

Astronomia no mundo islâmico: uma perspectiva europeia

Richard Kerner

Sorbonne Université, França

Resumo

As conquistas matemáticas e astronômicas do mundo islâmico durante sua era dourada são brevemente expostas. Este artigo é baseado na palestra convidada proferida remotamente no encontro astronômico ICRANET-Isfahan, que ocorreu de 2 a 5 de novembro de 2021, que, por sua vez, reproduz partes importantes de um dos capítulos do meu livro *Our Celestial Clockwork*, publicado recentemente (2021) pela World Scientific [1].

Abstract

Mathematical and astronomical achievements of the Islamic World during its golden era are briefly exposed. This article is based on the invited talk delivered remotely at the ICRANET-Isfahan Astronomical meeting, November 2-5, 2021, which, in turn, reproduces major parts of one of the chapters of my book *Our Celestial Clockwork*, published recently (2021) by the World Scientific [1].

Palavras-chave: história da ciência, astronomia, mundo islâmico.

Keywords: history of science, astronomy, islamic world.

DOI: [10.47456/Cad.Astro.v5n2.45445](https://doi.org/10.47456/Cad.Astro.v5n2.45445)

1 A propagação da astronomia na Idade de Ouro do Islã

No final do quinto século d.C., o Império Romano estava em ruínas. Foi dividido nas partes Ocidental e Oriental já em 395 d.C. e sujeito a crescentes invasões bárbaras desde então. O último imperador romano, Rômulo Augusto, foi eliminado em 476 d.C. pelo chefe germânico de guerra Odoaker, que se autoproclamou imperador.

A parte oriental do Império, com capital em Constantinopla, transformou-se gradualmente no Império Bizantino de língua grega. Todos estes territórios, incluindo o Egito e o Norte de África até à Espanha, eram cristãos desde que o Imperador Constantino proclamou o Cristianismo como religião oficial. No entanto, desde a queda do Império Romano Ocidental, a maior parte destes territórios foram privados de qualquer exército e de Estado organizado, se tornando propensos a invasões bárbaras, entre as quais os Hunos, os Godos e os Vândalos foram os mais importantes e desastrosos.

Em meados do século VII d.C., uma nova religião foi proclamada por Maomé na Arábia, deri-

vada das tradições judaica e cristã, simplificando-as e professando com grande convicção a singularidade de Deus. Esta foi uma revolução importante, porque substituiu a princípio tribal por uma unidade religiosa e social mais geral.

Enquanto a Europa entrou na era de turbulência e invasões da Idade das Trevas, que durou aproximadamente desde 500 d.C. até ao século XII, os árabes conquistaram vastos territórios criando uma civilização islâmica fervilhante, que se espalhou desde a Espanha mourisca, no Ocidente, através do Norte de África Ocidental, através do Egito e da Mesopotâmia, tocando a Índia e até mesmo as partes mais ocidentais da China. Durante os primeiros séculos, eles tiveram que lidar com o ainda poderoso Império Romano Oriental e com o poderoso grande Império Persa dos Sassânidas.

As principais etapas desta extraordinária aventura político-religiosa podem ser representadas da seguinte forma:

- Califas Corretamente Guiados 632-661,¹
- Expansão Omíada 661-750,

¹Califas que surgiram logo após a morte de Maomé.

- Expansão Abássida 750-1258,
- Espanha Mourisca 756 - 1162.

O único precedente de uma expansão tão rápida foi o império helenístico construído por Alexandre, o Grande. Tal como o grego e o latim antigos no Império Romano, a língua árabe tornou-se universal entre os estudiosos islâmicos, com o persa e o turco como subsidiárias no Oriente. A ciência grega antiga foi assimilada e desenvolvida ainda mais. Aristóteles, Euclides e Ptolomeu foram traduzidos e multiplicados em incontáveis exemplares. A ciência médica dos gregos antigos foi incorporada, e Hipócrates e Galeno também foram traduzidos.

A “Idade de Ouro” da civilização islâmica abrange o período do século IX ao XIII d.C. em Bagdá, sob a dinastia Abássida, e na Espanha moura até o século XIV; durou um pouco mais na Ásia Central, caindo sob a conquista mongol.

Durante os primeiros 115 anos do Califado Abássida (de 750 a 1258 dC), o Estado Islâmico viu um crescimento recorde nos campos das artes da literatura e da música, das ciências (especialmente astronomia), filosofia, matemática, medicina, cultura, comércio e indústria. O árabe, a língua do Alcorão, tornou-se a língua dos estudos internacionais. Além da capital, Bagdá, muitos centros provinciais competiam entre si. Vários termos científicos de origem árabe estão em uso na ciência ocidental até hoje e são conhecidos por todos: basta citar alguns, como álgebra, algoritmo, zênite, azimute, nadir, álcool, álcali.

Em 751 d.C., com a ajuda de alguns prisioneiros chineses, o governador abássida de Samarcanda fundou a indústria do papel. Em 800 d.C., fábricas de papel foram estabelecidas em Bagdá e Damasco; em 900 d.C., outro foi estabelecido no Cairo. Por volta de 1150 d.C., vários foram estabelecidos no Marrocos e na Espanha. Como resultado, a aprendizagem islâmica espalhou-se rapidamente pela Europa.

Em 756 d.C., Amir Abd ar-Rahman chegou ao poder na Espanha. Seu mandato também contribuiu para a Idade de Ouro Islâmica. Ele organizou um sistema de lei e justiça e gostava muito de conhecimento e aprendizagem. Acadêmicos de toda a Europa buscaram o conhecimento e o aprendizado da Espanha durante seu mandato.

As universidades islâmicas eram as únicas instituições educacionais gratuitas.

Em 830 d.C., o sétimo califa abássida, Al-Mamun, estabeleceu a famosa Casa da Sabedoria em Bagdá. A língua grega deu lugar ao árabe como forma de expressão de ideias científicas e filosóficas. A literatura grega clássica foi traduzida para o árabe e estudiosos de língua árabe escreveram vários comentários renomados.

Não é de admirar que, durante o despertar da Europa Ocidental Medieval, os estudiosos se tenham voltado primeiro para traduções árabes da ciência grega antiga. Para enriquecer a Europa cristã em estudos científicos, médicos e filosóficos, estas obras tiveram de ser vertidas ao latim. Isto foi feito principalmente na Espanha muçulmana e na Sicília e esses livros serviram como livros didáticos em universidades durante séculos.

No entanto; reconhecendo o papel crucial da Idade de Ouro Islâmica na transmissão da ciência grega antiga, não devemos esquecer o facto de que ela foi previamente conservada e transmitida pelos próprios romanos e gregos, especialmente durante o início da era cristã. As primeiras traduções para o árabe foram feitas não antes de meados do século VIII, 1.100 anos depois de Aristóteles, 1.050 anos depois de Euclides e 900 anos depois de Ptolomeu publicar seus artigos científicos em grego, que foram escritos originalmente em papiro, material relativamente frágil. Um papiro comum, especialmente se for usado para leitura frequente, não duraria mais do que alguns séculos; isso significa que os papiros dos quais os árabes traduziram os textos da filosofia e da ciência gregas foram copiados muitas vezes por gregos, romanos, judeus e cristãos siríacos durante os séculos anteriores às invasões islâmicas.

2 As fontes

A ciência islâmica teve as suas fontes em ambos os lados da sua difusão geográfica, nomeadamente na tradição científica grega conservada em Bizâncio e no Egito helenístico, ambos cristianizados há muitos séculos. As tradições matemáticas e astronômicas indianas e persas [2] são outras fontes importantes da ciência islâmica.

Os gregos devem muito do conhecimento astronômico às primeiras civilizações babilônica e

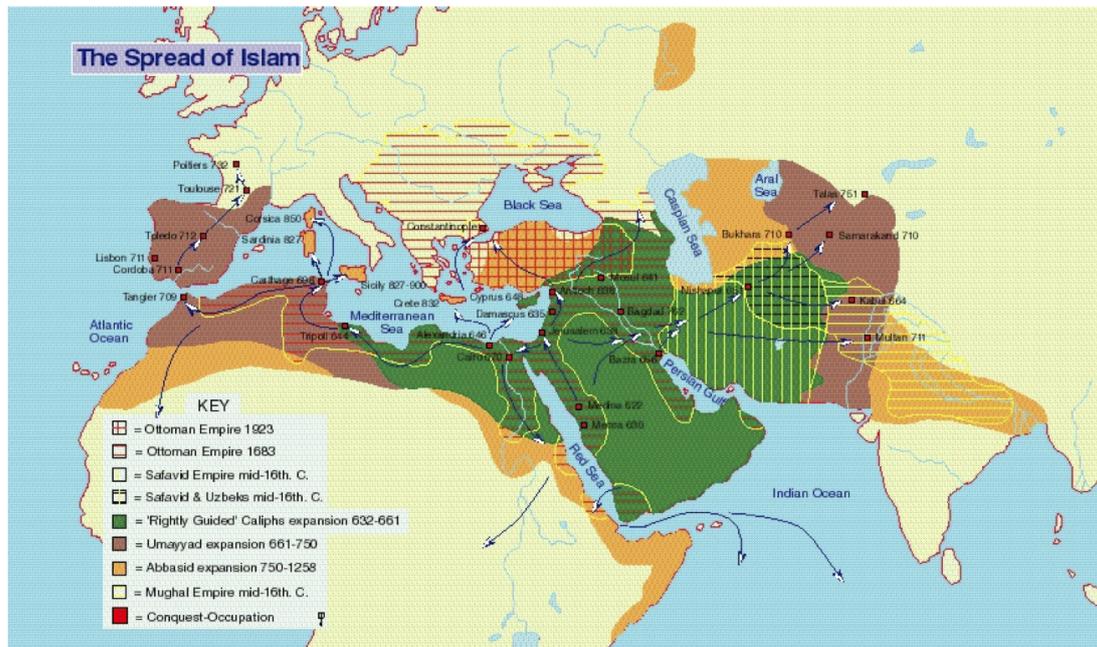


Figura 1: Expansão do Islã na Idade Média.

egípcia; no entanto, enriqueceram e ampliaram esses conhecimentos em proporções sem precedentes.

Na antiga Babilônia, as observações eram realizadas pelos caldeus do topo de construções piramidais chamadas *Zigurates*. Eles foram capazes de determinar com surpreendente precisão as coordenadas celestes de estrelas e planetas, e acompanhar os movimentos anuais do Sol e os movimentos mensais da Lua. Tal como no antigo Egito, a cronometragem era uma das suas funções mais importantes, bem como a interpretação de presságios de configurações planetárias e outros eventos celestes perceptíveis, especialmente eclipses solares e lunares, alguns dos quais eles vieram a prever com bastante sucesso devido à compreensão da chamada periodicidade *Saros*, que estabelece o período dos eclipses.

O primeiro contato do mundo islâmico com a matemática e a astronomia deveu-se às influências indianas e persas [3, 4]. Da Índia, os árabes adotaram o sistema decimal com os numerais (incluindo o zero) que usamos hoje. O principal texto matemático indiano de Brahmagupta (598 - 670 d.C.) foi traduzido muito cedo para o árabe.

Esse texto continha, entre outras, a ideia de números negativos e suas propriedades algébricas. Eles foram chamados de “dívidas”, em oposição aos números positivos chamados de “fortu-

nas”. Não só foi definida a sua adição algébrica, mas também a multiplicação, com regras bem conhecidas, incluindo o fato de que um produto de dois números negativos é um número positivo.

Brahmagupta devia muito de seu conhecimento ao seu antecessor Aryabhata (476 - 550 d.C.), devidamente chamado de “pai da matemática indiana”. Aryabhata foi sem dúvida o maior matemático e astrônomo da Índia antiga. Sua principal obra é conhecida como *Aryabhatiya*. Continha os elementos de trigonometria esférica, equações quadráticas, álgebra, trigonometria plana, somas de séries de potências e aritmética.

No lado ocidental do avanço inicial dos árabes estavam os vastos territórios do Império Romano cristianizado, herdeiro da cultura e civilização latina e grega. Os três pilares da ciência grega que foram adotados pelos polímatas árabes e islâmicos foram: Aristóteles para a física e todas as outras ciências naturais, Euclides para a geometria e Ptolomeu para a astronomia. Suas principais obras foram traduzidas, copiadas, editadas e comentadas por estudiosos muçulmanos durante os séculos seguintes.

Aristóteles assumiria o título de “Primeiro Mestre”, atestando toda a herança intelectual dos gregos, vista como um conhecimento sistemático compatível com a visão de mundo muçulmana. Juntamente com as obras do próprio Aristóteles,

os árabes traduziram uma quantidade igualmente grande de comentários que remontam à Antiguidade tardia, particularmente à Escola de Alexandria. Alguns dos textos de Platão foram traduzidos ao mesmo tempo.

