

Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Astronomia

Gustavo Andrés Guerrero Eraso

Estudos numéricos do dínamo Solar

São Paulo

2009

Gustavo Andrés Guerrero Eraso

Estudos numéricos do dínamo Solar

Tese apresentada ao Departamento de Astronomia do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Astronomia

Orientador(a): Prof.^(a) Dr.^(a) Elisabete Maria de Gouveia Dal Pino

São Paulo

2009

Este trabalho é dedicado às duas pessoas que fazem minha vida ter um significado maior: minha mãe e a Grá.

Gostaria agradecer ao Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas por ter me acolhido e permitido desenvolver os estudos de doutorado concluídos nesta tese. Agradeço também a todos os professores, especialmente à professora Zulema e ao professor Jorge. E também ao pessoal administrativo que facilita o nosso trabalho diário, especialmente à Rose e à Marina.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem julgar essa tese.

Ao CNPq pelo suporte financeiro e à FAPESP pelo apoio financeiro para o projeto temático n^o: 2006/50654-3 que facilitou a aquisição do equipamento computacional para desenvolver estes estudos.

À Bete pelo seu ensino na sala de aula, pelas importantes discussões e o trabalho acadêmico, por seus conselhos no âmbito profissional e pessoal, por acreditar em mim e, claro, pela sua paciência. Sem a sua excelente orientação esse trabalho não teria sido possível.

A Dra. Mausumi Dikpati pelas discussões sobre dínamo solar nos vários congressos onde coincidimos e pelo seu convite para trabalhar com ela durante o verão de 2008 no High Altitude Observatory (HAO). Agradeço também o apoio financeiro do HAO durante essa viagem e a NCAR pelas facilidades computacionais no cluster *bluefire* onde foram feitas as simulações tridimensionais apresentadas no último Capítulo deste trabalho.

À minha família: minha mãe e meus irmãos por todo seu amor e ajuda incondicional. Tem sido mais fácil na vida fazer tudo o que eu gosto sabendo que conto com vocês.

Aos meus amigos/colegas latinos do IAG: el Compadre, Sergio, Adrian, Juan Luna, Tatiana e Fernanda. Aos meus colegas do grupo de plasmas Astrofísicos: Reinaldo, Márcia, Fernanda, Pamela, Cláudio, Luiz e Diego. Aos meus amigos del fulbito Federico, Javier, Alejandro, Jaime, Ricardo, Ives, Raul, Canijia e a aos meninos da quadra.

E, claro, agradeço à Grá, por me ajudar descobrir durante esses últimos três anos que o amor pode ser reinventado. Obrigado por tudo negrita linda, a vida é mais feliz e simples com você ao meu lado.

Resumo

O ciclo solar é um dos fenômenos magnéticos mais interessantes do Universo. Embora ele tenha sido descoberto há mais de 150 anos, até agora permanece um problema em aberto para a Astrofísica. Há diferentes tipos de observações que sugerem que o ciclo solar corresponde a um processo de dínamo operando em algum lugar do interior solar. Parker foi o primeiro a tentar explicar o dínamo solar como um processo hidro-magnético acerca de 50 anos atrás. Desde então, embora tenha havido avanços significativos nas observações e investigações teóricas e numéricas, uma resposta definitiva para o dínamo solar ainda não existe.

Acredita-se que no caso do Sol, pelo menos dois processos são necessários para completar o ciclo magnético observado: a transformação de um campo poloidal inicial em um campo toroidal, um processo conhecido como efeito Ω , o qual se deve ao cisalhamento em grande escala ocasionado pela rotação diferencial; e a transformação do campo toroidal em um novo campo poloidal de polaridade oposta ao inicial. Esse segundo processo é menos conhecido e motivo de intensas discussões e pesquisas. Duas hipóteses principais foram formuladas para explicar a natureza deste processo, usualmente conhecido como efeito α : a primeira, baseada na idéia de Parker de um mecanismo turbulento onde os campos poloidais resultam de movimentos convectivos ciclônicos operando em tubos de fluxo toroidais em pequena escala. Esses modelos se depararam, no entanto, com um serio inconveniente: na fase não-linear, i.e., quando a reação dinâmica do campo magnético ao fluido torna-se importante, o efeito α pode ser amortecido de forma catastrófica, levando a um dínamo pouco efetivo.

A segunda hipótese é baseada nas idéias de Babcock (1961) e Leighton (1969) (BL), que propuseram que o campo poloidal forma-se devido à emergência e decaimento posterior das regiões bipolares ativas. Neste modelo a circulação meridional tem um papel fundamental pois atua como mecanismo de transporte do fluxo magnético, de tal forma que a escala de tempo advectivo deve dominar sobre a escala de tempo difusiva. Por essa razão essa classe de modelos é comumente conhecida como modelo de dínamo dominado pelo transporte de fluxo, ou dínamo advectivo.

Os modelos de dínamo dominados pelo transporte de fluxo são relativamente bem

sucedidos em reproduzir as características em grande escala do ciclo solar, tornando-se populares entre a comunidade de Física solar, no entanto, também apresentam vários problemas amplamente discutidos na literatura. O objetivo principal deste trabalho foi identificar as principais limitações dessa classe de modelos e explorar as suas possíveis soluções. Para tal, construímos um modelo numérico bi-dimensional de dínamo cinemático baseado na teoria de campo médio e investigamos primeiro os efeitos da geometria e da espessura da tacoclina solar na amplificação do dínamo. Depois, consideramos o processo de bombeamento magnético turbulento como um mecanismo alternativo de transporte de fluxo magnético, e finalmente, incluímos a reação dinâmica do campo magnético sobre a difusividade magnética turbulenta, um processo conhecido como amortecimento de η .

Verificamos que é possível construir-se um modelo de dínamo dominado pelo transporte de fluxo capaz de reproduzir as observações ao considerar-se uma tacoclina de espessura fina localizada abaixo da zona convectiva. Isto limita a criação de intensos campos toroidais não desejados nas altas latitudes. Verificamos também ser importante considerar o bombeamento magnético, pois ele provê advecção do fluxo magnético para o equador e para a base da camada convectiva, o que resulta em uma correta distribuição latitudinal e temporal dos campos toroidais e também permite certa penetração desses campos nas regiões mais estáveis onde podem adquirir maior amplificação. Esse mecanismo é ainda importante para produzir a paridade correta do campo (anti-simétrica) nos dois hemisférios do Sol. Também encontramos que o amortecimento da difusividade magnética é um mecanismo fundamental para a formação de pequenas estruturas de campo toroidal com maior tempo de vida, identificadas com os tubos de fluxo, que acredita-se existirem na base da zona de convecção. Além do mais, os campos magnéticos formados graças ao amortecimento de η podem ser até ~ 2 vezes mais intensos que as estruturas magnéticas formadas sem o seu amortecimento.

Por fim, nos últimos anos, alguns trabalhos teóricos vêm chamando a atenção para o papel da conservação da helicidade magnética no processo de dínamo, dando nova vida a modelos de dínamo turbulento, como originalmente proposto por Parker. Com o objetivo de investigar o papel da helicidade magnética e de buscar uma descrição dinâmica mais realista do mecanismo de dínamo, construímos recentemente um modelo numérico de convecção tridimensional (utilizando o código MHD, PLUTO) que tenta reproduzir o cenário

natural do interior solar onde teria lugar o processo de dínamo. Exploramos a evolução de um campo magnético semente imposto sobre um estado convectivo estacionário. Os resultados preliminares indicam que a convecção pode facilmente excitar o efeito de dínamo, inclusive em casos sem rotação. Porém, nos casos com rotação, o dínamo parece produzir uma maior quantidade de campo magnético médio com relação aos casos sem a rotação nos quais o campo flutuante é dominante. Estes resultados suportam a existência de um dínamo turbulento y validam a teoria de campo médio, mas uma a análise mais detalhada ainda é necessária.

Abstract

The solar cycle is one of the most interesting magnetic phenomenon in the Universe. Even though it was discovered more than 150 years ago, it remains until now as an open problem in Astrophysics. There are several observational evidences that suggest that the solar cycle corresponds to a dynamo process operating at some place of the solar interior. Parker, in 1955, was the first to try to explain the solar dynamo as hydromagnetic phenomena. Since then, although there has been important improvements in the observations, theory and numerical simulations, a definitive model for the solar dynamo is still missing.

There is common agreement that in the solar case, at least two processes are necessary to close the dynamo loop: the transformation of an initial poloidal field into a toroidal field, the so called Ω effect, which is due to a large scale shear caused by the differential rotation, and the transformation of the toroidal field into a new poloidal field of opposite polarity, which is still a poorly understood process that has been the subject of intense debate and research. Two main hypotheses have been formulated in order to explain the nature of this effect, usually denominated α effect: the first one is based on Parker's idea of a turbulent mechanism where the poloidal field results from cyclonic convective motions operating at small scales in the toroidal field ropes. These models, however face an important limitation: in the non-linear regime, i.e. when the back reaction of the toroidal field on the motions becomes important, the α effect can be catastrophically quenched leading to an ineffective dynamo.

The second hypotheses is based on the formulation of Babcock (1961) and Leighton (1969) (BL), who proposed that the poloidal field is formed due to the emergence and decay of bipolar magnetic regions. In this model the meridional circulation plays an important role by acting as conveyor belt of the magnetic flux, so that the advection time must be dominant over the diffusion time. For this reason these models are often called flux-transport dynamo models.

The flux-transport dynamo models has been relatively successful in reproducing the large scale features of the solar cycle, and have become popular between the solar community. However, they also present several problems that have been widely discussed in the literature. The main goal of this work was to identify the main problems concerning the flux-transport dynamo model and to explore possible solutions for them. For this aim, we

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:

