

วารสารฟิสิกส์ไทย

Thai Journal of Physics

วารสารสำหรับผู้ที่ยังรักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์

ISSN 0857-1449

ปีที่ 27 ฉบับที่ 3 : กันยายน 2553 – พฤศจิกายน 2553

แกรฟีนก้าวไปอีกขั้น

เมื่อคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าถูกประสานเข้าด้วยกัน

เมื่อทฤษฎีสตริงพบกับฟิสิกส์สารควบแน่น

ที่จะมาเป็นโครงการ “1st CERN School Thailand 2010”

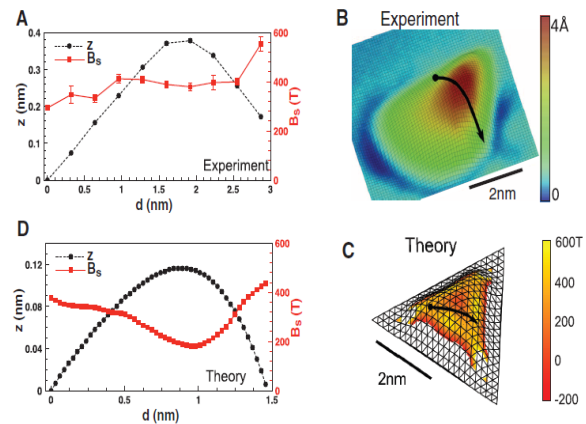
จากดินสู่ฟ้า : Hubble Space Telescope

เรื่องของหนูกับแมว

รูปประกอบจากสรุปข่าว หน้า 2 – 3



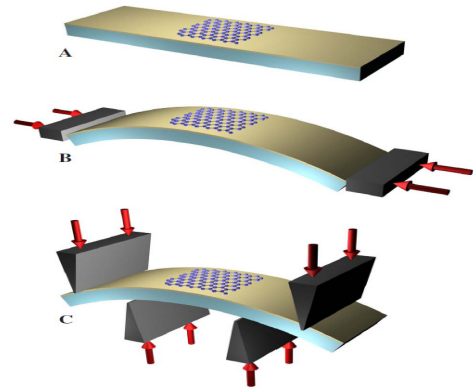
อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และคอนสแตนติน โนวาเชลอฟ (Konstantin Novoselov) ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี 2553



รูปที่ 3

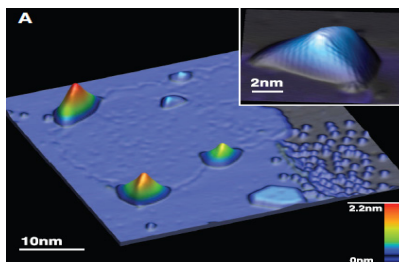


นักวิจัยหญิงที่ได้รับรางวัล “เพื่อสตรีในงานวิทยาศาสตร์” (“For Women in Science”) ครั้งที่ 8 ประจำปี 2553

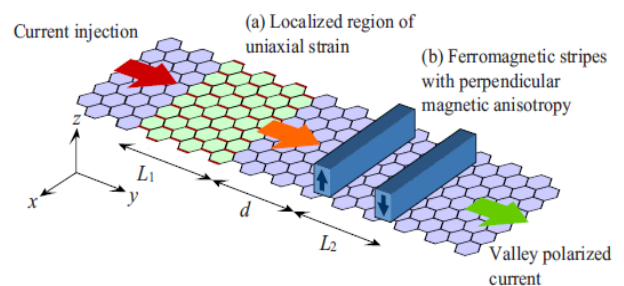


รูปที่ 4

รูปประกอบจากบทความ “แกรฟีนก้าวไปอีกขั้น เมื่อคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าถูกประสานเข้าด้วยกัน” หน้า 4 – 10



รูปที่ 2



รูปที่ 6

ภาพปก: ภาพแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ผ่านแผ่นเยื่อ (Membrane) แกรฟีนที่มีรูพรุน (Porous graphene) ของโมเลกุลไฮโดรเจน และ ฟังก์ชันอิเล็กตรอนเฉพาะที่ (Electron localization function, ELF) จากการคำนวณบนระนาบที่ตั้งฉากกับแผ่นเยื่อผ่านศูนย์กลางของรูพรุน สีต่าง ๆ แสดงความเฉพาะที่ของอิเล็กตรอนเพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะพันธะระหว่างอะตอม โดยอะตอมสีดำแทนธาตุคาร์บอน และอะตอมสีขาวแทนธาตุไฮโดรเจน (ภาพโดย ดร. สิริโชค จิ่งถาวรรม)

สารบัญ

สวัสดิ์	1
สรุปข่าว	2
แกรฟีนก้าวไปอีกขั้น	4
เมื่อคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าถูกประสานเข้าด้วยกัน	
<i>บำเหน็จ สุขชม โคม</i>	
String Theory Never Dies	11
เมื่อทฤษฎีสตริงพบกับฟิสิกส์สารควบแน่น	
<i>วรวัฒน์ มีวาสนา</i>	
จากดินสู่ฟ้า : Hubble Space Telescope	16
<i>สุวิชา วรรณวิเชียร</i>	
กว่าจะมาเป็นโครงการ “1st CERN School Thailand 2010”	20
<i>นฤมล สุวรรณจันทร์</i>	
เรื่องของหนูกับแมว	25
<i>สุรเชษฐ์ หลิมกำเนิด</i>	



สวัสดิ์

กลับมาพบกันอีกครั้งหนึ่งกับวารสารฟิสิกส์ไทย ในช่วงส่งท้ายปีเก่าต้อนรับปีใหม่ สำหรับในฉบับนี้เรามาสาระทางฟิสิกส์ที่น่าสนใจมากมาย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการประกาศผลรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ซึ่งในปีนี้เป็นของผู้ที่ค้นพบคาร์บอนที่มีโครงสร้างอะตอมสองมิติที่เราเรียกกันดีในชื่อกราฟีน (หรือแกรฟีน) และเรายังมีบทความเกี่ยวกับคุณสมบัติที่น่าสนใจของกราฟีนอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีรายงานของการจัดอบรม CERN School ครั้งแรกของประเทศไทย ซึ่งจะช่วยให้เราชาวฟิสิกส์ของเราได้มีความสนใจและความรู้เพิ่มขึ้นในเรื่องของฟิสิกส์อนุภาค จักรวาลวิทยา ระบบเครื่องเร่งอนุภาค และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เช่น Grid computing และอื่นๆ

ในเรื่องของรางวัลในระดับประเทศนั้น เป็นที่น่ายินดีที่หนึ่งในนักฟิสิกส์สมาชิกของกองบรรณาธิการของเรา คือ ดร. วันทนา คล้ายสุบรรณ ได้รับคัดเลือกให้ได้รับรางวัล“เพื่อสตรีในงานวิทยาศาสตร์” (“For Women in Science”) ครั้งที่ 8 ประจำปี 2553 นี้ จากงานพัฒนาระบบลำเลียงแสงและสถานีทดลองสำหรับเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Absorption Spectroscopy: XAS) แห่งแรกและแห่งเดียวของประเทศไทย ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับนักวิจัยของประเทศไทยเราในการทำงานวิจัยขั้นสูงที่ต้องการศึกษาโครงสร้างอะตอมของสาร โดยที่สารนั้นไม่จำเป็นต้องทำสารนั้นให้อยู่ในรูปของผลึกก่อน

กองบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการ ชานุกิจ คันถ่อง, ศุภกร รักใหม่, วันทนา คล้ายสุบรรณ, ฉัตรชัย ศรีนิติวรพงศ์, นฤมล สุวรรณจันทร์, พวงรัตน์ ไพเราะ, พรทิพย์ สุดเมือง, ศิรามาส โกมลจินดา, พรรณ วัฒนกลวิษฐ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ ประพนธ์ คล้ายสุบรรณ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ สมศรี สิงขรัตน์ ภาพและออกแบบปก ประพนธ์ คล้ายสุบรรณ เลขานุการกองบรรณาธิการ ประพนธ์ คล้ายสุบรรณ จำนวนพิมพ์ 2,000 เล่ม

ติดต่อกองบรรณาธิการ วารสารฟิสิกส์ไทย สมาคมฟิสิกส์ไทย อาคารสุรพัฒน์ 3 ถนนมหาวิทยาลัย ด.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000 โทรศัพท์: 044-217040 โทรสาร: 044-217047 วารสารฟิสิกส์ไทย เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระ ข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในมวลหมู่สมาชิกและผู้สนใจในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้างที่สร้างสรรค์ โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

Website: www.thps.org ผู้ดูแล: ญัฐวุฒิ สุเดช ติดต่อ: info@thps.org

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2552 – 2554 นายกสมาคมฯ รศ. ดร. วีระพงษ์ แพสุวรรณ อุปนายก รศ. ดร. วิทยา อมรกิจบำรุง เลขานุการ ผศ. ดร. ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล เหรัญญิก ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิยะจันท์ นายทะเบียน ดร. สาโรช รุจิวรรณ บรรณาธิการ วารสารฟิสิกส์ไทย ดร. ประพนธ์ คล้ายสุบรรณ ปฏิคม ผศ. ดร. ศุภกร รักใหม่ ประธานสัมพันธ์ ดร. สัมภาส นิดเกตุ รองเลขานุการ ดร. ขรรค์ชัย โกศลทองเก้ กรรมการ ผศ. ดร. ขจรยศ อยู่ดี, ผศ. รัชนา ชินพิทักษ์, รศ. ดร. ชีรพรรณ บุญญวรรณ, ผศ. ดร. ธนากร โอสดจันทร, ผศ. ดร. นิรันดร์ วิทอนันต์, ผศ. ดร. ขวัญ อารยะรัตนกุล, ดร. สิริพัฒน์ ประโตนเทพ, ดร. ญัฐพร นัทรณ

สรุปข่าว

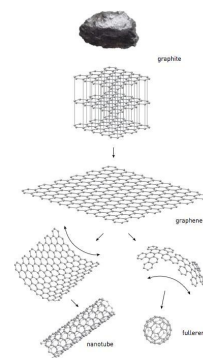
รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี 2010



ในช่วงต้นเดือนตุลาคมของทุกๆ ปี จะมีการประกาศรางวัลสำคัญในวงการวิทยาศาสตร์ นั่นก็คือ รางวัลโนเบล ซึ่งเป็นรางวัลที่ก่อตั้งโดย อัลเฟรด โนเบล (Alfred Nobel) นักเคมีชาวสวีเดน โดยในปีนี้ราชบัณฑิตยสถานด้านวิทยาศาสตร์แห่งสวีเดน (The Royal Swedish Academy of Sciences) ได้มอบรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ให้แก่ อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และคอนสแตนติน โนวาเชลอฟ (Konstantin Novoselov) ในฐานะผู้พัฒนาแผ่นกราฟีน 2 มิติ

ไกม์และโนวาเชลอฟ เป็นคู่ศิษย์อาจารย์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (University of Manchester) ประเทศสหราชอาณาจักร โดยทั้งคู่เป็นชาวรัสเซียโดยกำเนิด ไก้มนั้นเกิดที่เมืองโซชี (Sochi) ในปี 1958 และจบปริญญาเอกจากสถาบันโซลิดสเตตฟิสิกส์ (Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences) ในปี 1987 จากนั้นได้ไปเป็นอาจารย์ฟิสิกส์ประจำมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ ส่วนโนวาเชลอฟนั้นเกิดที่เมืองนิซไนย์แทกิล (Nizhny Tagil) ในปี 1974 ได้เข้าศึกษาในระดับปริญญาเอกและร่วมงานกับไกม์ที่เนเธอร์แลนด์ในฐานะลูกศิษย์ ทั้งคู่ได้ทำงานวิจัยร่วมกันและเคยได้รับรางวัลยูโรฟิสิกส์ (Europhysics prize) ในปี 2008 จากการค้นพบและแยกชั้นอะตอมเดี่ยวๆ ของคาร์บอน อีกทั้งไกม์ยังเป็นนักวิจัยคนแรกที่ได้รับทั้งรางวัลโนเบลและอีกโนเบล โดยไกม์ได้รับรางวัลอีกโนเบลจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า สารที่ไม่ใช่แม่เหล็กถูกทำให้ลอยขึ้นในสนามแม่เหล็กได้

กราฟีนเป็นรูปแบบหนึ่งของคาร์บอน ที่มีความหนาเพียง 1 อะตอม ซึ่งถือเป็นวัสดุที่สมบูรณ์แบบชนิดหนึ่ง เพราะนอกจากจะมีขนาดบางมากแล้วยังมีความแข็งแรง ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดี ซึ่งดีกว่าทองแดงหลายเท่า และยังสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าวัสดุใดๆ ที่เรารู้จัก นอกจากนี้กราฟีนยังมีลักษณะโปร่งแสงและทึบในคราวเดียวกัน จนแม้กระทั่งฮีเลียมซึ่งเป็นอะตอมของก๊าซที่เล็กที่สุดก็ไม่สามารถผ่านได้



ไกม์และโนวาเชลอฟได้แสดงให้เห็นถึงการแยกกราฟีนออกจากแกรไฟต์ ซึ่งก็คือส่วนประกอบของไส้ดินสอที่เราใช้กันดี เทคนิคการแยกทำโดยการใช้เทปกาวยึดลอกคาร์บอนออกมาเป็นชั้นบางๆ จนได้ความหนาแค่ 1 อะตอม ซึ่งในขณะนั้นหลายคนไม่เชื่อว่าวัสดุบางขนาดนี้จะมีความเสถียรและคงสภาพอยู่ได้ อย่างไรก็ตามการค้นพบกราฟีนนี้ก็เป็นจุดประกายให้นักวิทยาศาสตร์ได้เริ่มศึกษาวัสดุ 2 มิติที่มีคุณสมบัติพิเศษนี้

ด้วยคุณสมบัติที่หลากหลายของกราฟีนได้สร้างความเป็นไปได้ต่อการนำไปพัฒนาเป็นอุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ และคาดการณ์ว่ากราฟีนทรานซิสเตอร์นั้นจะมีความเร็วมากกว่าทรานซิสเตอร์ที่ทำจากซิลิกอนในปัจจุบันซึ่งเป็นผลดีต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์ อีกทั้งคุณสมบัติโปร่งแสงและการเป็นตัวนำที่ดีของกราฟีน ทำให้สามารถนำไปพัฒนาเป็นหน้าจอแบบสัมผัส แผงไฟส่องสว่าง จนกระทั่งแผงโซลาร์เซลล์ และเมื่อนำไปผสมกับพลาสติกก็จะได้วัสดุที่แข็งแรงสามารถนำไฟฟ้า ทนความร้อน บาง หยัดหยุ่น และเบาในคราวเดียวกัน โดยในอนาคตนั้นวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็น ดาวเทียม เครื่องบิน แม้กระทั่งรถยนต์ก็สามารถทำจากวัสดุชนิดใหม่นี้ได้

ที่มา

[1] http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/

[2] <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/10/>

รางวัลเพื่อสตรีในงานวิทยาศาสตร์ (For Women in Science by L'OREAL Thailand)



ทุนโครงการวิจัยลอรีอัล ได้ประกาศรางวัล “เพื่อสตรีในงานวิทยาศาสตร์” (“For Women in Science”) ครั้งที่ 8 ประจำปี 2553 ให้แก่ 4 นักวิจัยหญิงเก่งของวงการวิทยาศาสตร์ไทย โดย ผศ. ดร. พรพรรณ พิงษ์โพธิ์ จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และ ผศ.ดร.มัลลิกา อิ่มวงศ์ จากภาควิชาอาชีวศาสตร์เขตร้อน คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล ได้รับรางวัลในสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (Life Science) รศ. ดร. ดวงดาว อัจฉรงค์ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ดร. วันทนา กล้ายสุบรรณ นักวิทยาศาสตร์ระบบลำเลียงแสง จากสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ได้รับรางวัลสาขาวัสดุศาสตร์ (Material Science)

บริษัท ลอรีอัล (ประเทศไทย) จำกัด ร่วมมือกับสำนักเลขาธิการคณะกรรมการว่าด้วยการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (ยูเนสโก) ได้มอบทุนให้กับนักวิจัยสตรีไทยที่มีผลงานวิจัยที่โดดเด่น ในสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ และสาขาวัสดุศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยกย่องและเชิดชูเกียรติสตรีในสายงานวิทยาศาสตร์ รวมถึงตอกย้ำความสำคัญของการงานวิทยาศาสตร์ที่ช่วยเสริมสร้างคุณภาพชีวิตที่ดี และนำไปสู่การพัฒนาสังคมอย่างยั่งยืน

ผศ. ดร. พรพรรณ พิงษ์โพธิ์ นักเคมีคอมพิวเตอร์ ได้รับรางวัลในงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาออกแบบโครงสร้างโมเลกุลยา รักษาโรคโดยใช้ การจำลองแบบและวิธีทางเคมีคอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยในการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาตัวใหม่ในการรักษา

โรควัณโรคให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้สามารถลดทั้งระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการพัฒนาตัวใหม่ โดยเฉพาะเพื่อแก้ไขปัญหาค่าใช้จ่ายของเชื้อวัณโรค ซึ่งปัจจุบันเป็นปัญหาที่รุนแรงในประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะประเทศไทย

อีกหนึ่งรางวัลทางสาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพเป็นของ ผศ. ดร. มัลลิกา อิ่มวงศ์ ซึ่งเป็นงานวิจัยด้านวิทยาโมเลกุลของการดื้อยาในเชื้อมาลาเรีย โดยเฉพาะเชื้อพลาสโมเดียมไวแวกซ์ ซึ่งงานวิจัยได้ทำการพัฒนาเทคนิคในการตรวจสอบจำนวนชุดของยีนที่เกี่ยวข้องกับการดื้อยา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาชุดตรวจภาวะการดื้อยา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดนโยบายการใช้ยา เพื่อรักษาผู้ป่วยให้หายขาดและควบคุมการระบาดของโรคในที่สุด

สำหรับงานของ รศ. ดร. ดวงดาว อัจฉรงค์ ที่ได้รับรางวัลเป็นการพัฒนางานด้านพลาสติกชีวภาพ ซึ่งมุ่งผลิตและพัฒนาฟิล์มพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยเน้นการใช้เซลล์ลูโลสที่ได้จากของเหลือทิ้งมาพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ด้านอาหารและการเกษตร ทั้งนี้เพื่อช่วยลดปัญหาปริมาณขยะพลาสติกซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ดร. วันทนา กล้ายสุบรรณ ซึ่งเป็นหนึ่งในกองบรรณาธิการของวารสารของเรา เป็นอีกหนึ่งหญิงเก่งที่ได้รับรางวัลสาขาด้านวัสดุศาสตร์ จากผลงานวิจัยที่ได้พัฒนาระบบลำเลียงแสงและประยุกต์เทคนิคการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Absorption Spectroscopy: XAS) ของเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนเพื่องานวิจัยโครงสร้างระดับอะตอม ด้วยประโยชน์จากแสงซินโครตรอนที่มีความเข้มสูงและสามารถเลือกช่วงความยาวคลื่นหรือพลังงานที่เหมาะสมได้นั้น ถือเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยยุคใหม่ที่ต้องศึกษาลึกลงไปในระดับอะตอม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับนักวิจัยไทยที่มีโอกาสได้ใช้เครื่องมือการวิจัยขั้นสูงโดยไม่ต้องเดินทางไปวิจัยไกลถึงต่างประเทศ

ที่มา

[1] <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?>

[2] <http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/science/>

แกรฟีนก้าวไปอีกขั้น

เมื่อคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าถูกประสานเข้าด้วยกัน

บำเหน็จ สุตชม โฉม¹

ในปี 1947 P.R Wallace [1] ได้ศึกษาคุณสมบัติของอิเล็กตรอนในแกรฟีนโดยใช้แบบจำลอง Tight-binding ด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของแกรฟีนที่เป็นแบบรวงผึ้งทั้งหมดประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนที่มีระยะห่างระหว่างพันธะ 1.42 อังสตรอม ด้วยเหตุนี้ทำให้คุณสมบัติของอิเล็กตรอนผิดแผกจากอิเล็กตรอนในโลหะทั่วไป Wallace พบว่าพฤติกรรมอิเล็กตรอนในแกรฟีนใกล้เคียงกับอิเล็กตรอนแถบวาเลนซ์ มีลักษณะคล้ายคลึงกันกับอิเล็กตรอนสัมพัทธภาพแบบไรมวลในสองมิติ โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน E และ โมเมนตัม $p_{x,y}$ ดังนี้

$$E = \pm v_F \sqrt{p_x^2 + p_y^2}, \quad (1)$$

โดยเครื่องหมาย (+) และ (-) เป็นดัชนีของอิเล็กตรอนในแถบนำไฟฟ้าและแถบวาเลนซ์ ตามลำดับ จากสมการของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแกรฟีนซึ่งคล้ายคลึงกับสมการของดิแรก (Dirac equation)

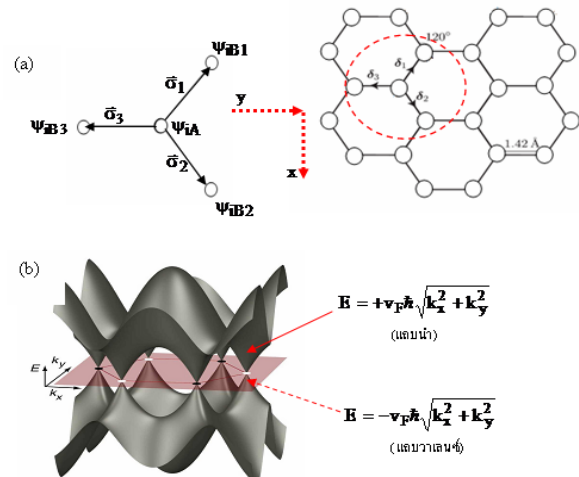
$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi = -i\hbar v_F (\gamma_x \frac{\partial}{\partial x} + \gamma_y \frac{\partial}{\partial y}) \psi \quad (2)$$

