
UM PRESENTE DE GREGO: A MÁQUINA DE HERO DE ALEXANDRIA

Penha Maria Cardoso Dias
Andréa de Azevedo Morégula
Cláudia Pinheiro Thompson
Luana Márcia Baptista Tavares
Ludmila Gabcan
Instituto de Física – UFRJ
Rio de Janeiro – RJ

Resumo

Hero de Alexandria (século III a.C.) nos legou uma engenhoca termo-pneumática, para abrir e fechar portas (de um templo). Essa máquina pode ser considerada uma legítima máquina térmica. Construímos um modelo da máquina de Hero, de “fabricação caseira” a partir de desenhos em livros de História da Ciência. Nesse trabalho, apresentamos sua flanta e fotos, bem como discutimos as dificuldades que encontramos em sua construção.

I. Introdução

Em um artigo anterior (DIAS et al., 1993), analisamos a explicação que a Antigüidade Helênica dava aos fenômenos da expansão do ar aquecido, da contração do ar esfriado e a outros fenômenos termo-pneumáticos. Em particular, Filo de Bizâncio (século III a.C.) e Hero de Alexandria (século I a.C.) conceberam engenhocas movidas pela expansão do ar quente. Entre essas, Hero nos deixou a máquina que abre e fecha as portas do templo, quando o “fogo sagrado” é aceso em um altar (Fig. 1). Os princípios do funcionamento dessa máquina foram, também, discutidos em nosso trabalho anterior. Essa máquina é particularmente curiosa, por ser uma legítima máquina térmica que em nada difere, no que diz respeito aos princípios e etapas de sua operação, da máquina de Savary, do final do século XVIII – a primeira a operar comercialmente para uso na produção econômica (CARDWELL, 1971).

Construímos um modelo da máquina de Hero. Não se trata, aqui, de uma reprodução da máquina que teria sido construída por ele, com os recursos de sua época. Tratamos, tão somente, de reproduzir o equipamento a partir do desenho legado por Hero (COHEN; DRABKIN, 1975) e fazê-lo funcionar; isso, dentro de nossas possibilidades, fossem essas financeiras ou mesmo físicas, pela falta de acesso aos recursos de um laboratório. Para começar, essa máquina foi, *literalmente*, de *fabricação caseira*, em fins de semana, na cozinha ou no quintal, com nossos próprios recursos. Ficou a curiosidade de ver *se* e *como* era possível fazer o modelo funcionar de alguma forma.

A motivação imediata do trabalho foi que tencionávamos apresentar a máquina no “IV Colóquio de História da Ciência: A Ciência Grega”, do Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência (CLE), da UNICAMP. Na época, dificuldades de transporte impediram-nos de levar o protótipo a Valinhos, onde ocorria o colóquio. O modelo que tínhamos já havia sido apresentado em uma palestra que ministramos no “Projeto de Iniciação à História da Ciência”, organizado pelo Instituto de Matemática e o pelo Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense. Posteriormente, construímos um modelo um pouco menor, que, aqui, apresentamos. Hoje, existe um modelo mais refinado e de construção mais cuidadosa, feito na USP, sob a supervisão do Professor Ernst Wolfgang Hamburger.

Do ponto de vista de seu funcionamento, nossa máquina é extremamente ineficiente. Contudo, pelas questões que coloca, é sua ineficiência, mais do que seu sucesso, que a torna interessante. Os problemas que aparecem na construção, as dificuldades para fazê-la funcionar e as questões de Física daí suscitadas fornecem rica fonte para a mente inquisitiva. Do ponto de vista histórico, as dificuldades que encontramos nos fizeram perguntar *como* teria sido possível a Hero, com os recursos de sua época, construir uma máquina que funcionasse, ainda que ineficientemente, como foi o caso com a nossa e com a de Savary. Do ponto de vista da História da Física, enquanto *pretexto para a discussão dos Fundamentos da Física*, a máquina fornece uma ocasião para revisitar as etapas da criação das categorias da Teoria do Calor. Afinal, foi estudando o funcionamento de máquinas a vapor que Sadi Carnot estabeleceu as categorias do pensamento termodinâmico e chegou à Segunda Lei da Termodinâmica, mais tarde corrigida por Rudolf Julius Emmanuel Clausius (DIAS, 1990). Queremos que este trabalho seja instigante aos *filósofos-da-natureza* – essa espécie de físicos em extinção – mais do que ao físico “normal”. Queremos que esses filósofos se motivem a ler Carnot, a crítica que lhe fez William Thomson e a brilhante correção que a ambos fez Clausius (KLEIN, 1974).

II. A máquina de Hero

A Fig.1 mostra a máquina de Hero. À esquerda está o altar; à direita, a porta. O recipiente esférico, debaixo do altar, contém água. Cada batente da porta está rigidamente ligado a um cilindro, capaz de girar em torno de seu eixo. Um balde é suspenso por duas cordas, que passam por roldanas; as cordas são estiradas e, respectivamente, enroladas nos cilindros. Um contrapeso é amarrado a duas cordas, que também passam por roldanas, e que são, respectivamente, enroladas nos cilindros dos batentes.

Inicialmente, a porta é mantida fechada, o peso do balde vazio sendo equilibrado pelo contrapeso. Quando o “fogo sagrado” é aceso no altar, o ar dentro dele é aquecido e se expande, empurrando a água contida no recipiente esférico, através de um sifão, até o balde suspenso. Com o peso da água, o balde desce, puxando a corda, que, então, gira os cilindros, causando a abertura da porta. Com a descida do balde cheio, o contrapeso sobe. Ao apagar o fogo, o ar no altar esfria e condensa; a água retorna ao recipiente esférico, empurrada pelo ar atmosférico. O balde, então, sobe, enquanto o contrapeso desce, causando o giro dos cilindros, em sentido inverso ao anterior, e o fechamento da porta.

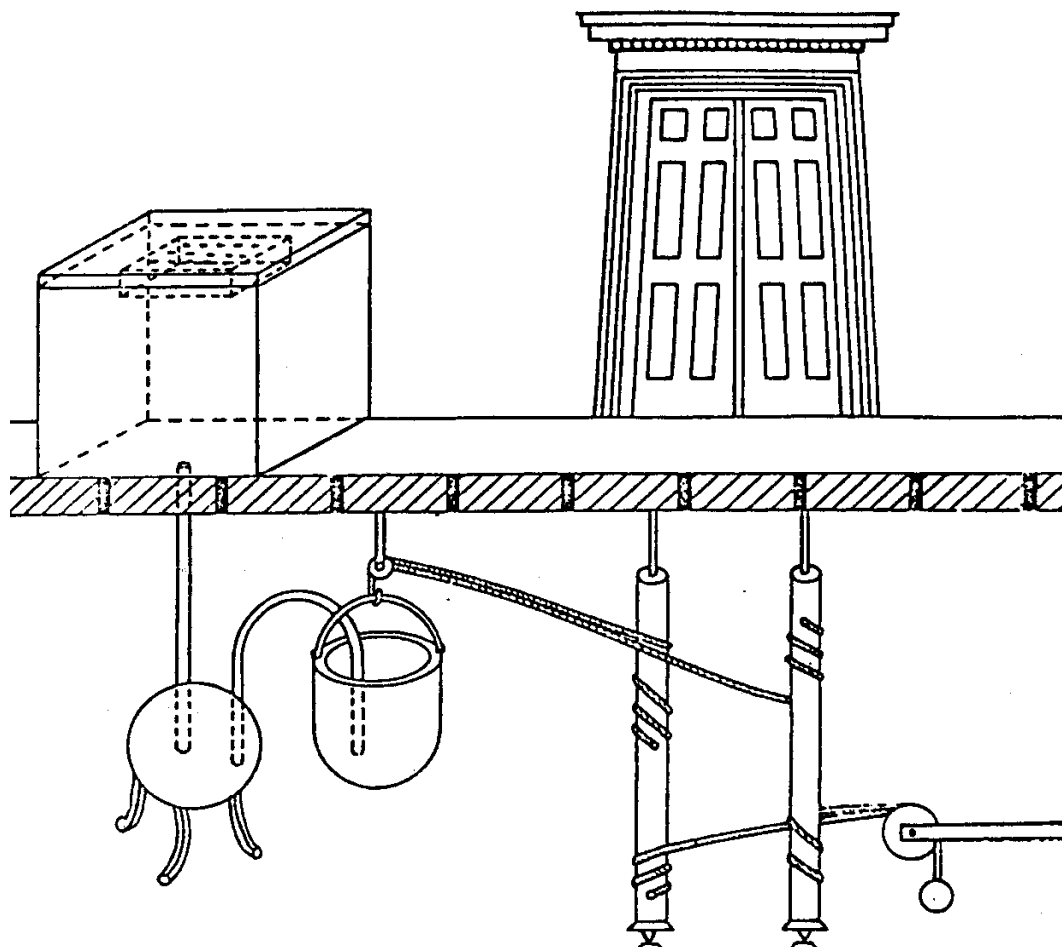


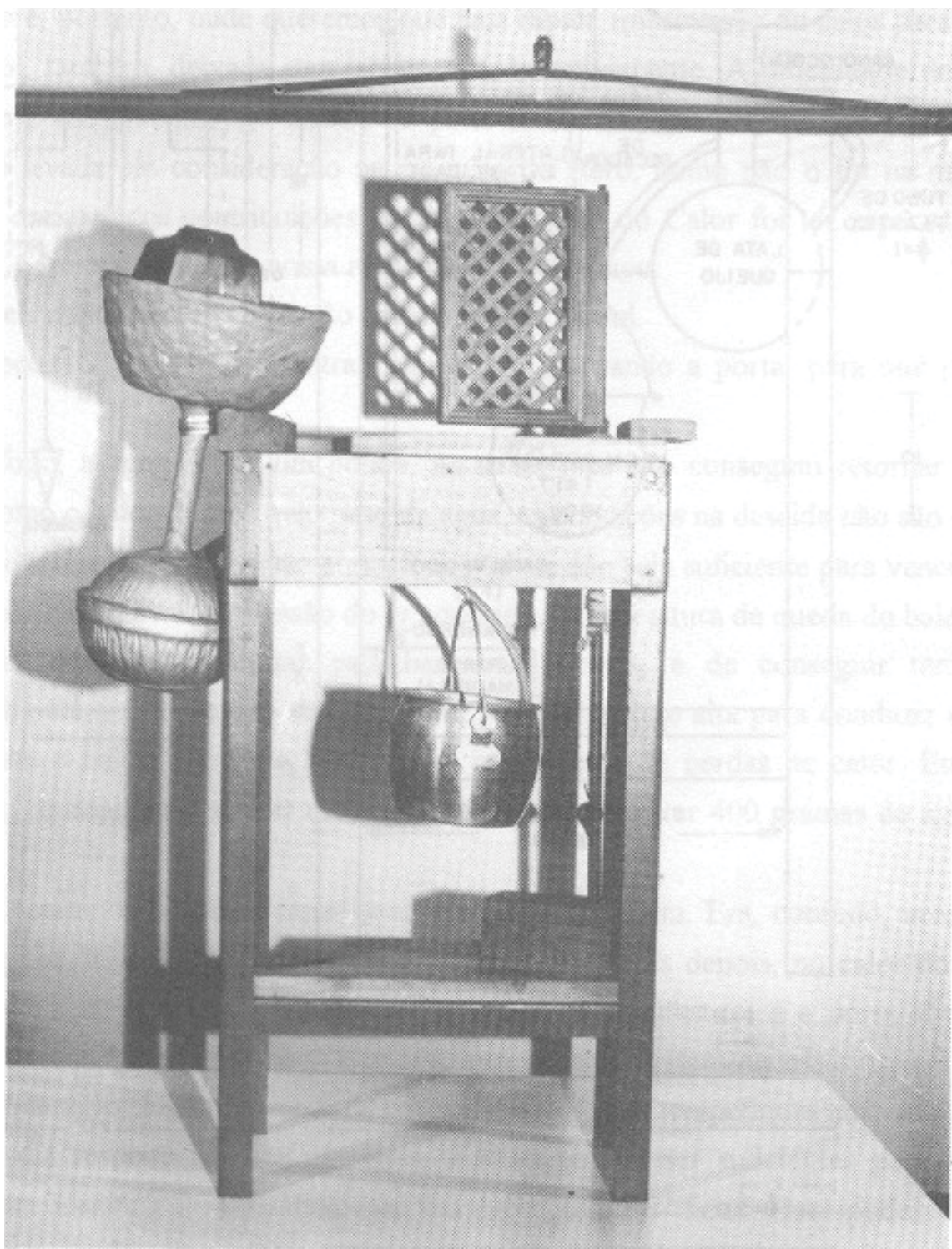
Fig.1- A máquina de Hero de Alexandria (reproduzida de COHEN; MORRIS; DRABKIN, 1975).

III. A máquina de Hero revisitada

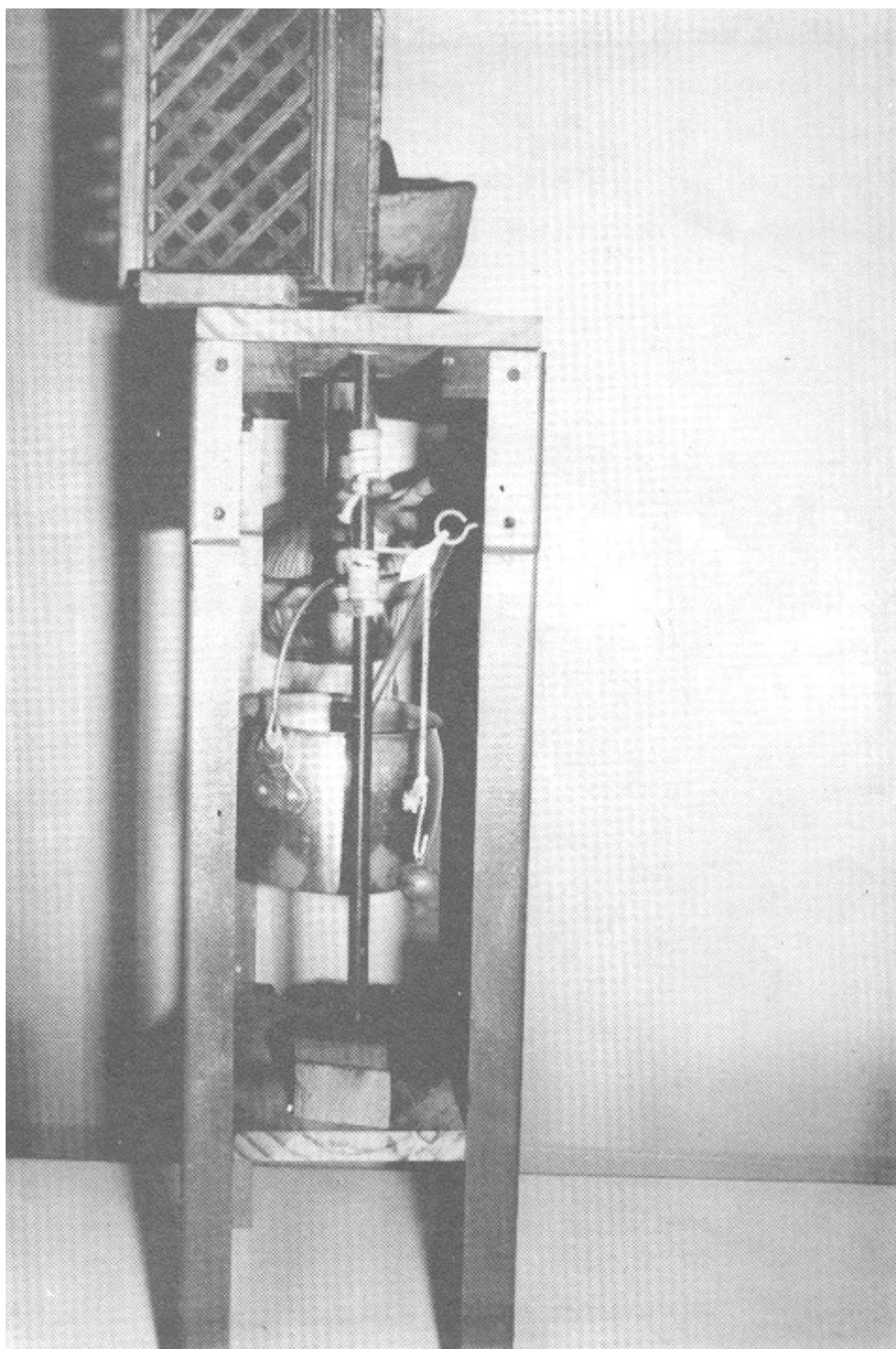
Essa máquina está representada na Fig.2, em planta de frente, lateral e em planta baixa. A figura contém indicações dos materiais usados e das soluções encontradas para as várias partes da máquina. Fotos da máquina são, também, apresentadas.

