

**Prémio União Latina 2001**

**Constrangimentos cosmológicos sobre as propriedades de um bosão de Higgs  
num modelo de matéria escura com auto-interacção**

Maria da Conceição Bento <sup>1</sup>, Orfeu Bertolami <sup>1</sup>, Rogério Rosenfeld <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Técnico  
Departamento de Física  
Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> Instituto de Física Teórica  
R. Pamplona 145, 01405-900 São Paulo - SP, Brasil

Direcções electrónicas: bento@sirius.ist.utl.pt; orfeu@cosmos.ist.utl.pt; rosenfel@ift.unesp.br

Recentemente, a cosmologia observacional tornou-se uma área de investigação extremamente profícua e abrangente. Versões aperfeiçoadas do satélite COBE (MAP, lançado em 2001, e Planck, com lançamento previsto para 2007), do Hubble Space Telescope e os catálogos digitais de galáxias e quasars (Sloan Sky Digital Survey, Two Degree Field, etc), entre outras observações, permitirão testar em detalhe vários aspectos do cenário cosmológico que os físicos têm vindo a construir. Isto implica naturalmente que as ideias teóricas mais importantes serão escrutinadas em profundidade e os modelos teóricos serão cada vez mais constrangidos pelas observações. Claramente, sendo o modelo de Matéria Escura Fria (MEF), complementado pela teoria inflacionária, o candidato mais proeminente para explicar as características mais marcantes do Universo, estas ideias desempenharão um papel central em qualquer discussão futura.

A Inflação é um período extremamente curto de expansão acelerada do Universo, que terá ocorrido nos primeiros instantes da sua história (aproximadamente  $10^{-34}$  segundos após o Big Bang), e que explica naturalmente como o Universo emergiu a partir de um conjunto não constrangido de condições iniciais. Por outro lado, a Inflação também explica o alto grau de homogeneidade e isotropia da Radiação Cósmica de Fundo (RCF) na região de microondas do espectro electromagnético, bem como a origem das flutuações na densidade de energia que actuaram como sementes para a formação de estrutura no Universo.

O modelo MEF constitui uma descrição bastante fiel da estrutura em larga escala do Universo tal como o conhecemos hoje, a partir das sementes herdadas da Inflação. Por outro lado, o MEF (na verdade uma sua variante, designada por  $\Lambda$ CDM por incluir uma constante cosmológica), explica as medidas recentes das anisotropias da RCF e as observações relacionadas com a diminuição da luminosidade das estrelas distantes do tipo Supernovas da classe dita Ia, para determinados valores dos parâmetros cosmológicos. De acordo com este modelo, as flutuações de densidade do plasma primordial, essencialmente na forma de matéria escura (não luminosa) e “fria” (não relativística), terão sido geradas durante o período inflacionário; estas flutuações terão crescido e formado halos escuros nos quais a matéria luminosa finalmente se condensa e arrefece.

No entanto, apesar do seu sucesso, o modelo MEF enfrenta dificuldades nomeadamente no que diz respeito à previsão da estrutura da zona central das galáxias dominadas por matéria escura, como as galáxias anãs. Essas galáxias apresentam perfis matéria-densidade suaves, que podem ser modelados por esferas isotérmicas com densidade finita na zona central

enquanto que as simulações numéricas baseadas no modelo MEF prevêm regiões centrais singulares, com densidade  $\rho \sim r^{-\gamma}$ , com  $\gamma$  no intervalo entre 1 e 2.

Uma solução possível para este problema seria permitir a possibilidade de que as partículas constituintes da matéria escura interajam entre si, por forma a terem uma secção eficaz de dispersão grande, embora de aniquilação e dissipação negligíveis. A auto-interacção introduz uma escala de comprimento característica através do caminho livre médio da partícula no halo. Secções eficazes de dispersão grandes conduzem a um caminho livre médio pequeno, de forma que as partículas responsáveis pela matéria escura com um caminho livre médio da ordem da escala dos halos permitem a transferência de calor por condução para o centro dos halos.

O modelo que propomos é precisamente deste tipo, em que a matéria escura tem auto-interacção. Mais concretamente, postula-se que a matéria escura é constituída por partículas escalares com massa, que denominamos fiões, por serem indicadas matematicamente pela letra grega  $\phi$ , com auto-interacção e acopladas ao bóson de Higgs do Modelo Padrão das interacções fundamentais da Natureza (ou modelo de Glashow-Weinberg-Salam). É importante referir que o bóson de Higgs é a única partícula prevista pelo Modelo Padrão que ainda não foi descoberta, e que o grande acelerador de hadrões (Large Hadron Collider ou LHC simplesmente), em construção no Centro Europeu de Investigação Nuclear (CERN), em Genebra, tem como objectivo principal criar condições experimentais para a detecção desta partícula. Por outro lado, no nosso modelo, o acoplamento do fião com o bóson de Higgs introduz a possibilidade de um novo modo de decaimento para este bóson que, transformando-se em “invisível”, poderá explicar o facto desta partícula não ter sido ainda encontrada no laboratório.

