Cinvestav

A quien corresponda:

Por este medio se hace CONSTAR que el **Dr. José Alberto Vázquez González** es coasesor del estudiante de doctorado Luis Osvaldo Téllez Tovar.

La presente se extiende a solicitud del interesado a los once días del mes de abril del año dos mil diecinueve, para los fines legales que le convengan.

Atentamente,

CENTRO DE INVESTIGACION Y ESTUDIOS AVANZADOS DEL I.P.N.
Coordinación Académica
Departamento de Física
Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F.

Dr. Agustín Conde Gallardo
Coordinador Académico
Departamento de Física

Resumen

En esta tesis presentamos las constricciones cosmológicas del modelo Multi Scalar Field Dark Matter (MSFDM), en el que suponemos que la materia oscura está formada por distintos campos escalares ultra ligeros. Como primera aproximación consideramos que los campos son reales y que no interactúan entre ellos. Estudiamos las ecuaciones que describen el fondo y las perturbaciones para N-campos. También presentamos la evolución de los parámetros adimensionales de densidad, el espectro de potencias de materia y el espectro de la radiación cósmica de fondo (CMB por sus siglas en inglés). En particular, nos enfocamos en el caso de dos campos escalares con distintas combinaciones de los potenciales $V(\phi) = 1/2m_\phi^2\phi^2$, $V(\phi) = m_\phi^2 f^2 [1 + \cos(\phi/f)]$ and $V(\phi) = m_\phi^2 f^2 [\cosh(\phi/f) - 1]$. Sin embargo, el formalismo matemático y los códigos empleados pueden ser extendidos a más campos. Por otro lado, usamos los datos de BAO, Big Bang Nucleosynthesis, bosques de Ly-α y Supernovas para hallar las restricciones de los parámetros para los casos en que tenemos un solo campo y dos campos, también calculamos la evidencia bayesiana. Hallamos que algunas combinaciones de los potenciales son penalizados por esta, mientras que otros muestran un preferencia igual al modelo de materia oscura fría. Por otro lado, estudiamos numéricamente un nuevo modelo para explicar la expansión acelerada del Universo en el que no es necesaria la existencia de la energía oscura. Usando distintas aproximaciones al parámetro de Hubble y considerando un fluido efectivo obtenemos la evolución de los parámetros adimensionales de densidad, el espectro de potencias de materia y el espectro del CMB.

Contents

Resumen **V**

Abstract **VII**

Estructura **IX**

1 Introduction **1**

2 Cosmology **5**

2.1 Dynamics and geometry 5

2.1.1 The metric 6

2.1.2 Symmetric Spaces 7

2.2 FLRW metric 10

2.3 Redshift 12

2.4 Friedmann and continuity equations 13

2.5 Content of the Universe and the ΛCDM Model 14

2.6 Cosmological parameters 16

2.6.1 Base parameters 16

2.6.2 Derived parameters 17

2.7 ΛCDM and beyond 17

2.8 Scalar Field Dark Matter 18

2.9 Cosmological observations 19

2.9.1 Baryon Acoustic Oscillations (BAO) 19
2.9.2 Supernovae type Ia (SNIa) 21
2.9.3 Cosmic Microwave Background (CMB): 23
2.9.4 Lyman-α forest (Ly-α) 23

3 Multi Scalar Field Dark Matter **25**
3.1 Multi Scalar Field Dark Matter 25
3.2 Background dynamics 27
3.3 Linear density perturbations 31
3.4 Numerical results 33

4 Parameter inference with Bayesian statistics **43**
4.1 Frequentist and Bayesian statistics 43
4.1.1 Frequentist statistics 45
4.1.2 Bayesian statistics 46
4.2 Bayes' theorem, priors, posteriors and other concepts 49
4.2.1 The Likelihood 51
4.2.2 The Chi-square and goodness of fit 52
4.2.3 Contour plots and confidence regions 53
4.2.4 Marginalization 55
4.3 Numerical tools 56
4.3.1 MCMC techniques 56
4.3.2 Metropolis-Hastings algorithm 57
4.3.3 Convergence test 58

5 Multi Scalar Field Dark Matter: Cosmological Constraints **61**
5.1 Cosmological constraints 61
5.2 Extensions to MSFDM model: neutrino masses and curvature. 67
5.3 MSFDM: Planck 18 results. 67

6 Compton Mass Dark Energy model (CMaDE) 83

7 Conclusions and future work 91

A CLASS code. 95

A.1 Installing CLASS 95

A.1.1 Ubuntu 96

A.1.2 macOS 103

B Modifying CLASS 107

C input.c 109

D input.h 119

E background.c 121

F background.h 133

G perturbations.c 137

H perturbations.h 153

I spectra.c 155

J spectra.h 159

K Input files 161

L Output files 167

M Monte Python code 169

M.1 Installing Monte Python 169

M.2 Modifying Monte Python 170

M.3 Input files 171
M.4 Running Monte Python 173
M.5 Analyze the output 176

N Installing the Planck 18 likelihood **179**
N.1 Running Monte Python with Planck 18 181

O Extracting the Ly-α data **183**