



ถวายเป็นอาลัย.....แด่
สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา
กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์



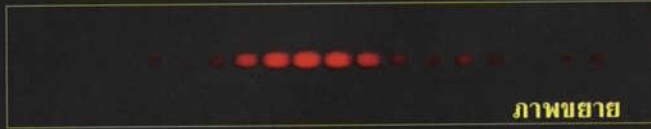
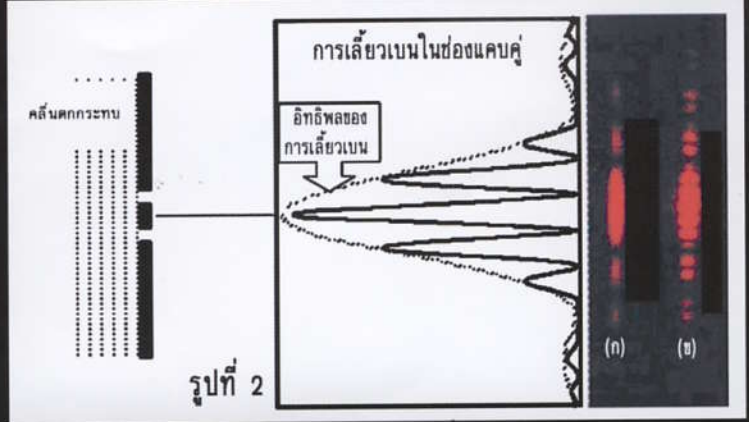
น้อมรำลึกพระคุณอันเลิศจกเหล่า
พระองค์ทรงเสริมสร้างวิทยา
ทั้งอุปถัมภ์-รางวัล “ถ้อย” พร้อมด้วยทรัพย์
เกินจ้านรรค์สรรค่าจากดวงมาน
โลกสถัดท่าสรดโศกดูเจื่อนดับ
แต่ไหนจะมีใครคอยตรึงตรา
น้อมอัญเชิญพระวิญญาณประทับพัก
แม้จะเสร้างโศกเฝ้าระทมทรง

ข้าพระพุทธเจ้าทั้งหลายขอเฝ้า
พัฒนา “ไอเอ็มปิกวิชาการ”
พระคุณนับคณามหาศาล
ได้แต่กราบกราบกับบังคมมา
เสด็จอัครโลดองไม่ทอดหา
เชิดชูค่าวิทยาศาสตร์ทั้งปวง
เทิดจำหลักพระเกียรติคุณอันแดนตรอง
จะตั้งดวงจิตมั่นสร้างสรรค์งาน

ควรมิควรแล้วแต่จะทรงพระกรุณาโปรดเกล้าโปรดกระหม่อม
ข้าพระพุทธเจ้า คณะกรรมการและมวลสมาชิกสมาคมฟิสิกส์ไทย

(รองศาสตราจารย์เฮอร์ ชิตตะโสภณ : ประพันธ์)





รูปที่ 3



รูปที่ 4



รูปที่ 5



Thai Journal of Physics

วารสาร

ฟิสิกส์ไทย

วารสารสำหรับผู้ที่ยรักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์ ISSN 0857-1449

ปีที่ 25 ฉบับที่ 1 : มีนาคม - พฤษภาคม 2551

สารบัญ

สวัสดิ์

3 : สวัสดิ์

4 : สรุปข่าว

8 : ฟิสิกส์ FAQ : การแทรกสอดของแสง

13 : ขอแนะนำ : ห้องวิจัยแม่เหล็ก มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

16 : แนะนำหนังสือ

17 : ฟิสิกส์ของวัสดุ : วิหาคความบกพร่องในความสมบูรณ์ของผลึก

22 : ฟิสิกส์ของวัสดุ : ปูนซีเมนต์ฯ

26 : กางดาราฟิสิกส์ : เหลี่ยมเพชรเม็ดงามวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า(3)

29 : ประสบการณ์ฟิสิกส์ : เลนินกราด



กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ให้การสนับสนุน
ในการจัดพิมพ์วารสารฉบับนี้

ผมจำได้ว่าเคยเขียนถึงเรื่องนี้มาแล้ว แต่คิดว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก จึงอาจถือว่าครั้งก่อนเป็นการ take data ครั้งนี้เป็นการทำซ้ำเพื่อยืนยันให้แน่ใจ กล่าวคือเมื่อเดือนมกราคมที่เพิ่งผ่านมาก็มีการสอบสัมภาษณ์นักเรียนเพื่อคัดเลือกเข้าคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่อีกคำรบหนึ่ง ก็ได้ทำเหมือนครั้งที่แล้วคือถือโอกาสสอบถามทัศนคติของนักเรียนที่มีต่อวิชาฟิสิกส์ ซึ่งก็ได้ผลตามคาด คือประมาณ 80-90 เปอร์เซ็นต์แสดงความรู้สึกรู้ว่าวิชาที่ไม่ชอบเรียนมากที่สุด คือ ฟิสิกส์ ผมรู้สึกว่าคุณรู้สึกรู้สึกนี้รุนแรงขึ้นกว่าเก่าด้วยซ้ำ ทำไมนักเรียนจึงไม่ค่อยรู้สึกเช่นนี้กับวิชาเคมีและคณิตศาสตร์ ที่น่าจะมีระดับความยากในระนาบเดียวกับวิชาฟิสิกส์ นักเรียนบางคนตอบว่าวิชาเคมีมันตรงไปตรงมา ประมาณว่าแทนค่าในสูตรให้ถูกก็จบ แต่วิชาฟิสิกส์ไม่ใช่...ไม่ตรงไปตรงมาอย่างนั้น...ท่านผู้อ่านละครับ คิดว่ามีสาเหตุอื่นอีกหรือไม่ ถ้ามีอะไรจะเสริมหรือมองต่างมุม เชิญเขียนมาแสดงทรรศนะได้เลย ช่วยกันนะครับ เพื่อว่าผู้ที่เกี่ยวข้องจะมาอ่านเจอบ้าง เคยบ่นด้วยปากกันมาแล้ว ก็ไม่เห็นมีอะไรดีขึ้น ลองแสดงความคิดเห็นเป็นลายลักษณ์อักษรกันบ้าง ก็ไม่น่าจะมีอะไรเสียหายไปกว่านี้อีกแล้ว

พบกันใหม่ฉบับหน้า : มิถุนายน 2551

กองบรรณาธิการ ชาณุกิจ คันฉ่อง, พรรัตน์ วัฒนกสิวิชัย, ชงยุทธ เหล่าศิริถาวร, รัตติกร ยี่มนิรัฐ, ศิรามาส โกมลจินดา, สมชาย เกียรติภมิลชัย, สุภาพ ชูพันธ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมสร สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลชาญ อนันตสมบูรณ์, มานิต รุจิโรดม ฝ่ายภาพและออกแบบปก มิณซ์ เมธิสุกุล, ราเชนทร์ เจริญบุญกุล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา โอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยพิมพ์เอกสาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จำนวน 2,000 เล่ม

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

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

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2550-2552 ที่ปรึกษาฯ: วิโรจน์ ตันตราภรณ์, รศ.ดร.วิจิตร เสงี่ยมพันธ์, ศ.ดร.วิรุพห์ สายคณิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส์, ผศ.ดร.วาทิพันธ์ ปรังญพฤทธิ, ศ.ดร. ทวี ตันมศิริ นายกสมาคมฯ ศ. เกียรติคุณ ดร. ธีรพัฒน์ วิไลทอง อุปนายก รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ เลขานุการ ดร.คณัฐ สุวรรณขจร รองเลขานุการ ผศ.ดร.รัฐชาติ มงคลนาวัน เหรียญชัย ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ประธานสัมพันธ์ ดร.บัญชา ธนบุญสมบัติ บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมสร สิงขรัตน์ ปฎิคม ผศ.รังนา ชินพิทักษ์ กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ (ผศ.ศิลปชัย บุรณพานิช), รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวรรณาไนย, รศ.ดร.วิระพงษ์ เปาสุวรรณ, รศ.ดร.พิบูล วณิชชาภิชาติ, ผศ.ดร. ขจรชัย อยู่ดี, ผศ.ดร.วิทยา อมรกิจบำรุง, ผศ.ดร.ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล, คุณสุธี เพชรราช, ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์, รศ.ดร.ณสรณ์ ผลโลก, ผศ.ดร.สันติ แม้นศิริ, ผศ.ดร.ธนากร โอสดาจันทร์, ผศ.นิรันดร์ วิทอนันต์, ผศ.ศิวาพร สหวัฒน์, ดร.พรเทพ นิสามณีพงษ์, คุณอัจฉรา เจริญสุข

สรุปข่าว



<http://media.thaigov.go.th/pageconfig/viewcontent/viewcontent1.asp?pageid=471&directory=1818&contents=14898>

สถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธร

เมื่อตอนบ่ายของวันที่ 21 มกราคม 2551 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินทรงเปิด “อาคารสถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธร (Princess Sirindhorn Neutron Monitor)” ที่ระดับความสูง 2,565 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล บนดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่

สถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธรเป็นโครงการความร่วมมือระหว่าง 3 มหาวิทยาลัย คือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทั้งนี้อุปกรณ์เครื่องมือหลักได้รับบริจาคมาจากมหาวิทยาลัยชินชู (Shinshu University) ในประเทศญี่ปุ่น และได้รับความช่วยเหลือเสริมด้านเทคนิคจากมหาวิทยาลัยเคลาเวิร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการติดต่อประสานงานของศาสตราจารย์ ดร. เดวิด รูฟโฟโล (สุภาพบุรุษในชุดสูทสีเข้มที่กำลังถวายคำบรรยายต่อท่านองค์ประธานในพิธีในรูปข้างบน) ซึ่งปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำอยู่ที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ขณะนี้สถานีตรวจวัดนิวตรอนที่เป็นเครือข่ายในการวิจัยด้วยกันอยู่ 10 – 12 แห่งกระจายอยู่ทั่วโลก สถานีตรวจวัดนิวตรอนสิรินธรนี้ถือเป็นสถานีตรวจวัดแห่งแรกและแห่งเดียวในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และถือเป็นแห่งแรกในเอเชียไม่นับประเทศญี่ปุ่น โดยมีจุดเด่นตรงที่ว่าพื้นที่ประเทศไทยนั้นอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของสนามแม่เหล็กตัดผ่าน จึงทำให้อนุภาคประจุไฟฟ้าของรังสีคอสมิกพุ่งทะลุลงเข้ามาได้ยากมาก ดังนั้น

การตั้งสถานีตรวจวัดนิวตรอนในบริเวณนี้จะสามารถทำการตรวจวัดรังสีคอสมิกที่ผ่านเข้ามาในโลกที่มีพลังงานสูงมาก การตรวจวัดปริมาณอนุภาคนิวตรอนในรังสีคอสมิก ใช้หัววัดรังสีนิวตรอนชนิด BF_3 หุ้มด้วยพาราฟิน จำนวน 21 หลอด มีการควบคุมอุณหภูมิ วัดความดันของบรรยากาศและความชื้นในบริเวณนั้น โดยบันทึกข้อมูลไว้ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังสามารถติดตามข้อมูลจากระยะไกลได้ตลอดเวลาจากงานดาวเทียม IP Star ซึ่งได้รับความร่วมมือจากบริษัท TOT จำกัด



ผู้ที่สนใจสามารถขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มานิต รุจิโรดม หัวหน้าหน่วยปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์อวกาศและอนุภาคลังงานสูง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สรุปข่าว

หน้าต่างล่าสุดของนิวตรอน

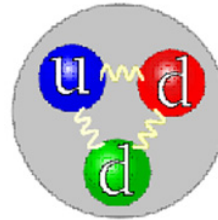
อนุภาคนิวตรอนถูกค้นพบโดย เซอร์ เจมส์ แชดวิก ตั้งแต่มื่อปี พ.ศ. 2475 มาถึงวันนี้เราก็ได้รู้กันว่ายังมีระเบิดนิวตรอนรังสีนิวตรอน ดาวนิวตรอน ฯลฯ ด้วย แต่ที่ใกล้ตัวที่สุดก็คือว่า อนุภาคนิวตรอนนั้น เป็นองค์ประกอบสำคัญของนิวเคลียส กล่าวคือนิวเคลียสใดที่มีอนุภาคโปรตอน (มีประจุไฟฟ้าบวก) มากกว่า 1 ตัว ต้องมีอนุภาคนิวตรอนด้วย เช่น นิวเคลียสของฮีเลียมอะตอมจะมีอนุภาคโปรตอนกับนิวตรอนอย่างละ 2 ตัว เพื่อให้เกิดมีแรงนิวเคลียร์ (เป็นแรงดูด) มากพอที่จะไปต้านอำนาจกับแรงผลักลูธอมบ์ระหว่างอนุภาคโปรตอนด้วยกันเอง จึงจะทำให้ นิวเคลียส ${}^4_2\text{He}$ ดำรงสภาพอยู่ได้อย่างถาวร นั่นหมายถึงว่าอนุภาคนิวตรอนมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงมิให้แต่แรงดูดนิวเคลียร์ โดยไม่มีส่วนสมรู้ร่วมคิดกับแรงผลักลูธอมบ์ด้วย เรื่องก็น่าจะจบลงง่ายๆ แบบนี้

แต่นักฟิสิกส์ก็เป็นอย่างนี้เอง ไม่มองอะไรแบบธรรมดาๆ เริ่มต้นจากปรมาจารย์ เอนริโก เฟอร์มี ได้จุดประกายทิ้งไว้ให้ตั้งแต่เมื่อประมาณ 60 ปีล่วงมาแล้วว่า อนุภาคนิวตรอนที่เป็นกลางทางไฟฟ้านั้น ไม่ได้หมายความว่าไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่เลย แต่มีประจุไฟฟ้าบวกและลบอยู่อย่างละเท่ากันต่างหาก คนรุ่นหลังก็ได้พยายามศึกษากันต่อมาว่า ประจุไฟฟ้าบวกและลบ กระจายตัวกันอยู่อย่างไรภายในอนุภาคนิวตรอน (ที่มีขนาดไม่โตกว่า 1.3×10^{-12} มิลลิเมตร)

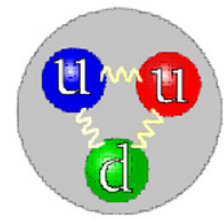
ล่าสุดเมื่อตอนปลายปีที่แล้วนี้เอง ศาสตราจารย์ Gerald A. Miller แห่ง University of Washington ได้เปิดเผยการค้นพบไว้ในวารสาร Physical Review Letters (ฉบับ 13 กันยายน 2550) ซึ่งสรุปไว้ว่าจากการวิเคราะห์จากผลการทดลองยิงอนุภาคอิเล็กตรอนเข้าชนอนุภาคนิวตรอน โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาคจาก 3 ห้องเล็ปใหญ่ คือ Thomas Jefferson National Accelerator Facility ที่เวอร์จิเนียและ Bates Linear Accelerator ของ MIT ในสหรัฐอเมริกา กับ Mainz Microtron ของ Johannes Gutenberg University ในเยอรมนี ปรากฏผลว่าสภาพประจุไฟฟ้าในอนุภาคนิวตรอนคล้ายมี 3 ชั้น ชั้นในสุดหรือแก่นกลางจะมีสภาพประจุไฟฟ้าลบ เช่นเดียวกับชั้นนอกสุดหรือชั้นเปลือก แต่ชั้นระหว่างกลางจะมีสภาพประจุไฟฟ้าบวก

ครั้งนี้อาจทำให้ตีความได้ต่อไปว่า อนุภาคนิวตรอนที่ประกอบไปด้วยอนุภาคควาร์ก (quark) 3 ตัว 2 ชนิด คือ ชนิด up quark (u, ประจุไฟฟ้า = $+2/3$) 1 ตัว และชนิด down quark (d, ประจุ

ไฟฟ้า = $-1/3$) จำนวน 2 ตัวนั้น อนุภาคควาร์กเหล่านี้มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาภายในอนุภาคนิวตรอนแบบที่มีความสลับซับซ้อน กล่าวคือในบางบริเวณจะพบอนุภาคควาร์กชนิดหนึ่งมากกว่าอีกชนิดหนึ่ง โดยความรู้นี้จะช่วยทำให้เข้าใจแรงนิวเคลียร์แบบเข้ม (strong force) ซึ่งเป็น 1 ใน 4 แรงพื้นฐานของธรรมชาติได้ดียิ่งขึ้น



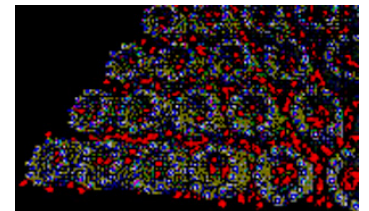
อนุภาคนิวตรอน



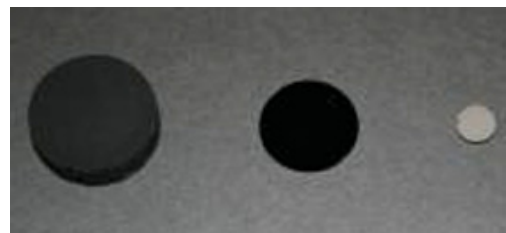
อนุภาคโปรตอน

วัตถุดำที่สุดในโลก

ประมาณกลางเดือนมกราคมที่เพิ่งผ่านมา มีการลงข่าวว่า นักวิทยาศาสตร์ชาวสหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์วัตถุดำที่สุดในโลก โดยใช้ท่อนาโนคาร์บอน ซึ่งท่อนี้ได้มาจากการเรียงอะตอมของคาร์บอนให้เป็นแผ่นที่มีขนาดหนาหนึ่งอะตอม แล้วม้วนเป็นท่อทรงกระบอกดังรูปที่ 1 โดยวัตถุดำนี้ใกล้เคียงกับวัตถุดำในอุดมคติมากที่สุดในประวัติศาสตร์ ถึงกับได้รับการบันทึกไว้ในหนังสือกินเนส โดยนิยามวัตถุดำ คือวัตถุที่



รูปที่ 1 ท่อคาร์บอนนาโน (ซ้าย) และลักษณะการเรียงท่อคาร์บอนนาโน (ขวา) [ดูภาพสีที่หน้า 32]



รูปที่ 2 วัตถุดำที่สุดในโลกที่สะท้อนแสงเพียง 0.045% (กลาง) เปรียบเทียบกับวัตถุดำมาตรฐานของ NIST ที่สะท้อนแสง 1.4% (ซ้าย) และคาร์บอนที่สะท้อนแสง (ขวา)

สรุปข่าว

สามารถดูดกลืนแสงในทุกความยาวคลื่นและไม่เกิดการสะท้อนแสงเลย ในทางทฤษฎีมีความเป็นไปได้ที่จะสร้างวัตถุดำหรือตัวดูดกลืนที่สมบูรณ์แบบ แต่ในทางปฏิบัติการสร้างวัตถุที่ไม่สะท้อนแสงเลยนั้นทำได้ยากมาก

จนกระทั่งนักวิจัยที่ Rensselaer Polytechnic Institute ในนิวยอร์ก นำทีมโดย ดร. Pulickel Ajayan (ปัจจุบันดำรงตำแหน่งศาสตราจารย์อยู่ที่ Rice University ในรัฐเท็กซัส) สร้างวัตถุดำจากการนำท่อคาร์บอนนาโนที่มีความหนาแน่นน้อยมาเรียงกันเป็นแนวตั้ง การเรียงท่อไม่ติดกันจนเกินไปทำให้เกิดช่องว่างขนาดนาโนมากมาย ซึ่งจะทำหน้าที่ดักและสะสมแสง นอกจากนี้การเรียงท่อเหล่านี้ในแนวตั้งทำให้มีการสะท้อนแสงได้น้อยลงด้วย หลังจากการเรียงท่อคาร์บอนจนได้ก้อนวัตถุ จะนำไปลดความหยาบของพื้นผิวเพื่อลดการสะท้อน ก่อนนำไปวัดคุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ พบว่ามีการดูดกลืนแสงถึง 99.9% และมีดัชนีการสะท้อนสุทธิตั้ง (total reflective index) เพียง 0.045% ซึ่งมีค่าความดำมากกว่าธาตุคาร์บอนที่ใช้เป็นมาตรฐานความดำโดย US National Institute of Standards and Technology (NIST) อยู่ถึง 30 เท่า และมีค่าความดำมากกว่า นิเกิล-ฟอสฟอรัส อัลลอย (เคยเป็นวัสดุที่ดำที่สุดในโลก) อยู่ถึง 3 เท่า แต่การทดสอบคุณสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ ที่ทดลองโดย ดร. Shawn Lin นักฟิสิกส์ที่ Rice University เป็นการทดสอบเฉพาะแสงในช่วงที่ตาเรามองเห็น การทดสอบจะขยายไปสู่แสงในช่วงความยาวคลื่น UV อินฟราเรดและที่ใช้ในระบบสื่อสาร ซึ่งถ้าทดสอบแล้วพบว่าวัตถุนี้นี้สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นนี้ด้วย จะสามารถนำวัตถุนี้นี้ไปใช้ในการป้องกันทางทหาร หรือนำไปใช้ผลิตเซลล์สุริยะ (solar cell) ที่มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงได้มากกว่าเดิม รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการวิจัยทางดาราศาสตร์

หมึกอัจฉริยะ

ศาสตราจารย์ Andrew Mills และคณะ จาก Department of Pure & Applied Chemistry, University of Strathclyde ที่ Glasgow ประเทศอังกฤษ ได้คิดค้นหมึกอัจฉริยะขึ้น ที่สามารถตรวจจับก๊าซออกซิเจนได้ ซึ่งออกซิเจนนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อาหารเน่าเสียจากการทำปฏิกิริยากับอาหาร และยังเป็นตัวช่วยให้เกิดเชื้อราหรือแบคทีเรียในอาหาร ในอุตสาหกรรมอาหารจึงพัฒนาวิธีการเก็บถนอมอาหารโดยการบรรจุอาหารลงในบรรจุภัณฑ์ที่ควบคุมบรรยากาศ โดยในปัจจุบันนิยมบรรจุในสุญญากาศหรือในก๊าซผสม

ระหว่างไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

หมึกอัจฉริยะนี้ เตรียมได้จาก อนุภาคนาโนของไทเทเนียมออกไซด์ ผสมกับโพลิเมอร์และสีย้อม เช่น Methylene blue (ซึ่งจะมีสีน้ำเงิน) เป็นต้น สารผสมนี้อยู่ในตัวทำละลาย เช่นเอทานอล ที่สามารถจะนำไปพิมพ์ในลักษณะเป็นหมึกลงบนพลาสติกได้ หมึกนี้จะเริ่มทำงานต่อเมื่อถูกฉายด้วยแสงอัลตราไวโอเลต ซึ่งทำให้มันเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี (สีขาว) และจะคงเป็นสีขาวอยู่อย่างนั้นในบรรยากาศที่ไม่มีออกซิเจน ตรวจจับเกิดมีออกซิเจน หมึกนี้ก็จะเปลี่ยนสีกลับไปเป็นสีน้ำเงินอีกครั้ง นอกจากนี้ หมึกยังสามารถนำมาใช้ซ้ำๆได้อีกโดยการฉายแสงอัลตราไวโอเลตซ้ำ จึงมีต้นทุนราคาถูก เมื่อนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหาร ทำให้สามารถตรวจสอบคุณภาพของ การบรรจุอาหารว่าไม่มีกรั่วไหลของอากาศได้ตลอดเวลาทั้งในขณะขนส่ง และขณะวางจำหน่ายบนชั้น ทำให้บอกได้ว่าอาหารนั้นปลอดภัยที่จะรับประทาน

จริงๆแล้วเซนเซอร์ออกซิเจนที่เปลี่ยนสีได้ก็มีจำหน่ายในท้องตลาด แต่ที่ไม่พบในการนำไปใช้ในบรรจุภัณฑ์ตามซูเปอร์มาร์เกตทั่วไป เนื่องจาก ต้องใช้เครื่องมือราคาแพงในการตรวจสอบ และการพิมพ์ลงบนบรรจุภัณฑ์ได้ยาก จึงมีต้นทุนที่สูงไม่สะดวกในการนำไปใช้

ข้อมูล Fermilab บอกนัยถึงอนุภาคฮิกส์โบซอน

นักฟิสิกส์ที่วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง HyperCP ที่ศูนย์วิจัยใหญ่ Fermilab ในสหรัฐอเมริกาอ้างว่าพวกเขาสามารถตรวจจับอนุภาค Higgs ได้อย่าง “แนบๆ” เป็นครั้งแรก แต่ถ้าคำอธิบายของพวกเขาถูกต้อง การปรับปรุงแบบจำลองมาตรฐานโดย supersymmetry ก็จะอยู่ในรูปแบบที่ไม่มีมาตรฐานแบบหนึ่ง

แบบจำลองมาตรฐาน (SM: Standard Model) ก็คือ ทฤษฎีพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดของวงการฟิสิกส์อนุภาค (Elementary Particle Physics) ที่ว่าด้วยอนุภาคมูลฐานและอันตรกิริยา ทฤษฎีนี้มีโครงสร้างสำคัญคือ (1) สมมาตรเกจที่สามารถรวมอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้ากับอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบอ่อนให้เป็นอันตรกิริยาดียวกันที่ระดับพลังงานสูง ซึ่งเรียกว่า electroweak force (2) มีกลไก Higgs (Higgs mechanisms) คือ มีอนุภาคโบซอนสปีนศูนย์ชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ฮิกส์โบซอน (Higgs boson) เป็นกลไก

สรุปข่าว

ที่ทำให้เกิดการแตกหักของสมมาตรเกจในสถานะพื้น (ground state) ซึ่งทำให้ที่ระดับพลังงานต่ำ อนุภาคสื่อกลางของอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบอ่อนมีมวลแยกออกไปจากโฟตอนซึ่งเป็นอนุภาคสื่อกลางที่ไม่มีมวลของอันตรกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นแบบจำลองมาตรฐานทำนายว่ามีอนุภาคฮิกส์โบซอนที่มีมวลอยู่ระหว่าง 114 GeV – 1 TeV ($1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$, $1 \text{ TeV} = 10^3 \text{ GeV}$) แม้ยังไม่เคยค้นพบ แต่น่าเชื่อได้ว่าจะตรวจพบในอิมิหาลำเร่งอนุภาค LHC (Large Hadron Collider) ที่ศูนย์วิจัย CERN ของยุโรป ซึ่งเร่งอนุภาคโปรตอนได้ในระดับพลังงาน 14 TeV ในอิมิหาลำเร่งนี้ได้ค้นพบมีเส้นรอบวงยาว 27 กิโลเมตร ซึ่งขณะนี้ใกล้สร้างเสร็จสมบูรณ์แล้ว

จากความพยายามอย่างไม่ลดละของนักฟิสิกส์ที่จะรวมทฤษฎีฟิสิกส์ต่อไปโดยการรวมอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบเข้มเข้ากับอันตรกิริยา electroweak ให้เป็นอันตรกิริยาเดียวกันที่ระดับพลังงานสูง และปัญหาอื่นๆ ของ SM จึงมีการปรับปรุง SM ต่อไป เช่น การปรับปรุงให้มีสมมาตรระหว่างอนุภาคแบบเฟอร์มิออนและโบซอนที่เรียกว่า supersymmetry ซึ่งมีหลายรูปแบบด้วยกัน

นอกจากการแปลงเกจที่พบว่า SM มีสมมาตรเกจแล้ว เราสามารถดำเนินการแปลงในรูปแบบอื่นๆ เช่น charge conjugation (C) ซึ่งเป็นการแปลงอนุภาคให้กลายเป็นปฏิอนุภาค, parity inversion (P) ซึ่งเป็นการกลับเครื่องหมายของทุกพิกัดอวกาศในสมการ การแปลงของ C และ P รวมกันเรียกว่าการแปลง CP นักฟิสิกส์ได้ค้นพบบางปรากฏการณ์ของฟิสิกส์อนุภาคที่ต้องอธิบายโดยทฤษฎีที่ไม่มีสมมาตรในการแปลง CP เรียกว่า มี CP violation การมี CP violation ของทฤษฎีฟิสิกส์อนุภาคมีความสำคัญเพราะสามารถนำไปอธิบายว่าเป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่สมมาตรของสสารและปฏิสสารในเอกภพ

Fermilab (Fermi National Accelerator Laboratory) เป็นศูนย์วิจัยทางด้านฟิสิกส์อนุภาคที่สำคัญมากแห่งหนึ่งของสหรัฐอเมริกา อยู่ใกล้กับนครชิคาโก มีเครื่องเร่งอนุภาคใหญ่ที่มีเส้นรอบวงยาว 6 กิโลเมตรที่เรียกว่า Tevatron ซึ่งสามารถเร่งอนุภาคโปรตอนและปฏิโปรตอนให้ชนกันแบบ head-on ด้วยพลังงานระดับ 1 TeV (เป็นเครื่องเร่งอนุภาคพลังงานสูงที่สุดในโลกขณะนี้..... จนกว่าเครื่อง LHC จะสร้างเสร็จ) และมีสถานีวัดที่สำคัญแห่งหนึ่งเรียกว่า CDF (Collider Detector at Fermilab)

มีการทดลองหนึ่งที่ Fermilab เรียกว่า HyperCP ที่ทำการ

ทดลองยิงอนุภาคโปรตอนชนกับเป้าทองแดงที่อยู่นิ่งแล้วตรวจหาการสลายตัวของอนุภาคที่เรียกว่า Hyperons เพื่อแสวงหาแหล่งของปรากฏการณ์ CP violation อนุภาค Hyperons เช่น อนุภาค Ξ , Σ^+ , ฯลฯ เป็นอนุภาคที่ประกอบด้วยควาร์ก 3 ตัวเช่นเดียวกับโปรตอน แต่มีควาร์กชนิด strange อย่างน้อย 1 ตัว ในขณะที่โปรตอนไม่มี ในปี 2005 มีนักวิจัยทำการทดลอง HyperCP พบเห็นเหตุการณ์ที่หายากมาก 3 ครั้ง คือการสลายตัวของอนุภาค Σ^+ ที่กลายเป็นอนุภาคโปรตอนและคู่อนุภาคมิวออนกับปฏิมิวออน แม้ตามปกติไม่ได้พิจารณาเหตุการณ์ที่หายากว่ามีนัยสำคัญ แต่ความคล้ายคลึงกันของพลังงานของคู่อนุภาคมิวออนกับปฏิมิวออนในเหตุการณ์ทั้งสามแนะนำว่าในกระบวนการสลายตัวควรมีอนุภากระหว่างกลาง (intermediate state) เป็นอนุภาคชนิดใหม่ที่เป็นกลางทางไฟฟ้า, มีโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาต่ำ และมีมวลเบาเท่ากับ 214.3 MeV (อนุภาคอิเล็กตรอนมีมวล 0.511 MeV) ซึ่งเบากว่าอนุภาคฮิกส์โบซอนใน SM ที่กล่าวถึงข้างต้นมาก [Phys. Rev. Lett. **94**, 021801 (2005)] ซึ่งไม่สามารถใช้ SM อธิบายได้ ต่อมา G. Valencia และผู้ร่วมงาน [Phys. Rev. Lett. **98**, 081802 (2007)] กล่าวว่า สามารถอธิบายโดยใช้ next-to-minimal supersymmetric standard model (NMSSM) ซึ่งเป็นทฤษฎี supersymmetry รูปแบบหนึ่ง ในทฤษฎี NMSSM ทำนายว่ามี 7 ฮิกส์โบซอน ซึ่งอนุภาคใหม่ที่อ้างว่าค้นพบนี้อาจจะเป็นตัวที่เบาที่สุดนั่นเอง

นอกจากนั้น ในช่วงเวลาเดียวกัน John Conway และ Tommaso Dorigo ที่ทำงานกับสถานีวัด CDF ที่ Fermilab ก็อ้างว่าได้ค้นพบสัญญาณของอนุภาคฮิกส์โบซอนอีกชนิดหนึ่งจากการชนของโปรตอนและปฏิโปรตอนที่เร่งจาก Tevatron แม้ทั้งสองไม่ได้ประกาศการค้นพบโดยการตีพิมพ์ในวารสารที่มี peer reviewed แต่ต่างก็แนะนำโดยอิสระต่อกันว่าการชนที่พบในข้อมูลที่ต่างกันสองชุดที่ระดับพลังงานราวๆ 160 GeV สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากหนึ่งในห้าของอนุภาคฮิกส์โบซอนที่ทำนายจาก minimal supersymmetric standard model (MSSM) เป็นรูปแบบมาตรฐานของการขยาย SM โดย supersymmetry

ถ้า LHC ยังไม่สามารถดำเนินการได้เต็มที่ในตอนกลางปี ค.ศ. 2008 ก็คาดว่าจะยังคงมีรายงานเกี่ยวกับการสังเกตที่บ่งชี้ถึงฮิกส์โบซอนแบบ “หลายๆ” เช่นนี้ตามมามาก



Physics FAQ: การแทรกสอดของแสง

พรรัตน์ วัฒนกุลวิรัช



Thomas Young (ค.ศ. 1773 - 1829)

สวัสดีปีใหม่ค่ะ ก็ขอต้อนรับปีใหม่และวันครูที่เพิ่งผ่านไป ด้วยคอลัมน์ใหม่ ที่มีชื่อว่า Physics FAQ (Physics Frequently Asked Questions) เป็นการรวบรวมคำถามและหัวข้อฟิสิกส์ที่น่าสนใจ โดยเน้นที่เนื้อหาฟิสิกส์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและมหาวิทยาลัยชั้นปีที่ 1 เพื่อประโยชน์แก่กลุ่มผู้อ่านที่เป็นครูฟิสิกส์ โดยคำถามที่จะนำเสนอในคอลัมน์นี้ ได้รวบรวมมาจากประสบการณ์การสอนฟิสิกส์ปี 1 ของผู้เขียน จากคำถามของนักศึกษาทั้งในและนอกห้องเรียน จากคำถามออนไลน์ในเว็บเกี่ยวกับฟิสิกส์ และจากการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับครูมัธยมศึกษาตอนปลายในระหว่างการอบรม พบว่าการแทรกสอดจากการทดลองของยัง เป็นเรื่องที่นักเรียนมัธยมปลายยังค่อนข้างสับสนอยู่พอสมควร โดยเฉพาะการพิจารณาความเข้มของริ้วการแทรกสอด

การทดลองช่องแคบคู่ของยังนั้น เป็นที่ยอมรับกันในแวดวงฟิสิกส์ว่าเป็นการทดลองที่พลิกประวัติศาสตร์แนวคิดเกี่ยวกับแสง จนในปี ค.ศ. 2001 การทดลองนี้ได้รับการลงคะแนนเสียงจากผู้อ่านวารสาร Physics World ให้เป็นการทดลองฟิสิกส์ที่มีความสวยงามเป็นอันดับที่ 5 เพราะการใช้อุปกรณ์ในการทดลองที่เรียบง่ายแต่ให้ผลที่ชัดเจน ในปัจจุบันการทดลองของยังกลายเป็นปฏิบัติการฟิสิกส์พื้นฐานสำหรับการสอนแสงเชิงกายภาพ แต่จากประสบการณ์ที่สอนในหัวข้อนี้พบว่านักศึกษาไม่ค่อยเข้าใจเนื้อหาและจึงทำให้ไม่ค่อยสนใจ จากที่ผู้เขียนลองบรรยายโดยการตั้งคำถามเป็นช่วงแล้วหยุดให้นักศึกษาคิดก่อนที่จะอธิบายต่อ นั้นพบว่าช่วยดึงความสนใจและเชื่อมโยงแนวคิดที่สำคัญในเรื่องการแทรกสอดของนักศึกษาได้ แต่ก่อนที่จะเริ่มอธิบายการทดลองของยังจะต้องให้ผู้เรียนเข้าใจเงื่อนไขการรวมกันของคลื่นที่ทำให้เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันและแบบหักล้างกัน จากนั้นก็จะใช้การทดลองของยังเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์เงื่อนไขและหลักการของการแทรกสอด โดยแสดงแผนภาพการทดลองของยังหรืออ้างอิงปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องการแทรกสอดที่นักศึกษาบางคนได้ทำผ่านไปแล้ว จึงค่อยอธิบายการทดลองนี้ด้วยการเริ่มถามคำถามแรกที่ว่า

คำถามที่ 1 : ในปี ค.ศ. 1801 ที่โทมัส ยัง ค้นพบการแทรกสอดนั้น ยังไม่มีหลอดไฟที่สามารถใช้งานได้จริงหรือแสงเลเซอร์* แล้วแหล่งกำเนิดแสงที่เขาใช้ในการทดลองคืออะไร?

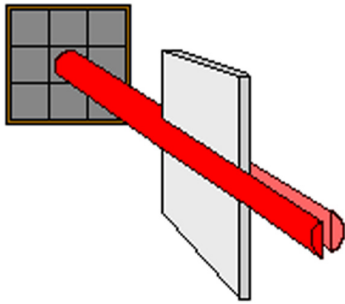
ก่อนที่จะตอบคำถามข้อนี้เรามาทำความเข้าใจการทดลองของ โทมัส ยัง ที่เป็นทั้งแพทย์และนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ ได้ทำการทดลองนี้ในปี ค.ศ. 1801 โดยวิธีง่าย ๆ ด้วยทำรูขนาดเล็กตรงม่านหน้าต่าง ปิดรูนั้นด้วยกระดาษบาง ๆ แล้วเจาะกระดาษให้มีรูขนาดรูเข็มอีกที และใช้กระจกในการหักเหแสงที่ออกมาจากรูเข็มให้ส่องไปตรงกลางห้อง แล้วใช้แผ่นกระดาษเงาในการแบ่งลำแสงออกเป็นสองส่วน แสงจะเลี้ยวเบนผ่านแผ่นกระดาษแล้วเกิดเป็นริ้วการแทรกสอดที่ประกอบไปด้วยแถบมืดและแถบสว่างบนผนังห้องอีกด้านหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงที่โทมัสยังใช้ก็คือแสงอาทิตย์แต่ก็มีคำถามต่อมาว่า

คำถามที่ 2 : ถ้าโทมัส ยัง ใช้แสงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นแสงขาวในการทดลองแล้วเห็นริ้วการแทรกสอด ทำไมเราไม่เห็นริ้วการแทรกสอดจากแสงของหลอดไฟบ้าง?

ประเด็นสำคัญคือ การที่ยังให้แสงอาทิตย์ผ่านช่องขนาดรูเข็ม ซึ่งจากหลักการของฮอยเกนส์ช่องเปิดนี้จะเสมือนเป็น

* หลอดไฟที่สามารถใช้งานได้จริงถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย โทมัส อัลวา เอดิสัน ในปี ค.ศ. 1879 และแสงเลเซอร์เพิ่งถูกคิดค้นขึ้น ในปี ค.ศ. 1960 โดย ริชาร์ด มายแมน

ฟิสิกส์ FAQ



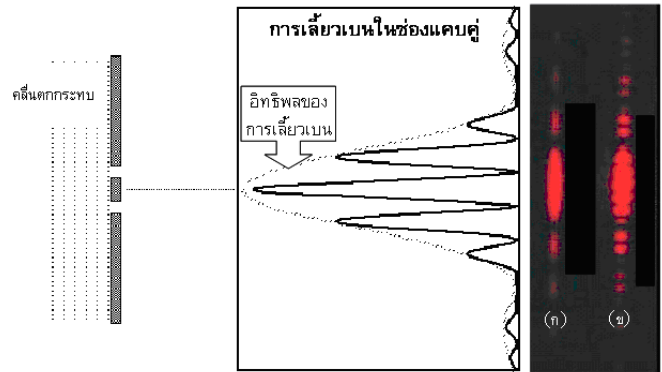
รูปที่ 1 แสดงการทดลองของยังที่เจาะช่องขนาดรูเข็มที่หน้าหน้าต่างเพื่อให้ลำแสงผ่านออกมา แล้วใช้แผ่นกระดาษแข็งในการแยกลำแสงออกเป็นแสงอาพันธ์สองลำ [1]

แหล่งกำเนิดคลื่นใหม่ ทำให้คลื่นแสงที่ผ่านออกมาจากช่องรูเข็มนี้มีความถี่เดียวกัน เมื่อใช้แผ่นกระดาษแข็งแบ่งลำแสงออกเป็นสองส่วน ทำให้คลื่นจากลำแสงทั้งสองก็ยังมีค่าความถี่เดียวกัน ดังนั้นความต่างเฟสระหว่างกันจึงมีค่าคงที่ เรียกว่า แหล่งกำเนิดคลื่นอาพันธ์ แต่แสงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟตามบ้านโดยปกติแล้วจะประกอบไปด้วยคลื่นแสงที่มีหลายความถี่ ทำให้ความต่างเฟสเปลี่ยนไปกับเวลา เราจึงไม่ทันเห็นริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการที่จะให้เกิตรี้วการแทรกสอดสติดจะต้องใช้แหล่งกำเนิดอาพันธ์

คำถามที่ 3 : ในปัจจุบันเมื่อเราทำการทดลองการแทรกสอดของยังทำไมจึงนิยมใช้แสงเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสง?

สาเหตุหลักก็เพราะแสงเลเซอร์มีความเข้มสูงและให้แสงที่มีความยาวคลื่นเดียว ทำให้ริ้วการแทรกสอดที่ได้ชัดเจนกว่าริ้วจากการทดลองของยัง บางคนอาจจะคิดว่าเพราะแสงเลเซอร์มีสีเดียวจึงถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดอาพันธ์ แต่เหตุผลนี้ไม่ถูกต้องเสียทีเดียวเพราะเราสามารถนำแสงจากหลอดไฟธรรมดาที่เป็นแสงขาวก็ได้ แต่จุดสำคัญคือต้องให้คลื่นแสงที่มาเกิดการแทรกสอดกันนั้นมีความถี่เดียวกันเพื่อให้เกิดริ้วการแทรกสอดสติดที่สังเกตได้ด้วยตาเปล่าอย่างที่ โทมัส ยัง ทำการทดลองเมื่อสองร้อยกว่าปีก่อน

คำถามที่ 4 : ในปัจจุบันเราใช้แสงเลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดแสงและใช้ช่องแคบคู่ในการแบ่งลำแสงออกเป็นสองส่วนแทนกระดาษแข็ง แต่ทำไมแถบสว่างของริ้วการแทรกสอดแบบเสริมกันของแสงที่สังเกตบนฉากจึงสว่างไม่เท่ากัน? ทั้งๆ ที่ถ้าเปรียบเทียบกับกรการแทรกสอดของคลื่นแบบอื่น ๆ ในธรรมชาติ อย่างเช่น การแทรกสอดของคลื่นน้ำ แอมพลิจูดของน้ำที่เกิดจากการแทรกสอดแบบเสริมกันจะมีขนาดเท่าๆ กัน



รูปที่ 2 เปรียบเทียบให้เห็นถึงอิทธิพลของการเลี้ยวเบนต่อการแทรกสอด [2]

(ก) ริ้วการเลี้ยวเบนจากช่องแคบเดี่ยว และ

(ข) ริ้วการแทรกสอดจากช่องแคบคู่ที่ได้รับอิทธิพลของการเลี้ยวเบน

[โปรดดูภาพสีที่หน้า 2]

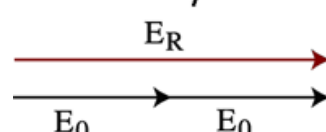
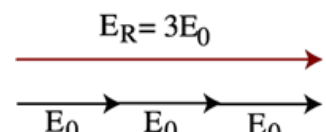
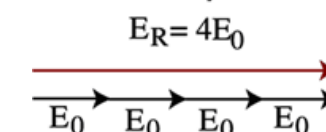
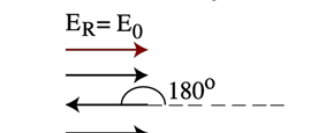
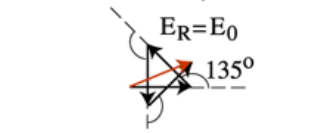
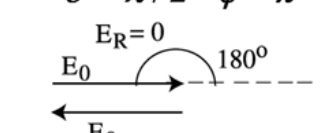
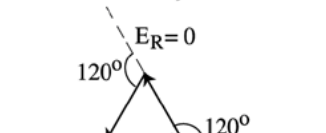
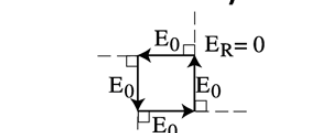
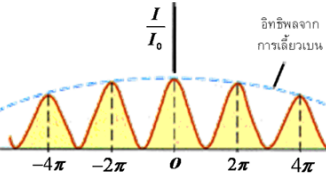
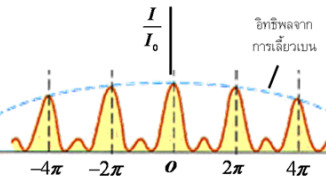
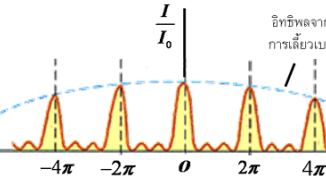
ตามทฤษฎีการรวมกันของคลื่นจะได้ว่าแถบสว่างจากการแทรกสอดนั้นควรจะมีค่าความเข้มเท่ากันและขนาดเท่ากันด้วย แต่เนื่องจากการทดลองที่เราเลียนแบบการทดลองของยัง เราให้แสงผ่านช่องแคบคู่ซึ่งเมื่อแสงเดินทางผ่านแต่ละช่องแคบที่มีขนาดเล็กใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของแสงจะเกิดปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนด้วย ทำให้ริ้วการแทรกสอดได้รับอิทธิพลของการเลี้ยวเบนด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) ที่จะเห็นว่าความเข้มของแถบสว่างมีค่าลดลงจากแถบสว่างกลาง และมีลักษณะการลดลงเหมือนกับ ความเข้มของแถบสว่างจากช่องแคบเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 2 (ก)

คำถามที่ 5 : เราเริ่มเข้าใจลักษณะการแทรกสอดของคลื่นแสง 2 ขบวน ที่นำเข้ามาช่องแคบมากกว่า 2 ช่อง ก็จะเกิดการแทรกสอดของคลื่นแสงหลายขบวน แล้วริ้วการแทรกสอดเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร?

เนื่องจากการเกิดแถบสว่างนั้นแสดงถึงความเข้มของแสงสูงสุด ซึ่งความเข้มแปรผันโดยตรงกับแอมพลิจูดของสนามไฟฟ้า ในคลื่นแสงยกกำลังสอง ถ้าทราบผลรวมของสนามไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ บนฉากจากสนามไฟฟ้าของคลื่นแสงที่ออกมาจากช่องแคบแต่ละอัน เราก็สามารถทำนายความเข้มของริ้วการแทรกสอดเมื่อจำนวนช่องเพิ่มขึ้นได้ การรวมสนามไฟฟ้าก็คือการรวมเวกตอร์นั่นเอง ดังนั้นเราจะใช้แผนภาพเฟเซอร์ในการรวม โดยในตารางที่ 1 ได้แสดงแผนภาพเฟเซอร์สำหรับการเกิดแถบสว่างและแถบมืดเมื่อจำนวนช่องแคบ (N) เป็น 2 ช่อง, 3 ช่อง, และ 4 ช่อง ตามลำดับ

ฟิสิกส์ FAQ

ตารางที่ 1: แผนภาพเฟเซอร์แสดงตัวอย่างการเกิดแถบสว่างปฐมภูมิ, แถบสว่างทุติยภูมิ, แถบมืด และแผนภาพแสดงความเข้มของช่องแคบที่มีจำนวนต่างๆ

จำนวนช่องแคบ	N = 2	N = 3	N = 4
แถบสว่างปฐมภูมิ	$\delta = 0 \quad \phi = 0$ 	$\delta = 0 \quad \phi = 0$ $E_R = 3E_0$ 	$\delta = 0 \quad \phi = 0$ $E_R = 4E_0$ 
แถบสว่างทุติยภูมิ	ไม่มี	$\delta = \lambda/2 \quad \phi = \pi$ $E_R = E_0$ 	$\delta = 3\lambda/8 \quad \phi = 3\pi/4$ 
แถบมืด	$\delta = \lambda/2 \quad \phi = \pi$ $E_R = 0$ 	$\delta = \lambda/3 \quad \phi = 2\pi/3$ $E_R = 0$ 	$\delta = \lambda/2 \quad \phi = \pi$ $E_R = 0$ 
แผนภาพความเข้ม			

หมายเหตุ : ในตารางให้ δ คือ ความต่างทางเดินแสง, ϕ คือ ความต่างเฟส, E_R คือ แอมพลิจูดรวม

โดยวิธีการแทรกสอดที่ได้จากการทดลองจริงสำหรับ N ต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3-5

คำถามที่ 6 : ถ้าให้แสงเลเซอร์ผ่านช่องแคบที่มีจำนวน 10, 100 และ 1000 ช่อง จะมีจำนวนแถบสว่างทุติยภูมิระหว่างแถบสว่างปฐมภูมิอยู่ที่ใด?

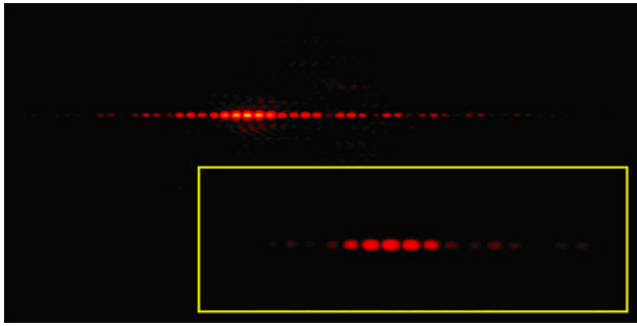
สังเกตเห็นว่าเมื่อมีช่องแคบมากกว่า 2 ช่อง จะเกิดแถบสว่างรองหรือทุติยภูมิระหว่างแถบสว่างปฐมภูมิ โดยจำนวนของแถบสว่างทุติยภูมินี้จะเท่ากับ N-2 เพราะฉะนั้นจะเกิดแถบสว่างทุติยภูมิเป็น 8, 98 และ 988 แถบ ตามลำดับ และจะสังเกตเห็นว่าถ้ามีจำนวนแถบสว่างทุติยภูมิมากเท่าไร ความสว่างของแต่ละแถบก็น้อยลงเท่านั้นและขนาดแถบสว่างปฐมภูมิก็จะแคบลง เพราะฉะนั้นถ้ามีช่องแคบจำนวนมากหรือที่เรียกว่าเกรตติงนั้น จะสังเกตเห็นแต่แถบสว่างปฐมภูมิที่มีความเข้มมากเพราะขนาดที่แคบลงนั่นเอง

คำถามที่ 7 : จากรูปที่ 3-5 นั้นจะสังเกตได้ว่าทุกๆ แถบสว่างลำดับที่ $m = 4, 8, 12$ จะกลายเป็นแถบมืด ปรากฏการณ์นี้เป็นผลจากอะไร?

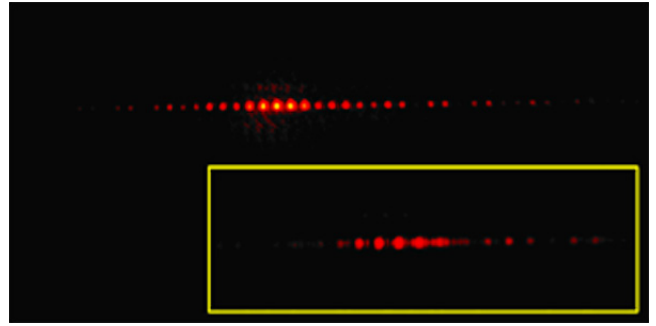
เป็นผลมาจากแถบมืดของการเลี้ยวเบนซ้อนทับกับแถบสว่างลำดับที่ 4 ของการแทรกสอดพอดี โดยสามารถคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของช่องแคบ (d) ต่อความกว้างของช่องแคบ (a) ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 4 พอดี ทำให้แถบสว่างของการแทรกสอดลำดับที่เป็นจำนวนเท่าของสี่อยู่ตรงตำแหน่งเดียวกับแถบมืดของการเลี้ยวเบน ถ้านำหลักคิดนี้ไปพิจารณารูปที่ 2 จะได้ว่า $d/a = 3$

ผู้เขียนหวังว่าคำถามและคำตอบในคอลัมน์นี้จะประโยชน์ในการเรียนการสอนในเรื่องการแทรกสอดไม่มากนักน้อย หากผู้อ่านท่านใดมีคำถามที่น่าสนใจในระดับฟิสิกส์พื้นฐาน เชิญ

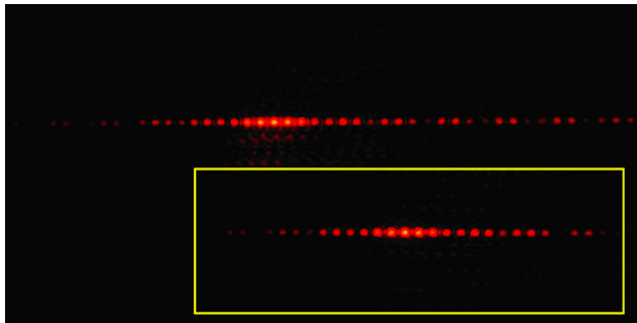
ฟิสิกส์ FAQ



รูปที่ 3 รวบรวมการแทรกสอดของช่องแคบคู่ ($N = 2$) โดยรูปเล็กคือ ภาพขยายรีเวิร์กสอดตรงกลาง [3] (โปรดดูภาพสีที่หน้า 2)



รูปที่ 5 รวบรวมการแทรกสอดของช่องแคบ 4 ช่อง ($N = 4$) ภาพขยายรีเวิร์กสอดตรงกลางที่มีแถบสว่างทุติยภูมิ 2 แถบระหว่างแถบสว่างปฐมภูมิ [3] (โปรดดูภาพสีที่หน้า 2)



รูปที่ 4 รวบรวมการแทรกสอดของช่องแคบ 3 ช่อง ($N = 3$) โดยรูปเล็กคือ ภาพขยายรีเวิร์กสอดตรงกลางที่มีแถบสว่างทุติยภูมิ 1 แถบระหว่างแถบสว่างปฐมภูมิ [3] (โปรดดูภาพสีที่หน้า 2)

ส่งคำถามของท่านมาที่ pornratw@chiangmai.ac.th ก็ขอส่งท้ายคอลัมน์นี้ด้วยอาหารสมองที่นำเสนอการนำหลักการฟิสิกส์ไปใช้ทั้งในชีวิตประจำวันและเทคโนโลยีปัจจุบัน

อาหารสมอง : โครงการ the very large array radio telescope

โครงการนี้ดำเนินงานภายใต้ศูนย์การวิจัยและศึกษาสัญญาณคลื่นวิทยุในอวกาศแห่งชาติ ตั้งอยู่ที่รัฐ New Mexico ของสหรัฐอเมริกา ภายใต้งบประมาณการก่อสร้างกว่า 75 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มีจานรับคลื่นทั้งหมด 27 จาน และแต่ละอันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เมตร (ดังแสดงในรูปที่ 6) จานเหล่านี้ทำหน้าที่



รูปที่ 6 แสดงการจัดเรียงจานรับคลื่นวิทยุ ที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัย the very large array (VLA) radio telescope ในรัฐนิวเม็กซิโก ประเทศสหรัฐอเมริกา [4]

ฟิสิกส์ FAQ

รับสัญญาณคลื่นวิทยุจากนอกโลกนำมาใช้ในการวิจัยทางดาราศาสตร์ ตำแหน่งของจานรับสัญญาณนั้นจะคำนวณโดยอาศัยหลักการแทรกสอดเสริมกัน เมื่อ d เป็นระยะระหว่างจานรับคลื่นสองอัน เพื่อให้ได้รับสัญญาณคลื่นที่มีความเข้มมากที่สุด นอกจากจะใช้ดำเนินการวิจัยทางด้านดาราศาสตร์แล้ว ศูนย์นี้ยังเป็นสถานที่ถ่ายทำภาพยนตร์สอกลีวูดหลายเรื่อง อย่างเช่น Contact, Independent Day และ The Arrival



เอกสารและแหล่งอ้างอิง

[1] <http://www.physicsclassroom.com>

[2] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/hframe.html>

[3] ขอขอบคุณ อาจารย์ อาทิตย์ ลภีรัตนกุล สำหรับรูปถ่ายรีวการแทรกสอดและ อาจารย์ ดร. อธิพงศ์ งามจารูโรจน์ ที่ช่วยจัดอุปกรณ์การทดลอง

[4] <http://www.vla.nrao.edu/> และ

http://en.wikipedia.org/wiki/Very_Large_Array

[5] รูปภาพบางส่วนในตารางที่ 1 นำมาจากหนังสือ Serway, R. A. and Beichner, R. J., **Physics for scientists and engineers with modern physics - 5^{ed}**. Saunders College Publishing (2000).

SPC 2008 "Physics for Life"



แมนดาริน โกลด์เอ็น วิลเลจ รีสอร์ท



The Greenery Resort

เชิญชวนชาวฟิสิกส์ไปดื่มด่ำ ฟิสิกส์ ในอ้อมกอดของบรรยากาศป่าเขาใหญ่ที่แสนบริสุทธิ์ ร่วมเป็นเกียรติและสักขีพยานในการมอบรางวัลพระราชนิพนธ์ สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ แก่นักศึกษาผู้ชนะเลิศในการประกวดโครงงานค้นคว้าอิสระ ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ ประจำปีการศึกษา 2549

สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ :

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประยูร ส่งศิริฤทธิกุล
ศูนย์ปฏิบัติการเครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอนแห่งชาติ
111 อาคารสุรพัฒน์ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง
จ. นครราชสีมา 30000
โทร 044-217044
E-mail : spc2008@nsrc.or.th

กำหนดเวลา

วันสุดท้ายการส่งบทคัดย่อ :	22 กุมภาพันธ์ 2551
วันสุดท้ายการลงทะเบียนล่วงหน้า :	31 มกราคม 2551
วันสุดท้ายการลงทะเบียน :	29 กุมภาพันธ์ 2551
วันสุดท้ายการจองที่พัก :	29 กุมภาพันธ์ 2551

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

GMR: สู่งานวิจัยแม่เหล็กยุคใหม่ในประเทศไทย

ชิตณรงค์ ศิริสถิตย์กุล*

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ปีนี้ มอบให้กับ Albert Fert และ Peter Gruenberg ในฐานะผู้ร่วมกันค้นพบ ปรากฏการณ์ Giant Magnetoresistance หรือ GMR

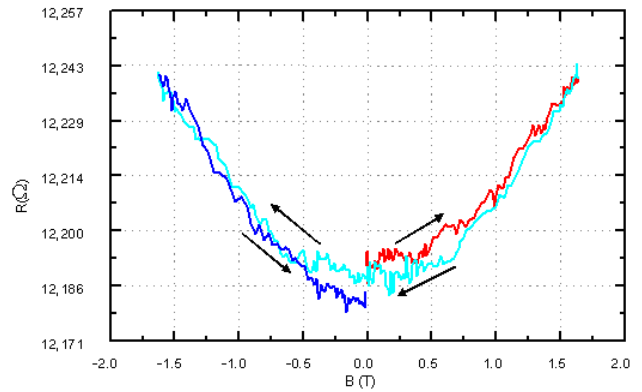
ปฐมบท

แม้ GMR จะเป็นคำที่ค่อนข้างใหม่ แต่ MR หรือ Magnetoresistance เป็นที่รู้จักกันมากกว่า 150 ปี ในฐานะคำที่ใช้เรียก การเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้าของโลหะและสารกึ่งตัวนำ เมื่อสารเหล่านั้นอยู่ในสนามแม่เหล็ก แรงลอเรนซ์เนื่องจาก สนามแม่เหล็กทำให้อิเล็กตรอนที่นำไฟฟ้ามีเส้นทางการเคลื่อนที่เป็นเกลียว ส่งผลให้อัตราการกระเจิงของอิเล็กตรอนสูงขึ้น ตัวอย่าง กราฟ MR แสดงดังรูปที่ 1 ความต้านทานไฟฟ้า(R)ในแกนตั้ง ของ ซิลิกอน เพิ่มขึ้นตามความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก(B) ในแกน นอน แบบพาราโบลา[1]

ในกรณี สารแม่เหล็กเฟอร์โร (ได้แก่ เหล็ก, โคบอลต์ และ นิกเกิล) มีผลจาก Spin-orbit coupling ทำให้การเปลี่ยนแปลงความ ต้านทานไฟฟ้ามีขนาดมากกว่าที่เกิดในโลหะทั่วไปและขึ้นอยู่กับทิศ ระหว่างสนามแม่เหล็กกับกระแสไฟฟ้า เรียกว่า Anisotropic magnetoresistance (AMR) กราฟในรูปที่ 2 แสดงความต้านทาน ไฟฟ้าของฟิล์มโคบอลต์ที่เตรียมด้วยวิธีระเหย เปลี่ยนแปลง ตามขนาดและทิศของสนามแม่เหล็ก [2] การเปลี่ยนแปลงขนาด ความต้านทานเนื่องจาก AMR เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์โดยทั่วไป อยู่ในระดับ 2-3%

การค้นพบ GMR

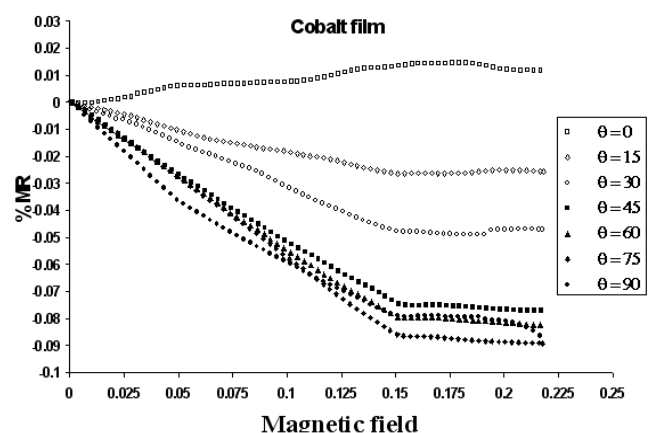
ในปี ค.ศ. 1988 คณะของ Albert Fert ในประเทศฝรั่งเศส ได้รายงานถึงปรากฏการณ์ Giant magnetoresistance เป็นครั้งแรก ใน วารสาร Physical Review Letters [3] เป็นเวลาไล่เลี่ยกับ คณะของ Peter Gruenberg ในประเทศเยอรมนีซึ่งได้ตีพิมพ์การค้นพบปรากฏ การณ์เดียวกันนี้ในวารสาร Physical Review B [4] (เป็นที่น่าสังเกต



รูปที่ 1 ตัวอย่างปรากฏการณ์ MR ที่เกิดขึ้นในเมมเบรนของซิลิกอน เนื่อง จากแรงลอเรนซ์ [1]

ว่า Fert และ Gruenberg ไม่ได้เป็น first author ของบทความข้าง ต้น) นักวิจัยทั้งสองกลุ่มเข้าใจถึงความแตกต่างของปรากฏการณ์ใหม่ นี้จาก MR ชนิดอื่นๆ (คณะของ Fert เป็นผู้ตั้งชื่อ GMR) และ เล็งเห็นถึงศักยภาพที่จะใช้ในเชิงพาณิชย์ (คณะของ Gruenberg ได้ จดสิทธิบัตรการค้นพบนี้)

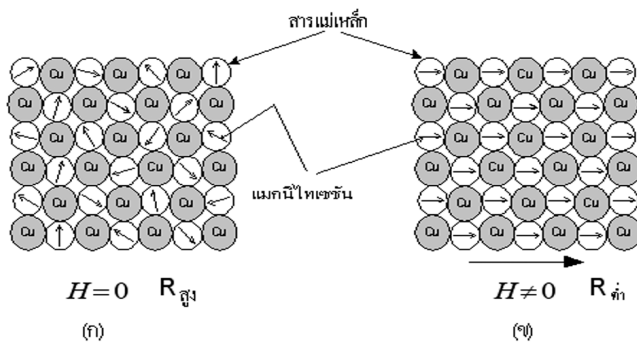
GMR แตกต่างจาก MR ชนิดอื่นๆ คือ GMR เป็น



รูปที่ 2 ตัวอย่างปรากฏการณ์ AMR ที่เกิดขึ้นในฟิล์มบางโคบอลต์ เนื่อง จาก Spin-orbit coupling [2]

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) แห่งห้องวิจัยแม่เหล็ก สาขาฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ขอแนะนำ



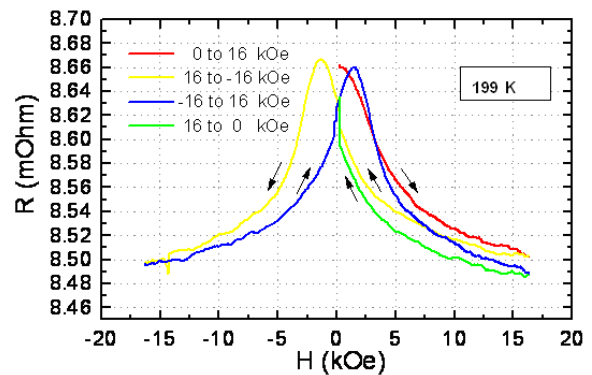
รูปที่ 3 แบบจำลอง GMR ในโครงสร้างแบบ Mechanical alloys (ก) แมกนีไทเซชันของอนุภาคแม่เหล็กเฟอร์โรเรียงตัวแบบสุ่มเมื่อสนามแม่เหล็กภายนอกเป็นศูนย์ (ข) เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากจะทำให้แมกนีไทเซชันของสารแม่เหล็กจะชี้ในทิศเดียวกัน เปิดโอกาสให้อิเล็กตรอนที่มีสปินทิศเดียวกับแมกนีไทเซชันนำไฟฟ้าได้ดี (มีอัตราการกระเจิงต่ำ) ความต้านทานของโครงสร้างจึงลดลงในสนามแม่เหล็กภายนอก

ปรากฏการณ์ที่ความต้านทานไฟฟ้าลดลงอย่างมากใน สนามแม่เหล็ก พบในฟิล์มบางของแม่เหล็กเฟอร์โรที่สลับชั้นกับโลหะอื่น (Magnetic multilayers) ความต้านทานที่ลดลงได้ถึง 80 % นี้เป็นผลจาก Spin dependent scattering และสามารถอธิบายได้ด้วย Two Channel Current Model ของ Nevill Mott ที่เสนอไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1936 (สามารถอ่านรายละเอียดได้จากบทความก่อนหน้านี้ ในวารสารเทคโนโลยีวัสดุ [5] และ วารสารฟิสิกส์ไทย [6])

ผลกระทบจากการค้นพบ GMR

การค้นพบ GMR นับเป็นการเข้าสู่ยุคใหม่ของการศึกษาวิจัยแม่เหล็ก และ พัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุแม่เหล็กในระดับนาโน เช่น เซนเซอร์, หน่วยความจำแบบ MRAM (Magnetic Random Access Memory) และหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ [7] เพียง 12 ปีภายหลังการค้นพบ ความสำคัญของ GMR จึงพาดพิงได้ปรากฏเด่นชัด ในการเพิ่มความจุของฮาร์ดดิสก์คอมพิวเตอร์ให้เกินระดับ 10 Gb/in² เพราะก่อนการค้นพบปรากฏการณ์นี้ ความจุข้อมูลบนสารแม่เหล็กที่เขียนหรืออ่านโดยวิธีเหนี่ยวนำ และ AMR มีจำกัด การใช้ฟิล์มบางสลับชั้น GMR จะให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้าที่สูงเพียงพอสำหรับเนื้อที่บนฮาร์ดดิสก์และหัวอ่านที่มีขนาดเล็ก

การค้นพบ GMR ในฟิล์มบางสลับชั้น ยังเป็นจุดเริ่มต้นการศึกษาปรากฏการณ์ใน โครงสร้างแบบอื่นๆ ที่มีสารแม่เหล็กเฟอร์โร แยกเฟสอยู่กับโลหะที่ไม่ใช่แม่เหล็กเฟอร์โร เช่น ฟิล์มบางของโลหะ



รูปที่ 4 ตัวอย่างปรากฏการณ์ GMR ที่เกิดขึ้นใน Mechanical alloys เนื่องจาก Spin dependent scattering [7]

ที่มีอนุภาคสารแม่เหล็กเฟอร์โรกระจายอยู่ เรียกว่า Granular films และ อัลลอยด์ที่ได้จากการบดผงแม่เหล็กกับผงโลหะที่ไม่เป็นแม่เหล็ก เรียกว่า Mechanical alloys เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว การเตรียมวัสดุ GMR แบบ Mechanical alloys มีความซับซ้อนน้อยกว่าที่สุด การบดผงสารแม่เหล็กเฟอร์โร (ได้แก่ Fe, Co, Ni) เข้ากับผงโลหะ เช่น Ag, Cu เป็นเวลาหลายชั่วโมง จะได้อนุภาคสารแม่เหล็กเฟอร์โร ขนาดระดับ 10 nm ที่มีโดเมนเดี่ยว (single domain) กระจายตัวอยู่ในผงสารที่ไม่ใช่แม่เหล็ก อนุภาคสารแม่เหล็กเฟอร์โรเหล่านี้ จะมีแมกนีไทเซชันชี้ไปตามทิศของ shape หรือ crystalline anisotropy ในกรณีเช่นนี้เรียกว่าอนุภาคสารแม่เหล็กเฟอร์โรถูก block อยู่ แมกนีไทเซชันของอนุภาคสามารถชี้ในทิศอื่นได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่าค่าที่เรียกว่า Blocking Temperature ซึ่งอนุภาคจะมีพลังงานความร้อนสูงมากกว่าค่าพลังงานที่กักเก็บไว้จาก anisotropy และสามารถชี้ในทิศตามพลังงานความร้อนได้ เรียกว่าเป็น superparamagnetic particles รูปที่ 3 แสดงแบบจำลองการเกิด GMR ในโครงสร้างแบบ Mechanical alloys รูป (ก) คือ สภาวะที่สนามแม่เหล็กภายนอกเป็นศูนย์ แมกนีไทเซชันของอนุภาคแม่เหล็กเฟอร์โรเรียงตัวแบบสุ่ม แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอกมากจะทำให้แมกนีไทเซชันของสารแม่เหล็กจะชี้ในทิศเดียวกัน ดังรูป (ข) ทำให้อิเล็กตรอนที่มีสปินอัพ (up) กับ ที่มีสปินดาวน์ (down) มีอัตราการกระเจิงที่แตกต่างกัน เกิด Spin dependent scattering และปรากฏการณ์ GMR ได้เช่นเดียวกับฟิล์มบางสลับชั้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 4

GMR ในประเทศไทย

ทุกครั้งที่มีการอ่านข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์ในระบบคอมพิวเตอร์ ก็นับว่าคนไทยได้ใช้ประโยชน์จาก GMR แล้ว ไม่ว่าจะรู้จัก

ขอแนะนำ

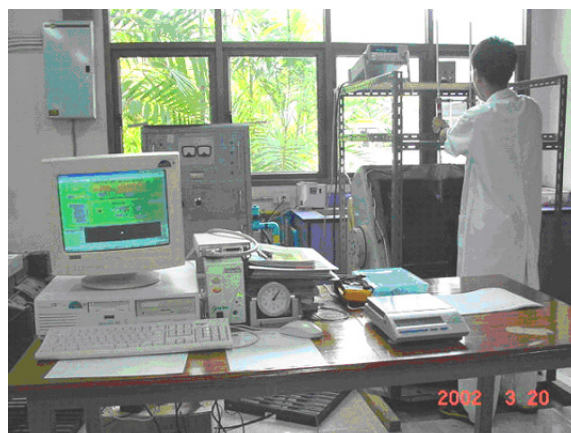
ปรากฏการณ์นี้หรือไม่ และจากการที่ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตใหญ่ของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ที่มีเป้าหมายส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลก ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ร่วมกับ บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ และ มหาวิทยาลัยต่างๆ ในประเทศ ได้จัดตั้งศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Industry/University Cooperative Research Center in HDD Component) [8] เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในภาคอุตสาหกรรม และพัฒนาองค์ความรู้และเทคโนโลยีเพื่อแข่งขันกับสถาบันที่ข้อมูลชนิดอื่นๆ ปัจจุบันนักวิจัยในประเทศจึงสามารถมีโอกาสวิจัยปรากฏการณ์ GMR และ MR ชนิดใหม่ๆ ที่มีศักยภาพทดแทน GMR ในเชิงพาณิชย์ได้

ก่อนหน้านั้น ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และ มูลนิธิโทรเพื่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ได้สนับสนุนให้ห้องวิจัยแม่เหล็ก มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ วิจัยวัสดุ GMR ในประเทศไทย โดยเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 คณะผู้วิจัยได้ทำการ ติดตั้งระบบวัด GMR, สังเคราะห์ตัวอย่างวัสดุ GMR แบบ Mechanical alloys, วัดค่า GMR และพัฒนาระบบเซนเซอร์จากวัสดุ GMR (รูปที่ 5)

ในการติดตั้งระบบวัด GMR ได้ทำการติดตั้งแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnet) ขนาด 1.1 เทสลา ที่ได้รับบริจาคจากมหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ด และระบบคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมแม่เหล็กและบันทึกค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อการวัด GMR สะดวก รวดเร็ว และถูกต้อง พร้อมทั้งสร้างระบบหล่อเย็นเพื่อระบายความร้อนจากขดลวดแม่เหล็กและเครื่องจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในการเตรียมตัวอย่าง และวัดค่า GMR ได้ทำการบดผงโคบอลต์กับผงทองแดง อัตราส่วน 30:70 ในเครื่อง ball milling เป็นเวลา 30 ถึง 120 ชั่วโมง แล้วนำผงอัลลอยด์ที่อัดขึ้นรูปเป็นเม็ดด้วยความดันสูง วางในสนามแม่เหล็ก 1.1 เทสลา ของแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่าความต้านทานไฟฟ้าลดลง 6-11 % เป็นการเชื่อมโยง GMR กับออกไซด์ที่เกิดขึ้นใน Mechanical alloys [9] นอกจากนี้ การศึกษาการนำไฟฟ้าในสนามแม่เหล็กของผงอัลลอยด์ที่บรรจุในแคปซูลด้วยความหนาแน่นต่างๆ นำไปสู่องค์ความรู้ที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ [10]

ในการประยุกต์ใช้ ได้พัฒนาเซนเซอร์ต้นแบบจาก Mechanical alloys ของ โคบอลต์-ทองแดง และเผยแพร่เพื่อการศึกษาในงานเทคโนโลยีของไทย ปี 2546 และ งานสัปดาห์วิทยาศาสตร์



รูปที่ 5 ชุดเครื่องมือวัด GMR ที่ ห้องวิจัยแม่เหล็ก มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

แห่งชาติ ปี 2548 อย่างไรก็ตาม วัสดุ GMR ที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีพฤติกรรมที่เป็นอุปสรรคต่อการประยุกต์ใช้ เช่น การตอบสนองช้า และความไม่คงตัวของสัญญาณ จึงไม่สามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้ แต่ก็เริ่มจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเซนเซอร์แม่เหล็กแบบ Giant magnetoimpedance (GMI) ที่มีคุณภาพดีขึ้น

วิวัฒนาการ

การค้นพบ GMR ได้เปิดประตูสู่การศึกษาปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กอื่นๆ เช่น GMI, Colossal magnetoresistance (CMR) รวมถึง Tunneling magnetoresistance หรือ TMR ที่ใช้หลักการ Spin dependent tunneling ผ่านฉนวนบางที่คั่นอยู่ระหว่างฟิล์มแม่เหล็กเฟอร์โรสองชั้น นำไปสู่เทคโนโลยีที่กำลังขึ้นมาแทน GMR ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ นอกจากนี้ การผสมผสานองค์ความรู้ใหม่เข้ากับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดศาสตร์ใหม่ ในนาม Magnetoelectronics (หรือ Spintronics) เพื่อให้เกิดอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์ จากทั้ง ประจุไฟฟ้า และ สปิน ของอิเล็กตรอน นำไปสู่ความสนใจสังเคราะห์วัสดุจำพวก Magnetic semiconductor องค์ความรู้ของแม่เหล็กยุคใหม่นี้เป็นผลผลิตจากงานสร้างสรรค์โดยนักวิจัยทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย

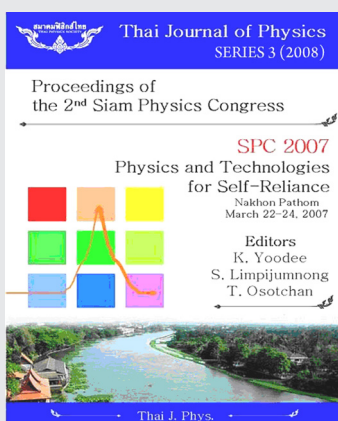


เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Sirisathitkul *et al.*, *Magnetoresistance due to the Lorentz Force in Silicon Membrane*, Songkla-nakarin J. Sci. Technol. 24(2), 305 (2002)

ขอแนะนำ

- [2] Y. Pansong and C. Sirisathitkul, Anisotropic Magneto-resistance of Cobalt Thin Films Prepared by Thermal Evaporation, Walailak J. Sci. & Tech. 2(1), 71 (2005)
- [3] M. N. Baibich *et al.*, Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001)Cr Magnetic Superlattices, Phys. Rev. Lett. 61(21), 2472 (1988)
- [4] G. Binash *et al.*, Enhanced Magnetoresistance in Layered Magnetic Structures with Antiferro-magnetic Interlayer Exchange, Phys. Rev. B 39(7), 4828 (1989)
- [5] ชิตณรงค์ ศิริสทธิกุล และ วชิร รัตนสกุลทอง, GMR: ยุคใหม่ของการศึกษาและประยุกต์ใช้แม่เหล็ก, วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, ฉบับที่ 30 มกราคม - มีนาคม 2546, หน้า 43-46
- [6] พรเทพ นิศามณีพงษ์, Giant Magnetic Resistive, วารสารฟิสิกส์ไทย, ปีที่ 24 ฉบับที่ 4 ธันวาคม 2550-กุมภาพันธ์ 2551, หน้า 7-11
- [7] C. Sirisathitkul *et al.*, Giant Magnetoresistance of Mechanically Alloyed FeCoCu Mixed with Hard Magnetic Material, Kasetsart J. (Nat. Sci.) 36, 200 (2002)
- [8] <http://www.hdd.kku.ac.th>
- [9] W. Rattanasakulthong and C. Sirisathitkul, Effects of Oxidation and Cluster Distribution on Thermal and Magnetotransport Properties of Mechanically Alloyed Co-Cu Powders, Appl. Phys. A 83(1), 77 (2006)
- [10] W. Rattanasakulthong and C. Sirisathitkul, Large Negative Magnetoresistance in Encapsulated Cobalt-Copper Prepared by Mechanical Alloying, Physica B 369,160 (2005)



วารสารฟิสิกส์ไทย ฉบับภาษาอังกฤษ เล่มที่ 2 ออกแล้ว
สอบถามรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ สมาคมฟิสิกส์ไทย

แนะนำหนังสือ



ชื่อหนังสือ : ผลเฉลยฟิสิกส์ 3 (แม่เหล็ก - ไฟฟ้า)

ผู้แต่ง : รองศาสตราจารย์ สมพงษ์ ใจดี

สำนักพิมพ์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื้อหา : เฉลยปัญหาวิชาแม่เหล็ก-ไฟฟ้าระดับมัธยมปลาย ถึงมหาวิทยาลัย ปี 1 ในความหนา 339 หน้า พิมพ์สวย คุณภาพดี ราคา 200 บาท



ชื่อหนังสือ : ร้อยแปดพันเก้า โปรแกรมสามัญประจำเครื่อง

ผู้แต่ง : ชีระศักดิ์ สุโชตินันท์

สำนักพิมพ์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

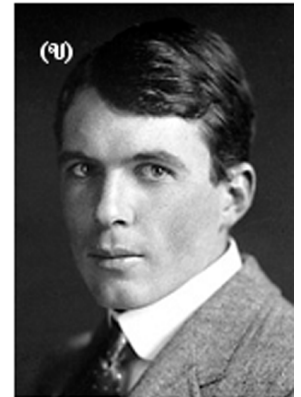
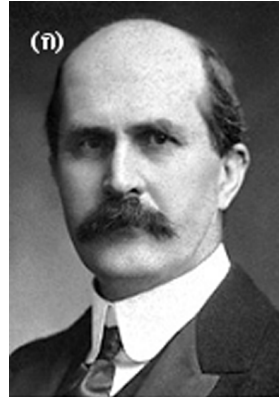
เนื้อหา : รวมวิธีการใช้งานโปรแกรมเด็ดที่จำเป็นต้องใช้งานในชีวิตประจำวัน มากถึง 65 โปรแกรม (ที่บรรจุในแผ่น CD ท้ายเล่ม) แนะนำเว็บไซต์เพื่ออัปเดตเวอร์ชันใหม่ๆ โดยผู้เขียนใช้ภาษาสั้นกระชับ เข้าใจง่าย ไร้กลิ่นไอทางวิชาการ สามารถอ่านไปทำตามไปได้ทันที พิมพ์ 2 สีตลอดเล่ม หนา 574 หน้าราคา 350 บาท

วิธิตหาความบกพร่องในความสมบูรณ์ของผลึก: เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง

สกุลธรรม เสนาะพิมพ์*

ในบทความนี้ผู้เขียนจะนำเสนอคำตอบของโจทย์ปัญหาที่นักวิจัยทางด้านฟิสิกส์สารกึ่งตัวนำมักจะพบบ่อยครั้งคือ ทำอย่างไรที่จะตรวจสอบหาความบกพร่องของโครงสร้างผลึกของวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ต้องการผลิตขึ้นมาให้มีความสมบูรณ์สูงมาก ๆ เพื่อประสิทธิภาพที่ดีในการนำไปใช้งานต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปเราอาจคิดว่าการตรวจสอบสิ่งของที่มีความสมบูรณ์สูงน่าจะทำได้ง่ายและสะดวกกว่า แต่ในความเป็นจริงการที่จะหาลักษณะและความหนาแน่นของความบกพร่องในสิ่งของที่สมบูรณ์มาก ๆ นั้นจะทำให้ยากเพราะว่าความบกพร่องต่าง ๆ เหล่านั้นมักจะมีขนาดเล็กและมีจำนวนน้อยมากจนเราไม่สามารถที่จะใช้เครื่องมือวัดแบบทั่ว ๆ ไปได้ ทำให้มีความจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องมือวัดที่มีกำลังแยกสูงพอที่จะใช้ในการตรวจสอบความบกพร่องที่มีขนาดเล็กในระดับไมครอน (หนึ่งในล้านส่วนของหน่วยเมตร) ระดับนาโน (หนึ่งในหนึ่งพันล้านส่วนของหน่วยเมตร) และในระดับอังสตรอม (หนึ่งในหนึ่งหมื่นล้านส่วนในหน่วยเมตร) ตามลำดับ สำหรับวัสดุที่มีความสมบูรณ์สูงมาก ๆ นั้น ความบกพร่องที่พบมักจะอยู่ในระดับขนาดเดียวกันกับขนาดโครงสร้างผลึกของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กมากอยู่ในช่วง 3 ถึง 10 อังสตรอมเท่านั้น ทำให้จำเป็นต้องใช้เทคนิคที่เฉพาะและอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงในการตรวจวัด

เทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย คือ เทคนิคการตรวจสอบด้วยการกระเจิงของอิเล็กตรอน นิวตรอน หรือรังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่น (λ) ในช่วง 1 ถึง 2 อังสตรอมผ่านโครงสร้างผลึก โดยที่เราสามารถตรวจสอบหาความบกพร่องของผลึกได้ด้วยการศึกษาจากรูปแบบการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) และการศึกษาภาพที่เกิดจากการกระเจิงของอิเล็กตรอน นิวตรอน หรือรังสีเอกซ์ดังกล่าวโดยกลุ่มผู้ที่สนใจในการปลูกฟิล์มบาง (thin film) และการปลูกผลึกแบบบัลค์ (bulk crystal) ของสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) จะนิยมใช้วิธีการตรวจสอบข้างต้นเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะวิธีการตรวจสอบด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction หรือ XRD) เนื่องจากเป็นวิธีตรวจวัดที่ไม่ทำลายโครงสร้างผลึกภายในชิ้นงาน อีกทั้งการเตรียมชิ้นงานสำหรับการตรวจสอบก็สะดวกกว่าการตรวจสอบด้วย



รูปที่ 1 (ก) แบริกซ์ผู้พ่อ (Sir William Henry Bragg, พ.ศ. 2405 - 2485) และ (ข) แบริกซ์ผู้ลูก (Sir William Lawrence Bragg, พ.ศ. 2433 - 2514) เป็นนักฟิสิกส์เชื้อสายออสเตรเลีย [1] ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ร่วมกันในปี พ.ศ. 2458 จากการศึกษาการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในโครงสร้างผลึก โดยให้รังสีเอกซ์สะท้อนจากโครงสร้างผลึก และได้เสนอสมการเพื่ออธิบายรูปแบบการเลี้ยวเบน ในโครงสร้างผลึก ปัจจุบันเรียกว่า “เงื่อนไขของแบรกก์” (Bragg’s condition) ซึ่งได้อธิบายถึง “รังสีเอกซ์ที่ตกกระทบบอะตอมในโครงสร้างผลึก จะเกิดการกระเจิง และรังสีเอกซ์ที่กระเจิงไปเปรียบเสมือนคลื่นสะท้อน จะรวมกันและเกิดการแทรกสอดเช่นเดียวกับคลื่นแสง” ทำให้มีการใช้รังสีเอกซ์วิเคราะห์โครงสร้างผลึกอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

การกระเจิงของอิเล็กตรอนอีกด้วย

ถึงแม้ว่าการตรวจสอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จะให้กำลังแยกสูงมากพอที่จะบอกขนาดของโครงสร้างผลึกได้ในระดับอังสตรอม แต่กำลังแยกของเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer) ก็ยังถูกจำกัดด้วยปัจจัยหลายอย่างซึ่งมีผลให้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์คลาดเคลื่อนจาก เงื่อนไขของแบรกก์ (Bragg’s condition) นั่นคือสมการ

$$2d_{hkl} \sin \theta = \lambda \quad (1)$$

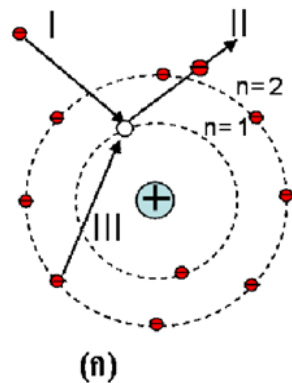
สำหรับผลึกที่มีความสมบูรณ์สูง ปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือช่วงความกว้างของความยาวคลื่น ($\Delta\lambda$) ของรังสีเอกซ์ที่ผลิตได้จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray source) ที่อยู่ภายในเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยความยาวคลื่นรังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดจะมีหลายค่า

* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

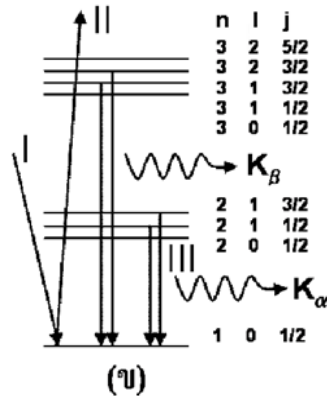
ฟิสิกส์ของวัสดุ

อิเล็กตรอนพลังงาน ~ 40 keV

จากไส้หลอด

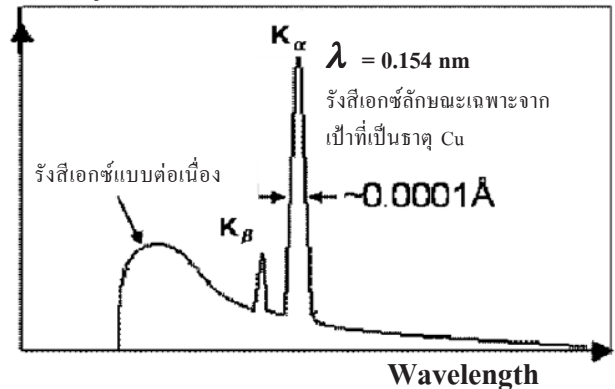


(ก)



(ข)

Intensity



(ค)

รูปที่ 2 (ก) แผนภาพแสดงกระบวนการเกิดรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะในหลอดผลิตรังสีเอกซ์ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้: (I) การใช้ความต่างศักย์สูงเร่งให้อิเล็กตรอนอิสระจากไส้หลอดให้มีพลังงานจลน์มากพอที่จะวิ่งเข้าชนอะตอมเป้าโลหะแล้วทำให้ (II) อิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรชั้นในสุดของอะตอมเป้าโลหะหลุดออกมา (III) อิเล็กตรอนในอะตอมเป้าที่ระดับพลังงานสูงกว่าเข้าไปแทนที่ช่องว่างอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน $n=1$ (ชั้น K) และปลดปล่อยรังสีเอกซ์ โดยรังสีเอกซ์ที่เปล่งออกมาจากการแทนที่ในชั้นนี้เรียกว่า “รังสีเอกซ์ชั้น K” (K-shell X-ray) ซึ่งรังสีเอกซ์นี้เปล่งออกมาจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น L ($n=2$) หรือ M ($n=3$) หรือ N ($n=4$) ฯลฯ โดยกำหนดเรียกรังสีเอกซ์ชั้น K ที่เกิดจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น L ว่า รังสีเอกซ์ชั้น K_α และกำหนดเรียกรังสีเอกซ์ชั้น K ที่เกิดจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น M และ N ว่า รังสีเอกซ์ชั้น K_β และ K_γ ตามลำดับ

(ข) แสดงอนุกรมของรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะที่เป็นผลจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมเป้าที่ต้องสอดคล้องกับหลักการกีดกันของเพาลี สำหรับ $\Delta l = \pm 1$ และ $\Delta j = 0, \pm 1$

(ค) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์แบบต่อเนื่อง (continuum X-rays หรือ bremsstrahlung X-rays) และรังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ (รังสีเอกซ์ชั้น K_α และ K_β)

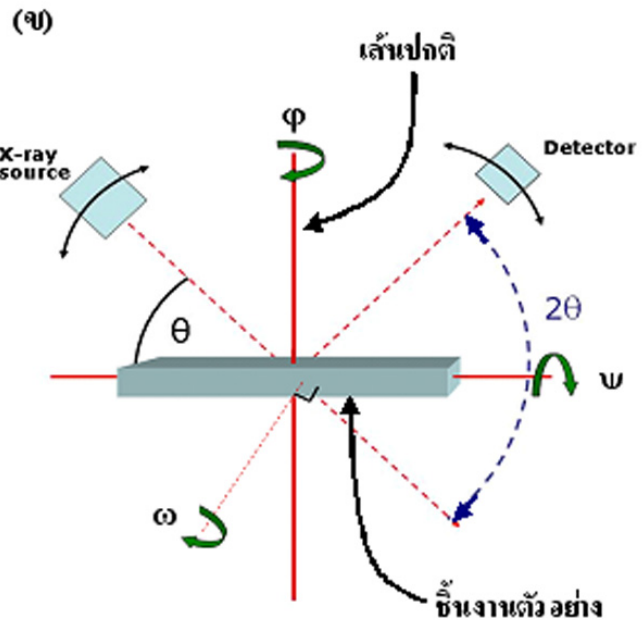
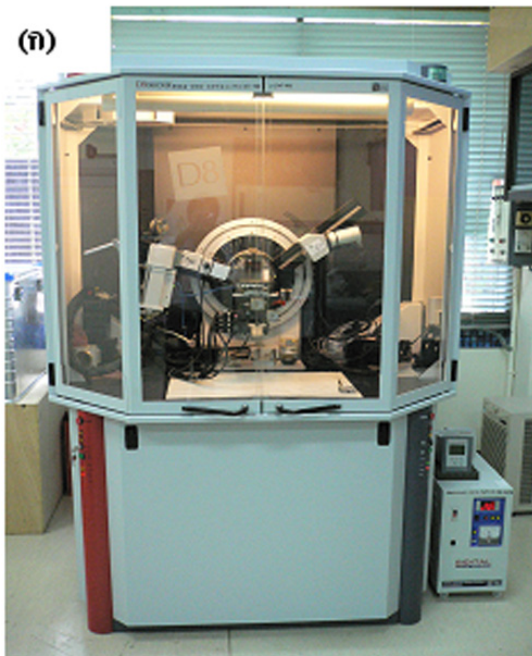
ความยาวคลื่นโดยผสมกันทั้งแบบต่อเนื่อง (ซึ่งเกิดจากกระบวนการเบรมสตราลุง “bremsstrahlung”) และแบบไม่ต่อเนื่องที่เกิดจากกระบวนการดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 โดยสำหรับการถ่ายภาพปอดที่โรงพยาบาลจะใช้รังสีเบรมสตราลุงเป็นสำคัญ แต่ในที่นี้จะสนใจแต่รังสีเอกซ์แบบไม่ต่อเนื่อง หรือ “รังสีเอกซ์ลักษณะเฉพาะ” (characteristic X-rays) ในรูปที่ 2 (ค) ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มของรังสีเอกซ์ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ชั้น K_α จะมีความเข้มสูงสุดเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ชั้นอื่น ดังนั้นสำหรับการทดลองการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เราจึงเลือกใช้เฉพาะความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ชั้น K_α เท่านั้น แต่เนื่องจากรังสีเอกซ์ชั้น K_α ยังสามารถแยกได้เป็น $K_{\alpha 1}$ และ $K_{\alpha 2}$ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนที่มีสปินต่างกันจากชั้น L รูปที่ 2(ก) และ (ข) ทำให้ต้องใช้ความยาวคลื่นเฉลี่ยของรังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 1}$ และ $K_{\alpha 2}$ สำหรับการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง เมื่อพิจารณาจากความเข้มพบว่ารังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 1}$ มีความเข้มมากกว่ารังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 2}$

ประมาณ 2 เท่า ดังนั้นจะหาค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยของรังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 1}$ และ $K_{\alpha 2}$ ได้ดังสมการ

$$\lambda(K_\alpha) = \frac{2}{3} \lambda(K_{\alpha 1}) + \frac{1}{3} \lambda(K_{\alpha 2}) \quad (2)$$

เมื่อเลือกใช้รังสีเอกซ์ชั้น K_α ซึ่งประกอบไปด้วยรังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 1}$ (สำหรับธาตุ Cu มี $\lambda_{K, \alpha 1} = 0.154056 \text{ nm}$) และรังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 2}$ (สำหรับธาตุ Cu มี $\lambda_{K, \alpha 2} = 0.154439 \text{ nm}$) ซึ่งมีความยาวคลื่นแตกต่างกันเล็กน้อยดังที่ได้กล่าวข้างต้นทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกที่มีระยะระหว่างระนาบของผลึกที่เท่ากันหรือเกือบเท่ากัน จะปรากฏความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ค่ามุมเลี้ยวเบนต่างกัน 2 ค่า ซึ่งจะแยกออกจากกันอย่างชัดเจนปรากฏการณ์นี้เกิดเนื่องมาจากการมีค่า λ สองค่าที่ต่างกันเล็กน้อยในเงื่อนไขของแบรกก์ จะส่งผลให้เกิดมุมเลี้ยวเบน θ ที่มี 2 ค่าซึ่งต่างกันเล็กน้อยด้วย แต่สำหรับการทดลองจริงโครงสร้างผลึกอาจไม่สมบูรณ์เหมือนในกรณีอุดมคติ ทำให้ระยะระหว่างระนาบของ

ฟิสิกส์ของวัสดุ



รูปที่ 3 (ก) เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง (รูปถ่ายจากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)
(ข) แสดงภาพจำลองฐานวางชิ้นงานที่สามารถหมุนได้ 3 ทิศทาง คือหมุนตามมุม φ , ψ และ ω

ผลึกที่คิดว่าควรจะเท่ากันนั้นเกิดการกระจายตัวเล็กน้อย โดยการกระจายตัวของระยะห่างระหว่างระนาบจะส่งผลให้ความเข้มของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่แยกออกจากกันด้วยค่ามุมที่แตกต่างกัน 2 ค่าดังในกรณีอุดมคติดังกล่าว เกิดรวมกันที่ค่ามุมเดียว ทำให้ระยะระหว่างระนาบของผลึกที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

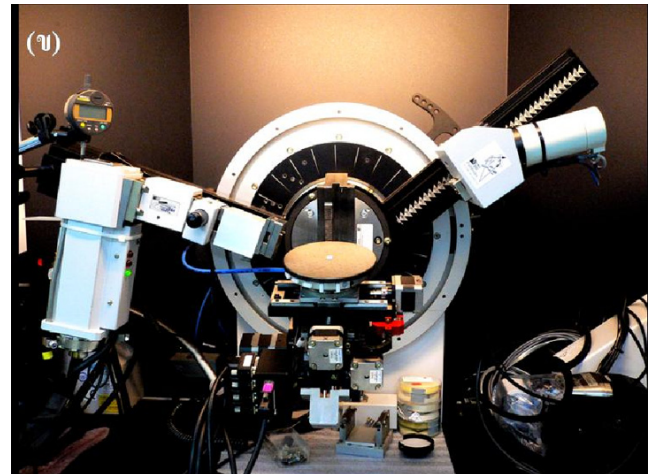
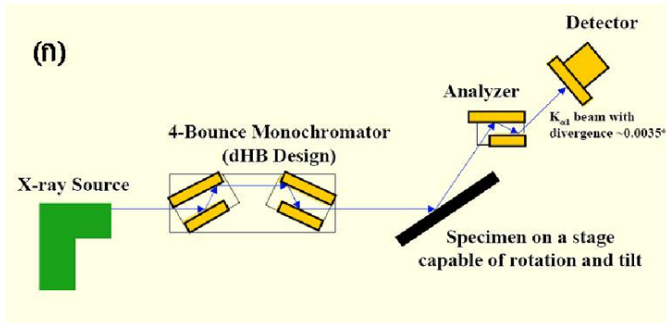
จะเห็นว่าสำหรับผลึกที่มีการกระจายตัวของระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกเพียงเล็กน้อย เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ใช้รังสีเอกซ์ที่มีช่วงความกว้างของความยาวคลื่น ($\Delta\lambda$) มากและต่อเนื่องกันจะไม่สามารถบอกถึงการกระจายตัวของระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นถ้าใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวหรือ $\Delta\lambda$ มีค่าน้อยมากจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในการแยกระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกที่มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยนี้ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้จึงทำให้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง (High Resolution X-ray Diffraction หรือ HRXRD) ถูกพัฒนาขึ้นโดยการเพิ่มตัวทำแสงเอกรงค์ (monochromator) สำหรับกรองรังสีเอกซ์เพื่อให้ได้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นค่าเดียวหรือให้ $\Delta\lambda$ มีค่าน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามการเพิ่มตัวแยกแสงเอกรงค์สำหรับกรองรังสีเอกซ์มีข้อจำกัดประกอบเพียงหนึ่งเดียวที่จะทำให้ได้เครื่องเลี้ยวเบน

รังสีเอกซ์สำหรับ “เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงที่สมบูรณ์” แต่ยังมีหลักการที่สำคัญสำหรับเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง คือ “การทำให้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขของแบรกก์มากที่สุด” ดังนั้นการพัฒนาระบบการปรับฐานวางชิ้นงานเพื่อให้สามารถปรับระยะห่างที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของแบรกก์ได้อย่างอิสระจึงเป็นประเด็นที่สำคัญด้วยเช่นกัน และสุดท้ายจะต้องพัฒนาระบบการเก็บข้อมูลของการเลี้ยวเบนของเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ให้มีความละเอียดสูงสุด โดยปัจจุบันความละเอียดสูงสุดที่สามารถบันทึกได้นั้น มีค่าถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 คือ 0.0002 องศา หรือ สองในหนึ่งหมื่นส่วนของหน่วยองศา

หลักการของเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง

เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงเป็นเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ทำให้ข้อมูล เช่น ค่าคงที่โครงสร้างผลึก ที่ได้จากการทดลองมีความแม่นยำสูงถึงทศนิยมตำแหน่งที่สามสำหรับผลึกที่มีความสมบูรณ์สูง และมีประสิทธิภาพสูงสำหรับการตรวจสอบการกระจายตัวของระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกถึงแม้ว่าระยะห่างระหว่างระนาบของผลึกนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน จากกฎของแบรกก์สำหรับรังสีเอกซ์ที่มีช่วงความกว้างของความยาวคลื่น $\Delta\lambda$ แคบมากจะได้ว่า



รูปที่ 4 (ก) แสดงภาพจำลองขององค์ประกอบในเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง (ข) แสดงภาพองค์ประกอบของเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับในรูป (ก) (รูปถ่ายจากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta \theta}{\tan \theta} \quad (3)$$

เมื่อ Δd คือ ความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอม, $\Delta \lambda$ คือ ช่วงความกว้างของความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์, และ $\Delta \theta$ คือ การกระจายตัวของมุมตกกระทบ θ จากสมการจะ

เห็นว่าเมื่อ $\frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ มีค่าน้อยจะส่งผลให้มีค่า $\frac{\Delta d}{d}$ น้อยด้วย

ตัวอย่างเช่น รังสีเอกซ์ที่ผลิตออกมาจากเป้าทองแดง (Cu) ที่ใช้

สำหรับเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในงานทั่วไป จะมีค่า $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \sim 10^{-3}$

ส่วนเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงนั้นจะมีค่า $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} \sim 10^{-4}$

ทำให้ $\frac{\Delta d}{d}$ จากเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ใช้กันทั่วๆ ไปมีค่ามากกว่า

จากเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงนี้มีความแม่นยำสูงกว่าการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ใช้สำหรับงานทั่วไปมาก

นอกจากนี้สำหรับเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง ฐานสำหรับวางชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างผลึกนั้นจะสามารถหมุนได้ใน 3 ทิศทาง เพื่อกำหนดการวางตัวของระนาบของผลึกในชิ้นงาน โดยเฉพาะผลึกเดี่ยว ให้ตรงตามเงื่อนไขของแบรกก์ ซึ่งการที่ฐานวางชิ้นงานสามารถหมุนได้ใน 3 ทิศทางนี้จะทำให้สัญญาณที่ได้จากการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มีความเข้มสูงขึ้น รูปที่ 3 (ก) แสดงเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงที่มีฐานวาง

ชิ้นงานสามารถหมุนได้ 3 ทิศทาง คือ หมุนตามมุม ψ ซึ่งเป็นการหมุนชิ้นงานรอบแกนที่มีทิศขนานกับระนาบทางเดินรังสีเอกซ์ และตั้งฉากกับเส้นปกติ หมุนตามมุม ω ซึ่งเป็นการหมุนชิ้นงานรอบแกนที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบรังสีเอกซ์และเส้นปกติ และสุดท้าย หมุนตามมุม ϕ ซึ่งเป็นการหมุนชิ้นงานรอบแกนเส้นปกติ ดังในรูปที่ 3(ข) ซึ่งแสดงภาพจำลองการหมุนในแต่ละทิศทาง

องค์ประกอบเครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูง

รังสีเอกซ์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดจะมีความยาวคลื่นหลายค่า เมื่อนำรังสีเอกซ์ไปใช้ในการทดลองจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความซับซ้อนและยากต่อการวิเคราะห์ผล เพื่อลดปัญหาดังกล่าว ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองจึงจำเป็นต้องมีเพียงค่าเดียว (coherent source) หรือช่วงความกว้างของความยาวคลื่นแคบมาก (หรือ $\Delta \lambda$ มีค่าน้อยมาก) สามารถทำได้โดยการใส่ตัวกรองรังสีเอกซ์เข้าไปด้านหน้าของหลอดผลิตรังสีเอกซ์ซึ่งเรียกว่า ตัวทำแสงเออร์ค และอีกตัวข้างหน้าตัวตรวจจับรังสีเอกซ์ (X-ray detector) ซึ่งเรียกว่า ตัววิเคราะห์ (analyzer) เพื่อจะทำหน้าที่ในการกรองรังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนมาจากชิ้นงาน สำหรับความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในการทดลองนั้นจะใช้รังสีเอกซ์ที่มีความยาวคลื่นรังสีเอกซ์ชั้น $K_{\alpha 1}$ เนื่องจากเป็นความยาวคลื่นที่มีความเข้มสูงสุด (ดูรูปที่ 2 (ค)) โดยตัวกรองส่วนใหญ่จะประดิษฐ์จากผลึกของแข็ง เช่น Ge (220) และ Si (220) เนื่องจากเป็นผลึกของแข็งที่สามารถขึ้นรูปได้ง่ายและมีคุณภาพเชิงผลึกสูงที่สุดในโลกปัจจุบัน ตัวทำ

ฟิสิกส์ของวัสดุ

แสงเอกรงค์ที่แสดงในรูปที่ 4 (ก) นั้นเป็นการออกแบบโดยใช้ผลึกตัวกรอง 4 ชั้น เรียกว่า 4-bounce monochromator สำหรับตัววิเคราะห์นั้นทำจากแท่งผลึกตัวกรองเพียง 2 ชั้นเท่านั้น จากรูปที่ 4 พบว่ารังสีเอกซ์ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดจะตกกระทบทำมุมกับผลึกตัวกรอง ซึ่งการตกกระทบบนผลึกตัวกรองแต่ละครั้งส่งผลให้รังสีเอกซ์ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันกระเจิงออกมาด้วยมุมที่ต่างกัน ตามกฎของแบรกก์ จะเห็นได้ว่าผลึกตัวกรองแต่ละอันสามารถแยกความยาวคลื่นเฉพาะของรังสีเอกซ์ที่ต้องการ โดยใช้ช่องเปิด (aperture) ในการเลือกช่วงของความยาวคลื่นที่จะใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก เมื่อรังสีเอกซ์ความยาวคลื่นที่เลือกดังกล่าวตกกระทบกับชิ้นงานจะได้รังสีเอกซ์เลี้ยวเบนออกมาจากชิ้นงาน แต่ก่อนที่รังสีเอกซ์เลี้ยวเบนจะเข้าสู่ตัวตรวจจบบังรังสีเอกซ์นั้น รังสีเอกซ์ดังกล่าวจะผ่านการกรองอีกครั้งหนึ่งที่ตัววิเคราะห์ซึ่งใช้หลักการเดียวกับตัวทำแสงเอกรงค์ ดังนั้นรังสีเอกซ์ที่ตัวตรวจจบบังรังสีเอกซ์รับได้จะมี

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนในระดับ } \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \sim 10^{-4} \text{ เท่านั้น}$$

อย่างไรก็ตามพบว่าเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงนี้เป็นเทคนิคที่มีข้อจำกัดบางประการ คือ สามารถใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างผลึกที่มีความสมบูรณ์สูงเท่านั้น ซึ่งข้อจำกัดนี้เกิดจากการที่รังสีเอกซ์จากแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ถูกกรองด้วยตัวกรองรังสีเอกซ์ถึง 2 ครั้ง ทำให้ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เข้าสู่ตัวตรวจจบบังรังสีเอกซ์ลดลงอย่างมาก ส่งผลให้การวัดสัญญาณความเข้ม

รังสีเอกซ์ที่เลี้ยวเบนจากโครงสร้างผลึกที่มีความสมบูรณ์ต่ำทำได้ยาก สามารถเรียกได้ว่าเป็นเทคนิคที่ใช้ “หาความบกพร่องในความสมบูรณ์” ดังนั้นเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์กำลังแยกสูงจึงมักถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการตรวจสอบหาความบกพร่องในผลึกที่มีความสมบูรณ์สูง เช่น การตรวจสอบผลึกของชั้นฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำที่ปลูกด้วยวิธีเอพิแทกซี (ดูในบทความ “สารกึ่งตัวนำ-ตัวนำไฮเบอร์” วารสารฟิสิกส์ไทย, ก.ย.-พ.ย. 2550) ในอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำ หรือผลึกเชิงเดี่ยวแบบบัลค์ที่มีทิศทางการผลึกที่แน่นอนซึ่งนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นเวเฟอร์ (wafer) ที่เป็นฐานรองสำหรับการประดิษฐ์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองบรรณาธิการที่ให้คำแนะนำแก่ผู้เขียนได้ปรับปรุงบทความนี้ให้มีเนื้อหาและการใช้ภาษาไทยที่สมบูรณ์ชัดเจนมากขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

แหล่งอ้างอิง

1. http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/
2. Thin Film Analysis by X-ray Scattering ของ Mario Birkholz บทที่ 7 หน้า 297.
3. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอเชิญเข้าร่วมการประชุม

2nd Thailand Nanotechnology Conference 2008 on
Nanomaterials for Health, Energy and Environment

และ

6th Regional Symposium on Membrane Science & Technology

จัดโดยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ณ Phuket Graceland Resort & Spa หาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

ระหว่างวันที่ 13 – 15 สิงหาคม 2551

สอบถามรายละเอียดได้ที่:

ผศ.ดร. สุธรรม นิชมาท โทร. +66-86-7785004,

E-mail : sutham.n@psu.ac.th

ดร. วิรัช ทวีปรีดา โทร. +66-74-28-8361, E-mail : wirach.t@psu.ac.th



ปูนซีเมนต์และวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริก-ปูนซีเมนต์

อานนท์ ชัยพานิช *



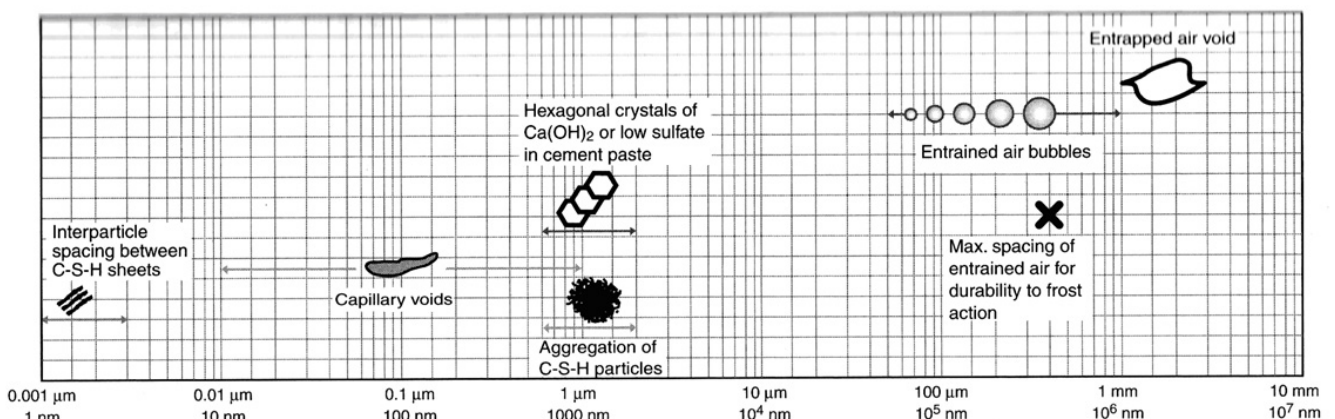
รูปที่ 1 Joseph Aspdin (ค.ศ. 1779 – 1855)

ปูนซีเมนต์มีความสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตปัจจุบัน เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นวัสดุหลักสำหรับการก่อสร้างที่อยู่อาศัย เป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ที่มนุษย์ไม่สามารถขาดได้ การใช้น้ำปูนซีเมนต์โดยทั่วไปจะใช้สำหรับผลิตคอนกรีตกล่าวคือใช้เป็นวัสดุประสานหินและทรายเข้าด้วยกันเมื่อผสมกับน้ำ คำว่า **ซีเมนต์ (cement)** มาจากภาษาละตินมีความหมายทั่วไปคือ “วัตถุที่แข็งเมื่อผสมกับน้ำ” ซึ่งปูนซีเมนต์นั้นมีการใช้งานมาตั้งแต่ สมัยอียิปต์ กรีก และโรมัน แต่เมื่ออาณาจักรโรมันเสื่อมลง การใช้น้ำปูนซีเมนต์ก็สิ้นสุดลงด้วย และเกิดความก้าวหน้าที่สำคัญอีกครั้งในปี ค.ศ. 1824 โดย **Joseph Aspdin** ชาวอังกฤษ ได้คิดค้นซีเมนต์ จนประสบความสำเร็จ โดยซีเมนต์นี้เมื่อแข็งตัวจะมีสีเหลืองปนเทา เหมือนกับหินที่ใช้ก่อสร้างบริเวณเมืองพอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ จึงเรียกวัตถุนี้ว่า ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Portland cement หรือ PC) รวมทั้งได้จดลิขสิทธิ์ขึ้นเป็นครั้งแรก จากนั้นในปลายศตวรรษที่ 19 ประเทศอังกฤษผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่างๆ ทั่วโลกในปริมาณมาก อีกทั้งเปิดโรงงานอุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ในต่างประเทศอีกด้วย เช่น เปิดในประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1855 ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1871 ประเทศเยอรมนี ในปี ค.ศ. 1855 และประเทศออสเตรเลียนในปี ค.ศ. 1882 สำหรับประเทศไทยเริ่มผลิตปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1913 [1-4]

ภายในซีเมนต์เพสต์ (ปูนที่ผสมน้ำและแข็งตัวแล้ว) ประกอบไปด้วยช่องว่างหลากหลายชนิดที่มีถึง 7 ระดับขนาด (magnitude) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งส่งผลต่อสมบัติของซีเมนต์เพสต์

Powers กล่าวว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาหลัก (ไฮเดรชัน) เรียกว่าแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานของซีเมนต์เพสต์ มีช่องว่างอยู่ภายในขนาดประมาณ 18 อังสตรอม และมีรูพรุนประมาณร้อยละ 28 แสดงแบบจำลองดังรูปที่ 3 อย่างไรก็ตาม Feldman และ Sereida กล่าวว่าช่องว่างที่มีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 5-25 ล ซึ่งเป็นช่องว่างขนาดเล็กเกินกว่าที่จะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงและความสามารถซึมผ่านน้ำของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งช่องว่างขนาดเล็กนี้สามารถขีดเกาะอยู่ได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน และหลุดออกภายใต้สภาวะที่แห้ง ภาวะหดตัว และภาวะคืบ (creep)

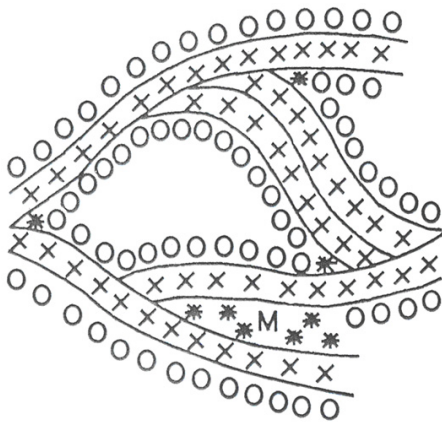
ช่องว่างคาปิลารี (capillary voids) เป็นช่องว่างที่ไม่ถูกใช้โดย



รูปที่ 2 ขนาด 7 ระดับของรูพรุนต่างๆ ในซีเมนต์เพสต์ [4]

* อาจารย์ (ดร.) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ฟิสิกส์ของวัสดุ



รูปที่ 3 แบบจำลองเซลล์เชื่อมขลิบเกิดไฮดรอลิกโดย Powers [5]

O น้ำคุดจับ

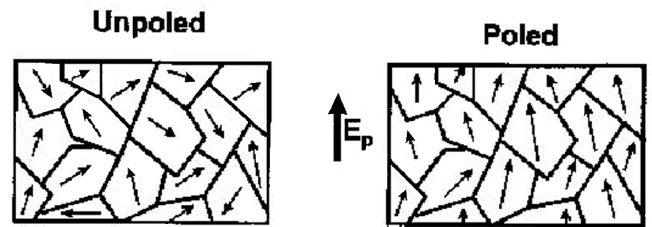
* น้ำคุดจับที่อยู่ในช่อง

X น้ำระหว่างแผ่น

ปูนซีเมนต์หรือผลิตภัณฑ์ไฮดรอลิกในส่วนผสมที่เกิดปฏิกิริยาไฮดรอลิกได้ดี หรือมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อยนั้น ช่องว่างคาปิลารี จะมีขนาดประมาณ 10-50 nm ส่วนในส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก (ในช่วงแรกของการเกิดปฏิกิริยา) จะมีขนาดของ ช่องว่างคาปิลารี อยู่ในช่วง 3-5 ไมโครเมตร พบว่าการกระจายตัวของขนาดของรูพรุน (ไม่ใช่จำนวนช่องว่างคาปิลารีทั้งหมด) สามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการหาค่าสมบัติเฉพาะของปฏิกิริยาไฮดรอลิกของปูนซีเมนต์ได้ ซึ่งช่องว่างคาปิลารี ที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 nm จะถูกเรียกว่า macropores ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติทางด้านกำลังอัดและความสามารถในการซึมผ่าน ส่วนรูพรุนที่มีขนาดเล็กกว่า 50 nm หรือที่เรียกว่า micropores จะมีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติการหดตัว (drying shrinkage) และความคืบ

ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในซีเมนต์เพสต์คือ ช่องว่างอากาศ (air void) ขณะที่ช่องว่างคาปิลารีมีรูปร่างหลากหลาย แต่ช่องว่างอากาศทั่วไปจะมีลักษณะกลม เกิดจากการที่อากาศปริมาณเล็กน้อยถูกกักอยู่ในซีเมนต์เพสต์ขณะผสมคอนกรีต ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยอันได้แก่ การเหนี่ยวนำให้ส่วนผสมในคอนกรีตเกิดช่องว่าง (entrained) เล็กๆ โดยทั่วไปมีขนาดอยู่ระหว่าง 50-200 ไมโครเมตร สำหรับช่องว่างที่เกิดมีขึ้นเอง (entrapped) อาจกว้างประมาณ 3 มิลลิเมตร จากขนาดของช่องว่าง entrapped และ entrained ที่ใหญ่กว่าช่องว่างคาปิลารี ดังนั้นทั้งช่องว่าง entrapped และ entrained ในซีเมนต์เพสต์สามารถส่งผลต่อความแข็งแรงได้

ก่อนหน้านี้มีผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับปูนซีเมนต์หลากหลายด้าน เช่น การพัฒนาสมบัติของปูนซีเมนต์ การลดต้นทุนการผลิต หรือ



รูปที่ 4 แสดงทิศทางของการโพลาไรเซชันในเซรามิก PZT ทั้งก่อน (unpoled) และหลัง (poled) ได้รับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายนอก [6]

การนำปูนซีเมนต์มาผสมทำวัสดุผสมต่างๆ ซึ่งเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการนำปูนซีเมนต์มาผสมกับวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริกเพื่อให้มีสมบัติเพียโซอิเล็กทริกในตัว ซึ่งสมบัติเพียโซอิเล็กทริกหมายถึงสมบัติพิเศษเมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกล ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์คอนเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (converse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สมบัติเพียโซอิเล็กทริกจะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพขั้วทางไฟฟ้าเท่านั้นจากการให้สนามไฟฟ้าดังรูปที่ 4 กล่าวคือ สนามไฟฟ้าจะไปเหนี่ยวนำให้ไดโพลเกิดการจัดเรียงตัวตามสนามไฟฟ้าที่กระทำ ส่งผลให้ค่าโพลาไรเซชัน (polarization) เพิ่มขึ้นและทำให้ทิศทางโพลาไรเซชันเรียงกันไปในทิศทางเดียวกัน วัสดุเพียโซอิเล็กทริกนั้นได้มีการค้นพบโดย Pierre และ Jacques Curie ในปี ค.ศ. 1880-1882 ในปัจจุบันวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้และรู้จักกันดีและที่นำไปใช้ทำวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริกต่างๆ คือ เลดเซอร์โคเนตไทเทเนต (Lead zirconate titanate) หรือที่นิยมเรียกกันว่า “PZT” อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่ใช้ประโยชน์จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีหลายอย่างด้วยกันซึ่งจะขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ในกรณีที่มีการป้อนแรงดันให้วัสดุทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือเกิดแรงกลสามารถนำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ในอุปกรณ์อัลตราโซนิก (ultrasonic) ทางทางการแพทย์ เป็นต้น [6]

วัสดุผสมระหว่างเพียโซอิเล็กทริกกับปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมอีกประเภทหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากค่า

ฟิสิกส์ของวัสดุ

ตารางที่ 1 สมบัติต่างๆของเซรามิก PZT ปูนซีเมนต์และคอนกรีต

	PZT Ceramic	Cement Paste	Concrete
Piezoelectric strain factor, 10^{-12} C/N	513	-	-
Dielectric constant	3643	56	-
Electromechanical coupling Coefficient, %	67	-	-
Density, 10^3 kg/m ³	7.5	~2.0	~2.4
Acoustic velocity, 10^3 m/s	2.83	~2.64	~3.73
Acoustic impedance, 10^6 kg/m ² s	21.2	~5.3	~9.0

ความต้านทานเสียงเชิงซ้อน (acoustic impedance) ของวัสดุผสมที่ทำจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกและปูนซีเมนต์ใกล้เคียงกับค่าของวัสดุโครงสร้างทั่วไปที่ทำจากคอนกรีต (ตารางที่ 1) จากการคำนวณโดยใช้สมการที่ 1-3

$$E_c = \frac{1}{(v_1 / E_1) + (v_2 / E_2)} \quad (1)$$

$$V_c = \left(\frac{E_c}{\rho_c} \right)^{1/2} = \frac{10}{[(7.194 - 5.528v_1)(2.0 + 5.5v_1)]^{1/2}} (10^3 \text{ m/s}) \quad (2)$$

$$I_c = \rho_c V_c = (\rho_c E_c)^{1/2} = 10 \left(\frac{2.0 + 5.5v_1}{7.194 - 5.528v_1} \right)^{1/2} (10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (3)$$

โดยค่าความต้านทานเสียงเชิงซ้อน (I_c) มีค่าประมาณ $9-10 \times 10^6$ kg/m²s โดยปริมาตรวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (v_1) อยู่ระหว่างร้อยละ 40-60 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าของวัสดุโครงสร้างทั่วไปที่ทำจากคอนกรีตอีกด้วย และ V_c คือความเร็วของเสียง E_c คือโมดูลัสความยืดหยุ่น และ ρ_c คือความหนาแน่นของวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริก-ปูนซีเมนต์ ซึ่งวัสดุผสมแนวใหม่นี้มีความสำคัญอย่างมากในการพัฒนาความก้าวหน้าของโครงสร้างทางวิศวกรรมโยธา พัฒนาไปเป็นวัสดุผสมโครงสร้างฉลาดในการจับสัญญาณคลื่นที่ส่งผ่านเนื้อของคอนกรีต ปีค.ศ 2002 Zongjin Li, Dong Zhang และ Keru Wu [7] ได้ทำการศึกษาค่าความต้านทานเสียงเชิงซ้อน ค่าสัมประสิทธิ์คู่อุปกรณ์ไฟฟ้าเชิงกล และค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียโซอิเล็กทริกของวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริกและปูนซีเมนต์ ดังตารางที่ 2

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มสนามไฟฟ้า เวลาที่ให้สนามไฟฟ้า และปริมาณเลดเซอร์โคเนตไทเทเนตในระบบ จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเพียโซอิเล็กทริกดีขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยของ Shifeng Huang และคณะ ในปี ค.ศ. 2004

ตารางที่ 2 สมบัติของวัสดุผสมโดย Zongjin Li, Dong Zhang และ Keru Wu [7]

Specimen Code	PZT content (vol%)	Piezoelectric Strain factor, d_{33} (10^{-12} C/N)	Piezoelectric Voltage factor, g_{33} (10^{-3} Vm/N)	Electromechanical Coupling coefficient, Kt	Dielectric constant ϵ_r
D	35	8.1	15.1	12.9	60.7
E	50	12.5	15.0	13.2	94.2
F	70	33.4	20.7	20.7	182.2

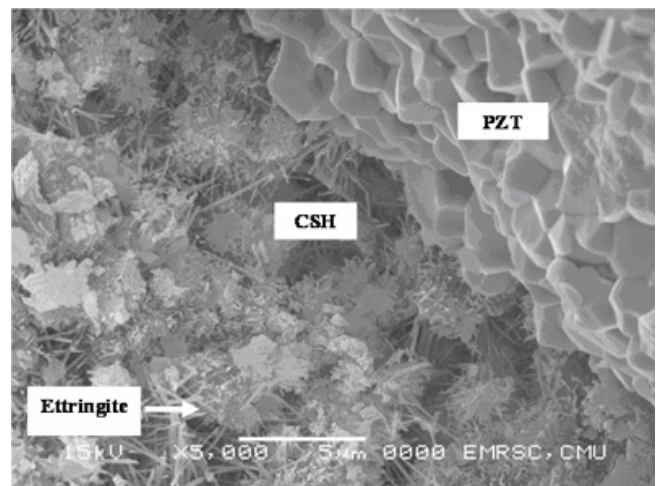
ฟิสิกส์ของวัสดุ

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่า ϵ_r และ d_{33} ของวัสดุผสมเซรามิก-ซีเมนต์และวัสดุผสม เซรามิก-พอลิเมอร์โดย Shifeng Huang และคณะ [8]

Material	ϵ_r	d_{33}
Ceramic PZT	3000	500
PZT/PVDF	120	20
PZT/rubber	55	35
PZT/POM	95	17
PZT/cement	300	55

เช่นกัน อีกทั้งยังให้ค่าที่สภาพยอมสัมพัทธ์ และค่า d_{33} ดีกว่าวัสดุผสมเซรามิก-พอลิเมอร์อีกด้วย ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

จากผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเฟสเซรามิก PZT กับเฟสของ ปูน PC (cement matrix) พบว่าเฟสของเซรามิกแบบ PZT และ ปูน PC เกิดการยึดเกาะและผสมผสานกันได้ดี โดยมีแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (CSH) ลักษณะคล้ายเส้นใยเล็กละเอียด และแท่งเข็มเอทริงไนท์ (Ettringite) เกิดขึ้นล้อมรอบ PZT แสดงดังรูปที่ 5

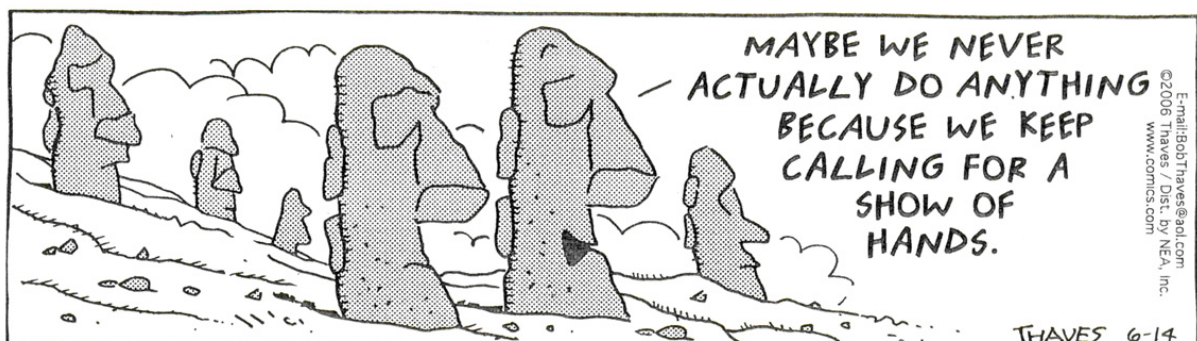


รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM โครงสร้างของวัสดุผสมเพียโซอิเล็กทริกปูนซีเมนต์

เอกสารอ้างอิง

- Mindess S. and Young J.F., Concrete, 1981.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ปูนซีเมนต์, ปอซโซลาน และ คอนกรีต, สมาคมคอนกรีตไทย, พ.ศ. 2547
- Neville A.M., Properties of concrete, Fourth edition, Longman Publishing, 1995.
- Powers T.C., Physical Properties of Cement Paste, Proceedings Symposium on the Chemistry of Cement, 1960, 2, 557-613.
- Kumar Mehta, P. and Paulo J.M. Monteiro. "Concrete Microstructure Properties and Materials" 3rd ed. McGraw-Hill., New York, 2006.
- Moulson, A. J. and Herbert. J. M. "Electroceramics: Materials -Properties-Application" 2nd ed. Chapman and Hall., London, 1990.
- Li, Z., Zhang, D. and Wu, K. Cement-Based 0-3 piezoelectric composites. J. Am. Ceram. Soc.2002; 85 : 305-313.
- Huang, S., Chang, J., Xu, R., Liu, F., Lu, L., Ye, Z and Cheng, X. Piezoelectric properties of 0-3 PZT/sulfoaluminate cement composites. Smart Mater. Struct. 2004;13 : 270-274.

FRANK & ERNEST



จาก นสพ. Bangkok Post

เหลี่ยมเพชรเม็ดงามวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า

ชาญกิจ คั่นฉ่อง

ตอนที่ 3 พลังงานไฟฟ้าสถิต (2)

จากตอนที่แล้ว [1] เราได้พูดถึงปริมาณ 3 ปริมาณที่คู่ขนานกัน คือ พลังงานจลน์, งาน, และ พลังงานศักย์หรือพลังงานสนาม ซึ่งสมนัยกับการคู่ขนานของ 3 ปริมาณในกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน คือ อัตราการเปลี่ยนโมเมนตัม, แรง, และ สนามตามลำดับ ปริมาณทั้งสามสามารถอธิบายในคำของกันและกันเช่น พลังงานศักย์ เท่ากับ งาน ในการนำอนุภาคสาร (มีมวล) จากตำแหน่งอนันต์มาจัดวางไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ ทำให้ดูเหมือนว่าเป็นนิยามของพลังงานศักย์ แต่ความจริงแล้ว พลังงานศักย์ไม่ใช่งานแบบหนึ่ง ปริมาณทั้งสามต่างมีคุณสมบัติความหมาย ถ้าเช่นนั้นจะนิยามปริมาณทั้งสามอย่างไร? ก็ในทำนองเดียวกับพจนานุกรม คำทุกคำอธิบายได้โดยใช้คำอื่นๆ แต่ไม่ได้หมายความว่า คำต่างๆ มีความหมายเหมือนกัน เราอาจเลือกใช้คำพื้นฐานง่ายๆ ชุดหนึ่งมาอธิบายความหมายของคำซับซ้อนต่างๆ แต่เป็นการเลือกอย่างลำลอง เพราะไม่ unique ขึ้นกับพจนานุกรมเล่มใดเล่มหนึ่งมา และยังคงอาศัยความหมายของคำอื่นๆ มาสื่อความหมายของคำพื้นฐานเหล่านี้ ถ้าไม่มีคำที่มีความหมายพื้นฐานโดยแท้จริงทำหน้าที่เป็นฐานการนิยามแล้ว ทำไมพจนานุกรมถึง work ทำไมเราถึงสื่อสารกันได้ นั่นเพราะที่จริงความหมายเกิดขึ้นจากแบบแผนความสัมพันธ์ ความแตกต่าง การเปรียบเทียบ การเป็นส่วนเติมเต็มกัน (complement) และการทาบทับกันเองของความหมายจากคำทุกคำ (นี่คือทัศนะการมองโลกแบบปรัชญาสำนักโครงสร้างนิยม [2 (บทที่1)])) เช่นเดียวกับทฤษฎีฟิสิกส์ (และทุกอย่าง อย่าง) พลังงานจลน์, งาน, และพลังงานศักย์ มีมาพร้อมกันทั้งหมด ไม่สามารถ isolate ความหมายออกจากกัน ความหมายของแต่ละปริมาณเกิดจากการที่ปริมาณหนึ่งทำหน้าที่อย่างหนึ่งผ่านปริมาณทุกตัว

ในตอนที่แล้วเราได้กล่าวถึงปฏิกิริยา (paradox) ระหว่าง พลังงานศักย์ไฟฟ้าสถิต กับ พลังงานสนามไฟฟ้าสถิต ว่ามีความแตกต่างกันที่พจน์เอกฐานชนิดหนึ่ง ในตอนนี้ เราจะทำความเข้าใจและอธิบายความหมายของพจน์เอกฐานนี้กัน

พลังงานศักย์ไฟฟ้าสถิต

พิจารณาพลังงานศักย์ไฟฟ้าสถิตในรูปกลศาสตร์ เช่น สำหรับระบบต้นกำเนิดสนาม (sources) ที่เป็นอนุภาคประจุ 2 ตัว

อยู่นิ่งในกรอบเฉื่อย มีรูปดังนี้

$$U_M = \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} = \int_{\infty}^{\vec{r}} d\vec{r}' \cdot (-\vec{F}_i) = \left(\frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} - \frac{q_i q_j}{|\vec{R}_i - \vec{r}_j|} \right) \Big|_{|\vec{R}_i| \rightarrow \infty} \quad (1)$$

เนื่องจากแรงอยู่ในรูปอนุพันธ์ของพลังงานศักย์ ($\vec{F} = -\nabla U(\vec{x})$) เราสามารถบวกพจน์เอกฐานที่เป็นค่าคงที่อนันต์ (IC : infinite

constant) ในรูป $IC = \frac{1}{2} \left(\frac{q_i q_i}{|\vec{r}_i - \vec{r}_i|} + \frac{q_j q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_j|} \right)$ ลงไปในพลังงานศักย์

โดยไม่มีผลกระทบต่อปรากฏการณ์ในอวกาศและเวลา [3 (หน้า 47)] ก็จะได้รูปพลังงานศักย์ใหม่ที่สามารถจัดให้อยู่ในรูปสนามไฟฟ้ารวมของทั้งระบบดังนี้

$$U_F = \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} + IC = \frac{1}{2} \left(\frac{q_i q_i}{|\vec{r}_i - \vec{r}_i|} + 2 \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} + \frac{q_j q_j}{|\vec{r}_j - \vec{r}_j|} \right) = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{2} \int d^3 x \left[(\vec{E}_i)^2 + 2 \vec{E}_i \cdot \vec{E}_j + (\vec{E}_j)^2 \right] = \frac{1}{4\pi} \frac{1}{2} \int d^3 x (\vec{E}_i + \vec{E}_j)^2 = \frac{1}{8\pi} \int d^3 x \vec{E} \cdot \vec{E} \quad (2)$$

โดยที่ $\vec{E}_i = -\nabla V_i(\vec{x})$, $V_i(\vec{x}) = \frac{q_i}{|\vec{r}_i - \vec{x}|}$, และได้ใช้ทฤษฎีบท

$$\int d^3 x \vec{\nabla} \left(\frac{1}{|\vec{x} - \vec{r}_i|} \right) \cdot \vec{\nabla} \left(\frac{1}{|\vec{x} - \vec{r}_j|} \right) = 4\pi \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (3)$$

สำหรับพลังงานศักย์ไฟฟ้าของระบบต้นกำเนิดสนามไฟฟ้าสถิตทั่วไปก็เช่นเดียวกัน

$$U_M = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (4)$$

สามารถนำ IC ไปบวกให้ได้ U_F ที่สามารถจัดให้อยู่ในรูปสนามไฟฟ้ารวมของทั้งระบบดังนี้

$$IC \equiv \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \frac{q_i q_i}{|\vec{r}_i - \vec{r}_i|} \quad (5)$$

$$U_F = U_M + IC = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (6)$$

$$= \frac{1}{4\pi} \int d^3x \vec{E} \cdot \vec{E}$$

ในกลศาสตร์ของอนุภาค พลังงานศักย์ไฟฟ้าสถิตรูป U_M (4) มีค่าเท่ากับงานในการนำอนุภาคสสาร (มีมวล) จากตำแหน่งอนันต์มาจัดวางไว้ที่ตำแหน่งต่างๆ (เช่น ดูบรรทัดที่สองของ (1)) ทำให้ตีความว่า พลังงานศักย์เก็บสะสม (stored) อยู่ในการติดตั้งจัดวางอนุภาคที่ประกอบกันเป็นระบบ การบวกพจน์เอกฐาน IC รูป (5) เข้าไปใน U_M (4) ทำให้ได้พลังงานศักย์รูป U_F (6) ที่สามารถเขียนในรูปสนามไฟฟ้ารวมของทั้งระบบได้ สำหรับระบบที่มีพลวัตของสนามอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ได้นั้น เราจะได้เรียก “กลศาสตร์ของสนาม” ที่บรรยายพลวัตของสนามว่า ทฤษฎีสถาน ในทฤษฎีสถานละทิ้ง concept พลังงานศักย์ที่สะสมอยู่ที่ตัวอนุภาคตามแบบกลศาสตร์ แต่มองว่าเป็น พลังงานสนาม (field energy) ที่สะสมอยู่ในตัวสนามทั่วทั้งอวกาศและถ่ายทอดให้กับอนุภาคกลายเป็นพลังงานจลน์ของอนุภาค

ความหมายของ “พจน์พลังงานตัวเอง”

พจน์เอกฐาน IC มีความหมายทางฟิสิกส์หรือไม่? ทำไมต้องเป็นรูป (5) ด้วย? และการมีค่าอนันต์ของพจน์นี้หมายความว่าอย่างไร? สังเกตว่า ในกรณีระบบไฟฟ้าสถิตไม่มีพลวัตของสนาม คือ ถ้าทราบพลังงานศักย์ U_M (4) ที่ขึ้นกับโครงสร้างการจัดวางอนุภาคประจุต้นกำเนิดก็จะสามารถทราบพลศาสตร์ของอนุภาคทดสอบซึ่งเป็นพลศาสตร์ทั้งหมดของระบบได้ ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ concept พลังงานสนามมาอธิบายปรากฏการณ์ นอกจากนั้น พจน์เอกฐานในรูป IC (5) ก็ไม่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในอวกาศและเวลา จากข้อสังเกตเหล่านี้ เราจึงถามได้ว่าในขอบเขตวิชาไฟฟ้าสถิต การบวกพจน์รูป IC (5) ลงในพลังงานศักย์มีเหตุผลเพียงเพื่อต้องการจัดรูปให้สวยงามในรูปผลคูณภายในของสนามไฟฟ้าเท่านั้นหรือไม่?

1. การตีความแบบพลังงานสนาม ในแง่กลศาสตร์ ค่าอนันต์ของ IC เป็นของแปลก เพราะพลังงานศักย์ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ในอวกาศและเวลา คือ U_M (4) มีค่าจำกัด เพราะอยู่ในรูปผลบวกที่มีจำนวนพจน์จำกัด และเราไม่นึกถึงการบวกพจน์อนันต์ลงไป แต่ถ้าเราเริ่มมองจากรูปพลังงานสนาม U_F (6) โดยถือว่าเป็นรูปทั่วไปและพื้นฐานกว่าเนื่องจากใช้ได้

ครอบคลุมถึงกรณีที่มีพลวัตของสนามด้วย [4 (หน้า 236-237)] เราก็สามารถบอกได้ว่าความเป็นอนันต์ของพจน์ IC (5) เกิดจากโครงสร้างของ U_F (6) เองโดยไม่ต้องตีความพิเศษอะไร กล่าวคือ แม้เรานิยามค่า $d^3x \vec{E} \cdot \vec{E} \rightarrow 0$ ได้ แต่ U_F ที่อยู่ในรูปอินทิกรัลของ $d^3x \vec{E} \cdot \vec{E}$ เป็นผลบวกอนันต์ที่มีพจน์ต่อเนื่อง ทำให้มีค่าลู่ออกได้ เช่น ในกรณีง่ายที่สุด คือ ระบบจุดประจุเดียว การอินทิเกรตใน U_F จะให้ค่าลู่ออกตามทฤษฎีบท (3) ซึ่งเรียกว่า “พจน์พลังงานตัวเอง (self energy)” [3 (หน้า 47), 4 (หน้า 96-97)] เพราะว่าเป็นพลังงานของจุดประจุเพียงตัวเดียว

2. การตีความแบบพลังงานศักย์ เนื่องจากในวิชาไฟฟ้าสถิต เราคุ้นเคยกับพลังงานศักย์ U_M (รูป (4)) มากกว่าพลังงานสนาม U_F ในรูปอินทิกรัลของสนาม (บรรทัดที่สองของ (6)) เราจึงพยายามตีความพจน์ IC (5) นี้ตามแบบกลศาสตร์คือในรูป “งานที่ใช้สร้างจุดประจุขึ้น” ซึ่งจะเป็ “พลังงานศักย์ที่เก็บสะสมอยู่ภายในเมื่ออนุภาคประจุเอง” [4 (หน้า 96)] แทนที่จะเป็นพลังงานของสนามที่มีอยู่ทั่วทั้งอวกาศ เราจะตรวจสอบการตีความนี้โดยการวิเคราะห์ต่อไป

กำหนดระบบประจุ $q_i; i=1,2,\dots,n$ ที่มีประจุรวมทั้งหมด $Q = \sum_{i=1}^n q_i$ โดยให้ $q_i = a_i Q$ เมื่อ a_i เป็นเศษส่วนซึ่ง $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ และมี U_F ในรูปพลังงานศักย์ดังนี้

$$U_F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (7)$$

2.1 การตีความพลังงานศักย์อนันต์ในรูปงาน ลองพิจารณางานอนันต์ที่ใช้สร้างจุดประจุ Q ขึ้นจากการนำประจุชิ้นส่วนย่อย q_i จากตำแหน่งอนันต์มาไว้ด้วยกันที่จุด $\vec{r}$ เดียว ดังนี้

$$U_M = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n \lim_{\vec{r}_i, \vec{r}_j \rightarrow \vec{r}} \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{Q^2}{|\vec{r} - \vec{r}|} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n a_i a_j \neq \frac{1}{2} \frac{Q^2}{|\vec{r} - \vec{r}|}$$

จะเห็นว่าเราได้รูปพลังงานศักย์อนันต์ที่แตกต่างจากรูปพลังงาน U_F ของจุดประจุ Q หรือแตกต่างจากรูปพจน์ IC ที่ต้องการ ดังแสดงโดยเครื่องหมาย “ $\neq$ ” การมีส่วนขาดไปอธิบายได้ว่าเป็นเพราะ

ทางตำราฟิสิกส์

เรายังไม่ได้คิดว่าแต่ละจุดประจุย่อย q_i ที่นำมารวมก็มีพลังงานศักย์อันตรรกกัน ดังนั้นการตีความพจน์อันตรรกนี้ในรูป “งานที่ใช้สร้างจุดประจุขึ้น” ยังไม่สมบูรณ์

2.2 การตีความจากความสัมพันธ์กันเอง ผมขอเสนอการอ้างเหตุผลต่อไปนี้ พิจารณาเปรียบเทียบ U_F ในรูปพลังงานศักย์ (7) ภายใต้การดำเนินการสองแบบ คือ แบบ (a) พิจารณา $U_F(7)$ ในกรณี $n=1$ หรือกรณีมีจุดประจุขนาด Q เดียว เทียบกับ แบบ (b) พิจารณาการทำลิมิต $\forall i, \vec{r}_i \rightarrow \vec{r}$ ใน $U_F(7)$ โดยให้ทุกประจุ q_i เข้ามาใกล้กันจนรวมเป็นจุดประจุ Q เดียวที่จุด $\vec{r}$ เราจะพบว่าการดำเนินการทั้งสองให้ผลที่ ไม่ขัดแย้งกัน ดังนี้

$$U_F(a) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^1 \sum_{j=1}^1 \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{|\vec{r} - \vec{r}|} \quad (9a)$$

$$U_F(b) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lim_{\vec{r}_i, \vec{r}_j \rightarrow \vec{r}} \frac{q_i q_j}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \\ = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{|\vec{r} - \vec{r}|} \left(\sum_{i=1}^n a_i \right)^2 = U_F(a) \quad (9b)$$

แม้แต่กรณีที่เป็นการรวมเศษประจุน้อยยิ่ง dq เข้ามาเป็นจุดประจุ $Q = \int dq$ เดียวก็ยังสอดคล้องกับ (9) ดังนั้นอนุภาคประจุประกอบที่มีจุดประจุหลายตัวมาทำพันธะต่อกันและอยู่ใกล้ชิดกันมากโดยมีแรงชนิดอื่นที่เข้มกว่ายึดไว้ ก็สามารถประมาณเป็นจุดประจุอีกตัวหนึ่งที่มีพลังงานในส่วนสนามไฟฟ้าในรูปที่ลู่อู่เข้าสู่ $U_F(9a)$ ซึ่งเป็นรูปเดียวกับ U_F ของแต่ละจุดประจุที่เข้ามารวม โดยไม่มีข้อขัดแย้งเกิดขึ้น คล้ายกับขดๆ หนึ่งของดอกกะหล่ำเจดีย์ (กะหล่ำพันธุ์ Romanesco ดูรูปที่ 1) ที่ประกอบด้วยขดย่อยเล็กๆ ที่มีรูปร่างเหมือนกัน และขดย่อยแต่ละลูกก็ประกอบด้วยขดย่อยๆ ที่มีรูปร่างเหมือนกันไปเรื่อยๆ อย่างไม่มีสิ้นสุด ดังนั้น **ถ้าเราบวกพจน์พลังงานตัวเองรูป (9a) ของทุกจุดประจุลงใน $U_M(4)$ ก็จะได้ $U_F(7)$ ที่มีสมมาตรชนิดนี้** นี่คือการตีความและเหตุผลการมีอยู่ของพจน์เอกฐานเหล่านี้ใน $U_F(7)$ แม้ไม่เกี่ยวกับปรากฏการณ์ในอวกาศและเวลาเลยก็ตาม

แต่ในโลกจริงไม่สามารถดำเนินการ (b) โดยผ่านกฎฟิสิกส์อย่างกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันได้ เพราะจะต้องทำงาน



รูปที่ 1 แสดงดอกกะหล่ำเจดีย์ที่มีโครงสร้างแบบ fractals คือ ขดๆ หนึ่งที่ประกอบด้วยขดย่อยเล็กๆ ที่มีรูปร่างเหมือนกันลงไปเรื่อยๆ ผมไม่ได้กล่าวว่า U_F โดยประมาณของจุดประจุประกอบที่ไม่ใช่จุดประจุพื้นฐานมีโครงสร้างเป็น fractals แต่ “เปรียบเทียบ” ว่ามีลักษณะคล้ายดอกกะหล่ำเจดีย์ในแง่หนึ่ง

(ที่มา: <http://www.shopblogger.de/blog/archives/1472-Romanesco-mit-Paprikasauce.html>)

อนันต์ (โดยเราทำงานให้กับระบบ) หรือ อาศัยการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ขนาดอนันต์ (ถ้าจัดให้ระบบทำงานเอง) ดังนั้นเราไม่สามารถสร้างจุดประจุที่เป็นจุดจริงๆ ขึ้นมาได้ด้วยวิธีนี้ ในธรรมชาติเราสามารถแบ่งประจุให้เล็กลงได้อย่างจำกัดโดยไม่เล็กลงกว่าจุดประจุพื้นฐาน เช่น อิเล็กตรอน, ควาร์ก, ฯลฯ ซึ่งตามวิชาไฟฟ้าสถิตแบบฉบับ ประจุพื้นฐานเหล่านี้มีค่า $U_F(a)$ ในรูปอนันต์มาอยู่แล้ว (อย่างน้อยอิเล็กตรอนไม่ได้ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธี (b) นี้ [4 (หน้า 96)]) อาจมองว่า (9) เป็นเพียงสมมาตรโดยประมาณของพลังงานสนามไฟฟ้าของอนุภาคประจุที่ใหญ่กว่าประจุพื้นฐาน หรือเป็นแค่การดำเนินการทางคณิตศาสตร์นามธรรมที่ลองดำเนินการดูว่าสมการที่พิจารณามีสมมาตรอะไรหรือไม่ ก็สามารถลองเล่นกับสมการได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาญกิจ คั่นช่อง, “เหลียมเพชรเม็ดงามวิชาแม่เหล็กไฟฟ้า: ตอนที่ 3 พลังงานไฟฟ้าสถิต (1)” วารสารฟิสิกส์ไทย, ปีที่ 24 ฉบับที่ 3 (ก.ย. - พ.ย. 2550).
- [2] ไชยรัตน์ เจริญสินโอฬาร, สัจวิทยา, โครงสร้างนิยม, หลังโครงสร้างนิยม กับการศึกษาวิทยาศาสตร์ (วิภาษา, 2545).
- [3] J. D. Jackson, *Classical Electrodynamics* (John Wiley & Sons, 2nd ed., 1975).
- [4] D. J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics* (Prentice-Hall, 2nd ed., 1989).

เลนินกราด

อิรพัฒน์ วิลัยทอง

ทัวร์เครื่องเร่งอนุภาคช่วงสุดท้ายของเราอยู่ในสหภาพโซเวียตทั้งหมด เมืองสำคัญๆ ที่ทบวงการฯ (IAEA) จัดให้พวกเราไปดูงานคือ เกียฟ เลนินกราด และ นอร์วิชบริส ในรัฐไซบีเรีย ก่อนจะเข้ากรุงมอสโกเพื่อแยกย้ายกันกลับบ้าน

เดือนมิถุนายน ค.ศ. 1981 เรามาถึงกรุงเลนินกราดตอนเย็น และเข้าพักโรงแรมในเมือง เช่นวันนั้นมิงงานเลี้ยงรับรองที่ห้องอาหารชั้นบนสุดของอีกโรงแรมหนึ่งบนฝั่งแม่น้ำนีวา (Neva) มองลงไปแม่น้ำเห็นเรือลาดตระเวนชื่อ ออโรรา ที่ยิงกระสุนปืนใหญ่นัดแรกเป็นสัญลักษณ์ของการปฏิวัติโค่นล้มราชวงศ์ซาร์ของรัสเซีย เมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน ค.ศ. 1917 จอดทอดสมอเป็นอนุสรณ์อยู่ในสมัยนั้นนักวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนักฟิสิกส์ได้รับการยกย่องนับถือเป็นอย่างสูงในประเทศสังคมนิยม จัดอยู่ในลำดับเดียวกับสมาชิกพรรคคอมมิวนิสต์และทหาร งานเลี้ยงต้อนรับที่นั่นจึงจัดขึ้นอย่างสมเกียรติ มีวงดนตรีวงใหญ่บรรเลงและที่ขาดเสียไม่ได้คือบัลาลาไลก้า (balalika) ที่ใช้เล่นเพลง”ซัมแวร์มายเลฟ” ในหนังเรื่องดอกเตอร์ ชีวาโก ซึ่งเป็นเพลงที่ผมชอบมากที่สุดเพลงหนึ่ง ผมจัดแจงขอให้เขาเล่นเพลงโปรด เขาทำหน้าแงๆ เจริญกันอยู่นาน เขาก็ยังไม่รู้เรื่อง แต่พอผมเอ่ยคำว่า



ดร. ชีวาโก เท่านั้น เขาก็พยักหน้าหงึกๆ บอกว่า “ลาล่า ซิม” ผมเลยได้ความรู้เพิ่มมาอีกอย่างหนึ่งว่า ที่รัสเซียไม่มีซัมแวร์มายเลฟ มีแต่ “บทเพลงของลาล่า” คือนั่น ผมจับวอดก้าเคี้ยวคาร์เวียร์ ฟังเพลงบรรเลงจากบัลาลาไลก้าอย่างมีความสุข จัดเป็น “วัน เอ็นช้านเด็ดอีฟนิ่ง” หรือ “สายัณห์หนึ่ง อันรื่นรมย์” ของชีวิตผมทีเดียว

เลนินกราด (ปัจจุบันเปลี่ยนกลับไปใช้ชื่อเดิมคือ Saint Petersburg) เป็นเมืองใหญ่อันดับสองของสหภาพโซเวียตในสมัยนั้น ตั้งอยู่บนฝั่งแม่น้ำนีวา ซึ่งไหลลงสู่อ่าวฟินแลนด์ และเกาะแก่งทั้งสี่สิบสองเกาะของสามเหลี่ยมคู่ม่น้ำนีวา เลนินกราดอาจจะถือได้ว่าเป็นเมืองใหม่เมื่อเทียบกับเมืองอื่นๆ ในยุโรป มีอายุเพียง 300 ปี สร้างโดย พระเจ้าปีเตอร์ที่หนึ่ง ในตอนท้ายของศตวรรษที่สิบแปด เมื่อแรกสร้างเรียกชื่อว่า เซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก และเปลี่ยนเป็นเลนินกราดเมื่อปี ค.ศ. 1914 เมืองเลนินกราด มีพื้นที่ 600 ตารางกิโลเมตร มีพลเมืองในขณะนั้นประมาณสี่ล้านคนเป็นเมืองที่ได้ชื่อว่ามีแม่น้ำ คูคลองและสะพานข้ามมากที่สุดในเมืองหนึ่งในยุโรป และเป็นที่ตั้งของพิพิธภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงว่าสวยที่สุดแห่งหนึ่งกระฉ่อนไปทั่วโลกคือ เดอะ เฮอร์มิเตจ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพระราชวังฤดูหนาว

พระราชวังฤดูหนาวเป็นสถาปัตยกรรมสไตล์บาโรก สร้าง



Balalika

ประสบการณ์ฟิสิกส์



The Hermitage Museum

ขึ้นในระหว่างปี ค.ศ. 1754 – 1762 โดย บาร์โทโลมิว ราชตระกูล เป็นเวลากว่าหนึ่งร้อยห้าสิบปีที่พระราชวังแห่งนี้เป็นที่พำนักของราชวงศ์ซาร์ จนเกิดปฏิกิริยาครั้งใหญ่จึงกลายเป็นที่ทำการชั่วคราวของรัฐบาลท้องถิ่น ส่วนเดอะ เฮอร์มิเตจ (The Hermitage) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของพระราชวังฤดูหนาวได้รับการสถาปนาขึ้นเป็นพิพิธภัณฑสถาน เมื่อปี ค.ศ. 1764 สองปีหลังจากพระราชวังสร้างเสร็จ ในปีนั้นจักรพรรดินีแคเธอรีนที่สองได้สั่งซื้อภาพวาดจำนวนสองร้อยยี่สิบห้าภาพ จากพ่อค้ากรุงเบอร์ลินชื่อ โจฮันน์ เอิร์นเนส โกททสชาสกี ในทัวร์เครื่องเร่งครั้งนั้น พวกเราได้มีโอกาสเข้าไปเที่ยวที่พระราชวังฤดูหนาวและพิพิธภัณฑสถาน เดอะ เฮอร์มิเตจ ซึ่งแบ่งเป็นสามตึกด้วยกันเรียกว่า เดอะ สมอลล์ เฮอร์มิเตจ, ดิ โอลด์ เฮอร์มิเตจและเดอะ นิว เฮอร์มิเตจ นอกจากภาพวาดแล้วพิพิธภัณฑสถานแห่งนี้ยังเป็นที่พักผ่อนป็นหินแกะสลัก เพชรนิลจินดา เหริยัตราพรมลายดอกประดับที่งดงามยากจะหาที่ใดเทียบเคียง ทำให้การเข้าชม เดอะ เฮอร์มิเตจ เป็นสิ่งที่ผู้คนสนใจ ประทับในความทรงจำของผม มิลึมเดือนตราบนานทุกวันนี้

รูปที่ปรากฏอยู่บนจานจากเมืองเลนินกราดใบนี้ เป็นรูปหอคอยหั่วเรือรบซึ่งมีอยู่ด้วยกันสองหอ ตั้งอยู่บนลานครึ่งวงกลมบริเวณจัตุรัสพุกินริมฝั่งแม่น้ำนิวา หน้าอาคารตลาดหลักทรีฟ (ที่เห็นในรูป) ที่ซึ่งครั้งหนึ่งเคยเป็นศูนย์กลางการเงินการคลังของประเทศริมฝั่งแม่น้ำนิวา ตรงข้ามแม่น้ำเป็นที่ตั้งของจัตุรัสพลาเซ ซึ่งเป็จัตุรัสหลักของเมืองอยู่คนละฝั่งแม่น้ำ หอคอยหั่วเรือรบนี้สูง 32 เมตร สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1810 ในสมัยหนึ่งใช้ส่งสัญญาณนำร่องเรือเข้าเทียบท่า ที่บริเวณฐานมีรูปแกะสลักสูง 5 เมตร



เชิญชมภาพลิที่หน้า 32

แสดงสัญลักษณ์ของแม่น้ำรัสเซยีสาย ได้แก่ นิวา วอลคอฟ ไคเปอร์ และวอลก้า ที่เห็นติดอยู่กับลำตัวหอคอยคือหัวเรือรบสมัยโบราณที่ใช้พาย ตามตำนานเล่าว่าธรรมเนียมกองทัพรุมนั้นจะเลื้อยมาจากหัวเรือรบศัตรูที่ยึดมาได้ จึงเป็นที่มาของชื่อหอคอยดังกล่าว

ตอนกลางวันพวกเราไปเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการวิจัยนิวเคลียร์ที่อยู่ในเมืองเลนินกราด ดูการใช้งานเครื่องเร่งอนุภาคแบบต่างๆ ในสมัยนั้นเครื่องเร่งอิเล็กตรอนมีใช้งานอยู่มากมายในสหภาพโซเวียต เช่นการใช้ให้พลังงานความร้อนกับพลาสติกเคลือบไม้ทาเฟอร์นิเจอร์ ทำให้พลาสติกที่เคลือบนั้นแข็งเป็นรอยได้ยาก สหภาพโซเวียตเป็นประเทศแรกๆ ที่ใช้เครื่องเร่งอิเล็กตรอนเชิงอุตสาหกรรมเช่นการอบสายไฟให้คงทน การอบท่อต่างๆ ล้วนเป็นนวัตกรรมที่สร้างความประทับใจและความทะเยอทะยานให้กับผมอย่างยิ่ง

ผมพกความตื้นตันกลับมาเล่าให้ผู้คนในเมืองไทยฟังเพื่อ “ขายความคิด” แต่ไม่มีใครเชื่อ ต้องรออีกยี่สิบห้าปีให้ญี่ปุ่นมาบอก ในตอนนี้ จึงค่อยสลัดแขนสัดขาบิดตัวตะเกียกตะกายแข่งขันกัน “เดินตามกัน” เขาต่อไป.....





National Astronomical Research Institute of Thailand

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

NARIT



วิสัยทัศน์ VISION

มุ่งเน้นการวิจัยการสร้างเครือข่ายความร่วมมือและการพัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศสู่ระดับสากลเพื่อสร้างวัฒนธรรมแห่งการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสังคมไทย

พันธกิจ MISSION

1. สร้างผลงานวิจัยทางด้านดาราศาสตร์ที่เป็นองค์ความรู้ใหม่และมีคุณภาพระดับสากลเผยแพร่ในระดับประเทศและนานาชาติ เพื่อเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันและการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ
2. สร้างเครือข่ายความร่วมมือทางด้านดาราศาสตร์กับมหาวิทยาลัย สถาบันการศึกษา และองค์กรที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับประเทศ และนานาชาติ ในการวิจัย การผลิตบัณฑิต การบริการวิชาการแก่สังคมและการสร้างมาตรฐานทางวิชาการทั้งดาราศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของประเทศ
3. ส่งเสริมบรรยากาศและความตื่นตัวทางด้านวิทยาศาสตร์ของประเทศ รวมทั้งการสร้างความรู้และความเข้าใจที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์สู่สาธารณะ
4. พัฒนาองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ร่วมกับศาสตร์ด้านอื่นเพื่อให้เกิดการบูรณาการทางวิชาการอันจะเป็นประโยชน์แก่สังคม
5. เป็นศูนย์สารสนเทศและถ่ายทอดองค์ความรู้ทางดาราศาสตร์ของประเทศ
6. สนองนโยบายของรัฐบาลด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านเศรษฐกิจและสังคม การจัดการศึกษาตามแผนปฏิรูป การศึกษาพระราชาบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ



หอดูดาวแห่งชาติ

NATIONAL OBSERVATORY

ที่ตั้ง บริเวณยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่
 ละติจูด $18^{\circ} 35' 17''$ เหนือ (N)
 ลองจิจูด $98^{\circ} 29' 11''$ ตะวันออก (E)
 ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 2,550 เมตร

เชียงใหม่(สำนักงานชั่วคราว)
 อาคารฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200
 โทรศัพท์ 0 - 5322 - 5569 โทรสาร 0 - 5322 - 5524

การประชุมวิชาการดาราศาสตร์ระดับชาติประจำปี 2551

Thai National Astronomy Meeting (TNAM2008)

ระหว่างวันที่ 20 -22 มีนาคม 2551

โรงแรมแมนดารินโกลด์เค้นท์วาลีย์รีสอร์ทแอนด์สปา จังหวัดนครราชสีมา



สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติให้ทุนสนับสนุนการเข้าร่วมและเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการดาราศาสตร์ระดับชาติประจำปี 2551

กรุงเทพ(สำนักงานประสานงาน)
 ชั้น 2 สำนักงานปลัด กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กทม. 10400
 โทรศัพท์ 0 - 2354 - 3756 โทรสาร 0 - 2354 - 3794
 Website : www.narit.or.th Email : info@narit.or.th

พื้นที่โฆษณา



เลนินกราด (Leningrad)

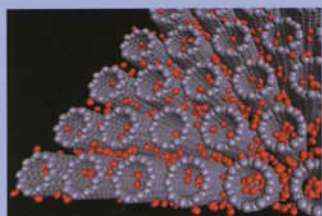
อ่านรายละเอียดที่ หน้า 29



สมาคมฟิสิกส์ไทย • THAI PHYSICS SOCIETY

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

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



การเรียงท่อคาร์บอนนาโนแบบ
ที่ทำให้เกิดวัตถุที่ดำที่สุดในโลก
(วัตถุนี้กลาง ในภาพข้างล่าง)



โปรดดูรายละเอียดที่หน้า 5

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย