

EDWARD EMERSON BARNARD (1857-1923) UM DOS MAIORES OBSERVADORES DE TODOS OS TEMPOS

Edward Emerson Barnard foi um dos maiores astrónomos do século 19. O facto de ter descoberto visualmente o quinto satélite de Júpiter (Amalthea), cerca de duas dezenas de cometas bem como numerosas nebulosas, conferiram-lhe uma merecida fama internacional.

Barnard nasceu em 16 de Dezembro de 1857 em Nashville, Tennessee em plena guerra civil americana. Foi educado com o seu irmão pela mãe em condições muito adversas¹. Com apenas 9 anos de idade começou a trabalhar no estúdio fotográfico de Van Stavoren. A sua função era a de operar um ampliador que foi denominado "Júpiter". Esta câmara estava montada no telhado do estúdio (Figura 1). Barnard tinha a difícil tarefa de manter a câmara continuamente apontada ao Sol através de comandos manuais. Uma vez que o ampliador Júpiter era construído em madeira, se o seguimento não fosse perfeito, podia arder (tratava-se de uma tarefa extremamente fastidiosa e que requeria uma enorme concentração e persistência, características que Barnard manteve ao longo de toda a sua vida). O espírito vivo de Barnard permitiu-lhe descobrir de um modo independente a equação do tempo. No final da sua vida Barnard viria a descrever o método utilizado:

"On the platform where this instrument stood I made a mark of a shadow one time at the ringing of the noon bell in the Catholic Church nearby. To my surprise this mark served only for a short time to tell when noon came, and I soon found that the coming of the shadow to my mark was a variable quantity; for during the year it was sometimes ahead of the church bell and sometimes behind it. As I could not suspect the church bell of being wrong, I decided there must be something wrong with the Sun. Thus, I had at an early age independently discovered the equation of time"².



Figura 1- E.E. Barnard com 9 anos de idade quando começou a trabalhar no estúdio fotográfico. Ampliador Júpiter e Barnard com cerca de 14 anos junto a um estúdio fotográfico móvel.

Durante o período em que trabalhou no estúdio fotográfico (cerca de 17 anos) o jovem Barnard começou a interessar-se por astronomia. Com apenas 13 anos construiu uma luneta astronómica rudimentar e pouco depois construiu outra luneta usando um tubo de bronze e uma objectiva de 50 mm de abertura comprada a uma firma de Philadelphia. Munida de um simples tripé e uma montagem azimutal robusta, Barnard observou a Lua, Vénus e alguns planetas. Este pequeno telescópio proporcionou-lhe mais prazer do que qualquer outra coisa nos primeiros anos da sua vida.

Em 1871, O estúdio fotográfico foi vendido a Rodney Poole. O novo proprietário desmontou o ampliador Júpiter e Barnard pode utilizar a plataforma onde este estava instalado como um observatório astronómico. Cinco anos mais tarde com apenas 19 anos Barnard compra um telescópio refractor com 127 mm de abertura (Figura 2).

¹ Barnard aprendeu a ler em casa e apenas frequentou uma escola primária durante um período de 2 meses.

² Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part I). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 415: 8pp.

Este instrumento custou \$380 o que representava cerca de 2/3 do seu ordenado anual³. Por esta altura foi promovido a fotógrafo do estúdio tendo-se familiarizado com todos os aspectos relacionados com a realização e impressão de trabalhos fotográficos, bem como com trabalhos de pintura e desenho⁴.

Em 1877 Barnard foi apresentado a Simon Newcomb (1835-1909) (Figura 2) durante uma reunião da Sociedade Americana para o avanço da Ciência que decorreu em Nashville e de que este era Presidente. Na sua autobiografia S. Newcomb relata este primeiro encontro com Barnard:

*"I did not for a moment suppose that there was a reasonable probability of the young man doing anything better than amuse himself. At the same time, feeling in a duty to encourage him, I suggested that there was only one thing open to an astronomical observer situated as he was, and that was the discovery of comets. I had never looked for a comet myself, and knew little about the methods of exploring the heavens for one,... But gave him the best directions I could"*⁵.

Além destas recomendações Newcomb sugere igualmente que o jovem astrónomo amador se dedique ao estudo da Matemática. Barnard contrata um tutor e começa um extenso programa de busca de cometas, programa que manteve ao longo de toda a sua vida.

Em 1881 Barnard casa com Rhoda Calvert e descobre nesse mesmo ano o seu primeiro cometa próximo de α Pegasi. Este cometa foi observado em duas noites consecutivas mas não pode ser registado oficialmente por não terem sido seguidos os canais apropriados. Em 17 de Setembro do mesmo ano Barnard descobre um novo cometa (1881 IV) que constitui a sua primeira descoberta oficial. Nesta altura H.H. Warner havia instituído um prémio pecuniário de \$200 por cada descoberta de um cometa efectuada por um astrónomo americano. Com esta quantia Barnard inicia o pagamento de uma vivenda que apelidou de "*Comet House*" (Figura 2).

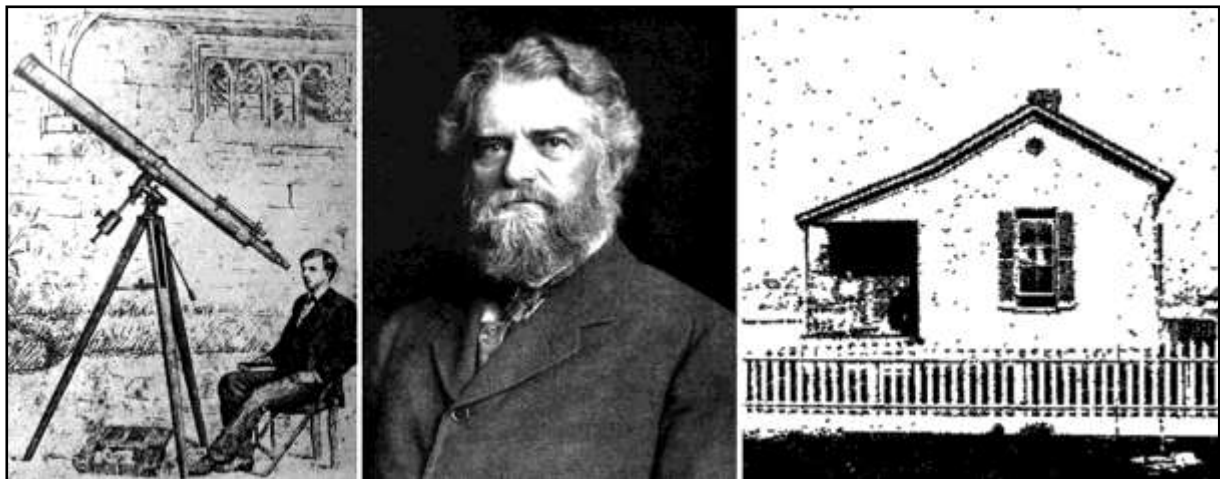


Figura 2- E.E. Barnard e o refractor de 5" (1877), Simon Newcomb e a "*Comet House*".

Na primavera de 1883 Barnard inicia a sua associação com a Universidade de Vanderbilt (Nashville, Tennessee), que contava apenas 10 anos de existência e que possuía um observatório equipado com um refractor de 150 mm de abertura (Figura 3). Barnard com 26 anos foi contratado como astrónomo assistente e ao mesmo tempo frequenta cursos de matemática, Inglês, Francês e Alemão. Durante os quatro anos que passou nesta Universidade (1883-1887), Barnard descobre 7 novos cometas, uma nova estrela dupla (β Capricorni) e estabelece a existência do *Gegenschein*⁶.

Em 1887 Barnard é convidado por E.S. Holden para integrar a equipa de astrónomos do observatório de Lick (Mount Hamilton, California) (Figura 4). Barnard inicia deste modo uma carreira brilhante que culminaria na publicação de mais de 800 artigos científicos referentes a inúmeras observações e descobertas astronómicas.

³ Barnard foi o único sustento da sua mãe desde a tenra idade de 12 anos.

⁴ Estas técnicas (desenho e pintura) seriam mais tarde utilizadas por Barnard nos seus trabalhos sobre o sistema solar (sobretudo Lua e Planetas).

⁵ Tenn, J.S. (1992). Edward Emerson Barnard: The Fourteenth Bruce Medalist. *Mercury*, September/October: 164-166.

⁶ Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part II). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 416: 8pp.



Figura 3- Observatório Dyer da Univerdidade de Vanderbilt e refractor Cooke de 150 mm de abertura.

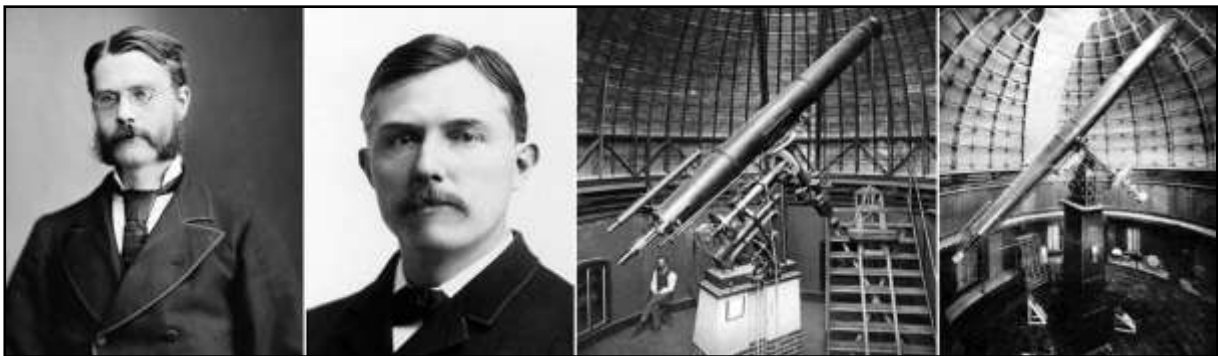


Figura 4- Edward Singleton Holden (1846-1914) primeiro director do observatório de Lick, E.E. Barnard (1893), refractores de 12" e 36" do observatório de Lick.

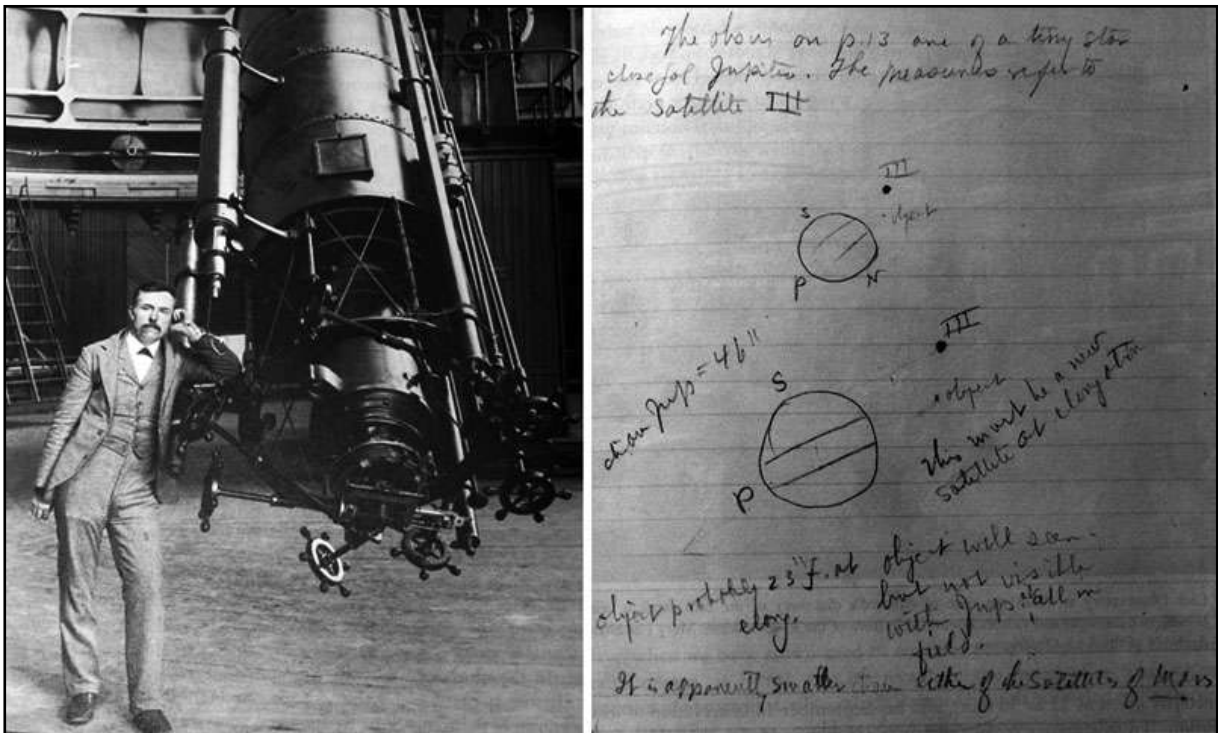


Figura 5- Auto-retrato junto do refractor de 36" obtido pouco tempo após a descoberta do 5º satélite de Júpiter. Livro de registo de Barnard (9 de Setembro de 1892) onde é referida a descoberta de Amalthea.

Durante o período em que esteve associado ao observatório de Lick (1887-1895), Barnard continua a sua busca de cometas. Em 1888 descobre 2 novos cometas e em 1891 mais 5. Em 1892 Barnard havia já descoberto 16 novos cometas. Grande parte destas observações foram efectuadas com o refractor de 12" (Figura 4). Como astrónomo assistente, Barnard não tinha acesso directo ao refractor de 36" (Figura 4). Este instrumento (na altura o maior refractor do mundo) era sobretudo utilizado pelos restantes membros da equipa, E.S. Holden, J.E. Keeler (1857-1900) e S.W. Burnham (1838-1921). O relacionamento com o director do observatório (E.S. Holden) detiora-se de ano para ano culminando na sua demissão em 1897⁷.

Quando finalmente Barnard obtém tempo de observação com o grande refractor de 36", após apenas 2 meses de trabalho, descobre o 5º satélite de Júpiter (Figura 5).

Apesar de todas estas descobertas, a maior contribuição de Barnard foi sem dúvida efectuada no domínio da astrofotografia. Em 28 de Julho 1889 realiza a primeira de uma longa série de astrofotografias de grande campo. Esta primeira imagem da via-láctea em Scutum foi interrompida após 1h30m de exposição devido à interferência das núvens. Em 1 de Agosto de 1889 Barnard obtém uma segunda fotografia com 3h7min na região de Sagittarius (Figura 6). Na noite seguinte obtém mais uma imagem (M 11) mas os resultados não são tão espectaculares. Em 21 de Agosto fotografa M 31 e duas noites mais tarde as Plêiades (M 45).



Figura 6- Uma das primeiras astrofotografias realizadas por Barnard (1 de Agosto de 1889). Telescópio Crocker e lente de Willard 6", 3h e 7 m de tempo total de exposição, Sagittarius.

Barnard descreve minuciosamente o método utilizado para obter estas fotografias de grande campo. A guiagem era efectuada com o auxílio de um refractor de 6,5" de abertura:

"There was no means of illuminating any spider threads. Fine wires were, therefore, inserted between the lenses of a negative eyepiece. These were coarse enough to be just visible, in black relief, on the dark sky. A star in focus would be hidden behind these wires. To render it visible, therefore, the image of the guiding star was

⁷ Sheehan, W. (1995). *The Immortal Fire Within: The Life and Work of Edward Emerson Barnard*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 44489 6. Osterbrock, D.E. (1984). The rise and fall of Edward S. Holden: Part 1 and Part 2. *Journal of the History of Astronomy*, XV: 81-176.

*thrown slightly out of focus. The intersection of the wires placed over this small luminous disc for guiding, produced four small segments of light. During the exposure the illuminated quadrants were kept perfectly equal – the slightest deviation from equality could be detected. This method permits great accuracy in guiding, even with a small telescope, but requires a brighter star to guide than usual*⁸.

Após a realização destas primeiras imagens (1889) Barnard nota uma detrioração na lente de Willard e esta é enviada para a oficina de John A. Brashear em Pittsburgh. Após a reparação, a lente é montada numa equatorial fotográfica abrigada por uma cúpula em 1892 recorrendo a uma verba disponibilizada pelo Coronel C.F. Crocker (Figura 7). A cúpula projectada por Barnard, possuía uma abertura generosa para facilitar as longas exposições e uma câmara escura associada, dividida em duas áreas distintas, onde as chapas fotográficas eram montadas e reveladas (Figura 7). As primeiras imagens obtidas com o telescópio de Crocker foram efectuadas em 17 de Junho de 1892. Uma destas astrofotografias na região de ρ Ophiuci, com apenas 45 min de exposição não revelou grandes pormenores na nebulosa associada a esta estrela. Algumas noites mais tarde Barnard obtém uma imagem na região do Sagittarius com 4h30min de exposição que revelava uma quantidade apreciável de nebulosas. Detecta pela primeira fotograficamente nebulosas escuras que denomina de "Black holes".

As astrofotografias realizadas com o auxílio deste instrumento revelaram pela primeira vez estruturas na Via Láctea nunca antes registadas. Barnard refere a propósito das suas astrofotografias realizadas com o auxílio do telescópio Crocker e da lente Willard (Figura 7 e 8):

"In the photographs made with the six-inch portrait lens, besides myriads of stars, there are shown, for the first time, the vast and wonderful cloud forms, with all their remarkable structure of lanes, holes and black gaps and sprays of stars".

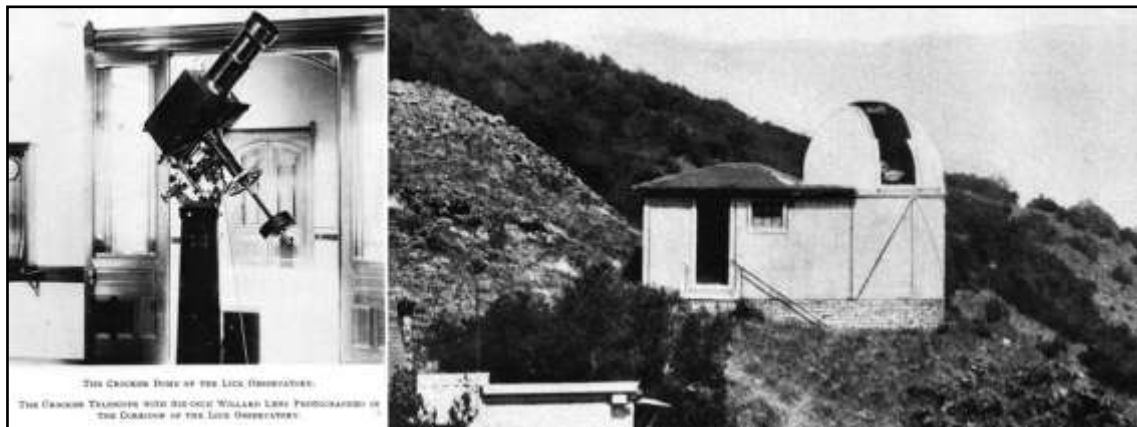


Figura 7- Telescópio Crocker (lente Willard 6") e cúpula (observatório de Lick).