Algumas observações sobre sua construção são relevantes.

1. Uma dificuldade que encontramos lembra-nos a própria história das máquinas térmicas e o problema com que James Watt se defrontou (CARDWELL, 1971), a saber, como evitar perdas de calor do ar aquecido pelo contato com o material do altar, do cano e do recipiente esférico e, daí, para o ambiente. Nós revestimos a parte térmica, externamente, com durepoxi, exceto a tampa do altar, onde o fogo é aceso e, portanto, onde queremos que haja rápida transmissão de calor para o interior do altar; a esfera foi, também, deixada sem isolamento, experimentalmente. A dificuldade de Watt, de evitar aquecimentos e esfriamentos sucessivos da parte térmica, e que ele resolveu, inventando o condensador, não é levada em consideração na máquina de Hero, como não o foi na máquina de Savary. Aliás, uma das grandes contribuições de Watt à Teoria do Calor foi ter separado as duas fontes (DIAS, 1990). Sem o isolamento, nossa máquina não funcionou.
2. Como combustível, usamos estopa e carvão embebidos em álcool.
3. A abertura é espetacular. As fotos mostram um calço, segurando a porta, para que parasse de girar.
4. Após apagar o fogo, a água subiu, um pouco, no sifão, mas não conseguiu retornar ao balde. Suspeitamos que, como o balde desceu pelo peso da água, as condições na descida não são simétricas às da subida. Conseqüentemente, a pressão atmosférica talvez não seja suficiente para vencer a altura da coluna de água que caiu, devido à pressão do ar aquecido, *mais* a altura de queda do balde.
5. Uma grande dificuldade da máquina está na parte térmica, a de conseguir temperaturas suficientemente altas para que a pressão seja, também, suficientemente alta para conduzir a água do recipiente esférico até o balde. De novo, deve haver o problema de perdas de calor. Em um dos melhores resultados, conseguimos manter um fogo capaz de transportar 400 gramas de água para o balde.
6. Em uma ocasião, tentamos refazer a experiência e a porta não abriu. Era, contudo, inverno e um dia frio, talvez 18°C a 20°C. Refizemos a experiência, meses depois, no calor do verão de 1993, um ano particularmente quente, em que o “El Niño” se manifestou, e a porta abriu. Nessa ocasião, obtivemos os melhores resultados. Embora outros testes fossem necessários, em princípio atribuímos o fracasso anterior à grande perda de calor, causada pela baixa temperatura ambiente.
7. Outra dificuldade diz respeito à parte mecânica. Atritos podem ser suficientes para impedir o movimento do sistema. Usamos um rolamento que fica escondido dos “fiéis”. Hero poderia ter usado outros métodos, por exemplo, uma ponta extremamente afilada e lubrificantes, que existiam. Além disso, é bom observar que o sistema tem que estar em completo equilíbrio mecânico: porta na vertical, bancada na horizontal e firme, etc.
8. Há um problema, o de como encher de água a esfera. É claro que a água é posta pelo tubo do sifão. Mas o ar dentro da esfera tem que sair, caso contrário, a água não entra nela. Para isso, fizemos um furo na esfera. Nesse furo, introduzimos uma peça cilíndrica, oca, de plástico; para



Vista geral da máquina. Note, no topo do altar, um espelho de botão de descarga. O carvão e a estopa são colocados debaixo do espelho, concentrando o calor; a chama sai pelo orifício do espelho.



Em primeiro plano, aparecem o contrapeso e o cilindro de ferro, preso à porta (de modo que ela gira, quando o cilindro gira). Em segundo plano, o balde e a parte final do sifão. Ao fundo, o recipiente esférico, onde a água é colocada. O rolamento, não visível, fica enterrado no bloco de madeira, onde o cilindro se apóia; na parte superior do cilindro, onde se atravessa a mesa, um mancal (não visível) foi improvisado e embutido.



Detalhe do sistema termodinâmico, mostrando o recipiente esférico: Aparece o pino que tampa o orifício de saída do ar. A foto mostra o sifão, saindo do recipiente até o balde.

ajustar a peça no furo, usamos durepoxi. Assim, fica formada uma abertura, por onde o ar pode sair. Entretanto, após encher de água a esfera, ela tem de ser vedada. Para vedar a abertura, usamos um pino plástico, desses de suportar prateleiras de estantes, que se ajustasse perfeitamente à peça cilíndrica, funcionando como rolha.

9. Para termos um controle mais completo do experimento e dirimir dúvidas, teríamos de repeti-lo, variando situações, e fazer algumas medidas; por exemplo, a altura que a água alcança no tubo, na subida, a pressão conseguida, a temperatura do ar, a distância que o balde desce, etc. Não o fizemos, menos pelas dificuldades impostas pelo desenho de nossa máquina, do que pelas condições precárias de trabalho. Nosso objetivo não poderia ser o do rigor científico, mas o da mera curiosidade.

IV. Agradecimentos

Contamos com ajudas: A do Sr. Ricardo José Soares, técnico do Laboratório de Criogenia do Instituto de Física, que nos sugeriu soluções e construiu peças, em horas após seu expediente; a do Sr. Carlos Alberto Tavares, que, com sua experiência e pendor natural para as ciências empíricas, nos ajudou em todos os momentos. À Sra. Eneide Baptista Tavares, nosso muito obrigado pelo carinho com que transformou sua casa em laboratório e cuidou de trogloditas, que perturbaram seus fins de semana.

Referências

CARDWEL, D. S. L. From Watt to Clausius: the rise of Thermodynamics in the early industrial age. Ithaca: Cornell University Press, 1971.

COHEN; MORRIS; DRABKIN, I. E. A Source Book in Greek Science. Cambridge: Harvard University Press, 1975.

DIAS, P. M. C. Sadi Carnot: pré-história e histórias. Revista da USP, v. 7, p. 61-78, 1990.

DIAS, P. M. C.; MORÉGULA, A. A.; THOMPSON, C.; TAVARES, L. M. B.; GABCAN, L. A visão grega de um milagre divino: a realidade atrás das portas do templo. Cadernos de História e Filosofia da Ciência, v. 2, p. 85-103, 1993.

LUANA, M.B., GABCAN, LUDMILA, “A Visão Grega de um Milagre Divino: A Realidade Atrás das Portas do Templo”, Cadernos de História e Filosofia de Ciência, [série 3], v.2, 1993, 85-103.

KLEIN, M. J. Carnot's contributions to Thermodynamics. Physics Today, v. 27, p. 23-28, 1974.