



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
FACULDADE DE FÍSICA**

MAURÍCIO DANTAS

NEWTON E GRAVITAÇÃO

A suposta primazia de Hooke sobre a Lei da Gravitação Universal

Belém - Pa
2014

MAURÍCIO DANTAS

NEWTON E A GRAVITAÇÃO

A suposta primazia de Hooke sobre a Lei da Gravitação Universal

Relatório final, apresentado à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciado pleno em Física.

Orientador: Dr. Rubens Silva

Belém - Pa
2014

MAURÍCIO DANTAS

NEWTON E A GRAVITAÇÃO

A suposta primazia de Hooke sobre a Lei da Gravitação Universal

Relatório final, apresentado à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciado pleno em Física.

Belém, 19 de Dezembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Rubens Silva

Prof. Manoel Júnior

Prof. Manoel Neto

A Deus, que me conduziu nessa difícil tarefa. Seu fôlego de vida em mim foi meu sustento e me deu coragem para questionar realidades e nunca desistir de chegar ao objetivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me mostrado o caminho em todos os momento de dificuldades.

À Ufpa, em particular à Faculdade de Física, direção e administração, e grupo de professores que tanto me deu atenção e orientação para que eu conquistasse a vitória.

Agradeço aos professores Rubens Silva, Manoel Jr e Manoel Neto, grandes exemplos que usarei para minha carreira de docente.

Agradeço, em especial, a minha esposa, Tatiana Dantas, pelo suporte e companheirismo nesses anos de dificuldades que enfrentei na Ufpa.

Aos meus filhos, que, mesmo sendo inocentes crianças, sempre entenderam que esses anos de passagem pela Universidade seriam de extrema importância para minha atividade profissional.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é elucidar o leitor quanto a dúvida que supostamente possa existir ao ler sobre a história da Gravitação Universal. O grande cientista Robert Hooke, que tem parcela de contribuição para o desenvolvimento da teoria, não recebeu com agrado a notícia de que seu desafeto, Isaac Newton, publicara a grande obra, contendo o desvendamento da Lei da Gravitação, sem sequer citar o seu nome como um dos que apoiaram na elaboração da Teoria.

Isaac Newton, isolado socialmente por muitos anos, desenvolveu uma matemática nova no século XVII, conseguindo a partir de sua grande habilidade com números e por meio de ideias já propostas anteriormente por outros físicos, demonstrar que a força mantenedora dos planetas em órbita em torno do Sol é inversamente proporcional ao quadrado da distância. O Algoz de Newton, Robert Hooke, mesmo pretendendo de que seu nome constasse na história da física como um dos grandes mentores da criação da predita teoria, jamais foi reconhecido no meio acadêmico como um grande nome da Teoria da Gravitação Universal.

Inquestionável é que, sem o caminho propiciado a Newton por Halley e Descartes, de que a força que mantinha a Terra em movimento em torno do Sol era uma força central e não tangencial como Newton pensava, a Teoria da Gravitação Universal talvez tivesse demorado bem mais para ser elaborada e, - quem sabe?- Newton jamais alcançaria o grande êxito na construção desse conhecimento novo para o século XVII.

ABSTRACT

The objective of this work is to elucidate the reader to doubt that supposedly can exist when reading about the history of Universal Gravitation . The great scientist Robert Hooke , who had a share of contribution to the development of the theory , not welcomed the news that his nemesis Isaac Newton , published a major work , which contained the unveiling of the Law of Gravitation , without even mentioning his name as the one who had given support to the development of theory .

Isaac Newton , who was in social isolation for many years , developed a new mathematics in the seventeenth century. Got from his great skill with numbers and ideals through already proposed previously by other physicists, demonstrate that the force that holds the planets in orbit around the Sun is inversely proportional to the square of the distance . The Scourge of Newton , Robert Hooke , even though intent that his name entered the history of physics as one of the great mentors of the creation of this theory was never recognized in academia as a great name in the Theory of Universal Gravitation .

What is known for sure is that , without the path given by Halley Newton and Descartes , that the force holding the Earth moving around the Sun was a central and not tangential force as Newton thought , the Theory of Universal Gravitation had taken a little longer to be developed and , who knows, Newton would never have had great success in building this new knowledge to the seventeenth century .

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capa do manuscrito do biógrafo Stukeley.....	11
Figura 2 - Capa de Micrographia, Robert Hooke (1665).....	13
Figura 3 - Representação do rosto de Robert Hooke, por Rita Greer (2006).....	14
Figura 4 - O microscópio representado por Hooke na Micrographia.....	17
Figura 5 - Desenho de uma pulga, da Micrographia.....	18
Figura 6 - Desenho de um piolho agarrado a um fio de cabelo.....	20
Figura 7 - Isaac Newton.....	28
Figura 8 - Problema da Baquistócrona.....	30
Figura 9 - Contra-capa de Princípios Matemáticos da Filosofia Natural.....	31
Figura 10 - Comparativo Newton e Hooke sobre a mecânica planetária.....	37
Figura 11 - I. Bernard Cohen.....	39
Figura 12 - Richard S. Westfall.....	40

1.1 SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	09
1. HOOKE DESVENDADO	12
1.1 – A suspeita de Hooke – Trabalho de 1674	14
1.2 – As contribuições de Hooke	15
2. O EMBATE ENTRE HOOKE E NEWTON	20
2.1 – A troca de correspondências – conteúdo das cartas	22
2.2 – Hooke encaminhando Newton à grande descoberta	26
2.3 – Trabalho de titã – Contribuição de Newton à gravitação	28
3. RESUMO DO CAMINHO TOMADO POR NEWTON – Divergências e concordâncias de Cohen e Westfall	31
3.1 - 1º Round: Ano miraculoso	32
3.2 - 2º Round: A troca de ideias entre Hooke e Newton	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	43

INTRODUÇÃO

Newton nasceu na fazenda de Woolsthorpe, Inglaterra, no dia 25 de dezembro de 1642 (ano da morte de Galileo). Seu pai morreu antes do nascimento de Newton e a mãe se casou novamente ficando ele com a avó na fazenda de Woolsthorpe.

Até 12 anos, estudou em uma escola rural. Não era aluno excepcional, no entanto, após briga com um colega, ganha confiança e se torna o melhor aluno da escola. Começa a desenvolver o interesse pela matemática a partir do momento em que foi estudar em Grantham no ano de 1654, nessa época tornou-se um garoto curioso pela construção de Máquinas. Ao ficar viúva, sua mãe o leva para cuidar da fazenda, contudo o futuro célebre homem da Física e Filosofia não se mostra empolgado com as novas tarefas atribuídas a ele e, acaba felizmente se distrai e se dedica à matemática.

À medida que progredia nos estudos, aperfeiçoou também seus dotes para desenhar e construir objetos de madeira. Encheu a casa do Sr. Clark de relógios de sol, e as paredes de seu quarto, no sótão, com desenhos a carvão. Construiu moinhos de vento, mobílias para as bonecas da senhorita Storer e um pequeno veículo com quatro rodas, acionadas por manivela. Fazia também pipas para seus colegas, talvez na vã tentativa de melhorar seu relacionamento com eles. Newton não era nada popular, e, à proporção que se destacava, mais distante ficava dos colegas. Há vários relatos sobre a dificuldade que sua personalidade difícil, seu raciocínio rápido e inteligência acima da média criavam para ele, isolando-o ainda mais [11].

Paralelamente, outra grande personalidade da história da ciência estava em plena formação. Sete anos mais velho que Newton, Robert Hooke, que se tornaria o maior desafeto do criador da Lei da Gravitação Universal, também deixaria um legado com belas contribuições para as mais variadas áreas do conhecimento, tornando-se um dos mais versáteis e criativos cientistas de todos os tempos.

No capítulo 1 serão abordadas as contribuições marcantes de Hooke em vários domínios da ciência: biologia, física, geologia, química, meteorologia, astronomia, dentre outras. Algumas das maiores invenções da sua época se devem

à grande habilidade mecânica e alta capacidade de criação que o cientista possuía, autor de uma das obras de maior relevância na ciência e cultura do século XVII: *Micrographia* (1665). Esse livro rivaliza em importância com *Siderius Nuncius* (1610), com boa repercussão nessa época em virtude de mostrar desenhos das crateras da Lua, satélites de Júpiter...

A Gravitação Universal (GU) de Newton é assunto que, por si só, é de grande interesse para aqueles que se dedicam ao estudo da Física em razão da riqueza conceitual que carrega, tanto em relação às ideias físicas acerca de força, movimento e princípios de conservação, quanto da linguagem matemática empregada em tais conceitos e também das próprias ideias astronômicas. Ao tratar da sua história, então, o interesse tende a aumentar por trazer à tona debates conceituais que repercutiram para além das academias de ciências da época (séculos XVII e XVIII) e se estenderam à sociedade integralmente até a atualidade conforme abordado no capítulo 3, e os frutos desses debates conduziram a humanidade a uma nova visão de mundo. Apesar disso, ainda parece ser tema pouco valorizado tanto nas salas de aula quanto nos livros didáticos de Física, sobretudo quando se trata de integrar ao seu ensino a sua história [8].

Na evolução da Lei da Gravitação, vários trabalhos irão se desenrolar na incrível obra de Isaac Newton, como é o caso da obra “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”, conhecida popularmente pelo seu primeiro nome em latim, *Principia*. São de suma importância os debates realizados por Christopher Wren, Halley e Robert Hook, sobre as leis que regem as formas perfeitas das órbitas dos corpos e suas ligações com as leis da mecânica, tais como lei da inércia e lei da força central e atrativa (dirigida para o Sol). Robert Hooke realizou algumas experiências na tentativa de comprovar que a atração da Terra sobre um corpo podia variar conforme a altura, no entanto, jamais o célebre cientista conseguiria comprovar o que desejava, afinal pequenas variações de altura não são determinantes para que essa mudança na força gravitacional ocorrer. Os pressupostos de Hooke, nos levam a acreditar que ele tinha desconfiança sobre a força de atração da Terra nos corpos variar com a distância.

A correspondência de Hooke, mencionada no capítulo 2 deste trabalho, direcionava Newton para o problema do percurso de um corpo sujeito a uma força

dirigida para o centro , que variável com o inverso do quadrado da distância, conduzindo-o a avaliar a possibilidade de trajetória elíptica, assim como informado por Edmond Halley em agosto 1684 . O interesse de Halley levou Newton a demonstrar essa relação de novo, para compor um breve tratado sobre mecânica e, finalmente, para escrever sua obra Principia. No Livro I de Principia, Newton identificou a gravitação como a força fundamental que controla os movimentos dos corpos celestes, embora ele nunca tenha encontrado a sua causa, tendo se referido ao episódio da maçã e a descoberta da gravidade no manuscrito de Stukeley, cuja capa consta da figura 1.

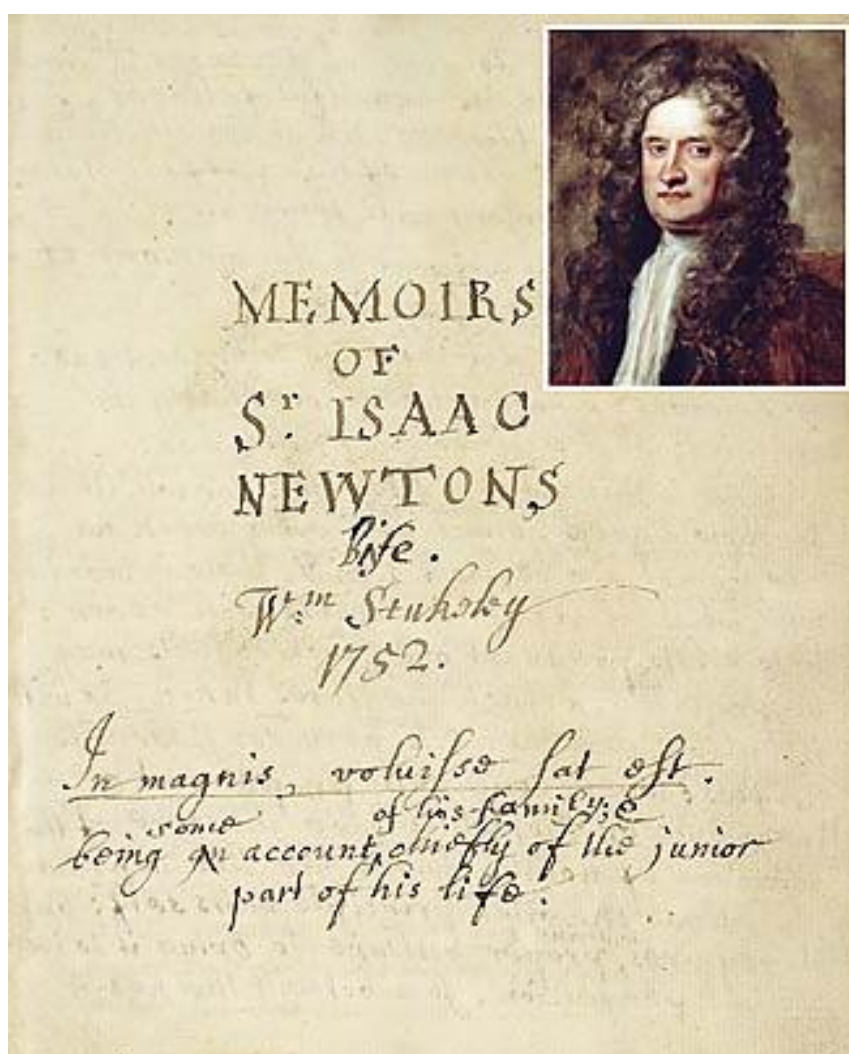


Figura 1 - Capa do manuscrito do biógrafo Stukeley [24].

CAPÍTULO 1

1. HOOKE DESVENDADO

Certamente o mais criativo e versátil cientista de todos os tempos, Robert Hooke ofereceu diversas contribuições à ciência nas mais variadas áreas do conhecimento. A figura 2, na página 13, exibe a capa da obra *Micrographia*, publicada por ele, na qual se detalhou vasto número de observações com lente de aumento, todas desenhadas, destacando-se a imagem da pulga, a mais conhecida delas, sobrepondo a capacidade artística de Hooke.

O livro possibilita entender-se a importância do microscópio e confirmar que imagens sempre deverão compor a linguagem científica. Hooke não deveria ser considerado praticamente invisível à luz da ciência, sua obra indubitavelmente justifica lugar de maior visibilidade, mesmo que livros reconheçam a lei que leva seu nome, a “Lei de Hooke”. Os motivos dessa circunstância estão relacionados às suas características individuais e o momento histórico a que está associado.

Era brilhante na mesma proporção que colecionava inimigos, sempre enfrentando embates por prioridades com poderosos, inclusive tornando-se rival número um de Isaac Newton, fato que o sujeitou a verdadeiro esquecimento após a repercussão do *Princípios*, e também por Hooke ter instigado a vingança naquele que se tornaria o mais poderoso cientista de sua época.

Esse episódio foi tão sério que, segundo rumores, discípulos de Newton teriam dado fim à única imagem de Hooke, guardada na Royal Society, porém nada realmente confirmado pela história.

MICROGRAPHIA:

OR SOME
Physiological Descriptions

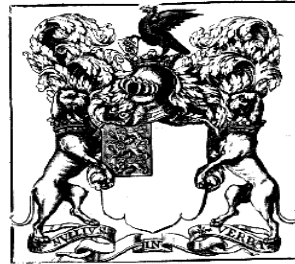
OF MINUTE BODIES

MADE BY
MAGNIFYING GLASSES

WITH
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.

By R. HOOKE, Fellow of the ROYAL SOCIETY.

*Nam possit sculo quantum contendere Lincoln,
Non iam in idcirco contemnat Lippus orator. Horac. Ep. lib. 1.*



LONDON, Printed by Jo. Martyn, and Ja. Allestry, Printers to the
ROYAL SOCIETY, and are to be sold at their Shop at the Bell in
S. Paul's Church-yard. M DC LX V.

Figura 2 - Capa de Micrographia, Robert Hooke (1665) [22].

O não reconhecimento (merecido) de Hooke, está intimamente ligado à condição de que o cientista se envolveu em quantidade tão grande de experimentos, trabalhos e estudos, que não se aprofundou em qualquer deles, ou seja, suas ideias não foram finalizadas, culminando em imagem de pessoa com grande intuição, mas com pouca capacidade de se dedicar a elas. Para os padrões do século XVII, sua aparência não era fator que possibilitasse crescimento e destaque na trajetória pessoal. Hooke possuía estatura mediana acrescida de um corpo curvado, magro em exagero com cabelos longos e não cuidados, além de possuir olhos castanhos e grandes. Em 2003, a Royal Society criou vários eventos em comemoração aos 300 anos de sua morte, inclusive promovendo um concurso entre pintores para que imaginassem como seria a fisionomia de Hooke e, entre as representações de seu rosto, Rita Greer se destacou com a obra mostrada na figura 3. A entidade congregou especialistas que avaliaram as várias contribuições científicas deixadas por ele.

A Royal Society reuniu em suas atividades iniciais, observações detalhadas da natureza, tentando desvendar todos seus segredos e tendo como lema “*Nullius in verba*” – tudo precisa ser comprovado através de experimentos, não bastavam as

palavras ou afirmações com a autoridade. Dessa forma, Robert Hooke se encaixava perfeitamente na filosofia da instituição.



Figura 3 - Representação do rosto de Robert Hooke, por Rita Greer [16].

1.1 – A SUSPEITA DE HOOKE – TRABALHO DE 1674

Em “Tentativa de Demonstrar o Movimento da Terra”, Hooke exhibe o bom avanço conseguido. No apêndice desse trabalho, ele se reporta a três aspectos que nos permitem a entender o quanto seu trabalho teve importância. As ideias do pressupostos eram as seguintes:

1º) Todos os corpos celestes têm atração ou força gravitacional em direção aos seus centros, através da qual atraem não só a si próprios, mas também todos os outros corpos celestes que estão dentro da sua própria esfera de ação.

2º) Todos os corpos postos em movimento simples e direto continuarão a mover-se numa linha reta, até que sejam desviados, por alguma força, para um movimento descrevendo um círculo, uma elipse ou alguma outra linha curva composta.

3º) Tais forças atrativas são tanto mais poderosas a operar sobre determinado corpo, quanto mais perto esse corpo se encontra do centro de atração.

Essas três ideias nos levam a crer na suspeita de Hooke relativa à redução da força com o aumento da distância, contudo ele não sabia de que maneira a força dependia da distância. O desafio, então, era descobrir que tipo de dependência: atrativa inversamente proporcional à distância, ao quadrado da distância, a outra potência da distância, ou seria mesmo um tipo de dependência mais complexa?...

Outros famosos cientistas da época, como Christiaan Huygens, se interessaram por essa questão. Em 1673, Huygens publica a obra “Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum”, em que obtém a lei da força para o movimento circular e uniforme. Nesse livro, demonstra que essa força é proporcional ao quadrado da velocidade dividido pelo raio da circunferência (ver equação 1), sendo essa circunferência a trajetória [6].

$$F \propto \frac{v^2}{R} \quad \text{Equação 1}$$

1.2 – AS CONTRIBUIÇÕES DE HOOKE

No começo da Royal Society, Hooke torna-se um dos “curadores de experimentos” e realiza de forma tão fantástica seu papel que se torna o experimentador oficial e quase único da Royal Society.

Entre os triunfos de Hooke estão as invenções no campo da mecânica: a construção a bomba de ar moderna. Com a bomba, que possibilitava a rarefação e a compressão do ar, realizou muitos experimentos, até aqueles que inspiraram a formulação da lei dos gases ideais. Segundo essa lei, a pressão varia inversamente com o volume ocupado pelo gás, em uma temperatura constante, sendo denominada de lei de Boyle no Reino Unido, de lei de Mariotte para os franceses, e de lei de Boyle-Mariotte em nossas bandas. Contudo, essa relação foi na realidade sugerida por Henry Power e Richard Towneley (1660), verificada acuradamente por Robert Hooke (1661), verificada novamente por Boyle e por ele publicada (1662), e formulada também pelo francês Edme Mariotte (1620-1684). Como em muitos casos

similares, esse episódio deixa evidente a dificuldade em tornar precisas as contribuições individuais dos pesquisadores no complexo processo de descoberta e construção, em geral coletivo, de leis e resultados científicos. Com a bomba de ar, Hooke mostrou que, na combustão, algo é retirado do ar e, na ausência dele, ela cessa rapidamente. Impressionado pela analogia entre combustão e respiração, registrou a existência no ar de algum fator necessário para a vida animal. Chegou a realizar experimentos consigo mesmo, colocando-se em um ambiente com ar cada vez mais rarefeito, o que lhe causou sequelas temporárias nos ouvidos e nariz [7].

Entre suas inúmeras invenções estão o diafragma usado em câmeras e a construção de um sistema mecânico rudimentar de comunicação a distância, que explorava a transmissão do som por meio de fios e cordas. Construiu ainda a primeira junta universal, hoje amplamente usada em veículos. Formas primitivas desse tipo de junção já eram conhecidas pelos chineses há 2.000 anos e também haviam sido teorizadas por Jerome Cardan no século 16. Hooke afirmava ter imaginado 30 maneiras diferentes para realizar o voo, embora não tenha deixado esquemas detalhados. Inventou ou aperfeiçoou aparelhos que possibilitaram o desenvolvimento da meteorologia científica: novos higrômetros e barômetros, medidores de chuva, anemômetros e um "relógio do tempo [atmosférico]" que registrava automaticamente as medidas de diversos instrumentos [7].

Especulou a possibilidade de mutação, analisou fósseis e concluiu que algumas dessas espécies teriam sido extintas anteriormente e que no início de tudo nem todas as espécies já existiam. Deu um grande passo na geologia, inclusive divergindo fortemente com pensamentos propostos na bíblia. No livro *Micrographia*, fala sobre o primeiro microscópio composto (ver figura 4) e relata muitas de suas observações originais: estrutura de um ferrão de abelha, olho de uma mosca, fio de uma navalha, a neve, células da cortiça... Provavelmente foi o primeiro a observar a célula vegetal. Consegue perceber a periodicidade nas cores, fato que foi provado categoricamente por Newton, mas sua intuição de um comportamento ondulatório da luz é digna de destaque[1].

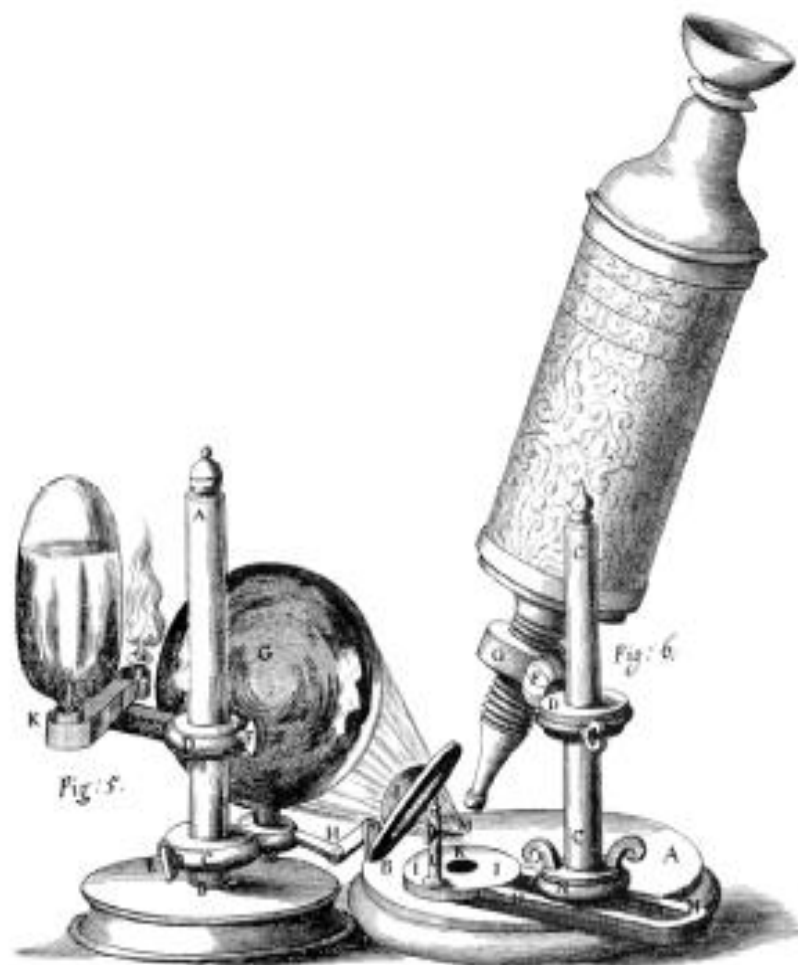


Figura 4 - O microscópio representado por Hooke na *Micrographia* [3].

Em 1672, pensou que a luz poderia ser uma onda transversal, imaginou o calor como uma vibração veemente e de muito vigor das regiões de um corpo. Sua maior habilidade não está associada à matemática, embora não desconsiderasse seu valor. Seu ponto positivo era a facilidade para construir e medir quantitativamente a natureza através de dispositivos inventados para estender o poder dos sentidos, conforme o trecho retirado de sua obra *Micrographia*: "O cuidado seguinte a ser tomado, com relação aos sentidos, é suprir suas debilidades com instrumentos e, assim fazendo, adicionar órgãos artificiais aos naturais".

Um trecho de um manuscrito de Hooke, provavelmente escrito em 1663, descreve a metodologia do trabalho experimental que ele propôs à Royal Society, em seu papel de curador:

“ [...] Portanto, eu concebo que o método de realizar experimentos pela Royal Society deveria ser este. Primeiro, propor o projeto e objetivo do curador nesta presente investigação. Segundo, fazer o experimento, ou experimentos, sem pressa, com cuidado e exatidão. Terceiro, ser diligente, preciso e curioso, tomando nota e mostrando à assembléia de espectadores as circunstâncias e efeitos que aí ocorrem que sejam relevantes – ou que ele assim considere – com respeito à sua teoria. Quarto, depois de concluir o experimento, discursar, argumentar, defender e explicar melhor as circunstâncias e efeitos nos experimentos precedentes que possam parecer duvidosos ou difíceis; e propor quais novas dificuldades e questões surjam, que exijam outras tentativas e experimentos a serem feitos, para seu esclarecimento e resposta; e depois, apresentar os axiomas e proposições que forem assim claramente demonstrados e provados...” [3].

O microscópio foi tão impactante e profundo na imaginação literária, quanto o telescópio teria sido na época de Galileu com o *Sidereus Nuncius*, por isso a *Micrographia*, com o desenho da pulga (ver figura 5), teve enorme difusão entre os intelectuais na Europa e ajudou bastante na popularização do instrumento, sendo bem mais fácil seu acesso do que o telescópio e servindo como uma espécie de brinquedo na mão das damas da aristocracia europeia.

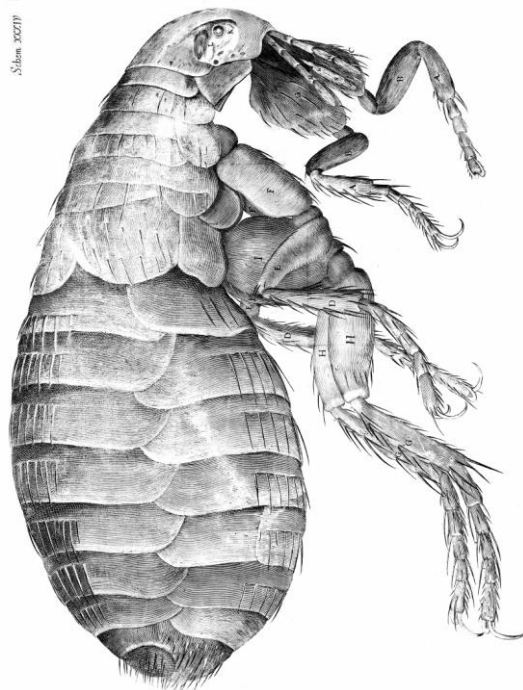


Figura 5 - Desenho de uma pulga, da *Micrographia* [3].

Mas também surgiram críticas e receios com a maré científica montante. Thomas Shadwell (1642-1692), por exemplo, escreveu uma peça corrosiva, O Virtuoso (1676), inspirada claramente em Hooke. O personagem principal, sir Nicholas Gimcrack, é um tolo cientista amador, adepto do microscópio, que se dedica a empreendimentos aparentemente absurdos. Por outro lado, seria impensável imaginar a produção de As Viagens de Gulliver (1726), de Jonathan Swift (1667-1745), com seus mundos e habitantes em escalas diversas, sem o contexto do uso amplo do telescópio e do microscópio [7].

Hooke apresentou a descrição muito interessante do que observara no microscópio. Fez a descrição de um piolho (ver figura 6)

[...] é uma criatura de uma forma muito peculiar ; tem uma cabeça na forma indicada no esquema 35, marcada com A, que parece quase cônica, mas é um pouco achatada nos lados superior e inferior; na parte mais larga dela, de cada um dos lados da cabeça (como se fosse no lugar em que outras criaturas têm orelhas) estão colocados dois olhos negros brilhantes arregalados BB, olhando para trás, e cercados à volta com vários pequenos cílios ou cabelos que os envolvem, de modo que parece que essa criatura não tem uma boa visão frontal. Não parece ter qualquer pálpebra, e talvez por isso seus olhos foram colocados em tal posição que ele possa limpá-los mais facilmente com as patas dianteiras; e talvez essa seja a razão pela qual eles evitam e fogem tanto da luz, pois, sendo feitos para viver nos recessos sombrios e escuros do cabelo, e provavelmente por isso tendo seus olhos uma grande abertura, a luz clara e aberta, especialmente a do Sol, deve necessariamente feri-los muito; para proteger esses olhos de receber qualquer dano dos cabelos através dos quais passa, tem dois chifres que crescem à sua frente, no lugar onde pensaríamos que deveriam estar os olhos [3].

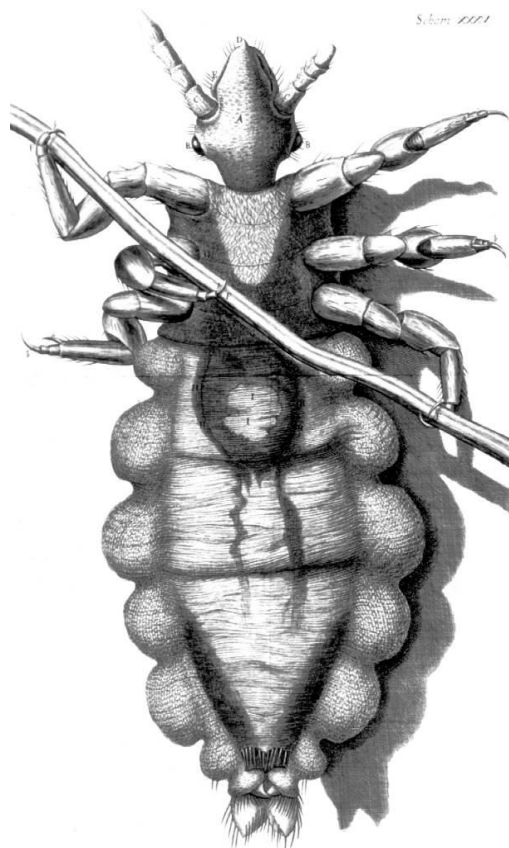


Fig. 6. Desenho de um piolho agarrado a um fio de cabelo [3].

Hooke também contribuiu bastante no ramo da arquitetura após um incêndio ocorrido em Londres. Nesse episódio, grande parte da cidade foi destruída e Hooke criou um grande e surpreendente projeto para reconstrução de Londres. Apesar seu projeto não ter sido adotado, Hooke foi, juntamente com seu amigo Wren, o supervisor nessa nova empreitada, tendo tido grande parte de sua obra como arquiteto esquecida ao longo da história por conta do grande destaque dos trabalhos de Wren. Incansavelmente o cientista circulava por Londres inspecionando diversos prédios, pontes, canais etc. Trabalhou ao lado de Wren na construção de várias obras como o observatório de Greenwich, o monumento ao Grande Incêndio e a catedral de St. Paul. Apesar de Wren ter conquistado o papel principal, existem outros prédios relevantes da obra exclusiva de Hooke, como o Royal College of Physicians e o Bethlehem Hospital. Pouco de seus projetos arquitetônicos resta hoje de pé.

CAPÍTULO 2

2. EMBATE ENTRE HOOKE E NEWTON

Newton e Hooke tiveram relação conturbada, oscilando entre a cordialidade até grandes disputas por espaço junto ao cenário científico, sendo que em vários momentos, questões de prioridade foram colocadas em jogo. Ao escrever sua teoria sobre a luz, em 1672, Newton recebeu uma crítica sutil de Hooke que, naquela ocasião, já possuía experiência no assunto. Newton não se conformou com o comentário de Hooke e, após várias semanas elaborando sua resposta, mostrou sua alta capacidade nos argumentos dando origem, então, ao primeiro problema entre eles.

Hooke passou pelo desconforto de ter que receber uma resposta firme e aos olhos de todos os envolvidos nesse processo de construção do conhecimento do século XVII. Robert Hooke ficou extremamente furioso quando Newton publicou em 1675 sua hipótese sobre a luz; retrucou dizendo que já havia feito a mesma colocação sobre o caráter corpuscular da luz em sua obra *Micrographia* – reivindicação que parece injusta aos olhos da História da Ciência. Newton ficou tão agastado, preocupando-se, então, a divulgar seus trabalhos e ideias; reforçando tal preocupação, não por coincidência, ele publicou sua segunda obra monstruosa somente em 1704, logo após a morte de Hooke e sem sequer citar o nome dele.

Em seu excelente livro intitulado “Os 10 mais belos experimentos científicos” (Jorge Zahar Editor, 2006), o filósofo e escritor norte-americano Robert P. Crease narra um episódio sobre a primeira controvérsia epistolar (“jornalística”) acontecida entre os físicos ingleses Sir Isaac Newton (1642-1727) e Robert Hooke (1635-1703). Como ela aconteceu? Em 1666, Newton começou a estudar o famoso fenômeno das cores, usando, para isso, um prisma de vidro que havia comprado na feira de Sturbridge por volta de 1665. Trancado em seu quarto escuro, Newton fez um pequeno orifício na veneziana da janela e colocou o prisma para receber a luz solar que por ele passava. Ele percebeu que essa luz branca era decomposta nos raios (cores) do arco-íris (fenômeno esse mais tarde conhecido como dispersão da luz).

Além disso, observou que essas cores apresentavam forma oblonga, em vez de circular, como se esperava em virtude da lei da refração conhecida, ou seja, a lei de Snell-Descartes [14].

Por seu lado, Hooke também havia realizado experiências relacionadas com a luz, e que foram descritas em seu livro intitulado *Micrographia*, publicado em 1665. Face a essas experiências, ele afirmou que a luz era uma substância material, decorrente da vibração do éter, e que a emissão de luz por um corpo luminoso decorria de um movimento vibratório de muita pequena amplitude (Whittaker, op. cit.). Registre-se que mais tarde, em 1672, Hooke afirmou que a luz era uma onda transversal. Sendo curador de experimentos da *Royal Society of London for Improving Natural Knowledge*, fundada em 1660 (seu lema era *Nulius in verba*, interpretada como “Não aceite a palavra de ninguém como prova”), Hooke havia realizado um “experimento inesperado”: ele projetou luz solar sobre uma jarra com líquido vermelho e sobre uma outra com líquido azul. Ambas deixavam a luz passar; contudo, quando ele as misturou e fez passar a luz, observou que ela era bloqueada. Partidário de que a luz era uma substância material e que se propagava como uma onda, conforme afirmado acima, Hooke não conseguiu explicar esse novo resultado. A explicação coube a Newton [14].

2.1 - A TROCA DE CORRESPONDÊNCIAS – CONTEÚDO DAS CARTAS

Conta-se que mesmo sem tentar refazer o experimento de Newton, Hooke demonstrou sua indignação e criticou de forma incorreta a hipótese que Newton estava defendia. O mais notável físico de sua época teve aflorado todo seu talento e poder de combate. Recapitulou e criou seus argumentos na troca de cartas que se seguiu, com mais intensidade por volta de 1680, e que contém o maior deboche da história da ciência. O genial Isaac Newton usou a condição física de Hooke, que era de estatura baixa e corcunda, parecendo um anão, louvando as contribuições de Hooke ao seu trabalho com a seguinte frase: “Se pude enxergar a tão grande distância, foi subindo em ombros de gigantes”.

Abaixo é possível ver o conteúdo completo das cartas trocadas entre Newton e Hooke. O conteúdo dessas correspondências do livro do físico francês

Jean-Pierre Maury (1937-2001) com o título de: Newton e a Mecânica Celeste (Objetiva, 2008).:

Carta de Hooke a Newton: Ao muito querido amigo, Sr. Isaac Newton, na Trinity College, Cambridge em 20 de janeiro de 1676./ Prezado Senhor,/ Ler sua carta, semana passada, na reunião da Sociedade Real, me fez pensar que o senhor, de uma ou de outra maneira, talvez tenha sido deliberadamente mal informado a meu respeito. Sobretudo tendo eu próprio sido vítima de detestáveis procedimentos desse tipo. Por isso tomei a liberdade – que creio admissível em matéria de filosofia – de pessoalmente lhe falar e dizer não concordar, de forma alguma, com disputas, brigas e controvérsias públicas, sendo apenas bem contrariado que me levariam a guerras desse gênero./ Acrescento que meu espírito avidamente busca – e de bom grado adota – toda verdade recém-descoberta, mesmo que se choque e contradiga noções e opiniões até então por mim consideradas verdadeiras. Por último, que dou o devido valor às suas demonstrações, sentindo-me extremamente feliz de ver se estabelecerem, com ganhos, ideias que abordei há tanto tempo, sem ter podido levar adiante o estudo. Em minha opinião, o senhor foi muito mais longe do que eu neste assunto: assim como diz que não poderia encontrar tema mais digno de suas reflexões, em minha opinião tal tema não poderia encontrar, para seu estudo, ninguém mais capaz do que o senhor, que tudo possui para completar, retificar e modificar meus estudos de juventude, tarefa que gostaria de ter podido cumprir pessoalmente se outras, mais urgentes, me houvessem permitido, mesmo que com capacidades, tenho certeza, bem inferiores às suas./ Sua meta, creio, é a mesma que a minha, ou seja, a Descoberta da verdade, e suponho que ambos apreciamos ouvir objeções, se estas não vêm imbuídas de declarada hostilidade. Da mesma maneira, acredito que nossos espíritos estejam igualmente dispostos a se inclinarem diante das deduções mais claras que o raciocínio possa tirar da experimentação. Se, em decorrência disso, lhe aprouver que mantenhamos sobre esse assunto uma correspondência privada, ficarei muito satisfeito. Quando, então, eu tiver tido o prazer de estudar com calma o seu excelente discurso (que não me esclareceu tanto ao ouvir sua leitura rápida), tomarei a liberdade de lhe enviar, se não estiver com isso me revelando ingrato, minhas objeções, se for este o caso, ou minha concordância, se me sentir convencido, o que é mais provável. Tal forma de discussão me parece mais filosófica que a outra, pois, mesmo que o choque entre dois sólidos adversários possa produzir luz, quando acionado por terceiros, tal choque produz também calor que só serve ... para atear fogo à pólvora. Espero, caro senhor, que perdoe a franqueza deste seu humilde e dedicado servidor, / Robert Hooke [14].

Resposta de Newton. Cambridge, 5 de fevereiro de 1676./ Prezado senhor,/ Ao ler sua carta, fiquei encantado com sua atitude livre e generosa, acreditando que agiu como de fato convém a um verdadeiro espírito filosófico. O que mais temo, em matéria de filosofia, é a controvérsia, sobretudo pelo canal da imprensa: por tal motivo aceito com alegria a proposta de correspondência particular. O que se diz diante de um público numeroso raramente se inspira na

*exclusiva intenção da verdade, enquanto as relações pessoais entre amigos se assemelham mais a uma conversa do que à controvérsia. Espero, pois, que assim ocorra entre nós. Suas observações serão, desse modo, absolutamente bem-vindas, apesar de não ter mais por esse tema – e talvez nunca mais o recupere – prazer suficiente para ainda lhe dedicar meu tempo. Entretanto, ter no imediato e de forma breve as objeções mais fortes e mais pertinentes que possa haver, isto sim, certamente desejo e não conheço quem esteja mais qualificado que o senhor para apresentá-las. Ficarei muito grato por isso. E se houver o que for, em meus escritos, que lhe pareça presunçoso ou injusto com relação ao senhor, se fizer o favor de manter tais sentimentos em uma carta pessoal, espero que haverá de também constatar que não sou um apaixonado pelas produções filosóficas a ponto de não poder voltar atrás diante da justiça e da amizade./ Mas o senhor valoriza sobremaneira minhas capacidades. O trabalho de Descartes constitui um enorme passo adiante. O senhor inclusive muito acrescentou a ele, e de diversas maneiras, sobretudo ao estudar, de maneira filosófica, as cores das lâminas finas. **Se pude enxergar a tão grande distância, foi subindo nos ombros de gigantes.** Não tenho dúvida de que dispõe de vários experimentos importantíssimos, além dos que foram publicados. Alguns, provavelmente, semelhantes aos que constam do meu último texto. Há pelo menos dois que sei que o senhor certamente fez: a observação da dilatação dos anéis coloridos, quando olhados obliquamente, e a aparição de um ponto negro no contato de dois vidros convexos, assim como no topo de uma bolha. E com certeza outros, assim como outros ainda que não realizei. Tenho, então, pelo menos iguais motivos para reverenciá-lo quanto o senhor a mim, sobretudo se considerarmos as dispersões que os negócios lhe impõem./ Mas basta de tudo isso. Sua carta me deu a oportunidade para lhe perguntar sobre a observação, que o senhor me propõe fazer, da passagem de uma estrela na proximidade do zênite. Voltei de Londres alguns dias antes do que disse, pois devia encontrar um amigo em Newmarket, e assim falei a suas informações. Passei em sua casa um ou dois dias antes de partir, mas não o encontrei. Então, se ainda desejar que se faça essa observação, basta enviar suas instruções a este seu humilde servidor./ Isaac Newton [14]*

Inquestionavelmente a maior polêmica entre Newton e Hooke ocorreria com a proposta da lei da gravitação. Quando Newton publicou seus conhecidos Principia, em 1686, Hooke se mostrou adverso e se proclamou esquecido e injustiçado por não ver relacionadas suas contribuições. Na polêmica que se criou, Newton agiu de forma energética nas respostas como sempre, e suas afirmações foram sobressalentes no meio acadêmico. Historiadores especialistas em Newton sempre convergiram no sentido de que o brilho intelectual é incontestável, contudo, admitem que a contribuição de Hooke foi muito mais importante do que Newton estava pronto para admitir. Em 1679, Hooke escreve uma carta amistosa para Newton, buscando ajuda na teoria da gravitação. Pede-lhe que comente sobre a ideia de que o movimento planetário pode ser entendido como uma junção de duas componentes:

um movimento tangencial à órbita, de origem inercial, e outro de atração na direção do centro, gerado por atração exercida pelo Sol. Não há dúvidas de que essa ideia foi de extrema importância para Newton enxergar na direção certa a lei da gravitação. Em 24 de novembro de 1679, Hooke escreveu essa carta a Newton, apresentava a hipótese mencionada anteriormente, de que o movimento de um planeta era composto de uma parte tangente à trajetória e de uma parte “encurvada” em direção ao corpo central que atraía o planeta. Em 28 de novembro, Newton respondeu dizendo que estava afastado das questões filosóficas, não comentou em detalhes sobre a hipótese apresentada por Hooke, conforme se percebe no texto a seguir:

“Apenas ouvi falar de suas hipóteses de composição dos movimentos celestes...embora não haja dúvida de que são bem conhecidas do mundo filosófico...Minha afeição à filosofia tendo se esvaído,...estou quase tão pouco atento a isto como um profissional está à profissão de outro, ou um camponês está atento à cultura...” [13]

Nessa carta a Newton, na qual apresentava a hipótese, Hooke o orientava de que o movimento de um planeta era composto de uma parte “encurvada” em direção ao corpo central que atraía o planeta. Em 28 de novembro, Newton respondeu dizendo que estava afastado das questões filosóficas, não comentou sobre a hipótese apresentada por Hooke, mas descreveu uma experiência para demonstrar a rotação da Terra. Em sua resposta, de 9 de dezembro, Hooke chamou a atenção para o erro cometido, dizendo que, de acordo com a teoria do movimento planetário que ele havia desenvolvido, a trajetória de um corpo imaginário caindo através da Terra sem encontrar resistência deveria ser uma elipse com o corpo voltando ao ponto de partida. Ele desenhou uma elipse, mas colocou o centro da Terra no centro da elipse. Newton não gostou de ser corrigido, mas teve que aceitar o fato. Em resposta enviada em 13 de dezembro, corrigiu a figura apresentada por Hooke e escreveu: “a verdadeira trajetória, supondo-se uma Terra oca e na ausência de resistência, seria ainda mais complexa, uma ascensão e descensão alternadas”, a elipse não poderia ser fechada. Para chegar a essa conclusão, supoz que, a

gravidade era constante. Hooke replicou, em 6 de janeiro de 1680, dizendo que, se a força de atração central fosse constante, a órbita proposta por Newton seria correta; mas, como ele acreditava que essa força decrescia com o inverso do quadrado da distância, a órbita não poderia ser como Newton a havia descrito. Propôs, em seguida, que Newton usasse o seu método para calcular a curva do movimento dos planetas.

Desta vez Newton não respondeu. Alguns anos mais tarde, essa carta foi usada por Hooke como prova de acusação de plágio; ele queixou-se de que Newton não lhe dera o devido crédito pela descoberta da lei do inverso do quadrado da distância. A questão mais importante é saber se Newton teria ou não se apropriado do método de Hooke de conceber o problema.

Em 1682, Hooke elaborou uma teoria da gravitação, sendo a qual os corpos emitiam pulsos gravitacionais periódicos, em analogia à sua teoria vibracional da matéria, som e luz.

Halley (1656-1742) era o mais novo dos três. Foi astrônomo e matemático e pioneiro no cálculo das órbitas dos cometas. Publicou em 1705 *Urna Sinopse da Astronomia dos Cometas*. Em 1716, propõe um método para estudar a passagem de Vênus pelo disco solar e calcular com precisão, usando paralaxe, a distância da Terra ao Sol. Em agosto de 1684, Halley viajou até Cambridge e aproveitou para consultar Newton sobre que tipo de órbita um planeta teria se a força de atração variasse segundo a lei do inverso do quadrado, e ficou surpreso ao saber que Newton já havia resolvido o problema e encontrado que a órbita era uma elipse. Depois da visita, escreveu e enviou a Halley um tratado de nove páginas intitulado *De motu corporum in gyrum* (Do movimento dos corpos em órbitas). O texto começa com as definições de força centrípeta, força inata e resistência. Note-se que Newton não definiu força, mas apenas especificou os três tipos acima. A palavra força, naquela época, era um termo vago e mal definido. Havia principalmente dois tipos de forças: o peso e o esforço muscular de homens e animais. Jobri Wallis (1616-1708) definiu força como “uma potência produtora de movimento”.

2.2 – HOOKE ENCAMINHANDO NEWTON À GRANDE DESCOBERTA

Newton vinha imaginando, para analisar o movimento curvilíneo, que podia haver uma força centrífuga, portanto para fora do centro, já Hooke imaginou que essa força de atração ocorria em pulsos na direção do Sol desviando o planeta e gerando a trajetória curva. De acordo com esse pensamento, supõe que uma atração centrípeta puxava o planeta na direção do Sol e que essa força variava com o inverso do quadrado da distância ao Sol. Michael Nauenberg, pesquisador da história da ciência, afirma que Hooke não agiu apenas com intuição ou adivinhação para chegar a essas ideias como sempre se pensou. Ele também se beneficiou de sistemas mecânicos parecidos, como é o caso do pêndulo cônico, que resolveu por métodos gráficos e com aproximação. Acontece que Hooke não conseguiu mais nada a não ser isso, sendo dado o grande salto para elucidar nosso sistema, por seu maior opositor, ele mesmo, Isaac Newton, justamente na publicação dos *Princípios*.

Interpretando bem a troca de cartas entre os dois gênios, é fácil concluir que Hooke ensinou de que forma Newton deveria analisar os fatos. Evidente que isso levaria o experiente cientista da Royal Society a cobrar os devidos créditos que merecia pela contribuição a Newton. Todavia, por toda a complexidade que é a gravitação universal, sugerir uma atração central variando com o quadrado o inverso do quadrado da distância parece pouco tamanha era a exigência de Hooke por algum reconhecimento.

Faltaram a Hooke as virtudes que Newton possuía, entre elas um monumental conhecimento matemático para se determinar a solução do problema da gravitação. Hooke se sentiu roubado violentamente por Newton e Huygens. Morreu no início do século XVIII, precisamente no dia 3 de março de 1703, vivendo seus últimos anos de vida em estado mórbido de tristeza. Uma análise, mesmo que superficial na *Micrographia*, confirma que Hooke merece mais do que ser visto apenas como o adversário e incitador permanente de Newton. Verdadeiramente deve sempre ser lembrado como um grande artista, cientista e experimentador.

Todavia mais do que isso, os contributos de Newton para a gravitação são uma obra digna de um titã: estabeleceu que a atração gravitacional ocorre entre todos os corpos do Universo, concluiu que o Sol não pode estar em repouso no

centro do universo, pois está sujeito às forças dos outros corpos celestes, determinou as perturbações nas órbitas planetárias devido aos outros planetas, mostrou que a órbita dos cometas não é irregular, estudou a atração gravitacional de um corpo extenso não esférico (elipsoide de revolução), estabeleceu que a Terra deveria ser achatada e determinou esse achatamento, prevendo a variação gravitacional com a latitude e propôs um método para determinar experimentalmente esse efeito, utilizando pêndulo. Explicou, ainda, a precessão dos equinócios e as marés [6].

2.3 - TRABALHO DE TITÃ – ESBOÇO DA CONTRIBUIÇÃO DE NEWTON À GRAVITAÇÃO

Os anos de 1665 e 1666 foram paralisados na universidade por conta do surto da peste. Esses anos se entrelaçam com as grandes contribuições intelectuais de Newton (ver figura 7). Esteve ele trabalhando sozinho e em casa nessa época, e pôde lançar as sementes do trabalho desenvolvido nos anos seguintes, nas mais diversas áreas, como óptica, matemática e dinâmica. Após ter sucedido Isaac Barrow como professor de Matemática na Universidade, publicou sua obra dividida em três livros, entre os quais o livro III dos *Principia*, em que está contida a lei da gravitação universal, conseguindo unir a Física terrestre com a Física celeste.

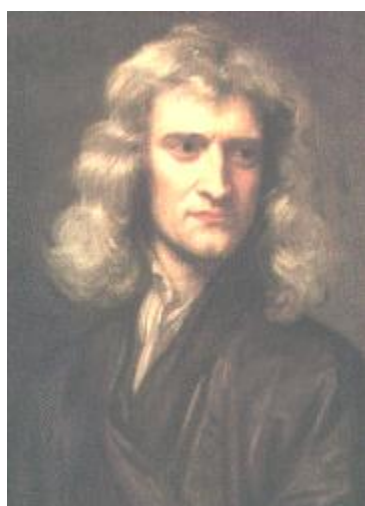


Figura 7 – Isaac Newton [21].

Poucos da época estavam preparados para receber essa obra. Para ler *Principia*, era preciso ter domínio da matemática com alguns conhecimentos de cálculo diferencial e de astronomia, incluindo, por exemplo, a trajetória dos corpos celestes. Era muito raro haver alguém com esses conhecimentos mútuos no século XVII; um público imediatamente preparado para ler "*Principia*" era composto por filósofos oriundos da tradição cartesiana, dos quais dois foram importantes: W. Leibniz e C. Huygenz, autores mais bem embasados para compreender "*Principia*". Entretanto, a recepção dos dois no início foi muito frustrante. Newton tinha muita expectativa da reação desses filósofos, mas eles se recusaram a admitir a teoria em virtude da suspeita de que o nobre elaborador das leis da mecânica estivesse reabilitando as antigas doutrinas aristotélicas. Newton desenvolveu métodos analíticos unindo técnicas matemáticas já conhecidas, o que tornou possível a resolução de problemas de diversos tipos, como o de encontrar áreas, tangentes e comprimentos de curvas assim como máximos e mínimos de funções. Todas essas descobertas ocorreram anos antes que Leibniz e de forma independente. Recusou-se durante muito tempo a divulgar suas descobertas e foi Leibniz quem primeiro publicou. Isto gerou uma disputa muito grande entre os dois matemáticos, sobre quem teria realmente inventado o cálculo. Apesar de Newton ter desenvolvido antes de Leibniz a notação e a maneira de calcular derivadas, aquela que prevaleceu foi a de Leibniz, que se mostrou muito mais simples e conveniente [20].

A publicação da *Principia* rendeu a ele fama imediata. Suas teorias forneciam explicações para um conjunto tão grande de fenômenos, tanto no mundo palpável do dia a dia quanto nas esferas celestes, que mudaram a compreensão das pessoas acerca do mundo à sua volta. Embora festejado, manteve o comportamento excêntrico que sempre o caracterizou. Solitário, com fama de teimoso e mal-humorado, colecionou uma série de extravagâncias. Era religioso, mas pertencia a uma seita herética chamada arianismo, que negava a Santíssima Trindade. Em 1936, o economista John Maynard Keynes arrebatou num leilão um maço de trabalhos de Newton e constatou, surpreso, que eles relatavam experiências no campo da alquimia - tentativas de transformar metais comuns em

metais preciosos. Nenhuma dessas esquisitices apaga o brilho formidável do cientista que mudou a percepção da humanidade a respeito do mundo [23].

Lamenta-se que, após 1693, Newton não tenha se dedicado mais à matemática. Ele teria facilmente criado uma das mais importantes aplicações do cálculo: o cálculo das variações que será desenvolvido pelos Bernoulli (1623-1759), por Euler (1707-1783) e por Lagrange (1765-1843). Já nos *Principia*, tinha sugerido este assunto quando calcula a forma de uma superfície de revolução que atravessa uma massa de líquido oferecendo resistência mínima. Também em 1696, resolve - em poucas horas, diz-se - o clássico problema da *brachistochrona*: determinar a forma da trajetória que uma massa em queda, sob a ação da gravidade, descreve entre dois pontos em tempo mínimo. Este problema, representado na figura 8, fora exposto por Johann Bernoulli e Leibniz tinha proposto uma solução que desafiava os matemáticos europeus da altura. Cautelosamente, Newton vai comunicar a sua solução à Royal Society de maneira anônima. Bernoulli, ao ver a solução teria exclamado: "Ah! Reconheço o leão pela sua pata [2].



Figura 8 – Problema da baquistócrona [19]

"Os *Principia*, em destaque na figura 9, eram uma obra-prima; foi considerado o melhor e maior estudo científico de todos os tempos. Sua

repercussão foi enorme. Em apenas 1(um) volume, Newton reescrevera toda a ciência dos corpos em movimento com surpreendente precisão matemática. Ele concluiu o que os físicos anteriores haviam iniciado e Galileu tentara trazer à realidade; suas três "leis do movimento" deram a base de todo o estudo seguinte. Newton tinha também elucidado um problema astronômico de 2 000 anos - o movimento dos planetas no espaço".

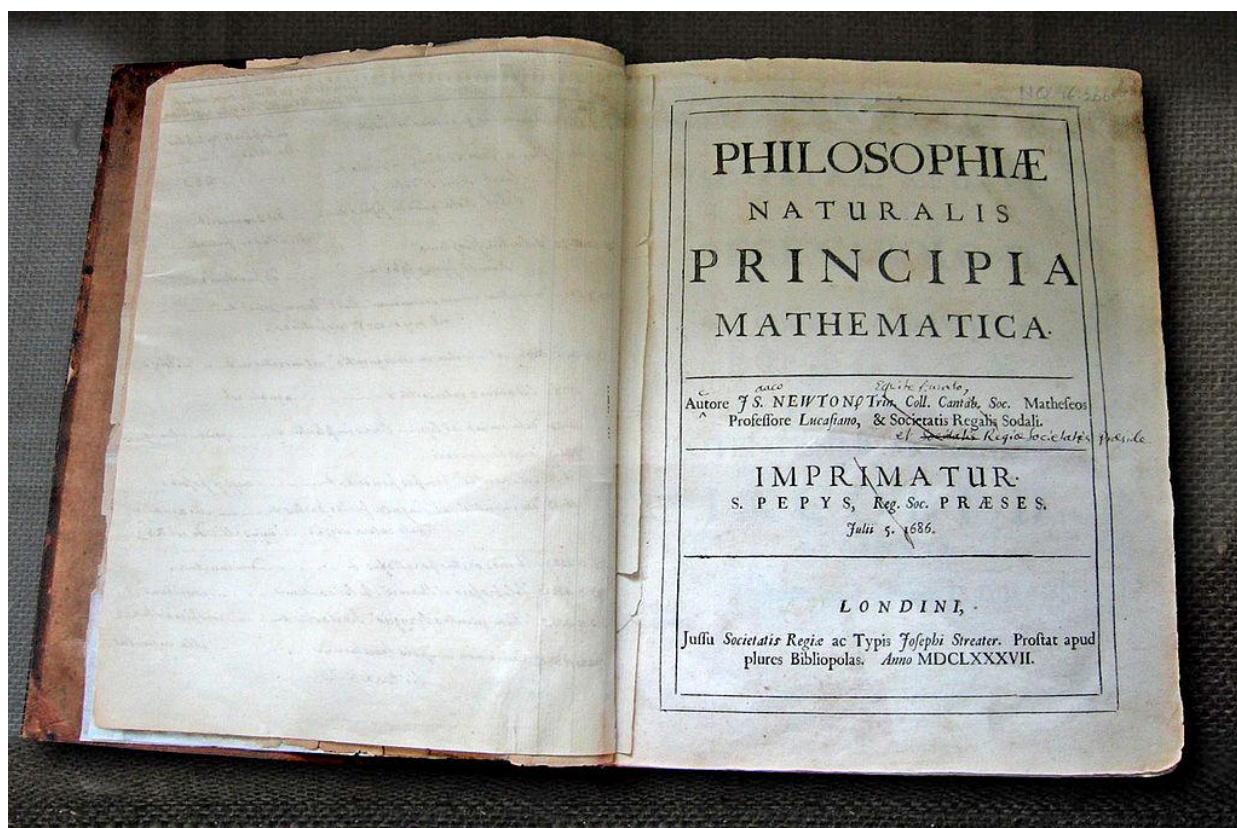


Figura 9 – Contracapa de Princípios Matemáticos da Filosofia Natural, de Newton [12]

CAPÍTULO 3

3. RESUMO DO CAMINHO TOMADO POR NEWTON – Divergências e concordâncias de Cohen e Westfall

A Gravitação Universal (GU) de Newton é assunto de grande interesse para aqueles que se dedicam ao estudo da Física em função da riqueza conceitual que carrega, tanto em relação às ideias físicas acerca de força, movimento e princípios de conservação, quanto da linguagem matemática empregada em tais conceitos, quanto também das próprias ideias astronômicas. Ao tratar da sua história, então, o interesse tende a aumentar, por trazer à tona debates conceituais que repercutiram para além das academias de ciências da época (séculos XVII e XVIII) e se estenderam à sociedade, afinal os frutos desses debates conduziram a humanidade a uma nova visão de mundo. Apesar disso, ainda parece ser tema pouco valorizado tanto nas salas de aula quanto nos livros didáticos de Física, sobretudo, quando se trata de integrar ao seu ensino, a sua história [2].

As inúmeras divergências existentes na história sobre os caminhos tomados por Newton desde suas primeiras tentativas nos temas da Mecânica ainda ecoam nos tempos atuais, em especial a dinâmica celeste. Organizar esses caminhos é tarefa extremamente difícil, por conta do próprio Newton ter tentado confundir e desorganizar os acervos que construiu sobre o assunto. Algumas pessoas que se propuseram a interpretar as cartas escritas pelo físico sobre a força central, obtiveram menos entendimento sobre o assunto do que esclarecimento. Verdadeiramente Newton pouco ou nada fez para facilitar a vida das pessoas que um dia se interessaram pela leitura de sua obra. Contudo, um vasto grupo de historiadores se empenhou nessa missão, dentre eles Bernard Cohen (1914-2003) e Richard Westfall (1924-1996), que se aprofundaram nos estudos newtonianos e, apesar de convergirem em alguns pontos, apresentam conclusões muito diferentes em suas reconstruções.

3.1 – 1º ROUND: ANO MIRACULOSO

Segundo Cohen (1983), existem duas ideias que, embora equivocadas, são muito difundidas na literatura sobre o percurso geral que conduziu Newton à GU: uma delas afirma que Newton teria desenvolvido a lei da GU quase que por completo durante os *anni mirabili* (1665, 1666), apesar de publicá-la somente em 1687 no *Principia* 3; a outra sustenta que a lei da GU foi deduzida por Newton diretamente das leis de Kepler (como exemplo, tais ideias podem ser encontradas em Lucie, 1975 e Nussenzveig, 1981).

Hipótese de Huygens:

$$F_{\text{exterior}} \propto \frac{v^2}{R} \quad \text{Equação 1}$$

Supondo-se que os planetas se movem em órbitas circulares, pode-se aplicar essa proporcionalidade proposta por Huygens (equação 1). Compondo essa proporção com a 3ª Lei de Kepler ($T^2 = k.R^3$), obtém-se:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{2\pi R}{T}$$

Isolando o período, encontra-se:

$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad \text{Equação 2}$$

Utilizando-se a 3ª lei de Kepler:

$$\begin{aligned} \left(\frac{2\pi R}{v} \right)^2 &= k.R^3 \\ \left(\frac{4\pi^2 R^2}{v^2} \right) &= k.R^3 \\ v^2 &= \frac{4\pi^2}{k.R} \quad \text{Equação 3} \end{aligned}$$

Finalmente, substituindo-se v^2 , encontrado na equação 3, diretamente na equação 1, resulta:

$$F_{\text{exterior}} = \frac{4\pi^2}{k} \frac{1}{R^2} \quad \text{Equação 4}$$

Na equação 4, demonstra-se que a força exterior de Huygens é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Essa última é de particular importância para o ensino, porquanto tal dedução é frequentemente replicada nos livros didáticos de Física. Cohen (1983) apresenta vários argumentos para mostrar a falsidade dessas ideias, afirmando que Newton abandonou seus estudos sobre mecânica logo após os *anni mirabili* sem possuir nesse período o instrumental intelectual necessário e suficiente para desenvolver a lei da GU (conforme apresentada no *Principia*) e somente retornou a esses estudos muito tempo depois, quando desenvolveu as condições intelectuais para isso [6].

Considerando que Newton admitia no *anni mirabili* a combinação da tendência centrífuga com a noção de gravidade solar, Cohen contesta a primeira ideia, contudo um dos argumentos que alimenta a versão de que Newton desenvolveu a GU durante os *anni mirabili* se apoia em nota biográfica escrita nos últimos anos de sua vida, na qual afirmou ter concebido, durante os *anni mirabili*, a ideia de que a gravidade da Terra se estendia até a Lua. Provavelmente, Newton fizera essa afirmativa por estar envolvido em muitas disputas de prioridade, inclusive quanto à autoria da lei de força $1/R^2$ [5,9]. Apesar dele admitir isso na década de 1660, nada se pode afirmar sobre entender a exata natureza da força gravitacional.

Newton era simpatizante da ideia de equilíbrio na dinâmica orbital. Isso significa uma tendência centrífuga sendo anulada pela gravidade do Sol, afinal ainda não tinha lucidez sobre a gravidade, da mesma forma que escreveria depois no *Principia* propondo uma força gravitacional de ação a distância aplicada pelo Sol no Planeta; por isso, seria inviável o desenvolvimento da Gravitação Universal nesse período. A contestação de Cohen relativamente à segunda ideia está ligada à não credibilidade das Lei de Kepler no meio científico antes dos anos 1679/1680, época em que Newton e Hooke trocaram correspondências. Conforme Cohen, Kepler teria conseguido a sua primeira lei a partir dos dados de Marte, generalizando sua validade para os demais planetas, portanto algo obtido de uma única fonte de dados sem avaliar as demais órbitas. A falta da presença das leis de Kepler nos livros de

astronomia sugere que elas não tinham credibilidade no período de 79/80 do século XVII. Mais impressionante ainda é que Jeremiah Horrox, discípulo de Kepler, escreveu uma obra dedicada à defesa da astronomia de seu mestre e sequer citou explicitamente a 2ª lei de Kepler. Além do mais, a segunda lei, assim como a primeira, precisou suportar ideias alternativas na época, como é o caso de outro tipo de lei das áreas já existente. Portanto, se as leis de Kepler se encontravam em situação duvidosa, seria complicado acreditar que Newton as utilizasse para levantar os alicerces de sua teoria.

Assumindo agora as opiniões e interpretações de Westfall, concernentes à mecânica newtoniana na época dos *anni mirabili*, não se percebe divergências em relação aos aspectos supra abordados. Westfall considera que houve supervalorização nessa questão, criando-se uma espécie de mito sobre a inteligência de Isaac Newton. Westfall não mede críticas aos que exageram em dizer que esses dois anos foram esplêndidos na construção dos pilares da Mecânica de Newton. Ele sugere o mérito a Newton nesse período, por conta de toda sua dedicação nos estudos, bem como a continuidade, e também seu isolamento social, responsável por tanta obstinação para chegar ao lugar de destaque.

Segundo Westfall (1971), somente a partir das revisões de Newton no tratado *De Motu* – entre 1685 e 1686 – é que ocorrem importantes mudanças de pensamento que lhe permitem aderir em definitivo ao princípio de inércia e à ideia de uma força central como fundamentais para explicar a dinâmica orbital. Neste ponto, aparece uma notável discordância entre os dois historiadores em questão, eis que, para Cohen (1983; 1988), as transformações importantes no pensamento de Newton que o conduziram à GU ocorreram entre 1679 e 1680, quando da correspondência com Hooke [2].

Cohen afirma que, desde os *anni mirabilli* até os anos de 1679/1680, transcorreram 15 anos para que Newton conseguisse algo importante sobre a Mecânica. Cohen refere-se aos relatos de William Whiston e Henry Perbenton'. O primeiro foi sucessor de Newton como professor lucasiano – relatou como Newton teria descoberto a gravidade consoante com as próprias palavras de Newton a ele - e o segundo escreveu sobre os cálculos frustrados que motivaram Newton, em 1666, a abandonar o tema.

Em contrapartida, Westfall entende que demoraram na verdade 20 anos para que Newton conseguisse obter algo pomposo sobre o tema, porquanto para ele a troca de correspondências com Hooke não significou um retorno de Newton aos estudos em mecânica, foi apenas um momento reservado para falar sobre o assunto, porém sem relevância.

3.2 – 2º ROUND: A TROCA DE IDEIAS ENTRE HOOKE E NEWTON

No final de 1679, Hooke, recém nomeado secretário da Royal Society, escreveu a Newton solicitando-lhe atualizar sua correspondência com a instituição, interrompida após a morte de Oldenburg em 1677. Na ocasião, apresentou a Newton sua hipótese de que o movimento orbital de um planeta ocorria conforme a combinação de um movimento tangencial à órbita e uma atração em direção ao Sol segundo a lei $1/R^2$, ideia que representava uma novidade na época, destoando da concepção vigente. Daí, iniciou-se a famosa troca de cartas que viria a ganhar destaque nessa história e já debatida nesse trabalho [2- adaptado].

Westfall diz que Newton em primeira resposta, não comentou sobre a hipótese exposta por Hooke, somente propõe a prova de que a Terra gira em torno do próprio eixo. No decorrer da troca de correspondências a discussão se inclinou para o movimento orbital, pelo qual Hooke sustentava a hipótese de órbita elíptica, fechada e conservada pela combinação de uma força central com uma componente tangencial, constantemente desviada pela primeira. Conforme já mencionado no capítulo anterior, Newton era adepto da ideia de equilíbrio entre força centrífuga e gravidade. Nesse debate cinemático (ver figura 10), o modelo de Hooke é bem mais sensato que o de Newton, porque continha a noção de força central admitida futuramente por Newton e que o levaria à finalização da Gravitação Universal, após o tratamento matemático atribuído por ele. Para Cohen, considera que em grande parte Newton deve, em grande parte, a finalização da Gravitação a Hooke.

Westfall e Cohen concordam que a dívida de Newton com Hooke relaciona-se mais à questão da força central e da componente inercial do que na lei $1/R^2$, tão cobrada por Hooke, afinal, Hooke foi quem mostrou pela primeira vez essa hipótese, apesar de não ter conhecimento matemático necessário encontrar as

consequências. Se Newton não conhecesse essa lei por meio de Hooke, facilmente a deduziria da expressão de força centrífuga de Huygens já difundida na época. Segundo Cohen, a nova hipótese formulada por Hooke, até então não conjecturada, foi a grande contribuição proporcionada a Newton. Apesar de terem pontos de vista bem parecidos quanto à noção de força central, existe uma diferença na opinião dos historiadores relativa à valorização da dívida de Hooke com Newton. Enquanto Cohen enfatiza a relevância do trabalho matemático de Newton, já que sem domínio matemático de nada serviria a hipótese de Hooke, Westfall valoriza mais essa questão da hipótese de Hooke na mudança de conceitos de Newton, pois estabeleceu elementos mecânicos da órbita dos planetas em termos do conceito de inércia, considerando ainda que Hooke foi o mentor de Newton.

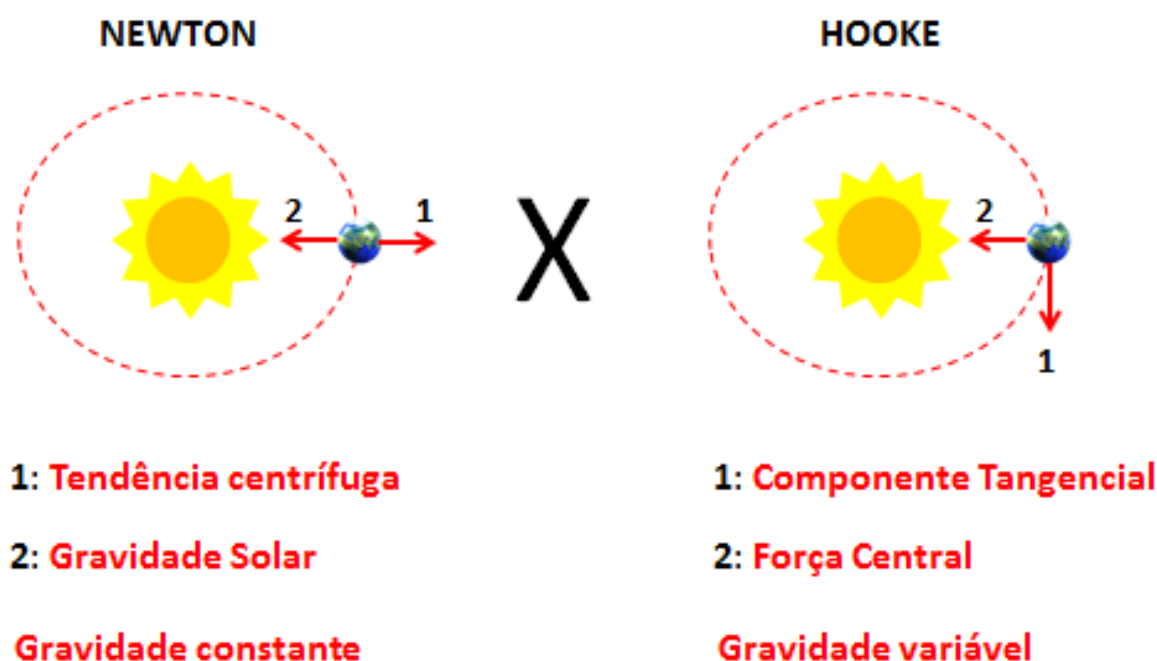


Figura 10 – Comparativo entre Newton e Hooke sobre a mecânica planetária [Dantas]

Para Westfall, a mecânica orbital de Hooke era mais didática do que a de Newton, pois a ideia principal exclui a tendência centrífuga, traz a inércia inserida e admite o movimento orbital como uma elipse e a gravidade dependendo do inverso do quadrado da distância. Percebe-se, no término da correspondência, que Newton admitiu a força externa que mudava a direção do movimento, proposta por Hooke. Nesse caso, Newton aplicou seu próprio conceito de força de impulso para resolver

o problema do movimento orbital - força proposta a priori apenas para resolver problemas de impacto entre corpos. Em 1679, Newton demonstrou em um artigo, a conjectura de Hooke de que na elipse, obedecendo as lei das áreas, a força é do tipo $1/R^2$. Segundo Westfall essa é uma adesão momentânea de Newton e, dessa forma, não existe aí uma transformação no pensamento de Newton sobre o problema posto na época. No próprio texto de Westfall:

Sendo que a última consideração explícita de Newton sobre o movimento em De Gravitatione abandonou a inércia com a relatividade Cartesiana, e sendo que De Motu, composto em 1684, começou a partir da posição do De Gravitatione, a Hipótese I põe algo de misterioso na história da mecânica newtoniana. A mim parece que Newton meramente adotou as premissas que Hooke estabeleceu [10].

Em oposição a isso, Cohen (1983) valoriza muito a correspondência com Hooke nas mudanças de direção que Newton tomou e que o levaram à GU. Depois dessa discussão com Hooke, Newton entendeu o significado físico das Leis de Kepler, sendo o maior exemplo disso a lei das áreas que, para Newton, era uma simples lei de geometria e não estava no conjunto de suas ideias do movimento planetário; mudou da noção de tendência centrífuga para concepção de força centrípeta. Wilson (1970) disse que, por conta da correspondência com Hooke, Newton se defrontou pela primeira vez com a noção de GU baseada no inverso do quadrado da distância.

Os textos a seguir demonstram grande discordância entre Westfall (ver figura 12) e Cohen (ver figura 11) relativa ao ponto de vista da força, possibilitando claramente se verificar a questão das forças relativas à mecânica celeste.

“A chave do pensamento criativo de Newton em mecânica celeste não foi considerar que as forças fossem propriedades reais (...), mas que pudesse

examinar as condições e propriedades de tais forças como se fossem reais” [5].

“uma adição à ontologia da natureza” e assumindo uma postura realista, “ele tratou forças como entidades que realmente existem” [10].

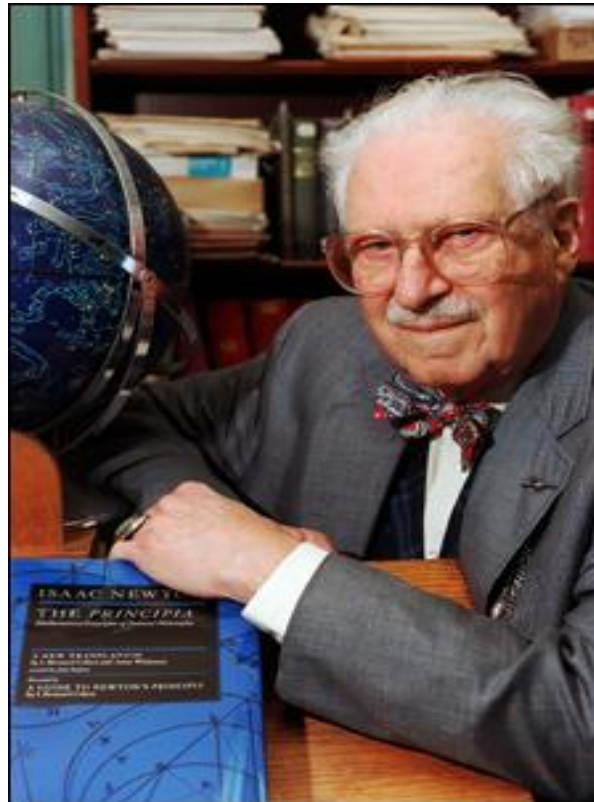


Figura 11 - I. Bernard Cohen - pioneiro no campo da história da ciência [18]

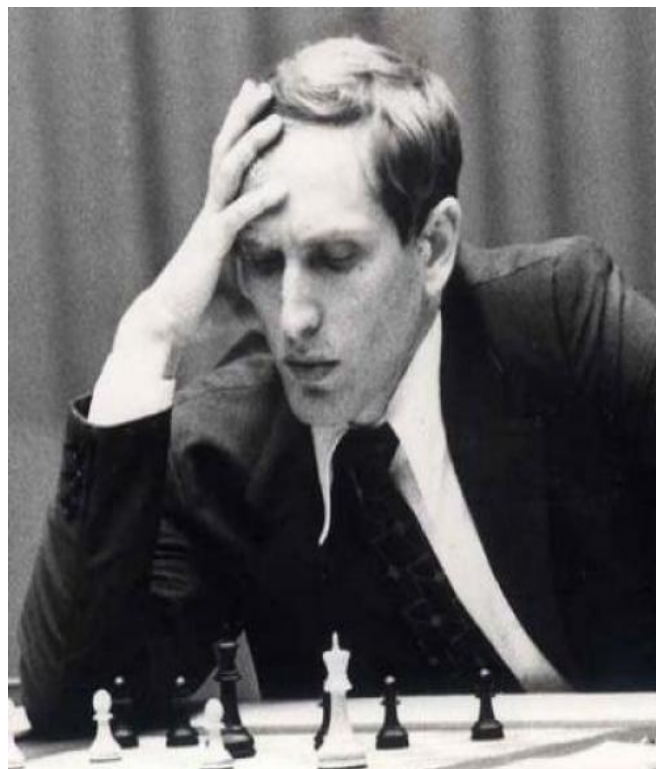


Figura 12 - Richard S. Westfall [17].

Westfall subvaloriza, portanto, o impacto da correspondência com Hooke na transformação de pensamento de Newton e sustenta que essa transformação somente viria a ocorrer de fato a partir de 1684 quando, movido por um estímulo externo, a saber, a famosa visita de Halley em agosto do mesmo ano, ele retomou os seus estudos sobre mecânica desde o estágio em que se encontrava na década de 1660, ou seja, a partir dos manuscritos *De Gravitatione* e *Waste Book* [2].

Conforme prometera a Halley, Newton enviou no mesmo ano uma primeira versão do tratado *De Motu*, cuja dinâmica era menos satisfatória que a do artigo de 1679, além de internamente inconsistente e inadequada para sustentar as demonstrações, por se tratar de um retorno às suas concepções da década de 1660 [10].

Existe ampla literatura disponível discutindo o uso da história da ciência no ensino de ciências e, em particular, no ensino de física. Nessa mesma literatura, pode se encontrar várias formas de implementar esse tipo de abordagem, seja em relação aos objetivos de ensino (uso da história da ciência com vistas a alcançar: aprendizagem conceitual, natureza da ciência, atitudes em direção à ciência,

argumentação, metacognição), seja em relação às estratégias de ensino (uso de história da ciência de forma: integrada com o assunto da física, integrada com outra estratégia de ensino, não-integrada), ou seja ainda em relação ao uso dos materiais didáticos (narrativas históricas, biografias, réplicas de experimentos históricos, problemas historicamente contextualizados, histórias de vida de cientistas) (TEIXEIRA et al., 2009). Portanto, não se pretende, nesta seção, suscitar discussão sobre as razões e as formas para o uso didático da história da ciência. A intenção, aqui, é apenas discutir quais possíveis benefícios o debate historiográfico acima apresentado pode trazer para auxiliar um professor que pretenda usar a história da ciência como forma de abordar o tópico Gravitação Universal de Newton em sala de aula [2].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Isaac Newton foi primeiro a criar efetivamente uma formulação integral das leis da Mecânica e a introduzir leis gerais. Realmente que o objetivo da ciência é entender como a natureza acontece e não como ela é, sendo o responsável pela maior revolução científica, de repercussão não só teórica, mas também prática. Conseguiu a fusão do método empírico introduzido por Bacon com o método racional proposto por Descartes e, assim, construiu a metodologia em que a ciência passou a fundamentar-se desde então.

Até hoje, a abordagem e tratamento de sistemas mecânicos usando essa mecânica ocupa grande parte dos cursos de física de iniciação, sendo a espinha dorsal, se não a substância, de muitos cursos avançados. Áreas como a Engenharia Civil, a Engenharia Mecânica e parte da Mecânica Celeste fazem uso exclusivo desse formalismo. Sobre Newton, Edmond Halley escreveu: nenhum mortal pôde chegar mais perto dos deuses. E Lagrange: já que só havia um Universo a ser explicado, ninguém poderia imitar o ato de Newton, o mais afortunado dos mortais. De Alexandre Koyré: a grandeza singular da mente e do trabalho newtoniano consistiu na combinação de um supremo talento experimental com um supremo talento matemático. Isaac Newton foi sagrado cavaleiro da coroa britânica pela Rainha Anne, em abril de 1705. Como nunca casou ou teve filhos, ao morrer em 31 de março de 1727, Newton não deixou herdeiros. Seus estudos são sua maior herança para a humanidade. Estes continuam sendo aplicados e celebrados até hoje.

A propósito da grande exposição histórica feita deste texto, a tentativa não é promover uma desqualificação em todo o pomposo trabalho elaborado por Hooke. Aqui se tentou esclarecer a real participação e contribuição de cada um dos brilhantes cientistas mencionados, priorizando que a discussão proposta no trabalho está na busca de cada leitor perceber a contribuição específica dos protagonistas na elaboração da lei da gravitação. O que nos deixa amplamente convictos de que Hooke foi especial nas suas contribuições, é que realmente foi um estopim da mente de Newton a sua concepção do tipo de força que colaboraria com o movimento planetário. De igual forma, todos devem reconhecer que a enorme intimidade de

Newton com a matemática o levou à conclusão de seu trabalho, que até hoje tanto nos faz perceber que sua coroação como um dos maiores físicos de todos os tempos não foi à toa.

A ideia de força central, o tratamento matemático dos fatos e a grande conclusão de Newton, revelam, de forma sucinta, a importância na preparação da lei da gravitação universal que cada personagem dessa história merece no momento em que o condutor desse conteúdo transmitir seu conhecimento sobre o tema em sala de aula.

REFERÊNCIAS

- 1 - AMALDI, U. **Imagens da Física**. São Paulo: Scipione, 1995.
- 2 – ARTIGO Os caminhos de Newton para a Gravitação Universal – Elder Sales Teixeira.
- 3 – ARTIGO Hooke e a pesquisa microscópica dos seres vivos – Roberto de Andrade Martins.
- 4 - BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física**. Tomo 3. Belém: EDUFPA, 1992. 401p.
- 5 - COHEN, I. B. **O nascimento de uma nova Física**. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1988. 305p.
- 6 - DISSERTAÇÃO de mestrado em ensino de astronomia – Antônio Manuel Alves de Moraes
- 7 - FOLHA DE SÃO PAULO - domingo, 2 de novembro de 2003
- 8 - TEIXEIRA, E. S.; SILVA, C. P.; FREIRE, O.; GRECA, I. (2010). A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 15,
- 9 - WESTFALL, R. S. A vida de Isaac Newton. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- 10 - WESTFALL, R. S. **Force in Newton's Physics**. London: MacDonald; New York: American Elsevier, 1971.

11 – SITE: < <http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/Biografias/Newton/Newtonospri.htm> > ,

Acesso: 20/ 11/ 2014.

12 – SITE:

<<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1061&sid=7> >

Acesso: 15/11/2014

13 – SITE: < <http://www.hfleming.com/newtonexp.html> >

Acesso: 15/11/2014

14 – SITE: < <http://www.seara.ufc.br/folclore/folclore227.htm>) >

Acesso: 15/11/2014

15 – SITE: < <https://cienciasetecnologia.com/isaac-newton/> >

Acesso: 14/11/2014

16 - SITE: < <http://eng.archinform.net/arch/2520.htm> >

Acesso: 14/11/2014

17 – SITE: < <http://www.newrepublic.com/book/review/endgame-frank-brady> >

Acesso: 17/11/2014

18 – SITE: < <http://news.harvard.edu/gazette/2003/07.17/09-cohen.html>>

Acesso: 17/11/2014

19 – SITE: < http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cycloide_Sigaud.jpg >

Acesso: 25/11/2014

20 – SITE: < (<http://ecalculo.if.usp.br/historia/newton.htm> >

Acesso: 25/11/2014

21 – SITE: < <http://www.brighthub.com/science/space/articles/49929.aspx> >

Acesso: 25/11/2014

22 – SITE: < http://www.cerebromente.org.br/n17/history/neurons1_p.htm >

Acesso: 25/11/2014

23 – SITE: < <http://veja.abril.com.br/270110/maca-mudou-mundo-p-088.shtml> >

Acesso: 26/11/2014

24 – SITE: < <http://veja.abril.com.br/270110/maca-mudou-mundo-p-088.shtml> >

Acesso: 26/11/2014