A propósito destas mesmas imagens Edwin Brant Frost (1866-1835) refere:

*"Barnard's long exposures with this instrument brought out the wonderful richness of the star clouds and other features of the Milky Way as they had never before been revealed. They thrilled him and his associates with their significance and beauty, and later the entire scientific world shared in this appreciation of them"*⁹

As astrofotografias obtidas entre 1892 e 1895 com o telescópio Crocker são finalmente publicadas em forma de Atlas pelo observatório de Lick em 1913¹⁰. Este volume inclui 129 gravuras com imagens de grande campo e de cometas. Barnard nunca se mostrou satisfeito com a impressão das astrofotografias. Quando o atlas foi finalmente publicado Barnard já estava a trabalhar na publicação de um segundo Atlas que constitui a sua obra monumental "Atlas of Selected Regions of the Milky Way".

Em 1895 Barnard integra a equipa do observatório de Yerkes. Este observatório fundado por George E. Hale estava situado próximo de Chicago e do lago Geneva. Barnard passou a ter acesso ao maior refractor do mundo (40") que foi completado em 1897. Apesar das condições de observação serem manifestamente inferiores às do observatório de Lick (turbulência elevada e reduzido número de noites sem núvens), Barnard continuou com algum sucesso o seu extenso programa de observação de cometas e de obtenção de astrofotografias de grande campo.

⁸ Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

⁹ Tenn, J.S. (1992). Edward Emerson Barnard: The Fourteenth Bruce Medalist. *Mercury*, September/October: 164-166.

¹⁰ Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

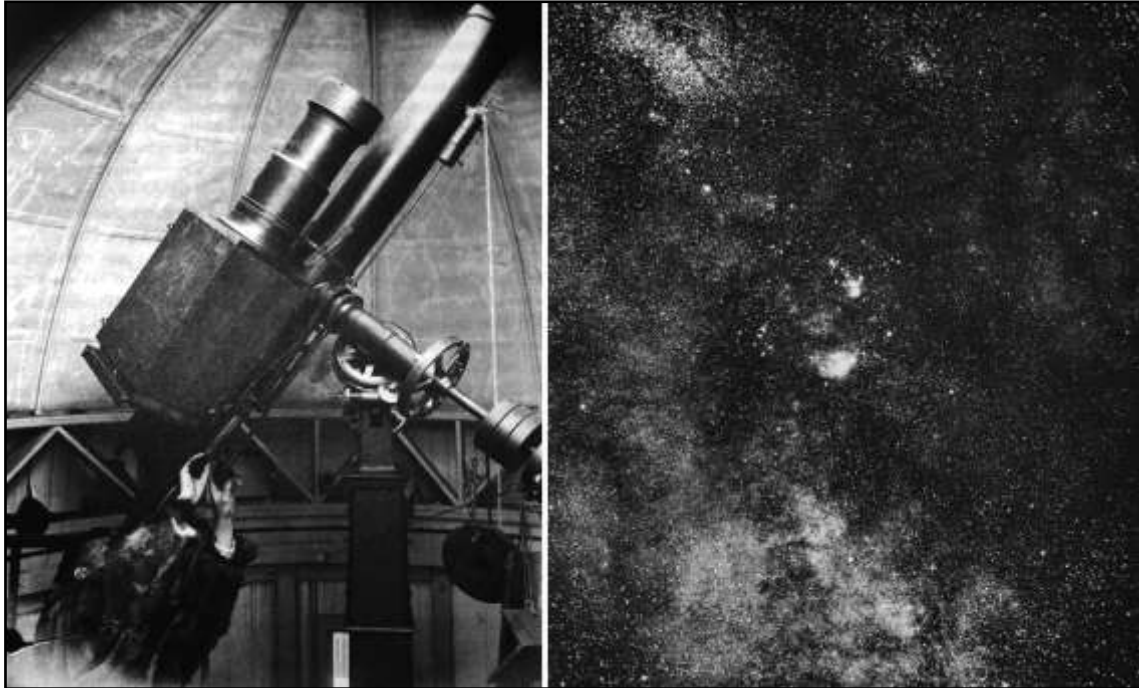


Figura 8- Telescópio Crocker. Região do Sagittarius 3h de exposição: Plate 51 - Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. Publications of Lick Observatory, vol. 11.

Em 1897 Catherine Wolfe Bruce providencia fundos para a construção de um telescópio astrofotográfico com características inovadoras. O telescópio de Bruce era composto por duas câmaras distintas: (i) *Brashear* 250 mm $f/5$; (ii) *Vöigtlander* 16mm $f/5$ e uma luneta guia de 125 mm de abertura. Todos os instrumentos eram suportados pela mesma montagem equatorial concebida por Barnard e que permitia a realização de astrofotografias durante várias horas sem ter que se recorrer à mudança de meridiano ("meridian flip"). Utilizou ainda uma câmara auxiliar (*Clark* 87 mm $f/5.9$). O astrógrafo principal (250 mm) utilizava chapas de 30 x 30 cm com uma escala de $13,5 \times 13,5$ ^{o11} (Figura 9).

