

O UNIVERSO OBSERVÁVEL EM A4

João Carlos V. Damásio
as1112664@sapo.pt

Consideremos a conhecida relação $m-M=5 \log r-5$ em que ⁽¹⁾ :

m = magnitude visual aparente de um corpo celeste.

M = Magnitude visual absoluta do mesmo corpo.

r = distância em parsec (pc) em relação ao observador terrestre.

log r = logaritmo decimal da distância.

⁽¹⁾- A dedução desta equação pode ver-se, por exemplo, na obra "Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas", Plátano Edições Técnicas, Lisboa, pp.255-256-2ª Edição .

A fórmula $\log r=1+0,2 (m-M)$ é equivalente à anterior, sendo a diferença **(m-M)** designada como **módulo de distância**.

Se fizermos a representação gráfica desta expressão para vários valores de $M=C.te$, ex: $M=...-30,-35, -40,..0,.....35..$, utilizando como eixos coordenados **log r** e **m** obtemos uma figura com um conjunto de rectas paralelas inclinadas as quais são linhas de Iso-Magnitude absoluta.

Procedendo ao "povoamento" da citada figura com os vários tipos de corpos celestes, a partir de 2 dos parâmetros (m, M, r), ficamos com uma visão global do posicionamento relativo das várias famílias de astros. Ao conjunto gráfico podemos atribuir-lhe o nome de **Diagrama mrM** (Fig. anexa).

A inserção de linhas com valores de M intermédios será feita com base em interpolações, respeitando o paralelismo existente. No caso presente, na direcção de r , $1div<>0,5$ unidades de M (o sinal "<>" significa "corresponde a").

Os valores de r do gráfico são colhidos de um espaço tridimensional de acordo com as direcções em que se acham os vários corpos celestes, relativamente ao olho do observador. São ainda os raios das esferas cujo centro é este e cujas superfícies contêm aqueles corpos. Assim a sua representação no citado gráfico sobre a mesma linha, leva a que as diferenças entre os vários valores de r coincidam com as diferenças entre os raios daquelas esferas e não com as distâncias dos corpos entre si, a não ser que estes estejam sobre a mesma linha de visada.

ANÁLISE do DIAGRAMA mrM

De destacar, a janela de observação cujos limites são:

- À esquerda; a magnitude aparente do Sol $m=-26,8$ limite fixo-natural.
- À direita; a magnitude limite visual do maior telescópio (VLT-16m) $m=23$ limite variável-evolução tecnológica.
- Em baixo ; a superfície terrestre (local de observação) $r=30,86$ $m \leftrightarrow \log r(pc) = -15$ limite fixo-natural.
- Em cima ; o limite do universo observável $r=10^{9,8}$ $pc \leftrightarrow 20$ mil milhões de a.l. limite variável-evolução tecnológica.

Parte Superior $r \geq 1$ pc $\log r \geq 0$

Esta região é "povoada" por todos os corpos celestes cuja distância ao observador terrestre é superior ou igual a 1 pc. À excepção das estrelas variáveis, todos os astros mantêm invariabilidade dos valores de m e M . Atendendo às distâncias em jogo não se regista para cada ponto mutabilidade de r .

Progredindo sobre o eixo das magnitudes (m), a partir dos valores mais negativos:

Para valores de $m > -2$ e $m < 0$ salientamos uma pequena zona de que fazem parte Sírius, Canopus, Arcturus e αCen (Alfa do Centauro) que são as estrelas mais brilhantes do céu, podendo ainda aquela vir a comportar supernovas de magnitude aparente negativa, como as de Kepler e Tycho, que teria tido um brilho comparado ao de Vénus, sendo visível à luz do dia.

Segue-se a linha onde se encontram os astros com $m=0$ (Vega por ex.). Com $m > 0$ e $m < 6$ surgem os restantes corpos celestes visíveis à vista desarmada. Para além de $m > 6$ entramos numa zona só acessível aos instrumentos ópticos e cujo limite é susceptível de variar de acordo com o desenvolvimento científico-tecnológico. De momento, em termos de magnitude visual aparente o VLT(16m) garante $m=23$ para o valor máximo atingível.

Progredindo sobre o eixo das distâncias (r ou log r):

Escalonadas por valores decrescentes de Magnitude absoluta (crescente luminosidade) vão surgindo as estrelas da Galáxia, os respectivos enxames abertos, enxames globulares, as outras galáxias e finalmente os quasares.

De r=1 a r=10 pc temos as estrelas mais próximas de que destacamos α Cen (Alfa do Centauro), Barnard, Sírius e Vega. De 10 a $10^{2,3}=200$ pc indicamos Arcturus, Aldebaran, Regulus, Canopus, Betelgeuse, Polar e Antares. De 200 pc a $10^{3,3}=2000$ pc os enxames abertos e as supergigantes Wesen e Deneb. Os enxames globulares (os indicados) ocupam a região entre 2000 pc e 2500 pc (log r=4,4). A partir deste valor são as galáxias que passam a "reinar". Os quasares estão já "próximos" do limite do Universo Observável.

Repare-se na posição da supernova SN 2002ap (em M74) de 29/1/2002 com M=-15 e uma luminosidade (*) igual a $8,32 \times 10^7$, quase 100 milhões de vezes superior à do Sol.

(*)-Trata-se da potência radiada em todas as direcções na banda da luz visível (400 nm a 700 nm).

Parte Inferior r<1 pc log r<0

Região onde se insere o Sistema Solar, com um conjunto de faixas (Nuvem de Oort Exterior (NOE), Nuvem de Oort Interior (NOI), Cinturão de Kuiper (CK)).

Aqui foram representados: o Sol (m=-26,8, M=4,8, r=1UA<> $10^{-5,3}$ pc), o seu "séquito" de planetas, alguns asteróides, cometas e ainda satélites artificiais para se ter a ideia onde se localizariam neste Diagrama. Sendo estes, "objectos" celestes de luz solar reflectida e de posicionamento variável apresentam variabilidade dos valores de r, m e M.

A Lua, Mercúrio e Vénus registam alteração mais visível daqueles parâmetros por variação das distâncias ao Sol e à Terra e por apresentarem fases. Marte e Júpiter não têm esta particularidade, mas mudando aquelas distâncias, sujeitam-se à conseqüente alteração dos valores de r, m e M e logo do brilho.

Por outro lado, os movimentos de rotação e a composição físico-química das superfícies reflectoras, considerando ainda a relativa proximidade do observador não deixam de introduzir também uma componente que concorre com alguma importância para a mudança temporal daquelas magnitudes. Daí a necessidade da inclusão do factor tempo pelo que as representações dos vários "corpos" foram datadas. Ver ainda a Legenda.

Em termos de magnitude visual aparente m, Júpiter mantém-se sempre com valores negativos, bem como a Lua que em fase de Lua Nova pode ir a m=0. Mercúrio, Vénus e Marte apresentarão valores de m negativos, nulos ou positivos. Saturno, Urano, Neptuno e Plutão ficarão praticamente imutáveis nas posições indicadas, com valores de m positivos.

Linhas Significativas

À esquerda a escala representativa dos valores de r em parsec em correspondência directa com os respectivos logaritmos decimais inscritos no eixo das ordenadas log r.

À direita e em equivalência com os valores de r e log r encontram-se os respeitantes aos módulos de distância (m-M). Valores de (m-M)>0 acima de r=10 pc e valores de (m-M)<0 abaixo daquela distância.

Entre as linhas anteriores inserem-se as isoM (linhas de igual Magnitude absoluta), as quais são também linhas de igual luminosidade relativa ao Sol e que mantêm idêntica inclinação de acordo com a equação acima referida. A tracejado "grosso" a isoM<>M=4,8 (Magnitude absoluta do Sol) com $L/L_{sol}=1$, separando os "corpos celestes" de Magnitude visual absoluta M superiores e inferiores à daquele astro.

A linha paralela ao eixo dos mm, à cota de 10 parsec, permite verificar que nos pontos de intercepção com as isoM se regista a igualdade M=m, ou seja: a Magitude absoluta de um corpo celeste é a sua magnitude aparente à distância r=10 pc de um observador, sendo nestas condições m-M=0. Analiticamente teríamos log r=1 e r=10 pc.

Verifica-se assim que qualquer ponto fornece os seguintes elementos informativos de um "objecto" celeste luminoso ou iluminado: log r, r(pc), m, M, (m-M), $L/L_{sol}=83,2 \times 10^{-0,4M}$ que é o mesmo que $L/L_{sol}=10^{(0,4 \times (4,8-M))}$, expressões estas previamente calculadas.

APLICAÇÕES DO DIAGRAMA mrM

- Qual a distância em pc de uma estrela com M=5 e m=15 ? R: 1000 pc.
- Quais as os valores de M das estrelas cujas magnitudes aparentes e distâncias se indicam ?
E₁---- m=5 d=100 pc R: M=0
E₂---- m=10 d=1 pc R: M=15
E₃---- m=15 d=10 pc R: M=15

- Qual a Magnitude absoluta do Sol ? R: 4,8.
- Qual a magnitude m que o Sol apresentaria para um observador se este fosse deslocado para o centro da Galáxia ? R: $m=19,6$.
- Que telescópio (dos indicados no Diagrama) apresenta uma magnitude limite visual mais próxima do valor de m anterior.? R=Telesc. 5m M.Palomar.
- Suponha uma galáxia com $M=-15$. Até que distância poderia esta ser observada pelo olho humano à vista desarmada ? R: $r=10^{5,2}=159000$ pc.
- Qual a Magnitude absoluta M de uma estrela à distância $r=10000$ pc, se esta tiver uma magnitude aparente $m=15$? R: $M=0$.
- No dia 15/1/2004 (terrestre) Neptuno e Plutão encontravam-se ambos próximos do limite interior do Cinturão de Kuiper (CK) a cerca de 30 UA ($\log r(\text{pc})=-3,84$) do Sol. Com que magnitude m seria vista esta estrela daqueles dois planetas ? R: $m=-19,4$.
- Para que valores de r , é negativo o **módulo de distância (m-M)** ? R: $r < 10$ pc.
- Qual o valor aproximado da magnitude visual aparente m de Antares se esta estrela fosse levada à distância a que se encontra Deneb ? R: $m=5$.
- Uma estrela com $(m-M)=5$ está mais próxima ou mais afastada que Sírius ? R: Mais afastada.
- Qual o módulo de distância de M2 ? R: $(m-M)=15$.
- Dos valores de $M(2,-30,-20)$ qual deles mais se aproxima da Magnitude absoluta de M33 ? R: $M=-20$.
- Qual a condição a que deve obedecer o **módulo de distância (m-M)** de um corpo celeste para que este se encontre a uma distância inferior a 1 pc ? R: $(m-M) < -5$.
- Qual o **módulo de distância** do Sol se este estivesse à distância de 10^6 pc ? R: $(m-M)=25$.
- Em 25/1/04 às 21H52 o planeta Marte estava à distancia $r_1=6,48 \times 10^{-6}$ pc $\log r_1=-5,19$ da Terra e à distância $r_2=7,306 \times 10^{-6}$ pc $\log r_2=-5,14$ do Sol. Com que magnitude aparente m aproximada seria visto o Sol pelos "marcianos" naquele dia ? R: -26.
- Qual o objecto celeste inscrito no Diagrama mrM anexo que mais se aproxima da posição da estrela Hip 8883 ($r=2508,9$ a.l., $\log r(\text{pc})=2,89$, $m=6,6$ ainda não inscrita ? R: M23.
- Admitindo a existência de um astro errante com $M=40$, afastando-se da Terra, que magnitudes m apresentaria à entrada e à saída do Cinturão de Kuiper (CK) ? R: 15,8 e 18,4.
- Considerando que a relação de brilhos e magnitudes aparentes de duas estrelas é $b_1/b_2=2,512^{(m_2 - m_1)}$, quantas vezes Sírius ($m_1=-1,44$) é mais brilhante que a estrela Lalande 21185 ? R: $b_1/b_2=2,512^{(7,5+1,44)}=2,512^{8,94}=3,8 \times 10^3$.
- Se as estrelas E_1, E_2 tiverem o mesmo valor de m , provar através de valores colhidos do Diagrama que $\log r_1 - \log r_2 = 0,2 \times (M_2 - M_1)$? R: Com $m=35$ $\log r_1=5$ e $\log r_2=2$ obtemos $M_1=15$ $M_2=30$, donde $\log r_1 - \log r_2 = 3$, $M_2 - M_1 = 15$ e logo $3 = 0,2 \times 15$ como queríamos demonstrar (c.q.d.).
- Das estrelas representadas quais as duas que apresentam uma luminosidade mais próxima da do Sol ? R: α Cen (Alfa do Centauro) e Hip 108065.
- Em 16/1/04 às 06:05:29 em Moçarria-Santarém foi presenciado um "flare" do satélite Iridium 51 com uma magnitude visual aparente $m=-8,3$. Nesse momento o referido satélite achava-se à distância $r=891$ km do observador. Considerando a mesma linha de visada, a que distância do observador deveria estar aquele para ser observado com a magnitude $m=4,4$? R: A cerca de 308600 Km.
- Em relação à questão anterior com que magnitude m seria visto o mesmo satélite se estivesse à distância $r=10000$ Km $\langle \log r(\text{pc}) = -9,5 \rangle$ do observador ? R: $m=-3$.
- Qual a Luminosidade do enxame aberto M7 do Escorpião relativamente ao Sol ? R: $L/L_s=1000$.
- Determine a Magnitude absoluta M da estrela X arbitrariamente colocada no Diagrama; por via gráfica e por via analítica ? R: via gráfica $M=2,5$, via analítica : com $L=10$ (gráfico), sendo $L=10^{(0,4 \times (4,8-M))}$ (ver parte superior do Diagrama), obtemos $10^1=10^{(0,4 \times (4,8-M))}$ e então, igualando expoentes temos $1=(0,4 \times (4,8-M))$ donde tiramos $M=2,3$.
- Indique duas estrelas cujas magnitudes satisfaçam à condição $m=M$? R: A e B (ambas com $r=10$ pc).
- Admitindo que o limite do Universo Observável é 20000 Milhões de Anos Luz $\langle \log r(\text{pc})=9,8 \rangle$, que Magnitude absoluta deveria ter um astro para poder ainda ser observado pelo VLT (16m) ? R: $M=-21$.
- Em relação à pergunta anterior qual seria a luminosidade L/L_s equivalente ao valor de M ? R: $L/L_s=10^{(0,4 \times (4,8+21))}=2,09 \times 10^{10}$.
- Até que distância em parsec se deveria deslocar o Sol para ainda poder ser observado por aquele VLT ? R: $r=10^{4,64}$ pc = 43700 pc .

- Considere uma estrela tal que: $m=5$ e $r=1000$ pc ($\log r=3$). Admitindo que a sua Magnitude absoluta M duplicava qual o valor que passaria a ter m ? R: $m=0$.
- Se em M31 surgisse uma supernova com a Magnitude absoluta M igual á da SN 2002ap em (29/1/02), com que magnitude visual aparente m (valor aproximado) seria aquela vista da Terra? R: 9,5.
- Se por hipótese Sírius ($M=1,45$) e Deneb ($M=-8,75$) estivessem sobre a mesma linha de visada do observador terrestre com que magnitude m um observador em cada uma delas veria a outra?
R: O observador em Sírius veria Deneb com $m=1,24$. O observador em Deneb veria Sírius com $m=11,44$.
- Para que distâncias (valor aproximado) se deveriam deslocar Antares e Hip 108065 para apresentarem um valor de m igual ao da magnitude limite visual dos binóculos 20x80?
R: Antares $r=10^4$ pc=10000 pc, Hip 108065 $r=10^2$ pc=100 pc.
- Que magnitude m (valor aproximado) apresentaria Antares à distância $r \ll \log r(\text{pc}) = 4,4$? R: 12.
- Dos dois astros A_1 ($m=5$, $r=100$ pc) e A_2 ($m=10$, $r=1000$ pc) qual deles é o mais luminoso? R: Nenhum. Ambos têm a mesma luminosidade $L/L_s=L=83,2$ com $L_s=1$.
- Admitindo que as estrelas periféricas da nossa Galáxia se posicionavam entre $r_1 \ll \log r_1(\text{pc}) = 3,8$ e $r_2 \ll \log r_2(\text{pc}) = 4,4$ em relação ao observador terrestre, qual a condição que garantiria que todas aquelas estrelas seriam vistas com uma magnitude $m \leq 12$? R: Deveriam ter todas valores de $L/L_s \geq 8320$ ou $M \leq -5$.
- Em relação à questão anterior, considerando aqueles valores de luminosidade que magnitude m teriam as estrelas periféricas localizadas à distância r_1 ? R: $m \leq 9$.

EM RESUMO

Com este Diagrama, a determinação das magnitudes/distâncias pela via do cálculo surge com uma nova dimensão, atendendo ao jogo dos conceitos pela visualização. A representação gráfica permite ainda mostrar de forma integrada e abrangente o posicionamento relativo dos vários tipos de elementos a que se aplicam os conceitos referidos no formulário matemático. Não sendo de um rigor muito elevado, devido aos erros de grafismo indica-nos todavia o caminho correcto para os resultados expectáveis que os métodos matemáticos, por vezes morosos, irão confirmar.

Carecendo de sucessivas actualizações devidas ao acréscimo de novos "personagens", no contexto das várias famílias de astros apresenta-se assim como uma pequena fotografia algo dinâmica, concretizando a imagem do Universo que está latente nas nossas cabeças de um modo mais esbatido e difuso.

Se considerarmos a parte superior do **Diagrama mrM** correspondente às estrelas, tendo em conta que **$M=m+5 (1-\log r)$** pela fórmula já indicada e fizermos $m=C$. te podemos obter um **Diagrama mrM** com outro visual que poderá anexar-se ao lado esquerdo do **DIAGRAMA HR** ($M/(L/L_s)$ função de T/Sp), através de um eixo comum que seria o representativo das Magnitudes absolutas/Luminosidades relativas ao Sol (L/L_s). O outro eixo (abscissas) seria $\log r$ (r expresso em pc). Para facilitar a utilização quer do gráfico, quer das expressões matemáticas em que entram conceitos de magnitude visual aparente, Magnitude visual absoluta, luminosidade, distâncias (pc, a.l., UA, km) e brilhos comparados, desenvolveu-se uma "ferramenta" informática que designámos por **Conversor mrM**.