Outra grande contribuição para o desenvolvimento da ciência no mundo islâmico veio da Grécia antiga através da tradução da totalidade dos livros escritos por Euclides. O grande matemático grego Euclides reuniu nos 13 livros de sua obra principal, *Os Elementos* o conhecimento geométrico elaborado por seus antecessores, Pitágoras (570 – 495 a.C.), Hipócrates de Quios (470 – 410 a.C.), Eudoxo de Cnidos (406 – 355 a.C.). O mérito de Euclides não foi apenas a sistematização de todos os fatos e teoremas geométricos conhecidos em sua época, mas, acima de tudo, a prova de que eles podem ser derivados de apenas cinco postulados.

Os *Elementos* foram copiados muitas vezes em grego em Bizâncio, e posteriormente traduzidos em siríaco. A tradução árabe do siríaco e do grego apareceu por volta de 800 d.C. sob o comando do califa Haroun al-Rachid. Em 1120, o monge inglês Adelardo de Bath traduziu o livro de Euclides do árabe para o latim.

Contudo, a matemática grega antiga era principalmente geometria, que era concebida como mais básica do que a aritmética. Na verdade, os gregos faziam uma distinção clara entre “números”, que foram reduzidos a números inteiros, frações e números racionais, e “magnitudes”, como a diagonal de um quadrado, que se provou não ser possível ser expresso como número racional (fração). O cálculo grego foi prejudicado pela ausência de um sistema de notação adequado, incluindo o conceito extremamente útil de zero, presente na matemática indiana. Os árabes conseguiram fundir as duas noções numa única, incluindo números negativos e quantidades incomensuráveis como raízes quadradas.

A astronomia, que naquela época era sinônimo de astrologia, recebeu grande importância pelos governantes muçulmanos desde o advento do Islã. A maior parte do conhecimento astronômico estava contida na *Magna Opus* de Ptolomeu, traduzida para o árabe das versões síria e grega conservadas em bibliotecas cristãs que sobreviveram à queda do Império Romano.

Cláudio Ptolomeu viveu na cidade egípcia de

Alexandria de 100 a 170 d.C. ou mesmo até 178 d.C., segundo alguns comentaristas árabes e tradutores de seus escritos. Naquela época, o Egito era uma província romana governada pela dinastia grega de mesmo nome de família, Ptolemaios.

Ptolomeu foi o último grande representante da ciência grega, herdeiro de uma tradição de oito séculos. Ptolomeu viveu e trabalhou 400 anos depois de Euclides, 600 anos depois de Péricles e 700 anos depois de Anaximandro de Mileto, que foi o primeiro a sugerir a ideia da esfera celeste e a produzir um mapa do mundo habitado conhecido em sua época. Pouco se sabe sobre a vida de Ptolomeu, exceto que ele provavelmente ela se passou em Alexandria, onde observou dois eclipses solares: um no nono ano do governo de Adriano (125 d.C.) e no quarto ano do governo de Antonino (141 d.C.). Além de seu *Syntaxis Mathematicus*, conhecido também como *Magnum Opus* devido à sua importância para a astronomia, e principalmente sob o nome de sua tradução árabe *Almagesto*. Ptolomeu também foi um geógrafo renomado em sua época.

O sistema geocêntrico elaborado na *Syntaxis* foi universalmente aceito durante a antiguidade helênica e romana, e mais tarde pelas civilizações medievais cristã e muçulmana, e foi usado para descrever e prever movimentos de corpos celestes por astrônomos e astrólogos.

3 A ciência islâmica e seus representantes

A matemática e a astronomia no mundo islâmico desenvolveram-se num contexto mais amplo de evolução cultural, filosófico, religioso e científico, devido a notáveis pensadores, médicos e polímatas, entre os quais os maiores foram os seguintes:

- Al-Farabi, (? - 950), conhecido no mundo cristão pelo nome latinizado Alfarabius. Ele passou a maior parte de sua vida em Bagdá. Escritor prolífico, foi autor de comentários sobre a filosofia platônica e aristotélica e de obras originais sobre física, alquimia, psicologia, astronomia e música. Sua autoridade era tão grande no mundo islâmico, que ele foi frequentemente chamado de “O Segundo Mestre” – significando o segundo depois de Aristóteles. Seus comentários abriram caminho para a síntese filosófica

de Ibn Sina (Avicena) e Ibn Rushd (Averróis). Nos últimos anos de sua vida, mudou-se para Damasco, onde morreu em 950 e.C..

- Avicena (Ibn Sina), (? - 1037), renomado médico e filósofo, chamado “O Terceiro Mestre”. A sua obra mais apreciada foi o *Cânone da Medicina*, um manual de ciência médica em vários volumes, que se tornou autoridade para os médicos europeus depois de ter sido traduzido para o latim. Entre suas contribuições duradouras estava o método de teste de drogas e a descoberta da infecciosidade da tuberculose.
- Averróis (Ibn Rushd), (1126 - 1198). Considerado um dos maiores cientistas muçulmanos, nasceu na Andaluzia, então governada pela dinastia almorávida, mais tarde passada sob o domínio dos almóadas. Estudou diligentemente os escritos de Aristóteles, Al-Farabi e Ibn-Sina (Avicena). Tornou-se o cientista islâmico mais influente entre os europeus; seus escritos foram estudados em Pádua, Salamanca, Oxford e Sorbonne. Averróis é acusado de heresia e banido primeiro de Córdoba, depois da Andaluzia para Marrocos; seus livros são queimados e proibidos. Embora parcialmente perdoado, ele morreu no Marrocos, nunca tendo sido autorizado a retornar à sua cidade natal, Córdoba.
- Omar Khayyam (1048 - 1131), um renomado matemático, astrônomo, filósofo e poeta. Nasceu em Nishapur, de origem persa, recebeu uma excelente educação na sua terra natal, Nishapur, e depois mudou-se para Samarcanda (actual Uzbequistão). Sua reputação matemática repousa principalmente em seu *Tratado sobre Demonstração de Problemas de Álgebra*. Ele conquistou tal nome que o sultão selêucida Malik-Shah o convidou a ir a Isfahan para realizar as observações astronômicas necessárias à reforma do calendário. Para isso foi construído ali um observatório e produzido um novo calendário, conhecido como *calendário Jalali*. Com base em 8 de cada 33 anos bissextos, era mais preciso do que o atual calendário gregoriano e foi adotado em 1075 por Malik-Shah. Seus anos em Isfahan foram muito produtivos, mas após a morte de seu patrono em 1092 ele caiu em desgraça e retornou a Nishapur, onde ensi-

nou e serviu na corte como astrólogo. A fama de Omar no Ocidente reside na coleção de *robaiyat*, ou quadras, atribuídas a ele



Figura 2: Painel superior: Astrolábio antigo, Toledo 1067 d.C.; painel inferior: Esfera armilar de Damasco, 1120.

4 Matemáticas

Uma das afirmações mais repetidas é que os muçulmanos inventaram a álgebra. Isto é em grande parte verdade, mesmo que a álgebra tenha origem inicialmente na matemática grega e indiana antiga. A palavra “álgebra” vem do árabe “al-jabr” e significa “restaurar” ou “juntar partes”. Foi cunhado pelo matemático e astrônomo persa Al-Khwarizmi (ca. 780 - ca. 850 d.C.) que viveu em Bagdá, em seu tratado *ilm al-jabr wa al-muqabala*, que significa *Ciência de juntar peças e equilibrar*. Em termos algébricos modernos, a primeira palavra referia-se à possibilidade de substituir termos de um lado de uma equação por outro,

e adicionar ou subtrair a mesma quantidade de ambos os lados. O nome de Al-Kwarizmi refere-se à cidade de Khorezm (hoje no Uzbequistão) e era conhecido no Ocidente em sua versão latinizada Alkorizm ou Algoritmo, e se tornou o nome de uma prescrição geral em matemática.

O livro de Al Khwarizmi continha muitos exemplos de como resolver problemas envolvendo comércio, herança, casamento e resgate de escravos. Os exemplos ainda não envolviam nenhum símbolo algébrico, utilizando figuras geométricas modelando as relações entre números. Mas noutros tratados matemáticos árabes, os símbolos, os números e as palavras tendiam a substituir as construções geométricas. Esta foi uma grande revolução na matemática, com enorme impacto no seu desenvolvimento futuro.

Para os matemáticos da Grécia antiga existia uma grande diferença entre números e magnitudes, os segundos significando comprimentos, áreas ou volumes. Os números foram usados, desde que pudessem ser expressos como números inteiros ou suas proporções, ou seja, frações. Essas quantidades foram chamadas de “números racionais”, em contraste com os “números irracionais”, que poderiam ser construídos geometricamente, mas não algebricamente, como a mais famosa raiz quadrada de 2, que é simplesmente a diagonal de um quadrado unitário, mas não existe uma fração cujo quadrado seria igual a 2.

A nova abordagem da matemática tornou possíveis provas simples e elegantes no lugar de construções geométricas sofisticadas. Por exemplo, enquanto o conhecido teorema geométrico diz que a área de um quadrado com lados $a + b$ é igual à área de um quadrado com lado a mais a área de outro quadrado com lado b mais a área de dois retângulos de lados a e b , esta relação *pode ser provada sem esforço através de outra fórmula*: a área de um retângulo com lados $(a + b)$ e $(a - b)$ (com $a > b$) é igual a a diferença entre as áreas dos quadrados com lados a e b , ou seja, $(a + b) \cdot (a - b) = a^2 - b^2$, o que necessita de uma construção geométrica mais sofisticada. Entre as deficiências da abordagem puramente geométrica do antigo dos gregos foi a falta de interesse na possibilidade de números negativos e operações aritméticas envolvendo entidades negativas, que eram conhecidas na China antiga desde 300 a.C. Os matemáticos islâmicos não apenas incorpora-

ram os números negativos nas operações algébricas, mas também passaram a tratar os números racionais e irracionais em pé de igualdade, não fazendo distinção na hora de somar, subtrair ou multiplicá-los.

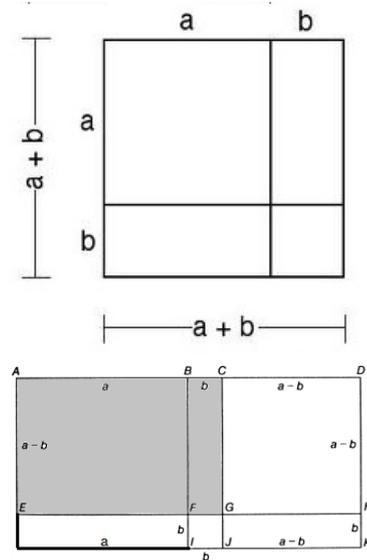


Figura 3: Derivação de fórmulas algébricas dos gregos antigos $(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$ (em cima) e $(a+b) \cdot (a-b) = a(a+b) - ab - b^2 = a^2 - b^2$ (embaixo).

A vantagem da abordagem algébrica é que ela pode ser facilmente generalizada além de sua utilidade na descrição de construções geométricas em duas e três dimensões. No entanto, a maioria dos autores muçulmanos não considerou os números negativos em pé de igualdade com os positivos. Sabiam resolver equações lineares e quadráticas, mas sempre que havia uma solução negativa, rejeitavam-na como “absurda”.

Um importante avanço devido aos matemáticos muçulmanos é o estabelecimento de novos algoritmos aritméticos: a extensão dos procedimentos de extração de raízes, conhecidos pelos hindus e gregos apenas para raízes quadradas e cúbicas, para raízes de maior grau e pela extensão de o sistema decimal hindu para números inteiros inclui frações decimais como dispositivos computacionais. Omar Khayyam (1148 - 1131 d.C.), matemático, filósofo, astrônomo e poeta persa (lembrado mais por sua bela poesia do que por realizações matemáticas) considerou o problema geral de extrair raízes de qualquer grau desejado. Ele também abordou de perto a solução geral de equações cúbicas e elaborou uma abordagem uni-

ficadora para geometria e álgebra.

Os algebristas islâmicos do século X fizeram um progresso substancial, generalizando os polinômios quadráticos de Al-Khwarizmi para a álgebra de expressões envolvendo potências integrais positivas ou negativas arbitrárias do desconhecido. Vários algebristas enfatizaram explicitamente a analogia entre as regras para trabalhar com potências da incógnita em álgebra e aquelas para trabalhar com potências de 10 em aritmética.

Progresso semelhante foi feito na geometria. Os matemáticos islâmicos Thabit ibn Qurrah (836 - 901), seu neto Ibrahim ibn Sinan (909 - 946), Abu Sahl al-Kuhi (falecido por volta de 995), e Ibn al-Haytham (965 - 1040), conhecido na Europa como Alhazen, resolveram problemas envolvendo a geometria de seções cônicas, incluindo o cálculo de áreas e volumes de figuras planas e sólidas formadas deles. Também investigaram as propriedades ópticas de espelhos feitos de seções cônicas, que se tornaram de crucial importância séculos depois, para a construção de dispositivos ópticos.

5 Astronomia

Durante a “Era de Ouro do Islã”, a astronomia era uma das ciências mais importantes [5, 6]. A religião muçulmana impôs vários requisitos que exigiam importantes competências astronômicas para melhorar a cronometragem e a orientação espacial. Horário exato de cinco orações obrigatórias por dia, início e fim do jejum durante o mês sagrado do Ramadã, ligado ao primeiro e último crescente da Lua, estabelecendo horários de feriados islâmicos - tudo isso criou a necessidade de observações astronômicas.

As mesquitas recém-construídas tinham de ser orientadas para Meca, na Península Arábica, e por isso deveriam ser posicionadas por um muçulmano durante a sua oração - só isso também exigia um melhor conhecimento geográfico e astronômico.

Finalmente, vastos territórios do Islã, com um próspero comércio terrestre e marítimo, tornaram necessário o surgimento da astronomia prática, melhorando dispositivos de observação como sextantes e astrolábios, para serem usados em terra ou em mar aberto.

A astronomia tornou-se a principal entre as ciências em que os estudiosos muçulmanos se des-

tacaram. O sucesso foi construído com base no domínio da matemática - da geometria em particular -, bem como da herança filosófica dos antigos gregos e de outras civilizações antigas através da tradução para o árabe. Os observatórios fundados nos centros de aprendizagem mais importantes, como Bagdá e Cairo, exigiam instrumentos especializados para observação e instrução. Estes incluíam globos celestes, quadrantes e esferas armilares, mas o instrumento mais sofisticado adotado e desenvolvido pelos astrônomos muçulmanos foi o astrolábio.

O quão grande foi o impacto dos árabes na astronomia europeia que assumiu a liderança após o século XVI pode ser facilmente visto em qualquer atlas estelar moderno. Aqui estão algumas das estrelas brilhantes mais conhecidas cujos nomes são de origem árabe:

- Aldebaran, α Tauri, do árabe al-Dabaran, o “Seguidor”;
- Algol, β Persei, do árabe al Ghoul, o “Demônio”, ou “Monstro assustador”; (Chamado assim provavelmente porque seu piscar periódico em questão de horas pode ser facilmente visto a olho nu).
- Altair, α Aquilae, do árabe an-Nisr ut-Ta'ir, a “águia voadora”;
- Betelgeuse, α Orionis, do árabe Yad al Jawza, a “Mão de Al-Jawza”, um personagem mítico;
- Deneb, α Cygni, do árabe Dhaneb ud-Djadjab, “rabo de galinha”;
- Dubhe, α Ursae Majoris, do árabe Dubb, “Urso”;
- Fomalhaut, α Piscis Austrini, do árabe Fum al-Hul, a “Boca da Baleia”.

Os astrônomos árabes continuaram as observações usando as técnicas herdadas dos gregos e incorporando outras tradições antigas, por ex. da Pérsia e da Índia. Muitas vezes conseguiram melhorar e enriquecer os dados recolhidos por Ptolomeu no seu *Almagesto*. Um exemplo: seguindo Hiparco, Ptolomeu estimou a precessão dos equinócios em 1° por 100 anos, o que corresponderia a completar o ciclo completo em 36.000 anos. O astrônomo egípcio Ibn Yunus (850 - 1009 d.C.) corrigiu esta estimativa, reduzindo-a para 1° em

70 anos, o que corresponde ao ciclo completo de 25.200 anos, muito próximo do valor atualmente aceito. Apresentamos os astrônomos mais notáveis e suas contribuições.

- Al-Khwarizmi (ca. 786 - 850 d.C.), de origem persa, foi nomeado por Al-Mamoun, filho de Harun-al-Rashid da dinastia Abássida, como astrônomo-chefe e chefe da biblioteca da “Casa de Sabedoria” em Bagdá.

Os avanços importantes de Al-Khwarizmi na astronomia e geografia incluem a medição do comprimento de um grau de um meridiano na planície de Sinjar, melhorando a avaliação da circunferência da Terra por Eratóstenes, a criação de um mapa mundial baseado na geografia de Ptolomeu, fornecendo coordenadas precisas de aproximadamente 2.400 locais no mundo conhecido. Esses resultados foram contidos em seu livro *Kitab surat al-ard* (*A Imagem da Terra*). Outro tratado de Al-Khwarizmi que entrou para o cânone ocidental dos estudos matemáticos foi uma compilação de tabelas astronômicas, incluindo uma tabela de senos, e foi traduzido para o latim. Ele também produziu dois tratados sobre o relógio de sol, sobre o astrolábio e um sobre o calendário judaico. Por volta de 1110, o inglês Roberto de Chester, que então estava na Espanha, traduziu para o latim *Al-Jabr (Álgebra)* de Al-Khwarizmi e introduziu na Europa os algarismos arábicos, incluindo o algarismo zero, que os próprios árabes haviam tomado emprestado dos matemáticos indianos.

- Al-Battani (falecido em 929), conhecido na Europa como Albategni ou Albatenius, foi o autor das *Tabelas sabianas (Al-Zij al-Sabi)*, obra que teve grande impacto nos seus sucessores muçulmanos e cristãos. Suas tabelas aprimoradas das órbitas do Sol e da Lua incluem sua descoberta de que a direção do excêntrico do Sol, conforme registrado por Ptolomeu, estava mudando. Isto, na astronomia moderna, significa que a linha de absides da Terra está se movendo lentamente. Ele também trabalhou na cronometragem das luas novas, na duração do ano solar e sideral, na previsão de eclipses e no fenômeno da paralaxe.

Al-Battani também foi um pioneiro no campo da trigonometria. Ele foi um dos primeiros, senão o primeiro, a usar razões trigonométricas

como as conhecemos hoje. Durante o mesmo período, Yahya Ibn Abi Mansour revisou completamente o *Zij (tabelas)* do *Almagesto* após observações e testes meticulosos produzindo o famoso *al-Zij al Mumtahan (o Zij validado)*. Em al-Zij al-Sabi (conhecida como *Tabelas sabianas*), Al-Battani traçou a órbita do Sol com mais precisão do que Ptolomeu. No seu *Revolucionibus*, Copérnico refere-se aos cálculos de Al-Battani nada menos que 23 vezes.

- Pertencente à mesma época, Abd-al Rahman al-Sufi (903 - 986) fez várias observações sobre a obliquidade da eclíptica e o movimento do Sol (ou a duração do ano solar). Tornou-se conhecido pelas suas observações e descrições das estrelas, das suas posições, do seu brilho e da sua cor, expondo os seus resultados constelação por constelação. Para cada constelação, ele forneceu dois desenhos, um do lado de fora de um globo celeste e outro do interior (visto do céu). Al-Sufi também escreveu comentários sobre o astrolábio, encontrando numerosos usos adicionais para ele (incluindo a localização de um dado objeto, medição de distâncias e alturas, etc.).
- O astrônomo egípcio Ibn Yunus (falecido em 1009), nos seus esforços de observação incluiu, entre outros, mais de 10.000 registros da posição do Sol ao longo dos anos, utilizando um grande astrolábio com cerca de 1,4 m de diâmetro. Sua obra, em edição francesa, foi séculos mais tarde uma inspiração para Laplace em sua determinação da *Obliquidade da Eclíptica* e das *Desigualdades de Júpiter e Saturno*.

O famoso astrônomo europeu Newcomb também usou suas observações de eclipses nos movimentos da Lua.

- Al-Biruni (973 - 1050) afirmou que a Terra girava em torno do seu próprio eixo. Ele calculou a circunferência da Terra e fixou cientificamente a direção de Meca a partir de qualquer ponto do globo. Al-Biruni escreveu um total de 150 obras, incluindo 35 tratados sobre astronomia pura, dos quais apenas seis sobreviveram. Além disso, no final do século X, Abu-al-Wafa e o príncipe Abu Nasr Mansur declararam e provaram teoremas de geometria plana e esférica que poderiam ser aplicados por astrônomos e

geógrafos, incluindo as leis dos senos e tangentes. Al-Biruni foi aluno de Abu Nasr; ele produziu uma vasta quantidade de trabalhos de alta qualidade e foi um dos mestres na aplicação desses teoremas à astronomia e a problemas de geografia matemática como a determinação de latitudes e longitudes, as distâncias entre cidades e a direção de uma cidade a outra.

- Al-Farghani foi um dos astrônomos do califa Al-Mamun. Ele escreveu sobre o astrolábio, explicando a teoria matemática por trás do instrumento e corrigindo construções geométricas defeituosas do disco central, então vigentes. Seu livro mais famoso sobre cosmografia, *Kitab Harakat Al-Samawiyah wa Jaamai Ilm al-Nujum*, contém trinta capítulos incluindo uma descrição da parte habitada da Terra, seu tamanho, as distâncias dos corpos celestes da Terra e seus tamanhos, bem como outros fenômenos.
- Al-Zarqali (Arzachel) (1029 - 1087) preparou as *Tabelas toledanas* e também foi um renomado fabricante de instrumentos que construiu um astrolábio mais sofisticado: um safiha, acompanhado de um tratado explicando como usá-lo.
- Jabir Ibn Aflah (falecido em 1145) foi o primeiro a projetar uma esfera celeste portátil para medir e explicar os movimentos de objetos celestes. Jabir é especialmente conhecido por seu trabalho em trigonometria esférica. A obra de Al-Bitruji, *Kitab-al-Hay'ah*, foi traduzida por Michael Scot, radicado na Sicília, e teve considerável influência depois disso.
- Nur ad-Din al-Bitruji (ca. 1150 - 1200 d.C.), conhecido na Europa como Alpetragius, é o autor de *Kitab fi al-haya, Um Livro de Cosmologia*. Ele viveu na Espanha mourisca, na Andaluzia, no final da Idade de Ouro Islâmica. Provavelmente foi discípulo do astrônomo Ibn Tufayl. O problema enfrentado por al-Bitruji foi o enfrentado por todos os aristotélicos que liam o *Almagesto* de Ptolomeu. Aristóteles afirmou claramente que os planetas devem se mover com movimentos circulares e deu a entender que o centro desses movimentos deve ser idêntico ao centro da Terra. Ele ainda desejava

um mecanismo para transferir o movimento do motor principal para as esferas planetárias.

Al-Bitruji seguiu a sugestão de Ibn Tufayl, assim como o outro aluno deste último, Averróis, e tentou ajustar a solução aristotélica de tal forma que correspondesse à realidade observada. A tentativa falhou devido à inadequação inerente do sistema homocêntrico para descrever os fenômenos.

- Al-Tusi (1201 - 1274), foi o último grande astrônomo da Idade de Ouro Islâmica, e sem exagero pode receber o título de “Hiparco da Astronomia Islâmica”. De origem persa, estudou em sua cidade natal, Tus, depois na cidade vizinha de Nishapur, formando-se em filosofia, medicina e matemática. Já em Nishapur al-Tusi adquiriu a reputação de um notável estudioso e tornou-se membro da Corte Ismaili a convite do governante xiita Abd ar-Rahman.

Al-Tusi permaneceu e trabalhou no castelo de Alamut até que ele caiu nas mãos do neto de Gengis Khan, Hulagu. A reputação de Al-Tusi era tão grande que Hulagu o nomeou seu próprio conselheiro e o levou para Bagdá, que foi conquistada pelos mongóis em 1258. Hulagu fez de Maragheh (no noroeste do Irã) sua capital, e o Observatório de mesmo nome foi construído lá.

Al-Tusi é mais conhecido por sua decomposição geométrica do movimento linear em uma soma de dois movimentos circulares, chamada de “casal Tusi”, quebrando a visão aristotélica estabelecida sobre a exclusividade dos movimentos circulares no céu. A mesma construção foi usada por Copérnico 250 anos depois, provavelmente reinventada de forma independente.

Al-Tusi publicou as *Tabelas Ilkhanic*, relatando suas observações astronômicas feitas durante 12 anos. Usando suas descobertas geométricas, ele melhorou substancialmente o modelo do movimento lunar. Ele também determinou o valor quase exato da precessão dos equinócios, estabelecendo-o em 51' por século. O comentário sobre o *Almagesto* continha excelentes tabelas trigonométricas com valores de arcos calculados em três casas sexagesimais para cada meio grau de argumento.

- Ibn al-Shatir (1394 a 1375) foi um proeminente

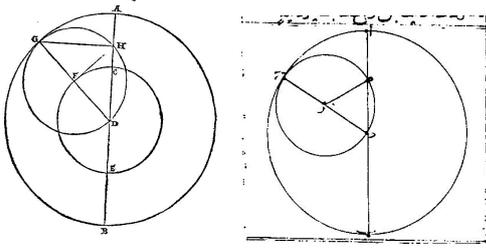


Figura 4: Esquerda: o “casal Tusi”, de suas *Memórias sobre Astronomia*, Direita: a mesma construção de *De Revolutionibus* de Copérnico, 250 anos depois.

astrônomo e matemático em Damasco, durante sua vida sob o governo da dinastia Umayyad. Depois de completar os estudos no Cairo e Alexandria, foi nomeado muwaqqit (o que marca o tempo para as preces) na grande mesquita Umayyad. Seu livro mais importante foi um tratado astronômico intitulado *A Questão Final sobre a Retificação dos Princípios* que contém novos modelos lunares, solares e planetários, afastando-se seriamente do esquema ptolomaico, embora em princípio firmemente geocêntrico.

Ibn al-Shatir não estava preocupado em aderir aos princípios teóricos da filosofia natural ou da cosmologia aristotélica, mas sim em produzir um modelo que fosse consistente com as observações empíricas. Sua preocupação com a precisão da observação o levou a eliminar os epiciclos do modelo solar ptolomaico e todos os excêntricos, epiciclos e equantes no modelo lunar ptolomaico. O novo modelo planetário de Shatir consistia em novos epiciclos secundários em vez de equantes, que melhoraram o modelo ptolomaico.

6 Observatórios islâmicos medievais

6.1 Observatório Maragha

Na época do declínio da ciência no Islã medieval, quando Bagdá deixou de ser o centro cultural florescente depois que os mongóis a saquearam em 1258, encerrando assim o reinado dos Abássidas, uma nova instituição influente chamada *Observatório de Maragha* foi criada em norte da Pérsia sob o patrocínio de Hulagu, neto de Gengis Khan. Hulagu nomeou Nasir al-Din Tusi (1201 - 1274) para ser o diretor do Observatório e também seu conselheiro pessoal. O complexo Ma-

ragha foi muito mais do que um simples observatório astronômico: tornou-se um centro único de investigação científica, dotado de uma biblioteca com mais de 100 000 volumes, sendo o edifício principal rodeado de edifícios auxiliares, incluindo alojamentos para visitantes. Astrônomos e matemáticos de todas as partes do vasto mundo islâmico participaram na concepção e construção de instrumentos astronômicos, muitos dos quais eram invenções genuinamente novas. Al Tusi nomeou Mu'ayyad al-Din al-Urdi (que morreu em 1266) como astrônomo-chefe e projetista de instrumentos.

Um tratado anônimo em persa chamado *Al-Risala al-Ghazaniyya fi'l-alat al-ra-adiyya*, o *Tratado de Ghazan* (ou *Ghazanid*) sobre os instrumentos observacionais, descreve a estrutura, construção e funções de doze “novos” instrumentos do período medieval que parecem ter sido propostos e inventados durante o reinado de Ghazan Khan, o sétimo Ilkhan da dinastia Ilkhanid do Irã, de 1295 a 1304.

Essas fontes históricas primárias podem conter notas e afirmações interessantes relativas às atividades astronômicas de Ghazan Khan e especialmente ao novo observatório que ele fundou em Tabriz. O facto é que actualmente quase não existem relatos sólidos e historicamente fiáveis sobre as atividades do Observatório de Maragha a partir de cerca de 1280.

O equipamento astronômico de Maragha incluía um quadrante mural com raio de 40 metros, uma armila solsticial, um anel de azimute, uma régua paralática (chamada “triquetrum”, régua paralática em latim) e uma esfera armilar com raio de cerca de 160 cm.

O Observatório Maragha representou um novo período de atividades científicas no mundo islâmico em meados do século XIII. Vários sistemas sofisticados pré-copernicanos, mas não ptolomaicos, foram ali elaborados, explicando os movimentos planetários com maior precisão do que os antigos astrônomos gregos. conseguiram produzir. Vários observatórios na Pérsia, Ásia Menor e Ásia Central foram construídos com Maragha servindo de modelo.



Figura 5: Um dos raros vestígios encontrados no local do antigo observatório de Maragha. O enorme círculo de concreto serviu como fundação de um dos enormes instrumentos astronômicos.

6.1.1 *Ulugh Beg e o Observatório de Samarcanda*

Ulugh Beg nasceu no norte do Irã em 1394 como o filho mais velho de Shahrukh, um dos filhos de Tamerlão. Quando jovem príncipe, ele foi designado para governar a vasta província da Transoxânia (hoje no Uzbequistão). Assumiu todas as suas responsabilidades em 1411, embora continuasse subordinado ao seu pai, que governava o império a partir de Herat (hoje no Afeganistão). Após a morte de seu pai em 1447, Ulugh Beg o sucedeu, mas sobreviveu apenas dois anos como governante independente antes de ser deposto e decapitado por seu próprio filho em 1449.

Ele é lembrado principalmente por suas extraordinárias realizações em astronomia e pela construção do maior e mais moderno observatório astronômico, uma Madrasa (escola islâmica), uma escola secundária, uma biblioteca e um centro de pesquisa combinados. O primeiro diretor do observatório de Ulugh Beg foi Qazizadeh Rumi, natural da Anatólia, que também foi um dos professores de Ulugh Beg. Após a morte de seu mestre, ele deixou Samarcanda e foi para Istambul, seguido por outros astrônomos empregados na Madrasa.