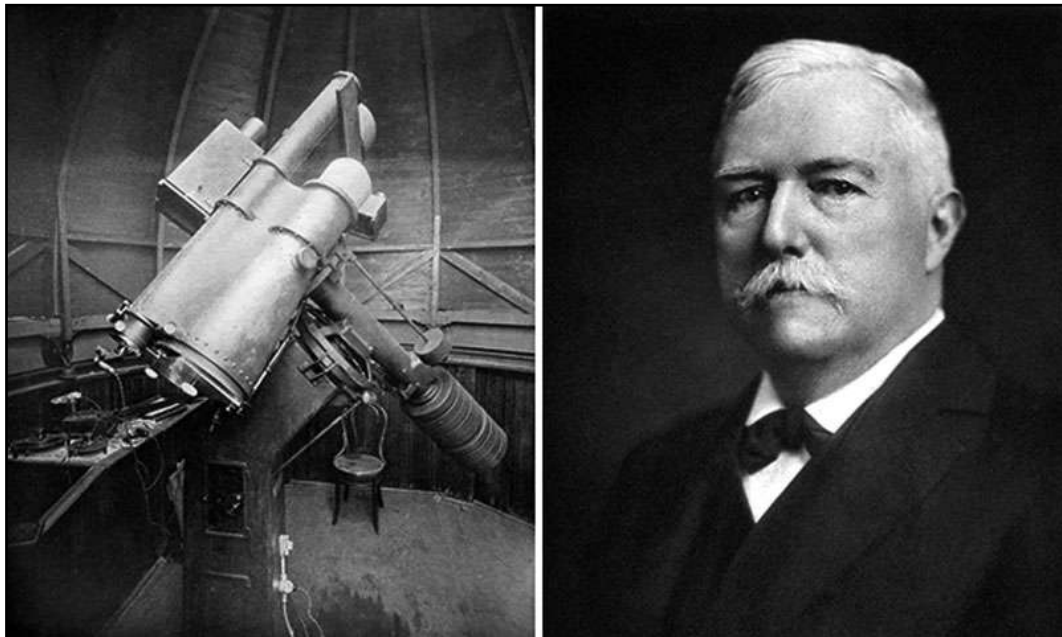


Figura 9- Astrógrafo Bruce e E.E. Barnard (1917).

¹¹ Barnard, E.E. (1905). The Bruce photographic telescope of the Yerkes Observatory. *Astrophysical Journal*, 21: 35-48

Barnard usou este instrumento durante alguns anos realizando centenas de astrofotografias de grande campo. O "Atlas of Selected Regions of the Milky Way" foi publicado em 1927 (5 anos após a sua morte) e incluía 50 estampas originais. Cerca de 40 astrofotografias foram realizadas no observatório do Mount Wilson durante uma missão que Barnard efectuou em 1905 (Figura 10).

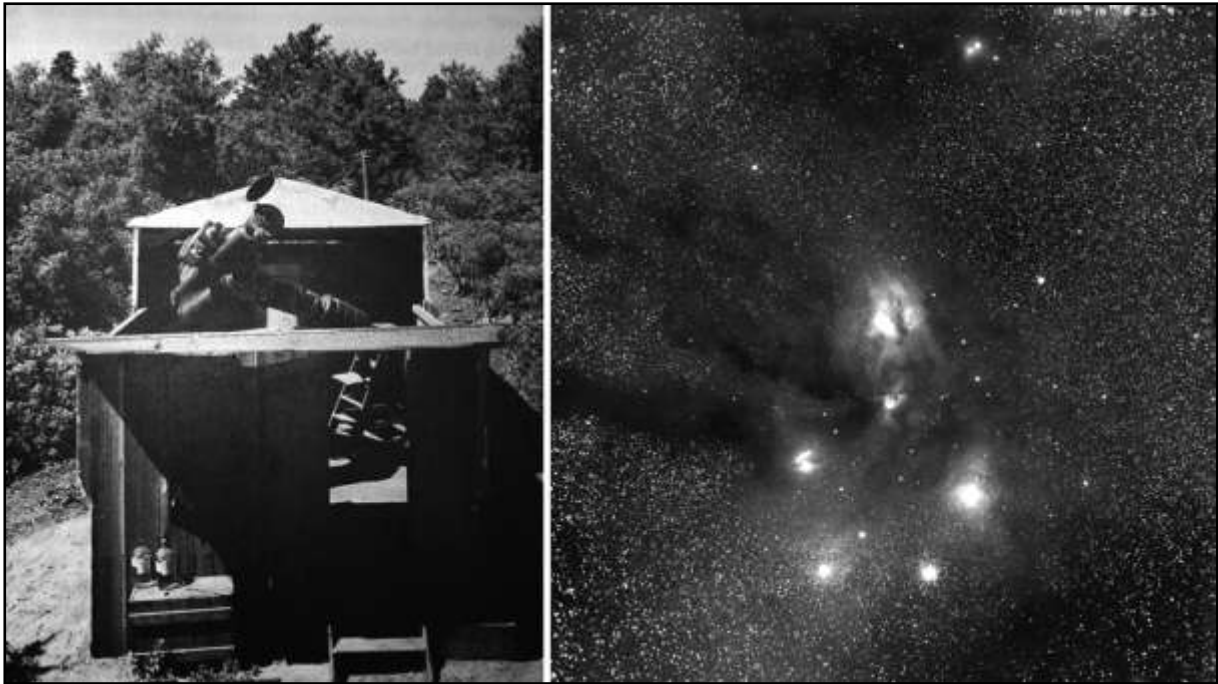


Figura 10- Telescópio Bruce instalado num observatório temporário (Mount Wilson). Região de Rho Ophiuchi, 4h30m de exposição, 5 de Abril de 1905.

As primeiras astrofotografias foram realizadas na noite de 27 de Janeiro de 1905. Durante cerca de 8 meses Barnard obtém centenas de imagens de grande campo. John Couch Adams descreve as condições em que as imagens foram obtidas¹²:

"Barnard's hours of work would have horrified any medical man. Sleep he considered a sheer waste of time, and for long intervals would forget it altogether. After observing until midnight, he would drink a large quantity of coffee, work the remainder of the night, develop his photographs, and then join the solar observers at breakfast. The morning he would spend in washing his plates, which was done by successive changes of water, since running water was not yet available. On rare occasions he would take a nap in the afternoon, but usually he would spend the time around his telescope. He liked to sing, although far from gifted in the art, but reserved his singing for times when he was feeling particularly cheerful. Accordingly, when we at the Monastery heard various doleful sounds coming down the slope from the direction of the Bruce telescope, we knew that everything was going well and that the seeing was good"

A intenção de Barnard foi a de "contribuir para um melhor conhecimento de algumas áreas da Via Láctea". Foram apenas publicados 700 exemplares do Atlas e Barnard inspeccionou pessoalmente cada uma das 35000 gravuras¹³. O Atlas compreende unicamente imagens obtidas em regiões seleccionadas da Via Láctea (Figura 11). Não houve a pretensão de cobrir a totalidade do céu.

As numerosas astrofotografias realizadas por E. Barnard mostraram pela primeira vez vastas regiões da Via Láctea desprovidas de estrelas, as nebulosas escuras (ou nebulosas de absorção). Barnard catalogou 349 nebulosas deste tipo. Cedo compreendeu que estas áreas correspondiam a gigantescas nuvens de gás e poeira que se tornam aparentes por absorverem a luz, destacando-se como manchas escuras contra os fundos estelares ou nebulosos mais claros. Barnard descreve em 1919 como chegou a estas conclusões:

¹² Sheehan, W. (1995). *The Immortal Fire Within: The Life and Work of Edward Emerson Barnard*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 44489 6.

¹³ O Atlas of selected regions of the Milky Way pode ser consultado on-line em:
http://www.library.gatech.edu/search/digital_collections/barnard/index.html

"I did not at first believe in these dark obscuring masses. The proof was not conclusive. The increase of evidence, however, from my own photographs convinced me later, especially after investigating some of them visually, that many of these markings were not simply due to an actual want of stars, but were really obscuring bodies nearer to us than the distant stars..."¹⁴

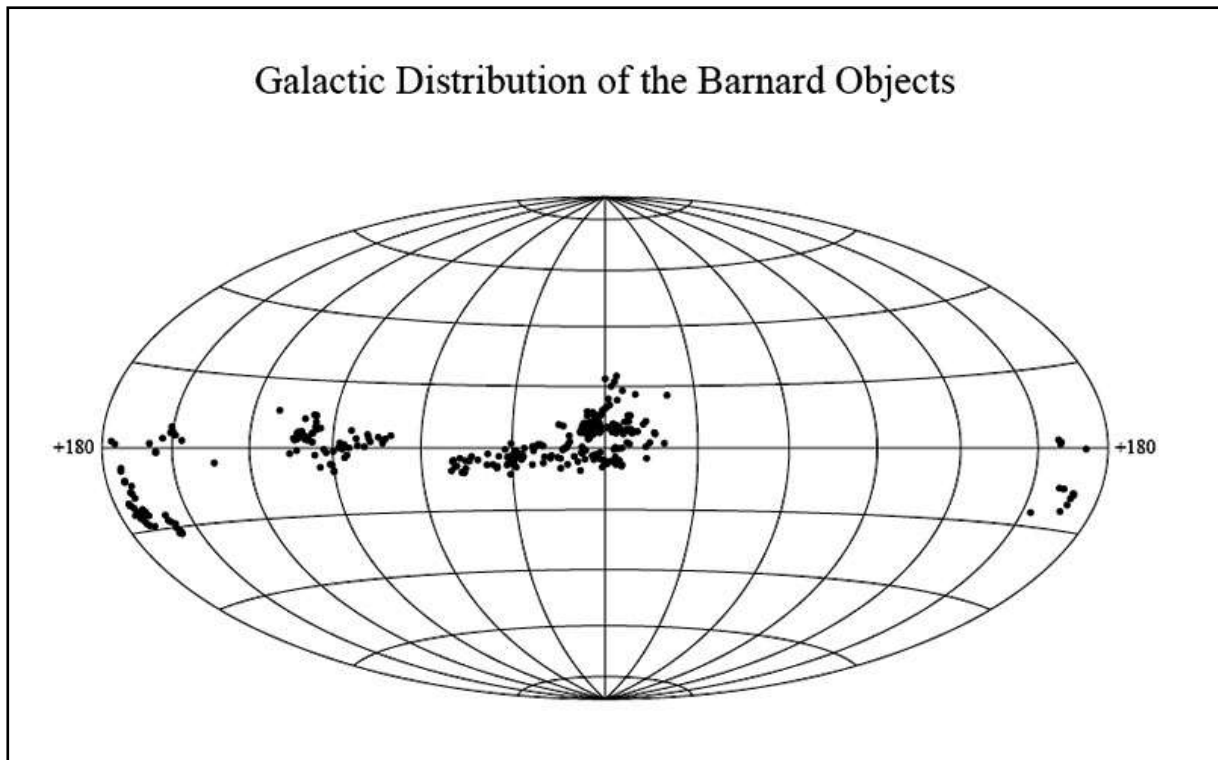


Figura 11- Distribuição das 349 nebulosas obscuras descritas por Barnard.

E.E. Barnard foi um dos últimos grandes observadores visuais e um dos primeiros astrónomos a publicar atlas fotográficos com imagens de grande campo¹⁵.

Cronologia das principais descobertas e realizações de E.E. Barnard¹⁶:

- 1857- Nasce em Nashville (16 de Dezembro de 1857);
- 1866- Torna-se assistente do estúdio de Van Stavoren e trabalha com o ampliador "Júpiter";
- 1876- Lê o seu primeiro livro de astronomia e compra o seu primeiro telescópio;
- 1878- Publica o primeiro artigo científico sobre o trânsito de Mercúrio;
- 1881- Casa com Rhoda Calvert. Recebe o primeiro prémio de \$200 pela descoberta de um cometa. Descobre a primeira nebulosa (NGC 5584). Em 17 de Setembro descobre o seu primeiro cometa. Inicia o pagamento da sua "Comet House" com este prémio;
- 1882- Descobre o segundo cometa a 4 de Setembro. A cidade de Nashville tenta construir um observatório com o seu nome. Barnard recusa;
- 1883- A 1 de Março integra a equipa do observatório da Universidade de Vanderbilt. Descobre uma nebulosa obscura a 17 de Julho durante uma busca de cometas;
- 1884- Descobre mais um cometa (16 de Julho) com um período de 5,4 anos. Descobre a nebulosa NGC 6822.
- 1887- Integra a equipa do observatório de Lick;
- 1888- Descobre mais dois cometas no seu primeiro ano no observatório de Lick;
- 1889- Observa o eclipse total do Sol visível a partir de Lick. Descobre mais dois cometas. Realiza a primeira astrofotografia com a lente de Willard;
- 1891- Descobre mais cinco cometas;

¹⁴ Tenn, J.S. (1992). Edward Emerson Barnard: The Fourteenth Bruce Medalist. *Mercury*, September/October: 164-166.

¹⁵ O primeiro atlas astrofotográfico de todo o céu foi compilado por um astrónomo amador (John Franklin-Adams) que utilizou uma objectiva tripla *Cooke* 250 mm *f*/4.5. As imagens do céu do hemisfério norte foram obtidas em Inglaterra (observatório de Merve Hill) e as do hemisfério sul no observatório Real da Cidade do Cabo durante os anos de 1902 e 1903. Outros atlas astrofotográficos foram igualmente publicados no início do século XX, nomeadamente o "Map of the Sky" em 1903, o "Photographic Map of the Southern Sky South of -19 Degrees" em 1917 e o "Ross-Calvert Atlas of the Milky Way" em 1934 e 1936.

¹⁶ Sheehan, W. (1995). *The Immortal Fire Within: The Life and Work of Edward Emerson Barnard*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 44489 6.

- 1892- O número de cometas descobertos ascende a dezasseis. A 9 de Setembro descobre o 5º satélite de Júpiter;
- 1893- Associa as nebulosas obscuras registadas nas suas fotografias a regiões desprovidas de estrelas;
- 1895- Viaja para o observatório de Yerkes. Obtém um subsídio de \$7000 para a construção de um astrógrafo inovador (telescópio de Bruce);
- 1897- Primeira observação com o refractor de 40" de Yerkes (21 de Maio). Após uma sessão de observação em 28 de Maio o chão móvel do observatório colapsa. As observações só podem ser retomadas em Agosto. O novo telescópio é inaugurado em 21 de Outubro;
- 1898- Tenta medir o paralaxe de M31 sem sucesso;
- 1899/1907- Tenta medir o paralaxe da nebulosa da coruja (M 97) sem sucesso. Tenta registar movimento através de medições com um micrómetro bifilar nos enxames globulares M 3, M 5 e M 13 sem sucesso.
- 1898/1899- Observa uma aurora boreal. Condições de observação muito adversas durante o inverno no observatório de Yerkes;
- 1900- Observa o eclipse total do Sol de 28 de Maio. Observa em 31 de Agosto marcas na superfície de Mercúrio e descreve este planeta como sendo idêntico à Lua;
- 1901- Integra a equipa do Observatório Naval Norte Americano na observação do eclipse total do Sol na ilhas de Sumatra. Não foram registadas quaisquer observações devido às más condições atmosféricas;
- 1904- O telescópio de Bruce é enviado para a Califórnia (Mount Wilson);
- 1905- Chega a São Francisco a 6 de Janeiro. A 27 de Janeiro realiza a primeira astrofotografia com o telescópio de Bruce. Em meados de Setembro regressa ao observatório de Yerkes;
- 1907- Durante a passagem da Terra pelo plano dos anéis de Saturno, afirma correctamente que a Divisão de Cassini não é desprovida de material;
- 1911- Em Novembro, utiliza durante 1 mês o telescópio reflector de 60" do observatório de Monte Wilson;
- 1914- Diagnosticada diabetes. Os médicos impedem-no de utilizar o refractor de 40". Durante este período realiza numerosas fotografias de cometas. Modifica a sua opinião sobre as nebulosas obscuras. Continua a realizar medições com o micrómetro bifilar uma vez que não acreditava que as suas astrofotografias podiam ter interesse astrométrico;
- 1916- Descobre a estrelas de Barnard quando compara imagens recentes com as obtidas em 1894 com a lente de Willard. Esta estrela apresenta um movimento próprio de 10,29" por ano (estudos recentes mostraram que se encontra a apenas 6 anos-luz de distância);
- 1918- Observa o eclipse total do Sol ocorrido a 8 de Junho. As imagens obtidas são de excelente qualidade apesar das condições adversas (nuvens altas). Descoberta independente de uma Nova próximo de Altair;
- 1921- Morre a sua mulher Rhoda;
- 1923- Barnard morre a 6 de Fevereiro.



Figura 12- Visita de Albert Einstein ao observatório de Yerkes. E.E. Barnard oitavo a partir da esquerda (1921).

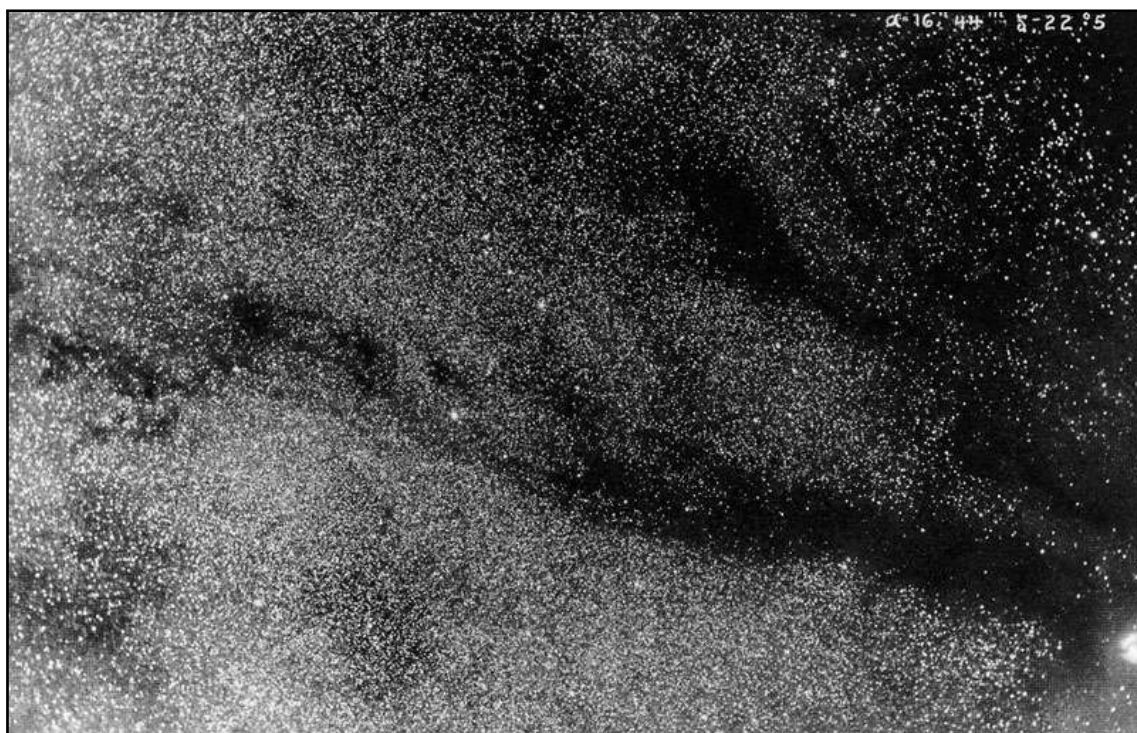


Figura 13- Duas gravuras do "Atlas of Selected Regions of the Milky Way"; em cima A.R. 16 h 44 min Dec. $-22,5^\circ$; em baixo A.R. 4 h 14 min Dec. 28° .

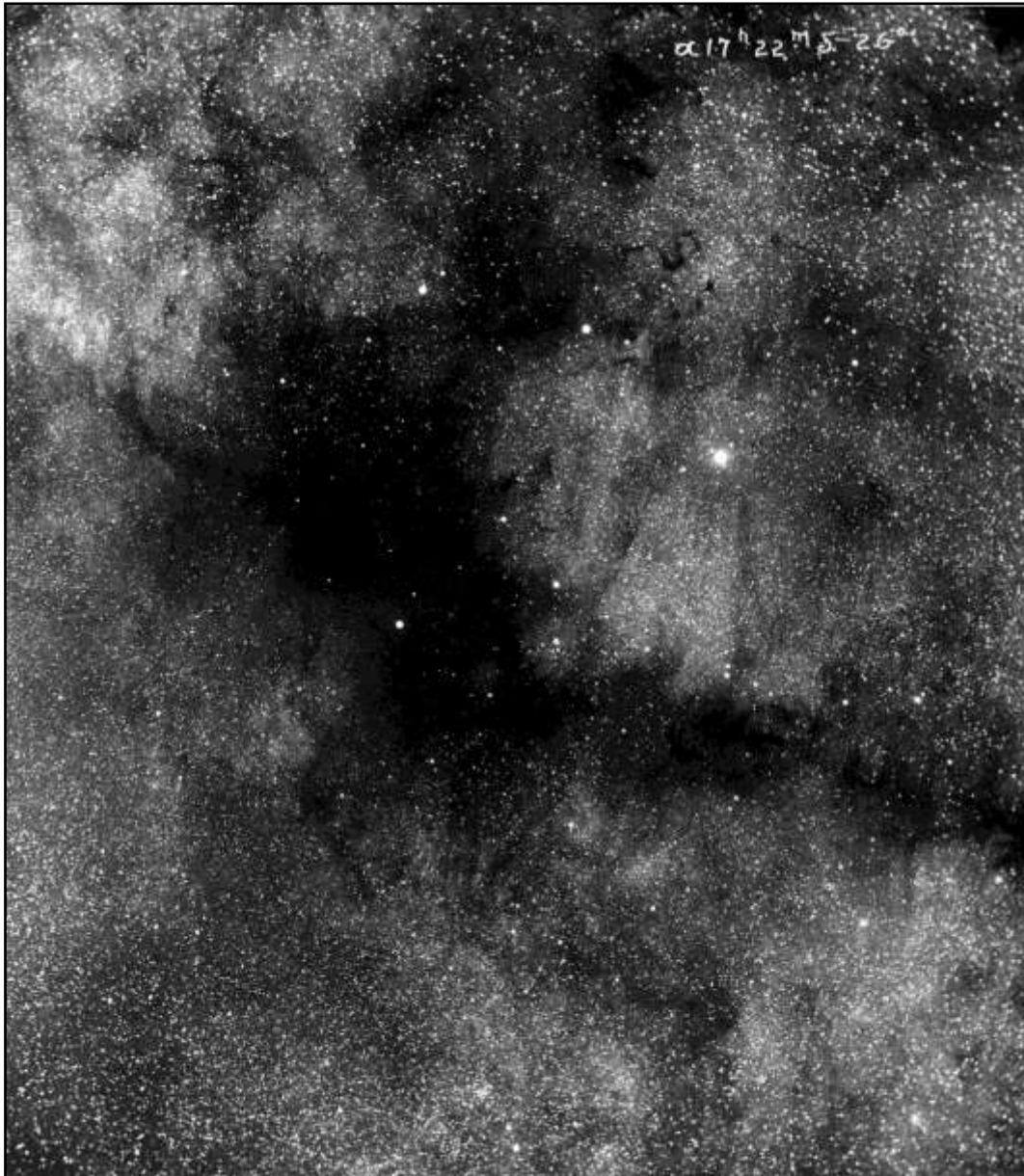


Figura 14- Via Láctea na região de Ophiuchus. Telescópio Bruce, 4h 45min de exposição, 30 de Junho de 1905.

Bibliografia

- Barnard, E.E. (1905). The Bruce photographic telescope of the Yerkes Observatory. *Astrophysical Journal*, 21: 35-48
- Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. *Publications of Lick Observatory*, vol. 11.
- Barnard, E.E. *et al.* (1927). A Photographic Atlas of Selected Regions of the Milky Way. Carnegie Institution of Washington.
- Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part I). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 415: 8pp.
- Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part II). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 416: 8pp.
- Osterbrock, D.E. (1984). The rise and fall of Edward S. Holden: Part 1 and 2. *Journal of the History of Astronomy*, XV: 81-176.
- Osterbrock, D. E. (1984). *James E. Keeler: Pioneer American Astrophysicist and the Early Development of American Astrophysics*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Osterbrock, D.E. (1988). *Eye on the Sky: Lick Observatory's First Century*. Berkeley, California: University of California Press.
- Osterbrock, D.E. (1997). *Yerkes observatory (1892-1950). The Birth, Near Death, and Resurrection of a Scientific Research Institution*. The University of Chicago Press.
- Sheehan, W. (1995). *The Immortal Fire Within: The Life and Work of Edward Emerson Barnard*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 44489 6.
- Tenn, J.S. (1992). Edward Emerson Barnard: The Fourteenth Bruce Medalist. *Mercury*, September/October: 164-166.