

Thai Journal of Physics

วารสาร

ฟิสิกส์ไทย

วารสารสำหรับผู้ที่รักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์ ISSN 0857-1449

The Nobel Prize in Physics 2004

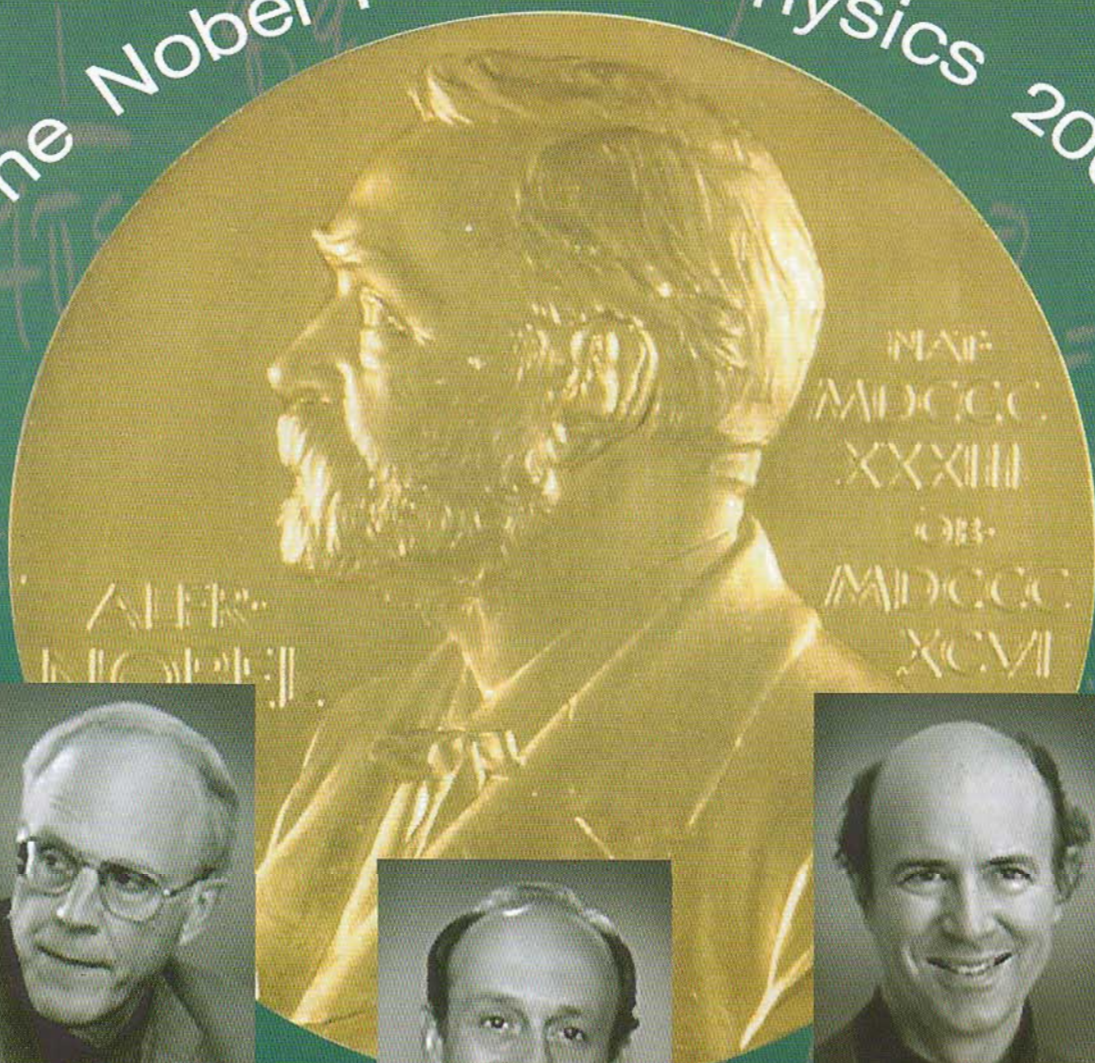


photo PRB

David J. Gross



photo PRB

H. David Politzer

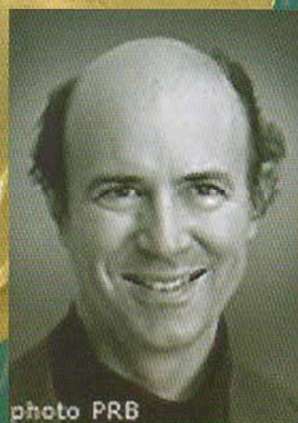


photo PRB

Frank Wilczek

เซลล์เชื้อเพลิง

Dust Astronomy

สมการอัสครรย์ของดิแนร์

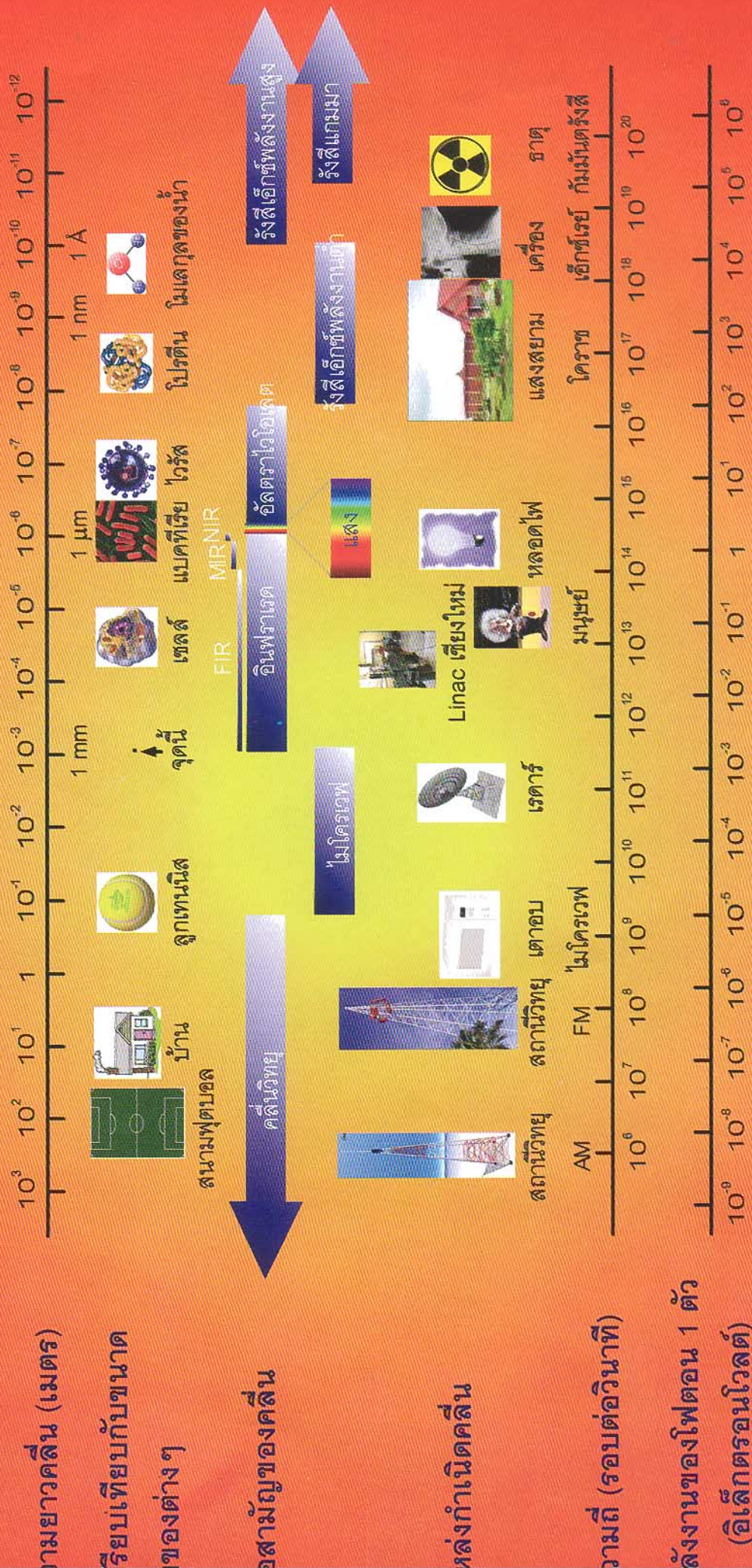
Brownian Motion : รหัสลับแห่งชีวิต?

Asymptotic Freedom ของอันตรกิริยาแบบเข้ม



ปีที่ 21 ฉบับที่ 3

สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



หมายเหตุ : Linac = Linear accelerator
 รังสีเอกซ์พลังงานต่ำ = Soft X-rays
 รังสีเอกซ์พลังงานสูง = Hard X-rays
 FIR = Far infrared radiation
 MIR = Mid infrared radiation
 NIR = Near infrared radiation

สารบัญ

สวัสดี

- 2 : สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 3 : สวัสดี
- 4 : สรุปข่าว
- 5 : เรื่องเด่นประจำฉบับ : รางวัลโนเบลฟิสิกส์ 2547
- 9 : ประสบการณ์ฟิสิกส์ : เซลล์เชื้อเพลิง
- 11 : ขอแถมด้วยคน : สมการอัสจรรย์ของดิแร็ก
- 13 : ขอแนะนำ : ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ
- 15 : เรียนเล่นฟิสิกส์ : วัตรเคมีโลก (3)
- 17 : ทางตำราฟิสิกส์ : "ฟังก์ชัน" เดลตาดิแร็ก
- 19 : ฟิสิกส์ของวัสดุ : คลังข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์
- 21 : นาโนสาระ : การประยุกต์ใช้ AFM (2)
- 23 : โลกชีวฟิสิกส์ : Brownian motion
- 25 : ดิน ฟ้า เวลา ดาว : Dust Astronomy

สรุป :

ปกหน้า : 3 นักฟิสิกส์ทฤษฎีที่ได้รับรางวัลโนเบลปีนี้ (ดูรายละเอียดที่หน้า 5)

ปกหลัง : แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย (ดูรายละเอียดที่หน้า 13)

ความบังเอิญและและความตั้งใจจับคู่กันอย่างลงตัวในวารสาร "ทิพย์" เล่มสุดท้ายของปี นั่นคือ ออกในเดือนธันวาคม ทำให้มีโอกาส "สวัสดีปีใหม่" กับท่านผู้อ่านทุกท่านและก็เป็นช่วงเวลาที่พักกับการประกาศผลรางวัลโนเบลฟิสิกส์ที่ชาวฟิสิกส์รอคอยฟังอยู่ทุกปลายปี สำหรับคนรักฟิสิกส์ทั้งหลายแล้ว Frank Wilczek ไม่ใช่คนแปลกหน้าเลย เพราะนอกจากจะมีผลงานวิชาการแทบ (ที่คนทั่วไปอ่านไม่รู้เรื่อง) อยู่มากมายแล้ว ยังเขียนบทความฟิสิกส์ทั้งวิชาการออกมาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งได้นำตัวอย่างมาฝากท่านผู้อ่านด้วยแล้วในคอลัมน์ "ขอแถมด้วยคน" ตรงนี้เป็นอุทาหรณ์ที่ดีว่า ทำไมวงการฟิสิกส์ในโลกตะวันตกจึงสามารถสร้างคนรุ่นใหม่คุณภาพได้อย่างต่อเนื่อง เราได้เห็นแล้วว่าคนของเขา แม้จะเป็นนักฟิสิกส์ระดับโลกแล้ว มึงงานล้มมือ แต่ก็ให้ความสำคัญเป็นอย่างมากกับการถ่ายทอดความรู้แก่สาธารณชนทั่วไป จึงอยากขอเชิญชวนว่า ปีใหม่นี้เรามาแลกเปลี่ยนของขวัญเป็นมอบสาระความรู้ให้แก่กันและกัน ผ่านทางบทความฟิสิกส์จะดีไหมครับ (เพียงสองหน้าเท่านั้น-รวมรูปด้วย)

พบกับใหม่ฉบับหน้า : มีนาคม 2548

"Unless you try something beyond what you have already mastered, you will never grow."

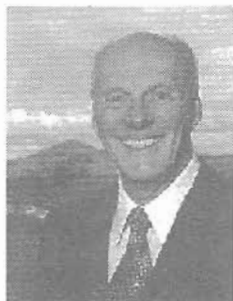
Henry David Thoreau

กองบรรณาธิการ กองชัย ตายนะสานติ, ขาญกิจ คันฉ่อง, ยุทธนา ภิระวนิชย์กุล, รัตติกร ยัมมิวัณ, ศิรามาศ โกมลจินดา, สมชาย เกียรติกมลชัย, สุภาพ ชูพันธุ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมคร สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลยาญ อนันตสมบุรณ์, มานิต รุจิโรตม ฝ่ายภาพ นิยุช เมธีสุวกุล, ราเชนทร์ เจริญกุล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา โอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยพิมพ์เอกสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ติดต่อกองบรรณาธิการ กอง บก.ทิพย์ สมาคมฟิสิกส์ไทย ตู้ปณ.217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202 โทรศัพท์ : 053-942464, 943379 โทรสาร: 053-222776 วารสารฟิสิกส์ไทย เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระ-ข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในแวดวงหมู่นักฟิสิกส์และผู้สนใจในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้าง ที่สร้างสรรค์ โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป Website = <http://thip.org>

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2547-2548 ที่ปรึกษา ดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์, รศ.ดร.วิจิตร เล็งหะพันธ์, ศ.ดร.วิรุฬห์ สายคนิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกล้าน, ผศ.ดร.วุทธิพันธ์ ปรัชญพฤทธิ์ นายกสมาคมฯ ศ.ดร.ธีรพัฒน์ วิสัยทอง อุปนายก รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวรรณานัน, รศ.ดร.วิชัย ศรีตระกูล เลขานุการ ดร.ศุภกิจ สุวรรณขจร รองเลขานุการ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวัน เหรียญฤกษ์ ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ประธานสัมพันธ์ ผศ.ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมคร สิงขรัตน์ บรรณาธิการจดหมายข่าวฟิสิกส์ ดร.ประยูร สงสิริฤทธิ์กุล กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ (ผศ. ศิลปชัย บุรณพานิข), รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว, รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, รศ.ดร.นิกร มังกรทอง, รศ.ดร.วีระพงษ์ แผลสุวรรณ, ผศ.วันชัย สุ่มเล็ก, รศ.ดร.พิกุล วนิชยาภิต, คุณธรรมา ชินพิทักษ์, คุณสุธิ เพชรราช, คุณเสรี เรืองศิษฐ์, ดร.นรินทร์ กาบบัวทอง, คุณวันชัย ธรรมวานิช, คุณวัชร ดิสสะมาน

วิทยาลัยนักเศรษฐศาสตร์เมืองนอก



Fred Kavli

เมื่อเดือนมีนาคม 2547 มูลนิธิคาฟลิ (Kavli Foundation) ซึ่งก่อตั้งขึ้นเมื่อ 4 ปีที่แล้ว โดยเศรษฐกรอเมริกันเชื้อสายนอร์เวย์ Fred Kavli ได้ประกาศอย่างเป็นทางการว่าจะบริจาคทุนทรัพย์เพื่อการสถาปนาสถาบันวิจัยทางวิทยาศาสตร์ใหม่เพิ่มอีก 7 แห่งในมหาวิทยาลัยชั้นนำต่างๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกา และยุโรป โดยมุ่งเน้นไปที่ศาสตร์ 3 สาขาด้วยกัน อันได้แก่ เอกภพวิทยา (cosmology) นาโนวิทยา (nanoscience) และ neuroscience ตามแนวคิดของผู้ก่อตั้งมูลนิธิที่ว่า “ผมได้เลือกที่จะเน้นใน 3 สาขานี้ เพราะผมเชื่อว่าศาสตร์เหล่านี้มีโอกาสมากที่สุดที่จะเกิดการทะลุวงตลอดครั้งสำคัญทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะก่อให้เกิดคุณประโยชน์ในระยะยาวต่อมนุษยชาติ” สถาบันวิจัยใหม่ทั้ง 7 แห่งนี้คือ

1. The Kavli Institute for Cosmological Physics ที่ University of Chicago (สหรัฐอเมริกา)
2. The Kavli Nanoscience Institute ที่ Caltech (สหรัฐอเมริกา)
3. The Kavli Institute of Nanoscience ที่ Delft University (ประเทศเนเธอร์แลนด์)
4. The Kavli Institute at Cornell for Nanoscale Science ที่ Cornell University (สหรัฐอเมริกา)
5. The Kavli Institute for Brain Science ที่ Columbia University (สหรัฐอเมริกา)
6. The Kavli Institute for Neuroscience ที่ Yale University (สหรัฐอเมริกา)
7. The Kavli Brain & Mind Institute ที่ University of California, San Diego (สหรัฐอเมริกา)

โดยก่อนหน้านี้มูลนิธิคาฟลิ ได้ก่อตั้งสถาบันวิจัยคาฟลิเป็นการขิมกลางไปแล้ว 2 แห่งคือ The Kavli Institute for

Theoretical Physics ที่ University of California, Santa Barbara (ปี 2544) มีผู้อำนวยการชื่อ David Gross ซึ่งก็คือหนึ่งในนักฟิสิกส์ที่ได้รับรางวัลโนเบลในปี 2547 นี้ กับ The Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology ที่ Stanford University (ปี 2546) ในสหรัฐอเมริกา เมื่อรวมเครือข่ายสถาบันวิจัยคาฟลิทั้ง 9 แห่งเข้าด้วยกันแล้ว มูลนิธิคาฟลิต้องบริจาคไม่ต่ำกว่า 100 ล้านดอลลาร์สหรัฐ (การบริจาคอยู่ในรูปของการเลือกเชิญโดยมูลนิธิเท่านั้น)

Fred Kavli เกิดและเติบโตในประเทศนอร์เวย์ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง เคยศึกษาเล่าเรียนฟิสิกส์ที่ Norwegian Institute of Technology (ปัจจุบันคือ Norwegian University of Science and Technology) ในปี พ.ศ. 2499 ได้อพยพไปอยู่ที่สหรัฐอเมริกา หลังจากนั้น 2 ปี ได้ก่อตั้งบริษัท Kavlico Corp. ขึ้นที่เมือง Moonpark มลรัฐแคลิฟอร์เนียและได้นำพาบริษัทเจริญรุ่งเรืองขึ้นเป็นลำดับ จนกลายเป็นเจ้าของธุรกิจของโลกในด้านการผลิตเซนเซอร์ (sensor) ป้อนอุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมการบิน



ถ่ายภาพหมู่ร่วมกับผู้อำนวยการของสถาบันวิจัยคาฟลิทั้ง 9 แห่ง David Gross คือคนที่นั่งติดทางขวามือของคาฟลิ (จาก นิตยสาร Physics Today, May 2004, หน้า 32)

นักฟิสิกส์ในดวงใจตลอดกาล 10 อันดับแรก

วารสาร Physics World ของอังกฤษเคยทำการสำรวจความเห็นของสมาชิกในประเด็น 100 อันดับนักฟิสิกส์ในดวงใจผลการโหวต 10 อันดับแรก คือ

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. Albert Einstein | 6. Galileo Galilei |
| 2. Isaac Newton | 7. Richard Feynman |
| 3. James Clerk Maxwell | 8. Pual Dirac |
| 4. Niels Bohr | 9. Erwin Schroedinger |
| 5. Werner Heisenberg | 10. Ernest Rutherford |

จะเห็นได้ว่า เจ้าของงานฉลองปีหน้า รุ่งอันดับหนึ่งอย่างมัทต้องสงสัย ข้อมูลนี้อาจจะเก่าอยู่บ้าง แต่ระยะเวลา 4 ปี คงไม่อะไรเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยเฉพาะกับ 10 อันดับแรก

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี 2547 (2004)

