

As estrelas, a luz e os corpos escuros no século XVIII: uma tradução comentada de um artigo de John Michell (1724-1793)¹

ANA PAULA BISPO DA SILVA

Universidade Estadual da Paraíba | UEPB

BRENO ARSIOLI MOURA

Universidade Federal do ABC | UFABC

THALLES RENNAN MAIA DE MEDEIROS

Universidade Estadual da Paraíba | UEPB

RESUMO Neste trabalho, apresentamos uma tradução comentada de um artigo de John Michell (1724-1793), publicado em 1784, em que apresentou métodos de descobrir a distância, magnitude e outras propriedades das estrelas fixas, a partir da verificação da diminuição da velocidade da luz ao se aproximar delas. Dentre seus argumentos, destaca-se aquele geralmente considerado como a primeira menção da possibilidade do que atualmente chamamos de buracos negros.

Palavras-chave John Michell – óptica newtoniana – força gravitacional.

Introdução

No ano de 2019, dois fenômenos cosmológicos que fazem parte da história da ciência foram objeto de muita divulgação: os buracos negros e o desvio da luz nas proximidades de um campo gravitacional. O primeiro, porque foi objeto de uma fotografia;² o segundo, por completar cem anos do famoso eclipse de Sobral/CE.³ Em ambos, o físico Albert Einstein (1879-1955) recebeu os méritos e ficou em destaque, principalmente nos meios de comunicação e

divulgação, já que os dois fenômenos foram previstos em sua teoria da relatividade geral. Pouco se questionou sobre a prioridade de Einstein nessas “previsões”.

O que geralmente não se sabe é que tanto buracos negros quanto o desvio da luz já foram previstos desde o século 18, embora não com os termos ou mesmo a nomenclatura atual. Um dos nomes que considerou essas questões foi o reverendo John Michell (1724-1793), conhecido filósofo natural do período, embora atualmente pouco mencionado. Baseado na mecânica e na óptica newtonianas, Michell escreveu uma carta a Henry Cavendish (1731-1810) apresentando uma série de argumentos e estimativas sobre o comportamento da luz na presença de corpos massivos. Os pressupostos de Michell são, obviamente, muito diferentes dos de Einstein. Enquanto para Einstein o desvio da luz, cuja velocidade é constante, é devido às mudanças que o campo gravitacional ocasiona no espaço, adotando-se a geometria não-euclidiana riemanniana,⁴ para Michell o espaço era absoluto, euclidiano, e a força de atração gravitacional afetaria a velocidade da luz. A luz, para ser afetada pela força gravitacional, possuía momento, conforme consideravam as versões da óptica newtoniana ao final do século 18. Já metodologicamente, o trabalho de Michell não difere tanto do de Einstein. Suas hipóteses e previsões não eram passíveis de comprovação quando foram feitas. Em 1784, as observações astronômicas ainda se concentravam na localização de estrelas e planetas e mapeamento dos céus. Telescópios estavam em aperfeiçoamento e William Herschel (1738-1822) havia observado Urano alguns anos antes, em 1781.

Neste artigo, apresentamos uma tradução comentada do trabalho de Michell. Essa tradução se justifica por, pelo menos, dois pontos. Em primeiro lugar, conforme mencionamos anteriormente, Michell parece ter sido um dos primeiros a aventar a existência de buracos negros e a discutir, com mais detalhes, como poderia se verificar a mudança na velocidade da luz causada pela ação da força gravitacional de grandes estrelas. Nesse sentido, há um evidente interesse historiográfico para que seu trabalho se torne mais conhecido e debatido, dado que hoje ele é raramente mencionado, exceto em estudos historiográficos muito específicos sobre astronomia e cosmologia. Em segundo lugar, possibilitar um maior acesso ao texto de Michell oferecerá a oportunidade de entendê-lo como um produto do século 18, em que o pensamento newtoniano dominou várias áreas de estudo. Para facilitar a compreensão dos argumentos e do contexto em que Michell escreveu, apresentamos antes da tradução um breve relato biográfico do autor e uma descrição sobre o contexto em que seu trabalho foi produzido e sobre três pontos do texto que consideramos mais importantes.

321

Uma breve biografia de John Michell e o contexto do trabalho

John Michell foi contemporâneo de nomes como Henry Cavendish, Joseph Priestley (1733-1804) e William Herschel. Apesar de ter convivido com esses filósofos naturais e com alguns deles ter tido colaborações relativamente importantes, no curso da história da ciência, recebeu pouco destaque. Foi admitido no *Queens College*, Cambridge, em 1742 como pensionista e onde lecionou de 1748 a 1769. A maioria de seus trabalhos foi redigida enquanto estava em Thornhill, Yorkshire, onde começou a trabalhar em 1767 e permaneceu até sua morte em 1793.⁵ Michell escreveu sobre magnetismo, geologia (sismologia), óptica e astronomia. Seus trabalhos sobre sismologia levaram-no a *Royal Society* e tiveram grande repercussão.

Como os demais filósofos naturais de sua época, Michell estava envolto no mecanicismo newtoniano aplicado tanto à óptica quanto aos astros.⁶ Nesse contexto, e considerando sua formação religiosa, as ideias de matéria tinham origem em concepções teológicas, incluindo forças atrativas e repulsivas que constituíam sua essência. Essas concepções estão muito presentes em seus trabalhos de óptica e astronomia.

A respeito da óptica, uma das principais contribuições de Michell foi tentar medir o momento dos corpúsculos de luz, descrito no livro *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours* (A História e o estado Presente das Descobertas Relacionadas à Visão, Luz e Cores), de autoria de Priestley e publicado em 1772.⁷ Resumidamente, o experimento realizado por ele consistiu de uma lâmina de cobre presa a um fio de cravo,⁸ contida

em uma caixa cuja tampa e a parte da frente eram feitas de vidro. Ele teria focado um feixe de luz refletido por um espelho côncavo sobre a lâmina de cobre, notando um leve movimento. O experimento de Michell não foi o primeiro do tipo no século 18,⁹ porém, embora Priestley tenha comentado brevemente sobre outros filósofos naturais que tentaram o mesmo, ele não pareceu duvidar que “o movimento mencionado acima é para ser atribuído ao impulso dos raios de luz”.¹⁰ Por anos, esse experimento foi considerado prova importante da corpuscularidade da luz.¹¹

A teoria corpuscular da luz é parte fundamental nos seus dois e únicos trabalhos em astronomia, sendo um sobre medidas de paralaxe de estrelas,¹² em 1767, que ainda é muito especulativo; e o outro sobre a medida da magnitude de estrelas fixas a partir do desvio da luz, em 1784, traduzido neste artigo. Nesse último trabalho, Michell parte da ideia de que a luz é constituída de corpúsculos e, sendo assim, estaria sujeita à influência da gravidade, assim como todo corpo celeste. Sendo a gravidade proporcional à quantidade de matéria de uma estrela, cada estrela atrairia a luz com uma intensidade diferente, fazendo com que a velocidade dessa última fosse reduzida nas proximidades. O desvio da luz poderia, então, ser uma forma de determinar grandezas como a densidade da estrela.

Ainda que seja, em grande parte, de cálculos probabilísticos que não poderiam, naquele momento, ser corroborados por observações astronômicas, o trabalho de 1784 representou um diferencial entre seus contemporâneos. Antes de Michell os trabalhos de astronomia estelar eram majoritariamente sobre posição, localização de novas estrelas e mapeamento dos céus. Nesse sentido, ainda que sejam especulações, as contribuições de Michell trouxeram novas possibilidades para a área: em seu trabalho de 1784, as estrelas se movem, atuam entre si e possuem massa, densidade, brilho.¹³

Três pontos do trabalho de Michell merecem destaque especial: a especulação sobre a possibilidade de existir corpos dos quais a luz não chega até nós (“corpo escuros”); as estimativas para o desvio da luz; e a medida do desvio da luz utilizando um prisma. O que seria uma “previsão” de existência de corpos negros é apresentada nos itens 17 e 29. Michell estimou que a velocidade de escape do Sol é 497 vezes menor que a velocidade da luz. Portanto, se existir uma estrela com um diâmetro 500 vezes maior que o Sol, e de mesma densidade, ela absorveria toda a luz emitida.¹⁴ Nesse caso, a luz desse corpo não chegaria até um observador na Terra, já que o raio refletido seria totalmente desviado pela gravidade do corpo. Dessa maneira, esses corpos permaneceriam inobserváveis, a não ser através de seus satélites, os quais, pela sua trajetória, forneceriam informação sobre o corpo central em torno do qual giram.¹⁵ Há diferenças entre o corpo escuro proposto por Michell (e depois aperfeiçoado por Laplace) e o conceito atual de buraco negro, principalmente relacionadas à topologia do problema.¹⁶ No entanto, dentro das concepções da óptica e da gravitação do século 18, a previsão de Michell era bastante aceitável.

