



ทรงพระเจริญยิ่งยืนนาน

ผ้าพลาสติกนาโนฯ



Thai Journal of Physics

วารสาร

ฟิสิกส์ไทย

วารสารสำหรับผู้ที่รักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์ ISSN 0857-1449

ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 : กันยายน - พฤศจิกายน 2549

$$S = k \log W$$



LUDWIG
BOLTZMANN
1844 - 1906

HENRIETTE
BOLTZMANN
GEB. EDLE VON ARNTHEIM
1854 - 1901

DR. PHIL. PAUL
BOLTZMANN
GEB. CHARI
1891 - 1977

ARTHUR
BOLTZMANN
DITTINGER, DR. PHIL. BOFEAT
1881 - 1902

LUDWIG
BOLTZMANN
1913 - 1943

LETZTER MANNLICHER NACHKOMME
GEFALLEN BEI SPIELBACH

IN VIENNA, MIDST THREE MILLION DEAD,
THERE'S A BUST OF A SCIENTIST'S HEAD,
AND ABOVE IT IS A GRAVED
WHAT HE MOST WANTED SAVED:
NOT A VERSE - AN EQUATION INSTEAD !

ภาพถ่ายหลุมฝังศพของ Ludwig Boltzmann

ณ สุสานกลาง (Zentralfriedhof) ของกรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย

ที่เห็นวางอยู่ตรงฐานของรูปปั้นในภาพนี้คือ ช่อดอกไม้ แด่ บิดาแห่งวิชา Statistical Mechanics

จากชาวฟิสิกส์ไทยทั้งมวลที่นายกสมาคมฟิสิกส์ไทย ศาสตราจารย์ ดร.กิริพัฒน์ วิสัยทอง

เป็นตัวแทนนำไปวางคารวะ เมื่อวันที่ 13 พฤษภาคม 2549

2 : เวะเยียมการะวะทำนโบลซ์มานน์

3 : สวัสดิ์

4 : สรุปข่าว

6 : เรื่องเด่นประจำฉบับ : ผ้าพลาสมานาโนฯ

10 : โลกชีวฟิสิกส์ : กลิ้งไว้ก่อน ธรรมชาติสอนไว้

12 : ขอแนะนำ : ห้องปฏิบัติการวิจัยพลศาสตร์ฯ
มหาวิทยาลัยมหิดล

15 : ฟิสิกส์ของวัสดุ : เทคโนโลยีแม่เหล็กนาโนฯ

18 : เรียนเล่นฟิสิกส์ : ศูนย์กลางการดี

20 : ขอแถมด้วยคน : สอนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร ?

21 : กางตำราฟิสิกส์ : เวกเตอร์ III – เรขาคณิต
ผลคูณภายในและเวกเตอร์ทั่วไป

24 : ดิน ฟ้า เวลา ดาว : ตามหาชีวิตต่างดาว



กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ให้การสนับสนุน
ในการจัดพิมพ์วารสารฉบับนี้

แต่ก่อนผมเคยบ่นว่าทีวีบ้านเรามีตั้งหลายช่อง กลับไม่ค่อยมีอะไรให้ดู กด remote วนตั้งหลายรอบจนเบื่อ แต่ตอนนี้ผมตั้งตารอรายการ Mega – Clever ทางช่อง 9 ตอนสองทุ่มครึ่งทุกวันพฤหัสบดี ต้องขอบคุณกระทรวงวิทยาศาสตร์ยุคใหม่กับโมเดิร์นไนน์ทีวีที่รับที่นำเสนอรายการวิทยาศาสตร์ทั้งสนุกและมีสาระอย่างนี้ ทางช่อง 9 ยุคใหม่นี้ยังมีรายการสารคดีที่ดีอีกหลายรายการ ช่วยกันประเทืองปัญญาประชาชนและเยาวชนแบบนี้สิครับ นำสรรเสริญอย่างยิ่ง แต่อยากหวังว่าจะเป็นอย่างนี้ต่อเนื่อง ยาวนาน ของอย่างนี้ความสม่ำเสมอและต่อเนื่องมีความสำคัญมาก จำได้ว่าตอนเด็กๆ เคยชอบนิยายสารวิธรรมกับช่างอากาศมาก แต่ก็หายไปนานแล้ว ต่อมาก็เกิดมีวารสารชัยพฤกษ์วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ไทย ทักษะมิติที่ 4 แล้วก็อันตรธานไปอีก ในขณะที่วารสาร Physics Today ของสมาคมฟิสิกส์อเมริกันออกมาแบบต่อเนื่อง 75 ปีเข้าไปแล้ว ส่วนวารสาร Scientific American ไม่ต้องพูดถึงเลย 161 ปีแล้วครับ **ของเราทำอย่างไรกันดีครับ** ในระหว่างที่กำลังคิดกันอยู่ เราได้รับการสนับสนุนจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ ไปพลางๆ ก่อนนะครับ

พบกันใหม่ฉบับหน้า : ธันวาคม 2549

Life is not too short

to do something good with it.

บางตอนจากภาพยนตร์เรื่อง North Country

กองบรรณาธิการ ชาญกิจ คันฉ่อง, ขงยุทธ เหล่าศิริถาวร, รัตติกร ชัยนิรันดร์, ศิรามาส โกมลจินดา, สมชาย เกียรติกรมลชัย, สุภาพ ชูพันธ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมพร สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลชาญ อนันตสมบูรณ์, มานิต รุจิโรดม ฝ่ายภาพและออกแบบปก มิณทร์ เมธีสุวรรณ, ราเชนทร์ เจริญกุล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา โอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยงานพิมพ์เอกสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ติดต่อกองบรรณาธิการ วารสารฟิสิกส์ไทย สมาคมฟิสิกส์ไทย ตู้ปณ.217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202 โทรศัพท์ : 053-942464, 943379 โทรสาร: 053-222776 วารสารฟิสิกส์ไทย เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระ-ข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในมวลหมู่สมาชิกและผู้ที่เกี่ยวข้องในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้างที่สร้างสรรค์ โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป Website = WWW.THPS.ORG

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2548-2550 ที่ปรึกษา ดร.วิโรจน์ ดันตราภรณ์, รศ.ดร.วิจิตร เส็งหะพันธ์, ศ.ดร.วิรุฬห์ สายคณิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน, ผศ.ดร.วาทิพันธ์ ปรังญพฤทธิ์ นายกสมาคมฯ ศ.ดร.ธีรพัฒน์ วิสัยทอง อุปนายก รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ เลขานุการ ดร.คุณุฑิ สุวรรณขจร รองเลขานุการ ดร.รัชชาติ มงคลนาวัน เจริญญิก ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ประชาสัมพันธ์ ผศ.ดร.รัชกาศย์ จิตต์อารี บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมพร สิงขรัตน์ บรรณาธิการจดหมายข่าวฟิสิกส์ ผศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย (ผศ.ศิลปชัย บุรณพานิช), ศ.ดร.ดุสิต เกรืองาม, ผศ.ดร.ขจรยศ อยู่ดี, ดร.อิทธิ ฤทธาภรณ์, รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว, รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวัณนาไนย, รศ.ดร.นิกร มังกรทอง, รศ.ดร.วีระพงษ์ แพสุวรรณ, ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง, รศ.ดร.พิบูล วนิชชาติ, คุณธรรมา ชินพิทักษ์, คุณสุธี เพชรอาวุธ, คุณเสรี เรืองดิษฐ์, ดร.นรินทร์ กาบบัวทอง, ผศ. สุรสิงห์ ไชยคุณ, คุณวัชร ดิสสะมาน

สรุปข่าว

อาลัยรักการจากไปของ นายกสมาคมฟิสิกส์ไทยคนแรก



ศ.ดร.ลิปพนธ์ เกตุทัต

เมื่อตอนบ่ายของวันอาทิตย์ที่ 16 กรกฎาคม 2549 ได้รับทราบข่าวเศร้าสดจากโทรศัพท์ของ 9 ว่า ศาสตราจารย์ ดร. ลิปพนธ์ เกตุทัต ได้ถึงแก่กรรมแล้ว ประเทศไทยก็สิ้น “คนดีศรีแผ่นดิน” ไปอีกหนึ่งท่าน ตลอดชีวิตของท่านได้ทำคุณความดีแผ่นดินเกิดในตำแหน่งสำคัญๆ มากมาย จนแทบจะจารึกไม่หมดแต่สิ่งแรกสุดที่ท่านทำหลังจากจบการศึกษาปริญญาเอกทางฟิสิกส์กลับมาจากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด สหรัฐอเมริกา คือ เป็นอาจารย์ที่ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สืบต่อกันหลายคนพูดเป็นเสียงเดียวกันว่า ท่านเป็นครูสอนวิชาฟิสิกส์ที่ดีมากถึงแม้ต่อมาท่านจะได้รับเชิญให้ต้องไปรับผิดชอบตำแหน่งสำคัญๆ มากมาย เช่น ครั้งหนึ่งยังเคยเป็น รัฐมนตรีว่าการกระทรวงศึกษาธิการ แต่ท่านก็ไม่เคยลืมวงการฟิสิกส์ไทย ท่านคือผู้ริเริ่มก่อตั้งสมาคมฟิสิกส์ไทยคนสำคัญ และรับเป็นนายกสมาคมฟิสิกส์ไทยคนแรกจากปี พ.ศ. 2527 ถึง 2529 และวารสารฟิสิกส์ไทยเล่มนี้ก็ถือกำเนิดขึ้นในช่วงเวลานั้น โดยมีนายกสมาคมฟิสิกส์ไทยคนปัจจุบัน เป็นบรรณาธิการคนแรก

บัดนี้ท่านได้หมดภาระหน้าที่ในโลกนี้แล้ว และได้วางมือไปยังแดนสุขาวดีก่อน ขอดวงวิญญาณของท่านจงมีสันติสุขชั่ววันนิรันดร์ ณ เมืองบรมสุขเกษมนี้ ท่านเป็นนักฟิสิกส์ไทยที่พวกเราภูมิใจชาวฟิสิกส์ไทยขอคารวะในคุณงามความดีที่ท่านได้ทิ้งไว้เบื้องหลังและสำนึกขอบคุณในมรดกที่ท่านได้ริเริ่มไว้ให้

ดาวเทียมสำรวจเมฆ

เมื่อตอนเช้าตรู่ของวันศุกร์ที่ 28 เมษายน พ.ศ. 2549 องค์การ NASA ได้ใช้จรวด Delta 2 เป็นพาหนะส่งดาวเทียมขึ้นสู่อวกาศพร้อมกัน 2 ดวงจาก Vandenberg Air Force Base ในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย ดวงที่หนึ่งชื่อ CloudSat (มวล 894 กก. มูลค่า 8,680 ล้านบาท) ส่วนดวงที่สองชื่อ CALIPSO (มวล 587 กก. มูลค่า

7,000 ล้านบาท) ทั้งสองจะขึ้นไปอยู่ในวงโคจรเดียวกับดาวเทียมศึกษาสภาพแวดล้อม อีก 3 ดวงที่ถูกส่งขึ้นไปก่อนหน้านี้แล้วคือ Aqua (ขึ้นไปเมื่อพฤษภาคม พ.ศ. 2545) และ Aura (ขึ้นไปเมื่อกรกฎาคม พ.ศ. 2547) ที่เป็นขององค์การ NASA กับ PARASOL ของฝรั่งเศส (ขึ้นไปเมื่อธันวาคม พ.ศ. 2545) ดาวเทียมทั้ง 5 จะเรียงเป็นแถวเดียวกันแบบที่เรียกว่า “A-Train” อยู่สูงจากพื้นโลก 705 กิโลเมตร ซึ่งจะทำให้สามารถศึกษา ณ ตำแหน่งหนึ่งแบบเรียงคิวได้

CloudSat เป็นผลงานร่วมกันระหว่าง Colorado State University, องค์การอวกาศแห่งแคนาดาและองค์การ NASA อาจถือได้ว่าเป็นโครงการวิจัยทางด้านบรรยากาศวิทยาที่ใหญ่ที่สุดที่มีหัวหน้าโครงการเป็นนักวิทยาศาสตร์ในมหาวิทยาลัย (ศาสตราจารย์ Graeme Stephens) จุดเด่นของดาวเทียมดวงนี้ก็คือ ระบบเรดาร์ (radar = radio detection and ranging) ที่ออกแบบพิเศษให้มีความไวกว่าระบบเรดาร์ทั่วไปเป็น 1,000 เท่าเพื่อใช้หาข้อมูลเกี่ยวกับเมฆหลายอย่างเช่น ปริมาณ, ความหนา, ระดับความสูง, ปริมาณน้ำและน้ำแข็งในก้อนเมฆ ฯลฯ ซึ่งจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองภูมิอากาศในปัจจุบันลงได้มาก CloudSat จะมีอายุการทำงานเพียง 2 ปี

CALIPSO (Cloud – Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation) เป็นผลการร่วมมือกันระหว่าง NASA กับองค์การอวกาศของฝรั่งเศส มีหน้าที่หาข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างและคุณสมบัติของเมฆ และการกระจายของอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศหรือที่มีศัพท์เทคนิคเรียกสั้นๆว่า “แอโรซอลส์ (aerosols)” เพราะฝุ่นละอองระดับล่างสามารถถูกฝนชะล้างกลับสู่พื้นโลกได้ในเวลาอันสั้น แต่ฝุ่นละอองในระดับสูง สามารถเดินทางไปได้ไกลมาก ฝุ่นละอองเหล่านี้มีผลต่อการสะท้อนแสงของเมฆอย่างไร ดาวเทียม CALIPSO หาข้อมูลเหล่านี้โดยการใช้เทคนิค lidar (light detection and ranging) กล่าวคือใช้แสงเลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm กับ 1,064 nm ห่วงกว้าง 20 ns ความถี่ของห่วง 20.16 Hz พลังงานต่อห่วงเท่ากับ 105 – 115 mJ ที่ผลิตจาก Nd: YAG laser ยิ่งไปที่ก้อนเมฆแล้วตรวจวัดสิ่งที่สะท้อนกลับมา CALIPSO จะมีอายุการทำงาน 3 ปี

ดาวเทียมทั้งสองจะช่วยกันเปิดมุมมอง 3 มิติ ของเมฆกับแอโรซอลส์ให้กับนักบรรยากาศวิทยาอย่างชนิดไม่เคยได้มีโอกาสเห็นกันมาก่อน เมฆเป็นตัวจักรสำคัญของสภาพภูมิอากาศบนโลก พลังงานจากดวงอาทิตย์จะมาถึงผิวโลกได้ ก็ขึ้นอยู่กับเมฆด้วย เมฆเป็นแหล่งน้ำจืดที่มีค่าของมนุษยชาติ ดังนั้นถ้าเราสามารถ

เข้าใจถึงกระบวนการกลั่นตัวและการไหลวนของภูมิอากาศ
ก็จะมีประโยชน์ต่อปัญหาที่มนุษย์อาจต้องประสบในอนาคต

เหตุเกิดที่เมืองนอก (ได้เท่านั้นหรือ?)

ปลายปีที่แล้ว เมื่อมีการประกาศงบประมาณที่ผ่าน
รัฐสภาอเมริกันออกมา ศูนย์วิจัยใหญ่ๆ ในสหรัฐอเมริกาที่มี
โครงการวิจัยทางด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์หลายแห่งถึงกับเข้าอ้อน
เพราะกระทรวงพลังงาน (DOE) ที่เป็นสปอนเซอร์รายใหญ่
ถูกหั่นงบประมาณหมวดนี้มากกว่า 8% ดังเช่น โครงการ Relativistic
Heavy Ion Collider (RHIC) ของ Brookhaven National Laboratory
(BNL) ที่ถึงกับไม่มีงบประมาณมากพอสำหรับการเดินเครื่องเร่ง
อนุภาคเพื่อทำการทดลองในปีนี้ (พ.ศ. 2549) นั่นแปลว่าเครื่อง
เร่งอนุภาคที่มีเส้นรอบวงยาว 4.4 กิโลเมตร มูลค่านับพันล้าน
เหรียญสหรัฐที่สร้างเสร็จแล้วกลับต้องจอดอยู่เฉยๆ รวมถึงต้องม
ีการเลิกจ้างงานอีกประมาณ 100 ตำแหน่ง

แต่ในห้วงเวลาแห่งความมืดมนอนธกาลนั้น ก็กลับบังเกิด
ประกายแสงสว่างขึ้น นั่นคือมหาเศรษฐี Jim Simons เจ้าของบริษัท
ลงทุน Renaissance Technologies Corp. เสนอตัวบริจาคเงินให้
โครงการ RHIC 520 ล้านบาท เพื่อให้สามารถเดินเครื่อง
ทำการทดลองได้เป็นเวลา 20 อาทิตย์ นั่นคือ จากเดือนกุมภาพันธ์
ถึงมิถุนายน พ.ศ. 2549

ยอดมหาเศรษฐีท่านนี้มีบรรดาวิชาว่า “รู้สึกอาย
เหลือเกินที่จะเห็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีคุณค่าอย่างนี้และยังที่ม
นักวิทยาศาสตร์ชั้นยอดอีกจำนวนมากต้องถูกทอดทิ้งเหมือนไร้
คุณค่าอยู่ตั้งเป็นปี ผมรู้สึกยินดีถ้าสามารถจะช่วยให้งานที่นี้กลับมา
อยู่ในร่องในรอยได้บ้าง”

เศรษฐีไทยไม่คิดจะเลียนแบบบ้างหรือครับ? ถ้าตอนนี้
ยังไม่ได้คิด ก็ไม่เป็นไร ขอแต่ว่าอย่าทำตรงกันข้ามอย่างเช่น
เลียงกาหยี่ก็แล้วกัน

วิทยาศาสตร์ศึกษากับนักฟิสิกส์รางวัลโนเบล

เมื่อปี พ.ศ. 2544 มีนักฟิสิกส์ 3 คนได้รับรางวัลโนเบลด้วย
เรื่อง Bose-Einstein Condensation เขาทั้งสามคือ Eric A. Cornell,
Carl E. Wieman และ Wolfgang Ketterle แต่เมื่อเดือนมีนาคมที่เพิ่ง
ผ่านมา Wieman (อายุ 55 ปี) ชื่อวงการอีกครั้ง ด้วยการประกาศว่า
“I will be terminating my atomic physics. I do it with a little
regret, but it seemed like this was the time for more important
things” นั่นคือ Wieman จะย้ายออกจากห้องแล็บที่ University of

Colorado ณ เมือง Boulder (CU-Boulder) ประเทศสหรัฐอเมริกา
ที่ถือได้ว่าเป็นห้องวิจัยทางด้านฟิสิกส์ของอะตอมที่ดีที่สุดในโลก
แห่งหนึ่ง แล้วย้ายไปเข้าห้องเรียนที่ Department of Physics and
Astronomy ของ University of British Columbia (UBC) ณ เมือง
แวนคูเวอร์ ประเทศแคนาดา

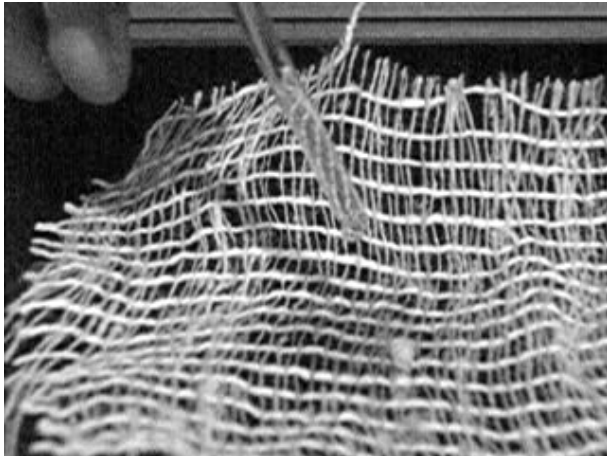
การที่ UBC ได้ตัว Wieman ไปก็เพราะเป็นมหาวิทยาลัย
ที่มิโนบายให้ความสำคัญกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์
ระดับปริญญาตรีอย่างชัดเจน เช่น ได้ประกาศแล้วว่า จะทุ่ม
งบประมาณให้ด้านนี้ 480 ล้านบาท สำหรับการดำเนินงานในช่วง
5 ปีข้างหน้า ซึ่งสอดคล้องกับความสนใจของ Wieman เขาไม่ใช่
คนแปลกหน้าของวงการวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยส่วนตัวให้
ความสำคัญกับการสอนหนังสือมาก ลงมือสอนระดับ ป.ตรี-โท-เอก
ที่ CU-Boulder เองมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 เป็นผู้นำในการใช้
เทคโนโลยีใหม่ๆ มาปรับปรุงการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เช่น
ในชั้นเรียนของ Wieman จะใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์
เพื่อทำการทดลองแบบเสมือนจริง หรือใช้โมดูลอินฟราเรดสะท้อน
สถานการณ์แบบทันควันว่านักศึกษาเข้าใจการบรรยายในห้องเรียน
หรือไม่ ฯลฯ Wieman เป็นหนึ่งในเจ็ดคนแรกของนักวิทยาศาสตร์
และวิศวกรของอเมริกาที่ได้รับรางวัล Distinguished Teaching
Scholars จาก National Science Foundation (NSF) เมื่อปี พ.ศ. 2544
สำหรับผู้ที่มผลงานดีเยี่ยมทั้งด้านการสอนและการวิจัย ในปี
พ.ศ. 2547 เขายังได้รับรางวัล “ศาสตราจารย์แห่งปี” จากมูลนิธิ
คาร์เนกีสำหรับบทบาทการเป็นครูที่ดีและความพยายามในการ
พัฒนาวิทยาศาสตร์ศึกษา

Wieman ทุ่มเทมากกับโครงการพัฒนาการศึกษาด้าน
วิทยาศาสตร์เขาเคยกล่าวว่า “นักศึกษาเดี๋ยวนี้มักคิดว่าวิชา
วิทยาศาสตร์น่าเบื่อและเป็นเพียงการจดจำความจริงที่ดีกว่า
เรื่องไร้สาระเล็กน้อย” เขาถึงกับใช้เงินรางวัลทั้งหมดที่ได้รับ
จาก NSF คือ 300,000 เหรียญและส่วนหนึ่ง (ประมาณ 250,000
เหรียญ) ที่ได้รับจากรางวัลโนเบลในการดำเนินการ โครงการดังกล่าว
เมื่อปีที่แล้วตอนลาพัก Sabbatical Leave Wieman นั่งเขียนข้อเสนอ
โครงการถึง 34 ชุด เพื่อส่งไปขอรับการสนับสนุนจากมูลนิธิเอกชน
(ส่วนใหญ่ในละแวกโคโลราโด) หน่วยงานของรัฐและหน่วยงาน
ของรัฐบาลกลางแต่ไม่มีโครงการใดได้รับการพิจารณาเลย

Wieman จะเริ่มไปดูแลโครงการพัฒนาวิทยาศาสตร์
ศึกษาให้ UBC ตั้งแต่เดือนมกราคม 2550 ในระหว่างนี้เขาจำเป็น
ต้องพยายามหาอาจารย์ที่ปรึกษาคนใหม่ให้พวกลูกศิษย์ที่
CU-Boulder

ผ้าพลาสติกนาโนกับเทคนิควิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์ (PIGE/PIXE)

ธีรวรรณ บุญญวรรณ*



รูปที่ 1 ผ้า hemp ชีมน้ำที่ที่หยด (ซ้ายมือ) ขณะที่เมื่อประจุพลาสมาฟลูออรีนแล้วหยดน้ำไม่ซึมและกลิ้งไปมา(ขวามือหรือภาพสีที่ปกหน้า)

นาโน นาโน หันซ้ายหันขวาอะไรๆ ก็เป็นนาโนไปเสียหมด ...ก็มันเป็นเรื่องของขนาดนาโนเสียจริงๆ เกียงไม่ออกก็รู้กันดีว่าหากไปยุ่งๆ กับระดับอะตอมจะเป็นขนาดอสังคารอม แต่ถ้าเป็นระดับโมเลกุลละก็เรื่องของนาโนเมตรแน่นอน (10 อังสตรอม = 1 นาโนเมตร) ที่นี้แหละที่(ฟิสิกส์)เอาไอออนในพลาสมาไปแทรกหรือแทนที่โมเลกุลของเส้นใยผ้า(เคมี)เลยเป็นเรื่องของนาโนอย่างเลี่ยงไม่ได้ในบัดดล

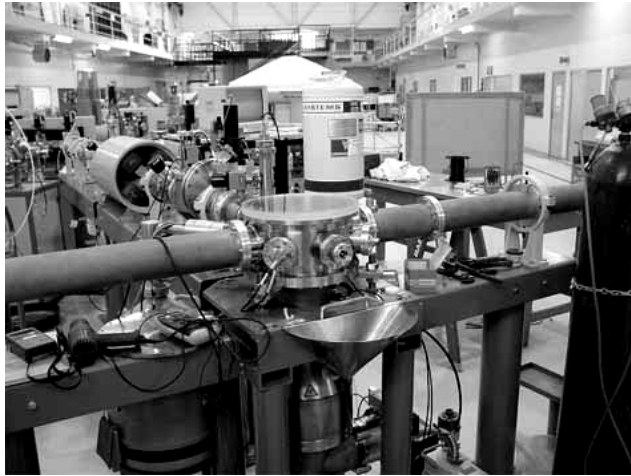
กลุ่มวิจัยฟิสิกส์พลาสมา ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทดลองประจุพลาสมาของฟลูออรีนลงบนตัวอย่างหลากหลายชนิด ทั้งไหม ไนลอน โพลีเอสเตอร์ ผ้า กระดาษ ฯลฯ เพื่อสร้างคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ให้แก่ตัวอย่างเหล่านี้ เป็นที่อัศจรรย์ยิ่งนักที่พบว่า หยดน้ำยังสามารถกลิ้งไปมาบนผ้าตาข่ายๆ ได้ (สรุปลงรูปที่ 1 หรือที่ปกหน้า) อะไรคือคำตอบสำหรับเรื่องนี้ บ้างบอกว่าเป็นกลไกของหยดน้ำบนใบบัว (ดูที่หน้า 10) แต่เมื่อวิเคราะห์ดูจะพบว่าเวลาในการประจุพลาสมาช่วงสั้นๆ เพียง 5 นาที ไม่เพียงพอให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเส้นใยเชิงกายภาพ เช่น สร้างเป็นขนนาโนเหมือนผิวใบบัว ทว่ายังมีคำอธิบายอีกอย่างที่น่าสนใจ นั่นคือไอออนฟลูออรีนในพลาสมาไปสร้างพันธะใหม่แทนที่ กลายเป็นโครงสร้างใหม่ที่ไมชอบน้ำ และเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวเส้นใยเท่านั้นเนื่องจากอิเล็กตรอนและไอออนในพลาสมามีพลังงานจำกัดในการ

ทะลุผ่าน (ผิดกับกระบวนการเคมีที่ใช้พลังงานภายนอกเช่น ความร้อน เข้าช่วยเพิ่มอัตราเกิดปฏิกิริยา) ดังนั้นโครงสร้างใหม่จะหนาไม่เกินกว่า 2-3 ชั้นความหนาอะตอมหรือราวๆ 0.5 – 0.8 นาโนเมตร [1]

เรากำลังมองหาพันธะ C-F ซึ่งจะแสดงคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ ทั้งนี้มีการประมาณว่าหากจะเปลี่ยนคุณสมบัติทางเคมีใดๆ ของผ้าจะต้องมีปริมาณสาร (functional element) นั้นๆ มากกว่า 3,000 ส่วนในล้าน (3,000 ppm) [2] โดยทั่วไปการวิเคราะห์ผิววัสดุเพื่อหาโครงสร้างหรือพันธะทางเคมี นิยมใช้เทคนิค X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) หรือ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ตรวจวัดกันโดยตรง อย่างไรก็ตามจากการที่ผู้เขียนมีโอกาสไปศึกษาเทคนิควิเคราะห์เชิงนิวเคลียร์ด้วยลำไอออน ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติของออสเตรเลีย (ANSTO) เป็นเวลา 2 เดือน จึงถือโอกาสนำตัวอย่างผ้าไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออรีนเสียด้วยเลย

รูปที่ 2 เป็นภาพถ่ายสถานีวิเคราะห์ โดยการยิงลำโปรตอนพลังงาน 2.5 MeV กระแส 15 nA ลงบนผ้าตัวอย่างที่ผ่านการประจุด้วยพลาสมาฟลูออรีน ทำการวัดสเปกตรัมของรังสีแกมมาจากปฏิกิริยา $F(p, \gamma)F^*$ และวัดรังสีเอ็กซ์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3 ก) และ ข) ตามลำดับ หลังจากสอบเทียบพื้นที่ใต้พีค

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



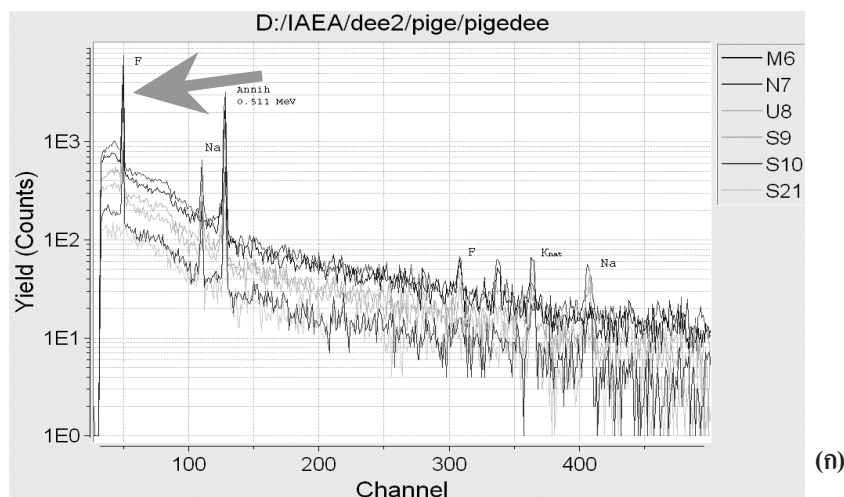
รูปที่ 2 สถานีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Particle Induced Gamma-ray/X-ray Emission (PIGE/PIXE) [3]

กับสเปกตรัมของสารมาตรฐาน (CaF_2) จากนั้นทำการคำนวณปริมาณแคลเซียมและฟลูออรีนได้ผลดังตารางที่ 1

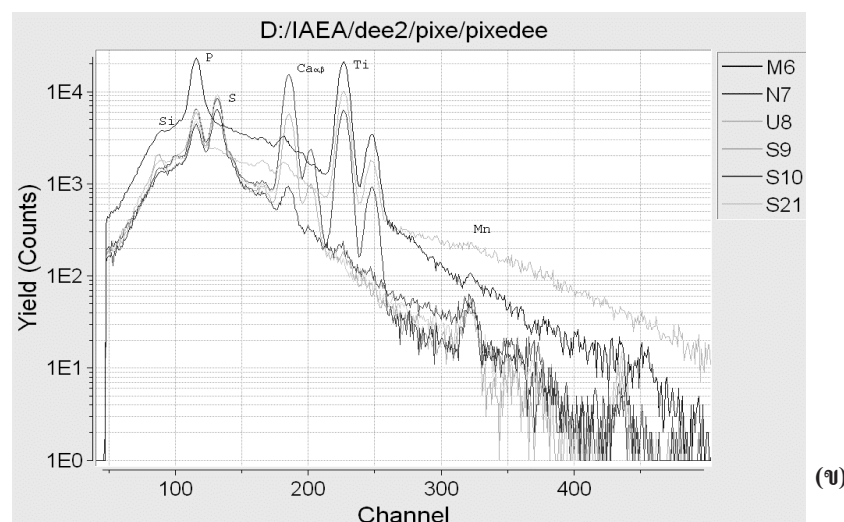
ในสเปกตรัมรูปที่ 3 ก) จะเห็นพีคของฟลูออรีน(F) จากผ้าตัวอย่างที่ผ่านการประยุคต์พลาสติกอย่างชัดเจน โดยมีพีคของโซเดียม(Na) ปะปนเนื่องจากผ้าตัวอย่างสัมผัสห้องอะครีลิกส่วนในรูปที่ 3 ข) จะเห็นได้ว่ามีพีคแคลเซียม(Ca) ปรากฏเฉพาะผ้าไหมทั้งสอง นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าผ้า Montague Nylon และ U-10 มีการปนเปื้อนของไทเทเนียม(Ti) ด้วยปริมาณสูง ทั้งนี้คาดว่ามาจากสารเคมีตกค้างในกระบวนการฟอกย้อม

เมื่อพิจารณาผลในตารางที่ 1 สามารถวิเคราะห์เพื่อสรุปผลได้ดังนี้

- ปริมาณฟลูออรีนกับเวลา เมื่อเพิ่มเวลาในการประยุคต์พลาสติก ปริมาณของฟลูออรีนเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตรงในผ้า



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ตัวอย่างสเปกตรัมของผ้าที่ผ่านการประยุคต์พลาสติกฟลูออรีนวัดด้วยเทคนิค ก) PIGE ข) PIXE โดยที่ M=Montague, N=Nylon, U=U-10 S=Silk โดย S21 เป็นคอน ไทโรล (โปรดดูภาพสีที่หน้า 28)

เรื่องเด่นประจำฉบับ

ตารางที่ 1 ปริมาณแคลเซียมและฟลูออรีนของผ้าชนิดต่างๆ วัดด้วยเทคนิค PIGE/PIXE

เวลา ประยุกต์ (นาท)	กำลัง rf (วัตต์)	ชนิดผ้า	น้ำหนัก ผ้า (g)	Ca (ppm)	F (ppm)
0	-	Slk- Grazia	0.0257	747±84	-
		Slk- Zofia	0.0383	2129±238	
		Mntg	0.1128	30±4	
		U-10	0.0776	74±9	
		Nyln	0.0308	50±6	
5	50	Slk- Grazia	*	760±85	956±111
		Slk- Zofia	*	2189±245	2824±319
		Mntg	*	35±4	317±41
		U-10	*	72±9	252±34
	75	Slk- Grazia	*	779±87	1556±177
		Slk- Zofia	*	2238±250	3285±370
		Mntg	*	72±9	2432±275
		U-10	*	45±5	1228±141
		Nyln	*	68±8	489±59
10	50	Slk- Grazia	*	751±84	1976±224
		Slk- Zofia	*	2161±242	4161±468
		U-10	*	79±9	1293±148
	75	Slk- Grazia	*	795±89	2121±240
		Slk- Zofia	*	2169±243	3513±396
		Mntg	*	158±17	3159±357
		U-10	*	52±6	1289±147

*น้ำหนักผ้าลดลงระหว่าง 3-5 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความชื้นหายไปจากสภาวะสุญญากาศ รวมทั้งผลจากการกัด (etch) เนื่องจากพลาสมา [4]

ทุกชนิดเป็นเพราะไอออนฟลูออรีนในพลาสมาจะเข้าแทนที่อะตอมออกซิเจนในกลุ่ม C=O ที่เป็นโครงสร้างเคมีหลักของเส้นใยผ้าทุกชนิดเสมอ [5,6] (เรียกกระบวนการนี้ว่า plasma polymerization) โดยพบว่าผ้า Nylon** มีปริมาณฟลูออรีนน้อยที่สุด อันเนื่องมาจากมีกลุ่ม C=O น้อยกว่าเส้นใยชนิดอื่นนั่นเอง [7]

- ปริมาณฟลูออรีนกับความแน่นของผ้า ผ้า Montague และ U-10 มีโครงสร้างเคมีเหมือนกันคือ เป็นโพลีเอสเตอร์ แต่ผ้า U-10 ทอโปร่งกว่าผ้า Montague ผลที่ได้จะเห็นว่า ปริมาณฟลูออรีนแปรตามความแน่นของผ้าเนื่องจากการทอดด้วย
- ปริมาณฟลูออรีนกับกำลัง rf จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า ปริมาณฟลูออรีนของผ้าทุกชนิดแปรผันตามกำลัง rf ที่ใช้ผลิตพลาสมาโดยสัดส่วนบนใหม่ Zofia มีค่าสูงสุด หรืออีกนัยหนึ่งฟลูออรีนจับเป็นพันธะ C-F กับไหม Zofia และ Grazia ได้ดีกว่าผ้า Montague และ U-10 ทั้งที่ผ้าทั้งสองชนิดหลังมีความหนาแน่นมากกว่า (น้ำหนักมากกว่าด้วยขนาดที่เท่ากัน) บ่งชี้ว่าโครงสร้างเคมีของเส้นใยไหมเอื้อต่อการเข้าแทนที่ของอะตอมฟลูออรีน
- ปริมาณแคลเซียมในไหม ปริมาณแคลเซียมในตารางที่ 1 มีเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PIXE ของ Liu และคณะ [8] ที่เตรียมตัวอย่างโดยบดไหมจนละเอียดแล้วทำเป็นฟิล์มบางบนแผ่นรอง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ผ้าโดยตรงในครั้งนี้ พบว่าแคลเซียมในไหม Grazia มีปริมาณใกล้เคียงมากกว่า ทำให้ประเมินได้ว่าเทคนิค PIXE สามารถประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุบนผ้าบางให้ผลได้ใกล้เคียง
- ปริมาณฟลูออรีนที่ต้องการบนผิวผ้า จากการทดสอบหยดน้ำเพื่อดูการซึมผ่าน พบว่า หากปริมาณของฟลูออรีนต่ำกว่า 3,000 ppm ผ้าจะยังคงซึมน้ำได้ดี ขณะที่ผ้าทุกชนิดที่มีปริมาณฟลูออรีนสูงเกินกว่า 3,000 ppm จะไม่ซึมน้ำหรือใช้เวลาในการซึมนานกว่ามาก

เห็นกันชัดๆ แล้วว่าการวิเคราะห์ผ้าที่ผ่านการประยุกต์ด้วยพลาสมา โดยใช้เทคนิค PIGE/PIXE เป็นอีกวิธีที่แม้ว่าจะไม่สามารถบ่งบอกโครงสร้างเคมีของธาตุเหล่านั้น หรือสัดส่วนพันธะของโครงสร้างใหม่กับโครงสร้างเดิมของเส้นใย แต่ก็เพียงพอที่จะชี้ยืนยันปริมาณของ functional element ที่จะเปลี่ยน

** อาจเรียก Nylon ว่า “ไหมเทียม” เพราะ Nylon ถูกผลิตให้มีคุณสมบัติที่เลียนแบบไหมแท้ (Bombyx mori silk) นั่นเอง

เรื่องเด่นประจำฉบับ

คุณสมบัติเดิมของเส้นใยผ้า ไปสู่คุณสมบัติใหม่ที่ต้องการได้จริง ส่วนการประยุกต์ผ้าหรือวัสดุอื่นๆ ด้วยพลาสมา เป็นกระบวนการที่ประหยัดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และรวดเร็วกว่าการใช้วิธีทางเคมีเดิมๆ



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณเขาวเรศ เขียวมู่ นักวิจัยประจำโครงการเพิ่มมูลค่าสิ่งทอทางการกีฬา สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในการเตรียมและประยุกต์พลาสมาแก่ผ้าตัวอย่าง ขอขอบคุณ Mr. Eduard Stelcer, Ms. Olga Hawas, Dr. Mihail Ionescu, Dr. Rainer Siegele แห่งศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ออสเตรเลีย (ANSTO) ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ผ้าตัวอย่างด้วยเทคนิค PIGE/PIXE อย่างมาก และขอขอบคุณทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายการไปศึกษา/วิจัยครั้งนี้อย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

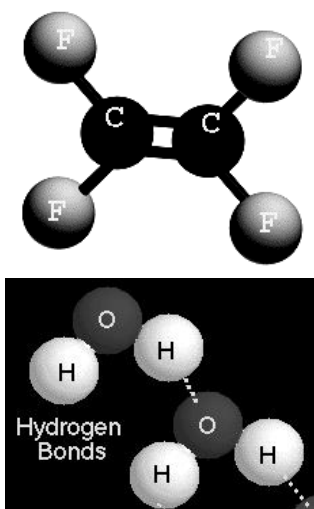
- [1] J.R. Roth, *Industrial Plasma Engineering 2* IO Publishing (2001) 540-545
- [2] http://www.sentinel.com/library/tp/772_Hydrophilicity_and.jsp
- [3] <http://www.ansto.gov.au/nugeo/>



ผู้เขียนกับ Dr. Mihail Ionescu แห่ง ANSTO

- [4] J. Verschuren, P. Kiekens, *AUTEX Research Journal*, Vol. 5, No3, September 2005 154-161
- [5] M. G. McCord, Y. J. Hwang, Y. Qiu, L. K. Hughes, M. A. Bourham, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88 (2002) 2038-2047
- [6] M. Kaba, A. Essamri, A. Mas, F. Schue, G. A. George, F. Cardona, L. Rintoul, B. J. Wood, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 100 (2006) 3579-3588
- [7] G. Borcia, C.A. Anderson, N.M.D., Brown *Applied Surface Science* 225 (2004) 186-197
- [8] Y. Liu, T. Yu, H. Yao, F. Yang, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 66 (1997) 405-408

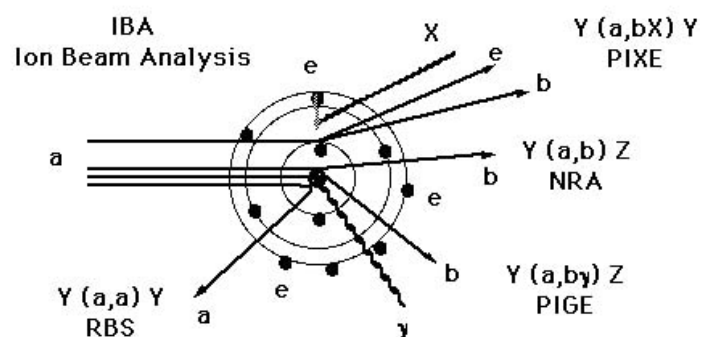
หมายเหตุ 1 โมเลกุล CF_2 มีลักษณะโครงสร้างปิด เป็นสภาวะไร้อิเล็กตรอน (รูปข้างล่างนี้) ทำให้ไม่มีการสร้างพันธะกับน้ำที่เป็นโมเลกุลมีขั้ว อนึ่งโครงสร้างเคมี (CF_2) รู้จักกันในชื่อ Teflon® ของบริษัทคูปองท์ที่มีคุณสมบัติไม่ติดน้ำและน้ำมัน (non-stick)



ลักษณะโมเลกุล CF_2 (บน) เทียบกับโมเลกุลน้ำ (ล่าง)

หมายเหตุ 2

PIGE เป็นเทคนิคหาปริมาณธาตุเจือที่มีมวลอะตอมน้อย เช่น Li, Be, F, Na, Al โดยการวัดรังสีแกมมาที่ปล่อยออกมาจากนิวเคลียสของธาตุเจือที่ถูกกระตุ้น ส่วน PIXE เป็นเทคนิคหาปริมาณธาตุเจือที่มีมวลอะตอมมากกว่า Al ขึ้นไปจนถึง Pb แต่เป็นการวัดรังสีเอกซ์ที่ปล่อยออกมาจากอะตอมของธาตุเจือที่ถูกกระตุ้น มีความไวระดับ 1-10 ppm และมีความแม่นยำระหว่าง 2-10 % เทียบกับมาตรฐาน



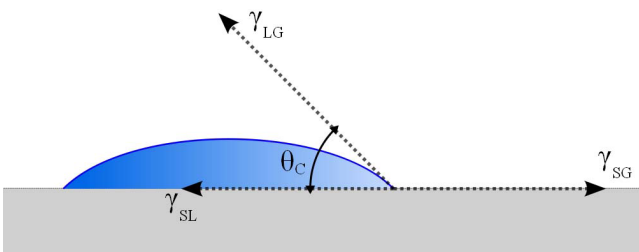
กลิ้งไว่ก่อน ธรรมชาติสอนไว้

สมสร สิงขรัตน์

หลายคนเมื่อมีโอกาสได้ดูยูทูปวิดีโอเกี่ยวกับบอลลูน ซึ่งเป็นการแข่งขันที่นิยมปลูกกันทั่วไป เช่น สาวน้อยประแป้ง หรือ ดุจดวงทอง ฯลฯ มักอดไม่ได้ที่จะนึกสนุกทำหยดน้ำกลิ้งบนใบบอลลูน ในใจก็จะรู้สึกที่ไปคิดว่าทำไมหยดน้ำประมาณขนาดเม็ดถั่วเหลืองบนใบบอลลูนจึงเกือบกลมได้ถึงขนาดนั้น ไม่เห็นเหมือนกับหยดน้ำบนใบมะม่วงเลย ปรากฏการณ์นี้พบเห็นได้บนใบบัวเช่นกัน ฟังรู้จักบัวมากกว่าบอลลูนเลย เลยเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า “Lotus effect” โดยเชื่อกันว่าเป็นพรสวรรค์ที่ธรรมชาติให้มาเป็นการเฉพาะเพื่อที่ผิวใบของพืชประเภทนี้จะกลับสะอาดขึ้นมาใหม่ได้ เพียงแค่ฝนตกใส่ (ไม่ต้องพึ่งเด็กปั๊มคอยเช็ดให้) เพราะเมื่อหยดน้ำฝนกลิ้ง (ไม่ใช่ไหล) ผ่านไปก็จะนำเม็ดฝุ่นผงติดไปด้วย (รูปที่ 1) แต่ใบไม้หลายๆ ชนิดก็ไม่ได้มีคุณสมบัตินี้ มันต่างกันตรงไหน ?

วัสดุสังเคราะห์ที่ใกล้เคียงตัวที่มีอาการ “เกลียดน้ำ (hydrophobic)” อย่างชัดเจน ก็ได้แก่ ฟิล์มพลาสติกใสใสอาหาร หรือ กระดาษไข (wax paper) ที่ใช้รองกันถาดทำขนม ซึ่งหยดน้ำก็เคลื่อนที่ได้คล่องบนผิวของวัสดุทั้งสอง แต่รูปทรงของหยดน้ำกลับแตกต่างจากกรณีของใบบัวมาก ครรชนชี้วัดความแตกต่างตัวหนึ่ง คือค่า contact angle θ_c (รูปที่ 2) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการสัมผัสของตัวกลางที่เกี่ยวข้องดังสมการต่อไปนี้

$$\cos \theta_c = \frac{\gamma_{SG} - \gamma_{SL}}{\gamma_{LG}} \quad (1)$$



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการหาค่า contact angle ผิวใดที่มีค่า θ_c มากกว่า 150 องศา ถือว่ามีคุณสมบัติซูเปอร์เกลียดน้ำ (superhydrophobic)



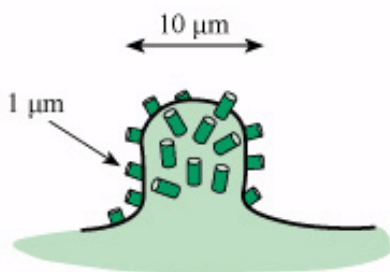
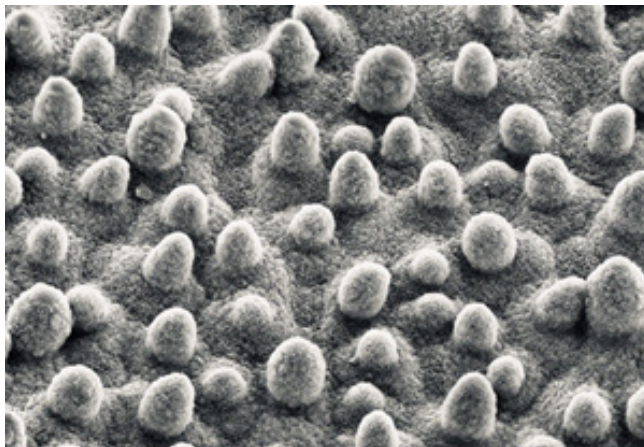
รูปที่ 1 การ “กลิ้ง” ของหยดน้ำจะช่วยให้ใบสะอาดขึ้น สามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ (โปรดดูรูปสีที่หน้า 28)

เมื่อ $\gamma_{SG} > \gamma_{SL} > \gamma_{LG}$ คือ ค่าความตึงผิว (พลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) ตรงผิวรอยต่อระหว่างตัวกลางของแข็ง (S) กับแก๊ส (G) , ของแข็งกับของเหลว (L) และของเหลวกับแก๊ส ตามลำดับ ซึ่งเป็นสมการที่คิดไว้ให้โดยนักฟิสิกส์ยอดเยี่ยมชื่อ Thomas Young (คศ. 1773 – 1829) ตั้งแต่เมื่อปี คศ. 1805 แต่เป็นเฉพาะกรณีวัดดูผิวเรียบและสภาพเคมีของผิวมีความสม่ำเสมอเท่านั้น มุม θ_c ยิ่งเข้าใกล้ 180 องศาเท่าใด หยดน้ำก็ยิ่งกลมมากขึ้นเท่านั้น

สาเหตุของคุณลักษณะเกลียดน้ำ เช่น ที่กล่าวถึงอยู่ใน “เรื่องเด่นประจำฉบับ (หน้า 6)” อาจเป็นในทำนองเดียวกับกรณีกระดาษไข แต่ธรรมชาติยังรังสรรค์ให้ใบบัวมีลูกเล่นพิเศษชนิดที่รู้แล้วจะต้องทิ้ง

ผู้ริเริ่มนำความอัจฉริยะของน้ำกลิ้งบนใบบัวมาศึกษาอย่างเป็นวิทยาศาสตร์เป็นคนแรกๆ คือ ศาสตราจารย์ W. Barthlott กับ C. Neinhuis สองนักพฤกษศาสตร์แห่ง University of Bonn ประเทศเยอรมนี (คศ. 1997) หลังจากนั้นก็มีผู้สนใจตามมาอีกมากมาย เพราะกลายเป็นมีศักยภาพเชิงประยุกต์ที่น่าสนใจ

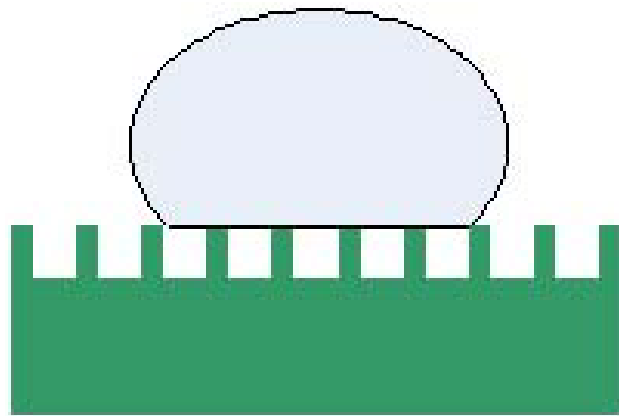
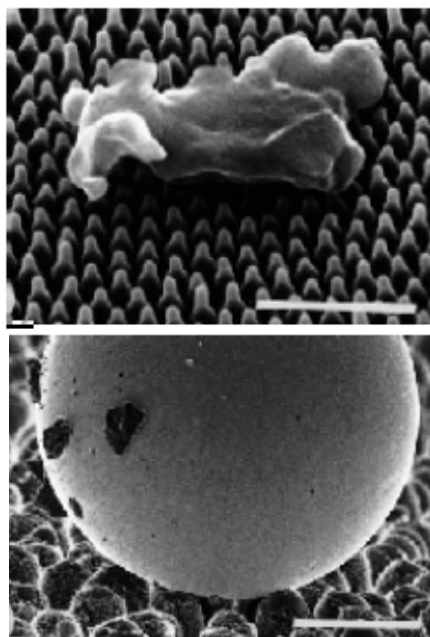
จากการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าผิวของใบบัวที่มีคุณสมบัติเกลียดน้ำระดับหนึ่งอยู่แล้ว ยังมีลักษณะเป็นปุ่มปมดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วย สภาพความเป็นปุ่มปมนี้เองที่เกิดผลปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งทำให้ความเกลียดน้ำถูกขยายผลเพิ่มขึ้น ตามสมการ



รูปที่ 3 ภาพถ่ายขยายผิวใบบัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ SEM จะเห็นว่า มีปุ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 ไมครอน (0.01 มม.) กระจัดอยู่ทั่วไป บนปุ่มยังมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน อีกด้วย

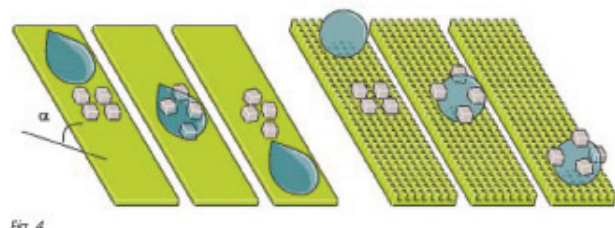
$$\cos \theta_{eff} = f_{SL} \cos \theta_c + f_{SL} - 1 \quad (2)$$

จากกฎของ A.B.D. Cassie (คศ. 1944) โดย f_{SL} คือ อัตราส่วนของพื้นที่ระหว่างของแข็งกับของเหลวตรงบริเวณรอยต่อและ θ_c คือ ค่า contact angle ตามสมการของ Young (สมการที่ 1) โดยปกติ f_{SL} มีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้น θ_{eff} จึงย่อมมีค่ามากกว่า θ_c



รูปที่ 4 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวเกล็ดน้ำที่ไม่เรียบ

จากความรู้ที่ธรรมชาติให้มานี้ มีผู้พยายามนำไปสร้างผิวสังเคราะห์ที่สามารถสะอาดได้เอง (self-cleaning) โดยเพียงแค่ถูกสัมผัสด้วยฝอยละอองน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 5 เช่น คณะนักวิจัยญี่ปุ่นที่ Research Center for Advanced Science and Technology ของ University of Tokyo นำโดย Kazuhito Hashimoto (คศ. 2000) ใช้วิธีเคลือบผิวกระจกใสด้วยฟิล์มบาง boehmite - TiO_2 ซึ่งยังคงสภาพความโปร่งแสง แต่มีคุณสมบัติซูเปอร์เกล็ดน้ำเพิ่มเข้ามาที่สามารถคงทนสภาพอยู่ได้นาน แม้นำไปใช้ภายนอกอาคาร ส่วนบริษัทเคมีภัณฑ์ BASF ของเยอรมันคิดจะทำออกมาเป็นเหมือนสีสเปรย์ สามารถฉีกพื้นลงบนผิวของวัสดุได้แทบทุกชนิด เช่น กระดาษ, ผนัง, สิ่งทอ, อิฐ, ไม้ ฯลฯ ซึ่งเมื่อแห้งจะทิ้งคราบโครงสร้างปุ่มปมบนผิวนั้นด้วย ทำให้มีคุณสมบัติของ “lotus effect” ที่สมบูรณ์และสามารถอยู่ได้ทนเป็นปีจนกว่าจะต้องสเปรย์ซ้ำ **อย่างนี้แล้วทำให้ผมเกิดความหวังว่าคงได้มีโอกาสใส่รองเท้าหนังที่ไม่ต้องขัดในอนาคตอันไม่ไกลนัก ไม่ชอบเวลาที่ต้องล้างคราบยาขัดรองเท้าออกจากมือเลย**



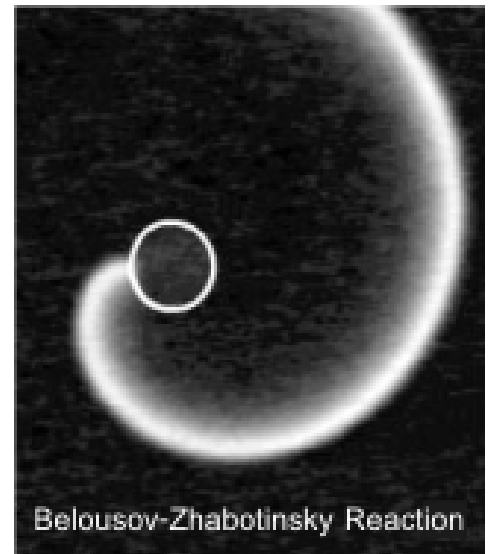
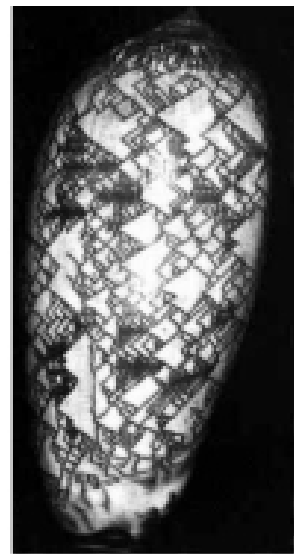
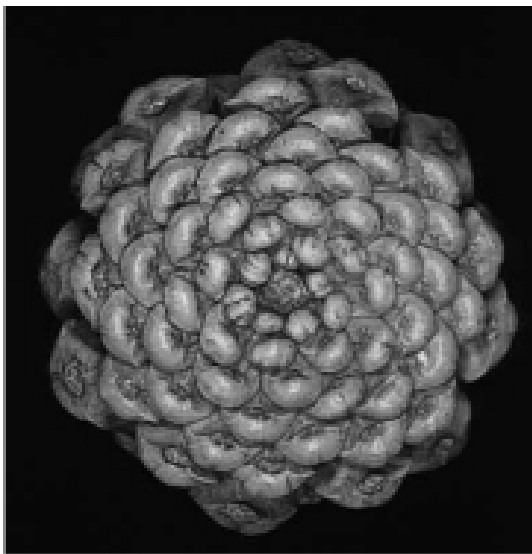
รูปที่ 5 การที่ผิวมีสภาพเป็นปุ่มปมที่มีขนาดใหญ่มากกว่าปุ่ม ความยาวของเส้นสีขาวในรูปถ่ายซ้ายมือ เทียบเท่ากับ 50 ไมครอน) เมื่อมีหยดน้ำ กลิ้งมาทับก็รักก็จะไปเกาะอยู่กับหยดน้ำแทน ดังแสดงในรูปวาดขวามือ ต่างกับการฉีกรูปวาดซ้ายมือที่หยดน้ำไม่กลม ก็จะไม่สามารถช่วยทำความสะอาดผิวได้

ห้องปฏิบัติการวิจัยพลศาสตร์และการเกิดลวดลายของระบบแบบไม่เชิงเส้น สาขาฟิสิกส์เชิงเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

อรอุมา เขียวหวาน *

งานวิจัยด้านพลศาสตร์และการเกิดลวดลายของระบบแบบไม่เชิงเส้นของสาขาฟิสิกส์เชิงเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้เริ่มต้นขึ้นในราวปี พ.ศ.2539

เมื่อ ศาสตราจารย์ อรพินท์ รังสิมันต์ ได้เชิญ Prof. Stefan C. Müller จาก Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg ประเทศเยอรมัน มาบรรยายในหัวข้อดังกล่าว ซึ่งมีทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ



รูปที่ 1. ตัวอย่างของลวดลายที่พบในระบบแบบไม่เชิงเส้นในธรรมชาติ, บนซ้าย: การเรียงตัวของกลีบของลูกสนที่ไปตาม Fibonacci sequence (1,1,2,3,5,8,...), บนกลาง: spiral ที่พบในก้นหอย ซึ่งมีสัดส่วนการเจริญเติบโตเป็นแบบ Fibonacci sequence เช่นเดียวกัน, บนขวา: ลวดลายแบบ fractal ที่พบบนเปลือกหอย, ล่างซ้าย: ลวดลายของขนบนผิวหนังม้าลาย ที่สามารถอธิบายได้ด้วย reaction-diffusion model, ล่างกลาง: spiral ที่พบในกาแล็กซี่, ล่างขวา: spiral wave ที่พบในปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตินสกี

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) แห่งสาขาวิชาฟิสิกส์เชิงเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ขอแนะนำ



รูปที่ 2 การจับกลุ่มกันของราเมือกในโคโลนี (ภาพจาก P. Boily.math.DS/0601033. Available on : <http://xxx.lanl.gov>)

นับว่าเป็นการจุดประกายให้กับการศึกษาทางด้านนี้

หลังจากนั้นก็มีการสนับสนุนให้นักศึกษาในหลักสูตร ซึ่งได้แก่ ผู้เขียน ไปทำงานวิจัยวิทยานิพนธ์กับกลุ่มวิจัยของ Prof. Stefan C. Müller รวมทั้งมีการจัดการประชุมสัมมนาทางวิชาการ DFG-NRCT เรื่อง “Nonlinear Dynamics of Spatio-Temporal Phenomena” ที่กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 22-25 กันยายน พ.ศ. 2543 ซึ่งมีนักวิจัยระดับแนวหน้าจากประเทศเยอรมัน รวมทั้งอาจารย์และนักศึกษาจากมหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศเข้าร่วม

ในปี พ.ศ.2544 ผู้เขียนได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก และได้เริ่มงานวิจัยในด้านนี้ที่ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล โดยได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนานักนิสิตศึกษา และการวิจัยทางเคมี (PERCH) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

อันที่จริงแล้วระบบหรือปัญหาที่เราพบในชีวิตประจำวันนั้น ส่วนใหญ่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ตัวอย่างเช่น ลักษณะการเต้นของหัวใจ การผันแปรของสภาวะอากาศ การขึ้นลงของดัชนีหุ้น รวมไปถึงการเกิดลวดลายในระบบที่ห่างจากสมดุล เช่น ลวดลายที่เกิดขึ้นบนมัลลาย เปลือกหอย เป็นต้น ลวดลายที่น่าสนใจมาชนิดหนึ่งคือ **ขดคลื่นลายกันหอย (spiral waves pattern)** ซึ่งพบได้ในธรรมชาติในหลายๆ ระบบ เช่น การเคลื่อนและจับกลุ่มกันของราเมือกในขณะที่ยาอาหาร การหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจในภาวะหัวใจล้มเหลว แต่ขดคลื่นลายกันหอยที่มีผู้ให้ความสนใจศึกษาค้นคว้าและทำการทดลองมากที่สุดคือ **ขดคลื่นเชิงเคมีที่พบในปฏิกิริยาเบลูซอฟจาโบตินสกี (Belousov-Zhabotinsky reaction)** ซึ่งเป็นเสมือนแบบจำลองสำหรับ

การศึกษาพลศาสตร์ของขดคลื่นลายกันหอยในระบบต่างๆ ทั้งนี้เพราะพลศาสตร์ของระบบเหล่านี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันที่สามารถอธิบายได้ด้วย **reaction-diffusion equation system** ดังนั้นความเข้าใจพลศาสตร์ของขดคลื่นในระบบใดๆหนึ่ง จึงนำไปสู่การเข้าใจพลศาสตร์ของขดคลื่นในระบบอื่นๆ ได้ด้วย อีกทั้งปฏิกิริยาเบลูซอฟจาโบตินสกีเป็นระบบเชิงเคมีที่สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ และทำซ้ำได้ง่ายสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ

reaction-diffusion equation system ประกอบด้วยชุดของสมการเชิงอนุพันธ์

$$\frac{\partial u}{\partial t} = F(u, v) + D_u \nabla^2 u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = G(u, v) + D_v \nabla^2 v$$

โดยที่ $u(\vec{x}, t)$ และ $v(\vec{x}, t)$ คือ ตัวแปรพลวัตของระบบ เช่น ความเข้มข้นของสาร ส่วนฟังก์ชัน $F(u, v)$ และ $G(u, v)$ เป็นพจน์ปฏิกิริยา (reaction term) ที่แสดงความสัมพันธ์ของการทำปฏิกิริยาระหว่าง u กับ v ในขณะที่พจน์ลาปลาเซียน (Laplacian terms) $\nabla^2 u$ และ $\nabla^2 v$ แสดงการแพร่ กล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรพลวัตในฟังก์ชันของเวลา ($\frac{\partial u}{\partial t}$ หรือ $\frac{\partial v}{\partial t}$) ได้รับอิทธิพลจากการทำปฏิกิริยาและการแพร่ ถ้า $F(u, v)$ และ $G(u, v)$ ไม่ใช่ฟังก์ชันกำลังหนึ่งของตัวแปรพลวัต u หรือ v ก็จะทำให้ระบบสมการนี้เป็นแบบไม่เชิงเส้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะแก้หาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ (analytic solution) ในรูปฟังก์ชัน $u(x, y, t)$ และ $v(x, y, t)$ ได้ ระบบสมการแบบไม่เชิงเส้นโดยทั่วไป แม้มีจำนวนตัวแปรของระบบน้อย แต่การเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเริ่มต้นเพียงเล็กน้อยก็สามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมอย่างกระทันหันและรุนแรง ซึ่งสามารถนำไปสู่ผลเฉลยประเภทหนึ่งที่มีลักษณะไม่ย้อนกลับที่เดิมทีเดียว และ “สุ่ม” โดยไม่ต้องอาศัยการรบกวนจากปัจจัยภายนอก ที่เรียกว่า **พฤติกรรมอลวน (chaotic behavior)** ปรากฏการณ์ธรรมชาติจำนวนมากที่ศึกษาในหลายสาขาวิชาที่บรรยายด้วยระบบสมการไม่เชิงเส้น โดยเฉพาะในสาขาฟิสิกส์ เช่น ปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของเทวดุดบนท้องฟ้า, การไหลของของไหล เช่น กระแสน้ำ กระแสอากาศ ที่สามารถเกิดการปั่นป่วน (turbulence) ที่เป็นพฤติกรรมอลวนได้, คลื่นแบบไม่เชิงเส้น เช่น solitons ที่เป็นการขมวดกันของคลื่นจนเป็น “ก้อนเกร็ง” ที่ใช้ในฟิสิกส์อนุภาค, พลศาสตร์ของกาแล็กซี่, พลศาสตร์ของการไหลของสสาร-พลังงานระดับ large scale ในวิชาจักรวาลวิทยา เป็นต้น

สำหรับการศึกษาการควบคุมพลศาสตร์ของขดคลื่น

ขอแนะนำ

ในปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกี จะนำไปสู่การเข้าใจพลศาสตร์ของขดคลื่นได้อย่างลึกซึ้งมากขึ้น ไปจนถึงสามารถนำความรู้หรือแนวคิดที่ได้จากการควบคุมขดคลื่นนี้ ไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมขดคลื่นในระบบอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนแต่มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับพฤติกรรมของปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกีได้ เช่น ขดคลื่นที่เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจในภาวะที่การเต้นของหัวใจล้มเหลว เป็นต้น

งานวิจัยในปัจจุบันของกลุ่มสามารถแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลักคือ

- 1) การควบคุมพลศาสตร์ของขดคลื่นในปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกี
- 2) พลศาสตร์ของหน้าคลื่นที่เกิดขึ้นในโคโลนิแบบที่เรีย

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านอื่นๆ เช่น พฤติกรรมกลุ่มของไส้เดือนน้ำ, การศึกษาการปั่นป่วน (turbulence) ในปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกี

ในปัจจุบันกลุ่มวิจัย มีอาจารย์ 1 คน นักศึกษาปริญญาเอก 1 คน นักศึกษาปริญญาโท 1 คน (มีนักศึกษาสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโทและตรีไปแล้ว 1 และ 2 คน ตามลำดับ) แม้ว่ากลุ่มวิจัยนี้จะเพียงกลุ่มเล็กๆ แต่ทั้งงานวิจัยในลักษณะครบวงจร โดยงานวิจัยในแต่ละหัวข้อจะมีองค์ประกอบหลักอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1) การศึกษาในห้องปฏิบัติการ มีทั้งการทดลองทางเคมี (ปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกี) และทางชีววิทยา (การเลี้ยงแบคทีเรีย) และใช้เทคนิคการจับภาพผลด้วยกล้องที่เวลาต่างๆ กัน แล้วนำมาประมวลผล และวิเคราะห์พลศาสตร์ของระบบ เช่น ภาพของขดคลื่นลายกันหอยในปฏิกิริยาเบลูซอฟ-จาโบตสกี ใน **รูปที่ 1. (ล่างขวา)** โดยสีขาวแสดงถึงบริเวณที่มีความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในสถานะออกซิเดชันสูง ส่วนสีดำหมายถึงบริเวณที่มีความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาในสถานะรีดักชันสูง เมื่อเวลาผ่านไป ขดคลื่นนี้จะหมุนวนเป็นวงดังแสดงด้วยวงสีขาวในรูป

2) การศึกษาเชิงตัวเลข จะใช้วิธี Improved Euler Method โดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นเองโดยกลุ่มวิจัยด้วยภาษา IDL (Interaction Data Language) ศึกษา reaction-diffusion model ที่ออกแบบขึ้น

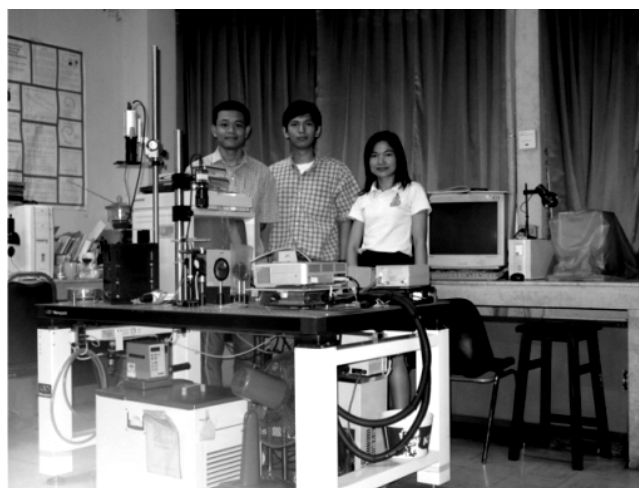
3) การหาคำอธิบายในเชิงทฤษฎี เมื่อได้ข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการและการศึกษาเชิงตัวเลขแล้ว ก็มาถึงการหาคำอธิบายผลการทดลองที่ได้มาโดยตั้งสมมติฐานจากทฤษฎีต่างๆ

ที่มีอยู่แล้ว เมื่อสมมติฐานได้รับการยืนยันว่าถูกต้องก็ถือว่างานในหัวข้อนั้นเสร็จสมบูรณ์

ในด้านผลงานวิจัย มีตัวอย่างของผลงานตีพิมพ์ ดังนี้

1. Kheowan, O.-U., Kantrasiri, S., Wilairat, P., Storb, U., and Müller, S.C., "Spiral wave dynamics under feedback control derived from a variety of sensory domains," *Phys. Rev. E* **70**, 46221 (2004).
2. Kheowan, O.-U., Uthaisar, C., Kantrasiri, S., and Müller, S.C., "Hypocycloidal resonance attractor for rigidly rotating spiral waves," *Chem. Phys. Lett.* **399**, 506 (2004).
3. Kantrasiri, S., Jirakanjana, P., and Kheowan, O.-U., "Dynamics of Rigidly Rotating Spirals under Periodic Modulation of Excitability," *Chem. Phys. Lett.* **416**, 364 (2005).

ปัจจุบันงานวิจัยในหลายๆ สาขาอาจมีเนื้อหาของงานบางส่วนที่เกี่ยวข้องเป็นแบบไม่เชิงเส้น ทางกลุ่มวิจัยยินดีให้คำปรึกษา และต้อนรับผู้สนใจมาร่วมงานด้วย หลักสูตรฟิสิกส์เชิงเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล เปิดรับนักศึกษาทั้งปริญญาโทและปริญญาเอก ปีละ 5 คน โดยให้ทุนค่าใช้จ่ายรายเดือน พร้อมทั้งเงินค่าใช้จ่ายด้านวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์ ทางหลักสูตรรับนักศึกษาจากหลากหลายสาขาวิชา เช่น ฟิสิกส์ เคมี คณิตศาสตร์ ฯลฯ ผู้สนใจสามารถติดต่อสอบถามรายละเอียดได้จาก ผศ.ดร.อรอุมา เขียวหวาน (scokw@mahidol.ac.th)

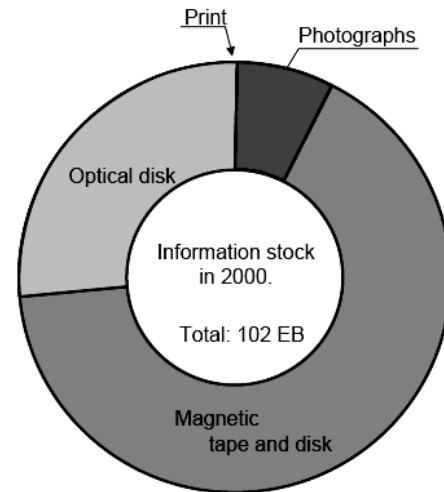


รูปที่ 3. บรรยากาศในห้องปฏิบัติการวิจัย

เทคโนโลยีแม่เหล็กลานาโน : ตอนความท้าทายด้านสื่อบันทึกข้อมูล

สุกฤต สุจริตกุล* และ ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร

โลกในยุคปัจจุบันนี้กล่าวได้ว่าเป็นโลกยุคโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นยุคที่การติดต่อสื่อสารไร้พรมแดน ลักษณะเช่นนี้ต่างจากโลกในยุคสมัยก่อนซึ่งการติดต่อสื่อสารเป็นไปโดยลำบาก ไม่ว่าจะเป็นการเดินทางที่ยาวไกลเพื่อติดต่อกับตนเอง หรืออาจจะอาศัยสื่อบันทึกข้อมูลในลักษณะจดหมายแล้วนำส่งแทน อย่างไรก็ตามการบันทึกข้อความลงในสื่อต่างๆเป็นไปอย่างไม่สะดวกหากข้อความมีจำนวนมากและอายุการใช้งานของสื่อก็สั้น เช่นการเก็บคำสอนทางศาสนาที่ต้องค่อยๆจารลงในใบจารซึ่งใช้เนื้อที่มากและย่อยสลายง่าย ดังนั้นการเก็บข้อมูลต่างๆ มีความยุ่งยากและใช้เนื้อที่มาก แต่ในสมัยนั้นไม่ใช่ปัญหาที่ใหญ่เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนไม่มากเมื่อเทียบกับในยุคปัจจุบันซึ่งข้อมูลต่างๆมีจำนวนมากขึ้นอย่างมหาศาลและมีความหลากหลายขึ้นไม่ว่าจะเป็นข้อความธรรมดา รูปภาพ เสียงและภาพยนตร์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาสื่อบันทึกข้อมูลเพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเรื่อยๆ สื่อบันทึกข้อมูลแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมเพราะมีประสิทธิภาพสูงและมีความคุ้มค่าในแง่ของราคาต่อปริมาณ คือ สื่อบันทึกข้อมูลแบบแม่เหล็ก (เช่น เทปแม่เหล็ก และฮาร์ดดิสก์ในคอมพิวเตอร์) ดังจะพบได้จากการสำรวจในปี ค.ศ. 2000 ข้อมูลส่วนใหญ่จะจัดเก็บในสื่อบันทึกแบบแม่เหล็กในรูปแบบเทปและจาน (magnetic tape and disk) (รูปที่ 1) [1] ทั้งนี้ปริมาณความต้องการจัดเก็บข้อมูลในสื่อบันทึกแบบแม่เหล็กนี้มีสูงขึ้นเรื่อยๆ และเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้กระตุ้นให้เกิดการศึกษาเชิงวิทยาศาสตร์ในระดับนาโนเมตร (10^{-9} m) เพื่อหาวิธีทำให้สารแม่เหล็กที่มีขนาดจำกัดสามารถเก็บปริมาณข้อมูลที่สูงขึ้น เช่น การลดขนาดเม็ดเนื้อสารแม่เหล็ก (เกรนแม่เหล็ก) ที่ใช้เก็บข้อมูลหนึ่งหน่วยย่อยทางดิจิทัล (บิต) ลง ซึ่งจะทำให้สื่อบันทึกข้อมูลมีขนาดเล็กลง แต่บันทึกข้อมูลได้มากขึ้นดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตามขนาดเกรนแม่เหล็กที่เล็กลงนี้ส่งผลให้เสถียรภาพของข้อมูลลดลงตามไปด้วยและเมื่อถึงจุดหนึ่งที่พลังงานความร้อนจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าสูง (แม้ว่าที่อุณหภูมิห้อง) จนทำให้ทิศทางของสภาพแม่เหล็กที่ใช้อ้างอิงเป็นรูปแบบข้อมูลเกิดความผันผวนหักล้างกันจนเข้าสู่สภาพแม่เหล็กพาราแมกเนติก (วารสารฟิสิกส์ไทย ฉบับเดือน ธ.ค. 2547 – ก.พ. 2548 หน้า 19 – 21) จะทำให้ข้อมูล



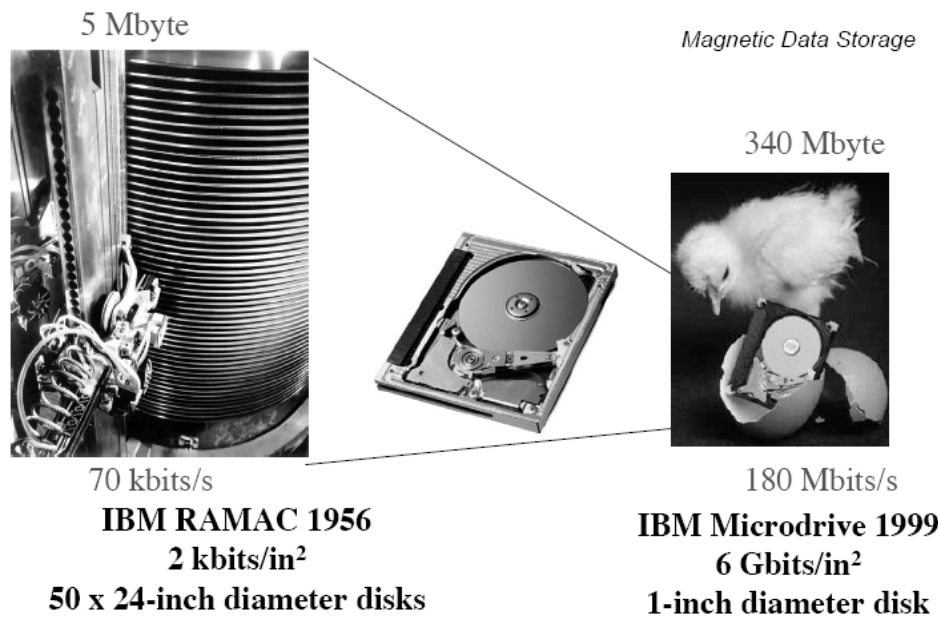
รูปที่ 1 ปริมาณข้อมูลทั่วโลกที่จัดเก็บในสื่อบันทึกข้อมูลรูปแบบต่างๆ ในปี ค.ศ. 2000 [1]

บันทึกเสื่อมไปตามเวลาอย่างรวดเร็วและการขยายขีดความสามารถในการบันทึกข้อมูลของสื่อแบบแม่เหล็กเหล่านี้เริ่มจะถึงทางตัน

ทางออกหนึ่งของปัญหา คือ การลดทอนปัญหาสภาพแม่เหล็กพาราแมกเนติกนี้ โดยการนำอะตอมแม่เหล็กมาเรียงประกอบเป็นกลุ่มก้อนระดับนาโนเมตร (เรียกว่าเกรนแม่เหล็กลานาโน) จากนั้นทำการจัดเก็บบันทึกข้อมูลลงในเกรนแม่เหล็กนี้ในหน่วยบิตโดยอาศัยพื้นฐานของเลขฐานสอง (ระบบที่ประกอบด้วยเลข 0 กับ 1) ซึ่งกำหนดโดยทิศทางของสภาพแม่เหล็กในเกรนนั้นๆ จากการทดลองพบว่าหากเกรนแม่เหล็กนี้มีขนาดที่เหมาะสมในเรณือนาโนเมตรจะมีขนาดของสนามหักล้าง H_c (สนามแม่เหล็กภายนอกที่ต้องใช้เพื่อทำให้สภาพแม่เหล็กลดลงเป็นศูนย์) มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 100 นาโนเมตร และด้วยขนาดของสนามหักล้างที่มากนี้จะทำให้ข้อมูลที่บันทึกลงบนเกรนแม่เหล็กมีเสถียรภาพสูงต่อความผันผวนเนื่องจากความร้อนภายนอก

นอกจากนั้นหากสามารถควบคุมการวางตำแหน่งของเม็ดเกรนแม่เหล็กเหล่านี้ให้วางเรียงตัวเป็นระเบียบเช่นเรียงตัวเป็นเหมือนจุดตัดของกระดาษกราฟมีลักษณะเป็นแถวลำดับ (array) จะทำให้เนื้อที่ทางกายภาพที่จำกัดสามารถวางเกรนแม่เหล็กได้เป็นจำนวนมากกว่าการปล่อยให้เกรนเหล่านี้เกิดแบบสุ่ม ดังนั้นจะยัง

* นักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



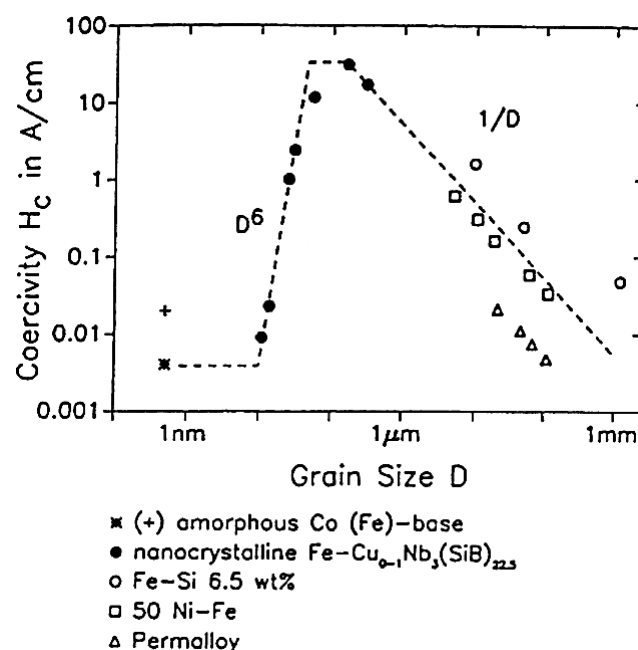
รูปที่ 2 ขนาดของฮาร์ดดิสก์ยุคแรกเริ่มเมื่อปี ค.ศ. 1956 เปรียบเทียบกับขนาดของ Microdrive ของ IBM ในปี ค.ศ. 1999 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการอันรวดเร็วของประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ [2]

สามารถเพิ่มความจุให้กับสื่อบันทึกข้อมูลแม่เหล็กได้เพิ่มขึ้นไปอีก อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติระยะห่างระหว่างจุดเกรนแม่เหล็กดังที่กล่าวมาข้างต้นที่จะต้องมีความสูงกว่าค่าจำกัดค่าหนึ่ง กล่าวคือถ้าระยะทางห่างเป็นระยะหนึ่ง เกรนแม่เหล็กแต่ละเกรนจะเสมือนอยู่โดดเดี่ยวและทิศทางสภาพแม่เหล็กจะมีทิศทางที่ตามที่ถูกตั้งค่าไว้ แต่ถ้าระยะทางระหว่างเกรนถูกลดลง เกรนแม่เหล็กที่เคยเสมือนอยู่

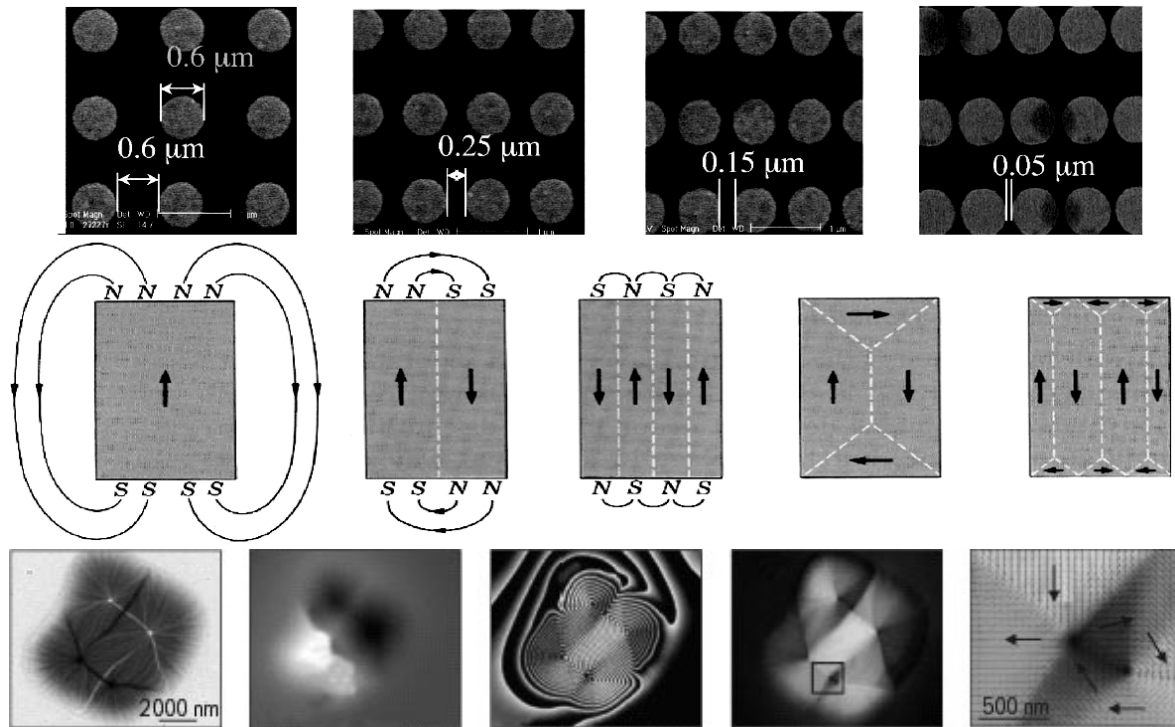
โดดเดี่ยวระหว่างกันจะเริ่มมีอันตรกิริยาต่อกันและทิศทางแม่เหล็กของแต่ละเกรนจะมีการวางตัวเรียงกันเป็นลักษณะวงวนดังแสดงในรูปที่ 4 ทำให้สภาพแม่เหล็กเกิดการหักล้างกันบางส่วนในบางบริเวณและเสถียรภาพของข้อมูลจะเสียไป

ดังนั้นในการออกแบบสื่อบันทึกข้อมูลแบบแม่เหล็กนี้ ในลักษณะการวางเกรนแม่เหล็กขนาดนาโนที่มีรูปแบบแถวลำดับจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่มีความแม่นยำในการจัดเรียงและสามารถควบคุมได้ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการใช้เทคโนโลยีในการเจาะตัดสารของแข็งด้วยลำอิเล็กตรอน (e-beam lithography) อันเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีทางแม่เหล็ก [7] ตัวอย่างผลที่ได้จากการสร้างเกรนแม่เหล็กของสาร Ni ในรีออนนาโนจากเทคนิคนี้เมื่อวัดด้วยเครื่อง AFM (วารสารฟิสิกส์ไทย ฉบับเดือน ก.ย. - พ.ย. 2547 หน้า 21 -23 และฉบับเดือน ธ.ค. 2547 - ก.พ. 2548 หน้า 21 -22) และ MFM แสดงดังในรูปที่ 5

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีเหล่านี้ยังคงอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการไม่ได้ออกสู่ระดับอุตสาหกรรมเนื่องจากเหตุผลในแง่ค่าใช้จ่ายที่สูงอันเป็นปัจจัยหลักที่ต้องคำนึงในการสร้างผลิตภัณฑ์ ดังนั้นแม้ว่าจะมีวิทยาการที่ทราบแน่ชัดว่าหากวางเกรนแม่เหล็กในรีออนนาโนในลักษณะเช่นนี้จะได้สื่อบันทึกข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ถ้าหากว่าเทคโนโลยีที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตยังมีราคาสูง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้จะมีราคาสูงตามไปด้วย ทำให้ไม่เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ตัวอย่างเช่นนี้แสดงให้เห็นถึงความจำเป็นที่มีการร่วมบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีหลายสาขา



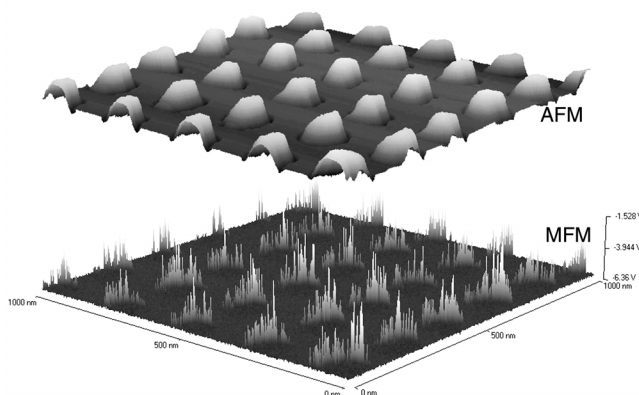
รูปที่ 3 ขนาดของสนามหักล้าง H_C เป็นฟังก์ชันกับขนาดของเกรนแม่เหล็กของสารแม่เหล็กชนิดต่างๆ จะพบว่าในช่วงขนาดเกรนเล็กมากๆ $H_C \propto D^6$ แต่ที่ขนาดเกรนใหญ่ๆ $H_C \propto 1/D$ โดยที่ D คือขนาดของเกรน [3]



รูปที่ 4 (แถวบน) ภาพจากด้านบนแสดงถึงอาร์เรย์ของเกรนแม่เหล็กนาโนของเพอร์มัลลอย(โลหะผสมระหว่างเหล็กและนิกเกิล)ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร วางห่างกันเป็นระยะต่างๆ [4] (แถวกลาง) แผนภาพเค้าร่างทางทฤษฎีแสดงผลจากระยะห่างระหว่างจุดเหล่านี้ในแถวบน ซึ่งทำให้ทิศทางสภาพแม่เหล็กโดยรวมเปลี่ยนจากที่มีเสถียรภาพหนึ่งเดียว(กลาง-ซ้าย)เมื่อขนาดห่างมีค่ามาก ไปสู่ทิศทางสภาพแม่เหล็กมีลักษณะหมุนวนทำให้สภาพแม่เหล็กโดยรวมหักล้างกันมีขนาดลดลงเมื่อระยะห่างลดลง(กลาง-ขวา) [5] และ(แถวล่าง)สภาพแม่เหล็กที่วัดได้จาการทดลองของสารแม่เหล็กนาโนเพอร์มัลลอยแสดงให้เห็นขนาดของสภาพแม่เหล็ก [6]

ประกอบกันเพื่อการพัฒนาไปพร้อมๆกันแล้วนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ในที่สุด

นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีแม่เหล็กนาโนเพื่อใช้ในทางอุตสาหกรรมสื่อบันทึกข้อมูลนี้เป็นเพียงหนึ่งในประโยชน์มหาศาลที่แม่เหล็กนาโนพึงมีได้ ประโยชน์ในด้านอื่นๆ ของแม่เหล็กนาโนนอกเหนือจากในด้านสื่อบันทึกข้อมูลจะนำเสนอในโอกาสต่อไป



รูปที่ 5 ภาพจำลองเกรนแม่เหล็กขนาดนาโนและขนาดสภาพแม่เหล็กของสาร Ni จากเครื่อง AFM และ MFM [8]

เอกสารอ้างอิง

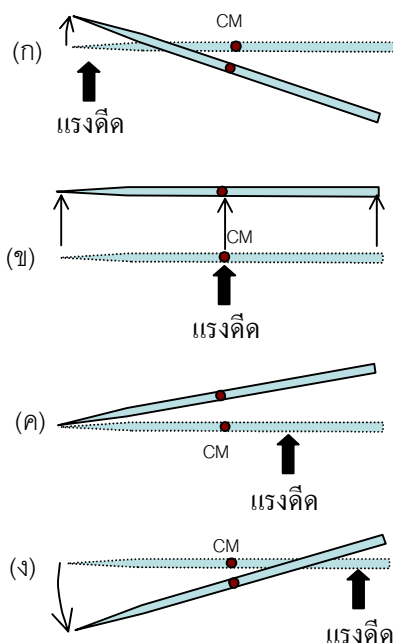
- [1] Miura Y., 2001, *Fujitsu Sci. Tech. J.* **37**, 111.
- [2] Bader S. D., "Opportunities in nanomagnetism", presentation slides, TEXAS A&M university, Sept. 9th, 2004.
- [3] Shek C. H., Y. Z. Shao, and Joshep K. L. Lai, 2000, *Physica A* **276**, 201.
- [4] Novosad, V., K. Yu. Guslienko, H. Shima, Y. Otani, K. Fukamichi, N. Kikuchi, O. Kitakami, and Y. Shimada, 2001, *IEEE Trans. Magn.* **37**, 2088.
- [5] Kittel, C., 1996, *Introduction to Solid State Physics*, 7th ed. (Wiley, New York), p. 475.
- [6] Hämmerle H. and N. Crémel, 2006, *CERN Courier* **46**, 23.
- [7] Hosaka S., H. Sano, K. Itoh, and H. Sone, 2006 *Microelectron. Eng.* **83**, 792.
- [8] "Northwestern University Mesoscopic Physics Group", <<http://meso.phys.northwestern.edu/images/MFM-AFM.JPG>>
- [9] Bader S. D., 2006, *Rev. Mod. Phys.* **78**, 1.
- [10] Khurshudov A. and R. J. Waltman, 2001, *Wear* **251**, 1124.

ศูนย์กลางการตี (Center of Percussion)

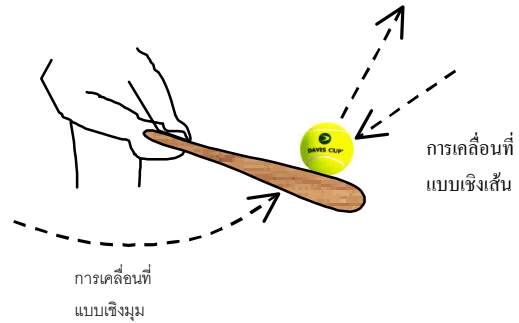
สมชาย เกียรติกมลชัย

มหกรรมกีฬาฟุตบอลโลกเพิ่งจะผ่านพ้นไปครับ ก็หวังว่าแฟนบอลคงพ้นจากอาการตาตำแพนด้ากันเป็นที่เรียบร้อยแล้วนะครับ เรียนเล่นฟิสิกส์ตอนนี้ก็ยังคงอยู่ในท่ามกลางควันทองของกีฬา เราคงสังเกตเห็นได้ว่ากีฬาหลายประเภทต้องอาศัยการตีลูกบอล อาจด้วยอวัยวะส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายเราเองเช่น การเตะลูกฟุตบอล การตีหรือขว้างลูกวอลเลย์บอล หรือจะใช้อุปกรณ์ช่วยตีอย่างเช่น ไม้เทนนิส ไม้เบสบอล ไม้แบดมินตัน เป็นต้น การเคลื่อนที่เข้าชนกันของไม้ตี (เรียกรวมอวัยวะและอุปกรณ์ช่วยตี) กับลูกบอลเป็นไปในลักษณะที่ไม้ตีมักจะหมุนรอบจุด ๆ หนึ่งหรือเป็นแบบเชิงมุม ในขณะที่ลูกบอลจะเคลื่อนที่แบบเชิงเส้น ดังรูปที่ 1

หลายคนมีประสบการณ์การตีว่าถ้าลูกบอลกระทบไม้ตรงตำแหน่ง ๆ หนึ่งจะรู้สึกได้รุนแรงและสามารถแกว่งไม้ตามได้อย่างสวยงาม ทิศทางของลูกบอลก็จะตรงไปอย่างที่ต้องการ (หรืออย่างน้อยก็ไม้ออกนอกกรอบนอกทางไปหาคนข้างสนาม)



รูปที่ 2 การออกแรงตีที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแท่งดินสอไม่สามารถทำให้ปลายแหลมของดินสอทำหน้าที่เป็นจุดหมุนได้ (ก,ข,ง) ยกเว้น กรณีที่แนวแรงผ่านจุด CP (ค) ของแท่งดินสอที่ทำให้แท่งดินสอหมุนรอบปลายแหลมอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 1 การตีลูกบอลด้วยไม้ตีประกอบด้วยการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมของไม้ตีและแบบเชิงเส้นของลูกบอล

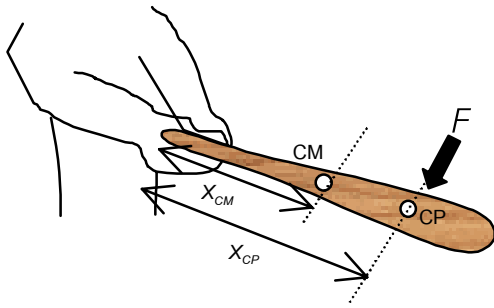
แต่ถ้าตีผิดตำแหน่ง ลูกไม้แรง บังคับยาก และที่สำคัญคือถ้าจับจะเลื่อนขยับจากมือทำให้ต้องออกแรงจับมากขึ้น มิฉะนั้นแล้วไม้ก็จะหลุดจากมือได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าไม้ก็ออกแรงตีกลับไปที่มือและจุดหมุนของการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมพยายามที่จะเลื่อนไปจากจุดเดิม ตำแหน่งบนไม้ที่ตีแล้วเป็นไปในลักษณะแรกมีชื่อว่า **ศูนย์กลางการตี (Center of Percussion, CP)** คำถามที่เป็นโจทย์สำหรับฉบับนี้คือเราจะหาตำแหน่งดังกล่าวได้อย่างไร

เราอาจประมาณตำแหน่ง CP คร่าว ๆ ได้จากการทดลองง่าย ๆ ดังนี้ สมมติว่าเราสนใจจุด CP ของแท่งดินสอแท่งหนึ่ง (ควรเป็นดินสอที่ผิวเรียบตลอดแท่ง) บนโต๊ะพื้นเรียบและออกแรงตีที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแท่งดินสอ หาดำแหน่งที่ตีแล้วปลายด้านใดด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นจุดหมุนอย่างแท้จริง ไม่มีการเลื่อนตำแหน่งจุดนั้นจะเป็น CP ข้อที่น่าสังเกตประการหนึ่งคือ CP ไม่ใช่จุดเดียวกับกับศูนย์กลางมวล (Center of Mass, CM) ของระบบ ทั้งนี้เพราะถ้าเราออกแรงกระทำต่อแท่งดินสอโดยแนวแรงผ่านจุด CM แท่งดินสอจะเลื่อนไปทั้งแท่ง ดังรูปที่ 2(ข) ไม่มีสภาพการหมุนเกิดขึ้น