อภิสิทธิ์ อึ้งกิจจานุกิจ*

David Gross แห่ง Kavli Institute of Theoretical Physics, มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย ซานตาบาร์บารา (UCSB) กับ David Politzer แห่ง สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย (Caltech) และ Frank Wilczek แห่ง สถาบันเทคโนโลยีมาซาชูเซต (MIT) เป็นผู้ได้รับรางวัลโนเบล สาขาฟิสิกส์ประจำปี 2547 โดยผลงานทางฟิสิกส์ทฤษฎีเรื่อง **asymptotic freedom** ที่เผยแพร่ตีพิมพ์ในปี 1973 เมื่อ Politzer (อายุ 23) และ Wilczek (อายุ 21) ยังเป็นนักศึกษาปริญญาเอกอยู่ที่ มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด (Harvard) และมหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน (Princeton) ตามลำดับ ส่วน Gross (อายุ 31) เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาของ Wilczek ที่เขานักศึกษาปริญญาเอกคนแรกของเขา ในการศึกษาวิจัยโดยอิสระจากกัน Gross ร่วมกับ Wilczek ที่ Princeton และอีกด้านหนึ่ง Politzer ที่ Harvard ค้นพบในเวลาใกล้เคียงกันว่า สำหรับทฤษฎีเกจแบบ nonabelian (nonabelian gauge theory) มีความเป็นไปได้ที่แรงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคที่เกิดจากการแลกเปลี่ยน เกจโบซอน (gauge boson) จะลดลงเมื่อระยะระหว่างอนุภาคลดลง เมื่ออยู่ใกล้กันมากเท่าไร ก็ยิ่งเหมือนกับอนุภาคอิสระมากขึ้นเพราะอันตรกิริยาลดลงจนน้อยลง จนเข้าสู่อิสระภาพเมื่อประชิดตัว จึงเรียกว่า **asymptotic freedom** เพื่อจะให้เห็นความสำคัญของงานชิ้นนี้ ซึ่งเป็นงานที่นำไปสู่ **ทฤษฎีควอนตัมรังก์พลศาสตร์ (quantum chromodynamics : QCD)** ที่เป็นทฤษฎีสันฐานของ **อันตรกิริยาแบบเข้ม (strong interaction)** ที่มี ควาร์ก (quarks) และกลูออน (gluons) เป็นตัวละคร **คงจะต้องย้อนกลับไปในช่วงก่อนการค้นพบนี้สักสิบปี**

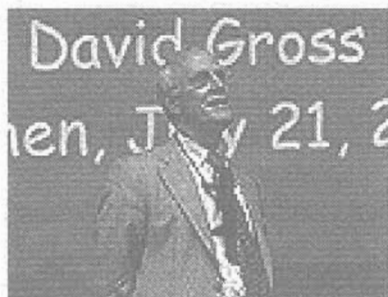
ในช่วงทศวรรษ 1960 มีพัฒนาการในการค้นคว้าศึกษาฟิสิกส์อนุภาคอย่างมากในด้านการทดลอง ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และการสนับสนุนจากภาครัฐทำให้เกิดห้องทดลองขนาดยักษ์ระดับชาติและนานาชาติ เช่น Brookhaven National Laboratory (BNL) และ Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) ในสหรัฐอเมริกา และ European Organization for Nuclear Research (CERN) ในยุโรป ส่งผลให้มีการค้นพบอนุภาคใหม่ๆ มากมายจากการที่ได้สำรวจพลังงานที่สูงขึ้น

ในด้านทฤษฎีนั้น พัฒนาการส่วนใหญ่จะเน้นในทางการสร้างแบบจำลองในด้านฟิสิกส์ของอันตรกิริยาแบบเข้ม สเปกโตรสโคปี (spectroscopy) ของอนุภาคในกลุ่มที่เรียกว่า **ฮาดรอน (hadron)** ซึ่งแยกตามลักษณะของสปิน (spin) ได้เป็นตระกูล **บาร์ยอน (baryon)** ซึ่งเป็นอนุภาคชนิดแฟร์มิออน (Fermion) กล่าวคือมีสปินเป็นจำนวนครึ่งและเป็นไปตามสถิติแบบ แฟร์มี-ดิแร็ก (Fermi-Dirac) และ **เมซอน (meson)** ซึ่งเป็นอนุภาคชนิดโบซอน (Boson) กล่าวคือ มีสปินเป็นจำนวนเต็มและเป็นไปตามสถิติแบบ โบส-ไอน์สไตน์ (Bose-Einstein) อาจเข้าใจได้โดยแบบจำลอง **ควาร์ก (quark model)** โดยมองว่า บาร์ยอน มีองค์ประกอบเป็นควาร์กสามตัว ส่วนเมซอนมีควาร์กและปฏิควาร์ก (anti-quark) อย่างละหนึ่งตัวเป็นองค์ประกอบ บรรดาฮาดรอนใหม่ๆ ที่พบในเครื่องเร่งอนุภาคเป็นร้อยตัวก็ถูกจัดเป็นหมวดหมู่ได้โดยใช้ควาร์กสามตัวเรียกชื่อว่า **u, d, s** ซึ่งเป็นแฟร์มิออนมีสปินครึ่ง แต่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าของหนึ่งในสามของประจุของอิเล็กตรอน และจากการศึกษาบาร์ยอนที่มีสปิน 3/2 ที่ประกอบด้วยควาร์กชนิดเดียวกันสามตัว เช่น บาร์ยอนที่ชื่อ Δ^+ ซึ่งประกอบด้วยควาร์ก u สามตัว (uuu) ก็พบว่าควาร์กจำเป็นต้องมีเลขควอนตัม ที่เรียกว่า **color** ที่มีสามค่า (สี) เพิ่มเติมจากเลขควอนตัม เช่น เลขบาร์ยอน ที่ควาร์กทุกตัวมีเหมือนกัน และบาร์ยอนจะมีสมมาตร (anti-symmetric) ในเลขควอนตัมใหม่นี้ เพื่อให้แบบจำลองสอดคล้องกับหลักการกีดกันของเพาลี (Pauli)

มาถึงจุดนี้ แบบจำลองควาร์กค่อนข้างจะประสบความสำเร็จเมื่อใช้ในการศึกษาฟิสิกส์ของฮาดรอน แต่อย่างไรก็ตามความพยายามที่จะค้นพบควาร์กจากรังสีคอสมิก จากห้องทดลองพลังงานสูงและจากแหล่งต่างๆ **พบแต่ความล้มเหลว** ความหวังที่จะได้พบควาร์กอิสระเมื่อเครื่องเร่งอนุภาคมีพลังงานสูงขึ้นไม่ได้เป็นจริงแม้พลังงานของเครื่องเร่งจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเวลาที่ผ่านมาความหวังนั้นค่อยๆ เจือจางหายไป นักฟิสิกส์เริ่มปรับมุมมองว่าแบบจำลองควาร์กเป็นเพียงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และไม่มองว่าควาร์กเป็นอนุภาคทางกายภาพที่มีตัวตนที่จะพบได้ ทั้งนี้เมื่อปราศจากผลการทดลองยืนยัน และปราศจากทฤษฎีที่มี

* อาจารย์ (ดร.) แห่งกลุ่มวิจัยด้านทฤษฎีของฟิสิกส์พลังงานสูงและจักรวาลวิทยา ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (<http://www.phys.sc.chula.ac.th/%7Etheory/>)

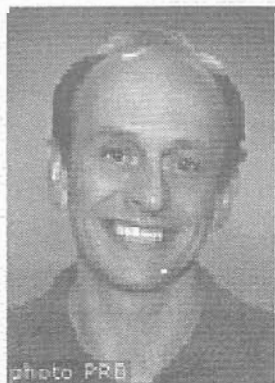
เรื่องเด่นประจำฉบับ



David J. Gross

เกิดเมื่อ 19 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1941 ที่กรุง Washington DC สหรัฐอเมริกา เรียนจบปริญญาตรี เมื่อปี ค.ศ. 1962 จาก Hebrew University of Jerusalem ประเทศอิสราเอล ปริญญาเอก (ฟิสิกส์) เมื่อปี ค.ศ. 1966 จาก University of California ที่ Berkeley

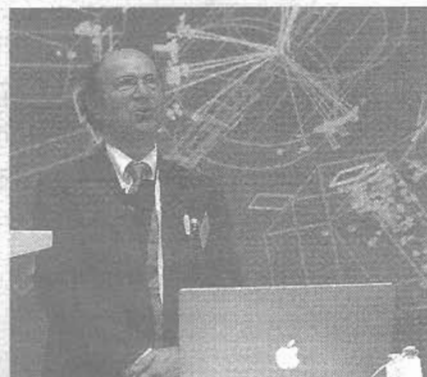
ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการของ Kavli Institute for Theoretical Physics (KITP) แห่ง University of California ที่ Santa Barbara (UCSB) [ดูที่หน้า 4 ประกอบ] ก่อนหน้านี้เคยทำงานอยู่ที่ Princeton University ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1969 จนถึงปี ค.ศ. 1997 ได้ย้ายไปอยู่ที่ UCSB มีประวัติได้รับรางวัลมาแล้วมากมาย เช่น J.J. Sakurai Prize ของสมาคมฟิสิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1986, Dirac Medal จาก UNESCO และ ICTP, Trieste เมื่อปี ค.ศ. 1988, Oscar Klein Medal จาก Stockholm University ประเทศสวีเดน เมื่อปี ค.ศ. 2000 ฯลฯ



H. David Politzer

เกิดเมื่อ 31 สิงหาคม ค.ศ. 1949 ที่กรุงนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา เรียนจบปริญญาตรี เมื่อปี ค.ศ. 1969 จาก University of Michigan ปริญญาเอก เมื่อปี ค.ศ. 1974 จาก Harvard University

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์ทางฟิสิกส์ทฤษฎีอยู่ที่ภาควิชาฟิสิกส์ของ California Institute of Technology (Caltech) สหรัฐอเมริกา เคยเป็นหัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ระหว่างปี ค.ศ. 1986 ถึง 1988 ในปี ค.ศ. 1989 ศาสตราจารย์ Politzer ผู้ซึ่งไม่เคยมีโทรทัศน์ ได้รับการคัดเลือกจากผู้กำกับภาพยนตร์ Roland Joffe (เช่น *The Mission*, *The Killing Fields* ฯลฯ) ให้แสดงเป็นนักฟิสิกส์ที่ชื่อ Robert Serber ในภาพยนตร์เรื่อง *"Fat Man and Little Boy"* ซึ่งเป็นเรื่องราวของโครงการ Manhattan Project ที่ผลิตระเบิดปรมาณูไปทิ้งที่เมืองฮิโรชิมา และนางาซากิในสงครามโลกครั้งที่ 2 (ดาราภาพยนตร์ตาสีฟ้าสวย Paul Newman แสดงเป็นนายพล Leslie Groves)



Frank Wilczek

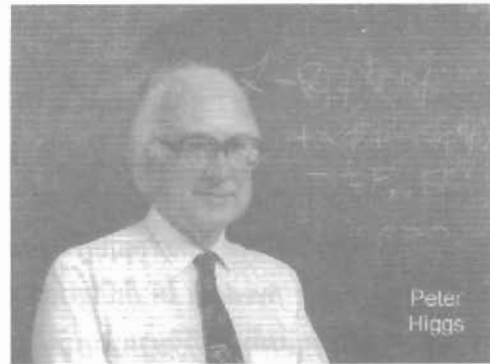
เกิดเมื่อ 15 พฤษภาคม ค.ศ. 1951 ที่กรุงนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา เรียนจบปริญญาตรี (คณิตศาสตร์) เมื่อปี ค.ศ. 1970 จาก University of Chicago ปริญญาโท (คณิตศาสตร์) เมื่อปี ค.ศ. 1972 จาก Princeton University ปริญญาเอก (ฟิสิกส์) เมื่อปี ค.ศ. 1974 จาก Princeton University (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ David J. Gross)

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์ อยู่ที่ Center for Theoretical Physics แห่ง Massachusetts Institute of Technology (MIT) เป็นที่ยอมรับกันว่าศาสตราจารย์ Wilczek เป็นนักฟิสิกส์ทฤษฎีที่ยอดเยี่ยมที่สุดคนหนึ่งของโลกในปัจจุบัน เคยได้รับรางวัลเด่นๆ มาแล้วมากมายรวมทั้ง Dirac Medal เมื่อปี ค.ศ. 1994 และ High Energy and Particle Physics Prize จากสมาคมฟิสิกส์แห่งยุโรป เมื่อปี ค.ศ. 2003 (ร่วมกับ Gross และ Politzer) นอกจากนั้นยังเป็นนักเผยแพร่ความรู้ฟิสิกส์ที่แข็งขันโดยเขียนบทความทางวิชาการเพื่อคนอ่านทั่วไป ลงตีพิมพ์ในตำราและวารสาร เช่น *Physics Today* และ *Nature* อย่างสม่ำเสมอ (ดูที่หน้า 11 ประกอบ)

เรื่องเด่นประจำฉบับ

รากฐานมั่นคงรองรับ มันก็ไม่แปลกที่สภาพคงจะต้องเป็นเช่นนั้น ความจริงแล้วถ้ามองย้อนกลับไปเทียบกับ ฟิสิกส์อะตอม จะเห็นว่า การที่ธาตุต่างๆจัดเป็นหมวดหมู่ในตารางธาตุของแมนเดเลเยฟ (Mandeleev) ได้นั้น เนื่องจากมีองค์ประกอบทางกายภาพ ซึ่งในปัจจุบันรู้กันว่าเป็นอิเล็กตรอนและนิวเคลียสที่ยึดเหนี่ยวกัน ด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้าตามทฤษฎีควอนตัม (หรือจะให้ถูกต้องมากขึ้น ตาม quantum electrodynamics : QED) แต่ก่อนการค้นพบอิเล็กตรอน, นิวเคลียส และทฤษฎีควอนตัม ตารางธาตุก็เป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาวิชาเคมี และเป็นปริศนาที่รอคอยคำอธิบาย

ในช่วงเวลาเดียวกันนี้มีความก้าวหน้าในการศึกษาอันตรกิริยาแบบอ่อน (weak interaction) ทั้งการพบปรากฏการณ์ CP violation (James Cronin และ Val Fitch) ในการสลายตัวของ K^0 เมซอน คือไม่มีสมมาตรภายใต้การแปลง CP และการพบนิวตริโนของมิวออน (muonic neutrino) (Leon Lederman, Melvin Schwartz และ Jack Steinberger) ซึ่งสื่อให้เห็นถึงความเป็นคู่ของเลปตอนในอันตรกิริยาแบบอ่อน ผลงานทั้งสองมาจากการทดลองที่ BNL ส่วนในด้านทฤษฎีมีการสร้างแบบจำลอง electroweak interactions โดยเลียนแบบ QED ซึ่งเป็นทฤษฎีเชิงที่ใช้อธิบายแรงแม่เหล็กไฟฟ้า มีการศึกษาและเข้าใจความสำคัญของการสูญเสียสมมาตรแบบ spontaneous (spontaneous symmetry breaking) ของทฤษฎีเกจ และบทบาทของสนามสเกลาร์ที่ชื่อ Higgs ที่ทำให้สนามเกจมีมวล สามารถจะนำมาใช้กับอันตรกิริยาแบบอ่อนซึ่งมีช่วงสั้นได้ และเมื่อเข้าสู่ต้นทศวรรษ 1970 มีผลงานทางทฤษฎีที่แสดงว่าทฤษฎี nonabelian gauge นั้น renormalizable (t'Hooft) นำไปสู่ทฤษฎีที่รวมอันตรกิริยาแบบอ่อนเข้ากับอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า (electroweak) ในทฤษฎีนี้มีสนามพื้นฐานสปินครึ่งคือ เลปตอน กับควาร์ก ที่แยกเป็นส่วนซ้ายมือและส่วนขวามือ เฉพาะส่วนซ้ายมือจะจัดเป็นคู่อย่างละสามคู่ และจะเกิดอันตรกิริยาแบบอ่อนโดยการแลกเปลี่ยนเกจโบซอน คือ W^+ , W^- ที่มีการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้า และยังทำนายว่าจะเกิดอันตรกิริยาแบบอ่อนที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าที่ทั้งส่วนซ้ายมือและขวามือของควาร์กและเลปตอนมีส่วนร่วมโดยการแลกเปลี่ยนเกจโบซอน Z ในปฏิกริยาแบบ neutral current ซึ่งมีการยืนยันในการทดลองที่ CERN (1973) ต่อมาไม่นานมีการค้นพบ τ^- lepton เลปตอนตระกูลที่สาม (Perl และคณะ 1975) ที่ห้องทดลอง SLAC ส่วนเกจโบซอน



Peter Higgs

ศาสตราจารย์ Peter Higgs นักฟิสิกส์ทฤษฎีแห่ง University of Edinburgh เจ้าของชื่ออนุภาค Higgs boson (ตัวแทนของสนาม Higgs) ที่นักทดลองฟิสิกส์พลังงานสูงกำลังมุ่งมองหา ถ้าพบอนุภาคนี้ก็จะเข้าใจที่มาของ "มวล (mass)"

W^+ , W^- , Z ต้องรออีกแปดปีก่อนจะทดลองพบที่ CERN (1983) สำหรับตัว Higgs นั้นทราบเท่าทุกวันนี้ยังไม่ได้เผยโฉม

ย้อนกลับไปเรื่องอันตรกิริยาแบบเข้มและโครงสร้างของนิวคลีออน (โปรตอน กับ นิวตรอน) ในช่วงปลายทศวรรษ 1960 ถึงต้นทศวรรษ 1970 มีผลการทดลองจาก SLAC (Friedman, Kendall, และ Taylor) ที่ยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูงเข้าใส่โปรตอนและนิวตรอน ซึ่งบ่งชี้ว่ามีองค์ประกอบที่มีขนาดเล็กภายในที่ทำตัวเหมือนอนุภาคอิสระ การทดลองนี้เป็นการศึกษาการกระจายของประจุไฟฟ้าภายในนิวคลีออน เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นเลปตอน (Lepton) ไม่รวมในอันตรกิริยาแบบเข้ม ความจริงแล้วในทำนองเดียวกันเมื่อต้นสหัสวรรษที่ 20 (ปี 1911) มีการทดลองของ รัทเธอร์ฟอร์ด, โทเกอร์, กับ มาร์สเดน (Rutherford, Geiger และ Marsden) ที่ยิงอนุภาคอัลฟาเข้าสู่อะตอมเพื่อศึกษาโครงสร้างของอะตอม จากการที่มีการกระเจิงกลับของอนุภาคอัลฟาทำให้พบว่านิวเคลียสซึ่งมีขนาดเล็กมากในอะตอมในการทดลองที่ SLAC ผลการศึกษาการกระเจิงกลับของอิเล็กตรอน (deep inelastic scattering) สามารถจะเข้าใจได้โดยมองว่าภายในนิวคลีออนมีอนุภาคเล็กๆ ที่มีประจุเรียก ปาร์ตอน (partons) สามตัวที่ทำตัวค่อนข้างจะเป็นอิสระ (Bjorken, และ Feynman) และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่ไม่มีการรับส่วนแบ่งของโมเมนตัมจากอิเล็กตรอนไปประมาณครึ่งหนึ่ง เป็นที่น่าประหลาดที่องค์ประกอบของบาร์ออนที่ยึดตัวกันอยู่ด้วยอันตรกิริยาแบบเข้ม เมื่ออยู่ใกล้กันกลับเป็นอิสระจากกัน (anti-screening) ดังเห็นได้จากผลการทดลองนี้ แต่เมื่อจะแยกให้หลุดจากกันกลับทำไม่ได้เพราะยังไม่มีการพบควาร์กอิสระ

ก่อนการค้นพบ asymptotic freedom ไม่มีทฤษฎีที่มีรากฐานมั่นคงที่จะเข้าใจอันตรกิริยาแบบเข้ม มีแต่แบบจำลองควาร์ก

