

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

Magali Conceição de Barros de Marchi

A Contribuição de Annie Jump Cannon para a
Classificação Espectral de Harvard

DOUTORADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

SÃO PAULO

2017

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
PUC-SP

Magali Conceição de Barros de Marchi

A Contribuição de Annie Jump Cannon para a
Classificação Espectral de Harvard

DOUTORADO EM HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Tese apresentada a banca examinadora da
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo,
como exigência parcial para obtenção do título de
doutora em História da Ciência sob orientação da
Profa.Dra. Márcia Helena Mendes Ferraz.

SÃO PAULO

2017

Banca examinadora

Dedico esta tese aos meus pais

Manoel e Helena

E a minha irmã Maria

Amo vocês.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a CAPES e a FUNDASP pelo apoio financeiro.

Ao meu filho Samuel Luca e ao meu noivo Mauricio por estarem sempre ao meu lado e por compreenderem os momentos em que não pude me dedicar a eles.

À minha orientadora Profa.Dra. Márcia Helena Mendes Ferraz, por toda paciência e pela orientação prestada nesses anos.

À todos os professores da PUC SP por estarem sempre disponíveis para ajudar e por todo conhecimento transmitido.

À todos os amigos que estiveram comigo nesta jornada, compartilhando das mesmas ansiedades.

À minha amiga Sabrina Páscoli, e meu amigo Arnaldo Aragão por tornarem minha trajetória mais fácil e agradável.

À secretária Camila Fernandes por toda atenção, dedicação e auxílio em todos esses anos.

À Silvia Regina da cantina que também fez parte de todo esse percurso.

Ao meu amigo Guilherme Moura Guimarães que sei que sempre torceu pelo sucesso do meu trabalho.

E em especial, ao meu amigo Aroldo Quinto de Souza, que me ajudou a tornar este sonho possível. Sem seu auxílio, este momento talvez tivesse que ter sido adiado ou até mesmo poderia não ter acontecido.

Resumo

No final do séc. XIX e início do séc. XX, houve um avanço tecnológico no que diz respeito ao uso do telescópio: a introdução da fotografia para registro das imagens que eram observadas facilitou o acesso das mulheres em um ambiente até então considerado predominantemente masculino, o observatório.

Este estudo tem como eixo principal a Classificação Espectral desenvolvida por Annie Jump Cannon e a importância da espectroscopia nos estudos astronômicos.

A Classificação Espectral de Harvard, como ficou conhecida, ainda é utilizada atualmente.

Para compreender esse período serão mostrados os pontos principais da evolução tecnológica dos telescópios, a introdução da fotografia na astronomia, a espectroscopia como ferramenta para estudos astronômicos e um exemplo do início da classificação espectral de uma estrela feita por Cannon.

Palavras chave

História da Ciência, História da Astronomia, Classificação Espectral, Annie Jump Cannon, Espectroscopia Astronômica, telescópio

Abstract

At the end of the 19th and beginning of the 20th there was a technological advance regarding the use of the telescope: the introduction of the photograph to record the images that were observed facilitated the access of the women in an environment previously considered predominantly masculine, the observatory.

This study has as its main axis the Spectral Classification developed by Annie Jump Cannon and the importance of spectroscopy in the astronomical studies.

The Harvard Spectral Classification, as it became known, is still used today.

To understand this period will be shown the main points of the technological evolution of telescopes, the introduction of photography in astronomy, spectroscopy as a tool for astronomical studies and an example of the beginning of the spectral classification of a star made by Cannon.

Keywords

History of Science, History of Astronomy, Spectral Classification, Annie Jump Cannon, Astronomical Spectroscopy, Telescope

Sumário

Introdução	1
 Capítulo 1 A astronomia nos séculos XIX e XX: as mudanças na construção de telescópios e sua importância para o conhecimento das estrelas	3
1.1 Diferentes tipos de telescópios e observatórios	3
1.2 O Harvard College Observatory e a importância da fotografia em suas pesquisas	15
1.3 As mulheres Calculadoras de Harvard	23
1.4 Annie Jump Cannon.....	25
 Capítulo 2 Como são as estrelas	30
2.1 Nossa Estrela: O Sol.....	30
2.2 Estrelas variáveis.....	32
2.2.1 Cefeidas.....	32
2.2.2 Novas.....	34
2.2.3 Supernovas.....	35
2.3 Espectroscopia.....	37
2.4 Espectroscopia Astronômica.....	43
 Capítulo 3 As pesquisas no Harvard College Observatory.....	50
3.1 A espectroscopia no Harvard College Observatory	50
3.2 Classificação Espectral.....	52
3.3 Classificação Espectral de Harvard.....	57
3.4 Classificação do Espectro da Nova Aquilae 1918.....	60
 Considerações finais.....	73
Bibliografia.....	76

Introdução

O céu sempre provocou interesse e fascínio em vários povos em todas as épocas decifrar os mistérios que o envolvem, distinguir o que vemos aqui debaixo, compreender o que são esses pequenos pontos imutáveis de luz, que mensagens ocultas podem ter nos desenhos traçados por essas luzes; estas e muitas outras indagações foram feitas. O estudo dos astros é algo que acompanha a evolução da humanidade, antes mesmo de se chamar astronomia como é conhecida hoje essa ciência.

Muitos nomes surgiram durante o passar dos séculos e trouxeram com eles novos conhecimentos para a astronomia.

Com o passar do tempo, foram criadas outras maneiras de se conseguir enxergar além dos próprios olhos, podemos utilizar como exemplo Galileu Galilei que, no séc. XVII voltou, para o céu, o telescópio e pôde, assim, aproximar os astros e observar o que os olhos sozinhos não podiam.

Galileu descobriu muitas coisas, como por exemplo, que a Lua não era lisa, que a Via Láctea não era feita de exalações celestiais, como dizia Aristóteles, mas de um conjunto de estrelas. Essas foram observações que começaram a modificar a percepção do céu.

Em 1672, Isaac Newton fez um telescópio refletor que usava espelhos no lugar de lentes. Com o uso do telescópio e seus avanços, a astronomia conseguiu trilhar passos mais largos, e assim outras descobertas foram feitas, principalmente sobre a natureza das estrelas.

No decorrer desta tese, iremos apresentar Annie Jump Cannon(1863-1941) e seu trabalho de classificação espectral, que foi baseado em observações de chapas fotográficas, em que se torna essencial a participação do telescópio juntamente com a fotografia.

A contratação das mulheres pelo Harvard College Observatory, para a função que exerciam, ou seja, trabalhar com cálculos astronômicos, foi possível devido à introdução da fotografia na astronomia, pois assim como não era aconselhável o trabalho feminino à noite, mesmo que muitas mulheres não possuísem acesso direto ao telescópio, elas puderam realizar suas pesquisas com êxito.

O papel do telescópio na astronomia não se restringiu apenas ao de um mero instrumento de observação, ele vai além, pois, com suas inovações tecnológicas, trouxe uma nova visão dos céus.

O desenvolvimento tecnológico, ocorrido com o telescópio, trouxe avanços na ciência e as suas observações passaram a ter outra forma de registro, antes era o desenho depois passou a ser a fotografia. O registro fotográfico continha informações mais nítidas e agora elas podiam ser compartilhadas e discutidas com um grupo de pesquisadores.

Embora o tema central desta tese seja a participação das mulheres na Classificação Espectral, tendo como foco central o trabalho de Annie Jump Cannon. A construção de observatórios, o avanço tecnológico dos telescópios, a introdução da fotografia na astronomia, a espectroscopia; serão assuntos que nortearão esta tese, em seus diferentes capítulos.

Serão abordados os documentos *The Spectrum of Nova Aquilae nº 3* e o Catálogo Henry Draper que ilustraram o trabalho de Cannon.

Capítulo 1

A astronomia nos séculos XIX e XX: as mudanças na construção de telescópios e sua importância para o conhecimento das estrelas

O século XIX foi repleto de mudanças no cenário da física e da astronomia, esta última passou a voltar sua atenção para além do nosso sistema solar e no século XX ultrapassou a nossa galáxia, sua visão começou a ser ampliada para uma parte ainda desconhecida do universo, onde ainda havia muitos mistérios a serem desvendados¹.

Muitas pesquisas estavam sendo realizadas e a necessidade de se interpretar o que se via no céu foi aumentando, à medida que as certezas que se tinham a respeito dos astros não mais satisfaziam os pesquisadores e também não esclareciam alguns pontos que ainda necessitavam ser explorados, como, por exemplo, a natureza das estrelas.²

Uma das contribuições do séc. XIX foi o desenvolvimento e aprimoramento dos telescópios, equipamentos estes que trouxeram uma visão mais ampliada para a astronomia.

1.1 Diferentes tipos de telescópios e os Observatórios

Muitos nomes tiveram destaque nessa fase da história, um deles foi Sir William Herschel (1738-1822). Astrônomo de origem germânica, naturalizado inglês aos 19 anos, Herschel teve sua educação baseada na música, foi maestro e oboísta³, mas despertou seu interesse pela astronomia.

O desejo de fazer suas próprias observações o levou a construir um telescópio, ajudado por um mecânico e por sua irmã Caroline Herschel (1750-

¹ Martins, *O Universo*, 256.

² Ibid, 129.

³ Clerke, *The Herschels*, 10.

1848)⁴. Em 1773 construiu seu primeiro equipamento, e em 1781 descobriu o planeta Urano⁵. Sua dedicação estendeu-se também aos estudos sobre nebulosas no início do sec. XIX.

Caroline Herschel, bem como toda sua família, era envolvida com a música, dedicando-se ao canto⁶, mas se deixou levar pela paixão do irmão pela astronomia e iniciou seus trabalhos como seu auxiliar, fazendo observações, mas também teve seus próprios projetos. Entre os anos de 1786 e 1797, ela se dedicou a buscar cometas.⁷ Podemos dizer que Caroline foi uma mulher que soube aproveitar as oportunidades que lhe surgiram.

Em 1782, William Herschel foi nomeado astrônomo real do Rei George III (1738-1820)⁸ e sua irmã foi a assistente, tornando oficial essa posição em 1787. Dessa forma, Caroline Herschel tornou-se a primeira mulher a ocupar o cargo e a receber um salário nessa função⁹.

Em suas observações, Herschel percebeu que, quando olhava as nebulosas por telescópios menores, não conseguia distingui-las, pareciam-se com manchas de luz. Com seus grandes telescópios, algumas assemelhavam-se a um aglomerado de estrelas. Isso devido à abertura do telescópio que permitia que uma maior quantidade de luz penetrasse, resultando em imagens mais nítidas¹⁰.

⁴ Clerke, *The Herschels*, 15.

⁵ Maciel, *Astrofísica*, 26.

⁶ Clerke, *The Herschels*, 10.

⁷ Ibid, 122.

⁸ Ibid, 34.

⁹ Ibid, 125.

¹⁰ Herschel, *Scientific papers*, 39.

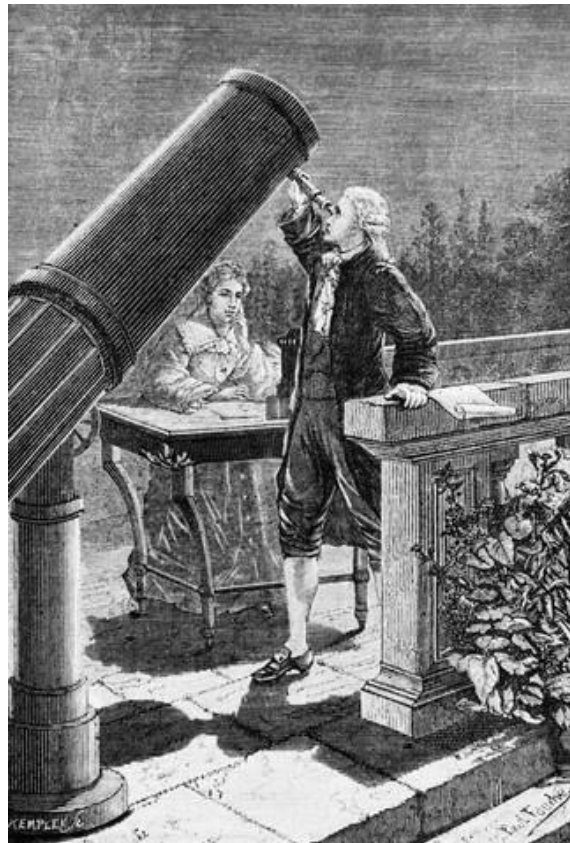


Figura1¹¹: William Herschel e Caroline Herschel fazendo observações

As dificuldades encontradas por Herschel eram também devido à potência do telescópio, embora seu equipamento fosse maior, para as observações serem realizadas de forma satisfatória há a necessidade de um clima propício, independente da capacidade do telescópio.

Além do tamanho e potência do telescópio, Herschel fez várias experiências com seus espelhos de metal polido e percebeu que outro fator influenciava na captação de boas imagens, concluindo que, com os espelhos de vidro, os raios refletidos eram melhor captados.¹²

¹¹<https://teacherdeniseselmo.files.wordpress.com/2010/11/caroline-and-william-herschel-02.jpg> (acessado em 15/10/2016).

¹²Ibid, 40.

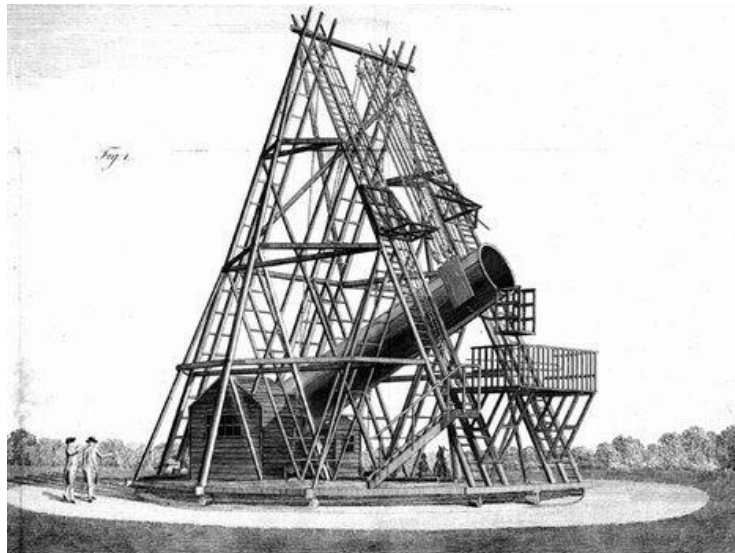


Figura 2¹³: Telescópio de Herschel

Apesar das dificuldades, o astrônomo fez aperfeiçoamentos em seus equipamentos, principalmente referentes aos espelhos utilizados¹⁴, com isso conseguiu elaborar um catálogo com cerca de 2000 nebulosas.

Os registros de suas observações eram feitos através de desenhos, recurso utilizado pelos astrônomos da época, um exemplo são os registros das nebulosas feitos por Herschel.

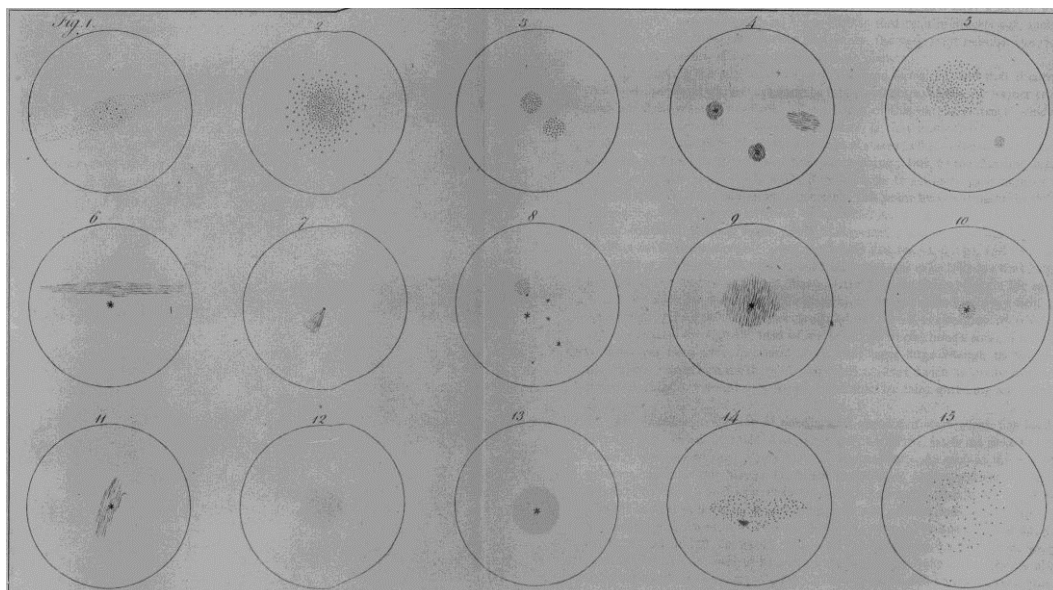


Figura 3¹⁵: Desenho das nebulosas feito por Herschel

¹³<http://www.ruf.rice.edu/~trw/telescopes.html> (acessado em 15/10/2016).

¹⁴ Maciel, *Astrofísica* 27.

¹⁵<http://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/optical/history/05.html>.(acessado em 15/10/2016).

As pesquisas sobre as nebulosas atravessaram o séc. XIX, coube ao filho de Herschel, John Frederick William Herschel (1792-1871), continuar o trabalho de seu pai conseguindo, assim, catalogar cerca de 2500 nebulosas¹⁶.

Outro nome que esteve associado a esse assunto foi Edwin Powell Hubble (1889-1953), astrônomo americano do séc. XX, realizou muitos estudos na área da astronomia e um deles era sobre a natureza das nebulosas. Ainda que o conhecimento sobre as nebulosas tivesse se desenvolvido muito desde a época de Herschel, persistiam algumas questões que intrigavam Hubble e uma delas dizia respeito às nebulosas espirais¹⁷.

O interesse de Hubble por essas nebulosas já se manifestava quando trabalhava no Observatório de Yerkes, situado em Wisconsin e operado pela Universidade de Chicago¹⁸, ele acreditava que eram extragalácticas e que pareciam ser pequenas devido à grande distância que se encontravam.

Hubble em seu livro *The Realm of the Nebulae* diz:

A estrutura espiral foi encontrada na maioria, embora não em todos os objetos visíveis. Elas possuem muitas características em comum e parecem formar uma única família. Elas receberam vários nomes, mas para antecipar são agora conhecidas como nebulosas 'extragalácticas' e serão chamadas simplesmente 'nebulosas'. O estado das nebulosas, como o grupo é agora definido, era indeterminado, pois as distâncias eram totalmente desconhecidas. Elas definitivamente estavam fora dos limites de observação direta e as poucas e indiretas evidências

¹⁶ Herschel, *Scientific papers*, 28-29.

¹⁷ Damineli, *Hubble*, 53.

¹⁸ No sec. XVIII alguns astrônomos já haviam observado, a presença de corpos extensos e difusos, aos quais chamaram de nebulosas. Essas nebulosas podem ser nuvens de gás iluminadas por estrelas dentro delas, cascas de gás ejetadas por estrelas em estágio final de evolução, aglomerados de estrelas. As nebulosas espirais ainda era um mistério, até que em 1923 Edwin Powell Hubble utilizando de um telescópio de 100 polegadas em Monte Wilson e tendo conhecimento da Relação Período Luminosidade desenvolvida por Henrietta Swan Leavitt, descobriu e conseguiu observar que as nebulosas espirais eram na verdade outras galáxias como a nossa Via Láctea. Vide Damineli, *Hubble*, 52-65.

relacionadas com o problema poderiam ser interpretadas de várias maneiras¹⁹.

Além dessa proposta de Hubble, outra teoria dizia que as nebulosas eram astros que estavam dentro da Via Láctea, ideia defendida por outro astrônomo, Harlow Shapley (1885-1972), que trabalhava na época no Observatório de Monte Wilson.

Na verdade, essas teorias ainda estavam no patamar das especulações, pois ainda não havia um meio de medir as distâncias das nebulosas, dessa forma não era possível confirmar se estavam dentro ou fora da nossa galáxia²⁰.

Apenas em 1923, Hubble, de posse do conhecimento da relação Período Luminosidade de Estrelas Variáveis desenvolvida por Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), que permitia medir distâncias de estrelas fora da nossa galáxia, conseguiu verificar a distância de estrelas presentes em Andrômeda, confirmando, assim, ser uma nebulosa extragaláctica²¹.

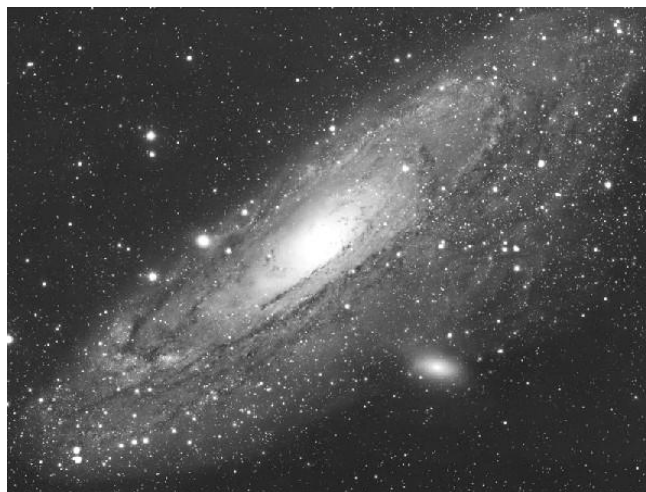


Figura 4²²: Nebulosa de Andrômeda

Juntamente com as teorias de Shapley e Hubble, outras se desenvolviam, como por exemplo, aquelas derivadas dos estudos de Albert

¹⁹ Hubble, *The Realm*, 27.

²⁰ Damineli, *Hubble*, 52-53.

²¹ Marchi, "Henrietta Swan Leavitt", 58.

²² http://www.ccvalg.pt/astrologia/galaxias/descoberta_galaxias/m31.jpg (acessado em 15/10/2016)

Einstein para validar sua Teoria da Relatividade. Einstein acreditava em um universo estacionário, daí seu interesse em medir as distâncias dos astros e saber se havia ou não contração ou expansão²³.

Temos também, na primeira metade do séc. XX, astrônomos interessados em compreender como se deu a origem do universo. Um dos modelos foi a teoria do Big Bang, vinda de estudos do padre e astrônomo belga George Lemaitre (1894-1966) e depois anunciada por George Gamow (1904-1968)²⁴.

Para se comprovar essa teoria, a questão de medir as distâncias de astros fora de nossa galáxia tornava-se presente, pois o afastamento dos astros seria um dos pilares que sustentariam essa tese, bem como esclareceria a dúvida sobre a distância das nebulosas.

Essas pesquisas tinham algo em comum, para que fossem levadas adiante, eram necessários, entre outros conhecimentos, telescópios mais potentes, por isso houve, nessa área, um vultuoso investimento por parte de instituições e pessoas que se interessavam por astronomia, como veremos alguns exemplos nos próximos parágrafos.

Assim, após a morte de William Herschel, o terceiro conde de Rosse, William Parson(1800-1867), completou em 1845 a construção de um telescópio refletor com 1,8 m de diâmetro em sua propriedade na Irlanda.²⁵

²³ Einstein, *A teoria da Relatividade*, 87-88.

²⁴ Hawking, *Uma Breve história*, 26.

²⁵ Woods, *The monster*, 32.



Figura 5²⁶ : Telescópio Rosse

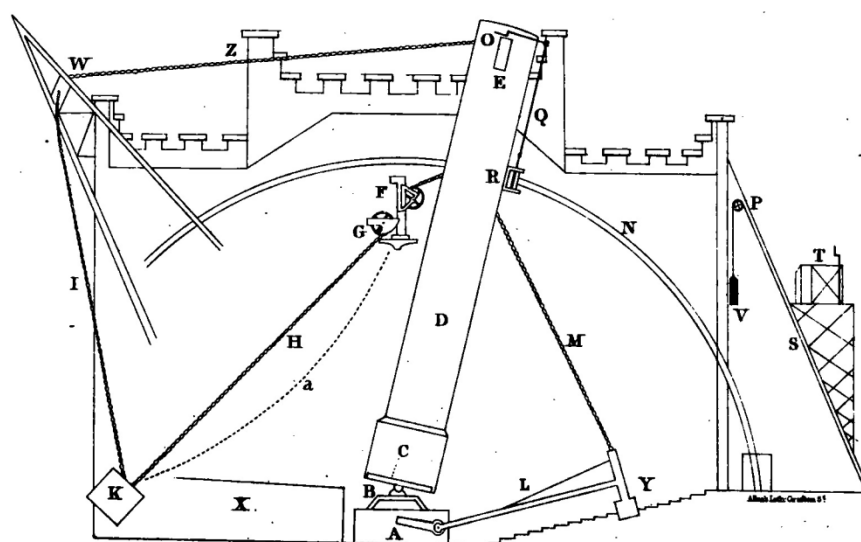


Figura 6²⁷

²⁶ <http://www.letraherido.com/images/imagenes%20telescopios/rosse4.jpg> (acessado em 15/10/2016).

²⁷ <https://archive.org/stream/monstertelescop01woodgoog#page/n58/mode/2up> (acessado em 21 de dezembro de 2016).

A figura acima mostra o Telescópio de Rosse de forma esquematizada.

Descrição das partes da figura:

A – Alvenaria para trabalho no solo

B – Articulação universal que permite ao tubo virar em todas as direções

C – Caixa do espelho

D – Tubo

E – Ocular

F – Polia móvel

G – Polia fixa

H – Corrente ao lado do tubo

I – Corrente a partir do feixe

K – Contrapeso

L – Alavanca

M – Corrente que conecta a alavanca ao tubo

Z – Corrente que passa do tubo para o guincho sobre uma polia e um feixe de treliça que vai de W para a mesma posição na parede oposta a polia não é vista.

X- Estrada de ferro em que o espelho é extraído de sua caixa

O telescópio Rosse foi construído com espelho de metal polido, um dos maiores vistos naquela época. Pedro P. Ortiz o descreve:

“O maior telescópio de que se conhecia foi feito pelo conde de Rosse, e tendo sido iniciado em 1842 não esteve em condições para servir até fevereiro de 1845[...] A base é de estrutura articulada e os quadros de movimentos sustentados por correntes e polias móveis e é facilmente movida entre as duas altas paredes[...] a partir do qual o observador pode escolher a posição que melhor lhe convier.”²⁸

²⁸ Ortiz, *Principios Elementales*, 341.



Figura 7²⁹:

Com esse telescópio, Conde de Rosse conseguiu registrar a imagem de uma nebulosa espiral, a Messier 51 ou M51. Ele fez esse registro através de um desenho com lápis, a figura abaixo mostra a comparação entre a imagem feita por Rosse e uma fotografia atual.³⁰

Vemos que o desenho de Rosse chega muito próximo da fotografia, mostrando que com seu telescópio ele conseguia obter boas imagens.

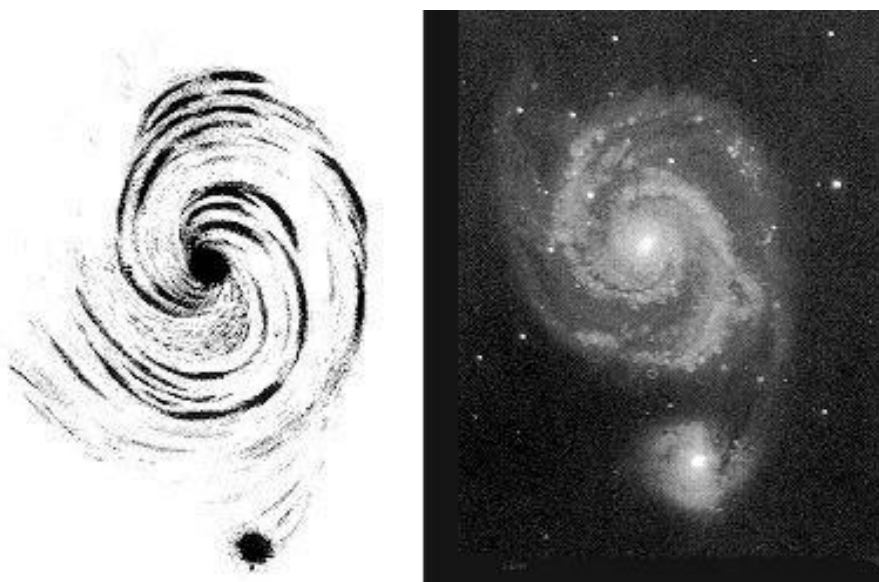


Figura 8³¹

²⁹Sistema de correntes e roldanas do telescópio Ross
https://histoptica.files.wordpress.com/2011/03/leviatc3a1n_detalhes_3.jpg (acessado 05 de outubro de 2016)

³⁰http://messier.seds.org/more/m051_rosse.html (20/12/2016)

³¹ http://messier.seds.org/more/m051_rosse.html (acessado em 20/12/2016).

Além da preocupação com a qualidade de espelhos, a manipulação do instrumento começou a ser levada em consideração para facilitar as observações.

Para se tentar resolver o problema da interferência atmosférica, outro fator que interferia em boas observações, foram construídos observatórios a grandes altitudes, um deles foi o Observatório Lick, construído em 1881, situado no Monte Hamilton a 1.300 m de altitude. Acreditava-se que em grandes altitudes conseguiriam imagens mais nítidas, fato posteriormente comprovado.

O sucesso do observatório estimulou o interesse por esse tipo de construção devido aos bons resultados das observações³².



Figura 9³³: Cume do Monte Hamilton



Figura 10³⁴: Construção do Observatório de Lick

Em 1888, foi construído o Telescópio Grande Refrator³⁵ em Monte Hamilton na Califórnia. Ele possuía 90 cm de diâmetro e posteriormente, em 1897, foi inaugurado o Grande Refrator de 1 m de diâmetro em Wisconsin no Observatório de Yerkes. O que diferenciava esses telescópios dos mais antigos

³² *The Lick Observatory*, 186.

³³ http://collections.ucolick.org/archives_on_line/images/road1.jpg (acessado em 05/09/2016).

³⁴ http://collections.ucolick.org/archives_on_line/images/early_summit.jpg (acessado em 05/09/2016).

³⁵ *Telescópios refratores são formados por lentes*, um exemplo é a luneta de Galileu, já os refletores são constituídos de espelhos. Foi Isaac Newton que em 1672 sugeriu a substituição das lentes por espelhos para que se diminuísse o problema da aberração cromática (dispersão da luz causada pela lentes devido a refração) esse fenômeno provocava uma interferência na imagem obtida. Para os refratores com lentes com grandes diâmetros esse problema não interferia, pois com uma distância focal maior os raios da luz branca que se dispersavam voltavam a se encontrar praticamente no mesmo ponto. A partir de 1930 praticamente não houve mais a construção de telescópios refratores, pois a fabricação de espelhos para telescópios foi avançando conseguindo-se assim espelhos que possibilitavam imagens mais nítidas e também e poderia se fazer telescópios com maiores aberturas. Vide: GREF Física2: Térmica e óptica, 301.

era a engenharia envolvida, pois, agora, esses instrumentos podiam ser manuseados com maior facilidade.

O astrônomo inglês George Biddell Airy (1801-1892) e o fabricante do martelo a vapor James Nasmyth (1808-1890) foram alguns dos responsáveis por empregar, na construção dos telescópios, técnicas envolvidas na construção de máquinas para navio modificando, assim, o sistema de apoio dos telescópios³⁶.

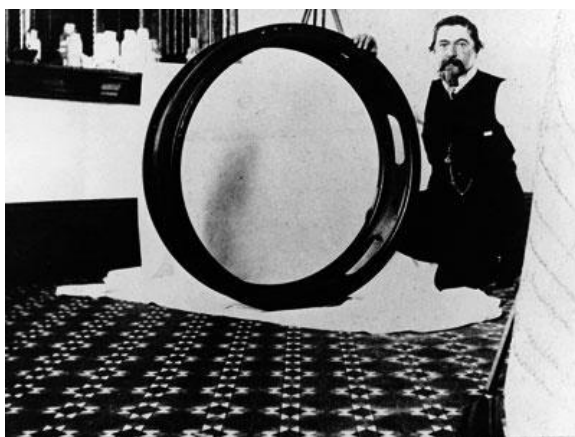


Figura 11³⁷: Lente de 90 cm do Grande Refrator

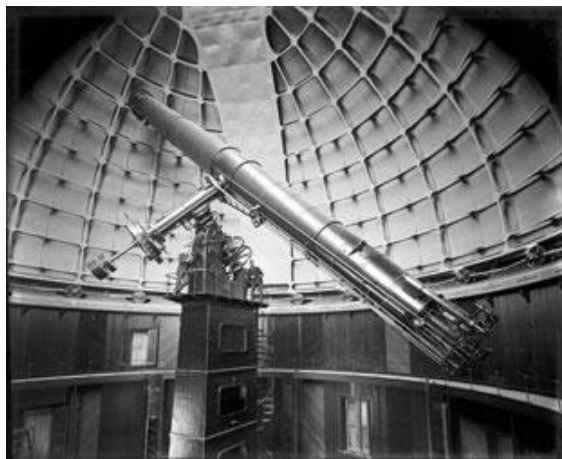


Figura 12³⁸: Telescópio Grande Refrator

Com a chegada do séc. XX, houve uma evolução nos telescópios. Um dos responsáveis por essas mudanças foi George Ellery Hale (1868-1938), astrônomo estadunidense, filho de um rico comerciante. Ele mostrou interesse pela física solar.

Hale queria fazer pesquisas sobre o Sol, pois acreditava que existiam muitas outras estrelas parecidas com esta com tamanhos e idades diferentes.³⁹

O astrônomo americano conseguiu muitos investimentos para a construção de equipamentos, entre eles estão o telescópio Refrator de 1m de diâmetro do Observatório de Yerkes, terminado em 1897, e também um investimento para as pesquisas astronômicas do Observatório de Monte

³⁶ Hatheway, *Structural mechanics*, 3.

³⁷ http://collections.ucolick.org/archives_on_line/bldg_the_obs.html (acessado em 05/09/2016).

³⁸ http://collections.ucolick.org/archives_on_line/images/36inch.2.jpg (acessado em 05/09/2016).

³⁹ Hale, *Ten Years' work*, 10.

Wilson, esse valor foi doado pelo Instituto Carnegie de Washington e lá foi instalado o telescópio de 1,5 m de diâmetro.⁴⁰



Figura 13⁴¹: Observatório Monte Wilson

1.2 O Harvard College Observatory e a importância da fotografia em suas pesquisas

Entre os observatórios construídos no século XIX está o Harvard College Observatory, este, como o próprio nome diz, pertencia à Universidade de Harvard. Foi construído em 1839 nas terras de Edmund Dana (1739-1823), o local da construção ficou conhecido como a Casa Dana. Em 1849, um estatuto declarou que o observatório seria nomeado “*Harvard College Astronomical Observatory*”, mas foi chamado apenas “*Harvard College Observatory*”⁴².

⁴⁰ Babcock, *George Ellery Hale*, 156-157.

⁴¹ http://4.bp.blogspot.com/_oaQeyd3_yBE/SmNB0qYsu9I/AAAAAAAAAFQ/Vw9QLUeNTA8/s400/teles+1917.JPG (acessado em 20/09/2016).

⁴² Marchi, “*Henrietta Swan Leavitt*,” 3-5.

A construção desse observatório contou com o auxílio de vários investidores. Esse projeto foi pensado por volta de 1815, após uma viagem de William Cranch Bond (1789-1859), astrônomo americano e fabricante de relógios, que teve como missão inspecionar observatórios na Europa, mais especificamente o Observatório de Greenwich, para trazer informações para que Harvard pudesse construir um excelente telescópio de reconhecimento mundial⁴³.

O incentivo para a construção desse observatório veio de John Quincy Adams (1767-1848), então presidente dos Estados Unidos. Ele se incomodou com o fato de que a Europa tinha um número grande de observatórios, na época, enquanto os Estados Unidos não possuíam nenhum.

Após sua volta, Bond deixou claro que o investimento para se construir um grande observatório era alto, e naquele momento não havia condições.

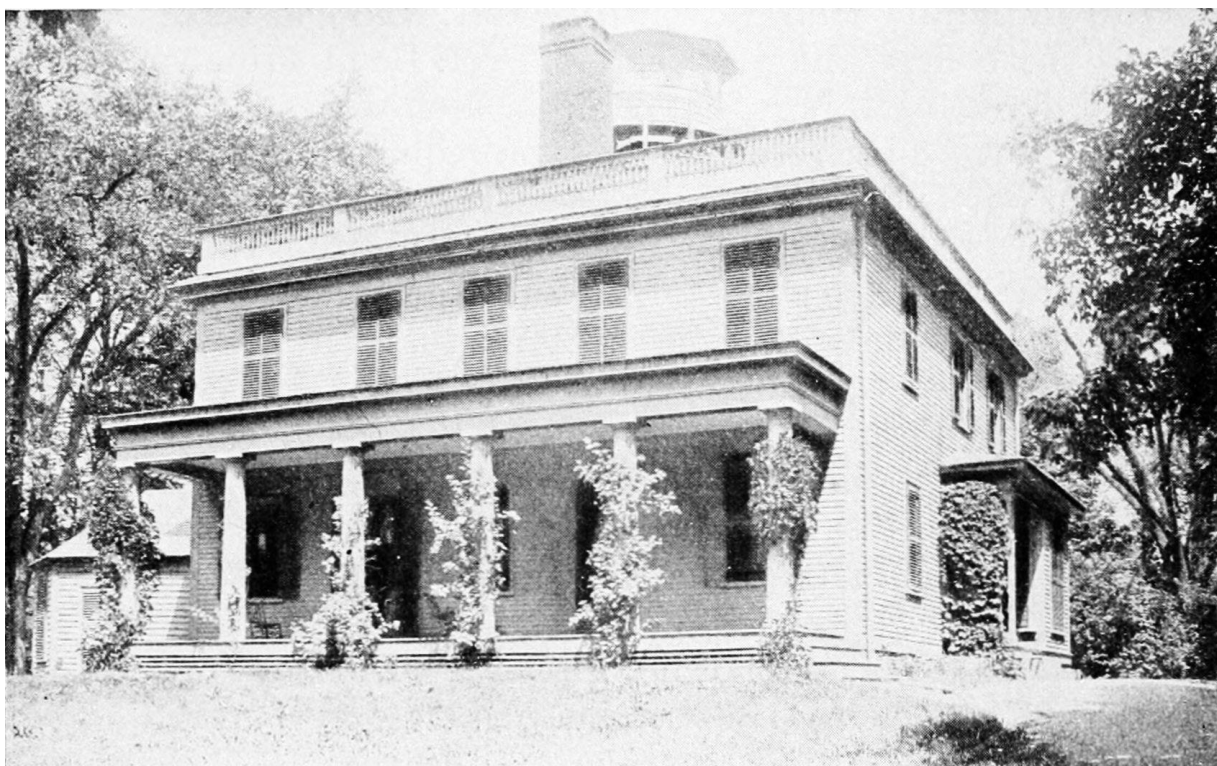


Figura 14⁴⁴: Casa Dana (Harvard Observatory)

Sendo assim, com o projeto adiado, em 1839, Josiah Quincy (1772-1864), então presidente da Universidade Harvard, convidou Bond para

⁴³ Bailey, *The work*, 14.

⁴⁴ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PSM_V47_D417_Dana_house_the_first_observatory_of_harvard_college.jpg (acessado em 15/10/2016).

estabelecer seu observatório nas terras de Dana levando seu equipamento. Seu telescópio era considerado muito bom, com excelente precisão. Não lhe foi oferecido nenhum salário, nas palavras de Quincy: “Era o dia de coisas pequenas, de moedas de um centavo, não de dólares, na tesouraria da faculdade.”⁴⁵

Mesmo assim, Bond aceitou. Dessa forma, iniciava o Observatório de Harvard conhecido, nesta época, como *Casa Dana*.

Durante os anos de 1840 a 1842, Bond continuou as observações iniciadas em Dorchester, entre seus interesses estavam a procura de cometas e os eclipses e os principais trabalhos realizados no observatório de Harvard eram as observações magnéticas e meteorológicas, esse trabalho foi limitado por falta de tempo e equipamentos⁴⁶.

Em março de 1843, surgiu um cometa e o interesse do público em astronomia aumentou. Foram doados ao observatório 25.730 dólares, quantia vinda através de 94 doadores que têm seus nomes gravados em uma placa de mármore na cúpula do observatório⁴⁷.

A Casa Dana não tinha espaço suficiente para suprir a demanda do observatório, por isso, em 1844, ele foi transferido para terras próximas à Universidade de Harvard⁴⁸

Foi trazido, para o Observatório, Telescópio Grande Refrator de 15 polegadas vindo da Alemanha, e assim estabeleceu-se o Harvard College Observatory⁴⁹.

⁴⁵ Bailey, *The history and work*, 18.

⁴⁶ Ibid, 17-18.

⁴⁷ Bailey, *The history and Work*, 24.

⁴⁸ Bailey, *The History and Work*, 25.

⁴⁹ Hirshfield, *William Cranch Bond*, 33



Figura 15⁵⁰: Harvard College Observatory

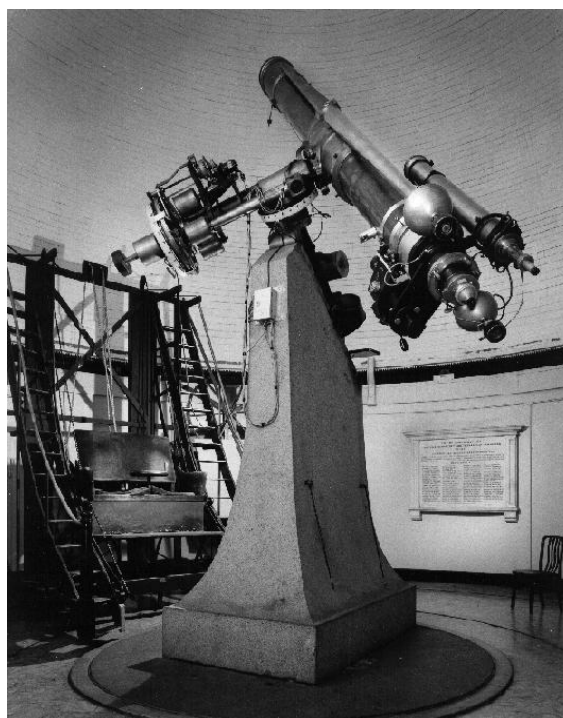


Figura 16⁵¹: Telescópio Grande Refrator

Em 1877, Edward Charles Pickering (1846-1919) foi nomeado diretor do observatório sendo, assim, o primeiro diretor graduado em física e que se interessava por fotometria. O interesse por essa área foi o que motivou os trabalhos em fotoastronomia no observatório⁵².

No começo, as observações tinham apenas o registro visual, ou seja, não havia um registro fotográfico, depois, com um investimento em

⁵⁰http://www.klima-luft.de/steinicke/ngcic/persons/pic_obs/harvard_obs1.jpg

(acessado em

05/10/2016).

⁵¹<https://www.cfa.harvard.edu/figs/grref.gif> (acessado em 05/10/2016).

⁵²Bailey, *The History*, 246.

equipamentos, a fotografia foi tomando um lugar significativo no trabalho desenvolvido no observatório.⁵³

No final do séc. XIX, o Observatório de Harvard conseguiu estabelecer uma estação no hemisfério Sul em Arequipa no Peru, trazendo para Harvard outras possibilidades devido ao fato de terem acesso a dados tanto do hemisfério Norte quanto do Sul.

Essa estação foi possível graças à doação de Catherine W. Bruce (1816-1900). Ela era uma admiradora da astronomia e acreditava que muito ainda havia de ser feito na área, seu interesse era, principalmente, voltado para as Nuvens de Magalhães, pois acreditava que seu estudo poderia trazer novidades para essa ciência⁵⁴.

A doação de Catherine W. Bruce permitiu a instalação, em Arequipa, no observatório Carmen Alto, do telescópio Bruce, nome dado evidentemente em sua homenagem. Esse telescópio de 13 polegadas foi um dos mais potentes da época⁵⁵. Com o equipamento as Nuvens de Magalhães passaram a ser observadas com mais precisão⁵⁶.



Figura 17⁵⁷: Observatório Carmen Alto

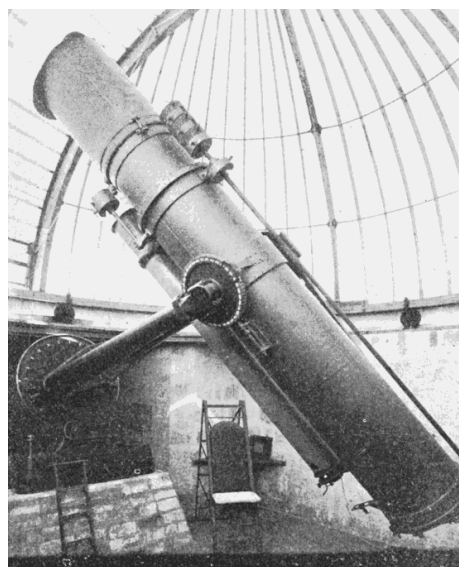


Figura 18⁵⁸: Telescópio Bruce

⁵³ Ibid, 247.

⁵⁴ Bailey, *The History*, 329.

⁵⁵ San Roman, *Hombres de Ciencia*, 100.

⁵⁶ Em 1927 devido as condições climáticas esse observatório foi levado para África do Sul.

⁵⁷ <http://imageshack.com/f/203/grande2218.jpg> (acessado em 20/10/2016).

⁵⁸ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/PSM_V64_D521-Bruce_photographic_telescope.png (acessado em 20/10/2106).

Além da fotometria, Pickering trouxe para Harvard uma importante e significativa contribuição, a contratação de mulheres para trabalhar no observatório, essas mulheres realizavam os cálculos astronômicos através das chapas fotográficas tiradas de várias áreas do céu. Devido às suas funções, ficaram conhecidas como “mulheres calculadoras” ou “calculadoras de Harvard”⁵⁹.

A evolução dos telescópios, com suas lentes gigantes, possibilitou uma melhor captação da luz e consequentemente imagens mais nítidas, mas apenas isso não se fazia suficiente, pois a imagem captada pela lente telescópica, embora trouxesse revelações, às vezes, era rápida e o que se registrava na memória nem sempre era lembrado com clareza⁶⁰.

Surgiu a necessidade de se registrar essas imagens, foi aí que a fotografia entrou como um recurso para a astronomia. Em 1839, John William Draper, com uma câmera de 13 cm de diâmetro, fez a primeira foto da lua⁶¹, na verdade era um Daguerreótipo⁶²

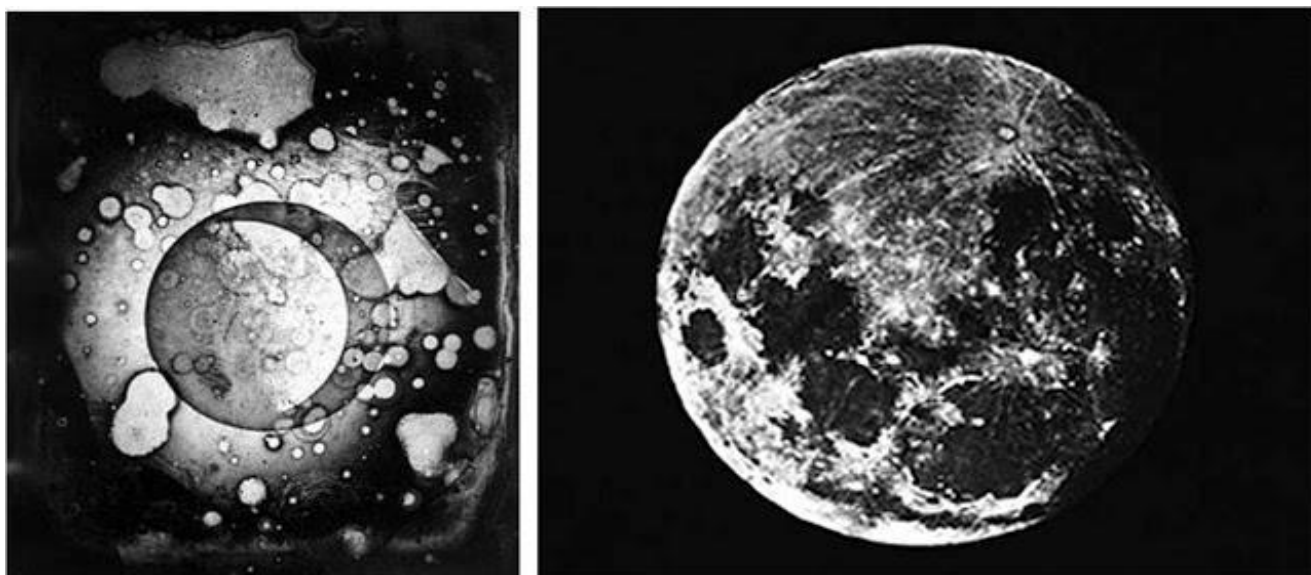


Figura 19⁶³: Daguerreótipo da Lua de John William Draper 1839 e 1840

Em 1850, após algumas tentativas, George Phillips Bond, filho de William Cranch Bond, conseguiu uma foto satisfatória da Lua produzida através de um telescópio profissional, um refrator de 38 cm⁶⁴.

⁵⁹ Marchi, “Henrietta Swan”, 8

⁶⁰ Asimov, *História*, 135.

⁶¹ Bernardo, *História da Luz*, 318.

⁶² Silva, *A produção de daguerreótipos*, 23-33.

⁶³ <http://2.bp.blogspot.com/nJd007ShRWM/TiSttXNk6OI/AAAAAAAAActY/dJxw6j6iPGA/s1600/FotografiaDaguerrotipoLua1839e1840MEU.jpg> (acessado em 20/10/2016).

Com a introdução das chapas úmidas⁶⁵ no processo fotográfico⁶⁶ G.P. Bond, no início de 1857, utilizando o refrator de 38 cm de Harvard, iniciou as tentativas de obter fotos de boa qualidade, conseguindo, em maio do mesmo ano, fotos das estrelas Mizar e Alcor.



Figura 20⁶⁷: Fotografia em chapa úmida das estrelas Mizar e Alcor

A fotografia passou a ocupar um grande espaço na astronomia, ao possibilitar o registro de grande número de imagens dos corpos celestes. Estrelas, planetas e cometas tinham suas imagens registradas em chapas de vidro.

Esse avanço está diretamente ligado à contratação das mulheres por Pickering que foram por ele supervisionadas, como: Williamina P. Fleming (1857-1911), Antonia Maury (1866-1952), Henrietta Swan Leavitt (1868-1921) e Annie Jump Cannon. O trabalho dessas mulheres foi possível devido ao fato de elas analisarem observações astronômicas não diretamente através do telescópio, mas através das chapas fotográficas.

⁶⁴ Bernardo, História, 318.

⁶⁵ Henry Talbot desde a década de 1830 realizava experiências com a fixação de imagens, ele empregou cloreto de sódio e nitrato de prata sobre papel comum, conseguindo assim após expor esses papéis a luz uma imagem visível, esse método recebeu o nome de calótipo ou talbótico. Patenteado em 1841 o calótipo é considerado o primeiro processo fotográfico baseado no princípio negativo-positivo. Depois veio o colódio úmido ou chapa úmida que consistia em uma chapa de vidro com uma solução de nitrato de celulose e nitrato de prata, isso reduzia o tempo de exposição, ela foi muito usada, pois era menor e diminuiu o tempo de exposição. Vide: Calaça, "Processos Fotográficos, 7.

⁶⁶ Silva, "A produção de daguerreótipos", 15..

⁶⁷ <http://4.bp.blogspot.com/v5oybgYvw/TiSfIAWx8HI/AAAAAAAAActw/8S0UDG2UvXk/s640/FotografiaCol%25C3%25B3dioEstrelasAlcoreMizar8Maio1857.jpg> (acessado em 14/10/2016).

No que se refere ao uso do telescópio pelas mulheres nos observatórios, podemos ver o que diz a astrônoma americana Vera Rubin (1928-2016) que foi a primeira mulher a receber em 1965 a autorização para realizar observações no Monte Palomar⁶⁸.

Em uma entrevista para a revista Mercury ela relata alguns fatos, ao ser perguntada se foi a primeira mulher a ter permissão para utilizar telescópio Rubin se refere a Margareth Burbidge, que havia realizado esse feito anteriormente ao visitar o observatório acompanhando seu marido Geoff Burbidge que estava fazendo uma pesquisa, mas Margareth não teve autorização para usar o telescópio.⁶⁹

Rubin também comenta sobre as condições do observatório, ao responder a questão sobre as condições não favoráveis à permanência de mulheres no local, ela diz que ao estudar um pouco da história dos observatórios, descobriu que Andrew Carnegie ao fazer o projeto do local, quis quartos pequenos e que a visita de familiares não era permitida, isso para que os astrônomos não fossem perturbados em seu trabalho. Ela ainda relata que no observatório de Monte Palomar até aquela data havia apenas um banheiro no andar térreo onde na porta dizia “homens”.⁷⁰

Podemos perceber que nos observatórios não havia uma preocupação ou interesse de se ter mulheres trabalhando nos telescópios.

⁶⁸Sally Stephens, “Vera Rubin”, 38

⁶⁹Ibid, 38

⁷⁰Ibid, 38

1.3 As mulheres calculadoras de Harvard



Figura 21⁷¹: Edward Charles Pickering e as mulheres calculadoras

Devido ao seu interesse pela fotometria, Pickering dirigiu os trabalhos no Harvard College Observatory seguindo essa direção, contando assim com o trabalho das mulheres que ele havia contratado.

As mulheres chamadas de “mulheres calculadoras” possuíam formação em astronomia e, em sua grande maioria, eram excelentes alunas formadas pelas universidades femininas como, por exemplo, Vassar College e Radcliffe College⁷².

Muitas começaram a carreira como voluntárias no observatório, isso facilitava o acesso, pois o observatório não tinha muitos recursos financeiros na época⁷³. Essas mulheres não trabalhavam à noite, portanto, não faziam observações diretamente nos telescópios, sendo assim, as chapas fotográficas eram o principal instrumento de trabalho⁷⁴.

⁷¹http://www.universoracionalista.org/wp-content/uploads/2016/02/Edward_Charles_Pickerings_Harem_13_May_1913.jpg (acessado em 12/09/2016).

⁷² Reed, *The Women*, 12.

⁷³ Ibid, 167.

⁷⁴ Marchi, “Henrietta Swan”, 14-23.

Elas podiam analisar todas as áreas do céu, pois tinham acesso tanto às chapas fotográficas do hemisfério Norte quanto do hemisfério Sul.

Williamina Fleming, originária da Escócia, foi uma das primeiras a trabalhar no observatório, convidada por Pickering, em cuja casa exercia a profissão de doméstica, como forma de prover o sustento de seu filho, aceitou esse emprego⁷⁵. O convite surgiu, pois Pickering pôde perceber que era uma pessoa com instrução. Com seu trabalho Fleming conseguiu descobrir 22 estrelas variáveis. Com o decorrer do tempo, ela passou a supervisionar as outras mulheres⁷⁶.

As funções das mulheres dentro do observatório eram divididas em três grupos. Cada qual com a sua função. Helen Leah Reed descreve essa divisão⁷⁷:

O primeiro grupo não fazia nenhum tipo de pesquisa, elas apenas faziam os cálculos que alguns astrônomos necessitavam,

O segundo grupo era composto por alunas que faziam trabalhos menores como, por exemplo, o catálogo de estrelas da Sequência Polar do Pólo Norte,

O terceiro grupo, diretamente supervisionado por Pickering, era responsável pelas pesquisas realizadas no observatório, as mulheres desse grupo desenvolviam suas próprias pesquisas.

Dentro desse terceiro grupo estavam as astrônomas citadas anteriormente.

Outra das contratadas, Henrietta Swan Leavitt, foi a responsável pelo método chamado Relação Período-Luminosidade das estrelas variáveis ou Régua Cósmica⁷⁸, como ficou conhecido. Esse método permitiu medir a distância de corpos localizados fora da nossa galáxia, o que trouxe uma grande contribuição na astronomia, pois, como comentado, saber se as estrelas se afastam ou não era uma das questões levantadas na época.

Antonia Maury, sobrinha do astrônomo amador Henry Draper, graduou-se no Vassar College e logo depois foi contratada por Pickering. Maury também

⁷⁵Kass-Simon, *Women*, 92.

⁷⁶ Powell, *Reaching for the stars*,

⁷⁷ Reed, "Womens work", 166-167

⁷⁸ Marchi, "Henrietta Swan Leavitt," 24-51

analisou as estrelas variáveis e iniciou um sistema de classificação espectral⁷⁹(o qual será abordado nos próximos capítulos), trabalho que foi continuado pelas mãos de Annie Jump Cannon, envolvida na criação de um sistema de classificação espectral utilizado até os dias atuais, conhecido como “Classificação Espectral de Harvard”.

1.4 Annie Jump Cannon

Annie Jump Cannon nasceu em 11 de dezembro de 1863, em Dover, Delaware, filha de Wilson Lee Cannon, um comerciante e de Mary Elizabeth Jump, sua segunda esposa. Oriunda de uma família culta, frequentou escolas públicas e aos 16 anos se formou na Wilmington Conference Academy em Dover. Sua mãe tinha interesse pela astronomia, embora não estudasse o assunto profundamente. Incentivada por ela, Annie ainda criança despertou sua curiosidade pelo assunto⁸⁰. Em sua casa havia um sótão de onde Cannon e sua mãe observavam o céu e ela lhe ensinava, à luz de velas, um pouco sobre as constelações.

Devido ao seu bom desempenho escolar, os professores de Cannon sugeriram ao seu pai que ela deveria ter uma educação de nível superior. Seguindo os conselhos dos professores, Wilson Cannon foi conhecer as instituições de ensino superior e escolheu o Wellesley College, em Massachusetts, para que sua filha continuasse seus estudos.⁸¹

Wellesley, inaugurada em 1875, foi a primeira faculdade feminina com laboratórios científicos. Annie foi aluna da professora Sarah F. Whiting⁸², formada pelo no Instituto de Tecnologia de Massachusetts onde estudou física. Whiting foi a responsável por conseguir equipamento de laboratório para

⁷⁹Yount, A to Z of Women, 195.

⁸⁰ Reynolds, *American*, 18.

⁸¹ Wellesley college era uma faculdade feminina de artes liberais do norte dos Estados Unidos que juntamente, Barnard College, Bryn Mawr College, Mount Holyoke College, Radcliffe College, Smith College e Vassar College; formavam as sete irmãs.

⁸² Cohen, *Wellesley*, 7.

ensinar física em Wellesley. Foi nesta instituição que Annie Jump Cannon começou a cultivar seu interesse pela espectroscopia⁸³.

Ao se formar em 1884, Cannon voltou para a casa de seus pais e durante algum tempo não teve contato com a espectroscopia. Em um verão, fez uma viagem para Europa onde contraiu escarlatina, fato que provocou sua surdez.

Em 1893, ela retornou a Wellesley, para fazer sua pós-graduação. Em seguida, se matriculou no Radcliffe College, em Cambridge, Massachusetts, como aluna especial em astronomia.

Enquanto estava estudando no Radcliffe, conheceu Edward Pickering, então diretor do observatório de Harvard. Pickering, sabendo do interesse e da formação de Annie em espectroscopia, ofereceu-lhe um emprego no Observatório, pois um dos trabalhos que estavam sendo realizados naquele momento era registrar, catalogar e classificar espectros estelares.

Com a morte de Fleming em 1911, Cannon tornou-se curadora de fotografias astronômicas. Entre os anos de 1911 e 1938, a coleção de chapas do observatório subiu de 200.000 para 500.000 registros.



Figura 22⁸⁴: Annie Jump Cannon analisando uma chapa fotográfica

⁸³ Ibid, 48.

⁸⁴ http://www.daviddarling.info/images/Annie_Cannon.jpg

Na sua trajetória profissional, Cannon tornou-se professora, sempre cultivando o gosto por viagens e frequentava as reuniões trienais da União Astronômica Internacional, realizada em cidades como Paris, Cambridge, Estocolmo e Londres. Em 1922, passou alguns meses no Observatório de Harvard no Peru⁸⁵.



Figura 23⁸⁶: Annie Jump Cannon em Arequipa

Cannon não era uma pessoa voltada unicamente para o seu trabalho. Embora nunca tenha se casado, cultivava a companhia de amigos e nutria um carinho por crianças, tanto que instituiu um concurso anual de ovos de Páscoa para as crianças dos funcionários do Observatório.

Ela apoiou o sufrágio feminino e ficou desapontada quando as mulheres não puderam votar. Seguiu seu pai, permanecendo uma republicana.

Em 1933, estabeleceu o Prêmio Annie Jump Cannon, a ser concedido a cada três anos para uma mulher astrônoma que se destacasse; atendendo a um pedido seu, o prêmio deveria ser um broche que a beneficiária poderia usar, em vez de uma medalha de cerimonial⁸⁷.

Por seu trabalho, Cannon recebeu muitas honrarias, uma delas foi ser membro honorário da Royal Astronomical Society. (As mulheres não

⁸⁵Kass-Simon, *Women*, 21.

⁸⁶<https://thismorningishistory.files.wordpress.com/2014/02/1892-pplc6-annie-jump-cannon-1893.jpg>

⁸⁷Reynolds, *American Women*, 21

eram aceitas como membros regulares), além de quatro diplomas, incluindo Doutora em Ciências de Oxford.



Figura 24⁸⁸: Annie Jump Cannon em Oxford

Cannon realizou seu trabalho até os 77 anos de idade quando veio a falecer de insuficiência cardíaca e arteriosclerose em 1941.

Em uma homenagem póstuma prestada por seu colega Harlow Shapley podemos ler o seguinte⁸⁹:

Ela deve ser classificada entre um grupo de mulheres cientistas e pioneiras. A maioria de suas companheiras foram em grande parte envolvidas em projetos educativos; ela era quase exclusiva por ter no grande processo de entendimento o seu lado criativo. Ela estava envolvida em pesquisas científicas em um campo especializado. Sua atividade persistente tem sido uma luz guia para mulheres estudiosas. Seu sucesso tem sido suas inspirações.

⁸⁸<http://academics.wellesley.edu/Astronomy/Annie/Images/oxford.gif> (acessado em 12/09/2016).

⁸⁹ Reynolds, *American Women*, 21.

A Associação Americana de Mulheres Universitárias juntamente com a Sociedade Astronômica Americana oferece o prêmio Annie Jump Cannon todos os anos a uma mulher astrônoma que realize pesquisa em nível de pós doutorado⁹⁰.

Durante seu trabalho no observatório, o principal instrumento de Cannon foram as chapas fotográficas, por isso, como dito anteriormente, essa introdução da fotografia na astronomia permitiu que mulheres como ela, que tinham o desejo de se dedicar à astronomia, pudessem estudar e colocar em prática o seu conhecimento mesmo sem ter acesso direto a um telescópio.⁹¹

⁹⁰ Reynolds, *American Women*, 21

⁹¹ Reed, *Women's work at the Harvard*, 166

Capítulo 2

Como são as estrelas?

No nosso sistema planetário temos o Sol, que é a estrela mais próxima da Terra, existem milhões de estrelas como essa, que já despertaram muito o interesse dos astrônomos.

Mas existem no universo outros tipos de estrelas que, por sua vez, conseguiram, devido a suas peculiaridades, fazer com que os astrônomos voltassem seus estudos a elas. Essas estrelas apresentam oscilações em seus brilhos que podem repentinamente aparecer ou desaparecer.

São essas as estrelas que iremos conhecer um pouco no decorrer deste capítulo, pois foi através delas que muitos estudos na astronomia puderam ser realizados.

2.1 Nossa estrela: O Sol

Devido a sua proximidade, o Sol foi a primeira estrela a ser estudada; por não demonstrar variações em seu brilho e ter um comportamento estável, podemos dizer que é uma estrela “calma”. Para compreendermos um pouco da estrutura de uma estrela, vamos utilizá-lo como um primeiro exemplo.

Uma estrela é formada por gases em altíssimas temperaturas e em seu núcleo ocorrem reações termonucleares⁹², o Sol é formado em grande parte por Hidrogênio, cerca de 92%; menos de 8% corresponde ao Hélio; o restante se divide basicamente em Oxigênio, Carbono e Nitrogênio.⁹³

Na tabela abaixo podemos ver algumas características do Sol:

⁹² Oliveira, *Astronomia*, 122.

⁹³ Silva, *Nossa Estrela*, 23.

Massa	2×10^{30} kg
Raio	700 000 km
Densidade média	1409 kg/m^3
central	$160 000 \text{ kg/m}^3$
Luminosidade	$3.9 \times 10^{33} \text{ erg/s}$
Temperatura superfície	5785 K
central	$1.5 \times 10^7 \text{ K}$
Composição química:	
Hidrogênio	92,1 %
Hélio	7,8 %
Oxigênio	0,061 %
Carbono	0,039 %
Nitrogênio	0,0084 %
Período rotacional equador	25 dias
pólos	31 dias

Figura 25⁹⁴: Tabela de características do Sol

O Sol que é dividido em duas regiões: interior e atmosfera; cada região é dividida em três camadas. O interior é a região que se estende do centro à superfície e é formado pelo núcleo, zona radiativa e zona convectiva. A atmosfera é formada pela Coroa, Cromosfera e Fotosfera

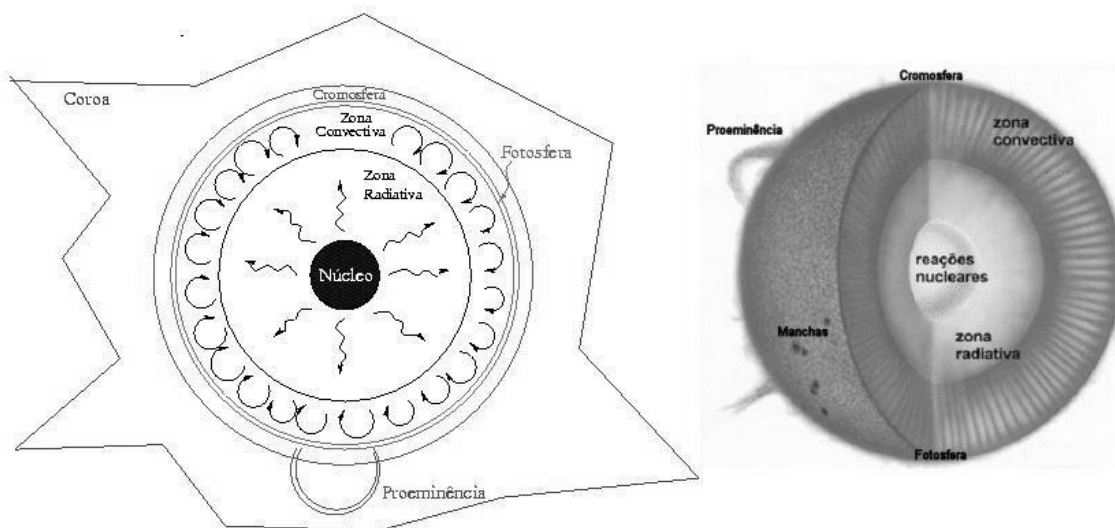


Figura 26⁹⁵: Estrutura do Sol

Para compreender melhor a imagem acima vamos explicar cada uma dessas partes começando pelo interior, o núcleo solar tem uma densidade

⁹⁴http://images.slideplayer.com.br/25/8303484/slides/slide_3.jpg (acessado em 10/11/2016).

⁹⁵<http://4.bp.blogspot.com/-7l01Ppw0puc/UPHnu91GFUI/AAAAAAAAABQA/02v5YT9nJm0/s1600/Modelo+estrutura+Sol.jpg> (acessado em 10/11/2016).

aproximada de 150 g/cm^3 . É no núcleo que a energia solar é produzida por fusão nuclear, convertendo hidrogênio em hélio⁹⁶.

Na zona radiativa, há a transferência de calor em forma de radiação térmica, depois temos a zona convectiva, a camada mais externa do sol. Nesta região, o material é levado até a superfície onde sua temperatura diminui, descendo novamente e ocorrendo assim a convecção⁹⁷.

Na atmosfera, temos a fotosfera, a camada com a temperatura mínima. Logo após, temos a cromosfera (do grego “Chroma” que significa esfera de cor), uma camada de cor avermelhada que pode ser vista durante um eclipse - não é visível devido ao fato de ter baixa radiação⁹⁸. Depois temos a Coroa Solar, a atmosfera externa do Sol.⁹⁹

Basicamente essa é a estrutura da nossa estrela. Como já explicado, ela não apresenta variações em seu brilho ou aspecto.

Podemos dizer que o Sol é um exemplo de estrela como uma infinidade de outras existentes em nosso universo, que, se não estivesse tão próxima de nós, não nos chamaria a atenção.

2.2 Estrelas Variáveis: Cefeidas, Novas e Supernovas.

2.2.1 Cefeidas

O adjetivo “variável”, associado a uma estrela, logo nos remete à variação de seu brilho, pois esta é a característica que mais atrai a atenção em uma observação. Evidentemente, não é apenas a luminosidade da estrela que varia, mas as outras características como, por exemplo, pressão e temperatura não podem ser detectadas apenas com a observação visual.

Existem alguns tipos de estrelas variáveis, um deles são as pulsantes e entre elas estão as Cefeidas.

⁹⁶ Friaça, *Astronomia*, 84.

⁹⁷ Ibid, 85.

⁹⁸ Silva, *Nossa Estrela*, 29.

⁹⁹ Friaça. *Astronomia*, 85.

Em agosto de 1596, o astrônomo holandês David Fabricius (1564-1617) observou na constelação de Cetus uma estrela que, anteriormente, não podia ser vista naquela região, ele a chamou de Mira, que significa maravilhosa, depois soube-se que, na verdade, o que ele observou foi a variação no brilho de uma estrela já existente¹⁰⁰.

Após algumas semanas, seu brilho desapareceu, apenas reaparecendo em 1603 e, naquele momento, foi observada pelo astrônomo e advogado alemão Johann Bayer (1572-1625), que ignorando o fato de Fabricius ter visto aquela estrela sete anos antes e a incluiu em seu atlas estelar¹⁰¹. Estrelas desse tipo ainda eram pouco conhecidas naquela época, principalmente devido ao fato de os equipamentos não serem tão potentes, sendo assim, era difícil identificar se o que se observava era um novo corpo celeste ou apenas a reaparição de algo já visto antes.

Apenas em 1638 o astrônomo holandês John Phocylides Holwarda (1618-1651) notou novamente o aumento do brilho da Mira concluindo, então, que aquele era um evento periódico. Foi em 1667, que o astrônomo Ismael Boulliau (1605-1694) estimou esse período em 11 meses.¹⁰²

Poucas estrelas variáveis foram observadas durante um longo espaço de tempo de cerca de 100 anos. Apenas com a inclusão da fotografia na astronomia esse cenário teve uma modificação. A possibilidade de se ter em mãos registros de uma mesma área do céu em diferentes dias, facilitou os estudos astronômicos, e as comparações através das placas fotográficas abriram um novo caminho na verificação de variações surgidas em determinadas áreas do céu, assim, a busca por estrelas variáveis tornou-se mais eficaz¹⁰³.

Após muitos anos, essas estrelas foram vistas como sendo Cefeidas, nome dado em 1784 quando o astrônomo inglês John Goodricke (1764-1786) descobriu o período de brilho da Estrela Delta Cephei que se tornou o protótipo das Cefeidas.¹⁰⁴

¹⁰⁰ Campbell, *Historia de Las Estellas*, 8

¹⁰¹ Ibid, 9

¹⁰² Campbell, *Historia de Las Estellas*, 9

¹⁰³ Ibid, 10

¹⁰⁴ Oliveira, *Astronomia*, 209

As Cefeidas são estrelas de cor amarelada, gigantes ou supergigantes que, em comparação com o nosso Sol, podem ter até 15 vezes a massa deste e seu brilho pode chegar a 30.000 vezes a sua luminosidade.

Essas estrelas têm um importante papel na astronomia, como, por exemplo, no trabalho desenvolvido por Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), uma das calculadoras de Harvard, que estabeleceu a Relação Período - Luminosidade através da observação de Cefeidas¹⁰⁵.

Para compreender um pouco sobre essa variação de luminosidade, vamos relembrar o que foi dito sobre o Sol: seu núcleo em processo de fusão termonuclear está transformando Hidrogênio em Hélio. Em uma Cefeida, o que ocorre em seu núcleo é uma transformação de Hélio em Carbono, e isso faz com que haja uma alteração na pressão nuclear, e, assim, a estrela se contrai e se dilata causando variações na sua temperatura que, por fim, geram esses períodos de variação na luminosidade.¹⁰⁶

2.2.2 Novas

Como vimos, a variação de luminosidade se dá devido às fusões termonucleares no núcleo das estrelas. Em algumas, estrelas essas fusões ocorrem de forma descontrolada, esse é o caso das novas e supernovas.¹⁰⁷

As novas ocorrem em sistemas binários¹⁰⁸ compostos por duas estrelas, neste caso uma delas é uma anã branca.

Ao redor dessas estrelas, existe um espaço chamado de lóbulo de Roche¹⁰⁹, quando a estrela se expande, uma parte de sua massa é transferida para sua companheira, a anã branca. Com esse processo o espaço ao redor da anã branca vai sendo ocupado pela matéria vinda da outra estrela, isso faz

¹⁰⁵ Marchi, "Henrietta Swan Leavitt", 24-35.

¹⁰⁶ Maciel, *Introdução à Estrutura*, 273.

¹⁰⁷ Paty, *A Física*, 255.

¹⁰⁸ O sistema binário é composto por duas estrelas que orbitam em torno de um mesmo centro de massa. (www.iag.usp.br/siae98/astroleis/binarios.html (acessado em 22/12/2016))

¹⁰⁹ Lóbulo de Roche é a região ao redor das estrelas pertencentes a um sistema binário, a estrela de maior massa do par evolui e enche seu lóbulo de Roche e esse material fica gravitacionalmente governado por sua companheira. Vide: Baliño, *O problema de Gylden*, 27.

com que sua temperatura aumente o suficiente para queimar o hidrogênio existente a sua volta, ocorrendo, assim, a explosão.

Nas Novas a explosão é na camada da superfície da estrela e é isso que faz com que seu brilho aumente consideravelmente, esse processo se repete periodicamente.¹¹⁰ Para uma melhor compreensão segue a figura abaixo:

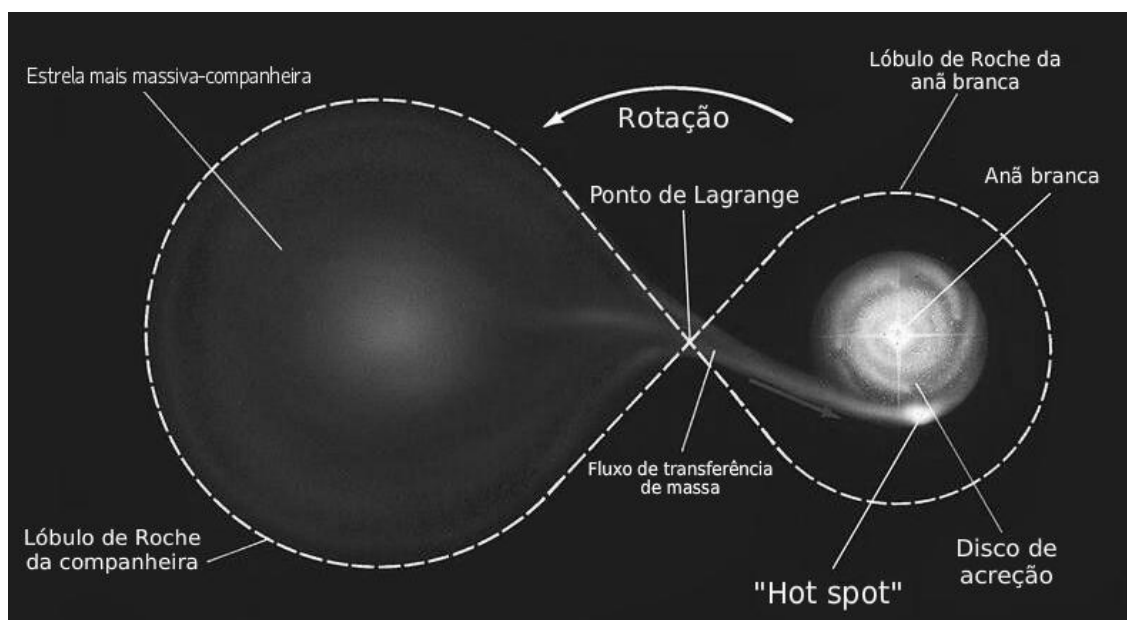


Figura 27¹¹¹

É durante essa explosão que as Novas podem ser observadas. Um exemplo que trataremos nesta tese é a Nova Aquilae 1918¹¹², uma estrela que atraiu muitos olhares devido ao fato de seu brilho se aproximar ao da estrela Sirius, a mais brilhante estrela observada.

Cannon se dedicou também em estudar essas Novas para diferenciá-las, classificando seu espectro.

2.2.3 Supernovas

Tycho Brahe (1546-1601), em 1572, observou uma estrela muito brilhante que surgiu na Constelação de Cassiopéia. Brahe chamou-a de Nova Stella.

¹¹⁰ Herrmann, *Astronomia*, 200-202.

¹¹¹ <http://www.astropt.org/blog/wp-content/uploads/2015/03/roche-2.jpeg> (acessado em 30/12/2016).

¹¹² Cannon, *Nova Aquilae*, 179.

Os estudos sobre sua descoberta foram publicados em um pequeno livro ao qual Brahe deu o nome de Nova Stella¹¹³. Ele faleceu sem saber exatamente o que era aquela estrela, que durante seu período de maior luminosidade podia ser vista até mesmo à luz do dia. Depois de muito tempo, descobriu-se que Brahe havia presenciado uma supernova, ou seja, a explosão de uma estrela.¹¹⁴

Uma supernova pode ter sua luminosidade até 10.000 vezes maior do que a de uma Nova. Foram os astrônomos Wilhelm Heinrich Walter Baade (1893-1960) e Fritz Zwicky (1898-1974) fizeram vários estudos sobre as supernovas e levantaram a suposição de que elas ocorrem com uma frequência mínima de 300 anos, mas isso era apenas uma hipótese¹¹⁵.

Em 1987, foi vista a primeira supernova que pode ser analisada através de equipamentos mais modernos. Foi Ian Shelton (1957), astrônomo da Universidade de Toronto, que pôde ver seu brilho no dia 24 de fevereiro de 1987. Primeiramente, Shelton percebeu nas placas fotográficas daquela noite algo que não vira anteriormente. Num primeiro instante, achou que seria uma falha na impressão da imagem, mas, ao observar o céu pelo telescópio, verificou que estava presenciando uma supernova.¹¹⁶

E qual a diferença entre uma Nova e uma Supernova? Enfim, como dissemos, a Nova é proveniente de uma explosão na superfície de uma anã branca que faz parte de um sistema binário, enquanto a Supernova é, na verdade, o que podemos chamar da morte da estrela, pois sua explosão é completa.

Na supernova, a explosão acontece quando a estrela é uma supergigante com massa aproximada de dez vezes a massa do Sol. Quando a estrela é uma supergigante vermelha com massa entre 10 e 25 vezes a massa do Sol, após sua explosão, ela dará origem a uma estrela de nêutrons, se a sua massa está entre 25 e 100 vezes a massa do Sol, ele poderá se tornar um buraco negro.¹¹⁷

¹¹³ Herrmann, *Astronomia*, 198.

¹¹⁴ Gamow, *Nascimento*, 186

¹¹⁵ Ibid, 185

¹¹⁶ Marschall, *The Supernova*, 237

¹¹⁷ Oliveira, *Astronomia*, 202

2.3 Espectroscopia

No século XX, uma das questões levantadas pela comunidade astronômica era a confirmação, ou não, da teoria do Big Bang¹¹⁸. Dentre os pilares que sustentariam essa teoria, estaria o afastamento, ou não, dos corpos celestes. Verificar se as estrelas estavam se afastando seria uma evidência do Big Bang, para tanto, tornou-se necessário um método para medir as distâncias de astros fora da nossa galáxia e também um meio de classificá-los, ou seja, houve a necessidade de elaborar medidas mais precisas e uma diferenciação do que se estava vendo¹¹⁹.

Esse processo de entendimento das estrelas e suas classificações teve início no séc. XVII com Isaac Newton. Por volta de 1665-66, ele demonstrou que, quando luz branca passava por um prisma, ela se decompunha em luzes de diferentes cores formando um espectro como o arco-íris¹²⁰. Em seu livro, intitulado *Óptica*, ele descreve a sua experiência, como mostrado no trecho abaixo:

“Tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na folha da janela a fim de deixar entrar uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei o meu prisma no orifício de modo que a luz pudesse ser refratada, por esse processo, para a parede oposta. No começo foi uma diversão muito agradável ver as cores vivas e intensas produzidas por aquele processo...”¹²¹

O trabalho de Newton nos mostra o início do estudo da decomposição da luz. Após ele, outros vieram a fazer estudos sobre esse assunto. Um deles foi o estudioso britânico William Hyde Wollaston (1766-1828), nascido em East Dereham, na Inglaterra, formado em medicina. Em 1793, Wollaston logo

¹¹⁸ Damineli, *Hubble*, 95.

¹¹⁹ Gamow, *Terra e Universo*, 238.

¹²⁰ Martins, *Filosofia e História da Ciência*, 348.

¹²¹ Newton, *Óptica*, 17.

reconheceu sua inabilidade para a medicina dedicando-se, assim, a outro ramo da ciência¹²².

A luz também foi objeto de estudo para Wollaston. Em 1802, construiu um aparelho, o espectroscópio, para realizar seus estudos em refração e dispersão da luz branca em diferentes cores, dessa forma percebeu que, ao passar a luz solar por uma fenda e depois por um prisma, apareciam linhas escuras no espectro da luz solar. Naquele momento, ele não soube explicar o aparecimento das linhas escuras¹²³, mas acreditava que era uma separação entre as cores, o que mais tarde foi mostrado por Fraunhofer que não eram separações.

Foi Joseph Von Fraunhofer, óptico alemão nascido em Straubing, Alemanha, em 1787, que, em 1814, doze anos após a experiência de Wollaston, que se interessou em estudar as linhas do espectro solar e conseguiu observar tais linhas escuras¹²⁴. Fraunhofer adquiriu muita habilidade e conhecimento na fabricação de lentes, construindo-as com maior transparência, densidade uniforme e sem estrias, isso facilitou o seu trabalho¹²⁵.

Fraunhofer utilizava-se de espectros de luz para calibrar seus instrumentos ópticos, vidros e prismas, que eram os mais conhecidos na época. Esses espectros serviam para calibrar os vidros ópticos que ele estava fabricando para os telescópios refratores, dependendo da composição do vidro ele obtinha deslocamento do comprimento de onda da luz em ângulos diferentes¹²⁶.

Com o auxílio do espectroscópio, Fraunhofer fez a experiência de passar a luz solar pelo prisma e, ao ampliar a imagem obtida, ele observou que o espectro solar mostrava centenas de linhas escuras e finas, contou 574 linhas nesse espectro¹²⁷. Ele designou as letras de A a G para nomear as linhas escuras mais proeminentes.

Então, percebeu que as linhas escuras não eram separação das cores como havia sugerido Wollaston. Nas palavras de Fraunhofer:

¹²² Bernardo, *História da Luz*, 348

¹²³ Pirolo, "A contribuição de Robert", 18

¹²⁴ Martins, "Filosofia e História", 348

¹²⁵ Ibid, 348

¹²⁶ Horvarth, *Cosmologia Física*, 222

¹²⁷ Bernardo, *História da Luz*, 109.

As linhas mais fortes não representam, de forma alguma, a marcação dos limites da variedade de cores, existe quase sempre a mesma cor de ambos os lados de uma linha, e a passagem de uma cor para outra quase não pode ser observada.¹²⁸

Uma das conclusões, a que Fraunhofer chegou foi a de que as linhas observadas eram realmente devido à luz solar e não produto da difração ou de algum tipo de ilusão óptica ¹²⁹. Ele ainda sugere que, para não haver interferências, o tipo de vidro deve ser o mais perfeito possível, sem estrias e, caso não seja possível tal prisma, poderia ser usado um fluido, como, por exemplo, o óleo de anis, que oferece grande dispersão da luz¹³⁰.

Em suas experiências, Fraunhofer utilizou-se de prismas diferentes e telescópios com diferentes aberturas. Entre alguns dos resultados de suas pesquisas, encontram-se as conclusões: luz vinda de Marte e Vênus possuíam as mesmas linhas fixas da luz Solar; a luz proveniente de estrelas, como Sirius, tinham linhas mais próximas da estrela Castor¹³¹.

Ele não conseguiu explicar o que seriam essas linhas escuras e o que realmente significava o espectro de luz, mas percebeu que ao observar estrelas diferentes havia mudanças nessas linhas.

Fraunhofer em seu livro relata algumas das dificuldades nesta experiência que impossibilitaram uma melhor conclusão:

A luz da lua me deu um espectro que mostrou um campo que se oferece para novas investigações. É extremamente lamentável que só pode ser repetida raramente por qualquer outra pessoa, devido ao fato de uma demanda muito grande de tempo e a necessidade de aparelhos caros. O fato de que o céu deve ser mais favorável faz se perder mais

¹²⁸ Fraunhofer, Prismatic and Diffraction Spectra, 5

¹²⁹ Ibid, 8

¹³⁰ Ibid, 9

¹³¹ Ibid, 9

tempo de que se acreditavam, as demandas de meus negócios deixam-me apenas alguns dias definidos no mês livres para essas investigações.¹³²

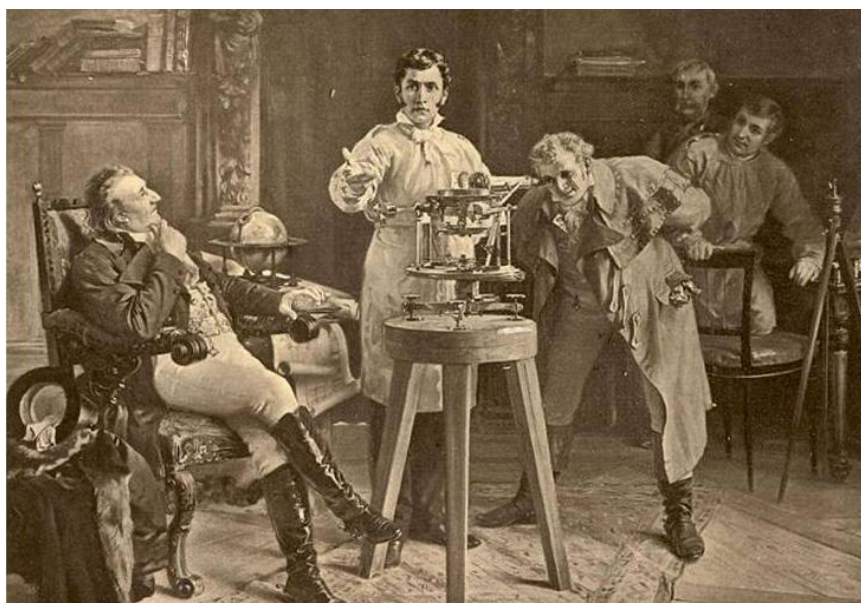


Figura 28¹³³: Fraunhofer e o Espectroscópio

A figura abaixo mostra o espectro obtido por Fraunhofer e podemos observar duas linhas mais escuras no espectro que ele chamou de linhas D.



Figura 29¹³⁴: Espectro de Fraunhofer

¹³²Fraunhofer, *Prismatica and diffraction spectra*, 60

¹³³https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Fraunhofer_spectroscope.JPG (acessado em 12/08/2016)

¹³⁴http://www.on.br/ead_2013/site/conteudo/cap11-espectro/imagens/espectro3a.jpg (acessado em 12/08/2016)

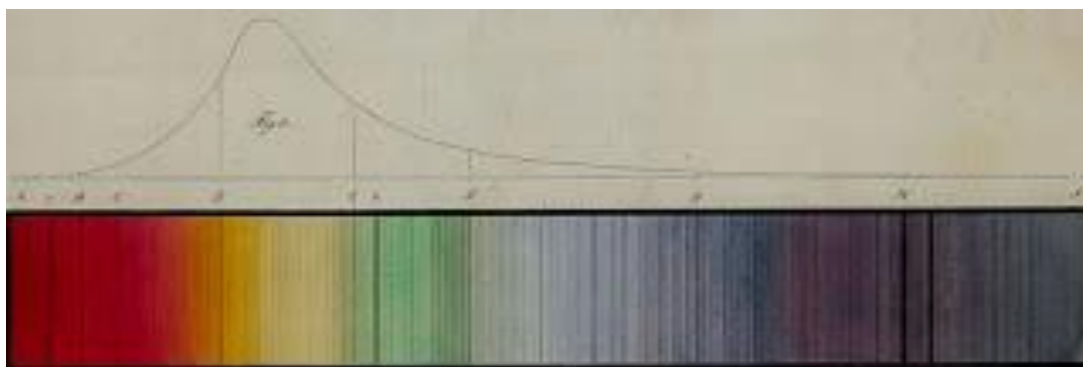


Figura 30¹³⁵: Espectro de Fraunhofer

Fraunhofer teve uma vida dedicada ao trabalho e, em 1825, devido a uma infecção pulmonar, faleceu aos 39 anos. Em homenagem ao seu trabalho com a espectroscopia, foi gravado, em seu túmulo, a frase “*approximavit sidera*” que significa “aproximou-se das estrelas”

Depois de Fraunhofer, outros estudiosos se dedicaram ao assunto, como o químico alemão Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) e o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887). Bunsen e Kirchhoff se interessavam em estudar as linhas contidas nos espectros dos elementos. Segundo Bunsen, em uma carta para H.E. Roscoe em novembro de 1859, onde relatava suas novas descobertas junto com Kirchhoff:¹³⁶

No momento, estou envolvido numa pesquisa com Kirchhoff, que não nos deixa dormir. Ele fez uma belíssima e inesperada descoberta: a causa das linhas escuras do espectro solar. E conseguiu tanto intensificar artificialmente tais linhas no espectro solar quanto fazê-las aparecer no espectro contínuo de uma chama, sendo suas posições idênticas aquelas das linhas de Fraunhofer. Assim, abre-se a possibilidade de se determinar a composição material do Sol e das estrelas fixas com o mesmo

¹³⁵http://4.bp.blogspot.com/_4W_JRbA-QYc/SMAulylluwI/AAAAAAAAADjw/La4KhEv6ouM/s320/spectroscopy-fraunhofer-spectrum-from-PT.jpg (12/08/2016)

¹³⁶Pirola, “A Contribuição de Robert”, 22

grau de certeza com que podemos constatar com nossos reagentes a presença de óxido de enxofre e cloro. Por esse método também é possível determinar a composição da matéria terrestre, distinguindo as partes componentes, com a mesma facilidade com que se distingue a matéria contida no Sol.¹³⁷

Em 1856, Bunsen havia inventado um queimador de gás conhecido Como bico de Bunsen, ele tinha a chama incolor produzida por metano, isso facilitava, pois, quando um elemento químico era colocado sobre a chama, as cores emitidas eram a do próprio elemento sem interferência da cor emitida pela chama¹³⁸.

O Bico de Bunsen foi importante para o trabalho realizado por Bunsen e Kirchhoff. Segundo Kirchhoff as cores dos elementos seriam melhor distinguidas se passadas através de um prisma.

Com esta ideia, eles desenvolveram um aparelho, chamado de espectroscópio, que funcionaria da seguinte forma¹³⁹:

Primeiro a luz da chama do elemento queimado no Bico de Bunsen passaria por um colimador, para ficar em uma única direção,

Após isso, ela atravessaria o prisma e seria refratada, essa refração faria com que seu espectro fosse dividido,

Depois se observava pelo telescópio o resultado dessa refração.

Esses espectros eram vistos num fundo escuro e apresentavam várias faixas de cores e espessuras diferentes, diferenciando, assim, cada elemento.

¹³⁷ *Proceedings of the American Academy*, 372.

¹³⁸ Pirolo, "A Contribuição de Robert", 30-32.

¹³⁹ Okumura, "Experimentos simples usando fotometria", 833-834.

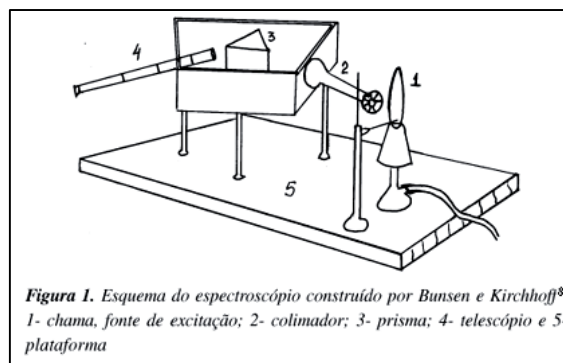
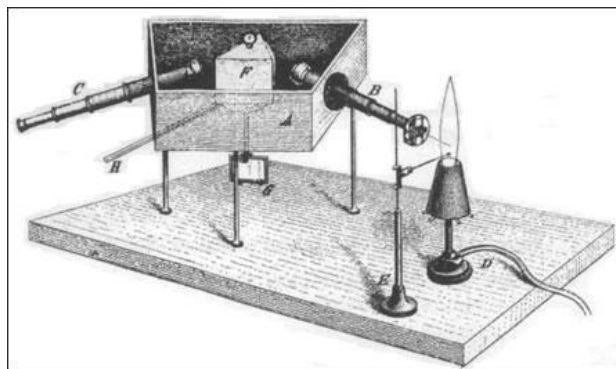


Figura 31¹⁴⁰: Espectrôscópio de Bunsen

As linhas observadas através do espectrôscópio tinham cores brilhantes, ao contrário das observadas por Fraunhofer que eram escuras.

Esse conhecimento foi estendido para a astronomia, ou seja, a espectroscopia foi incorporada aos estudos astronômicos, abrindo possibilidades para se tentar compreender a natureza das estrelas. O espectro era, de alguma forma a impressão digital de cada uma das estrelas.

2.4 Espectroscopia Astronômica

Na segunda metade do século XIX, Sir William Huggins desenvolveu pesquisas na área da espectroscopia, utilizando-se das descobertas de Kirchhoff e das linhas de Fraunhofer, Huggins começou o seu trabalho com novas esperanças ao tomar conhecimento desses estudos:

Esta notícia foi para mim como a vinda de uma fonte de água em uma terra seca e sedenta. Aqui finalmente, apresentou um método de trabalho sobre o qual de forma indefinida, eu estava lendo, ou seja, estender seus novos métodos de pesquisa sobre o sol para os outros corpos celestes. Um sentimento

¹⁴⁰<http://www.experimentum.org/blog/wp-content/uploads/2010/02/espectroscopio-Kirchhoff-Bunsen1.jpg> (acessado em 15/08/2016)

de inspiração me tomou: eu sentia como se agora tivesse em minhas mãos o poder de levantar o véu que nunca tinha sido levantado. Como se uma chave tivesse sido posta em minhas mãos que destrancaria uma porta que se considerava para sempre fechada ao homem - o véu e a porta por trás dos quais estava o mistério desconhecido da verdadeira natureza dos corpos celestes.¹⁴¹

Como percebemos neste trecho, para o Huggins os estudos sobre espectroscopia eram uma esperança para o entendimento da natureza dos corpos celestes, pois, antes de esses estudos se realizarem, o que se sabia sobre as estrelas limitava-se ao que se podia ver com um telescópio, mas saber realmente do que eram formadas era um mistério que aguçava o interesse dos astrônomos.¹⁴²

Esse trabalho, ao qual Huggins se refere, era sobre aplicar os métodos de Kirchoff para o estudo das estrelas. Uma das dificuldades encontradas foi adequando o espectroscópio ao telescópio de modo que pudesse capturar a luz da estrela de forma satisfatória, o que demandou muitas tentativas antes de se obter bons resultados¹⁴³.

Huggins recorreu a um oftalmologista, o Sr. Andrews Ross, para que este lhe pudesse indicar uma lente côncava plana ou convexaplana, mas Ross lhe informou que essas lentes não eram fabricadas na Inglaterra, o que ele poderia lhe oferecer eram lentes alemãs usadas para correção de astigmatismo. Não muito tempo depois, Huggins conseguiu que lhe fizessem a lente desejada.¹⁴⁴

Para que suas experiências fossem bem sucedidas, Huggins teve que fazer muitas alterações, como a ampliação de seu observatório e a adequação do espectroscópio ao telescópio. Outro fator importante em seu trabalho, foi o auxílio de sua esposa Margaret Lindsay¹⁴⁵.

¹⁴¹ Huggins, *The scientific papers*, 6.

¹⁴² Peruzzo, Física, 15.

¹⁴³ Huggins, *The Scientific papers*, 7.

¹⁴⁴ Huggins, *The Scientific*, 7.

¹⁴⁵ Cannon, *Mrs Henry Draper*, 381.

Lindsay era uma astrônoma autodidata irlandesa que entre seus interesses, estava a Nebulosa de Orion, trabalho desenvolvido juntamente com seu marido¹⁴⁶.

A fotografia também tinha sua importância na visão de Huggins para o caso da espectroscopia astronômica, pois sem ela o trabalho do astrônomo seria um pouco mais limitado.¹⁴⁷

Huggins fez muitos de seus estudos em um observatório construído por ele mesmo no ano de 1856, em Tulse Hill, local completamente afastado de Londres, e durante quatro ou cinco anos, fez seus estudos sobre o Sol e planetas concentrando-se em Júpiter.¹⁴⁸

Huggins quis estender os estudos de Kirchoff sobre a natureza do Sol para outros corpos luminosos, assim como para estrelas e cometas. Durante o meio século de sua vida dedicado a esses estudos, conseguiu identificar linhas de hidrogênio, sódio, magnésio, ferro e alguns outros elementos em muitas estrelas.¹⁴⁹

Nas palavras do astrônomo britânico Edward Walter Maunder (1851-1928):

(...) assim como Sir William Herschel, embora não seja o inventor do telescópio, nem foi o primeiro a aplicá-lo na observação astronômica, mas o usou como ninguém antes havia usado para “romper as barreiras do céu”. Para verificar a estrutura do universo sideral, por sua vez os Huggins, que nem inventaram o espectroscópio nem foram os primeiros a utilizá-lo na astronomia, contudo carimbaram seu nome e imprimiram em quase todos os departamentos de pesquisa a que foi dirigida.¹⁵⁰

¹⁴⁶ Bruck, *Companions in astronomy*, 2.

¹⁴⁷ Huggins, *The Scientific*, 533.

¹⁴⁸ Maunder, *Sir William*, 9.

¹⁴⁹ *Ibid*, 10.

¹⁵⁰ Maunder, *Sir William*, 10.

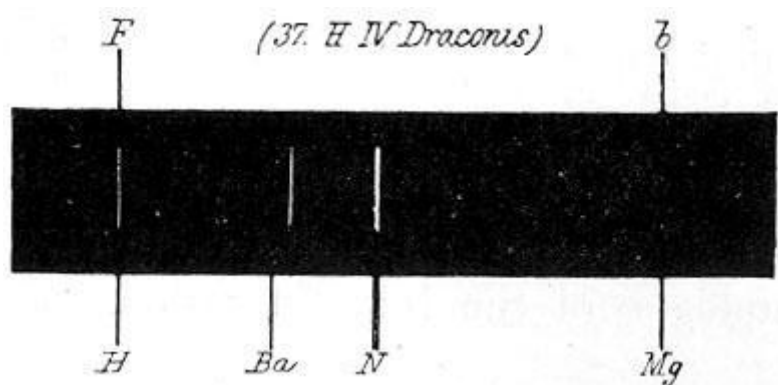


Figura 32¹⁵¹: Linhas espectrais observadas por Huggins na luz de uma nebulosa

Outro astrônomo que trilhou este caminho foi o jesuíta Pietro Angelo Secchi, diretor do observatório do Colégio Romano.

Em 1863, Secchi fez a primeira classificação de espectros de estrelas de acordo com as linhas escuras, separando-os em quatro classes, o Sol ocupava a classe 2¹⁵². Outra conclusão com base em seus estudos espectroscópicos foi que Vênus, Marte e Saturno teriam sua atmosfera com uma composição parecida com a da atmosfera terrestre¹⁵³, fato estudado até os dias atuais e ainda não se pode chegar a uma conclusão concreta..

Assim como os cientistas citados, outros estudaram a natureza da luz e a composição dos espectros estelares, pois havia uma grande curiosidade em saber do que os astros eram feitos. Com a espectroscopia, abriu-se um caminho que trouxe muitas possibilidades para a pesquisa com resultados satisfatórios. Um exemplo desses resultados foi o estudo sobre o Sol desenvolvido por muitos cientistas, entre eles Kirchhoff e Secchi. Este último publicou vários volumes sobre o assunto¹⁵⁴.

Outro personagem importante neste contexto foi o astrônomo amador Henry Draper, nascido em 1837, no condado de Prince Edward, na Virgínia, filho de um químico e filósofo natural, formado em medicina pela Universidade

¹⁵¹<http://faculty.humanities.uci.edu/bjbecker/ExploringtheCosmos/neblinesdraco.jpg> (acessado 15/09/2016).

¹⁵²Secchi, *Le Soleil*, 217-219.

¹⁵³Cannon, *The Henry Draper*, 205.

¹⁵⁴Secchi, *Le Soleil*, 1-308.

de Nova York, instituição na qual ocupava a cadeira de química, posição que Draper veio a tomar posse após a morte do pai.

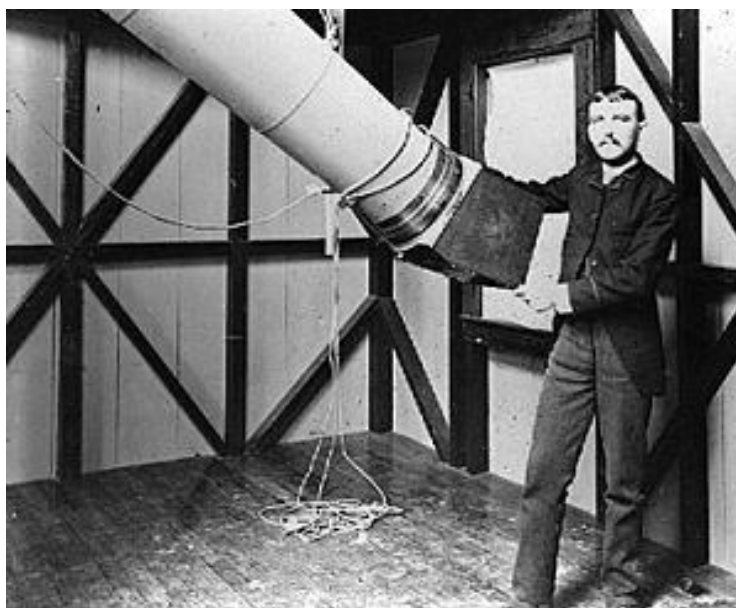


Figura 33¹⁵⁵: Henry Draper

Draper sempre teve interesse pela ciência, gosto proveniente do convívio com o pai. Em uma de suas viagens à Europa, teve seu primeiro contato com um telescópio e sua empolgação foi tal que o motivou a construir seu próprio instrumento, em uma escala menor, construção terminada em 1860. Durante esse período, teve sugestões enviadas por John Herschel, que sugeriu a troca do espelho de metal polido para o vidro prateado¹⁵⁶.

Assim, começou a se voltar para a astronomia, fez a primeira foto do espectro de uma estrela, Vega, em 1872, fotografia muito bem definida que mostrava suas linhas escuras¹⁵⁷.

Entre seus feitos está a organização para ver o eclipse de 29 de julho de 1878, evento para o qual conseguiu o lugar ideal (Rawling, Wyoming) e

¹⁵⁵https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1c/Henry_Draper.jpg/300px-Henry_Draper.jpg (acessado em 12/08/2016).

¹⁵⁶Cannon, Mrs. Henry Draper, 381.

¹⁵⁷Ibid, 381.

registrou uma excelente fotografia da coroa solar e uma fotografia do espectro de difração. Em 1880, obteve os espectros de Júpiter¹⁵⁸.

Draper tinha a intenção de registrar e classificar os espectros de todas as estrelas do céu. Mas até a data de seu falecimento havia conseguido classificar apenas algumas estrelas, ele faleceu em 20 de novembro de 1882, aos 45 anos.¹⁵⁹

Sua esposa, Anna Palmer Draper, sempre o acompanhou até mesmo em seu trabalho noturno no observatório. Após o falecimento de Draper, ela desejava fazer algo em sua memória, o primeiro impulso foi erguer um observatório em Nova York, mas não foi possível por não conseguir um local com espaço suficiente¹⁶⁰.

Em 1885, ela conheceu o Harvard College Observatory, que estava sob a direção de Edward Charles Pickering. Naquele momento, já estava havendo, no observatório, um trabalho voltado a fotografias e a espectroscopia. Como esse fora um dos principais temas de interesse de seu marido, ela decidiu fazer o memorial Henry Draper em conjunto com o Harvard College Observatory.

Ela financiou o trabalho no observatório sobre os espectros estelares e não apenas com ajuda financeira, mas acompanhava de perto todo o trabalho realizado, fazendo visitas regulares.¹⁶¹

Em um dos relatórios do catálogo, vemos essa influência de Anna:

“O estudo fotográfico dos espectros das estrelas continuará sendo o assunto principal, mas a senhora Draper decidiu estender o campo do trabalho desenvolvido de modo a incluir o estudo de outras propriedades físicas das estrelas por fotografia”¹⁶²

Como já visto, o trabalho no Harvard College Observatory era realizado por mulheres, Antonia Maury, Williamina Fleming foram as que começaram a fazer essa pesquisa, continuada e concluída por Annie Jump Cannon que desenvolveu o sistema de Classificação Espectral de Harvard.

¹⁵⁸ Ibid, 380.

¹⁵⁹ Ibid, 382.

¹⁶⁰ Ibid, 379.

¹⁶¹ Ibid, 381.

¹⁶² Ibid, 382.

Este memorial foi um meio não apenas de homenagear seu marido, mas também de terminar o trabalho que ele havia começado.

Apesar de Pickering ser o diretor do observatório, Ana Draper fez questão de orientar cada parte do projeto, enquanto coube a Williamina Fleming, Antonia Maury e Annie Jump Cannon, a classificação das estrelas contidas no catálogo. Cannon foi a que classificou o maior número de estrelas e concluiu o memorial.

O catálogo publicado entre os anos de 1918 e 1924 era composto de nove volumes que continham um total de 225.300 estrelas classificadas.¹⁶³

¹⁶³Sedeño, "Buscadores de Estrellas", 3.

Capítulo 3 : As pesquisas no Harvard College Observatory.

Neste capítulo trataremos mais especificamente do trabalho realizado no Harvard College Observatory e a classificação espectral desenvolvida por Annie Jump Cannon.

3.1 A espectroscopia no Harvard College Observatory

Como explicitado anteriormente, Cannon foi uma das responsáveis pelo trabalho em espectroscopia do Harvard College Observatory, incluindo o memorial Henry Draper.

Esse trabalho já havia sido iniciado por Williamina Paton Fleming e por Antonia Maury sobrinha de Henry Draper.

Fleming teria examinado todas as placas feitas em Cambridge e em Arequipa (telescópios pertencentes a Harvard) marcando em cada uma delas objetos que possuíam peculiaridades em seus espectros. Com resultado desse trabalho ela descobriu dez novas estrelas e classificou outras 10.351.¹⁶⁴

No mesmo período que Fleming estava no observatório, outra astrônoma, Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury, ou simplesmente Antonia Maury, também realizava trabalho com os espectros,

Em 1886, Maury foi incumbida de catalogar os espectros das estrelas do hemisfério norte. Apesar de sua visível habilidade e competência, Maury era mais independente, fazendo pesquisas e, por vezes, deixando um pouco de lado as atribuições dadas por Pickering, fato que o deixava insatisfeito¹⁶⁵. Dorrit Hoffleit relata:

“Ela foi uma das pensadoras mais originais de todas as mulheres que Pickering empregou... Mas em vez

¹⁶⁴ Cannon, Williamina, 987.

¹⁶⁵ Bracher, Introduction Astronomy, 13.

de encorajar suas tentativas de interpretar observações, ele ficava irritado com a sua independência e saídas da rotina atribuída e esperada.”¹⁶⁶

Em 1891, Maury deixou Harvard para lecionar na Escola Gilman em Cambridge e só voltou para trabalhos esporádicos no observatório.

Juntamente com Maury, Annie Jump Cannon fazia o mesmo trabalho, porém com os espectros das estrelas do hemisfério Sul.

Após a morte de Fleming, Cannon passou a ocupar seu lugar como curadora no Harvard College Observatory. Ela conseguiu reorganizar o sistema de classificação espectral iniciado por Fleming e Maury. Neste tempo, também conseguiu examinar placas fotográficas e classificou cerca de 400.000 estrelas, como parte do trabalho para o memorial Henry Draper. Dessas estrelas 250.000 deram origem ao catálogo Henry Draper ¹⁶⁷

Nos próximos capítulos vamos mostrar como Cannon pensou a Classificação Espectral de Harvard. O sistema de classificação espectral de Harvard feito por Cannon ainda é utilizado nos dias atuais.

¹⁶⁶Hoffleit, *Reminiscences*, 216.

¹⁶⁷Bracher, *Introduction Astronomy*, 10.

3.2 Classificação Espectral

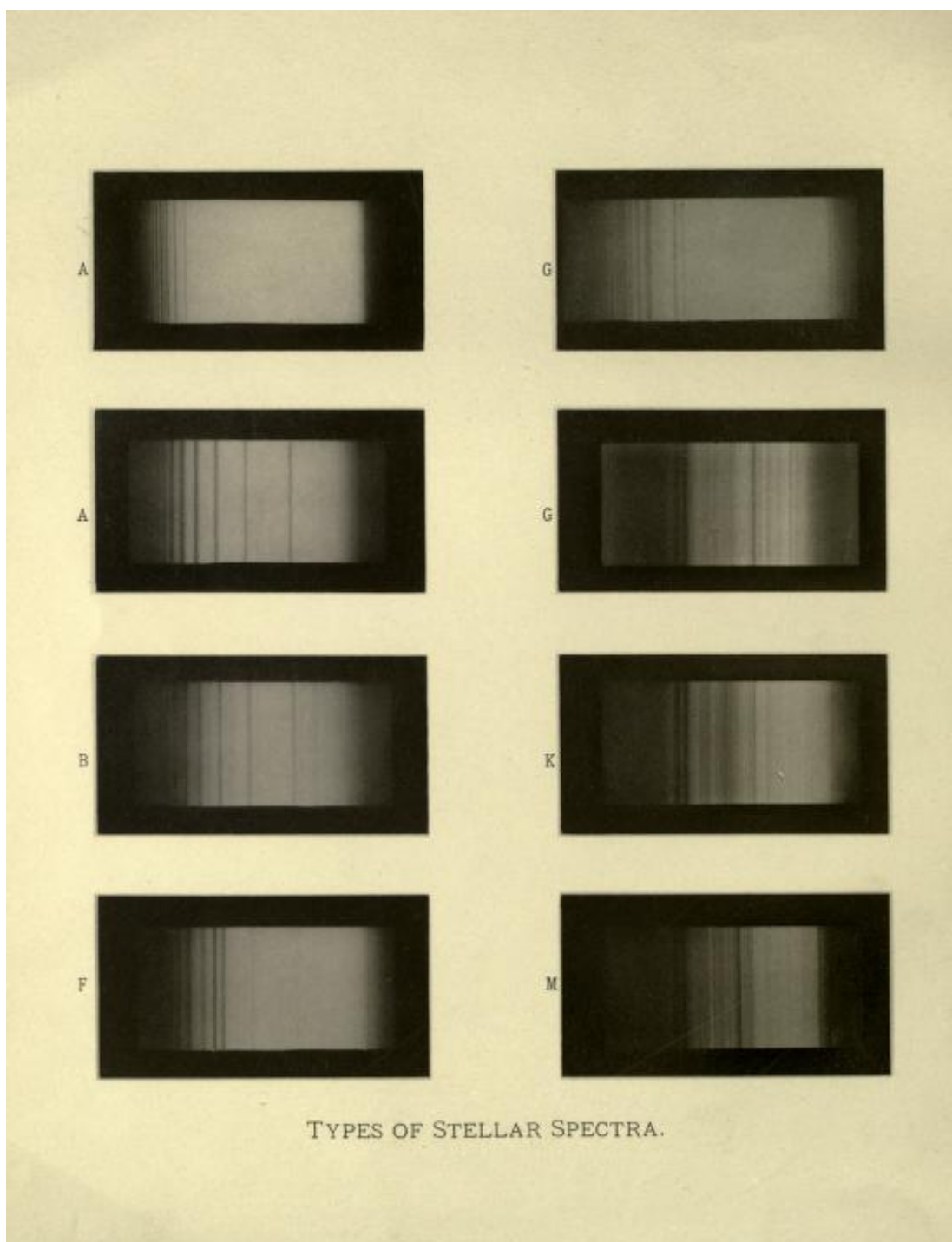


Figura34¹⁶⁸: Placas com Espectros Estelares

Um sistema de classificação espectral havia sido feito pelo jesuíta Pietro Secchi, em 1863, que conseguiu observar cerca de 4000 espectros e classificar 500, classificação esta dividida em quatro classes onde ele relacionou as linhas

¹⁶⁸<https://archive.org/stream/drapercatalogueo00harvrich#page/n7/mode/2u> (acessado 12/08/2016)

espectrais com a temperatura ¹⁶⁹. Segue um resumo da classificação de Secchi:

Classe I - estrelas brancas como Sirius e Vega

Classe II - estrelas amarelas como o Sol

Classe III- estrelas alaranjadas como Antares

Classe IV- estrelas vermelhas como Mira

Williamina Fleming reformulou a classificação de Secchi para que fosse mais abrangente e detalhada, incluindo outras peculiaridades das estrelas, pois essa classificação não era muito específica por não contemplar todas as minúcias dos espectros estelares. Essa deficiência no trabalho de Secchi provavelmente deve-se ao fato de suas classificações terem sido feitas através de observações visuais sem fotografia ou, as imagens, algumas vezes, não eram de tão boa qualidade devido ao prisma usado.¹⁷⁰

Outro astrônomo que também fez uma classificação baseada na de Secchi foi Frank McClean (1837-1904), em 1897 ele verificou que as estrelas tipo I de Secchi poderiam ser divididas em 3 tipos e as divisões II, III e IV permaneceriam, mas deveriam ser renomeadas para IV, V e VI, assim a classificação passaria a ter 6 classes. McClean levou em consideração as linhas de Hélio existentes nos espectros, e a evolução das estrelas.¹⁷¹

Além da classificação de Secchi e McClean, ainda existiam na época outras classificações baseadas nos espectros como as de Herman Carl Vogel¹⁷² (1841-1907) e a de Norman Lockyer¹⁷³ (1836-1920) que também basearam-se em Secchi.

Williamina Fleming, em seu trabalho, no Harvard College Observatory, iniciou um sistema de classificação espectral juntamente com Pickering. Após o início do uso da fotografia para registro dos espectros, Pickering e Draper fizeram várias placas, que foram utilizadas por Fleming.

¹⁶⁹ Hoffleit, *Pioneering*, 370.

¹⁷⁰ Katalin, *Williamina*, 1.

¹⁷¹ Devorkin, *"An Astronomical symbiosis"*, 137.

¹⁷² Ibid, 96.

¹⁷³ Ibid, 88.

O sistema desenvolvido por Fleming e Pickering contava com 12 classes espectrais distribuídas de A a M sendo que a letra J foi omitida para que não fosse confundida com o I, depois colocaram mais cinco tipos e, posteriormente, outros dois tipos que incluíam as novas e as variáveis eclipsantes e pulsantes.¹⁷⁴

Antonia Maury foi a astrônoma responsável por continuar o trabalho de Fleming. Em sua época, por volta de 1888, a qualidade das fotografias havia melhorado e ela pôde fazer melhores observações¹⁷⁵.

Cabia a Maury aperfeiçoar a classificação de acordo com o sistema Pickering-Fleming. Ela verificou algumas discordâncias nas classes desse sistema. Com a autorização de Pickering, ela fez as alterações e, em 1897, publicou um catálogo com 681 estrelas do norte¹⁷⁶.

A classificação de Maury consistia em 22 grupos representados por números romanos e subdivididos pelas letras minúsculas *a*, *b* e *c*¹⁷⁷.

Apesar da habilidade de Maury, Pickering estava insatisfeito com o seu trabalho, pois acreditava que ela se prendia a detalhes desnecessários, e, portanto, devido a sua desobediência e demora em realizar o que lhe fora pedido, a Sra. Draper incentivou Pickering a demitir Maury, mesmo sendo sobrinha de seu falecido marido. Maury, também insatisfeita, afastou-se do observatório, mas, com a ameaça de ver seu trabalho terminado por outras mãos, ela voltou e o terminou em 1897¹⁷⁸.

Para Pickering, as subdivisões de Maury *a*, *b* e *c*, eram apenas relacionadas à qualidade das placas fotográficas, e não às características intrínsecas das estrelas.

A classificação de Maury ficou esquecida por quase 10 anos, até que em 1905 Ejnar Hertzsprung tentava mostrar que estrelas de mesma cor devem estar em grupos de luminosidades intrínsecas diferentes e, portanto, deveria haver diferença em seus espectros

Ao analisar a classificação de Maury, Hertzsprung percebeu que as estrelas para as quais ela atribuiu a letra *c* eram na verdade estrelas de grandes luminosidades, como gigantes e supergigantes, como ele havia

¹⁷⁴ Ibid, 1.

¹⁷⁵ Hoffleit, *Pioneering*, 382.

¹⁷⁶ Ibid, 383.

¹⁷⁷ Ibid, 372.

¹⁷⁸ Ibid, 384.

pensado. Ele escreveu um elogio ao trabalho de Maury para Pickering “o avanço mais importante na classificação estelar desde os julgamentos de Vogel e Secchi”.¹⁷⁹

Com a saída de Maury do Harvard College Observatory, Cannon passou a ser a única responsável pela classificação espectral, tanto das estrelas do hemisfério Sul quanto do hemisfério Norte.

Cannon, embora tão talentosa quanto Maury, mostrava-se mais obediente às ordens de Pickering, e desenvolveu seu sistema de classificação com base no sistema Pickering-Fleming, não levando em consideração o sistema de Maury, embora tenha comparado suas observações com as dela e visto que suas impressões eram semelhantes, mas concordava com Pickering sobre a característica c, que poderia não ser uma peculiaridade intrínseca da estrela, o que Hertzsprung provaria que não era verdade.¹⁸⁰

Cannon publicou, em 1901, o seu sistema de classificação espectral, conhecido como Classificação Espectral de Harvard. Ele contava com sete classes, cada uma subdividida em dez, as letras que representavam essas classes eram O, B, A, F, G, K e M. Depois essa classificação era lembrada através da frase mnemônica “ Oh Be A Fine Girl, Kiss Me”, não se sabe de quem foi a autoria dessa frase.¹⁸¹

Nesta classificação, as estrelas da classe O tem as linhas de Balmer¹⁸² do hidrogênio, fracas, as do tipo A apresentam essas linhas mais fortes, as da classe F já têm essas linhas diminuídas, essa variação nas linhas de absorção é devido à variação na quantidade dos elementos químicos.

A classificação de Cannon levou em consideração a temperatura das estrelas, e todas as linhas espectrais, não apenas as de hidrogênio, como era

¹⁷⁹ Ibid, 385.

¹⁸⁰ Hoffleit, *Pioneering*, 386.

¹⁸¹ Cannon, *Classification of 1477*, 66.

¹⁸² É a temperatura que determina o espectro das estrelas, consideremos uma linha de Balmer do hidrogênio, essas linhas se originam em transições entre o segundo nível de energia do hidrogênio e qualquer outro nível acima dele: transições de nível para cima ($n_2 > 2$) resultam em absorção, transições de nível para baixo ($n_2 = 2$) resultam em emissão. Então, para uma estrela ter linhas de Balmer intensas, ela precisa ter muitos átomos de hidrogênio excitados ao nível $n=2$. Isso acontece em estrelas com temperatura em torno de 10 000 K ($kT = 0,86$ eV); para temperaturas muito mais baixas, como a do Sol por exemplo, o hidrogênio está no estado fundamental e poucas colisões podem acontecer que sejam energéticas o suficiente para excitar o hidrogênio. Já em estrelas com temperaturas muito mais altas, o hidrogênio está quase todo ionizado, devido às frequentes colisões e, novamente, existem muito poucos átomos excitados. Assim, as linhas de Balmer ficam fracas em estrelas muito quentes ou muito frias, apesar de o hidrogênio existir abundantemente em todas. Vide; Oliveira, *Astronomia*, 176.

feito na classificação de Fleming. No quadro abaixo, podemos ver um resumo de sua classificação espectral:

Classe	Temperatura	Cor convencional	Cor aparente ^{[1][2]}	Massa (massas solares)	Raio (raio solar)	Luminosidade	Linhas de hidrogénio	% das estrelas da sequência principal ^[3]
O	30,000–60,000 K	azul	azul	64 $M_{\odot}$	16 $R_{\odot}$	1,400,000 $L_{\odot}$	Fraco	~0.00003%
B	10,000–30,000 K	azul a azul-branco	azul-branco	18 $M_{\odot}$	7 $R_{\odot}$	20,000 $L_{\odot}$	Médio	0.13%
A	7,500–10,000 K	branco	branco	3.1 $M_{\odot}$	2.1 $R_{\odot}$	40 $L_{\odot}$	Forte	0.6%
F	6,000–7,500 K	amarelo-branco	branco	1.7 $M_{\odot}$	1.4 $R_{\odot}$	6 $L_{\odot}$	Médio	3%
G	5,000–6,000 K	amarelo	amarelo-branco	1.1 $M_{\odot}$	1.1 $R_{\odot}$	1.2 $L_{\odot}$	Fraco	7.6%
K	3,500–5,000 K	laranja	amarelo-laranja	0.8 $M_{\odot}$	0.9 $R_{\odot}$	0.4 $L_{\odot}$	Muito fraco	12.1%
M	2,000–3,500 K	vermelho	laranja-vermelho	0.4 $M_{\odot}$	0.5 $R_{\odot}$	0.04 $L_{\odot}$	Muito fraco	76.45%

Figura 35¹⁸³: Tabela com as temperaturas das estrelas conforme sua classe

¹⁸³ <http://www.dominiosfaantasticos.com.br/starclass.jpg> (acessado em 20/10/2016).

Como vimos em sua biografia, Cannon teve uma formação acadêmica voltada para astronomia e se especializou em espectroscopia. Seu perfil de pessoa calma e concentrada talvez a tenha auxiliado nesse trabalho tão meticuloso e o fato de obedecer a seus superiores realizando o que lhe era pedido, não a impediu de realizar algo que tinha a sua identidade, contribuindo para o sucesso em seus resultados.

Cannon fez a Classificação Espectral que lhe foi proposta, mas a fez de seu modo, com suas pesquisas e de acordo com o que ela supôs ser a melhor forma, e parece que estava certa, pois sua classificação mantém-se até hoje¹⁸⁵. Ela foi protagonista de um dos grandes feitos na astronomia, a classificação de quase 400.000 estrelas e a organização das classes espectrais.

Infelizmente, Cannon não deixou uma autobiografia, que teria facilitado o trabalho de saber, com mais detalhe, como era seu pensamento e sua forma de raciocínio.

Para exemplificar o trabalho feito por ela, o subcapítulo 3.4 irá mostrar seu trabalho na classificação de uma estrela a Nova Aquilae 1918.

3.3 Classificação Espectral de Harvard

A Classificação de Harvard, como visto anteriormente, é designada pelas letras O B A F G K M, e cada classe é subdividida em dez subclasses. Cannon fez essas subdivisões quando percebeu que dentro de cada classe espectral havia diferenças que não faziam a estrela mudar de classe, mas que, dentro de suas peculiaridades, eram diferentes, como, por exemplo, a variação de temperatura dentro da mesma classe, as letras que define cada classe já eram usadas no sistema Pickering-Fleming.¹⁸⁶

Essas classes seguem uma ordem decrescente de temperatura, ou seja, as estrelas da classe O são as mais quentes e as da classe M as que possuem as temperaturas mais baixas.

Segue um resumo das características de cada classe espectral:¹⁸⁷

¹⁸⁵ Hoffleit, Pioneering, 371.

¹⁸⁶ Faria, Fundamentos, 121

¹⁸⁷ Ibid, 121-124

- Classe O – São estrelas que possuem as temperaturas mais elevadas, apresentam raias de hidrogênio ionizado. Devido a sua alta temperatura, as reações em seu núcleo são intensas, fazendo com que tenham vida mais curta, podendo explodir em supernovas e, por seu tamanho, podem virar buracos negros ou estrelas de nêutrons. Ex.: Mintaka e Zeta Orionis
- Classe B – São estrelas grandes conhecidas como supergigantes azuis. São bem luminosas. Se comparadas ao Sol, são extremamente grandes, mas pequenas se comparadas às estrelas de classe O, seu tempo de vida também é menor e podem explodir em supernovas. Ex.: Rigel
- Classe A – São menores que a classe B, vivem por mais tempo e muitas são anãs brancas. Ex.: Sirius.
- Classe F- São estrelas caracterizadas por suas linhas de hidrogênio. Ex.: Formalhaut
- Classe G – Nesta classe encontra-se o Sol, são estrelas amareladas e possuem baixas linhas de hidrogênio. Estrelas nessa fase, no fim de suas vidas, podem se tornar gigantes vermelhas. Ex.: Sol
- Classe K – São estrelas alaranjadas e mais frias que o Sol, podem ter vida mais longa, pois suas temperaturas mais baixas fazem com que os processos nucleares sejam menos intensos. Ex.: Alpha Centauri
- Classe M – Essa é a classe que possui um número maior de estrelas, as anãs vermelhas pertencem a essa classe. Ex.: Próxima Centauri.

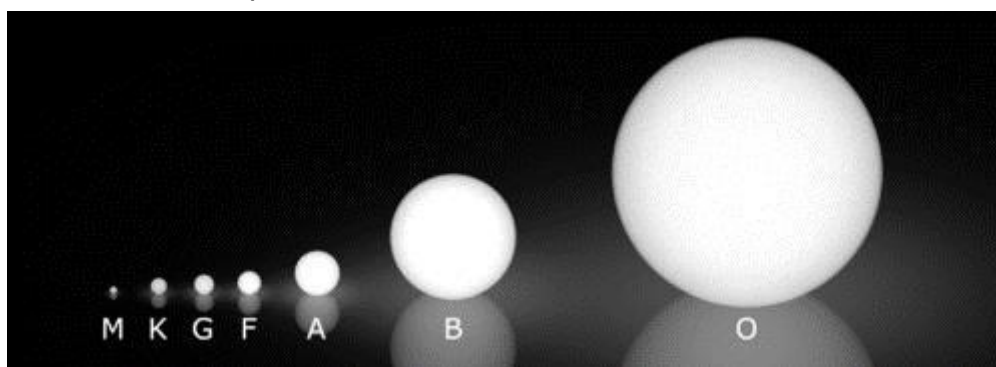


Figura 42¹⁸⁸: comparação entre os tamanhos das estrelas segundo sua classe

¹⁸⁸<http://image.taodabai.com/upload/d/0d/d0d153f3162fe1ec15921d29786bcdcc.png> (acessado em 03/11/2016)

Harlow Shapley, o astrônomo que sucedeu Pickering, em 1921, refere-se ao trabalho de Cannon para a astronomia como "uma estrutura que provavelmente nunca será duplicada em espécie ou em extensão por um único indivíduo."¹⁸⁹

Mesmo após a publicação do Catálogo Henry Draper, Cannon continuou suas classificações e fez uma extensão que continha um total de 46.856 estrelas. Essa publicação foi entre os anos de 1925 e 1936 e entre 1937 e 1949 foi publicada por Cannon uma extensão com 86.933 estrelas, e ainda foi feita por ela mais um ampliação chegando ao número aproximado de 225.000 estrelas.¹⁹⁰

O primeiro catálogo Henry Draper foi publicado com a classificação feita por Fleming e continha 10351 estrelas¹⁹¹.

¹⁸⁹ Reynolds, *American Women*, 20

¹⁹⁰ Ibid, 2.

¹⁹¹ Pickering, *The Draper*, 1.

3.4 A Classificação do espectro da Nova Aquilae 1918

A seguir, mostraremos como Cannon realizou a classificação espectral de uma estrela com a utilização das chapas fotográficas e os procedimentos necessários para realização desse estudo.

Cannon, em seu trabalho no Harvard College Observatory, catalogou milhares de estrelas de acordo com seus espectros, uma dessas foi a Nova Aquilae 1918, uma estrela de grande importância no meio astronômico, isso devido ao fato de ter sido a Nova mais brilhante vista até aquela época, seu pico de magnitude chegou próximo ao da estrela Sirius¹⁹².

A explosão da Nova Aquilae foi observada em 1918, mas como se sabe, essa explosão aconteceu muito antes e os cálculos apontam que teria ocorrido no século VIII. Hubble, em seu artigo intitulado ““Novae or Temporary Stars”, relata esse acontecimento¹⁹³.

Harlow Shapley (1885-1972), astrônomo americano, faz menção à magnitude atingida pela Nova Aquilae e confirma o fato, já mencionado, de que foi um dos objetos mais brilhantes já identificados.¹⁹⁴ O astrônomo George F. Paddock (1879-1955) também não deixa de ressaltar o brilho da estrela quando fala de seu espectro¹⁹⁵, com isso podemos concluir que a magnitude alcançada pela Nova Aquilae realmente impressionou os observadores, pois esse brilho atingido foi algo único na época, e por esse motivo levantou o interesse da comunidade astronômica.

Por se tratar de uma Nova com atividade peculiar e própria, que mostrou tantas variações e teve vários registros fotográficos de seu espectro, ela foi escolhida neste trabalho para exemplificar o início de um processo de classificação espectral estelar. O documento selecionado foi “The Spectrum of Nova Aquilae nº3”, no qual Cannon mostra em detalhes o processo envolvido para inserir a Nova Aquilae 1918 em umas das classes espectrais¹⁹⁶.

Muitos registros nos mostram que a Nova Aquilae foi vista por um grande número de astrônomos na época de seu primeiro pico de magnitude,

¹⁹² Hubble, “Novae or temporary”, 56.

¹⁹³ Hubble, “Novae or Temporary”, 57.

¹⁹⁴ Shapley “*Ligth and color*”, 40

¹⁹⁵ Paddock, “The Spectrum”, 244-245

¹⁹⁶ Cannon, “The Spectrum”

sendo difícil dizer quem foi o primeiro astrônomo a observá-la. Supõe-se que Edward Emerson Barnard (1857-1923) foi um dos primeiros a ver seu brilho, enquanto fazia estudos sobre a Via Láctea com a intenção de mostrar algumas áreas não exploradas dessa galáxia. Barnard relata que já estava observando a Nova Aquilae há algum tempo¹⁹⁷. Vale lembrar que naquele momento também havia um debate envolvendo os astrônomos Edwin Powell Hubble, Harlow Shapley e Herbert Curtis (1818-1890); sobre o tamanho e a forma da Via Láctea¹⁹⁸. Para que suas teorias fossem comprovadas ou refutadas, era necessário observar a galáxia e as Novas que nelas aparecessem, pois estas seriam objetos de estudo para os cálculos que auxiliariam as pesquisas.

Segundo Shapley, a Nova Aquilae 1918 foi observada por cerca de 100 astrônomos. Naquela época, além de todo estudo envolvendo a Via Láctea, ainda havia o fato de que Albert Einstein (1879-1955) procurava comprovar sua teoria da relatividade¹⁹⁹, que era de interesse de todos.

A comprovação da teoria de Einstein, faria com que a teoria da gravitação de Newton só fosse válida para casos particulares, ou seja, de corpos com massas muito menores do que a do Sol e velocidade menor do que a da luz, e isso mudaria o cenário astronômico bem como os cálculos e a visão que se tinha do movimento do universo²⁰⁰.

Portanto, a Nova Aquilae surgiu em um momento em que os olhares de vários pontos do mundo estavam voltados para o céu e, sendo assim, seu brilho pôde ser detectado por um grande número de pesquisadores.

Shapley ainda escreve que, em 08 de junho de 1918, o astrônomo Alfred H. Joy (1882-1973) foi o primeiro a realizar esse feito, acoplando um espectrógrafo ao telescópio, obtendo o registro da imagem²⁰¹. A observação de Joy foi feita no Observatório Monte Wilson, na Califórnia, através do telescópio Hale de 60 polegadas, na época, um dos melhores telescópios para espectroscopia, devido a sua boa resolução na imagem e sua localização²⁰². Se Joy não foi, de fato, o primeiro a descobri-la, talvez possa ter sido o primeiro

¹⁹⁷ Barnard, "Some notes", 222

¹⁹⁸ Damineli, *Hubble*, 52

¹⁹⁹ Martins, *O Universo*, 173-175.

²⁰⁰ Ibid, 168.

²⁰¹ Shapley, "Light and Color", 40.

²⁰² Joy, "Mount Wilson Observations", 251.

a registrar as imagens da Nova através do espectrógrafo, mas não temos como concluir.

Com as primeiras observações do espectro da Nova Aquilae, Joy deduziu que poderia ser uma estrela de classe A, devido as suas linhas de hidrogênio serem mais fortes, o que é característica dessa classe espectral. No entanto, a estrela mostrou flutuações em seu espectro, tanto que nos dias 09 e 10 de junho fora observadas linhas de Hélio e Hidrogênio, e isso já não garantia que a estrela fosse da classe A²⁰³.

Joy chegou a essa conclusão em uma primeira avaliação do espectro emitido, mas, como veremos, é realmente impossível classificar uma estrela desse tipo que mostra oscilações, são necessárias várias observações.

Em suas observações iniciais das fotografias dos espectros da Nova Aquilae, Cannon também a posicionou na classe A, levando em consideração placas fotográficas do mesmo período que Joy avaliou.

Muitos aspectos pareciam influenciar nos registros do espectro dessa estrela. Para Barnard, um dos componentes que influenciavam na coleta dos dados do brilho da Nova e suas particularidades era o uso de diferentes instrumentos, como relata em um artigo:

[...] a Nova apareceu relativamente brilhante em pequenos telescópios, devido principalmente ao fato de que em tal instrumento toda a luz foi para formar a imagem, enquanto que em um telescópio maior, parte da luz foi para formar o brilho óptico sobre a verdadeira imagem. Esse recurso foi muito marcante e deve-se ter em conta em qualquer investigação de seu brilho²⁰⁴.

Na noite de 8 de Junho de 1918, Barnard registrou que a Nova Aquilae 1918 atingira um pico de magnitude de -0,5²⁰⁵. Para Shapley, esse pico fora atingido em 09 de junho, divergência que pode ser explicada devido ao horário que foram feitas as observações.

²⁰³Ibid , 252.

²⁰⁴Barnard, "*Some Notes* ", 222..

²⁰⁵Cannon, "*The Spectrum* "

Hubble também fez um trabalho no qual mencionou as características da Nova Aquilae 1918. Ele descreve em seu artigo:

Nova Aquilae 1918 pode ser descrita como um exemplo típico. Por 30 anos anteriores a 1918, apareceu em fotografias ocasionais como uma estrela branca normal de magnitude (cerca de 100 vezes mais fraca do que a mais fraca estrela visível a olho nu). Em 05 de junho de 1918 a sua aparência ainda era normal, mas duas noites depois, no dia 07 de junho, tinha deflagrado, sem qualquer aviso, a visibilidade a olho nu e ainda estava subindo a uma taxa que duplicou a sua luminosidade em menos de uma hora. Pela noite seguinte ela tinha alcançado a primeira magnitude, mais brilhante que a de Antares, e mais tarde ainda 1,4[...] Em três dias ela tinha atingido quase 100.000 vezes seu brilho original – como sabemos agora, de 4 a cerca de 400.000 vezes a luminosidade do Sol. Quase ao mesmo tempo, começou a desvanecer-se, rapidamente no início, depois cada vez mais devagar.²⁰⁶

No que se refere aos registros da Nova Aquilae, foram feitas cerca de 6.000 observações por 248 astrônomos distribuídos da seguinte forma: 87 da América do Norte, 3 da América do Sul, 132 da Europa, 8 da Ásia, 13 da Austrália e 5 da África²⁰⁷. Muitas dessas observações foram realizadas a pedido do Harvard College Observatory, pois, para fazer a análise espectral da estrela precisava medir sua curva de luz²⁰⁸.

Foi através dessas observações registradas em chapas fotográficas que Annie Jump Cannon realizou seu trabalho de classificação espectral da Nova Aquilae 1918, publicado no artigo intitulado “The Spectrum of Nova

²⁰⁶ Hubble, “Novae or Temporary”, 55.

²⁰⁷ Shapley “Light and Color”, 40

²⁰⁸ Ibid, 40.

Aquillae nº3". Este documento será analisado em detalhes nas próximas páginas, pois nele Cannon mostra o processo de classificação espectral dessa estrela.

Cannon mostra, em seu relato as oscilações de magnitude da Nova, explicando a sua curva de luz, como no trecho:

A curva da luz desta nova estrela pode agora ser discutida sob cinco divisões gerais e, ao contrário de qualquer nova que ainda tenha aparecido, os espectros têm sido obtidos durante cada um desses períodos. Podem ser definidos da seguinte forma: - primeiro, o período anterior à explosão, de maio de 1888 a 5 de junho de 1918, quando a estrela estava fraca e sujeita a flutuações irregulares entre as magnitudes 10,5 e 11,3; Segundo, o tempo de rápido aumento do brilho, que começou mais tarde do que 5 de junho de 1918, quando a estrela era de magnitude 10,5, mas mais cedo do que junho, quando a estrela já atingiu a magnitude 6,9, atingindo seu máximo, -1,2, em 9 de junho; Terceiro, o tempo de rápida diminuição do brilho até 25 de junho de 1918, quando a magnitude era de cerca de 3,0; Quarto, o período oscilatório marcado entre 25 de junho e 6 de setembro de 1918, durante o qual ocorreram sete máximos e mínimos secundários, variando de 0,3 a 0,6 de magnitude, num período que passa de 8 a 14 dias; E quinto, o declínio mais lento e irregular para a oitava magnitude no momento atual.²⁰⁹

Podemos comparar esse trecho com o que anteriormente foi relatado por Hubble e outros astrônomos e veremos coincidir algumas das conclusões,

²⁰⁹ Cannon, "The Spectrum", 179

como a que diz que nos trinta anos anteriores até 1918, a estrela não havia mostrado grandes mudanças em seu brilho e que em junho de 1918, foi registrado um brilho intenso da estrela. Harlow Shapley também descreve essa variação no brilho. Para ele, isso começou a ocorrer em 07 de junho de 1918, e atingiu sua máxima no dia 09 de junho. Como afirmado anteriormente, quatro dias depois, esse brilho mostrou uma diminuição²¹⁰.

Para a classificação espectral, eram necessários longos períodos de observação, em épocas diferentes, por isso a necessidade de analisar placas fotográficas vindas de vários telescópios. As placas mais utilizadas por Cannon eram as do próprio Harvard College Observatory e as que vinham de Arequipa.

Na observação da Nova Aquilae, Cannon observou placas tiradas pelos Telescópios: Bache de 8 polegadas, Boyden de 13 polegadas, Draper de 8 polegadas, Metcalf de 16 polegadas, todos eles estavam situados no hemisfério Sul. Isso devido ao fato de a Constelação de Áquila estar totalmente visível no céu do hemisfério Sul, no inverno, época em que a Nova Aquilae fora observada.

Essas placas fotográficas, tiradas de diferentes equipamentos, permitiram que Cannon pudesse fazer comparações e escolher entre elas as que possuísem imagens mais nítidas. Em seu documento, Cannon não explica detalhadamente o critério de escolha das placas, mas, como ela possuía acesso a diversas delas vindas de vários lugares certamente escolheu as melhores, ou seja, as que tinham imagens mais nítidas. Como vimos, a estrela mostrou flutuações durante as observações e talvez esse também seja um fator de escolha, para que se pudesse fazer comparações. Cannon apenas relata que as placas do telescópio Bache e do Refletor foram descartadas, devido a pequena dispersão e que a série obtida pelo telescópio Draper foi a que mostrou um espectro mais contínuo. Esse fato é apropriado para mostrar as características espectrais da estrela e também facilita observar mudanças bruscas no seu comportamento.

Nota-se a diferença entre o trabalho realizado por Barnard e por Cannon. Barnard fazia as suas próprias observações e podia ver e compreender as diferenças entre os telescópios, já Cannon só podia realizar seu trabalho observando as placas, porém isso não a prejudicou.

²¹⁰Shapley “Ligth and color”, 40

O trabalho realizado por Cannon era minucioso e necessitava de muito conhecimento de espectroscopia para poder analisar e escolher o que era ou não apropriado, reconhecendo nas placas fotográficas as nuances e diferenças entre os telescópios, ou seja, sua observação não era direta, mas seu conhecimento permitia que identificasse e escolhesse as melhores imagens²¹¹.

Como em muitos trabalhos na astronomia, Cannon organizava seus resultados em tabelas, método de organização muito usado desde a antiguidade, pois um dado sozinho pode não dizer nada, mas quando organizados em uma tabela, pode-se ver melhor as repetições, as semelhanças entre eles e aí tirar conclusões.

Os dados analisados por Cannon e registrados nas tabelas eram as características das estrelas, suas magnitudes em dadas épocas do ano. Também eram registrados os números e datas das placas analisadas.

A tabela a seguir nos dá um exemplo dessa organização. Ela foi um dos primeiros passos para a classificação espectral da Nova Aquilae 1918, ou seja, contém a seleção do material utilizado para a análise, estão relacionadas apenas as melhores placas fotográficas, de telescópios diferentes.

²¹¹ Reynolds, "American Women", 19.

TABLE I.
LIST OF PLATES.

Date 1918	J. D.	Ex.	Date 1918	J. D.	Ex.	Date 1918	J. D.	Ex.
m. d.			m. d.			m. d.		
6 9	21754.782i	25	7 19	21794.626i	44	8 19	21825.635i	59
11	21756.581i	45	20	21795.652i	24	20	21826.573x	67
12	21757.591i	45	21	21796.707i	33		.708i	50
	.748x	63	22	21797.575i	13	21	21827.594x	79
13	21758.589i	44	24	21799.617x	72	22	21828.589x	78
14	21759.643i	39	25	21800.642x	61		.598i	87
	.676x	75	26	21801.632i	30	26	21832.718i	60
15	21760.677i	64		.632x	66	27	21833.537i	51
	.690x	63	27	21802.563i	33		.581x	62
16	21761.676i	79		.627x	63	28	21834.585i	62
17	21762.679x	54	28	21803.656i	52	29	21835.573x	73
18	21763.582i	37	29	21804.612i	88	30	21836.561i	61
	.687x	63		.651x	100	9 2	21839.557i	72
19	21764.823i	10	30	21805.689x	68	3	21840.537i	65
20	21765.818i	36	31	21806.635x	71	4	21841.560i	86
22	21767.724i	44	8 1	21807.699x	78	5	21842.544i	80
23	21768.822i	21		.724i	43	6	21843.547x	81
24	21769.602i	10	2	21808.717x	70		.609i	68
25	21770.583i	42	3	21809.567i	66	7	21844.545x	78
26	21771.578i	18	4	21810.619x	89		.594i	73
27	21772.750b	60	5	21811.626i	75	8	21845.555x	96
28	21773.691x	60		.684x	85	9	21846.632i	90
29	21774.586i	42	6	21812.574i	67	10	21847.526x	80
	.690x	60		.636x	77		.555i	102
7 1	21776.717b	60	7	21813.675x	78	11	21848.535i	77
2	21777.643i	63		.685i	63	13	21850.520i	35
3	21778.792i	56	8	21814.567i	61		.573h	35
4	21779.657i	51		.676x	70	14	21851.526x	87
7	21782.666i	53	11	21817.609x	64		.557i	60
8	21783.580i	48	12	21818.596x	87	15	21852.520i	52
10	21785.629i	74	13	21819.566i	75	16	21853.520x	81
11	21786.762i	64		.603x	72	19	21856 i	R
12	21787.616i	86	14	21820.613x	70	21	21858.522x	71
13	21788.691b	60		.767i	45		.544i	62
14	21789.672i	65	15	21821.569i	65	23	21860.529x	67
15	21790.589i	40		.644x	83	24	21861.508x	82
16	21791.583i	60	17	21823.585i	39	28	21865.573i	73
18	21793.652i	44	18	21824.588x	99	29	21866.507x	81

Figura 37²¹²: Tabela de placas fotográficas

²¹² <http://pds.lib.harvard.edu/pds/view/12044513?n=3&imagesize=1200&jp2Res=.25&printThumbnails=no> (acessado em 12/08/2016)

A Nova Aquilae já vinha sendo fotografada desde 1899 por Harvard, mas suas linhas eram fracas e apresentavam linhas escuras que pareciam pertencer à série de hidrogênio. Essas fotografias assemelhavam-se às classes B e A, mas não se podia afirmar, Cannon apenas assegurou que não pertencia às classes G ou K. A classificação da estrela ainda não era possível com essas informações. As placas, a partir de junho de 1918, eram mais precisas, pois foi o período em que a estrela apresentou seus máximos e mínimos valores de magnitude, período de sua explosão.

Cannon faz uma análise das diferenças entre as cores das linhas do espectro que ora mostravam-se mais fracas ou mais fortes, de acordo com a atividade da estrela. Havia momentos de aumento e diminuição de sua intensidade e luminosidade.

Para compreender melhor as características da nova estrela, outro recurso utilizado por ela era a comparação com outras já classificadas. Neste trecho abaixo, ela mostra a comparação da Nova Aquilae com o espectro da Cygni²¹³ :

Ele não continha linhas brilhantes, mas numerosas linhas escuras estavam presentes, que se assemelhavam e posição e em intensidade ao espectro de Cygni, exceto que a linha K era mais forte no segundo espectro... Em comparação ao espectro de Cygni, a Nova apareceu neste momento conter mais luz azul²¹⁴.

Era fundamental ter uma boa percepção e conhecimento dos espectros para poder distinguir entre as diferenças nas placas causadas por variações das estrelas ou quando eram apenas devido à má qualidade da foto ou da diferença do telescópio do qual fora tirada.

²¹³ Cygni α é uma estrela binária, uma das mais próximas do Sol fica na constelação de Cygnus, sua luminosidade também é uma das maiores já alcançadas, chegando perto de 300.000 vezes a luminosidade do sol, essa sua característica que levou Cannon a compara a Nova Aquilae a ela.

²¹⁴ Cannon "The Spectrum", 182.

Por isso, como vemos na tabela, Cannon comparava várias fotos de um mesmo momento da estrela e muitas vezes essas fotos eram tiradas de diferentes telescópios. Não se sabe ao certo quantas placas fotográficas Cannon avaliava até fazer suas escolhas, pois no observatório havia outro grupo de mulheres responsável por uma triagem inicial, cujos critérios e números envolvidos assim como os nomes das responsáveis não são citados na documentação que utilizamos.²¹⁵

Relativamente a uma das fotografias, Cannon diz que as linhas de absorção da estrela mostram variações entre os dias 16 e 15 de junho de 1918, mas que essas variações de cores nas linhas (mais fortes ou mais fracas) são possivelmente devido à qualidade da fotografia tirada pelo telescópio de oito polegadas. Mas Adams e Joy nos dizem que, a partir do dia 12 de junho de 1918, o espectro realmente mostrou grandes flutuações²¹⁶ das linhas de hidrogênio e hélio, ou seja, pode ser que essas variações que Cannon atribuiu à qualidade da fotografia, tenha sido realmente uma característica da estrela.

Como vimos, anteriormente, no capítulo 2, Ian Shelton também achou que estava vendo um defeito na placa fotográfica e quando verificou no telescópio viu que estava presenciando, na verdade, a aparição de uma Nova. Cannon não podia recorrer ao uso direto do telescópio, portanto tinha que analisar inúmeras placas para ter certeza do que observava. O astrônomo também recorreu a fotografias tiradas em 1888, da Coleção de Harvard, nas quais havia uma imagem fraca do espectro dessa Nova.

Mas foi a partir das imagens de 20 de junho que essa Nova mostrou suas maiores variações. Nessa data, ela teve seu brilho máximo aproximando do violeta. Para Paddock, essa aproximação do violeta ocorre em 21 de junho, mas, como vimos, essa diferença pode ser atribuída ao horário da observação.

O período chamado oscilatório da Nova iniciou em 26 de junho de 1918, quando sua magnitude, que era cerca de 0,3, tornou-se duas vezes maior e as oscilações bem distintas. Quanto a essa data, Paddock e Cannon concordam que a Nova teve grandes oscilações nesse período²¹⁷.

²¹⁵ Reed, *The Women*,

²¹⁶ Joy "Mount Wilson Observations", 40

²¹⁷ Paddock "The Spectrum", 246

A tabela III apresenta os valores máximos e mínimos secundários ocorridos entre os dias 25 de junho de 1918 e 06 de setembro de 1918.

TABLE III.
SECONDARY MAXIMA AND MINIMA.

1918	J. D.	Phase	No.	Magn.	1918	J. D.	Phase	No.	Magn.
m. d.					m. d.				
6 28	21773.2	Min.	1	3.80	8 8	21814.6	Max.	4	4.00
7 3	21778.4	Max.	1	3.20	15	21821.3	Min.	5	4.74
12	21787.1	Min.	2	3.96	19	21825.2	Max.	5	4.41
15	21790.5	Max.	2	3.66	23	21829.5	Min.	6	4.79
22	21797.4	Min.	3	4.37	28	21834.0	Max.	6	4.42
27	21802.7	Max.	3	3.87	9 2	21839.4	Min.	7	4.94
8 4	21810.4	Min.	4	4.60	6	21843.6	Max.	7	4.64

Figura 38²¹⁸: Tabela III

Cannon, com as observações das placas, ainda organizou os dados em outras duas tabelas.

²¹⁸[https://iif.lib.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513\\$8i](https://iif.lib.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513$8i) (acessado em 08/06/2016)

A tabela IV (reproduzida abaixo), apresenta os resultados derivados da observação realizada com o telescópio Boyden de 13 polegadas, em Arequipa, no dia 28 de junho de 1918.

TABLE IV.
LINES IN THE SPECTRUM OF NOVA AQUILAE, No. 3, ON JUNE 28, 1918.

Desig.	Des.	λ	Int.	Desig.	Des.	λ	Int.	Desig.	Des.	λ	Int.
$H\eta$	cd	3771	2		cd	4144	2	4640	cb	4581	2
	cd	3802	5		cd	4174	1		sb	4608	
	cb	3818	2		cd	4202	1		cb	4618	5
	cd	3833	2		sb	4212			gb	4627	
	gb	3851	5		cb	4218	3		cd	4638	2
$H\zeta$	cd	3861	8		gb	4221			sb	4649	
	sb	3869			cd	4232	2		cb	4657	5
	cb	3874	3		sb	4244			gb	4663	
	gb	3883			cb	4252	3		cd	4684	1
	cd	3891	2		gb	4258			cb	4704	5
$H\epsilon$	sb	3900		$H\gamma$	sd	4262		$H\beta$	cd	4709	2
	cb	3904	9		cd	4270	3		cb	4720	1
	gb	3909			gd	4277			gb	4732	
	cd	3946	1		cd	4289	2		cd	4827	2
	cb	3951	3		cd	4313	2		sb	4830	
$H\delta$	cd	3968	2		cb	4317	2		cb	4837	5
	cb	3981			rev.	4334	2		gb	4844	
	gb	3990	8		rev.	4347	2		cd	4860	2
	sb	4004			sb	4354			sb	4872	
	cb	4008	3		cb	4357	10		cb	4877	12
$H\delta$	gb	4015			gb	4361			gb	4882	
	cd	4032	1		cb	4381	3		cd	4888	2
	cd	4045	1		cd	4386	3		sd	4947	
	cb	4055	2		sd	4401			cd	4958	4
	cd	4068	4		cd	4409	1		sb	4972	
	sb	4074			gd	4418			cb	4979	2
	cb	4083	4		sd	4436			gb	4988	
	gb	4091			cd	4440	4		cd	5004	2
	cd	4102	2		gd	4445			sb	5018	
	sb	4112			cd	4475	2		cb	5024	3
$H\delta$	cb	4117	10		cb	4487	3	5007	gb	5030	
	gb	4122			cb	4530	2		cd	5041	2
	cd	4126	1		cd	4542	2		cb	5062	1
	cb	4135	2		cd	4574	1				

Figura 39²¹⁹: tabela IV

A tabela V também assemelha-se à tabela II, apenas apresentando o Julian Day²²⁰ e a intensidade observada em três dias diferentes: 24 de julho, 25 de julho e 6 de agosto, todos no ano de 1918.

²¹⁹ [https://iiif.lib.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513\\$10i](https://iiif.lib.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513$10i)

²²⁰ O Julian Day é muito usado na astronomia, pois é uma forma de contar os dias sequencialmente, começando em uma data no passado. Ele foi proposto por Joseph Justus Scaliger no ano de 1583 e tem esse nome em homenagem ao seu pai Julio César Scaliger. Os dias são contados de forma contínua, sem a separação de semanas, meses ou anos. Cada dia se inicia ao meio-dia e vai até o meio-dia do dia

TABLE V.

LINES IN THE SPECTRUM OF NOVA AQUILAE, No. 3, ON JULY 24, JULY 25, AND AUGUST 6, 1918.

Desig.	Des.	July 24. λ	July 25. λ	Aug. 6. λ	Int.	Int.	Int.	Desig.	Des.	July 24. λ	July 25. λ	Aug. 6. λ	Int.	Int.	Int.
H _γ	cd	3859	3862	..	7	8	..	H _δ	cd	4373	4373	..	..	..	..
	sb	3868	3870	3867	..	..	..		cb	4384	4387	4386	..	..	..
	cb	3886	3890	3888	6	7	5		cd	4388	..	..	2	..	..
	rev.	3896	3899	..	..	..	..		cd	4407	..	4404	1	..	1
	gb	3908	3909	3909	..	..	..		cd	4442	4445	4442	3	3	2
	cd	3928	..	..	2	..	..		cd	4480	..	..	1	..	..
	cd	..	3915	..	..	1	..		cd	4486	..	..	1	..	..
	cd	..	3945	..	..	2	..		cd	4495	..	..	1	..	..
	sb	3948	3949	3947	..	..	..		cd	4500	4503	4501	2	2	2
	cb	3970	3973	3969	6	7	6		cd	4507	..	..	1	..	..
H _ε	rev.	3980	..	..	..	..	..	H _β	cb	4531	..	..	2	..	..
	gb	3990	3991	..	..	..	..		cd	4550	4553	4553	2	2	4
	cd	3998	3998	4001	3	3	4		cd	4570	4571	4567	2	2	4
	cb	4010	4012	..	2	2	..		cb	4582	..	4581	1	..	2
	cb	..	..	4028	..	..	2		cd	..	4600	..	..	1	..
	cd	4047	4050	4048	1	2	4		cd	4603	..	..	2	..	..
	cd	..	..	4053	..	..	3		sb	4617	4613	4610	..	..	..
	cb	4057	4059	..	1	3	..		cb	4642	4640	4648	4	4	5
	cd	4073	..	4077	1	..	2		gb	4663	4668	4664	..	..	..
	sb	4078	4081	..	..	..	..		cd	4672	4676	4672	3	3	4
H _δ	cb	4101	4102	4102	12	12	10	H _γ and 4363	cb	4705	4687	4693	3	3	4
	rev.	4111	4109	..	..	..	..		cd	..	4750	..	..	1	..
	gb	4123	4124	4123	..	..	..		cd	4828	4831	..	2	2	..
	cd	..	..	4127	..	..	3		sb	4832	4834	4830	..	..	..
	cb	4142	..	..	1	..	..		cb	4858	4863	4857	12	12	11
	cd	4207	..	..	1	..	..		rev.	4872	4872	..	..	..	..
	cd	4216	..	4212	1	..	1		gb	4886	4886	4884	..	..	..
	cd	..	4233	..	..	1	..		cd	..	4926	4923	..	1	1
	cd	4256	..	..	1	..	..		sb	4929	..	..	..	..	..
	cd	4277	..	..	1	..	..		cb	..	4935	..	2	2	2
H _γ and 4363	cd	4290	4292	..	1	1	..	5009	gb	4946	..	4946	..	..	..
	cd	4312	4316	..	2	2	..		cd	4970	4972	4968	3	3	4
	sb	4316	4319	4315	..	..	..		sb	4975	4978	4973	..	..	..
	rev.	4329	..	..	..	..	..		rev.	..	4994	..	..	..	..
	cb	4340	4340	4340	10	10	10		cb	5002	5006	5001	4	4	4
	rev.	4352	4352	..	..	..	..		rev.	5015	5020	..	..	..	..
	cb	4362	4363	4362	6	6	6		gb	5033	5034	5030	..	..	..
	..	..	..	..	..	..	..		..	..	..	..	..	..	..
	..	..	..	..	..	..	..		..	..	..	..	..	..	..
	..	..	..	..	..	..	..		..	..	..	..	..	..	..

Figura 40²²¹: tabela V

No artigo de Barnard, podemos entender porque essas placas foram escolhidas por Cannon, ele mostra como foram as suas observações e como a estrela se apresentava, deixando claro que nos meses finais de 1918 a imagem

seguinte. Uma vantagem para astronomia é que o Julian Day apresenta o turno da noite em um mesmo dia do calendário e é neste período que são feitas as observações astronômicas, outra facilidade com obtida com o Julian Day é que fica fácil determinar o período entre dois eventos, principalmente os de ocorrência rara, como a aparição de cometas. Sua origem que corresponde a 0.0 é o meio dia do dia 1º de janeiro de 4714 a.C. pelo calendário Juliano ou 24 de novembro de 4714 a.C. pelo calendário Gregoriano.

²²¹[https://iif.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513\\$13i](https://iif.harvard.edu/manifests/view/drs:12044513$13i) (acessado em 08/06/2016)

da estrela era mais definida e depois voltou a ter uma boa imagem na primavera de 1919. Barnard escreve:

“Na última parte de 1918 a estrela assumiu um disco planetário perfeito. Esta não era simplesmente uma imagem grande mal definida, que teve mais tarde, mas um disco bem definido e claro como o disco de Netuno, que em muito se assemelham, e de uma luz uniforme... Na primavera de 1919, quando a Nova Aquilae voltou a ser observada, ela apresentou uma aparência muito bonita no grande telescópio...”²²²

O artigo de Barnard foi escrito em artigo em 1920, antes, portanto do período em que Cannon estava concluindo sua análise da Nova Aquilae (1923), por esse motivo acredita-se que ela teve conhecimento de seu trabalho.

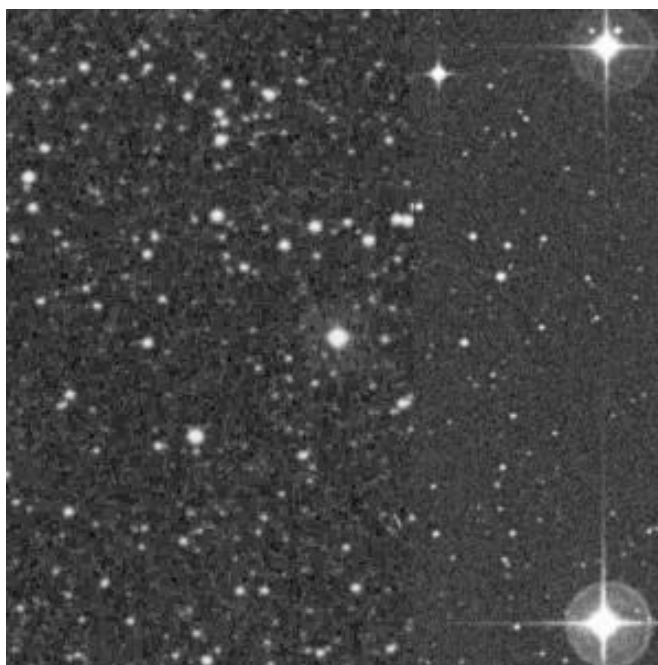


Figura 40²²³: Nova Aquilae 1918

²²² Barnard, “Some Notes”,²²².

²²³ <http://asd.gsfc.nasa.gov/Koji.Mukai/iphome/systems/v603aql.jpg> (acessado em 08/06/2016)

Considerações finais

O desenvolvimento desta tese propiciou a abordagem, de modo simultâneo e, sempre que possível integrado, de vários aspectos do trabalho científico que se têm mostrado importantes na História da Ciência e, neste caso em particular, na História da Astronomia. Podemos começar por fazer referência ao desenvolvimento de instrumentos, em especial dos telescópios que, entre finais do século XIX e início do XX, incorporaram descobertas à primeira vista não relacionadas com o perscrutar os céus, como é o caso da fotografia. Também foram incorporados avanços na fabricação de lentes que parece ser a ligação entre o processo fotográfico e o de obtenção de dados sobre os corpos celestes. Ligado a esse desenvolvimento técnico/tecnológico pudemos verificar o debate sobre a obtenção e o tratamento de tais dados, na tentativa de estabelecer formas de determinar as características das estrelas. Esses dois aspectos que, no período desta pesquisa, não podem ser tratados em separado, são permeados por outro cuja abordagem é muito mais delicada e, ao mesmo tempo, muito mais espinhosa: a participação das mulheres no desenvolvimento da Astronomia.

As últimas décadas têm visto aumentar muito as pesquisas sobre as mulheres na ciência, quando se buscam elementos que demonstrem de forma clara sua participação na produção do conhecimento. No caso especial da Astronomia, dadas as condições exigidas para a coleta da maior parte dos dados, os astrônomos, de forma geral, viviam no observatório com sua família. Nesse contexto, muitas vezes, as mulheres acabavam por ajudar seus cônjuges no trabalho de registro das observações.

Em alguns casos, como no de Caroline Herschel que atuou junto a seu irmão William Herschel entre finais do século XVIII e as primeiras décadas do XIX, elas acabaram por fazer suas próprias observações e exigir um salário para o trabalho de assistente. No entanto, essa situação não era a regra, mas exceção e um muito tempo haveria de passar antes que ocorressem mudanças significativas. Ainda eram poucas as instituições que admitiam as mulheres como estudantes nos cursos superiores (ainda que no caso da Astronomia, como vimos, já existiam escolas femininas para a formação da especialista).

Quando foi conquistada a igualdade de direito para exercer cargos (quase nunca de destaque) no âmbito das ciências, era sempre lembrada, no caso dos observatórios astronômicos, a ‘inconveniência’ de uma mulher trabalhar à noite num ambiente predominantemente masculino, ou, ainda, que o trabalho com os grandes telescópios exigia força física que as mulheres ‘por natureza’ não tinham. Não era raro que esse trabalho noturno fosse impedido legalmente.

Mas, as mulheres pareciam deter qualidades que Edward Charles Pickering, do Harvard College Observatory soube como ninguém aproveitar ou valorizar, no contexto em viveu. Ele contratou um grande número delas (formadas ou não em Astronomia) para trabalhar com a infinidade de placas fotográficas que chegavam à instituição provenientes de seus telescópios instalados tanto nos Estados Unidos quanto no Peru, em Arequipa. O acoplamento de câmeras fotográficas aos telescópios, fez aumentar exponencialmente o número de registros dos corpos celeste, por uma razão muito simples: a fotografia permitia um registro mais rápido do que o desenho antes utilizado e, ainda, muito mais acurado.

As fotografias eram produzidas por astrônomos que nem sempre se encarregavam de sua análise, trabalho realizado, no caso de Harvard, pelas “mulheres calculadoras”. O objetivo principal era a elaboração de catálogos dos corpos celestes, particularmente das estrelas. No entanto, reconhecer as estrelas por suas características e seu desenvolvimento/modificações ao longo do tempo, exigia critérios bem claros, também cambiantes ao longo da história da Astronomia.

Nessa conjuntura, algumas dessas mulheres, em maior ou menor escala, acabaram por desenvolver trabalhos originais em termos da classificação das estrelas. Ainda que tenhamos abordado várias mulheres nesta tese, uma, em especial, mereceu destaque: Anne Jump Cannon. Acreditamos que ela, assim como muitas outras, soube aproveitar positivamente diferentes situações e, apesar das condições dadas ou impostas em sua época, foi capaz de elaborar um método de classificação das estrelas utilizado até hoje, um século mais tarde.

Assim, desenvolvimento técnico/tecnológico, mudanças sociais relativas ao papel da mulher e necessidades de modificações nas teorias sobre

as características das estrelas foram aspectos que atuaram em conjunto levando ao trabalho que garantiu a Anne Jump Cannon um lugar na História da Astronomia. Mas, há ainda outro aspecto, este não dependente da ação ou vontade dos humanos: apareceu em 1918 uma nova estrela, a Nova Aquilae que, objeto de estudos intensos, mereceu também de Cannon toda a atenção. Com isso ela elaborou um dos trabalhos mais detalhados e reconhecidos sobre essa Nova.

Bibliografia

- Bailey, Solon I. *The History and Work of Harvard Observatory 1839 to 1927: an outline of the origin, development, and researches of the astronomical observatory of Harvard College together with brief biographies of its learding members*. New York and London: Mc Graw-Hill Book Company, Inc, 1931.
- Baliño, Manuel Andrade. “O problema de Gyldén-Mescerskij em cenários perturbados. Métodos e Aplicações”. Tese de doutorado. Universidade de Santiago de Compostela, 2006.
- Barnard, E.E.. “Some Notes On Nova Aquilae III, 1918”, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol.32 nº188 (ago.1920)
- Braathen, Per C. “Desfazendo o Mito da Combustão da Vela Para Medir o Teor de Oxigênio no Ar.” *Química Nova na Escola* 12 (novembro 2000): 43-45
- Bracher, Katherine, “Women in astronomy”. *Mercury the journal of the astronomic society of Pacific* 1 (jan.-fev. 1992) 1-49
- Bernardo, Luis Miguel. *História da Luz e das Cores*. Porto: Universidade do Porto, 2010.
- Bertrand, Joseph. *Os Fundadores da Astronomia Moderna: Copérnico, TychoBrahe, Kepler, Galileu e Newton*. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda, 2008.
- Bruck, Mary T. “Companions in astronomy Margaret Lindsay Huggins and Agnes Mary Clerke”. *Irish Astronomical Journal* Vol.20 1991: p.70.
- Bruno, Maryann. *Vassar College*. Charleston: Arcadia Publishing, 2001.

- Calaça, Mariana Capeletti. "Processos fotográficos a (re) descoberta da fotografia" In *VI Simpósio Nacional de História Cultural Escrita da História Ver, Sentir, Narrar*. Universidade Federal do Piauí 1-8
- Cannon, Annie Jump. "A Provisional Catalogue of Variable Stars." *Annals of Harvard College Observatory*, vol XLVIII, nº III, 1903: 91-123.
- _____. "Classification of 1477 stars by means of their photographic spectra." *Annals of Harvard College Observatory* vol.LVI nº IV, 1912: 65-114.
- _____. "Classification of 1688 Southern Stars by Means of Their Spectra." *Annals of Harvard College Observatory*, vol.LVI nº V, 1912:115-164.
- _____. "Comparison of Objective prism and slit spectrograms." *Annals of Harvard College Observatory*, vol LVI nº VIII, 1912:251-264.
- _____. "Mrs Henry Draper." *Science* 41 (mar.1915): 380-382
- _____. *The Henry Draper catalogue*. Cambridge: The observatory, 1919.
- _____. "The Henry Draper Memorial." *The Journal of the Royal Astronomic Society of Canada* (mai-jun 1915) 203-215.
- _____. "The Spectra of 745 double stars." *Annals of Harvard College Observatory* vol.LVI nº VII, 1912: 227-250.
- _____. "Spectra Having Bright Lines." *Annals of Harvard College Observatory*, vol.76 nº3, 1916: 19-42.
- _____. "The Spectrum of Nova Aquilae,nº 3" *Annals of Harvard College Observatory* vol.81 nº3, (1923)
- Carvalho, Anna M. P. *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. São Paulo: Thomson, 2004.
- Cohen, Arlene. *Wellesley College. The Campus History Series*. San Francisco: Arcadia Publishing, 2006.
- Damineli, Augusto. *Hubble A expansão do Universo*. São Paulo: Odysseus Editora Ltda., 2003.
- Devorkin, David Hyam. "An Astronomical Simbiosis Stellar Evolution and Spectral Classification (1860-1910). Tese de doutorado, University of Leicester, 1978.

DeVorkin, David H. "Henry Norris Russell - Dean of American Astronomers." New Jersey: Princeton University Press, 2000.

Drexler, Madeline. "The Sky's Not the Limit: Women in Astronomy." Radcliffe institute for advanced study Harvard University. 2002. www.radcliffe.edu/about/quarterly/w06_astr9n9my.aspx

Einstein, Albert. A teoria da relatividade especial e geral. Rio de Janeiro: Contraponto Editora Ltda., 1999.

Ervim Lenzi, Luzia O.B. Favero, Aloisio S. Tanaka. *Química Geral Experimental*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2004.

Faria, Romildo P. *Fundamentos da Astronomia*. Campinas: Papirus editora, 2007.

Fleming, Williamina Paton Stevens. "Stars having peculiar spectra: Eleven new variable stars." *astrophysical journal*, may de 1895: 411-416.

Friça, Amancio C.S. *Astronomia uma visão geral do Universo*. São Paulo: Edusp, 2000.

Gama, Ruy. *História da Técnica e da Tecnologia*. São Paulo: T.A.Queiroz, Editor Ltda, 1985.

Gerber, Carole. *Annie Jump Cannon, astronomer*. Louisiana: Pelican Publishing Company, Inc., 2011.

Gleiser, Marcelo. *Poeira das Estrelas*. São Paulo: Editora Globo, 2006.

Gottschall, Carlos A.M. *Do Mito ao Pensamento Científico: A Busca da Realidade, de Tales a Einstein*. 2ª ed. São Paulo e Porto Alegre: Atheneu, Fundação Universitária de Cardiologia, 2004.

Grupo de Reelaboração do Ensino de Física- GREF. *Física 2 Térmica e Óptica*. São Paulo: Edusp, 2007.

Hale, George Ellery. *Ten years' work of a Mountain Observatory: A brief account of the Mount Wilson Solar Observatory of the Carnegie Institution of Washington*. Washington: Gibson Brothers printers, 1915.

Hatheway, Alson E. *Structural Mechanics of optical system II*. Los Angeles: Bellingham Wahs, 1987.

Hawking, Stephen W. *Uma breve história do temp,: Do Big Bang ao Buracos Negros*. Rio de Janeiro: Editora Rocco, 1988).

- Helden, Albert Van. *The Birth Of The Modern Scientific Instrument, 1550-1700*. The uses of science in the age of Newton. Berkeley: J.Burke, 1983
- Herschel, William. *The scientific papers of sir William Herschel including early papers hitherto unpublished of a joint committee of the Royal Society and Royal Astronomical Society*. vol 2. Londres: Royal Society and The Astronomical Society, 1912.
- Hirschfield, Alan. <http://harvardmagazine.com/2015/08/william-cranch-bond>
- Hoffleit, Dorrit. "Pioneering women in the spectral classification of stars". *Physics in Perspective* (2002) 370-398
- Horvath, Jorge, German Lugones, Marcelo Porto Allen, Sérgio Scarano & Ramachrisna. *Cosmologia Física do micro ao macro cosmos e vice-versa*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2007.
- Hoskin, Michael. *The Cambridge Illustrated History of Astronomy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- Hubble, Edwin Powell. "Novae or Temporary Stars," *Astronomical Society of the Pacific Leaflet* 1, 14 (1928).
- _____. *The Realm of the Nebulae*. Michigan: Dover Publications, 1958.
- Huggins, Sir William. *The Scientific Papers*. Londres: William Wesley and Son, 1909.
- James, Edward T., Janet Wilson James & Paul Boyer. *Notable American Women: A Biographical Dictionary*. Vol. 3 Cambridge: Radcliffe College, 1971.
- Johnson, George. *Miss Leavitt's Stars: The Untold Story of the Forgotten Woman Who Discovered How to Measure the Universe*. Nova York: WW Norton & Co Inc., 2006.
- Joy, A H. "Mount Wilson Observations of the Spectrum of Nova Aquilae nº3" *Publications of the Astronomical Society of The Pacific*, 30 (ago. 1918): 251-254.
- Kass-Simon, Gabriele. *Women of Science Righting the Record*. Indianapolis: Indiana Press, 1990.
- Kirchhoff, Gustav Robert. *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* 23, nº2 (mai 1887-mai 1888) 370-37

- Koyré, Alexandre. *Estudos de História do Pensamento Científico*. Rio de Janeiro: Editora Forense-Universitária, 1973.
- Lacerda, Janaina. “*Instrumentos científicos como fonte para a história da ciência: uma história possível*”, in Arquivo Biblioteca do Estado de São Paulo,
<http://www.historica.arquivoestado.sp.gov.br/materias/anteriores/edicao13/materia01/texto01.pdf>
- Leavitt, Henrietta Swan. “The North Polar Sequence.” *Annals of Harvard College Observatory*, 1917: 47-232.
- _____. “1777 variable stars In The Small Magellanic Cloud”. *Annals of the Harvard College Observatory*, 03 de março de 1912.
- Longair, Malcolm. *As Origens do Universo*. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor Ltda, s/d.
- Maciel, Walter J. *Introdução à Estrutura e Evolução Estelar*. São Paulo: Edusp, 1999.
- Magalhães, Antonio Mário. “O Nosso Universo.” In: Vera Jatenco Pereira et alii, *Astronomia - Uma Visão Geral do Universo*. São Paulo: Edusp, 2008, 13-21.
- Marschall Laurence A. *The Supernova Story*. New York: Springer Science, 1988.
- Marchi, Magali Conceição de Barros de. “*Henrietta Swan Leavitt e a Relação Período-Luminosidade de Estrelas Variáveis*”. Dissertação de mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2011.
- Martins, Roberto Andrade. *O Universo - Teorias sobre sua origem e evolução*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.
- Maunder, Edward Walter. *Sir William: Huggins and spectroscopic astronomy*. Londres: TC & EC Jack, 1913.
- Oliveira Filho, Kepler de Souza & Maria de Fátima Oliveira Saraiva. *Astronomia & Astrofísica*. 2 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- Ortiz, Pedro. *Principios Elementales de Física Experimental e Aplicada*. New York: D appleton & Co., 1862.
- Paddock, G.F. “The Spectrum of Nova Aquilae” *Publications of the Astronomical Society of The Pacific*, 30 (jul.1918): 244-249.

- Peruzzo, Jucimar. *Física Quântica conceitos e aplicações*. Santa Catarina: Concórdia, 2014.
- Pickering, Henrietta Swan Leavitt & Edward C. "Periods of 25 variables stars in the small Magellanic Cloud." *Harvard College Observatory circular vol 173*, 3 de 3 de 1912: 1-3.
- _____. Edward C. "The Draper Catalogue of Stellar Spectro photographed with the 8-inch Bache Telescope". *Annals the Astronomical Observatory of Harvad College*. Cambrigde:The Observatory, 1890.
- Pigafetta, Antonio. *Magellan's Voyage: A Narrative Account of the First Circumnavigation*. Mineola, NY: Dover Publications, 1994.
- Pirola, Marcelo "A Contribuição de Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff para a Espectroscopia do século XIX." Dissertação de Mestrado, Pontificia Universidade Católica de São Paulo, 2010
- Popper, Karl R. *A Lógica da Pesquisa Científica*. São Paulo: Editora Cultrix Ltda, 1975.
- Powell, Jennifer H. "Reaching for the Stars – A Century Ago, Women Astronomers At Harvard Made Scientific History." *Harvard Gazette*. 1998.
- Ré, Pedro. Edward Emerson Barnard (1857-1923) um dos maiores observadores de todos os tempos. http://www.astrosurf.com/re/barnard_astrophotography_PRe.pdf
- Reed, Helen Leah. DEZEMBRO de 2002.
<http://nrs.harvardedu/urn3:FCORWOLBACH:2177395>
- Resende, Leandra Costa. *física UFMG*. <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-07/leandra-leavitt.htm>
- Reynolds, Moira Davidson. *American Women Scientists: 23 inspiring biographies, 1900-2000*, North Carolina:McFarland& Company, 2004.
- Ridpath, Ian. Guia Ilustrado Zahar. Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 2007
- San Roman. Augusto Tamayo.*Hombres de Ciência e Tecnologia em El Peru*. Lima: Argos Productos Editoriales, 2015.
- Secchi, Pietro Angelo. *Le Soleil*. Paris: Gauthier-Villars, 1875.
- _____. *Catalogo delle Stelle Dicui se é determinato lo Spettro luminoso all Osservatorio del Collegio*. Paris: Gauthier- Villars, 1867

- Shapley, Harlow. "Light and Color Variations of Nova Aquilae 1918,4" *Proceedings* 9, nº2 (fev. 1923): 39-40.
- Silva, Adriana Valio Roque. *Nossa Estrela o Sol*. São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- Silva, Shirley. "A Produção de Daguerreótipos no Rio de Janeiro (1840-1850). Dissertação de Mestrado Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2016.
- Souza, Ronaldo E. de. *Introdução à Cosmologia*. São Paulo: Edusp, 2004.
- Stephens, Sally. "Vera Rubin: an unconventional career". *Mercury the journal of the Astronomical Society of the Pacific*. Jan/fev Vol. XXI nº1 (1992): 41.
- Tipler, Paul A. & Ralph A. Llewellyn. *Física Moderna*. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2001.
- Struik, Dirk J. *Yankee Science in the making: science and engineering in New England from colonial times of the civil war*. New York: Dover Publications inc., 1991.
- Sedeño, Eulália P. "Buscadoras de Estrellas... Y con La Cabeza Bien Alta". CSIC <http://www.digital.csic.es/handle/10261/3612>
- Todd, Deborah. *A to Z of scientists in space and astronomy*. New York: Facts On File, Inc, 2005.
- Tourinho, Plinio Alves Monteiro. *Tratado de Astronomia*. Vol.2. Curitiba: Gráfica Mundial, 1959.
- Turazzi, Maria Inez. " Numa palavra... muitas histórias luminosas". *Revista Ciência Hoje*, 26 de maio de 2015.
- Warner, Déborah Jean. "What is scientific instrument When did it become one, and Why?" *British Journal for the History of Science*, 24, 1990.
- Woods, Thomas. *The Monster Telescopes erected by the earl of Rosse*. London: Sheilds and Son, 1845.
- Yount, Lisa. *A to Z of Women in Science and Math*. New York: Library of Congress, 2008.