



พลเอกทรงพระเจริญยิ่งยืนนาน

Nobel Prize in Physics 2007

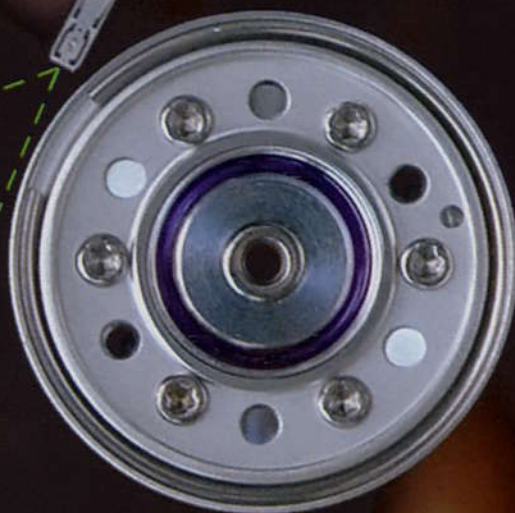
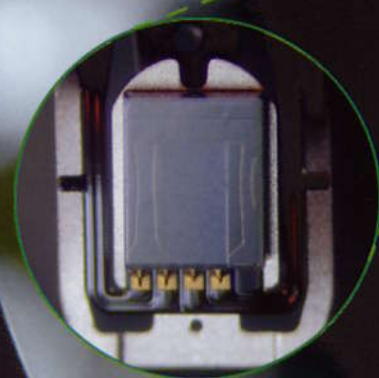
GMR



Peter Gruenberg



Albert Fert



Thai Journal of Physics

วารสาร

ฟิสิกส์ไทย

วารสารสำหรับผู้ที่ยรักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์

ISSN 0857-1449

ปีที่ 24 ฉบับที่ 4 : ธันวาคม 2550 - กุมภาพันธ์ 2551

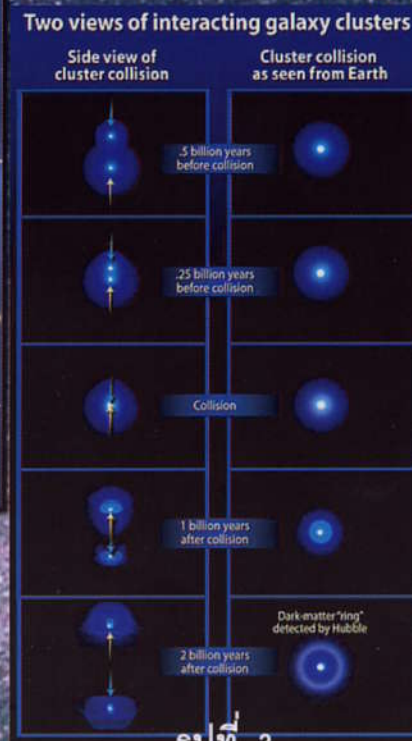


insaiou (Dresden)

อ่านรายละเอียดที่หน้า 29



รูปที่ 1
RING OF DARK MATTER



รูปที่ 3

Source : hubblesite.org



รูปที่ 2
GALAXY CLUSTER
ZwCl 0024+1652

สารบัญ

สวัสดิ์

3: สวัสดิ์

4: สรุปข่าว

7: เรื่องเด่นประจำฉบับ : รางวัลโนเบลฟิสิกส์ 2550
(GMR)

12: ฟิสิกส์ของวัสดุ : Diamondoid

16: ฟิสิกส์ของวัสดุ : ตัวนำยิ่งยวด (3)

20: กางตำราฟิสิกส์ : เข้าใจคณิตศาสตร์แบบนักฟิสิกส์

25: ประสบการณ์ฟิสิกส์ : สัมผัสหิมะแรกที่ฟินแลนด์

29: ประสบการณ์ฟิสิกส์ : เดรสเดน



กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ให้การสนับสนุน
ในการจัดพิมพ์วารสารฉบับนี้

พวกเราชาวฟิสิกส์ภูมิใจเสมอที่จะบอกใครๆว่าฟิสิกส์ คือ วิชาการที่มีส่วนอย่างมากที่ทำให้โลกเจริญมาได้จนเป็นอย่างที่เห็น วันนี้แทบทุกบ้านมีคอมพิวเตอร์วางอยู่บนโต๊ะ หลายบ้านมีมากกว่า 1 เครื่อง แทบทุกคนพกโทรศัพท์อันเล็กระหว่างติดตัว อีกหลายคนยังแถมพก iPod ด้วย เก็บเพลงได้เป็นหมื่น รางวัลโนเบลฟิสิกส์ปี 2007 นี้ ทำให้เห็นคุณค่าของฟิสิกส์ในสิ่งใกล้ตัวที่ต่อ ยอดและบูรณาการกันแบบครบวงจร ทั้งสามสิ่งดังกล่าวที่มนุษย์ทั่วโลกกำลังสนุกกับมันมากจะเกิดขึ้นไม่ได้เลย ถ้าไม่เริ่มจากการประดิษฐ์ทรานซิสเตอร์สำเร็จเมื่อปี ค.ศ. 1947 จากนั้นสมองของ 3 นักฟิสิกส์ คือ Bardeen, Brattain และ Shockley (ทั้ง 3 คนได้รับรางวัลโนเบลฟิสิกส์เพราะผลงานนี้ในปี ค.ศ. 1956) อุปกรณ์ทั้ง 3 ดังกล่าวนั้น คงมีราคาถูกและมีขนาดเล็กไม่ได้ขนาดนี้ทั้งๆที่มีประสิทธิภาพสูงมาก ถ้าไม่ได้รับอานิสงส์จากการประดิษฐ์ Integrated Circuit (IC) สำเร็จในอีก 11 ปีถัดมาโดย Kilby และ Noyce (จากผลงานนี้ทำให้ Kilby ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 2000 โดย Noyce ไม่ได้ด้วยเพราะได้เสียชีวิตไปก่อนแล้ว

(ต่อที่หน้า 4)

พบกันใหม่ฉบับหน้า : มีนาคม 2551

กองบรรณาธิการ ชาญกิจ คันฉ่อง, พรรณัน วัฒนกลวิษฐ์, ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร, รัตติกร ยิ้มนิรัญ, ศิรามาศ โกมลจินดา, สมชาย เกียรติภมิลชัย, สุภาพ ชูพันธ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมศรี สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลชาญ อนันตสมบุญ, มานิต รุจิโรดม ฝ่ายภาพและออกแบบปก มิณทร์ เมธีสุวกุล, ราเชนทร์ เจริญบุญกุล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา โอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยพิมพ์เอกสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 2,000 เล่ม

ติดต่อกองบรรณาธิการ วารสารฟิสิกส์ไทย สมาคมฟิสิกส์ไทย ตู้ปณ.217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202 โทรศัพท์ : 053-942464, 943379 โทรสาร: 053-222776 วารสารฟิสิกส์ไทย เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระ-ข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในมวลหมู่สมาชิกและผู้สนใจในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้าง ที่สร้างสรรค์ โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

Website = <http://thps.org> ผู้ดูแล : จตุพร สายสุด ติดต่อ : info@thps.org

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2550-2552 ที่ปรึกษาฯ: วิจารณ์ ดันตราภรณ์, รศ.ดร.จิตร เล็งหะพันธ์, ศ.ดร.วิรุพห์ สายคณิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน, ผศ.ดร.วชิรพันธ์ ปรัชญพฤทธิ, ศ.ดร. ทวี ตันมศิริ นายกสมาคมฯ ศ. เกียรติคุณ ดร. ถิรพัฒน์ วิไลทอง อุปนายก รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ เลขานุการ ดร.คุญฉี สุวรรณขจร รองเลขานุการ ผศ.ดร.รัฐชาติ มงคลนาวัน เจริญบุญ ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวัชรณ บุญญวรรณ ประธานสัมพันธ์ ดร.บัญชา ธนบุญสมบัติ บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมศรี สิงขรัตน์ ปฎิคม ผศ.รังนา ชินพิทักษ์ กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ (ผศ.ศิลปชัย บุรณพานิช), รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวรรณานาย, รศ.ดร.วิระพงษ์ แผลสุวรรณ, รศ.ดร.พิบูล วณิชชาชาติ, ผศ.ดร. ขจรยศ อยู่ดี, ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง, ผศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล, คุณสุธี เพชรราชู, ศ.ดร.ชูกิจ ลิ้มปิงานังค์, รศ.ดร.ณสรณ์ ผลโลก, ผศ.ดร.สันติ แม้นศิริ, ผศ.ดร.ธนากร โอสถาจันทร์, ผศ.นิรันดร์ วิฑิตอนันต์, ผศ.ศิวาพร สหวัฒน์, ดร.พรเทพ นิสามณีพงษ์, คุณอัญจรา เจริญสุข

สรุปข่าว

ตัวละคร (ต่อจากหน้า 3)

ในปี ค.ศ. 1990 Noyce ซึ่งเป็นนักฟิสิกส์ ยังเป็นหนึ่งในผู้ก่อตั้งบริษัท Intel ผู้ผลิตไมโครโปรเซสเซอร์รายสำคัญดังที่รู้จักกันดี)

และเมื่อเราก้าวเข้าสู่ยุค IT และโลกไร้พรมแดน (เซอร์ Berners-Lee ผู้สร้างระบบ World Wide Web ขึ้นเป็นครั้งแรก เมื่อปี ค.ศ. 1991 ก็มีพื้นเพเป็นชาวฟิสิกส์) มนุษย์ก็มีข้อมูลให้บันทึกมากขึ้นๆ แต่อยากเก็บรักษาไว้ใช้งานในอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กลงๆ แล้วรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ปีนั้นก็มอบให้นายกเทศมนตรีว่า “อย่าห่วงเลย นักฟิสิกส์ Fert กับ Gruenberg ได้แผ้วถางทางไว้ให้แล้วเช่นกัน” ทำให้ด้วยวิธีการใด เชิญเปิดเข้าไปอ่านข้างในได้เลยครับ

โลกอาจจะรอดจากการถูกเขมือบ

อีกประมาณห้าพันล้านปี ดวงอาทิตย์จะใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนไปจนหมดและจะขยายตัวกลายเป็นดาวยักษ์แดง (red giant star) ที่มีขนาดเพิ่มขึ้นมากกว่าขนาดเริ่มต้นประมาณพันเท่าก่อนที่จะหดตัวในภายหลังกลายเป็นดาวแคระขาว (white dwarf) ซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถทำนายได้อย่างแน่ชัดว่าโลกจะถูกเขมือบเข้าไปในช่วงการพองขยายตัวของดวงอาทิตย์เป็นดาวยักษ์แดงหรือไม่ อย่างไรก็ตาม เมื่อเรารู้ว่ามีทีมนักวิจัยนานาชาติพบดาวเคราะห์ในระบบสุริยะหนึ่งที่ห่างไกลออกไป ซึ่งมีวงโคจรของดาวเคราะห์รอบดาวฤกษ์ของตัวระบบสุริยะนั้นมีขนาดใกล้เคียงกับระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์และสามารถรอดพ้นจากการขยายตัวของดาวฤกษ์ในช่วงวิวัฒนาการเป็นดาวยักษ์แดงได้

โดยทั่วไป ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์กำลังกลายสภาพเป็นดาวยักษ์แดง จะมีการสูญเสียมวลไปเรื่อยๆซึ่งมีผลกระทบต่่วงโคจรของดาวเคราะห์บริวารที่โคจรรอบๆ ทำให้เป็นการยากที่จะทำนายว่าจะเกิดอะไรขึ้นกับดาวเคราะห์เหล่านั้นบ้าง สำหรับระบบสุริยะของเรา นักวิทยาศาสตร์คาดว่าดาวพุธและดาวศุกร์จะถูกกลืนขณะที่ผิวดวงอาทิตย์ขยายตัวออก **แต่สิ่งที่ไม่คาดคิดกับโลกยังคงไม่แน่ชัด**

จากการสังเกตศึกษาโดย Roberto Silvotti จากหอสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ที่ Capodimonte ในเมืองเนเปิลส์ ประเทศอิตาลี รวมทั้งคณะวิจัยทั่วโลกทั้งจากยุโรป สหรัฐอเมริกา อิสราเอล และได้หวั่น ได้เสนอว่า ดาวเคราะห์บริวารที่มีวงโคจรห่างจากดาวฤกษ์ประมาณสองเท่าของระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลก (คือประมาณ 2 AU) จะสามารถรอดพ้นวิกฤตการณ์

ดาวยักษ์แดงได้พวกเขาได้ข้อสมมติฐานนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากดาวฤกษ์ดวงหนึ่งในกลุ่มดาวเพกาซัส คือ V 391 Pegasi ซึ่งเป็นดาวฤกษ์ที่กลายสภาพเป็นดาวยักษ์แดงเมื่อ 100 ล้านปีที่ผ่านมา และมีการเปลี่ยนแปลงนอกที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนที่หลงเหลืออยู่ออกจนในปัจจุบันมีสภาพเป็นดาวแคระชนิดสเปกตรัม B ซึ่งขณะนี้ V 391 Pegasi มีการขยายตัวเป็นช่วงตามจังหวะที่สี่เหลี่ยมหลอมรวมตัวเป็นคาร์บอนในแกนกลางของดาว

เป็นเวลากว่าเจ็ดปีที่ Silvotti และคณะทำการสังเกตการขยายตัวของดาวที่มีขนาดสูงสุดซึ่งปรากฏให้พบด้วยเวลาเฉลี่ยประมาณหกนาทีก ด้วยการบันทึกฟลักซ์ของแสงที่เปล่งออกมาจากดาวฤกษ์ แต่พวกเขาพบว่าทุกๆ 3.2 ปี เวลาเฉลี่ยการขยายตัวของดาวนี้มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณ 5 วินาที ซึ่งชี้ให้เห็นว่าดาวฤกษ์มีการส่ายอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงจากกลุ่มมวล(ที่อาจจะมียู่อียงเคียง) ซึ่งมีคาบวงโคจรเท่าเวลาที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนี้ ดังนั้นด้วยความเชื่อมั่น 97% พวกเขาคำนวณว่ากลุ่มมวลนี้จะต้องเป็นดาวเคราะห์ขนาดใหญ่มีอายุประมาณหมื่นล้านปี (ซึ่งเป็นดาวเคราะห์ดวงแรกๆที่พบหลังจากดาวฤกษ์กลายสภาพเป็นดาวยักษ์แดง) วงโคจรปัจจุบันของดาวเคราะห์นี้ คือ 1.7 AU แต่นักวิจัยประมาณว่าก่อนที่จะเกิดดาวฤกษ์ยักษ์แดงซึ่งเป็นขณะที่ดาวฤกษ์ยังมีมวลมากอยู่ วงโคจรอาจจะใกล้กว่านี้ คือ ประมาณ 1 AU (= 1.496×10^8 กม.) ด้วยเหตุนี้ หากเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกันกับโลก คาดว่าจะมีวงโคจรเพิ่มจาก 1 AU ไปเป็นประมาณ 1.5 AU เมื่อดวงอาทิตย์มีมวลลดลงจนกลายเป็นดาวยักษ์แดง

อย่างไรก็ตาม Silvotti กล่าวว่าการค้นพบนี้ไม่ได้หมายความว่าโลกจะรอดพ้นจากการถูกกลืนกินของดวงอาทิตย์เหมือนเช่น V 391 Pegasi แต่เขาหวังว่าการค้นพบนี้เป็นหนึ่งในหลายๆปรากฏการณ์ที่ช่วยให้ นักฟิสิกส์สามารถทำนายชะตากรรมของโลกได้ถูกต้องมากขึ้น แต่ถึงกระนั้นแม้ว่าโลกจะรอดพ้นจากการถูกเขมือบ แต่มนุษย์ก็ยังคงต้องพัฒนาหาวิธีป้องกันตนเองจากความร้อนของดวงอาทิตย์ เนื่องจากนักวิจัยประเมินว่าดาวเคราะห์ของ V 391 Pegasi ดวงนี้มีอุณหภูมิที่พื้นผิวเพิ่มขึ้นจนถึงปัจจุบันมีค่าประมาณ 200°C แม้ว่าจะอยู่ห่างออกไปถึง 1.7 AU

การให้ความสำคัญกับงานวิจัยฟิสิกส์ของรัฐบาลบุช

เมื่อเดือนสิงหาคมที่ผ่านมา นักฟิสิกส์ในสหรัฐอเมริกาได้รับข่าวดีมากมาย ว่าประธานาธิบดีจอร์จ บุชได้เซ็นอนุมัติเพิ่มงบประมาณสนับสนุนวิทยาศาสตร์กายภาพ 8-9% ต่อปี เป็นเวลา

สรุปข่าว

ติดต่อกันสามปี การเพิ่มงบประมาณในครั้งนี้มีผลมาจากรายงานปัญหาการขาดแคลนงบประมาณสำหรับวิทยาศาสตร์กายภาพ ของ National Academy of Sciences เมื่อสองปีก่อน

การตัดสินใจของบุงในครั้งนี้จะส่งผลให้สำนักงานวิทยาศาสตร์ในกระทรวงพลังงาน (Office of Science of the Department of Energy; DOE), สำนักงานวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (National Science Foundation), และหน่วยงานสำคัญ ๆ ในศูนย์มาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ (National Institute of Standards and Technology; NIST) จะได้รับงบประมาณเพิ่มขึ้นถึงสองเท่าภายใน 10 ปี ข้างหน้า แต่ก่อนอื่นงบประมาณนี้จะต้องผ่านการเห็นชอบของสภาสูงและจะต้องผ่านการพิจารณารายละเอียดอื่น ๆ ด้วย ทั้งนี้มีสองโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับนักฟิสิกส์ที่ได้รับความเห็นชอบแล้ว ได้แก่ Advanced Research Project Agency ซึ่งอยู่ภายใต้ DOE ที่จะรับผิดชอบให้ทุนวิจัยทางด้านพลังงานประเภทที่มีความเสี่ยงต่อการประสบความสำเร็จแต่มีศักยภาพที่จะให้ผลตอบแทนสูง และ Technology Innovation Program ที่ช่วยสนับสนุนการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ ไปขยายผลในเชิงพาณิชย์ โดยจะมาแทนที่ Advance Technology Program ซึ่งเป็นโปรแกรมเก่าแก่ของ NIST

งบประมาณนี้ยังมุ่งเน้นยกระดับการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ โดยเพิ่มทุนสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ในสายวิทยาศาสตร์กายภาพ และทุนพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์, เทคโนโลยี, วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ในระดับประถมและมัธยมศึกษาตอนต้น โดยรวมไปถึงทุนพัฒนาความรู้พื้นฐานของครูและนักศึกษาครูในหัวข้อเหล่านี้

งบประมาณที่เพิ่มมานี้ยังจะไปช่วยแก้ปัญหาขาดแคลนครูคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์กายภาพ ตามรายงานของ National Academy ในปี 2005 ที่รายงานว่า 68% ของเด็กนักเรียนอายุ 13 ปี กำลังเรียนคณิตศาสตร์กับครูที่ไม่มีปริญญาหรือวุฒิครูในสายคณิตศาสตร์ และ 93% ของนักเรียนอายุระหว่าง 10 - 14 ปี กำลังเรียนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพกับครูที่ไม่มีปริญญาในสายวิทยาศาสตร์กายภาพ

เห็นผู้หลักผู้ใหญ่บ้านเมืองอื่นเขาลงมือแก้ปัญหาแบบ “จริงใจและจริงจัง” แล้วให้อัจฉนัก

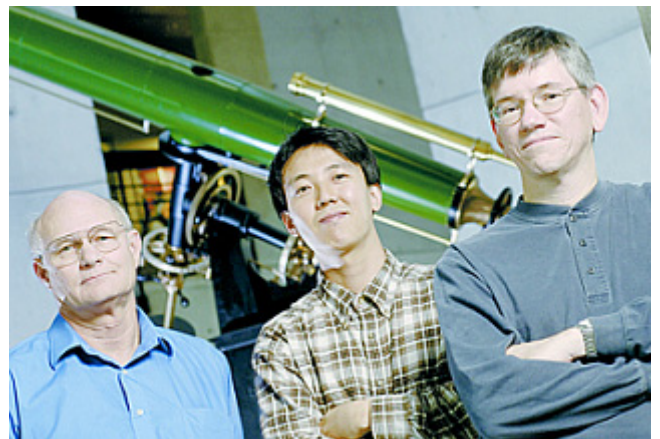


วงแหวนสสารมืด

วารสารฟิสิกส์ไทยได้เคยเอ่ยถึง “สสารมืด (dark matter)” มาแล้วเป็นระยะๆ นักฟิสิกส์และดาราศาสตร์หลายสำนักเชื่อว่าจะมีอยู่ในจักรวาลมากกว่าสสารที่สามารถมองเห็นด้วยตาเสียอีก (ซึ่งประเมินกันว่ามียู่เพียง 10% เท่านั้น) แต่เพราะไม่สามารถมองเห็นได้โดยตรงสมชื่อ ทำให้เรื่องราวของสสารมืดจึงยังเป็นปริศนาอยู่อยู่มาก

แต่แล้วเมื่อตอนกลางปีนี้ก็มีความน่าสนใจมากเกิดขึ้น นั่นคือการประกาศการค้นพบสสารมืดรูปวงแหวนในกลุ่มดาราจักร (galaxy cluster) ZwCl0024+1652 ดังแสดงในรูปที่ 1 (โปรดดูภาพสีที่หน้า 2) ที่อยู่ห่างจากโลกประมาณ 5 พันล้านปีแสง (เทียบเท่ากับระยะทาง 4.73×10^{11} กม.) ซึ่งเป็นผลงานของคณะนักวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งที่นำโดยทีมของภาควิชาฟิสิกส์และดาราศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยจอห์นฮอปกินส์ สหรัฐอเมริกา Myungkook James Jee นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์เชื้อชาติเกาหลี ซึ่งร่วมทีมด้วยคนหนึ่งกล่าวว่า “เป็นครั้งแรกที่ตรวจพบหลักฐานการดำรงอยู่จริงของสสารมืดที่ชัดเจนอย่างนี้”

รูปที่ 1 นั้นสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์รูปที่ 2 (โปรดดูภาพสีที่หน้า 2) ซึ่งเป็นรูปของกลุ่มดาราจักร ZwCl0024 + 1652 ที่ถ่ายไว้โดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล เมื่อเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2004 ในบริเวณส่วนกลางของภาพจะเห็นได้ว่ามีขีดสีฟ้าจางๆ สั้นๆ แทรกอยู่ซึ่งเป็นภาพของดาราจักรที่อยู่ไกลออกไปอีกกว่าแสงของมันที่วิ่งผ่านกลุ่มดาราจักร ZwCl0024 + 1652 จะถูกผลของ



