บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การคำนวณควอซีนอร์มอลโหมดและการแปลงเฟสของหลุมดำทอพอโลยีแอนไทดีซิเตอร์

(ภาษาอังกฤษ) **Calculation of Quasi-normal Modes and Phase Transition of Topological anti de Sitter Black Holes**

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเป็นองค์ความรู้พื้นฐานใหม่
2. เพื่อใช้เป็นความรู้พื้นฐาน และข้อมูลพื้นฐาน ในงานวิจัยต่อเนื่องและงานวิจัยประยุกต์
3. -เพื่อใช้เปรียบเทียบและทดสอบทฤษฎีใหม่ๆ
4. -ทำให้ผู้วิจัยมีโอกาสพัฒนาศักย์ภาพการทำวิจัยให้อยู่ในระดับนานาชาติ
5. -เพื่อเป็นงานวิจัยต่อเนื่องในการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งระดับปริญญาโทและเอก ของทั้งนิสิตภายใน ภาควิชาฟิสิกส์ มศว.ประสานมิตร และ จากมหาวิทยาลัยอื่นๆที่สนใจ

ที่มาของการวิจัย

ฟิสิกส์เป็นการศึกษาหาความรู้พื้นฐานของธรรมชาติ ทฤษฎีสำคัญในทางฟิสิกส์ที่ประสบความสำเร็จอย่างสูงในการอธิบายปรากฏการต่างๆ คือ ทฤษฎีสัมพัทธภาพ และ ทฤษฎีควอนตัม แต่ทฤษฎีทั้งสองเหมาะสมในการใช้อธิบายและแก้ปัญหาในสภาพเงื่อนไขที่ต่างกัน นั่นคือ ทฤษฎีสัมพัทธภาพเหมาะกับระบบมหัพภาคหรือเหมาะกับระบบที่มีอนุภาคที่มีความเร็วสูง และ ทฤษฎีควอนตัมเหมาะกับระบบจุลภาค การรวมทั้งสองทฤษฎีหรือการค้นหาทฤษฎีใหม่ที่ครอบคลุมทั้งสองทฤษฎีที่เรียกว่า ควอนตัมกราวิตี(Quantum Gravity) จึงเป็นเรื่องสำคัญและท้าทายนักฟิสิกส์ทั่วโลก ปัจจุบันทฤษฎีสำคัญที่ถูกพัฒนาขึ้นมาคือ ทฤษฎีสตริง(String Theory)และทฤษฎีลูปควอนตัมกราวิตี(Loop Quantum Gravity Theory)

หลุมดำเป็นบริเวณมีความโน้มถ่วงสูงมากจนไม่มีสิ่งใดหลุดรอดไปได้ ความโน้มถ่วงที่สูงนี้ทำให้อนุภาคไม่เสถียรสลายตัวลงไปเป็นอนุภาคระดับมูลฐาน และยังทำให้อนุภาคมีความเร็วสูงขึ้นเข้าใกล้ความเร็วแสง ดังนั้นการศึกษาฟิสิกส์ของหลุมดำจะเป็นประโยชน์ ใน

การศึกษาและทดสอบทฤษฎีใหม่ๆทางควอนตัมกราวีตี เช่น ทฤษฎีสตริง และทฤษฎีลูปควอนตัมกราวิตี ฯ

ควอซีนอร์มอลโหมดของหลุมดำ เป็นปรากฏการที่หลุมดำดูดกลืนและแผ่รังสีออกมาไม่ได้ทุกช่วงความถี่ หรือมีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองอะตอมของโบร์(Bohr's Atom Model) หรือ อีกนัยหนึ่ง หลุมดำเกิดมีการควอไทซ์ขึ้น ผลที่ได้จากการศึกษาควอซีนอร์มอลโมลของหลุมดำสามารถนำไปเปรียบเทียบและทดสอบกับทฤษฎีใหม่ๆทางควอนตัมกราวีตีได้

วิธีการศึกษาคือการหาผลเฉลยของสมการคลื่นของหลุมดำในแบบจำลองที่สนใจ แล้วจัดผลเฉลยให้สมนัยการค่าขอบเขตของหลุมดำ โดยจะมีเพียงบางผลเฉลย(Quasinormal Modes)และความถี่(Quasinormal Frequency) ที่สมนัยกับเงื่อนไขนี้ (รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัย ดูเพิ่มเติมได้จาก [10])

ปัญหาสำคัญทางฟิสิกส์ของหลุมดำคือ เอนโทรปี(entropy, S) ซึ่งก็คือความไม่เป็นระเบียบของระบบ จากทฤษฎีสัมพัทธภาพแบบดั้งเดิม(Classical Relativity Theory) เอนโทรปีของหลุมดำควรมีค่าสูงมากเข้าสู่อนันต์ และ อุณหภูมิ(T)ควรมีค่าเป็นสู่ศูนย์ เพราะไม่มีสิ่งใดหลุดรอดมาจากหลุมดำได้แม้แต่การแผ่รังสี

