

Projeto de Pesquisa para Iniciação Científica: Inflação, criação quântica de partículas e efeitos transplanckianos

Orientador: Prof. Luís Raul Weber Abramo
Bolsista: Marcio Guilherme Bronzato de Avellar

*Departamento de Física Matemática
Instituto de Física, Universidade de São Paulo*

Resumo

As evidências observacionais indicam que o universo sofreu um brevíssimo período de expansão acelerada em seus primeiros instantes de existência, denominado de fase inflacionária. Durante essa fase, efeitos quânticos são responsáveis por um eficiente mecanismo de criação de partículas, que ficam registradas nas anisotropias da radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM). Esse mecanismo quântico muito provavelmente ocorre em escalas de energia da ordem da escala de grande unificação ($E_{GUT} \sim 10^{16}$ eV), o que é perigosamente próximo da escala de Planck ($E_{GUT} \sim 10^{19}$ eV), na qual a própria gravitação teria de ser quantizada e, portanto, radicalmente modificada, já que a teoria de Einstein é imprestável quando confrontada com a mecânica quântica.

Nesse projeto de pesquisa, pretendemos investigar a robustez do mecanismo quântico de criação de partículas em situações extremas. Para isso, estudaremos primeiro a teoria da relatividade geral e suas soluções cosmológicas, assim como os princípios da teoria de perturbações relativísticas. Também estudaremos teoria de campos canônica em espaços curvos (para o mecanismo em questão, não é necessário estudar em grande profundidade a teoria covariante de campos quânticos, cálculo de Feynman, renormalização etc.).

1 Introdução

As últimas observações da radiação cósmica de fundo em microondas (RCFM) [1] indicam que o universo passou por uma fase de expansão acelerada, em seus primórdios. Essa fase, denominada *inflação*, deixou profundas marcas no

tecido global do universo [2, 3]: primeiro, tornou-o extremamente homogêneo e isotrópico; segundo, a expansão acelerada suprimiu exponencialmente a importância de qualquer curvatura espacial inicial; e terceiro, efeitos quânticos foram os responsáveis por uma dose constante e estável de partículas criadas durante a inflação, que perturbaram o fundo homogêneo e isotrópico e se converteram no que hoje chamamos de *flutuações* na RCFM e no espectro de matéria do universo.

O mecanismo de criação de partículas é bem conhecido e estudado, e pode ser entendido como uma consequência trivial da mecânica quântica. Um dos resultados inescapáveis da teoria quântica é o fato de que o vácuo não é inteiramente vazio, mas sim cheio de pares virtuais de partículas, que são constantemente criados e aniquilados. Quando transpomos esse resultado para um universo em expansão acelerada, numa escala onde o comprimento de compton da partícula é comparável ao raio de curvatura associado com essa expansão, temos uma situação onde alguns dos pares virtuais podem se separar por distâncias de ordem desse raio de curvatura, e assim ficar “presas” pela expansão do universo. Cada uma das partículas virtuais é então arrastada pela expansão para longe uma do outra, até que a probabilidade do par se recombinar se torna irrisória. Dizemos então que o par virtual se converteu num par real. A expansão acelerada do universo, portanto, arrancou um par de partículas do vácuo.

O problema é que a escolha do vácuo, a partir do qual serão criadas as partículas, não é única [4]. Esse problema parece ser contornado pela inflação, pois para todos os vácuos “adiabáticos” que se podem formular (ou seja, todos os vácuos que se reduzem ao vácuo de Minkowski no limite de expansão tendendo a zero), a produção de partículas e o espectro de perturbações resultante parecem ser idênticos.