โดยที่ $\gamma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ และ $\gamma_y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$ เป็น เมทริกซ์สปีนของ Pauli แทนที่เมทริกซ์ของ Dirac เมื่อเราเปรียบสมการพลังงานของอิเล็กตรอนในแกรฟีนกับสมการพลังงานของอนุภาคมวล $m = 0$ แบบสัมพัทธภาพ ก็จะพบว่า

$$E(m = 0) = \pm c \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + (mc)^2} = \pm c \sqrt{p_x^2 + p_y^2} \quad (3)$$

โดยเครื่องหมาย (+) และ (-) เป็นดัชนีบอกความเป็นอนุภาค

และปฏิยานุภาค (Antiparticle) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในสมการ (1) เมื่อแทนความเร็วแสง c ด้วยความเร็วเฟอร์มีของอิเล็กตรอน $v_F = (1/300)c = 10^6$ m/s อิเล็กตรอนในแกรฟีนก็คืออนุภาคสัมพัทธภาพไรมวลนั่นเอง การแทนที่ความเร็วแสงด้วย v_F ซึ่งน้อยกว่าความเร็วแสง c มากๆ นั้น เปรียบเสมือนว่าความเร็วแสงสามารถหย่อนได้ไม่คงที่ในสสารควบแน่น



รูปที่ 1 ในภาพ (a) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเราสังเกตสนามอิเล็กตรอน ψ_{iA} ในอะตอมคาร์บอนลำดับ i ของ Sublattice A เราจะพบว่า มีสนามอิเล็กตรอน ψ_{iB1} ψ_{iB2} และ ψ_{iB3} ในอะตอมคาร์บอนของ Sublattice B ที่ระบุตำแหน่งได้ด้วยเวกเตอร์ $\vec{\sigma}_1$ $\vec{\sigma}_2$ และ $\vec{\sigma}_3$ ตามลำดับ คอยรบกวนอยู่ใกล้ๆ เสมอ ส่วนในภาพ (b) เป็นการแสดงให้เห็นโครงสร้างสเปกตรัมของอิเล็กตรอนแกรฟีนใน First Brillouin zone [2]

สาเหตุที่อิเล็กตรอนในแกรฟีนมีพฤติกรรมต่างจากอิเล็กตรอนทั่วไปเป็นผลจากการรบกวนของ 3 สนามอิเล็กตรอนในอะตอมคาร์บอนที่ใกล้เคียง (ดังภาพประกอบ 1) ทำให้สนามอิเล็กตรอนยังผลของแกรฟีนเป็นอนุภาคสัมพัทธภาพแบบไรมวล

¹นักวิจัยทุนหลังปริญญาเอก (ดร.) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

อย่างบังเอิญ บางครั้งนักฟิสิกส์เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าสัมพัทธภาพเทียม (Pseudo relativity) ผลของการเกิดสัมพัทธภาพเทียมนี้ทำให้ปัญหาฟิสิกส์ของอิเล็กตรอนในแกรฟีนคล้ายคลึงกับปัญหาของอิเล็กตรอนในระบบพลังงานสูง อย่างไรก็ตามเมื่ออิเล็กตรอนในแกรฟีนจะคล้ายคลึงกับอนุภาคสัมพัทธภาพไร้มวล แต่ก็ยังมีหลายอย่างที่แตกต่างกันไปคือ นอกจากอิเล็กตรอนจะมีเลขควอนตัมของสปินขึ้นและสปินลงแล้ว อิเล็กตรอนยังมีเลขควอนตัมอีก 2 แบบ คือ K-valley และ K'-valley

จากคุณสมบัติของแกรฟีนที่สามารถยืดหยุ่นได้ Wallace จึงศึกษากรณีที่แกรฟีนอยู่ภายใต้ภาวะความเครียดเชิงกล (Graphene under mechanical strain) เขาพบว่าแกรฟีนจะสร้างสนามแม่เหล็กเทียม $\vec{B}_{\text{pseudo}} = \vec{V} \times \vec{A}_{\text{pseudo}}$ ขึ้นในแนวตั้งฉากกับระนาบของมัน โดยมีสมการของศักย์แม่เหล็กเทียม $\vec{A}_{\text{pseudo}} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j}$ ที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแกรฟีนดังนี้

$$A_x = \frac{c}{2ev_F}(t_2 + t_3 - 2t_1)$$

และ

$$A_y = \frac{\sqrt{3}c}{2ev_F}(t_3 - t_2) \quad (4)$$

เมื่อ e เป็นค่าประจุอิเล็กตรอนและ $t_{1,2,3}$ เป็นพลังงานใช้บ่งบอกความแรงที่เกิดจากการรบกวนของสนามอิเล็กตรอน

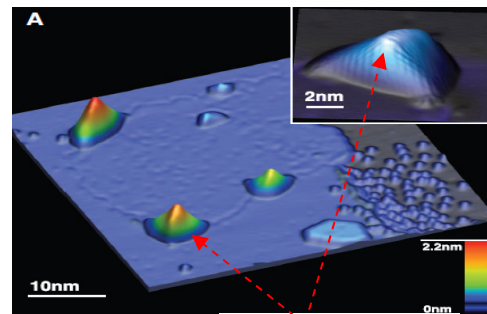
$\Psi_{IB1,2,3}$ (จากภาพ 1) ตามลำดับ ซึ่งในภาวะปกติแกรฟีนที่ไม่เกิดความเครียด $t_{1,2,3}$ จะมีค่าเท่ากันประมาณ 2.8 eV แต่ในกรณีเกิดความเครียดตำแหน่งของอิเล็กตรอนในอะตอมใกล้เคียงจะเปลี่ยนไปทำให้ค่า $t_{1,2,3}$ ไม่สมมาตรหรือไม่เท่ากัน $t_1 \neq t_2 \neq t_3$ ผลกระทบจากสนามแม่เหล็กเทียมที่เกิดจากความเครียดต่ออิเล็กตรอนใน K-valley และ K'-valley ให้ผลของทิศทางแม่เหล็กเทียมสวนทางกัน

ในขณะนั้น แม้ Wallace จะสามารถทำนายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแกรฟีนได้ แต่ก็ยังไม่มีใครสามารถเตรียมแกรฟีนได้จริงในห้องทดลอง จนกระทั่งปี 2004 สองนักฟิสิกส์ Andre Geim กับ Konstantin Novoselov และทีมงาน [3] ได้เตรียมแกรฟีนได้สำเร็จเป็นครั้งแรก ผลของการค้นพบสภาวะของชั้นแกรไฟต์ (Graphite)

ที่อยู่อย่างมีเสถียรภาพได้นี้ เปิดเผยให้เห็นถึงคุณสมบัติของแกรฟีนที่นำไปสู่การพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้เกี่ยวกับเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อโลก อย่างเช่น การเป็นเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาคอมพิวเตอร์ [4] ด้วยผลประโยชน์มากมายที่ได้จากการค้นพบนี้ทำให้นักฟิสิกส์สองท่าน Geim และ Novoselov ได้รับรางวัลโนเบลในปี 2010 ซึ่งเป็นระยะเวลาเพียงแค่ 6 ปีหลังการค้นพบเท่านั้น

สนามแม่เหล็กเทียมจากแกรฟีนขนาด 300 เทสลา มากสุดเท่าที่เคยสร้างได้ในห้องทดลอง

จากการศึกษาคุณสมบัติการยืดหยุ่นของแกรฟีนด้วยทฤษฎี Ab-initio calculation พบว่าแกรฟีนอาจยืดหยุ่นได้กว่า 26 % [5] ถ้ามากกว่านี้พันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนอาจเริ่มไม่เสถียร เมื่อเร็วๆ นี้ ในปี 2010 นักฟิสิกส์จากห้องปฏิบัติการในอเมริกา University of California Berkeley ได้ประสบความสำเร็จในการสร้างแกรฟีนที่มีลักษณะเป็นฟองระดับนาโน (Nanobubbles) ที่เกิดจากการโค้งงอของแกรฟีนบนผิวแพลตฟอร์ม [6]

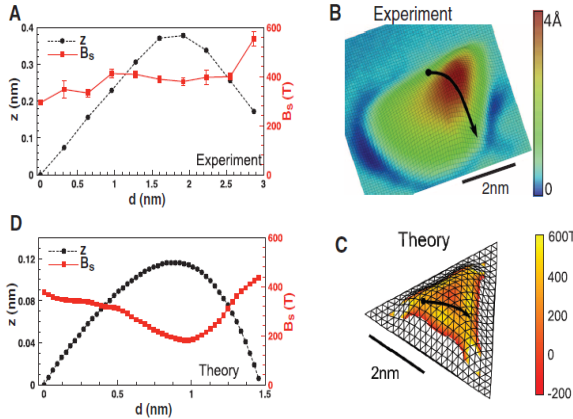


Nano bubbles

รูปที่ 2 แสดงให้เห็นแกรฟีนลักษณะเป็นฟองระดับนาโน (Graphene nanobubbles) รูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอของแกรฟีนทำให้พันธะคาร์บอนยืดตัว จนเกิดความเครียดเชิงกลซึ่งสามารถสร้างสนามแม่เหล็กเทียมได้กว่า 300 เทสลา [6] ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กที่สูงที่สุดที่เคยสร้างได้ในห้องปฏิบัติการ

การโค้งงอนี้ก็คือสภาพที่แกรฟีนอยู่ในภาวะเครียดเชิงกลนั่นเอง ระยะของพันธะคาร์บอน-คาร์บอนในแต่ละบริเวณจะไม่เท่ากันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเทียมขึ้นมาได้ดังได้กล่าวมาข้างต้น อิเล็กตรอนในแกรฟีนจะเคลื่อนที่ราวกับว่ามันอยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กต่างๆ ที่ความเป็นจริงแล้วไม่มีสนามแม่เหล็กจากภายนอกแต่อย่างใด เราจึงเรียกสนามที่เกิดจากการเหนี่ยวนำโดย

Strain นี้ว่าสนามแม่เหล็กเทียม เพราะมีผลเหมือนสนามแม่เหล็กจริงทุกอย่าง การสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงมากได้ในแกรฟีนเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในหลายๆ ด้านที่ต้องการการวิเคราะห์ปัญหาในภาวะสนามแม่เหล็กสูงมากๆ ซึ่งไม่เคยทำได้มาก่อน

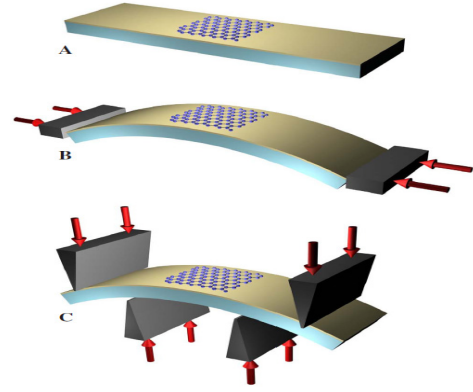


รูปที่ 3 ภาพ a และ b เป็นการทดลองที่อุณหภูมิใกล้ศูนย์องศาสัมบูรณ์ ส่วน c และ d เป็นทฤษฎีที่ทำนายไว้ก่อนหน้านี้ [6] ซึ่งมีความสอดคล้องกันอย่างยิ่ง

การสร้างแกรฟีนให้เกิดภาวะเครียดเชิงกลในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ผลจากความเครียดเชิงกล (Strain) ที่ทำให้แกรฟีนแสดงตัวราวกับว่ามีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นนั้นเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างมากด้วย การทำให้แกรฟีนเกิดความเครียดเชิงกลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

(I) การวางแกรฟีนบนฐานรองที่โค้งงอหรือยืดหยุ่นได้ ดังภาพประกอบ 4 แกรฟีนจะยึดตัวตามการยืดของแผ่นที่รอง ซึ่งสร้างความเครียดเชิงกลได้มากที่สุดประมาณ 0-1.3 % [7] ในกรณีนี้ต้องเลือกแผ่นรองที่แกรฟีนจับยึดได้ดี แกรฟีนจึงจะยึดตัวตามการยืดของแผ่นรอง ผลของการยึดตัวทำให้เกิดความเครียดคงที่ในแกนเดียว ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเทียมที่มีค่าคงที่เท่ากันทั่วพื้นที่ของแผ่นแกรฟีน



รูปที่ 4 การสร้างความเครียดเชิงกลในแนวเดียว สร้างสนามแม่เหล็กเทียมคงที่ตลอดทั้งแผ่นแกรฟีน [7]

(II) การสร้างความเครียดเชิงกลในบางบริเวณโดยทำในระบบที่มีแผ่นรอง (Substrate) ไม่สม่ำเสมอ ดังภาพ 5 จากการออกแบบความเครียดลักษณะแบบนี้ทำให้สามารถสร้างสนามแม่เหล็กเทียมขึ้นเฉพาะตำแหน่งที่เราต้องการ สนามแม่เหล็กเทียมนี้ส่งผลทำให้สเปกตรัมอิเล็กตรอนใน K-valley และ K'-valley แยกออกจากกันราวกับว่ามีศักย์เวกเตอร์ขนาดเท่ากันทิศสวนทางในบริเวณที่เกิดความเครียดดังแสดงในสมการข้างล่างนี้

$$E_K = v_F \sqrt{\left(p_x - \frac{eA_x}{c}\right)^2 + \left(p_y - \frac{eA_y}{c}\right)^2}$$

และ

$$E_{K'} = v_F \sqrt{\left(p_x + \frac{eA_x}{c}\right)^2 + \left(p_y + \frac{eA_y}{c}\right)^2}$$

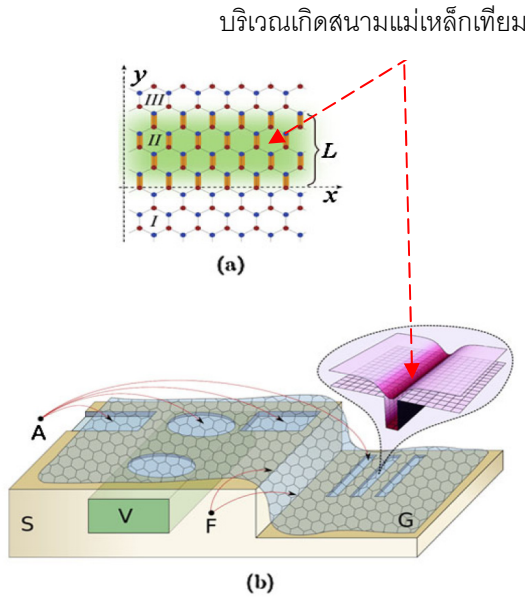
(5)

สมมติโทเนียนสำหรับอิเล็กตรอน K-valley และ K'-valley ภายใต้อิทธิพลของความเครียดคือ

$$\hat{H}_\zeta = v_F \vec{\gamma} \cdot (\hat{p} + \zeta \frac{e\vec{A}}{c})$$

(6)

เมื่อ $\zeta = -1(+1)$ เป็นดัชนีระนาบวอลลีย์สำหรับ K(K')



รูปที่ 5 การสร้างความเครียดเชิงกลเป็นบางบริเวณ สามารถทำได้โดยการทำให้แผ่นรองรับไม่สม่ำเสมอ ภาพ (a) แสดงการยืดตัวของแกรฟีนในบริเวณที่แผ่นรองรับเป็นร่องยาว L และภาพ (b) รูปร่างของแผ่นรองรับที่ไม่สม่ำเสมอแบบต่างๆ ลักษณะแบบนี้เรียกว่า *Strain-engineered graphene* [8]

การแยกตัวของสเปกตรัมอิเล็กตรอนเนื่องจากสนามแม่เหล็กเทียมนี้มีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่เรียกว่า วอลเลย์ทรอนิกส์ (Valleytronics) เป็นการนำกระแสเชิง Valley ที่มีในแกรฟีนไปประยุกต์ใช้งานส่วนสปินทรอนิกส์ (Spintronics) ซึ่งเป็นอิเล็กทรอนิกส์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสนใจด้วยในปัจจุบันนั้น เป็นการนำกระแสสปิน (Spin current) ที่แยกตัวได้จากสนามแม่เหล็กจริงนำมาประยุกต์ใช้งาน

ในแกรฟีนจะมีกระแสทั้งสองชนิดนี้อยู่ครบคือ กระแสวอลเลย์ K กับ K' และกระแสสปินขึ้นกับกระแสสปินลง ส่วนในโลหะทั่วไปโดยมากมักมีเพียงกระแสสปินเท่านั้น

วงจรกรองกระแสวอลเลย์ (Valley filter)

ผลของความเครียดเชิงกลต่อแกรฟีนทำให้อิเล็กตรอนรับรู้ถึงสนามคล้ายสนามแม่เหล็กที่เรียกว่าสนามแม่เหล็กเทียมเกิดในบริเวณที่เกิดความเครียด ในภาพประกอบ 6 แสดงแบบจำลองวงจรอย่างง่ายที่เป็นไปได้เพื่อใช้ในการกรองกระแสวอลเลย์ในแกรฟีน [9] แท่งแม่เหล็กตั้งฉาก 2 อันถูกใช้เพื่อสร้าง

สนามแม่เหล็กจริง $\vec{A}_R$ ซึ่งสนามแม่เหล็กจริงนี้ถูกใช้เพื่อทำให้อิเล็กตรอนทั้งหมดในระบบที่เกิดกับอิเล็กตรอนใน K - กับ K' -valleys มีขนาดต่างกัน

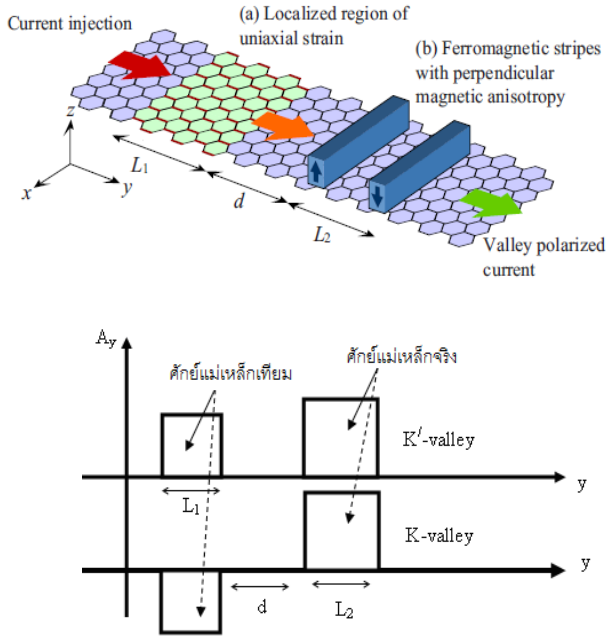
$$\hat{H}_S = v_F \vec{\gamma} \cdot (\hat{p} + \frac{e\vec{A}_S}{c} + \frac{e\vec{A}_R}{c}) \quad (7)$$

ด้วยเหตุนี้ ความนำของกระแส K - กับ K' -valleys จึงมีค่าต่างกัน เรียกว่า เกิดการ Valley polarization ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณได้จากความต่างระหว่างกระแส $I_{K,K'}$ หรือความนำ $G_{K,K'}$ ของ K - กับ K' -valleys

$$\text{Valley polarization} = \frac{I_K - I_{K'}}{I_K + I_{K'}} = \frac{G_K - G_{K'}}{G_K + G_{K'}} \quad (8)$$

การสร้างศักย์แม่เหล็กจริงคงที่จากสนามแม่เหล็กที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบ 2 อัน ดังแสดงในภาพ 6(a) โดยแท่งแม่เหล็กวางห่างกันเป็นระยะ L_2 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแนวแกน z แบบฟังก์ชันเดลต้าที่มีทิศสวนกันทำให้เกิดศักย์แม่เหล็กจริงคงที่ในบริเวณ L_2 เท่านั้น

จากรูป 6(b) ศักย์แม่เหล็กเทียมจากความเครียดจะขึ้นกับ Valley โดยมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางใน K -valley เป็น (+) และใน K' -valley เป็น (-) ส่วนกรณีศักย์แม่เหล็กจริงจะมีทิศทางเดียวกันเสมอ ด้วยเหตุนี้เองทำให้อิเล็กตรอนใน K -valley และ K' -valley มีความนำต่างกันทำให้เกิดการโพลาไรเซชันเชิงวอลเลย์ขึ้น ถ้าไม่มีศักย์แม่เหล็กจริงอยู่ในวงจรจะไม่สามารถเกิดโพลาไรเซชันเชิงวอลเลย์ขึ้นได้ เพราะถึงแม้ศักย์แม่เหล็กเทียมจะมีทิศสวนกันแต่ไม่ทำให้ความนำในแต่ละวอลเลย์ต่างกัน



รูปที่ 6 แสดงวงจรอย่างง่ายที่จะทำให้กระแสวอลเลย์เกิดโพลาไรซ์ (Valley polarized current) ได้ [9]

วงจรกรองทั้งกระแสวอลเลย์และกระแสสปิน (Spin-valley filter)

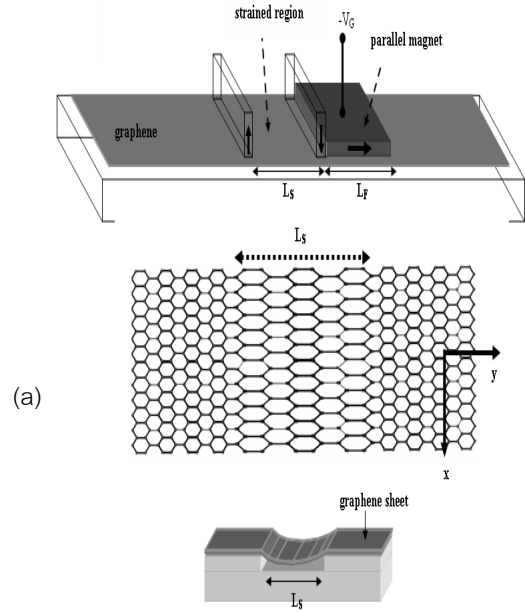
จากภาพประกอบ 7(a) เป็นแบบจำลองของวงจรที่ใช้ในการกรองทั้งกระแสวอลเลย์และกระแสสปิน [10] โดยมีการเพิ่มแผ่นแม่เหล็กเฟอร์โรโรฆานานเพื่อสร้างสนาม Zeeman ในแกรฟีน สนาม Zeeman จะส่งผลกระทบต่ออิเล็กตรอนสปินขึ้น (ลง) ดังนี้

$$H_{\text{Zeeman}} = -(+)\mu_B B \quad (9)$$

เมื่อ B เป็นสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำในแกรฟีนจากแผ่นแม่เหล็กฆานาน และ μ_B เป็นค่า Bohr magneton ผลของสนาม Zeeman ทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในแกรฟีนที่มีความเครียดนอกจากจะขึ้นกับ Valley แล้วยังขึ้นกับสปินด้วย

$$\hat{H}_{\zeta\uparrow(\downarrow)} = v_F \vec{\gamma} \cdot (\hat{p} + \zeta \frac{e\vec{A}_S}{c} + \frac{e\vec{A}_R}{c}) - (+)\mu_B B - eV_G \quad (10)$$

นอกจากนี้ วงจรนี้มีการเพิ่มขั้ว Gate ที่มีแรงดัน $-V_G$ เพื่อควบคุมพลังงานของอิเล็กตรอนในบริเวณที่มีสนาม Zeeman ด้วย การใส่แรงดันเกตในการควบคุมกระแสสปินแสดงให้เห็นผลในรูป 7 (c)



รูปที่ 7 ภาพ (a) แสดงแบบจำลองของวงจรที่สามารถกรองทั้งกระแสวอลเลย์และสปิน ภาพ (b) แสดงศักย์แม่เหล็กในระบบของอิเล็กตรอนใน K และ K' -valleys และภาพ (c) แสดงการควบคุมกระแสสปินใน K' -valley อย่างเชิงเส้นโดยแรงดันเกต $-V_G$

ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองแรก [9] กับแบบจำลองนี้ [10] สามารถอธิบายได้จากภาพ 7 (a) ซึ่งจะเห็นว่าสนามแม่เหล็กจริงจะสร้างในบริเวณเกิดความเครียด L_S ทำให้ศักย์แม่เหล็กรวมใน K -valley เป็นศูนย์ (ดูภาพ 7 (b)) ได้ง่ายกว่าแบบแรก [9] ส่งผลให้ Valley polarization มีค่าเท่ากับ 100% เมื่อ

สนามแม่เหล็กจริงมีค่าเท่ากับสนามแม่เหล็กเทียม ($A_R = A_S$) กระแสที่ไหลในวงจรเกิดจากอิเล็กตรอนใน K-valley เท่านั้น ($I_{K'} = 0$) วงจรนี้จึงสามารถรองรับกระแสไฟฟ้าไหลในระบบด้วยกลุ่มอิเล็กตรอนเพียงกลุ่มเดียวได้

กรณี Valley polarization เท่ากับ 100% เราจะได้ $I_{K'} = 0$ หมายถึงกระแสเกิดจากการไหลของอิเล็กตรอนใน K-valley เท่านั้น จากภาพ 7 (c) เป็นการแสดงผลของการควบคุมกระแสสปินโดยแสดงค่า Spin polarization ซึ่งนิยามจาก

$$\text{Spin polarization of K-valley} = \frac{I_{K\uparrow} - I_{K\downarrow}}{I_{K\uparrow} + I_{K\downarrow}} \quad (11)$$

เมื่อ Spin polarization มีค่า (+) หรือ (-) 100% กระแสในวงจรจะเป็นกระแสบริสุทธิ์ของกลุ่มอิเล็กตรอนสปินขึ้นหรือลงใน K-valley ตามลำดับ

การกรองได้ทั้งกระแสวอลเลย์และกระแสสปินมีประโยชน์อย่างมากต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมกระแสโดยคุณสมบัติเชิงกล (Electromechanical device)

ทฤษฎีอิเล็กตรอนกึ่งไร้มวลในเกรฟีนในภาวะเกิดความเครียดเชิงกลอย่างแรง

จากที่ได้กล่าวในตอนแรกๆ ว่า จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลทางทฤษฎีพบว่าเกรฟีนสามารถยืดหยุ่นได้มากกว่า 26% แต่อย่างไรก็ดี ภาวะความเครียดอย่างแรงขนาดนี้ทำได้ยากมากในทางปฏิบัติ จากการศึกษาผลของการยืดตัวอย่างแรงต่อพฤติกรรมทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนพบว่ารูปร่างของสเปกตรัมมีการเปลี่ยนแปลงต่างจากภาวะไร้ความเครียดมาก จากการศึกษาของ Pereira, Neto และ Peres [11] นักฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัย Boston ของอเมริกา ที่ได้ใช้แบบจำลอง Tight-binding มาวิเคราะห์โครงสร้างสเปกตรัมอิเล็กตรอน ได้แสดงให้เห็นว่าความเครียดเชิงกลในแนว Zigzag (แกน x ในรูป 1(a)) จะส่งผลให้เกิดช่องว่างพลังงานระหว่างแถบนำ (Conduction band) และแถบวาเลนซ์ (Valence band) ขึ้นเมื่อความเครียดมีค่ามากกว่าค่าความเครียดวิกฤติ 23% และเรียกเกรฟีนที่มีความเครียดน้อยกว่า 23% ว่า Gapless graphene และ เรียกเกรฟีนที่มีความเครียดมากกว่า 23% ว่า Gapped graphene

หลังจากการศึกษาลักษณะการบิดตัวของแผ่นเกรฟีนต่อโครงสร้างสเปกตรัมของอิเล็กตรอนในเกรฟีนของ Pereira, Neto และ Peres [11] ต่อมาก็ได้มีการศึกษาการเคลื่อนที่และฟิสิกส์ของการส่งผ่านเชิงควอนตัมของอิเล็กตรอนในภาวะความเครียดอย่างแรงในสภาพแม่เหล็กและสภาพนำยวดยิ่ง [12, 13] โดย Soodchomshom (ผู้เขียน) ได้ทำนายพฤติกรรมของการส่งผ่านเชิงควอนตัมแบบใหม่ที่เป็นผลจากความเครียดเชิงกลที่น่าสนใจสำหรับกรณีของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขณะเกรฟีนมีความเครียดเท่ากับค่าวิกฤติ 23% [14] Soodchomshom พบว่าอิเล็กตรอนมีพฤติกรรมแบบอนุภาคกึ่งไร้มวล (Semi-massless fermions) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับโมเมนตัมของอนุภาคมีมวลในแนวแกน x และอนุภาคไม่มีมวลในแนวแกน y ดังนี้ [14]

$$E = \pm \sqrt{\left(\frac{p_x^2}{2m} - \frac{p_x^4}{8(c_{\text{eff}})^2 m^3}\right)^2 + (v_y p_y)^2} \quad (12)$$

ซึ่งจากสมการ (12) เราจะพบว่าอิเล็กตรอนที่จุดวิกฤติไม่ได้เป็นแบบอนุภาคสัมพัทธภาพไร้มวลอย่างในเกรฟีนปกติ [1] แต่อย่างไรก็ดี ในแนวแกน x นั้นเราสามารถเทียบกับพลังงานจลน์ของอนุภาคสัมพัทธภาพมีมวล m และความเร็วแสง c_{eff}

$$T(m \neq 0) = \sqrt{(c_{\text{eff}} p_x)^2 + (mc_{\text{eff}})^2} - mc_{\text{eff}} \approx \frac{p_x^2}{2m} - \frac{p_x^4}{8(c_{\text{eff}})^2 m^3} + \dots$$

ส่วนในแนวแกน y เราสามารถเทียบกับพลังงานจลน์ของอนุภาคสัมพัทธภาพไร้มวล $m=0$ และความเร็วแสง v_y

$$T(m = 0) = \sqrt{(v_y p_y)^2 + (mv_y^2)^2} - mv_y^2 = v_y p_y,$$

การทำนายถึงการมีอยู่ของอิเล็กตรอนกึ่งไร้มวลที่จุดความเครียดวิกฤตินี้โดย Soodchomshom ยังคงต้องรอการพิสูจน์จากการทดลองจริง

บทส่งท้าย

หลังการเตรียมเกรฟีนได้จริงในห้องทดลอง [3] เกรฟีนมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาโลกแห่งนาโนเทคโนโลยี การศึกษาเกรฟีนในภาวะเกิดความเครียดเชิงกลนับเป็นการวิจัยขยายการประยุกต์เกรฟีนเพื่อเชื่อมคุณสมบัติทางไฟฟ้ากับคุณสมบัติเชิงกลและพัฒนาเกรฟีนเข้าสู่อุตสาหกรรมในที่สุด นับเป็นตัวอย่างหนึ่งที่นักวิจัยในไทยไม่ควรเคยมองว่าเกรฟีนคือ

วัสดุที่ควรจับตามอง แต่แกรฟีนควรเป็นวัสดุที่เราต้องจับด้วยมือคนไทยให้ได้เพื่อนำมาพัฒนาประเทศในยุคที่เราต้องแข่งขันในทุกด้านกับทั่วโลกอย่างปัจจุบัน

เอกสารอ้างอิง

1. P.R. Wallace, "The Band Theory of Graphite", Physical Review **71** (1947) p 622.
2. C. W. J. Beenakker, "Andreev reflection and Klein tunneling in graphene", Reviews of Modern Physics **80** (2008) p 1337.
3. K.S. Novoselov et al. "Electric field effect in atomically thin carbon films", Science **306** (2004) p 666.
4. บำเหน็จ สุทธมโนม, "อิเล็กทรอนิกส์ทรานซิสเตอร์ในแกรฟีนกับก้าวแรกของการเริ่มต้นยุคแห่งเทคโนโลยีจากการรวมสัมพัทธภาพและควอนตัมเข้าด้วยกัน", วารสารฟิสิกส์ไทย, ฉบับ เดือน มีนาคม 2553 หน้า 29.
5. F. Liu et al., "Ab initio calculation of ideal strength and phonon instability of graphene under tension" Phys. Rev. B **76** (2007) p 064120.
6. N. Levy et al., "Strain-induced pseudo-magnetic fields greater than 300 tesla in graphene nanobubbles" Science **329** (2010) p 544.
7. T. M. G. Mohiuddin et al., "Uniaxial strain in graphene by Raman spectroscopy: *G* peak splitting, Grüneisen parameters, and sample orientation", Phys. Rev. B **79** (2009) p 205433.
8. V. M. Pereira, A.H. C. Neto, "Strain engineering of graphene's electronic structure", Phys. Rev. Lett. **103** (2009) p 046801
9. T. Fujita et al., "Valley filter in strain engineered graphene", Applied Physics Letters **97** (2010) 043508.
10. B. Soodchomshom, P. Changam, "Control of spin-valley current in strain-engineered graphene magnetic junction", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism (In press 2011).
11. V. M. Pereira, A.H.C. Neto, N. M. R. Peres, "Tight-binding approach to uniaxial strain in graphene," Phys. Rev. B **80** (2009) p 045401.
12. B. Soodchomshom, "Spin currents in graphene under tension", Physica B **406** (2011) p 614.
13. B. Soodchomshom, "Tunneling Conductance in Strained Graphene-Based Superconductor: Effect of Asymmetric Weyl-Dirac Fermions", Journal of Superconductivity and Novel Magnetism (In press 2011)[Preprint / arXiv:1011.1617v2]
14. B. Soodchomshom, "Tunneling of semi-massless fermions in deformed graphene: Effect of directionally massless behavior" Submitted to Physica B [PrePrint/ arXiv:1009.5060]

String Theory Never Dies

เมื่อทฤษฎีสตริงพบกับฟิสิกส์สารควบแน่น

รวรรณ มีวาสนา¹

ในชีวิตการทำงานของเรา คงไม่ใช่เรื่องแปลกที่บางครั้งจะมีอารมณ์เศร้า ท้อแท้ ไม่แน่ใจว่าจะทำอะไรต่อไปดี เมื่อผมนึกย้อนไปถึงช่วงสัปดาห์สุดท้ายของการทำวิจัยในสหราชอาณาจักร ก่อนกลับมาไทยอย่างถาวร ในช่วงนั้นผมก็มีอารมณ์เหล่านี้เกิดขึ้นเช่นกัน เป็นเพราะที่ผ่านมามีการทำงานวิจัยกับอาจารย์ที่มีชื่อเสียงในมหาวิทยาลัยที่มีเครื่องมือทันสมัยมาตลอดในช่วงสิบปีทั้งในสหรัฐอเมริกาและในสหราชอาณาจักร แต่คราวนี้ต้องกลับมาสร้างงานวิจัยของตนเองจริงๆ ก็เกิดคำถามขึ้นว่า จะทำอะไรต่อไปดี จะมีเงินทุนพอในการทำวิจัยหรือเปล่า แล้วก็กลายเป็นความกลัวและท้อแท้อยู่ลึกๆ มองโลกในแง่ร้ายว่า กลับมาประเทศไทยคงไม่ได้ทำงานวิจัยที่สนุกๆ อีกแล้ว มันเป็นเรื่องเศร้าที่คิดว่าสัปดาห์นั้นคงเป็นช่วงเวลาสุดท้ายที่จะได้มีความสุขจริงๆ กับงานวิจัย แต่แล้วมุมมองเช่นนั้นก็เปลี่ยนไปในสัปดาห์เดียวกัน นับเป็นความโชคดีของผมที่ได้มีโอกาสฟังบรรยายเกี่ยวกับงานวิจัยซึ่งสร้างแรงบันดาลใจและเป็นตัวอย่างที่ดี ทำให้ผมเข้าใจว่า บางครั้งงานวิจัยที่เจอปัญหาหนักๆ แต่ถ้ามีทัศนคติที่ดี พยายามสู้และลองมองในมุมกว้างหรือลองคิดนอกกรอบ ก็อาจจะเจอทางออกที่ดีได้หรืออาจจะดีเกินคาดเลยด้วยซ้ำ

ในงานสัมมนา 3rd Annual UK-NL Condensed Matter Meeting 2010 ซึ่งจัดขึ้นที่ University of Cambridge Dr. Koenraad นักทฤษฎีสตริงหนุ่ม และ Prof. Jan Zaanen นักทฤษฎีฟิสิกส์สารควบแน่นที่มีชื่อเสียง ได้นำเสนอผลงานของพวกเขาที่ตีพิมพ์ในวารสาร Science ในปี ค.ศ. 2009 [1] มีเนื้อหาเกี่ยวกับการนำทฤษฎีสตริง หรือ ทฤษฎีเส้นด้าย (String Theory) มาใช้ศึกษาฟิสิกส์สารควบแน่นได้อย่างเหลือเชื่อ เป็นการนำวิธี Mapping ที่เรียกว่า Anti de Sitter/Conformal Field Theory ในทฤษฎีสตริง มาศึกษาการประพฤติตัวของระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกัน (Interacting electron system) เพื่อเข้าใจถึงสมบัติทางไฟฟ้าและ

แม่เหล็กของวัสดุชนิดต่างๆ แนวคิดดังกล่าวยังได้กลายเป็นหัวข้อวิจัยใหม่ที่ได้รับการสนใจและเริ่มมีกลุ่มวิจัยเกิดขึ้นอย่างเช่นที่ Massachusetts Institute of Technology (MIT) และ Leiden University ในประเทศ Netherlands จากความประทับใจในการฟังบรรยายครั้งนั้น ผมจึงขอมาถ่ายทอดแนวคิดของการทำงานวิจัยแขนงใหม่นี้ เพราะเห็นเป็นเรื่องที่แปลกในเชิงฟิสิกส์ และที่สำคัญผมเห็นว่าเป็นตัวอย่างที่ดีในเรื่องของการทำวิจัย เพราะในการศึกษาทฤษฎีสตริงในอดีตถึงแม้จะเจอกับปัญหาวิจัยที่หนักหน่วง แต่ก็ยังมีนักทฤษฎีสตริงที่ไม่ย่อท้อและสามารถค้นพบสิ่งใหม่ที่เป็นเรื่องใกล้ตัวมาเพิ่มพูนความรู้ของพวกเขาได้

ถ้าผู้อ่านพอจะเคยได้ยินเกี่ยวกับฟิสิกส์ทั้งสองแขนงมาบางส่วน ก็อาจจะแปลกใจว่าฟิสิกส์ทั้งสองสาขาจะมาเกี่ยวข้องกันได้อย่างไร เพราะฟิสิกส์สารควบแน่น (Condensed matter physics) และทฤษฎีสตริง (String theory) เป็นเรื่องที่อยู่เหมือนจะห่างไกลกัน (ซึ่งจริงๆ แล้วมีรากฐานบางส่วนที่เกี่ยวข้องกัน) ฟิสิกส์สารควบแน่นซึ่งในภาพกว้างคือการศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพที่หลากหลายในสสาร เช่น สภาพความยืดหยุ่น ความแข็งแรง การนำไฟฟ้า สภาพแม่เหล็ก โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่วนทฤษฎีสตริงเป็นความพยายามในการค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างหลักฟิสิกส์ในระบบที่ใหญ่มากระดัดจักรวาล และ หลักฟิสิกส์ในระบบที่เล็กมากๆ ระดับอะตอมหรือเล็กกว่าอะตอม โดยแนวคิดสำคัญของทฤษฎีอยู่ที่บอกว่าในโลกของเรามีจำนวนมิติมากกว่าสามมิติบวกกับมิติเวลา (หรือ 4 มิติ ตามทฤษฎีของไอน์สไตน์) เช่น ทฤษฎีมีแนวคิดว่าคุณภาพอิเล็กตรอนนั้นไม่ได้เป็นแค่จุด แต่อิเล็กตรอนอาจจะเหมือนเส้นด้าย เพียงแค่เรายังไม่สามารถมองเห็นมิติในส่วนที่เป็นเส้นด้ายนี้ได้เท่านั้น ซึ่งแนวคิดนี้ก็เป็นที่มาของชื่อทฤษฎีสตริง หรือ ทฤษฎีเส้นด้าย แนวคิดดังกล่าวนี้หากถูกต้องก็อาจนำมาใช้ในการเชื่อมโยงทฤษฎี

¹อาจารย์ (ดร.) สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัมพัทธภาพทั่วไปที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ในระดับของขึ้นใหญ่กับทฤษฎีควอนตัมที่ใช้ฟิสิกส์ในระดับเล็กๆ ได้และอาจจะทราบที่มาของแรงโน้มถ่วงในเชิงควอนตัม ซึ่งจะเป็นผลงานชิ้นสำคัญอย่างยิ่งของโลก แต่อย่างไรก็ตามความสำเร็จที่ยิ่งใหญ่นี้นั้นยังไม่สามารถทำได้ง่ายๆ สำหรับการพัฒนากลศาสตร์ที่ขึ้นกับปัญหาที่หนักหน่วง เพราะเป็นที่ยอมรับกันว่าเป็นทฤษฎีที่ไม่อาจพิสูจน์ได้

เดิมทีทฤษฎีสตริงได้ถูกคิดขึ้นเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1969 และมีผู้สนใจมากเป็นพิเศษในช่วงประมาณ 10 กว่าปีที่ผ่านมานี้ ซึ่งในสมัยนั้นถ้าถามนักทฤษฎีฟิสิกส์ขึ้นว่าอยากจะทำวิจัยเรื่องอะไรส่วนมากก็จะตอบเป็นเสียงเดียวกันว่า “ทฤษฎีสตริง” ด้วยความน่าสนใจและความสำคัญของเนื้อหาจึงมีนักฟิสิกส์เก่งๆ มากมายที่มาร่วมวิจัยในด้านนี้ ทำให้เกิดการพัฒนากลศาสตร์ใหม่ๆ ออกมามากมาย แต่อย่างไรก็ตามความยากไม่ได้มีแค่เชิงคณิตศาสตร์หรือเชิงทฤษฎี แต่เป็นเชิงการทดลอง ปัญหาหลักที่นักทฤษฎีสตริงได้เจอคือ การถูกวิจารณ์จากนักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียงว่าไม่ใช่เป็นการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างผู้วิจารณ์ เช่น นักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบล Richard Feynman และ Phillip Anderson [2,3] กล่าวว่าทฤษฎีดังกล่าวเป็นทฤษฎีที่ไม่สามารถถูกทดสอบเชิงทดลองได้จริงๆ แล้วแนวคิดในการพิสูจน์ก็ยังมีอยู่บ้าง แต่แนวการพิสูจน์ที่ชัดเจนจากการทดลองเป็นไปได้ยากมากหนึ่งในแนวคิดที่เป็นไปได้คืออาจใช้ฟิสิกส์เชิงอนุภาค (High energy physics) มาเป็นตัวช่วยในการศึกษา แต่การสร้างเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้เงินทุนที่สูงมาก และเทคโนโลยีที่มีอยู่ก็อาจจะไม่เพียงพอ แม้แต่เครื่อง Large Hadron Collider (LHC) ในยุโรปซึ่งเป็นเครื่องที่ใหญ่ที่สุดในโลกก็ยังไม่สามารถใช้พิสูจน์ทฤษฎีสตริงได้ อีกแนวทางหนึ่งคืองานวิจัย Astrophysics เกี่ยวกับทฤษฎี Big Bang และ Inflation แต่ก็ไม่สามารถหาตัวบ่งชี้ที่ชัดเจนได้ ความหวังที่ดูเรื่อนรางต่างๆ นี้ ทำให้ในปัจจุบันเงินทุนวิจัยและตัววิจัยเองมีจำนวนลดลงอย่างมาก ผมเองก็รู้จักนักฟิสิกส์ที่มีความสามารถมากอยู่สามท่านที่ต้องเจอปัญหาในงานวิจัยที่ดูเหมือนจะหยุดชะงักในขณะนี้

คิดมาถึงจุดนี้ ก็คงต้องคิดย้อนมาถึงตัวเองว่า ถ้าสิ่งนี้เกิดขึ้นกับตัวเอง ถ้าต้องใช้ความพยายามเพื่อการเรียนจนจบปริญญาเอก แต่แล้วพบว่าหัวข้อวิจัยที่เราชำนาญไม่มีผู้ให้ทุนต่ออีกแล้วมันคงเป็นความรู้สึกที่เศร้ามากๆ ซึ่งในความเป็นจริงผมเองก็ถือว่า

ยังโชคดีที่ได้ทำงานวิจัยฟิสิกส์สารควบแน่นที่ยังได้รับความสนใจอยู่มาก ในทางกลับกันผู้เขียนได้มีโอกาสสนทนากับ Dr. Koenraad Schalm และทราบว่าท่านเรียนจบมาทางด้านทฤษฎีสตริงที่ได้รับผลกระทบในเรื่องการวิจัยอย่างที่ว่ามาโดยตรง แต่ท่านก็ยังพยายามขวนขวาย และไม่ปิดกั้นตัวเองจำกัดกรอบการทำวิจัยอยู่แค่เพียงหัวข้อทฤษฎีสตริงแบบดั้งเดิมเท่านั้น แต่เกิดแนวคิดในการใช้ความรู้จากทฤษฎีสตริงประยุกต์เข้ากับหัวข้ออื่นตามที่กล่าวมา ทฤษฎีสตริงนั้นได้ถูกพัฒนามาแล้วถึง 40 ปี ถึงแม้ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์จะไม่เกิดให้เห็นชัดและไม่อาจจะถูกพิสูจน์ให้กระจ่างได้ แต่ในเชิงคณิตศาสตร์ถือว่ามียอดออกมามากมายและสามารถพิสูจน์ได้ชัดเจน ความรู้ในส่วนนี้เองที่อาจจะนำมาใช้ประยุกต์เข้ากับหัวข้อวิจัยอื่นๆ โดยไม่ถูกจำกัดแค่เพียงหัวข้อทฤษฎีสตริงเอง และประกอบกับที่ Dr. Schalm ได้รับความร่วมมือกับ Prof. Jan Zaanen ซึ่งมีความเชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์สารควบแน่นที่เป็นที่ประจักษ์อยู่แล้ว ทำให้เกิดเป็นหัวข้อในการทำวิจัยแขนงใหม่ที่สำคัญและน่าสนใจอย่างมาก

ปัญหาในฟิสิกส์สารควบแน่น

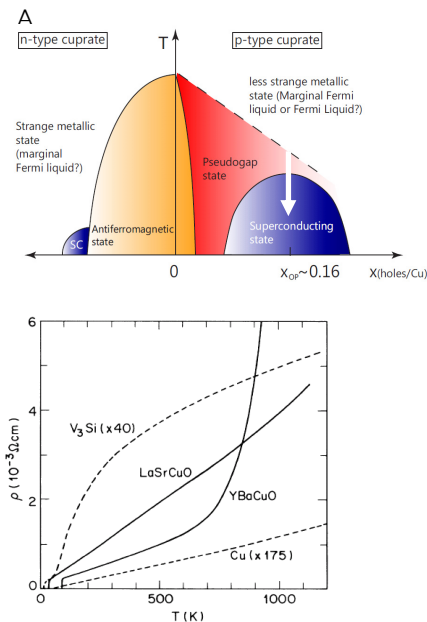
ในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีสตริงเข้ากับฟิสิกส์สารควบแน่นนั้น เป็นความพยายามในการเข้าใจถึงการประพฤติตัวของกลุ่มก้อนอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันในสสาร ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องใกล้ตัวเพราะในปัจจุบันเราใช้ประโยชน์จากสมบัติทางไฟฟ้าและแม่เหล็กของวัสดุชนิดต่างๆ อยู่แล้ว ซึ่งเห็นได้ชัดในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ แต่ความรู้ฟิสิกส์ในเชิงลึกเพื่อการเข้าใจถึงการเกิดสมบัติต่างๆ เหล่านี้มีแค่บางส่วนเท่านั้นจริงๆ แล้วจะไปการเข้าใจถึงการประพฤติตัวของกลุ่มก้อนอิเล็กตรอนนั้นเรารู้ถึงหลักฟิสิกส์ที่จำเป็นทั้งหมดแล้ว ซึ่งอาจจะเขียนอธิบายเป็นสมการของ Schrodinger หนึ่งบรรทัดเท่านั้น

$$\mathcal{H} = - \sum_j \frac{\hbar^2}{2m} \nabla_j^2 - \sum_j \sum_{\alpha} \frac{Z_{\alpha} e^2}{|\vec{r}_j - \vec{R}_{\alpha}|} + \sum_{j < k} \frac{e^2}{|\vec{r}_j - \vec{r}_k|} - \sum_{\alpha} \frac{\hbar^2}{2M_{\alpha}} \nabla_{\alpha}^2 + \sum_{\alpha < \beta} \frac{Z_{\alpha} Z_{\beta} e^2}{|\vec{R}_{\alpha} - \vec{R}_{\beta}|}$$

Electron - Kinetic energy
Electron - Nuclei interaction
Electron-electron interaction
Nuclei - Kinetic energy
Nuclei-Nuclei interaction

จากสมการข้างต้น เทอมที่สามหมายถึงอันตรกิริยาต่อกันระหว่างกลุ่มก้อนอิเล็กตรอน ซึ่งเมื่อเทอมที่สามไม่เป็นศูนย์ หรือตัดทิ้งไม่ได้ หรือแปลว่ากลุ่มก้อนอิเล็กตรอนมีอันตรกิริยาต่อกันสูงพอ เราจะไม่สามรถคำนวณหาคำตอบในรูป Exact solution ได้ แม้แต่การคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ที่เร็วที่สุดในปัจจุบันก็

สามารถหาคำตอบในรูปสมบรูณ์แบบได้เมื่อคำนวณในระบบที่ประกอบด้วยอิเล็กตรอนเพียงสิบหรือร้อยกว่าตัวเท่านั้น ทั้งๆ ที่ในวัสดุจริงที่สนใจมีจำนวนอิเล็กตรอนมากถึง 10^{19} - 10^{23} ตัวต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เทคนิคการคำนวณที่ใช้ประโยชน์ได้ในปัจจุบันหลายวิธีจึงต้องอาศัยหลักการประมาณซึ่งทำให้วิธีต่างๆนี้ศึกษาสมบัติของวัสดุได้เพียงบางหัวข้อเท่านั้น



รูปที่ 1 A) แผนภาพสถานะทางไฟฟ้าต่างๆของสารตัวนำไฟฟ้าอุณหภูมิวิกฤตสูง B) สภาพความต้านทานที่แปรผันตรงกับอุณหภูมิของตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่มีค่าสารเจือเหมาะสม (optimally-doped)

สำหรับการแก้ปัญหาที่ว่านี้ ทฤษฎีหนึ่งที่เข้ามามีบทบาทสูงคือ ทฤษฎี Fermi Liquid ของ Landau ที่พยายามแก้ปัญหาโดยการพยายามเทียบคำตอบของระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันซึ่งคำนวณได้ยากนี้เข้ากับระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันน้อย (Nearly-free electron system) ซึ่งคำนวณได้ง่ายกว่า ในทฤษฎีนี้จะเปรียบเทียบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนตัวอื่นๆนี้เป็นอนุภาคที่เรียกว่า Quasi-particle ซึ่งยังมีสมบัติต่างๆ ที่คล้ายคลึงกันกับอิเล็กตรอนธรรมดา แต่มีมวลมากกว่าและความเร็วลดลง (Renormalization effect) โดยทฤษฎี Fermi Liquid นี้ประสบความสำเร็จอย่างสูงเพราะสามารถทำนายสมบัติต่างๆ เช่น การนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ การนำความร้อน สภาพแม่เหล็ก

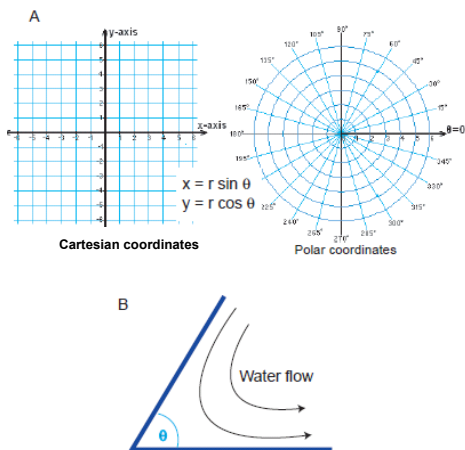
ของวัสดุหลายๆ ชนิดได้เป็นอย่างดี แต่ธรรมชาตินั้นก็มีความซับซ้อนกว่าที่เราคิด เพราะในธรรมชาติยังมีวัสดุในกลุ่มที่เรียกว่า Strongly correlated electron system หรือระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันแรง ซึ่งทฤษฎี Fermi Liquid ไม่สามารถใช้อธิบายสมบัติหลายๆ อย่างของวัสดุเหล่านี้ได้ครบ ตัวอย่างหนึ่งของสารประเภทนี้ที่รู้จักกันดีคือ สารตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิวิกฤตสูง (High-temperature superconductor) ที่มีสถานะทางไฟฟ้าที่หลากหลายเมื่อมีปริมาณสารเจือ (Doping level) ที่แตกต่างกันไป ดังแผนภาพสถานะในรูปที่ 1A สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือเมื่อตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดที่มีค่าสารเจือเหมาะสม (Optimally-doped) หรือเมื่ออุณหภูมิวิกฤตมีค่าสูงที่สุด (ตำแหน่งที่ชี้) สภาพความต้านทานในช่วงที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิจนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลวของสารตัวนำเลยทีเดียว (รูปที่ 1B) [4] ปรากฏการณ์ที่ดูเหมือนจะแสนธรรมดานี้ก็กลับมีที่มาที่ลึกลับ ซับซ้อน 20 กว่าปีที่ผ่านมามีนักทฤษฎีที่มีชื่อเสียงหลายท่านพยายามแก้ปัญหานี้แต่ก็ล้มเหลว แม้กระทั่ง Prof. Robert Laughlin นักทฤษฎีที่รับรางวัลโนเบลปี ค.ศ. 1998 ก็ได้กล่าวถึงปัญหาตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวดอุณหภูมิวิกฤตสูงว่าเป็นปัญหาที่แก้ไม่ได้ [5]

ปัจจุบันงานวิจัยในหัวข้อเรื่อง Strongly correlated electron system ก็ยังมีผู้สนใจอยู่มากและมีผลทดลองที่เป็นข้อมูลใหม่ๆ ออกมาเรื่อยๆ แต่อย่างไรก็ดีนักวิจัยส่วนใหญ่มักเห็นพ้องต้องกันว่า การจะเข้าใจปัญหาดังกล่าวให้ลึกซึ้งได้เราจำเป็นต้องมีกรอบการทำงานเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical framework) แบบใหม่ ที่จะนำมาใช้อธิบายการประพาดตัวของระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกัน ที่ครอบคลุมกว่าทฤษฎี Fermi Liquid โดยหลักการที่ชื่อว่า Anti de Sitter/Conformal Field Theory (AdS/CFT) ในทฤษฎีสตริง อาจจะกลายมาเป็นกรอบการทำงานใหม่ที่ว่านี้

การ Map และบทบาทใหม่ของ AdS/CFT จากทฤษฎีสตริง**

การแมป (Mapping) เป็นหลักคณิตศาสตร์ที่ถูกใช้มาโดยตลอด คณิตศาสตร์หัวข้อฟังก์ชันที่เรียนในสมัยมัธยมก็อาศัยการแมป เช่น ฟังก์ชันอัตราเร็ว $v(t)$ ก็เป็นการแมปค่าเวลาไปสู่ค่าอัตราเร็ว การแมปไม่จำเป็นต้องทำในหนึ่งมิติแต่สามารถมีได้หลายตัวแปร เช่น ความเร็วในแนวแกน x $v_x(t) = dx(t)/dt$ และความเร็วในแนวแกน y $v_y(t) = dy(t)/dt$ ซึ่งเขียนรวมกันเป็น

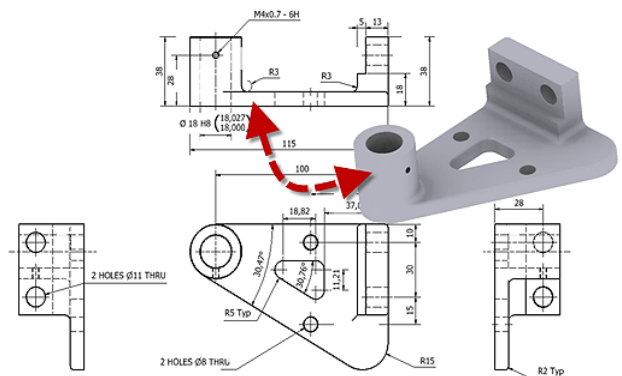
เวกเตอร์ บางครั้งการแมปก็ทำได้โดยการเปลี่ยนตัวแปรหรือ Transformation เพื่อให้แก้ปัญหานั้นง่ายขึ้น เช่นถ้าพูดถึงการเคลื่อนที่ในสนามโน้มถ่วงแบบโปรเจกไทล์ เราเลือกใช้ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หรือพิกัด (x,y) แต่ถ้าพูดถึงการเคลื่อนที่แนววงกลม เราคงจะเลือกใช้ระบบพิกัดเชิงขั้ว หรือพิกัด (r,θ) ซึ่งสามารถแมปจากระบบพิกัดหนึ่งไปอีกระบบเพื่อให้เหมาะสมกับการแก้ปัญหา (รูปที่ 2A) และจะสังเกตได้ว่าการแมปแบบนี้ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดมีค่าเท่ากันไม่ว่าจะอยู่ระบบพิกัดไหน หรือเรียกว่าการอนุรักษ์ขนาด บางครั้งปัญหามีความยากมากขึ้นก็จะมีวิธีการแมปที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นมาใช้แก้ปัญหา เช่นการหาความเร็วของของไหลที่ตำแหน่งต่างๆบนระนาบสองมิติดังรูป 2B ถ้าแก้ปัญหานี้ตรงๆอาจจะทำได้ยาก วิธีหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหานี้คือการแมปรูปทรงในมิติจริงสู่จำนวนเชิงซ้อน $z = x + iy$ ในรูปทรงที่แก้ปัญหานั้นง่ายขึ้น วิธีการแมปดังกล่าวเรียกว่าการแมปแบบคอนฟอร์มมอล (Conformal map) ของจำนวนเชิงซ้อน



รูปที่ 2 A) ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinates) และระบบพิกัดเชิงขั้ว (Polar coordinates) B) แผนภาพการไหลของน้ำเข้าสู่มุมแหลม

มาพูดถึงทฤษฎีสตริงอีกครั้ง ทฤษฎีสตริงมีแนวคิดที่ว่าโลกของเราที่มีจำนวนมิติมากกว่า 3 มิติบวกมิติเวลา (4 มิติ) เช่น บางกลุ่มเชื่อว่า โลกเราประกอบด้วย 10 มิติ หรือบอกว่าเรายังมีอีก 6 มิติซ่อนเร้นอีก 4 มิติดังกล่าวนั้นที่เราไม่สามารถสังเกตได้ ในที่นี้เราคงไม่ได้เถียงกันว่า 6 มิติดังกล่าวมานั้นจะมีอยู่จริงหรือไม่ แต่คงพูดเน้นถึงเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ศึกษามากกว่า ถึงแม้โลกของเราจะมีมิติก็ตาม เราควรจะมีเครื่องมือคณิตศาสตร์ที่ใช้แมปจากระบบที่มีมิติหลายๆให้ลดลงมาถึง 4 มิติที่เราสังเกตได้ หนึ่ง

ในเครื่องมือที่มานี้คือ การแมปที่เรียกว่า Anti de Sitter/Conformal Field Theory หรือเรียกสั้นๆว่า AdS/CFT เพื่อความไม่สับสน ถึงแม้ AdS/CFT จะมีคำว่า Conformal อยู่ แต่ AdS/CFT นั้นแตกต่างจาก Conformal map โดยเป็นการแมปในแบบที่เรียกว่า Duality map โดยที่ไม่มีการอนุรักษ์ขนาดอีกต่อไปหรือเรียกว่า Scale invariance เป็นการแมประหว่างสองระบบที่เหมือนกัน (Duality) แต่สามารถมองได้ในมิติที่ต่างกันอยู่ 1 มิติ AdS(d+1)/CFT(d) เมื่อ d คือจำนวนมิติ

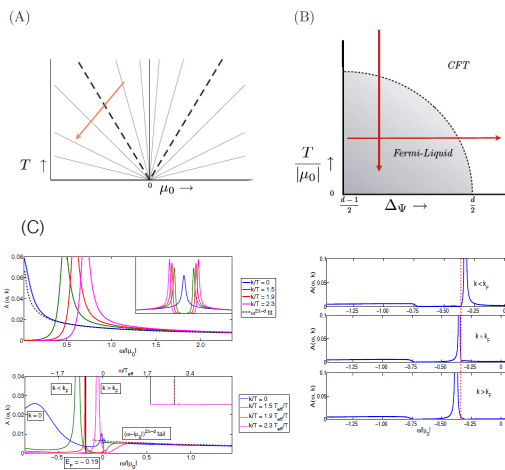


รูปที่ 3 ตัวอย่างการเขียนแบบที่มีการแมปข้อมูลในสามมิติให้อยู่ในสองมิติ รูปภาพมาจากเว็บไซต์ <http://www.cad-ultra.co.uk>

เนื่องจาก AdS(d+1)/CFT(d) เป็นเรื่องที่ซับซ้อนในเชิงคณิตศาสตร์ ผู้เขียนจึงขอหยิบยกตัวอย่างที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งจะพูดถึงหลักการถ่ายภาพโฮโลแกรม (Hologram) หรือการถ่ายภาพสามมิตินั่นเอง ถ้ามองในแง่หนึ่งการถ่ายภาพโฮโลแกรมก็คือการแมปข้อมูลในสามมิติของวัตถุให้มาเป็นข้อมูลในสองมิติบนแผ่นฟิล์ม อีกตัวอย่างการแมปที่มีการเปลี่ยนมิติที่เราคงเคยได้ทำกันบ้างคือการเขียนแบบ (รูปที่ 3) ซึ่งเป็นการแมปข้อมูลในสามมิติให้อยู่ในสองมิติโดยข้อมูลต่างๆที่จำเป็นก็ยังอยู่ครบในลักษณะที่คล้ายกัน AdS(d+1)/CFT(d) ก็คือวิธีหนึ่งในการแมปข้อมูลต่างๆในเชิงฟิสิกส์ระหว่างสองระบบจากมุมมองในมิติต่างกัน ในที่นี้ไม่ได้จำกัดว่าจะต้องเป็นหนึ่ง สอง หรือ สามมิติ แต่เป็นกรณี d มิติใดๆ

แนวคิดในการใช้ AdS/CFT เพื่อการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ของฟิสิกส์สารควบแน่นก็อาศัยการแมปในระบบที่มีมิติต่างกันนี้ เนื่องจากในมิติที่เราเห็นการแก้ปัญหของระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันแรงเป็นไปได้ยากเพราะการเคลื่อนที่หรือสถานะของอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีความสัมพันธ์กันหมด (Strongly coupled)

ประโยชน์ของการแมปไปสู่มิติที่สูงขึ้น สามารถช่วยให้ระบบที่มีอันตรกิริยาต่อกันแรง กลายเป็นเหมือนระบบที่มีอันตรกิริยาต่อกันอ่อน การแก้ปัญหาก็เป็นไปได้ง่าย แนวคิดนี้อาจเปรียบเทียบกับได้กับการดูภาพเขียนแบบในสองมิติ (รูปที่ 3) ถึงแม้ข้อมูลที่สำคัญจะมีอยู่ครบในภาพเขียนแบบสองมิติ การจินตนาการถึงรูปทรงจริงๆ ของวัตถุจากภาพเขียนก็ยุ่งยากได้เห็นวัตถุนั้นจริงๆ ในสามมิติไม่ได้ การมีโมเดลสามมิติออกมานอกเหนือจากภาพเขียนสองมิติจึงช่วยในการออกแบบหรือการแก้ปัญหามากมาย จากแนวคิดดังกล่าวผลงานวิจัยใน [1] สามารถใช้ AdS/CFT ทำการแมประบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันแรงได้ ความสำเร็จก้าวแรกก็แสดงให้เห็นว่าการแมปดังกล่าวถ้าปรับตัวแปรต่างๆ ให้เหมาะสมก็จะสามารถได้ผลการคำนวณที่สอดคล้องกับทฤษฎี Fermi Liquid (รูปที่ 4) โดยผลการวิเคราะห์ที่ว่ามันไม่ได้เป็นแค่เฉพาะเชิงทฤษฎีอีกต่อไป แต่สามารถเปรียบเทียบสเปกตรัมที่ได้กับผลการทดลองจริง อย่าง Angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) หรือ Scanning Tunneling Microscopy (STM) หรือเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าและค่าความจุความร้อน เป็นต้น



รูปที่ 4 ตัวอย่างการผลคำนวณที่ได้จากการแมปแบบ AdS/CFT ที่มีผลสอดคล้องกับทฤษฎี Fermi Liquid ใน [1] (A) แสดงเส้นต่างๆ ที่ค่า T/μ ค่าคงที่เมื่อ T คืออุณหภูมิ และ μ คือ ศักย์ไฟฟ้าเคมี (B) แผนภาพแสดงส่วนที่ Fermi Liquid ปรากฏขึ้น โดยแกนตั้งคือค่า T/μ และแกนนอนคือตัวแปรมิติ (C) เส้นสเปกตรัมที่ได้จากการคำนวณเมื่อมีการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงได้

ที่กล่าวมานี้เป็นเพียงจุดเริ่มต้น สิ่งที่น่าสนใจมากกว่าคือการแมปดังกล่าวจะนำมาปรับตัวแปรให้ตรงกับหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวกับ Strongly correlated electron system หรือระบบอิเล็กตรอนที่มีอันตรกิริยาต่อกันแรง ซึ่งเป็นเรื่องที่อยู่ในระหว่างการวิจัยที่เริ่มมีผลงานออกมาเรื่อยๆ ในขณะนี้ (เช่น [6]) ถ้าสามารถทำได้สำเร็จก็ถือว่าเป็นความโชคดีของทั้งฟิสิกส์สารควบแน่น และทฤษฎีสตริง เพราะหลักคณิตศาสตร์ AdS/CFT ก็ได้มีการศึกษามากแล้วก็คงเหลือแค่การแปลภาษา AdS/CFT ให้มาเป็นภาษาของฟิสิกส์สารควบแน่นเพื่อช่วยให้เราเข้าใจการประพฤติตัวของอิเล็กตรอนในวัสดุต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น โดยนักทฤษฎีสตริงก็จะได้แสดงบทบาทที่สำคัญนี้

ท้ายสุดนี้ผมขอขอบคุณ อ.ดร.อรรถกฤต นัตรฤติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ชำนาญการทางด้านทฤษฎีสตริงที่มาให้ข้อมูลที่มีประโยชน์เกี่ยวกับ AdS/CFT เพื่อมาเขียนบทความนี้

****หัวข้อนี้เป็นเรื่องที่ซับซ้อน ในที่นี้เป็นการหยิบยกแนวคิดบางส่วนที่พูดให้ง่ายต่อการเข้าใจซึ่งอาจจะไม่ถูกต้องตามจริงทั้งหมดในเชิงคณิตศาสตร์ ผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ ที่นี้**

[1] M. Cubrovic, J. Zaanen, and K. Schalm, "String Theory, Quantum Phase Transitions and the Emergent Fermi-Liquid," Science, 325, 439-444 (2009). (arxiv:0904.1993)

[2] Jim Holt, "Unstrung", The New Yorker, 2 Oct 2006.

[3] "God (or Not), Physics and, of Course, Love: Scientists Take a Leap", New York Times, 4 Jan 2005.

[4] M. Gurtvitch, and A. T. Fiory, "Resistivity of $\text{La}_{1.825}\text{Sr}_{0.175}\text{CuO}_4$ and $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ to 1100 K: Absence of saturation and its implications", Phys. Rev. Lett. 59, 1337 (1987).

[5] R. B. Laughlin, "Hiawatha's Valence Bonding," Annals of Improbable Research, 10, p. 8 (2004).

[6] M. Cubrovic, J. Zaanen, and K. Schalm, "Constructing the AdS dual of a Fermi liquid: AdS Black holes with Dirac hair," arxiv:1012.5681 (2010).

[7] ยังมีรายละเอียดอื่นๆ ที่มาจาก http://en.wikipedia.org/wiki/String_theory

จากดินสู่ฟ้า : Hubble Space Telescope

สุวิชา วรรณวิเชียร¹

"I would rather be ashes than dust!

I would rather that my spark should burn out in a brilliant blaze than it should be

stifled by dry rot. I would rather be a superb meteor,

every atom of me in a magnificent glow, than a sleepy and permanent planet.

The proper function of man is to live, not to exist.

I shall not waste my days in trying to prolong them.

I shall use my time."

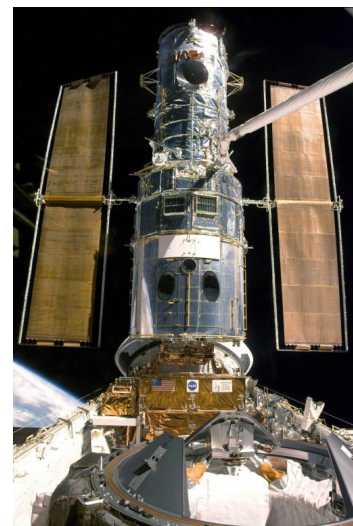
Jack London

รำลึกถึงลูกเรือกระสวยอวกาศโคลัมเบียที่เสียชีวิตในปี ค.ศ. 2003

บทรำลึกถึงลูกเรือกระสวยอวกาศโคลัมเบีย (Columbia space shuttle) นี้ นอกจากจะสะท้อนความเสียใจต่อชีวิตของเหล่านักบินผู้มีความสามารถแล้ว คำที่เน้นย้ำว่า "The proper function of man is to live, not to exist." ที่แปลอย่างง่ายๆ ได้ว่า "หน้าที่อันแท้จริงของมนุษย์ คือการใช้ชีวิต มิใช่แค่มีชีวิต" เป็นประโยคที่ก่อให้เกิดความชื่นชมต่อเหล่านักบินอวกาศทั้งหลาย ที่ได้เสี่ยงชีวิตเพื่อทำหน้าที่อันสำคัญต่อมวลมนุษยชาติ นั่นคือ การค้นหาคำตอบใหม่ๆ ที่ทำให้ "ตา" ของเราได้มองออกไปไกลในจักรวาลอันกว้างใหญ่ไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งหนึ่งในความพยายามนั้นคือ การส่งกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล (Hubble Space Telescope: HST) หนึ่งในสิ่งประดิษฐ์สำคัญที่นักวิทยาศาสตร์และนักดาราศาสตร์ได้ร่วมมือกันสร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาวัตถุที่อยู่ภายนอกโลก กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลได้ออกไปโคจรรอบโลกได้สำเร็จในวันที่ 24 เมษายน ค.ศ. 1990 (รูปที่ 1) โดยที่ชื่อของกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลได้ถูกตั้งขึ้นตามชื่อของนักดาราศาสตร์เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) ผู้ค้นพบกาแล็กซีและการขยายตัวของจักรวาล

ก่อนที่จะส่งกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลได้ออกไปทำการสำรวจที่ท่าคุณประโยชน์อันใหญ่หลวงต่อเหล่านักวิจัยนั้น

กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลก็ได้ออกเดินทางขึ้นตอนการสร้างและการส่งขึ้นไปในอวกาศอันขุ่ยยาก ภายใต้การสนับสนุนของสถาบันวิจัยด้านอวกาศของประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ องค์การนาซ่า (National Aeronautics and Space Administration: NASA)



รูปที่ 1 กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล ขณะที่ถูกส่งออกไปในอวกาศได้สำเร็จ ด้านล่างคือกระสวยอวกาศดิสคอฟเวอรี (Discovery Space Shuttle) [1]

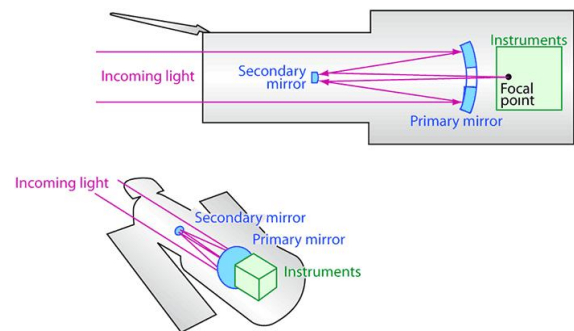
¹อาจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การที่จะได้รับการอนุมัติให้สร้างยานอวกาศขึ้นมานั้น ขั้นตอนสำคัญคือการนำเสนอโครงการวิจัยต่อสถาบันวิจัยที่ยุ่งยาก และมีการแข่งขันสูงมากสำหรับนักวิทยาศาสตร์ ผู้เขียนได้มีโอกาสเห็นตัวอย่างที่น่าเหลือใจเหล่านั้น และขอชื่นชมความพยายามต่อสู้ของเพื่อนนักวิจัย ที่ร่วมแรงร่วมใจให้มีการสร้างกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลขึ้นมา เมื่อโครงการวิจัยของกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลได้รับการอนุมัติ เงินงบประมาณที่ได้ถูกนำไปใช้ในด้านต่างๆ ทั้งในด้านวิศวกรรมการออกแบบ การทำสัญญาจ้างกับบริษัทก่อสร้าง ที่ส่วนใหญ่จะทำงานมาแล้วกับนาซา เป็นเวลานาน (แม้บางครั้งอาจเปลี่ยนชื่อไปบ้าง) และยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงไม่น้อยแต่น้อยคนนักที่รู้จักกัน คือ ค่าแรงในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล ส่วนของกฎหมายและการเงินการบัญชีทั้งหลาย

กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ กล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง (Reflection Telescope) แบบแคสเกรน (Cassegrain) ดังแสดงในรูปที่ 2 ถึงแม้กระจกหลักของกล้องฮับเบิลจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 2.4 เมตร ซึ่งไม่มากนักเมื่อเทียบกับกล้องโทรทรรศน์บนโลกบางตัว แต่ขอบเขตการมองเห็นเหนือชั้นบรรยากาศของโลกที่ความสูง 569 กิโลเมตร ทำให้กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลมีความสามารถมองเห็นแสงในช่วงความถี่ต่างๆ มากขึ้น เช่น อัลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา และรังสีเอกซ์ (ซึ่งเป็นช่วงความถี่เดียวกับที่ชั้นบรรยากาศดูดซับ) ความถี่ในช่วงดังกล่าวเป็นช่วงที่สำคัญในการศึกษาดวงดาว กาแล็กซี หลุมดำ และแสงเหนือแสงใต้บนดาวเคราะห์วงนอก [2, 3] นอกจากนี้ การส่งกล้องโทรทรรศน์ออกไปศึกษานอกโลก ยังเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นบรรยากาศของโลก อันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการกระพริบของแสงดาว

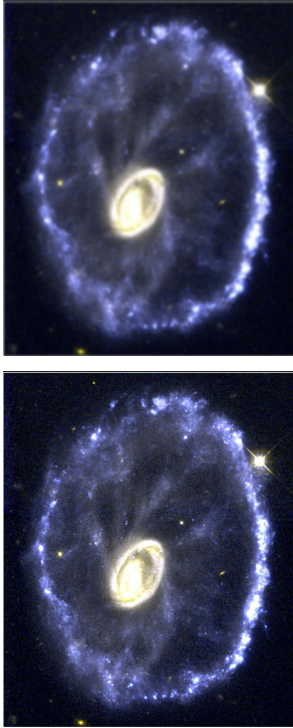
แสงที่ได้รับจากกล้องโทรทรรศน์จะถูกส่งต่อไปยังเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ อีกมากมายขึ้นอยู่กับความถี่ของแสงและลักษณะของข้อมูลที่น่าสนใจจะศึกษา อุปกรณ์ที่สำคัญ คือ แผ่นกรองแสง (Filter) และ แผงรับสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ตั้งแต่ช่วงความถี่ย่านอินฟราเรด (Infrared) แสงที่มองเห็นได้ (Visible) อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีเอกซ์ (X-rays) ไปจนถึงรังสีแกมมา (Gamma Rays) ซึ่งข้อมูลภาพที่กล้องของยานอวกาศฮับเบิลได้ถ่ายไว้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์โดยเครื่องมือ ซีซีดี (CCD: Charge Coupled Device) ที่แปลงความ

สว่างของวัตถุให้เป็นข้อมูลในลักษณะตัวเลขอันเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ ในเบื้องลึกต่อไป



รูปที่ 2 ภาพร่างของโครงสร้างกล้องโทรทรรศน์แบบแคสเกรน (Cassegrain) ที่ติดตั้งภายในกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล โดยที่กระจกหลัก (Primary Mirror) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร [2]

ไม่ใช่เรื่องแปลกที่ภาพถ่ายแรกของกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล จะได้รับความสนใจอย่างมาก อย่างไรก็ตามความผิดพลาดที่พบได้ในกล้องโทรทรรศน์ต่างๆ ไปที่เรียกว่า ความไม่คมชัดแบบทรงกลม (Spherical Aberration) ได้เกิดขึ้นกับกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล ทำให้ภาพถ่ายแรกของกล้องขาดความคมชัด ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการสร้างผิวกระจกของกล้องโทรทรรศน์ที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากการออกแบบเพียงเล็กน้อยในหน่วยของไมโครเมตร อันเป็นสาเหตุให้แสงที่สะท้อนในส่วนต่างๆ ของกระจกไปโฟกัสในตำแหน่งต่างๆ กัน ซึ่งการแก้ไขสามารถทำได้โดยการส่งยานอวกาศ (Service Mission) นำนักบินอวกาศไปติดตั้งชุดกระจกที่สะท้อนแสงให้กลับไปโฟกัสในตำแหน่งที่เหมาะสม การแก้ไขดังกล่าวทำให้ภาพถ่ายในเวลาต่อมามีความคมชัดอย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ภาพถ่ายของกาแล็กซีวงล้อ (Cartwheel Galaxy หรือชื่ออย่างเป็นทางการว่า ESO 350-40) ถ่ายโดยกล้องโทรทรรศน์บนกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล ก่อน (บน) และ หลัง (ล่าง) การแก้ไขความไม่คมชัดแบบทรงกลม (Spherical Aberration) ของกระจกหลักบนกล้องโทรทรรศน์ [1]

ตลอดระยะเวลาสองทศวรรษที่ผ่านมา ผลการสำรวจที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลทำให้เกิดความรู้ใหม่ๆ ของจักรวาลและระบบสุริยะของเราอย่างมากมาย ดังเช่นการค้นพบที่สร้างความแปลกใจต่อนักวิทยาศาสตร์อย่างมากคือ การค้นพบอายุของจักรวาล ที่มีมากถึง 13.75 พันล้านปี [4] มากกว่าค่าที่คาดการณ์ไว้ก่อนการสำรวจโดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลถึงสองเท่า การค้นพบดังกล่าวเกิดจากการศึกษาเรดชิฟ (z : Red Shift) [5, 6] ของแสงจากกาแล็กซีที่อยู่ห่างไกล อันเป็นผลมาจากการปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect) ของแสงและการประยุกต์ใช้ กฎของฮับเบิล (Hubble's Law)

$$v = z \times c = d \times H_0 \quad (1)$$

กฎของฮับเบิล อธิบายความเร็วในการถอยห่างของกาแล็กซีจากผู้สังเกต (v : km/s) ที่เป็นผลมาจากการขยายตัวของจักรวาล มีค่าแปรตามระยะทาง (d : Mpc) ด้วยค่าคงที่ฮับเบิล (H_0 : s⁻¹Mpc⁻¹) เมื่อหน่วยของระยะทางเป็นพาร์เซก (pc : parsec

โดย 1 พาร์เซก มีค่าเท่ากับ 3.262 ปีแสง) ในขณะที่ c คือความเร็วแสง (3×10^8 m/s) และ z คือค่าเรดชิฟของแสงจากกาแล็กซี โดยที่แสงจากกาแล็กซีที่มีค่า $z=1$ จะมีความสัมพันธ์กับแสงจากกาแล็กซีเมื่อ 7 พันล้านปีที่แล้ว อันเป็นผลมาจากการเดินทางของแสงจากระยะทางที่ห่างไกล ทำให้สิ่งที่เรามองเห็นเป็นภาพจากอดีตที่นานมาก (Look-Back Time)

กฎของฮับเบิลนั้นเป็นองค์ความรู้ส่วนหนึ่งในทฤษฎีจักรวาลวิทยา (Cosmology) ที่เหมาะสมในกรณีที่มีค่าเรดชิฟน้อยกว่า 1 มากๆ ส่วนในกรณีที่มีค่าเรดชิฟสูงๆ การคำนวณหาระยะทางในทางดาราศาสตร์จะถูกรับายด้วยสมการที่ซับซ้อนขึ้น [7]

$$d_A(z) = \frac{1}{(H_0/c)} z + \frac{1}{2} \frac{(q_0 - 3)}{(H_0/c)} z^2 + \dots \quad (2)$$

โดยที่ตัวแปร q_0 (Deceleration Parameter) เป็นปริมาณปัจจุบันนั้นคือ $q_0 \equiv q_0(t_0)$ [8]

อายุของจักรวาลเมื่อย้อนกลับไปได้ตั้งแต่การเกิดปรากฏการณ์บิกแบง (Big Bang) ที่เป็จุดกำเนิดของทุกสิ่งนั้น ประมาณได้จากส่วนกลับของค่าคงที่ฮับเบิล หรือที่เรียกว่า เวลาฮับเบิล (Hubble Time) [6] นั่นคือ

$$t_H \equiv \frac{1}{H_0} = 9.78 \times 10^9 h^{-1} \text{ ปี} \quad (3)$$

ตัวแปร h นั้น วิเคราะห์ได้จากข้อมูลการสังเกตการณ์ซึ่งมีค่าประมาณ 0.5 - 1 การค้นพบอายุของจักรวาลโดยการศึกษาเรดชิฟโดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล ได้ค่า 13.75 พันล้านปีประมาณได้ว่าสัมพันธ์กับค่า $h = 0.71$ ในขณะที่มีการคำนวณเวลา t ที่มองย้อนกลับไปด้วยละเอียด จะต้องคำนึงถึงค่า เรดชิฟ [8]

$$t_0 - t = H_0^{-1} z - H_0^{-1} (1 + \frac{1}{2} q_0) z^2 + \dots \quad (4)$$

การค้นพบที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของจักรวาล [5, 6] โดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล คือการมีบทบาทสำคัญในการค้นพบ พลังงานมืด (Dark Energy) ซึ่งเป็นปริมาณที่เดิมทีเป็นเพียงค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ค่าคงที่ทางจักรวาลวิทยา (Λ : Cosmological constant) ที่ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้เสนอไว้ ดังที่จะเห็นได้ในสมการฟรีดแมนและเลแม็ต (Friedmann-Lemaître equation) [8]

$$\left[\left(\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{8}{3} \pi G \rho - \frac{1}{3} \Lambda c^2 \right] R^2 = -kc^2 \quad (5)$$

ซึ่งเป็นสมการที่อธิบายการขยายตัวของจักรวาล โดยที่ตัวแปร $R(t)$ หรือ ตัวประกอบมาตราส่วน (Scale factor) เป็นตัวแปรที่สัมพันธ์กับระยะทางในระบบพิกัดของจักรวาลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องด้วยการขยายตัวของจักรวาล

ค่าคงที่ต่างๆ คือ ความเร็วแสง (c) ค่าคงที่ความโน้มถ่วง (G : Gravitational constant) ส่วนความหนาแน่นพลังงาน ρ มี 3 ชนิดหลัก คือ (ก) Radiation, (ข) Matter หรือ Dust, (ค) Vacuum energy หรือ Dark energy [8]

ส่วนค่าคงที่ k เป็นตัวแปรที่อธิบายการขยายตัวของจักรวาล ($k > 0$ เมื่อจักรวาลเป็นแบบปิดที่การขยายตัวจะมีวันหยุดและมีการย้อนกลับ $k < 0$ เมื่อจักรวาลเป็นแบบเปิดที่ขยายตัวอย่างไม่สิ้นสุด ส่วนกรณีที่ $k = 0$ จักรวาลเป็นแบบแบน การขยายตัวจะลดลงเรื่อยๆ และจะหยุดในที่สุด เมื่อเวลานันต์ $t \rightarrow \infty$) ซึ่ง k มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นพลังงาน ρ และค่าคงที่ฮับเบิล H_0

$$k = \frac{1}{c^2} \left(\frac{8}{3} \pi G \rho - H_0^2 \right) \quad (6)$$

และสำหรับค่า $h = 0.71$ ที่วัดได้จากการสังเกตการณ์ จะให้ค่า $k = -5.69 \times 10^{-57}$ สนับสนุนทฤษฎีการขยายตัวของจักรวาล (อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า การที่ k มีค่าน้อยเข้าสู่ศูนย์ แสดงว่าจักรวาลมีการขยายตัวที่ใกล้เคียงกับแบบแบน ซึ่งไม่ว่า $k = 0$ แบบแบน หรือ $k < 0$ แบบเปิด จักรวาลก็จะมีการขยายตัว)

หนึ่งในการค้นพบที่เสนอการมีอยู่จริงของพลังงานมืด มาจากการสำรวจแสงที่ปลดปล่อยออกมาจากการระเบิดของดาวในช่วงอายุสุดท้าย (Supernova) ชนิด 1a [9, 10] ที่มีอัตราการกระจายตัวของความสว่างที่ไม่สม่ำเสมอ อันเป็นหลักฐานหนึ่งที่สนับสนุนการขยายตัวของจักรวาลด้วยอัตราเร่ง นอกจากนี้การยืนยันเพิ่มเติมของการมีอยู่จริงของพลังงานมืดก็ได้มาจากการศึกษาด้านอื่นๆ ด้วย เช่น รังสีไมโครเวฟพื้นหลังของจักรวาล (Cosmic microwave background) และเลนส์ของแรงโน้มถ่วง (Gravitational lensing)

ด้วยโครงสร้างความโน้มถ่วงของจักรวาล จากข้อมูลสังเกตการณ์ [6] สัดส่วนของสสารในจักรวาลนั้น มีเพียง 30% ของมวลทั้งหมด อันประกอบไปด้วยดวงดาว และจักรวาลที่เราสำรวจได้ ที่ถือเป็นสัดส่วนเพียง 4% เท่านั้น ส่วนมวลที่มองไม่เห็น (Dark matter) ถือสัดส่วน 22% ในขณะที่พลังงานมืดทั้งหมดในจักรวาล มีค่าเทียบเท่ากับมวลที่คาดว่าจะมีสัดส่วนถึง 74% ของมวลทั้งหมด และเป็นปริมาณที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ตามบริเวณที่ว่างเปล่า สนับสนุนแนวความคิดของการขยายตัวของจักรวาลที่มีความเร่ง

นอกจากการค้นพบอายุที่ยาวนานอย่างไม่คาดคิดของจักรวาลและการมีอยู่จริงของพลังงานมืด การสำรวจด้วยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลตลอดระยะเวลากว่าสี่สิบปี ได้ส่งเสริมให้เกิงานวิจัยในด้านอื่นๆ อีกมากมาย ผลงานตีพิมพ์นับเป็นหมื่นๆ ฉบับ เป็นผลที่ได้ที่มีความสำคัญยิ่งต่อการมองต่อไปในอนาคตของเรา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชาญกิจ คันฉ่อง สำหรับคำแนะนำ ในการเรียบเรียงบทความนี้ ให้มีความถูกต้อง และอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.nasa.gov>
- [2] <http://hubblesite.org>
- [3] Clarke J T, et al. *Nature*, 415, 997-1000, 2002.
- [4] <http://www.space.com>
- [5] <http://science.nasa.gov>
- [6] Carroll B W, and D A Ostlie, *An introduction to modern astrophysics*, Addison-Wesley publishing company, INC., pp1221-1264, 1996.
- [7] Hungston L P, K P Tod. *An Introduction to General Relativity*, Cambridge, 167-168, 1990.
- [8] Hobson M P, G P Efstathiou, A N Lasenby. *General Relativity; An Introduction for Physicists*, Cambridge, 2006.
- [9] Riess A G, et al., *Astrophysical Journal*, 116, 1009-38, 1998.
- [10] Perlmutter S, et al., *Astrophysical Journal*, 517, 565-86, 1999.