Quanto ao desvio da luz, Michell realizou vários cálculos estimando a relação entre esse desvio e as propriedades dos corpos centrais (itens 16 a 30). Supondo que a refração da luz é devida à atuação de uma força, conforme a óptica newtoniana, e que essa força é de mesma natureza que a força gravitacional, então, a luz emitida por uma estrela seria desviada de acordo com o corpo de maior massa mais próximo. Dessa forma, pelo desvio da luz, seria possível determinar a distância, magnitude e a massa de outras estrelas.¹⁷ Essa mesma hipótese foi aplicada por outros estudiosos do século 18, como Cavendish.¹⁸ A hipótese de Michell estava atrelada a alguns dos problemas vigentes à época – a paralaxe das estrelas e a existência de estrelas duplas – e por este motivo instigaram os astrônomos a fazer observações tentando determinar o desvio. Porém, nada foi observado. Michell justificou o fato de os astrônomos não observarem o desvio da luz com dois argumentos. Um deles era que o fenômeno só ocorreria se houvesse uma estrela muito grande, o que não havia sido observado até então. O outro argumento era de que a luz poderia não ser afetada pela gravidade no mesmo grau (de intensidade) que a matéria ordinária.¹⁹ Os dois argumentos de Michell também não poderiam ser confirmados naquele momento, e, portanto, foram especulativos, com a intenção de salvar suas hipóteses anteriores.

Ainda dando mostras de que poderia determinar o desvio da luz, Michell propôs um novo método de medida, usando um prisma acoplado ao telescópio (itens 32 a 35), apontado para estrelas duplas. Variando as posições do prisma em relação à linha que unia a estrelas e o corpo central em torno do qual elas giravam, ele estimou desvios da

ordem de 1 segundo de grau. Ele não avançou nos cálculos, ciente de que tais medidas seriam muito pequenas para os telescópios existentes.²⁰ Tanto para a estimativa do desvio da luz, quanto na utilização do prisma, Michell cometeu deslizes, principalmente com relação ao referencial adotado, já que ele precisaria ter considerado a velocidade relativa da Terra em relação ao sistema de estrelas. Conforme salienta McCommarch,²¹ Michell não mencionou o éter, ou um referencial inercial. Portanto, ele deveria ter levado em consideração o movimento das partículas de luz também em relação à Terra,²² mesmo mantendo-se dentro da teoria newtoniana. Segundo McCommarch, ele deve ter ignorado isso, o que era conhecido desde Galileu, por considerar que o efeito seria muito pequeno em comparação com o efeito gravitacional sobre a luz.

No entanto, esses deslizes não foram obstáculo quando o trabalho foi apresentado. Os principais problemas estavam relacionados às melhorias do telescópio. Michell fabricava seus próprios telescópios, mas não se comprometeu com um que pudesse apresentar uma resolução suficiente para identificar o desvio. Outros astrônomos ficaram interessados e se dispuseram a investigar experimentalmente a validade de suas afirmações. É o caso de Herschel, Cavendish e Nevil Maskeline²³ (1732-1811), que se propuseram, assim que tiveram conhecimento do artigo, a fazer os experimentos do prisma. Inicialmente, eles usaram lentes acromáticas, e depois o prisma como proposto por Michell, mas em nenhum dos casos conseguiram observar o desvio da luz.²⁴ Não obtendo sucesso do ponto de vista experimental, as especulações de Michell não foram adiante. Alguns historiadores também atribuem o pouco sucesso do texto ao fato de que a concepção corpuscular da luz entrou em declínio nos anos seguintes, fazendo com que todo o suporte teórico do trabalho fosse enfraquecido²⁵. Alguns biógrafos tomam Michell como indevidamente reconhecido e enfatizam a importância de seus trabalhos; outros já reconhecem que grande parte do valor de seus trabalhos veio pelo círculo de conhecidos de que fazia parte, principalmente de sua amizade com Cavendish.

Não há dúvidas, contudo, de que o trabalho de 1784 apresentou uma forma interessante de associar a óptica newtoniana ao estudo de gravitação, buscando trazer evidências concretas de que a luz seria constituída por pequenos corpúsculos e que esses poderiam ser, assim como quaisquer outros corpos, influenciados pela força gravitacional.²⁶

323

Tradução

Para realizar a tradução, utilizamos duas versões do artigo: uma disponibilizada no sítio da *Royal Society*²⁷ e outra disponibilizada pela plataforma JSTOR (www.jstor.org). Embora ambas correspondam ao mesmo trabalho e mantenham a mesma paginação, a versão da JSTOR não possui a imagem. No texto a seguir, as notas de fim indicadas por [M] se referem às notas de rodapé do texto original; enquanto que as indicadas por [N.T.] se referem às notas dos tradutores. As páginas do texto original estão indicadas entre colchetes.

[p. 35] VII. *Sobre os meios de descobrir a distância, a magnitude etc. de estrelas fixas, em consequência da diminuição da velocidade de suas luzes, no caso de tal diminuição ser de fato encontrada em qualquer uma delas, e de tais outros dados sejam obtidos das observações, como seria necessário para esse propósito.* Pelo Reverendo John Michell em carta a Henry Cavendish.

Lida em 27 de novembro de 1783.

Thornhill, 26 de maio de 1783

Caro senhor,

O método, o qual eu havia mencionado para você na última vez em que estive em Londres, pelo qual pode ser possível encontrar a distância, magnitude e peso de algumas das estrelas fixas, por meio de diminuição da velocidade de suas luzes, ocorreu-me logo após eu ter escrito o que é mencionado pelo Dr. Priestley em seu *History of Optics*²⁸

acerca da diminuição da velocidade da luz por conta de sua atração pelo sol;²⁹ mas, a extrema dificuldade e, talvez, impossibilidade de obtenção dos outros dados necessários para esse propósito se mostraram pra mim [como] tamanhas objeções contra a ideia quando eu inicialmente pensei sobre ela, que logo não a considere mais. No entanto, como algumas das últimas observações começaram a nos dar um pouco mais de chance de obter pelo menos alguns desses dados, eu pensei que não seria inoportuno que os astrônomos devessem ser informados sobre o método que proponho (o qual, até onde sei, [p. 36] ainda não foi sugerido por mais ninguém), uma vez que, pela falta de conhecimento do uso que pode ser feito dele, eles não fizeram as observações adequadas, quando em seu controle. Eu devo, então, pedir a você o favor de apresentar o seguinte artigo acerca deste assunto para a *Royal Society*.

Eu sou, etc.

1. O grandíssimo número de estrelas que foram descobertas como duplicadas, triplicadas etc., especialmente o Sr. Herschel,³⁰ se aplicarmos a doutrina das probabilidades, como já fiz no meu “Investigação sobre a provável paralaxe etc. das ‘estrelas’ fixas”,³¹ publicado nas *Philosophical Transactions* no ano de 1767, não deixa dúvida a ninguém que está propriamente ciente da força desses argumentos, que de longe a maior parte, se não todas elas, são sistemas de estrelas tão próximos uns dos outros, que há probabilidade de serem afetados sensivelmente por sua gravitação mútua; e é, portanto, bem provável que os períodos das revoluções de alguns delas em torno de suas principais (as menores sendo consideradas, nessa hipótese, como satélites para as outras) possam ser descobertos em algum tempo.

2. Já o suposto diâmetro de qualquer corpo central, em torno do qual qualquer outro corpo gira, juntamente com a suposta distância entre eles, e o tempo periódico da rotação sendo [p. 37] dado, a densidade do corpo central será dada da mesma forma. Veja os *Principia* de Sir Isaac Newton, Livro III, Proposição VIII, Corolário ³².

3. Mas, a densidade de qualquer corpo central sendo dada, e a velocidade que qualquer outro corpo adquiriria caindo em direção a ele de uma altura infinita, ou, o que é a mesma coisa, dada a velocidade de um cometa girando em órbita parabólica, [ao redor de] sua superfície, a quantidade de matéria – e, conseqüentemente, a real magnitude do corpo central – poderia ser dada da mesma forma.

4. Suponhamos agora que as partículas de luz sejam atraídas da mesma maneira que todos os outros corpos com os quais estamos familiarizados; isto é, por forças com a mesma proporção em relação à sua *vis inertiae*,³³ das quais não pode haver qualquer dúvida razoável, a gravitação sendo, tanto quanto se sabe, ou tem qualquer razão para acreditar, uma lei universal da natureza. Com base nessa suposição, se qualquer uma das estrelas fixas, cuja densidade fosse conhecida pelos meios mencionados acima, devesse ser sensivelmente grande o suficiente para afetar a velocidade da luz emitida por ela, teríamos então os meios de conhecer sua magnitude real etc.

5. Foi demonstrado por Sir Isaac Newton, na 39ª proposição do primeiro livro de seu *Principia*,³⁴ que se uma linha reta for traçada na direção em que um corpo é impelido por quaisquer forças, e se eleva em ângulos retos para aquela linha perpendicular em todos os lugares proporcionais às forças nos pontos, nos quais são elevados respectivamente, a velocidade adquirida por um corpo que começa a se mover do repouso, em consequência de ser incitada, sempre será proporcional à raiz quadrada da área descrita pelas perpendiculares acima mencionadas. E, portanto,

6. Se tal corpo, em vez de começar a se mover do repouso, já tivesse alguma velocidade na direção da mesma linha quando [p. 38] começasse a ser incitado pelas forças acima mencionadas, sua velocidade seria sempre proporcional à raiz quadrada da soma ou diferença da área acima mencionada, e outra área, cuja raiz quadrada fosse proporcional à velocidade que o corpo tinha antes de começar a ser incitado; isto é, [proporcional] à raiz quadrada da soma dessas áreas, se o movimento adquirido estivesse na mesma direção que o movimento anterior, e [proporcional à] raiz quadrada da diferença, se estivesse em uma direção contrária. Ver corolário II para a proposição acima.³⁵

7. A fim de encontrar, pela proposição precedente, a velocidade que um corpo adquiriria ao cair em direção a qualquer outro corpo central, de acordo com a lei comum da gravidade, onde C na figura 1 representa o centro do corpo

central, em direção ao qual o corpo em queda é impelido, e seja CA uma linha traçada a partir do ponto C, estendendo-se infinitamente para A. Considerando a linha RD como representação da força pela qual o corpo em queda seria impelido em qualquer ponto D, a velocidade que ele teria adquirido ao cair de uma altura infinita para o lugar D seria a mesma que aquela que adquiriria caindo de D para C com a força RD, a área do espaço hiperbólico infinitamente extenso ADRB, onde RD seja sempre inversamente proporcional ao quadrado de DC, sendo igual ao retângulo RC contido entre as linhas RD e CD. Disso podemos extrair os seguintes corolários.

8. Corolário 1. O corpo central DEF permanecendo o mesmo e, conseqüentemente, as forças nas mesmas distâncias permanecendo as mesmas também, as áreas dos retângulos RC, rC estarão sempre inversamente [proporcionais] à distância dos pontos D, d de C, seus lados RD, rd estando inversamente [proporcionais] na razão duplicada dos lados CD, Cd . Portanto, dado que a velocidade de um corpo caindo de uma altura infinita em direção ao ponto C está sempre na razão [p. 39] subduplicada³⁶ desses retângulos, ela estará na razão subduplicada das linhas CD, Cd inversamente. Conseqüentemente, as velocidades dos cometas que giram em órbita parabólica estão sempre na razão inversa subduplicada de suas distâncias do sol; e as velocidades dos planetas, em suas distâncias médias (estando sempre em uma determinada proporção com a velocidade de tais cometas, ou seja, na razão subduplicada de 1 para 2), devem também necessariamente seguir a mesma lei.

9. Corolário 2. A magnitude do corpo central permanecendo a mesma, a velocidade de um corpo caindo em sua direção a partir de uma altura infinita sempre será, na mesma distância do ponto C, tomada em qualquer lugar sem o corpo central, na proporção subduplicada de sua densidade. Pois, nesse caso, a distância Cd permanecerá a mesma, a linha rd sendo apenas aumentada ou diminuída na proporção da densidade e o retângulo rC conseqüentemente aumentado ou diminuído na mesma proporção.

10. Corolário 3. A densidade do corpo central permanecendo a mesma, a velocidade de um corpo caindo em sua direção a partir de uma altura infinita será sempre como seu semidiâmetro quando chega à mesma distância proporcional ao ponto C. Pois, os pesos na superfície de esferas diferentes da mesma densidade são como seus respectivos semidiâmetros. Portanto, os lados RD e CD, ou quaisquer outros lados rd e Cd , que estão em uma determinada proporção em relação àqueles semidiâmetros, sendo ambos aumentados ou diminuídos na mesma proporção, os retângulos RC ou rC serão aumentados ou diminuídos na proporção duplicada do semidiâmetro CD e, conseqüentemente, a velocidade [também será aumentada ou diminuída] na razão simples de CD.

11. Corolário 4. Se a velocidade de um corpo caindo de uma altura infinita em direção a diferentes corpos centrais é a mesma quando chega às suas superfícies, a densidade desses corpos centrais deve [p. 40] estar na razão duplicada inversa de seus semidiâmetros. Pelo último corolário, a densidade do corpo central permanecendo a mesma, o retângulo RC estará na proporção duplicada de CD; para que o retângulo RC possa sempre permanecer o mesmo, a linha RD deve ser inversamente [proporcional], como CD, e, conseqüentemente, a densidade inversamente [proporcional], como o quadrado de CD.

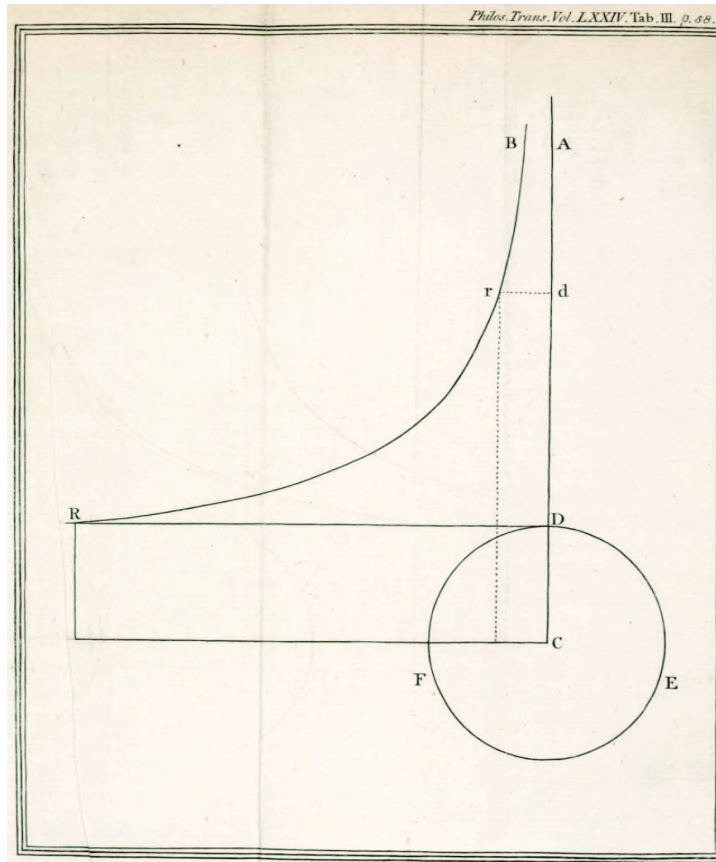


Figura 1: Ilustração de Michell para discutir seu método para obter a magnitude dos corpos celestes pela velocidade da luz próximo a ele.

326

12. Corolário 5. Portanto, a quantidade de matéria contida nesses corpos deve estar na razão direta simples de seus semidiâmetros, pois a quantidade de matéria estando sempre em uma razão composta pela razão simples da densidade e pela razão triplicada de seus semidiâmetros, se a densidade estiver na razão duplicada inversa dos semidiâmetros, isso se tornará a triplicata direta e a duplicata inversa, ou seja, a razão simples dos semidiâmetros, quando os dois são compostos juntos.

13. A velocidade que um corpo adquiriria ao cair de uma altura infinita em direção ao Sol quando chegasse à sua superfície sendo, como já foi dito anteriormente no item 3, a mesma de um cometa girando em uma órbita parabólica no mesmo lugar, seria cerca de 20,72 vezes maior que a da Terra em sua órbita, a uma distância média do Sol, pois a distância média da Terra ao Sol, sendo cerca de 214,64 [vezes] o semidiâmetro do Sol, a velocidade desse cometa seria maior a essa distância do que à distância da Terra ao Sol, na razão subduplicada de 214,64 para 1, e a velocidade do cometa sendo igualmente maior que a dos planetas, em suas distâncias médias, na razão de duplicação de 2 para 1. Esses, quando considerados em conjunto, formarão a razão subduplicada de 429,28 para 1, e a raiz quadrada de 429,28 é 20,72, aproximadamente.

