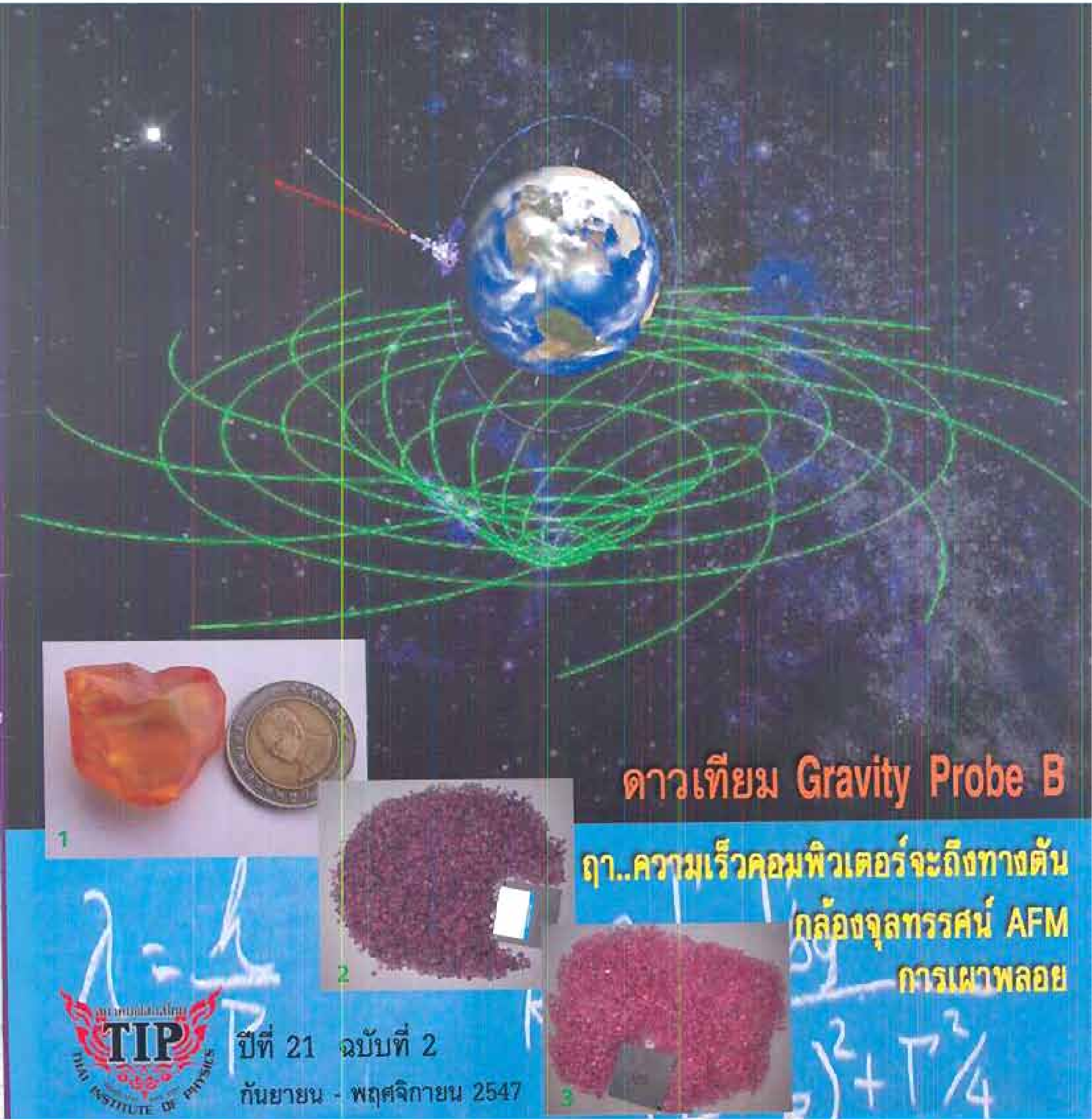
วารสารสำหรับผู้ที่รักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์



ดาวเทียม Gravity Probe B

ฤา..ความเร็วคอมพิวเตอร์จะถึงทางตัน

กล้องจุลทรรศน์ AFM

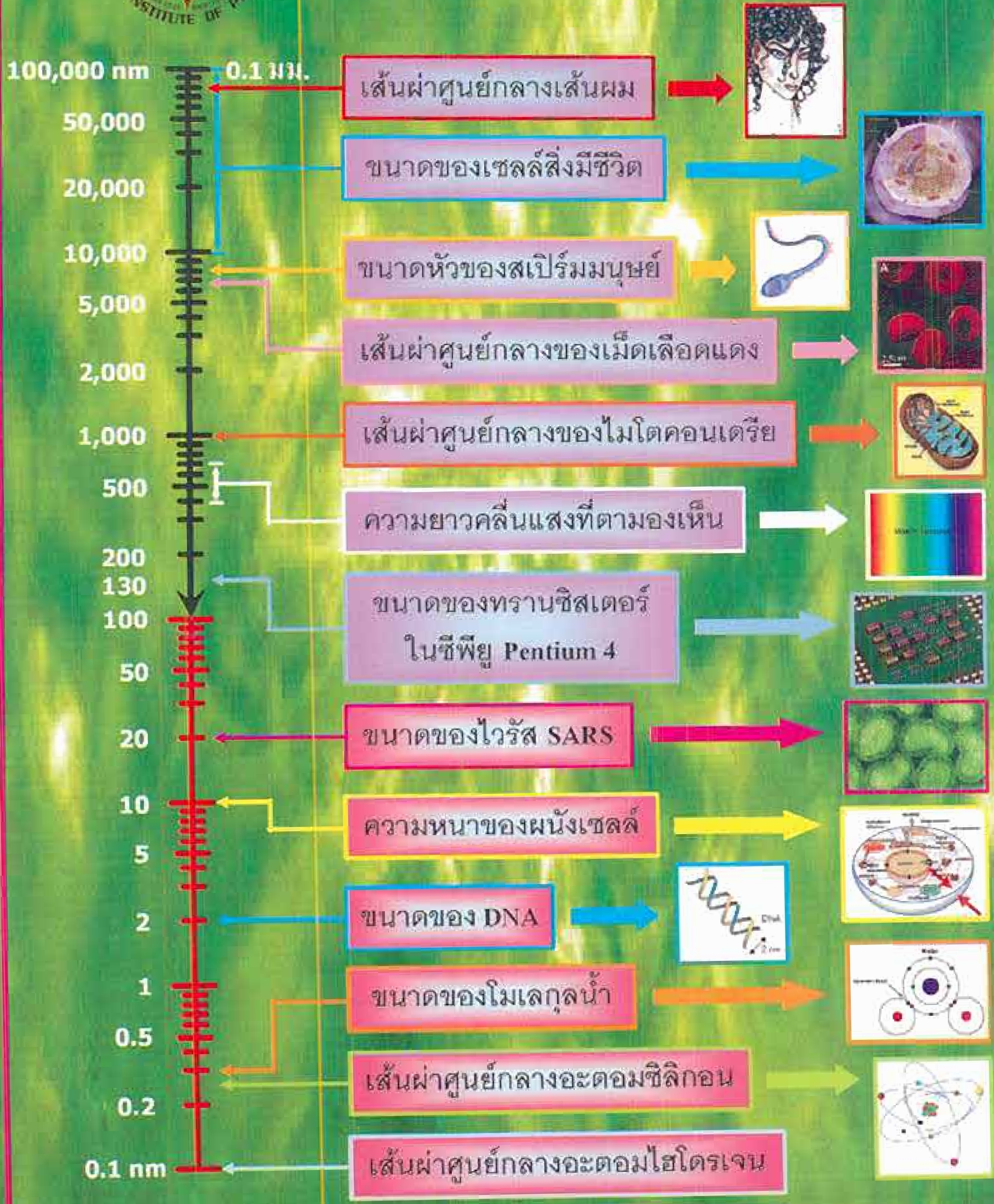
การเผาพลอย

ปีที่ 21 ฉบับที่ 2

กันยายน - พฤศจิกายน 2547

อภินันทนาการจาก

ก้าวสู่โลกนาโน



หมายเหตุ : 1 มม. = 10^3 ไมครอน(μm) = 10^6 นาโนเมตร(nm) = 10^7 อังสตรอม (Å)

สารบัญ

รูปปก :

รูปใหญ่ เกี่ยวกับดาวเทียม Gravity Probe B ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ที่หน้า 4-6

รูปเล็ก 3 รูปเกี่ยวกับเรื่องการเผาพลอยซึ่งมีคำบรรยายอยู่ที่หน้า 7

สวัสดี

กอง บก. **"ทิพย์"** ทำฉบับที่ 2 นี้ด้วยความสนุกสนานครับ เหมือนเด็กได้เล่นของเล่นในฝันสมหวัง มีสาเหตุหลักอยู่ 2 ประการ

อย่างแรกเป็นเพราะเราได้รับเกียรติจาก ***"คุณครูตัวจริง"*** ส่งประสบการณ์ชีวิตแบบฟิสิกส์ๆ ของท่านมาแบ่งปัน นอกจากจะมีเนื้อหาที่มีคุณค่ามากแล้ว ยังทำให้ฝันของเราเป็นจริง คือฝันไว้ตั้งแต่แรกกันแล้วว่า อยากมีบทความจากเพื่อนครูตัวจริงทุกฉบับไป **จึงขอถือโอกาสเชิญชวนอีกครั้งครับ** ประสบการณ์ชีวิตการสอนฟิสิกส์ในโรงเรียนท้องถิ่นของท่าน กับนักเรียนของท่าน มีคุณค่าเสมอ เชิญนำมาแบ่งปันกัน

เหตุผลประการที่สองก็คือ เราได้มีส่วนทำเรื่องที่เกี่ยวกับนักฟิสิกส์ในดวงใจตลอดกาล(และอวกาศ)ของเราและคงรวมถึงท่านผู้อ่านด้วยแน่นอน คือ **อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์** นอกจากจะมีเนื้อหาที่น่าทึ่งมากแล้ว *(ถ้าเกี่ยวกับไอน์สไตน์ มีเรื่องไหนที่ไม่น่าทึ่งบ้าง)* ยังเป็นเรื่องที่เพิ่งเกิดขึ้นกลางปีนี้เอง และที่สำคัญยังสามารถใช้ *"ปลุกระดม"* ท่านผู้อ่านได้ว่าปีหน้าเป็นปีสำคัญของชาวฟิสิกส์ทั้งโลก คือเป็น **"ปีฟิสิกส์สากล"** หรือ **"ปีฟิสิกส์โลก"** เชิญพวกเรามาเตรียมตัวฉลองกัน

พบกันใหม่ฉบับหน้า : ธันวาคม 2547

*"Being a physicist is just the beginning.
Applying physics is the challenge."*
Brian Ridley

กองบรรณาธิการ กอบชัย ดายนสันติ, ชาญกิจ คันฉ่อง,ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล,วัดติกร ยิ้มนิรัญ, ศิรวาท โกมลจินดา, สมชาย เกียรติกมลชัย, สุภาพ ชูพันธุ์ **หัวหน้ากองบรรณาธิการ** สมศร สิงขรัตน์ **ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ** กลชาญ อนันตสมบูรณ์, มานิต รุจิวโรดม **ฝ่ายภาพ** มิญช์ เมธีสุวกุล, ราเชนทร์ เจริญบุญ **เลขานุการกองบรรณาธิการ** กฤติยา ไอลดาพันธุ์ **พิมพ์ที่** หน่วยพิมพ์เอกสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ติดต่อกองบรรณาธิการ กองบก.ทิพย์ สมาคมฟิสิกส์ไทย ตู้ปณ.217 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50202 โทรศัพท์ : 053-942464, 943379 โทรสาร:053-222776 **วารสารฟิสิกส์ไทย** เป็นวารสารราย 3 เดือน มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่สาระ-ข่าวสาร และเป็นสื่อสัมพันธ์ในมวลหมู่สมาชิกและผู้ที่สนใจในแวดวงฟิสิกส์ ส่งเสริมให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลและประสบการณ์เกี่ยวกับฟิสิกส์ในวงกว้างที่สร้างสรร โดยความคิดเห็นและทัศนะที่ปรากฏอยู่ในบทความต่างๆ เป็นเฉพาะของผู้เขียนแต่ละท่าน สมาคมฟิสิกส์ไทยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

การทดสอบ General Theory of Relativity โดยตรง

ภาพตัดขวางของดาวเทียม Gravity Probe B

หลังจากรอคอยกันมากว่า 40 ปี ในที่สุด เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2547 จรวด Boeing Delta 2 ก็ได้ทะยานขึ้นจากฐานทัพอากาศแวนเด็นเบอร์ก ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา อย่างสวยงาม ภาระกิจหลักคือการนำดาวเทียมหนัก 2 ตันไปปล่อยที่

โครงสร้างใหญ่ของดาวเทียมเป็นถังดิวเออร์ (dewar) เพื่อรักษาให้สุดยอดไจโรสโคปทั้ง 4 ตัวทำงานที่อุณหภูมิ -271.36° C ตลอดเวลา 16 เดือน นับแต่นี้ไป

หนึ่งในลูกแก้วควอร์ตที่กลมสมบูรณ์ที่สุด ผิวของลูกแก้วนี้จะถูกเคลือบด้วยไนโอเบียม เพื่อให้มีสภาพตัวนำยิ่งยวดที่อุณหภูมิต่ำดังกล่าว

วงโคจรในระดับความสูง 640 กิโลเมตรจากพื้นโลก ดาวเทียมดวงนี้ชื่อ Gravity Probe B มีมูลค่า 700 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เป็นโครงการที่ร่วมมือกันระหว่างองค์การ NASA กับมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ดเพื่อทำการตรวจวัด**โดยตรง**ในสิ่งที่ไม่เคยทำกันมาก่อน คือการผิดรูปไปของอวกาศ-กาล (space-time) เนื่องมาจากการดำรงอยู่และการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์และดาวพระเคราะห์ เพื่อเป็นการพิสูจน์ General Theory of Relativity ที่ไอน์สไตน์ได้รังสรรค์ไว้ เมื่อปี พ.ศ. 2459

โครงการนี้อาจถือได้ว่าเป็นโครงการที่เก่าแก่ที่สุดโครงการหนึ่งของ NASA ส่วนหนึ่งอาจเพราะต้องรอคอยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพราะหัวใจสำคัญเป็นไจโรสโคปที่มีความแม่นยำอย่างยิ่ง 4 ตัว มี rotor เป็นลูกแก้วควอร์ตขนาดเท่าลูกกอล์ฟ 4 ลูกที่มีความกลมสมบูรณ์ที่สุดเท่าที่เคยทำกันมา *(ถ้าขยายให้มีขนาดเท่าโลก ความแตกต่างของระดับผิวจะประมาณ 183 เซนติเมตรเป็นอย่างมาก)* หมุนในสุญญากาศด้วยแรงยกจากสนามไฟฟ้าในสภาพอุณหภูมิ 1.8 K ด้วยอัตราเร็ว 170 รอบต่อวินาที โดยมีแกนหมุนที่มีเสถียรภาพสูงสุด

โครงการนี้เกือบถูกล้มเลิกมาแล้วหลายครั้ง งบประมาณบานปลายไปมากกว่า 130 ล้านดอลลาร์ แต่ในที่สุดก็บรรลุผลสำเร็จ ทันเวลาได้ร่วมฉลอง "1 ศตวรรษ แห่งปีมหัศจรรย์ของไอน์สไตน์" **อ่านข้อมูลเบื้องลึกของ Gravity Probe B ได้ในฉบับนี้ที่คอลัมน์ "เรื่องเด่นประจำฉบับ" หน้า 5**

ดาวเทียม Gravity Probe B

*อินฎา ทองกุล**

จรวด Boeing Delta 2 ทะยานขึ้นสู่ท้องฟ้า เมื่อวันที่ 20 เมษายน 2004

คำพูดของไอน์สไตน์ที่เคยอ่านพบในบทความของวารสาร **ชัยพฤกษวิทยาศาสตร์**ในสมัยเด็กๆ ยังคงอยู่ในความทรงจำของผมจนถึงวันนี้ ไอน์สไตน์ได้กล่าวไว้ว่า *"ใครก็ตามที่เข้าใจสมการของข้าพเจ้าอย่างถ่องแท้จะพบกับความรู้สึกแสนประหลาดอย่างหลีกเลี่ยงไม่พ้น"* คงมีเด็กเหมือนผมหลายคนที่เมื่ออ่านบทความนี้แล้วสงสัยว่า **"ความรู้สึกแสนประหลาด"** ที่ไอน์สไตน์กล่าวถึงมันเป็นอย่างไร ต่อมาเมื่อได้เรียน**ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป** (General Relativity-GR: ค.ศ. 1916) ก็ยิ่งทำให้เกิดความสงสัยเพิ่มขึ้นไปอีกว่า "จะมีใครสักกี่คนที่เข้าใจสมการไอน์สไตน์อย่างถ่องแท้" คำว่า **"เข้าใจ"** ในที่นี้ อาจไม่ตรงกับที่ไอน์สไตน์ใช้ แต่จะเป็นความหมายเดียวกับที่ Feynman ใช้ตอนที่เขากล่าวว่า *"ไม่มีใครเข้าใจกลศาสตร์ควอนตัม(Quantum Mechanics-QM)"* อาจารย์ผมเคยบอกว่า น่าแปลกที่ QM เป็นทฤษฎีฟิสิกส์ยุคใหม่ที่ไม่มีใครเข้าใจรากฐาน (foundation) ของทฤษฎีอย่างแท้จริง แต่ก็เป็นทฤษฎีที่ประสบความสำเร็จในแง่การทดลองมากที่สุด ซึ่งถ้าคิดดูดีๆรากฐานของ GR ก็ยังมีข้อน่าสงสัยอยู่หลายประการ อีกทั้งไม่ได้ผ่านการทดลองตรวจสอบอย่างโชกโชนเท่า QM ด้วยซ้ำ ว่ากันว่าไอน์สไตน์เองก็ไม่ค่อยยอมรับทฤษฎีควอนตัมเท่าไร มีบันทึกว่าเขาพยายามหาการทดลอง(ทางความคิด)ต่างๆ มาตรวจสอบรากฐานทฤษฎีควอนตัมอยู่เสมอ แต่ก็ไม่รู้ว่าเป็นเรื่องบังเอิญหรือถูกฟ้าลิขิตไว้ให้**การทดลองที่สามารถตรวจสอบรากฐานของ GR ได้อย่างถึงลูกถึงคนที่สุด และถูกต้องแม่นยำที่สุดเท่าที่เคยมีมา** ถูกริเริ่มโดยผู้แต่งหนังสือQMที่เป็นที่รู้จักและยอมรับกันอย่างแพร่หลาย นั่นคือ Leonard Schiff ศาสตราจารย์นักฟิสิกส์แห่งมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด

ดาวเทียม Gravity Probe B (GPB) เป็นโครงการที่ริเริ่มโดยเขาเมื่อ 40 กว่าปีก่อน โดยทั่วไปผลของ GR ในระบบสุริยะเป็นสิ่งที่สังเกตเห็นได้ยากมาก แม้แต่ผลของ GR ที่เกิดจากมวลที่ใหญ่ที่สุดในระบบสุริยะคือ**ดวงอาทิตย์เอง** ก็ยังหลุดรอดจากการตรวจสอบมาเกือบสองร้อยปี จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1845 Jean Joseph Leverrie จึงค้นพบการหมุนควง (precession) ของดาวพุธที่ผิดจากการคำนวณตามทฤษฎีแรงโน้มถ่วงของนิวตันเพียงเล็กน้อย

แล้วโลกที่มีมวลน้อยกว่าดวงอาทิตย์ประมาณ 3 ล้านเท่า ผลของ GR ที่เกิดขึ้นจะต้องน้อยขนาดไหน แต่ก็เป็นภารกิจที่ GPB ต้องวัดให้ได้

ใน GR ไอน์สไตน์มองว่าเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนภายใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงที่ปรากฏในspaceสามมิติ ที่จริงคือการตกอย่างอิสระของวัตถุนั้นใน spacetime สี่มิติที่บิดโค้งตามการกระจายตัวของมวลสารและพลังงานในบริเวณนั้น

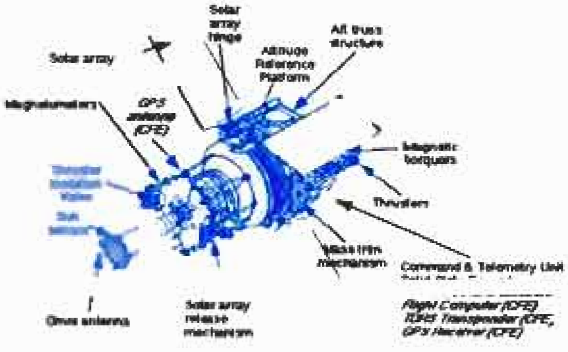
ดังนั้นแรงโน้มถ่วงใน GR ไม่ได้มีความหมายตรงกับแรงธรรมดาตามกลศาสตร์ของนิวตันด้วยซ้ำ แรงโน้มถ่วงในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปอาจมองว่าเป็นการขยาย**กฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน**ในสามมิติที่เราคุ้นเคยไปใช้กับ spacetime สี่มิติที่บิดโค้ง

ภารกิจหนึ่งของดาวเทียม GPB คือ ตรวจวัดการบิดโค้งของ spacetime รอบโลกที่เป็นต้นกำเนิดของแรงโน้มถ่วงว่ามีจริงหรือไม่ และสอดคล้องกับการคำนวณตามทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปมากน้อยเพียงใด

ฟิสิกส์ที่อยู่เบื้องหลัง GPB และทฤษฎีสัมพัทธภาพสามารถมองได้จาก**กฎข้อที่หนึ่ง**ของนิวตัน **ความสมมาตร**ของ space ถือเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้โมเมนตัมของวัตถุคงที่ตามกฎข้อที่หนึ่ง เพราะถ้าทุกจุดใน space บริเวณที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านมีความสมมาตรเท่าเทียมกันทุกประการ ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่จากตัวของวัตถุเอง เพราะวัตถุไม่สามารถ "รู้" หรือ "แยกแยะ" ได้ว่าการเปลี่ยนแปลงควรจะเริ่มขึ้นที่ไหน ไม่มีจุดใดที่พิเศษกว่าจุดอื่นๆที่มันเคยเคลื่อนที่ผ่านมา ไม่มีจุดต้องเริ่มเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ นั่นคือ **โมเมนตัมไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอด space ที่สมมาตร**

*บัณฑิตปริญญาโททางด้าน Cosmology จากภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Leonard I. Schiff



ดาวเทียม *Gravity Probe B*

การที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามกฎของนิวตันอาจจะเป็นเพราะไม่รู้จะเลี้ยวตรงไหน

ในทฤษฎีสัมพัทธภาพผู้สังเกตการณ์ที่อยู่ในกรอบเฉื่อยและกรอบที่กำลังตกอย่างอิสระภายใต้สนามแรงโน้มถ่วง ฟิสิกส์ในกรอบจะไม่เปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ เราสามารถคิดตามแบบที่วิเคราะห์กฎของนิวตัน คือมองว่ากรอบทั้งสองแบบกำลังเคลื่อนที่ไปในบริเวณของ spacetime สี่มิติ ที่มีความสมมาตร ไม่มีจุดใดพิเศษกว่าจุดอื่น เราเรียกเส้นทางแห่งความสมมาตรใน spacetime นี้ว่า **เส้นจีโอเดสิก** (geodesic)

งานหลักในทฤษฎีสัมพัทธภาพ คือการคำนวณหาสมการเคลื่อนที่ของวัตถุตามเส้นจีโอเดสิก

ในดาวเทียม GPB เราพิจารณาทิศของเวกเตอร์การหมุนหรือสปินของไจโรสโคปเมื่อมองจากกรอบที่เคลื่อนที่ติดไปพร้อมกับดาวเทียม ในกรอบดังกล่าวถือเป็นกรอบอ้างอิงที่กำลังตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงโลก โมเมนตัมเชิงมุมของไจโรสโคปที่วัดได้ในกรอบนั้นจะต้องคงที่ตลอดเวลา นั่นคือสปินของไจโรสโคปต้องทำมุมคงที่กับเส้นทางเส้นจีโอเดสิกใน spacetime สี่มิติ ตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่

ในทางคณิตศาสตร์คือ การ parallel transport สปินของไจโรสโคปไปตามเส้นจีโอเดสิกในสี่มิติ ทิศของสปินที่คงที่ในกรอบอ้างอิงที่เลื่อนตามเส้นจีโอเดสิก ไม่จำเป็นต้องคงที่เมื่อมองจากกรอบอ้างอิงอื่น เช่น เมื่อมองสปินของไจโรสโคปจากกรอบอ้างอิงที่หยุดนิ่งเทียบกับดาวอื่นๆ ในกาแลคซี (fixed star) เราจะเห็นสปินของไจโรสโคปเปลี่ยนแปลง มีการส่ายของสปิน (precession) เกิดขึ้น ดาวเทียม GPB สามารถหาการส่ายของสปินดังกล่าว ได้โดยใช้กล้องโทรทัศน์เล็งไปที่กลุ่มดาว HR 8703 (IM Pegasi) และรักษาให้กล้องชี้ไปทางกลุ่มดาวนั้นตลอดเวลา ทิศทางของกล้องจะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหาการหมุนควงไจโรสโคปที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างกรอบอ้างอิงบนดาวเทียมและกรอบอ้างอิงจากหมู่ดาวพื้นหลัง

จากการคำนวณของ Schiff และ George Pugeในช่วงปี ค.ศ.1960 การหมุนควงของไจโรสโคปเนื่องจากการเคลื่อนที่ไปตามเส้นจีโอเดสิก หรือที่เรียกว่า geodetic effect เกิดขึ้นน้อยมาก ที่เกิดขึ้นในดาวเทียมที่มีระดับวงโคจรสูง 640 กิโลเมตรจากพื้นดิน มีขนาดของการหมุนควงเกิดขึ้น ***6.6 arcsecond ต่อปี (6.6/3600 องศาต่อปี)***

การหมุนควงของไจโรสโคปที่ดาวเทียม GPB สามารถวัดได้ไม่ได้มาจาก geodetic effect เพียงอย่างเดียว ยังเกิดจากปรากฏการณ์ที่ความได้ว่าการหมุนของโลกจะลากเอากรอบเฉื่อยที่อยู่รอบให้หมุนวนตาม เหมือนกับใบพัดของเครื่องซักผ้าที่ทำให้น้ำโดยรอบหมุนตาม **ซึ่ง W. Lense และ H. Thirring ได้ทำนายไว้เมื่อปี ค.ศ. 1918** เมื่อพวกเขาพยายามใส่การหมุนของมวลลงในทฤษฎีสัมพัทธภาพ ในกรณีของดาวเทียม เราคำนวณได้ว่าสปินของไจโรสโคปจะส่ายน้อยมากๆ เพียง ***0.5 milliarcsecond ต่อปี (0.5 / 3,600,000 องศาต่อปี)*** แม้จะน้อยมากแต่ GPB ก็วัดได้

อีกไม่นานหลังจากที่ดาวเทียม GPB สำเร็จภารกิจในการเก็บข้อมูลซึ่งกินเวลาไม่เกิน 2 ปีนับจากนี้ เราก็จะรู้ว่าผลการทดลองจาก GPB นำเราเข้าใกล้ขีดจำกัดของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปมากน้อยเพียงใด

รอติดตามข่าวต่อไป!

(ดูข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการ GPB ได้ที่ http://einstein.stanford edu/content/education/EducatorsGuide/Page11.html)

ครูฟิสิกส์กับการพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่น

*วิชิต เจริญสิงขร**

คำอธิบายรูปพลอยบนปกหน้า

รูปที่ 1 พลอยซองเจีย (Songia) ที่ถูกเผาแล้ว (ก่อนถูกเผามีสีน้ำขาปนเขียว) ปัจจุบันมีราคาดีคือกะรัตละประมาณหมื่นกว่าบาท

รูปที่ 2 พลอยแดงไทยหรือทับทิมสยาม (ในตลาดพลอยมักเรียกกันว่า พลอยบ่อไร่) ก่อนถูกเผา

รูปที่ 3 พลอยบ่อไร่ที่ถูกเผาแล้ว ถ้าสามารถทำให้มีสีแดงมากกว่านี้ ราคาพลอยจะสูงขึ้นอีกมาก

จันทบุรีเป็นจังหวัดที่มีผลผลิตอัญมณีและเครื่องประดับมากจังหวัดหนึ่งของประเทศ ผู้ปกครองของนักเรียนจำนวนมากประกอบอาชีพนี้ เช่น เจียระไน แต่ง(โกน)พลอย เผาพลอย ซื้อขายพลอย ทำเหมืองพลอย ฯลฯ เมื่อหลายปีมาแล้วนักเรียนที่ยากจนมักจะใช้วันหยุดเสาร์-อาทิตย์ไปร่อนหาเศษพลอยตามเหมืองพลอยที่เขาหยุดทำแล้วหรือตามที่ดินที่เจ้าของอนุญาตด้วยตะแกรงร่อนพลอย บริเวณเหมืองพลอยมักจะเห็นผงละอองเล็กๆ ของทองคำอยู่ริมลำธารด้วย เคยมีผู้ร่อนทองคำไปขายแต่ปัจจุบันเลิกไปแล้ว เพราะมีปริมาณน้อยมาก ในยุคนั้นจัดเป็นยุคทองของผู้ประกอบอาชีพทำพลอยคือพลอยดิบมีปริมาณมหาศาลไม่ค่อยมีใครคิดว่าพลอยจะหมดในเวลาไม่กี่ปี สายแร่มีอยู่บริเวณเขาพลอยแหวน เขาวัว บางกะจะ และตั้งแต่บริเวณอำเภอมะขามไปถึงจังหวัดตราด เลยเข้าไปในประเทศกัมพูชา บ่อพลอยที่มีชื่อเสียงเช่น บ่อไร่ หนองบอน นาวงศ์ สระใหญ่ ตกพรม บ่อเวฬ เต็มไปด้วยนักแสวงโชคนับแสนๆ คน ทำให้รายได้ของประชาชนในจังหวัดจันทบุรีและตราดในขณะนั้นจัดว่าดีมาก แต่ต่อมาวัตถุดิบในประเทศเหลือน้อยลง จนต้องมีการนำเข้าพลอยส่วนใหญ่จะนำเข้าจากทวีปแอฟริกาโดยเฉพาะประเทศมาดากัสการ์ และแทนซาเนีย ***(พลอย Songia ซึ่งมีชื่อเสียงในตลาดพลอยปัจจุบันนี้)*** ส่วนประเทศพม่า ศรีลังกา เวียดนามก็ลดจำนวนลงไปบ้างตามความต้องการในตลาด

ความรู้เรื่องพลอยจัดเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นของจังหวัดเช่นเดียวกับการทำสวนผลไม้และยางพารา ในยุคที่พลอยรุ่งเรืองเด็กนักเรียนจะลาออกจากโรงเรียนเมื่ออายุยังน้อย (ไม่อยากเรียนต่อ) ส่วนหนึ่งออกมาประกอบอาชีพรับจ้างเจียระไนพลอยเพราะใช้เวลาฝึกไม่นาน บางครอบครัวที่มีฐานะดีก็มักจะให้บุตรหลานของตนค้าขายพลอย เด็กๆ อายุน้อยสายตาดีกว่าผู้ใหญ่

รูปที่ 4 เตาเผาแบบก๊าซหุงต้ม และก๊าซออกซิเจน มีหัวเผาหลายหัวเพื่อต้องการเพิ่มความร้อนเร็ว จะเห็นมีท่ออยู่มากมายเพราะต้องใช้น้ำระบายความร้อนให้หัวเผาด้วย

เพราะสามารถมองเห็นมลทินในพลอยได้ชัดเจน มลทินเหล่านี้สามารถมองเห็นโดยใช้ไฟฉายส่องผ่านพลอยแล้วดูด้วยแว่นขยายประมาณ 10 เท่า จะเห็นลักษณะต่างๆ ตามคุณสมบัติของแร่ที่อยู่ภายในพลอยซึ่งพ่อค้าไม่รู้จักชื่อแร่ แต่เขาจะจำลักษณะของมลทินนั้นและเรียกลักษณะนั้นๆ ไว้เป็นที่เข้าใจกันในกลุ่มพ่อค้าพลอยเอง เช่น ไส้, หม่า, เหลือบ และไฝ เป็นต้น ทางวิชาอัญมณีศาสตร์จะเรียกเป็นชื่อของแร่ชนิดนั้นๆ หรือคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น เส้นเข็ม Rutile, Finger Print, Negative Crystal, Feather, Boehmite Needles, Repeated Twinning เป็นต้น มลทินเหล่านี้บางชนิดจะเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อนำพลอยมาเผาทำให้สีของพลอยมีคุณภาพดีขึ้นหรือเลวลงซึ่งมีผลต่อราคาพลอย บางครั้งมีความจำเป็นต้องตัดพลอยเม็ดใหญ่ๆ ออกเป็นเม็ดเล็ก

* ครูฟิสิกส์ โรงเรียนขลุงรัชดาภิเษก อ.ขลุง จันทบุรี 22110

เพื่อหลีกเลี่ยงมลทินที่ไม่ต้องการในพลอย เพราะถ้านำพลอยมาเผาทั้งเม็ดพลอยจะทึบแสง *(พ่อค้าเรียกว่าพลอยกลายเป็นหิน)*

ในยุคแรกๆ ยังไม่มีการปรับปรุงคุณภาพพลอยด้วยการเผา เล่ากันว่าเกิดไฟไหม้บ้านพ่อค้าพลอยบริเวณตลาดน้ำพุ จันทบุรี ประมาณปี พ.ศ. 2510 พลอยคุณภาพต่ำที่เก็บใส่ปี๊บไว้กลับมีสีสวยงามราคาแพงขึ้นหลังจากเมื่อถูกไฟไหม้ การเผาพลอยจึงเป็นที่นิยมในเวลาต่อมา ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการเผาได้ 2 แบบ คือ (ในที่นี้ขอกล่าวถึงพลอยในตระกูลคอรันดัม คือ ทับทิมและซัฟไฟร์)

ก. **วิธี Gas Diffusion** โดยอาศัยปฏิกิริยา Oxidation-Reduction เช่น วิธีเพิ่มสีน้ำเงิน ก็ใช้ก๊าซ CO เข้า reduce Fe_2O_3 วิธีเพิ่มสีเหลือง ก็ใช้ก๊าซ O_2 เข้า Oxidize FeO ปฏิกิริยานี้เกิดที่อุณหภูมิราวๆ 1,300-1,6000 เซลเซียส มลทินที่เป็นเหล็กในพลอยถูกเปลี่ยนค่าออกซิเดชัน ทำให้สีในพลอยเปลี่ยนไปซึ่งสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎี Charge Transfer Color ส่วนสีแดงในพลอยอธิบายได้โดยทฤษฎี Ligand Field Effect ที่เกิดจาก Cr^{+3}

ข. **วิธี Bulk Diffusion** ที่กำลังนิยมในการเปลี่ยนสีพลอยให้เป็นสีเหลืองในปัจจุบันคือวิธี Be-treated ผมเข้าใจว่าสีที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้โดยทฤษฎี Color Center ซึ่งเกิดจาก hole pairs ของ Be กับ Fe ซึ่งมีอะตอมอยู่ใกล้กัน **(คุณประจักษ์ อังคะหิรัญ อาจารย์พิเศษสาขาอัญมณีศาสตร์จากมหาวิทยาลัยบูรพาได้อธิบายถึงการใช้พลอยที่มี Al_2O_3 ที่บริสุทธิ์เผาด้วยวิธี Be-treated จะไม่เกิดสีเหลือง)** ปกติพลอยประเภท Padparadscha ซึ่งหายากในธรรมชาติก็เผาด้วยวิธีนี้โดยใช้พลอย Pink Sapphire เผากับ BeO ก็จะได้สี Sunset, สี Lotus เป็นต้น พลอยที่เผาแล้วถ้ามีสีส้มถึงสีส้มปนน้ำตาลก็จะเรียกว่า **อัฟริกัน พัดพะราดชา** ถ้าสีส้มปนชมพูก็เรียก **ซีลอน พัดพะราดชา** การเผา**พลอยสีเขียวสองบางกะจะ**ก็ใช้วิธีนี้ หลังการเผาก็จะมีสีเหลือง ปัจจุบันราคาพลอยเผาด้วย วิธี Be-treated ราคาจะถูกกว่าพลอยที่เผาจากวิธีแรกมาก ซึ่งมีวิธีการดูง่ายๆ ว่าเผาด้วยวิธีใด โดยหลักการผสมสีทางแสงจากทฤษฎีดังกล่าว และรู้แหล่งกำเนิดพลอยซึ่งจะทำให้ทราบโทนสีดั้งเดิมของพลอยก่อนเผา

เตาเผาพลอยแบบต่างๆ ก็พยายามพัฒนาให้ใกล้กับทฤษฎีมากที่สุด ที่ใช้กันในปัจจุบันก็มีเตาแบบใช้น้ำมันดีเซล แบบใช้ก๊าซหุงต้ม แบบใช้ไฟฟ้าชนิดแท่งความร้อน Kanthal Super ซึ่งได้รับความนิยมมากที่สุดในขณะนี้

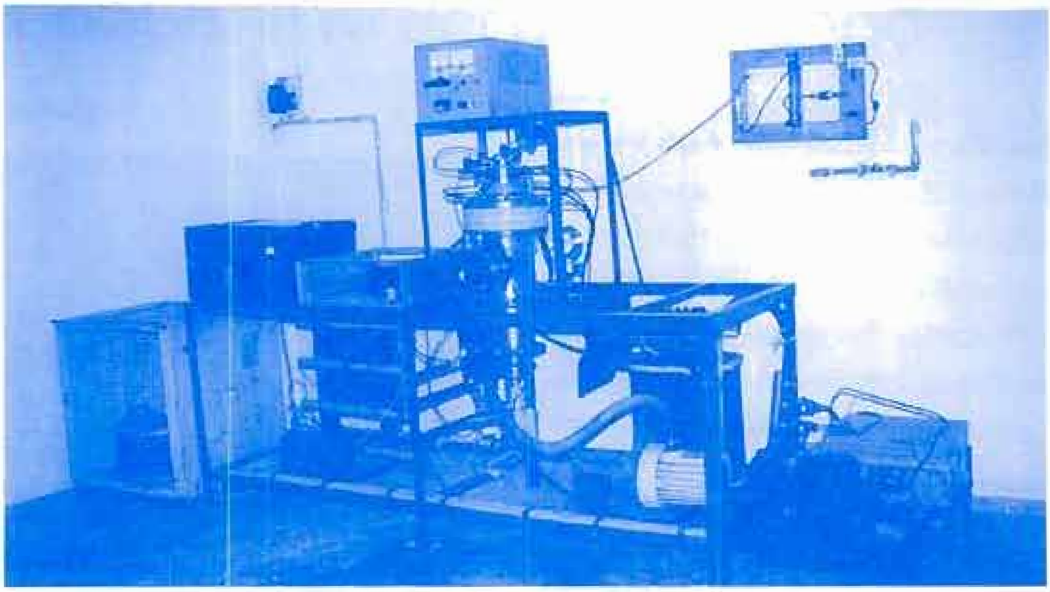
ผมสนใจที่จะใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้นเพื่อพัฒนาเตาเผาให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นไปอีก ให้เกินขีดความสามารถของเตาเผาทั่วไป

รูปที่ 5 เตาไฟฟ้าแบบที่ใช้กันทั่วไปในจังหวัดจันทบุรี ใช้แท่งความร้อน Kanthal Super อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 1,750 เซลเซียส

เพราะยังมีพลอยจำนวนมากที่เตาเผาแบบที่ใช้กันในปัจจุบันไม่สามารถทำให้มีคุณภาพดีกว่าที่เป็นอยู่ จึงได้ใช้ทุนทรัพย์ส่วนตัวพยายามพัฒนาอุปกรณ์เหล่านี้ขึ้นเอง อันได้แก่

1. *การใช้เครื่องมือ Gaseous Implanter ทดแทนการใช้วิธี Gas Diffusion ที่นิยมกันอยู่ทั่วไป*
2. *การใช้วิธีการ Ion Implantation ทดแทนการใช้วิธีการเผาแบบ Bulk Diffusion*

การใช้เครื่องมือ Gaseous Implanter ในกรณีแรกมีข้อได้เปรียบคือพลังงานจลน์ของก๊าซเข้าทำปฏิกิริยากับพลอยสูงกว่าวิธีใช้ความร้อนจากเตาเผาแบบอื่นๆ โอกาสเกิดปฏิกิริยากับแร่ในพลอยจะลึกมากขึ้นและรวดเร็วกว่า ปฏิกิริยา Oxidation-Reduction จึงสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และป้องกันไม่ให้ก๊าซอื่นเข้าทำปฏิกิริยากับพลอยได้ดีขึ้นเพราะพลอยถูกวางอยู่ใน chamber สูญญากาศ ปัจจุบันผมกำลังดัดแปลงเครื่องมือนี้ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น เชื่อว่าในอนาคต เครื่องมือ Gaseous Implanter จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเตาเผาพลอยที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ผมสร้าง RF Generator ความถี่ 27 เมกะเฮิตร์ซ จากหลอดส่งวิทยุเรือสินค้าซึ่งสามารถหาซื้อได้จากบริษัทที่ตัดเรือสินค้าเก่าขายเป็นเศษเหล็กที่มาบตาพุด เป็นหลอดสูญญากาศขนาดใหญ่ สามารถให้กำลังส่งเป็นกิโลวัตต์ เช่น หลอดเบอร์ 813, 4-400 เป็นต้น ส่วนระบบสูญญากาศหาซื้อได้จากร้านขายของเก่าญี่ปุ่นที่อำเภอบ้านบึง ชลบุรี chamber สแตนเลสและส่วนประกอบสามารถซื้อได้จากมาบตาพุดเช่นกันเพราะบริเวณนี้เป็นเขตอุตสาหกรรม ทำให้ต้นทุนการประกอบเครื่องมือนี้มีราคา

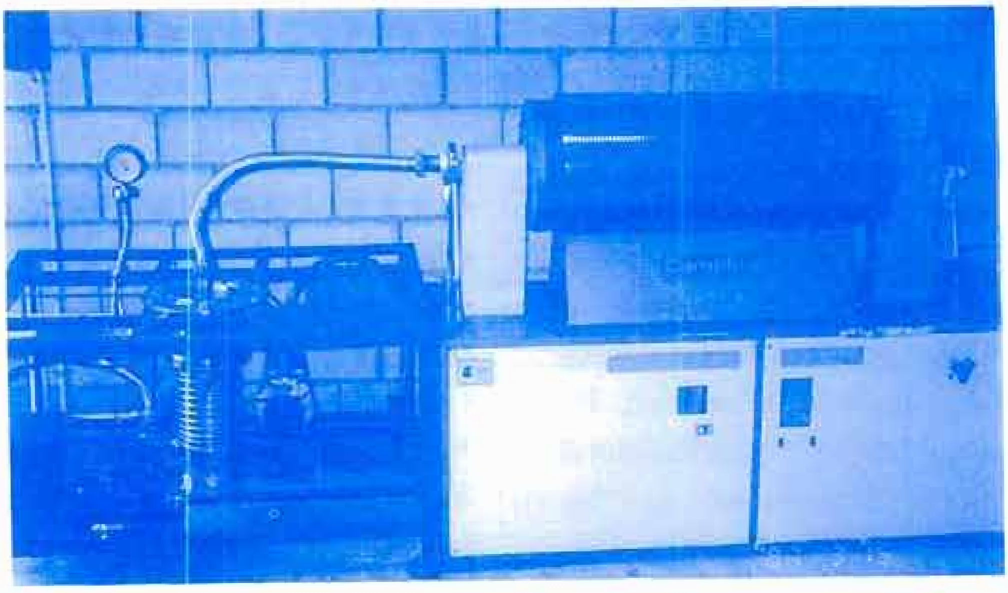


รูปที่ 6 Gaseous Implanter ที่ผู้เขียนสร้างขึ้นเอง

ใกล้เคียงกับเตาเผาพลอยแบบใช้ไฟฟ้าที่ใช้กันในปัจจุบันซึ่งบุคคลที่สนใจสามารถประกอบขึ้นใช้เองได้

ส่วนการคิดใช้เทคนิค Ion Implantation ทดแทนการเผาพลอยด้วยวิธี Bulk Diffusion ซึ่งนิยมในปัจจุบันนั้น เป็นเพราะวิธี Bulk Diffusion นั้นต้องใช้ความร้อนสูงประมาณ 1,800-1,900 เซลเซียส ในการทำ Be-treated ถ้าใช้น้ำมันหรือก๊าซเป็นตัวให้ความร้อน ก็เสียค่าใช้จ่ายสูงหรือถ้าใช้เตาไฟฟ้าแท่งความร้อนก็จะมีอายุการใช้งานสั้นลง เพราะใช้เกินขีดจำกัดของแท่งความร้อน Kanthal Super การเผาวิธีนี้ใช้เวลาประมาณ 60 ชั่วโมง แท่งความร้อนมักจะขาดกลางเมื่อลดอุณหภูมิลง บางครั้งพลอยที่เผาได้มีสีเหลืองไม่เข้มพอ ได้เพียงสีเหลืองจางๆ บางทีต้องเผาถึง 3 ครั้งถึงจะได้สีเหลืองสวยงามเช่น พลอยสีเขียวส่องบางกะจะ แต่ถ้าเป็นพลอยจากทวีปแอฟริกาเผาเพียงครั้งเดียวก็ใช้ได้เลย การใช้เทคนิค Pre-Deposition Ion Implantation จึงเหมาะกับการเผาแบบ Be-treated มากกว่าเพราะสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ดี

ผมเชื่อว่าเทคโนโลยีพลาสมาฟิสิกส์จะมีบทบาทมากสำหรับการเผาพลอยในอนาคตเพราะยังมีอัญมณีหลายชนิดที่ยังเผาไม่ประสบผลสำเร็จเมื่อใช้เตาเผาพลอยแบบใช้ความร้อนทั่วๆ ไป



รูปที่ 7 เตาเผาพลอยระบบสุญญากาศ ใช้ไฟฟ้าขนาด 6 กิโลวัตต์ ซึ่งผู้เขียนได้รับบริจาคมา

ขอแจมด้วยคน

วิกฤตการศึกษาวิชาฟิสิกส์ของประเทศ

*บัณฑิต ณ ลำพูน**

ประเทศไทยมีโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศโดยสรรหานักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีผลการเรียนดีและสนใจด้านวิทยาศาสตร์เข้าศึกษาในคณะวิทยาศาสตร์ของสถาบันและมหาวิทยาลัยในสังกัดและในกำกับทบวงมหาวิทยาลัยทุกแห่งทั่วประเทศจำนวนปีละ 350 ทุน โดยผู้ที่ได้รับทุนนี้จะได้รับค่าใช้จ่ายส่วนตัวเดือนละ 4,000.- บาทหรือปีละ 48,000.- บาท ตลอดหลักสูตร 4 ปี ค่าหนังสือและตำราเหมาจ่ายปีละ 5,000.- บาท พร้อมทั้งเงินอุดหนุนการวิจัยที่จ่ายให้ระหว่างศึกษาปีที่ 4 เหมาจ่าย 5,000.- บาท ส่วนค่าธรรมเนียมการศึกษา ค่าลงทะเบียนและค่าบำรุงการศึกษานั้น โครงการฯ จะจ่ายเงินให้กับมหาวิทยาลัยที่มีนักเรียนทุนตามที่มหาวิทยาลัยเรียกเก็บ โดยไม่มีข้อผูกมัดใดๆ ต่อผู้รับทุน **แต่ปรากฏว่าในปีการศึกษา 2546 มีนักเรียนผ่านการสอบคัดเลือกและยืนยันเข้าศึกษาในโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศเพียง 230 คน** ซึ่งคิดเป็นประมาณ 2/3 หรือ 60 % ของจำนวนทุนที่มีอยู่ทั้งหมดเท่านั้น โดยเมื่อแยกตามภูมิภาคแล้วพบว่าเป็นกลุ่มมหาวิทยาลัยภาคกลาง 81 คน กลุ่มมหาวิทยาลัยภาคเหนือ 43 คน กลุ่มมหาวิทยาลัยภาคใต้ 52 คน และกลุ่มมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 42 คน และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่เลือกเรียนในกลุ่มวิทยาศาสตร์พื้นฐาน คือเคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และคณิตศาสตร์แล้ว พบว่านักเรียนสนใจเลือกเรียนเคมีมากที่สุด **และเลือกเรียนฟิสิกส์น้อยที่สุด** ซึ่งการที่ที่ประชุมคณบดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยให้เหตุผลว่าการที่นักเรียนที่มีผลการเรียนดีแต่สนใจที่จะรับทุนตามโครงการนี้น้อยกว่าเป้าหมายอาจเนื่องมาจากเกรงว่าเมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วจะไม่มีตำแหน่งงานรองรับ หรือไม่มีทุนสนับสนุนต่อเนื่องให้ศึกษาต่อระดับสูงในต่างประเทศนั้นก็ไม่เป็นความจริงแต่อย่างใด ทั้งนี้เพราะปัจจุบันรัฐบาลได้จัดสรรเงินแก่ทบวงมหาวิทยาลัยเพื่อใช้เป็นทุนในการพัฒนาอาจารย์ของสถาบันอุดมศึกษาให้ไปศึกษาต่อระดับปริญญาเอกในต่างประเทศทุกสาขาวิชา โดยจัดสรรเงินนอกงบประมาณปีละจำนวน 1,000.- ล้านบาทให้จำนวน 4 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 เป็นต้นไป คิดเป็นเงินรวมทั้งสิ้น 4,000.- ล้านบาท นอกจากนั้นที่ผ่านมาจนกระทั่งปัจจุบันรัฐบาลก็ยังมีทุนการศึกษาปริญญาเอกกาญจนาภิเษก ทุนพัฒนาบุคลากรของมหาวิทยาลัย ทุนกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และทุน ก.พ. ตามความต้องการของกระทรวง ทบวง กรมต่างๆ อีกด้วย

ดังนั้นการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของประเทศไทยในปัจจุบันจึงไม่น่าที่จะมีปัญหาทั้งในเรื่องของทุนสนับสนุนการศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา และโอกาสของการมีงานทำในอนาคต **แต่ปัญหาที่แท้จริงก็คือจำนวนคนที่สนใจที่จะเรียนทางวิทยาศาสตร์เสียมากกว่า** ซึ่งปัจจุบันมีข้อมูลของสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ที่บ่งชี้ว่า **นักเรียนที่สนใจเข้าเรียนสาขาวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานมีแนวโน้มลดลง** นอกจากนั้นนักเรียนที่เข้าศึกษาในคณะวิทยาศาสตร์ส่วนหนึ่งไม่สามารถคิดแบบวิทยาศาสตร์ มีความรู้วิทยาศาสตร์ไม่ดีพอ และมีนักเรียนจำนวนมากที่ไม่ค่อยได้มีโอกาสทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา จึงทำให้นักเรียนไม่เข้าใจในเนื้อหาวิชาที่เรียน และทำให้นักเรียนไม่ชอบและไม่สนใจที่จะเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับวิชาฟิสิกส์ที่นักเรียนไม่สามารถมองเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ชัดเจนเหมือนกับวิชาชีววิทยาและวิชาเคมี และครูเองก็ไม่สามารถอธิบายหรือแสดงให้นักเรียนเห็นได้ จึงเป็นเหตุให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่ายและไม่อยากเรียนวิชาฟิสิกส์อีกต่อไปเพราะเรียนไปแล้วก็ไม่เข้าใจ ด้วยเหตุนี้สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกรมสามัญศึกษา ซึ่งเป็นหน่วยงานสังกัดกระทรวงศึกษาธิการได้ตระหนักถึงปัญหานี้ จึงได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยทั่วประเทศที่มีการสอนวิทยาศาสตร์พื้นฐานดังกล่าว จัดให้มี**โครงการอบรมครูที่สอนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ คอม-พิวเตอร์และสิ่งแวดล้อม**สำหรับครูสังกัดกรมสามัญศึกษา และครูสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาเอกชนที่สอนใน

*รองศาสตราจารย์ (ดร.) ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โรงเรียนที่อยู่ในภูมิภาคต่างๆ ให้ได้รับการอบรมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในสาขาวิชาต่างๆ ที่มีมหาวิทยาลัยตั้งอยู่ในภูมิภาค ตั้งแต่ พ.ศ. 2542 เป็นต้นมาเป็นประจำทุกปี ใน พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นการจัดการอบรมครั้งที่ 5 ผู้เขียนมีโอกาสร่วมให้ การอบรมครูสาขาวิชาฟิสิกส์ตามโครงการดังกล่าวที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 21 เมษายนถึง 2 พฤษภาคม 2546

จากข้อมูลของผู้เข้าอบรมพบว่าผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอนหนังสือในช่วงระยะเวลานานนั้นจะเป็นครูที่สอนโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษา**ระดับจังหวัด** ที่มีประสบการณ์ในการสอนเฉพาะเรื่องและเฉพาะชั้นเรียนเป็นระยะเวลานาน *เพราะโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาระดับจังหวัดมีจำนวนครูสอนเป็นไปตามเกณฑ์ที่กระทรวงกำหนดไว้* จึงเป็นครูที่มีความชำนาญเฉพาะเรื่องที่สามารถสอนนักเรียนให้มีความเข้าใจและลึกซึ้งในเรื่องนั้นๆ ได้เป็นอย่างดี ส่วนครูโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาประจำ***ระดับอำเภอ***และโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาประจำ***ระดับตำบล***นั้นมีประสบการณ์สอนน้อยตามลำดับ และเนื่องจากครูสอนวิชาฟิสิกส์ของโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาประจำระดับอำเภอและประจำระดับตำบลเหล่านี้มีจำนวนน้อย ที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของกระทรวงศึกษาธิการ ทำให้ครูเหล่านี้ต้องทำหน้าที่สอนทุกชั้นเรียนและทุกหัวเรื่องในหลักสูตร ที่ทำให้ไม่สามารถมีความชำนาญเฉพาะเรื่องที่สามารถอธิบายให้นักเรียนเข้าใจง่ายได้ อย่างไรก็ตามจากการสำรวจข้อมูลพบว่าครูที่เข้ารับการอบรมทุกคนไม่ว่าจะเป็นครูที่สอนโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาประจำระดับจังหวัด หรือประจำระดับอำเภอหรือประจำระดับตำบลต่างก็ต้องมีภาระงานสอนวิชาฟิสิกส์ในชั้นเรียนต่างๆ ประมาณ 25-30 คาบชั่วโมงสอนต่อสัปดาห์ที่มีชั่วโมงทำงาน 35 ชั่วโมง ส่วนชั่วโมงที่เหลือจากการสอนวิชาฟิสิกส์นั้น**ครูฟิสิกส์จะต้องสอนวิชาคอมพิวเตอร์ พลศึกษา เนตรนารีและงานธุรการของโรงเรียนที่เกี่ยวข้องกับการใช้คอมพิวเตอร์อีกด้วย** ดังนั้นในทางปฏิบัติครูที่สอนวิชาฟิสิกส์แต่ละคนจึงมีภาระหน้าที่ที่ต้องปฏิบัติเต็มเวลาคือ 35 คาบชั่วโมงซึ่งเป็นภาระงานเต็มเวลาที่ครูสามารถปฏิบัติงานได้ในหนึ่งสัปดาห์ **จึงทำให้ครูสอนฟิสิกส์ในโรงเรียนไม่มีเวลาสำหรับการเตรียมเครื่องมือเพื่อใช้สาธิตและทดลองประกอบการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียน**

จากการสำรวจถึงปัญหาของโรงเรียนที่มีการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์นั้นพบว่าการเรียนการสอนภาคทฤษฎีนั้นครูที่สำเร็จการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์โดยตรงไม่ค่อยมีปัญหาเพราะสอนตามรายละเอียดของหนังสือและสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ ส่วนครูที่สำเร็จการศึกษาในสาขาวิชาที่ไม่เกี่ยวกับฟิสิกส์โดยตรงนั้นมีปัญหาเพราะไม่สามารถอธิบายเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่กล่าวไว้ในหนังสือเรียน นอกจากนั้นยังไม่สามารถเข้าใจในความหมายที่เขียนในหนังสือเรียนอีกด้วย เมื่อสอนวิชาฟิสิกส์ให้นักเรียนจึงทำให้นักเรียนไม่เข้าใจและเกิดความเบื่อหน่ายและไม่สนใจในการเรียนวิชาฟิสิกส์ ในส่วนของเครื่องมือทดลองนั้นปรากฏว่าโรงเรียนส่วนมากไม่มีเครื่องมือทดลองทางฟิสิกส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงเรียนสังกัดกรมสามัญศึกษาประจำอำเภอและประจำตำบล ทำให้ครูไม่สามารถทดลองสาธิตและให้นักเรียนทำการทดลอง/ปฏิบัติการเพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจในทฤษฎีของวิชาฟิสิกส์ให้ลึกซึ้งได้ ส่วนโรงเรียนส่วนน้อยซึ่งเป็นโรงเรียนประจำจังหวัดที่มีเครื่องมือและชุดทดลองที่ได้รับจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) แต่ก็มีจำนวนไม่ครบชุดและไม่เพียงพอกับจำนวนนักเรียนที่มีอยู่ นอกจากนั้นเครื่องมือที่มีอยู่ก็ไม่ได้มาตรฐาน ทำให้การทดลองไม่ได้ผลและไม่สอดคล้องกับทฤษฎีแม้แต่น้อย ***ซึ่งในทางปฏิบัติครูให้นักเรียนนำเอาผลสรุปที่ควรจะได้จากการทดลองที่เขียนไว้ในหนังสือเรียนมาอธิบายและสรุปผลการศึกษาทดลอง*** ทำให้นักเรียนไม่ทราบถึงกระบวนการและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง ทำให้ไม่ทราบผลที่แท้จริงจึงทำให้เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียนวิชาฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนั้นยังพบว่าบางโรงเรียนได้รับเครื่องมือและอุปกรณ์การเรียน การสอนที่มีคุณภาพดี เช่นไมโครคอมพิวเตอร์ และไมโครสโคปชนิด 3 ตา เครื่องมือดังกล่าวเป็นชุดที่สมบูรณ์และคุณภาพสูง ราคาแพง โรงเรียนได้รับจากกระทรวงศึกษาธิการตั้งแต่ พ.ศ. 2540 แต่ปรากฏว่าไม่เคยมีการใช้งานเลยจนกระทั่งถึงปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะโรงเรียนดังกล่าวในอดีตที่ผ่านมาไม่มีไฟฟ้าใช้และเพิ่งมีไฟฟ้าใช้เมื่อ 3-4 เดือนที่ผ่านมาเท่านั้นเอง ถึงแม้โรงเรียนดังกล่าวจะอยู่ห่างจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพียง 20 กิโลเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามถึงแม้ไม่มีโอกาสได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ดังกล่าวในการทำงานและการสอนหนังสือ ครูก็มีภาระงานที่ต้องคอยนำเครื่องมือและอุปกรณ์เหล่านี้ออกจากกล่องเพื่อดูแลป้องกันไม่ให้ขึ้นรา ปัจจุบันถึงแม้ว่าโรงเรียนนี้จะมีไฟฟ้าใช้เมื่อประมาณ 4 เดือนที่ผ่านมาแต่ปรากฏว่าเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่ได้รับเมื่อ พ.ศ. 2540 ก็ล้าสมัยแล้วถึงแม้ว่าจะมีสภาพภายนอกทั่วไปดูดีและดูเป็นของใหม่ก็ตาม เช่นกันบางโรงเรียนก็ได้รับเครื่องมืออุปกรณ์การทดลองราคาแพงที่มีคุณภาพดีเกินความจำเป็น เช่น ได้รับเครื่องวัดมิเตอร์รวมแบบตัวเลข (Digital Multimeter) ที่

สามารถอ่านค่าได้ละเอียดเป็นตัวเลขหลังทศนิยมถึง 8 ตำแหน่ง ที่ระดับโรงเรียนมัธยมนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องอ่านค่าและใช้ค่าเพื่อการคำนวณที่มีความละเอียดถึงขนาดนั้น สิ่งต่างๆ เหล่านี้คิดว่าคงเกิดขึ้นในโรงเรียนอีกหลายแห่งในภูมิภาคต่างๆ ซึ่งสะท้อนถึงวิธีการจัดสรรงบประมาณของกระทรวงศึกษาธิการที่ไม่มีประสิทธิภาพแต่อย่างใด

ข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงการอบรมครูฟิสิกส์ให้ได้ประโยชน์และสัมฤทธิผลตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

1. ต้องแยกการอบรมครูที่สำเร็จการศึกษาทางฟิสิกส์โดยตรงและไม่โดยตรงออกจากกัน ทั้งนี้เพราะพื้นฐานความรู้ ความต้องการและวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้แตกต่างกัน
2. ต้องแยกการอบรมครูที่มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรีและระดับปริญญาโทออกจากกันเช่นกันด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับข้อแรก
3. ถ้าต้องการให้ครูที่เข้ารับการอบรมมีความรู้อย่างลึกซึ้งที่สามารถสอนหนังสือให้นักเรียนเข้าใจได้นั้น การอบรมต้องมีการเจาะเนื้อหาในแนวลึกและเฉพาะเรื่องในระยะเวลาที่กำหนดเช่นนี้ ที่เป็นอยู่ขณะนี้หัวเรื่องที่ต้องรับการอบรมมีมาก แต่ระยะเวลาการอบรมสั้น ทำให้ไม่สามารถศึกษาให้เข้าใจอย่างลึกซึ้งได้
4. ถ้ากรอบการอบรมยังมีหัวข้อมากเช่นนี้ควรขยายระยะเวลาการอบรมให้ยาวขึ้น (อาจเป็น 20 - 30 วัน แทนที่จะเป็น 10 วัน เช่นปัจจุบัน)
5. จัดให้มีการอบรมหลักสูตร 3 (การวิจัย) ต่อเนื่องจากหลักสูตร 1 และ 2 ซึ่งเป็นเรื่องของเนื้อหาวิชาเท่านั้น หลักสูตร 3 นี้อาจเป็นเรื่องของการสร้างชุดทดลองอย่างง่ายที่สามารถใช้ประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมปลายได้

ดังนั้นในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการจัดอบรมครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เจ้าของโครงการคือ **สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และกรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการจะต้องมีแผนงานต่อเนื่อง (Follow-up programme)** เพื่อสานงานต่อจากการอบรมที่แล้วเสร็จเป็นคราวๆ ทั้งนี้เพื่อให้ครูและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมีกิจกรรมและการดำเนินการที่ต่อเนื่อง ที่สามารถพัฒนาองค์ความรู้และดำรงไว้ในเรื่องของเครือข่ายที่สามารถสนับสนุนการพัฒนาความรู้ของครูและโรงเรียนได้ต่อไปในอนาคต

พ.ศ. 2548 : ปีฟิสิกส์โลก (IUPAP) หรือปี ฟิสิกส์สากล (UN)
World Year Physics 2005
International Year of Physics 2005

***Albert Einstein** (พ.ศ.2422-2498)*

ปี พ.ศ. 2548 จะเป็นวาระที่ครบรอบ 1 ศตวรรษแห่ง **"ปีมหัศจรรย์ของไอน์สไตน์"** เพราะย้อนกลับไปในปี พ.ศ. 2448 ในปีเดียวกันนั้น ไอน์สไตน์ตีพิมพ์ผลงานวิจัย 3 เรื่อง ที่ล้วนมีความสำคัญมาก คือ **Photoelectric Effect, Brownian Motion และ Special Theory of Relativity** ซึ่งนับแต่นั้นมา โลกก็ได้ก้าวเข้าสู่ยุค "ฟิสิกส์ยุคใหม่ (Modern Physics)" อย่างเต็มรูปแบบ

International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) กำหนดให้ปีหน้าเป็น **"ปีฟิสิกส์โลก (World Year Physics 2005)"** และหัวข้อหลักของการเฉลิมฉลองคือ **"Einstein in the 21st Century"**

องค์การสหประชาชาติ (UN) กำหนดเรียกว่า **"ปีฟิสิกส์สากล (International Year of Physics)"** และหัวข้อหลักของการเฉลิมฉลองคือ **"Physics Enlightens the World"**

สมาคมฟิสิกส์ไทยจะจัดกิจกรรมเข้าร่วมวงไพบูลย์ด้วย ซึ่งรายละเอียดจะได้แจ้งให้ชาวฟิสิกส์ไทยทราบในโอกาสต่อไป

หน่วยวิจัยชีวฟิสิกส์

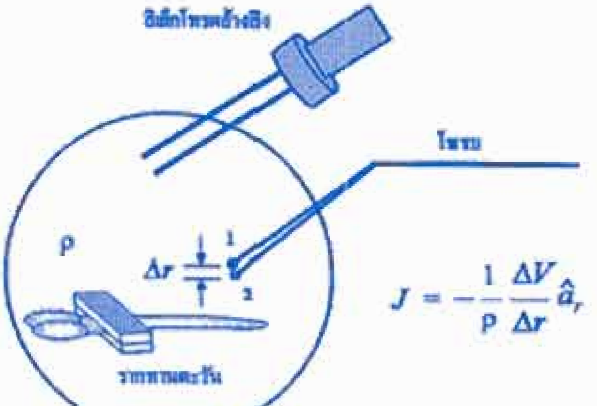
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปณต ถาวรังกูล* และพิกุล วณิชาภิชาติ*

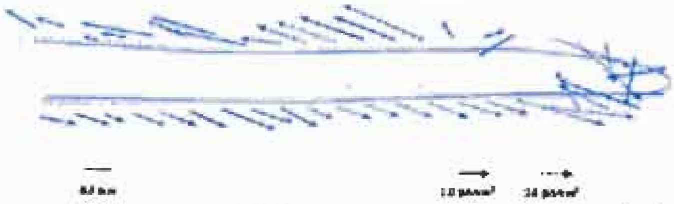
หน่วยวิจัยชีวฟิสิกส์ ใช้หลักการและเทคนิคทางฟิสิกส์เพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับกลไกหรือพฤติกรรมของระบบสิ่งมีชีวิตที่สนองตอบต่อสิ่งกระตุ้นภายนอกซึ่งจะส่งผลต่อกระบวนการภายในในรูปแบบที่วัดได้ หรือตีความหมายได้ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์เปิดสอน**วิชาชีวฟิสิกส์**ให้เป็นวิชาเลือกในระดับปริญญาตรีตั้งแต่ปี 2528 และเปิดรับนักศึกษาปริญญาโทตั้งแต่ปี 2537 และในปี 2547 เริ่มรับนักศึกษาปริญญาเอก งานวิจัยในสาขานี้แบ่งออกเป็น 4 แนวทางหลัก ดังนี้

1. การวิจัยด้านกระแสไฟฟ้าชีวภาพ

งานวิจัยพื้นฐานด้านกระแสไฟฟ้าชีวภาพเป็นการศึกษาเพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากพืชกับการเจริญเติบโต โดยใช้**ระบบไวเบรทิงโพรบ (vibrating probe)** วัดกระแสไฟฟ้าปริมาณน้อยมาก ($\mu A/cm^2$) ในสารละลายที่ล้อมรอบระบบที่ศึกษา ในการวัดโพรบจะถูกเลื่อนไปที่ตำแหน่งต่างๆ

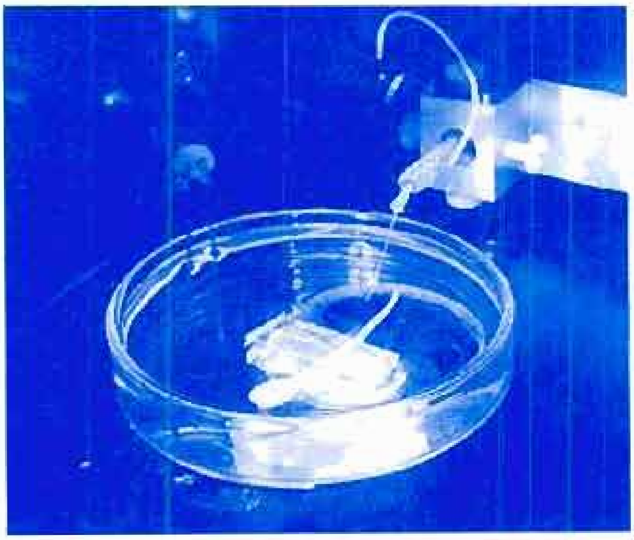


หลักการของระบบไวเบรทิงโพรบ การวัดจะทำในสารละลายที่ล้อมรอบระบบที่ศึกษา โพรบจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาระหว่างสองจุด (1 และ 2) เพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า ΔV ระหว่างระยะทาง Δr ความหนาแน่นกระแส J สามารถคำนวณได้จากสมการดังแสดงในรูป เมื่อ ρ คือสภาพต้านทานของสารละลาย



ตัวอย่างรูปแบบกระแสไฟฟ้าไอออนรอบๆ รากทานตะวัน กระแสไฟฟ้าเข้าสู่รากที่บริเวณปลายรากและออกจากรากในบริเวณอื่นๆ

รอบระบบ ในแต่ละตำแหน่งโพรบที่สั่นกลับไปกลับมาเป็นระยะทางสั้นๆ (20-30 ไมครอน) จะวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุดสองจุด หลังจากนั้นจึงคำนวณกระแสไฟฟ้าจากความต่างศักย์ไฟฟ้า การวัดโดยวิธีนี้จะไม่ทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือรบกวนระบบที่กำลังศึกษา ตัวอย่างการศึกษาที่ผ่านมาเช่น กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากเอ็มบริโอของปาล์มน้ำมันและของรากทานตะวัน พบว่ารูปแบบของกระแสไฟฟ้าไอออนมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโต นั่นคือกระแสไฟฟ้าจะมีทิศเข้าในบริเวณที่มีการเจริญเติบโต นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของสารพิษบางอย่างที่คาดว่าจะก่อให้เกิดปัญหากับการเติบโตของพืช และเซลล์สาหร่าย Characean ขณะนี้ทางหน่วยวิจัยฯ กำลังดำเนินการเกี่ยวกับระบบที่ใช้ไอออนซิเล็กทีฟอิเล็กโทรดเพื่อวินิจฉัยเกี่ยวกับชนิดของไอออนที่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเหล่านี้



การวัดกระแสไฟฟ้ารอบๆ รากด้วยระบบไวเบรทิงโพรบ

*รองศาสตราจารย์ (ดร.) และ *ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

2. การวิจัยด้านกลศาสตร์เชิงไฟฟ้า (Electro-mechanics) ของเซลล์แขวนลอย

การศึกษานี้เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำเซลล์เดี่ยวในสนามไฟฟ้ากระแสสลับย่านความถี่คลื่นวิทยุ พฤติกรรมของเซลล์ในสนามไฟฟ้าดังกล่าวที่วัดได้คือ การเคลื่อนที่เชิงเส้น การเคลื่อนที่เชิงมุม และการยืดของเยื่อเซลล์ เหล่านี้นำไปเชื่อมโยงกับการศึกษาเชิงทฤษฎีเพื่ออธิบายคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าของเซลล์ในสภาวะต่างๆ การศึกษาเหล่านี้ได้มีการพัฒนารูปแบบของขั้วไฟฟ้าและระบบสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้เซลล์เม็ดเลือดแดง โพรโทพลาสต์พืช และแพลงก์ตอนพืชน้ำเค็ม เป็นตัวอย่างศึกษา ขณะนี้กำลังศึกษา Model ที่เหมาะสมเพื่ออธิบายสภาพนำไฟฟ้า สภาพยอมทางไฟฟ้า และความจุไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์ตามรูปทรงของเซลล์นั้นๆ

3. การวิจัยด้านเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) และเยื่อกรอง (Filtration membrane)

งานวิจัยเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โดยอาศัยไอโซโทปกัมมันตรังสี ที่ผ่านมาได้ศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้ากระแสสลับต่อการดูดซึมธาตุฟอสเฟต เนื่องจากฟอสฟอรัส (P) เป็นธาตุอาหารสำคัญต่อการเพิ่มจำนวนเซลล์ ส่วนการผลิตเยื่อกรองได้ใช้วัสดุเซรามิก พอลิเมอร์ และวัสดุผสมพอลิเมอร์/พอลิเมอร์ หรือ เซรามิก/พอลิเมอร์ ทดสอบคุณลักษณะของเมมเบรนด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อประยุกต์ในด้านการทำน้ำให้บริสุทธิ์และการแยกของเหลือทิ้งเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล มีงานเตรียมเยื่อพอลิเมอร์ที่จดจำโมเลกุลเป้าหมายเพื่อทำเป็นเมมเบรนเซนเซอร์สำหรับตรวจจับสารแปลกปลอมในน้ำดื่ม **งานวิจัยในหัวข้อนี้จึงเป็นการบูรณาการของศาสตร์หลายสาขา** เช่น ฟิสิกส์ เคมี พอลิเมอร์ ชีววิทยา อุตสาหกรรมอาหาร และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เยื่อกรองที่ทำขึ้นมีขนาดรูระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตร จึงมีการศึกษาพัฒนาเทคนิคเจาะรูเมมเบรนให้ได้ขนาดตามต้องการ ขณะนี้ **บริษัท Liquid Purification Engineering International Co. Ltd. ซึ่งเป็นบริษัทของคนไทย** ตั้งอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี ได้ให้ทุนแก่นักศึกษาระดับปริญญาโทเพื่อทำวิจัยด้านเยื่อกรอง *นับว่าเป็นขวัญกำลังใจและเป็นการสนับสนุนงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ไทยเป็นอย่างยิ่ง*

4. การวิจัยด้านไบโอเซนเซอร์

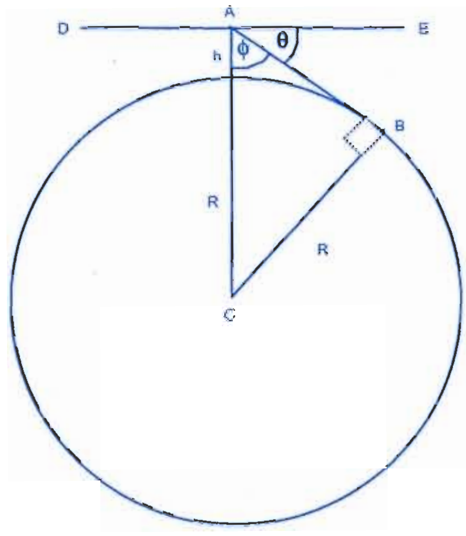
ไบโอเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัสดุชีวภาพเช่น เอนไซม์ หรือ เซลล์ ร่วมกับทรานสดิวเซอร์ที่เหมาะสมเพื่อตรวจหาปริมาณสารในสารละลายตัวอย่าง เช่น กลูโคสในพลาสมา ยูเรียในซีรัม ซูโครสในน้ำอ้อยสด หน่วยวิจัยฯ ได้พัฒนาไบโอเซนเซอร์ที่ประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้มีหลายประเภท เช่น ออกซิเจนอิเล็กโทรด เทอร์มิสเตอร์ มิเตอร์วัดสภาพนำไฟฟ้า ฯลฯ ขณะนี้ได้เริ่มศึกษาการใช้วัสดุชีวภาพที่จะจับกับสารที่ต้องการวิเคราะห์ในลักษณะของ affinity binding เช่น การจับกันของแอนติเจนและแอนติบอดี พร้อมกับการใช้ทรานสดิวเซอร์ระบบใหม่ๆ ที่ทำให้สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจาก affinity binding ได้โดยตรง รวมทั้งศึกษาการใช้เส้นใยนำแสงวัดการเปลี่ยนแปลงทางแสงที่เกิดขึ้นในบางปฏิกิริยา โดยงานเหล่านี้เน้นการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ในด้านการแพทย์ และการหาสารปนเปื้อนในอาหารและในสิ่งแวดล้อม

จาก นสพ. Bangkok Post

วัดรัศมีโลก (2)

สมชาย เกียรติกมลชัย

สวัสดีครับ คอลัมน์เรียนเลนฟิสิกส์ฉบับนี้จะเป็นเนื้อหาต่อเนื่องจากฉบับที่แล้วที่ผมตั้งโจทย์ ***"วัดรัศมีโลก"*** เอาไว้ ผมขออนุญาตสรุปความเดิมจากตอนที่แล้วว่า เราได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบวัดรัศมีโลกดัง**รูปที่ 1** และรัศมีของโลกสามารถคำนวนได้จากสมการ $R = \frac{h\sin\phi}{1-\sin\phi}$ โดย $\phi = \frac{\pi}{2} - \theta$ ปริมาณที่ต้องออกแบบการทดลองวัดคือ มุม θ แนวคิดหลักของมุมนี้ก็คือ ถ้าเราเริ่มต้นโดยการยืนตรงมองออกไปในแนวระดับ (ซึ่งทำได้ยากครับ) พยามยามบังคับดวงตาให้อยู่นิ่งแล้วก้มหน้าเล็กน้อยเพื่อให้มองเส้นขอบฟ้าได้ชัดเจน มุมที่เราต้องก้มหน้าขณะที่เรามองไปยังเส้นขอบฟ้าก็คือมุมนี้นั่นเอง แต่แนวคิดนี้ก็ทำได้ยาก โจทย์สำคัญคือการเปลี่ยนแนวคิดนี้ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น มีการวัดและสามารถเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขได้ เนื่องจาก ***"วัดรัศมีโลก"*** เป็นกิจกรรมที่ผมตั้งใจให้นักเรียนได้ทดลองจริง ๆ ดังนั้นเงื่อนไขประการสำคัญจึงอยู่ที่การประยุกต์ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ใด ๆ ที่หาได้ง่ายและราคาไม่แพง **(ผมขอเน้นนะครับว่ากิจกรรมนี้มุ่งแนวคิดมากกว่าค่าที่วัดได้)**



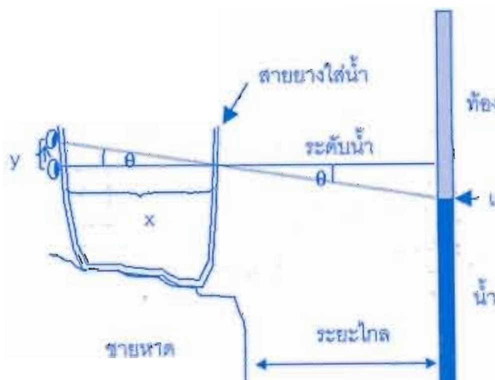
รูปที่ 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การวัดรัศมีโลก

ผมกับอาจารย์สมศักดิ์ช่วยกันคิด...เราใช้เวลาไปกว่า 2 ชั่วโมงที่ชายหาดคุ้งกระเบนกับไอเดียรูปแบบการทดลอง 2-3 แบบ...และในที่สุดก็ลงตัวที่การทดลองต่อไปนี้

เริ่มต้น เราต้องการสร้างเส้นตรง DE ซึ่งเป็นเส้นที่ตั้งฉากกับเส้นรัศมีของโลก เราใช้หลักการง่ายๆ ของสายยางปลายเปิดสองด้านที่ใส่น้ำพอประมาณ ธรรมชาติของความดันบรรยากาศช่วยทำให้ระดับน้ำทั้งสองด้านอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลเท่ากัน ดังนั้นเส้นเชื่อมระดับน้ำที่ปลายทั้งสองข้างของสายยางคือเส้นตรง DE

ลำดับต่อไปคือการสร้างเส้นตรง AB เพื่อจะหามุมก้ม θ เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นผมขอใช้**รูปที่ 2** ประกอบการอธิบายครับ เมื่อเรานำปลายสายยางทั้งสองด้านผูกกับต้นไม้สองต้น *(ในการทดลองจริงต้นไม้สองต้นห่างกัน 14.50 เมตร)* และใช้ดวงตามองที่ระดับน้ำด้านหนึ่ง มองในลักษณะที่ให้เห็นระดับน้ำทั้งสองด้านทับกันพอดี เราจะสังเกตพบว่า "เส้นขอบฟ้าจะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำในสายยาง" ทั้งนี้เพราะเรากำลังมองไปตามเส้นตรง DE นั่นเอง

บรรยายมาเรื่อย ๆ ถึงจุดนี้ดูเหมือนจะง่ายครับ แต่เอาเข้าจริงๆ ก็พบอุปสรรค มันเป็นความยากอย่างยิ่งที่จะมองเห็นระดับน้ำทั้งสองให้คมชัดพร้อมๆ กันเพื่อจะบอกได้ว่ามันทับกันพอดีแล้ว เมื่อเราพยายามมองระดับน้ำใกล้ตา ภาพของระดับน้ำในสายยางด้านที่ไกลออกไปก็จะเบลอ เมื่อเราเพ่งมองไปที่สายยางที่ไกลออกไป ดวงตาเราจะปรับความยาวโฟกัสให้ได้ภาพไกลที่ชัด แต่ภาพระดับน้ำในสายยางใกล้ตาก็จะเบลอ อีกปัญหาที่พบก็คือ เราไม่สามารถมองเห็นระดับน้ำในสายยางที่ไกลออกไปกว่า 14 เมตร

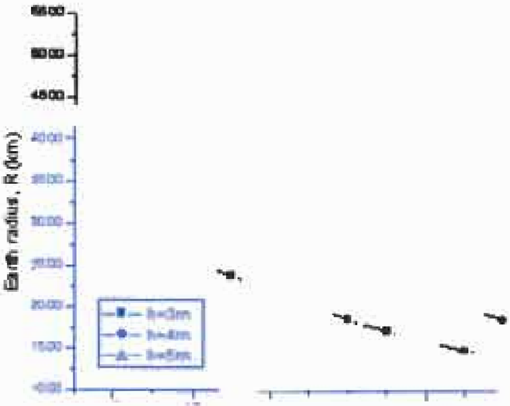


รูปที่ 2 การจัดอุปกรณ์และการเล็งด้วยสายตา

ได้ชัดเจน เปรียบดั่งการพยายามมองให้เห็นขอบเหรียญบาทที่ระยะดังกล่าว ผมและอาจารย์สมศักดิ์เลือกที่จะ ***"บรรเทา"*** ปัญหาเรื่องการมองระดับน้ำที่ปลายสายยางด้านไกลโดยการขึงเชือกฟางซึ่งมีความหนาประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร ให้ตึงได้ระดับกับพื้นโลก *(ใช้สายยางเส้นเดียวกันช่วย)* และอยู่ระดับเดียวกับระดับน้ำในสายยางด้านไกล *(ไม่ได้แสดงในรูปที่ 2)* เชือกฟางนี้ช่วยกำหนดระดับน้ำด้านไกลได้ชัดเจนขึ้น

เรากลับมาหามุมกันกันต่อครับ เรายังยืนอยู่ที่เดิมมองเห็นระดับน้ำทั้งสองอยู่ระดับเดียวกัน ขั้นต่อไปให้ละสายตาไปเพ่งที่ระดับน้ำไกลตาแทน เราต้องการมองให้ระดับน้ำด้านไกลสายตาอยู่ในแนวเดียวกับเส้นขอบฟ้า ให้เพ่งไปที่ระดับน้ำดังกล่าวแล้วค่อยๆ ลุกขึ้นช้าๆ เพื่อปรับความสูงของดวงตาให้สูงขึ้นจนกระทั่งดวงตา เห็นระดับน้ำด้านไกล *(หรือระดับของเชือกฟางในกรณีที่ใช้เชือกฟางช่วยการมอง)* และเส้นขอบฟ้าต่อกันเป็นแนวเส้นตรงเดียวกัน ดังแสดงด้วยเส้นประ เมื่อนำระยะที่ดวงตาเราต้องมองสูงขึ้น (y) หารด้วยระยะห่างระหว่างปลายสายยาง (x) เราก็จะได้ค่าประมาณของมุม θ

ในกิจกรรมจริงๆ เราได้ทดลองให้นักเรียน 3-4 คนหาค่า y พบว่าจะได้ค่าที่แตกต่างกันพอสมควรในช่วง 2-3 เซนติเมตร เมื่อใช้ค่าความสูงของดวงตาจากระดับน้ำทะเล (h) ซึ่งเราไม่ได้วัดแต่ประมาณด้วยสายตาว่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 เมตร ก็พบว่ารัศมีของโลกที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1500 ถึง 5500 กิโลเมตร หรืออาจดูได้จากกราฟที่ได้ทำการพลอตภายหลังกิจกรรมเสร็จสิ้นแล้วเป็นดัง**รูปที่ 3**



รูปที่ 3

ค่ารัศมีโลกที่เป็นที่ยอมรับกันในปัจจุบันคือประมาณ 6300 กิโลเมตร ซึ่งค่อนข้างมากอยู่ซักหน่อยเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้ แต่ถึงกระนั้นค่ารัศมีที่คำนวณได้ในระดับขนาดของ ***"พันกิโลเมตร"*** ก็ถือได้ว่าเป็นการเริ่มต้นที่ดีครับสำหรับการวัดรัศมีโลกที่ใช้เพียงของสามสิ่ง ได้แก่ สายยาง ไม้เมตร และเชือกฟาง

คำถามที่ผมอยากฝากให้ผู้อ่านช่วยคิดล่วงหน้าสำหรับคอลัมน์เรียนเล่นฟิสิกส์ฉบับหน้า ซึ่งจะเป็นตอนจบของ *"วัดรัศมีโลก"* ก็คือว่า เราประสบปัญหาว่ากิจกรรมนอกสถานที่ดังกล่าวเราไม่มีเครื่องคิดเลข เราจะสามารถคำนวณค่ารัศมีโลกได้อย่างไรโดยไม่ต้องใช้เครื่องคิดเลขเพื่อคำนวณค่าฟังก์ชั่น $\sin\phi$ ฉบับหน้ามีคำตอบครับ

PEANUTS

จาก นสพ. ***Bangkok Post***

"ฟังก์ชั่น" เดลตาดิแรก

ชาญกิจ คันฉ่อง

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

Paul A. M. Dirac (1902-1984)

I. ประวัติและความสำคัญ

"ฟังก์ชั่น" เดลตาดิแรก (Dirac delta "function") เป็น **"ฟังก์ชั่น"** แปลกประหลาดชนิดหนึ่งที่รู้จักกันดีในวิชาฟิสิกส์ ที่จริงไม่ใช่ฟังก์ชั่น แต่มีลักษณะคล้ายฟังก์ชั่น ในบทความนี้จึงเขียนอยู่ในรูปเครื่องหมายคำพูด บทความนี้ประกอบด้วย 3 ตอน คือ ***I. ประวัติและความสำคัญ, II. ภาพง่ายๆ และบทบาทการใช้งาน, และ III. วิธีนิยามอย่างเคร่งครัดและความหมาย*** จะทยอยลงตามลำดับ นับจากฉบับนี้เป็น 3 ฉบับ

ประวัติที่สำคัญ

ในปี 1885 **K. Weierstrass** นักคณิตศาสตร์ชาวเยอรมัน นำเสนอแนวความคิดเกี่ยวกับ **"ฟังก์ชั่น"** นี้ครั้งแรก โดยอยู่ในขั้นตอนหนึ่งของการพิสูจน์ทฤษฎีบทประมาณไวแยร์สทราสส์ (Weierstrass approximation theorem) (Byron and Fuller, 1992: หน้า 228-232) ซึ่งเป็นทฤษฎีบทที่สำคัญมากในวิชาคณิตศาสตร์ด้านการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ (mathematical analysis) และทฤษฎีฟังก์ชั่น (theory of function) ทฤษฎีบทนี้เกี่ยวกับความเป็นไปได้ที่จะเขียน (represent) ฟังก์ชั่นต่อเนื่องใดใดในช่วงปิดหนึ่งๆ ด้วยฟังก์ชั่นพหุนาม ซึ่งคล้ายกับทฤษฎีบทเทย์เลอร์แต่ทั่วไปกว่า

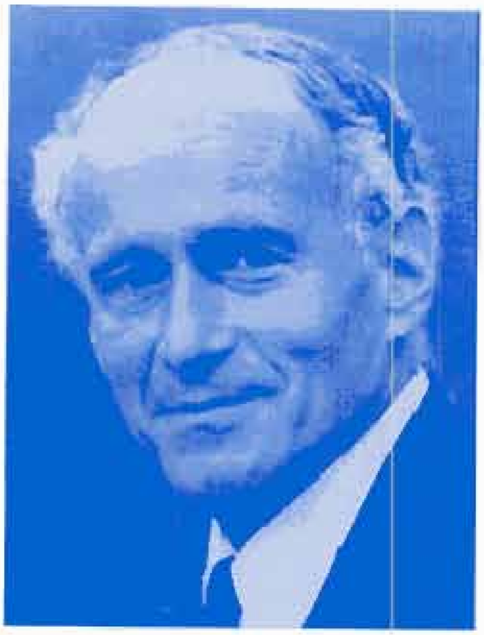
ต่อมา ปี 1926 และ 1930 **P.A.M. Dirac** นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ผู้เป็นสถาปนิกคนสำคัญที่สุดคนหนึ่งของกลศาสตร์ควอนตัม นำเสนอขึ้นอีกครั้งพร้อมทั้งแคลคูลัสที่น่าอัศจรรย์ของ

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + 2\gamma\frac{dx}{dt} + m^2\omega^2 x = F\delta(t - t_0)$$

Karl T. W. Weierstrass (1815-1897)

"ฟังก์ชั่น" นี้ (Dirac, 1958: หน้า 58 -61, 70, 90) เพื่อเป็นเครื่องมือคณิตศาสตร์สำคัญที่ใช้สร้าง (formulate) กลศาสตร์ควอนตัมทั่วไป (แบบนามธรรม) *(เราจะกล่าวถึงในตอนที่ II. ของบทความนี้)* ซึ่งเป็นรูปแบบกลศาสตร์ควอนตัมที่รวมกลศาสตร์เมทริกซ์กับกลศาสตร์คลื่นเข้าด้วยกัน และได้ใช้สัญลักษณ์เป็นอักษรกรีกว่า $\delta(x)$ (delta) เป็นผู้จุดประเด็นทำให้ **"ฟังก์ชั่น"** นี้เป็นที่รู้จักและถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง

เมื่อถึงปี 1948-1951 **L. Schwartz** นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส (และเป็นนักเคลื่อนไหวทางสังคมด้วย) นำเสนอวิธีนิยาม **"ฟังก์ชั่น"** นี้อย่างเคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical rigorous) ได้สำเร็จ โดยมองเป็นฟังก์ชั่นนัลเชิงเส้น (linear functional) ชนิดหนึ่งบนปริภูมิฟังก์ชั่น (function space) (Gel' fand and Shilov, 1964: หน้า 1-5, 413) และขยายแนวความคิดนี้ไปสู่การนิยาม **"ฟังก์ชั่น"** อื่นๆ ที่มีสมบัติเอกฐาน (singular) และการดำเนินการกับมัน (เช่น พีชคณิต, อนุพันธ์, อินทิเกรต) ให้ชัดเจนได้ในทำนองเดียวกัน โดยเขาตั้งชื่อเรียกทั่วไปว่า **distribution** นอกจากนี้ยังมีอีกชื่อหนึ่งที่นิยมเรียกคือ ฟังก์ชั่นวางนัยทั่วไป (**generalized function**) และได้พัฒนาแคลคูลัสทั่วไป (อนุพันธ์, อินทิเกรต, สมการเชิงอนุพันธ์, ฯลฯ) ของ distribution อย่างเคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์ขึ้นคู่ขนานและขยายขึ้นจากแคลคูลัสของฟังก์ชั่นธรรมดา



$$\nabla_{\vec{x}}^{2}\, G(\vec{x},\vec{x}') = -4\pi\delta(\vec{x}-\vec{x}')$$

Laurent Schwartz (1915-2002)

ต่อมาในปี 1955 **G. Temple** นักฟิสิกส์เชิงคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ ได้ปรับปรุงวิธีนิยามเป็นอีกเวอร์ชั่นหนึ่งที่เข้าใจง่ายขึ้น (Lighthill, 1970) *(ซึ่งเราจะกล่าวถึงในตอนที่ III. ของบทความนี้)* ดูความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับนิยาม **"ฟังก์ชั่น"** เดลตาดิแรกและ distribution อื่นๆ ได้ใน Byron และ Fuller (1992), Lighthill (1970)

อย่างไรก็ดี มีผู้วิจารณ์การนิยาม **"ฟังก์ชั่น"** เดลตาและแคลคูลัสของมันในแบบ distribution คือตามแนวทางของ Schwartz ที่มองเป็นฟังก์ชั่นนัลเชิงเส้นบนปริภูมิฟังก์ชั่น ไว้ชนิดที่ความสำเร็จของความเคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์ของ **"ฟังก์ชั่น"** นี้ตามทฤษฎีนี้เป็นเพียง**มายาคติ (myth)** [มายาคติ: ในที่นี้ผมหมายถึง จุดย้อนแย้งทางตรรกะที่ถูก "ลักไก่" ในการตั้งทฤษฎีซึ่งถูกซ่อนไว้จากการพิจารณา เพราะ**อิทธิพล**จากความงาม, ความสูงส่ง และสมบูรณ์ในตรรกะกับข้อมูลในส่วนอื่นๆ ของทฤษฎีนั้นเองบดบังการรับรู้ไป ดูความคิดทำนองนี้ในปรัชญาสำนักโครงสร้างนิยมและหลังสมัยใหม่ซึ่งเป็นปรัชญาความรู้ที่มักใช้ในสาขาสังคมศาสตร์ เช่น ชัยรัตน์ (2545, หน้า 95, 98, 202); ชูศักดิ์ (2546, หน้า 176, 177)] จนอาจกลับไปสู่ความจริงที่เหลือแค่ **"การเห็นจริงภายในของดิแรก"** อย่างไม่สามารถสร้างคณิตศาสตร์รองรับ? แต่นอกจากนั้นยังมีทางเลือกอื่นๆ ที่น่าสนใจ ดูการวิจารณ์เหล่านี้และข้อเสนออื่น เช่นใน Cortizo (1995) *(แต่ผมยังค้นไม่เจอว่าการวิจารณ์อย่างใน Cortizo กระทบถึงการปรับปรุงตามแนวของ G. Temple ด้วยหรือไม่?)*

ความสำคัญ

ที่จริง ถ้าใช้คณิตศาสตร์อย่างเคร่งครัด ผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยในวิชาฟิสิกส์จำนวนมากเป็น distribution เช่น แม้แต่หัวเรื่องขั้นพื้นฐานมากๆ อย่าง**ไฟฟ้าสถิตย์** กฎของเกาส์ (ในรูปอนุพันธ์) สำหรับสนามไฟฟ้าที่มีประจุ ต้องนิยามเป็นสมการของ distribution จึงจะสามารถให้ผลเฉลยที่เป็น distribution คือมีลักษณะเอกฐานออกมาได้

ในความเห็นผม แม้ว่า**ปริมาณทางฟิสิกส์**ถูกแสดง (represent) ได้ด้วยจำนวนอย่างง่ายๆ เช่นโดยใช้พิกัด แต่**กฎฟิสิกส์**ซึ่งเป็นกฎเกณฑ์ที่สามารถให้ปริมาณทางฟิสิกส์ออกมาได้ ไม่แน่ว่าจะเป็นเรื่องของจำนวนอย่างเดียว แต่เรากำลังพยายามพัฒนาคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้เป็นตัวแทนหรือเป็นภาษาของกฎฟิสิกส์ โดยการพัฒนาขึ้นจากสมบัติทั่วไปของจำนวนตามทฤษฎีจำนวนอย่างสมบูรณ์ (ซึ่งผมได้หมายรวมถึง กฎฟิสิกส์ในรูปคณิตศาสตร์แบบนามธรรมที่สามารถแสดงได้ด้วยจำนวนแล้ว) เช่น เราจะสร้าง concept ของ **"ฟังก์ชั่น"** เดลตาดิแรกบนคณิตศาสตร์ที่มีรากฐานจากทฤษฎีจำนวนอย่างไร?

ฟิสิกส์เป็นศาสตร์เชิงปริมาณ กฎฟิสิกส์เป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ให้ผลเป็นปริมาณทางฟิสิกส์ออกมา ดังนั้น ***ภาษาของฟิสิกส์ คือ คณิตศาสตร์*** ทั้งหมดที่กล่าวมาในบทความนี้เป็นเรื่องเดียวกัน นั่นคือ การพัฒนาภาษาของฟิสิกส์ให้มีไวยากรณ์ทางคณิตศาสตร์ที่สมบูรณ์ เมื่อภาษาสมบูรณ์เราจึงจะพูดถึงสิ่งที่ลึกซึ้งมากขึ้น ทั่วไปมากขึ้น และยากขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

Byron, F.W., and Fuller, F.W. (1992). *Mathematics of classical and quantum physics*. Dover.

Cortizo, S.F. (1995). "On Dirac's delta calculus." funct-an/9510004. http://xxx.lanl.gov/

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

Gel' fand, I.M., and Shilov, G.E. (1964). *Generalized functions*. Vol. I Academic.

Lighthill, M.J. (1970). *Introduction to Fourier analysis and generalised functions*. Cambridge.

ชัยรัตน์ เจริญสินโอฬาร (2545). *สัญวิทยา, โครงสร้างนิยม, หลังโครงสร้างนิยม กับการศึกษารัฐศาสตร์*. วิภาษา.

ชูศักดิ์ ภัทรกุลวณิชย์ (2546). *เชิงอรรถวัฒนธรรม*. มติชน.

ฤๅ...ความเร็วคอมพิวเตอร์จะถึงทางตัน

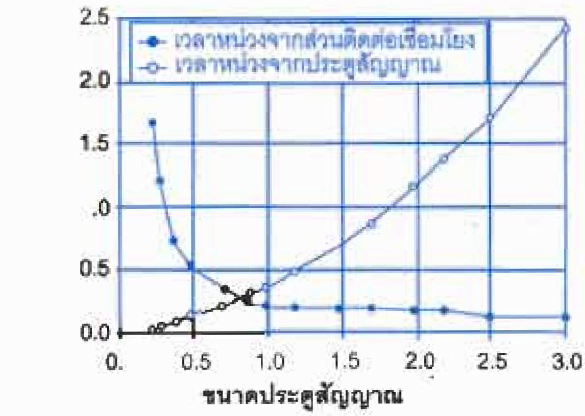
ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร* และ รัตติกร ยิ้มนิรัญ

โลกในปัจจุบันเสมือนหนึ่งว่าจะเล็กลงเรื่อย ๆ เนื่องจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ตัวอย่างเช่น เราสามารถค้นหาข้อมูลจากซีกโลกอีกซีกหนึ่งได้ในเวลาไม่กี่วินาทีด้วยอินเตอร์เน็ต เราสามารถสั่งอาหาร สั่งซื้อสินค้า ดูหนังฟังเพลงไปจนถึงโอนเงินระหว่างธนาคารได้โดยไม่ต้องลุกไปจากหน้าจอคอมพิวเตอร์ แต่สิ่งที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะไม่สามารถเป็นจริงได้เลยหากปราศจากคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นและพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะได้อำนวยความสะดวกสบายให้กับมนุษย์มากยิ่งขึ้น ตัวอย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือการพัฒนาเพิ่มความเร็วในการประมวลผล(ทำงาน)ของคอมพิวเตอร์ในการตอบสนองต่อคำสั่งของมนุษย์

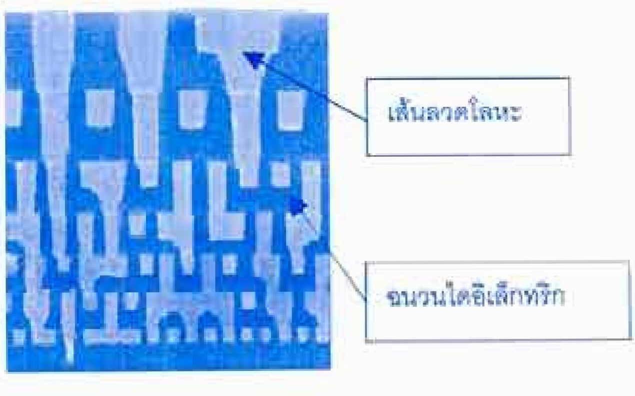
ความเร็วในการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยหลักจะขึ้นกับความเร็วในการจัดการกับคำสั่งของเหล่าทรานซิสเตอร์ภายในไอซี (IC : Integrated Circuit) ถ้าเราสามารถผลิตทรานซิสเตอร์ที่มีขนาดเล็กลง ในขนาดไอซีที่เท่าเดิมจะสามารถบรรจุทรานซิสเตอร์ได้มากขึ้นซึ่งจะทำให้ไอซีทำงานได้คราวละมากขึ้นหรือเร็วขึ้นนั่นเองในเวลาที่เท่าเดิม ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาลดขนาดทรานซิสเตอร์จาก 1 ไมโครเมตรลงไปจนถึง 90 นาโนเมตร ซึ่งสามารถเพิ่มความถี่(ความเร็ว)ในการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์จาก 66 เมกกะเฮิรตซ์ไปจนถึง 4 จิกะเฮิรตซ์ นอกจากนี้การลดขนาดทรานซิสเตอร์จะทำให้สามารถวางทรานซิสเตอร์เข้าใกล้กันมากขึ้นซึ่งจะลดระยะทางในการส่งสัญญาณระหว่าง**ประตูสัญญาณ (gate)** ของทรานซิสเตอร์ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์สื่อสารกันได้เร็วขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่าการลดขนาดทรานซิสเตอร์จะทำให้ไอซีทำงานได้เร็วขึ้นเสมอไป เนื่องจากยิ่งทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็ก**การติดต่อเชื่อมโยง (interconnection)** ระหว่างทรานซิสเตอร์ก็จะยิ่งช้าเพราะว่าเวลาหน่วง (delay time) หรือเวลาที่ทรานซิสเตอร์ต้องใช้ในการติดต่อเชื่อมโยงมีค่ามากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อประตูสัญญาณมีขนาดเล็กกว่า 0.8 ไมโครเมตรโดยประมาณ (**รูปที่ 1**) เวลาหน่วงจากส่วนติดต่อเชื่อมโยงจะมีผลอย่างมากต่อการควบคุมความเร็วของคอมพิวเตอร์

ส่วนติดต่อเชื่อมโยงภายในไอซีใดๆ สามารถพิจารณาได้จากใน**รูปที่ 2** ซึ่งแสดงกลุ่มของทรานซิสเตอร์ในลักษณะเป็นแถวเรียงกันของเส้นลวดโลหะ*(ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทาน R)* และฉนวนไดอิเล็กทริกระหว่างเส้นลวด*(ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ C)* การจำแนกประสิทธิภาพของการติดต่อเชื่อมโยงสามารถพิจารณาได้จากผลคูณของความต้านทานของเส้นลวดโลหะและความจุประจุของไดอิเล็กทริก ผลคูณนี้เรียกว่า เวลาหน่วงอาร์ซี (RC delay) มีหน่วยเป็นเวลาและมีผลโดยตรงกับสัญญาณใดๆ ที่ส่งผ่านส่วนติดต่อเชื่อมโยงนี้ โดยทั่วไปการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดจะเป็นการเพิ่มความต้านทาน R (สำหรับเส้นลวด $R = \rho L/A$ เมื่อ ρ, L , และ A คือ สภาพต้านทาน,ความยาวและพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดตามลำดับ) และการบรรจุเส้นลวดเข้าใกล้กันมากขึ้นจะเพิ่มค่าความจุประจุ C ของฉนวนไดอิเล็กทริก

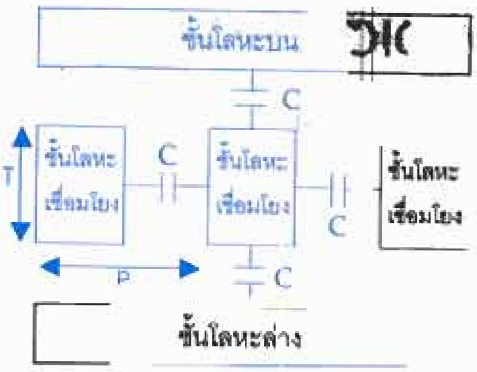


รูปที่ 1 ค่าเวลาหน่วงของส่วนติดต่อเชื่อมโยงกับประตูสัญญาณของ MOSFET ในไอซีเป็นฟังก์ชันของขนาดประตูสัญญาณ



รูปที่ 2 (ก) ภาคตัดขวางของส่วนติดต่อเชื่อมโยงในไอซีประกอบด้วยเส้นลวดโลหะตัวนำฝังตัวอยู่ในสารฉนวนไดอิเล็กทริก

*อาจารย์ (ดร.) ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 2 (ข) การจำลองส่วนติดต่อเชื่อมโยงจากรูปที่ 2 โดยที่ P คือระยะวางเส้นโลหะ และ T คือ ความหนาของเส้นโลหะ

ที่วางอยู่ระหว่างเส้นลวด *(สำหรับตัวเก็บประจุแบบแผ่นคู่ขนาน $C = \varepsilon_0 KA/d$ เมื่อ ε_0, K และ d คือ สภาพยอมของสุญญากาศ, ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและระยะห่างระหว่างแผ่น ตามลำดับ)* ผลที่ตามมาคือเวลาหน่วงไอซีจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุปกรณ์(ทรานซิสเตอร์)มีขนาดเล็กลงและส่งผลให้การติดต่อเชื่อมโยงระหว่างทรานซิสเตอร์ใช้เวลามากขึ้นหรือไอซีทำงานช้าลงนั่นเอง

ในแง่ฟิสิกส์เวลาหน่วงอาร์ซีเป็นปริมาณที่สำคัญที่ควบคุมความเร็วในการสะสม(หรือคาย)ประจุของตัวเก็บประจุซึ่งจะไปควบคุมความเร็วช้าในการเพิ่ม(ลด)ความต่างศักย์ด้วย ตัวอย่างสมการของการเพิ่มความต่างศักย์ V บนตัวเก็บประจุ คือ

$$V = V_0 e^{-t/RC}$$

โดยที่ V_0 เป็นความต่างศักย์สูงสุดที่ตัวเก็บประจุพึงมีได้และ t เป็นเวลา จะเห็นได้ว่าหาก RC (หรือเวลาหน่วงอาร์ซี) มีค่าสูงทรานซิสเตอร์จะต้องใช้เวลานานในการเพิ่มความต่างศักย์ให้เพียงพอที่จะไปกระตุ้นทรานซิสเตอร์ตัวที่อยู่ถัดไปให้ทำงาน โดยการประมาณอันดับแรก การเชื่อมโยงติดต่อสัญญาณระหว่างทรานซิสเตอร์จะมีเวลาหน่วงอาร์ซีดังสมการ

$$RC = 2\rho K\varepsilon_0 \left(4L^2/P^2 + L^2/T^2\right)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของเส้นลวดโลหะของส่วนติดต่อเชื่อมโยง ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่ทรานซิสเตอร์มีขนาดเล็กจนทำให้เวลาหน่วงอาร์ซีมีค่าสูงกว่าเวลาหน่วงจากประตูสัญญาณของทรานซิสเตอร์ **(รูปที่ 1)** เราจะไม่สามารถเพิ่มความเร็วของไอซีโดยการลดขนาดทรานซิสเตอร์ได้อีกต่อไป วิธีเดียวที่ช่วยพัฒนาไอซีต่อไปได้คือจะต้องลดความต้านทานและความจุประจุของวัสดุที่นำมาทำเป็นทรานซิสเตอร์ กล่าวคือใช้โลหะที่มีสภาพต้านทานน้อยและสารที่มีสภาพไดอิเล็กทริกต่ำ *(แทนที่จะเป็นโลหะ Al และสารไดอิเล็กทริก SiO_2 ดังที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน)*

ในการลดความต้านทาน อาจใช้โลหะทองแดง (Cu) แทนอลูมิเนียม (Al) ซึ่งจะช่วยลดความต้านทานลงได้ถึง 36% อย่างไรก็ตามแม้ว่าตัวนำที่ดีที่สุดคือโลหะเงิน (Ag) แต่เงินมีค่าความต้านทานน้อยกว่าทองแดงเพียงแค่ 6% ในราคาที่แพงกว่ามาก ดังนั้นทองแดงยังคงเป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมไอซีในขณะนี้ สำหรับการลดค่าความจุ C สามารถทำได้โดยการลดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก K *(ในบางทีใช้สัญลักษณ์ ε_r)* โดยทั่วไปถ้าวัสดุใดประกอบด้วยสารที่มีขั้วทางไฟฟ้าหรือที่เรียกว่ามีไดโพลไฟฟ้า (เช่น สารที่มีพันธะเคมีแบบมีขั้ว) จะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง เพราะว่าเมื่อมีสนามไฟฟ้าภายนอก ไดโพลจะเรียงตัวตามทิศสนามไฟฟ้าภายนอก ส่งผลสนามไฟฟ้ารวมในตัวกลางไดอิเล็กทริกมีขนาดเพิ่มขึ้น ดังนั้นเราสามารถลดค่า K ได้โดยลดความแรงของไดโพลหรือลดจำนวนไดโพลในสารไดอิเล็กทริก

ในการลดความแรงของไดโพลสามารถทำได้โดยการเลือกใช้สารไดอิเล็กทริกที่มีพันธะขั้วทางเคมีน้อยกว่า SiO_2 (ซึ่งมีพันธะ Si-O) เช่น ใช้สารที่มีพันธะ Si-F หรือ Si-C แทนซึ่งมีความแรงของพันธะขั้วน้อยกว่า Si-O นอกจากนี้อาจใช้สารที่แทบจะไม่มีพันธะขั้วเลย เช่น สารที่มีพันธะ C-C หรือ C-H จำพวกพอลิเมอร์อินทรีย์ *(แต่มีข้อเสียคือมีปัญหาเข้ากันยากกับสารกึ่งตัวนำในกระบวนการผลิตในแง่ของเสถียรภาพเชิงกลและเชิงความร้อน)* สำหรับการลดจำนวนไดโพลสามารถทำได้โดยการลดความหนาแน่นของสารไดอิเล็กทริก เช่น เพิ่มที่ว่างลงไปในโครงสร้างระดับจุลภาคของสาร (เพิ่มความพรุน)ในปริมาณที่เหมาะสม

ดังนั้นเพื่อให้การพัฒนาความเร็วของคอมพิวเตอร์สืบต่อไปได้จะต้องค้นหาและสร้างวัสดุที่มีค่า K ต่ำ(มีพันธะขั้วและความหนาแน่นต่ำ)มาใช้ในกระบวนการผลิตไอซีซึ่งนับเป็นเรื่องที่ท้าทายมาก สาเหตุคือเมื่อเทียบกับ SiO_2 วัสดุที่มีค่า K ต่ำมักจะไม่แข็งแรงเชิงกล ไม่มีเสถียรภาพเชิงความร้อน เข้ากันยากกับวัสดุอื่นๆ มีการดูดซับสารเคมีที่ใช้ในการผลิตไอซี ฯลฯ สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการเลือกวัสดุที่มีค่า K ต่ำมาใช้ในการผลิตไอซี คือจะต้องไม่ดูดซับน้ำ ***(น้ำมีค่า K สูงมากประมาณ 80 เนื่องจากพันธะขั้ว O-H)*** มีความคงทนแข็งแรง ***(สามารถทนทานต่อความเค้นจากการขยายตัวเชิงความร้อนและการกระแทกในกระบวนการผลิต)*** มีความเสถียรเชิงความร้อน ***(ไม่สลายตัวไป ณ อุณหภูมิของการผลิตไอซีประมาณ 400-450°C)*** มีความเสถียรเชิงกายภาพและเคมีภายใต้กระบวนการผลิต ***(คงทนต่อการกัดกรด***

และการชะล้าง) และเข้ากันได้กับวัสดุอื่น ๆ เช่น ไม่ขยายตัวจากความร้อนมากจนทำให้โครงสร้างระดับจุลภาคของวัสดุอื่นผิดรูป และเข้ากันได้กับสารที่ทำหน้าที่เป็นแนวขวางกั้นการแพร่ของทองแดงไปยังสารไดอิเล็กทริก *(เนื่องจากทองแดงซึ่งเป็นตัวนำจะไปลดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของฉนวนไฟฟ้าซึ่งจะทำให้กระแสรั่วและลดความต่างศักย์พังทลาย)* และยึดติดดีกับแนวขวางกั้นการแพร่ของทองแดง(ไม่เช่นนั้นแนวขวางกั้นจะลอกหลุดไปเนื่องจากความเค้นเชิงกลที่เกิดจากการขัดถูหรือความร้อนในกระบวนการผลิต) และท้ายสุดคือมีความน่าเชื่อถือ กล่าวคือ เมื่อวัสดุค่า K ต่ำเหล่านี้ถูกผนวกเป็นวงจรจะต้องสามารถรักษาคุณสมบัติของตนเองอยู่ได้ภายใต้สภาวะการใช้งานเป็นเวลานาน

สรุป คือ ในการพัฒนาความเร็วคอมพิวเตอร์ด้วยการลดขนาดส่วนติดต่อเชื่อมโยง ได้กำลังก้าวมาถึงทางตัน แต่ด้วยการลดเวลาหน่วงไอซีจากการลดความต้านทานและลดค่าความจุประจุโดยการใช้วัสดุที่มีค่า K ต่ำตามวิธีที่กล่าวมาอาจจะทำให้การพัฒนาคอมพิวเตอร์สืบเนื่องต่อไปได้ อย่างไรก็ตามในการผลิตและประยุกต์วัสดุที่มีคุณสมบัติเหล่านี้ ***(R และ C น้อยๆ)*** ลงในวงจรไมโครอิเล็กทรอนิกส์ยังคงเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและท้าทายในแง่ความไม่เข้ากันกับส่วนอื่น ๆ ในอุปกรณ์ที่ใช้งานและในแง่ของความเสถียรภาพ (น่าเชื่อถือ) ดังที่กล่าวมาข้างต้น ด้วยเหตุนี้ความรู้ความเข้าใจและการพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุยังคงเป็นที่ต้องการอีกมาก

ท้ายที่สุดแล้วจะเห็นได้ว่าจากความพยายามนำวัสดุที่มีค่า R และ K ต่ำมาทำการวิจัยและพัฒนาในไมโครอิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวอย่างที่ดีที่แสดงถึงความร่วมมือระหว่างวัสดุศาสตร์กับวิทยาศาสตร์พื้นฐาน ความร่วมมือกันของศาสตร์เหล่านี้จะพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างยั่งยืนและก่อเกิดนวัตกรรมอันสูงค่าด้วยประโยชน์มากขึ้นเรื่อยๆ ต่อสังคมมนุษย์

บรรณานุกรม

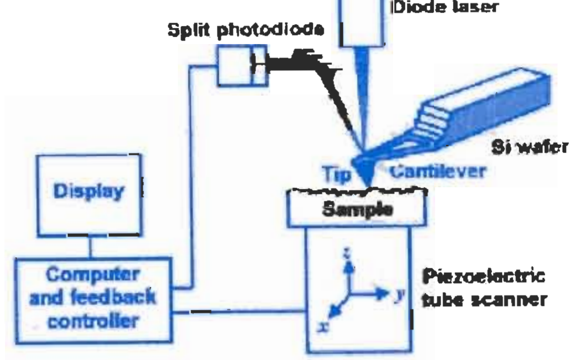
1. D. Shamiryan, T. Abell, F. lacopi, and K. Maex, *"Low-K dielectric materials"*, Materials Today, Pages 34-39, January 2004.
2. W. W. Lee and P. S. Ho, *"Low-dielectric-constant Materials for ULSI Interlayer-Dielectric Applications"*, MRS Bulletin, Volume 22, Pages 19-23, October 1997.
3. V. H. Nguyen, H. van Kranenburg and P. H. Woerlee, *"Copper for advanced interconnect"*, Proceedings of the Third International Workshop on Materials Science (IWOMS'99), Hanoi, November 2-4, 1999.

ฟิสิกส์ของ AFM : กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (1)

พิศิษฐ์ สิงห์ใจ*

เมื่อปี ค.ศ. 1986 ซึ่งเป็นปีที่นักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบลอย่าง ***Binnig*** และ ***Rohrer*** ได้ประดิษฐ์เครื่องต้นแบบกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope) หรือเรียกสั้นๆ ว่า **AFM** สิ่งประดิษฐ์นี้เป็นเครื่องมือที่สามารถถ่ายภาพพื้นผิวของสสารในสถานะของแข็งหรือแม้กระทั่งของเหลวที่มีขนาดเล็กตั้งแต่ไมโครเมตร ลงไปจนถึงนาโนเมตรขณะวางบนพื้นผิวเรียบได้ ผลลัพธ์คือได้ภาพที่มีความละเอียดหรือกำลังขยายสูงจนกระทั่งในบางกรณีสามารถแยกแยะภาพของอะตอมออกจากอะตอมข้างเคียงได้ โดยใช้หลักการของเพียโซสแกนเนอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ของเข็มจิ๋วหรือโพรบวัดปลายแหลม(tip)ติดปลายคานขนาดจิ๋ว (cantilever) ลากหรือสแกนผ่านเหนือชิ้นตัวอย่างพร้อมกับวัดการเบี่ยงเบนขึ้นลงของคานนี้ด้วยลำแสงเลเซอร์สะท้อนที่ปลายคาน ดังแผนภาพแสดงหลักการทำงานใน**รูปที่ 1** และภาพถ่ายแสดงเครื่องมือจริงใน**รูปที่ 2** ภาพนี้เป็นภาพขณะที่ผู้เขียนกำลังสาธิตการถ่ายภาพด้วย AFM **ณ โครงการศูนย์นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยีของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**

ปัจจุบัน AFM เป็นเครื่องมือที่มีบทบาทและความสำคัญอย่างยิ่งต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จนอาจกล่าวได้ว่า AFM มีความสำคัญและความจำเป็นไม่น้อยไปกว่ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ซึ่งมีงานตีพิมพ์แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบพร้อมกับแสดงข้อคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่คลุกคลีกับเครื่องมือ



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงหลักการทำงานของ AFM

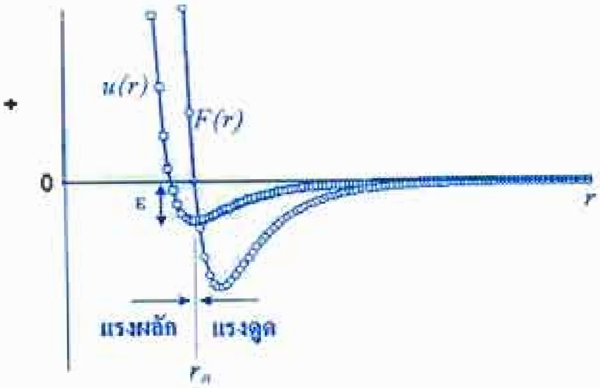
*อาจารย์ (ดร.) ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รูปที่ 2 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ทั้งสองชนิดนี้มานานนับสิบปี รายงานว่ากล้องจุลทรรศน์ทั้งสองแบบเป็นเครื่องมือที่ต่างก็มีข้อดีมาเสริมข้อด้อยของกันและกันมากกว่าที่จะมาเป็นคู่แข่งกัน ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่นักวิทยาศาสตร์หรือนักวิจัยควรรู้ข้อมูลเหล่านี้

ฟิสิกส์ของ AFM

แรงอะตอม ในที่นี้หมายถึง **แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force)** ที่เกิดขึ้นระหว่างอะตอมพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างและอะตอมที่อยู่บริเวณปลายโพรบวัด ซึ่งแรงนี้อาจเป็นแรงดูด (-)หรือแรงผลัก (+)ก็ได้ ขึ้นอยู่กับระยะห่าง (r) ระหว่างอะตอมของวัตถุทั้งสอง ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง r และพลังงานศักย์ $u(r)$ หรือแรง $F(r)$ นี้สามารถอธิบายด้วย Lennard-Jones potential ดังแสดงใน**รูปที่ 3**



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานศักย์ แรงระหว่างอะตอมและระยะห่าง

เมื่อ r_0 คือระยะสมดุลของอะตอม (equilibrium distance) และ ε ค่าพลังงานยึดเหนี่ยว (binding energy) พลังงานศักย์ระหว่างอะตอมดังกล่าวนี้เป็นสมการโดยประสบการณ์ (empirical) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$u(r) = \varepsilon\left[\left(\frac{r_0}{r}\right)^{12} - 2\left(\frac{r_0}{r}\right)^{6}\right] \qquad (1)$$

เขียนในเทอมของแรงระหว่างอะตอม

$$F(r) = -\frac{du(r)}{dr} \qquad (2)$$

หรือ

$$F(r) = \frac{12\varepsilon}{r}\left[\left(\frac{r_o}{r}\right)^{12} \quad \left(\frac{r_o}{r}\right)^{6}\right] \qquad (3)$$

โหมดการทำงาน

โดยปรกติแล้วการถ่ายภาพด้วย AFM มักแบ่งตามการทำงานออกเป็น 3 โหมดคือ *แบบสัมผัส (contact mode) แบบกึ่งสัมผัส (tapping mode หรือ intermittent mode)* และแบบไม่สัมผัส (non-contact mode) ดังแสดงใน**รูปที่ 4** ซึ่งเมื่อพิจารณาตามระยะห่างของโพรบวัดแล้ว การถ่ายภาพแบบโหมดสัมผัสจะอยู่ในช่วงแรงผลัก ส่วนแบบไม่สัมผัสอยู่ในช่วงแรงดูด ในขณะที่แบบกึ่งสัมผัสมีแรงอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวคือมีทั้งแรงดูดและแรงผลัก ที่มีขนาดของแรงประมาณนาโนถึงพิโคนิวตัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าแรงต่อระยะการเบี่ยงเบน (spring constant ; k) ของคานที่ใช้

ด้วยเหตุผลหรือข้อจำกัดบางอย่างและเพื่อให้ได้สัญญาณภาพ AFM ที่มีคุณภาพดี หรือมี signal to noise ratio สูงนั้น การถ่ายภาพทั้งแบบกึ่งสัมผัสและแบบไม่สัมผัสจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมให้โพรบวัดและคานสั่นด้วยความถี่สูงคือสั่นที่ประมาณค่าความถี่สั่นพ้อง (resonant frequency) ของคาน ในขณะที่การถ่ายภาพแบบสัมผัสไม่จำเป็นต้องมีการสั่นดังกล่าว ดังนั้นแรงที่โพรบวัดกระทำต่อชิ้นตัวอย่างจึงมีค่าเรียงกันจากมากไปหาน้อยจากแบบสัมผัส แบบกึ่งสัมผัสและแบบไม่สัมผัสตามลำดับ หรือ

รูปที่ 4 แผนภาพแสดงโหมดการทำงานทั้งสามของ AFM

สามารถกล่าวได้ว่าขนาดแรงแปรผกผันกับระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโพรบวัดและชิ้นตัวอย่าง ดังนั้นการถ่ายภาพชิ้นตัวอย่างที่เปราะบางหรืออ่อนนุ่มจึงทำได้ยาก และอาจถูกทำลายจนสูญเสียรูปร่างสัณฐานเดิม ถ้าหากมีแรงกระทำจากโพรบวัดมากเกินไป ดังแสดงใน**รูปที่ 5**

ในทางกลับกันระยะห่างที่มากขึ้นหรือในขณะที่มีการถ่ายภาพด้วย AFM มีการควบคุมให้แรงกระทำต่อกันน้อยลงนั้น ก็มีผลทำให้กำลังขยายสูงสุดของการถ่ายภาพลดลงด้วย ดังนั้นภาพ AFM ที่กำลังขยายสูงจนเห็นอะตอมได้นั้น พื้นผิวของชิ้นตัวอย่างจึงมักเป็นวัสดุที่ค่อนข้างแข็งเกร็ง (rigid) เช่น โลหะ เซรามิกส์ และใช้โหมดการถ่ายภาพแบบสัมผัส

การสร้างภาพ

เมื่อโพรบวัดและชิ้นตัวอย่างลากผ่านซึ่งกันและกันตามหลักการทำงานของ AFM นั้น จะมีการสร้างภาพสามมิติด้วยค่าตัวเลขหรือค่าความสูงในแต่ละพิกเซลที่เรียงต่อกันเป็นอะเรย์สองมิติ การสร้างภาพนี้สามารถเขียนแทนได้ด้วยการโอเปเรชั่นแบบไดเลชั่น (Dilation; $\oplus$) ได้ดังนี้

$$I(x,y) = S(x,y) \oplus t(j,k) \tag{4}$$

หรือ

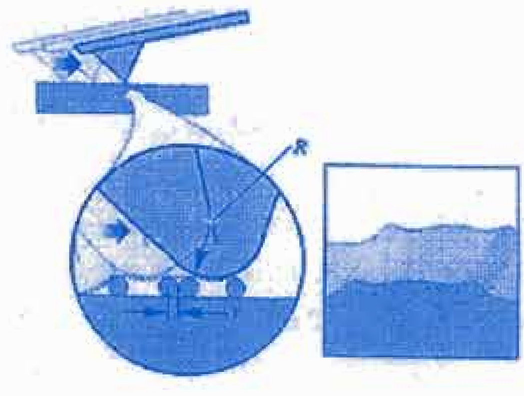
$$I(x,y) = \max\{S(x-j,y-k)+t(j,k) \,|\, (x-j),(y-k)\in D_S\} \tag{5}$$

เมื่อ $I(x,y)$ คือ ฟังก์ชั่นพื้นผิวของภาพ AFM ที่ถ่ายหรือวัดได้

$S(x,y)$ คือ ฟังก์ชั่นพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง

$t(j,k)$ คือ ฟังก์ชั่นพื้นผิวของโพรบวัด

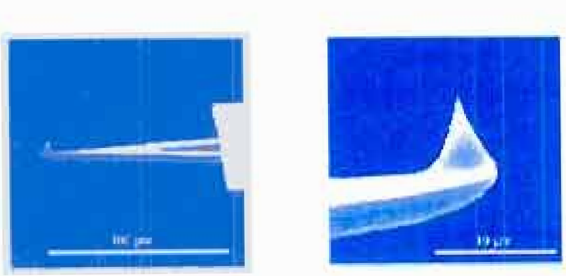
รูปที่ 5 การ์ตูนอธิบายโหมดการทำงานทั้งสามของ AFM



รูปที่ 6 ความเพี้ยนของภาพ AFM ที่เกิดจากขนาดของโพรบวัดโตกว่ารายละเอียดบนพื้นผิว

ความหมายในเชิงกายภาพของสมการที่ 5 นี้ยังบอกอีกด้วยว่า ความถูกต้องแม่นยำของภาพ AFM ที่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของโพรบวัดด้วย ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วฟังก์ชั่นพื้นผิวของภาพที่ได้จะเหมือนกับฟังก์ชั่นพื้นผิวของชิ้นตัวอย่างโดยไม่ผิดเพี้ยนก็ต่อเมื่อฟังก์ชั่นพื้นผิวของโพรบวัดเป็นจุด หรือมีขนาดพื้นผิวเท่ากับหนึ่งพิกเซล กล่าวคือเป็นลักษณะของโพรบวัดในอุดมคติที่มีแค่หนึ่งอะตอม (single atom tip) แต่ในทางปฏิบัติโพรบวัดมีขนาดจำกัดค่าหนึ่ง ทำให้ภาพ AFM ที่ได้อาจเพี้ยนหรือขยายออกตามแนวด้านข้าง (broadening effect) เมื่อเทียบกับรูปร่างจริงของชิ้นตัวอย่าง ดังแสดงใน**รูปที่ 6** ซึ่งความเพี้ยนดังกล่าวนี้จะมากหรือน้อยเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดสัมพัทธ์ของโพรบวัดต่อขนาดของรายละเอียดบนผิวชิ้นตัวอย่าง ซึ่งโพรบวัดที่ดีนั้นจะต้องมีมุมโคนที่ปลายต่ำและมีรัศมีที่ปลายน้อย ดังแสดงใน**รูปที่ 7**

เนื้อหาในตอนต่อไปจะกล่าวถึงการประยุกต์และตัวอย่างภาพ AFM จากงานวิจัยของผู้เขียนและจากรายงานผลการวิจัยที่น่าสนใจตามวารสารต่างๆ โดยเฉพาะบทความวิชาการที่ประยุกต์ใช้ AFM ทางด้านนาโนสเกลฟิสิกส์ วิทยาศาสตร์พื้นผิว (surface science) วัสดุนาโนพอลิเมอร์และวัสดุทางการแพทย์ (biomaterials) เป็นต้น



รูปที่ 7 ภาพ SEM ของคานจิ๋วและเข็มจิ๋วของ AFM ชนิดซิลิคอน

กล้องจุลทรรศน์ AFM กับวงการชีววิทยา

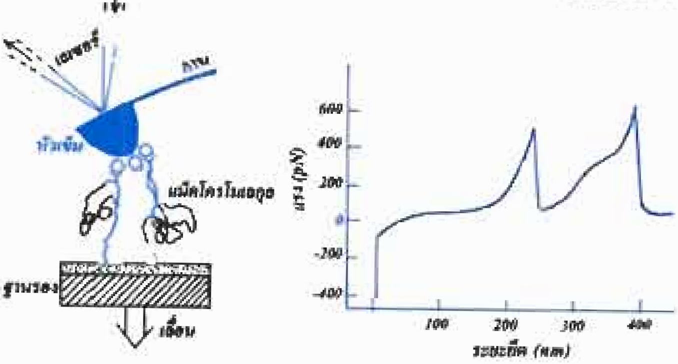
สมศร สิงขรัตน์

เมื่อได้กล่าวว่า **"ฟิสิกส์เป็นเรื่องของธรรมชาติ"** อาจทำให้คิดต่อได้ว่า ระบบทางชีววิทยา เช่น เซลล์ซึ่งภายในมีองค์ประกอบมากมายรวมถึงชีวโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) หลายชนิด เช่น โปรตีนต่างๆ และ *DNA (ที่ถึงแม้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียง 2 นาโนเมตรแต่ยาวได้เกือบ 2 เมตร)* ประพฤติตามกฎทางฟิสิกส์เช่นเดียวกับระบบสุริยะจักรวาลและอะตอมหรือไม่ ซึ่งก็คงต้องตอบว่า **"ไม่มีข้อยกเว้น"** แต่ทั้งนี้มีข้อแตกต่างที่สำคัญว่า ระบบทางชีววิทยานั้นไม่อาจจะอธิบายอย่างตรงไปตรงมาด้วยเพียงแต่นำพฤติกรรมของแต่ละองค์ประกอบมาพิจารณารวมๆ กันเพราะเป็นระบบที่มีชีวิตจึงมีความซับซ้อนกว่า ในขณะเดียวกันความผิดปกติของแม็คโครโมเลกุลแม้เพียงตัวเดียวก็สามารถทำให้ระบบทำงานผิดพลาดได้ ดังเช่น ในกรณีของโรค Multiple Sclerosis (MS) ซึ่งเป็นโรคของสมองและเส้นประสาท จึงมีความจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องศึกษาองค์ประกอบส่วนย่อยของระบบให้เข้าใจ

ในห้วงเวลาที่ผ่านมา นักฟิสิกส์ได้ช่วยทำให้เกิดเครื่องมือใหม่ๆ หลายชนิด ที่เปิดโอกาสให้งานทางชีววิทยาสามารถเข้าถึงองค์ประกอบที่เล็กลงไปทุกทีๆได้ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน, เครื่อง NMR (หรือ MRI), แสงซินโครตรอน, ปากคีบเลเซอร์ (laser tweezer) หรือปากคีบแม่เหล็ก (magnetic tweezer) ฯลฯ แต่เพื่อให้สอดรับกับคอลัมน์ **"นาโนสาระ"** ในฉบับที่ 2 นี้ จึงจะขอเล่าถึงบทบาทของกล้องจุลทรรศน์ AFM (Atomic Force Microscope หรือบางท่านก็เรียกว่า SFM = Scanning Force Microscope) ต่องานทางชีววิทยา ทั้งในแง่การถ่ายภาพ (imaging) ซึ่งเป็นความตั้งใจแรกของผู้ประดิษฐ์ และในแง่ micromanipulation ซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่มาค้นพบในตอนหลัง

การศึกษาสภาพยืดหยุ่นของแม็คโครโมเลกุล

แอนติบอดีบางชนิดจะต้องคลายเกลียวและยืดออกเมื่อจะเข้าไปสู้รบปรบมือกับพาหะของเชื้อโรค หรือ DNA ซึ่งปกติจะพันอยู่รอบแท่งโปรตีนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 นาโนเมตร (10 nm = 10×10^{-9} เมตร) ที่เรียกว่า histones คล้ายด้ายต้องพันไว้รอบหลอดด้ายเพื่อป้องกันการยุ่งเหยิง แต่พอจะแบ่งตัวก็มีการคลายตัวออก เมื่อเสร็จภาระกิจแล้วก็จะกลับไปพันอยู่รอบ histones ดังเดิม สภาพยืดหยุ่นของแม็คโครโมเลกุลจึงเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญ

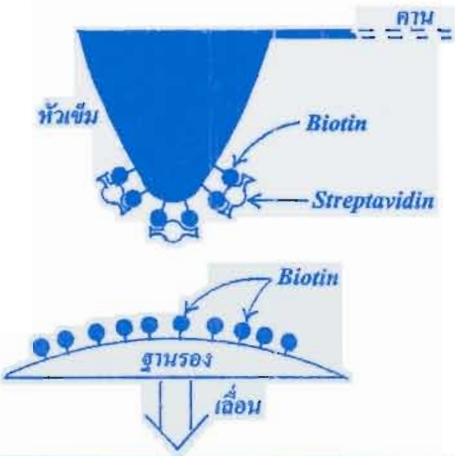


รูปที่ 1

ดร. Matthias Rief นักฟิสิกส์ที่มหาวิทยาลัยลุดวิกส์-แม็กซิมิเลียนส์ เมืองมิวนิค ประเทศเยอรมันนี พยายามจะเข้าใจกลไกนี้ด้วยการศึกษาจากโมเลกุลน้ำตาล dextran ซึ่งเป็นโมเลกุลเส้นยาวที่ถูกผลิตโดยแบคทีเรียบางชนิด เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของโมเลกุล cellulose และ amylose กล้องAFM เอื้ออำนวยให้สามารถทำการทดลองกับโมเลกุลที่แสนเปราะบางเหล่านี้ได้**ทีละเส้น** โดยใช้วิธียึดปลายด้านหนึ่งของเส้นโมเลกุลไว้กับฐานรองติดปลายด้านที่เหลือไว้กับเข็มจิ๋วของกล้อง AFM (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2 nm) แล้วค่อยๆ เคลื่อนปลายเข็มกับฐานรองออกห่างจากกัน วัดทั้งแรงที่ต้องใช้ในการยืด [วัดจากสภาพการโค้งงอของ cantilever หรือคานจิ๋วซึ่งมีความยาวในเรือน 100,000 nm ด้วยความแม่นยำในระดับ 10 พิโคนิวตัน (pN) หรือ 10×10^{-12} นิวตัน] และระยะยืดออกของโมเลกุล *(รูปที่ 1)* ได้พบว่าการยืดของโมเลกุล dextran ไม่เหมือนกับการยืดของสปริงที่มีคุณสมบัติเชิงเส้น (linear) อย่างเดียว แต่โมเลกุลdextran มีช่วงที่คล้ายกระด้าง (stiffening) ขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะการยืดของโมเลกุลเกี่ยวพันกับการบิดของพันธะระหว่างคาร์บอนอะตอมที่ร่วมอยู่ในวงแหวนน้ำตาล และการตีบลงของโครงสร้างวงแหวนน้ำตาล แต่โมเลกุล cellulose และ amylose แสดงอาการกระด้างอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ต้น การทดลองนี้ทำให้เกิดแบบจำลองพลศาสตร์ ของแม็คโครโมเลกุลที่สมบูรณ์ขึ้น

สภาพแรงยึดเหนี่ยวของพันธะเคมี

มีอยู่หลายกรณีที่อยากมีข้อมูลว่าพันธะยึดเหนี่ยวทางเคมีมีพลังมากเพียงใด ข้อมูลนี้มีประโยชน์เช่นต่อวงการยา เพราะอานุภาพของยาจะขึ้นอยู่กับพลังของพันธะระหว่างลิแกนด์ (ligand) ในยากับโปรตีนตัวรับ (receptor)



รูปที่ 2

ตารางที่ 1

ชนิดของพันธะ	แรง (pN)	DG	DH
		kcal/mole	
Avidin-desthiobiotin	90 ± 10	16.5	13.5
Avidin-biotin	160 ± 20	14.3	21.5
Antibiotin-biotin	240 ± 20	varies	varies
Streptavidin-biotin	260 ± 20	18.3	32.0
$(ACTG)_5$-$(CAGT)_5$	1500 ± 20	28	102.7

DG และ DH คือค่าพลังงานที่ปลดปล่อยและเอนทัลปีของการเกิดพันธะ ตามลำดับ
บรรทัดสุดท้ายของตารางคือ พันธะระหว่างสายทั้งสองของ DNA

ดร. Herman Gaub จากห้องวิจัยเดียวกับ ดร. Rief ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2537 โดยศึกษาแรงยึดเหนี่ยวของพันธะระหว่างโมเลกุลของวิตามินบีที่ชื่อ biotin กับโปรตีน ที่ชื่อว่า streptavidin ด้วยการเคลือบหัวเข็มจิ๋วของกล้องจุลทรรศน์ AFM ชั้นแรกด้วย biotin แล้วเคลือบทับด้วย streptavidin ส่วนฐานรองทำผิวหน้าให้เป็นปุ่มเล็กๆ แล้วเคลือบด้วย biotin *(รูปที่ 2)* โดยจะต้องใช้ปริมาณ biotin และ streptavidin ให้น้อยที่สุด เพื่อที่การเกิดพันธะระหว่างปลายเข็มกับปุ่มจะเป็นเพียงคู่เดียวหรืออย่างมากก็ไม่เกิน 2-3 คู่ แรงยึดเหนี่ยวจะถูกวัดในขณะที่หัวเข็มกับฐานรองค่อยๆ ถูกเคลื่อนออกห่างจากกันจนกระทั่งพันธะขาดสะบั้น การวิจัยนี้ได้ทำให้ทราบข้อมูลว่าพันธะนี้มีขนาดประมาณ 200 pN *(ดูข้อมูลเพิ่มเติมในตารางที่ 1)*

วิธีการนี้ได้ถูกนำไปเลียนแบบใช้ในกรณีศึกษาอื่นๆ เช่น ดร. Hans Joachim Guntherodt ที่ภาควิชาฟิสิกส์ของมหาวิทยาลัยบาเซิล ในประเทศสวิสเซอร์แลนด์ และคณะได้ทำการศึกษาพลังของพันธะระหว่างคู่แอนติบอดีกับแอนติเจนหลายชนิดหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง proteoglycan ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีบทบาทสำคัญในการยึดติดกันของเซลล์โดยเฉพาะในกระดูกอ่อน พบว่าระหว่าง proteoglycan 1 คู่ มีแรงดึงดูดสูงขนาด 400 pN นั่นคือสามารถรับน้ำหนักเซลล์ได้ถึง 1,000 ตัว หรือผู้วิจัยบางกลุ่มก็ได้ประยุกต์ไปใช้ศึกษาพลังของพันธะโคเวเลนท์ (covalent) ซึ่งเป็นพันธะเคมีที่แข็งแรงที่สุด มีการพบว่าแรงสะบั้นพันธะระหว่างซิลิกอนกับคาร์บอนมีค่าถึง 2,000 - 3,000 pN

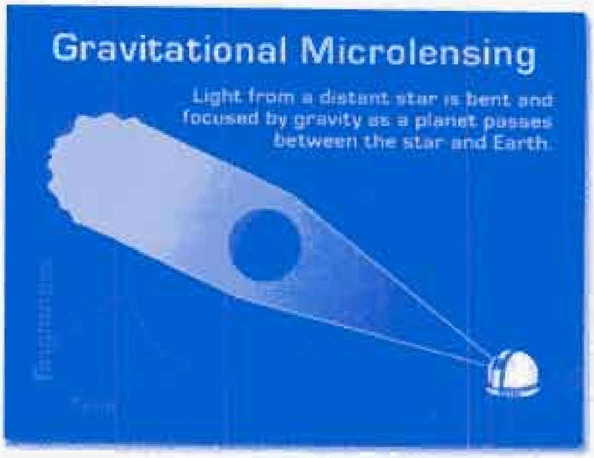
การศึกษากลไกที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีน

เซลล์มีชีวิตผลิตโปรตีนต่างๆ จากกรดอะมิโนตามบงการของรหัสพันธุกรรมที่ถูกบันทึกไว้ใน DNA ที่ม้วนอยู่ในนิวเคลียสที่มีขนาดประมาณ 10,000 nm หรือ 10 ไมครอน กระบวนการนี้มี RNAสื่อสาร (mRNA) เป็นตัวกลางนำข้อมูลจาก DNA ไปส่งยังโรงงานผลิตโปรตีน (ไรโบโซม) ที่อยู่นอกนิวเคลียสโดยมีเอนไซม์ RNA polymerase (RNAP) ซึ่งมีขนาดประมาณ 10-20 nm ทำหน้าที่เป็นฝ่ายอ่านรหัสพันธุกรรมที่อยู่บนสายเกลียวคู่ของ DNA ด้วยกล้องจุลทรรศน์ AFM ชนิด tapping mode ดร. Martin Guthold นักฟิสิกส์ที่มหาวิทยาลัยโอเรกอนในสหรัฐอเมริกาและคณะ สามารถเห็นได้โดยตรงว่า RNAP ซึ่งใช้พลังงานเคมีขับดัน มีการเคลื่อนที่ไปบน DNA เพียง 1 เส้นอย่างไร การเคลื่อนที่มีทั้งเร็วและช้าผสมกันเฉลี่ยแล้วมีอัตราเร็ว 10 นิวคลีโอไทด์/วินาที *(ชมภาพยนตร์เรื่องนี้ได้ที่ http://alice.berkeley.edu/~cjblab/transcription. html)* การจะเข้าใจกติกาการแสดงออกของยีนได้ ต้องเข้าใจก่อนว่ากลไกของกระบวนการถอดข้อความ (transcription) ที่ RNAP สังเคราะห์นิวคลีโอไทด์เพิ่มเติมให้สาย mRNA สัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของ RNAPไปบนเส้น DNA อย่างไร ข้อมูลเหล่านี้ไม่อาจจะหามาได้จากการทดลองทางชีวเคมีแบบดั้งเดิม นอกจากนั้น การใช้กล้อง AFM ก็เป็นวิธีการที่สะอาดไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีอันตราย อย่างเช่น สารกัมมันตรังสี

ที่กล่าวมาเป็นเพียงตัวอย่างอันน้อยนิดของการประยุกต์ใช้กล้องจุลทรรศน์ AFM ในวงการชีววิทยา AFM ได้เปิดโอกาสให้สามารถเข้าไปศึกษาชีวโมเลกุลทีละตัวๆ ได้แล้ว ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณและอย่างที่มีความแม่นยำสูงยิ่งหรือยังช่วยให้สามารถศึกษาโมเลกุลในบางสถานะที่ตอนปกติจะดำรงอยู่เป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้นได้ อันที่จริงยังถือได้ว่ากล้องจุลทรรศน์ AFM เพิ่งถูกเริ่มต้นนำมาใช้ในวงการชีววิทยาและการแพทย์ด้วยซ้ำ แต่นับจากนี้ไป **"ฟิสิกส์ของชีวิต"** จะมีชีวิตชีวาขึ้นอีกเยอะ

ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (2)

ศิรามาศ โกมลจินดา



สวัสดีค่ะท่านผู้อ่านวารสาร **"ทิพย์"** ทุกท่าน สำหรับฉบับนี้ก็จะมาดูกันต่อว่า เราจะหา***ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ***ได้อย่างไร

การค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะเป็นเรื่องที่ท้าทายอย่างมาก ลองนึกถึงดาวเคราะห์ที่อยู่ห่างไกลออกไปในเอกภพ ไม่มีแสงสว่างในตัวเอง แล้วจะ "เห็น" ได้อย่างไร แน่นอนค่ะว่าเรามองไม่ "เห็น" แต่สามารถรับรู้การมีอยู่ของมันได้จากคุณสมบัติอื่นของดาวเคราะห์

อย่างที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ในระบบเทหวัตถุ แต่ละวัตถุจะเคลื่อนที่โคจรรอบจุดศูนย์กลางมวล ดังนั้นไม่ว่าดาวเคราะห์จะมีมวลมากหรือน้อยเพียงใดก็ย่อมจะส่งผลกระทบต่อการโคจรของดาวฤกษ์รอบจุดศูนย์กลางมวล ดังนั้น เมื่อเราสังเกตการณ์การเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ที่มีดาวเคราะห์ร่วมอยู่ในระบบและวัดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของดาวฤกษ์ที่เกิดจาก***ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์***ได้ ก็จะสามารถคำนวณหามวลของดาวเคราะห์ได้ โดยมากแล้ว ดาวเคราะห์ที่ค้นพบด้วยวิธีการนี้จะเป็นดาวเคราะห์มวลมาก หรือมีมวลประมาณดาวพฤหัส เพราะดาวเคราะห์ที่มีมวลมากย่อมส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์มาก ทำให้สามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ได้ชัดเจน

นอกจากการสังเกตการเลื่อนของสเปกตรัมจากดาวฤกษ์แล้ว เรายังสามารถสังเกตการเปลี่ยนตำแหน่งเชิงมุมของดาวฤกษ์เนื่องจากการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลได้อีกด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าน้อยมาก และใช้เวลานาน แต่ด้วยวิธีการนี้ เราจะสามารถค้นหาดาวเคราะห์ที่มีขนาดเล็กเท่าโลก หรือเท่าดาวยูเรนัสได้

การโคจรของดาวเคราะห์เองก็ช่วยให้เราสามารถหาขนาดของดาวเคราะห์ได้เช่นกัน เนื่องจากดาวเคราะห์มีขนาดและโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวล ดังนั้น ในบางครั้ง ดาวเคราะห์ก็จะโคจรผ่านหน้าดาวฤกษ์เมื่อเราสังเกตจากโลก ทำให้แสงจากดาวฤกษ์ที่ส่องมายังโลกมีค่าน้อยลง ระยะเวลาและปริมาณแสงที่ลดลงจะเป็นตัวบอกถึงขนาดและอัตราเร็วในวงโคจรของดาวเคราะห์ และสามารถคำนวณหามวลของดาวเคราะห์ได้

อีกปรากฏการณ์หนึ่งที่ช่วยให้เราสามารถค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะได้สืบเนื่องมาจาก***ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปของไอน์สไตน์*** นั่นคือ การบิดเบี้ยวของอวกาศ-กาลเนื่องจากมวล ดังนั้น ดาวเคราะห์ซึ่งมีมวลย่อมทำให้อวกาศ-กาลเกิดการบิดเบี้ยว เมื่อดาวเคราะห์โคจรผ่านหน้าดาวฤกษ์ย่อมจะทำให้ทางเดินของแสงที่มาจากดาวฤกษ์ที่อยู่ด้านหลังเกิดการบิดเบี้ยวไปเสมือนกับแสงเดินทางผ่านเลนส์ไปรวมกันที่จุดโฟกัส ทำให้ดาวฤกษ์ดูสว่างมากขึ้นและตำแหน่งปรากฏของดาวฤกษ์เปลี่ยนไป หรือที่เรียกว่า Gravitational Microlensing นักดาราศาสตร์ใช้วิธีการเดียวกันนี้ในการหาวัตถุอื่นๆที่ไม่สามารถมองเห็น เช่น หลุมดำ ได้เช่นกัน

ในปัจจุบันมีโครงการที่ทำการค้นหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะเกิดขึ้นจำนวนมาก ทั้งโครงการขนาดเล็ก และโครงการขนาดใหญ่ซึ่งจะเสร็จสมบูรณ์ภายระยะเวลา 15 ปีข้างหน้า เช่น โครงการ Keck Interferometer ที่ค้นหาดาวเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลจากกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่จำนวนมากค้นหากลุ่มเมฆรอบดาวฤกษ์ซึ่งอาจก่อตัวเป็นดาวเคราะห์ได้ หรือโครงการ Terrestrial Planet Finder โครงการนี้จะตรวจสอบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะที่มีลักษณะคล้ายโลกที่ได้ค้นพบแล้วเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะมีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ ด้วยการวิเคราะห์อุณหภูมิของดาวและองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นอินฟราเรด เพื่อค้นหาน้ำ ออกซิเจน และสารอินทรีย์อื่นๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบที่เราคุ้นเคย

ดังนั้นสำหรับคำถามที่ว่า **เราจะสามารถอพยพย้ายไปอยู่ที่อื่นได้หรือไม่ จะมีสิ่งมีชีวิตอยู่ในเอกภพนี้นอกเหนือไปจากที่โลกของเรานี้หรือไม่ และหน้าตาจะเป็นอย่างไร** ก็คงต้องรอดูกันต่อไป สำหรับฉบับหน้าจะเป็นเรื่องอะไรนั้น โปรดติดตาม

ค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะได้ที่
http://planetquest.jpl.nasa.gov

ปฏิทินดาราศาสตร์ไทย

ปฏิทินดาราศาสตร์สำหรับการสังเกตการณ์ในประเทศไทย

กันยายน

			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		

ตุลาคม

					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						

พฤศจิกายน

	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				

ธันวาคม

			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	

กันยายน 2547

9 20.57 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Greatest western elongation ห่างจากดวงอาทิตย์ 18 องศา
14 21.29 เดือนมืด
15 19.22 ดาวอังคารอยู่ที่ตำแหน่ง Conjunction ความสว่าง 1.7
22 6.38 ดาวพฤหัสอยู่ที่ตำแหน่ง Conjunction ความสว่าง -1.7
22 ศารทวิษุวัต (Autumnal equinox) ดวงอาทิตย์ขึ้นและตก ทางทิศตะวันออก-ตะวันตกพอดี กลางวันและกลางคืนยาวนานเท่ากัน
27 17.52 ดาวอังคารอยู่ห่างจากดาวพฤหัส 0.2 องศา
28 20.09 ดวงจันทร์เต็มดวง
29 5.58 ดาวพุธอยู่ห่างจากดาวพฤหัส 0.67 องศา
29 18.23 ดาวพุธอยู่ห่างจากดาวอังคาร 0.85 องศา

ตุลาคม 2547

6 1.16 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Superior conjunction
14 9.48 เดือนมืด
21 ฝนดาวตก Orionids จากดาวหาง Halley จำนวนดาวตกประมาณ 10-15 ดวงต่อชั่วโมง
28 10.07 ดวงจันทร์เต็มดวง

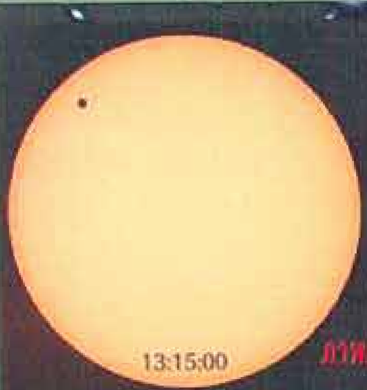
พฤศจิกายน 2547

3 ฝนดาวตก Taurids จากดาวหาง Encke จำนวนดาวตกประมาณ 5 ดวงต่อชั่วโมง
5 6.29 ดาวศุกร์อยู่ห่างจากดาวพฤหัส 0.59 องศา
12 21.27 เดือนมืด
17 ฝนดาวตก Leonids จากดาวหาง Temple-Tuttle จำนวนดาวตกประมาณ 30 ดวงต่อชั่วโมง
21 8.06 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Greatest eastern elongation ห่างจากดวงอาทิตย์ 22 องศา ความสว่าง -0.3
27 3.07 ดวงจันทร์เต็มดวง

ธันวาคม 2547

6 14.17 ดาวศุกร์อยู่ห่างจากดาวอังคาร 1.28 องศา
10 15.16 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Inferior conjunction ความสว่าง 5.2
12 8.29 เดือนมืด
13 ฝนดาวตก Geminids จำนวนดาวตก 40-50 ดวงต่อชั่วโมง
21 ทักษิณายัน (Vernal Solstice) ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกค่อนไปทางใต้มากที่สุด
22 ฝนดาวตก Ursids จำนวนดาวตกประมาณ 5 ดวงต่อชั่วโมง
26 22.06 ดวงจันทร์เต็มดวง
29 11.27 ดาวพุธอยู่ห่างจากดาวศุกร์ 1.2 องศา
30 3.01 ดาวพุธอยู่ที่ตำแหน่ง Greatest western elongation ความสว่าง -0.3

ภาพถ่ายดาราศาสตร์ประจำฉบับ



วัตถุท้องฟ้า ดวงอาทิตย์ เวลาบันทึก 13.15 น. วันที่ 8 มิถุนายน 2547

ผู้ถ่าย [illegible] สถานที่ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

อุปกรณ์ กล้องดิจิตอล CANON EOS 10D ผ่านกล้องโทรทรรศน์หักเหแสงขนาด 4 นิ้ว

ภาพถ่ายปรากฏการณ์ดาวศุกร์ผ่านหน้าดวงอาทิตย์ (Venus Transit) วันที่ 8 มิถุนายน 2547 จากจังหวัดเชียงใหม่ หลังจากดาวศุกร์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาแล้วประมาณหนึ่งชั่วโมง

ขอเชิญชวนให้ผู้อ่านที่สนใจและมีความสามารถในการถ่ายภาพวัตถุท้องฟ้า ส่งผลงานเข้ามาเพื่อเผยแพร่และแบ่งปันความรู้แก่ผู้อ่านท่านอื่นๆ โดยส่งภาพถ่ายพร้อมรายละเอียดการถ่ายภาพ(รวมทั้งคำบรรยาย) มาได้ที่ กองบก. หรือทาง e-mail: siramas@yahoo.com

ขอเชิญ สมาชิกร่วมประชุมประจำปี **สมาคมฟิสิกส์ไทย**

และ ร่วมสัมมนาทางวิชาการ

2nd International Workshop on Particle Beams & Plasma Interaction on Materials

and

2nd Asia Symposium on Ion & Plasma Surface Finishing

25 – 27 November 2004

Chiang Mai, THAILAND

Organized by
Fast Neutron Research Facility
Department of Physics
Faculty of Science, Chiang Mai University
& The Thai Institute of Physics

Sponsors
Chiang Mai University (CMU)
The Thailand Research Fund (TRF)
National Metal and Materials Technology (MTEC)
International Programme in the Physical Sciences (IPPS)

http://www.fnrf.science.cmu.ac.th/~pim2004/index.html

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

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย