

Isabel Regina Guerra Aleman

A Molécula H_2 em Nebulosas Planetárias



Dissertação apresentada ao Instituto Astronômico e Geofísico, da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração: Astrofísica.

Orientadora: Profa. Dra. Ruth Gruenwald

Agência Financiadora: FAPESP

São Paulo
2002

Isabel Regina Guerra Aleman

A Molécula H_2 em Nebulosas Planetárias

Dissertação apresentada ao Instituto Astronômico e Geofísico, da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração: Astrofísica.

Orientadora: Profa. Dra. Ruth Gruenwald

Agência Financiadora: FAPESP

São Paulo
2002

*Aos Meus Pais
e ao Meu Irmão*

Agradecimentos

Nesta oportunidade quero agradecer a todos que com generoso entusiasmo sempre me apoiaram e me deram incentivo para que pudesse cumprir mais uma etapa desta jornada.

Começo por agradecer àquela que foi para mim a principal motivadora: Ruth Gruenwald, minha orientadora desde a iniciação científica, incansável em esclarecer sempre as minhas dúvidas, sólido suporte por todo este longo tempo. Sua experiência, suas palavras encorajadoras me fortaleceram e fizeram-me chegar até aqui.

Um agradecimento especial aos colegas e professores da primeira turma da Habilitação em Astronomia do curso de Bacharelado em Física do IFUSP e especialmente às pessoas que em tão boa hora implantaram esta habilitação. Obrigada também aos amigos do IAG-USP.

Devo manifestar o meu reconhecimento a FAPESP, pelo importante apoio financeiro, permitindo o desenvolvimento da pesquisa científica em nosso Estado.

E minha gratidão aos meus pais e familiares que estão sempre presentes com palavras e gestos de amor e solicitude.

Finalmente, a Gene Roddenberry pelas minhas primeiras jornadas às estrelas.

Sumário

| | |
|--|-----|
| Resumo | vi |
| Abstract | vii |
| 1. Introdução | 1 |
| 2. O Código de Fotoionização e as Sub-rotinas Elaboradas | 8 |
| 2.1. Breve Descrição do Código de Fotoionização Aangaba | 8 |
| 2.2. Equações de Equilíbrio Químico | 9 |
| 2.3. Reações Químicas Consideradas | 12 |
| 2.3.1. Reações Importantes de Formação de H ₂ | 12 |
| 2.3.2. Reações Importantes de Destruição de H ₂ | 14 |
| 2.4. A Formação de H ₂ na Superfície de Grãos | 16 |
| 2.4.1. Evidências de Grãos no Meio Interestelar e em Nebulosas Planetárias | 16 |
| 2.4.2. Sobre a Reação | 18 |
| 2.4.3. Condições para a formação de H ₂ na superfície de grãos | 20 |
| 2.4.4. Taxa para a formação de H ₂ na superfície de grãos | 30 |
| 2.5. As Sub-rotinas Elaboradas | 32 |
| 2.5.1. Alterações Feitas nas Sub-rotinas Pré-existentes do Código Aangaba | 34 |
| 2.5.2. Sub-rotinas Elaboradas | 35 |
| 2.5.3. Sub-rotinas de Press et al. (1994) Utilizadas | 35 |
| 3. Modelos e Resultados | 36 |
| 3.1. Resultados para a NP-Padrão | 39 |
| 3.2. Razão Grão-Gás | 43 |
| 3.3. Raio do Grão | 46 |
| 3.4. Material Constituinte do Grão | 51 |

| | |
|--|----|
| 3.5. Densidade do Gás | 53 |
| 3.6. Luminosidade da Estrela Central | 55 |
| 3.7. Temperatura da Estrela Central | 57 |
| 3.8. Lyman α e o Aquecimento dos Grãos | 60 |
| 3.9. Autoblindagem | 60 |
| 4. Discussão Final | 62 |
| 5. Perspectivas Futuras | 66 |
| 6. Referências Bibliográficas | 68 |
| Apêndice A - Constantes e Seções de Choque das Reações | 72 |
| 1. Fotoionização | 72 |
| 2. Fotodissociação | 73 |
| 3. Fotodestacamento | 76 |
| 4. Recombinação Radiativa | 77 |
| 5. Recombinação Dissociativa | 77 |
| 6. Destacamento Associativo | 78 |
| 7. Troca de Carga | 79 |
| 8. Neutralização | 81 |
| 9. Associação Radiativa | 82 |
| 10. Reação Íon-Molécula | 83 |
| 11. Processos Colisionais | 83 |
| 12. Ionização Colisional | 86 |
| 13. Reação na Superfície de Grãos | 87 |
| 14. Processos Não Considerados | 88 |
| Referências | 89 |
| Apêndice B - Temperatura da Estrela Central e Classificação Morfológica de NPs ₉₂ | |
| Referências | 96 |

Resumo

O objetivo deste trabalho é o estudo das condições de existência e a determinação da concentração da molécula H_2 em diferentes condições típicas de nebulosas planetárias, dentro da região ionizada. Para este cálculo, desenvolvemos sub-rotinas computacionais que se acoplam ao código de fotoionização unidimensional Aangaba que, até agora, somente considerava espécies atômicas (H, He, C, N, O, Mg, Ne, Si, S, Ar, Cl e Fe) e seus íons. Inserimos nesse código os equilíbrios químico e de ionização envolvendo a molécula H_2 e os demais compostos de hidrogênio, H^- , H_2^+ , H_3^+ , além do H, H^+ e dos elétrons que o código de fotoionização Aangaba já considerava em sua forma original. A molécula H_3 não é considerada por ser instável. Levamos em conta 41 diferentes mecanismos de formação e destruição desses compostos do hidrogênio. Destacamos particularmente o efeito da reação de formação de H_2 na superfície de grãos na produção global dessa molécula em nebulosas planetárias, considerada na literatura como a rota mais importante de formação dessa molécula no meio interestelar. Para isso, estudamos a possibilidade da sobrevivência de grãos dentro da região ionizada da nebulosa planetária. Analisamos também a influência das propriedades da estrela central e da densidade do gás, assim como das propriedades dos grãos astrofísicos, na concentração de H_2 . Demonstramos que quantidades significativas de H_2 podem sobreviver dentro da região ionizada de nebulosas planetárias, principalmente na região de recombinação do hidrogênio. A concentração de H_2 relativa à densidade total de H alcança valores de até 10^{-4} e a razão entre a massa de H_2 e a massa total de H da NP chega a valores de $4 \cdot 10^{-4}$. Verificamos que a razão entre a massa de H_2 e a massa de H total da nebulosa aumenta significativamente com o aumento da temperatura de estrela central. Essa maior quantidade de H_2 em nebulosas planetárias com estrela central mais quente pode explicar porque é mais comum encontrar emissão da molécula H_2 em nebulosas planetárias com estrutura bipolar (regra de Gatley), já que nebulosas com esse tipo morfológico têm estrela central tipicamente mais quente. Na literatura, o valor $6,9 \cdot 10^{-5}$ é obtido para a razão entre a massa de H_2 e a massa de H total da nebulosa planetária NGC 6720, a partir de dados observacionais. Usando os mesmos parâmetros deste artigo, calculamos com o código de fotoionização Aangaba o valor de $3,3 \cdot 10^{-5}$, que está razoavelmente próximo do valor da literatura.

Abstract

The goal of this work is the study of the H_2 molecule survival and the determination of its abundance in different typical planetary nebulae conditions inside the ionized region. In order to do these calculations, we developed Fortran subroutines for the Aangaba one-dimensional photoionization code that, until this work, only took into account the atomic species (H, He, C, N, O, Mg, Ne, Si, S, Ar, Cl, and Fe) and their ions. Ionization and chemical equilibria of H, H^+ , H^- , H_2 , H_2^+ , and H_3^+ are assumed. The H_3 molecule is not included because it is unstable. Forty-one different reactions that could form and destroy these species are taken into account. Reaction on grain surfaces, the most important mechanism for the production of H_2 molecules in the interstellar medium, is analyzed in detail in the conditions of planetary nebulae ionized regions. We make a careful analysis of the grain survival in these regions. We also study the influence of the central star properties and gas density, as well as the astrophysical grain properties in the obtained H_2 concentration. It is shown that a significant concentration of H_2 can exist inside the ionized region of planetary nebulae, mostly in the recombination zone. The H_2 concentration relative to the total hydrogen concentration reaches values as high as 10^{-4} and the H_2 mass to total hydrogen mass ratio inside the ionized region reaches values as high as 4×10^{-4} . The ratio increases with increasing temperature. This fact can explain why the H_2 emission is more often observed in bipolar planetary nebulae (Gatley's rule), since this kind of object has typically hotter stars. In the literature a H_2 mass to total hydrogen mass ratio equal to 6.9×10^{-5} is estimated from observations for the planetary nebula NGC6720. With the same input parameters for the gas density and the stellar spectrum, we calculated a ratio equal to 3.3×10^{-5} , close to the observed value.

1. Introdução

Nas últimas décadas, com o avanço alcançado no campo da astronomia observacional, várias moléculas, como H_2 , CO, CN, HCN, HCO^+ , etc., têm sido detectadas em nebulosas planetárias (NPs), como pode ser visto em Thronson & Bally (1986), Cox et al. (1992), Graham et al. (1993a e b), Cox (1997), Cernicharo et al. (2001), Highberger et al. (2001), entre outros.

A primeira detecção da emissão de H_2 em uma NP ocorreu em 1975 (Treffers et al. 1976) em observações no infravermelho de NGC 7027. Depois dessa detecção várias observações da molécula H_2 em NPs já foram publicadas, por exemplo, Greenhouse, Hayward & Thonson (1988), Graham et al. (1993a, 1993b), Schild (1995), Hora, Latter & Deutch (1999), Guerrero et al. (2000), Bohigas (2001). Bandas de absorção de H_2 no UV também já foram observadas em NPs (por exemplo, Bowers et al. 1995).

As moléculas podem ter um papel importante na determinação das condições físicas do gás e têm sido alvo de um grande número de estudos em diversos ambientes astrofísicos. Particularmente importante é a molécula H_2 , já que esta é a molécula mais abundante no Universo. Uma revisão do papel da molécula H_2 nas diversas situações astrofísicas é encontrada em Williams (1999).

As linhas dos átomos neutros (C I, Mg I,...) do espectro das NPs ainda não são reproduzidas corretamente pelos modelos de fotoionização (Aller 1984). Isso pode estar ocorrendo devido à presença das várias moléculas já detectadas nas NPs e que não são consideradas nestes modelos.

Atualmente, a molécula H_2 (assim como outras moléculas) já é incluída em estudos da componente molecular em diversas situações astrofísicas, como nuvens interestelares (Viala 1986), nuvens moleculares interestelares (Bergin et al. 1995), nuvens escuras (Solomon & Werner 1971, de Jong 1972), gás primordial (Shapiro & Kang 1987, Abel 1995, Abel et al. 1997), regiões de fotodissociação em geral (Tielens & Hollenbach 1985, Draine & Bertoldi 1996), choques em nuvens interestelares (Hollenbach & McKee 1979 e Hollenbach & McKee 1989) e mesmo em NPs (Black 1978; Gussie & Pritchett 1988). Diferentes processos que formam e destroem a molécula são analisados nesses estudos. Entretanto, esses modelos não são adequados para o estudo da possível presença de H_2 dentro da região ionizada das NPs, pois ou alguns processos importantes que ocorrem nesses objetos não são considerados ou a análise da componente molecular em NPs é somente feita em regiões mais neutras, sendo dissociada da análise da componente atômica, presente nas regiões mais internas.

O potencial de fotodissociação direta da molécula H_2 é de 14,7 eV e seu potencial de fotoionização é 15,4 eV. Esses valores de energia ficam acima do potencial de ionização do H ($E_{th} = 13,6$ eV) e, portanto, o H_2 é protegido da radiação pela presença de H em regiões mais internas. Existe também outro processo de destruição de H_2 , a fotodissociação em dois passos (Stecher & Williams 1967), que pode ser a rota mais importante nas regiões mais externas das NPs, onde os fótons acima de 13,6 eV já foram bastante absorvidos pelo hidrogênio presente mais internamente na NP. Esse processo ocorre em uma faixa estreita de energia entre 12,24 eV e 13,51 eV. A Figura 1 mostra as seções de choque dos processos de fotoionização do átomo H e da molécula H_2 e das duas rotas de fotodissociação da molécula H_2 .

Um fator que pode colaborar para a existência da molécula H_2 dentro das regiões ionizadas é a presença de grãos nesses ambientes. Van Hoof et al. (2000), por exemplo, utilizam modelos de fotoionização para estudar o contínuo infravermelho observado da NP NGC 6445, concluindo que existe poeira dentro da região ionizada desse objeto. Além de blindar a radiação ultravioleta (UV) eles

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