O caminho livre médio dos fiões deve estar no intervalo entre 1 Kpc e 1 Mpc (1 pc, diz-se parsec, corresponde a 3.26 anos-luz ou  $3.08 \times 10^{13}$  km). De facto, se este fosse superior a 1 Mpc, as partículas não sofreriam qualquer interacção à medida que atravessam o halo; por outro lado, se fosse menor que 1 Kpc, as partículas comportar-se-iam como um gás colisional, o que alteraria substancialmente a estrutura e evolução do halo. Este requerimento permite obter constrangimentos sobre a massa e a constante que determina a intensidade do auto-acoplamento dos fiões. Assumindo que a constante de acoplamento entre o fião e o bóson de Higgs é da ordem da unidade e o caminho livre médio da ordem de 1 Mpc implica que a massa do fião é cerca de 13 MeV (1 MeV =  $10^6$  eV e 1 eV corresponde à energia de  $1.6 \times 10^{-19}$

Joule no Sistema Internacional de Unidades).

Naturalmente, a ideia de identificar os fíões como as partículas que compõem a matéria escura do Universo só pode ser seriamente considerada caso os fíões sejam abundantemente produzidos durante a evolução do Universo. No nosso primeiro artigo [1], assumimos que os fíões foram produzidos logo após a inflação, através do declínio do bosão responsável pela dinâmica do processo inflacionário, o inflatão. A consistência física deste processo exige que o fíão e o bosão de Higgs sejam muito fracamente acoplados. Assumimos também que o processo inflacionário teve lugar no contexto das teorias que unificam a gravitação com as outras interações fundamentais, nomeadamente as teorias chamadas de supergravitação. Tais hipóteses permitiram-nos demonstrar ser possível obter uma abundância de fíões consistente com as observações, nomeadamente algo como 30% da chamada densidade crítica do Universo, o que corresponde a aproximadamente  $10^{-29}$  g/cm<sup>3</sup> (experiências recentes mostram, através da estrutura do espectro da RCF, que esta é a densidade do Universo actualmente). É interessante referir que a componente do Universo que corresponde à matéria de que somos feitos, os bariões, representa apenas aproximadamente 5% da densidade crítica enquanto que a energia escura é dominante no presente e corresponde a cerca de 65% da densidade crítica.

Posteriormente, no nosso segundo trabalho [2], considerámos o problema da criação e evolução da abundância dos fíões dum ponto de vista mais abrangente, nomeadamente alargando o intervalo de variação da massa do fíão e da constante de acoplamento entre este e o bosão de Higgs. Neste caso, aumentam também os canais cinematicamente acessíveis para o declínio destas partículas num bosão de Higgs e deste em estados do Modelo Padrão, tais como gluões, quarks  $b$  e bosões vectoriais,  $W^+W^-$  e  $Z^0$ . Por outro lado, não podemos esquecer que estes processos devem ser considerados no seio dum Universo em contínua expansão e conseqüente arrefecimento pelo que a utilização de técnicas de Mecânica Estatística adaptadas à física do Universo primitivo, por meio das soluções da equação de Boltzmann, é essencial e permitiu-nos estudar os vários regimes de massa e constante de acoplamento.

O conjunto de resultados por nós obtidos foi, em certa medida, inesperado. Em primeiro lugar, demonstrámos que, se os fíões e o bosão de Higgs não forem fracamente acoplados, então a superabundância dos fíões só pode ser evitada para valores da constante de acoplamento maiores e da ordem de 2 e tal sómente para o caso de massas da ordem de 1 GeV (1 GeV =  $10^9$  eV); massas da ordem de  $10^2$  MeV estão excluídas. Para o primeiro caso, descobrimos também que a consistência física do modelo exige que a massa do bosão de Higgs

não exceda 130 GeV, um resultado bastante interessante uma vez que o limite experimental para a massa desta partícula é, actualmente, muito próximo deste valor, nomeadamente 115 GeV. Nesta situação, uma previsão do nosso modelo é que o declínio do bóson de Higgs é completamente dominado pelo modo “invisível”, em que o Higgs se transforma em dois fões, uma previsão que poderá ser testada na próxima geração de aceleradores.

### Referências

- [1] “Self-interacting dark matter and the Higgs boson”, M. C. Bento, O. Bertolami, R. Rosenfeld e L. Teodoro, *Physical Review D* **62** Rapid Communications (2000) 041302 (R).
- [2] “Cosmological Constraints on an Invisibly Decaying Higgs”, M. C. Bento, O. Bertolami e R. Rosenfeld, *Physics Letters* **B518** (2001) 276.