สมาชิกส่วนหนึ่งของคณะผู้วิจัย (จากซ้ายไปขวา) Holland Ford, Myungkook Jee และ Richard White

สรุปข่าว

gravitational lensing ทำให้ไม่วิ่งเป็นเส้นตรง เมื่อรวมๆ แล้วภาพที่เห็นจึงบิดเบี้ยวไป อุปมาได้กับการมองดูกรวดก้อนหนึ่งที่กั้นบ่อที่มีน้ำใสมาก ซึ่งถ้าเกิดคลื่นที่ผิวหน้า ภาพของก้อนกรวดก็จะบิดเบี้ยวไป

Jee (ปัจจุบันได้ย้ายไปอยู่ที่ภาควิชาฟิสิกส์ของ University of California ที่เมือง Davis หรือ UC Davis แล้ว) ใช้เวลาเป็นปีในการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะการบิดเบี้ยวของภาพดาราจักรที่อยู่ด้านหลัง (ประโยชน์ของกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลก็คือให้ภาพนี้ที่ชัดเจนกว่าการถ่ายโดยกล้องโทรทรรศน์บนโลกมาก) โดยถือว่าในกลุ่มดาราจักร ZwCl0024 + 1652 จะต้องมีสสารมืด เพราะโดยลำพังสสารที่มองเห็นได้จะไม่มีความมากพอที่จะเป็นพลังดูดให้ดาราจักรรวมกันอยู่ได้เป็นกลุ่มดังกล่าว นั่นคือ สสารมืดเป็นเหมือนกาวที่เป็นแรงเสริมช่วยยึดดาราจักรทั้งหลายให้อยู่กันเป็นกลุ่มได้ โดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณลักษณะการกระจายตัวของสสารมืดที่ส่งผลให้เกิดภาพบิดเบี้ยวดังกล่าว ได้ภาพการกระจายตัวของสสารมืดเป็นรูปร่างแหวนดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นวงแหวนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.6 ล้านปีแสง (ประมาณ 2.5×10^{11} กม. หรือ 1.6×10^5 AU)

เมื่อภาพของสสารมืดแบบนี้ไม่เคยถูกพบเห็นมาก่อน ก็ย่อมเกิดคำถามขึ้นมาว่าทำไมกรณีนี้สสารมืดจึงกระจายตัวกันอยู่เป็นวงแหวน Jee มีอธิบายว่า Oliver Czoske แห่ง Bonn University เคยรายงานไว้เมื่อปี ค.ศ. 2002 ว่า กลุ่มดาราจักร ZwCl0024 + 1652 นี้ เกิดมาจากการพุ่งเข้าชนกันของสองกลุ่มดาราจักรเมื่อประมาณสองพันล้านปีมาแล้ว จากตรงนี้ Jee กับคณะใช้คอมพิวเตอร์จำลองการชนกันครั้งนั้น ทำให้พบว่า (ดูรูปที่ 3 หน้า 2) ในขณะชนกัน สสารมืดตกอยู่ระหว่างกลาง ต่อมาได้ประทุกระจายออกไป แต่ถึงจุดหนึ่งแรงโน้มถ่วงก็ดึงให้ส่วนที่วิ่งนำหน้าช้าลง แต่ส่วนที่วิ่งตามมามีความเร็วสูงกว่า จึงวิ่งมากองรวมกันเป็นวงโดยรอบ

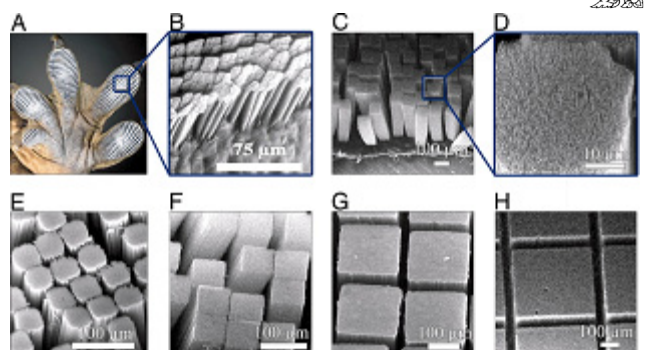
อย่างไรก็ตาม Robert Massey ผู้เชี่ยวชาญเรื่องสสารมืดอีกคนหนึ่งแห่ง California Institute of Technology ให้ความเห็นแบบระมัดระวังว่า “ถ้าการวิเคราะห์ถูกต้องก็เป็นเรื่องที่น่าตื่นเต้นมาก แต่การวิเคราะห์โดยการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์แบบนี้ค่อนข้างสลับซับซ้อน มีหลายจุดที่อาจเกิดผิดพลาดได้ ดังนั้นการที่จะให้นักดาราศาสตร์เชื่อเรื่องวงแหวนนี้อย่างสนิทใจ ต้องมีผลการสังเกตการณ์ของกลุ่มวิจัยอื่นๆ ให้เห็นมากกว่านี้”

ข่าวคืบหน้าของเทป “ตีนตุ๊กแก”

เมื่อประมาณ 2 ปีมาแล้ว วารสารฟิสิกส์ไทย (ม.ย. - ส.ค. 2548) เคยนำเรื่องราวเกี่ยวกับ “ฟิสิกส์ของตีนตุ๊กแก” มาเล่าสู่กันฟัง มาวันนี้มีผลงานวิจัยเชิงประยุกต์ที่เกี่ยวกับเรื่องนี้ก้าวหน้าไปมากทีเดียว จึงอยากนำมา update ท่านผู้อ่าน ประการแรกขอให้พลิกไปดูรูปที่หน้า 28 (ปกหลัง) จะเห็นว่าได้มีการประดิษฐ์เป็นหุ่นยนต์ไร้ตะกระจกแนวคิงได้จริงแล้ว โดยใช้หลักการเดียวกับตุ๊กแกคือใช้ “แรงแวนเดอร์วาลส์” เรียกว่า Gecko-bot ซึ่งเป็นผลงานของศาสตราจารย์ Robert J. Full เจ้าเก่าแห่ง UC Berkeley

ส่วนรูปข้างล่างเป็นผลงานวิจัยอีกชิ้นของคณะนักวิทยาศาสตร์ จาก University of Akron ที่โอไฮโอร่วมกับ Rensselaer Polytechnic Institute ที่นิวยอร์ก ซึ่งได้ทำขโมยเลียนแบบขนได้ฝ่าเท้าของตุ๊กแก (รูป A และ B) จาก carbon nanotube (รูป C ถึง H) โดยคณะผู้วิจัยได้นำ carbon nanotube ที่แต่ละเส้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 8 นาโนเมตรและยาวในช่วง 200 – 500 ไมโครเมตร มารวมกันเป็นฟ่อนๆ ขนาดต่างๆ กัน ตั้งแต่ 50 ถึง 500 ไมโครเมตร (ดังรูป E ถึง H) คณะนักวิจัยรายงานว่าเทปตีนตุ๊กแกที่ใช้เทคนิคนี้ ขนาด 1 ตร.ซม. มีพลังดูดที่สามารถยึดวัตถุที่มีมวล 3.6 กิโลกรัมไว้ได้ นั่นคือ ผลงานนี้ดีกว่าของจริง 4 เท่า และดีกว่าของคณะนักวิจัยอื่นที่ทำจากขนพอลิเมอร์ 10 เท่า นอกจากนั้นยังได้พบอีกว่าเทปตีนตุ๊กแกจาก carbon nanotube นี้สามารถดูดติดผิวเทฟลอนได้ด้วย ผู้ที่สนใจรายละเอียดของวิธีการสังเคราะห์ carbon nanotube แล้วนำมารวมกันเป็นฟ่อนอย่างมีระเบียบของงานวิจัยนี้สามารถดูได้ที่บทความเรื่อง Carbon Nanotube – based Synthetic Gecko Tapes โดย Liehui Ge และคณะที่ <http://www.pnas.org/cgi/content/full/104/26/10792>

เทปชนิดใหม่นี้ซึ่งจะไม่ทิ้งคราบใดๆ ไว้เบื้องหลัง นำไฟฟ้าได้ นำกลับมาใช้ซ้ำๆ ได้ และใช้ในสุญญากาศได้ จะมีอนาคตที่น่าสนใจสำหรับวงการไมโครอิเล็กทรอนิกส์, หุ่นยนต์และการทำงานในอวกาศ



Giant Magnetic Resistive

พรเทพ นิศามณีพงษ์*

ปรากฏการณ์ Giant Magneto-resistive (GMR) เป็นผลทางกลศาสตร์ควอนตัมซึ่งถูกพบในโครงสร้างประกอบของฟิล์มบางของโลหะที่เป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกและสารโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (nonmagnetic metal) โดยที่ชั้นของสารทั้งสองชนิด

วางซ้อนสลับกันไปเป็นชั้นๆ คล้ายกับขนมชั้น ลักษณะเด่นที่พบก็คือการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทางไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กภายนอก ซึ่งความต้านทานจะมีค่ามากที่สุดเมื่อสถานะสปินในชั้นแม่เหล็กเฟอร์โรมีทิศสวนกัน กล่าวคือเกิด

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี 2550

“For the discovery of Giant Magnetic Resistance”

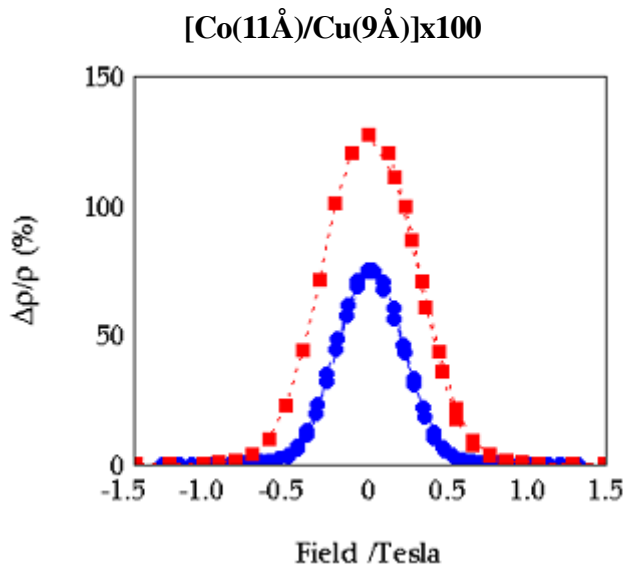


ศาสตราจารย์ **Albert Fert (ขวา)** เป็นนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสที่ปัจจุบันมีอายุ 69 ปี เรียนจบจาก Université Paris-Sud เมื่อปี ค.ศ. 1970 แล้วดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ของสถาบันเดียวกันนี้ต่อมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1976 และยังเป็นผู้อำนวยการของสถาบัน Unité mixte de physique CNRS/Thales ที่เมือง Orsay ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 ส่วนศาสตราจารย์ **Peter Gruenberg (ซ้าย)** เป็นนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน อายุ 68 ปี เรียนจบจาก Technische Universität Darmstadt เมื่อปี ค.ศ. 1969 ได้ไปร่วมงานกับ Institute of Solid State Physics ของศูนย์วิจัย Jülich ตั้งแต่เมื่อปี ค.ศ. 1972 Gruenberg เป็นนักฟิสิกส์ลูกหม้อคนแรกของศูนย์วิจัย Jülich ที่ได้รับรางวัลโนเบลฟิสิกส์หลังจากที่ศูนย์วิจัยแห่งนี้ก่อตั้งมาได้ 51 ปี ปัจจุบันมีบุคลากรร่วม 4,200 คน และต้องใช้งบประมาณดำเนินการปีละ 360 ล้านยูโร (หรือราว 1.7 หมื่นล้านบาท/ปี)

ปี 2007 นี้ดูเหมือนจะเป็นปีทองของทั้งคู่(แต่จริงนั้นไม่ได้ทำเรื่อง GMR ร่วมกัน) กวาดรางวัลใหญ่ๆ ไปเรียบวุธ เริ่มจากเดือนเมษายนได้รับรางวัล **Japan Prize** ของประเทศญี่ปุ่น(คือที่มาของรูปข้างบนนี้) ในหัวข้อ “Innovative Devices Inspired by Basic Research” มีรางวัลเป็นเงินสดมาให้แบ่งกัน 2 คน 50 ล้านเยน (หรือประมาณ 15 ล้านบาท) ถัดมาในเดือนพฤษภาคมได้รับรางวัล **Wolf Prize** สาขาฟิสิกส์ของประเทศอิสราเอลมีรางวัลให้แบ่งกัน 2 คนอีก 1 แสนยูโร (หรือประมาณ 4.9 ล้านบาท) และล่าสุดเป็นรางวัลสูงสุดของวงการคือรางวัลโนเบลฟิสิกส์จากประเทศสวีเดน ซึ่งมีมูลค่า 5 ล้านสวีดิชโครเนอร์ (คิดเป็นประมาณ 27 ล้านบาท)

* นักฟิสิกส์ (ดร.) , Head of Failure Analysis and Reliability Lab, Fabrinet Co., Ltd.

เรื่องเด่นประจำฉบับ



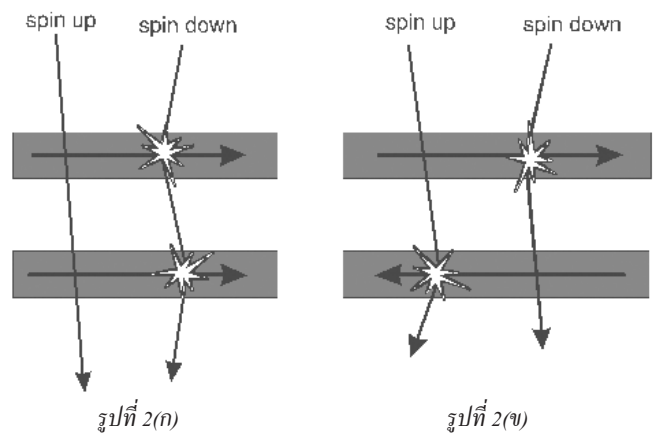
รูปที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของค่า resistivity () ในระบบโคบอลต์/ทองแดง (Co/Cu) เปรียบเทียบระหว่างสถานะสปินขนาน (●) กับสถานะสปินสวนทาง (■) ที่ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็ก ในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าค่า () ของสถานะสปินสวนทางมีค่ามากกว่าสถานะสปินขนานอย่างมีนัยสำคัญ ในแง่ของอุตสาหกรรมแล้ว ระบบ Co/Cu มีคุณสมบัติดีกว่าระบบ Fe/Cr ที่ค้นพบในตอนแรก

anti-ferromagnetic coupling ระหว่างชั้น และจะมีความต้านทานน้อยที่สุดเมื่อสถานะสปินในชั้นแม่เหล็กเฟอร์โรมีทิศขนานกัน การค้นพบนี้นำไปสู่การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีที่สำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนฮาร์ดดิสก์ (hard disk) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์

GMR ถูกพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1988 ในระบบของชั้นฟิล์มบางโครเมียมที่ถูกประกบด้วยชั้นฟิล์มบางของเหล็กแบบเหล็ก/โครเมียม/เหล็ก (Fe/Cr/Fe) โดย Peter Gruenberg ที่ Juelich Research Centre และกลุ่มของ Albert Fert ที่ University of Paris-Sud ประเทศฝรั่งเศส การค้นพบดังกล่าวนี้เป็นการค้นพบที่สำคัญเนื่องจากมีผลกระทบต่อการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างมาก ทำให้ทั้งคู่ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากผลงานนี้ในปี ค.ศ. 2007

ชั้นประกอบฟิล์มบางของ Fe/Cr/Fe มีขนาดความหนาในเรือนของนาโนเมตรเท่านั้น (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร หรือหนึ่งในพันล้านเมตร) ความแตกต่างของความต้านที่เกิดขึ้นระหว่างสถานะสปินขนาน (parallel spin state) และ สถานะสปินสวนทาง (anti-parallel spin state) มีค่าประมาณ 20% - 30% ดังแสดงในรูปที่ 1

ความแตกต่างของความต้านทานระหว่างสองสถานะ



รูปที่ 2 แสดงการถูกกระเจิงของอิเล็กตรอนเมื่อวิ่งผ่านเข้าไปในตัวกลางที่มีโครงสร้างสถานะสปินขนาน (a) เปรียบเทียบกับโครงสร้างสถานะสปินสวนทาง (b) จะเห็นได้ว่าโดยรวมแล้วอิเล็กตรอนถูกกระเจิงมากกว่าในโครงสร้างสปินสวนทาง ซึ่งทำให้ความต้านทานในโครงสร้างสปินสวนทางมีค่ามากกว่าในโครงสร้างสปินขนาน ตามรูปช่องว่างตรงกลางคือฟิล์มบางของโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (non-ferromagnetic metal thin film) ซึ่งถูกประกบด้วยชั้นฟิล์มบางของสารแม่เหล็กเฟอร์โร (ferromagnetic thin film)

สปินสามารถอุปมาอุปมัยได้กับการโพลาไรเซชันของแสง กล่าวคือถ้าแสงที่ส่องกระทบกับตัวกลางมีโพลาไรเซชันขนานกัน แสงก็จะได้รับอนุญาตให้ผ่านไปได้อย่างไรเซชัน แต่จะไม่สามารถทะลุผ่านตัวกลางนั้นได้ถ้าระนาบโพลาไรเซชันของแสงตั้งฉากกับระนาบโพลาไรเซชันของตัวกลาง ซึ่งคล้ายกับกรณีของตัวกลางที่เป็นสารเฟอร์โรแมกเนติกส์ อิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านตัวกลางได้อย่างอิสระถ้ามันมีสถานะสปินขนานกับตัวกลาง และจะวิ่งผ่านไปได้อย่างยากเมื่อสถานะสปินของอิเล็กตรอนสวนทางกับสถานะสปินของตัวกลาง

แนวคิดพื้นฐานของ GMR ก็คือการใช้ สถานะสปินซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงควอนตัมของอิเล็กตรอน ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยทั่วไปแล้วอิเล็กตรอนมีสองสถานะสปิน คือสปิน-ขึ้น (spin-up) และสปิน-ลง (spin-down) ในสารโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็กสปิน-ขึ้นและสปิน-ลงของอิเล็กตรอนตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กแบบเดียวกัน แต่ตอบสนองต่างกันในสารโลหะแม่เหล็ก (magnetic metal) อย่างไรก็ตามเราไม่สามารถวัดกระแสที่เกิดขึ้นจากอิเล็กตรอนสปิน-ขึ้นและสปิน-ลงแยกกันอะไรที่เราวัดคือผลรวมของทั้งสอง ผลของสถานะสปินของอิเล็กตรอนที่มีต่อสารโลหะแม่เหล็ก ก็คือ อิเล็กตรอนที่มีสถานะสปินขนานกับสถานะสปินในสารโลหะแม่เหล็กจะสามารถเดินทางผ่านทะลุได้อย่างอิสระ ในขณะที่อิเล็กตรอนที่มีสถานะสปินสวนทางกับสถานะสปินในสารโลหะแม่เหล็กจะถูกกระเจิงออกไปด้วยพฤติกรรมดังกล่าวนี้เองทำให้ อิเล็กตรอนในรูปที่ 2 (ก) จึง

เรื่องเด่นประจำฉบับ

พานพบกับความต้านทานน้อยกว่าอิเล็กตรอนในรูปที่ 2(ข)

โดยฟิสิกส์ที่ลึกซึ้ง(ระดับปี3 ปรินซ์ฟิสิกส์ ขึ้นไป ที่เรียนควอนตัมฟิสิกส์) อะไรที่เกิดขึ้นก็คือโครงสร้างแถบ (band structure) ในระบบเฟอร์โรแมกเนติกมีการแลกเปลี่ยนการแยกของแถบพลังงาน อันเป็นผลทำให้ความหนาแน่นของสถานะ (density of state) ระหว่างสถานะสปินอิเล็กตรอนขึ้น (electron spin-up state) และ สถานะสปินอิเล็กตรอนลง (electron spin-down state) มีค่าต่างกันที่ระดับเฟอร์มี (Fermi level) จาก Fermi 's Golden rule ซึ่งกล่าวว่าอัตราการกระเจิง (scattering rate) เป็นปฏิภาคโดยตรงกับสถานะความหนาแน่นของสถานะอิเล็กตรอนที่ถูกกระเจิงเข้าไปใน ระดับเฟอร์มี ดังนั้นอัตราการกระเจิงของอิเล็กตรอนจึงมีค่าต่างกัน ในสถานะสปินที่ต่างกัน พฤติกรรมการกระเจิงของอิเล็กตรอนที่ใช้ในการบรรยายความต้านทานไฟฟ้าในระดับจุลภาคนี้ถูกเสนอ โดย เซอร์ เนวิลล์ มอท์ (Sir Nevill Mott) ในปี ค.ศ. 1936 เพื่ออธิบายการลดลงของค่า resistivity (สภาพต้านทาน) อย่างฉับพลัน ในสารโลหะแม่เหล็กเฟอร์โร (Ferromagnetic metal) เมื่อเราลดอุณหภูมิลงผ่านจุด Curie

เราวัดค่า GMR จากความแตกต่างของมุมระหว่างค่าแมกนีไทเซชัน (magnetization) ในชั้นแม่เหล็ก (magnetic layer) มุมเล็กจะพบในโครงสร้างขนาน (parallel alignment) ซึ่งจะให้ ความต้านทานต่ำ ในขณะที่มุมโตซึ่งพบในโครงสร้างสวนทาง (anti-parallel alignment) จะให้ความต้านทานที่สูง ในทางปฏิบัติ เราสามารถสร้างชั้นแม่เหล็กที่มีโครงสร้างขนานได้โดยไม่ยาก โดยการประยุกต์สนามภายนอกที่แรงพอจนทำให้แมกนีไทเซชัน เกิดการอ้อมตัว สำหรับกรณีของโครงสร้างสวนทางนั้นวิธีการ ไม่ตรงไปตรงมาเท่าไร อย่างไรก็ตามเราสามารถสร้างโครงสร้างสวนทางโดยอาศัยหลักการพื้นฐานสามอย่างด้วยกัน คือ

1. Anti-ferromagnetic coupling

เมื่อช่องว่างระหว่างชั้นสารเฟอร์โรแมกเนติก ถูกลดลงในเรื่อนของนาโนเมตร ค่าแมกนีไทเซชัน (magnetization) ในชั้นทั้งสองมีแนวโน้มที่จะมีทิศสวนทางเพื่อทำให้ระบบมีพลังงานต่ำที่สุด โดยการประยุกต์ สนามแม่เหล็กภายนอกเข้าไป เราจะสามารถสร้างระบบ โครงสร้างสวนทางได้ โดยหลักการแล้วเราสามารถสร้าง multi-layered structure ที่เรียกกันว่า superlattices .

2. แปรค่า coercivity

Coercivity คือ สภาพลบล้างทางแม่เหล็กที่ ทนทานต่อสนามแม่เหล็กภายนอก โดยการเลือกสาร

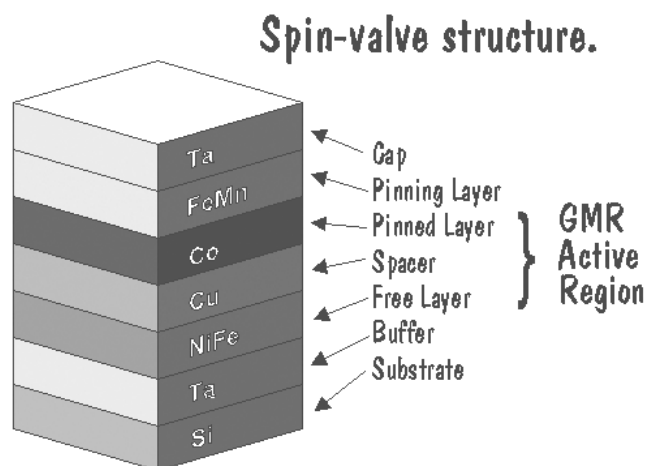


Sir Nevill Francis Mott (ค.ศ. 1905-1996) นักฟิสิกส์ ทฤษฎีชาวอังกฤษ มีผลงานหลักทางด้าน Metal-Insulator Transition จนทำให้เกิดคำว่า *Mott transition* และ *Mott insulator* เป็นต้น ได้รับรางวัลโนเบลฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1977 (ร่วมกับ Philip Anderson และ John van Vleck) สำหรับผลงานวิจัยเชิงทฤษฎีที่ทำให้เข้าใจ โครงสร้างอิเล็กตรอนของระบบที่มีสภาพแม่เหล็กและไร้ระเบียบ

แม่เหล็กเฟอร์โรในแต่ละชั้นฟิล์มบางที่มีค่า coercivity ต่างกันจะทำให้สถานะสปินตอบสนองต่อสนามภายนอก ต่างกัน ดังนั้นเมื่อเราลบล้างสนามแม่เหล็ก ด้านที่มี coercivity สูงจะยังคงรักษาทิศของสถานะสปินในขณะที่ ด้านที่มี coercivity ต่ำจะกลับทิศของสถานะสปินแม่เหล็ก ในทิศตรงข้าม ทำให้เราได้สถานะสปินสวนทางกัน

3. Spin-valves

โครงสร้างของ spin-valves ประกอบไปด้วยชั้น ฟิล์มบางต่างๆ ดังแสดงเป็นแผนภาพง่ายๆใน รูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้าง spin-valves ประกอบขึ้นจากชั้นของฟิล์มบางต่างๆ โดยที่ Pinning layer เป็นชั้นที่มี coercivity สูง ในขณะที่ชั้น Free layer จะมีค่า coercivity ก่อนข้างต่ำ Active region ในรูปคือบริเวณที่เกิด GMR คือ ชั้น Co/Cu/NiFe แต่ละชั้นมีความหนาแน่นประมาณ 2-3 นาโนเมตร

เรื่องเด่นประจำฉบับ

ฟิล์มบางแต่ละชั้นซึ่งเป็นธาตุหลายชนิดถูกอัดเข้าด้วยกัน โดยเทคนิคMBE (Molecular Beam Epitaxy) ในรูปที่ 3 นี้ Ta ทำหน้าที่เป็นตัวปิดหัวปิดท้ายโดยมี Si ทำหน้าที่เป็น substrate Pinning layer คือชั้นของโลหะผสมของโลหะเหล็ก-แมงกานีส (Fe / Mn) และ สารแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ของธาตุโคบอลต์ (Co) เป็นชั้นที่มีค่า coercivity สูง กล่าวคือมีค่าแมกนีไทเซชันที่มีความคงทนต่อสนามแม่เหล็กภายนอก ในขณะที่ชั้นของโลหะผสมของนิเกิล-เหล็ก (NiFe) เป็นชั้น Free layer ซึ่งมีค่า coercivity ต่ำ และสามารถกลับทิศของสถานะสปินแม่เหล็กได้โดยง่าย ในขณะที่ชั้นของทองแดง(Cu) เป็น coupling region ซึ่งทำหน้าที่ couple สถานะสปินระหว่างชั้น Pinning layer และ Free layer โดยโครงสร้างดังกล่าวนี้จะทำให้เราสามารถสร้างโครงสร้างสปินขนานและโครงสร้างสปินสวนทาง ดังที่กล่าวตอนต้น ได้โดยง่าย Active region หรือบริเวณที่เกิด GMR คือบริเวณชั้น Co / Cu / NiFe ชั้นฟิล์มบางของ Co ที่ทำหน้าที่เป็นตัวตรึงแมกนีไทเซชัน ทำให้บริเวณ Pinning layer มีความแข็งแรงสามารถต้านทานสนามแม่เหล็กภายนอก กล่าวคือระบบดังกล่าวจะมี local magnetic field เกิดขึ้นในทิศทางที่ถูกตรึงโดยปราศจากสนามแม่เหล็กภายนอก

ระบบของ spin-valves ที่กล่าวถึงนี้ถูกสร้างขึ้นโดย **Stuart Parkin** ผู้ซึ่งเป็นหัวหน้าหน่วยวิจัยเรื่อง GMR ของ IBM Parkin ได้รับรางวัลหลายรางวัลร่วมกับ *Peter Gruenberg* และ *Albert Fert* (ยกเว้นรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ปีนี้) อาทิเช่น European Physical Society Prize, Hewlett-Packard Europhysics เป็นต้น เมื่อย้อนกลับไปในเมื่อราว 9 ปีที่แล้วเมื่อผลงานของ *Gruenberg* และ *Fert* ถูกตีพิมพ์ออกมา ในตอนนั้นไม่มีใครเชื่อว่าสิ่งที่ค้นพบนั้นเป็นจริง และไม่ค่อยมีใครให้ความสนใจเท่าไรนัก ในขณะที่ Parkin เห็นถึงผลกระทบอย่างใหญ่หลวงที่มีต่อการพัฒนาเทคโนโลยี เขาจึงได้ทำเรื่องเสนอของขบจาก IBM เพื่อทำการสร้างระบบที่ *Gruenberg* และ *Fert* ได้ค้นพบ ผลก็คือเป็นไปตามที่นักฟิสิกส์รางวัลโนเบลปี 2007 ตีพิมพ์ในผลงาน ขั้นตอนต่อไปก็คือการสังเคราะห์โครงสร้างดังกล่าวขึ้นมา โครงสร้างที่สังเคราะห์ขึ้นมานี้ต้องอาศัยความเข้าใจทางฟิสิกส์มากขึ้น อีกทั้งต้องมีคุณสมบัติที่สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยี ในเวลาต่อมา GMR ก็ได้กลายเป็นหัวข้อที่สำคัญและได้มีนักฟิสิกส์จำนวนมากให้ความสนใจ จนกระทั่งในปีนี้อเองคือ ปี 2007 Parkin ก็สามารถสังเคราะห์โครงสร้างของ spin-valves สำเร็จ

ผลกระทบทางด้านอุตสาหกรรมที่สำคัญก็คืออุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากเราสามารถที่จะผลิตฮาร์ดดิสก์ที่มี



Parkin (ขวา) กับ Fert (ซ้าย)

ดร. Stuart Parkin นักฟิสิกส์ เชื้อชาติอังกฤษเรียนจบจากมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์เมื่อปี ค.ศ.1980 เริ่มไปทำงานกับ IBM ตั้งแต่เมื่อปี ค.ศ. 1982 ปัจจุบันเป็นผู้จัดการของ Magnetoelectronics Group ที่ Almaden Research Center ของ IBM ณ เมือง ซาน โฮเซ มลรัฐแคลิฟอร์เนีย อีกทั้งยัง

เป็นอาจารย์พิเศษที่ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดและเป็นผู้อำนวยการของ IBM-Stanford Spintronics-Science and Applications Center มีผลงานทางวิชาการตีพิมพ์เผยแพร่มากกว่า 350 เรื่อง มีทรัพย์สินทางปัญญาจดสิทธิบัตรแล้วมากกว่า 54 ชิ้น

ขนาดเล็กลงและมีความจุของหน่วยความจำเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาล ด้วยคุณสมบัติของ GMR นี้จะทำให้เราสามารถผลิตหน่วยความจำที่มีความจุ 10 gigabit ต่อตารางนิ้ว นั่นคือด้วย ฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว เราสามารถผลิตความจำได้ถึง 120 พันล้านบิตส์ นั่นคือเราสามารถเก็บ Encyclopedia ชุดละ 30 เล่มได้ถึง 1,000 ชุด นอกจากนี้ GMR ยังมีส่วนช่วยในการพัฒนา RAM (Random Access Memory) RAM ที่ใช้ในปัจจุบันทำมาจากสารกึ่งตัวนำ(semi-conductor) ข้อมูลจะถูกเก็บในบริเวณเล็กๆที่อาจจะมีอิเล็กตรอนเกิน (excess electron) หรือไม่มีอิเล็กตรอนขาด (deficit electron) ข้อด้อยของ RAM ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ก็คือ ทุกครั้งที่ประจั่วออกไป ข้อมูลจะต้องถูก refresh หลายครั้งต่อวินาทีในวงจรไฟฟ้า ดังนั้นถ้าไฟฟ้าเกิดดับขึ้นมาก่อนที่ข้อมูลจะถูกบันทึกลงไปในฮาร์ดดิสก์ก็จะทำให้เราสูญเสียข้อมูลนั้นไป ข้อด้อยอีกอย่างก็คือ ionizing radiation ที่เกิดขึ้นจะค่อยๆทำให้ semi-conductor chip เสื่อมสภาพและพังไปในที่สุด ซึ่งก็ทำให้เราสูญเสียข้อมูลนั้นไป แต่ถ้าเราใช้ GMR สร้าง RAM ขึ้นมาจากชั้นของฟิล์มบางของสารโลหะแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ และ สารโลหะไม่เป็นแม่เหล็ก หรือที่มีชื่อว่า MRAM ก็จะเพิ่มประสิทธิภาพในแง่ของความเร็วและปัญหาที่เกิดขึ้นใน semi-conductor RAM ก็ไม่เกิดขึ้นอีกด้วย และ MRAM ยังสามารถทำงานต่อไปได้เมื่อเกิดไฟดับ อีกทั้งผลของ ionization radiation ยังไม่กระทบต่อการทำงานของ MRAM สมบัติอันนี้นับว่าสำคัญมากสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในอวกาศหรือว่าในกองทัพ และที่สำคัญก็คือ MRAM นี้ยังมีราคาถูกลงอีกด้วย

เรื่องเด่นประจำฉบับ

บทบาทของ GMR จึงนับว่ามีผลกระทบอย่างใหญ่หลวง ต่อวิวัฒนาการเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร ซึ่งทำให้เราสามารถย่อขนาดของโลกดิจิทัล (digital) ให้เล็กลง, ราคาถูกลง และมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ GMR ยังมีบทบาทสำคัญ ต่อการพัฒนา magnetic sensor ที่ตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กที่มี พลังอ่อน ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ในโลกของ อุตสาหกรรม, การค้าและการทหาร



เอกสารอ้างอิง : เพื่อศึกษาพื้นฐานและแนวคิดของ GMR

M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas (1988). "Giant Magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices". *Physical Review Letters* **61** (21): 2472 - 2475. DOI:10.1103/PhysRevLett.61.2472.

G. Binash, P. Gruenberg, F. Saurenbach, and W. Zinn (1989). "Enhanced magnetoresistance in layered magnetic structures

with antiferromagnetic interlayer exchange". *Physical Review B* **39** (7): 4828 - 4830. DOI:10.1103/PhysRevB.39.4828.

L. L. Hinchey and D. L. Mills (1986). "Magnetic properties of superlattices formed from ferromagnetic and antiferromagnetic materials". *Physical Review B* **33** (5): 3329 - 3343. DOI:10.1103/PhysRevB.33.3329.

P. Gruenberg, R. Schreiber, Y. Pang, M. B. Brodsky, and H. Sowers (1986). "Layered Magnetic Structures: Evidence for Antiferromagnetic Coupling of Fe Layers across Cr Interlayers". *Physical Review Letters* **57** (19): 2442 - 2445. DOI:10.1103/PhysRevLett.57.2442.

C. Carbone and S. F. Alvarado (1987). "Antiparallel coupling between Fe layers separated by a Cr interlayer: Dependence of the magnetization on the film thickness". *Physical Review B* **36** (4): 2433. DOI:10.1103/PhysRevB.36.2433



การแข่งขันดาราศาสตร์และฟิสิกส์ดาราศาสตร์โอลิมปิก
ระหว่างประเทศ ครั้งที่ 1

30 พ.ย. - 9 ธ.ค. 2550

ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับเกียรติจากมูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (มูลนิธิ สอวน.) ให้เป็นเจ้าภาพในการจัดการแข่งขัน ดาราศาสตร์และฟิสิกส์ดาราศาสตร์โอลิมปิกระหว่างประเทศ ครั้งที่ 1 ในประเทศไทย พ.ศ. 2550 หรือ The 1st International Olympiad on Astronomy and Astrophysics (1st IOAA) เพื่อเฉลิมพระเกียรติ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เนื่องในโอกาสสมโภชฉลองเฉลิมพระชนมพรรษา 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 และเพื่อเฉลิมพระเกียรติในโอกาส สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ องค์ประธานมูลนิธิสอวน. ทรงเจริญพระชนมายุ 84 พรรษา

มีประเทศ เข้าร่วมแข่งขันรวม 24 ประเทศคือ สาธารณรัฐแอลเบเนีย บังกลาเทศ เบลารุส โบลิเวีย จีน กรีซ อินเดีย อินโดนีเซีย สาธารณรัฐอิสลามอิหร่าน เคนยา เกาหลี โปแลนด์ ลิทัวเนีย ราชอาณาจักรมอริอ็อกโก พม่า ไนจีเรีย สโลวาเกีย ศรีลังกา ยูเครน โรมาเนีย สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว สิงคโปร์ อาเซอร์ไบจาน และไทย ประเทศผู้เข้าร่วมสังเกตการณ์คือ เนปาลและ เตอร์กเมนิสถาน

การแข่งขันดังกล่าวจะประกอบไปด้วยการสอบภาคทฤษฎี ภาคปฏิบัติการ และภาคสังเกตการณ์

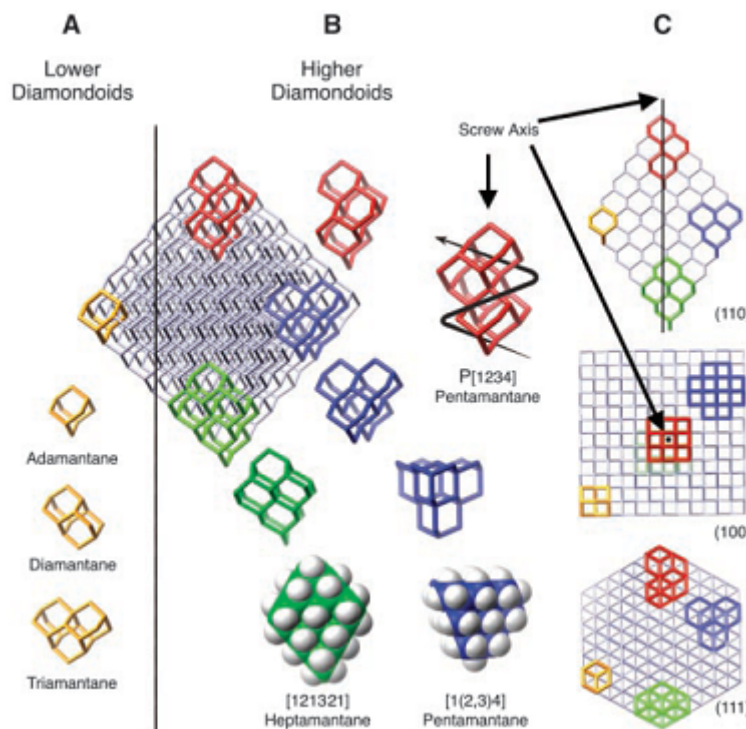
(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ www.ioaa.info)

Diamondoid เรื่องราวของเพชรในตม

วรรณ มีวาสนา¹ ขนิษฐา มีวาสนา² บุญโชติ เฝ้าสวัสดิ์ธรรม³ และ ประยูร ส่องสิริฤทธิกุล⁴

บ่อยครั้งคนเราก็ค้นพบสิ่งใหม่ๆ จากการสังเกตสิ่งที่อยู่รอบตัวเราให้ละเอียดยิ่งขึ้น อย่างเช่น กากของเหลือจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่คนอื่นมองว่าไม่มีค่า ก็ถูกค้นพบว่าประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ (hydrocarbon) ที่มีชื่อว่า **Diamondoid** ที่มาของชื่อ Diamondoid นั้นมาจากลักษณะโครงสร้างทางอะตอมที่คล้ายกับเพชรขนาดจิ๋วระดับนาโนเมตร และคาดว่ามีความสมบัติหลายอย่างคล้ายกับเพชรด้วย และเมื่อไม่นานนี้ก็ยังมีการค้นพบว่า Diamondoid มีความสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้เป็นจำนวนมากและมีพลังงานเกือบจะคงที่ค่าเดียวประสิทธิภาพดีกว่าเพชรเองหรือสารประกอบอื่นๆที่เคยค้นพบมา จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น จึงมีความเป็นไปได้ว่าสารตัวนี้จะถูกพัฒนามาใช้ในการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เราจะได้เห็นในอนาคตข้างหน้า

ก่อนจะพูดถึง Diamondoid นั้นเรามาพูดถึงเพชรกันก่อน เราทุกคนคงจะรู้จักเพชรกันดี เพชรเป็นอัญมณีที่มีความสวยใส แข็ง และแน่นอนว่ามีราคาแพง นอกจากนั้นยังมีคุณค่าทางจิตใจด้วย เช่นแหวนเพชรที่ใช้เป็นแหวนหมั้น แต่นอกจากความสวยงามของมันแล้ว เพชรก็ยังมีความสมบัติอื่นๆที่โดดเด่น เช่นเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเยี่ยม มีการสาคิดโดยการนำมิด้ามโลหะมาเคลือบด้วยชั้นเพชรบางๆและนำมาตัดน้ำแข็งได้ราวกับว่าน้ำแข็งนั้นเป็นก้อนเนย นั่นเป็นเพราะว่า เพชรที่เคลือบมีคือนั้นสามารถนำความร้อนจากตัวผู้จับไปละลายน้ำแข็งในจุดที่คมมีดไปแต่ละได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เพชรเมื่อมีการผสมธาตุเช่นโบรมีน (bromine-doped) เข้าไป จะมีความสมบัติเป็นสารตัวนำไฟฟ้าที่ยาวหรือมีความต้านทานไฟฟ้าเป็นศูนย์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 เคลวิน อีกตัวอย่างหนึ่ง เพชรเมื่อมีธาตุไฮโดรเจน มาเกาะบริเวณผิว



รูปที่ 1 โครงสร้างทางอะตอมของ Diamondoid ชนิดต่างๆ (รูปจากเอกสารอ้างอิงที่ 1)

¹ นักเรียนทุน พสวท. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด ประเทศสหรัฐอเมริกา

² สาขาวิชาจัดการสิ่งแวดล้อม (นานาชาติ) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

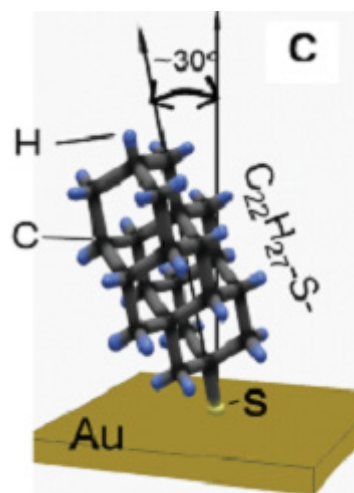
⁴ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ และ สาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฟิสิกส์ของวัสดุ

รอบนอก พื้นผิวนั้นจะมีคุณสมบัติที่เรียกว่า negative electron affinity ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อิเล็กตรอนบนพื้นผิวของเพชรจะถูกปลดปล่อยออกมาข้างนอกที่พลังงานค่าหนึ่งเมื่อถูกกระตุ้น เราอาจลองนึกภาพน้ำตกที่ไหลลงมาจากหน้าผา ถ้าเราเอาแผ่นสังกะสี มาคั่นกลางน้ำตก น้ำนั้นก็ไหลออกจากเส้นทางเดิมแล้วไปตามแนวร่องสังกะสีแทน โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณสมบัติ negative electron affinity ก็เหมือนกับการที่มีแผ่นสังกะสีมาคั่นน้ำตกของอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกเป็นจำนวนมากตามแผ่นสังกะสีนั้นและยังมีพลังงานที่ค่อนข้างคงที่ คุณสมบัติดังกล่าวนี้ ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นสารปลดปล่อยอิเล็กตรอนของจอทีวีที่มีความสว่างสูง เป็นต้น เพชรก็เป็นหนึ่งในสารที่มีคุณสมบัติดังกล่าว แต่เพชรก็ยังเป็นเพชร ราคาของเพชรนั้นสูงมาก คงจะไม่ต้องสงสัยว่า ทีวีจอเพชรจะมีราคาสูงเพียงใด จึงเกิดคำถามว่าจะมีสารตัวอื่นไหม ที่จะมีคุณสมบัติคล้ายกับเพชรแต่ราคาไม่แพง และสิ่งที่อาจจะมาเป็นคำตอบก็คือ สารประกอบ Diamondoid ซึ่งถูกค้นพบไม่นานมานี้เอง

Diamondoid เป็น สารประกอบอินทรีย์ ที่มีโครงสร้างอะตอมของคาร์บอน เกาะกันคล้ายกับเพชรขนาดจิวระดับนาโนเมตร และมีอะตอมของไฮโดรเจนเกาะอยู่รอบนอก ดังรูปที่ 1 ขนาดโมเลกุลที่เล็กที่สุดของ Diamondoid นั้นชื่อ adamantane ประกอบด้วยคาร์บอน 10 อะตอมเกาะกันเป็นรูปคล้ายกรง เรียกว่า 1 หน่วย ตามรูป ถ้ามี 2 หน่วย เรียกว่า diamantane หรือ 3 หน่วยก็เรียกว่า triamantane ถ้าเกาะกันเป็นจำนวนมหาศาลก็จะกลายเป็นเพชรนั่นเอง adamantane นั้นเป็นที่รู้จักกันมานานแล้วและเป็นสารที่สามารถสังเคราะห์ได้ แต่โมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นไปกว่านั้นไม่มีการถูกค้นพบ จนกระทั่ง ปี พ.ศ. 2546 ที่บริษัทน้ำมัน Chevron สามารถสกัด Diamondoid ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ขึ้นได้ จากกากน้ำมันปิโตรเลียม [1] ที่เป็นกากของเสียที่คนคิดว่าไม่มีประโยชน์ ซึ่งเกาะติดกันที่ด้านล่างของน้ำมัน อาจเรียกได้ว่า Diamondoid นั้นจึงเป็นเพชรขนาดจิ๋วในธรรมชาติของกากน้ำมันนั่นเอง หลังจากนั้น Diamondoid ได้ถูกนำมาศึกษาวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆของมัน และไม่นานมานี้ Wanli Yang (Stanford University, USA) ค้นพบว่า Diamondoid เป็นสารที่มีคุณสมบัติเป็น negative electron affinity [2] และอาจจะดีกว่าเพชรในแง่ของประสิทธิภาพของการปลดปล่อยอิเล็กตรอน (quantum yield) และ ความคงที่ของพลังงาน

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติ negative electron affinity เริ่มจากการเตรียม tetramantane ซึ่งเป็นโมเลกุลของ Diamondoid

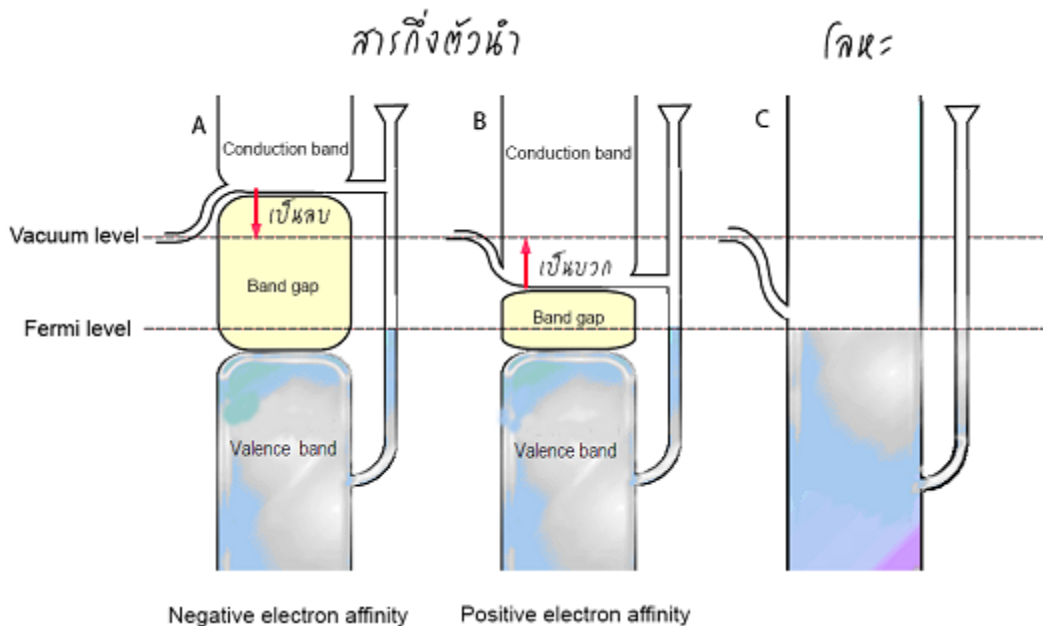


รูปที่ 2 รูปของ tetramantane-Thiol หรือ Diamondoid แบบ 4 หน่วยที่มีอะตอมซัลเฟอร์เป็นตัวช่วยเกาะบนแผ่นทองคำ (รูปจากเอกสารอ้างอิงที่ 2)

แบบ 4 หน่วย นำมาจัดเรียงบนแผ่นฟิล์มทอง (Au) โดยใช้ อะตอมซัลเฟอร์ (S) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่าง tetramantane กับแผ่นฟิล์มทอง โมเลกุล tetramantane ที่มีอะตอมซัลเฟอร์เกาะอยู่นี้อาจเรียกอีกอย่างว่า tetramantane-thiol ซึ่งมีโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกับแผ่นทอง ดังรูปที่ 2 เป็นอันเสร็จสิ้นขั้นตอนการเตรียมสาร ส่วนเทคนิคที่ใช้มาดูโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของสารที่เตรียมมานี้ ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีการดูดกลืนรังสีเอกซ์ (X-ray absorption spectroscopy) เพื่อศึกษาโครงสร้างของ conduction band และ เทคนิคโฟโตอิมิชชัน (photoemission spectroscopy) เพื่อศึกษาโครงสร้างของ valence band

ก่อนจะอธิบายถึงการทดสอบคุณสมบัติ negative electron affinity จะขอกล่าวถึงความแตกต่างของคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างสารกึ่งตัวนำ (เช่น Diamondoid) กับโลหะ (เช่นทอง) ในเชิงเปรียบเทียบก็อาจจะกล่าวได้ว่า หากน้ำคืออิเล็กตรอนโดยสารกึ่งตัวนำและโลหะเหมือนกับแจกันใส่น้ำคนละแบบ โดยสารที่เป็นโลหะก็จะเปรียบเหมือนแจกันทรงสูงมาก ดังรูปที่ 3(C) ที่มีน้ำอยู่จำนวนหนึ่ง ระดับน้ำในแจกันเปรียบได้กับ Fermi level (ระดับพลังงานสูงสุดของอิเล็กตรอนในวัสดุที่จะมีได้เมื่อไม่มีการกระตุ้นใดๆจากภายนอก) แจกันมีรูอยู่ที่ตำแหน่งสูงจากระดับน้ำไปอีกหน่อยซึ่งทำให้น้ำสามารถกระเด็นออกจากรูนี้ไปได้ ซึ่งระดับความสูง ณ ตำแหน่งนี้เปรียบได้กับ vacuum level (ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดของอิเล็กตรอนเพื่อจะหลุดออกมาจากวัสดุนั้นๆ) ส่วนสารกึ่งตัวนำก็อาจจะเหมือนแจกันแบบไม้ไผ่ที่เป็น 3 ปล้อง ดังรูปที่ 3 (A) หรือ 3(B) ปล้องตรงกลางปิดไว้ไม่สามารถใส่น้ำได้

ฟิสิกส์ของวัสดุ

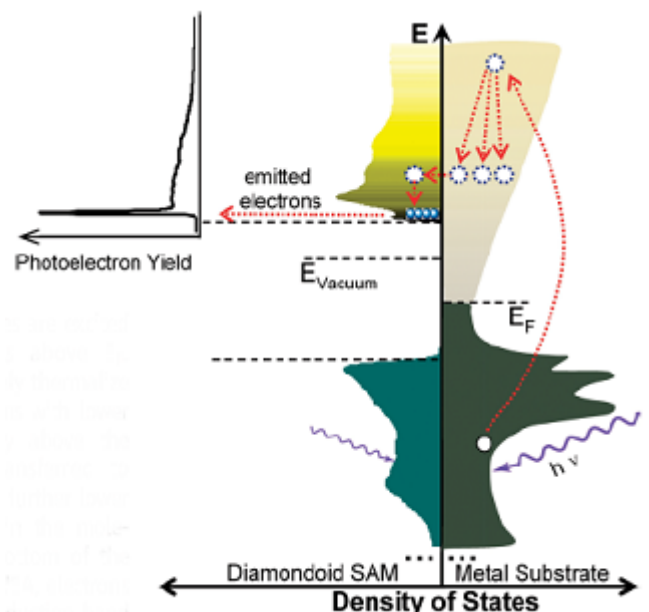


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบคว่ำระหว่างโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของโลหะและสารกึ่งตัวนำ กับ น้ำในแจกันรูปทรงต่างๆ

เปรียบเหมือน band gap ส่วนปล้องล่างใส่น้ำอยู่เต็มเป็นเหมือน valence band และปล้องบนไม่มีน้ำอยู่ แต่ใส่น้ำเพิ่มได้ เป็นเหมือน conduction band ส่วน Fermi level นั้นจะอยู่ในระดับหนึ่งของ ปล้องกลาง ซึ่งความจริงระดับน้ำต้องการขึ้นมาที่ Fermi level นี้แต่มี ปล้องกลางน้ำเข้าไม่ได้ และสุดท้าย vacuum level ก็จะเป็นเหมือน รูที่น้ำจะออกมาได้ซึ่งเชื่อมต่อกับปล้องบน

ตามโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 4 Diamondoid บริสุทธิ์นั้นไม่นำไฟฟ้าและเป็นสารกึ่งตัวนำที่มี band gap ที่ถือว่า กว้าง (ประมาณ 6-8 eV) อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ได้ในช่วงระดับ พลังงานระหว่าง band gap แต่สามารถอยู่ได้ในช่วงระดับพลังงาน ของ conduction band (unoccupied state ด้านบน band gap) และ valence band (occupied state ด้านล่าง band gap) ส่วนโลหะทอง ที่นำไฟฟ้าได้นั้น ไม่มี band gap ขั้วกลาง อิเล็กตรอนจึงเดินทางไป ระดับพลังงานต่างๆ ได้ทุกระดับขึ้นอยู่กับการถูกกระตุ้น

สารกึ่งตัวนำทั่วไปนั้นมากมายแต่น้อยมากที่จะมี คุณสมบัติเป็น negative electron affinity สารกึ่งตัวนำส่วนมากมี band gap ที่ไม่กว้าง (เช่นของซิลิคอนมีค่า 1.12 eV) และมี vacuum level อยู่สูงกว่า ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดของ conduction band ซึ่ง เรียกว่ามี electron affinity เป็นบวก ดังรูปที่ 3 (B) แต่เนื่องจาก Diamondoid เป็นสารที่มี band gap กว้าง จึงมีส่วนช่วยให้ vacuum level อยู่ต่ำกว่าระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดของ conduction band ซึ่งก็ เรียกว่ามี electron affinity เป็นลบหรือ negative electron affinity



รูปที่ 4 โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของ tetramantane-thiol บนแผ่นทองคำ และสเปกตรัมของการปลดปล่อยอิเล็กตรอนจากการกระตุ้นด้วยแสง (รูปจาก เอกสารอ้างอิงที่ 2)

นั่นเอง ดังรูปที่ 3 (A) ลักษณะที่ว่่านี้นำทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เมื่อใด อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเพิ่มพลังงานจาก valence band ให้ไปอยู่ conduction band ได้ อิเล็กตรอนก็จะไหลจากผิวของวัสดุ ออกมา ตาม vacuum level ซึ่งมีระดับต่ำกว่า conduction band แทนที่จะ กลับไป valence band เหมือนเดิม เหมือนกับการที่เอาแผ่นสังกะสี

ฟิสิกส์ของวัสดุ

มาคั่นกลางน้ำตกที่กล่าวไว้ข้างต้น และที่คิดว่ำนั่นก็คืออิเล็กตรอนที่ไหลออกมาจะมีพลังงานที่ค่อนข้างคงที่

แต่อย่างไรก็ตาม Diamondoid นั้นไม่นำไฟฟ้า อิเล็กตรอนก็มีจำกัด ถ้าต้องการให้ Diamondoid ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ตลอดก็ต้องการแหล่งอิเล็กตรอน ในที่นี้ก็คือแผ่นทองที่นำไฟฟ้าซึ่ง Diamondoid เรียงตัวกันอยู่ดังรูปที่ 2 นั่นเอง โดยโครงสร้างอิเล็กตรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกันก็ทำให้อิเล็กตรอนไหลเข้าออกจากกันได้

การศึกษาคุณสมบัติ negative electron affinity สามารถทดสอบโดยเทคนิคโฟโตอิมิชชัน กระบวนการการเดินทางของอิเล็กตรอนในสารที่เตรียมไว้นั้น มีลำดับขั้นตอนตามเส้นประแบบจุดในรูปที่ 4 คือ

- 1) อิเล็กตรอนจากแผ่นทองจะถูกกระตุ้นโดยแสงทำให้มีพลังงานสูงกว่า Fermi level
- 2) อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นและมีพลังงานสูงนั้นก็กระตุ้นให้ทองร้อนขึ้น และผลคืออิเล็กตรอนตัวอื่นๆที่มีพลังงานรองลงมา
- 3) อิเล็กตรอนเหล่านี้ก็จะถูกย้ายจากทองมาเก็บสะสมใน conduction band ของ Diamondoid และ
- 4) อิเล็กตรอนที่ถูกเก็บสะสมจำนวนมากเหล่านี้ก็จะถูกปลดปล่อยออกมา และวัดได้เป็นสเปกตรัมทางด้านซ้ายของรูปที่ 4

ทฤษฎีดังกล่าวยังต้องมีการศึกษาเพิ่มในเชิงปริมาณเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของทฤษฎีต่อไป สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างก็คือ หน้าทีของอะตอมไฮโดรเจนที่เกาะรอบนอกโมเลกุลของ Diamondoid การศึกษาในสารชนิดอื่นที่มีความใกล้เคียงกับ Diamondoid พบว่าอะตอมไฮโดรเจนมีผลกับโครงสร้างทางอิเล็กตรอนิก โดยเป็นตัวยกระดับของ conduction band ให้สูงขึ้น ถ้าเกิดเป็นธาตุตัวอื่นเช่นออกซิเจนมาเกาะแทนก็อาจจะเห็นว่าทำให้ conduction band ต่ำลงมาและอาจจะทำให้สารนั้นสูญเสียสภาพ negative electron affinity ไป

ที่กล่าวมา คุณสมบัติ negative electron affinity ก็คือคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่ที่น่าสนใจของ Diamondoid ซึ่งก็อาจจะนำ Diamondoid มาเป็นสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนและนำมาใช้สำหรับเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ เช่น จอขนาดบางของคอมพิวเตอร์หรือทีวี (field-emission flat panel) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน หรือเครื่องกัดเซาะอิเล็กตรอน (electron beam lithography) เป็นต้น

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ Diamondoid ในอุตสาหกรรม เช่น เมื่อจะใช้ทำจอทีวีขนาดบาง ก็จะนำ Diamondoid มาเคลือบแผ่นโลหะและใช้สนามไฟฟ้า (electric field) แทนแสง เป็นตัวกระตุ้นอิเล็กตรอน ให้ออกมาวิ่งไปชนกับจอที่เคลือบสารเรืองแสง เกิดเป็นจุดสีและหลายๆจุดรวมกันก็เกิดเป็นภาพบนจอทีวียิ่งไปกว่านั้น ด้วยคุณสมบัติของ Diamondoid ที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่พลังงานที่ค่อนข้างคงที่ จึงทำให้สามารถควบคุมคุณภาพได้ดี และพลังงานที่ปลดปล่อยได้เป็นจำนวนมากทำให้จอทีวีมีความสว่างมากแต่ประหยัดไฟ ต่างจากจอทีวีแบบหลอด (CRT) อย่างไรก็ตามเรื่องของ Diamondoid ก็ยังอยู่ในช่วงของการวิจัย อย่างเช่นปัญหาเรื่องการเปลี่ยนระดับของ Fermi Level หรือที่เรียกว่า การ dope ซึ่งเป็นไปได้ยาก หากแต่ถ้าสามารถทำได้สำเร็จ ก็จะสามารถปรับคุณสมบัติให้เหมาะสมมากขึ้น เช่น ถ้าเราสามารถเปลี่ยนเพิ่มระดับของ Fermi level ให้เข้าใกล้ conduction band มากขึ้น สนามไฟฟ้าที่จะใช้ในการกระตุ้นอิเล็กตรอนให้หลุดออกมาจาก Diamondoid ก็จะลดลง

ในประเทศไทยนั้น ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเรื่อง Diamondoid แต่ก็มีเครื่องโฟโตอิมิชชันที่สามารถใช้ศึกษาได้ ณ ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ จังหวัดนครราชสีมา และก็มีการศึกษาและสังเคราะห์สารที่ชื่อว่าคาร์บอนคล้ายเพชร (Diamond-like carbon) ที่ภาควิชาฟิสิกส์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คาร์บอนคล้ายเพชรเป็นสารที่ถูกค้นพบก่อน Diamondoid คาร์บอนคล้ายเพชรนั้นมีลักษณะทางกายภาพเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงคล้ายกับเพชรสมชื่อ การสังเคราะห์ก็เป็นไปได้ที่อุณหภูมิห้องและราคาไม่สูงจึงเหมาะกับงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ ได้แก่การนำไปใช้เคลือบวัสดุต่างๆเพื่อป้องกันการขีดข่วน ซึ่งนำมาใช้เคลือบ hard disk ที่เราใช้เก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ถึงแม้คาร์บอนคล้ายเพชรจะไม่มีสมบัติ negative electron affinity เหมือนกับเพชร แต่ก็มีค่า electron affinity ที่ต่ำ และอาจจะนำมาใช้ประโยชน์เป็นสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนสำหรับจอทีวีขนาดบางได้เช่นกัน



เอกสารอ้างอิง

- [1] J. E. Dahl, S. G. Liu and R. M. K. Carlson, "Isolation and Structure of Higher Diamondoid", *Nanometer-Sized Diamond Molecules*, Science 299, 96 (2003).
- [2] W. L. Yang, et al., "Monochromatic Electron Photoemission from Diamondoid Monolayers", *Science* 316, 1460 (2007).

ตัวนำยิ่งยวด

พวงรัตน์ ไพเราะ*

ตอนที่ 3 ตัวนำยิ่งยวดกับการประยุกต์ใช้บางส่วน

ในตอนที่แล้ว (วารสารฟิสิกส์ไทย ก.ย.-พ.ย. 2550) เราได้รู้จักกลไกการเกิดสภาพนำยิ่งยวดในระดับจุลภาคไปบ้างแล้ว สำหรับในตอนนี้ซึ่งเป็นตอนสุดท้ายของบทความที่เกี่ยวกับตัวนำยิ่งยวด เราจะมาดูกันในเรื่องที่เบาขึ้นหน่อย คือ เกี่ยวกับการนำเอาตัวนำยิ่งยวดมาใช้งานในบางส่วน

เนื่องจากการทำให้สารกลายเป็นตัวนำยิ่งยวดนั้น ต้องทำให้อุณหภูมิลดลงต่ำกว่าค่าอุณหภูมิวิกฤติ ซึ่งมีค่าต่ำมาก และการทำให้อุณหภูมิต่ำขนาดนั้น ยังมีราคาแพง ดังนั้นการประยุกต์ใช้ตัวนำยิ่งยวด จึงยังไม่มาอยู่ในระดับครัวเรือนให้เราเห็นกันเป็นประจำ ตัวนำยิ่งยวดมักถูกนำไปใช้ในระดับการทำงานวิจัยใหญ่ๆ หรือในระดับเครื่องมือใหญ่ ๆ ตัวอย่างเช่น ในเครื่องเร่งอนุภาค หรือในทางการแพทย์ อย่างเช่น ในเครื่องถ่ายภาพด้วยเรโซแนนซ์แม่เหล็กหรือที่เรียกกันว่าเครื่องเอ็มอาร์ไอ (MRI = Magnetic Resonance Imaging) และรวมถึงการขนส่งมวลชน คือ รถไฟที่ลอยเหนือรางได้ด้วยแรงแม่เหล็ก สำหรับในเครื่องมือระดับเล็ก ๆ ตัวนำยิ่งยวดถูกนำมาใช้ในการวัดสัญญาณแม่เหล็กขนาดเล็กมาก ๆ เช่น ในสิ่งมีชีวิต หรือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลก (สนามแม่เหล็กของโลกที่บริเวณผิวมีค่าประมาณ 5×10^{-5} เทสลา; 1 เทสลา มีค่าเท่ากับ 1×10^4 เกาส์) หรือแม้แต่การตรวจจับความผิดปกติหรือบกพร่องของชีพขนาดเล็กที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ ที่เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้ เป็นต้น

ในเครื่องเร่งอนุภาค สิ่งหนึ่งที่มีความจำเป็นคือ สนามแม่เหล็กความเข้มสูง (ประมาณ 10 – 20 เทสลา) ซึ่งทำมาจากการใส่กระแสไฟฟ้าให้วิ่งผ่านลวดตัวนำยิ่งยวด สนามแม่เหล็กที่เกิดจากลวดตัวนำธรรมดาเช่น ทองแดงจะมีค่าไม่สูงนัก คือ ประมาณ 1 เทสลา เท่านั้น เนื่องจากกระแสในตัวนำธรรมดามีการสูญเสียพลังงานไปในรูปความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถทนกระแสสูงๆ เติบโตได้ ต่างจากตัวนำยิ่งยวดซึ่งสามารถ

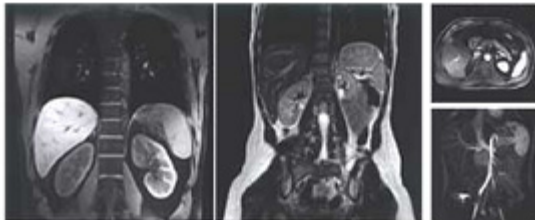


รูปที่ 1 ด้านบนซ้าย คือ Tevatron ที่ Fermi Lab มีท่อสุญญากาศซึ่งเป็นทิวของลวดอนุภาควาว 4 ไมล์ แม่เหล็กตัวนำยิ่งยวดที่ประกอบอยู่กับท่อลำเลียงอนุภาคนี้นี้มีประมาณ 1000 แท่ง ด้านบนขวาเป็นแท่งแม่เหล็กที่นำมาวางกองไว้ก่อนนำไปติดตั้ง ด้านล่างเป็นภาคตัดขวางของแม่เหล็ก ตรงกลางเป็นท่อสุญญากาศซึ่งเป็นช่องทางวิ่งสำหรับลวดอนุภาค (นำมาจาก <http://www.fnal.gov> และ <http://www-bd.fnal.gov/public/tevatron.html>)