เรื่องเด่นประจำฉบับ

ที่ใช้ศึกษาฮาดรอน, แบบจำลองควาก-ปาร์ตอน (quark-parton) ที่มองว่าปาร์ตอนคือควาก ที่ใช้ได้ดีในการศึกษาการกระเจิงของฮาดรอน เป็นที่ทักท้วงว่าจะไม่สามารถมีทฤษฎีสนามพื้นฐานอันตรกิริยาแบบเข้ม แต่เมื่อมีการแสดงว่าทฤษฎี *nonabelian gauge* นั้นมี *asymptotic freedom* ได้ ก็เป็นการเปิดทางให้มีทฤษฎีสนามพื้นฐานสำหรับอันตรกิริยาแบบเข้มในรูปแบบคล้ายของ *electroweak* โดยทฤษฎีควอนตัมรังค์พลศาสตร์ QCD ซึ่งเป็นทฤษฎีเกจที่มีกลูออน (gluons) เป็นเกจโบซอนแปดตัวที่เป็นสื่อของอันตรกิริยาแบบเข้ม ที่แลกเปลี่ยนกันเป็นควากที่มีประจุเข้ม ที่เรียกว่า รังค์ (color) ซึ่งมีสามชนิด แต่ที่แตกต่างจากกรณีของอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า QED ซึ่งตัวสื่ออันตรกิริยา คือ โฟตอน ไม่มีประจุไฟฟ้า แต่ตัวสื่ออันตรกิริยาแบบเข้มคือ กลูออน มีประจุเข้ม [ประจุเข้มและปฏิประจุเข้ม (color-anticolor) ที่ไม่หักล้างกัน] ทำให้กลูออนมีอันตรกิริยาแบบเข้มระหว่างกันได้ด้วย ซึ่งทำให้เกิด anti-screening ที่มาของ asymptotic freedom ในกรณีของควากเนื่องจากแรงค้ำของมันทำให้เกิดควาก-ปฏิควากเสมือน (virtual quark-antiquark) รอบๆตัวมัน ทำให้แรงค้ำถูกบดบัง (เกิด screening) เช่นเดียวกับกรณีของประจุไฟฟ้า ซึ่งทำให้อันตรกิริยาลดลงเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันก็จะมีกลุ่มกลูออนที่มีรังค์มาล้อมรอบทำให้เกิด anti-screening ที่อันตรกิริยาลดลงเมื่อระยะห่างลดลง ผลสุทธิว่า screening หรือ anti-screening จะเป็นฝ่ายชนะขึ้นกับรายละเอียดของทฤษฎี

ในรายละเอียด Gross, Politzer, Wilczek ได้คำนวณหาฟังก์ชันบีตา (Beta function) ซึ่งเป็นตัววัดอัตราการเปลี่ยนแรงอันตรกิริยากับพลังงาน ได้ผลเป็น

$$\beta(g) = -g^3 / (16 \pi^2) (11/3 N_c - 2/3 N_f)$$

จะเห็นได้ว่าเครื่องหมายของฟังก์ชันบีตาจะเป็นบวกหรือลบนั้นขึ้นกับตัวเลขสองตัว คือ N_c คือ จำนวน 'รังค์' ซึ่งบอกถึงจำนวนชนิดของประจุเข้มและจำนวนชนิดของเกจโบซอน ($N_c^2 - 1$) สำหรับ Gauge Group แบบ $SU(N_c)$ และ N_f คือ จำนวน 'รส' (flavor) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกชนิดของควาก จากแบบจำลองควากและผลการทดลองต่างๆถึงปัจจุบัน พบว่ามี $N_c = 3$ และ $N_f = 6$ ทำให้ฟังก์ชันบีตามีค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงถึงอันตรกิริยาแบบเข้มจะลดลงเมื่อควากยิ่งเข้าใกล้กันคือเมื่อพลังงานสูงขึ้นสรุปได้ว่า QCD มี asymptotic freedom

QCD ช่วยให้ความกระจ่างแก่แบบจำลองควาก, แบบจำลองควากปาร์ตอน และผลการทดลองที่ SLAC ควากที่เห็นเป็นอิสระภายในนิวคลีออนก็เนื่องจาก asymptotic freedom และส่วนที่ไม่มีประจุที่รับเอาโมเมนตัมของอิเล็กตรอนครึ่งหนึ่งนั้นคือ กลูออนที่อยู่ therein นอกจากนั้นมีการทำนายว่าจะเกิด 2-jet และ 3-jet ในการชนกันของอิเล็กตรอนกับโปรตอนเพื่อสร้างฮาดรอน ซึ่ง 2-jet เกิดจาก ควาก และ ปฏิควาก และ 3-jet เกิดจาก ควาก, ปฏิควาก และ กลูออน ในกรณีของ 3-jet จะเป็นการยืนยันบทบาทของกลูออน และ เหตุการณ์ 2-jet ก็พบหลังการทำนายไม่นานที่ห้องทดลอง DESY ประเทศเยอรมันนี เช่นเดียวกับ 3-jet ที่พบต่อมาในปี 1979 เมื่อมีทฤษฎีที่มีรากฐานก็มีการพัฒนาการทั้งทางทฤษฎีและการทดลองเพื่อตรวจสอบรายละเอียดต่อไป มีการคำนวณว่า QCD coupling (อันตรกิริยาแบบเข้ม) ขึ้นกับพลังงานอย่างไรในรายละเอียดมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่เครื่องเร่งอนุภาค LEP ที่ CERN และมีแบบจำลองต่างๆที่มีรากใน QCD ที่ใช้ในการศึกษาฮาดรอน หลังจากผลงานทางทฤษฎีเรื่อง asymptotic freedom (1973) ประมาณสามสิบปี นับได้ว่า QCD ผ่านการทดสอบได้ดีโดยเฉพาะส่วน Perturbative QCD ที่อยู่บนรากฐานของทฤษฎีนี้ ปัญหาที่ยังไม่มีผลที่รัดกุมคงเป็นปัญหา confinement ซึ่งเป็นอันตรกิริยาระหว่างควากเมื่ออยู่ห่างกัน แต่มีผลจากการคำนวณในเชิงตัวเลขโดยใช้ทฤษฎี lattice QCD ซึ่งเป็นวิธี non-perturbative ที่บ่งแสดงว่าจะเกิด confinement

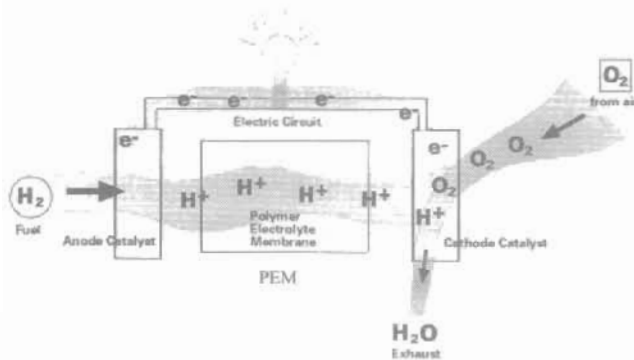
เมื่อนำเอาทฤษฎี electroweak และ QCD มารวมกันจะได้ แบบจำลองมาตรฐาน (standard model) ของอนุภาคมูลฐานที่มี Higgs, ควาก, และ เลปตอนแลกเปลี่ยน เกจโบซอน ได้แก่ โฟตอน, W^+ , W^- , Z , และกลูออน ทำให้เกิดอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า, อันตรกิริยาแบบอ่อน, และอันตรกิริยาแบบเข้มทำให้เกิดโครงสร้างและปรากฏการณ์ต่างๆ แต่จากการศึกษาเอกภพและโครงสร้างต่างๆ ในเอกภพ มีแนวโน้มว่าอนุภาคในแบบจำลองมาตรฐานเป็นเพียงประมาณ 5% แต่มี สสารมืด (dark matter) อีก 25% ที่มีสมบัติยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงโน้มถ่วงแต่ไม่อยู่ใน แบบจำลองมาตรฐาน ยิ่งกว่านั้นกว่า 70% ของเอกภพประกอบด้วย พลังงานมืด (dark energy) ที่ไม่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงโน้มถ่วง ที่เราไม่มีความเข้าใจ

ดูรายละเอียดเพิ่มเติมใน :-

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cells) แหล่งให้พลังงานใหม่ที่น่าสนใจ

กลยุทธ ปัญญาวุธโร*

ในปัจจุบันพลังงานนับว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอย่างมากในการพัฒนาประเทศ เนื่องจากว่าประเทศไทยเราไม่มีแหล่งน้ำมันดิบและต้องพึ่งพาน้ำมันจากต่างประเทศกว่า 90% ซึ่งส่วนมากจะนำเข้ามาใช้เพื่อการคมนาคมขนส่ง และอุตสาหกรรมเป็นหลัก ดังนั้นราคาน้ำมันที่ถีบตัวสูงขึ้นทุกวันๆ จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศและความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงทำให้หลายฝ่ายตระหนักถึงการหาแหล่งพลังงานอื่นที่นำจะนำมาใช้ทดแทนน้ำมัน เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cells) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้พลังงานที่ไม่ต้องพึ่งพาน้ำมัน โดยความเป็นจริงแล้วเซลล์เชื้อเพลิงไม่ได้เป็นเชื้อเพลิงหรือน้ำมัน แต่มันคืออุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมี ที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงสังเคราะห์หรือเชื้อเพลิงชีวมวล ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ดังรูปที่ 1



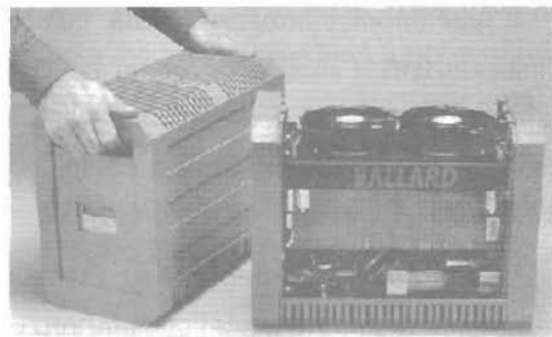
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEM) แล้วก่อให้เกิดไฟฟ้า

เมื่อไฮโดรเจนเข้ามาที่ขั้วแอโนด จะเกิดการแตกตัวโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาก่อให้เกิด ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และอิเล็กตรอน เมมเบรน (PEM) ที่กั้นอยู่ระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดจะอนุญาตให้เฉพาะไฮโดรเจนไอออน (H^+) เท่านั้นที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนไปได้ ส่วนอิเล็กตรอนก็จะถูกผลักออกมายังข้างนอกเซลล์ ถ้าเราต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด อิเล็กตรอนก็จะเกิดการเคลื่อนที่และมีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่มายังขั้วแคโทดแล้วก็จะมารวมตัวกับไฮโดรเจนไอออน (H^+) และออกซิเจน แล้วเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้น

โดยมี catalyst เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และได้น้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์

โดยทั่วไปเซลล์เชื้อเพลิงแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดหลักๆ ตามชนิดของอิเล็กโตรไลต์ ได้แก่

1. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือพอลลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30 ถึง 150 องศาเซลเซียส มีพอลลิเมอร์เป็นอิเล็กโตรไลต์ ในการเกิดปฏิกิริยาจะต้องอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยาเข้าช่วย ส่วนมากนิยมใช้ แพลทินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาเป็นแหล่งพลังงานในรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าในอนาคต (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (ซ้าย) และรถยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าโดยมีเมธานอลเป็นเชื้อเพลิง (ขวา)

ประสบการณ์ฟิสิกส์

2. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดอัลคาไลน์ มีสารละลาย KOH เป็นอิเล็กโทรไลต์ มีอุณหภูมิในการทำงานที่ 120-250 องศาเซลเซียส มี นิกเกิล เงิน หรือ โลหะอัลลอยด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ให้ประสิทธิภาพดีมาก แต่มีความยุ่งยากในการทำงานมาก และยังเกิดการเสื่อมของอิเล็กโทรไลต์ได้ง่าย จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก

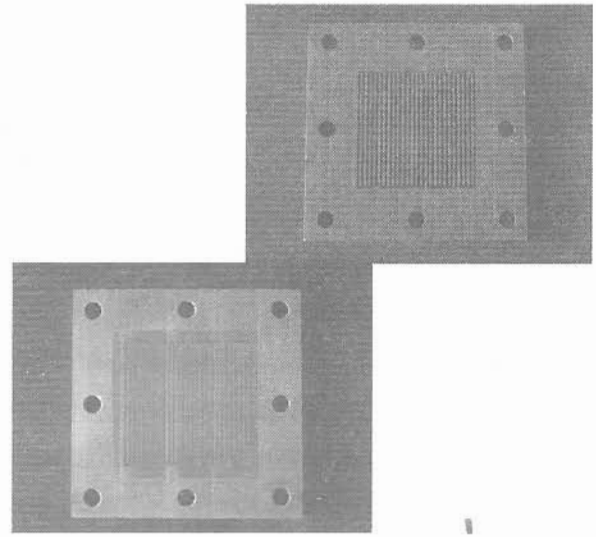
3. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดกรดฟอสฟอริก มีกรดฟอสฟอริกเข้มข้นเป็นอิเล็กโทรไลต์ ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 120-220 องศาเซลเซียส มีแพลตินัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลักการทำงานจะคล้ายกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดแรกมาก

หมายเหตุ ในเซลล์เชื้อเพลิงสามชนิดแรก เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นไฮโดรเจน ถ้าต้องการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลหรือเชื้อเพลิงสังเคราะห์ จะต้องมีการผ่านตัวรีฟอร์มเมอร์ก่อนเพื่อให้กลายเป็นไฮโดรเจน แต่ก็ยังมีบางชนิดที่สามารถป้อนอัลกอฮอล์เข้าไปได้โดยตรง แต่โครงสร้างและตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะแตกต่างออกไปแล้วแต่กรณี

4. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเกลือคาร์บอเนต อิเล็กโทรไลต์จะเป็นของผลระหว่าง alkali carbonate กับ LiAlO_2 มีช่วงอุณหภูมิการทำงานที่ 600-700 องศาเซลเซียส มีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือไม่จำเป็นต้องมีก็ได้ สามารถใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านตัวรีฟอร์มเมอร์

5. เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง มีเซรามิกเป็นอิเล็กโทรไลต์ ($\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$) ทำงานได้ที่อุณหภูมิมากกว่า 1000 องศาเซลเซียส ไม่จำเป็นจะต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา สามารถป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลได้โดยตรง แต่จะมีปัญหาเพราะที่อุณหภูมิสูงวัสดุที่ใช้จะมีการขยายตัวที่ไม่เท่ากันทำให้เกิดรอยร้าวได้ง่าย และวัสดุที่อุณหภูมิสูงค่อนข้างมีราคาแพงและหายาก

ในที่นี้ผมขอเน้นที่เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ทำอยู่ในปัจจุบันนี้ โดยหลักฐานแล้วเซลล์เชื้อเพลิงนี้มีใช้มานานแล้ว แต่มีปัญหาเรื่องวัสดุที่นำมาผลิตเพราะมีราคาแพงและยุ่งยากซับซ้อน ในปัจจุบันที่มีเทคโนโลยีทางด้านวัสดุที่ทันสมัย ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นจริงขึ้นมาได้อีกครั้งหนึ่ง โพลาร์เพลตถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิง ในปัจจุบันโลหะที่ปรับปรุงพื้นผิวที่ป้องกันการกัดกร่อนในเซลล์เชื้อเพลิงได้รับความนิยมและจะนำมาผลิตเป็นเซลล์เชื้อเพลิงแทนกราไฟต์ ในงานวิจัย Cathodic



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการเคลือบโพลาร์เพลตอลูมิเนียม (บน) เคลือบเซอร์โคเนียม โดย Cathodic Arc (ล่าง) เคลือบทองโดยวิธีทางเคมี

Arc Method เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับเลือกในการปรับปรุงพื้นผิวโพลาร์เพลตโดยใช้เครื่อง MEVVA Ion Implanter ของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิธีนี้เป็นการนำโลหะที่ต้องการเคลือบมากระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่มีศักย์สูงมากๆ ทำให้โลหะนั้นกลายเป็นพลาสมาโลหะ ซึ่งจะมีพลังงานและวิ่งออกไปโดยการเร่งของสนามไฟฟ้า ถูกกรองชนิดของอนุภาคโดยใช้ขดลวดโซลินอยด์โค้ง พวกที่ผ่านออกมาได้จะวิ่งไปถึงพื้นผิวที่ต้องการเคลือบ ในระยะแรกคณะวิจัยได้ใช้เซอร์โคเนียมเคลือบลงบนอลูมิเนียม เพื่อนำมาใช้เป็นโพลาร์เพลตของเซลล์เชื้อเพลิง แต่ประสิทธิภาพที่ได้ยังไม่ดีนักเนื่องจากฟิล์มออกไซด์ที่เป็นฉนวนยังไม่ถูกกำจัดไป แต่จากการเคลือบด้วยวิธีเคมีพบว่าหากเคลือบด้วยทอง ประสิทธิภาพจะดีขึ้น ดังนั้นการเคลือบด้วยทองจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าจะทำให้ประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงดีขึ้น

ปัจจุบันในเมืองไทยได้มีการเน้นการวิจัยเซลล์เชื้อเพลิงอยู่สองชนิดคือ ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน และชนิดออกไซด์แข็ง เป็นหลัก ซึ่งมีการประยุกต์ในการใช้งานที่ต่างกันไป โดยที่ชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจะอยู่ในช่วงที่พลังงานต่ำกว่า ตั้งแต่เป็นแหล่งพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในยานพาหนะ แหล่งไฟฟ้าภายในบ้านขนาดเล็ก ในขณะที่ชนิดออกไซด์แข็งจะประยุกต์ไปใช้เป็นโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ร่วมกับโรงไฟฟ้าแก๊สเทอร์โบไบน์ได้ หรือเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในชุมชนขนาดใหญ่ หรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

สมการอัจฉริยะของดิแร็ก

กอบชัย ตายนะสานติ



รูปที่ 1 ภาพถ่ายแผ่นจารึกเหนือหลุมศพของดิแร็กในมหาวิหาร Westminster ณ กรุงลอนดอน เคียงข้างหลุมศพของเซอร์ไอแซก นิวตัน สมการของดิแร็กที่เห็นเป็นการเขียนแบบรวบรัด ฉบับเต็ม ดูที่รูปที่ 2

ใน วิชาฟิสิกส์ นั้นเราใช้ **คณิตศาสตร์** ในการทำนายปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ว่า ถ้ามีเช่นนั้นเช่นนั้น จะเกิดอะไรเช่นนั้น นั่น โดยมากก็จะมีสมการหลักๆ ในแต่ละวิชา แล้วก็ให้พวกเรา ท่านๆ ใช้มันคำนวณพลิกแปลงไปตามแต่ละสถานะการณ์ อย่างเช่นในกลศาสตร์นิวตันเราก็มีสมการ $F=ma$ ในวิชาแม่เหล็กไฟฟ้าเรามีสมการแมกซ์เวลล์ 4 สมการ ในทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษเราพบความสัมพันธ์ $E=mc^2$ แต่บางครั้งสมการเหล่านี้ทำนายผลที่แม้แต่ผู้คิดค้นมันขึ้นมาอาจจะคาดคิดได้ ไอน์สไตน์คงไม่คาดคิดว่าสมการของเขาสามารถนำไปสู่การคิดค้นระเบิดปรมาณูหรือโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เจมส์ แมกซ์เวลล์ ตอนที่รวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กจนค้นพบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเขาคงไม่คิดว่าโลกในสมัยต่อมาใช้ประโยชน์จากสมการของเขาเพื่อประโยชน์อันหาที่สิ้นสุดมิได้ แต่ในบรรดาสมการที่สำคัญทั้งหลายคงไม่มีอันไหนที่มีความ

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \psi(\vec{r}, t) = (-i\hbar \vec{\alpha} \cdot \vec{\nabla} + \beta mc^2) \psi(\vec{r}, t)$$

โดยที่

$$\alpha_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \alpha_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 2 แสดงสมการดิแร็กแบบเต็มรูปซึ่งเป็นสมการเมทริกซ์ 4×4 โดยที่ I เป็นเมทริกซ์เอกลักษณ์ และเมทริกซ์อื่นๆ ในรูปแบบมาตรฐาน (standard representation) ของสมการนี้

เป็นมาที่พิเศษอย่างเช่น **สมการของดิแร็ก** เพราะมันมีทั้งความสวยงามในแง่คณิตศาสตร์ มีความพิสดารในแง่ฟิสิกส์ มีความเป็นมาจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีล้วนๆ อย่างลุ่มลึกคลุกคลานท่ามกลางบรรยากาศการแข่งขันและปลุกปล้ำทางปัญญาความคิด มีหน้าข้ามันยังนำไปสู่การค้นพบสิ่งใหม่ที่ไม่เคยมีใครคาดคิดมาก่อน และการค้นพบนี้ถือว่าเป็นต้นกำเนิดหนึ่งของวิชา **ทฤษฎีสถานควอนตัม** ที่เป็นทฤษฎีที่ลึกที่สุด (ที่ยังพิสูจน์ได้โดยการทดลอง) ที่เราใช้อธิบายสสารและพลังงานอยู่ในปัจจุบัน

ต้นปี 1928 หลังจากทฤษฎีควอนตัมได้ถือกำเนิดมาไม่นาน และทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษได้วางรากฐานอย่างมั่นคงแล้ว ก็ถือเป็นสองเสาหลักของวิชาฟิสิกส์ในสมัยนั้น แต่เสียดายที่ตอนนั้นสมการชโรดิงเงอร์ซึ่งเป็นสมการสำคัญในทฤษฎีควอนตัมยังไม่สอดคล้องกับทฤษฎีสัมพัทธภาพเท่าใดนัก นักฟิสิกส์ต่างๆ หลายท่านในยุคนั้นก็พยายามอย่างหนักเพื่องานนี้ แต่กลับกลายเป็นว่า **พอล เอเดรียน มัวริซ ดิแร็ก (1902-1984)** บัณฑิตวิศวะหนุ่มที่เปลี่ยนมาเรียนคณิตศาสตร์ แต่ทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยทางฟิสิกส์ ได้ค้นพบสมการที่ต้องการในปลายปี 1927 เมื่อมีอายุ 25 ปี หลังจบปริญญาเอกได้เพียง 1 ปี

แต่ยังก่อน ความสำเร็จไม่ได้มาเร็วอย่างที่ท่านคิด อาจจะต้องบู๊ฟันก่อนว่าสมการที่รวมหลักทฤษฎีสัมพัทธภาพไว้ในควอนตัมมันมีมาก่อนหน้านี้แล้วเรียกว่า **สมการไคลน์-กอร์ดอน** แต่น่าเสียดายที่ว่าสมการนี้ให้ผลที่ไม่น่าพึงพอใจ คือเมื่อเราคำนวณความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาค กลับได้ความน่าจะเป็นที่มีค่าลบ ซึ่ง (ในขณะนั้น) ไม่น่าจะสามารถนำไปสู่การตีความฟิสิกส์อะไรได้ นี่เป็นแรงบันดาลใจที่ดิแร็กพยายามจะแก้ไขและค้นพบสมการของเขาในที่สุด ส่วนที่เขาคิดอย่างไรจนได้สมการนี้ ถ้าเล่าอย่างละเอียดตรงนี้ กลัวว่าจะกินหน้ากระดาษวารสารทั้งเล่ม แต่บอกคร่าวๆ ได้ว่า จุดอ่อนของสมการไคลน์-กอร์ดอนคือพจน์ที่แทนพลังงานและโมเมนตัมมีลักษณะกำลังสองจะนำไปสู่ความน่าจะเป็นที่มีค่าลบ ดังนั้นดิแร็กจึงพิจารณาในแง่คณิตศาสตร์อย่างเดียวว่า สมการที่ดูน่าจะเป็นสมการที่มีเทอมพลังงานและโมเมนตัมที่เป็นกำลังหนึ่ง แต่กลายเป็นว่าแทนที่จะเป็นหนึ่งสมการ เช่นสมการชโรดิงเงอร์ เขาต้องการระบบของสมการ 4 สมการที่เกี่ยวข้องกันเพื่อที่จะได้ผลที่ถูกต้อง (พูดเป็นภาษาคณิตศาสตร์เรียกว่าสมการเมตริกซ์ 4×4) ความสำเร็จเมื่อเริ่มแรกของสมการดิแร็กนั้น มีทั้งเรื่องหวานชื่นและขื่นขม



รูปที่ 3 รูปของดิแร็กที่วาดโดย ริชาร์ด ฟายน์แมน นักฟิสิกส์
ทฤษฎีคนสำคัญอีกคนหนึ่ง

เพื่อให้อ่านง่าย ๆ (แต่เขียนยากซะมดเลยครับ) ผมจะแยกเล่า
เป็นเรื่อง ๆ ดิกว่า

เรื่องดี ๆ เกี่ยวกับสมการดิแร็ก

ก่อนหน้าดิแร็กพบสมการของเขาเล็กน้อย นักฟิสิกส์กำลัง
งงววยเกี่ยวกับสมบัติเฉพาะตัวของอิเล็กตรอนที่เรียกว่า **"สปิน"**
ถ้าเรายังจำกันได้ว่าทฤษฎีควอนตัมเวอร์ชันแรกๆเป็นของ **นีลส์
บอร์** ที่ทำนายสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจนได้ใกล้เคียง
ผลการทดลองมาก แต่ยุ่งยากกับการปรับปรุงเพื่อใช้กับอะตอม
อื่นๆ ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นมาในวงโคจร หรือไม่สามารถ
อธิบายบางเส้นสเปกตรัมที่แตกออกเมื่อวางอะตอมไฮโดรเจน
ในสนามแม่เหล็ก ต่อมา **ไวล์ฟกิง เปาลี** อัจฉริยะปิศาจ (ความ
เก่งกาจของเขาเป็นตำนานเล่าขาน) ได้วิเคราะห์ให้เห็นโดยใช้
ข้อมูลจากการทดลองว่า อิเล็กตรอนสามารถอยู่ในสถานะใดๆ ได้
เพียงหนึ่งตัวเท่านั้น นี่คือ **หลักการกีดกันของเปาลี** ที่รู้จักกันดี
นั่นเอง แต่ก็เป็นที่น่าสงสัยสำหรับหลักการนี้ เพราะยังไม่สามารถ
อธิบายว่า ทำไมถึงมีอิเล็กตรอนได้สองตัวในวงโคจรแบบบอร์ที่ได้
ทั้งๆ ที่ตามหลักการนี้น่าจะมีได้เพียงตัวเดียว เปาลีก็บอกว่ามัน
เนื่องมาจาก **ทวิภาวะที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยฟิสิกส์ดั้งเดิม**
(classically-non-describable duplexity) แต่เปาลีไม่ได้ให้เหตุผล
ที่ชัดเจนว่าทำไม

ในปี 1925 นักเรียนปริญญาเอกชาวดัชต์สองคนชื่อ
กูต์สเมิท์กับอูเลินเบ็ค พบว่า ถ้าเราคิดว่าอิเล็กตรอนทำตัวเหมือน
กับแบกแท่งแม่เหล็กไว้กับตัวแล้วปัญหาเกี่ยวกับสเปกตรัม
ดังกล่าวจะหมดไป แบบจำลองสปินที่ทั้งสองคิดขึ้น มาจาก
ความคิดที่ว่าอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าดังนั้นเมื่อมันเคลื่อนที่เป็น
วงกลมจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น นอกจากนี้เมื่อคำนึงถึง

เป็นไปได้เพียงสองแบบเท่านั้น คือชี้ขึ้นบนหรือชี้ลงล่างเท่านั้น
นี้ทำให้เขาสามารถอธิบายได้ว่าอิเล็กตรอนสองตัวอยู่ในวงโคจร
เดียวกันได้เพราะเหตุผลที่ว่าไม่มีสปิน(สถานะ)ต่างกันนั่นเอง

ดูท่าแบบจำลองนี้นั้นจะไปได้ดี แต่ว่าหลายๆ คนแย้งว่า
มันไม่น่าจะถูก ด้วยเหตุผลต่างๆ เช่น ถ้าเขาคำนวณค่าการหมุน
ของประจุอิเล็กตรอนเพื่อให้ได้ค่าตรงกับผลการทดลอง พบว่าความเร็ว
ที่ผิวของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่าความเร็วแสงซึ่งฝ่าฝืนหลักการ
ของทฤษฎีสัมพัทธภาพพิเศษอย่างรุนแรง (**ถึงสมัยนี้ก็ยังไม่
ปรากฏการณ์ใดแย้งกับหลักการอันนี้เลย**) และเขายังพบว่า ถ้า
เปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่างความแรงของสนามแม่เหล็กกับ
ขนาดสปิน (gyromagnetic ratio) แล้วจะมีค่าเป็น 2 แทนที่จะ
เป็น 1 ตามทฤษฎีฟิสิกส์ดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม แม้ตามหลักเหตุผล
แล้วทฤษฎีของทั้งสองจะไม่น่าเชื่อ แต่มันเข้ากับผลการทดลองได้
อย่างดีเยี่ยม แสดงว่าความถูกต้องน่าจะอยู่กับทฤษฎีของกูต์สเมิท์
กับอูเลินเบ็ค แต่ที่มาอาจจะไม่ถูกสักเท่าไร และแล้วเมื่อพระเอก
ของเราค้นพบสมการดิแร็ก เมื่อพิจารณาสมการนี้ในช่วงที่
อนุภาคมีความเร็วน้อยๆ หรือเรียกว่า ไม่สัมพัทธภาพ (คำว่า
สัมพัทธภาพ คือ ทฤษฎีที่เห็นผลชัดเจนเมื่อวัตถุมีความเร็วมากๆ
เข้าใกล้ความเร็วแสง) จะพบว่าสมการทั้ง 4 จะเหลือแค่สมการ
ที่คล้ายสมการชโรดิงเงอร์ 2 สมการ อันหนึ่งแทนอิเล็กตรอน
ที่มีสปินขึ้น อีกอันแทนสปินทิศลง !!!

ยิ่งไปกว่านั้นเมื่อใช้สมการดิแร็กคำนวณหาสภาพความเป็น
แม่เหล็กของอิเล็กตรอนพบว่าได้อัตราส่วนดังกล่าวเป็น 2 พอดี!!!
และเราจะยิ่งประหลาดใจเข้าไปอีกเมื่อได้พบว่าเกิดพจน์ทาง
คณิตศาสตร์ที่ถูกบวกเพิ่มเข้าไปในสมการชโรดิงเงอร์เพื่ออธิบาย
ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับสปินโดยเปาลี หรือพจน์ที่บวกเข้าไปโดย
ดาร์วิน (บางท่านอาจจะบอกว่า เปาลีสร้างพจน์เหล่านี้บวกเข้าไป
อย่างไม่มีปี่ไม่มีขลุ่ย เพียงเพื่อให้สอดคล้องกับการทดลองเท่านั้น)
พจน์เหล่านี้ต่างเรียงแถวออกมาเองโดยธรรมชาติจากสมการดิแร็ก
ทั้งสิ้น ความสวยงามอยู่ที่ว่าดิแร็กคิดสมการนี้ขึ้นมาโดยไม่ต้อง
คาดหวังว่าจะมีสิ่งเหล่านี้มาก่อนเลย เขาเพียงแค่รวมสัมพัทธภาพ
ไว้ในทฤษฎีควอนตัมอย่างถูกต้อง ความสอดคล้องอันบรรเจิด
ก็เกิดขึ้น!!! ยังมีอีกเยอะครับเกี่ยวกับสมการอัศจรรย์นี้ หน้ากระดา
หมดเสียแล้วครับ จบหน้าค่อยมาเล่าสู่กันฟังใหม่

หมายเหตุ เรื่องนี้เรียบเรียงจากบทความชื่อ "A Piece of Magic"
เขียนโดย Frank Wilczek ซึ่งรวมตีพิมพ์อยู่ในหนังสือชื่อ
"It must be beautiful"

ขอแนะนำ

ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ (Laboratory of Atmospheric Physics)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

เสริม จันทรฉาย* จรุงแสง ลักษณะบุญสง+ กรทิพย์ ไต้ะสิงห์^x และสุมาลย์ บันเทิง^x

ภาพแผนที่ประเทศไทย 4 สีที่ปกหลัง

รูปที่ 2 แสดงแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย
ที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ

งานวิจัยด้านฟิสิกส์บรรยากาศของภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เริ่มต้นตั้งแต่ พ.ศ. 2524 โดยเน้นที่การศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนวัฏจักร และการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ ทั้งในสภาพสงบและปรากฏการณ์ในบรรยากาศที่รุนแรง เช่น พายุต่างๆ เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2524 ทีมวิจัยด้านฟิสิกส์บรรยากาศของภาควิชาฟิสิกส์ ได้จัดตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะฯ ให้ดำเนินการศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่จังหวัดนครปฐม ต่อมาในปี พ.ศ. 2537 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ให้ทำการศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ในการดำเนินการดังกล่าว ทีมวิจัยฯ จึงได้จัดตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (รูปที่ 1) ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา และนำข้อมูลมาวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

เนื่องจากการศึกษารังสีดวงอาทิตย์จากสถานีวัดภาคพื้นดินไม่สามารถทำได้ครอบคลุมทุกพื้นที่เพราะเครื่องวัดมีราคาแพง ดังนั้นในปี พ.ศ. 2540 ทีมนักวิจัยฯ จึงได้พัฒนาเทคนิคการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ จากผลการดำเนินงานดังกล่าว คณะนักวิจัยฯ ได้จัดทำแผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระยะยาวขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศไทย ซึ่ง



รูปที่ 1 แสดงสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่จังหวัดเชียงใหม่
ของห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ

สามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงของประเทศ (รูปที่ 2)

จากสภาพการขาดเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ดี ในปี พ.ศ. 2543 ทีมวิจัยฯ จึงได้ร่วมกับการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานดำเนินการจัดตั้งเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดกระจายอยู่ทั่วประเทศจำนวน 25 แห่ง และยังคงดูแลประมวลผลข้อมูลให้กับกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานจนถึงปัจจุบัน

เนื่องจากการพัฒนาอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ผ่านมาประเทศต่างๆ ได้ปล่อยสารมลพิษต่างๆ ขึ้นสู่บรรยากาศจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาร CFC ซึ่งทำลายบรรยากาศชั้นโอโซนที่มีผลทำให้ความเข้มรังสีอัลตราไวโอเลตมีแนวโน้มสูงขึ้น ทีมนักวิจัยฯ ได้ตระหนักถึงอันตรายจากการเพิ่มขึ้นของรังสีอัลตราไวโอเลต ดังนั้นในปี พ.ศ. 2544 จึงได้ดำเนินการศึกษาความเข้มของรังสีอัลตราไวโอเลตในประเทศ โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

เป็นที่ทราบกันดีว่าแสงอาทิตย์เป็นแสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ที่สามารถนำมาให้ความสว่างในอาคารได้ ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ท่อนำแสง (light pipe)

ขอแนะนำ



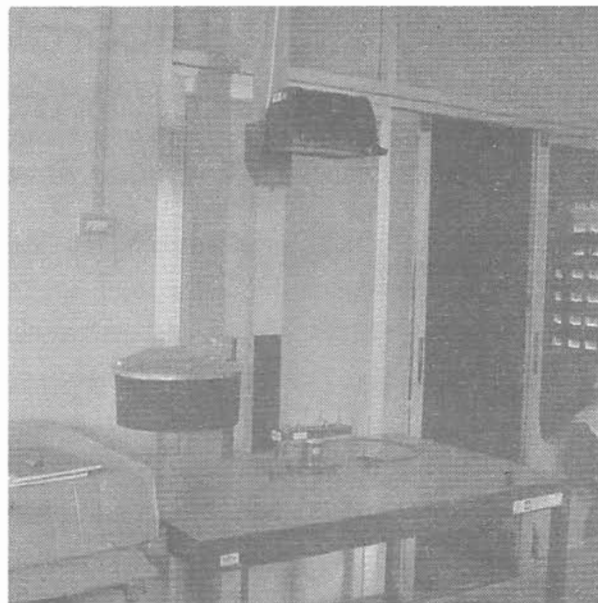
รูปที่ 3 ตัวอย่างโฆษณาขายท่อนำแสงติดตั้งกับอาคารบ้านเรือน

เพื่อนำแสงสว่างธรรมชาติจากภายนอกเข้าไปตามจุดต่างๆ ในอาคาร (รูปที่ 3) ในการออกแบบอาคารที่ใช้ประโยชน์สูงสุดจากแสงสว่างธรรมชาติ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องใช้ข้อมูลแสงสว่างธรรมชาติที่วัดในบริเวณนั้นๆ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2546 ทีมวิจัยฯ จึงได้ร่วมกับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ดำเนินการพัฒนาแผนที่และฐานข้อมูลแสงสว่างธรรมชาติจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทยขึ้น

นอกจากงานด้านรังสีดวงอาทิตย์แล้ว ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศยังมีกิจกรรมการวิจัยด้านฝุ่นละอองในบรรยากาศ (atmospheric aerosols) โดยการใช้ multi-filter shadow band radiometer การศึกษาปริมาณโอโซนในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม TOMS/EP การศึกษาปริมาณไอน้ำในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน

ในด้านความร่วมมือกับต่างประเทศ ห้องปฏิบัติการฯ มีการวิจัยร่วมกับ Atmospheric Physics Group University of Manchester ประเทศอังกฤษและ Department of Geography and Environmental Studies, University of Tasmania ประเทศออสเตรเลีย นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการฯ ยังดำเนินงานร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) โดยในปี พ.ศ. 2546 หัวหน้าทีมวิจัย (รศ.ดร.เสริม จันทร์ฉาย) ได้รับเชิญให้เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านรังสีอุลตราไวโอเล็ตของ WMO ในโครงการ Global Atmospheric Watch (GAW)

สำหรับในด้านอุปกรณ์วิจัยปัจจุบัน ห้องปฏิบัติการฯ มีสถานีวัดรังสีดวงอาทิตย์อยู่ 4 สถานี ที่จังหวัดเชียงใหม่ อุบลราชธานี สงขลา และนครปฐม โดยแต่ละสถานีมีอุปกรณ์การวัดรังสีดวงอาทิตย์ช่วงความยาวคลื่นกว้าง เครื่องวัดรังสีอุลตราไวโอเล็ต เครื่องวัดแสงสว่างธรรมชาติ นอกจากนี้ห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4 แสดงเครื่องสอบเทียบ pyranometer

ยังมี Calibration facility for pyranometer ซึ่งเปิดบริการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ (pyranometer) ให้กับภาครัฐและเอกชน (รูปที่ 4)

ในด้านของผลงานวิจัย ได้มีการนำไปใช้ทั้งด้านอุตุนิยมวิทยาด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม โดยตัวอย่างของงานพิมพ์เผยแพร่ มีดังนี้

1. Janjai, S., Jantarrach, T. and Laksanaboonsong, J., A model for calculating global illuminance from satellite data, Renewable Energy 28, 2355-2365 (2003).
2. Janjai, S., Kumharn, W. and Laksanaboonsong, J., Determination of Angstrom's turbidity coefficient over Thailand, Renewable Energy 28, 1685-1700 (2003).
3. Janjai, S., Laksanaboonsong, J., Nunez, M. and Thongsathidya, A., Development of a model for generating operational solar radiation maps from satellite data in a tropical environment, Solar Energy (2005) in press.

ในปัจจุบันห้องปฏิบัติการฯ มีอาจารย์ 4 คน นักศึกษาปริญญาโท 10 คน และมีโครงการเปิดปริญญาเอกในปี พ.ศ. 2549 สำหรับในปีการศึกษา 2548 จะเปิดรับนักศึกษานิพนธ์ 5 คน โดยให้ทุนค่าใช้จ่ายส่วนตัวรายเดือน พร้อมทั้งเงินค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้สนใจสามารถติดต่อสอบถามรายละเอียดได้ที่ห้องปฏิบัติการฯ (โทร. 034-270761)

วัดรัศมีโลก (3)

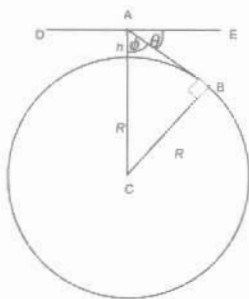
ทำยังงี้ดี ไม่มีเครื่องคิดเลข !

สมชาย เกียรติกมลชัย

ตอนนี้เป็นตอนสุดท้ายครับสำหรับกิจกรรมวัดรัศมีโลก ซึ่งได้นำเสนอไปแล้ว 2 ตอน ข้อสรุปของการวัดรัศมีโลก (R) เมื่อเรายืนอยู่ที่ชายหาดก็คือการทราบความสูงของดวงตาจากระดับน้ำทะเล (h) และทราบมุมก้มที่ดวงตาเราต้องกระทำกับแนวระดับเพื่่อมองดูเส้นขอบฟ้า (θ) ซึ่งจากปริมาณทั้งสองสามารถนำมาคำนวณรัศมีโลกได้จากสูตร

$$R = \frac{h \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (1)$$

โดย $\phi = \frac{\pi}{2} - \theta$ โปรดดูรูปที่ 1 ประกอบการพิจารณา



รูปที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวัดรัศมีโลก

ปัญหาหนึ่งที่เราพบในการปฏิบัติภาคสนามก็คือว่า นักเรียน (รวมทั้งอาจารย์ด้วย) ไม่มีเครื่องคิดเลขที่สามารถคำนวณค่าฟังก์ชันทางตรีโกณมิติได้ จะมีก็เพียงแต่โทรศัพท์มือถือที่เดี๋ยวนี้นักมีฟังก์ชันบวก ลบ คูณ หาร เท่านั้น (ถ้ารุ่นไหนคิดฟังก์ชันตรีโกณมิติได้ กรุณาแจ้งให้ผู้เขียนทราบด้วยครับ)

สิ่งแรกที่เราสังเกตจากสมการที่ (1) ก็คือว่าเราน่าจะหาวิธีแปลงค่ามุม $\sin(\phi)$ ให้เป็นฟังก์ชันของมุม θ โดยตรง ซึ่งความรู้ในหัวข้อตรีโกณมิติในระดับมัธยมปลายได้กล่าวไว้ว่า

$$\sin(A - B) = \sin(A)\cos(B) - \cos(A)\sin(B)$$

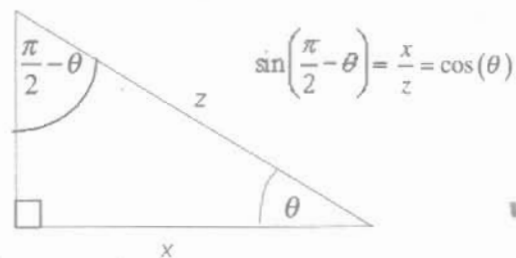
ดังนั้นโดยการแทน $\phi = \frac{\pi}{2} - \theta$ เราจะได้ว่า

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)\cos(\theta) - \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)\sin(\theta) = \cos(\theta)$$

ดังนั้นสูตรของเราก็จะกลายเป็น

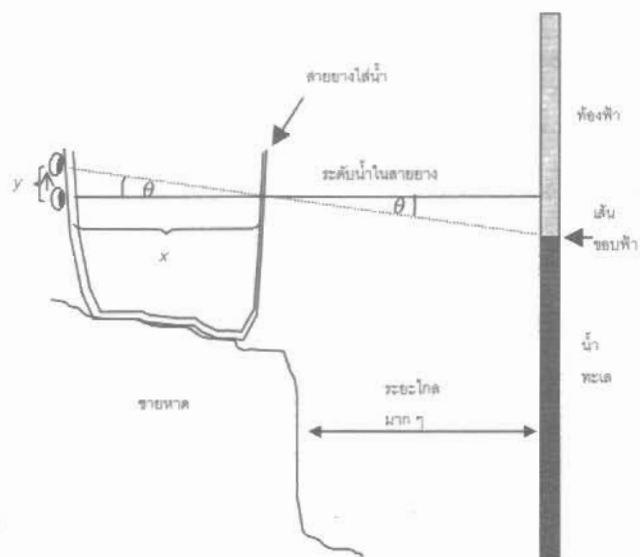
$$R = \frac{h \cos(\theta)}{1 - \cos(\theta)}$$

หรือบางท่านอาจจำได้เลยว่า $\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \cos(\theta)$ โดยพิจารณาจากสามเหลี่ยมมุมฉากใน รูปที่ 2



รูปที่ 2 สามเหลี่ยมมุมฉาก

แต่เรายังประสบปัญหาอยู่ตรงที่ว่าเราต้องทำการประมาณค่าฟังก์ชัน $\cos$ โดยที่ไม่มีเครื่องคิดเลข หลังจากใคร่ครวญอยู่พักใหญ่ เรา (ผมและอาจารย์สมศักดิ์) ก็ได้ไอเดียว่าการทดลองที่ได้กล่าวไว้ในตอนที่ 2 ของฉบับที่แล้ว เราทราบค่าอัตราส่วน y/x เพราะเราต้องวัดค่า y และ x (ดูรูปที่ 3 ประกอบครับ) นั่นคือเราทราบค่า $\tan(\theta)$ นั่นเอง ดังนั้นเราน่าจะเปลี่ยนจากฟังก์ชัน $\cos$ เป็น $\tan$ ให้ได้



รูปที่ 3 การจัดชุดการทดลองเพื่อวัดมุมก้ม θ ซึ่งสามารถหาได้จากระยะห่างระหว่างปลายสายยาง (x) และระยะเลื่อนในแนวตั้งของดวงตา (y) (อ่านขั้นตอนการวัดได้จากตอนที่ 2)

เรียนเล่นฟิสิกส์

ซึ่งเราสามารถทำได้โดยใช้สูตรพื้นฐานในระดับมัธยมปลายที่ว่า

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

ถ้าเราเอา $\cos^2 \theta$ หารตลอดเราจะได้ว่า

$$\tan^2 \theta + 1 = \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

ดังนั้นถ้าเราจัดรูปจะได้ว่า

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \theta}}$$

นั่นเอง ซึ่งถ้าเราทำการแทนค่า $\tan \theta$ ด้วย y/x เราก็จะได้สูตรสุดท้ายที่หาค่ารัศมีของโลกโดยที่ไม่ติดค่าฟังก์ชันตรีโกณมิติ ดังนี้

$$R = \frac{h \sqrt{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2}}{1 - \sqrt{1 + \left(\frac{y}{x}\right)^2}}$$

แต่สูตรนี้ก็ยุ่งยากอยู่ดีครับเพราะต้องมีการหารากที่สองซึ่งถ้านักเรียนไม่ได้เรียนการหารากที่สองด้วยกระดาษและดินสอก็จำเป็นต้องพึ่งเครื่องคิดเลขอยู่ดี

เมื่อมาถึงจุดนี้ผมขอแนะนำเกร็ดความรู้เรื่องการประมาณค่าแบบหนึ่งซึ่งมักจะพบบ่อยในทางฟิสิกส์ นั่นก็คือ

$$(1 + \Delta)^q \approx 1 + q\Delta$$

ซึ่งใช้ได้กรณีที่ Δ น้อยกว่า 1 มาก ๆ ในปัญหาของเรานั้น

ค่า y/x มีค่าน้อยกว่า 1 มาก ดังนั้น ถ้าเราให้ $\Delta = \left(\frac{y}{x}\right)^2$

และ $q = -\frac{1}{2}$ เราจะได้ว่า

$$R \approx \frac{h \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{x}\right)^2\right)}{1 - \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{x}\right)^2\right)} = h \left(2 \frac{x^2}{y^2} - 1\right) \quad (2)$$

ตารางที่ 1 รัศมีโลกที่ได้จากสมการที่ (1) ซึ่งไม่ใช้การประมาณค่าและสมการที่ (2) ที่ใช้การประมาณค่า กำหนดให้ x มีค่าเท่ากับ 1450 เซนติเมตร และ h มีค่าเท่ากับ 400 เซนติเมตร

ผลต่างความสูงดวงตา, y (เซนติเมตร)	รัศมีโลกสมการที่(1) (กิโลเมตร)	รัศมีโลกสมการที่(2) (กิโลเมตร)	ค่าความแตกต่าง (%)
2.0	4203	4205	0.05
2.2	3474	3475	0.04
2.4	2919	2920	0.04
2.6	2487	2488	0.04
2.8	2145	2145	0.03
3.0	1868	1869	0.03

ซึ่งจะเห็นว่าสูตรคำนวณสมการที่ (1) ซึ่งติดฟังก์ชัน $\sin$ ได้ถูกลดความซับซ้อนลงเหลือสูตรคำนวณสมการที่ (2) ที่มีเพียงตัวแปรที่มาจากการวัดโดยตรง (ตัวแปร x , y และ h ในรูปที่ 3)

ในตารางที่ 1 ผมได้ลองเปรียบเทียบรัศมีโลกซึ่งได้จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) จะเห็นว่ารัศมีโลกที่คำนวณโดยทั้งสองแบบใกล้เคียงกันมาก มีความแตกต่างไม่เกิน 0.05 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกิจกรรมวัดรัศมีโลกตอนนี้เป็นตอนสุดท้ายแล้วครับ ซึ่งในตอนนี้นี้ผมได้พยายามเน้นความสำคัญของคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางฟิสิกส์โดยช่วยให้เรา “ประมาณค่า” ของสมการที่ซับซ้อนโดยใช้เพียงกระดาษกับดินสอ หวังว่ากิจกรรมนี้ได้นำเสนอไปแล้ว 3 ตอนจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดค่ายวิทยาศาสตร์บ้างไม่มากก็น้อยนะครับ มีข้อเสนออีกนิดครับว่า อันที่จริงตึกสูงๆ ในกรุงเทพก็สามารถใช้จัดกิจกรรมวัดรัศมีโลกได้เช่นกัน แต่อาจมีปัญหาเรื่องฝุ่นเล็กน้อย ทำให้มองรอยต่อระหว่างฟ้ากับดินไม่ชัด

พบกันฉบับหน้า กับกิจกรรม เรียน เล่น ฟิสิกส์ ถ้าท่านผู้อ่านท่านใดมีข้อติชม หรือต้องการเสนอแนะกิจกรรมใดๆ ขอความกรุมาส่งไฟล์อิเล็กทรอนิกส์มาที่ somchai.k@chula.ac.th ได้ครับ

BEETLE
BAILEY



จาก นสพ. Bangkok Post

“ฟังก์ชัน” เดลตาดิเร็ก

ชาญกิจ คั่นฉ่อง



การประชุม Solvay Congress เมื่อ ปี ค.ศ. 1927 ที่กรุงบรัสเซลส์ ดิเร็ก นั่งหลังทางด้านขวาของไอน์สไตน์

II. ภาพง่ายๆ และบทบาทการใช้งาน

“ฟังก์ชัน” เดลตาดิเร็กมีภาพง่ายๆ อย่างไม่เคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\delta(\vec{x} - \vec{x}_0) = 0 \quad \text{เมื่อ } \vec{x} \neq \vec{x}_0 \quad (2.1)$$

$$\int_{\text{all space}} d^3x \delta(\vec{x} - \vec{x}_0) = 1 \quad (2.2)$$

จากสมการ (2.2) ทำให้ “ฟังก์ชัน” นี้มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ได้เฉพาะที่ตำแหน่ง $\vec{x} = \vec{x}_0$ เท่านั้น กล่าวคือ ณ ตำแหน่งนี้ $\delta(\vec{x}_0 - \vec{x}_0) \approx 1/d^3x \rightarrow \infty$ มีค่าเป็นอนันต์ ซึ่ง นิยามไม่ได้ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น “ฟังก์ชัน” นี้จึง ไม่ใช่ฟังก์ชัน เพราะฟังก์ชันเป็นความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนกับจำนวน

ในขอบเขตความรู้ฟิสิกส์แคบๆ ที่ผมไปถึง ผมขอลองแยกบทบาทการใช้งานของ “ฟังก์ชัน” นี้ในวิชาฟิสิกส์ออกเป็น 2 ด้าน

ก. เป็นตัวแทนทางคณิตศาสตร์ของวัตถุฟิสิกส์ที่มีสมบัติบรรยายด้วยค่าปริมาณฟิสิกส์ที่จำกัดค่าหนึ่ง (finite) และสมบัติดังกล่าวดำรงอยู่เฉพาะจุดๆ หนึ่งในปริภูมิที่พิจารณา (เช่น ในอวกาศ หรือ ปริภูมิโมเมนตัม) ตัวอย่างเช่น

- จุดประจุขนาด q ที่มีอยู่เฉพาะที่จุด $\vec{x}_0$ ในอวกาศ ซึ่งแสดงได้ในรูป “ฟังก์ชัน” ความหนาแน่นของค่าประจุเป็น

$$\rho(\vec{x}) = q\delta(\vec{x} - \vec{x}_0)$$

- ผลคูณภายใน (inner product) ของ เวกเตอร์ฐานหลัก (basis) ในปริภูมิฮิลเบิร์ตที่มีดัชนีมิติแบบต่อเนื่องและออร์โธโกนัล (orthogonal: กล่าวง่ายๆ คือ “การตั้งฉาก” ของเวกเตอร์ในปริภูมิใดใด) กัน ซึ่งมีใช้ในกลศาสตร์ควอนตัมแบบทั่วไป (general quantum mechanics) เช่น ผลคูณภายในของ เวกเตอร์สถานะลักษณะเฉพาะ (eigen-state vectors) ของ ปริมาณโมเมนตัมที่มีค่า

$$\langle \vec{p} | \vec{p}' \rangle = \delta(\vec{p} - \vec{p}')$$

ที่เราใช้ “ฟังก์ชัน” เดลตาดิเร็กซึ่งมีคุณสมบัติที่สามารถนิยามอนุพันธ์และอินทิเกรตได้ตามแนววิธีของ Schwartz มาเป็น ตัวแทนคณิตศาสตร์ ของวัตถุฟิสิกส์ที่มีลักษณะดังกล่าวข้างต้น ก็เพราะเราต้องการใช้ **แคลคูลัส** ซึ่งเป็นคณิตศาสตร์ของวัตถุต่อเนื่องมาจัดการกับวัตถุที่ไม่ต่อเนื่องได้นั่นเอง เช่น

ตัวอย่าง 1. (อินทิเกรต)

เราสามารถใส่ $\rho(\vec{x})$ กับจุดประจุที่ไม่ต่อเนื่องได้เช่นเดียวกับก่อนประจุต่อเนื่อง โดยแทนในรูป “ฟังก์ชัน” เดลตา ซึ่งสามารถอินทิเกรตได้ออกมาเป็นค่าประจุทั้งหมดเช่นเดียวกัน ดังนี้

$$\text{จำนวนประจุ ทั้งหมด } (Q) = \int_{\text{all space}} d^3x \rho(\vec{x}) = \int_{\text{all space}} d^3x q\delta(\vec{x} - \vec{x}_0)$$

ตัวอย่าง 2. (อนุพันธ์)

ตามปกติ concept ความหนาแน่นประจุ (ρ) และความหนาแน่นกระแสประจุ ($\vec{j}$) จะใช้กับก้อนประจุที่ต่อเนื่อง ซึ่งมีสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) แสดงการอนุรักษ์ของประจุดังนี้

$$\frac{\partial \rho(\vec{x}, t)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \vec{j}(\vec{x}, t) = 0 \quad (2.4)$$

ถ้าให้ $\rho(\vec{x}, t)$ กับ $\vec{j}(\vec{x}, t)$ มาใช้กับจุดประจุที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งเคลื่อนที่อยู่เฉพาะบนเส้นทาง $\vec{r}(t)$ ก็จะใช้เทคนิค “ฟังก์ชัน” เดลตาเป็นตัวแทนดังนี้

$$\rho(\vec{x}, t) = e \delta(\vec{x} - \vec{r}(t)) \quad (2.5)$$

$$\vec{j}(\vec{x}, t) = e \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \delta(\vec{x} - \vec{r}(t)) \quad (2.6)$$

เนื่องจากสามารถใช้อนุพันธ์กับ “ฟังก์ชัน” เดลตาได้ “ทำนองเดียวกัน” ฟังก์ชันเรียบและต่อเนื่องทั่วไป ดังนั้นจึงสามารถใช้กฎลูกโซ่ $\frac{d\delta(\vec{r}(t))}{dt} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} \cdot \frac{d\delta(\vec{r})}{d\vec{r}}$ ในการแสดงสมการความต่อเนื่องของ (2.5), (2.6) ออกมาได้

สรุปประโยชน์ในข้อ ก. คือ ทำให้สามารถรวม (unify) วิธีจัดการกับวัตถุฟิสิกส์ที่ไม่ต่อเนื่องให้เข้ากับวัตถุที่ต่อเนื่องได้ โดยสามารถเขียนรวมกฎฟิสิกส์ของวัตถุทั้งสองแบบเป็นสมการเดียวกันได้ เช่น สมการแมกซ์เวลล์ (ในรูปอนุพันธ์) ที่ใช้ได้ทั้งกรณีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของ จุดประจุ กับ ก้อนประจุที่ต่อเนื่อง

ในกลศาสตร์ควอนตัมแบบทั่วไปก็เช่นเดียวกัน “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแร็กเป็นเครื่องมือคณิตศาสตร์ที่สำคัญที่ใช้ในการรวมเวกเตอร์ในปริภูมิฮิลเบิร์ตที่มีดัชนีมิติแบบต่อเนื่องกับไม่ต่อเนื่องให้อยู่ในมูลบททั่วไป (axiom) เดียวกัน นั่นคือ จากการที่อินทิเกรตของ “ฟังก์ชัน” นี้มีค่าจำกัด (finite) จึงทำให้ผลคูณภายในของเวกเตอร์ทั่วไปที่กระจายได้ในรูปเวกเตอร์ฐานหลักที่มีดัชนีมิติแบบต่อเนื่อง (ซึ่งอยู่ในรูปอินทิกรัล) ก็มีค่าจำกัดเช่นเดียวกับผลคูณภายในของเวกเตอร์ทั่วไปที่กระจายได้ในรูปเวกเตอร์ฐานหลักที่มีดัชนีมิติแบบไม่ต่อเนื่อง (ซึ่งอยู่ในรูปผลบวก) ตามปกติ [ดู Dirac (1958, หน้า 21, 37, 39-40)]

กลศาสตร์ควอนตัมแบบทั่วไป ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย P.A.M. Dirac ถูกกล่าวไว้ในภาษามูลบททั่วไปของเวกเตอร์และ

ตัวดำเนินการในปริภูมิฮิลเบิร์ต ซึ่งเป็นภาษานามธรรม ถ้ามี “ฟังก์ชัน” เดลตา จะทำให้ เวกเตอร์ทั่วไป ที่กระจายบนเวกเตอร์ฐานหลักแบบนามธรรมที่มีดัชนีมิติแบบต่อเนื่องสามารถมีฟังก์ต์ (หรือ ตัวแทน (representative)) ที่มีค่าจำกัดเช่นเดียวกับเวกเตอร์ทั่วไปที่กระจายบนเวกเตอร์ฐานหลักที่มีดัชนีมิติแบบไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างฟังก์ต์ของเวกเตอร์บนฐานหลักที่ต่อเนื่องเช่นนี้ก็คือ แต่ละค่าของฟังก์ชันคลื่น ณ ตำแหน่งหนึ่งในกลศาสตร์คลื่นนั่นเอง และเป็นทำนองเดียวกันกับตัวดำเนินการแบบนามธรรม ซึ่งในกรณีทีสเปกตรัมต่อเนื่องก็สามารถแสดง (represent) เป็น กลศาสตร์เมทริกซ์ แบบที่มีสมการเมทริกซ์ต่อเนื่อง (อยู่ในรูปอินทิกรัล) ที่สามารถให้สเปกตรัม(ต่อเนื่อง)ออกมาได้ เช่นเดียวกับสมการเมทริกซ์ของกรณีทีสเปกตรัมไม่ต่อเนื่อง [ดู Dirac (1958: หน้า 62, 64, 67-72, 80); Born, Heisenberg, and Jordan (1925: หน้า 358-364)]

ข. เป็นตัวแทนผลของการดำเนินการเชิงอนุพันธ์บางประเภทบน “ฟังก์ชัน” เอกฐานบางตัว เช่น

$$\frac{d\delta(x - x_0)}{dx} = \delta'(x - x_0) \quad (2.7)$$

$$\frac{d\text{sgn}(x - x_0)}{dx} = 2\delta(x - x_0) \quad (2.8)$$

$$\nabla^2 \frac{1}{|\vec{x} - \vec{x}_0|} = \nabla \cdot \left(-\frac{(\vec{x} - \vec{x}_0)}{|\vec{x} - \vec{x}_0|^3} \right) = -4\pi\delta(\vec{x} - \vec{x}_0) \quad (2.9)$$

ในหลายระบบฟิสิกส์บทบาทการใช้งานทั้งสองด้านเป็นเรื่องเดียวกัน เช่น ระบบไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากสนามไฟฟ้าสถิตย์ของจุดประจุมีลักษณะเป็นกำลังสองผกผัน (inverse square) จึงทำให้ได้โดเวอร์เจนซ์ซึ่งเป็นการดำเนินการเชิงอนุพันธ์ชนิดหนึ่งบนสนามนี้ ออกมาเป็น ความหนาแน่นของจุดประจุที่อยู่ในรูป “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแร็ก ดังเอกลักษณ์ (2.9) ข้างต้น

เอกสารอ้างอิง

Born, M., Heisenberg, W., and Jordan, P. (1925). “On quantum mechanics II.” Z. Phys. 35, p.557. In B. L. van der Waerden. *Sources of quantum mechanics*. Dover. 1968.

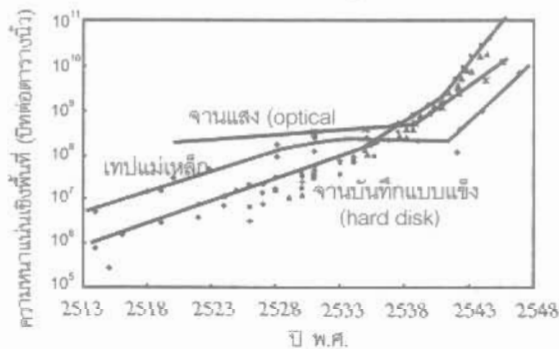
Dirac, P.A.M. (1958). *The principle of quantum mechanics*. Oxford.

คลังข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์สำหรับโลกยุคสารสนเทศ

ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร และ รัตติกร ยืนนรินทร์

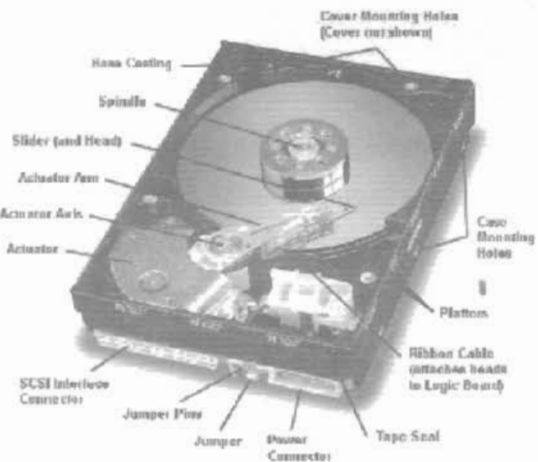
จากการเติบโตของอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงทั่วโลกส่งผลให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลมหาศาล สิ่งตามมา คือ ความต้องการที่พอกสำหรับข้อมูลเหล่านั้นหรือที่เรียกว่า หน่วยเก็บสารสนเทศ (data storage) โดยการสำรวจข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกันในอินเทอร์เน็ตเฉพาะในปี พ.ศ. 2543 มีจำนวนถึง 5 เอกซะไบต์ (10^{18} ไบต์) และเพิ่มเป็น 100 เอกซะไบต์ในปลายปี พ.ศ. 2544 [1] ซึ่งแสดงถึงการเติบโตของข้อมูลในอินเทอร์เน็ตอย่างก้าวกระโดด

หน่วยเก็บสารสนเทศที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น ซีดี ดีวีดี เทปแม่เหล็ก แต่หน่วยเก็บที่มีศักยภาพเพียงพอที่นำมาใช้จัดเก็บข้อมูลหิมในโลกอินเทอร์เน็ตนี้ คือจานบันทึกแบบแข็ง ฮาร์ดดิสก์ (hard disk) ในคอมพิวเตอร์นั่นเอง (รูปที่ 1) ฮาร์ดดิสก์นี้มีข้อดีเหนือหน่วยเก็บอื่นๆ ในแง่ของความจุข้อมูลต่อหน่วย (ดังแสดงในรูปที่ 2) ราคาต่อหน่วย ความจุ และความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล



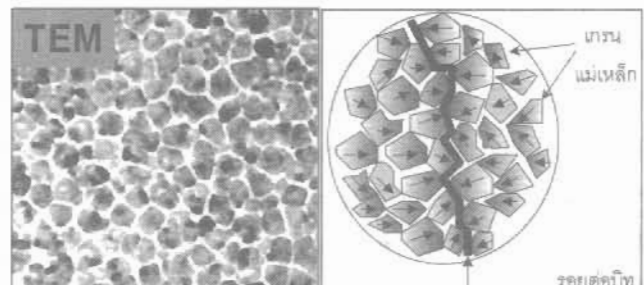
รูปที่ 2 ความจุของหน่วยเก็บสารสนเทศแบบต่างๆ ตามปีที่ผลิต (ดัดแปลงจาก [1])

การจัดเก็บข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันจะทำโดยบันทึกทิศทางสภาพแม่เหล็กในแนวตามยาว(แนวนอน) ลงในบริเวณเล็กๆ ซึ่งเป็นกลุ่มของเม็ดเกรน (grain) สารแม่เหล็กบนจานฮาร์ดดิสก์ กลุ่มของเม็ดเกรนนี้(ดังแสดงในรูปที่ 3 ซ้าย) จะมีทิศทางของสภาพแม่เหล็ก (จากผลเฉลี่ยสภาพแม่เหล็กของทุกเกรนภายใน) ภายหลังการบันทึกเพียงแค่สองทิศทางเท่านั้น ทิศทางทั้งสองนี้จะสื่อถึงหน่วยย่อยที่สุดของข้อมูลแบบดิจิทัลที่เรียกว่าบิตข้อมูล (data bit) การอ่านบิตข้อมูลจากการเปลี่ยนทิศของสภาพแม่เหล็กนี้สามารถอธิบายได้โดยใช้รูปที่ 4

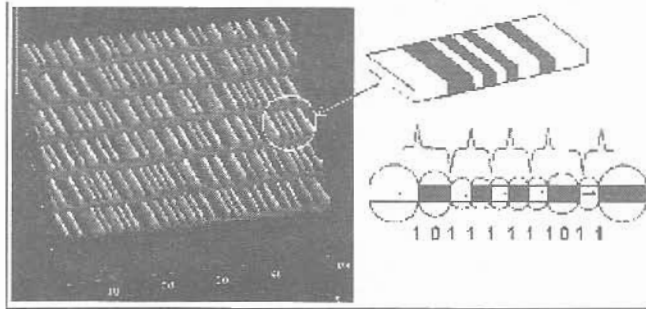


รูปที่ 1 ฮาร์ดดิสก์ในคอมพิวเตอร์

ในการตอบสนองต่ออุตสาหกรรมข้อมูลในอินเทอร์เน็ตนี้ ฮาร์ดดิสก์จะต้องมีความจุเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยยังคงรักษารูปร่างภายนอกที่เท่าเดิมอยู่ ดังนั้นในการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงต้องลดจำนวนเกรนแม่เหล็กที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลหนึ่งบิตลง ซึ่งจะทำให้สามารถอัดจำนวนบิตข้อมูลได้มากขึ้นลงไปปริมาตรเท่าเดิม ผลที่ตามมาจากการลดจำนวนเกรนในแต่ละบิตก่อให้เกิดข้อเสีย คือ ความเข้มของสภาพแม่เหล็กในแต่ละบิตลดลงจนตรวจวัดได้ยากซึ่งต้องใช้หัวอ่านข้อมูลคุณภาพสูงเช่น หัวอ่านความต้านสภาพแม่เหล็กยักษ์ (Giant Magneto Resistive : GMR) และอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมจะมีอิทธิพลมากขึ้นซึ่งก่อให้เกิดความผันผวนของทิศทางสภาพแม่เหล็กของแต่ละเกรน



รูปที่ 3 (ซ้าย) ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของเม็ดเกรนสารแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์และ (ขวา) แสดงกลุ่มของเกรนแม่เหล็กที่ถูกบันทึกทิศทางสภาพแม่เหล็ก (บิตข้อมูล) และช่องว่างของกลุ่มเกรนซึ่งสื่อถึงรอยต่อบิต (ดัดแปลงจาก [2])



รูปที่ 4 ภาพจุลทรรศน์ของแรงแม่เหล็กของสื่อที่บันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของสัญญาณ คือ ฟลักซ์แม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงฉับพลันจากการเลื่อนตำแหน่งจากหัวเหนือไปหัวใต้ (และในทางกลับกัน) ซึ่งตำแหน่งของจุดสูงสุดกับต่ำสุดของสัญญาณนี้จะแทนข้อมูลเป็นบิต '1' และตำแหน่งอื่นจะเป็นบิต '0' [3]

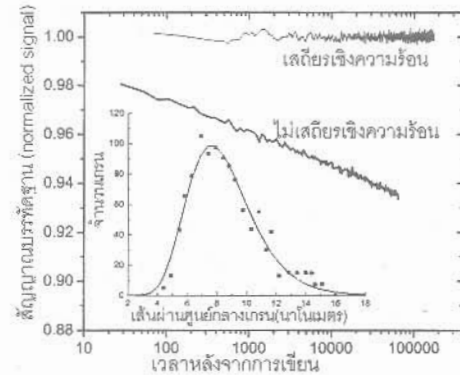
กล่าวคือพลังงานอันตรกิริยาระหว่างโมเมนต์แม่เหล็กสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของไฮเซนเบิร์ก (Heisenberg model)

$$H = -\sum_{ij} J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j$$

โดยที่ J_{ij} คือ พลังงานแลกเปลี่ยน (exchange energy) ระหว่างโมเมนต์แม่เหล็ก $\vec{S}_i$ และ $\vec{S}_j$ คือโมเมนต์แม่เหล็กของเม็ดเกรนที่ตำแหน่ง i กับ j จากแบบจำลองนี้จะเห็นได้ว่าสำหรับสถานะที่เสถียรหรือมีพลังงานต่ำสุด โมเมนต์แม่เหล็กในแต่ละเกรนต้องวางตัวในทิศขนานกันและเสถียรภาพของสภาพแม่เหล็กเฟร์โรของข้อมูลแต่ละบิตนี้จะขึ้นกับจำนวนคู่ของเม็ดเกรนแม่เหล็ก (i,j) ที่อยู่ในบิตนั้น นั่นคือ ยิ่งถ้าจำนวนคู่หรือจำนวนเม็ดเกรนมากข้อมูลบิตนั้นจะมีพลังงานยึดเหนี่ยวสูงและมีเสถียรภาพ อย่างไรก็ตามถ้าเราลดจำนวนเกรนในแต่ละบิตลง พลังงานยึดเหนี่ยวในแต่ละบิตจะลดลงตามไปด้วยจนถึงจุดหนึ่งที่พลังงานความร้อนจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าสูงกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวในบิตนั้น จะทำให้ทิศทางของโมเมนต์แม่เหล็กของแต่ละเกรนในบิตไม่ขึ้นต่อกัน (วางตัวแบบสุ่ม) เกิดการหักล้างกันจนสภาพแม่เหล็กมีขนาดลดลง ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า “แม่เหล็กพาราวยดียง” (superparamagnetic) ซึ่งมีผลทำให้ข้อมูลที่บันทึกในแต่ละบิตเสื่อมลงตามเวลาดังแสดงในรูปที่ 5

ณ จุดแม่เหล็กพาราวยดียงนี้ ความน่าจะเป็นของการที่สภาพแม่เหล็กจะผันผวนเปลี่ยนทิศทางเนื่องจากความร้อนเป็นไป

ตามสมการของนีล คือ $\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{E_B}{k_B T}\right)$ โดยที่ $1/\tau$ คือ



รูปที่ 5 สัญญาณบรรทัดฐานแสดงความเสถียรและไม่เสถียรเชิงความร้อนของข้อมูลเป็นฟังก์ชันกับเวลา รูปเล็กแสดงการกระจายของขนาดเกรนของสื่อบันทึกที่เสถียรเชิงความร้อน ณ ความหนาแน่นข้อมูล 35 กิกะบิตต่อตารางนิ้ว (ดัดแปลงจาก [4])

ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนทิศสภาพแม่เหล็กต่อหน่วยเวลา, $1/\tau_0$ คือ ความถี่กระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนทิศจากความร้อน, E_B คือพลังงานขวางกั้น (energy barrier) ของการเปลี่ยนทิศและ $k_B T$ คือ พลังงานความร้อนโบลท์ซมาน วัสดุแม่เหล็กส่วนใหญ่ มีค่า τ_0 ประมาณ 0.1 ถึง 1 นาโนวินาที และสำหรับวัสดุแม่เหล็กแกนเดี่ยว (uniaxial magnetic materials) เช่น โคบอลต์ ค่าพลังงานขวางกั้นการเปลี่ยนทิศ คือ $E_B \approx K_V V$ โดยที่ K_V คือ ความหนาแน่นพลังงานแอนไอโซโทรปี (anisotropy energy) และ V คือ ปริมาตรของเกรนแม่เหล็ก เพื่อที่จะรักษาเสถียรภาพเชิงความร้อนของข้อมูลที่บันทึกไว้ พลังงานขวางกั้นนี้ต้องมากกว่าพลังงานความร้อนโบลท์ซมานอย่างน้อย 60 เท่า ($K_V V / k_B T \geq 60$)



รูปที่ 6 แสดงชั้นฟิล์มบางสารแม่เหล็กเฟร์ไรท์ใช้บันทึกข้อมูล (ชั้นบน) วางตัวเหนือชั้นฟิล์มสารแม่เหล็กแอนติเฟร์โร (ชั้นล่าง) โดยมีชั้นของรูเธเนียม (Ru) ซึ่งไม่ใช่สารแม่เหล็กคั่นกลาง (ดัดแปลงจาก [1])

ในปัจจุบัน ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ได้พยายามเลื่อนจุดสภาพแม่เหล็กพาราวยดียงซึ่งจำกัดการเพิ่มความจุให้กับฮาร์ดดิสก์ออกไปโดยใช้เทคโนโลยีฟิล์มบางแม่เหล็กแอนติเฟร์โรคู่ควบ (ดังแสดงในรูปที่ 6) ผลคือบิตข้อมูลในชั้นแม่เหล็กบนจะวางตัวทิศตรงกันข้ามกับชั้นแม่เหล็กล่างจึงทำให้มีเสถียรภาพเชิง

ความร้อนเพิ่มขึ้น (คือ ถ้าความร้อนจะกลับทิศขึ้นบน ชั้นล่างจะเหนียวรั้งไว้ไม่ให้กลับทิศโดยง่าย) แต่เทคโนโลยีนี้กำลังจะถึงขีดจำกัดถ้าหากยังลดขนาดเกรนลงไปเรื่อยๆ วิธีอื่นที่สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มความจุฮาร์ดดิสก์ คือ

1. การเปลี่ยนทิศการเขียนข้อมูลแต่ละบิตบนจานฮาร์ดดิสก์จากแนวตามยาวเป็นแนวตั้งฉาก (แนวตั้ง) ซึ่งมีเสถียรภาพเชิงความร้อนมากกว่าจึงสามารถใช้เม็ดเกรนแม่เหล็กที่มีขนาดลดลงได้

2. การใช้วัสดุแม่เหล็กผสมของเหล็กกับแพลทินัม หรือโคบอลต์กับขามาเรียม ซึ่งมีสภาพต้านต่อผลสภาพแม่เหล็กพาราวยดยิ่งมากกว่า (อาจต้องใช้ความร้อนช่วยเวลาที่บันทึกข้อมูล)

3. เปลี่ยนสารที่ใช้ทำสื่อบันทึกข้อมูลไปเลย เช่น ใช้ผลึกไฮโดรกราฟฟิค โลหะเฟสเดียว หรือ พลาสติก

4. ทำให้พลังงานขวางกันการเปลี่ยนทิศแม่เหล็กระหว่างบิตที่ติดกันมากขึ้นด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น เจาะช่องขนาดนาโนเมตรทำเป็นตารางแล้วบันทึกข้อมูลลงบนสารแม่เหล็กในช่องตารางนั้น ๆ

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีการลงทุนมหาศาล (โดยการสนับสนุนจากผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ชั้นนำ) ที่จะวิจัยเพื่อเลื่อนขีดจำกัดสภาพแม่เหล็กพาราวยดยิ่งนี้ออกไป วิธีทั้ง 4 ที่กล่าวข้างต้นนี้ยังคงเป็นเพียงงานวิจัยระดับเริ่มต้นในห้องทดลองเท่านั้น ถึงกระนั้นก็เป็นตัวอย่างที่ดีที่แสดงถึงความไม่ย่อท้อต่อธรรมชาติโดยได้มีการผนวกการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานและเทคโนโลยีเข้ากับอุตสาหกรรมอันกระตุ้นให้เกิดการวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์อย่างจริงจังที่จะกลับมาตอบสนองต่อการมุ่งไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วของมนุษยชาติ

เอกสารอ้างอิง

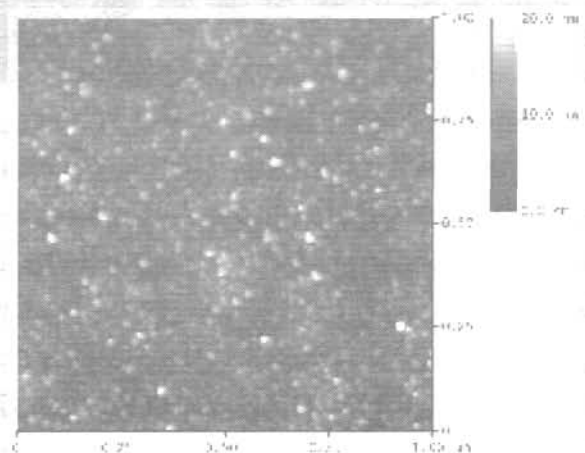
- [1] Y. Miura, *Fujitsu Sci. Tech. J.* **37**, 111 (2001).
- [2] D. Litvinov and S. Khizroev, "Perpendicular Recording : A Future Technology or a Temporary Solution?", presentation slides at 10th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies, Adelphi, Maryland (2002).
- [3] A. Moser, K. Takano, D.T. Margulies, M. Albrecht, Y. Sonobe, Y. Ikeda, S. Sun, and E.E. Fullerton, *J. Phys. D* **35**, R157 (2002).
- [4] D. N. Lambeth, *Vacuum* **59**, 522 (2000).
- [5] V.S. Speriosu, D.A. Herman Jr., I.L. Sanders and T. Yogi, *IBM J. Res. Develop.* **44**, 186 (2000).

การประยุกต์ใช้ AFM :

กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (2)

พิศิษฐ์ สิงห์ใจ

ในตอนแรกผู้เขียนได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานและการทำงานของ AFM ไปแล้ว สำหรับตัวอย่างการประยุกต์เพื่อการวิเคราะห์ผิวด้วย AFM นั้น ค่อนข้างหลากหลายและครอบคลุมทั้งชิ้นตัวอย่างทางกายภาพและทางชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์นาโน (Nanoscience) ที่ต้องการรายละเอียดข้อมูลจากการวัดที่ขนาดภาพ หรือ scan size ประมาณหนึ่งตารางไมโครเมตรลงไปถึงหนึ่งตารางนาโนเมตร ซึ่งขนาดภาพหนึ่งไมโครเมตรนี้ เป็น scan size ที่ผู้เขียนชอบใช้เพราะให้รายละเอียดของพื้นผิวในช่วงนาโนเมตรหรือมีขนาดภาพเหมาะสำหรับการวิเคราะห์วัสดุนาโน (Nanomaterials) ดังตัวอย่างใน รูปที่ 1 แสดงภาพฟิล์มบางจุดนาโนของโลหะ สังเกตแถบแสดงระดับความเข้มสีทางด้านขวามือใช้แทนความสูงของแต่ละพิกเซลตั้งแต่ 0 ถึง 20 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แบบละเอียดได้ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคประมาณ 15 นาโนเมตร

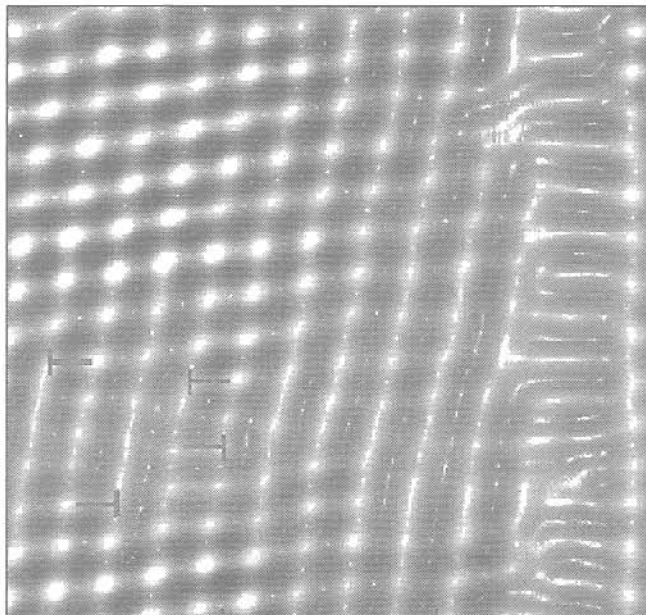


รูปที่ 1 ฟิล์มบางจุดนาโนของโลหะ

ส่วนการใช้งานที่ความละเอียดสูงสุดหรือที่ระดับความสามารถในการแยกแยะให้เห็นถึงอะตอมได้นั้นเป็นเรื่องค่อนข้างยาก แม้กระทั่งชิ้นตัวอย่างมาตรฐานแกรไฟต์ (HOPG) ที่พื้นผิวค่อนข้างเสถียรและมีโครงสร้างอะตอมพื้นผิวเป็นระเบียบขณะสัมผัสสุญญากาศและความดันบรรยากาศก็ต้องการปรับพารามิเตอร์ของการวัดที่ทำได้ไม่มากนัก เนื่องจาก

นาโนสาระ

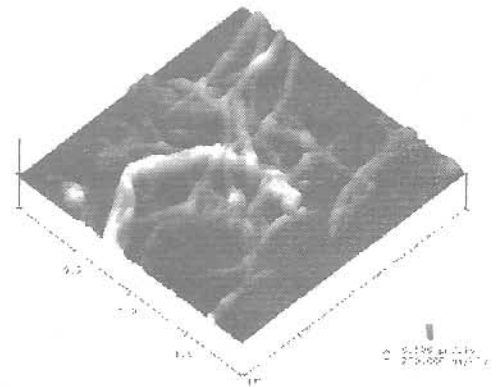
สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าและทางกลจากสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้
 นี้แล้วชิ้นตัวอย่างบางชนิด โดยเฉพาะโลหะก็มักมีปัญหาจาก
 ฟิสิกส์บางออกไซด์ที่ผิว ดังนั้นการถ่ายภาพในระดับนี้ส่วนใหญ่
 ต้องการระบบสุญญากาศสูงระดับอัลตรา (Ultra High
 Vacuum) หรืออาจใช้อุปกรณ์พิเศษเช่น เซลล์ของเหลว
 (liquid cell) เพื่อถ่ายภาพในระดับมองเห็นอะตอมขณะผิววัสดุ
 แขนในสารละลาย หรือในของเหลวดังตัวอย่างใน รูปที่ 2 แสดง
 อะตอมของคลอรีนขณะเกาะบนผิวของทองแดง ถ่ายขณะกำลัง
 แขนผิวทองแดงในกริดไฮโดรคลอริกเจือจาง



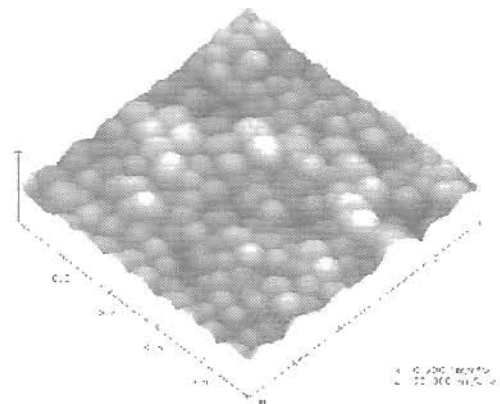
รูปที่ 2 อะตอมของคลอรีนเกาะบนผิวของทองแดง

ในกรณีของชิ้นตัวอย่างที่เป็นวัสดุนาโน เช่นอนุภาคนาโน
 หรือท่อนาโนคาร์บอนที่มีลักษณะเป็นผง ก็ต้องมีแผ่นรองรับ
 (substrate) ที่มีผิวเรียบมากๆ เช่น แผ่นไมก้า หรือถ้าหาไม่ได้
 ก็อาจใช้แผ่นแก้ว หรือแผ่น slide cover glass โดยนำผงวัสดุนาโน
 ที่ต้องการวิเคราะห์ไปกระจายตัว (disperse) ในของเหลว
 ก่อน เช่นในน้ำบริสุทธิ์ แล้วหยดลงบนแผ่นรองรับ อาจทิ้งไว้ข้าม
 คืนหรืออบจนน้ำแห้งก็จะได้วัสดุนาโนเกาะติดแน่นกับแผ่นรองรับ

ที่สามารถนำไปถ่ายภาพด้วย AFM ได้ ดังตัวอย่าง รูปที่ 3 แสดง
 ท่อนาโนคาร์บอนบนแผ่นรองรับแก้ว

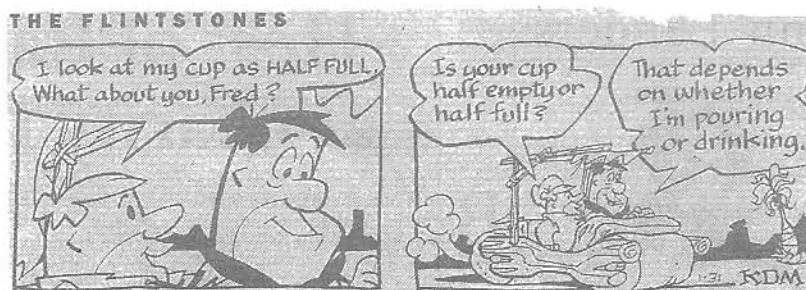


รูปที่ 3 ท่อนาโนคาร์บอนบนแผ่นรองรับแก้ว



รูปที่ 4 อนุภาคนาโนของซิลิกอนบนแผ่นรองรับแก้ว

ข้อมูลภาพ AFM ที่ได้นี้ สามารถวิเคราะห์ความสูงใน
 ระดับนาโนเมตรได้อย่างแม่นยำ รวมทั้งสามารถถ่ายภาพชิ้น
 ตัวอย่างที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น อนุภาคนาโนของซิลิกา (แสดงดังรูป
 ที่ 4) ก็สามารถทำได้โดยไม่ต้องเคลือบฟิล์มทองอย่างกรณีการ
 ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดหรือ
 SEM ครับ



Brownian motion : รหัสลับแห่งชีวิต?

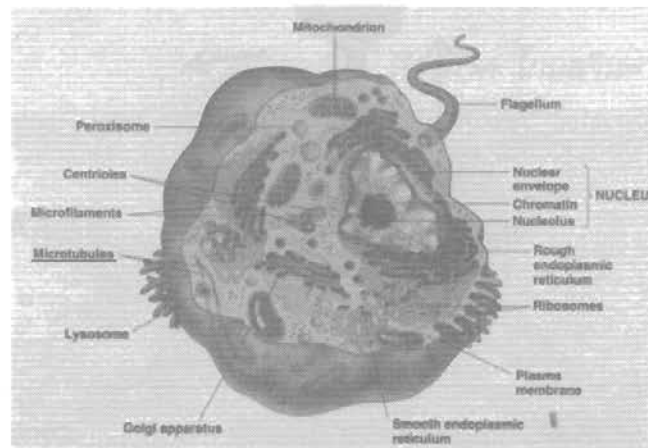
สมศร สิงขรัตน์

ดังที่ได้เกริ่นไว้ในฉบับที่แล้วว่า ปีหน้าจะเป็นปีสำคัญสำหรับชาวฟิสิกส์เพราะเป็น “ปีฟิสิกส์โลก (Physics World Year)” ด้วยว่าจะเป็นการครบรอบร้อยปีของการถือกำเนิดของผลงาน 3 เรื่อง 3 แนวของไอน์สไตน์ ที่ล้วนส่งผลเปลี่ยนแปลงโลกไปตลอดกาล เรื่อง Photoelectric effect กับ Special theory of relativity มักมีเหตุให้ต้องกล่าวถึงอยู่บ่อยๆ แล้ว ในที่นี้จึงอยากจะขอเปลี่ยนแกน หยิบเอาเรื่อง Brownian motion มาให้ความสำคัญก่อนบ้าง

เรื่อง Brownian motion หรือ ปรากฏการณ์เคลื่อนที่แบบบราวน์ มีอยู่ถึงเพียง 4 บรรทัด ตรงหัวข้อทฤษฎีจลน์ของแก๊สในแบบเรียนวิชาฟิสิกส์ของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีนัยยะหมายถึงการเคลื่อนที่ส่ายไปมาอย่างรวดเร็วของอนุภาคที่เคลื่อนที่ทิศทางแบบสุ่ม (random) มีต้นตอมาจากการพบเห็นผ่านกล้องจุลทรรศน์ยุคเริ่มแรกของนักพฤกษศาสตร์ชาวสก็อตชื่อ Robert Brown เมื่อปี ค.ศ. 1827 ว่าละอองเกสรดอกไม้ที่ลอยอยู่ในน้ำมีการเคลื่อนที่สะเปะสะปะเหมือนกับว่ามีชีวิต **ตอนแรกบราวน์ดีใจว่าได้ค้นพบรหัสลับแห่งชีวิตเข้าให้แล้ว** แต่ต่อมาพบว่าผงของสารอนินทรีย์ก็มีพฤติกรรมดังกล่าวเช่นกัน บราวน์จึงจำใจต้องล้มเลิกความคิดนั้นไป

ในสมัยนั้น คำอธิบายถึงสาเหตุของ Brownian motion มีหลายแนว บ้างก็ว่าเป็นเพราะแรงไฟฟ้า บ้างก็ว่าเป็นเพราะแสง หรือบ้างก็ว่าเป็นเรื่องของการพา (convection) ฯลฯ แต่ผู้ที่สามารถให้คำอธิบายได้หนักแน่นที่สุด ถึงขั้นที่ออกมาเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ คือ ชายหนุ่มอายุ 26 ปี ผู้มีนามว่า Albert Einstein (1879-1955) ในสมัยนั้นวงวิชาการในยุโรปกำลังสนใจค้นคว้าในวิชา Thermodynamics ไอน์สไตน์ก็ “อินเทรีน” ไปกับเขาด้วย มีผลงานตีพิมพ์ในเรื่องที่เกี่ยวกับการแพร่ (diffusion) และความหนืด (viscosity) ออกมาหลายฉบับ รวมถึงวิทยานิพนธ์ปริญญาเอกที่เสนอต่อมหาวิทยาลัยซูริก ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เมื่อปี ค.ศ. 1905 ก็เป็นเรื่อง “On a new determination of molecular dimensions” โดยรวมแล้วผลงานทางด้านนี้ของไอน์สไตน์ ก่อเกิดคุณูปการต่อผู้ที่ตามมา 3 ประการด้วยกัน กล่าวคือ

- (ก) ชี้ว่าทฤษฎีโมเลกุลของแก๊สกับ Brownian motion ของอนุภาคคั่นอยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน
- (ข) ให้สมการของระยะทางเฉลี่ยในการเคลื่อนที่แบบ Brownian motion และ



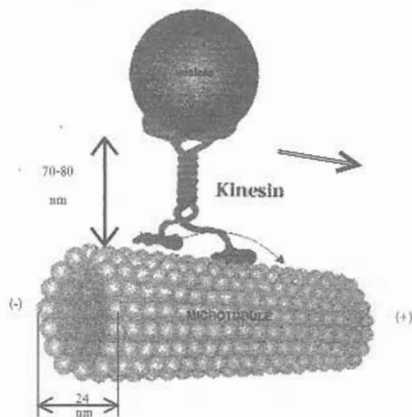
รูปที่ 1 เซลล์สัตว์

(ค) ให้สมการของค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ในเทอมของรัศมีของอนุภาคและพารามิเตอร์ที่ทราบค่าอื่นๆ

ในอีก 3 ปีถัดมา Jean-Baptiste Perrin (1870-1942) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสได้ตรวจสอบสมการของไอน์สไตน์ด้วยการทดลองโดยตรง ฉวยประโยชน์จากที่มีการสร้างกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงกว่าเดิมได้สำเร็จประมาณ 4-5 ปีก่อนหน้านั้น ซึ่งนอกจากจะเป็นการยืนยันความถูกต้องของแนวคิดไอน์สไตน์แล้ว ยังเป็นครั้งแรกที่มีการคำนวณขนาดของอะตอมและโมเลกุล จากผลการทดลองที่เห็นด้วยตา หรือพูดได้อีกอย่างว่า เปอร์รินได้แสดงให้เห็นอย่างแจ่มแจ้งว่า อะตอมเป็นสิ่งที่มีความจริงอยู่จริงๆ มิใช่เป็นแต่เพียงแบบจำลองในจินตนาการดังที่เชื่อกันอยู่ในเวลานั้น ด้วยผลงานการศึกษาเรื่อง Brownian motion อย่างลึกซึ้งนี้เองทำให้เปอร์รินได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี 1926 สรุปได้ว่า สาเหตุที่ละอองเกสรมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอย่างนั้น ก็เพราะถูกชนอย่างสะเปะสะปะด้วยโมเลกุลของน้ำ (ที่มีอยู่จริงแต่มองไม่เห็น) ที่มีการเคลื่อนที่เร็วหรือช้าก็เพราะพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม

แต่ ณ วันนี้มีเค้านางบางอย่างที่ชวนให้สงสัยว่า บราวน์อาจไม่ได้เข้าใจผิด ท่านอาจได้ค้นพบรหัสลับแห่งชีวิตเข้าให้แล้วจริงๆ

การเคลื่อนย้ายเอนไซม์และสารเคมีต่างๆ ภายในเซลล์ (รูปที่1) เป็นเรื่องที่น่าทึ่งยิ่งนักที่ทำให้ความสนใจอยู่ตลอดมา แนวคิดมาตรฐานหนึ่งอธิบายว่า ไคเนซิน (kinesin) ซึ่งเป็นพวก motor protein มีมวลประมาณ $8-10 \times 10^{-19}$ กรัม จะทำหน้าที่เป็นเหมือนรถลาก พ่วงเอาถุงสารเคมีแทรกผ่านไซโตพลาซึม



รูปที่ 2 ไคเนซิน "เดิน" บนไมโครทิวบูล

(cytoplasm) ไปส่งตามที่ต่างๆ โดยเคลื่อนที่ไปบนถนนภายในเซลล์ที่มีลักษณะเป็นหลอดกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 24 nm เรียกว่าไมโครทิวบูล (microtubule) นักชีววิทยาใช้ปากคีบเลเซอร์ (optical tweezer) และวิธีการสมทบอื่นๆ วัดได้ว่าไคเนซินสามารถทำความเร็วได้สูงถึง 1,000 nm/วินาที และมีแรงจุดถึง 6 พิโคนิวตัน บางครั้งก็เรียกไคเนซินว่า mechanochemical protein เพราะโดยทั่วไปเข้าใจกันว่าการเคลื่อนที่ของหัวทั้งสอง (มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณหัวละ 5-7 nm) ที่ทำหน้าที่เป็นเหมือนเท้า (ดูรูปที่ 2) ถูกขับเคลื่อนด้วยพลังงานเคมีจากการสลายตัวของ ATP (adenosine triphosphate หรือ "เชื้อเพลิงแห่งชีวิต" ซึ่งมีอยู่ในทุกๆ เซลล์) ไปเป็น ADP (adenosine diphosphate) ผ่านทางกระบวนการ hydrolysis แนวคิดนี้เรียกกันว่า "Power stroke theory" แต่จริงๆ แล้วกลไกที่แท้จริงยังไม่มีใครเข้าใจแจ่มแจ้ง ปัจจุบันมีกันอยู่หลายแนวคิดหรือแบบจำลอง (model)

ศาสตราจารย์ Ronald Fox นักฟิสิกส์แห่งภาควิชาฟิสิกส์ของ Georgia Institute of Technology ในสหรัฐอเมริกา มีอีกแนวคิดที่แตกต่างมาเสนอว่า ไคเนซินมีลักษณะการเคลื่อนที่เหมือนคนเมาคือเดินอย่างสะเปะสะปะไปบนไมโครทิวบูล โดยอาศัยพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม แต่ทีไรที่พูดถึงก็ไปถึงจุดหมายไม่ได้ เพราะการเคลื่อนที่แบบสุ่มของไคเนซินเป็นแบบ "Brownian motion ที่ถูกกรอง (rectified Brownian motion)" เพราะถูกบังคับด้วยบทบาทการโยกสลับ (switching role) ของ ATP นั่นคือ ในที่นี้บทบาทของ ATP กลับมิใช่เป็นผู้ป้อนพลังงานให้ไคเนซินเอาไปใช้ในการเดิน

หากสมมติตามที่ปรากฏใน รูปที่ 2 จะเรียกหัวที่ยังเกาะติดอยู่กับไมโครทิวบูลว่า "หัวนำ (leading head)" และเรียกหัว

ที่กำลังเห็นลอยอยู่ว่า "หัวตาม (trailing head)" การติดแน่นของหัวนำกับไมโครทิวบูลเป็นเพราะ ATP เมื่อ ATP โยกสลับแบบแผน (คือ ใช้กระบวนการ hydrolysis ปลดปล่อย phosphate ออกไป) แรงยึดเหนี่ยวจะอ่อนลงขณะที่หัวตามซึ่งมีอยู่แต่ ADP ซึ่งเป็นผลตกค้างมาจากวงจรที่แล้ว จะเคลื่อนที่อย่างสะเปะสะปะเสาะหาตำแหน่งเกาะติด (binding site) ที่อยู่ห่างกันทุกช่วง 8 nm บนไมโครทิวบูล เราอาจจะตีความได้ว่า คนเมาเดินมึนเมงมาหรืออย่างเชื่องช้าตั้งนานแล้วยังเดินไม่ถึงไหน แต่พอออกอธิบายว่า ในโลกจุลภาคระดับสเกลนาโน Brownian motion กลับเป็นกระบวนการที่ว่องไวมาก การก้าวหัวตามอย่างสะเปะสะปะกลับกลายเป็นการสุมหาตำแหน่งเกาะติดใหม่ที่เร็วมาก เมื่อหัวตามยึดติดกับไมโครทิวบูลดีแล้ว ก็เป็นจังหวะที่หัวนำหลุดจากไมโครทิวบูลพอดี ได้ผลเป็นว่าสัมภาระสารเคมีถูกลากไปข้างหน้าได้ระยะทาง 8 nm เข้าหาปลาย "บวก" ของไมโครทิวบูลแล้ว การทำหน้าที่ของ ATP ก็เริ่มวงจรใหม่สำหรับ 8 nm ถัดไป แต่ตอนนี้หัวทั้งสองทำหน้าที่สลับกันอีกครั้ง ดูไปก็คล้ายกับการก้าวเท้าของคนเราเหมือนกัน

สรุปได้ว่าแบบจำลองการเคลื่อนที่ของไคเนซินไปบนไมโครทิวบูลของฟอกซ์กับผู้ช่วย Postdoctoral Mee Hyang Choi วางอยู่บนข้อสมมุติฐานที่สำคัญ 2 ประการ กล่าวคือ ในโลกจุลภาคระดับสเกลนาโนนั้น ก) ปรากฏการณ์ Brownian motion เป็นกระบวนการทำงานที่รวดเร็วมาก และ ข) ความร้อนเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถเก็บเกี่ยวมาใช้ประโยชน์ได้ ถึงแม้แนวคิดนี้จะยังไม่มียืนยันสนับสนุนที่หนักแน่นจากการทดลองที่ถูกออกแบบมาเพื่อการนี้เป็นการเฉพาะ แต่ก็ได้มีผลการทดลองจากกลุ่มวิจัยอื่นที่สนับสนุนแนวคิดของฟอกซ์ที่ว่า ATP มีบทบาทเป็นตัวโยกสลับออกมาแล้ว

ไม่ว่าแบบจำลองใดจะถูกหรือผิด การเข้าใจกลไกของไคเนซินที่สมบูรณ์ขึ้นก็ดีทั้งนั้น เพราะสามารถนำไปสู่การพบวิธีควบคุมกิจกรรมของไคเนซิน อันอาจเป็นวิธีชะลอการแบ่งตัว (ที่ควบคุมไม่ได้) ของพวกเซลล์มะเร็งที่ได้ผล หรืออีกแง่หนึ่งนั้นผลงานของฟอกซ์และคณะส่งเสริมให้นักวิจัยในสาขาโนเทคโนโลยีพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนของสิ่งแวดล้อมกับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เล็กจิ๋วระดับนาโนในมุมมองใหม่

เอกสารอ้างอิง

R. F. Fox and M. H. Choi, 2001. "Rectified Brownian motion and kinesin motion along microtubules", Physical Review E, Vol. 63, 051901 (1-12).

Dust Astronomy

ดาราศาสตร์แห่งการวิจัย “ฝุ่น”

ศิรามาศ ไกลลจินดา

สวัสดีท่านผู้อ่านทุกท่านค่ะ เป็นอย่างไรกันบ้างคะสำหรับอีกหนึ่งปีที่กำลังจะผ่านพ้นไป สำหรับผู้เขียน ปีนี้ถือว่ามีเรื่องที่น่ายินดีเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งรวมทั้งการกลับมาอีกครั้งของวารสารฟิสิกส์ไทยที่ผู้เขียนได้มีโอกาสเป็นหนึ่งในทีมงาน และได้ออกสู่สายตาของทุกท่านเป็นฉบับที่สามแล้ว และข่าวที่น่ายินดีในแวดวงดาราศาสตร์ไทยที่ **โครงการจัดตั้งสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ** ได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการแล้ว

สำหรับเรื่องที่จะกล่าวถึงในฉบับนี้ หลายท่านเห็นแล้วก็คงจะสงสัยว่า นักดาราศาสตร์ตกงานกันหมดแล้วหรือไร จึงต้องไปวิจัย “ฝุ่น” ไม่ได้เป็นเช่นนั้นหรอกนะคะ งานวิจัยทางดาราศาสตร์ยังมีเรื่องที่รอการค้นคว้าอยู่อีกจำนวนมาก และนักดาราศาสตร์กลุ่มหนึ่งก็กำลังทำงานวิจัยกันอย่างจริงจังเกี่ยวกับเจ้า “ฝุ่น” โดยตรงแน่นอนค่ะว่าฝุ่นที่ว่านี้คงจะไม่ใช่อุ่นตามบ้านเรือนหรือท้องถนนธรรมดาแน่ แต่เป็นฝุ่นในอวกาศทั้ง **ในอวกาศระหว่างดาวเคราะห์ในระบบสุริยะและในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์** ค่ะ ผู้เขียนได้มีโอกาสพบปะพูดคุยกับศาสตราจารย์ Eberhard Grün ในระหว่างที่ท่านได้รับเชิญมาที่ University of Canterbury ประเทศนิวซีแลนด์ Prof. Grün เป็นหัวหน้ากลุ่มวิจัย Cosmic Dust Group, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidenberg ประเทศเยอรมัน เป็นนักวิจัยอยู่ที่ Hawaii Institute of Geophysics and Planetology, Honolulu, Hawaii ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นหนึ่งในกลุ่มของนักวิทยาศาสตร์ที่ทำการวิจัยเจ้าฝุ่นนี้ และเป็นหัวหน้าโครงการ Cassini/Galileo Dust Investigation ร่วมกับองค์การนาซา และองค์การอวกาศแห่งยุโรป ซึ่งเป็นโครงการที่ส่งเครื่องมือขึ้นไปกับยาน **กาลิเลโอ** และยาน **Cassini-Huygens** เพื่อเก็บตัวอย่างของฝุ่นจากดาวพฤหัสบดี และดวงจันทร์ไททันของดาวเสาร์

ฝุ่นที่อยู่ระหว่างดาวเคราะห์ในระบบสุริยะเริ่มต้นขึ้นจากการก่อตัวของระบบสุริยะเมื่อประมาณ 4.6 พันล้านปีมาแล้ว วัตถุต่างๆ ในระบบสุริยะก่อตัวขึ้นมาจากการรวมกันของฝุ่น เมื่อก่อนฝุ่นใหญ่ขึ้นก็กลายเป็นดาวเคราะห์ ดวงจันทร์ หรือดาวหาง แต่เมื่อเวลาผ่านไป วัตถุเหล่านี้ก็ให้ฝุ่นออกมา เช่นการที่ดาวหางโคจรเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ ก็จะทำให้เกิดการระเหิดของนิวเคลียสให้ก๊าซออกมาพร้อมกับฝุ่นเนื่องจากความดันก๊าซ ฝุ่นจากดาวหางนี้

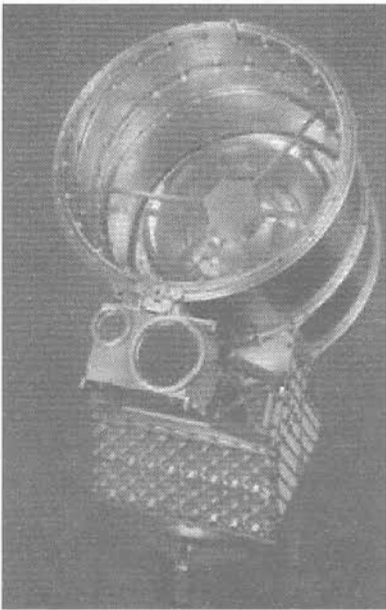


ศาสตราจารย์ Eberhard Grün

ในบางครั้งสามารถมองเห็นเป็นลำได้ด้วยตาเปล่า เช่น หางฝุ่นของดาวหางเฮลลบอปป์ที่โคจรเข้ามาใกล้โลกเมื่อหลายปีก่อน ฝุ่นขนาดใหญ่จากดาวหางจะมีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เหมือนกับดาวหาง เมื่อโลกผ่านเข้าไปในแถบของฝุ่นนี้ ก็จะเกิดปรากฏการณ์ที่รู้จักกันดี คือ **ฝนดาวตก**

สะเก็ดดาวในแถบดาวเคราะห์น้อยให้ฝุ่นออกมาเมื่อมีการชนกันกับวัตถุขนาดเล็กในระบบสุริยะอื่นๆ ฝุ่นที่เกิดจากสะเก็ดดาวนี้จะมีขนาดแตกต่างกันออกไป องค์ประกอบและโครงสร้างของฝุ่นเหล่านี้จะเป็นไปตามองค์ประกอบและโครงสร้างของสะเก็ดดาวที่เป็นต้นกำเนิด ซึ่งมักจะประกอบไปด้วยซิลิกอน หรือเหล็ก หรือเป็น carbonaceous chondrite ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนและมีสารที่เชื่อมโยงกับองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ **แถบคุยเปอร์** ก็เป็นอีกบริเวณหนึ่งที่ทำให้เกิดฝุ่นในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์ บริเวณนี้เต็มไปด้วยวัตถุคล้ายดาวเคราะห์ขนาดเล็กจำนวนมาก เมื่อเกิดการชนกันของวัตถุเหล่านี้ก็ทำให้เกิดฝุ่นจำนวนมากออกสู่อวกาศ และยังเป็นแหล่งกำเนิดของดาวหางคาบสั้นซึ่งแตกต่างจากดาวหางคาบยาวที่มีแหล่งกำเนิดจากแถบเมฆออร์ต ฝุ่นจากแถบคุยเปอร์เข้ามาสู่ระบบสุริยะชั้นในเนื่องจากความดันการแผ่รังสีแบบ non-radial ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแสงจากดวงอาทิตย์

ดิน ฟ้า เวลา ดาว



เครื่องมือ Cassini Dust Analyzer ที่ติดอยู่กับยาน Cassini-Huygens ที่มุ่งไปสู่ดาวเสาร์

และการเคลื่อนที่ของอนุภาค หรือ Poynting-Robertson effect ทำให้อนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่หมุนวนเข้าหาดวงอาทิตย์

ฝุ่นในอวกาศอีกกลุ่มหนึ่งคือฝุ่นที่อยู่ในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์ ซึ่งเกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของดาว ดาวฤกษ์มีการสูญเสียมวลออกสู่อวกาศตลอดเวลา เมื่อมวลหรือก๊าซนี้เย็นตัวลงจะควบแน่นเป็นฝุ่น และยังเกิดจากการระเบิดของซูเปอร์โนวาในระยะสุดท้ายของวิวัฒนาการ ฝุ่นนี้จะกระจายออกไปตามคลื่นกระแทก และอาจจะชนกันทำให้อนุภาคเล็กลง ฝุ่นนี้อาจจะไปรวมกันเกิดเป็นบริเวณก่อตัวของดาวใหม่ หรืออาจทำให้เกิดการก่อตัวของดาวเคราะห์ ซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการหมุนเวียนของสสารในเอกภพ ฝุ่นในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์แบ่งออกเป็นสามกลุ่มตามขนาดคือ **ขนาดใหญ่** ประกอบไปด้วยแกนซิลิเกตและแมนเทิลที่เป็นสารอินทรีย์ **ขนาดเล็ก** เป็นอนุภาค carbonaceous และ **ขนาดเล็กมาก** เป็นอนุภาคหรือโมเลกุลของ polycyclic aromatic hydrocarbon

ที่ตำแหน่งในกาแล็กซีที่ระบบสุริยะตั้งอยู่นี้มีกลุ่มสสาร

ระหว่างดวงดาวที่อยู่ห่างออกไปประมาณ 3 Parsec (1 Parsec = 3.1×10^{13} กม.) เป็นเปลือกของก๊าซที่เรียกว่า Local Interstellar Cloud (LIC) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของบริเวณที่มีการก่อตัวของดาวฤกษ์ใหม่ใน Scorpius-Centaurus และ Orion Association ที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 10^3 - 10^5 ปีมาแล้ว การศึกษาฝุ่นจาก LIC นี้จะช่วยให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติและกระบวนการเกิดฝุ่นในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์ และองค์ประกอบและการกระจายตัวของสสารระหว่างดาวฤกษ์

ในการวิจัยเกี่ยวกับฝุ่นในอวกาศจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Dust Observatory ซึ่งจะใช้ตรวจจับฝุ่นประเภทต่างๆ และหาองค์ประกอบทางเคมีและองค์ประกอบทางกายภาพของฝุ่น แต่ละชั้นที่ตรวจพบ Dust Observatory นี้จะโคจรอยู่ในอวกาศภายในจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์สองส่วนคือส่วนที่ใช้วิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของฝุ่นและส่วนวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่น และอาจจะมีส่วนที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นกลับมาสู่โลก ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์ฝุ่นในอวกาศจำนวนมาก ซึ่งรวมถึงโครงการ PUMA และ PIA ที่ส่งเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ขึ้นไปกับยาน Vega 1, 2 และยาน Giotto เพื่อตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจากดาวหางอัลเลย์ เครื่องมือ CIDA ในโครงการ Stardust ที่ใช้ในการวัดขนาดและมวลของฝุ่น เครื่องตรวจวัดฝุ่นที่ส่งขึ้นไปกับยาน Galileo ในการสำรวจดาวพฤหัสบดี เพื่อวัดกระแสฝุ่นในระบบสุริยะและหาแหล่งที่มาของฝุ่นเหล่านี้ เครื่องมือ Ulysses ที่ใช้ตรวจวัดฝุ่นในอวกาศระหว่างดาวฤกษ์ เครื่องมือ Cosmic Dust Analyzer (CDA) ในโครงการ Cassini ที่ทำการบันทึกประจุของฝุ่นระหว่างดาวเคราะห์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์วงโคจรของอนุภาคฝุ่น

สำหรับขั้นต่อไปเกี่ยวกับการศึกษาฝุ่นในอวกาศนี้ จะเป็นการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากอวกาศลงมาตรวจวิเคราะห์บนโลก โดยการส่งเครื่องมือเก็บตัวอย่างขึ้นไปโคจรในระดับ 10^5 - 10^6 กิโลเมตรจากพื้นโลก ซึ่งเป็นระดับที่อนุภาคไม่ได้รับผลกระทบจากสนามแม่เหล็กโลก แต่ยังสามารถติดต่อกับเครื่องมือและนำตัวอย่างกลับมาได้ง่าย

ภาพพื้นหลังของปกหลังด้านใน :

ภาพถ่ายวงแหวนดาวเสาร์จากยานสำรวจ Cassini-Huygens ที่ระยะ 6.4 ล้านกิโลเมตรจากดาวเสาร์ วงแหวนที่สว่างที่สุด (จากตอนขวาจนถึงตอนซ้ายกลาง) คือวงแหวนบี องค์ประกอบหลักของวงแหวนเป็นน้ำแข็งจึงสะท้อนแสงอาทิตย์เป็นสีขาว แต่เนื่องจากมีหินและคาร์บอนปะปนอยู่ด้วยจึงปรากฏให้เห็นเป็นสีต่างๆกัน

ปฏิทินดาราศาสตร์ไทย

ปฏิทินดาราศาสตร์สำหรับการสังเกตการณ์ในประเทศไทย

ธันวาคม 2547

	1	2	3	4			
5	6	7	8	9	10	11	
12	13	14	15	16	17	18	
19	20	21	22	23	24	25	
26	27	28	29	30	31		

มกราคม 2548

	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	
23	24	25	26	27	28	29	
30	31						

กุมภาพันธ์ 2548

	1	2	3	4	5		
6	7	8	9	10	11	12	
13	14	15	16	17	18	19	
20	21	22	23	24	25	26	
27	28						

มีนาคม 2548

	1	2	3	4	5		
6	7	8	9	10	11	12	
13	14	15	16	17	18	19	
20	21	22	23	24	25	26	
27	28	29	30	31			

ดาวพุธ สังเกตเห็นได้ในเวลาเช้ามืด ในช่วงต้นเดือนธันวาคม, ปลายเดือนกุมภาพันธ์และตลอดทั้งเดือนมีนาคม

ดาวศุกร์ สังเกตได้ในเวลาเช้ามืด (4-6 น.)

ดาวอังคาร ขึ้นเวลาประมาณ 3-4 น. โคจรจากกลุ่มดาวดาชังในเดือนธันวาคม ไปยังกลุ่มดาวคนแบกงูในเดือนมกราคม กลุ่มดาวคนยิงธนูในเดือนกุมภาพันธ์ และกลุ่มดาวแพะทะเลในเดือนมกราคม

ดาวพฤหัสบดี อยู่ในกลุ่มดาวหญิงสาวขึ้นในช่วงเที่ยงคืนในเดือนธันวาคม และขึ้นเร็วขึ้นจนสามารถสังเกตเห็นตั้งแต่หัวค่ำในช่วงปลายเดือนมีนาคม

ดาวเสาร์ อยู่ในกลุ่มดาวคนคู่สังเกตได้ตั้งแต่เวลาหัวค่ำ

ธันวาคม 2547

- 7 17.58 ดาวจันทร์ห่างจากดาวเสาร์ 0.33 องศา
- 10 15.19 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Inferior Conjunction โชติมาตร 6.2
- 12 3.23 ดาวจันทร์ห่างจากดาวพุธ 5.78 องศา
- 12 เดือนมีติ
- 13-14 ผ่านดาวตก Gemindae จำนวนดาวตก 40-50 ดวงต่อชั่วโมง
- 21 ทิวฝนวสัน (Vernal Solstice) ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกคอนไปทางใต้มากที่สุด
- 26 เดือนเพ็ญ
- 30 3.03 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Greatest Western Elongation ห่างจากดวงอาทิตย์ 22 องศา โชติมาตร -0.3

มกราคม 2548

- 8 2.27 ดาวจันทร์ห่างจากดาวอังคาร 3.42 องศา
 - 10 19.03 เดือนมีติ
 - 14 6.06 ดาวเสาร์อยู่ที่ตำแหน่ง Opposition โชติมาตร -0.4
 - 25 17.32 เดือนเพ็ญ
 - 31 18.11 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวพฤหัสบดี 0.94 องศา
- กุมภาพันธ์ 2548
- 4 2.08 ดาวเนปจูนอยู่ที่ตำแหน่ง Conjunction โชติมาตร 8.0
 - 5 20.09 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวอังคาร 4.25 องศา
 - 8 6.14 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวศุกร์ 4.29 องศา
 - 8 20.37 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวพุธ 2.79 องศา
 - 9 เดือนเพ็ญ
 - 14 17.35 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Superior Conjunction โชติมาตร -1.5
 - 24 เดือนมีติ
 - 27 21.56 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวพฤหัสบดี 1.18 องศา

มีนาคม 2548

- 19 15.19 เดือนเพ็ญ
- 19 1.15 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Greatest Elongation East ห่างจากดวงอาทิตย์ 18 องศา ความสว่าง -0.2????
- 19 22.35 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวเสาร์ 5.18 องศา
- 26 3.59 เดือนเพ็ญ
- 26 23.04 ดาวจันทร์อยู่ห่างจากดาวพฤหัสบดี 1.10 องศา
- 29 5.26 ดาวพุธอยู่ห่างจากดาวศุกร์ 4.82 องศา
- 29 23.07 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Inferior Conjunction โชติมาตร 6.2
- 31 18.03 ดาวศุกร์อยู่ที่ตำแหน่ง Superior Conjunction โชติมาตร -3.9

ภาพถ่ายดาราศาสตร์ประจำฉบับ

วัตถุท้องฟ้า รุ่งกีนน้ำ เวลาบันทึก 18:58 น. วันที่ 25 สิงหาคม 2547

ผู้ถ่ายภาพ ศิรามาศ โทษจินดา สถานที่ เมือง Christchurch ประเทศนิวซีแลนด์

อุปกรณ์ กล้องดิจิทัล SONY DSC P-71

รุ่งกีนน้ำปฐมภูมิ(เส้นล่าง) และทุติยภูมิ(เส้นบน) ที่ปรากฏให้เห็นพร้อมกันหลังฝนตกวันหนึ่ง รุ่งปฐมภูมิมิมีการสะท้อนของแสงภายในหยดน้ำหนึ่งครั้ง ส่วนรุ่งทุติยภูมิมิมีการสะท้อนสองครั้ง

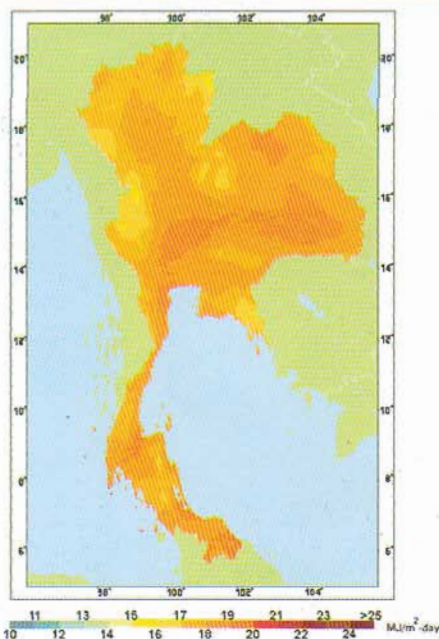


ด่วน!! ขอเชิญชวนให้อ่านที่สนใจและมีความสามารถในการถ่ายภาพวัตถุท้องฟ้า สู่อลังการเข้ามาเพื่อเผยแพร่และแบ่งปันความรู้แก่ผู้อ่านท่านอื่นๆ

สวัสดีปีใหม่ Happy New Year 2548 /2005

ปลายฝนต้นหนาวที่ ดอยอ่างขาง
ผู้ถ่าย : ราเชนทร์ เจริญบุญกุล

สมาคมฟิสิกส์ไทย ♦ Thai Institute of Physics
อ.ปณ. 217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่-50202
P.O. Box 217 Chiang Mai University, Chiang Mai-50202, THAILAND



แผนที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ของประเทศไทย
(ดูรายละเอียดหน้า 13)

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย