

Onde estão as "nebulosas espirais" ?

O problema principal para a astronomia naquela época era descobrir como poderíamos medir as distâncias até as chamadas "nebulosas espirais". Somente assim ficaríamos sabendo se elas pertenciam ou não à nossa Galáxia e esse era um ponto fundamental que precisava ser esclarecido para conhecermos o tamanho do universo.

Entretanto, não havia nenhum método confiável para determinar distâncias a objetos astronômicos situados além das estrelas mais próximas. Isso não permitia que fosse respondida a pergunta: estavam as "nebulosas espirais" relativamente próximas a nós e eram apenas nuvens de gás em rodadoiro ou elas estavam muito longe de nós e eram extremamente grandes? É fácil ver como isso modificaria a nossa percepção do tamanho do universo.

Para resolver este problema era necessário, em primeiro lugar, desenvolver métodos que permitissem calcular distâncias às estrelas.

Medindo distâncias aos corpos celestes

Observação: Existem hoje vários métodos de determinação de distância a objetos celestes. Só citaremos alguns métodos históricos. O leitor interessado no assunto deve procurar textos de Astrofísica.

Os primeiros astrônomos estimavam as distâncias às estrelas comparando seus brilhos. Para isso eles supunham que todas elas possuíam a mesma luminosidade intrínseca. Assim, aquelas que pareciam ser mais brilhantes certamente estavam mais próximas.

Definição de **luminosidade**

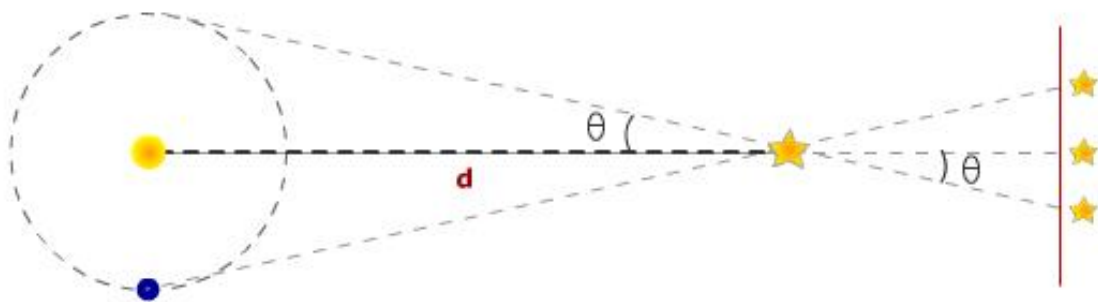
A **luminosidade** de um corpo celeste é a quantidade de energia luminosa total ou seja, em todos os comprimentos de onda, emitida por este corpo em uma determinada unidade de tempo.



Friedrich Wilhelm Bessel (1784 - 1846)

A primeira técnica direta de medição de distâncias às estrelas foi conhecida como **paralaxe trigonométrica**. Este método foi empregado em 1838 por Friedrich Wilhelm Bessel para demonstrar que a Terra girava em torno do Sol. Tendo em vista o movimento de translação que o nosso planeta faz em torno do Sol, um observador sobre a superfície da Terra verá uma mudança contínua e periódica nas posições aparentes das estrelas no céu. Assim, as estrelas mais próximas de nós, que chamamos de estrelas vizinhas, mudarão suas posições aparentes em relação às estrelas mais distantes. A quantidade medida deste deslocamento na posição aparente dessas estrelas é inversamente proporcional à distância à estrela.

Para observar a paralaxe de uma estrela os astrônomos utilizam o movimento da Terra em torno do Sol. Eles observam uma estrela e cuidadosamente medem sua posição contra as estrelas que estão no fundo do céu. Seis meses após isso a Terra se moveu para o lado diametralmente oposto de sua órbita. Essa distância é conhecida pois ela representa duas vezes a distância entre o Sol e a Terra. Agora os astrônomos fazem uma nova medida e verificam que a estrela está em uma posição ligeiramente diferente daquela medida seis meses antes. O valor dessa diferença dependerá somente da distância que a estrela está de nós. Quanto mais próxima a estrela estiver de nós maior será essa diferença de posição. No entanto, note que mesmo para as estrelas muito próximas a medida de paralaxe é extremamente pequena. Por esse motivo a paralaxe não é medida em graus mas sim frações de grau que têm o nome de "segundos de arco".



A paralaxe de uma estrela é a metade do valor do ângulo de deslocamento aparente da estrela. Baseados nessa definição a distância a uma estrela é dada pelo inverso da paralaxe. Se medirmos a paralaxe em segundos de arco a distância será dada em parsecs.

$$d \text{ (em parsecs)} = 1/\theta \text{ (em segundos de arco)}$$

onde d é a distância à estrela e θ é a paralaxe medida.

Infelizmente esta técnica só podia ser aplicada às estrelas que estavam mais próximas de nós, usualmente àquelas situadas a menos de 100 parsecs. Para as estrelas situadas a distâncias maiores que esta o deslocamento angular é tão pequeno que torna-se quase impossível medi-lo.

No século XIX o refinamento das técnicas de astrometria, parte da astronomia que se preocupa com medições de movimentos e posições estelares, fez surgir uma técnica de medições de distâncias baseada no chamado **movimento próprio** das estrelas.

Definição de **movimento próprio**

O **movimento próprio** de uma estrela é a componente do seu movimento verdadeiro perpendicular à nossa linha de visada. O movimento próprio é medido em segundos de arco por ano e é designado pela letra grega μ .

Os astrônomos separam a velocidade de uma estrela no espaço em duas componentes:

- uma componente paralela à nossa linha de visada. Esta é a **velocidade radial** da estrela, designada por v_r .
- uma componente perpendicular à nossa linha de visada. Esta é a **velocidade tangencial** da estrela, designada por v_t .

A velocidade tangencial de uma estrela está relacionada com o movimento próprio pela expressão:

$$v_t = 4,74 \mu d$$

onde d é a distância à estrela.

A técnica do movimento próprio foi usada amplamente durante o século XIX por diversos astrônomos. No entanto, na prática só podemos medir pequenas distâncias desta maneira uma vez que o movimento próprio de estrelas muito distantes é pequeno demais para que possamos detectá-lo. Apesar disto esta técnica permitiu que os astrônomos medissem distâncias a estrelas situadas bem além do alcance oferecido pela paralaxe trigonométrica.

No século XIX as técnicas de espectroscopia, até então utilizadas somente nos laboratórios de física, passaram a ser uma útil ferramenta para os estudos das estrelas. Isso produziu um

grande avanço no conhecimento destes objetos uma vez que o espectro estelar nos dá informações muito importantes sobre sua constituição física.

Em 1886 o diretor do Harvard College Observatory, o astrônomo norte-americano Edward Charles Pickering (1846–1919), inventou um método engenhoso pelo qual era possível obter espectros de centenas de estrelas de uma só vez usando o chamado "prisma objetivo". Para analisar os espectros obtidos, um trabalho lento e meticuloso, Pickering tinha um grupo de mulheres, o chamado "harém de Pickering". Entre elas destacaram-se as astrônomas Annie Jump Cannon, Henrietta Swan Leavitt e Antonia Maury que, além do trabalho de classificação, desenvolveram outras importantes pesquisas científicas.

As imagens abaixo mostram Pickering cercado por suas colaboradoras. A primeira imagem é de 1890 e a segunda é de 1912.



copyright: Curator of Astronomical Photographs at Harvard College Observatory



copyright: Curator of Astronomical Photographs at Harvard College Observatory

Uma dessas pesquisadoras, Annie Jump Cannon, verificou que as estrelas podiam ser classificadas de acordo com as linhas que apareciam nos seus espectros. Ela notou que as classes espectrais podiam ser rearranjadas de modo a formarem uma seqüência contínua de mudanças graduais. Foi então que surgiu a chamada "classificação espectral de Harvard", que usamos até hoje, e que classifica



Annie Jump Cannon (1863 - 1941)

as estrelas como sendo dos tipos O, B, A, F, G, K, M, R, N e S. Os pesquisadores de Harvard logo notaram que o fator básico subjacente a esta classificação era a temperatura da superfície das estrelas: ela diminuía continuamente das estrelas mais quentes, classificadas como O, até chegar às mais frias, do tipo M.



Ejnar Hertzsprung (1873-1967)

Em 1906 o astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung descobriu que existiam estrelas gigantes e anãs. Isso mostrou que as estrelas podiam ser bastante diferentes também em seus aspectos físicos. As estrelas com grande tamanho, chamadas estrelas gigantes, também tinham alta luminosidade. Como resultado dessa pesquisa os astrônomos viram que as distâncias às estrelas podiam ser estimadas se seus espectros fossem conhecidos.



Henrietta S. Leavitt (1868-1921)

Ao mesmo tempo em que isso acontecia, a astrônoma Henrietta Swan Leavitt, do Harvard College Observatory, fez uma grande contribuição para o cálculo de distâncias às estrelas. Em 1908, enquanto estudava estrelas variáveis nas Nuvens de Magalhães, ela notou que havia uma correlação entre o período de sua variabilidade e sua luminosidade. Embora essa descoberta tenha um grande potencial para a determinação precisa de distâncias a objetos celestes Leavitt não a desenvolveu. Ela foi proibida de fazê-lo pelo diretor do Harvard College Observatory, Professor Pickering, sob a alegação de que a tarefa para a qual ela havia sido contratada era coletar dados e não analisá-los.

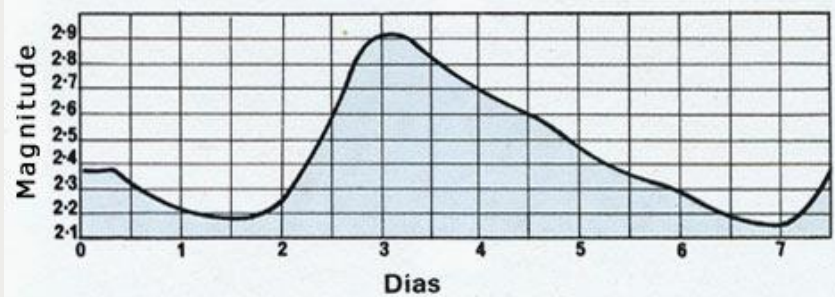
No ano seguinte à descoberta de Leavitt, Hertzsprung verificou que as estrelas variáveis observadas por ela nas Nuvens de Magalhães eram variáveis do tipo Cefeida, já conhecidas dos astrônomos.

O que são as "variáveis Cefeidas"

Durante o processo de evolução de uma estrela, em um dado momento ela inicia seu caminho para se tornar uma estrela gigante. Esse processo de evolução para o ramo das gigantes faz com que ela fique instável e mude, de modo periódico, tanto o seu tamanho como sua luminosidade. Às estrelas que estão passando por este processo damos o nome de estrelas variáveis pulsantes.

Existem vários tipos de estrelas variáveis pulsantes. O tipo de variabilidade de cada uma delas dependerá de sua massa. Quanto maior for a massa de uma estrela, maior será sua luminosidade durante o período de pulsação, em comparação com as estrelas de pequena massa. Como a luminosidade está associada com a massa, e o período de pulsação também está associado com a massa, os astrônomos puderam deduzir uma importantíssima relação entre período e luminosidade, a chamada relação período-luminosidade.

Um desses tipos de estrelas variáveis pulsantes são as chamadas "variáveis Cefeidas". As estrelas classificadas nessa categoria cada vez que pulsam mudam o valor do seu raio em cerca de 5% a 10% do valor que teriam em equilíbrio. As estrelas variáveis Cefeidas possuem, em média, períodos de variação entre 1 e 70 dias e, em geral, a amplitude de sua variação é de 0,1 a 2,0 magnitudes. Abaixo mostramos o gráfico de variação de magnitude de uma estrela variável Cefeida típica.



George Willis Ritchey (1864 - 1945)

Hertzsprung logo notou que conhecendo o período de qualquer estrela variável Cefeida sua luminosidade absoluta poderia ser determinada. Isso era muito bom pois os astrônomos sabiam como calcular distâncias a partir das magnitudes absoluta e aparente das estrelas. Embora o método que usa a relação período-luminosidade não fosse um método direto, ele era muito mais preciso e versátil do que os métodos estatísticos anteriores que dependiam de grandes números de estrelas para ter alguma precisão. O método de determinação de distâncias baseado nas estrelas variáveis Cefeidas requer somente uma única Cefeida associada ao objeto em estudo para permitir o cálculo de sua distância.

Em 1917, acidentalmente, o astrônomo norte-americano George Willis Ritchey descobriu um dos melhores indicadores de distância. Ritchey começou a fazer fotografias de longa exposição de algumas das chamadas "nebulosas espirais" com o objetivo de descobrir se elas estavam em rotação e qual o valor de seus movimentos próprios. No dia 19 de julho de 1917, na placa fotográfica da "nebulosa espiral" NGC 6946, Ritchey notou a presença de uma "Nova".

Definição de Nova

Ao contrário do que possa parecer uma Nova não é uma estrela que surgiu recentemente no céu. Uma Nova é uma estrela que, de modo súbito, tem sua luminosidade aumentada em cerca de 10^6 vezes. Este aumento abrupto de luminosidade é seguido por um decréscimo gradual que pode levar vários meses. Os astrônomos acreditam que a Nova ocorre em sistemas binários de estrelas muito próximas uma da outra, sendo uma delas uma estrela comum e a outra uma estrela anã branca. A contínua transferência de hidrogênio da estrela comum para a anã branca faz com que este gás seja cada vez mais comprimido na camada mais externas da anã branca. A temperatura nesta camada externa de hidrogênio vai aumentando e quando chega a cerca de 10^7 K todo este envoltório da estrela anã branca entra em queima nuclear de modo súbito. Isto faz com que a luminosidade da estrela aumente violentamente.

Não confunda Nova com Supernova. São fenômenos completamente diferentes.

Analisando outra vez suas placas antigas Ritchey descobriu várias "Novas" nas "nebulosas espirais" fotografadas anteriormente. Ao saberem desta descoberta vários astrônomos reexaminaram suas placas fotográficas e, em apenas dois meses, 11 "Novas" já haviam sido descobertas em "nebulosas espirais".

Uma curiosidade histórica

George Ritchey inicialmente era construtor de móveis e mestre carpinteiro tendo mais tarde se interessado por óptica e construção de lentes e espelhos para telescópios. Ele foi um dos maiores responsáveis pela construção das grandes lentes do telescópio do Yerkes Observatory. Ele também colaborou ativamente com George Ellery Hale na construção dos espelhos de 60 e 100 polegadas dos futuros grandes telescópios do Mount Wilson Observatory. Demitido por Hale logo após a construção do espelho de 100 polegadas (por motivos de ciúmes profissionais por parte de Hale), Ritchey sobreviveu vendendo limões e laranjas até ser contratado pelos franceses. No início dos anos de 1910, na França, Ritchey desenvolveu, juntamente com o astrônomo francês Henri Chrétien (1879–1956), um novo projeto óptico de telescópio que hoje tem o nome de "telescópio Ritchey-Chrétien". Este modelo de telescópio foi tão bem sucedido que hoje importantes instrumentos tais como os dois telescópios de 10 metros de abertura do Keck Observatory, os quatro telescópios de 8,2 metros do Very Large Telescope do European Southern Observatory (ESO), e até mesmo o telescópio de 2,4 metros do Hubble Space Telescope foram construídos segundo esse tipo de projeto óptico.

Um dos astrônomos que mais se interessou pelas "Novas" observadas nas "nebulosas planetárias" foi Heber Doust Curtis.



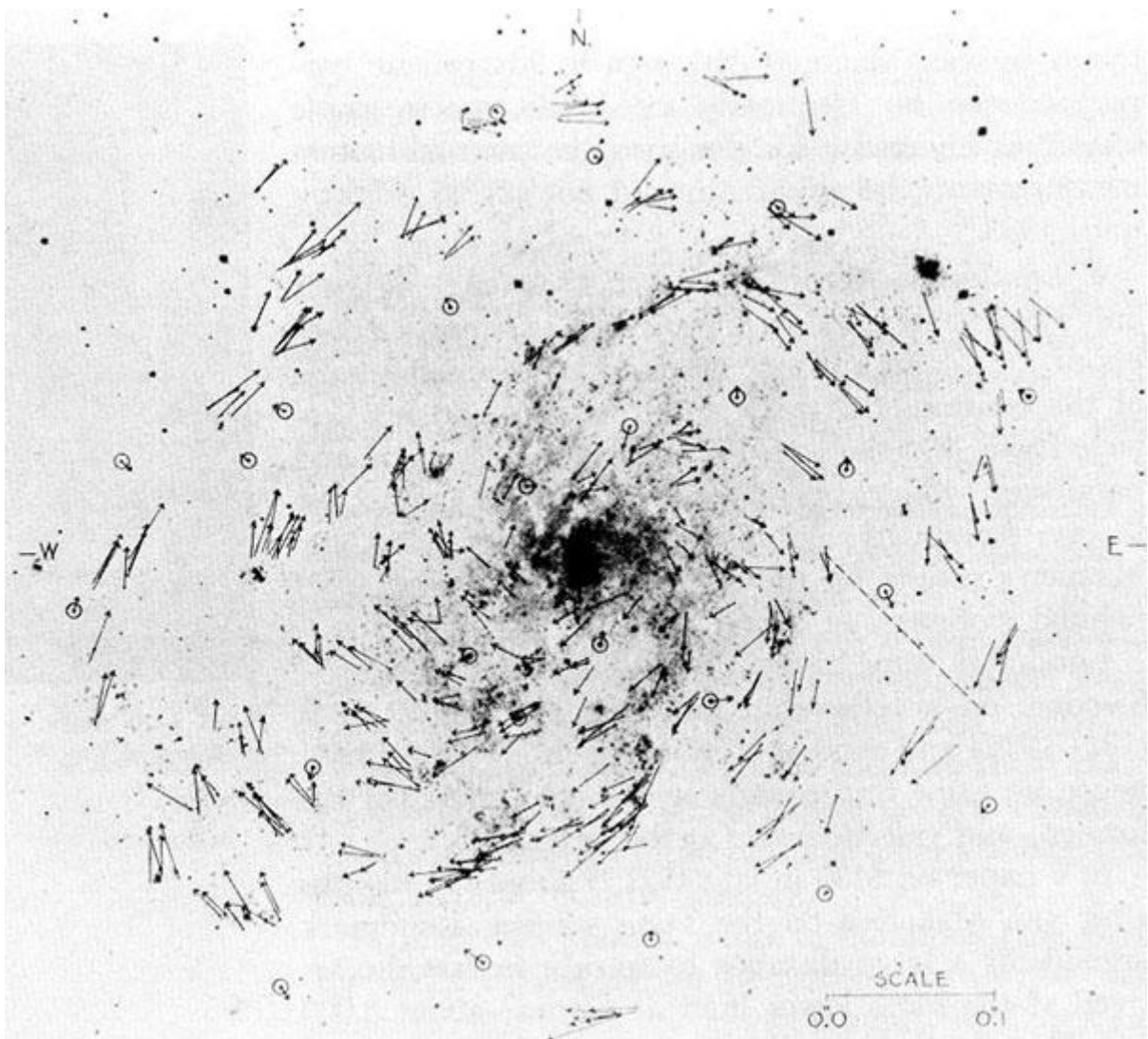
Adriaan v. Maanen (1884-1946)

Comparando o brilho das "Novas" encontradas nas "nebulosas espirais" com o daquelas pertencentes à Via Láctea ele obteve valores aproximados para as distâncias a essas espirais. Segundo seus cálculos "as espirais que contém essas Novas estão muito afastadas do nosso sistema estelar". Isso era um forte impulso à idéia de que as "nebulosas espirais" eram **objetos localizados fora da nossa Galáxia.**



Heber Doust Curtis (1872 - 1942)

Em 1916 o astrônomo holandês Adriaan van Maanen realizou medições extremamente difíceis de movimentos próprios de vários pontos em uma "nebulosa espiral". Seus resultados, mostrados na imagem abaixo, provavam que elas estavam em rotação. No entanto, os valores obtidos por van Maanen eram muito grandes. Se eles estivessem corretos e se as "nebulosas espirais" estivessem tão distantes como alegado por Curtis isso faria com que a velocidade física das bordas dessas "nebulosas espirais" atingissem valores absurdamente grandes. Os resultados obtidos por van Maanen pareciam **desacreditar a teoria dos "Universos Ilhas"**.



Como você pode notar, havia uma enorme contradição entre as conclusões obtidas por Curtis e por van Maanen. Nem mesmo os métodos observacionais pareciam esclarecer a pergunta que todos os astrônomos faziam: as "nebulosas espirais" estavam próximas a nós ou muito distante sendo, portanto, outras galáxias?

A resposta a essa pergunta era fundamental para que pudessemos ter uma visão do que era o universo. Mas, apesar dos esforços, o impasse continuava.