ออกแบบให้ทนกระแสได้ถึง 10,000 แอมแปร์โดยแทบไม่มีการสูญเสียพลังงานเลย ตัวนำยิ่งยวดที่มักนำมาใช้งานในการสร้างสนามแม่เหล็กความเข้มระดับนี้ ก็ได้แก่ อัลลอยด์ไนโอเบียมกับไททาเนียม (Nb_3Ti อุณหภูมิวิกฤตประมาณเท่ากับ 9.5 เคลวิน) เครื่องเร่งอนุภาคเครื่องแรกที่น่าเอาตัวนำยิ่งยวดมาใช้ คือ Tevatron ที่ Fermi National Accelerator Laboratory สหรัฐอเมริกา (รูปที่ 1) ในปี ค.ศ. 1984 เครื่องนี้มีความสามารถเร่งอนุภาคให้มีพลังงาน 1 TeV ($= 10^6$ MeV) ได้ และมีแม่เหล็กที่ทำมาจากตัวนำยิ่งยวดทั้งหมด 1,000 ตัว ตัวอย่างของเครื่องเร่งอนุภาคอื่นที่ใช้แม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด ก็ได้แก่ Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) ที่ Brookhaven National Laboratory สหรัฐอเมริกา, HERA ที่ Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) เยอรมนี, Large Hadron Collider (LHC) ที่ CERN สวิตเซอร์แลนด์ (ที่นี้ใช้แม่เหล็ก

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) แห่งสาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฟิสิกส์ของวัสดุ

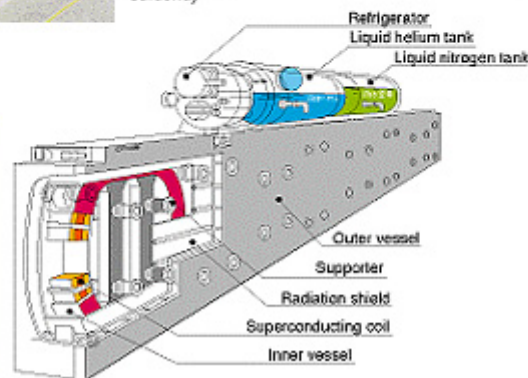
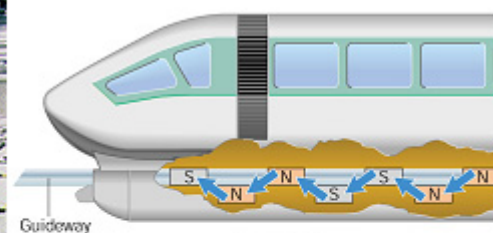


ตัวนำยิ่งยวดถึง 8,000 ตัวเพื่อให้ได้พลังงานการชน 14 TeV)

สำหรับเครื่อง MRI (รูปที่ 2) เป็นเครื่องตรวจร่างกาย โดยการสร้างภาพเหมือนจริงของส่วนต่างๆของร่างกาย โดยใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูง และคลื่นความถี่ในย่านความถี่วิทยุ (radio frequency) ด้วยการส่งคลื่นความถี่เข้าสู่ร่างกาย เนื้อเยื่อ

รูปที่ 2 ภาพบนแสดงเครื่อง MRI ที่มีสนามแม่เหล็กขนาด 1.5 เทสลาที่ Stanford University ภายในมีขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากตัวนำยิ่งยวด ภาพล่างแสดงตัวอย่างของภาพที่ถ่ายจากเครื่อง MRI (ภาพบนนำมาจากบทความ Superconductivity: A macroscopic quantum phenomena โดย John Clarke ในวารสาร Beam Line ปีค.ศ. 2000 ฉบับที่ 30 ลำดับที่ 2 ภาพล่างนำมาจาก <http://www.mrithailand.com/mri9/>)

โปรตอน ซึ่งอยู่ในอะตอมไฮโดรเจนในเนื้อเยื่อร่างกายคนไข้ (คนเรานี้มีน้ำและไขมันเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ มีอะตอมของไฮโดรเจนกว่า 60%) ให้หมุนรอบทิศทางของสนามแม่เหล็กคงตัว และก็มีกำรับคลื่นสะท้อนกลับ นำมาประมวลผลและสร้างเป็นภาพของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น หัวใจ ปอด สมอง ลำไส้ ได้ด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถให้รายละเอียดและความคมชัดเสมือนการตัดร่างกายตามแนวขวางออกเป็นแผ่นๆ ทำให้สามารถนำมาใช้ในการตรวจหาเนื้อเยื่อที่มีความผิดปกติ เช่น มะเร็ง ซึ่งมีลักษณะภาพจาก MRI ที่ต่างไปจากเนื้อเยื่อปกติ เนื่องจากมีส่วนประกอบที่แตกต่างกัน โดยไม่ทำให้คนไข้ต้องเจ็บตัว สนามแม่เหล็กความเข้มสูงนี้ เกิดมาจากขดลวดโซลินอยด์ที่ทำจากตัวนำยิ่งยวด ซึ่งมีความยาวเป็นสิบ ๆ กิโลเมตร และสามารถให้ความเข้มสนามแม่เหล็กได้ถึง 2 เทสลา สนามแม่เหล็กในเครื่อง MRI ในสมัย



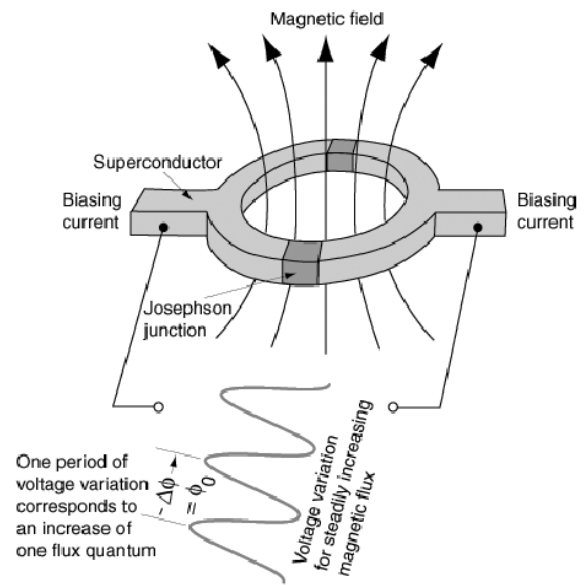
รูปที่ 3 ด้านบนซ้ายเป็นภาพรถไฟ MAGLEV รุ่น MLX01 ของญี่ปุ่น ด้านบนขวาเป็นภาพการรูดแสดงหลักการที่ทำให้รางกับรถผลักกัน ด้านล่างเป็นแท่งแม่เหล็กที่ทำจากตัวนำยิ่งยวดซึ่งติดอยู่กับตัวรถ (ซ้ายเป็นรูปจริง ขวาเป็นแผนภาพ) (นำมาจาก http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_frame_E.html)

ฟิสิกส์ของวัสดุ

แรกๆ มีความเข้มต่ำคือ 0.2–0.6 เทสลา และทำจากแม่เหล็กถาวร ซึ่งเทอะทะและมีมวลมากถึง 100 ตัน

ในการขนส่งมวลชนความเร็วสูง รถไฟ MAGLEV (Magnetic Levitation) สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วถึง 580 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นรถไฟที่วิ่งโดยไม่แตะราง อาศัยการที่ตัวนำยิ่งยวดสามารถผลักสนามแม่เหล็กให้ออกจากตัวได้ มาทำให้เกิดแรงแม่เหล็กผลักให้ตัวรถอยู่เหนือราง การขับเคลื่อนเกิดจากการที่ตัวรางมีความเป็นแม่เหล็กที่มีขั้วตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กของตัวรถ และทำให้เกิดแรงผลักตัวรถไปข้างหน้า (ดูรูปที่ 3) รถไฟในลักษณะนี้ นำมาใช้งานแล้วในประเทศจีน และญี่ปุ่น

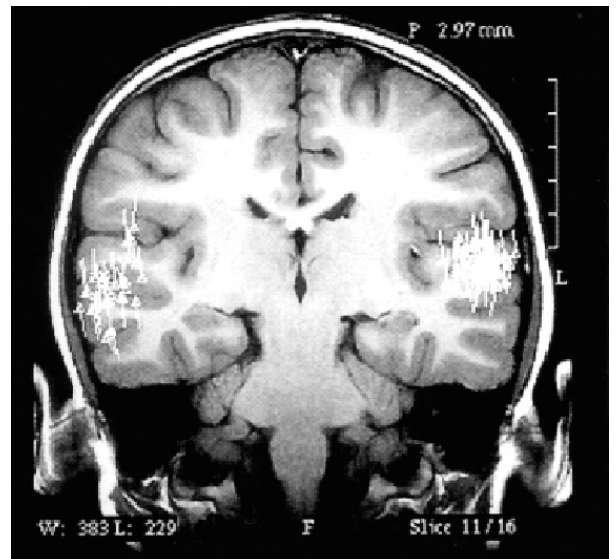
ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นการนำตัวนำยิ่งยวดมาประยุกต์ใช้ในเครื่องมือระดับใหญ่ ส่วนในเครื่องมือระดับเล็ก ๆ (เล็กกว่า 1 มิลลิเมตร) นั้น ก็มีการนำมาประยุกต์ใช้เช่นกัน นั่นคือ เป็นอุปกรณ์ที่นำเอารอยต่อโจเซฟสัน (คือรอยต่อของตัวนำยิ่งยวดสองตัว ดูในวารสารฟิสิกส์ไทย ม.ย.-ส.ค. 2550) มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า SQUID—Superconducting QUantum Interference Devices ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กมาก SQUID สามารถเปลี่ยนสัญญาณการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก ซึ่งวัดได้ยากมาก ให้กลายเป็นสัญญาณไฟฟ้าซึ่งวัดง่ายได้ รูปที่ 4 แสดงแผนภาพและหลักการ



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของ SQUID ส่วนสีเข้มในวงแหวนเป็นรอยต่อ โจเซฟสัน (นำมาจาก <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/solids/squid.html>)

ทำงานอย่างคร่าว ๆ ของ SQUID

SQUID ประกอบด้วยรอยต่อโจเซฟสัน 2 อันที่ต่อกันแบบขนานมีลักษณะเป็นวง เมื่อมีกระแสไหลผ่าน จะมีค่าความต่างศักย์ตกคร่อมวงดังกล่าว ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้านี้ จะมีความสัมพันธ์กับค่าฟลักซ์แม่เหล็กที่ผ่านวงดังกล่าว ถ้าฟลักซ์แม่เหล็กนี้



รูปที่ 5 ด้านซ้ายเป็นรูปของเครื่องมือที่ใช้วัดสัญญาณในสมอง เครื่องนี้มี SQUID อยู่ 306 ตัว ด้านขวาเป็นตัวอย่างแผนภาพแสดงตำแหน่งของค่าสัญญาณสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงกว่าปกติที่ด้านซ้ายและขวาของสมอง (วัดโดย SQUID) ในคนไข้อายุ 5 ปีที่ป่วยเป็นโรคแอลเคเอส (LKS—Landau-Kleffner Syndrome) ตำแหน่งของสัญญาณดังกล่าวถูกนำมาซ้อนใส่ไว้ในภาพของสมองที่ถ่ายโดย MRI (นำมาจากบทความ Superconductivity: A macroscopic quantum phenomena โดย John Clarke ในวารสาร Beam Line ปี ค. ศ. 2000 ฉบับที่ 30 ลำดับที่ 2)

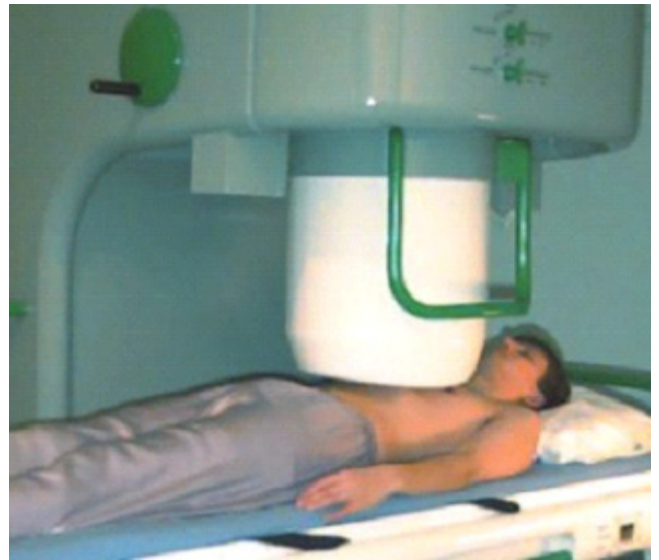
ฟิสิกส์ของวัสดุ

มีการเปลี่ยนแปลง ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมก็จะมีการแปรเปลี่ยนค่าไปด้วย โดยการแปรเปลี่ยนดังกล่าวมีลักษณะเป็นแบบกวัดแกว่ง โดยมีค่าคาบเท่ากับค่าฟลักซ์แม่เหล็ก 1 ควอนตัม

$$(\Phi_0 = \frac{hc}{2e} = 2.07 \times 10^{-7} \text{ เทสลา-เซนติเมตร}^2) \text{ เราสามารถวัดการ}$$

เปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านวงแหวนได้ โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์นี้ ตามปกติ SQUID สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านได้ละเอียดถึง 1 ในล้านของค่าฟลักซ์ควอนตัม ตัวอย่างการนำ SQUID ไปใช้งานก็ได้แก่ การวัดสัญญาณแม่เหล็กในสมองที่ขณะต่าง ๆ โดยมักจะมีการใช้ร่วมกับภาพที่ถ่ายได้จาก MRI ด้วย เป็นต้น

นอกจากการวัดสัญญาณในสมองแล้ว ก็ยังมีความพยายามที่จะพัฒนา SQUID ให้สามารถวัดสัญญาณแม่เหล็กของหัวใจอีกด้วย เรียกว่า เครื่อง MCG—Magnetocardiography (รูปที่ 6) ซึ่งจะสามารถทำให้แพทย์ระบุตำแหน่งของความผิดปกติของหัวใจได้โดยไม่ต้องมีการผ่าตัดเปิดหน้าอก



รูปที่ 6 ตัวอย่างเครื่อง MCG (นำมาจาก <http://www.biomag.hus.fi/mcg.html>)

การนำตัวนำยิ่งยวดมาใช้งานที่ได้กล่าวมานี้ เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ท่านผู้อ่านสามารถอ่านเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ตัวนำยิ่งยวดเพิ่มเติมได้ที่ <http://superconductor.org>



เรียนเชิญชาวฟิสิกส์ทุกท่านไปพบกันอีกครั้งที่ SPC 2008

“Physics for Life”

วันที่ 20 – 22 มีนาคม 2551

ณ โรงแรมดิอาร์โน โกลเด้น วัลเลย์ รีสอร์ท และ The Greenery Resort เขาใหญ่ จ. นครราชสีมา (165 กม. จากกรุงเทพฯ)

“ช่วงเวลาที่คุณดื่มด่ำฟิสิกส์ ในอ้อมกอดของบรรยากาศป่าเขาใหญ่ที่แสนบริสุทธิ์”

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล
ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ
111 อาคารสุรพัฒน์ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
โทร 044 – 217044

E-mail : spc2008@nsr.or.th

กำหนดเวลา

วันสุดท้ายการส่งบทคัดย่อ :	15 มกราคม 2551
วันสุดท้ายการลงทะเบียนล่วงหน้า :	31 มกราคม 2551
วันสุดท้ายการลงทะเบียน :	29 กุมภาพันธ์ 2551
วันสุดท้ายการจองที่พัก :	29 กุมภาพันธ์ 2551

หรือที่ website : www.nsrc.or.th/spc2008

เข้าใจคณิตศาสตร์แบบนักฟิสิกส์

วารานนท์ อนุกุล *

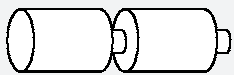
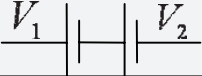
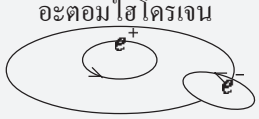
หากเราให้คำจำกัดความ การทดลอง ว่าเป็นการค้นหาความจริง และ ทฤษฎี ว่าเป็นการอธิบายผลการทดลอง (ข้อเท็จจริง) ดังกล่าว จะดูเหมือนว่า ผลการทดลองที่ไม่สามารถแปลความหมายได้จะต้องเกิดขึ้นก่อนความเข้าใจทางทฤษฎี ในอดีตเราค้นพบว่าหลายครั้งที่ลำดับการเกิดขึ้นของการทดลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไม่ได้เป็นดังว่า กล่าวคือ คำอธิบายถูกเสนอขึ้นมาก่อน⁽ⁱ⁾ ในรูปแบบของแบบจำลอง(ตัวแทนของระบบในธรรมชาติ) ที่แสดงผลลัพธ์ที่คาดว่าจะเป็ นแน่นอนว่าแบบจำลองนี้ คงจะไม่เป็นที่ยอมรับว่าเป็นทฤษฎีหากไม่ได้รับการสนับสนุนจากการทดลองที่ถูกทำซ้ำหลายๆครั้งแล้วให้ผลลัพธ์เฉลี่ย⁽ⁱⁱ⁾ เป็นไปตามที่คาดหมายไว้ในส่วนหนึ่งส่วนใดของแบบจำลองนั้น กระนั้นก็ยังมึแบบจำลองอีกมากที่ยังคงไม่อาจเปลี่ยนสถานะขึ้นเป็นทฤษฎี

ได้เนื่องจากสถานการณ์แวดล้อมแบบสุดขั้วในแบบจำลองอยู่นอกระยะที่การทดลองจะก้าวไปถึง

เป็นที่ประจักษ์กันดีว่า การออกแบบการทดลองต้องอาศัยทฤษฎีเป็นเครื่องนำทาง ผลการทดลองจะได้รับความเชื่อถือหากการทดลองโดยวิธีการที่แตกต่างกันให้ผลสรุปเป็นอย่างเดียวกัน⁽ⁱⁱⁱ⁾ และยิ่งจะดูสอดคล้องตามมากขึ้นหากมีทฤษฎีรองรับ ในทำนองเดียวกันแบบจำลองจะได้รับการยอมรับก็ต่อเมื่อมีการทดลองสนับสนุน และในบางครั้งเมื่อมีแบบจำลองอื่นที่สามารถอธิบายผลการทดลองเดียวกันในลักษณะที่เชื่อมโยงกันได้^(iv)

ความต้องการการสนับสนุนจากกันและกัน รวมถึงลำดับการปรากฏขึ้นของผลการทดลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง อาจเปรียบเทียบได้กับปัญหาไก่กับไข่ อย่างไรก็ตามทั้งสองกระบวนการได้ถูกใช้

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการทดลองและทฤษฎี เมื่อ R (ปริมาตรต่อเวลา) คืออัตราการไหลของน้ำจากก๊อก $\vec{v}$ คือความเร็วของน้ำในภาค $d\tau$ และ $d\vec{S}$ คือปริมาตร และพื้นที่ผิวที่ห่อหุ้มปริมาตรนั้นตามลำดับ $\vec{H}$ คือ เสมิลโทเนียนสำหรับปฏิกิริยาการรวมคู่ สปิน-สปิน ของอิเล็กตรอนและโปรตอนในอะตอมไฮโดรเจน และ ΔE คือช่องว่างของระดับพลังงานที่สอดคล้องกับ $\vec{H}$

	ระบบ	เครื่องมือ	ผลลัพธ์
การทดลอง 1	น้ำไหลจากก๊อกหลายก๊อก	ถาดรองน้ำ+นาฬิกาจับเวลา	R
ทฤษฎี 1	ความเร็วน้ำบนผิว(วัดเมื่อน้ำเริ่มล้นออกจากถาดรองน้ำบาง)	$\oint \vec{v} \cdot d\vec{S} = \oint \vec{V} \cdot \vec{v} d\tau = R$	R
การทดลอง 2		โวลต์มิเตอร์	V_{tot}
ทฤษฎี 2		$V_1 + V_2 = V_{tot}$	V_{tot}
การทดลอง 3		การดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟ ^(v)	ΔE
ทฤษฎี 3	ψ_{H-atom}	$\hat{H} = \alpha \vec{S}_p \cdot \vec{S}_e$	ΔE

* อาจารย์ (ดร.) แห่งภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กาดำราฟิสิกส์

ในการศึกษาและเข้าใจธรรมชาติผ่านปริมาณทางฟิสิกส์เหมือนกัน ดังนั้นทั้งสองกระบวนการมีความสมมูลกันในด้านกลวิธีในการเข้าถึงธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าระบบในการทดลองถูกจำลองเป็นสถานการณ์ในภาคทฤษฎี หรือเรียกกันในรูปแบบที่คุ้นเคยว่า “แบบฝึกหัดท้ายบท” เครื่องมือวัดอาทิเช่น โวลต์ มิเตอร์ จะเป็นเสมือนสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ต้องการวัดกับปริมาณที่สามารถวัดได้อื่นๆ และในที่สุดผลการทดลอง หรือผลการคำนวณของทั้งสองกระบวนการจะถูกแสดงออกมาเป็น ข้อเท็จจริง^(vi) และคำคาดหวัง ตามลำดับ

จากความสัมพันธ์ในลักษณะดังกล่าวลองคิดดูว่า หากเราใช้ทฤษฎีทางแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นทฤษฎีที่ประสบความสำเร็จอย่างงดงาม มีความสมบูรณ์และมักถูกใช้เป็นทฤษฎีอ้างอิงในการก่อรูปของทฤษฎีอื่นๆ ในการทำนายผลลัพธ์ที่ยังไม่มีการทดลองสนับสนุน(จะด้วยเหตุผลใดก็ตาม) ผลการคำนวณนั้นอาจเรียกว่าเป็นการสำรวจธรรมชาติอีกแบบหนึ่งก็คงไม่ผิด เพราะอย่างนี้นักฟิสิกส์ทราบดีว่า ธรรมชาติแสดงพฤติกรรมผ่านกฎทางฟิสิกส์เพียงไม่กี่ข้อ กฎเหล่านั้น เป็นมูลฐานของธรรมชาติที่วิทยาศาสตร์

ตารางที่ 2 กฎธรรมชาติอันเรียบง่ายที่ครอบคลุมฟิสิกส์ในบางสาขา

กฎของนิวตัน	→ กลศาสตร์คลาสสิก
กฎสามข้อของอุณหพลศาสตร์	→ อุณหพลศาสตร์
ชุดสมการของแมกซ์เวลล์	→ ไฟฟ้าพลศาสตร์
หลักความไม่แน่นอนของไฮเซนเบิร์ก	→ กลศาสตร์ควอนตัม
สัจพจน์ของไอน์สไตน์	→ สัมพัทธภาพพิเศษ

สาขาอื่นๆเช่น เคมี, ชีววิทยา, ธรณีวิทยา ฯลฯ ยึดถือเป็นบรรทัดฐาน, แต่ละกลุ่มของกฎเหล่านั้นก่อให้เกิดฟิสิกส์ในสาขาต่างๆ (บางส่วนของแสดงไว้ในตารางที่ 2) และครอบคลุมถึงผลที่ตามมาทั้งหมดนั้นหมายความว่าผลลัพธ์ทั้งหมดที่ทำนายไว้ข้างต้นได้ถูกผูกมัดกับพฤติกรรมของธรรมชาติที่ถูกกำกับไว้ด้วยกฎทางฟิสิกส์ แม้จะยังไม่สามารถแสดงผ่านผลการทดลองก็ตาม

แม้ว่าการสำรวจธรรมชาติทั้งสองวิธีจะมีจุดคล้าย-จุดเด่น และมีความแตกต่างกันโดยธรรมชาติ แต่สิ่งที่เหมือนกันคือ ทั้งสองวิธีพยายามลดความยุ่งยากของระบบโดยการกำจัดตัวแปรที่ส่งผลน้อยต่อการเปลี่ยนสถานะของระบบ อันนี้แน่นอนเป็นจุดอ่อนที่จำต้อง

ⁱ ตัวอย่างเช่น Bose-Einstein condensate ถูกเสนอและได้รับการยอมรับบางส่วนมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1924 แต่สถานะที่ห้าของสสารนี้เพิ่งได้รับการยืนยันจากการทดลองในปี ค.ศ.1995 ในแก๊สเจือจางของอะตอมรูบิเดียมที่มีอุณหภูมิ 10^{-7} K ผลงานนี้ทำให้ Eric Cornell, Wolfgang Ketterle และ Carl Wieman ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ.2001

ⁱⁱ ภายหลังจากที่ความหนาแน่นของความน่าจะเป็นถูกเสนอใช้เป็นตัวแทนการแสดงสมบัติของแสงในเชิงอนุภาค การพัฒนาของกลศาสตร์ควอนตัมแสดงให้เห็นว่าการวัดปริมาณเดียวกันหลายๆครั้งบนระบบที่เหมือนกันทุกประการอาจให้ค่าไม่เท่ากัน แม้ความคลาดเคลื่อนจากการวัดทุกชนิดจะเป็นศูนย์ นั้นหมายความว่าค่าเฉลี่ยเป็นปริมาณที่แสดงสมบัติของระบบที่ดีกว่า

ⁱⁱⁱ ตัวอย่างเช่น สารตัวนำยิ่งยวดที่ประกอบด้วยอะตอมของ CuO_2 จะมีการเข้าคู่กันของอิเล็กตรอนยิ่งยวดมีสมมาตรแบบ d-wave ผลการทดลองที่สนับสนุนสมมาตรของการเข้าคู่กันนี้สามารถได้มาจากวิธีการต่างๆกัน เช่น การวัดระยะแทรกซึมแม่เหล็ก (magnetic penetration depth), การวัดสภาพนำทางความร้อน, การวัดความร้อนจำเพาะของอิเล็กตรอน, การใช้เทคนิค Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy (ARPES) และการใช้เทคนิค Raman scattering เป็นต้น

^{iv} วิธีการเข้าถึงระบบทางควอนตัมแบบคลื่นกลของซเรดิเจเจอร์ และแบบกลศาสตร์เมทริกซ์ของไฮเซนเบิร์ก เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนโดยปกติรูปแบบวิธีการอธิบายผลการทดลองที่ดีเพียงแบบเดียวก็เพียงพอ ด้วยเหตุผลที่ว่า หากในอนาคตผลการทดลองใหม่ๆทำให้ทฤษฎีดูขาดความสมบูรณ์ เราจะต้องการเพียงการตีความตัวทฤษฎีใหม่หรือขยายความทฤษฎีเดิมให้ครอบคลุมผลการทดลองนั้นๆ

^v คลื่นไมโครเวฟมีพลังงานเทียบเคียงได้กับค่าความแตกต่างของระดับพลังงาน ΔE ในปฏิกิริยาร่วมคู่ สปิน-สปิน ของอะตอมไฮโดรเจน

^{vi} ค่าที่วัดได้จะสนับสนุนเจตนาในการ “ค้นหาความจริง” ได้ดีเพียงไร ขึ้นอยู่กับความรัดกุมในการออกแบบการทดลองเพื่อกำจัดข้อบกพร่อง

ยอมรับ เพราะคงจะยุ่งยากเกินไปหากเราต้องการรู้ให้ได้ว่าระดับน้ำทะเลจะสูงขึ้นเท่าไร ถ้าเราแทนน้ำหนึ่งแก้วลงไปที่ยาหยาดอย่างใดก็ตามผลที่ได้ซึ่งก็คือ สมการทางฟิสิกส์ หรือการทดลองที่มีความซับซ้อนน้อยลง จะเผยให้เห็นความสวยงามของทฤษฎีส่วนใหญ่ที่แสดงพฤติกรรมของธรรมชาติผ่านกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เรียบง่าย และด้วยเหตุผลในด้านความสะดวกในการใช้เพื่อสื่อสารกันในห้องเรียน จึงไม่น่าแปลกใจที่นักฟิสิกส์จะรู้สึกคุ้นเคยกับการสำรวจธรรมชาติผ่านทางทฤษฎีมากกว่าโดยอาจไม่รู้ตัว

การออกแบบเครื่องมือสำรวจ^(vii) สำหรับระบบกายภาพที่ซับซ้อน และการแปลความหมายข้อมูลที่รวบรวมไว้ให้สามารถเข้าใจได้หรือประยุกต์ใช้ได้ ต้องการความอดทนไม่น้อย ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อความเข้าใจที่สมเหตุสมผลในบางส่วนของธรรมชาติถูกตั้งสมมติฐานเป็นความรู้ที่เป็นปึกแผ่น และสรุปไว้ในรูปของสมการคณิตศาสตร์อันเป็นตัวกลางในการสื่อสารดังปรากฏในตำราฟิสิกส์ สำหรับผู้รับสาร ความไม่เข้าใจในความหมายของสมการคณิตศาสตร์ที่นักฟิสิกส์ใช้เป็นเสมือนประโยชน์ขนาดจะเกิดขึ้นในการบรรยายให้เห็นสภาพของระบบทางฟิสิกส์ จะเป็นอีกอุปสรรคหนึ่งที่ทำให้นักฟิสิกส์รุ่นเยาว์หลายคนหมดความกระตือรือร้นและขาดความเชื่อมั่นที่จะเข้าสู่โลกของฟิสิกส์ ถึงแม้ว่าสมการคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณทางฟิสิกส์เป็นเพียงเครื่องมือทางทฤษฎีในการศึกษาระบบย่อยในธรรมชาติความเข้าใจนัยยะของตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ในอรรถาธิบายซึ่งครอบงำโดยฟิสิกส์ จะช่วยให้เราสามารถประมาณคำตอบที่สมเหตุสมผลของปัญหาได้โดยไม่ต้องลงมือแก้ปัญหาจริงๆ ทั้งนี้ต้องอยู่บนพื้นฐานความเข้าใจที่ว่าธรรมชาติในส่วนที่กำลังถูกสำรวจไม่ได้ประพฤติตามทุกคำตอบจากการแก้สมการคณิตศาสตร์

ตัวอย่างที่จะยกมาแสดงก็คือ สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง^(viii) เช่น $\nabla^2 V = 0$ โดยนัยยะของตัวกระทำลาปลาซ^(ix) นี้เราพบว่าช่วงของคำตอบที่เป็นฟังก์ชันในปริภูมิที่พิจารณาจะต้องไม่มีลักษณะสูงสุดหรือต่ำสุดเฉพาะที่ (มีเท่านั้น $\nabla^2 V$ จะไม่เป็นศูนย์ในบริเวณดังกล่าว) หรือกล่าวได้ว่า V จะเป็นฟังก์ชันเพิ่มหรือลดเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง และนั่นหมายความว่าที่จุดใดๆในปริภูมิคำตอบที่สอดคล้องกับสมการข้างต้นซึ่งเราทราบดีว่าคือฟังก์ชันฮาร์โมนิก จะเป็นค่าเฉลี่ยของคำตอบในบริเวณรอบข้าง หากพิจารณาในเฉพาะหนึ่งมิติ เราจะได้เห็นว่าคำตอบของ $\frac{d^2V}{dx^2} = 0$ ก็คือสมการเส้นตรงใดๆ คำตอบที่มีนัยไม่ถ้วนเหล่านี้จะต้องถูกคัดเลือกโดยเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งเป็นการเลือกคำตอบในกรณีเฉพาะที่มีลักษณะพิเศษจำเพาะกับระบบหนึ่งในธรรมชาติ

นอกจากนัยยะของตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ที่ต้องเข้าใจแล้ว การกระทำต่อกันของสองปริมาณใดๆ อันเปรียบเสมือน **เวกเตอร์** ในประโยชน์คณิตศาสตร์ เป็นอีกสิ่งที่พบอยู่เสมอในการสื่อสารระหว่างนักฟิสิกส์ กล่าวคือ ในสมการพลังงาน อันตรกิริยาของสองเวกเตอร์จะแสดงด้วยผลคูณดอท (dot product) $\vec{A} \cdot \vec{B}$ เราทราบว่า ผลในทางคณิตศาสตร์จะมีค่าเท่ากับ $AB \cos \theta$ เมื่อ θ คือมุมระหว่างเวกเตอร์ทั้งสอง นั้นหมายความว่า $\vec{A}$ จะเลือกเอาส่วนประกอบของ $\vec{B}$ ในทิศทางของ $\vec{A}$ เท่านั้น นั่นคือ $B \cos \theta$ (เป็นจริงในทางกลับกัน) ในระบบกายภาพ หากเราพิจารณาอะตอมไฮโดรเจน บนกรอบอ้างอิงอิเล็กตรอนเราพบว่า อิเล็กตรอนจะรับรู้ถึงสนามแม่เหล็ก $\vec{B}_p$ เนื่องจากโปรตอนโคจรรอบอิเล็กตรอนด้วยแรงดึงดูดคูลอมบ์ สมมติว่า $\vec{\mu}$ คือโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กเนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน ระบบจะเสถียรที่สุด เมื่อ

^{vii} ทั้งในทางการทดลองและทฤษฎี ตัวอย่างทางทฤษฎีเช่น ในวิชากลศาสตร์ เราต้องออกแบบแฮมิลโทเนียนที่เหมาะสมกับพลังงานศักย์ของระบบเพื่อใช้วัดพลังงานรวมของระบบนั้น

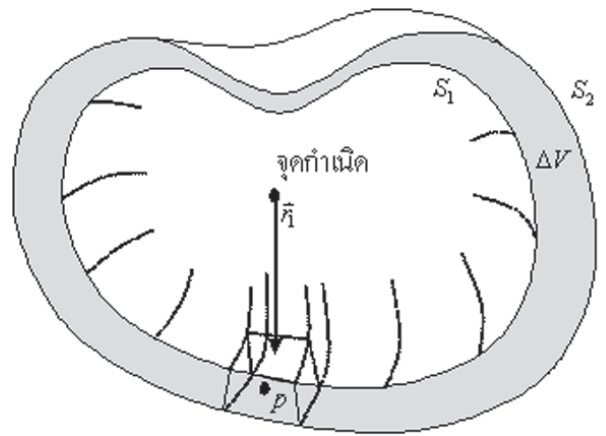
^{viii} อนุพันธ์ย่อยอันดับสองที่เกี่ยวข้องกับตัวกระทำ ∇ มีทั้งหมดเพียงห้าแบบ คือ 1) $\nabla \cdot \vec{F} = \nabla^2 T$ 2) $\nabla \times \vec{F} = \nabla^2 \vec{A}$ 3) $\nabla(\nabla \cdot \vec{A})$ 4) $\nabla \cdot (\nabla \times \vec{A})$ และ 5) $\nabla \times (\nabla \times \vec{A}) = \nabla(\nabla \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$ แบบที่ 2 และ 4 มีค่าศูนย์แบบที่ 3 มีโอกาสพบน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ในการแก้ปัญหฟิสิกส์ นั้นหมายความว่า แทบไม่แสดงพฤติกรรมของธรรมชาติเลย เช่นเดียวกันกับข้อ 5 ที่รวมเอาสมบัติของข้อ 3 ไว้ครึ่งหนึ่ง ดังนั้น นักฟิสิกส์มักพบเพียงลาปลาเซียนของปริมาณ scalar ซึ่งก็คือข้อ 1 เท่านั้น

^{ix} นักฟิสิกส์ถือว่าการศึกษาไฟฟ้าสถิตคือการหาคำตอบของสมการลาปลาซ $\nabla^2 V = 0$ เมื่อ V คือศักย์สนามไฟฟ้า สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสองเช่นนี้ มีรูปแบบทั่วไปเกินกว่าจะถูกจำกัดการใช้กับวิชาใดวิชาหนึ่ง ไม่ต้องแปลกใจหากสมการลักษณะนี้จะปรากฏอยู่ในหนังสือวิชาชีววิทยา, เคมี, เศรษฐศาสตร์ ฯลฯ และแน่นอน คำจำกัดความของ V จะเปลี่ยนไปตามอรรถาธิบาย

พลังงานศักย์ของอันตรกิริยานี้ นั่นคือ $-\vec{\mu} \cdot \vec{B}_p$ มีค่าต่ำสุด หรือกล่าวได้ว่า มุมระหว่าง $\vec{\mu}$ และ $\vec{B}_p$ มีค่าศูนย์ หมายความว่าสนามแม่เหล็กจะพยายามที่จะหมุนโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กให้อยู่ในทิศเดียวกัน

ในทางตรงกันข้ามผลคูณครอส (cross product) $\vec{A} \times \vec{B} = \hat{n}AB \sin \theta$ เมื่อ $\hat{n}$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยมีทิศตั้งฉากกับสองเวกเตอร์ข้างต้นตามกฎมือขวา เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของ $\vec{B}$ ในทิศตั้งฉากกับ $\vec{A}$ เท่านั้น นั่นคือ $B \sin \theta$ ระบบกายภาพที่แสดงการกระทำกันดังกล่าวของสองเวกเตอร์อย่างเช่น สมมติว่ามีกระแสไฟฟ้าคงตัว I ไหลอย่างสม่ำเสมอในเส้นทางปิดบนระนาบ และให้ $\vec{r}$ แทนเวกเตอร์บอกตำแหน่งของกระแสเทียบกับจุดอ้างอิง เราจะได้ว่าโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กเนื่องจากกระแสมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของปริมาณการไหลวนของกระแสรอบจุดอ้างอิงใดๆ กล่าวคือ $\frac{1}{2} \oint \vec{r} \times I d\vec{\ell}$ ซึ่งก็คือกระแสคูณกับพื้นที่ที่ถูกล้อมรอบโดยเส้นทางปิดบนระนาบนั้น หากมองปัญหานี้เทอมของการเคลื่อนที่ของพาหะที่นำพากระแส ความเร็วของพาหะก็คือ กระแสต่อหน่วยประจุ หากเราวัดปริมาณการหมุนวนของโมเมนต์ขั้วคู่แม่เหล็กของพาหะรอบจุดอ้างอิงใดๆ เราจะได้ผลการอนุรักษ์ของโมเมนต์เชิงมุมนั่นเอง ในทำนองเดียวกันเมื่อมีแรงมากระทำกับคานงัด โมเมนต์ที่เกิดขึ้นคือการวัดปริมาณการหมุนวนของแรงรอบจุดหมุน ความเข้าใจในความหมายเชิงกายภาพของตัวกระทำทางคณิตศาสตร์เหล่านี้ เป็นบางส่วนของสิ่งสำคัญที่นักฟิสิกส์รุ่นเยาว์ควรจะได้ทำความเข้าใจไปพร้อมกับการศึกษาวิชาฟิสิกส์

จากตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับการกระทำกันของสองเวกเตอร์ที่ได้กล่าวมา เราพอจะสังเกตได้ว่า หากเราแทน $\vec{A}$ ด้วยตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ ∇ (del operator) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในทุกทิศทาง เราพบว่า $\nabla \cdot \vec{B}$ จะวัดปริมาณการแผ่ (divergence) ของสนามเวกเตอร์เข้าหรือออกจากปริมาตรที่ครอบคลุมจุด p ใดๆ ในปริภูมิ ซึ่งก็คือ ฟลักซ์ลัพธ์ของ $\vec{B}$ ผ่านพื้นผิวปิดล้อมโดยพื้นผิวข้างต้นนั่นเอง $\lim_{V_i \rightarrow 0} \frac{1}{V_i} \oint \vec{B} \cdot d\vec{S}_i$ การจินตนาการในลักษณะเช่นนี้ทำให้เราทราบได้ทันทีว่า เมื่อปริมาตรลดลงในทิศเข้าสู่จุด p ปริมาณการแผ่ลัพธ์ของสนามเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแกน z ที่จุด p ใดๆ มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากขนาดของ $\vec{Z}$ คงที่ อัตราการไหลเข้าของฟลักซ์ของ $\vec{Z}$ เข้าสู่จุด p จึงเท่ากับอัตราการ



ภาพที่ 1 แสดงภาคตัดขวางของพื้นผิวปิดล้อมจุดกำเนิดที่ขยายออกในทุกทิศทางจากพื้นผิว S_1 สู่ S_2 ในลักษณะอันคงสัดส่วนของรูปร่างเดิมไว้ เส้นโค้งประแดงรูปร่างคร่าวๆของพื้นผิวดังกล่าว ΔV คือปริมาตรที่เปลี่ยนไป $\vec{r}_1$ คือเวกเตอร์บอกตำแหน่งของพื้นผิว S_1 และสุดท้าย S คือพื้นผิวเล็กๆปิดล้อมจุด p ที่มีด้านแบนราบสี่ด้านวางตัวขนานกับเวกเตอร์ที่พุ่งออกจากจุดกำเนิด

ไหลออกจากจุด p หรือกล่าวได้ว่าปริมาณการแผ่ลัพธ์ของสนามเวกเตอร์ $\vec{Z}$ มีค่าศูนย์ในทุกบริเวณ พฤติกรรมลักษณะเช่นนี้จะพบได้ในการไหลของน้ำในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ หรือการไหลของพาหะที่นำพากระแสในลวดทองแดง หากอัตราการไหลมีค่าคงที่ (อัตราการไหลเข้าเท่ากับอัตราการไหลออกในทุกบริเวณ) จะได้ว่าความดันของน้ำในท่อจะไม่เพิ่มขึ้น หรือไม่มีการสะสมของประจุภายในลวดทองแดงตามลำดับ ในกรณีที่เราสมมติให้สนามเวกเตอร์ขึ้นกับระยะห่างจากจุดกำเนิด $\vec{B} \propto \vec{r}$ โดยไม่ต้องการการคำนวณใดๆ ปริมาณการแผ่ลัพธ์ของเวกเตอร์ $\vec{B}$ ต้องไม่เป็นศูนย์ (การคำนวณได้ว่า $\nabla \cdot \vec{r} = 3$) เนื่องจาก พื้นผิวที่ปิดล้อมจุดกำเนิดมีขนาดเพิ่มขึ้นในอัตราที่เป็นสัดส่วนกับค่าเฉลี่ยกำลังสองของระยะห่างจากจุดกำเนิดดังแสดงในภาพที่ 1 การที่ฟลักซ์ลัพธ์ของ $\vec{B}$ ผ่านพื้นผิวใดๆที่ปิดล้อมจุด p (ในภาพที่ 1 คือพื้นผิว S_p) จะเป็นศูนย์ได้ ฟลักซ์ลัพธ์ของ $\vec{B}$ ผ่านพื้นผิวปิด S_1 หรือ S_2 จะต้องคงที่ นั่นหมายความว่า ในกรณีสมมาตรทรงกลม ขนาดของ $\vec{B}$ จะต้องแปรผกผันกับ r^2 ดังเช่นที่พบในสนามอนุรักษ์ทั้งหลาย

ปริมาณที่แสดงสมบัติที่ตรงกันข้ามกับที่กล่าวมา คือการวัดปริมาณการหมุนวน (curl) ของสนามเวกเตอร์รอบพื้นผิวใดๆในปริภูมิ ปริมาณการหมุนวน $\nabla \times \vec{B}$ ถูกกำหนดให้มีขนาดเท่ากับอัตราส่วนของปริมาณการไหลของ $\vec{B}$ บนเส้นทางปิดต่อพื้นผิวที่

กวางดาราศาสตร์

ถูกปิดล้อมโดยเส้นทางปิดนั้น $\lim_{S_i \rightarrow 0} \frac{1}{S_i} \oint \vec{B} \cdot d\vec{\ell}_i$ และให้มิติน $\vec{n}$ ซึ่งตั้งฉากกับพื้นผิว S_i อาจกล่าวได้ว่า การหมุนวนลัพท์ของ $\vec{B}$ รอบแกนหมุน $\vec{n}$ ซึ่งตัดพื้นผิว S_i ณ จุด p (ปริมาณการหมุนวนของ $\vec{B}$ ถูกหาที่ตำแหน่งนี้เมื่อพื้นผิว S_i ถูเข้าสู่จุด p) คือการหาผลรวมของส่วนประกอบของ $\vec{B}$ ในทิศของ $d\vec{\ell}_i$ แล้วทำการเปรียบเทียบบรรทัดฐานปริมาณดังกล่าวด้วยขนาดพื้นที่ผิวที่ถูกปิดล้อมนั้น การมองภาพในลักษณะนี้ ลองสมมติว่า $\vec{v}$ คือความเร็วของคลื่นน้ำ การโยนก้อนหินลงไปในน้ำจะทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกจากจุดที่หินตกบนระนาบผิวน้ำ ขณะนี้ผิวน้ำโดยรอบจุดกำเนิดคลื่นมีแต่การแผ่ออก หากเศษใบไม้ที่ลอยเคลือนตัวบนผิวน้ำในแนวรัศมีเริ่มมีการหมุนตัวเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณใกล้เคียง บริเวณนั้นไม่เพียงแต่มีการแผ่ออก แต่ยังอาจมีการหมุนวนของ $\vec{v}$ ด้วย

ลำดับต่อไป เราจักได้ลองใช้คำ (ปริมาณฟิสิกส์) และไวยากรณ์ (การกระทำทางคณิตศาสตร์) ในภาษาคณิตศาสตร์ที่ได้อธิบายความหมายทางกายภาพตามตัวอย่างข้างต้น มาใช้ทำความเข้าใจถึงความสมเหตุสมผลของสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้เป็นประจำในวิชาฟิสิกส์ นั่นคือ ทฤษฎีบทของเกาส์และทฤษฎีบทของสโตก

ในทฤษฎีบทของเกาส์ ปริมาณการแผ่ลัพท์ของสนามเวกเตอร์ $\vec{E}$ เข้า-ออกจากปริมาตรใดๆ มีค่าเท่ากับผลรวมของฟลักซ์ของ $\vec{E}$ ผ่านพื้นผิวปิดล้อมปริมาตรนั้น เขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ว่า $\oint \vec{E} \cdot d\vec{\tau} = \int \vec{E} \cdot d\vec{S}$ เมื่อทิศของ $d\vec{S}$ ตั้งฉากกับพื้นผิว dS และชี้ในทิศพุ่งออกจากปริมาตรที่ถูกปิดล้อม ปริมาณ $\vec{E} \cdot d\vec{S}$ นี้เองที่เรียกว่า ฟลักซ์ของ $\vec{E}$ ผ่านพื้นที่ผิว dS แรกเริ่มดูเหมือนว่าหลักพีชคณิตนี้ไม่น่าสมบูรณ์เพราะว่าการหาผลรวมของ $\vec{E} \cdot \vec{E}$ สำหรับทุกปริมาตรย่อยเล็กๆบรรจุภายในปริมาตรใดๆ จะลดรูปเหลือเพียงพฤติกรรมของสนามเวกเตอร์นั้นบนพื้นผิวที่ห่อหุ้มภายนอกเท่านั้นได้อย่างไร ผลของทุกปริมาตรย่อยภายในหายไปไหน คำตอบของคำถามเหล่านี้สามารถแสดงได้โดยการพิจารณาการเป่าแก๊สฮีเลียมเข้าไปในบอลูนผ้า สมมติว่า $\vec{v}$ คืออัตราการไหลของแก๊สฮีเลียม ที่หัวปล่อยแก๊สซึ่งเป็นจุดที่มีการแผ่ออกของ $\vec{v}$ สูงสุด เราสามารถวัดว่ามีแก๊สฮีเลียมไหลเข้าไปในลูกบอลูนผ้าด้วยอัตราเท่าใดได้สองวิธี หนึ่งโดยการวัดอัตราการไหลของแก๊สเข้าไปในบอลูนโดยตรงทั้งปริมาตร ซึ่งก็คือผลรวม

ของปริมาณการแผ่ลัพท์ของ $\vec{v}$ จากทุกปริมาตรย่อยภายในดังแสดงไว้ที่ฝั่งซ้ายของความสัมพันธ์ดังกล่าว และสองเนื่องจากบอลูนผ้ามีปริมาตรเมื่อพองเต็มที่คงตัว อัตราการไหลเข้าของแก๊สฮีเลียมจะเท่ากับอัตราการไหลออก(ซึมออก)บริเวณผิวบอลูนผ้า ซึ่งแสดงด้วยส่วนประกอบของ $\vec{v}$ ในทิศตั้งฉากกับพื้นผิวที่ได้ถูกเลือกไว้ โดยผลคูณคือต้องทำให้ไว้ที่ฝั่งขวาของสมการ

สำหรับทฤษฎีบทของสโตก ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการหมุนวนของสนามเวกเตอร์ $\vec{E}$ บนพื้นผิวใดๆ กับผลรวมของปริมาณการไหลของ $\vec{E}$ บนเส้นทางการปิดล้อมพื้นผิวนั้นได้แสดงไว้ในรูปสมการดังนี้

$$\oint \nabla \times \vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$$

ในที่นี้หากเราจินตนาการว่า $\nabla \times \vec{E}$ หมุนวนเป็นวงปิดเล็กๆในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาบนพื้นที่ dS ผลรวมของกระแสหมุนวนย่อยทั้งหมดจะหักล้างกัน คงเหลือไว้เพียงกระแสหมุนวนบริเวณขอบของพื้นผิว S นั้นหมายความว่า ปริมาณการหมุนวนทั้งหมดของสนามเวกเตอร์ $\vec{E}$ บนพื้นผิวใดๆจะสามารถหาได้จากปริมาณการไหลสุทธิบนเส้นทางการปิดที่ล้อมรอบพื้นผิวนั้น

วิชาฟิสิกส์กับคณิตศาสตร์นั้นแนบแน่นทั้งในมุมมองของนักฟิสิกส์เอง และแม้กระทั่งนักคณิตศาสตร์ เนื่องจากวิธีการคณิตศาสตร์เป็นการศึกษาธรรมชาติโดยปราศจากการปรุงแต่งสถานการณ์ทางฟิสิกส์ตั้งอธิบายข้างต้นจึงเป็นตัวอย่างที่ใกล้เคียงและเหมาะสมที่สุดในการต่อยอดทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ หลายครั้งในประวัติศาสตร์ที่การประมวลทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ในส่วนที่เป็นหัวใจของทฤษฎีทางฟิสิกส์ ได้มีการศึกษาไว้อย่างละเอียดเป็นเวลานานก่อนที่จะถูกนำไปใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ การทำความเข้าใจไวยากรณ์ของคณิตศาสตร์ แล้วฝึกฝนการนำมาประกอบเป็นประโยคที่กระชับรัด อันแสดงถึงพฤติกรรมของธรรมชาติอย่างสมเหตุสมผล จะเป็นส่วนสำคัญในการเตรียมตัวเพื่อเป็นนักฟิสิกส์ทฤษฎีที่ร่ำรวย มีเครื่องมือครบครันสำหรับการสำรวจธรรมชาติ ในสังคมนักฟิสิกส์ การสื่อสารด้วยประโยคคณิตศาสตร์ในสภาวะแวดล้อมที่กำหนดโดยฟิสิกส์นั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงเป็นเหตุผลที่เราต้องเข้าใจคณิตศาสตร์แบบนักฟิสิกส์

ขอบคุณอาจารย์ ชัญญกัญ คั่นฉ่อง สำหรับคำแนะนำ และการตรวจทานบทความนี้



สัมผัสหิมะแรกที่ฟินแลนด์

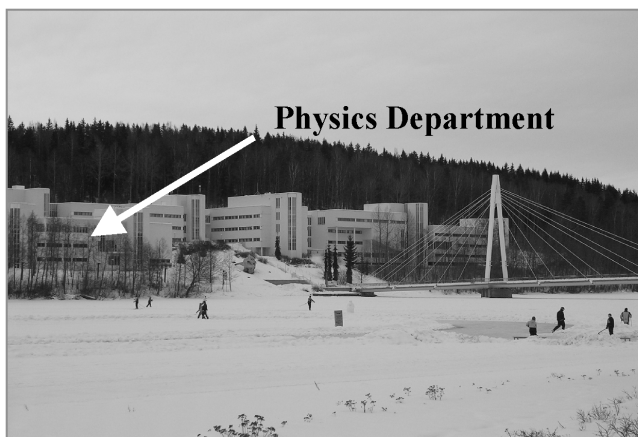
นิธิพนธ์ พุทธรักษา *

ผมเป็นนักศึกษาปริญญาเอกของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้รับทุนโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก). รุ่นที่ 8 (เพิ่มเติม) ทำให้ได้มีโอกาสไปฝึกปรี้อวิทยายุทธเพิ่มเติมกับอาจารย์ที่ปรึกษาพร้อมชาวต่างประเทศ คือ Prof. Dr. Harry J. Whitlow (ต่อไปผมขอกล่าวถึงด้วยความเคารพตามแบบไทยนิยมว่า “อาจารย์แฮร์รี่”) ที่ University of Jyväskylä (JYU) ประเทศสาธารณรัฐฟินแลนด์ นอกจากจะรู้ว่าซานตาคลอสมีบ้านอยู่ที่ตอนเหนือของประเทศนี้แล้ว หรือหลายคนอาจมีโทรศัพท์มือถือยี่ห้อโนเกียอยู่ในกระเป๋า เรื่องอื่นที่เกี่ยวกับฟินแลนด์โดยเฉพาะฟิสิกส์อาจไม่ค่อยคุ้นสำหรับคนไทย ผมจึงอยากนำเสนอประสบการณ์บางส่วนมาเล่าสู่กันฟัง

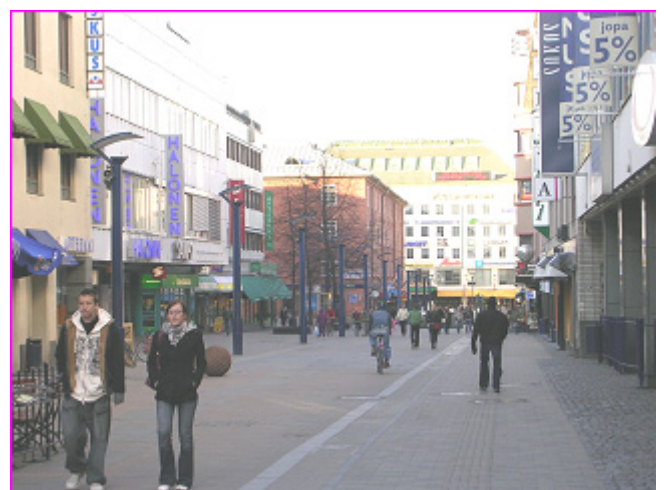
ประเทศฟินแลนด์ ได้ชื่อว่าเป็น “ดินแดนแห่งทะเลสาบ (The Thousand Lakes)” เนื่องจากมีทะเลสาบอยู่เกือบ 2 แสนแห่ง มีพื้นที่ขนาดประมาณ 0.7 เท่าของประเทศไทย แต่มีประชากรน้อยกว่าประมาณ 13 เท่า JYU ตั้งอยู่ในเมืองยูวาสคิลลา (Jyväskylä) ซึ่งอยู่ประมาณตอนกลางของประเทศฟินแลนด์และอยู่ห่างจากกรุง Helsinki เมืองหลวง ประมาณ 272 กม. การเดินทางค่อนข้างจะสะดวก สามารถเดินทางโดยเครื่องบินจากกรุง Helsinki ประมาณ 40 นาที และประมาณ 3 ชั่วโมงสำหรับการเดินทางโดยรถยนต์และรถไฟ



JYU เป็นมหาวิทยาลัยใหญ่เป็นอันดับที่สามของประเทศฟินแลนด์ รองจาก University of Helsinki และ University of Tampere เมืองยูวาสคิลลา เป็นเมืองขนาดเล็ก มีประชากรประมาณ 85,000 คน การคมนาคมหลักในเมืองยูวาสคิลลาคือรถบัสที่แบ่งเป็นสายวิ่งรอบเมือง โดยอัตราค่าบริการราคาเดียวกันคือเที่ยวละ 2.7 ยูโร (ประมาณ 132 บาท) แต่ที่เห็นใช้กันไม่น้อยก็คือจักรยาน ซึ่งผมก็เลือกใช้เป็นพาหนะประจำกายด้วยเหมือนกัน โดยถนนทุกสายจะมีช่องทางสำหรับจักรยานโดยเฉพาะ ไม่ว่าจะเป็นในตัวเมืองหรือ



ภาพแสดงบรรยากาศดูหวนบริเวณทะเลสาบที่กลายเป็นน้ำแข็งหน้าภาควิชาฟิสิกส์ของ JYU



บรรยากาศภายในเมืองยูวาสคิลลา

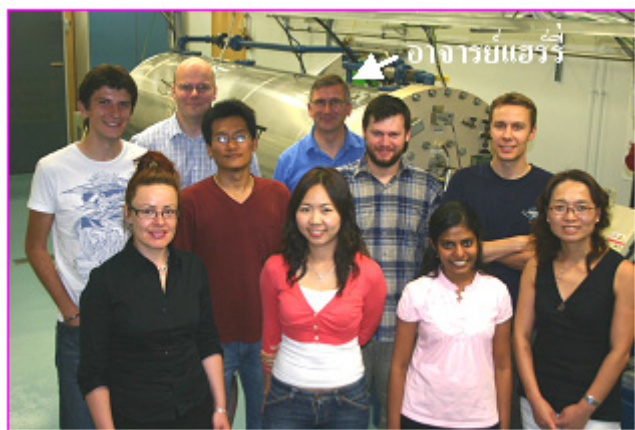
*ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



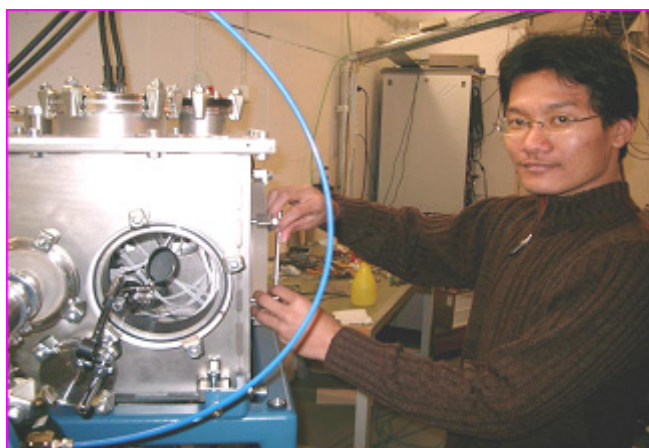
เครื่องเร่งอนุภาคแบบแทนเดิมขนาด 1.7 MV ชนิด Pelletron ที่ผมใช้ในการศึกษาวิจัยในช่วงหลัง

ชนบท ประเทศไทยน่าจะเอาเป็นแบบอย่างบ้าง โดยเฉพาะในยามน้ำมันแพง และต้องช่วยกันลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกคนละไม้คนละมืออย่างทุกวันนี้ แต่อาจจะมีการแย้งว่าบ้านเราอากาศไม่เย็นเหมือนบ้านเขา ก็ไปสักหน่อยก็คงเหงื่อโทรมกาย แล้วจะไปทำงานต่อได้อย่างไร ผมคิดว่าทางเทศบาลหรือจังหวัดคงต้องลงทุนปลูกต้นไม้ 2 ข้างทางของช่องจราจรยานให้ร่มรื่น (ที่ฟุตบอลก็ยังมีเห็นทุบสร้าง-ทุบสร้างกันอยู่ได้ตั้งหลายรอบ) ก็น่าจะทำให้คนไทยหันมาใช้จักรยานกันมากขึ้นได้

ภาควิชาฟิสิกส์ของ JYU แบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ประเภทหลักๆคือทางด้าน Accelerator Based Physics, Materials Physics และ High Energy Physics โดยมีเครื่องเร่งอนุภาค K130 Cyclotron ซึ่งสามารถผลิตอนุภาคโปรตอนพลังงาน 2-75 MeV กับไอออนอื่นๆอีกหลายชนิด และเครื่องเร่งอนุภาค 1.7 MV Pelletron เป็นอุปกรณ์หลัก (ประเทศฟินแลนด์มีเครื่องเร่งอนุภาคแบบแทนเดิมอยู่ 2 แห่งคือ เครื่อง Pelletron ที่ JYU และอีกแห่งที่ University of Helsinki ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคขนาด 5 MV) อาจารย์แฮร์รี่ เป็นหนึ่งในศาสตราจารย์จำนวนไม่กี่ท่านที่ไม่ใช่ชาวฟินน์ในภาควิชา



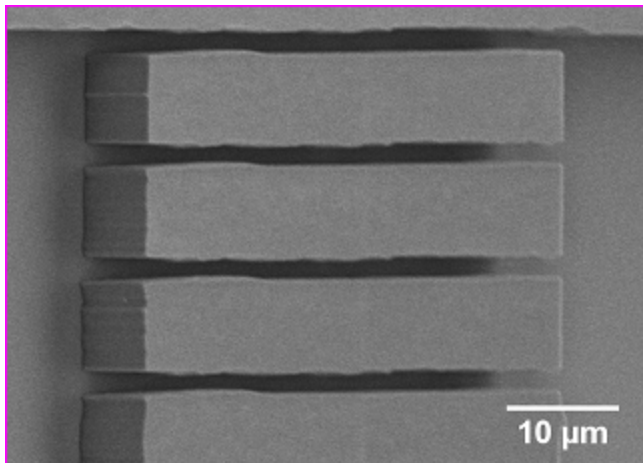
ภาพถ่ายรวมสมาชิกในกลุ่มวิจัยของ อาจารย์แฮร์รี่ ซึ่งเป็นหมู่คนหลายเชื้อชาติ เช่น อังกฤษ ฝรั่งเศส ฟินแลนด์ สวีเดน อิสราเอล อินเดีย จีน และ ไทย



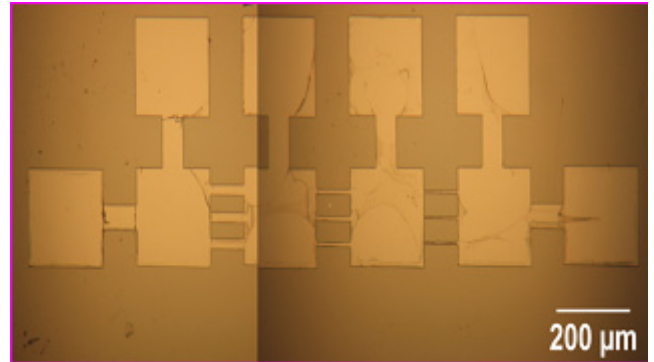
ผู้เขียนขณะทำงานกับ MeV-IBL Chamber

ฟิสิกส์ของที่นี่ (ท่านเป็นคนอังกฤษ) งานวิจัยในกลุ่มของท่านเน้นเกี่ยวกับ Accelerator Based Materials Physics เช่น การพัฒนา cell growth substrates เพื่อศึกษา dynamics of bone growth และยังศึกษา bio-imaging โดยใช้เทคโนโลยีลำไอออน กลุ่มวิจัยนี้ประกอบด้วยนักศึกษาระดับปริญญาโท-เอก และ นักวิจัยร่วม รวมประมาณ 10 คน อาจารย์แฮร์รี่ เป็นอาจารย์ที่ให้คำปรึกษาที่ดีมาก ท่านให้ความดูแลและเอาใจใส่ นักศึกษาเป็นอย่างดี ผมจึงภูมิใจที่มีท่านเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมชาวต่างประเทศ บรรยาการวิชาการของที่นี่ก็ค่อนข้างจะเข้มข้นเพราะมีการประชุมสัมมนาแทบจะทุกวันศุกร์ และมีการประชุมสำหรับความก้าวหน้าของนักศึกษาในกลุ่มวิจัยของ อาจารย์แฮร์รี่ ทุกเดือน ซึ่งนับได้ว่าเป็นประสบการณ์ที่ดีและช่วยให้ผมกระตือรือร้นมากยิ่งขึ้น

การเดินทางไปฟินแลนด์เมื่อปีที่แล้วเป็นการเดินทางไปต่างประเทศโดยลำพังเป็นครั้งแรก ผมเลือกสายการบิน Finnair เพราะไปลงที่สนามบิน Helsinki-Vantaa แล้วมีเครื่องบินให้จับต่อไปที่เมืองยูวาสคิล่า ภาพแรกที่ผมเห็นประเทศฟินแลนด์จากเครื่องบินนั้นเป็นหิมะสีขาวปกคลุมไปทั่วทุกๆ ที่ไม่ว่าจะเป็นลานบินหรืออาคารผู้โดยสารก็ตาม ซึ่งรู้สึกตื่นตาตื่นใจมากเพราะไม่เคยได้สัมผัสโดยตรงอย่างนี้มาก่อน แต่ยิ่งกว่านั้นเมื่อลงจากเครื่องบินผมต้องเดินเท้าอีกประมาณ 100 เมตรเพื่อไปขึ้นรถบัสและเดินทางต่อไปยังอาคารผู้โดยสาร ผมยังจำสัมผัสแรกของอากาศที่ประเทศฟินแลนด์ในครั้งนั้นได้อย่างขึ้นใจ เพราะมันหนาวเยือกเย็นจับใจยิ่งเวลาลมพัดมาโดนขาเหมือนมีเข็มเล็กๆมาทิ่มตำ ดังนั้น ระยะทาง 100 เมตรจึงเป็น 100 เมตรที่ผมจะจดจำไปตลอด



ตัวอย่างภาพถ่ายด้วยกล้องSEM แสดงความคมเรียบของร่องและผนังของ microfluidic channel ที่คณะของเราประดิษฐ์ขึ้นด้วยเทคนิค MeV-IBL



ภาพถ่ายขยายด้วย optical microscope ของ micro fluidic device ทำขึ้นด้วยเทคนิค MeV-IBL

เมื่อมาถึงอาคารผู้โดยสาร มีพี่คนไทยที่มาทำวิจัยหลังปริญญาเอกที่นี่ คือ พี่นก (สมใจ แสงยืนยงพิพัฒน์) และ Assoc.Prof. Dr. Timo Sajavaara ซึ่งเป็นนักวิจัยอาวุโสในกลุ่มรองจากอาจารย์เสรี มารับผมที่สนามบิน พี่นกได้ช่วยเหลือในวันแรกที่มาถึงที่นี่อย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการเบิกกุญแจเข้าพักในหอพัก เปิดบัญชีธนาคาร กรอกเอกสารสำหรับนักศึกษา อีกทั้งยังพาไปซื้อข้าวของเครื่องใช้ที่จำเป็น เช่น หมอน ผ้าห่ม (อันนี้จำเป็นอย่างมาก เพราะถ้าไม่มีผ้าห่มผมยังจินตนาการไม่ได้ว่าจะหลับนอนอย่างไรถึงแม้ในหอพักจะมี เครื่องทำความร้อนก็ตามแต่ผมก็ยังคงหนาวมากอยู่ดี) ซึ่งถ้าไม่ได้พี่นกคอยช่วยเหลือเริ่มต้นให้ผมคงลำบากไม่น้อย ต้องถือว่าผมโชคดีมากจริงๆ

โครงการวิจัยของผมเป็นเรื่องเกี่ยวกับ Development of Integrated Nanofluidic Optical and Electrical Devices โดยใช้เทคนิค MeV Ion Beam Lithography (MeV-IBL) เพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์สำหรับนักชีววิทยา, นักเคมี, แพทย์ หรือ เกษตรกร สำหรับการวิเคราะห์ cell, DNA หรืออนุภาคที่มีขนาดในเรณไมโคร-นาโนเมตร ในช่วงแรกๆผมต้องใช้เครื่องเร่งอนุภาค Cyclotron ซึ่งมีผู้มาเข้าคิวขอใช้กันเยอะมาก ดังนั้นในช่วงเวลา 6 เดือน สำหรับกลุ่มวิจัย ของ อาจารย์เสรี ได้ สิทธิใช้งานประมาณ 2 อาทิตย์เท่านั้น ซึ่งผมได้สิทธิแบ่งมาใช้เพียงอาทิตย์เดียว ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวพวกเราจะต้องทำทุกวินาทีให้มีประโยชน์มิเช่นนั้นแล้วต้องรอถึงปีหน้าหรืออีกสองปีเพื่อจองใช้เครื่องเร่ง Cyclotronอีกครั้ง ดังนั้นการทำงานในช่วงนั้นเรียกได้ว่าทำกันหามรุ่งหามค่ำกันเลยทีเดียว

แต่ปัจจุบันปัญหาดังกล่าวได้หมดสิ้นไป เนื่องจากกลุ่มวิจัยของอาจารย์เสรีได้ได้รับบริจาคเครื่องเร่งอนุภาค 1.7 MV Pelletron จาก State Technical Research Center VTT (คล้ายที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่โชคดีได้รับเครื่องเร่งอนุภาค 1.7 MV Tandetron จาก Chalmers University of Technology ประเทศสวีเดน) จึงทำให้เราหายใจหายคอได้สะดวกขึ้นเพราะสามารถจัดการการใช้งานได้เอง

ในเรื่องของที่พักอาศัยก็ดังกล่าว่าผมโชคดีอีกเช่นกัน เพราะได้เข้าพักในหอพักนักศึกษาแลกเปลี่ยนซึ่งอยู่ห่างจาก JYU ประมาณ 3 กิโลเมตร เสียค่าหอพักรายเดือนๆละ 187 ยูโรหรือประมาณ 9,105 บาท ใช้ห้องครัวและห้องน้ำร่วมกับคนอื่น ๆ แต่สำหรับห้องที่ผมพักนั้นว่าโชคดีตรงที่เข้าร่วมกับเพื่อนร่วมห้องเพียงแค่ 2 คน ฟินแลนด์เป็นประเทศที่มีภูมิอากาศหนาวเย็นมากในฤดูหนาว ซึ่งผมอยู่เป็นช่วงที่ลมมาพอดี โดยผมได้มีโอกาสสัมผัสอากาศที่มี อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสตอนต้นเดือนกุมภาพันธ์ คงไม่ต้องบอกว่าหนาวแค่ไหนเพราะที่เคยเจอที่เชียงใหม่ล่าสุดประมาณ 10 องศาเซลเซียสเท่านั้น อาหารส่วนใหญ่ต้องทำทานเองอย่างไรก็ตามขึ้นเหนือมาไกลขนาดนี้ก็ยังอดสำหรัมีร้านอาหารไทยอยู่หนึ่งร้านชื่อ บ้านไทย แต่นักเรียนไทยต่างแดนอย่างผมก็คงต้องช่วยตัวเองโดยไปหาของคั้นเคยเช่น เครื่องดื่มยาฝรั่ง น้ำพริก มาทำเครื่องก๊วยเตี้ยว ข้าวหอมมะลิ ฯ ที่ร้าน Asian shop ซึ่งเป็นร้านที่พี่คนไทยมาเปิดขายของชำและของสดที่มาจากประเทศไทยและเอเชีย ช่วยให้หายเหงาไปได้อีกใจ

แต่ถ้าวันไหนเบื่อก็มีมือตัวเองมากแล้ว ก็จะไปหาอาหารกลางวันทานที่โรงอาหารภายในมหาวิทยาลัย โดยนักศึกษาระดับ



บางมุมมองของเมือง Tallinn เมืองหลวงของประเทศ Estonia



ผู้เขียนกับการเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ใน Research PhD Training Course ณ เมือง Palmse ประเทศ Estonia

ปริญญาตรีและโท จ่ายค่าอาหารเพียงมือละ 2.35 ยูโร ส่วนนักศึกษาปริญญาเอกอย่างผม จะต้องจ่าย 4.2 ยูโรต่อมือ แต่ถ้าระดับอาจารย์แอร์รี่ก็ต้องจ่าย 5 ยูโร ในหนึ่งมือนั้นเราสามารถเลือกกับข้าวได้หนึ่งอย่าง สำหรับ ขนมอบั้ง ข้าวสวย สลัด มันฝรั่ง สามารถรับประทานได้อย่างเต็มที่ไม่อั้น ค่าครองชีพในฟินแลนด์ค่อนข้างจะสูง ไข่ไก่ (kananmuna ภาษาฟินนิช) หกฟอง ราคาประมาณ 1 ยูโร (คือประมาณ 48.7 บาท) เนื้อหมู (sika) 400 g ราคาประมาณ 3.6 ยูโร

ก่อนเดินทางกลับประเทศไทยอาจารย์แอร์รี่ได้กรุณาให้โอกาสผมไปเข้าร่วมศึกษากับ Research PhD Training Course เรื่อง Polymer Micro- and Nano-fabrication ณ เมืองPalmse ประเทศ Estonia (อยู่ห่างจาก เมืองTallinn ที่เป็นเมืองหลวงไปทางทิศตะวันออกประมาณ 70 กม.) ระหว่างวันที่ 31 สิงหาคม ถึง 6 กันยายน 2550 ในชั้นเรียนพิเศษนี้มีผู้เข้าร่วม 40 คน ซึ่งมาจากมหาวิทยาลัยต่างๆในแถบประเทศสแกนดิเนเวีย และประเทศแถบทะเลบอลติก สำหรับกิจกรรมของ course นี้ ผู้เข้าร่วมได้มีโอกาสเสนอผลงานแบบโปสเตอร์ในงานวิจัยที่ตนเองกำลังศึกษาอยู่ และได้มีโอกาสฟังบรรยายในเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเทคโนโลยี อาทิเช่น Nanoimprint Lithography, Hot Embossing, Injection Molding, Soft Lithography and PDMS, Microfluidics and Microoptics in Polymers ฯ หลังจากเสร็จกิจกรรมที่ Palmse ผมยังได้มีโอกาสไปเปิดหูเปิดตาในเมือง Tallinn

สำหรับผู้ที่มาอยู่เพียงช่วงสั้นๆ ปัญหาสำคัญของการใช้ชีวิตที่ฟินแลนด์ก็มักจะเป็นเรื่องของภูมิอากาศที่แสนจะเหินห่างหนาว หนาว และอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของภาษาเพราะ

เกือบจะทุกที่นอกห้องแล็บจะใช้ภาษาฟินนิชเป็นหลัก รายการโทรทัศน์ทั่วไปก็จะใช้ภาษาฟินนิชขึ้นพื้น ยังโชคดีบ้างว่ามีช่อง BBC World ซึ่งเป็นช่องภาษาอังกฤษ แต่ก็คงจะเหมือนกันถ้าเขามาอยู่บ้านเรา จึงเป็นหน้าที่ของแขกที่จะต้องปรับตัว

โดยรวมแล้วกล่าวสรุปได้ว่าการได้มีโอกาสมาศึกษาวิจัย ณ ประเทศฟินแลนด์ในครั้งนี้ทำให้ผมได้มีโลกทัศน์ที่กว้างไกลขึ้น ได้เรียนรู้ระบบการศึกษา การทำงาน ของนักศึกษาต่างประเทศ ได้พัฒนาภาษา เรียนรู้งานวิจัยใหม่ๆ เพื่อจะนำกลับมาพัฒนาทางวิทยาศาสตร์บ้านเราให้ก้าวหน้ามากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าจะสามารถออกความเห็นอะไรได้บ้างผมก็อยากจะขอเสนอตามที่เพิ่งมีประสบการณ์มาสดๆร้อนๆว่าระยะเวลา 6 เดือนน่าจะสั้นเกินไป โดยเฉพาะสำหรับสายงานด้านฟิสิกส์ทดลอง ดังเช่นในกรณีของผมที่พอกำลังจะเริ่มเข้าค่ายเข้าแคมป์เวลา 6 เดือนก็จริงจะหมด แต่ผมโชคดีอีกครั้งที่อาจารย์แอร์รี่ได้กรุณาหาทุนมาสนับสนุนให้ผมได้อยู่ต่ออีก 4 เดือน(รวมเป็น 10 เดือนก็จาก 1 พ.ย. 2549 ถึง 19 ก.ย. 2550) ดังนั้นผมจึงคิดว่าระยะเวลาในการวิจัยที่ต่างประเทศควรจะสักประมาณ 10-12 เดือน จึงจะทำให้ได้งานวิจัยออกมาเป็นชิ้นเป็นอันมากขึ้น

สุดท้ายนี้ ผมขอขอบพระคุณทุกๆ ฝ่ายเป็นอย่างสูง ได้แก่ โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปศึกษาวิจัยในครั้งนี้แก่ผม อาจารย์สมสร สิงขรัตน์ (อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก) และอาจารย์แอร์รี่ที่ให้คำปรึกษาต่างๆไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการงานวิจัย การดำรงชีพ อีกทั้งยังมอบโอกาสอันแสนพิเศษสุดซึ่งถือเป็นประสบการณ์ชีวิตให้แก่ผมและโครงการ พสวท. ที่ให้ทุนการศึกษาแก่ผมในระดับปริญญาตรีจึงทำให้ผมได้มีวันนี้ คุณแม่จิตาพรและครอบครัวที่คอยให้กำลังใจอย่างล้นเปี่ยมแก่ผมเสมอ รวมทั้งอีกหลายๆท่านที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ที่มีส่วนต่อการเดินทางไปทำวิจัยของผม ณ JYU ประเทศสาธารณรัฐฟินแลนด์

เดรสเดน

ธีรพัฒน์ วัลย์ทอง

ผมไปเมืองเดรสเดน(Dresden) ครั้งแรกเมื่อ ค.ศ. 1981 เทียบเท่ากับ “ทัวร์ เครื่องเร่งอนุภาคกับทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA)” เรานั่งรถบัสออกจากประเทศเชโกสโลวาเกียในขณะนั้น เข้าสู่สาธารณรัฐประชาธิปไตยเยอรมันหรือที่เรียกกันว่าประเทศเยอรมันตะวันออก ทางตอนใต้มุ่งหน้าไปเมืองเดรสเดนซึ่งตั้งอยู่ใกล้พรมแดน รถบัสของเรามีผู้คนจากแทบทุกภูมิภาคทั่วโลก ตั้งแต่ไทย มาเลเซีย ตุรกี อิรัก ไปจนถึงเปรู เม็กซิโก และต้องรอตรวจวีซ่าอยู่ที่พรมแดนหลายชั่วโมง ยังโชคดีที่ทัวร์ครั้งนี้จัดโดยทบวงการฯ ซึ่งเป็นองค์กรหลักองค์กรหนึ่งของสหประชาชาติประสานกับสำนักงานพลังงานปรมาณูของประเทศต่างๆ ในสมัยนั้นสหภาพโซเวียตเป็นลูกพี่ใหญ่ของบรรดาประเทศสังคมนิยมยุโรปตะวันออก ภายใต้สนธิสัญญาว่าวอร์ซอ ต้องยอมรับว่า “นิวเคลียร์” เป็นคำที่ศักดิ์สิทธิ์จริงๆ ยิ่งสำนักงานรัฐบาลที่เกี่ยวข้องกับนิวเคลียร์หรือพลังงานนิวเคลียร์รู้สึกว่าจะยิ่งใหญ่ไม่เบา ใหญ่ขนาดที่สามารถนำคนจากนับสิบประเทศทั่วโลกผ่านเข้าประเทศต่างๆ โดยทำวีซ่าที่พรมแดนได้

โรงแรมที่พวกเราพักอยู่ไม่ไกลบริเวณเมืองเก่าซึ่งอยู่ใกล้ๆ กับแม่น้ำ เอลเบ ชื่อโรงแรมนี้ว่า ช่วงนั้นเป็นช่วงพักผ่อนประจำปีของประเทศเขาพอดี ที่โรงแรมจึงคลาคล่ำไปด้วยคนเยอรมันตะวันออก มีกะเหรี่ยงนิวเคลียร์อย่างพวกเราไปแทรกอยู่บ้างเล็กน้อย เมืองเดรสเดนผ่านมาแล้วทั้งยุคที่รุ่งเรืองสุดขีดและตกต่ำย่อยยับ ในช่วงศตวรรษที่ 18 เดรสเดนเป็นศูนย์กลางของการเมือง วัฒนธรรม และเศรษฐกิจในยุโรป แต่กลายเป็นสัญลักษณ์ของการทำลายล้างในอีกสองศตวรรษต่อมา โดยถูกทิ้งระเบิดอย่างหนักในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง ซึ่งยังมีร่องรอยเป็นซากปรักหักพังให้เห็นจนทุกวันนี้ ปัจจุบันเดรสเดนพัฒนาไปอย่างรวดเร็วในด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม และเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยที่มีชื่อเสียงคือ มหาวิทยาลัยเทคนิคแห่งเดรสเดน

โปรแกรมดูงานของเราเริ่มในตอนเช้า เราไปที่นั่นก็เพื่อจะมาดูงานทางด้านฟิสิกส์นิวตรอน เพราะเจ้าพ่อคนหนึ่งทางนิวตรอนพลังงานสูงในยุคนั้น คือ ศาสตราจารย์ เซลลิงเยอร์ อยู่ที่



ภาพถ่ายจากรถบัสบนสะพานข้ามแม่น้ำเอลเบ

เดรสเดนนี่เอง เซลลิงเยอร์สร้างป็นนิวตรอนความถี่สูงขึ้นเพื่อใช้ทำงานวิจัยทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ โดยใช้อนุภาคนิวตรอนเป็น โพรบ หรือผู้ตรวจการหน้า ในช่วงที่พวกเราไปดูงาน เขากำลังปรับสมรรถนะของป็นนิวตรอน เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัยด้านนิวเคลียร์ฟิวชั่น ซึ่งเป็นเรื่องที่กำลังฮอตฮิตติดอันดับวงการอยู่ในขณะนั้น ผมได้เห็นพวกเขาทำความสะอาดชิ้นส่วนต่างๆ อย่างระมัดระวัง แต่ที่ยังจำแม่นมาได้จนถึงทุกวันนี้คือความรู้สึกของตัวเองขณะนั้นเมื่อได้ยินที่เขาพูดว่า “คอส่วนนี้ต้องยาวเพราะต้องรับกับบันชิ่งคิสเตนซ์ ของเครื่อง” ผมไม่รู้เรื่องและไม่เข้าใจ ได้แต่พยักหน้าตอบรับเบาๆ ว่า “เยส เยส” ในใจให้รู้สึกคำด้อยย่นักและก็เป็นวินาทีประวัติศาสตร์วินาทีหนึ่งในชีวิตผม เพราะทำให้ผมตั้งใจมันยิ่งขึ้นว่า วันหนึ่งเราจะต้องเทียบเคียงเขาให้ได้



ผมกับสหายริคาร์โด

ประสบการณ์ฟิสิกส์



เชิญชมภาพสีที่หน้า 2

ตกกลางคืนผมกับริคาร์โดนักนิวเคลียร์เชื้อสายเปรู เดินออกไปสำรวจรอบๆ โรงแรม พบสถานบันเทิงดิสโกเธคเข้า โดยบังเอิญ เห็นหนุ่มสาวยีนรอกิวเข้าไปข้างในเต็มไปหมด การเข้าคิวเป็นวัฒนธรรมประจำชีวิตของคนในประเทศสังคมนิยม เลย์ทีเดียว แต่ผมกับริคาร์โดได้ใช้เงินดอลลาร์อเมริกัน จึงมีอภิสิทธิ์ ได้ลัดคิวซื้อตั๋วเข้าไปข้างในเลยทันที ภายในเป็นบรรยากาศของ ห้องดิสโกโดยทั่วไป เราสั่งเบียร์มาดื่มและนั่งฟังเพลงป๊อป ตะวันตกซึ่งเปิดให้ฟังทางตู้เพลง มีเพลงของวงแอ็บบา (ABBA) หลายเพลง ที่จำได้ก็เป็นเพลงแดนซ์ ควีน และ ไอ แฮค อะ คริม ในดิสโกเธคแห่งนี้มีผู้หญิงมากกว่าผู้ชายนั่งกันเป็นกลุ่มๆ ตอนนั้น ผมเพิ่งอายุได้เพียงสามสิบห้าปียังพิศประียะ เลยตัดสินใจเข้าไป โก้งสาวเยอรมันออกไปเดินระบำ เธอก็ดีใจหายยอมออกมาวด ลวดลายกลางฟลอร์เดินรำกับผม เธอชอบบริจิตต์ มาเทียวกัก่อน ประจำกับเพื่อนๆ บ้านของเธออยู่ที่เมืองโรซสต็อกทางตอนเหนือ ของประเทศ เราเดินรำกันจนถึงเวลาปิดซึ่งก็ร่วมเวลาตีสองของ วันใหม่ ผมไม่ลืมที่จะนัดบริจิตต์มาเดินรำอีกในคืนต่อมา วัน รุ่งขึ้นตอนกลางวันผมกับ ริคาร์โดก็กลายเป็นนกนางนังสัปดาห์ ฟังบรรยายของเซลิงเยอร์ แต่พอตกคร่าวๆ สามทุ่ม นกฮูกสองตัว ก็กระฉับกระเฉงลงมาห้องดิสโกที่เดิม คราวนี้มีนักฟิสิกส์นิวเคลียร์ ชาวเดิร์กฟ่วงมาด้วย บริจิตต์กับเพื่อนของเธอรอพวกเราอยู่แล้ว ที่เธอชอบที่สุดเห็นจะเป็นเพราะเราพาพวกเขาเข้าไปเดินรำได้โดย ไม่ต้องรอเข้าคิว คืนนี้เราเดินกันไปคุยกันไปท่ามกลางเสียงเพลง



The Sistine Madonna โดย Raphael

ไอ แฮค อะ คริม ของวงแอ็บบา ผมกับบริจิตต์สนิทสนมกันมาก ขึ้นถึงแม้ว่าข้อจำกัดทางภาษาจะทำให้พูดกันไม่ค่อยรู้เรื่องเท่าไร

เย็นวันรุ่งขึ้นผมชวนบริจิตต์ไปเดินเล่นในเมืองเก่า ซึ่ง ครั้งหนึ่งเคยเป็นศูนย์กลางวัฒนธรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของยุโรป ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง พระราชวังซิงเยอร์ ซึ่งสร้างขึ้นใน ศตวรรษที่ 18 อยู่ในการบูรณะอย่างวิจิตรบรรจง พระราชวัง แห่งนี้เป็นที่ตั้งของพิพิธภัณฑที่มีชื่อหลายแห่ง ที่โด่งดังที่สุด เห็นจะได้แก่พิพิธภัณฑเซมเพอร์ ซึ่งมีภาพวาดชื่อ ชิสเต็น มาดอนนา โดยจิตรกรนามกระเดื่อง ราฟาเอล และที่เห็นกำลังอยู่ในระหว่าง การบูรณะครั้งใหญ่อีกแห่งหนึ่งก็คือโรงละครโอเปราแห่งเมือง เดรสเดน ซึ่งปรากฏอยู่บนงานใบที่แสดงอยู่นี้

วันนี้เป็นวันสุดท้ายของเราที่เดรสเดน ผมและบริจิตต์ ร่ำลากันท่ามกลางบรรยากาศย้อนยุคชวนให้นึกถึงอดีตอันเกรียงไกร ของเมือง วันรุ่งขึ้นตอนเช้าตรู่ เธอและเพื่อนยื่นโบกมือให้เรา ในขณะที่รถบัสของเราแล่นออกจากเมืองไป..... เอาฟิวเจอร์เซสน จนกว่าจะพบกันอีก



National Astronomical Research Institute of Thailand

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

NARIT



วิสัยทัศน์ VISION

มุ่งเน้นการวิจัยการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและการพัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศสู่ระดับสากลเพื่อสร้างวัฒนธรรมแห่ง การเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในสังคมไทย

พันธกิจ MISSION

1. สร้างผลงานวิจัยทางด้านดาราศาสตร์ที่เป็นองค์ความรู้ใหม่และมีคุณภาพระดับสากลเผยแพร่ในระดับประเทศและนานาชาติ เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ
2. สร้างเครือข่ายความร่วมมือทางด้านดาราศาสตร์กับมหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษาและองค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับประเทศ และนานาชาติ ในการวิจัย การผลิตบัณฑิต การบริการวิชาการแก่สังคมและการสร้างมาตรฐานทางวิชาการด้านดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของประเทศ
3. ส่งเสริมบรรยากาศและความตื่นตัวทางด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศ รวมทั้งการสร้างตระหนักและความเข้าใจที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์สู่สาธารณะ
4. พัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ร่วมกับศาสตร์ด้านอื่นเพื่อให้เกิดการบูรณาการทางวิชาการอันจะเป็นประโยชน์ แก่สังคม
5. เป็นศูนย์สารสนเทศและถ่ายทอดองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศ
6. สนองนโยบายของรัฐบาลด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านเศรษฐกิจและสังคม การจัดการศึกษาตามแนวปฏิรูป การศึกษาและพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ



มหกรรมดาราศาสตร์เชียงใหม่ ในโอกาสฉลองครบรอบ 30 ปี
หอดูดาวสิรินธร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Chiang Mai Astro Festival

ในโอกาสหอดูดาวสิรินธร
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ครบรอบ 30 ปี
สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ได้เป็นเจ้าภาพร่วมในการจัดงาน

มหกรรม ดาราศาสตร์เชียงใหม่ Chiang Mai Astro Festival ณ หอประชุมมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วันที่ 30 พ.ย.- 1 ธ.ค. 2550 ภายในงานจะมีการแสดงนิทรรศการทางดาราศาสตร์ การแข่งขันโต้วาที แรลลีดาราศาสตร์ การแสดงบอร์ด IOAA ฯลฯ ขอเชิญชวนผู้สนใจเข้าร่วมชมงานและร่วมเป็นกำลังใจให้กับเยาวชนที่ร่วมแข่งขันกิจกรรมทางดาราศาสตร์ ณ หอประชุม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย



หอดูดาวแห่งชาติ

NATIONAL OBSERVATORY

ที่ตั้ง บริเวณยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

ละติจูด $18^\circ 35' 17''$ เหนือ (N)

ลองจิจูด $98^\circ 29' 11''$ ตะวันออก (E)

ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 2,550 เมตร

เชียงใหม่(สำนักงานชั่วคราว)

อาคารฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

โทรศัพท์ 0 - 5322 - 5569 โทรสาร 0 - 5322 - 5524

กรุงเทพ(สำนักงานประสานงาน)

ชั้น 2 สำนักงานปลัด กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กทม. 10400

โทรศัพท์ 0 - 2354 - 3756 โทรสาร 0 - 2354 - 3794

Website : www.narit.or.th Email : info@narit.or.th

พื้นที่โฆษณา



สวัสดีปีใหม่ 2551

HAPPY NEW YEAR 2008

Khao Yai

Khao Yai

ดูรายละเอียดหน้า 19

น้ำตกเหวสุวัต อุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ นครราชสีมา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย www.tat.or.th



© Copyright Tourism Authority of Thailand



สมาคมฟิสิกส์ไทย • THAI PHYSICS SOCIETY

ตู้ ปณ. 217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202

P.O.Box 217 Chiang Mai University, Chiang Mai 50202, THAILAND



จาก <http://www.suicidebots.com/2007/02/>

ดูรายละเอียดที่หน้า 6



สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย