

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: **RMU4980013**

ชื่อโครงการ: **พลังงานมืดและพลวัตของจักรวาล**

ชื่อนักวิจัย: **นาย บุรินทร์กำจัดภัย**

สถาบันนักเรียนทำโพธิ์ฯ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail address: **buring@nu.ac.th**

ระยะเวลาโครงการ: 3 ปี (20 กรกฎาคม พ.ศ. 2549 - 5 สิงหาคม พ.ศ. 2552)

เราสนใจศึกษาแบบจำลองพลังงานมืดหลายแบบในโครงการนี้ เราได้ศึกษาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับผลเชิงจักรวาลวิทยา พลวัต ทางเลือกของรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ และการสร้างแบบจำลองจากผลเชิงการสังเกตการณ์

ส่วนแรกของโครงการนี้ศึกษาเอกภพที่พรรณนาโดยทฤษฎีสตริงที่มีแผ่นเบรน $D3$ เคลื่อนที่ในพื้นหลังทางเรขาคณิตที่เป็นวงของเบรนที่วางตัวเป็นวงกลมรัศมี R . การเคลื่อนที่ตามขวางกับระนาบวงโดยแผ่นเบรน $D3$ นี้ทำให้เกิดสนามเรดิออนซึ่งสามารถเชื่อมโยงเป็นสนามสเกลาร์ที่มีมวลและเป็นแบบ Born-Infeld ที่ไม่เป็น BPS ภายใต้ศักย์แบบ cosh การพองตัวของเอกภพสามารถเกิดขึ้นได้สำหรับค่าความตึงของเบรนในขอบเขตหนึ่งโดยที่เรากำหนดให้ระดับพลังงานของสตริงอยู่ในระดับเดียวกับระดับพลังงานพลังค์สภาพการรบกวนที่เกี่ยวข้องและค่าดัชนีสเปกตรัมอยู่ในขอบเขตของค่าจากการสังเกตการณ์ดังกล่าวแล้วเราพบว่าการพัฒนาการของเอกภพจะมียุคประกอบของพลังงานโดดเด่นดังเช่นการสังเกตการณ์ซึ่งเป็นดึงดูดจุด (attractor) ของแบบจำลองนี้เรายังพบว่าสมการสถานะนั้นขึ้นกับเวลาซึ่งนำไปสู่ควินเทสเซนซ์ที่ระยะปลายอายุของเอกภพ

ในบริบทที่แตกต่างอีกอันหนึ่งเราได้ศึกษาระบบพลวัตของสนามสเกลาร์แบบแฟนอนม (pitag) ภายใต้ศักย์แบบเอกโปเนนเชียลและพื้นหลังทางเรขาคณิตของเอกภพแบบลูกบอลตัน ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่ปรากฏทั้งโนดเสถียรและโนดไม่เสถียรที่ผลักออกแต่ปรากฏจุดอานม้าขึ้นสองจุด ดังนั้นจึงไม่มีภาวะเอกฐานแบบบิกิริบ (Big Rip) ผลเฉลยที่สอดคล้องกับฟิสิกส์มีพลังงานศักย์มากกว่าขนาดของพลังงานจลน์ที่มีค่าลบเสมอ Physical solutions always เราพบว่าเอกภพเกิดการเร่งหลังจากยุคที่เกิดการเร่งแม้ว่าจะมีสนามแฟนอนมโดดเด่นหลังจากเร่งแล้วเอกภพในที่สุดจะเข้าสู่สภาพการสั่นแกว่งคือขยายและหดสลับกันไปเราได้ศึกษากรณีที่มีการควบคุมเปลี่ยนแปลงสภาพจากพลังงานมืดสนามแฟนอนมเป็นสสารมืด และสสารมืดกลับมาเป็นพลังงานมืดสนามแฟนอนมด้วย

เราเข้าไปสำรวจรูปแบบของโรตติ้งเจอร์แบบไม่เชิงเส้น (NLS) ของจักรวาลวิทยาซึ่งเป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ทางเลือกอีกประการหนึ่งในการใช้พรรณนาจักรวาลแบบมาตรฐานที่มีสนามสเกลาร์แบบคาโนนิคัลและสสารบาร์โรโทรปิกอยู่ด้วยกันเราได้ให้แนวทางมาตรฐานในการแปลงจากรูปแบบฟรีดมานน์ไปยังรูปแบบ NLS ไว้เป็นครั้งแรก เราได้รายงานการใช้งานและรายงานข้อต่อของรูปแบบ NLS ไว้ ณ ที่นี้โดยเราได้ขยายความรูปแบบ NLS ให้รวมเอากรณีสนามแฟนอนมไว้ด้วย เราพิจารณาการขยายตัวสามแบบคือ แบบกฎกำลัง แบบเดอซีเตอร์และแบบแฟนอนมเราได้พบว่าฟังก์ชันคลื่นของรูปแบบ NLS นั้นเป็นแบบนอร์มัลไลซ์ไม่ได้เราได้หาผลเฉลยแบบแม่นยำและตรวจสอบพฤติกรรมของสัมประสิทธิ์สมการสถานะยังผลของของไหลจักรวาลในทั้งสามกรณีเราพบว่าในกรณีกฎการขยายตัวแบบแฟนอนมถ้าเอกภพมีเรขาคณิตไม่แบนแล้วจะไม่มีการแบ่งเขตแฟนอนม (phantom divide) ที่แน่นอนและแม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมการสถานะยังผลจะมีค่ามากกว่า 1 การขยายตัวก็ยังเป็นแบบแฟนอนมได้ยิ่งไปกว่านั้นก็คือในเอกภพแบบเปิดการขยายตัวแบบแฟนอนมสามารถเกิดขึ้นได้แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมการสถานะยังผลมีค่ามากกว่า 0 เรายังได้ศึกษาเงื่อนไขการกลิ้งช้าของสนาม เงื่อนไขการเร่ง การประมาณ WKB และภาวะเอกฐานบิกิริบในรูปแบบ NLS อีกด้วยเราพิจารณาการประมาณ WKB (กรณีเชิงเส้น) ในรูปแบบ NLS ศักย์โรตติ้งเจอร์มีช่วงที่เปลี่ยนแปลง

ช้ามาก (very slowly-varying) เป็นพิสัยกว้างตั้งนั้นการประมาณ WKB จึงใช้ได้ในพื้นที่ดังกล่าวสำหรับภาวะเอกฐาน บิ๊กบริดจ์รูปแบบ NLS นั้น มีปริมาณเพียงสองปริมาณที่มีค่าเข้าสู่อันต์แทนที่จะเป็นสามปริมาณดังในรูปแบบฟรีดมานน์เราพบว่าเอกภพที่ไม่แบนเมื่อเข้าใกล้บิ๊กบริดจ์ $w_{\text{eff}} \rightarrow -1 + 2/3q$, ($q < 0$) ซึ่งเป็นการลู่เข้าค่าเดียวกันกับในกรณีเอกภพแบน

เนื่องจากสนามสเกลาร์แบบ DBI มีข้อดีในการอธิบายการเกิด non-Gaussianity ที่พบในแบบลายของรังสีคอสมิกไมโครเวฟพื้นหลัง (CMB) เราจึงตรวจสอบเฟสสเปซของสนามควิเทสเซนซ์ที่ได้จากรูปแบบทั่วไปของแอคชันแบบ DBI เราได้ตรวจสอบระบบนี้ด้วยวิธีการวิเคราะห์และวิธีการเชิงตัวเลขของตำแหน่งความเสถียรที่เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างเฟสสเปซซับซ้อนมากขึ้น โดยสนามสเกลาร์ที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์สมการสภาวะอยู่ในเต็มช่วง $-1 \leq w \leq 1$ เราพบว่าผลลัพธ์ของสมการการเคลื่อนที่ของสนามที่ไม่เป็นศูนย์หลายผลลัพธ์ชี้ว่าควิเทสเซนซ์แบบ DBI น่าจะเป็นแบบจำลอง k-essence ที่สมเหตุสมผลได้

ส่วนสุดท้ายของโครงการนี้คือการระบุรูปแบบสัจของสนามสเกลาร์แบบคาโนนิคัลในเอกภพแบบ FLRW ที่มีของไหลสัมบูรณ์บาร์โรโทรปิกและขยายตัวแบบกฎกำลังข้อมูลร่วมจาก WMAP5+BAO+SN dataset และข้อมูลจากดาวเทียม WMAP5 dataset ได้ถูกนำมาใช้ในการระบุค่าของสัจการวิเคราะห์ข้อมูลได้ชี้ว่าเอกภพน่าจะมีเรขาคณิตแบบปิดเล็กน้อย ถ้าเอกภพปิดดังที่ข้อมูลระบุแล้วตัวเลขกำลังของกฎกำลัง $a \propto t^q$ คือ $q = 1.01$ (ใช้ข้อมูลของ WMAP5) และ $q = 0.985$ (ใช้ข้อมูลร่วม) ขอบเขตล่างของค่า a_0 (เรขาคณิตปิด) คือเท่ากับ 5.1×10^{26} เมื่อใช้ WMAP5 dataset และเท่ากับ 9.85×10^{26} สำหรับข้อมูลร่วมการโดดเด่นของพจน์กฎกำลังเหนือพจน์ความโค้งและพจน์ความหนาแน่นบาร์โรโทรปิกจะถูกระบุได้โดยการเปลี่ยนค่าอัตราการเปลี่ยนความชัน (inflection) ของเส้นกราฟสัจ ซึ่งทั้งสองชนิดของข้อมูลระบุว่าการโดดเด่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเอกภพมีอายุได้ 5.3 Gyr

คำหลัก: ทฤษฎีพลังงานมืด ระบบพลวัต จักรวาลวิทยาแบบสนามสเกลาร์ สมการชโรดิงเจอร์แบบไม่เชิงเส้น การขยายตัวของเอกภพแบบกฎกำลัง แบบเดอซีเตอร์และแบบแฟนอน

Abstract

Project Code: **RMU4980013**

Project Title: **Dark Energy and Cosmological Dynamics**

Principle investigator:

Dr. Burin Gumjudpai

The Tah Poe Academia Institute for Theoretical Physics & Cosmology

Department of Physics, Naresuan University

E-mail address: buring@nu.ac.th

Project Period: 3 years (20 July 2006 - 5 August 2009)

We consider various models of dark energy and study them in cosmological aspects of dynamics, mathematical alternatives and modeling from observational data. The first part consider string inspired cosmology on a solitary $D3$ brane moving in the background of a ring of branes located on a circle of radius R . The motion of the $D3$ brane transverse to the plane of the ring gives rise to a radion field which can be mapped to a massive non-BPS Born-Infeld type field with a cosh potential. For certain bounds of the brane tension we find an inflationary phase is possible, with the string scale relatively close to the Planck scale. The relevant perturbations and spectral indices are all well within the expected observational bounds. The evolution of the universe eventually comes to be dominated by dark energy, which we show is a late time attractor of the model. However we also find that the equation of state is time dependent, and will lead to late time quintessence.

Next scenario, a dynamical system of phantom scalar field under exponential potential in background of loop quantum cosmology is investigated. In our analysis, there is neither stable node nor repeller unstable node but only two saddle points, hence no Big Rip singularity. Physical solutions always possess potential energy greater than magnitude of the negative kinetic energy. We found that the universe bounces after accelerating even in the domination of the phantom field. After bouncing, the universe finally enters oscillatory regime. We also study this system when phantom scalar field dark energy under exponential potential is coupled to barotropic dark matter fluid.

We investigate non-linear Schrödinger-type (NLS) formulation of cosmology. This is a mathematical alternative to the Friedmann formulation. We set up the procedure of transforming the Friedmann formulation to the NLS formulation. We also reports all usages and disadvantage of the NLS in the cases of power-law expansion, de-Sitter expansion and phantom expansion. We extend the formulation to include phantom field case and we have found that Schrödinger wave function in this formulation is generally non-normalizable. We also find exact solutions for the scalar field in various cases and analyzing the effective equation of state for these three cases. In the phantom expansion case, we found that, in a non-flat universe, there is no fixed w_{eff} value for the phantom divide. In a non-flat universe, even $w_{\text{eff}} > -1$, the expansion can be phantom. Moreover, in open universe, phantom expansion can happen even with $w_{\text{eff}} > 0$. We also study NLS-formulation of slow-roll approximation, acceleration condition,

WKB approximation and Big Rip singularity. We reexpress all slow-roll parameters, slow-roll conditions and acceleration condition in NLS form. WKB approximation in the NLS formulation is also discussed when simplifying to linear case. Most of the Schrödinger potentials in NLS formulation are very slowly-varying, hence WKB approximation is valid in the ranges. In the NLS form of Big Rip singularity, two quantities are infinity instead of three. We also found that approaching the Big Rip, $w_{\text{eff}} \rightarrow -1 + 2/3q$, ($q < 0$) which is the same as effective phantom equation of state in the flat case.

Since the DBI scalar field can describe non-Gaussianity found in the CMB. We investigate the phase space of a quintessence theory governed by a generalised version of the DBI action, using a combination of numeric and analytic methods. The additional degrees of freedom lead to a vastly richer phase space structure, where the field covers the full equation of state parameter space; $-1 \leq w \leq 1$. We find many non-trivial solution curves to the equations of motion which indicate that DBI quintessence is an interesting candidate for a viable k-essence model.

Last part of the project is to determine potential function of a canonical scalar field in FLRW universe in presence of barotropic perfect fluid expanding with power-law. The combined WMAP5+BAO+SN dataset and WMAP5 dataset are used here to determine the value of the potential. The datasets suggest slightly closed universe. If the universe is closed, the exponents of the power-law cosmology are $q = 1.01$ (WMAP5 dataset) and $q = 0.985$ (combined dataset). The lower limits of a_0 (closed geometry) are 5.1×10^{26} for WMAP5 dataset and 9.85×10^{26} for the combined dataset. The domination of the power-law term over the curvature and barotropic density terms is characterised by the inflection of the potential curve. This happens when the universe is 5.3 Gyr old for both datasets.

Keywords: Dark energy theory, dynamical system, scalar field cosmology, non-linear Schrödinger-type equation, power-law expansion, de-Sitter expansion, phantom expansion