ภาคคำนวณของการหาดำแหน่ง CP สามารถแยกพิจารณาได้สองแบบ

แบบที่ 1 การคำนวณจากการชนจริง ๆ

สมมติว่าแรงส่วนใหญ่ที่กระทำต่อไม้มาจากการชนกับลูกบอล ดังแสดงในรูปที่ 3 และมือจับด้ามไม้แบบหลวม ๆ เพื่อให้ด้ามจับทำหน้าที่เป็นจุดหมุนโดยสมบูรณ์ แรง F ที่ลูกบอลกระทำต่อไม้จะส่งผลต่อการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของไม้ในสอง



รูปที่ 3 แรง F กระทำต่อไม้ที่ผ่านจุด CP

ลักษณะ ลักษณะแรกคือ การเปลี่ยนสภาพการเลื่อนตำแหน่งของ CM ณ เวลาที่ตีลูกบอล แรงทำให้ไม่เกิดความเร่งซึ่งความเร่งของศูนย์กลางมวล (a_{CM}) จะสัมพันธ์กับแรง F ดังสมการ

$$F = Ma_{CM} \quad (1)$$

เมื่อ M เป็นมวลทั้งหมดของไม้ ลักษณะที่สองที่แรงกระทำต่อไม้ คือมีการเปลี่ยนสภาพการหมุนของไม้รอบจุดหมุนซึ่งในที่นี้คือ ค้ำจับ ปริมาณที่เราต้องคำนึงถึงคือผลคูณระหว่างแรงที่ตั้งฉากกับแนวไม้และระยะทางจากจุดหมุนถึงแรงซึ่งถูกเรียกว่าทอร์ก (torque, τ)

$$\tau = Fx_{CP} \quad (2)$$

ผลของทอร์กทำให้สภาพการหมุนเปลี่ยน กล่าวคือเกิดความเร่งเชิงมุม α ที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งเป็นไปตามสมการ

$$\tau = I\alpha \quad (3)$$

เมื่อ I เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยของไม้ สำหรับมวลต่อเนื่องโมเมนต์ความเฉื่อยนิยามเขียนในรูปทั่วไปดังนี้

$$I = Mk^2 \quad (4)$$

โดย k เป็นค่ารัศมีไจเรชัน ค่ารัศมีไจเรชันนี้เป็นรัศมีซึ่งเสมือนว่ามวลทั้งหมดไปรวมกันอยู่ที่นั่น ลักษณะการเคลื่อนที่ทั้งสองแบบ มีความสัมพันธ์กันผ่านค่าความเร่งเชิงมุม α และค่าความเร่งเชิงเส้น a_{CM}

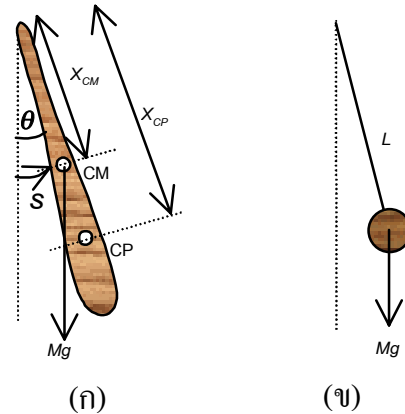
$$a_{CM} = \alpha x_{CM} \quad (5)$$

โดยการรวมสมการที่ (1) ถึง (5) เราจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$x_{CP} = \frac{k^2}{x_{CM}} \quad (6)$$

แบบที่ 2 การคำนวณจากการแกว่งแบบ physical pendulum

เนื่องจากค้ำจับทำหน้าที่เป็นจุดหมุนโดยสมบูรณ์ ดังนั้นอีกแนวคิดหนึ่งของการหา CP คือการหาดำแหน่งซึ่งเสมือนว่ามวลทั้งหมดไปรวมกันที่จุดนั้นแล้วทำให้คาบการแกว่ง



รูปที่ 4 การแกว่งแบบ (ก) physical pendulum และ (ข) simple pendulum

ไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือเปลี่ยนจากการแกว่งแบบ physical pendulum ซึ่งเป็นการแกว่งของมวลต่อเนื่องไปเป็นแบบ simple pendulum ซึ่งเป็นการแกว่งของจุดมวล (รูปที่ 4)

พิจารณาทอร์กของไม้รอบจุดหมุน จาก $\tau = I\alpha$ เรามี

$$\tau = (Mg \sin \theta) x_{CM} \quad (7)$$

ซึ่งสำหรับมุม θ น้อย ๆ ค่า $\sin \theta \approx \theta \approx \frac{s}{x_{CM}}$ เมื่อ s เป็นการขจัดจากแนวสมดุลไปตามส่วนโค้งวงกลม จากสมการที่ (5) เราจะได้ว่า $\alpha = \frac{a_{CM}}{x_{CM}}$ ซึ่งเมื่อรวมกันเราจะได้ว่า

$$a_{CM} = \left(\frac{Mgx_{CM}}{I} \right) s \quad (8)$$

เนื่องจากค่าความเร่งที่ได้มีขนาดที่แปรผันตรงกับการขจัด s ดังนั้นการแกว่งนี้จึงเป็นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกและเทอมที่อยู่ในวงเล็บมีค่าเป็น ω^2 ของระบบเมื่อ ω เป็นอัตราเร็วเชิงมุมของการแกว่ง (ไม่ใช่อัตราเร็วเชิงมุมของจุดใด ๆ บนไม้ซึ่งเปลี่ยนไปตามเวลา)

$$\omega = \sqrt{\frac{Mgx_{CM}}{I}} = \sqrt{\frac{Mgx_{CM}}{Mk^2}} = \sqrt{\frac{g}{k^2/x_{CM}}} \quad (9)$$

คำตอบที่ได้เป็นกรณีการแกว่งแบบ physical pendulum ซึ่งถ้าเป็นกรณีการแกว่งแบบ simple pendulum [ดูรูปที่ 4 (ข)] ที่มีมวลทั้งหมดไปรวมกันอยู่ที่ระยะ L จะมี

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (10)$$

ดังนั้นเราอาจสรุปได้ว่าค่า $L = \frac{k^2}{x_{CM}}$ นี้เป็นระยะ x_{CP}

ของไม้ นั่นเองอ่านเสร็จแล้วก็ลองทดสอบดูนะครับกับไม้เทนนิสหรือไม้เบดมินตันก็ได้ลองหาคาบการแกว่งดู แล้วดูซ้ำๆ ที่ได้จากสมการที่ (9) ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ตีจริง ๆ แค่ไหน....

สอนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร? (The Question of Faith in Teaching Physics)

พรรัตน์ วัฒนกุลวิรัช

ฉบับนี้ขอเขียนเนื้อหาที่แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับมุมมองการสอนฟิสิกส์ ผู้เขียนได้มีโอกาสอ่านบทความที่น่าสนใจชิ้นหนึ่ง เกี่ยวกับประสบการณ์การสอนฟิสิกส์ จากมาร์ค เวลลีย์ (Mark Whalley) ครูสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาต้นที่ประเทศอังกฤษ มาร์คจบปริญญาเอกด้านฟิสิกส์อนุภาคและเคยทำวิจัยที่ CERN สามปี ก่อนที่จะตัดสินใจมาเป็นครู มาร์คเล่าถึงชีวิตครูวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมต้นในประเทศอังกฤษ ที่ดูจะคล้ายๆ กับครูสายวิทยาศาสตร์ของไทยที่ต้องสอนได้หลากหลายวิชา อย่างเช่นเขาเคยสอนวิชาชีววิทยามาแล้ว แม้ว่าเขาจะจบเอกฟิสิกส์ ในเส้นทางอาชีพครู มาร์คประสบความสำเร็จอย่างมากในช่วงปี 2003 เมื่อลูกศิษย์ของเขาเข้ารอบสุดท้ายการแข่งขันฟิสิกส์ระดับประเทศ แต่จากนั้นไม่นานหลายสิ่งเริ่มสั่นคลอนความมั่นใจและศรัทธาของมาร์คต่อการสอนฟิสิกส์

มาร์คเล่าว่าในปัจจุบันเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ในหลักสูตรของประเทศอังกฤษแตกต่างจากสมัยที่เขาเรียน (ประมาณยี่สิบกว่าปีก่อน) มากๆ เขาสอนฟิสิกส์ที่แทบจะไม่ใช้คณิตศาสตร์ แต่เน้นการใช้ทักษะการค้นคว้าหรือการทดลองมากกว่า ทั้งนี้เขาต้องปรับปรุงวิธีการสอนฟิสิกส์ให้น่าสนใจ น่าเรียนมากกว่าสมัยก่อน เนื่องมาจากจำนวนนักเรียนที่เลือกเรียนฟิสิกส์ลดลง แต่ความพยายามเหล่านี้ก็ดูจะไร้ผล ปัจจุบันเหล่านี้นับวันบนทอนความเชื่อมั่นและศรัทธาในการสอนฟิสิกส์ของเขา มาร์คสับสนและเริ่มตั้งคำถามกับตนเองว่าสอนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร? สิ่งที่

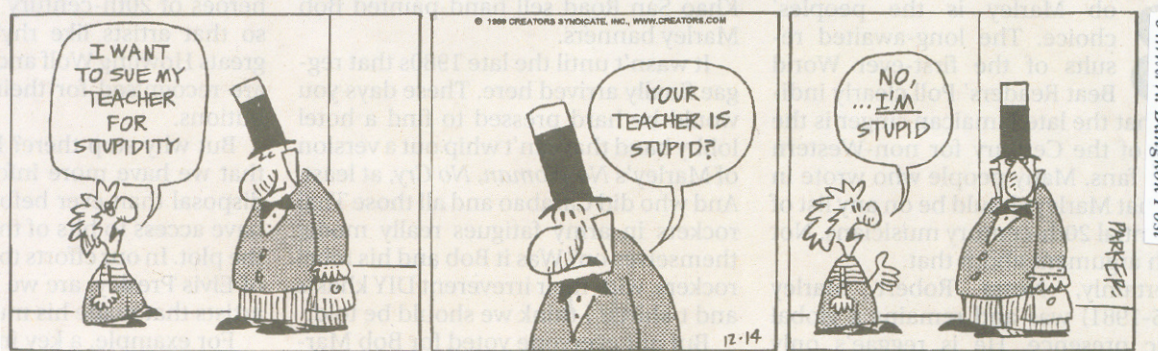
เขาสอนมีคุณค่ามากน้อยแค่ไหน? และในหลายๆ ครั้งเขาคิดว่าเขาสอนแก่นให้นักเรียนได้คะแนนสอบมากที่สุด เพื่อโรงเรียนของเขาจะได้บรรลุเป้าหมาย

“Often I think I teach just to ensure that my pupils get the best exam grades so that my school meets its target.”

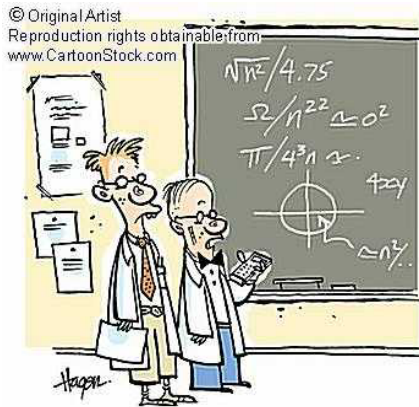
หลายครั้งผมคิดว่าผมสอนให้นักเรียนได้คะแนนสอบมากที่สุด เพื่อโรงเรียนของผมจะได้บรรลุเป้าหมาย

อ่านมาถึงตรงนี้ผู้อ่านโดยเฉพาะครูฟิสิกส์ทั้งหลายอย่าเพิ่งถอดใจไปก่อนนะค่ะ มาร์คเล่าต่อว่าการที่คิดแล้วว่าสอนเพื่อให้นักเรียนได้คะแนนมากที่สุด มันทำให้ชีวิตการเป็นครูของเขาเริ่มเหี่ยวเฉาและเขาก็รู้สึกว้าวมองนี่ไม่เป็นผลดีต่อการเป็นครูเลย เขาเริ่มเปลี่ยนมุมมองและคิดว่าทำเช่นไรจะสอนให้นักเรียนของเขาเข้าใจฟิสิกส์ อย่างเช่น ในเวลาเก็บใบเขาสอนกฎของโอห์ม $V = IR$ มาเป็นร้อยๆ ครั้ง เขาเริ่มคิดและค้นหาเทคนิคและวิธีใหม่ๆ ที่จะอธิบายหลักการนี้จากการอ่านงานวิจัยทางด้านฟิสิกส์ศึกษา และสังเกตว่านักเรียนทำความเข้าใจหรือมีความเข้าใจหลักการนี้อย่างไร มุมมองต่อการสอนฟิสิกส์ที่เปลี่ยนไปนี้ทำให้เขาไขว่คว้าหาความรู้เพิ่มเติมและลองสอนด้วยวิธีใหม่ๆ สิ่งเหล่านี้ทำให้เขากลับมามีความสุขกับการสอนฟิสิกส์และพอใจที่นักเรียนของเขาเข้าใจฟิสิกส์ที่ถูกต้องจากการสอนของเขาอย่างที่มีมาร์คเขียนไว้ในตอนหนึ่งของบทความว่า

THE WIZARD OF ID



อภินันท์ บุญกมล Post



I'M AFRAID THE NUMBERS DON'T LIE NORTON,
WE'RE DEFINITELY NERDS.

“Very little beats the satisfaction I derive when I get a class of 11 year olds to appreciate that current is not “used up” in the circuits ...”

ความพอใจเล็กๆ ของผมได้มาจาก ตอนที่ผมทำให้นักเรียนวัย 11 ขวบ ตระหนักว่ากระแสไฟฟ้าไม่ได้ “ถูกใช้ไป” ในวงจร

ผู้เขียนเชื่อว่านอกจากมาร์ค ครูหรืออาจารย์ฟิสิกส์หลายท่านอาจจะเคยหรือกำลังประสบวิกฤตศรัทธาในวิชาชีพครูอยู่ ตัวผู้เขียนเองก็เคยประสบกับวิกฤตนี้ตอนที่เป็นักเรียนช่วยสอน และได้เคยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนๆ ที่เป็นนักเรียนช่วยสอนด้วยกันและอาจารย์ที่สอนสัมมนาการสอนสำหรับนักเรียนช่วยสอน อาจารย์ให้คำแนะนำที่ดีมากๆ และผู้เขียนยึดถือเป็นหลักการคิดมาจนทุกวันนี้ อาจารย์แนะนำว่า**ก่อนอื่นต้องทำใจยอมรับว่านักเรียนในห้องเรียนฟิสิกส์ของเราไม่ใช่ตัวเรา** เพราะฉะนั้นเขามีวิธีคิดและความสนใจที่แตกต่างจากเรา นั่นหมายถึงนักเรียนเหล่านั้นอาจจะไม่ชอบฟิสิกส์เลยก็เป็นได้ แต่หน้าที่ของเราที่สอนฟิสิกส์จะต้องทำให้เขาตระหนักถึงความสำคัญของฟิสิกส์ อย่างน้อยก็ต่อการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันหรือในบางสาขาวิชาให้เขาเห็นถึงความสำคัญของฟิสิกส์ต่อวิชาชีพของเขา ดังนั้นคำถามที่ว่า**สอนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร?** นั้น ไม่ใช่เฉพาะเราผู้สอนที่จะต้องตอบคำถามนี้ แต่เราจะต้องทำให้ผู้เรียนตระหนักถึงคำตอบของคำถามนี้ในแง่ที่ว่า **เขาเรียนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร?** ซึ่งต้องอาศัยความพยายามและการเรียนรู้ของผู้สอนในการที่จะปรับปรุงและพัฒนาการสอน เพื่อให้ผู้เรียนเห็นถึงความสำคัญของฟิสิกส์ต่อชีวิตของเขา ไม่ใช่เรียนฟิสิกส์เพื่อแค่ให้สอบผ่าน เมื่อถึงจุดนั้นเราเองก็ได้ตอบคำถามแล้วว่า เราสอนฟิสิกส์ไปเพื่ออะไร

ที่มา:

“Lateral Thoughts: The truth about teaching,” M. Whalley, Phys. World, 52 (February 2006).

เวกเตอร์ III :

เรขาคณิต ผลคูณภายในและเวกเตอร์ทั่วไป

ชาญกิจ คั่นฉ่อง

ในกรอบเนื้อแบบกาลิเลียน อวกาศ มีอาณาบริเวณ 3 มิติและสมมาตร ซึ่งกำหนดสมบัติของปริมาณเวกเตอร์ที่อาศัยอยู่ภายในว่า: (ก) มีทิศ และไม่แปรเปลี่ยน (invariant) ในการแปลงอวกาศ (หรือกรอบการสังเกตหนึ่ง) (ดู เวกเตอร์ I, วารสารฟิสิกส์ไทย มี.ค.-พ.ค. 2549), (ข) มีการบวกเวกเตอร์ที่เป็นการดำเนินการระหว่างเวกเตอร์ให้ผลเป็นเวกเตอร์ที่ “ง่ายที่สุด” และไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศ (ดูเวกเตอร์ II, วารสารฟิสิกส์ไทย มี.ย.-ธ.ค. 2549) ซึ่งอธิบายให้เห็นภาพได้ง่ายโดยใช้ การบวกการกระจัด $\vec{d}_3 = \vec{d}_1 + \vec{d}_2$ ที่ต่อกันเป็นรูปสามเหลี่ยมการบวก ดังภาพที่ 1.(ด้านล่าง) ซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปในการแปลงอวกาศ

แต่เรายังไม่ได้กล่าวถึงสมบัติเรขาคณิตของอวกาศเลย สำหรับอวกาศแบบกาลิเลียนมีเรขาคณิตแบบยูคลิด คือมีความสัมพันธ์ของด้านรอบรูปสามเหลี่ยมมุมฉากเป็นไปตามทฤษฎีบทพีทาโกรัส ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของด้านรอบรูปสามเหลี่ยมการบวกเป็นดังสมการ

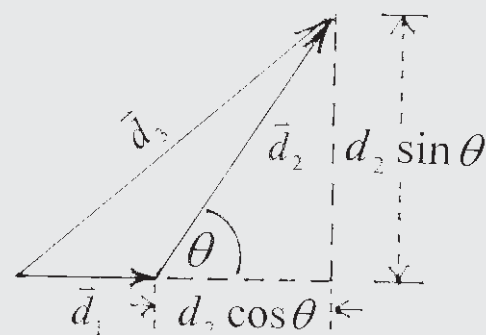
$$d_3^2 = (d_1 + d_2 \cos \theta)^2 + (d_2 \sin \theta)^2 \quad (1)$$

$$= d_1^2 + d_1^2 + 2d_1 d_2 \cos \theta$$

ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศเช่นกัน และเป็นที่มาของสมบัติทั่วไปอีกประการหนึ่งของเวกเตอร์เรียกว่า ผลคูณภายใน (inner product)

สมบัติบางประการเกี่ยวกับอาณาบริเวณเส้นทางในอวกาศ

เส้นทาง เป็นอาณาบริเวณง่ายที่สุดในอวกาศที่มีสมบัติขนาด เช่น สมบัติระยะทาง เส้นทางที่มีระยะทางน้อยที่สุด



ภาพที่ 1

เชื่อมต่อกันระหว่างจุด 2 จุดเรียกว่าเส้นตรง การกระจัดมีอาณาบริเวณเป็นเส้นตรงมุ่งจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง ทุกการกระจัด $\vec{d}$ ที่เป็นผลการดำเนินการเชิงเส้น (linear combination) ของการกระจัดที่ต่างกันคู่หนึ่ง กล่าวคือ $\vec{d} = a\vec{d}_1 + b\vec{d}_2$ จะแสดงจุดของอาณาบริเวณระนาบ พิจารณาเส้นทางที่ลากรอบจุดๆ หนึ่งไปบนระนาบโดยให้มีระยะห่างหรือรัศมีจากจุดนั้นเท่ากันหมด เรียกว่า วงกลม เรียกความยาวส่วนของเส้นรอบวงที่เชื่อมต่อกัน 2 จุดบนวงกลมที่ได้ปรับบรรทัดฐานโดยการหารด้วยรัศมีให้ใช้ได้กับทุกวงกลมว่า มุม จะเห็นว่า มุม เป็นความสัมพันธ์ชนิดหนึ่งระหว่างเส้นตรงหรือการกระจัด 2 เส้นที่เชื่อมระหว่างจุดศูนย์กลางวงกลมกับแต่ละจุดบนเส้นรอบวง เนื่องจากมุมนิยามจากสัดส่วนระยะทางจึงมีสมบัติสมมาตร คือ มุมที่การกระจัด $\vec{d}_1$ กระทำกับ $\vec{d}_2$ เท่ากับมุมที่การกระจัด $\vec{d}_2$ กระทำกับ $\vec{d}_1$

ผลคูณภายในของเวกเตอร์

ความสัมพันธ์ของด้านรอบรูปสามเหลี่ยมการบวกเวกเตอร์ (1) เป็นความสัมพันธ์ของขนาดระยะทางที่เป็นปริมาณสเกลาร์ แต่ก็ยังมี concept เกี่ยวกับทิศของรูปร่างสามเหลี่ยมแฝงอยู่ในรูปมุม θ จึงพยายามเขียนความสัมพันธ์นี้ในรูปปริมาณที่มีทิศทางเป็นสมบัติพื้นฐานในอวกาศ นั่นคือเวกเตอร์ โดยหาวิธีนิยามการดำเนินการชนิดหนึ่งของเวกเตอร์ที่ได้ผลเป็น จำนวน พิจารณารูปสามเหลี่ยมโดยกำหนดให้การดำเนินการดังกล่าวของเวกเตอร์กับตัวมันเองได้ผลเป็นขนาดของมันเองกำลังสอง กล่าวคือ $\vec{d}_3 \cdot \vec{d}_3 = d_3^2$, $\vec{d}_1 \cdot \vec{d}_1 = d_1^2$, และ $\vec{d}_2 \cdot \vec{d}_2 = d_2^2$ ส่วนกรณีอื่นๆ นิยามให้สอดคล้องกับสมการ (1) ดังนี้

$$\begin{aligned} (\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \cdot (\vec{d}_1 + \vec{d}_2) &= \vec{d}_3 \cdot \vec{d}_3 = d_1^2 + d_2^2 + 2d_1d_2 \cos \theta \\ &= d_1d_1 \cos 0 + d_1d_2 \cos \theta + d_2d_1 \cos \theta + d_2d_2 \cos 0 \\ \theta &= \vec{d}_1 \cdot \vec{d}_1 + \vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2 + \vec{d}_2 \cdot \vec{d}_1 + \vec{d}_2 \cdot \vec{d}_2 \end{aligned} \quad (2)$$

พิจารณารูปสามเหลี่ยม 2 เป็นการจัด (1) ให้ทุกพจน์อยู่ในแบบแผนเดียวกัน และกระจายให้คล้ายกับการกระจายผลบวกกำลังสอง ซึ่งให้แนวคิดในการนิยามการดำเนินการระหว่างเวกเตอร์ที่มีสมบัติสอดคล้องกับแบบแผนดังกล่าว ดังนี้

$$\vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2 \equiv d_1d_2 \cos \theta = \vec{d}_2 \cdot \vec{d}_1 \quad (3)$$

ทำให้ได้การดำเนินการในขั้นตอน 3 ที่มีสมบัติ:-

(b1) ถ้าดำเนินการระหว่างเวกเตอร์ที่มีทิศเดียวกัน ($\theta = 0$) จะให้ค่าบวกอย่างเดียว และมีความสอดคล้องกันของกรณี $\theta = 0$ และ $0 \leq \theta \leq \pi$

(b2) มีสมบัติเชิงเส้นคู่ (bilinear) คล้ายผลบวกกำลังสองของจำนวน

$$\begin{aligned} \vec{d}_1 \cdot (\vec{d}_1 + \vec{d}_2) &= \vec{d}_1 \cdot \vec{d}_1 + \vec{d}_1 \cdot \vec{d}_2 \\ (\vec{d}_1 + \vec{d}_2) \cdot \vec{d}_1 &= \vec{d}_1 \cdot \vec{d}_1 + \vec{d}_2 \cdot \vec{d}_1 \end{aligned} \quad (4)$$

(b3) มีสมมาตรในการสลับที่ (3) สอดคล้องกับ concept มุม

สมบัติเหล่านี้ทำให้มีวิธีดำเนินการกับเวกเตอร์ที่ง่ายในการได้ความสัมพันธ์เชิงเรขาคณิต (1) ออกมา เรียกการดำเนินการ (3) ว่า ผลคูณภายใน สรุปคือ เรขาคณิตของอวกาศกำหนดแบบแผนความสัมพันธ์ (relation pattern) ของขนาดของเวกเตอร์ที่มาบวกกัน โดยสามารถเขียนเป็นภาษาใหม่ในรูปผลคูณภายใน ที่มีสมบัติทั่วไปดัง (b1)-(b3)

เวกเตอร์ในระบบสัจพจน์ และตัวแทนเวกเตอร์

สรุป (รวมบทความ เวกเตอร์ I และ เวกเตอร์ II ด้วย): อวกาศกำหนดสมบัติทั่วไปของเวกเตอร์ ดังนี้

(a) สมบัติเชิงเส้น: อวกาศมีอาณาบริเวณต่อเนื่องที่มีมิติทำให้มีปริมาณเวกเตอร์ที่มีขนาดและทิศทาง และสามารถต่อกันเป็นรูปสามเหลี่ยมการบวก ซึ่งเป็นการดำเนินการระหว่างเวกเตอร์เป็นเวกเตอร์ที่ “ง่ายที่สุด” (เพราะไม่มีข้อมูลเกิน) เรียกว่า การบวกเวกเตอร์ และจากจำนวนมิติของอวกาศบ่งบอกว่า ในอวกาศมีเวกเตอร์ชุดหนึ่งในจำนวนเท่ากับมิติ เรียกว่า ฐานหลัก ที่สามารถทำ linear combination กันได้เป็นเวกเตอร์ใดก็ได้

(b) สมบัติเรขาคณิต: เรขาคณิตแบบยูคลิดของอวกาศกำหนดความสัมพันธ์ของด้านและมุมต่างๆ ของสามเหลี่ยมการบวกเวกเตอร์ ซึ่งสามารถเขียนในรูปการดำเนินการที่เรียกว่า ผลคูณภายใน ที่มีสมบัติทั่วไปคือ สลับที่ได้, เป็นเชิงเส้นคู่, และถ้าคูณระหว่างเวกเตอร์เดียวกันจะได้เป็นค่าบวกอย่างเดียว

(c) สมบัติสมมาตร: อวกาศสมมาตรทำให้มีหลักสัมพัทธภาพ คือ ปริมาณเวกเตอร์ไม่แปรเปลี่ยนในการแปลงอวกาศซึ่งกำหนดวิธีแปลงอวกาศที่รักษาปริมาณเวกเตอร์ว่าเป็น การเลื่อนขนาน และการหมุน

เราสามารถถือว่า ข้อความตัวหนา ในข้อ (a)-(c) เป็นสัจพจน์ (axioms) นิยามความเป็นเวกเตอร์แล้วใช้สัจพจน์เหล่านี้แสดงสมบัติทั้งหมดของเวกเตอร์ออกมา ซึ่งเป็นวิธี formulation เวกเตอร์ที่เรียกว่า ระบบสัจพจน์ (axiomatic approach) เช่น

จาก (a) และ (b) สามารถแสดงได้ว่า มีเวกเตอร์ฐานหลักหนึ่งหน่วยที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันชุดหนึ่งเขียนเป็น $\{\hat{e}_i\}$ โดยที่ $i = x, y, z$ และ $\hat{e}_i \cdot \hat{e}_j = \delta_{ij}$ เรียกว่า orthonormal basis ที่สามารถใช้เขียนเวกเตอร์ใดๆ ได้ดังนี้

$$\vec{u} = \sum_{i=1}^n u^i \hat{e}_i = \sum_{i=1}^n \hat{e}_i (\hat{e}_i \cdot \vec{u}) \quad (5)$$

และเขียนขนาดเวกเตอร์ในรูปองค์ประกอบ (components) u^i ได้ว่า

$$u^2 = (u^x)^2 + (u^y)^2 + (u^z)^2 \quad (6)$$

จะเห็นว่าการแสดงเวกเตอร์ใดใดในรูป orthonormal basis ทำให้สามารถเขียนเวกเตอร์และขนาดในรูปที่มีการแยกแยะพจน์ตามองค์ประกอบที่เป็นจำนวน 3 ตัวได้ ทำให้การดำเนินการต่างๆ กับเวกเตอร์ทำได้สะดวกขึ้น โดยแยกกันดำเนินการกับแต่ละองค์ประกอบ จึงสามารถใช้สิ่งอันดับ (ordered tuple) ขององค์ประกอบ (u^x, u^y, u^z) เป็น ตัวแทนแบบจำนวน (number representative) ของเวกเตอร์ได้

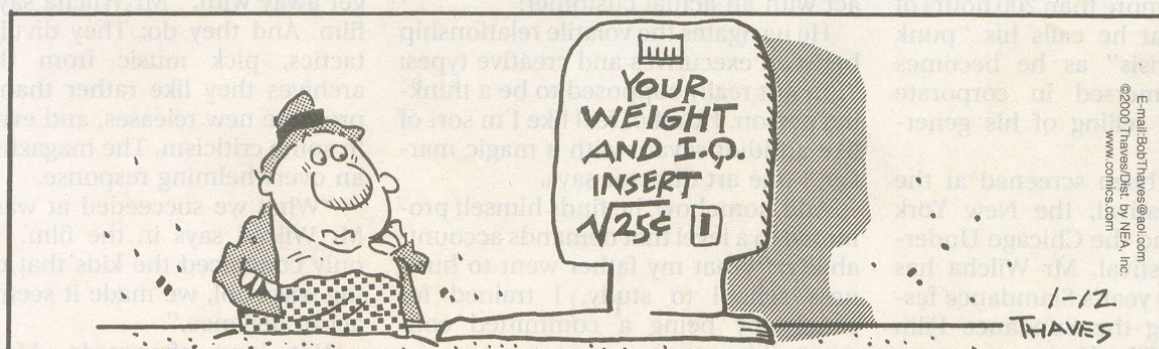
ถ้าเรารู้จักแกนพิกัดชุดหนึ่งในอวกาศมาก่อนโดยใช้เป็นฐานหลักของเวกเตอร์ และทราบ concept มุมในอวกาศ ก็สามารถใช้ (u^x, u^y, u^z) สร้างภาพเรขาคณิตหรือภาพลูกศรเวกเตอร์ในอวกาศขึ้นมาได้ ดังนั้นแกนพิกัดและมุมในอวกาศเปรียบเสมือนท่าเรือที่เชื่อมสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ในระบบอ้างอิงนามธรรมกับภาพเรขาคณิตรูปธรรม

เวกเตอร์ทั่วไป

เวกเตอร์ทั่วไปไม่จำเป็นต้องนิยามในอวกาศ 3 มิติแบบยูคลิดของกรอบเฉื่อย แต่นิยามในอวกาศชนิดใดใดที่มีสมบัติ

อาณานิเวศ, มิติ, เรขาคณิต, และสมมาตร ในรูปแบบแตกต่างกันไป ซึ่งจะให้เวกเตอร์ที่อาศัยอยู่แตกต่างกัน เราสะดวกที่จะกำหนดสมบัติของเวกเตอร์ในอวกาศแต่ละชนิดในรูปสัญพจน์ (a)-(c) ที่สอดคล้องกับสมบัติอวกาศชนิดนั้นๆ เพราะไม่จำเป็นต้องนึกภาพ (เนื่องจากนึกภาพได้ยาก) ก็มีสมบัติทั่วไปที่จะใช้คำนวณได้อย่างสมบูรณ์ เช่น เวกเตอร์ในอวกาศแบบฮิลเบิร์ตในกลศาสตร์ควอนตัมที่อยู่ในอวกาศแบบฮิลเบิร์ต (Hilbert space) ที่เป็นอวกาศเชิงซ้อนที่มีมิติจำนวนอนันต์ ทำให้ได้สัญพจน์ของเวกเตอร์ในอวกาศนี้ว่า มีเวกเตอร์สองชนิดที่สมนัยกันหนึ่งต่อหนึ่ง คือ เวกเตอร์ กับเวกเตอร์ทวิภาพ (dual vector) ที่ต่างก็มีการดำเนินการเชิงเส้นที่คู่ขนานกัน โดยเวกเตอร์ทวิภาพถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้นิยามผลคูณภายในให้อยู่ในรูปการดำเนินการระหว่างเวกเตอร์ทั้งสองชนิดเพื่อให้ได้ผลคูณระหว่างคู่ทวิภาพของเวกเตอร์เดียวกันเป็นจำนวนจริงที่ไม่เป็นลบ (b1) (ส่วนผลคูณภายในระหว่างเวกเตอร์กับเวกเตอร์ทวิภาพอื่นๆ เป็นจำนวนเชิงซ้อน) ในกลศาสตร์ควอนตัมมีสัญพจน์พื้นฐานหนึ่งว่า มีฐานหลักชนิดหนึ่ง $\{|\bar{x}\rangle\}$ ที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน และมีดัชนีมิติแบบต่อเนื่องเป็นตัวแปรตำแหน่งในอวกาศ $\bar{x}$ โดยถือว่ารู้จักกันมาก่อน เพราะเรามีวิธีตีความองค์ประกอบของฐานหลักชนิดนี้ที่เรียกว่า ฟังก์ชันคลื่น $\psi(\bar{x}) = \langle \bar{x} | \psi \rangle$ ได้ พิจารณาการหาสถานะพลังงานเฉพาะ (energy eigen states) ของระบบควอนตัมระบบหนึ่งในรูปฐานหลักนี้ คือ $|n\rangle = \int d\bar{x}' |\bar{x}'\rangle \langle \bar{x}' | n \rangle$ ซึ่งเราหาฟังก์ชันคลื่นหรือองค์ประกอบของฐานหลักนี้ $\psi_n(\bar{x}) = \langle \bar{x} | n \rangle$ ได้จาก สมการชโรดิงเงอร์ $(\int d\bar{x}' \langle \bar{x} | \hat{H} | \bar{x}' \rangle \langle \bar{x}' | n \rangle = E_n \langle \bar{x} | n \rangle)$ เมื่อทราบค่าองค์ประกอบแล้ว ถ้า สมมุติว่า เราสามารถ plot $|n\rangle = \int d\bar{x}' |\bar{x}'\rangle \langle \bar{x}' | n \rangle$ ลงบนแต่ละแกนพิกัด $|\bar{x}\rangle$ ที่มีจำนวนนับอนันต์และต่อเนื่องได้ ก็จะได้ภาพตัวแทนแบบเรขาคณิตของเวกเตอร์ $|n\rangle$ ในอวกาศแบบฮิลเบิร์ตนั่นเอง

FRANK & ERNEST



อภินิเวศ, Bangkok Post

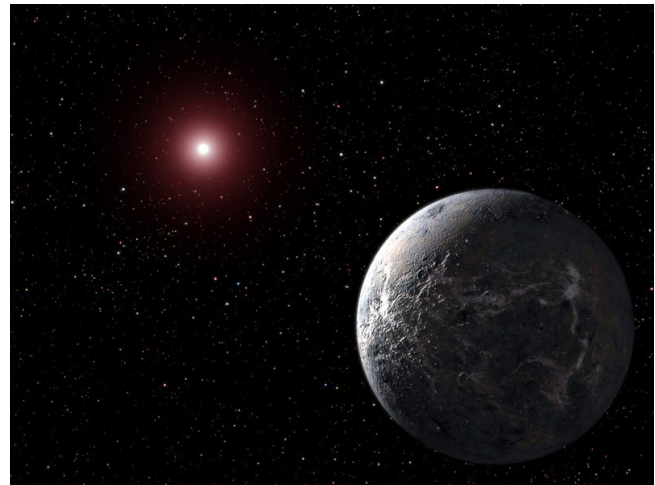
ตามหาชีวิตต่างดาว

ศิรามาศ โกมลจินดา

สวัสดีค่ะท่านผู้อ่านวารสารฟิสิกส์ไทยทุกท่าน ก่อนอื่นผู้เขียนต้องขอภัยทุกท่านที่อยู่ดีๆ คอล้มน์ ดิน ฟ้า เวลา ดาว ก็หายไปหลายฉบับ ผู้เขียนยังไม่ได้หนีไปไหนหรอกค่ะ แต่ช่วงเวลาที่ผ่านมามีเหมือนผู้เขียนจะปล่อยตัวเองไปกับกระแสความวุ่นวายบนโลกใบนี้ที่ดูเหมือนจะมีเรื่องประหลาดเกิดขึ้นทุกๆ วันมากไปหน่อย ผู้อ่านละคะ เป็นอย่างไรกันบ้าง หนีความวุ่นวายของมนุษย์บนโลกใบนี้แล้วออกไปตามหา “ชีวิต” ข้างนอกกันดีกว่าค่ะ

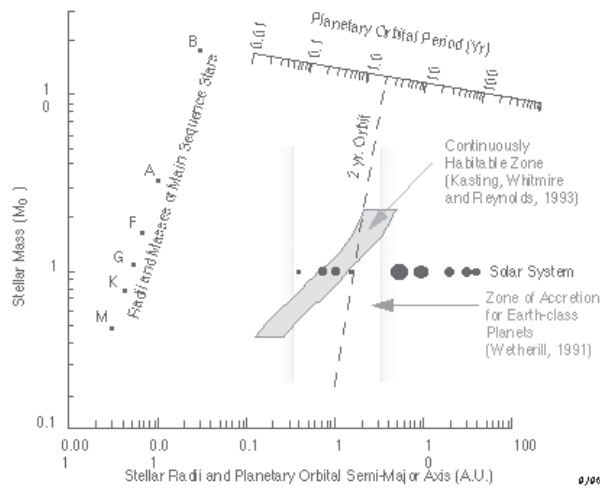
เมื่อไม่กี่เดือนที่ผ่านมาผู้อ่านหลายๆ ท่านคงได้ข่าวของการค้นพบดาวเคราะห์คล้ายโลก (Terrestrial planet) ดวงแรกที่มีชื่อยาวเหลือเกินว่า OGLE-2005-BLG-390Lb (นอกจากดาวเคราะห์ดวงนี้จะมีชื่อยาวแล้ว รายชื่อของนักดาราศาสตร์ที่ร่วมค้นพบก็ยาวไม่แพ้กัน คือ 73 คน จาก 12 ประเทศ ดาวเคราะห์ดวงนี้ค้นพบโดยอาศัยปรากฏการณ์ *Microensing* ซึ่งอ่านได้จาก ดิน ฟ้า เวลา ดาว, วารสารฟิสิกส์ไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 มิถุนายน – สิงหาคม 2548) ดาวเคราะห์ดวงนี้มีขนาดใหญ่กว่าโลกสองเท่าแต่มีมวลประมาณห้าเท่าของโลก และอยู่ห่างจากดาวแคระแดงที่เปรียบเสมือนดวงอาทิตย์ของดาวเคราะห์ดวงนี้ถึงสามเท่าของระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ทำให้ดาวเคราะห์ดวงนี้มีอุณหภูมิต่ำถึง -220 องศาเซลเซียส แต่การค้นพบครั้งนี้ก็ช่วยเพิ่มความหวังของผู้ที่สนใจค้นหาสิ่งมีชีวิตเป็นอย่างมาก

ตามความรู้สึกโดยทั่วไปของเราแล้วเมื่อเอ่ยถึงโลกที่มีสิ่งมีชีวิต เชื่อว่าผู้คนส่วนมากก็จะนึกถึงสถานที่ในสภาวะแวดล้อมแบบเดียวกันกับที่เราดำรงชีวิตอยู่ แต่บนโลกใบนี้ยังมีสิ่งมีชีวิตจำพวกหนึ่งที่เราเรียกว่า **Extremophiles** ซึ่งมีมากมายหลายร้อยสปีชีส์ สิ่งมีชีวิตพวกนี้จะอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมแบบ “วิกฤต” สำหรับมนุษย์ เช่น ในน้ำพุร้อน พื้นที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส บริเวณที่มีความกดอากาศสูง ในสภาวะที่เป็นกรดหรือเป็นด่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่า Extremophiles บางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้แม้ในบริเวณที่มีการแผ่รังสี และบางชนิดไม่จำเป็นต้องใช้แสงแดดหรือออกซิเจนในการดำรงชีวิต เมื่อเราพิจารณาถึงสถานที่ที่สามารถพบ Extremophiles ได้บนโลกใบนี้แล้ว ก็ไม่น่าจะเป็นเรื่องแปลกหากบนดาวเคราะห์ที่อยู่ไกลโพ้นจะมีสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างออกไปจากที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันอาศัยอยู่



รูปที่ 1 ภาพวาดจำลองดาวเคราะห์ OGLE-2005-BLG-390Lb (ภาพโดย NASA, ESA, G. Bacon (STScI))

ตามแนวคิดแล้ว ไม่ใช่ว่าบนพื้นผิวที่ใดก็ตามจะสามารถมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ได้ เพราะการจะเกิดสิ่งมีชีวิตได้นั้นจะเริ่มมาจากกรดอะมิโน เชื่อมต่อกันกลายเป็นโปรตีน (ดิน ฟ้า เวลา ดาว, วารสารฟิสิกส์ไทย ปีที่ 22 ฉบับที่ 3 กันยายน – พฤศจิกายน 2548) ดังนั้น บริเวณที่จะเกิดสิ่งมีชีวิตได้จะต้องเป็นบริเวณที่เป็นไปได้ที่จะมีสามองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดชีวิตอันได้แก่ น้ำ พลังงาน และสารอินทรีย์ เราเรียกบริเวณนี้ว่า **habitable zone** ในอดีต *habitable zone* จำกัดอยู่แค่บริเวณที่แสงอาทิตย์ส่องไปสร้างความอบอุ่นและมีความเป็นไปได้ที่จะมีน้ำในสถานะของเหลวบนพื้นผิวได้เท่านั้น แต่จากการศึกษาดวงจันทร์ยูโรปาของดาวพฤหัสบดีพบว่า ถึงแม้บนพื้นผิวของดวงจันทร์ยูโรปาจะไม่สว่างไสวและไม่อบอุ่นด้วยพลังงานจากดวงอาทิตย์ แต่แรงดึงดูดเนื่องจากความโน้มถ่วงของดาวพฤหัสบดีทำให้แกนของดวงจันทร์ยูโรปาร้อนขึ้นและมีแหล่งพลังงานภายในเช่นเดียวกับโลก ซึ่งยืนยันได้จากการที่พื้นผิวน้ำแข็งที่ปกคลุมดาวอยู่มีร่องรอยอุกกาบาตน้อยเมื่อเทียบกับดวงจันทร์ของโลกเนื่องจากน้ำในสภาวะของเหลวที่ไหลอยู่ภายใต้ชั้นน้ำแข็งทำให้เกิดผิวน้ำแข็งใหม่บนผิวของดวงจันทร์อย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่าดวงจันทร์ไททันของดาวเสาร์มีชั้นบรรยากาศที่หนาและมีส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้อยู่ในสภาพของเหลว บนดวงจันทร์ไททันจึงเกิดฝนไฮโดรคาร์บอนที่ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดมหาสมุทรไฮโดรคาร์บอนบนพื้นผิว เหมือนกับที่เคยเกิดขึ้น



รูปที่ 2 ภาพแสดง *habitable zone* ในแนวคิดเดิมสำหรับแต่ละชนิดสเปกตรัมของดาวฤกษ์ (ภาพจากโครงการ Kepler, NASA)

60 ล้านกิโลเมตร) เท่านั้น ที่ระยะห่างนี้ ดาวเคราะห์จะโคจรรอบตัวเองด้วยอัตราเดียวกันกับที่โคจรรอบดาวฤกษ์ เหมือนกับการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ดังนั้น ดาวเคราะห์จะหันด้านเดียวเข้าหาดาวฤกษ์ตลอดเวลา ทำให้ด้านที่หันเข้าหาดาวฤกษ์ร้อนจัดจนน้ำระเหยกลายเป็นไอทั้งสิ้น ส่วนอีกด้านก็หนาวเย็นจนน้ำทั้งหมดเป็นน้ำแข็ง แต่ถ้าดาวเคราะห์มีชั้นบรรยากาศที่หนาแน่น ปรากฏการณ์เรือนกระจกก็จะช่วยกระจายความร้อนบนผิวดาว และก็จะมีความเป็นไปได้ที่จะมีน้ำในสถานะของเหลวบนผิวดาวเคราะห์เหล่านี้ นั่นหมายถึงความเป็นไปได้ที่จะมีสิ่งมีชีวิตเช่น Extremophiles อาศัยอยู่

บนโลกเมื่อประมาณสี่พันล้านปีมาแล้วในยุคที่เซลล์สิ่งมีชีวิตแรกของโลกกำเนิดขึ้น ดังนั้น *habitable zone* ของระบบสุริยะจึงไม่ได้จำกัดอยู่แค่วงโคจรของดาวอังคารแต่ขยายความเป็นไปได้สู่ส่วนนอกของระบบสุริยะอันมีดมิด

นอกจากไปจากระบบสุริยะ เราจัดแบ่งชนิดของดาวฤกษ์ตามอุณหภูมิ หรือเรียกว่า ชนิดสเปกตรัม จากระยะที่สั้นที่สุด ไปจนชั้นที่สุด เรียงลำดับจากอักษรและตัวเลข จาก O3-9, B0-9, A0-9, F0-9, G0-9, K0-9 ถึง M0-9 ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ชนิด G0 ชนิดสเปกตรัมของดาวฤกษ์เป็นข้อกำหนดหนึ่งในการพิจารณา *habitable zone* ดาวฤกษ์ที่มีชนิดสเปกตรัม O, B, และ A จะมีอายุที่สั้นเกินกว่าจะเกิดสิ่งมีชีวิตขึ้นได้ ส่วนดาวฤกษ์ชนิดสเปกตรัม F จะมีอายุประมาณสองพันล้านปี ซึ่งไม่นานพอที่จะเกิดสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการที่เกิดขึ้นบนโลก สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์เกิดขึ้นเมื่อหกหรือล้านปีมาแล้ว หรือประมาณสี่พันล้านปีหลังจากโลกกำเนิดขึ้น)

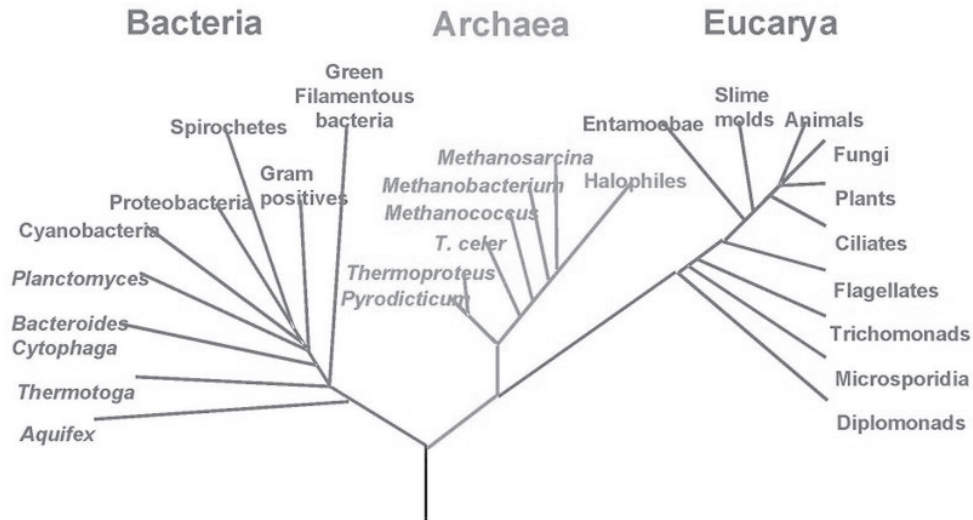
มากกว่าร้อยละ 85 ของดาวฤกษ์เป็นดาวแคระแดง (*red dwarf* ชนิดสเปกตรัม K หรือ M) ดังนั้น จึงเกิดคำถามขึ้นว่า เป็นไปได้หรือไม่ที่จะมีดาวเคราะห์โคจรรอบดาวแคระแดง และเป็นไปได้หรือไม่ที่ดาวเคราะห์เหล่านี้จะสามารถมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ การค้นพบดาวเคราะห์ OGLE-2005-BLG-390Lb ได้ตอบคำถามแรกนี้แล้ว แต่เนื่องจากดาวเคราะห์ดวงนี้อยู่ไกลจากดวงอาทิตย์ของมันถึง 450 ล้านกิโลเมตร (ไกลกว่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ถึงดาวอังคารถึงสองเท่า) ในขณะที่ *habitable zone* ของดาวแคระแดงมีรัศมีประมาณวงโคจรของดาวพุธ (ประมาณ

นักชีววิทยาแบ่งสิ่งมีชีวิตออกเป็นสามกลุ่มหลัก คือ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสลับซับซ้อนน้อยที่สุด เพราะไม่มีนิวเคลียส และ Archaea ซึ่งไม่มีนิวเคลียสเช่นกัน แต่มี cell membrane ที่แปลกออกไป เพราะมีวิวัฒนาการแตกต่างจากแบคทีเรีย เราเรียกแบคทีเรียและ Archaea รวมกันว่า prokaryote กลุ่มสุดท้าย คือ Eukaryote ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตกลุ่มหลักบนโลก (ได้แก่ สัตว์ เห็ดรา พืช และ protista) สิ่งมีชีวิตกลุ่มนี้มีสารพันธุกรรมอยู่ในนิวเคลียส เมื่อพิจารณาจากกลุ่มของสิ่งมีชีวิตตามแผนภาพ *tree of life* ซึ่งแบ่งกลุ่มของสิ่งมีชีวิตออกตามความเหมือนของลำดับ rRNA (RNA ชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ใน ribosome ลำดับความต่างของเบสจะน้อยมากในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดในกลุ่มเดียวกัน) จะพบว่า สิ่งมีชีวิตทั้งสามกลุ่มมีการวิวัฒนาการที่แตกต่างกันโดยสิ้นเชิง และ Extremophiles ส่วนมากเป็นสิ่งมีชีวิตจำพวก Archaea ดังนั้น การพบ Extremophiles อาจจะไม่เป็นหลักฐานยืนยันการมีอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่มีความสลับซับซ้อนเช่น Eukaryote บนโลก

การค้นหาชีวิตนอกระบบสุริยะก็คงต้องดำเนินกันต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเราต้องการค้นหาสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารและการคิดแบบตรรกะ แต่ก่อนที่เราจะคาดหวังมากเกินไป ขอส่งท้ายด้วยข้อมูลที่ทำให้มนุษย์ “บังเอิญ” กำเนิดขึ้นมาได้บนโลกใบนี้

- ดาวฤกษ์ชนิดสเปกตรัม F และ G มากกว่าร้อยละ 50 ไม่เป็นดาวฤกษ์ดวงเดียวเช่นดวงอาทิตย์

Phylogenetic Tree of Life



- ดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิที่สูงพอที่จะทำให้โลกอุ่น แต่ก็ไม่สูงจนทำให้ชั้นบรรยากาศของโลกแผดเผาไหม้ไป
- ดวงอาทิตย์มีอัตราส่วนของธาตุหนักต่อไฮโดรเจนมากกว่าดาวฤกษ์ชนิดเดียวกันถึงร้อยละ 50 ธาตุหนักเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งต่อการก่อตัวของดาวเคราะห์ที่มีผิวเป็นหินแข็ง
- ดวงอาทิตย์ค่อนข้างมีความเสถียรมากกว่าดาวฤกษ์ประเภทเดียวกัน solar flare และ prominence จากดวงอาทิตย์ไม่ทำให้เกิดอันตรายกับสิ่งมีชีวิตบนโลก

และสำหรับผู้ที่ต้องการทราบว่าในกาแล็กซีทางช้างเผือกจะมีสิ่งมีชีวิตในรูปแบบเดียวกันกับมนุษย์อยู่อีกเท่าไร ลองคำนวณสมการ **Drake equation** ที่เสนอโดย **Frank Drake** ในปี ค.ศ. 1961 ข้างล่างนี้ดู

$$N = R_* \times f_p \times n_e \times f_i \times f_c \times L \quad (1)$$

เมื่อ N จำนวนสิ่งมีชีวิตที่มนุษย์จะติดต่อได้ในกาแล็กซีทางช้างเผือกด้วยคลื่นวิทยุ

R_* อัตราการเกิดของดาวฤกษ์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะมีสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการใช้ตรรกะ

f_p อัตราส่วนของดาวฤกษ์ที่มีดาวเคราะห์

n_e จำนวนดาวเคราะห์ต่อดาวฤกษ์

รูปที่ 3 Tree of Life หรือ Phylogenetic Tree จัดแบ่งและเชื่อมโยงสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่มเข้าด้วยกันด้วยข้อมูลทางพันธุกรรม (โดยอาศัย RNA เป็นหลัก) อย่างไรก็ตาม นักชีววิทยายังไม่สามารถสรุปถึงความเชื่อมโยงของแต่ละกลุ่มรวมทั้งต้นกำเนิดของสิ่งมีชีวิตได้ นอกจากนี้ยังเป็นไปได้ว่า แผนภาพ Tree of Life จะไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์และเชื่อมโยงของสิ่งมีชีวิตทุกประเภทได้เนื่องจากการส่งถ่ายยีนระหว่างสายพันธุ์ (ภาพจาก NASA)

- f_i อัตราส่วนของดาวเคราะห์ที่สามารถเกิดสิ่งมีชีวิตได้
- f_i อัตราส่วนของดาวเคราะห์ที่จะมีสิ่งมีชีวิตที่มีความสามารถในการใช้ตรรกะ
- f_c อัตราส่วนของดาวเคราะห์ที่จะมีเทคโนโลยีการสื่อสาร
- L อายุขัยของสังคมการสื่อสาร



กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณทรงกลด สารณิธิต นักศึกษาปริญญาเอกสาขาวิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยตรวจทานเนื้อหาบทความ

เอกสารอ้างอิง

Beaulieu, J.-P., et al. 2006, Nature, 439, 437

Kepler Mission, <http://kepler.nasa.gov>

K. Than, The Growing Habitable Zone: Location for Life Abound, <http://www.space.com>, 7 February 2006

Stars and Habitable Planets, <http://www.solstation.com>

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ(สดร.)

National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT)



กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิสัยทัศน์

มุ่งเน้นการวิจัย การสร้างเครือข่ายความร่วมมือ และการพัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศ สู่ระดับสากล เพื่อสร้างวัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้ทาง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสังคมไทย



หอดูดาวแห่งชาติที่ตั้งอยู่ ณ บริเวณยอดดอยอินทนนท์

ความเป็นมา

ตามที่คณะรัฐมนตรีมีมติเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2547 เห็นชอบในหลักการ แก่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในการจัดตั้งสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ ขึ้นในประเทศไทย เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระ

จอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ในโอกาส ฉลอง 200 ปี แห่งการพระราชสมภพ ในปี พ.ศ. 2547 และ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช ในวโรกาสเจริญพระชนมายุ ครบปีพระราชสมภพ 80 พรรษาในปี พ.ศ. 2550



ภารกิจหลักอันหนึ่งของสถาบัน ฯ คือ การสร้าง หอดูดาวแห่งชาติ ศูนย์ข้อมูลสารสนเทศและศูนย์ฝึกอบรม ดาราศาสตร์ ณ บริเวณที่ทำการอุทยานแห่งชาติดอย อินทนนท์ เพื่อให้บริการวิจัยและบริการวิชาการ แก่ สถาบันการศึกษา

ติดต่อ : สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ เชียงใหม่ (สำนักงานชั่วคราว)

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

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

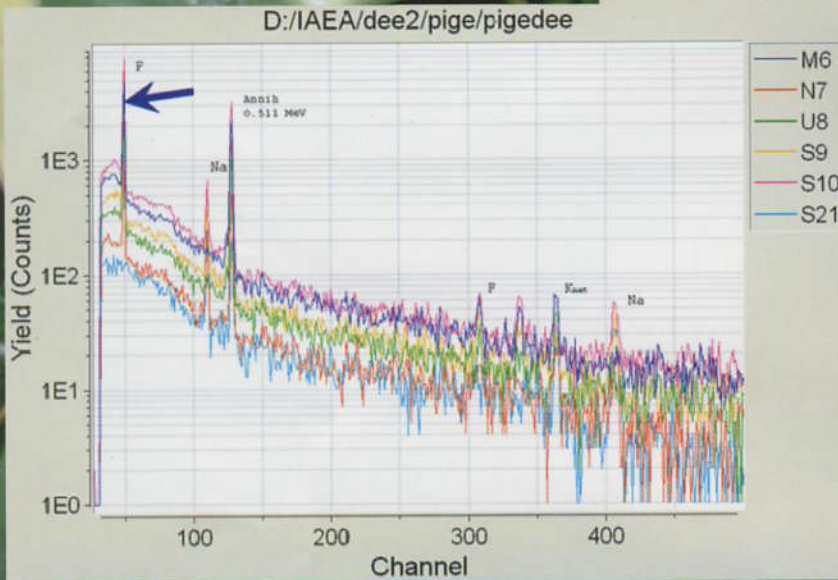
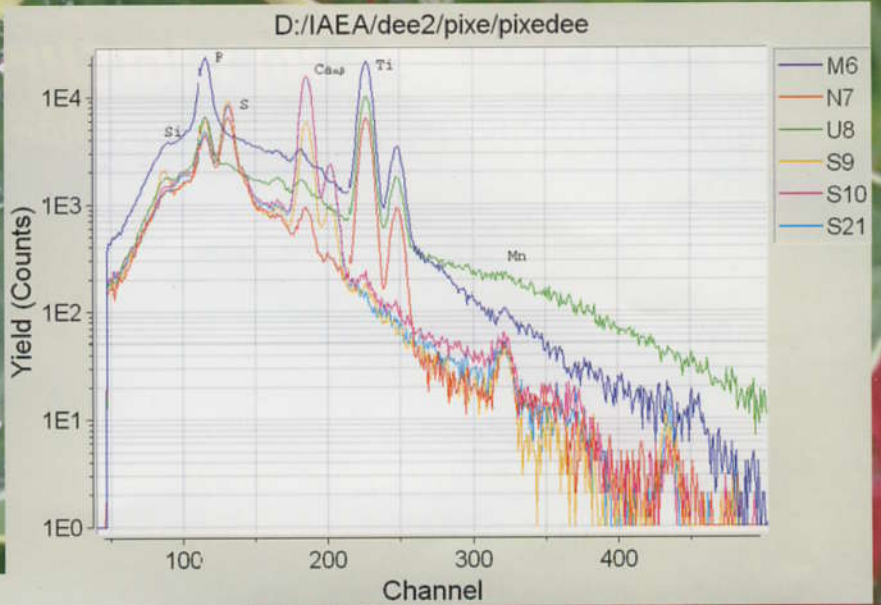
Website : <http://www.nari.or.th>

Email : info@nari.or.th



พื้นที่โฆษณา

โปรดดูรายละเอียดเกี่ยวกับกราฟทั้งสองรูปที่หน้า 7



สมาคมฟิสิกส์ไทย THAI PHYSICS SOCIETY
 ตู้ ปณ. 217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่-50202
 P.O. Box 217 Chiang Mai University, Chiang Mai-50202, THAILAND



Lotus Effect : อ่านรายละเอียดที่หน้า 10

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
 สมาคมฟิสิกส์ไทย