[p. 41] 14. O mesmo resultado teria sido obtido tomando a linha RD proporcional à força da gravidade na superfície do Sol e DC igual ao seu semidiâmetro, e daí calculando uma velocidade que deveria ser proporcional à raiz quadrada da área RC, quando comparada com a raiz quadrada de uma outra área, um de seus lados deveria ser proporcional à força da gravidade na superfície da Terra; e o outro deveria ser, por exemplo, igual a 16 pés, 1 polegada, o espaço que o corpo cairia totalmente em um segundo de tempo, caso ele adquirisse uma velocidade de 32 pés, 2 polegadas por segundo. A velocidade assim encontrada em comparação com a velocidade da Terra em sua órbita, quando calculada

a partir dos mesmos elementos, necessariamente fornece o mesmo resultado. Eu usei esse último método de cálculo em uma ocasião anterior, como pode ser visto no History of Optics do Dr. Priestley, p. 787 etc.,³⁷ mas preferi escolher a velocidade de um cometa, no item acima, devido à sua maior simplicidade e à sua conexão mais imediata com o assunto deste artigo.

15. A velocidade da luz, excedendo aquela da Terra em sua órbita, quando em sua distância média a partir do Sol, na proporção de 10310 a 1, se dividirmos 10310 por 20,72, o quociente 497, em números redondos, expressará o número de vezes em que a velocidade da luz excede a velocidade que um corpo poderia adquirir ao cair de uma altura infinita em direção ao Sol, quando ele chegasse à sua superfície; e uma área cuja raiz quadrada deve exceder a raiz quadrada da área RC, em que RD é suposto representar a força da gravidade na superfície do Sol, e CD é igual ao seu semidiâmetro, na mesma proporção, deve conseqüentemente exceder a área RC na porção de 247009, o quadrado de 497 a 1.

[p. 42] 16. Assim, de acordo com o item 10, se o semidiâmetro de uma esfera da mesma densidade do Sol excedesse a do Sol na proporção de 500 para 1, um corpo caindo de uma altura infinita em direção a ele teria adquirido em sua superfície uma velocidade maior que a da luz e, conseqüentemente, supondo que a luz fosse atraída pela mesma força em proporção à sua vis inertiae com outros corpos, toda a luz emitida por esse corpo seria obrigada a retornar em sua direção, por sua própria gravidade.

17. Mas, se o semidiâmetro de uma esfera da mesma densidade que o Sol fosse de qualquer outro tamanho menor que 497 vezes o do Sol, embora a velocidade da luz emitida por esse corpo nunca fosse totalmente destruída, ainda sofreria sempre alguma diminuição, maior ou menor, de acordo com a magnitude da referida esfera. A quantidade dessa diminuição pode ser facilmente encontrada da seguinte maneira: suponha que S represente o semidiâmetro do Sol e aS represente o semidiâmetro da esfera proposta. Então, como foi mostrado anteriormente, a raiz quadrada da diferença entre o quadrado de 497S e o quadrado de aS será sempre proporcional à velocidade remanescente, depois de ter sofrido toda a diminuição devida a essa causa. Conseqüentemente, a diferença entre toda a velocidade da luz e a velocidade remanescente, conforme encontrado acima, será [o valor da] diminuição de sua velocidade. E, portanto, a diminuição da velocidade da luz emitida pelo Sol devido à sua gravitação em direção a esse corpo será um pouco menor que partes da velocidade que ela teria tido se essa redução não tivesse ocorrido. Pois, o quadrado de 497 sendo 247009 e o quadrado de 1 sendo 1, a diminuição da velocidade será a diferença entre [p. 43] a raiz quadrada de 247009 e a raiz quadrada de 247008 que, como acima, representa um pouco menos que 1/494000 partes da quantidade total.

18. Da mesma forma, de acordo com o item 11, os mesmos efeitos ocorreriam se os semidiâmetros fossem diferentes dos mencionados nos dois últimos itens, desde que a densidade fosse maior ou menor na razão duplicada inversa desses semidiâmetros.

19. Para melhor ilustrar esse assunto, pode ser adequado dar um exemplo específico. Suponhamos, então, que apareça a partir de observações feitas sobre algumas dessas estrelas duplas acima mencionadas, que uma das duas realizou sua revolução em volta da outra em 64 anos, e que a estrela central tivesse a mesma densidade do Sol – que deve ter – se o seu diâmetro aparente, quando visto do outro corpo, fosse o mesmo que o diâmetro aparente do Sol seria se visto de um planeta girando em torno dele no mesmo período. Suponhamos, ainda, que a velocidade da luz do corpo central fosse menor que a do Sol, ou de outras estrelas cuja magnitude não fosse suficiente para afetá-la sensivelmente, na razão de 19 para 20. Nesse caso, então, de acordo com o item 17, a raiz quadrada de 247009SS deve estar para a raiz quadrada da diferença entre 247009SS e aaSS como 20 está para 19. Mas, os quadrados de 20 e 19 sendo 400 e 361, a quantidade 247009SS deve ser, portanto, a diferença entre essa quantidade e aaSS na mesma proporção, ou seja, como 247009 está para 222925,62. Conseqüentemente, aaSS deve ser igual a 24083,38SS, cuja raiz quadrada – [que] é aproximadamente 155,2S ou, em números redondos, 155 vezes o diâmetro do Sol – será o diâmetro da estrela central buscada.

[p. 44] 20. Como os quadrados dos períodos dos corpos que giram em torno de um corpo central são sempre proporcionais aos cubos de suas distâncias médias, a distância dos dois corpos um do outro deve ser, portanto, pelas

suposições anteriores, dezesseis vezes maior em proporção ao diâmetro do corpo central que a distância da Terra do Sol em proporção ao seu diâmetro. Esse diâmetro sendo já considerado também maior que o do Sol na proporção de 155,2 para 1, essa distância será conseqüentemente maior do que aquela da Terra ao Sol na proporção de 16 vezes 155,2, ou seja, 2483,2 a 1.

21. Suponhamos ainda que, a partir das observações, a maior distância das duas estrelas em questão parecesse ser apenas um segundo [de arco]. Devemos, então, multiplicar o número 2483,2 por 206264,8, o número de segundos no raio de um círculo, e o produto 512196750 mostrará o número de vezes que a distância de uma estrela a partir de nós deve exceder a do Sol. A quantidade de matéria contida em tal estrela seria $(155,2)^3$ ou 3738308 vezes a quantidade contida no Sol. Sua luz, supondo que a luz do Sol leve 8'7" para vir à Terra, exigiria, com sua velocidade comum, 7900 anos para chegar até nós, e 395 anos mais por conta da diminuição dessa velocidade. Supondo que tal estrela tenha luminosidade igual à do Sol, ainda assim seria suficientemente visível a olho nu, eu receio, apesar da sua imensa distância.

22. Nos fundamentos que empreguei nos cálculos anteriores, supus que o diâmetro da estrela central tenha sido examinado, a fim de determinar sua densidade, que não pode ser conhecida sem ele. Mas, o diâmetro de tal estrela é [p. 45] pequeno demais para ser observado por qualquer telescópio existente ou por qualquer um que esteja provavelmente na capacidade das habilidades humanas de fabricar. Pois, o diâmetro aparente da estrela central, se da mesma densidade que o Sol, quando visto de outro corpo, que girasse em torno dele em 64 anos, seria apenas a 1/1717 parte da distância desses corpos entre si; como aparecerá ao multiplicar 107,32 – o número de vezes que o diâmetro do Sol está contido em sua distância da Terra – por 16, a maior distância proporcional do corpo girante, correspondendo a 64 anos em vez de 1. Agora a 1/1717 partes de um segundo deve ser aumentada 309060 vezes a fim de equivaler a um diâmetro aparente de três minutos. E três minutos, se os telescópios fossem matematicamente perfeitos, e não houvesse falta de clareza [da imagem] no ar, seria apenas uma questão muito pequena a ser julgada.³⁸

[p. 46] 23. Porém, embora não exista a menor probabilidade de que essa grandeza [o diâmetro da estrela central], tão essencial a ser conhecida, a fim de determinar com precisão a exata distância e magnitude de uma estrela, possa ser obtida, seja nas mesmas circunstâncias ou quase nas mesmas, com o suposto acima, ainda assim os outros elementos que talvez possam ser obtidos, são suficientes para determinar a distância etc. com bastante probabilidade, dentro de alguns limites moderados. Pois, em qualquer razão em que a distância real das duas estrelas possa ser maior ou menor que a distância suposta, a densidade da estrela central deve ser maior ou menor na sexta potência dessa razão inversamente, pois dado o tempo periódico do corpo em rotação, a quantidade de matéria contida no corpo central deve ser o cubo de sua distância um do outro. Veja os *Principia* de Sir Isaac Newton, Livro 3, Proposição 8, Corolário 3.³⁹ No entanto, a quantidade de matéria em diferentes corpos, em cujas superfícies a velocidade adquirida ao cair de uma altura infinita é a mesma, deve ser, de acordo com o item 12, diretamente como seus semidiâmetros. Portanto, os semidiâmetros de tais corpos devem estar na razão triplicada da distância do corpo giratório e, conseqüentemente, suas densidades, pelo item 11, estando na razão inversa duplicada de seus semidiâmetro, devem estar na razão inversa sextuplicada da distância do corpo giratório. Assim, se a distância real fosse maior ou menor do que a suposta, na proporção de dois ou três para um, a densidade do corpo central deve ser menor ou maior, no primeiro caso, na proporção de 64, ou, no último, de 729 para 1.

[47] 24. Há também uma outra circunstância, da qual uma pequena probabilidade adicional possa ser obtida, em relação à distância real de uma estrela, como a que supomos, porém, sobre a qual, deve-se reconhecer, nenhuma grande ênfase pode ser atribuída, a menos que tenhamos uma analogia melhor do que a que temos atualmente. A circunstância que quero dizer é o maior brilho específico que tal estrela deve ter na proporção em que a distância real é menor do que a suposta e vice-versa. Visto que, para que a estrela possa parecer igualmente luminosa, seu brilho específico deve estar, inversamente, como para a quarta potência da sua distância, pois o diâmetro da estrela central sendo como o cubo da distância entre ela e a estrela que gira, e suas distâncias a partir da Terra estando na simples razão com a distância entre elas, o diâmetro aparente da estrela central deve estar como para o quadrado da sua real distância à Terra e, conseqüentemente, a superfície da esfera sendo como o quadrado do seu diâmetro, a área do disco aparente de tal estrela deve estar como a quarta potência da sua distância à Terra. Entretanto, qualquer

que seja a proporção [em que] o disco aparente da estrela esteja maior ou menor, a intensidade de sua luz deve estar na razão inversa, de forma a aparecer igualmente luminosa. Portanto, se sua distância real for maior ou menor do que a suposta na proporção de 2 ou 3 para 1, a intensidade de sua luz deve ser menor ou maior, no primeiro caso, na proporção de 16 ou, no último, de 81 para 1.

25. De acordo com o Sr. Bouguer (veja seu Tratado de Óptica)⁴⁰ o brilho do Sol excede o de uma vela de cera em proporção não inferior à de 8000 para 1. Portanto, se o brilho de qualquer uma das estrelas fixas não excedesse o de nossas velas comuns, o que, sendo algo menos luminoso que a [p. 48] cera, suporemos que em números redondos seja apenas 1/10000 tão brilhante quanto o Sol, tal estrela não estaria visível a mais que 1/100 da distância, na qual seria visível apenas se brilhasse como o Sol. Agora, uma vez que o Sol ainda apareceria, eu entendo, tão luminoso quanto a estrela Sirius, quando removido a 400000 vezes sua distância presente, um corpo assim, se não mais brilhante que nossas velas comuns, somente pareceria igualmente luminoso a essa estrela [que possui 1/10000 do brilho do Sol] a 4000 vezes a distância do Sol, e poderíamos, então, começar a ser capazes, com os melhores telescópios, de distinguir um pouco do seu diâmetro aparente sensível.⁴¹ Porém, os diâmetros aparentes das estrelas de menor magnitude ainda seriam pequenos demais para serem distinguíveis, mesmo com os nossos melhores telescópios, a menos que haja algum [telescópio] bom o suficiente que possa lidar com corpos menos luminosos, o que pode ser o caso. Pois, embora tenhamos realmente muitas perspectivas a considerar em relação ao brilho específico das estrelas fixas em comparação com o do Sol no momento, e, portanto, só podemos formar conjecturas muito incertas e aleatórias a seu respeito, ainda, da variedade infinita que encontramos nas obras da criação, não é irracional suspeitar que muito possivelmente algumas das estrelas fixas possam ter tão pouco brilho natural em proporção às suas magnitudes, assim como admitir que seus diâmetros tenham algum tamanho aparente sensível, quando forem examinadas com mais cuidado e com telescópios maiores e melhores do que em uso comum até agora.

26. No que diz respeito ao Sol, sabemos que toda a sua superfície é extremamente luminosa, [com] uma prevista interrupção algumas vezes de umas manchas muito pequenas e temporárias. Esse brilho universal e excessivo de toda a superfície é provavelmente devido a uma atmosfera que, sendo luminosa por toda parte e, em certa [p. 49] medida, também transparente, a luz, proveniente de uma profundidade considerável, chega toda ao olho; da mesma maneira que a luz de um grande número de velas faria, se fossem colocadas uma atrás da outra e suas chamas fossem suficientemente transparentes para permitir que a luz das [velas] mais distantes passasse através daquelas mais próximas, sem interrupção.

27. Até que ponto a mesma configuração pode ocorrer nas estrelas fixas, não sabemos. No entanto, provavelmente pode ocorrer em muitas; mas há alguns casos em relação a algumas poucas delas, que parecem torná-la provável, ainda que não universalmente. Agora, se estou certo em supor que a luz do Sol procede de uma atmosfera luminosa, que deve necessariamente se difundir igualmente por toda a superfície, e acho que há poucas dúvidas de que esse seja realmente o caso, essa configuração não pode ocorrer naquelas estrelas, que são, de certa forma, periodicamente mais e menos luminosas, como a de Collo Ceti etc. Também não é muito improvável que haja alguma diferença em relação à [atmosfera] do Sol na configuração daquelas estrelas que apareceram e desapareceram algumas vezes, das quais a constelação de Cassiopeia é um exemplo notável. E se são bem fundamentadas essas conjecturas – formadas por alguns filósofos sobre estrelas desses tipos – de que elas não são totalmente luminosas, ou, pelo menos, não tão constantemente, mas que todas, ou de longe a maior parte de suas superfícies está sujeita a mudanças consideráveis, algumas vezes se tornam luminosas e outras vezes são extintas; é entre as estrelas desse tipo que é mais provável nos depararmos com exemplos [p. 50] de um diâmetro aparente sensível, suas luzes sendo muito mais prováveis não por serem tão grandes em proporção quanto a do Sol, que, se removidas para quatrocentos mil vezes sua distância atual ainda apareciam, eu creio, tão brilhantes quanto Sirius, como observei antes. Considerando que dificilmente se pode esperar, com quaisquer telescópios, que possamos distinguir um disco bem definido de qualquer corpo do mesmo tamanho com o Sol muito mais do que mil vezes a sua distância.

28. Daí a maior distância em que seria possível distinguir qualquer diâmetro aparente sensível de um corpo tão denso quanto o Sol não pode exceder muito quinhentas vezes dez mil, ou seja, cinco milhões de vezes a distância do

Sol; pois, se o diâmetro desse corpo não for menos de quinhentas vezes o do Sol, sua luz, como foi mostrado acima, no item 16, nunca poderia chegar até nós.

29. Se realmente existir na natureza quaisquer corpos, cuja densidade não seja menor que a do Sol, e cujos diâmetros sejam mais de 500 vezes o diâmetro do Sol, uma vez que suas luzes não poderiam chegar até nós; ou se existirem quaisquer outros corpos de tamanho um pouco menor, que não sejam naturalmente luminosos; da existência de corpos sob qualquer uma dessas circunstâncias, não poderíamos ter informações pela visão; todavia, se quaisquer outros corpos luminosos girarem ao redor deles, talvez ainda assim, pelo movimento desses corpos giratórios, possamos inferir a existência dos [corpos] centrais com algum grau de probabilidade, visto que isso pode fornecer uma pista para algumas das aparentes irregularidades dos corpos giratórios, que não seriam facilmente explicáveis em nenhuma outra hipótese. Porém, como as consequências de tal suposição são muito óbvias, e a consideração delas de certa forma ultrapassa minha presente proposta, não as considerarei mais adiante.

[p. 51] 30. A diminuição da velocidade da luz, no caso de ocorrer em alguma das estrelas fixas, é o principal fenômeno pelo qual se propõe descobrir sua distância etc. Agora, os meios pelos quais podemos encontrar de quanto é essa diminuição parecem passar pela diferença que seria ocasionada por ela na refrangibilidade da luz, cuja velocidade deveria ser tão diminuída. Pois, suponhamos com Isaac Newton (veja seu *Óptica*, proposição VI, parágrafos 4 e 5)⁴² que a refração da luz é ocasionada por uma certa força que a impele ao meio refratário, uma hipótese que explica perfeitamente todos os eventos. Com base nessa hipótese, a velocidade da luz em qualquer meio, em qualquer direção em que ela incida nele, sempre terá uma determinada relação com a velocidade que tinha antes de nele incidir, e os senos de incidência e refração, em consequência disso, carregam a mesma proporção inversa um do outro com essas velocidades. Assim, de acordo com essa hipótese, se os senos dos ângulos de incidência e refração, quando a luz passa do ar para o vidro, estão na proporção de 31 a 20, a velocidade da luz no vidro deve estar em relação à sua velocidade no ar na mesma proporção de 31 a 20. Entretanto, uma vez que as áreas, representando as forças que geram essas velocidades, são os quadrados das velocidades – veja os itens 5 e 6 –, essas áreas devem estar uma para outra como 961 a 400. E se 400 representa a área que corresponde à força que produz a velocidade original da luz, 561, a diferença entre 961 e 400, deve representar a área correspondente à força adicional, pela qual a luz foi acelerada na superfície do vidro.

31. No item 19, supomos, a título de exemplo, [que] a velocidade da luz de uma estrela em particular fosse diminuída na [p. 52] razão de 19 para 20, e foi observado que a área que representava a força restante necessária para gerar a velocidade 19, era, portanto, adequadamente representada por 361/400 partes da área, que deveria representar a força necessária para gerar toda a velocidade da luz, quando não diminuída. Se adicionarmos 561, a área que representa a força pela qual a luz é acelerada na superfície do vidro, a 361, a área que representa a força que teria gerado a velocidade diminuída da luz da estrela, a raiz quadrada de 922, sua soma representará a velocidade da luz com a velocidade diminuída, depois de ter entrado no vidro. E a raiz quadrada de 922 sendo 30,364, os senos de incidência e refração dessa luz do ar para o vidro estarão consequentemente como 30,364 a 19, ou o que é igual a isso, como 31,96 para 20 em vez de 31 para 20, a razão dos senos de incidência e refração quando a luz entra no vidro com sua velocidade total.

32. A partir daí, um prisma, com um pequeno ângulo de refração, talvez não seja um instrumento muito inconveniente para esse objetivo. Pois, por tal prisma, cujo ângulo de refração for de um minuto, por exemplo, a luz com sua velocidade não diminuída seria desviada do caminho em 33", e com sua velocidade diminuída, em quase 35",88, a diferença de quase 2"53" seria a quantidade pela qual a luz, cuja velocidade foi diminuída, seria desviada mais do que aquela cuja velocidade não diminuísse.

33. Suponhamos agora que esse prisma seja usado para observar duas estrelas, sob as mesmas circunstâncias que as duas estrelas no exemplo anteriormente mencionado, sendo a central [dentre elas] grande o suficiente para diminuir a velocidade de sua luz em 1/20, enquanto a velocidade da luz da outra, [p. 53] que deveria girar em torno dela como um satélite, por falta de magnitude suficiente no corpo de onde foi emitida, não deve sofrer nenhuma diminuição sensível. Colocando então a linha, na qual as duas faces do prisma se cruzariam, perpendicularmente a uma linha que

una as duas estrelas; se a parte mais fina do prisma estivesse no mesmo ponto dos céus com a estrela central, cuja luz seria mais desviada do caminho, a distância aparente das estrelas aumentaria $2''.53'''$ e conseqüentemente $3''.53'''$ em vez de $1''$, apenas a distância perceptível suposta acima no item 21. Pelo contrário, se o prisma desse meia volta e sua parte mais fina estivesse no mesmo ponto de os céus com a estrela giratória, suas distâncias devem ser diminuídas em uma quantidade semelhante e, portanto, a estrela central pareceria $1''.53'''$ distante da outra no lado oposto, tendo sido removida de seu lugar aproximadamente três vezes a distância total entre eles.

34. Se um prisma pode ser utilizado para esse fim, tendo um ângulo de refração muito maior do que havíamos proposto, especialmente se ele foi construído de maneira acromática, de acordo com o princípio do Sr. Dollond,⁴³ não apenas uma diminuição, como uma parte em vinte, pode ser ainda mais distinguível; mas, provavelmente, poderemos descobrir consideravelmente menos diminuições na velocidade da luz, como talvez, $1/100$, $1/200$, $1/500$ ou $1/1000$ partes do todo, o que, de acordo com o que foi dito antes, seriam ocasionadas por esferas, cujos diâmetros devessem ser da ordem daquele do Sol, desde que tivessem a mesma densidade, em diversas proporções de aproximadamente 70, 50, 30 e 22 para 1, respectivamente.

35. Se tal diminuição da velocidade da luz, como a suposta acima, realmente ocorrer, em [p. 54] consequência de sua gravitação em direção aos corpos de onde é emitida, e houver várias estrelas fixas grandes o suficiente para torná-la suficientemente plausível, um conjunto de observações sobre esse assunto provavelmente pode nos fornecer algumas informações consideráveis a respeito de muitas circunstâncias daquela parte do universo que é visível para nós. A quantidade de matéria contida em muitas das estrelas fixas pode, portanto, ser avaliada, com um alto grau de probabilidade, dentro de alguns limites moderados. Pois, embora a quantidade exata ainda deva depender de suas densidades, ainda assim devemos supor que as densidades são muito diferentes da do Sol, e mais ainda do que se pode facilmente conceber que ocorra de fato, a fim de fazer o erro da suposta quantidade de matéria muito cheio de verdade, uma vez que a densidade, como foi mostrado acima nos itens 11 e 12, necessária para produzir a mesma diminuição da velocidade da luz emitida por diferentes corpos, é como o quadrado inverso da quantidade de matéria contida nesses corpos.

36. Mas, embora possamos, a partir disso, formar um palpite razoável quanto à quantidade de matéria contida em várias estrelas fixas; todavia, se elas não tiverem satélites luminosos girando em torno delas, ainda não poderemos formar qualquer julgamento provável de suas distâncias, a menos que tenhamos alguma analogia para analisar seus brilhos específicos ou outros meios de descobri-los. Há, no entanto, um caso que pode ocorrer, o que pode tender a lançar alguma luz sobre esse assunto.

37. Eu havia apontado em minha "Investigação sobre a provável paralaxe etc. das estrelas fixas", publicada nas *Philosophical Transactions* do ano de 1767⁴⁴, há uma probabilidade extremamente grande de que muitas das estrelas fixas são observadas em grupos; e que as Plêiades, em particular, constituem um desses [p. 55] grupos. Agora, das estrelas que vemos reunidas, é altamente provável, como observei naquele artigo, que não haja uma em cem que não pertença ao próprio grupo; e, de longe, a maior parte, portanto, de acordo com a mesma ideia, deve permanecer dentro de uma esfera, um grande círculo do mesmo tamanho com um círculo, que nos parece incluir todo o grupo. Se supomos, portanto, que esse círculo seja de cerca de 2° em diâmetro e, conseqüentemente, somente uma trigésima parte da distância a que é visto, podemos concluir, com alto grau de probabilidade, que de longe a maior parte dessas estrelas não difere do Sol por mais que uma parte em trinta, e daí se deduz um tipo de escala maior da proporção da luz produzida por diferentes estrelas do mesmo grupo de sistemas nas Plêiades, pelo menos; e, por analogia um tanto provável, podemos fazer o mesmo em outro sistema da mesma forma. Mas, ainda não tendo meios de saber sua distância real ou brilho específico, quando comparados ao Sol ou um ao outro, ainda precisamos de algo mais para formar um julgamento disso.

38. Se, no entanto, for constatado que, entre as Plêiades, ou qualquer outro sistema semelhante, existem algumas estrelas duplas, triplas etc., das quais uma é um corpo central maior, com um ou mais satélites girando em torno dela, e também constatado que o corpo central diminui a velocidade de sua luz; e mais especialmente, se houver várias

dessas situações encontradas no mesmo sistema; devemos começar a ter um tipo de medida tanto da distância desse sistema de estrelas da Terra quanto de suas distâncias mútuas. E se várias situações desse tipo ocorrerem em diferentes grupos ou sistemas de estrelas, também poderemos começar, [p. 56] talvez, a formar conjecturas prováveis a respeito da densidade e brilho específicos das próprias estrelas, especialmente se for encontrada alguma analogia geral entre a quantidade da diminuição da luz e a distância do sistema deduzida dela. Por exemplo, se aquelas estrelas que tiveram o maior efeito de diminuir a velocidade da luz deveria dar, geralmente, uma distância maior ao sistema, quando supostamente forem da mesma densidade do Sol, poderíamos concluir naturalmente a partir daí, que elas são menos volumosas e com maior densidade específica do que aquelas estrelas que diminuem menos a velocidade da luz e vice-versa. Do mesmo modo, se as estrelas maiores nos dessem, em geral, uma quantidade maior ou menor de luz proporcional aos seus volumes, isso nos daria uma espécie de analogia, de onde poderíamos talvez obter o brilho específico das estrelas em geral. Mas, em todas as experiências, devemos ter uma medida bastante tolerável do brilho comparativo do Sol e daquelas estrelas sobre as quais essas observações devem ser feitas, se o resultado estiver de acordo com as ideias anteriormente explicadas.

39. Embora não seja improvável – alguns anos poderão nos dizer – que parte do grande número de estrelas duplas, triplas etc. que foram observadas pelo Sr. Herschel são sistemas de corpos girando um ao redor do outro, especialmente se mais alguns observadores igualmente engenhosos e diligentes a ele pudessem apoiar seu trabalho. No entanto, a grande distância em que não é improvável que muitas das estrelas secundárias estejam de suas [estrelas centrais] principais, e os consequentes períodos muito longos de suas revoluções,⁴⁵ deixam muito pouco espaço para esperar deixa muito pouco espaço para esperar que [p. 57] qualquer grande progresso possa ser feito nesse assunto por muitos anos, ou talvez por algumas eras a frente. As conclusões acima, portanto, do uso que pode ser feito das observações sobre as estrelas duplas etc., desde que as partículas de luz estejam sujeitas à mesma lei da gravitação com outros corpos, como provavelmente estão, e desde que também algumas das estrelas devam ser suficientemente grandes para diminuir sua velocidade, será, espero, um incentivo àqueles que possam ter em seu poder para fazer essas observações em benefício das gerações futuras, pelo menos, quão pouco vantagem quanto esperamos deles mesmos. No entanto, muito possivelmente algumas observações desse tipo, que podem ser feitas em alguns anos, podem não apenas ser suficientes para fazer algo, mesmo no presente, mas também para mostrar que muito mais poderá ser feito daqui em diante, quando essas observações tornarem-se mais numerosos e terem sido continuadas por um longo período de anos.

Notas e referências bibliográficas

Ana Paula Bispo da Silva é professora na Universidade Estadual da Paraíba. E-mail: silva.anapaulabispo@gmail.com.

Breno Arsioli Moura é professor na Universidade Federal do ABC. E-mail: breno.moura@ufabc.edu.br.

Thalles Rennan Maia de Medeiros é estudante na Universidade Estadual da Paraíba. E-mail: thalles_dm@hotmail.com.

- 1 Os autores agradecem o apoio do CNPq, por meio de bolsa de iniciação científica.
- 2 <http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2019/04/foto-de-um-buraco-negro-e-revelada-pela-primeira-vez-na-historia.html>. Acesso em 14/05/2020.
- 3 Dossiê 207 Eclipse de Sobral/CE. Revista Comciência. Maio 2019. Disponível em http://www.comciencia.br/category/_dossie-207/. Acesso em 27/04/2020. Revista Brasileira de Ensino de Física. Vol. 41, supl. 1, 2019.
- 4 Em artigo anterior, de 1911, Einstein tinha considerado a mecânica newtoniana e adotado a velocidade da luz como variável. Ver CÉSAR, H. Lenzi; POMPEIA, Pedro J.; STUDART, Nelson. A deflexão gravitacional da luz: De Newton a Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 41, e20190238, 2019.
- 5 HARDIN, Clyde. The scientific work of the reverend John Michell, *Annals of Science*, v. 22, n. 1, p. 27-47, 1966 DOI: 10.1080/00033796600203015; McCORMMACH, R. *Weighing the World: The Reverend John Michell of Thornhill*. Amsterdam: Springer Netherlands, 2012.
- 6 EISENSTAEDT, Jean. L'optique balistique newtonienne à l'épreuve des satellites de Jupiter. *Archive for history of exact sciences*, v. 50, n. 2, p. 117-156, 1996.
- 7 MOURA, Breno A. Newtonian optics and the historiography of light in the 18th century: a critical analysis of Joseph Priestley's *The History of Optics*. *Transversal: International Journal for the Historiography of Science*, v. 5, p. 157-170, 2018.

- 8 Instrumento musical similar ao piano.
- 9 WORRALL, John. The pressure of light: the strange case of the vacillating 'crucial experiment'. *Studies in History and Philosophy of Science*, v. 13, n. 2, p. 133-71, 1982.
- 10 PRIESTLEY, Joseph. *The history and present state of discoveries relating to vision, light and colours*. v. 1. London: [s.n.], 1772a. p. 389.
- 11 CANTOR, Geoffrey N. *Optics after Newton: theories of light in Britain and Ireland, 1704-1840*. Manchester: Manchester University Press, 1983. p. 57.
- 12 MICHELL, John. XXVII. An inquiry into the probable parallax, and magnitude of the fixed stars, from the quantity of light which they afford us, and the particular circumstances of their situation, by the Rev. John Michell, BDFR S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, n. 57, p. 234-264, 1767.
- 13 HARDIN, 1966, op. cit.
- 14 MICHELL, 1784, op. cit., p. 42.
- 15 MICHELL, 1784, op. cit., p. 50. SCHAFFER, Simon. John Michell and Black Holes. *Journal for the History of Astronomy*, v. 10, p. 42-43, 1979.
- 16 EISENSTAEDT, Jean. Dark body and black hole horizons. *General relativity and gravitation*, v. 23, n. 1, p. 75-80, 1991. EISENSTAEDT, Jean. De l'influence de la gravitation sur la propagation de la lumière en théorie newtonienne. L'archéologie des trous noirs. *Archive for history of exact sciences*, v. 42, n. 4, p. 315-386, 1991.
- 17 MICHELL, 1784, op. cit., p. 50.
- 18 César et al (2019) fazem a discussão de outras propostas para medir o desvio da luz. Ver também MCCOMMARCH, 2012, op. cit., p. 119-221.
- 19 MCCOMMARCH, 2012, op. cit., p. 221.
- 20 Idem, p. 217.
- 21 Idem, p. 222-223.
- 22 Cabe lembrar que posteriormente outro experimento com prisma para determinar a velocidade da terra em relação ao éter foi feito por Arago, em outro contexto. Ver MARTINS, Roberto Andrade. O éter e a óptica dos corpos em movimento: a teoria de Fresnel e as tentativas de detecção do movimento da Terra, antes dos experimentos de Michelson e Morley (1818-1880). *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 29, n. 1, p. 52-80, 2012; e OLIVEIRA, Maurício Pietrocola. O éter luminoso como espaço absoluto. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, v. 3, n. 1/2, p. 163-182, 1993.
- 23 Henry Cavendish e Nevil Maskelyne também são protagonistas nas tentativas de medir a densidade da Terra. Cavendish pelo uso da balança de torção e Maskelyne usando o pêndulo. CAVENDISH, Henry. London: Experiments to determine the density of the earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 88, p. 469-526, 1798. MASKELYNE, Nevil. A proposal for Measuring the Attraction of Some Hill in This Kingdom by Astronomical Observations. *Philosophical Transactions*, vol. 65, p. 495-499, 1775.
- 24 MCCOMMARCH, 2012, op. cit., p. 219.
- 25 Discordamos desse argumento, uma vez que a concepção ondulatória da luz só passou a ser aceita na óptica a partir da segunda metade do século XIX. Porém, não trataremos dessa controvérsia, pois não faz parte do escopo deste artigo.
- 26 Ver Cantor (1983), op. cit., p. 62-64.
- 27 Disponível em <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rstl.1784.0008>, consulta em 07 de abril de 2020.
- 28 [N.T.] Trata-se do livro *The History and Present State of Discoveries Relating to Vision, Light and Colours*, publicado em 1772. Nessa obra, Priestley apresentou uma análise detalhada sobre a história da óptica desde a Antiguidade até seu tempo. Como um típico newtoniano do século XVIII, sua história da óptica traz uma forte defesa da concepção corpuscular para a luz. Concepções vibracionais foram praticamente ignoradas no livro; Christiaan Huygens (1629-1695) e Robert Hooke (1635-1703) raramente foram mencionados, por exemplo. Um dos autores desse artigo discutiu em detalhes essa obra. Ver MOURA, 2018, op. cit.
- 29 [N.T.] PRIESTLEY, J. *The history and present state of discoveries relating to vision, light and colours*. v. 2. London: [s.n.], 1772b. p. 777.
- 30 [M.] Veja o Catálogo de Estrelas desse tipo, publicado nas *Philosophical Transactions* no ano de 1782, que é de fato um presente muito valioso para o mundo astronômico. Por meio da feliz utilização de telescópios com altos poderes de ampliação e por uma indústria de observação mais perfeccionista, ele fez um progresso muito maravilhoso neste ramo da astronomia, no qual quase nada de sucesso foi feito por qualquer um antes dele. [N. T.] William Herschel (1738-1822) foi um astrônomo alemão naturalizado inglês, famoso pela construção de telescópios e pela observação de Urano e do sexto satélite de Saturno (HOSKIN, 2020; LOVELL, 1968). Muitas vezes também é associado, erroneamente, a descoberta do infravermelho (OLIVEIRA; SILVA, 2014). M. A. HOSKIN Herschel, William. "Complete Dictionary of Scientific Biography". Retrieved April 07, 2020 from Encyclopedia.com: <https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/herschel-william>. LOVELL, Donald Joseph. Herschel's dilemma in the interpretation of thermal radiation. *Isis*, v. 59, n. 1, p. 46-60, 1968. OLIVEIRA, Rilavia Almeida de; SILVA, Ana Paula Bispo da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 4, p. 01-11, 2014.
- 31 MICHELL, 1767, op. cit.
- 32 N.T. Trata-se do Corolário I da proposição VIII do Livro III do *Principia* (NEWTON, Isaac. *Princípios matemáticos da filosofia natural* [1713] 2ª edição. Tradução e notas de comentários de J. Resina Rodrigues. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.). A proposição é "Se dois globos gravitam um para o outro, e se a sua matéria é homogênea de todos os lados em regiões que distam igualmente dos seus centros, então o peso de cada globo para o outro será inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros" (p. 676). O corolário 1 relaciona a distância entre os globos com seus pesos: "Consequentemente, podem calcular-se os pesos de corpos para diferentes planetas e comparar-se uns com os outros. Pois os pesos de corpos iguais revolvendo em circunferências em torno de planetas são diretamente proporcionais aos diâmetros dessas circunferências e inversamente proporcionais aos quadrados dos períodos; e os pesos à superfície dos planetas ou a outras distâncias dos seus centros são maiores o menores na razão inversa do quadrado das distâncias" (p. 677).
- 33 [N.T.] Michell está considerando que a luz, pela óptica newtoniana, é constituída por partículas de uma certa matéria especial. Possuindo matéria, a luz está sujeita a oferecer resistência a outra força que possa alterar seu estado de movimento ou movimento retilíneo uniforme, conforme Definição III para os movimentos (NEWTON, 1713, op. cit., p. 20), ou seja, a luz possui inércia. *Vis inertiae* é a força inerente ao corpo (*vis insita*) quando sujeito à ação de outra

força (MARTINS, Roberto A. The law of inertia and *vis insita*: newton and his sources. P. 115-128. In: SILVA, C. C.; PRESTES, M. E. B. (orgs.) aprendendo ciência e sobre sua natureza: abordagens históricas e filosóficas. São Carlos: Tipografia Editora Expressa, 2013.

- 34 N. T. Proposição 39 (problema 27): Seja uma força centrípeta de qualquer tipo, e suponha-se conhecida a quadratura das figuras curvilíneas. Pede-se, para um corpo que suba ou desça em linha reta, a velocidade em qualquer posição e o tempo no qual o corpo atinge essa posição. E vice-versa. (NEWTON, 1713, op. cit., p. 216).
- 35 [N. T.] Corolário II da proposição 39 dos *Principia* (NEWTON, 1713, op. cit., p. 220).
- 36 [N. T.] Seja a razão (P^2/Q^2), a sub-duplicata é dada por (P/Q) .
- 37 PRIESTLEY, 1772b, op. cit., p. 787.
- 38 [M.] Nas observações do Sr. Herschel sobre as estrelas fixas acima mencionadas, quase todas elas são representadas como aparecendo com um formato redondo bem definido. Que este não é o real, mas apenas uma aparência óptica ocasionada talvez pela constituição do olho, quando o lápis, pelo qual os objetos são vistos, é tão excessivamente pequeno quanto o que ele empregou nessa ocasião, é muito manifesto, a partir das próprias observações, das quais o Sr. Herschel parece estar suficientemente consciente. Se não fosse assim, a intensidade da luz dessas estrelas deveria ser extremamente inferior à do Sol ou ser imensamente maior, caso contrário, eles devem ter paralaxe muito sensível; pois o Sol, se removido a 10.000.000 vezes sua distância atual, eu entendo, seria aproximadamente o brilho das estrelas de sexta magnitude; no caso ele deve ser aumentado 1.000.000 de vezes para tornar seu formato aparente de qualquer magnitude sensível; ou, por outro lado, se ele fosse removido apenas a uma milésima parte dessa distância, então ele deve ser menos luminoso na proporção de 1.000.000 para 1, para fazê-lo parecer não mais brilhante do que uma estrela da sexta magnitude. Agora, o diâmetro do Sol sendo contido quase 215 vezes no diâmetro da órbita da Terra, a paralaxe anual, portanto, de um corpo assim, nesse caso, se fosse colocado no polo da eclíptica, seria 215 vezes o seu diâmetro aparente; e como a estrela brilhante em Lyra apareceu ao Sr. Herschel com cerca de uma terceira parte de segundo de diâmetro, se esse fosse sua verdadeira forma e não fosse maior que o Sol, teria conseqüentemente uma paralaxe anual no polo da eclíptica de cerca de 72 segundos.
- 39 N. T. Trata-se do Corolário 3 da proposição 8 (apresentada na nota 15): 'Podem encontrar-se também as densidades dos planetas. Corpos iguais e homogêneos colocados na superfície de esferas homogêneas pesam para elas, pelo Livro I, Proposição LXXIII, na proporção dos seus diâmetros. Por isso, a densidade de esferas heterogêneas são proporcionais a estes pesos divididos pelos diâmetros das esferas (NEWTON, 1713, p. 679). Para Proposição LXXIII: Se para cada um dos diferentes pontos de uma esfera tendem iguais forças centrípetas diminuindo na razão dos quadrados das distâncias a esses pontos, afirmo que um corpúsculo colocado dentro da esfera é atraído por uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância do corpúsculo ao centro da esfera (NEWTON, 1713, op. cit., p. 329).
- 40 [N. T.] Michell está se referindo à obra póstuma de Pierre Bouguer (1698-1758), *Traité d'Optique sur la gradation de la lumiere*, de 1760. BOUGUER, Pierre. *Traité d'optique sur la gradation de la lumiere*. Paris : Guerin & Delatour, 1760. Bouguer trabalhou por muitos anos acerca de métodos de medir a intensidade da luz. Para mais detalhes, ver DARRIGOL, Olivier. *A history of optics from Antiquity to the Nineteenth Century*. Oxford: Oxford University Press, 2012. p. 112-116.
- 41 [N.T.] A luminosidade do Sol em relação as demais estrelas impede que seu diâmetro real seja identificado pelo desvio da luz (redução da sua velocidade), ofuscando-as.
- 42 [N. T.] Veja Newton, I. *Óptica*. São Paulo: EDUSP, 1996. p. 82-91. As notas de rodapé elaboradas pelo tradutor do livro – André K.T. Assis – esclarecem vários aspectos dos argumentos de Newton nessa proposição específica.
- 43 [N. T.] Michell se refere a John Dollond (1706-1761) que fabricou um telescópio acromático. Para mais informações, veja CANTOR, 1983, op. cit., p. 67-69 e DARRIGOL, 2012, op. cit., p. 119.
- 44 MICHELL, 1767, op. cit.
- 45 [M.] Se o Sol, quando removido a 10.000.000 vezes a sua distância atual, ainda parecesse tão brilhante quanto uma estrela da sexta magnitude, que eu considero bem próxima da verdade, qualquer satélite girando em torno dessa estrela, desde que a estrela não com menos brilho específico ou com maior densidade que o sol, deve, se aparecer sua maior elongação, a uma distância de um segundo apenas do seu principal, entre trezentos e quatrocentos anos na realização de uma revolução; e o tempo da revolução da estrela muito pequena perto de alyrae, se for um satélite para esta última, e seu principal tiver o mesmo brilho específico e densidade do Sol, dificilmente poderia ser inferior a oitocentos anos, embora 37'' a distância em que ela é colocada, de acordo com as observações de Herschel, deve ser a maior distância. Esses tempos periódicos, no entanto, são calculados a partir das distâncias acima, com a suposição da estrela, que gira como um satélite, sendo muito menor que a quantidade central, quase igual, de matéria, os tempos periódicos podem ser um pouco menos, por girarem em torno de seu centro de gravidade comum, em círculos de pouco mais da metade do diâmetro daquele em que o satélite deve girar sobre a outra suposição.