1 (Figura 34; nomenclatura das engrenagens adotada por Freeth).

O segundo mostrador auxiliar no interior do calendário Metônico (direita) é um pequeno relógio Olímpico. Era dividido em quatro quadrantes e tinha uma contagem de 1 a 4 que sugeria que era o único ponteiro do Mecanismo que girava no sentido anti-horário. As inscrições se referiam a competições dos jogos pan-helênicos, de grande importância cultural

<sup>6</sup> O mês sinódico é o período em que a Lua retorna a fase inicial, que acontece em aproximadamente 29,53 dias.

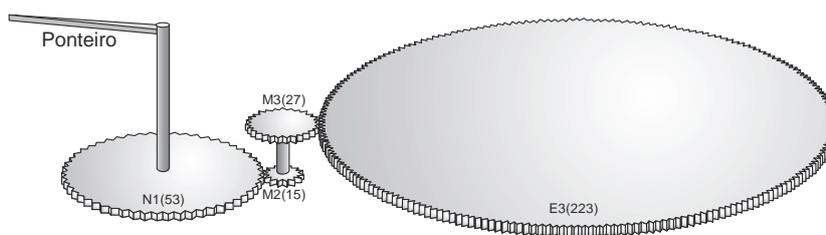
para os gregos (FREETH, 2008). Um par de engrenagens controlava o ponteiro do relógio auxiliar Olímpico: N3 de 57 dentes que move com O1 de 60 dentes (Figura 34; nomenclatura das engrenagens adotada por Freeth).

Figura 32 - Reconstrução do calendário Metônico: ciclo de 19 anos em 235 meses sinódicos. O relógio auxiliar Calíptico (direita) faz correções eventuais na leitura do calendário, e o Olímpico (esquerda) indica os Jogos Pan-helênicos.



Fonte (FREETH, 2008)

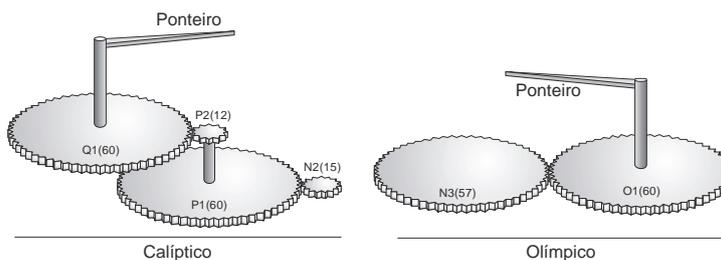
Figura 33. Engrenagens do calendário Metônico.



Calendário Metônico

Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

Figura 34. Engrenagens dos relógios auxiliares Calíptico (esquerda) e Olímpico (direita).



Calíptico

Olímpico

Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

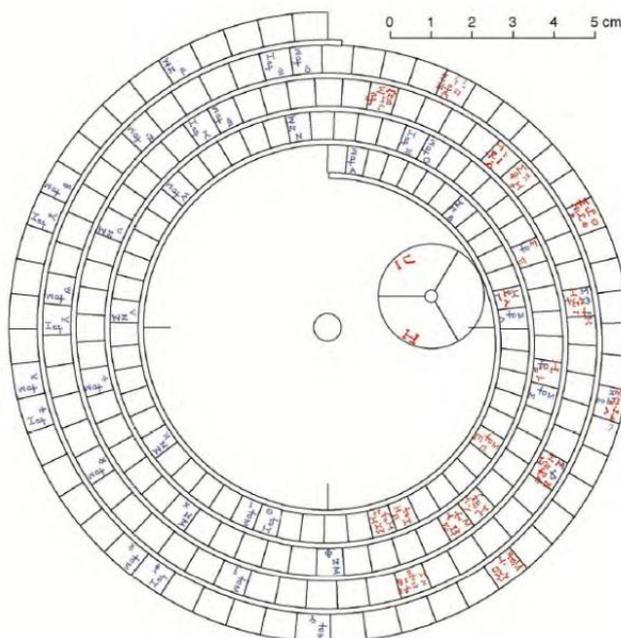
#### 4.7.2. O Calendário Saros

O calendário inferior na parte de trás do Mecanismo de Antikythera era um previsor de eclipses (Saros) e possuía um relógio auxiliar em seu interior denominado Exeligmos (Figura 35). Saros é uma espiral de 4 voltas que compreende 18 anos divididos em 223 meses sinódicos, período que marca um ciclo de ocorrência de eclipses. As casas marcadas com H (Helios - ΗΛΙΟΣ) indica um eclipse solar, e Σ (Selene - ΣΕΛΗΝΗ) indica um eclipse lunar. Havia inscrições para indicar se o eclipse ocorreria durante o dia (ΗΜΕΡΑΣ) ou durante a noite (ΝΥΚΤΟΣ), e também para o horário (hora - ώρα) (FREETH, 2008).

O previsor de eclipse Saros tinha seu ponteiro controlado pelas engrenagens E4 (188 dentes) com F1 (53 dentes) e F2 (30 dentes) com G1 (54 dentes), de modo que F1 e F2 eram rigidamente ligadas por meio de seus eixos. O ponteiro recebia seu movimento da engrenagem G1 (FREETH, 2006). Este conjunto de engrenagens está ilustrado na Figura 36 (nomenclatura das engrenagens adotada por Freeth).

O relógio auxiliar Exeligmos, na parte interna da espiral, mostrava se na leitura indicada pelo ponteiro do calendário Saros dever-se-ia acrescentar 8h, 16h ou 0h para se obter o horário da ocorrência do eclipse (FREETH, 2008).

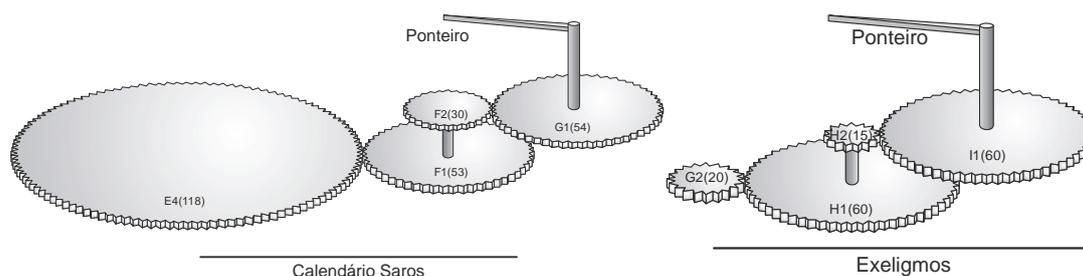
Figura 35. Reconstrução do calendário Saros (previsor de eclipses). O pequeno relógio auxiliar interno é o Exeligmos.



Fonte: Freeth (2008).

São quatro engrenagens que reproduzem o movimento do ponteiro do relógio auxiliar Exeligmos: G2 (20 dentes) engrenada com H1 (60 dentes), rigidamente ligada a H2 (15 dentes) engrenada com I1 (60 dentes). O ponteiro era movido diretamente por I1. A engrenagem G2 recebia seu movimento rigidamente ligada a G1 do Saros (FREETH, 2006). Este conjunto de engrenagens está ilustrado na Figura 36 (nomenclatura das engrenagens adotada por Freeth).

Figura 36. Engrenagens do calendário Saros (esquerda) e de seu relógio auxiliar Exeligmos (direita).



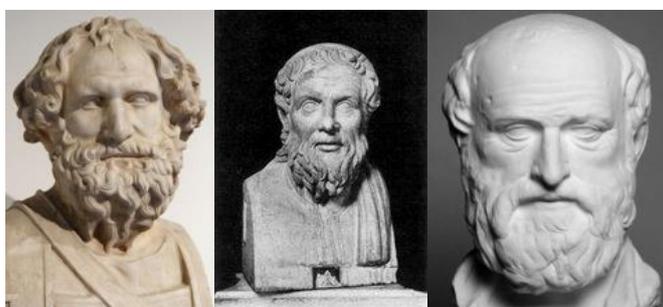
Fonte: Ilustração vetorizada pelo autor.

#### 4.8. A autoria do Mecanismo de Antikythera

As informações obtidas do Parapegma<sup>7</sup> presente na parte frontal do Mecanismo levam a inferir latitudes que vão aproximadamente entre 33,3°N e 37°N, uma faixa que engloba as cidades de Rodes, a 36,4°N e de Siracusa, a 37,1°, na Sicília (SEIRADAKIS, 2017). Análises na epigrafia das inscrições dos eclipses recuperadas do calendário Saros reforçam que a construção do Mecanismo ocorreu por volta de 205 AEC, embora ainda haja debate sobre o tema. Estes local e data são compatíveis com a vida de Arquimedes (figura 37), que viveu em Siracusa e foi morto no cerco a esta cidade em 212 AEC. É sabido pelos escritos de Cícero que Arquimedes construiu uma máquina que poderia ser o Mecanismo de Antikythera. Há também referências a vários outros dispositivos mecânicos de representação astronômica ligados ao sábio grego. Tudo isto torna-o candidato a ser o projetista da máquina. Mas o Mecanismo também poderia ter sido construído depois, em uma tradição de fabricação de instrumentos que se originou com a escola do próprio Arquimedes (FREETH, 2009).

A data da construção do Mecanismo também o aproxima de Apolônio de Perga, que morreu em aproximadamente 190 AEC. Foi ele quem iniciou as teorias epicíclicas que a máquina descreve no movimento da Lua e provavelmente dos planetas conhecidos na antiguidade (FREETH, 2014). Também há a possibilidade de que, a partir de protótipos de outras máquinas de Arquimedes, Hiparco tenha construído o Mecanismo de Antikythera, auxiliado por dados de eclipses enviados por seus discípulos (MOUSSAS, 2014).

Figura 37. Arquimedes de Siracusa (esquerda), Apolônio de Perga (centro), Hiparco de Nicéia.



Fonte: <http://www.wikipedia.com>

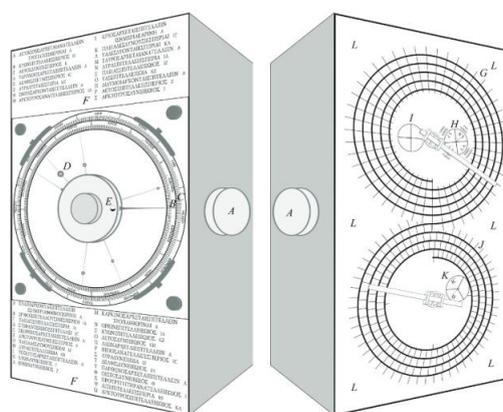
<sup>7</sup>Tabela com conjunto de datas e horários de nascimento e ocaso de estrelas de referência, presentes no Mecanismo e recuperadas com a técnica de mapeamento de texturas.

#### 4.9. O Mecanismo de Antikythera

Atualmente o Mecanismo de Antikythera é descrito como duas placas metálicas de 17cm x 32cm, uma frontal e outra traseira, separadas por não menos que 10cm uma da outra, contendo internamente seu complexo sistema de aproximadamente 60 engrenagens. Este conjunto fica em um invólucro de madeira (figura 38). O painel frontal apresenta inscrições na parte superior e inferior com efemérides, datas e horários de nascimento e ocaso de algumas estrelas: o Parapegma. Na região central está o painel do planetário, dentro de dois círculos concêntricos. O círculo externo marca o ano egípcio de 365 dias. O círculo interno traz as constelações zodiacais (12 na antiguidade). Do centro do painel partem ponteiros que indicam posição, em relação às constelações, do Sol, da Lua e, muito provavelmente, dos cinco planetas conhecidos na antiguidade: Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno. O ponteiro da Lua também apresenta um indicador de fases por meio de uma esfera giratória semi-prateada. Poderia haver um ponteiro mais comprido que indica a data graduada no círculo externo, ligado na engrenagem B1 do Mecanismo, e representaria o Sol Médio.

A parte posterior da máquina contempla dois calendários dispostos em espiral e textos que, ao que tudo indica, são instruções para se operar o dispositivo. O mostrador superior era um calendário Metônico, de 5 voltas espirais que representam 19 anos de 235 meses sinódicos. Há dois relógios auxiliares na parte interna do calendário Metônico: o Calíptico, que indica quando se deve compensar um dia na leitura do calendário a cada 76 anos, e o Olímpico, que indica os Jogos Pan-Helênicos organizados em Olímpia, Delfos, Nemea, Istmia e Dodona. O calendário inferior é um previsor de eclipses denominado Saros, distribuído em uma espiral de 4 voltas que concentra 18 anos com 223 meses sinódicos que constitui um ciclo de ocorrência de eclipses. Em seu interior há um relógio auxiliar (Exeligmos) que indica se há ou não necessidade de acrescentar 8h ou 16h no horário de ocorrência do eclipse indicado no Saros. Ambos os calendários contam com um ponteiro cuja extremidade externa é encaixada no sulco das espirais e a extremidade interna pode deslizar no eixo que o conecta à engrenagem de dentro do Mecanismo. Deste modo a cada volta o ponteiro acompanha a leitura correta distribuída nas espirais. No fim do ciclo a extremidade externa do ponteiro deve ser reposicionada no início da espiral manualmente (JONES, 2018).

Figura 38. O aspecto externo do Mecanismo de Antikythera, de acordo com as pesquisas mais atuais.



Fonte: Jones (2018).

## Referências

- AMERICAN MATHEMATICAL SOCIETY.** Disponível em: <<http://www.ams.org/publicoutreach/feature-column/fcarc-kyth1>>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- ANTIKYTHERA MECHANISM RESEARCH PROJEC.** Disponível em: <<http://www.antikythera-mechanism.gr>>. Acesso em: 07 abr 2019.
- ARISTOTLE UNIVERSITY** - Disponível em: <<http://antikythera-mechanism.auth.gr>>. Acesso em: 07 abr 2019.
- ASTRONOMIA E ASTROFÍSICA.** Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br>>. Acesso em: 07 abr 2019.
- BANDEIRA, B. Mecanismo de Anticítera: desvendando seus enigmas, Belo Horizonte, 14<sup>o</sup> **Seminário Nacional de História da Ciência e Tecnologia**, out. 2014.
- BANDEIRA, B. Mecanismo de Anticítera: o extraordinário Cosmos portátil, São Paulo, **Khronos**, n. 5, p. 12, jun. 2018.
- CARMAN, EVANS, THORNDIKE; Solar anomaly and planetary displays in the antikythera mechanism, **Journal for the History of Astronomy**, Cambridge, v. 41, p.1-39, 2010. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- CARMAN, EVANS, THORNDIKE; On the Pin-and-Slot Device of the Antikythera Mechanism, with a New Application to the Superior Planets, **Journal for the History of Astronomy**, Cambridge, v. 43, p.93-116, 2012.
- CARMAN, C, COCCO, MARCELO; **The moon phase anomaly in the Antikythera Mechanism**, 2016. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- DAMASCENO, J, **O Ensino de Astronomia como facilitador nos processos e Ensino e Aprendizagem**, 2016, 141f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio Grande. Disponível em: <<http://www1.fisica.org.br/mnpef>>. Acesso em: 07 abr 2019.
- FRANCESCHI, A.; ANTONELLO, M.; Santa Maria, **Elementos de Máquinas**, UFSM, 2014.
- FREETH, T. et al, Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism, **Nature**, v. 444, p. 587-591, nov.2006. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- FREETH, T. et al, Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism, **Nature**, v. 454, p. 614-617, jul.2008. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 ab. 2019.
- FREETH, T., Decoding an Ancient Computer , **Scientific American**, v. 77, p. 76-86, dez. 2009. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- FREETH, T., Building the Cosmos in the Antikythera Mechanism, Kerastari, Conference: From Antikythera to the Square Kilometre Array: **Lessons from the Ancients**, 2013.
- FREETH, T., **Eclipse Prediction on the Ancient Greek Astronomical Calculating Machine Known as the Antikythera Mechanism**, San Francisco, Plos One, 2014. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr. 2019.
- JONES, A., "Like Opening a Pyramid and Finding an Atomic Bomb": Derek de Solla Price and the Antikythera Mechanism, **American Philosophical Society**, New York, v. 162, p.259-294, 2018. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- JONES, A., IVERSEN, P, The Back Plate Inscription and eclipse scheme of the Antikythera Mechanism revisited, **Archive for History of Exact Sciences**, v. 73, p. 469-511, jun. 2019. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.
- LANGHI, RODOLFO; **Educação em Astronomia: da revisão bibliográfica sobre concepções alternativas à necessidade de uma ação nacional**; Florianópolis, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2011.
- NARDI, R; SILVA, J.A.P; **Arte e Ciência na Lua: Interdisciplinaridade e formação de professores**; Bauru, Cultura Acadêmica; 2017.
- NARDI, R; NEVES, M.C.D; SILVA, J.A.P; **Arte e Ciência na Lua: percursos na interdisciplinaridade**; Bauru, Cultura Acadêmica; 2018.
- MACINNIS, K. D. **An Examination of the Antikythera Mechanism**, 2015. Disponível em <[www.academia.edu](http://www.academia.edu)>. Acesso em: 07 abr 2019.