กว่าจะมาเป็นโครงการ “1st CERN School Thailand 2010”

นฤมล สุวรรณจันทร์¹

เมื่อครั้งที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้เสด็จพระราชดำเนินเยือนเชิร์น (The European Organization for Nuclear Research: CERN) ณ ประเทศสมาพันธรัฐสวิส เป็นครั้งที่ 3 เมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2552 นั้น ได้มีการลงนามในเอกสารแสดงเจตจำนงที่จะมีความร่วมมือกัน (Expression of Interest: EOI) ระหว่างสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) และเชิร์น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสวงหาความร่วมมือในการส่งนักศึกษาและครูไทยไปร่วมโครงการภาคฤดูร้อนที่เชิร์น รวมทั้งสนับสนุนให้นักฟิสิกส์จากประเทศไทยเข้าร่วมทำงานวิจัยในโครงการของเชิร์น



ในการนี้ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงมีพระราชประสงค์ให้นักศึกษา และครูฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาจากประเทศไทยเข้าร่วมโครงการ CERN Summer

Student Program และ CERN Physics High School Teacher Program ซึ่งจะจัดในช่วงภาคฤดูร้อนของทุกปี เพื่อพัฒนาความรู้และเปิดโอกาสให้นักศึกษาและครูไทย ได้เข้าร่วมกิจกรรมวิชาการกับนักศึกษา ครู และนักฟิสิกส์ที่มีชื่อเสียงจากทั่วโลก ต่อมาสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) จึงได้ร่วมกับสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา จัดทำโครงการคัดเลือกนักศึกษา และครูสอนฟิสิกส์ เพื่อเข้าร่วมโปรแกรมภาคฤดูร้อนที่เชิร์น เพื่อคัดเลือกนักศึกษาและครูสอนฟิสิกส์ที่มีศักยภาพและคุณสมบัติเหมาะสมในขั้นต้น แล้วนำความขึ้นกราบบังคมทูลสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อทรงคัดเลือกนักศึกษา 2 คน และครูสอนฟิสิกส์ 2 คน ในขั้นตอนสุดท้าย ให้เป็นตัวแทนประเทศไทยไปเข้าร่วมกิจกรรมดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ผู้ที่ได้รับการคัดเลือกได้มีโอกาสเรียนรู้ และเพิ่มขีดความสามารถทางด้านฟิสิกส์อนุภาค เพื่อช่วยส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของบุคลากรไทยในสาขานี้อย่างมีคุณภาพต่อไปในอนาคต

เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของบุคลากรในสาขาฟิสิกส์อนุภาคนี้ โครงการ 1st CERN School Thailand 2010 (CST2010) จึงได้เกิดขึ้น โดยจัดขึ้นเป็นครั้งแรกระหว่างวันที่ 4-13 ตุลาคม 2553 ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีลักษณะเป็นการบรรยายทางวิชาการด้านฟิสิกส์อนุภาคโดยได้รับความร่วมมือจากนักวิจัยที่เชิร์นและคณาจารย์ไทยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และงานวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคให้กับนิสิต/นักศึกษาในประเทศไทย เพื่อเปิดโอกาสและเตรียมความพร้อมให้กับนิสิต/นักศึกษาไทย ให้ได้รับและเพิ่มพูนความรู้/ความเข้าใจในงานด้านฟิสิกส์อนุภาคพลังงานสูงทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ

¹อาจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิจกรรมของโครงการ “1st CERN School Thailand 2010”

กิจกรรมในโครงการนี้แบ่งเป็น ช่วง Pre-school 3 วัน พิธีเปิด 1 วัน และช่วง School 6 วัน

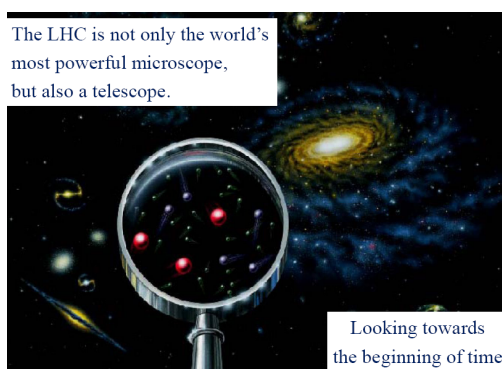
ช่วง Pre-school ระหว่างวันที่ 4-6 ตุลาคม 2553 เป็นการบรรยายภาษาไทยโดยคณาจารย์ในประเทศ (จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) เพื่อเตรียมความพร้อมของนิสิต/นักศึกษา ในหัวข้อเกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาค เครื่องเร่งอนุภาค รวมถึงการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องตรวจวัดอนุภาค ดังนี้

1. อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) บรรยายในหัวข้อ “Quantum Field Theory for Particle Physics I”
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถกฤต นัตรฤติ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) บรรยายในหัวข้อ “Quantum Field Theory for Particle Physics II”
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินรัตน์ กอบเดช (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) บรรยายในหัวข้อ “High Energy Particle Physics: Standard Model”
4. อาจารย์ ดร. ปิยนุตร บุรีคำ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) บรรยายในหัวข้อ “High Energy Particle Physics: Beyond Standard Model”
5. อาจารย์ ดร. นรินทร์ อัสวพิภพ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) บรรยายในหัวข้อ “Introduction to Experimental Particle Physics”
6. นายธนพัทธ์ ศรีมโนภาย (นิสิตปริญญาเอก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) บรรยายในหัวข้อ “Introduction to Monte Carlo for Particle Physics Study”

พิธีเปิดอย่างเป็นทางการ ในเช้าวันที่ 7 ตุลาคม 2553 โดยได้รับเกียรติจาก ดร.วิระชัย วีระเมธีกุล รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานในพิธีเปิด โดยมี ศ.นพ.ภิรมย์ กมลรัตนกุล อธิการบดี จุฬาฯ และ ศ.ดร.สุพจน์ หารหนองบัว คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ กล่าวต้อนรับและกล่าวรายงาน ตามลำดับ

จากนั้น Professor Dr. Emmanuel Tsismelis (Head of the CERN Directorate Office) ได้บรรยายพิเศษในหัวข้อ “CERN

& The Large Hadron Collider: Shedding Light on the Dark Universe” ซึ่งกล่าวถึงเป้าหมายของเซิร์นที่มีความร่วมมือกับนักวิจัยทั่วโลก มีการฝึกฝนนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรเพื่อการทำงานต่อไปในอนาคต และมีการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ เกี่ยวกับเครื่องเร่งอนุภาค (Accelerator) และเครื่องตรวจวัดอนุภาค (Detector) สำหรับเครื่องเร่งอนุภาค LHC (The Large Hadron Collider) นี้ เป็นเครื่องมือที่ศึกษาอนุภาคขนาดเล็กมากๆ ในระดับควาร์กซึ่งเทียบได้กับกล้องจุลทรรศน์ ขณะเดียวกันก็ยังเป็นเสมือนกล้องโทรทรรศน์ที่ศึกษาจักรวาลที่กว้างใหญ่ได้ นั่นคือการศึกษา Big Bang นั่นเอง

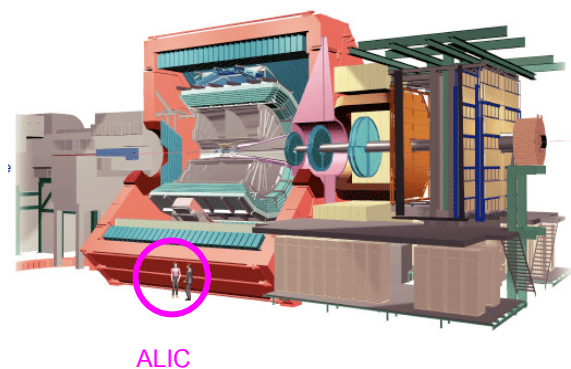
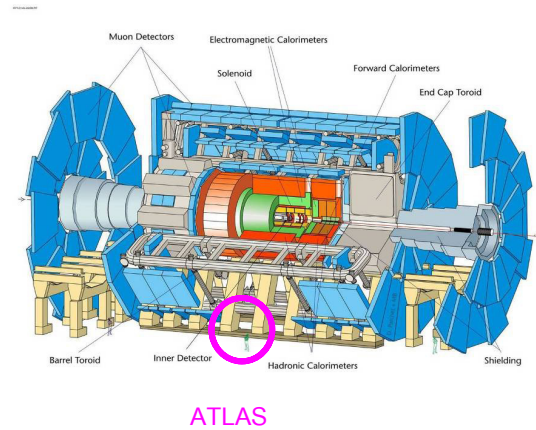
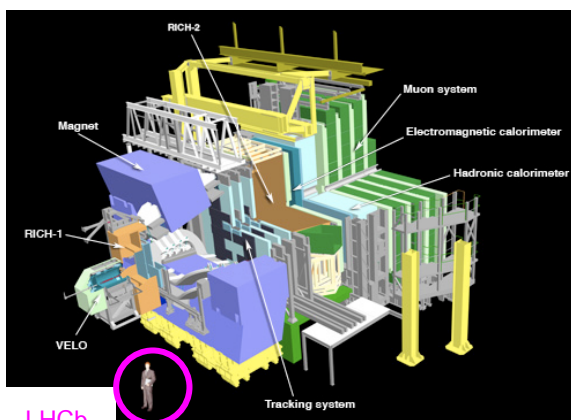
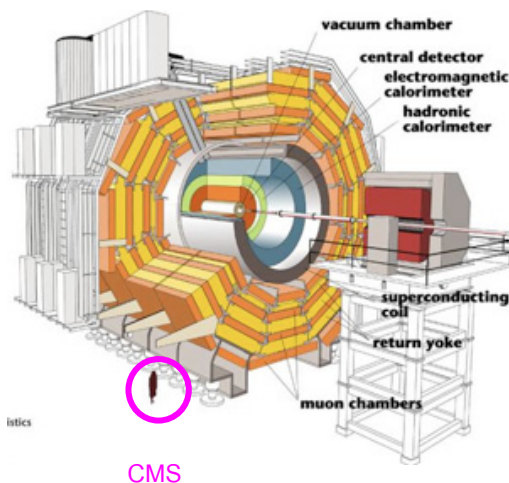


Professor Tsismelis ยังกล่าวอีกว่า เซิร์นก่อตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1954 โดยมีสมาชิกในยุโรป 12 ประเทศ ปัจจุบันมีสมาชิกอย่างเป็นทางการในยุโรป 20 ประเทศ และกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับประเทศไทยนั้นยังไม่ได้เป็นสมาชิกอย่างเป็นทางการ แต่ก็มีความร่วมมือในลักษณะของ Sandwich Program ซึ่งขณะนี้มนิสิตระดับปริญญาเอกจากประเทศไทยศึกษาและทำวิจัยอยู่ นอกจากนี้ การที่สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ได้เสด็จเยือนเซิร์นหลายครั้ง ยังผลให้เกิดความร่วมมือระหว่างประเทศไทยและเซิร์น หน่วยงานที่มีความร่วมมือขณะนี้คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน และในปีนี้เป็นปีแรกที่ประเทศไทยส่งครูระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 2 คน และนิสิต/นักศึกษา 2 คน เข้าร่วมโครงการ CERN Physics High School Teacher Program และ CERN Summer Student Program

สิ่งที่ได้จากการพัฒนาเทคโนโลยีที่เซิร์นนั้น ไม่เพียงแต่จะได้ความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์อนุภาคเท่านั้น แต่ยังมีเทคโนโลยีด้านอื่นๆ อีกมาก เช่น การสร้างภาพทางการแพทย์ (Medical Imaging)

ระบบคอมพิวเตอร์กริด (Grid Computing) แม้กระทั่ง World Wide Web ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันก็ถือกำเนิดมาจากเซิร์นเช่นกัน

ต่อจากนั้น Professor Dr. Albert De Roeck (Deputy spokesman for the CMS experiment) บรรยายในหัวข้อ “Experiments and Physics at the Large Hadron Collider (LHC): The Big Bang Machine” โดยกล่าวถึงอนุภาคและแรงมูลฐานในธรรมชาติ เอกภพและการระเบิดครั้งใหญ่ เครื่องเร่งอนุภาค LHC ซึ่งเร่งอนุภาคโปรตอนที่มีพลังงาน 3.5 TeV และวิ่งสวนทางกันให้มาชนกัน ทำให้มีพลังงานสูงถึง 7 TeV และยังกล่าวถึงการทดลองต่างๆ ของเครื่องเร่ง LHC ได้แก่ ATLAS, CMS (Compact Muon Solenoid), ALICE (A Large Ion Collider Experiment) และ LHCb (Large Hadron Collider beauty) จะเห็นว่าส่วนต่างๆ ของเครื่องเร่งมีขนาดใหญ่มาก (ภาพจากเอกสารประกอบการบรรยายของ Prof. De Roeck สังเกตที่วงกลมไว้คือ คน)

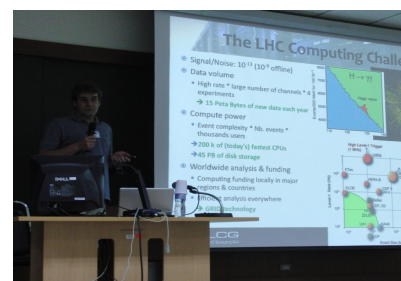
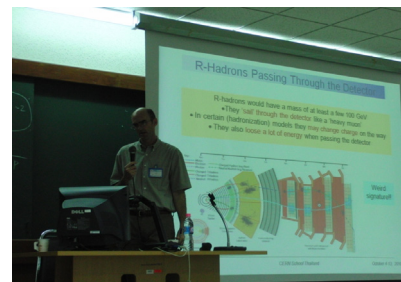
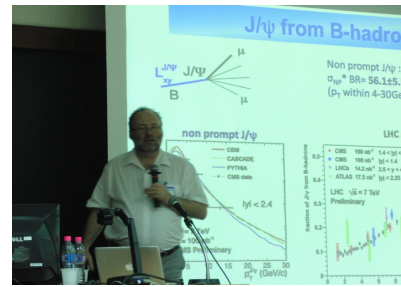
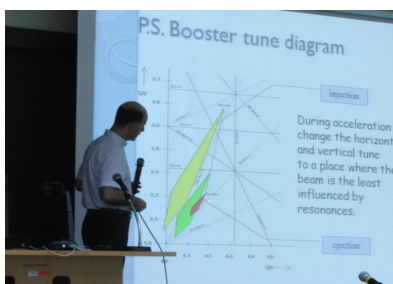


นอกจากนั้น ยังกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองที่เรียกว่า Events ที่จะนำไปสู่การค้นหอนุภาคฮิกส์ (Higgs) และความรู้อันใหม่เกี่ยวกับ Beyond Standard Model และ Extra Dimension

จากนั้น มีการเสวนากับครูฟิสิกส์ 2 คน คือครูพิมพ์พร ผาพรม และครูสุพัตรา ทองเนื้อห้ำ และนักศึกษา 2 คน คือนายอภิมุข วัชรางกูร และนายฐาปกรณ์ ภู่อำพงษ์ ที่ได้รับคัดเลือกให้ไปร่วม CERN Physics High School Teacher Program และ CERN Summer Student Program ที่ผ่านมา โดยกล่าวถึงประสบการณ์ที่ได้รับจากการเข้าร่วมโปรแกรมทั้งสอง และในช่วงบ่ายเป็นการปรึกษาหารือกันถึงความร่วมมือระหว่างเซิร์นและองค์กรต่างๆ ในประเทศไทยในอนาคต

ช่วง School เป็นการบรรยายภาษาอังกฤษจากนักวิจัยเซิร์น และคณาจารย์ไทย ระหว่างวันที่ 8-13 ตุลาคม 2553 ในหัวข้อต่อไปนี้

1. Professor Dr. Emmanuel Tsesmelis บรรยายในหัวข้อ “CERN and Accelerators” ซึ่งกล่าวถึงเซิร์นในภาพรวมและเครื่องเร่งอนุภาคทั้งหมดที่มีอยู่ที่เซิร์น
2. Professor Dr. Albert De Roeck บรรยายในหัวข้อ “Large Hadron Collider Detector” โดยกล่าวถึงองค์ประกอบและการทำงานของเครื่องตรวจวัด LHC
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิโนรัตน์ กอบเดช (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) บรรยายในหัวข้อ “High Energy Particle Physics (HEP): Heavy Ion Physics” กล่าวถึงตัวอย่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องเร่งอนุภาค
4. อาจารย์ ดร. บุรินทร์ กำจัดภัย (มหาวิทยาลัยนเรศวร) บรรยายเรื่อง “Cosmology” เพื่อให้ความรู้พื้นฐานด้านจักรวาลวิทยาที่จำเป็นต่องานวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคพลังงานสูง
5. Dr. Steven D. Worm, (Particle Physics Department, STFC, Rutherford Appleton Laboratory) บรรยายเรื่อง “Beyond Standard Model and Higgs Physics” เกี่ยวกับแบบจำลองพื้นฐาน การค้นหอนุภาคฮิกส์ และ Supersymmetry (SUSY)
6. Dr. Lucia Silvestris (CMS Offline Coordinator) บรรยายเรื่อง “Software and Analysis within CMS, Compact Muon Solenoid” โดยเน้นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของ CMS การเก็บบันทึกข้อมูลจำนวนมหาศาล รวมทั้งการจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในเครื่องตรวจวัดอนุภาค
7. Dr. Dirk Duellmann (Deputy Leader of the data management group in CERN’s IT Department) บรรยายเกี่ยวกับ “Grid Computing in HEP” โดยกล่าวถึงที่มาของระบบคอมพิวเตอร์กริด เพื่อรองรับข้อมูลจำนวนมหาศาล และแบ่งปันข้อมูลนี้ในกลุ่มนักวิจัยจากที่ต่างๆ ทั่วโลก



วิทยากรจากเซิร์นบรรยายในช่วง School เรียงลำดับจากบนลงล่าง

1. Professor Dr. Emmanuel Tsesmelis
2. Professor Dr. Albert De Roeck
3. Dr. Lucia Silvestris
4. Dr. Steven D. Worm
5. Dr. Dirk Duellmann

วันที่ 13 ตุลาคม 2553 มีพิธีปิด โดย ศศ.ดร. ขจรยศ อยู่ดี หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ เป็นผู้กล่าวปิดงาน และมอบเกียรติบัตรให้แก่ผู้เข้ารับการอบรมจำนวน 28 คน จากจำนวนผู้เข้ารับการอบรมทั้งสิ้น 46 คน จาก 10 สถาบันการศึกษาในไทย และ 3 สถาบันการศึกษาในต่างประเทศ

โครงการ “1st CERN School Thailand 2010” นี้ นับเป็นก้าวแรกของความร่วมมือในงานวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค ระหว่างนักวิจัยในประเทศไทยกับนักวิจัยที่เชิร์น โดยได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) (สดร.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสำคัญของการศึกษาฟิสิกส์อนุภาคในประเทศไทย

ดร.บุรินทร์ อัสวพิภพ หัวหน้าโครงการ CST2010 กล่าวว่า นักฟิสิกส์อนุภาคในประเทศไทยขณะนี้มียุ่่น้อยมาก จึงจัดโครงการนี้ขึ้น เพื่อกระตุ้นความสนใจแก่นิสิต/นักศึกษา เพื่อการรวมตัวกันของนักฟิสิกส์ที่มีความรู้และประสบการณ์

