

Lista de Questões sobre o Capítulo 2 do PS, p. 77-85

1 – Descreva o torus de gás molecular na região central da Galáxia, quanto à sua extensão, inclinação e cinemática interna. Por que o limite interno do torus evidencia algum evento de alta energia ocorrido em passado recente ($< 10^5$ anos)?

R: O torus tem borda interna bem definida, situada a 2pc de SgrA, e borda externa situada a $R=8pc$. Sua inclinação é de uns 20° com relação ao plano do disco fino. Cinematicamente, tem movimento de rotação, com velocidade de 110km/s e que independente de R (logo, a velocidade angular é maior na borda interna do que na externa).

O limite interno é muito bem definido. Se deixado evoluir sem influência externa (como uma pressão de radiação ou uma onda de choque vinda do centro), os movimentos térmicos das moléculas tenderiam a atenuar essa borda bem desenhada. O fato de isso não ter ocorrido sugere que energia proveniente do centro (mecânica ou radiativa) foi injetada no torus numa escala de tempo passada menor do que 10^5 anos.

2 – Descreva a fonte de rádio compacta SgrA*. Qual a resolução angular do VLBI que possibilitou o limite superior de 3UA para o tamanho de SgrA*?

R:

SgrA* emite da ordem de 2×10^{34} ergs/s de radiação no domínio rádio do espectro EM. Não emite significativamente em comprimentos de onda menores. Essa emissão está contida num raio de umas 3UA. Trata-se de radio-fonte luminosa e muito compacta, portanto.

O VLBI permite estimar um limite superior de 3UA para SgrA*, ou seja,

$$R < 3 \text{ AU} \rightarrow \theta D < 3 \text{ AU} \rightarrow \theta < 3 \text{ AU} / 8000 \text{ pc} = 3 / (8000 \times 2.06 \times 10^5) \text{ rad} = 1.82 \times 10^{-9} \text{ rad} = 3.7 \times 10^{-4} \text{ arcsec} = 0.37 \text{ mas.}$$

Então este é o valor da resolução angular da configuração VLBI usada.

3 – Reproduza os 2 argumentos dados no livro em desfavor da ocorrência de formação estelar na região central da Galáxia a partir do colapso gravitacional de uma nuvem de gás frio e poeira.

R:

1 – A presença de um objeto compacto e muito massivo, somada a alta densidade central de estrelas, gera forças gravitacionais diferenciais (forças de maré) que tendem a romper as nuvens de gás extensas, impedindo o seu colapso.

2 – a presença de um campo magnético intenso, aprisiona as partículas carregadas ao longo das linhas do campo. Em geral, essa restrição à dinâmica das partículas carregadas dificulta o processo de colapso pela ação da gravidade da nuvem. Note que a nuvem inicialmente é molecular, mas a sua contração gravitacional leva ao seu aquecimento e eventualmente à formação de um plasma nas regiões mais internas, cujas partículas então estarão sujeitas à força magnética (de Lorenz).

4 – Use a 3ª Lei de Kepler aplicada à estrela S2 discutida no texto para calcular a massa do objeto central cuja atração gravitacional causa sua órbita.

R:

$e = 0.87$; $b/a = 0.49$; $R_{\min} = 100\text{AU} = 0.13a$; $R_{\max} = 1.87a = 1438\text{AU}$

$a = 769\text{AU} = 1.15 \times 10^{14} \text{ m} \rightarrow a^3 = 1.5 \times 10^{42} \text{ m}^3$

$P = 15.7 \text{ anos} = 4.94 \times 10^8 \text{ s} \rightarrow P^2 = 2.44 \times 10^{17} \text{ s}^2$

$P^2/a^3 = 4\pi^2/MG \rightarrow M = a^3/P^2 \times 4\pi^2/G = 1.5 \times 10^{42} / 2.44 \times 10^{17} \times 4 \times 3.1416^2 / 6.67 \times 10^{-11} = 3.63 \times 10^{36} = 2 \times 10^6 M_{\text{sol}}$

5 – Lembrando que o Sol tem um movimento peculiar perpendicular ao plano do disco de $W_{\text{sol}} = 7 \text{ km/s}$, calcule o valor de w do buraco negro supermassivo que parece existir no centro da Galáxia. Para isso, utilize o valor 0.2 mas/ano para o movimento próprio do buraco negro com relação ao Sol.

R: O componente W do BN somado ao componente W_{sol} resulta na velocidade transversal do BN relativamente ao Sol. Matematicamente:

$$V_{\text{BN,Sol}} = W_{\text{BN}} + W_{\text{sol}}$$

Podemos estimar $V_{\text{BN,Sol}}$ usando a sua relação com o movimento próprio do BN com relação ao Sol:

$$V_{\text{BN,Sol}}(\text{km/s}) = 4.74 \mu(\text{"/ano}) D(\text{pc}) = 4.74 \mu(\text{"/ano}) R_0(\text{pc}) = 4.74 \times 0.0002 \times 8000 = 4.74 \times 1.6 = 7.58 \text{ km/s}$$

Daí então resulta que

$$W_{\text{BN}} = V_{\text{BN,Sol}} - W_{\text{sol}} = 7.58 - 7.00 = 0.58 \text{ km/s}$$

6 – Explique o argumento que leva ao limite inferior de $4 \times 10^5 M_{\text{sol}}$ para a massa da fonte emissora de rádio Sgr A* .

R: O argumento que leva a este limite inferior de massa é puramente dinâmico. Ele considera as flutuações esperadas na força resultante sobre SgrA* causada pelas estrelas do aglomerado central. Assumindo que esta força seja responsável pelo pequeno movimento observado de SgrA* com relação ao referencial de repouso no centro da Galáxia, podemos estimar sua massa. Ou seja, caso a massa do objeto compacto fosse menor do que esse valor, seria inevitável que sua velocidade perpendicular ao plano Galáctico fosse maior do que o observado.

7 – Descreva com suas palavras o mecanismo pelo qual uma estrela pode ser ejetada com alta velocidade a partir de um aglomerado.

R: Estrelas em geral são aceleradas pela variação espacial do potencial gravitacional gerado pelo sistema em que elas estão imersas.

$$\mathbf{a} = -\nabla \phi$$

Mas quando a densidade de estrelas é muito alta, colisões gravitacionais podem ocorrer em escalas de tempo mais curtas que a idade do sistema. Ou seja, duas ou mais estrelas eventualmente passam muito próximas entre si, de forma que a aceleração induzida pelas vizinhas predomina sobre a derivada espacial do potencial do sistema. As estrelas deixam então de orbitar num potencial suave e sofrem uma abrupta perturbação orbital.

Este mecanismo de interação próxima (colisão gravitacional), quando envolve mais de 2 estrelas de massas distintas, pode fazer com que uma delas, em geral a de menor massa, receba muita energia mecânica das demais, podendo inclusive ser ejetada do sistema estelar. As altas velocidades orbitais existentes no centro Galáctico, além da presença de um objeto central supermassivo, fazem dessa região uma forte candidata a ejetar estrelas com velocidades de centenas de km/s.

8 – Usando as estimativas de velocidade, distância ao centro Galáctico e tempo de vida da estrela B2 hiperveloz descoberta em 2005, confirme que sua origem pode de fato estar no centro da Galáxia.

$$V = 700 \text{ km/s}$$

$$D = 110 \text{ kpc}$$

Logo, o intervalo de tempo para essa estrela sair do centro Galáctico e percorrer a distância D é

$$t = D / V = 1.1 \times 10^5 \times 3.1 \times 10^{13} \text{ km} / 7 \times 10^2 \text{ km/s} = 3.4 \times 10^{18} \text{ km} / 7 \times 10^2 \text{ km/s} = 4.9 \times 10^{15} \text{ s} = 1.5 \times 10^8 \text{ anos.}$$

Esse intervalo é comparável à idade de uma estrela de tipo espectral B. Note que ao longo deste percurso iniciado no centro Galáctico, a estrela obviamente será desacelerada. Ou seja, espera-se que inicialmente sua velocidade de ejeção seja maior do que o valor atual, o que faz com que o tempo calculado seja uma superestimativa.