Isso suscitou alguns estudos a respeito da robustez desse resultado. Primeiro, foi sugerido que uma alteração nas relações de dispersão no universo jovem (para longe das relações usuais, $\omega^2 = k^2 + m^2$) poderiam ser observáveis no espectro da RCFM [5]. Essa possibilidade suscitou um reavivamento dos estudos a respeito da dependência do espectro inflacionário de perturbações cosmológicas nos detalhes do mecanismo quântico de criação de partículas, para além de uma simples alteração das relações de dispersão [6, 7, 8]. Esses trabalhos parecem verificar a extraordinária robustez do espectro inflacionário de perturbações a alterações radicais na escolha de vácuo [9], relações de dispersão e até mesmo ajustes finos no princípio da incerteza.

2 Sistema físico e formalismo

O sistema que consideramos é a gravidade de Einstein com um campo escalar:

$$\mathcal{L} = \sqrt{-g} \left\{ -\frac{R}{16\pi G} + \frac{1}{2} g^{\mu\nu} \phi_{,\mu} \phi_{,\nu} - V(\phi) \right\}, \quad (1)$$

onde ϕ é um campo escalar e G é a constante de Newton da gravitação.

O campo escalar e a métrica do espaço-tempo possuem um fundo (*background*) homogêneo e isotrópico, $\phi = \phi(t)$ e $g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(t)$. As flutuações são representadas, em teoria de perturbação, como pequenos desvios desse fundo. A teoria é então quantizada canonicamente, ou seja, os graus de liberdade da teoria perturbada obedecem, junto com seus momentos canonicamente associados, às relações de comutação de Dirac.

3 A proposta de pesquisa

O mecanismo quântico de criação de partículas que pretendemos estudar pode ser descrito rigorosamente utilizando apenas o formalismo da relatividade geral perturbativa num background homogêneo e isotrópico (de longe o problema perturbativo mais simples da relatividade geral), junto com os elementos básicos da quantização canônica. Portanto, trata-se de assunto que um estudante avançado de graduação pode dominar. Nosso objetivo será estudar em detalhe esse processo, as escalas de energia onde ele ocorre e investigar quais mudanças podem ter um impacto no espectro de partículas criadas.

Nossos objetivos, nesse projeto de Iniciação Científica, são:

Dominar a relatividade geral aplicada à cosmologia;

Estudar teoria clássica de perturbação em backgrounds cosmológicos;

Estudar quantização canônica de campos;

Investigar a dependência do espectro de flutuações na escolha do vácuo e nas relações de dispersão;

Estudar novas maneiras de testar o resultado central (o espectro de flutuações), fazendo ajustes finos no mecanismo de criação de partículas.

Referências

- [1] WMAP collaboration, <http://map.gsfc.nasa.gov/>

- [2] J. A. Peacock, “Cosmological physics” (Cambridge University Press, 1999).
- [3] S. Dodelson, “Modern Cosmology” (Academic Press, 2003).
- [4] N. Birrell and P. Davies, “Quantum Fields in Curved Space” (Cambridge University Press, 1986).
- [5] J. Martin, R. Brandenberger, *Phys. Rev. D*63: 123501, 2001, e-Print hep-th/0005209;
- [6] R. Brandenberger, Jerome Martin, *Int. J. Mod. Phys. A*17: 3663-3680, 2002, e-Print hep-th/0202142; J. Martin, R. Brandenberger, e-Print hep-th/0305161.
- [7] D. Campo, R. Parentani, *Phys. Rev. D*67: 103522, 2003, e-Print gr-qc/0301044; J. Niemeyer, R. Parentani, D. Campo, *Phys. Rev. D*66: 083510, 2002, e-Print hep-th/0206149. J. Niemeyer, R. Parentani *Phys. Rev. D*64: 101301, 2001, e-Print astro-ph/0101451.
- [8] R. Easther, B. Greene, W. Kinney, G. Shiu *Phys. Rev. D*64: 103502, 2001, e-Print hep-th/0104102; *Phys. Rev. D*67: 063508, 2003, e-Print hep-th/0110226; *Phys. Rev. D*66: 023518, 2002, e-Print hep-th/0204129.
- [9] C. Armendariz-Picon, E. Lim, e-Print Archive: hep-th/0303103.