MOLIN; **Elementos de Máquinas e Mecanismos**; São Paulo, ESALQ-USP, 2016.

MOUSSAS et al, **The gears of the Antikythera Mechanism: an educational pathfinder to the solar system**, Cambridge, *The Role of Astronomy in Society and Culture*, 2009.

MOUSSAS, X. Antikythera Mechanism **The oldest computer and Mechanical Cosmos**, Birmingham, University of Birmingham, 2014.

MOURÃO, Ronaldo Rogério de Freitas; **Manual do Astrônomo**; Rio de Janeiro, RJ; Jorge Zahar Editor, 2001.

**MUSEU ARQUEOLÓGICO NACIONAL DE ATENAS**: Disponível em: <<http://www.namuseum.gr>>. Acesso em: 07 abr 2019.

OLIVEIRA, K. de; SARAIVA, M. de F. **Astronomia e Astrofísica**, São Paulo; Livraria da Física, 2014.

PRICE, D. S.; **Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism - A Calendar Computer from ca. 80 B.C.**, Filadélfia, American Philosophical Society, 1974.

ROSA, R. **Astronomia Elementar**; Uberlândia, EDUFU, 1994.

SEIRADAKIS, J. The Antikythera Mechanism: From the bottom of the sea to the scrutiny of modern technology, Thessaloniki, **Academy of Institutions and Culture**, 2017.

SENAI, **Noções Básicas de Elementos de Máquinas**; Vitória, 1996.

Recebido em: 05/12/2019

Aceito em: 30/12/2019

Endereço para correspondência:

Nome: Wilson Guerra

Email: wilsonguerra@gmail.com

SILVA, M.; **Desenvolvimento de um programa para a verificação de engrenagens cilíndricas de dentes retos e helicoidais**. 58f. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SILVEIRA, F. L. As variações dos intervalos de tempo entre as fases principais da Lua, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.23, n.3, pp.300-307, set. 2001

**STELLARIUM**. Disponível em: <<http://www.stellarium.org>>. Acesso em 07 abr 2019.

WRIGHT, M.T., The Antikythera Mechanism: a New Gearing Scheme, Stadhampton, **Bulletin of the Scientific Instrument Society**, v. 85, p.2 – 7, jun.2005. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.

WRIGHT, M.T., Epicyclic gearing and the Antikythera Mechanism, Londres, **Antiquarian Horology**, V. 29, Issue 1, p.51 - 63, set.2005. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.

WRIGHT, M.T., The Antikythera Mechanism and The Early History of the Moon-phase Display, Londres, **Antiquarian Horology**, V. 29, Issue 3, p.319 - 329, 2006. Disponível em: <[www.antikythera-mechanism.gr](http://www.antikythera-mechanism.gr)>. Acesso em: 07 abr 2019.



Esta obra está licenciada sob uma Licença [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)