O observatório de Ulugh-Beg foi construído de 1420 a 1430 em uma colina ao norte de Samarcanda e funcionou até sua morte em 1447. Sua lo-

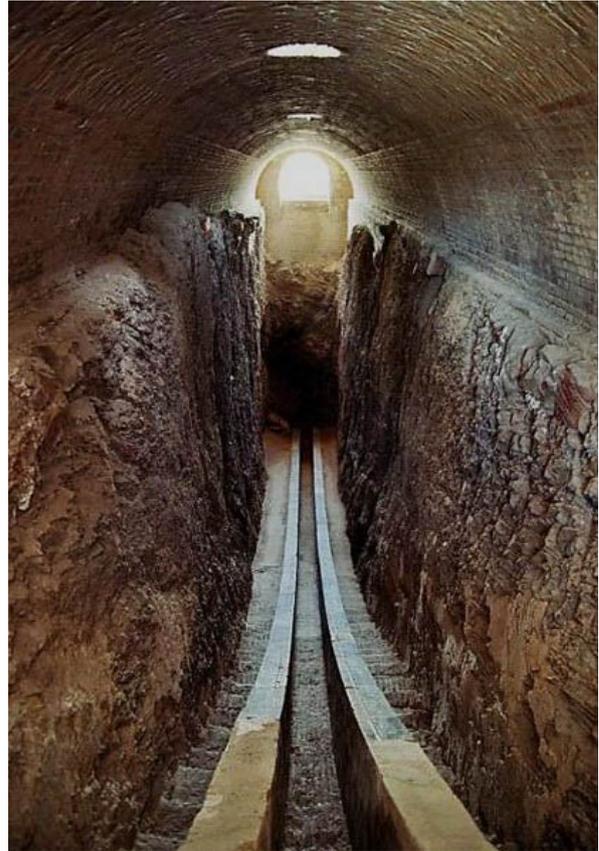


Figura 6: Grande Quadrante do Observatório de Ulugh Beg.

calização exata é desconhecida, porque foi quase completamente destruído algumas gerações após sua morte. Ulugh Beg construiu o maior sextante mural (ou melhor, poderia ter sido um quadrante) no século XV, que tinha um raio de 40,4 metros. Ele se inspirou no primeiro sextante mural conhecido, construído em Ray, no Irã, por Abu-Mahmud al-Khujandi em 994, para medir a obliquidade da eclíptica.

Instalado no prédio principal, possuía um arco bem construído com uma escada em cada lado para dar acesso aos astrônomos que realizavam as medições (Figura 6). Teria sido usado para medir o ângulo de elevação dos principais corpos celestes, especialmente na época dos solstícios de inverno e verão. A luz do corpo dado, passando por uma abertura controlada, teria brilhado na pista curva, que estava marcada com muita precisão com graus e minutos. Objetos mais fracos foram observados diretamente e o ângulo de elevação relatado ao sextante. Viajantes e cientistas que visitaram Samarcanda e o observatório des-

creveram muitos instrumentos astronômicos que foram perdidos posteriormente. Existiam diversas esferas armilares de diversos tamanhos e enormes astrolábios, entre outros.

Ulugh Beg foi certamente o astrônomo observacional mais importante do século XV. A obliquidade da eclíptica medida por seus astrônomos era quase perfeita, uma discrepância de meio minuto com o que sabemos atualmente.

Seus instrumentos astronômicos montados permanentemente foram os primeiros do gênero no mundo, e foi sua posição firme que garantiu maior precisão de observação. Entre suas grandes conquistas estava o catálogo estelar contendo mais de mil estrelas (1018 precisamente), com coordenadas exatas atribuídas a cada uma delas.

A obra-prima de Ulugh-Beg, *Cronologia*, foi traduzida para o latim e editada na Europa em 1650, e a publicação de suas tabelas estelares ocorreu em 1675. A determinação da obliquidade da eclíptica foi muito melhor do que as de Hiparco e Ptolomeu. Suas observações de planetas permaneceram insuperáveis até as de Tycho Brahe, mais de um século depois.

7 Observações finais

Tal como Bernard Lewis (1916 - 2018) afirmou no seu livro *O que correu mal?* [7], durante muitos séculos o mundo do Islã esteve na vanguarda da civilização e das realizações humanas. No entanto, devido a muitos factores interiores e exteriores, a ciência islâmica interrompeu o seu desenvolvimento por volta do século XV; desde então, a ciência europeia assumiu a liderança.

Olhando para trás, para o nosso breve resumo da história da ciência islâmica, podemos facilmente perceber a grande diferença qualitativa entre as suas realizações na matemática e em todos os outros domínios. Na verdade, foi na matemática que os árabes e os persas produziram um verdadeiro avanço ao adoptarem o sistema indiano de notação e cálculo e ao fundirem geometria e álgebra. Isto abriu caminho para o próximo avanço revolucionário realizado pelos europeus, que ampliaram o âmbito da álgebra e descobriram números complexos. Isto não poderia ser alcançado sem a base algébrica liderada pelos polímatas islâmicos.

Por outro lado, com todas as suas realizações notáveis, a Astronomia Árabe e Islâmica, espe-

cialmente no campo observacional, representa o último capítulo da ciência da Antiguidade, uma extensão natural da Babilónia; Heranças científicas indianas, e sobretudo gregas, de um pequeno mundo centrado na Terra, para o qual a esfera de estrelas fixas representava o limite externo máximo.

A ciência moderna germinou no novo quadro universitário da Europa Medieval entre os séculos XIII e XV, nascido abertamente com a revolução intelectual trazida por Copérnico no século XVI, prosseguida mais tarde por Galileu, Descartes, Kepler, Leibniz, Newton e outros europeus. luminares científicos.

Sobre o autor

Richard Kerner (richard.kerner@sorbonne-universite.fr) é professor na Sorbonne Université, Paris, França. Tem mais de 200 artigos científicos publicados, além de livros sobre a Relatividade Restrita, Matéria Condensada e Astronomia. Seus interesses científicos se concentram também em física-matemática e cosmologia.

Referências

- [1] R. Kerner, *Our Celestial Clockwork: From Ancient Origins to Modern Astronomy of the Solar System* (World Scientific, 2019).
- [2] G. Saliba, *Islamic Science and the Making of the European Renaissance* (The MIT Press, 2007).
- [3] J. Berggren, *Episodes in the Mathematics of Medieval Islam* (Springer New York, 2016).
- [4] V. J. Katz, *A History of Mathematics: An Introduction*, Katz Series (Addison-Wesley, 2009), 2^a ed.
- [5] G. Saliba, *A History of Arabic Astronomy: Planetary Theories During the Golden Age of Islam* (NYU Press, 1994).
- [6] S. P. Blake, *Astronomy and Astrology in the Islamic World* (Edinburgh University Press, 2016).
- [7] B. Lewis, *What Went Wrong?: Western Impact and Middle Eastern Response* (Oxford University Press, 2002).