การที่เอนโทรปีมีค่าเป็นอนันต์และอุณหภูมิของหลุมดำมีค่าเป็นศูนย์ ขัดกับกฎทางอุณหพลศาสตร์(Thermodynamics) ข้อที่หนึ่ง

$$dE = TdS \tag{1}$$

และขัดกฎข้อที่สาม

$$T > 0 \tag{2}$$

ในปี พ.ศ. 2515 (ค.ศ. 1972) บีเคนสไตน์ (Bekenstein) [1] ได้สังเกตถึงความคล้ายคลึงกัน ระหว่าง พื้นที่ผิวของหลุมดำที่ไม่มีการลดลงกับเอนโทรปี และได้เสนอให้เอนโทรปีของหลุมดำแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวของมัน ความคิดนี้ขัดแย้งกับวิธีคิดแบบดั้งเดิมที่ให้เอนโทรปีเป็นฟังก์ชันของปริมาตรมิใช้พื้นที่

ในปี พ.ศ. 2517 (ค.ศ. 1974) [2,3] ฮ็อคกิงค์และคณะ(Hawking and etc.) ได้พิสูจน์กฎทางอุณหพลศาสตร์ข้อที่หนึ่งของหลุมดำ คือ

$$\delta M = \frac{\kappa}{8\pi}\delta A \tag{3}$$

กฎข้อที่สองคือ

$$\delta A \geq 0 \tag{4}$$

และยังได้เสนอกฎข้อที่สาม $T > 0$ โดย M คือ มวลของหลุมดำ, A คือ พื้นที่ผิวของหลุมดำ ซึ่งมีค่าเป็น

$$S = \frac{A}{4} \tag{5}$$

และ κ คือ ความโน้มถ่วงที่ผิวฮอริซัน(surface gravity) มีค่าเป็น

$$T = \frac{\kappa}{8\pi} \tag{6}$$

ซึ่งสอดคล้องกับผลงานของบีเคนสไตน์ โดยค่าเอนโทรปีและอุณหภูมิใหม่ที่พบนี้เป็นผลทางควอนตัมของระบบ

งานวิจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้นนี้ในปัจจุบัน ได้กลายมาเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาหรือ ทดสอบทฤษฎีควอนตัมกราวิตีใหม่ๆ ปัจจุบันทฤษฎีสำคัญทางควอนตัมกราวิตี เช่น ทฤษฎีสตริง หรือ ทฤษฎีสายพลังงาน ((Super)String Theory)

ทฤษฎีสตริง ในปัจจุบันประสบความสำเร็จมากที่สุดในการคำนวณหาค่าเอนโทรปีและค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงของหลุมดำได้ตรงกันทั้งในระบบจุลภาคและมหัพภาค [6] การค้นพบนี้นำไปสู่การตั้งสมมุติฐานของ การสมนัยกันระหว่างปริภูมิเวลาแอนไทดิซิเตอร์กับทฤษฎีสนามคงแบบ (Anti de Sitter Spacetime/ Conformal Field Theory Correspondence, AdS/CFT) [7]

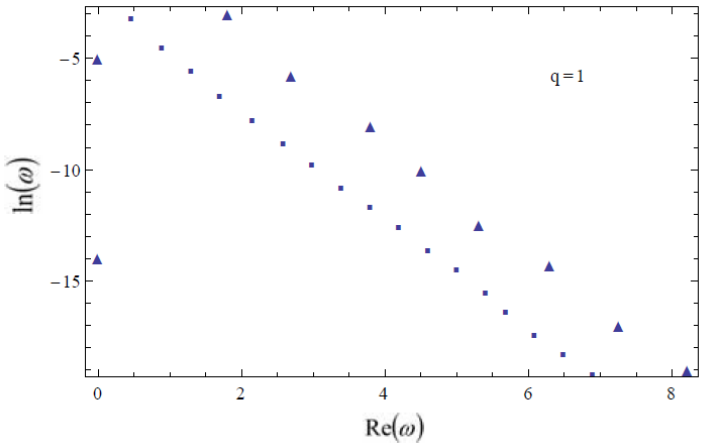
สมมุติฐานการสมนัยนี้ ได้นำไปสู่การทำงานวิจัยอย่างกว้างขว้าง เพื่อหาความเชื่องโยงระหว่าง ทฤษฎีสตริงในระดับพลังงานต่ำ กับ ทฤษฎีสนาม (Field Theory) ตัวอย่างที่สำคัญคือ การศึกษาโพรพาเกเตอร์(Propagator) ที่เป็นฟังก์ชันกรีน(Green's Functions) ในลากรานเจียน (Lagrangian) ที่ได้จากทฤษฎีสตริงในย่านระดับพลังงานต่ำ [8,9] โดยพบว่าโพล (pole) ของโพรพาเกเตอร์ คือ ความถี่ควอซีนอร์มอล(Quasinormal Frequencies) ของหลุมดำในเวลาปริภูมินี้ โพลในกรณีนี้ คือการศึกษาความถี่ควอซีนอร์มอล ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาและคำนวณค่าต่างๆในทฤษฎีสนามควอนตัม(Quantum Field Theory) ดังนั้นการศึกษาควอซีนอร์มอลโมล(Quasinormal Modes) และความถี่ควอซีนอร์มอล จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งด้วย

การดำเนินงานและผลงานที่ได้รับจากการวิจัย (โดยสังเขป) พร้อมภาพประกอบ

ผู้วิจัยได้ทำการดำเนินการคำนวณ ศึกษา ควอซีนอร์มอลโหมด และความถี่ ในแบบจำลองต่างๆ โดยมีผลงานวิจัยดังนี้

1. ทำการศึกษาระบบหลุมดำทอพอโลยีที่สนามแมกเวลส์เข้าคู่(coupling) กับสนามสเกลาส์ใน 4 มิติ และทำการคำนวณเชิงวิเคราะห์ หาควอซีนอร์มอลโหมดและความถี่ ของสนามแมกเวลส์ ด้วยวิธีการทำเพอร์เทอร์เบชั่น ลำดับที่หนึ่ง แล้วนำผลที่ได้ ไปคำนวณสภาพนำไฟฟ้า(conductivity) ของระบบ โดยพบว่าสภาพนำไฟฟ้ามีค่าสูญออกเมื่ออนุภาคในระบบมีความถี่เป็นความถี่ควอซีนอร์ลมอล ซึ่งเป็นการแสดงถึงการเปลี่ยนเฟสของหลุมดำนั้นเอง ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับผลที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลข โดยผลงานวิจัยได้รับการเผยแพร่ในวารสารวิจัย Classical and Quantum Gravity .ในช่วงเดือน มีนาคม 2555 (ดูรายละเอียดของผลงานวิจัยที่เปรียบกับผลวิจัยอื่นได้จาก manuscript ในรายงานวิจัย)

2. ทำการศึกษาระบบหลุมดำทอพอโลยีที่มีประจุ โดยสนามแมกเวลส์เข้าคู่(coupling) กับสนามสเกลาส์ ใน 4 มิติ และทำการคำนวณเชิงวิเคราะห์ หาควอซีนอร์มอดโหมดและความถี่ ของสนามสเกลาร์ โดยประมาณ แล้วเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลข ผลงานวิจัยได้เผยแพร่แบบพูด ในที่ประชุมฟิสิกส์สยาม (Siam Physics Congress) .ในช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2554



ภาพประกอบ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความถี่จริงในแนวราบ กับ ค่าความถี่จิตรภาพในแนวตั้ง ■ แทนค่าความถี่จากวิธีการวิเคราะห์ และ ▲ แทนค่าความถี่จากวิธีเชิงตัวเลข โดยมีประจุรบกวนเป็น q=1

3. ทำการคำนวณเชิงวิเคราะห์หา ควอซีนอร์มอดโหมดและความถี่ ของหลุมดำสควอท คาลูซาและคลาน์(Squashed Kaluza–Klien black holes) ใน 5 มิติ โดยส่งผลงานไป เผยแพร่แบบพูด (oral) ในการประชุมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยครั้งที่ 37 (วทท) ในช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2554

λ	WKB[6]	Analytical work
0	3.5149 - 0.15956i	3.4921 - 0.16667i
0.5	3.5336 - 0.15821i	3.4940 - 0.16643i
1	3.5898 - 0.15413i	3.4999 - 0.16572i
1.5	3.6842 - 0.14729i	3.5098 - 0.16455i
2	3.8178 - 0.13759i	3.5236 - 0.16291i
2.5	3.9924 - 0.12493i	3.5413 - 0.16083i
3	4.2103 - 0.10912i	3.5629 - 0.15832i
3.5	4.4747 - 0.08988i	3.5883 - 0.15539i

ตาราง 1 แสดงค่าความถี่ควอซีนอร์มอลโหมด ในคอลัมน์แรก λ คือค่าไอแกนจากมิติที่ 5 คอลัมน์ที่ 2 WKB แสดงค่าความถี่จากวิธีเชิงตัวเลข และ คอลัมน์ที่ 3 แสดงค่าความถี่จากวิธีเคราะห์

การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

ผลงานวิจัยที่ได้จะนำไปใช้ในงานวิจัยที่ต่อเนื่องและเกี่ยวข้องกัน เช่น เมื่อทราบถึง ฟิสิกส์ของการเปลี่ยนเฟสของหลุมดำในระบบนี้ ก็จะทำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และสามารถใช้วิธีการเดียวกันนี้ไปศึกษาระบบที่มีความซับซ้อนขึ้นได้อีกด้วย

ผลงานวิจัย/ผลผลิต สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม หรืออื่น ๆ ที่ได้จากการทำวิจัย และมี Impact ต่อสังคม, ประเทศชาติได้รับประโยชน์อะไร

ผลงานวิจัยได้การเผยแพร่และการตีพิมพ์ดังนี้

1. George Siopsis, Jason Therrien and **Suphot Musiri**, Holographic Superconductors near the Bretenlohner–Freedman Bound, *Classical and Quantum Gravity* **29**, 085007, 2012
2. Ortira Chapkeaw and **Suphot Musiri**, Quasinormal Modes of Flat AdS Reissener–Norstrom Black Holes with the Maxwell Field Background in 3+1 Dimensions, Siam Physics Congress 2011
3. Supakchai Ponglertsakul and **Suphot Musiri**, Analytical Calculation of Quasinormal Modes for the Non–rotating Kaluza–Klein Black Hole with Squashed Horizons, 37th Congress on Science and Technology of Thailand 2011

ผลงานวิจัยที่ได้ ถูกนำไปในงานวิจัยที่ต่อเนื่องกันของผู้วิจัยต่างๆที่สนใจ ซึ่งเป็นการแสดงศักยภาพของนักวิจัยไทย และช่วยยกระดับงานวิจัยของนักวิจัยไทยในระดับภูมิภาคและระดับสากล

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย

1. ผู้วิจัยทำงานในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีงานธุระการปริมาณมากในแต่ละสัปดาร์ ทำให้ไม่มีเวลาทำงานวิจัย โดยจะมีเวลาทำในช่วงนอกเวลาทำงานปกติ เช่น ข่วงกลางคืน และ สุดสัปดาห์
2. เนื่องจากลักษณะงานวิจัยเป็นงานเฉพาะทางที่ ค่อนข้างใหม่ในประเทศไทย ทำให้ไม่มีผู้เชี่ยวชาญด้านนี้ในประเทศไทย อีกทั้งหนังสือ และ บทความวิจัยที่ต้องใช้ในการทำวิจัยทำให้ ทำงานได้ล่าช้า

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

..ไม่มี.....

งานวิจัยที่คาดว่าจะดำเนินการต่อไป

1. ในส่วนของงานวิจัยของหลุมดำคาลูซา–คลายน์ ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณด้วยวิธีเพอร์เทเบชั่น ถึงลำดับที่หนึ่ง และยังได้วางแผนว่า จะใช้วิธีการเดียวกันนี้ ทำการคำนวณในระบบหลุมดำคาลูซา–คลายน์ ที่มีการหมุน
2. ในส่วนของหลุมดทอพอโลยี่ที่มีประจุ และสนามแมกเวลส์เข้าคู่กับสนามสเกลาร์ ผู้วิจัยได้ศึกในกรณีที่มีมิติ เป็น 5 โดยจะทำการศึกษาค่าของพารามิเตอร์ในระบบมีผลอย่างไรกับการเปลี่ยนเฟสของหลุมดำ.

คณะผู้ทำวิจัย

1. **ชื่อสกุล** นาย...สุพจน์...มุศิริ..... **หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน**
   สังกัด คณะ...วิทยาศาสตร์.....
   มหาวิทยาลัย..ศรีนครินทรวิโรฒ.....
   ที่ตั้ง....114 ..สุขุมวิท.23..เขตวัฒนา....กรุงเทพฯ.10110.....
   โทรศัพท์ที่ทำงาน.....02-649-5598..... โทรสาร..... 02-649-5598.....
   อีเมลล์.....suphot@swu.ac.th.....

2. **ชื่อสกุล** Professor George Siopsis.....
   สังกัด คณะ/สถาบัน/สำนัก..The Department of Physics and Astronomy...
   ..College of Arts and Sciences.....
   มหาวิทยาลัย..The University of Tennessee.....
   ที่ตั้ง.....Knoxville,..Tennessee,..USA.....
   โทรศัพท์ที่ทำงาน..... โทรสาร.....
   อีเมลล์.....

ทุนสนับสนุน

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ....แผ่นดิน.....
ประจำปีงบประมาณ.....2554.....
เริ่มงานวิจัย ปี...2554.....
สิ้นสุดงานวิจัย ปี.2555....