ด้านฟิสิกส์อนุภาค และเพื่อแสดงให้เห็นว่าเราสามารถทำงานด้านนี้ได้โดยไม่ต้องมีเครื่องเร่งอนุภาค โดยเราสามารถวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับเชิร์นได้ และคาดว่าจะจัดโครงการในลักษณะนี้แบบปีเว้นปี เพื่อกระตุ้นให้นิสิต/นักศึกษาเห็นความสำคัญของงานวิจัยด้านนี้

ปัจจุบันภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์อนุภาค ซึ่งมีงานวิจัยทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงการทดลอง เชิงทฤษฎี ศึกษาเกี่ยวกับ String Theory และ Supersymmetry เชิงการทดลอง ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติและพฤติกรรมของ Supersymmetric particles โดยร่วมมือกับ The CMS Collaboration, CERN งานวิจัยในเชิงการทดลองจะเน้นการจำลองเครื่องตรวจวัดอนุภาคเพื่อการพัฒนาและปรับปรุง และการวิเคราะห์ข้อมูลผลการทดลองเพื่อศึกษาฟิสิกส์ของอนุภาคที่พลังงานระดับเทระอิเล็กตรอนโวลต์

ข้อมูลอ้างอิง

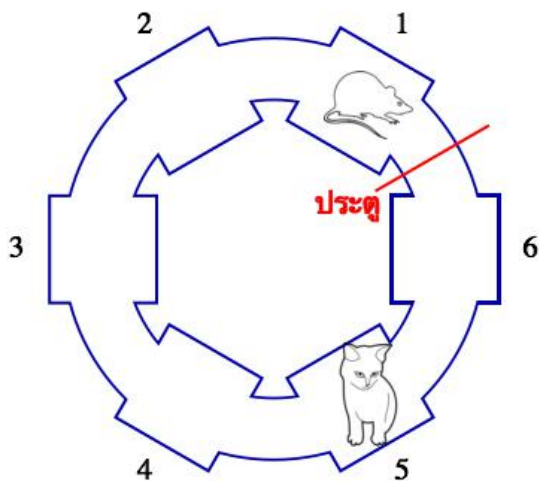
- [1] <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHCExperiments-en.html>
- [2] <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=92209>



เรื่องของหนูกับแมว

สุรเชษฐ์ หลิมกำเนิด¹

มีอยู่วันหนึ่งในขณะที่ผู้เขียนค้นหาอะไรเรื่อยเปื่อยบนอินเทอร์เน็ต ผู้เขียนได้ไปพบกับบทความที่น่าสนใจอยู่เรื่องหนึ่ง [1] ที่กล่าวถึงการคำนวณอายุเฉลี่ยของหนูที่หนีการไล่ล่าของแมว ปัญหาที่มีอยู่ว่า “แมวตามบอดตัวหนึ่งวิ่งไล่หนูตามบอดอีกตัวหนึ่งอยู่ภายในกับดักที่มีลักษณะเป็นห้องจำนวน L ห้องเชื่อมกัน หากแมวและหนูใช้เวลาในการวิ่งจากห้องหนึ่งไปยังอีกห้องเท่ากันคือ 1 ห้อง/ก้าว หนูจะมีชีวิตรอดได้นานเท่าใดก่อนถูกแมวจับกิน” เพื่อให้การคำนวณมีความเป็นไปได้ เราจึงควรตกลงกันก่อนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของทั้งแมวและหนู โดยพิจารณาภาพที่ 1 ประกอบไปด้วยครับ



ภาพที่ 1 กับดักแมวกับหนู ซึ่งมีจำนวนห้องทั้งหมด 6 ห้อง ($L = 6$)

1. ทั้งหนูและแมววิ่งอยู่ตลอดเวลา โดยมีความน่าจะเป็นในการวิ่งไปยังห้องทางซ้ายมือของตนเองเท่ากับที่จะวิ่งไปยังห้องทางขวามือ
2. แมวจะกินหนูทันทีที่อยู่ในห้องเดียวกัน
3. ไม่มีโอกาสที่แมวกับหนูจะเจอกันในบริเวณอื่นนอกจากภายในบริเวณห้องใดห้องหนึ่ง

ในตอนต้นเราจะพิจารณากรณีที่ประตูที่ขึ้นระหว่างห้อง

ที่ 1 และ L เปิดอยู่ก่อน จากนั้นจึงค่อยพิจารณากรณีที่ประตูปิดในภายหลัง

จากข้อตกลงที่ 3 ทำให้เราจำเป็นต้องปล่อยหนูและแมวในห้องสองห้องที่ผลรวมของเลขห้องเป็นจำนวนคู่ ไม่เช่นนั้นแมวกับหนูจะไม่สามารถเจอกันภายในห้องได้เลย จากภาพที่ 1 ซึ่งมีจำนวนห้องอยู่ทั้งหมด $L = 6$ จะเห็นว่า เราสามารถปล่อยแมวและหนูในห้องที่มีคู่ลำดับ (แมว, หนู) ดังนี้คือ (1,3), (1,5), (2,4), (2,6), (3,1), (3,5), (4,2), (4,6), (5,1), (5,3), (6,2), (6,4) โดยเราเลือกที่จะไม่ปล่อยสัตว์ทั้งคู่ในห้องเดียวกันตั้งแต่ต้นเพราะจะทำให้หนูโดนจับกินทันที สมมติว่าเราปล่อยแมวและหนูในห้อง (1,5) สัตว์ทั้งสองอาจจะวิ่งไปยังห้องต่าง ๆ ตามลำดับ (1,5) $\Rightarrow$ (2,4) $\Rightarrow$ (3,3) หรือ (1,5) $\Rightarrow$ (2,6) $\Rightarrow$ (3,5) $\Rightarrow$ (4,4) ก็ได้ เวลาที่หนูมีชีวิตรอดในทั้งสองกรณีที่ยกมานี้เป็น $n = 2$ และ $n = 3$ ก้าวตามลำดับ

ก่อนจะทำการคำนวณใด ๆ เราควรพิจารณาดูก่อนว่าเงื่อนไขเริ่มต้นแบบใดจะทำให้หนูอยู่รอดได้นานเท่า ๆ กันบ้าง: กำหนดให้ s แทนระยะห่างระหว่างห้องที่แมวและหนูอยู่ (หาได้จาก |เบอร์ห้องหนู - เบอร์ห้องแมว| ซึ่งค่านี้เป็นจำนวนคู่เสมอ)

1. หากปล่อย (แมว, หนู) ในห้อง (a,b) หนูจะมีอายุเฉลี่ยในการอยู่รอดเท่ากับกรณีที่เราปล่อยในห้อง (b,a) (หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบมีสมมาตร $s \rightarrow -s$)
2. หากระยะห่างในตอนต้นระหว่างห้องที่แมวและหนูอยู่เท่ากัน อายุเฉลี่ยของหนูก็ต้องเท่ากันด้วย (ระบบมีสมมาตรการเคลื่อนที่ของ s)
3. อายุเฉลี่ยของหนูที่อยู่ห่างจากแมวเป็นระยะ s ในตอนต้นจะต้องเท่ากับอายุเฉลี่ยเมื่อระยะห่างตอนต้นเป็น $L - s$ เนื่องจากห้องต่าง ๆ เชื่อมต่อ

¹อาจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กันเป็นวงกลม (s มีสมมาตรการสะท้อนรอบตำแหน่ง L)

ข้อสังเกตเหล่านี้จะช่วยหนุนแรงเราได้อย่างมากในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับอายุของหนูต่อไป

เมทริกซ์ของความน่าจะเป็น

การคำนวณหาอายุเฉลี่ยของหนูทำได้หลายวิธีด้วยกัน ผู้เขียนจะขอยกตัวอย่างการแก้โจทย์ประเภทนี้โดยใช้สโตคาสติกส์เมทริกซ์ (Stochastic Matrix) แล้วกันครับ จากการพิจารณาสมมาตรที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าเราสามารถกำหนด ‘สถานะ (state)’ ของระบบได้ด้วย ‘ระยะห่างระหว่างแมวและหนู’ เท่านั้น กำหนดให้เมทริกซ์ T ขนาด $d \times d$ โดยที่ $d = 1/4(L + 3 + (-1)^{L/2})$ เป็นจำนวนสถานะทั้งหมดที่มีสมาชิกตัวที่ (i, j) ของเมทริกซ์ T (เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $T_{i,j}$) แทนค่าของ ความน่าจะเป็นที่ระยะห่างระหว่างแมวและหนูจะเป็น $2(j-1)$ หลังจากทั้งคู่เดิน 1 ก้าวหากตอนต้นทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2(i-1)$ ห้อง

การเคลื่อนที่ของแมวและหนูซึ่งต่างคนต่างเดิน 1 ก้าวทำให้เกิดวิธีการเคลื่อนที่ได้สี่อย่างเท่านั้น คือ

1. ทั้งคู่วิ่งไปยังห้องทางซ้ายของตน (ระยะห่างเท่าเดิม) ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$
2. ทั้งคู่วิ่งไปยังห้องทางขวาของตน (ระยะห่างเท่าเดิม) ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$
3. แมวและหนูวิ่งในทิศตรงข้ามกัน (ระยะห่างเพิ่มขึ้น 2 ห้อง) ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$
4. แมวและหนูวิ่งเข้าหากัน (ระยะห่างลดลง 2 ห้อง) ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$

เราสามารถนำทั้ง 4 กรณีนี้ในการกำหนดค่าของแต่ละสมาชิกของ $T_{i,j}$ ได้ดังนี้

- $T_{1,1} = 1$ (แมวอยู่กับหนูในห้องเดียวกัน หนูโดนจับกิน)

- $T_{i,j} = 1/2$ เมื่อ $i = j$ และทั้ง i และ j อยู่ในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง $d-1$ (ระยะห่างระหว่างแมวกับหนูคงเดิมหลังจาก 1 ก้าว)
- $T_{i,j} = 1/4$ เมื่อ $|i-j|=1$ และทั้ง i และ j อยู่ในช่วงตั้งแต่ 2 ถึง $d-1$ (ระยะห่างระหว่างแมวกับหนูเพิ่มขึ้นหรือลดลงหลังจาก 1 ก้าว)
- $T_{d,d-1} = T_{d,d} = 1/2$ เมื่อ $L/2$ เป็นจำนวนคู่ (ถ้าทั้งคู่อยู่ห่างกัน $L/2$ ห้องในตอนต้น โอกาสที่ทั้งคู่จะก้าวแล้วระยะห่างเท่าเดิมและระยะห่างลดลง 2 ห้องมีความน่าจะเป็นเท่ากัน)
- $T_{d,d-1} = 1/4$ และ $T_{d,d} = 3/4$ เมื่อ $L/2$ เป็นจำนวนคี่ (ถ้าทั้งคู่อยู่ห่างกัน $(L-2)/2$ ห้องในตอนต้น โอกาสที่ทั้งคู่จะก้าวแล้วระยะห่างเท่าเดิมทำได้ 3 วิธี ส่วนก้าวแล้วระยะห่างลดลงทำได้เพียงวิธีเดียว)
- นอกเหนือจากนี้ $T_{i,j} = 0$

สำหรับกรณีตัวอย่าง $L = 6$ เมทริกซ์มีสมาชิกทั้งหมดเป็น

$$T(L=6) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/4 & 3/4 \end{pmatrix}$$

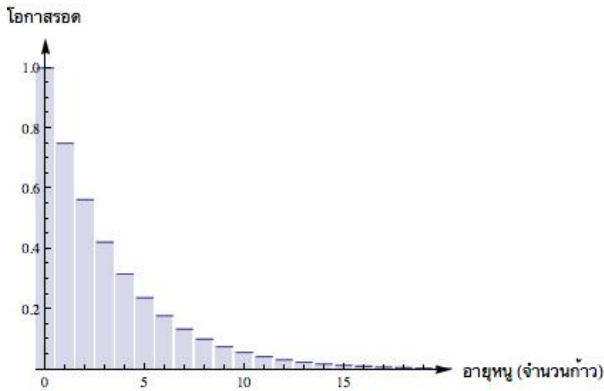
ถ้าเราต้องการคำนวณความน่าจะเป็นที่แมวและหนูจะอยู่ห่างกัน $2(j-1)$ ห้องหลังจาก 2 ก้าวหากตอนต้นทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2(i-1)$ ห้อง เมทริกซ์นี้หาได้จาก ผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดในการก้าว 1 ก้าวจากสถานะ i ไปยังสถานะชั่วคราว k คูณกับความน่าจะเป็นในการก้าวอีก 1 ก้าวจากสถานะ k ไปยัง j :

$$T_{i,j}(2\text{steps}) = \sum_k T_{i,k} T_{k,j}$$

ซึ่งก็คือสมาชิกของเมทริกซ์ T^2 นั่นเอง ในทำนองเดียวกันนี้ สมาชิก (i, j) ของเมทริกซ์ T^n แทนค่าความน่าจะเป็นที่แมวและหนูจะอยู่ห่างกัน $2(j-1)$ ห้องหลังจาก n ก้าวหากตอนต้นทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2(i-1)$ ห้อง

ภาพที่ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการอยู่รอดของหนูกับอายุของมัน (ในหน่วยของจำนวน

ก้าว) เมื่อปล่อยให้ทั้งสองอยู่ห่างกัน 2 ห้องในตอนต้น (ซึ่งก็คือความน่าจะเป็นที่แมวและหนูจะอยู่ห่างกัน 2 ห้องดั้งเดิมหลังจากผ่านไป n ก้าว)



ภาพที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสรอดชีวิตของหนูกับจำนวนก้าวที่เพิ่มขึ้น หากปล่อยให้หนูกับแมวอยู่ห่างกัน 2 ห้อง ในกับดักที่มีจำนวนห้องทั้งหมด 6 ห้อง

จะเห็นว่า โอกาสที่หนูจะมีชีวิตรอดลดลงอย่างรวดเร็วกับจำนวนก้าวที่เพิ่มขึ้นตามความสัมพันธ์

$$p_{\text{survive}}(n) = \left(\frac{3}{4}\right)^n$$

ผู้เขียนแนะนำให้ผู้อ่านลองคิดเป็นการบ้านดูว่า ค่า $p_{\text{survive}}(n)$ สำหรับ L ใดๆ คำนวณจากเมทริกซ์ T ได้อย่างไร

อายุเฉลี่ยของหนู

เราลองพิจารณาโครงสร้างของเมทริกซ์ T สำหรับกับดักที่มีจำนวนห้องเป็นจำนวนคู่ L ใดๆ

$$T(L) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \frac{1}{4} & & & \\ 0 & & & \\ \vdots & & & \\ 0 & & & \end{pmatrix} \quad T_{\text{sub}}$$

โดยที่

$$T_{\text{sub}}(L) = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ \vdots & \cdots & 0 & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & \frac{3+(-1)^{L/2}}{8} & \frac{5-(-1)^{L/2}}{8} \end{pmatrix}$$

เมทริกซ์ $T_{\text{sub}}(L)$ ขนาด $(d-1) \times (d-1)$ เป็นส่วนหนึ่งของ T สมาชิกของเมทริกซ์นี้แทนค่าความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนระยะระหว่างห้องของแมวกับหนูภายในหนึ่งก้าวโดยที่ทั้งคู่ไม่มีโอกาสเจอกันเลย (เนื่องจากเราได้แยกเอาความน่าจะเป็นในการที่แมวและหนูก้าวไปเจอกันเอาไว้ต่างหากแล้ว ซึ่งก็คือ $T_{2,1} = 1/4$) ดังนั้นความน่าจะเป็นในการที่แมวกับหนูซึ่งตอนต้นอยู่ห่างกัน $2i$ ห้อง จะห่างกัน $2j$ ห้องหลังจากแต่ละตัววิ่งไป n ก้าวโดยไม่พบกันเลย จึงสามารถคำนวณได้จาก $(T_{\text{sub}}^n)_{i,j}$

การหาอายุเฉลี่ยของหนูก่อนจะโดนจับกิน ทำได้ตามกระบวนการดังต่อไปนี้ [2]

1. หาค่าเฉลี่ยที่หนูและแมวอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องหลังจาก n ก้าวโดยทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2i$ ห้องในตอนต้น:

กำหนดให้ตัวแปร Z_n มีค่าได้สองค่า $Z_n = 1$ เมื่อแมวและหนูอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องภายใน n ก้าว และ $Z_n = 0$ สำหรับกรณีอื่น ๆ ที่เหลือ ดังนั้นค่าเฉลี่ยที่หนูและแมวอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องหลังจาก n ก้าว หาได้จาก

$$E[Z_n] = 1 \cdot P(Z_n = 1) + 0 \cdot P(Z_n = 0) = P(Z_n = 1)$$

โดยที่ $P(Z_n = 1)$ คือ ความน่าจะเป็นที่แมวและหนูจะอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องภายใน n ก้าว ซึ่งก็คือ $(T_{\text{sub}}^n)_{i,j}$ นั่นเอง ในที่นี้ $E[\cdot]$ เป็นสัญลักษณ์แทนค่าเฉลี่ยของปริมาณในวงเล็บ

2. หาจำนวนครั้งที่หนูและแมวอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องหากเริ่มต้นทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2i$ ห้อง:

เนื่องจากจำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่แมวกับหนูจะอยู่ห่างกัน $2j$ ห้องเขียนได้เป็น $\sum_{n=0}^{\infty} Z_n$ ดังนั้น จำนวนครั้งที่เฉลี่ยที่ทั้งคู่จะอยู่ห่างกัน $2j$ ห้อง คือ

$$E\left[\sum_{n=0}^{\infty} Z_n\right] = \sum_{n=0}^{\infty} E[Z_n] = \left(\sum_{n=0}^{\infty} T_{\text{sub}}^n\right)_{i,j}$$

สิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งก็คือ ผลบวกดังกล่าวหาค่าได้จริง และค่านี้หาได้ในลักษณะเดียวกันกับการหา

$1+x+x^2+\dots=1/(1-x)$ เมื่อ $|x|<1$ กล่าวคือ

$$E\left[\sum_{n=0}^{\infty} Z_n\right] = \left(\sum_{n=0}^{\infty} T_{\text{sub}}^n\right)_{i,j} = (I - T_{\text{sub}})_{i,j}^{-1}$$

โดยค่าของเมทริกซ์อินเวอร์สนี้รับรองว่าหาค่าได้

แน่นอน (Invertible) ในที่นี้เมทริกซ์ I แทนเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity Matrix)

3. หาอายุ(จำนวนก้าว)เฉลี่ยของหนูหากในตอนต้นทั้งคู่อยู่ห่างกัน $2i$ ห้อง:

เนื่องจากสมาชิกของเมทริกซ์ $(I - T_{\text{sub}})_{i,j}^{-1}$ แทนจำนวนครั้งที่เฉลี่ยที่สัตว์ทั้งสองอยู่ห่างกัน $2j$ ห้อง ดังนั้นผลรวม $\sum_{j=1}^{d-1} (I - T_{\text{sub}})_{i,j}^{-1}$ จึงเป็นค่าของจำนวนครั้งที่เฉลี่ยที่แมวและหนูอยู่ห่างกันก็ห้องก็ได้ และทุกครั้งที่สัตว์ทั้งสองเปลี่ยนตำแหน่ง จะต้องมีการก้าวเดินแน่นอน เราจึงสรุปได้ว่า ค่าดังกล่าวแทนจำนวนก้าวเฉลี่ยที่แมวจะวิ่งล่าหนูก่อนที่จะจับหนูกินได้นั่นเอง

กล่าวโดยสรุปได้ว่า หากปล่อยหนูและแมวไว้ห่างกัน $2i$ ห้องภายในกรงขังที่มีห้องทั้งหมด L โดยเฉลี่ยแล้วจำนวนก้าวที่หนูและแมวจะวิ่งได้ก่อนที่จะจับหนูกิน จำนวนจากสมาชิกตัวที่ i ของเวกเตอร์ $\vec{M}$ นิยามว่า

$$\vec{M} \equiv (I - T_{\text{sub}}(L))^{-1} \cdot \vec{e}$$

โดยที่ $\vec{e}$ แทนเวกเตอร์ที่มีสมาชิกเป็น 1 ล้วน หากผู้อ่านท่านใดมีเวลามากพออาจจะลองคำนวณดูว่าค่าของสมาชิกตัวนี้มีหน้าตาอย่างไร ดังนี้

$$M_i = i(L - 2i)$$

สำหรับกรณีตัวอย่าง $L = 6$ หนูสามารถวิ่งได้โดยเฉลี่ยเพียง 4 ก้าวก่อนโดนแมวจับกิน (i มีเพียงค่าเดียวคือ 2)

เมื่อประตูปิด

เมื่อเราปิดประตูที่เชื่อมระหว่างห้องที่ 1 กับ L ตามภาพที่ 1 ตัวเลขเพียงตัวเดียว (ระยะห่างระหว่างแมวกับหนู) ไม่เพียงพอในการใช้กำหนดสถานะของระบบแมว-หนูอีกต่อไป [3] เราจึงจำเป็นต้องบอกทั้งระยะห่างระหว่างแมวกับหนู (แทนด้วยตัวแปร s ซึ่งเป็นจำนวนคู่เสมอ) และ จำนวนห้องที่น้อยที่สุดที่คั่นระหว่างประตูถึงแมวหรือหนู (แทนด้วย p) จึงจะเพียงพอ อย่างไรก็ตามเราอาจจะใช้ตัวเลขคู่ชุดอื่น ๆ ก็ได้ เช่น ตำแหน่งของแมวและตำแหน่งของหนู แต่ตัวเลือกหลังนี้จะทำให้มีจำนวนสถานะมากเกินไปสำหรับคำถามที่เราสนใจ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ ชุดค่าลำดับแทนตำแหน่ง (แมว, หนู) หลายชุดแทนสถานะเดียวกันภายใต้การคำนวณหาอายุเฉลี่ยของหนู

สมมติข้อที่ 2 และ 3 สำหรับกรณีประตูเปิดไม่สามารถใช้ได้อีกต่อไปแต่สมมติข้อที่ 1 ยังใช้ได้อยู่ เราสามารถปรับข้อ 2 และ 3 เล็กน้อยเพื่อให้สอดคล้องกับกรณีใหม่นี้

2' หากระยะ s และ p เท่ากัน อายุเฉลี่ยของหนูก็ต้องเท่ากันด้วย

3' อายุเฉลี่ยของหนูที่ถูกปล่อยที่ระยะ p จะต้องเท่ากับอายุเฉลี่ยของหนูที่มีระยะ $L - p$ เนื่องจากระบบมีสมมาตรซ้าย-ขวารอบตำแหน่ง L

ในกรณี L ที่เป็นจำนวนคู่ใด ๆ เราสามารถคำนวณหาจำนวนสถานะ d ได้ตามความสัมพันธ์

$$d = \frac{L(L-2)}{8} + 1$$

โดยสถานะต่าง ๆ มีดังนี้

- $(s, p) = (0, *)$ สถานะที่แมวกินหนูในห้องใดห้องหนึ่ง
- $(s, p) = (2l, m)$ โดยที่ $1 \leq l \leq L/2 - 1$ และ $0 \leq m \leq L/2 - 1 - l$

ตัวอย่างเช่น $L = 6$ ค่าของ (s, p) ที่เป็นไปได้ คือ $(0, *)$, $(2, 0)$, $(2, 1)$ และ $(4, 0)$ ตามลำดับ และเราสามารถเขียนความน่าจะเป็นใน

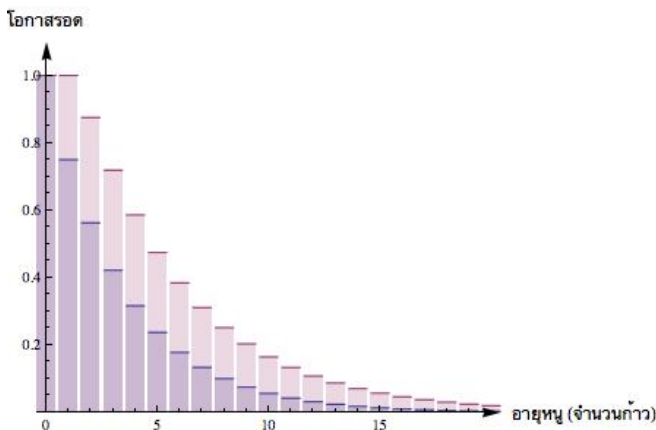
การเปลี่ยนสถานะของแมวและหนูในรูปของเมทริกซ์ได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณีประตูเปิดเช่นเดียวกัน ผู้อ่านสามารถตรวจสอบดูได้ว่าการเคลื่อนที่ทั้งหมดแบ่งออกได้เป็นสองกรณีดังนี้

- กรณี $b = 0$ สภาวะ $(a, 0)$ สามารถเคลื่อนไปยัง $(a - 2, 1)$, $(a, \min(1, L - (a + 2)))$ ด้วยความน่าจะเป็น $1/2$
- กรณี $b > 0$ สภาวะ (a, b) สามารถเคลื่อนไปยัง $(a - 2, b + 1)$, $(a, b - 1)$, $(a, \min(b + 1, L - (a + b + 2)))$, $(a + 2, b - 1)$ ด้วยความน่าจะเป็น $1/4$

ยกตัวอย่างเช่น กรณี $L = 6$ เมทริกซ์ T มีหน้าตาตามนี้

$$\begin{matrix}
 & (0, *) & (2, 0) & (2, 1) & (4, 0) \\
 \begin{matrix} (0, *) \\ (2, 0) \\ (2, 1) \\ (4, 0) \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \end{pmatrix}
 \end{matrix}$$

ผู้เขียนละให้ผู้อ่านที่สนใจทดลองเขียนความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกของเมทริกซ์ T สำหรับกรณี L ใด ๆ ด้วยตนเอง [4]



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสรอดชีวิตของหนูกับจำนวนก๊าวที่เพิ่มขึ้นในกรณีปิดประตู (กราฟสูง) เทียบกับในกรณีเปิดประตู (กราฟต่ำ) หากปล่อยหนูกับแมวในห้องหมายเลข 1 และ 5 ในตอนต้น

กราฟในภาพที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบโอกาสการรอดชีวิตของหนูหากปล่อยในห้องหมายเลข 1 ในขณะที่แมวอยู่ในห้องหมายเลข 5 ระหว่างการเปิดประตูทั้งห้องที่ 1 และ 6 ทั้งไว้ (กราฟที่อยู่ต่ำกว่า) และการปิดประตู (กราฟที่อยู่สูงกว่า) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า สำหรับกรณีนี้การเปิดประตูสร้างโอกาสให้แมววิ่ง (แบบสุ่ม) ไปจับหนูได้ง่ายกว่าการปิดประตู แม้ว่าหนูจะมีทิศทางในการวิ่งหนีแมวแบบสุ่มมากกว่าด้วยก็ตาม [5]

กระบวนการคำนวณหาอายุเฉลี่ยของหนูสามารถทำได้ในลักษณะเดียวกันกับกรณีการเปิดประตูทั้งไว้ ผลที่ได้ขึ้นอยู่กับเราปล่อยแมวและหนูอยู่ที่ห้องคูใดในตอนต้น โดยหนูในสภาวะต้นเป็น $(2, 0)$, $(2, 1)$ และ $(4, 0)$ มีอายุเฉลี่ยเป็น $8/3$, $20/3$ และ $16/3$ ก๊าวตามลำดับ หากโอกาสที่เราปล่อยแมวและหนูในสภาวะต้นทั้งสามเท่า ๆ กัน จะได้ค่าเฉลี่ยสำหรับจำนวนห้อง $L = 6$ เป็น $44/9$ ก๊าว เทียบกับ 4 ก๊าวสำหรับกรณีประตูเปิด และค่าอายุเฉลี่ยสำหรับจำนวนห้อง $L = 8, 10, 12, 14$ มีค่าเป็น $776/87$, $12686/901$, $27462722/1348395$, $3359477704/120933015$ ตามลำดับ

อายุเฉลี่ยของหนูสำหรับ L ทั่วไปไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันทางพีชคณิตได้ โดยค่าเฉลี่ยโตขึ้นโดยประมาณเป็นพหุนามกำลังสองตามสมการ

$$M_{\text{closed}}(L) \approx 0.141L^2 + 0.051L - 0.484$$

เทียบกับ

$$M_{\text{open}}(L) = \frac{1}{12}L^2 + \frac{1}{6}L$$

ของกรณีเปิดประตู

ทิ้งท้าย

เกมส์แมวล่าหนูที่ผู้เขียนได้เสนอในบทความนี้เป็นตัวอย่างของการเดินสุ่ม (Random Walk) ที่มีตัวเดิน (Walkers) อยู่สองตัว ในโจทย์ห้องเปิดประตู เราพบว่าระยะห่างระหว่างตัวเดินทั้งสองเปลี่ยนแปลงไปแบบสุ่ม ซึ่งสามารถมองได้ว่าระยะห่างของตัวเดินแบบสุ่มก็เป็นการเดินแบบสุ่มด้วยเหมือนกัน เพียงแต่ว่าระยะของก๊าวเป็น 2 เท่าของจากเดิมและตัวเดินสามารถย้ายอยู่กับที่ได้ ทำให้ปัญหาตัวเดินสองตัวลดลงเหลือเพียงแค่ตัวเดียว แต่พอเราปิดประตู ระบบไม่มีสมมาตรของการเคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งห้องอีกต่อไป จึงจำเป็นต้องเก็บตำแหน่งของตัวเดินทั้งสองเอาไว้

(ในที่นี้ผู้เขียนเลือกกระยะห่างระหว่างห้องทั้งสองและจำนวนห้องที่กั้นตัวใดตัวหนึ่งกับประตู) หากเราเลือกตัวแปรได้เหมาะสมเพื่อจัดการกับสมมาตรทั้งหมดแล้ว ค่าของเวกเตอร์อายุเฉลี่ย $\vec{M} \equiv (I - T_{\text{sub}}(L))^{-1} \cdot \vec{e}$ จะมีสมาชิกที่ไม่ซ้ำกันเลย

การเคลื่อนที่ของทั้งแมวและหนูที่ผู้เขียนนำเสนอไปนี้เป็นแบบหนึ่งมิติ กล่าวคือ ทิศทางการวิ่งของทั้งคู่เป็นไปได้แค่ซ้ายหรือขวาเท่านั้น คำถามที่น่าสนใจและน่าค้นคว้าต่อไปก็คือ หากเราปล่อยหนูและแมวในกรงที่อนุญาตให้สัตว์ทั้งคู่วิ่งได้ในสองมิติ (เช่น ห้องสี่เหลี่ยมเชื่อมต่อกันและมีสี่ประตู) โอกาสรอดชีวิตของหนูจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร หนูยังคงมีอายุเฉลี่ยแปรผันกับ L^2 อยู่หรือไม่ และหากเราเพิ่มจำนวนห้องจน $L \rightarrow \infty$ แต่ยังคงปล่อยเจ้าสองตัวนี้ในระยะห่างที่ไม่เป็นอนันต์ หนูจะสามารถหนี (แบบสุ่ม) ได้ตลอดไปเลยไหม ยิ่งงี้ก็ฝากผู้อ่านเอาไว้ให้คิดกันเล่น ๆ ก่อนนะครับ ถ้ามีเวลาวางผู้เขียนจะลองทดสอบเลขเอามาฝากกันอีก

เอกสารอ้างอิง

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_matrix
- [2] ผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสือเกี่ยวกับ Stochastic Processes ทั่ว ๆ ไป เช่น
 - G. R. Grimmett and D. R. Stirzaker, *Probability and Random Processes* (Oxford University Press, New York, 1992), 2nd ed.
 - C. D. Meyer, *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra* (SIAM, Philadelphia, 2000).
 - S. M. Ross, *Stochastic Processes*, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics (John Wiley & Sons, Inc., 1996), 2nd ed.
- [3] ผู้อ่านสามารถเทียบเคียงปัญหาแมวกับหนูนี้กับระบบทางฟิสิกส์อื่น ๆ ได้ เช่น ระบบของอะตอมไฮโดรเจน หากไม่มีอันตรกิริยาจากภายนอกเช่น สนามไฟฟ้าหรือ สนามแม่เหล็กไปกระทำกับอะตอม ระบบจะมีสมมาตรมากและเราสามารถใส่เลขควอนตัมเพียงตัวเดียวในการจำแนกสถานะ เช่น ระดับชั้นพลังงานของอะตอม หากมีสนามต่าง ๆ เข้าไป

ทำลายสมมาตรบางส่วน ระดับชั้นพลังงานจะแยกออก และเราต้องเพิ่มจำนวนเลขควอนตัมขึ้นตามสมมาตรที่หายไป

- [4] ในการเขียนเมทริกซ์ T และ T_{sub} เราจำเป็นต้องเรียงสภาวะให้ถูกลำดับ สำหรับ T_{sub} ผู้เขียนได้เรียงสภาวะ (s, p) ตามความสัมพันธ์

$$(s, p) = (2l, m)$$

โดยที่ $1 \leq l \leq L/2 - 1$ และ $0 \leq m \leq L/2 - 1 - l$

ซึ่งตัวแปร m เป็นตัวแปรที่วิ่งก่อน (m เปลี่ยนค่าจาก $0 \leq m \leq L/2 - 1 - l$ แล้ว l จึงเพิ่มค่าครั้งหนึ่ง) อย่างไรก็ตามเราอาจใช้ตัวแปรตัวเดียวแทนคู่ลำดับ (s, p) ของสถานะได้ผ่านการส่ง (Mapping):

$$i \rightarrow (s(i), p(i)) = \left(L - 2f(i), \frac{f(i)(f(i)+1)}{2} + \frac{L(L-2)}{8} + i - 1 \right)$$

โดยค่าของ i อยู่ในช่วง $1 \leq i \leq d - 1$ และ

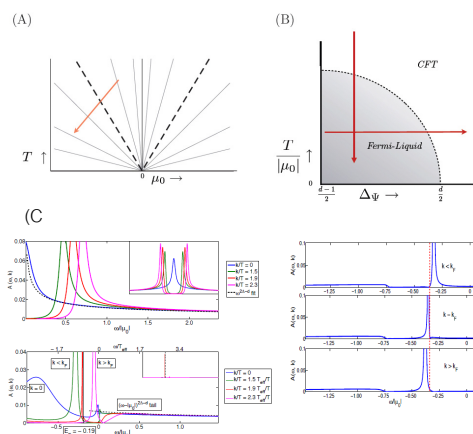
$$f(i) = \left\lfloor \frac{1 + \sqrt{(L-1)^2 - 8i}}{2} \right\rfloor \quad \text{และเครื่องหมาย } \lfloor x \rfloor$$

แทนค่าของ x ที่ปัดจุดทศนิยมทิ้งไป (Floor Function)

- [5] ผู้อ่านที่มีเวลาเหลือเพื่อลองทดสอบเลขดูนะครับว่า โอกาสรอดชีวิตของหนูในกรณีนี้เป็นไปตามสมการ

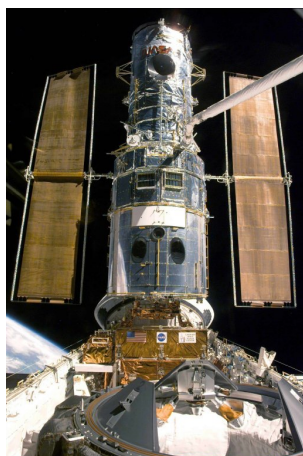
$$p_{\text{survive}}(n) = \frac{4^{-n} (15970 - 7142\sqrt{5} + (521\sqrt{5} - 1165)(1 + \sqrt{5})^n + (24476\sqrt{5} - 54730)(1 - \sqrt{5})^n)}{5(3571\sqrt{5} - 7985)}$$

รูปประกอบจากบทความ “String Theory Never Dies
เมื่อทฤษฎีสตริงพบกับฟิสิกส์สารควบแน่น” หน้า 11 – 15

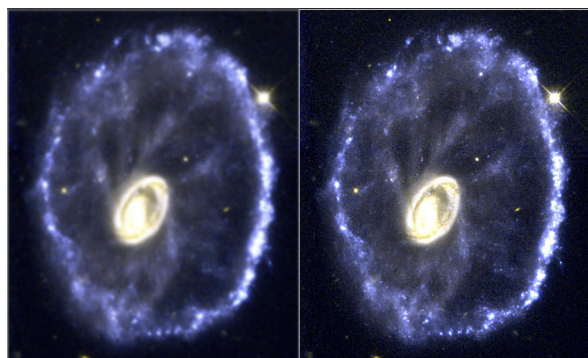


รูปที่ 4

รูปประกอบจากบทความ “จากดินสู่ฟ้า : Hubble Space
Telescope” หน้า 16 – 19

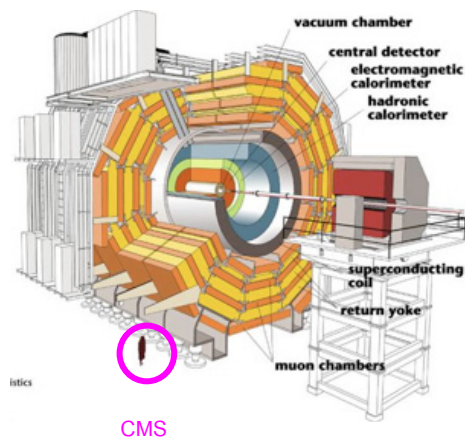


รูปที่ 1

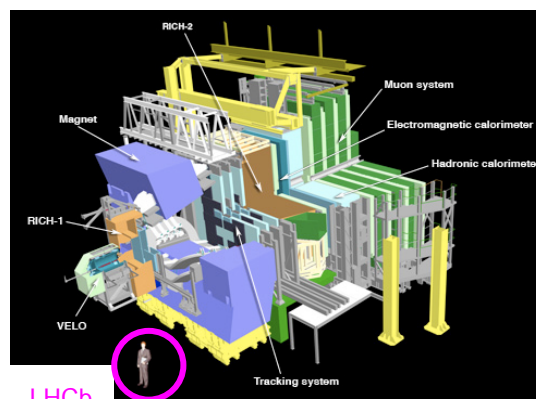


รูปที่ 3

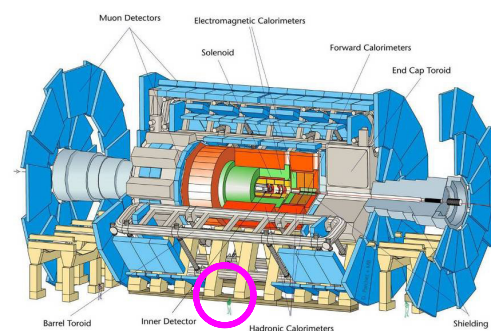
รูปประกอบจากบทความ “กว่าจะมาเป็นโครงการ 1st
CERN School Thailand 2010” หน้า 20 – 24



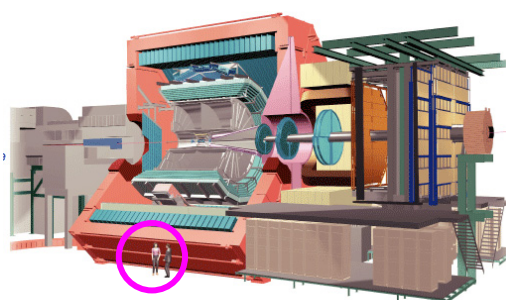
CMS



LHCb



ATLAS

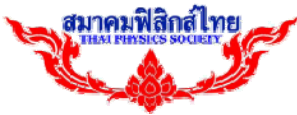
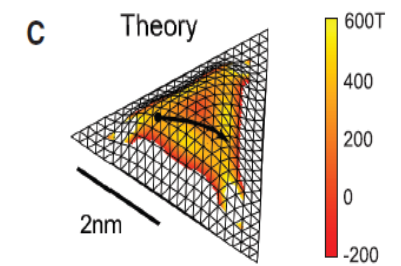
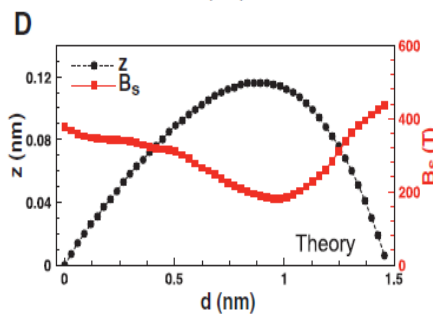
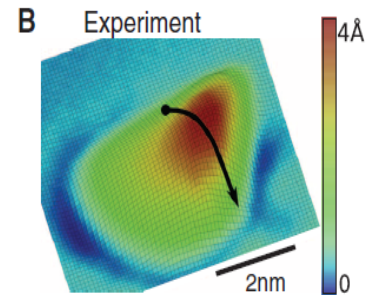
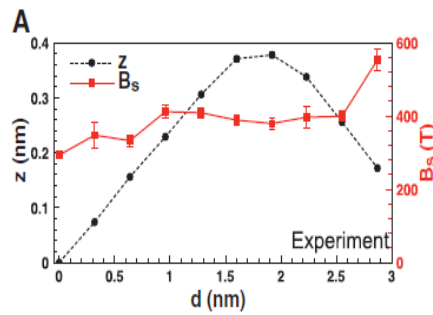
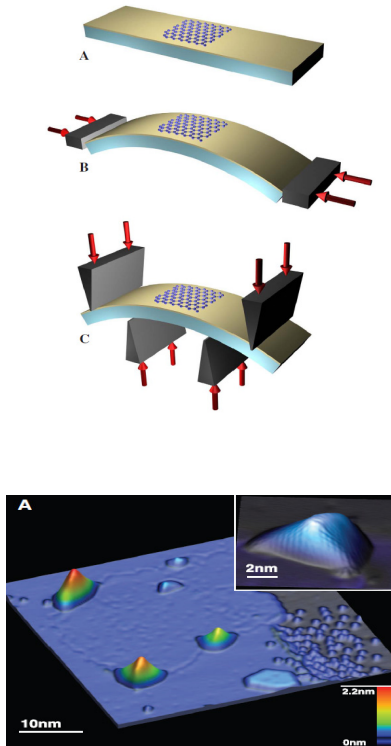


ALICE

แกรฟีนก้าวไปอีกขั้น

เมื่อคุณสมบัติเชิงกลและไฟฟ้าถูกประสานเข้าด้วยกัน

(ดูรายละเอียดภายในเล่ม)



สมาคมฟิสิกส์ไทย

อาคารสุรพัฒน์ 3 ถนนมหาวิทยาลัย

ต. สุรนารี อ. เมือง

จ. นครราชสีมา 30000

ตู้ ปณ. 93 ปณจ. นครราชสีมา 30000

THAI PHYSICS SOCIETY

Surapat 3 Building, University Avenue

Tambon Suranaree, Muang District

Nakhon Ratchasima 30000

P.O. Box 93 Nakhon Ratchasima 30000

ชำระค่าฝากส่งเป็นรายเดือน

ใบอนุญาตเลขที่ 187/2552

ปท.จ. นครราชสีมา

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืนสมาคมฟิสิกส์ไทย