



ฉบับพิเศษ
ครบรอบ 100 ปี



MIRACULOUS YEAR 1905

$$K_{\max} = h\nu - \phi$$
$$\Delta x = \sqrt{2D\lambda}$$
$$E = mc^2$$
$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

วารสารฟิสิกส์ไทย

Thai Journal of Physics

วารสารสำหรับผู้รักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์ ISSN 0857-1449

ปีที่ 22 ฉบับที่ 1
มีนาคม - พฤษภาคม 2548

1879

• ไอน์สไตน์เกิดที่เมืองอุล์ม(Ulm) ในประเทศเยอรมันนี เมื่อวันที่ 14 มีนาคม คำขวัญประจำเมืองคือ “ชาว Ulm เป็นนักคณิตศาสตร์”

• James Clerk Maxwell บิดาแห่งทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเสียชีวิต

1881

น้องสาวชื่อ Maria (หรือมีชื่อเล่นว่า Maja)

เกิด หลังครอบครัว

ย้ายไปทำธุรกิจที่เมืองมิวนิค



ไอน์สไตน์(5 ขวบ) กับ Maja(3 ขวบ)

1889

• เข้าเรียนที่ Luitpold Gymnasium ในเมืองมิวนิค
• ได้พบกัลยาณมิตรรุ่นพี่ชื่อ Max Talmey ซึ่งเป็นผู้นำให้สนใจวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และปรัชญา

1894

พ่อ (Hermann) ย้ายไปทำธุรกิจที่ Pavia ประเทศอิตาลี ไอน์สไตน์ตามไปทีหลัง อยู่ได้ครึ่งปี แล้วไปเรียนต่อที่สมาพันธ์รัฐสวิส

1895

สอบเข้า Zurich Polytechnique ไม่ติด ต้องเปลี่ยนไปเรียนที่ Aarau ก่อน แล้วปีต่อมาจึงเข้าได้

1900

• เรียนจบจาก Zurich Polytechnique แต่ไม่ถูกรับเข้าร่วมทีมในภาควิชาฟิสิกส์ตามธรรมเนียม เพราะถึงแม้จะสอบวอจันรียะ แต่มีอาจารย์บางคนไม่ชอบอย่างมาก เพราะ “But you have one fault : no one can tell you anything”

• จุดเริ่มต้นของวิชาทฤษฎีควอนตัมโดย Max Planck ตอนหลัง ไอน์สไตน์ กับ Planck เป็นเพื่อนสนิทกัน ชอบเล่นดนตรีด้วยกัน โดยไอน์สไตน์สีไวโอลิน Planck เล่นเปียโน และErwin(ลูกชาย)เล่นเชลโล

1901

• ถูกมหาวิทยาลัยซูริค ปฏิเสธวิทยานิพนธ์ เรื่อง Kinetic Theory of Gas

• ได้รับสัญชาติสวิส เมื่อวันที่ 21 กุมภาพันธ์

1902

• พ่อเสียชีวิต ศพฝังที่มิลาน ประเทศอิตาลี

• ได้งานทำที่ Patent Office ในกรุงเบิร์น ด้วยรายได้ 3,500 ฟรังก์ ต่อปี โดยการช่วยเหลือจากพ่อของ Marcel Grossmann ซึ่งเป็นเพื่อนรัก

• มีลูกสาว (Lieserl) กับ Mileva Maric ผู้หญิงคนเดียวในกลุ่มที่เรียนฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ด้วยกัน เธอมักตอบโต้อาจารย์ที่มีอคติต่อไอน์สไตน์ จนถึงขั้นไม่ยอมทำวิจัยและวิทยานิพนธ์ด้วย จนสุดท้ายเรียนไม่จบ ชะตากรรมของลูกสาวคนนี้ไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด อาจเป็นไปได้ว่าเธออายุสั้นมากหรือถูกยกให้คนอื่นไป

1903

แต่งงานกับ Mileva โดยแม่ของไอน์สไตน์ไม่เห็นด้วย

1904

ได้ลูกชายชื่อ Hans Albert ซึ่งตอนหลังไปเป็นศาสตราจารย์ทางด้านไฮดรอลิก อยู่ที่ UC Berkeley สหรัฐอเมริกา (เสียชีวิตเมื่อปี 1973)

1905

ปีมหัศจรรย์ Miraculous Year

- ตีพิมพ์ผลงานเรื่อง Photoelectric Effect (มิถุนายน)
- ตีพิมพ์ผลงานเรื่อง Brownian Motion (กรกฎาคม)
- ตีพิมพ์ผลงานเรื่อง Special Theory of Relativity (กันยายน)

ในวารสารวิชาการชื่อ Annalen der Physik

1906

ได้รับปริญญาเอกจากมหาวิทยาลัยซูริค เมื่อวันที่ 15 มกราคม

1907

• เกิดมี “the happiest thought of my life” ว่าความโน้มถ่วงกับความเร่งเหมือนกันจนแยกไม่ออกในกรอบอ้างอิงประจำที่ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการพัฒนาทฤษฎี General Theory of Relativity

• เกิดอภิมหาสมการ $E = mc^2$

1908

น้องสาวเรียนจบปริญญาเอกทางด้านภาษาโรมันที่กรุงเบิร์น ซึ่งเป็นเรื่องไม่ธรรมดาของผู้หญิงในยุคนั้น

1909

• ได้รับตำแหน่ง Extraordinary Professor of Theoretical Physics ที่มหาวิทยาลัยซูริค

• ลาออกจากงานที่ Patent Office

1910

• ได้ลูกชายคนที่สองชื่อ Eduard (เสียชีวิตเมื่อปี 1965)

• น้องสาวแต่งงานกับ Paul Winteler

1911

E. Rutherford ค้นพบนิวเคลียส

1912

ได้รับตำแหน่งศาสตราจารย์ที่ Zurich Polytechnique

1914

• ไปรับตำแหน่งศาสตราจารย์ ที่มหาวิทยาลัยเบอร์ลินโดยการชักชวนของ Planck กับ W. Nernst ด้วยเงื่อนไขพิเศษว่าจะได้เงินเดือนสูงขึ้นและไม่จำเป็นต้องสอนหนังสือ

• แยกทางกับ Mileva โดยเธอเดินทางกลับไปยังซูริคกับลูกชายทั้งสอง ไอน์สไตน์ส่งค่าเลี้ยงดูไปให้ลูกๆ โดยผ่านทางเพื่อนสนิทชื่อ Michele Besso

• เกิดสงครามโลกครั้งที่ 1

1916

• ตีพิมพ์ผลงานเรื่อง The General Theory of Relativity ในวารสาร Annalen der Physik

• รับเป็นนายกสมาคมของ German Physical Society

1917

เขียนบทความเรื่อง Stimulated Emission ของแสง ซึ่งเป็นพื้นฐานใช้สร้าง laser ตัวแรกเมื่อปี 1960 โดย T.H. Maiman

1918

สงครามโลกครั้งที่ 1 ยุติ

1919

• ได้ทราบข่าวผ่านทางโทรเลขจาก H.A. Lorentz ว่า คณะนักฟิสิกส์ชาวอังกฤษ นำโดย Sir A.S. Eddington ยืนยันความถูกต้องของทฤษฎี General Theory of Relativity จากการสังเกตสุริยุปราคาเต็มดวง เมื่อปรากฏเป็นข่าวออกไป ไอน์สไตน์กลายเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่โด่งดังที่สุดในโลกไปในทันที

• เรื่องหย่ากับ Mileva ได้รับอนุมัติอย่างเป็นทางการและแต่งงานใหม่กับญาติชื่อ Elsa Lowenthal ที่มีลูกติด 2 คน คือ Ilse กับ Margot

ยังมีต่อที่ปกหลังด้านใน

สารบัญ

สวัสดี

- 2 : 76 ปีของไอน์สไตน์
- 3 : สวัสดี
- 4 : สรุปข่าว
- 7 : สรุปข่าวสำคัญทางฟิสิกส์ปี 2547
- 8 : World Year of PHYSICS 2005 : พลังงานมืด
- 11 : World Year of PHYSICS 2005 : 1905
- 15 : ขอแนะนำ : ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยี
สฤญญาภาศและฟิล์มบาง มหาวิทยาลัยบูรพา
- 18 : รวมภาพประวัติไอน์สไตน์
- 20 : World Year of PHYSICS 2005 : Einstein
Relation
- 22 : World Year of PHYSICS 2005 : ไอน์สไตน์
กับพลังงานแสงอาทิตย์
- 26 : เรียนเล่นฟิสิกส์ : อีกตัวอย่างของความเชื่อมโยง
ระหว่างคณิตศาสตร์และฟิสิกส์
- 28 : ทางตำราฟิสิกส์ : “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก (3)
- 31 : โลกชีวฟิสิกส์ : บทบาทและหน้าที่ของนักฟิสิกส์--
การแพทย์ในรังสีวิทยา
- 35 : 76 ปีของไอน์สไตน์ (ต่อ)

วารสาร “ทิพย์” เล่มนี้เป็นพันธกิจฉบับที่ 4 ของกอง บก. ชุดนี้ แต่เป็นฉบับที่ 1 ของปี 2005 ซึ่งเป็น “ปีฟิสิกส์โลก” จึงขอร่วมฉลองกับชาวฟิสิกส์ไทย โดยจัดทำเป็นฉบับพิเศษ เพิ่มความหนาอีก 1 ยก (8 หน้า) เย็บถึงมรดกอันล้ำค่าทั้ง 3 เรื่องของไอน์สไตน์ครบในเล่มเดียว พร้อมสอดแทรกด้วยชีวประวัติของท่านเท่าที่หน้ากระดาษจะเอื้ออำนวย

เมื่อมีการเชิญชวนให้ร่วมกันจัดฉลองการครบรอบ 1 ศตวรรษของปีมหัศจรรย์ 1905 ของไอน์สไตน์ ทุกคนล้วนเต็มใจยินดี ไม่ใช่เพราะสำนึกในคุณค่าอันเอกอนันต์ของผลงานทั้ง 3 ของท่านเท่านั้น แต่เพราะความเป็นมนุษย์ที่แท้ของท่านได้ถึงแม้จะเป็นคนที่มีชื่อเสียงมากที่สุดในโลกแทบจะในทุกวงการ แต่ก็ดำรงชีวิตแบบผู้ที่เข้าใจโลก มีเอกลักษณ์ของเอกบุรุษ แต่ก็ไม่หยิ่งผยอง ไม่ปรู้งแต่ง ตรงกันข้ามกลับใช้ชีวิตสมถะและติดดินมาก สำหรับพวกเราผู้ที่พบความสุขและสนุกสนานในฟิสิกส์ ท่านคือมาสคอต (mascot) ที่น่ารักที่ช่วยขับเคลื่อนความเป็นธรรมชาติและความมีเสน่ห์ของวิชาฟิสิกส์อย่างยากที่จะหาผู้ใดเสมอเหมือนได้ ตลอดทั่วทั้งกาลและอวกาศ

พบกับใหม่ฉบับหน้า : มิถุนายน 2548

กองบรรณาธิการ กอบชัย ตายนะตานติ, ขาญกิง คั่นฉ่อง, ยุทธนา ภิระวณษ์กุล, รัตติกร ยิ้มนิรันดร์, ศิรามาศ โกมลจินดา, สมชาย เกียรติกมลชัย, สุภาพ ชูพันธุ์ หัวหน้ากองบรรณาธิการ สมศรี สิงขรัตน์ ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ กลชาญ อนันตสมบุรณ์, มานิต รุจิโรดม ฝ่ายภาพ มิญช์ เมธิ์สุกุล, ราเชนทร์ เจริญกุล เลขานุการกองบรรณาธิการ กฤติยา ไอสถาพันธุ์ พิมพ์ที่ หน่วยงานพิมพ์เอกสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

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

คณะกรรมการสมาคมฟิสิกส์ไทย ประจำปี 2547-2548 ที่ปรึกษา ดร.วิโรจน์ ตันตราภรณ์, รศ.ดร.วิจิตร เล็งหะพันธ์, ศ.ดร.วิรุฬห์ สายคณิต, ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน, ผศ.ดร.วุทธิพันธ์ ปรีชญพทุธิ์ นายกสมาคมฯ ศ.ดร.กฤษพัฒน์ วิลัยทอง อุปนายก รศ.ดร.ชัยวิทย์ ศิลาวชิมาโนย, รศ.ดร.วิจิต ศรีตระกูล เลขธิการ ดร.ดุขฎิ สุวรรณขจร รองเลขธิการ ดร.รัฐชาติ มงคลนาวัน เจริญญิก ผศ.กานดา สิงขรัตน์ นายทะเบียน ผศ.ดร.ธีรวรรณ บุญญวรรณ ประธานสัมพันธ์ ผศ.ดร.รัชภักย์ จิตต์อารี บรรณาธิการวารสารฟิสิกส์ไทย รศ.ดร.สมศรี สิงขรัตน์ บรรณาธิการจดหมายข่าวฟิสิกส์ ดร.ประยูร สงสิริฤทธิกุล กรรมการ ประธานสาขาฟิสิกส์ สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยฯ (ผศ. ศิลปชัย บุรณพานิช), รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว, รศ.ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ, รศ.ดร.นิกร มังกรทอง, รศ.ดร.วีระพงษ์ แผลสุวรรณ, ผศ.วันชัย สุ่มเล็ก, รศ.ดร.พิกุล วณิกายาติ, คุณร้งนา อินพิทักษ์, คุณสุธี เพชรอาวุธ, คุณเสรี เรืองดิษฐ์, ดร.นรินทร์ กาบบัวทอง, คุณวันชัย ธรรมวานิช, คุณวัชร ดิสสะมาน

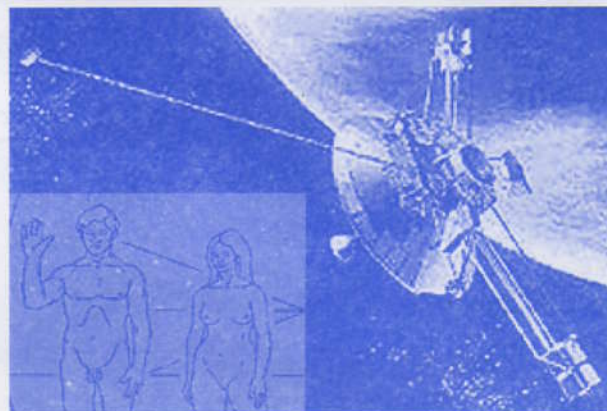


Michel Mayor

รางวัลเหรียญไอน์สไตน์ 2004

ทุกๆ ปี Albert Einstein Society ที่กรุงเบิร์น สมาพันธรัฐสวิส (เมืองที่ไอน์สไตน์เคยใช้ชีวิตอยู่ประมาณ 7 ปี รวมถึงปีมหัศจรรย์ 1905) จะมอบรางวัลเหรียญไอน์สไตน์ (Einstein Medal) ให้แก่บุคคลที่มีผลงานเด่นทางวิทยาศาสตร์ที่มีความเกี่ยวข้องกับไอน์สไตน์ รางวัลนี้มีการให้เป็นครั้งแรกเมื่อปี 1979 โดยผู้ที่ได้รับเกียรติเป็นคนแรกคือ Stephen Hawking ส่วนคนล่าสุดในปี 2004 คือ Michel Mayor ศาสตราจารย์แห่งมหาวิทยาลัยเจนีวา และเป็นผู้ค้นพบการหอดูดาวเจนีวาด้วย จากผลงานการศึกษาเรื่องดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ จนสามารถค้นพบ "exoplanet" ดวงแรกที่โคจรรอบดาวฤกษ์ ชื่อ 51 Pegasi ในกลุ่มดาว Pegasus เมื่อปี 1995 โดยการใช้หอดูดาว Haute Provence Observatory ในประเทศฝรั่งเศส (ดูคอลัมน์ "ดิน ฟ้า เวลา ดาว" 2 ฉบับแรกประกอบ)

ปัจจุบันการตามล่าหา exoplanet มีการแข่งขันที่เข้มข้นมากระหว่างค่ายอเมริกันกับค่ายยุโรป เมื่อปลายปีที่แล้วก็มีการประกาศการค้นพบใหม่อีก 3 ดวง โดยดวงแรกมีการประกาศเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2004 โดยทีมนักดาราศาสตร์ยุโรป เป็นดาวเคราะห์ที่มีขนาดเท่ากับดาวยูเรนัส (มีมวลมากกว่าโลก 14.5 เท่า) โคจรรอบดาวฤกษ์ที่เรียกว่า μ -Arae อีก 1 อาทิตย์ถัดมาก็มีการประกาศการค้นพบอีก 2 ดวง โดยทีมนักดาราศาสตร์อเมริกัน 2 ดวงนี้มีขนาดประมาณดาวเนปจูน (มีมวลมากกว่าโลก 17 เท่า) ดวงหนึ่งโคจรรอบดาวฤกษ์ที่เรียกว่า Gliese 436 อีกดวงโคจรรอบดาวฤกษ์ที่เรียกว่า 55 Cancri



การสะกดรอยยานไพโอเนียร์

องค์การอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency หรือ ESA) กำลังพยายามที่จะทำความเข้าใจกับความลึกลับที่เรียกกันว่า *ความวิปริตของไพโอเนียร์ (Pioneer anomaly)* ซึ่งบางทีอาจทำให้ความเข้าใจเรื่องความโน้มถ่วงของเราต้องเปลี่ยนไป กล่าวคือมีการพบว่า ลักษณะการโคจรของยานสำรวจอวกาศไพโอเนียร์ 10 (ถูกส่งออกไปเมื่อ 2 มีนาคม 1972) และไพโอเนียร์ 11 (ถูกส่งออกไปเมื่อ 6 เมษายน 1973) ไม่เป็นไปตามที่คำนวณไว้โดยทฤษฎีที่มีอยู่ในปัจจุบัน มันดูเหมือนกับว่าถึงแม้จะพ้นจากชายขอบระบบสุริยะจักรวาลไปไกล อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์แล้วหลายพันล้านกิโลเมตร แต่ก็ยังคงถูกกระทบด้วยความเร่งค่าคงที่

$$a_p = (8.74 \pm 1.33) \times 10^{-8} \text{ cm/s}^2$$

ในที่สุดพุ่งเข้าหาดวงอาทิตย์อย่างผิดคาด นั่นแปลว่าแทนที่จะพุ่งเข้าไปในอวกาศอันกว้างขวางด้วยอัตราเร็วคงที่มากกว่า 40,000 กม./ชม. กลับวิ่งช้าลงๆ ทำให้ถึงตอนนี้มีตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปแล้วถึง 399,280 กม. หรือประมาณเท่าระยะทางจากโลกถึงดวงจันทร์

ความวิปริตนี้ถูกสังเกตพบครั้งแรก เมื่อ 24 ปีมาแล้ว โดยนักฟิสิกส์ผู้ถ่อมตัวคนหนึ่ง ซึ่งทำงานอยู่ที่ Jet Propulsion Laboratory ในสหรัฐอเมริกา ผู้มีนามว่า John Anderson ตอนนั้นแอนเดอร์สันมีอายุ 46 ปี ก็หันหน้าก้มตาพยายามตรวจสอบอย่างรอบด้านอยู่คนเดียวเงียบๆ เพราะคอยแต่จะคิดว่า คงเป็นเรื่อง "ผิดพลาด" อะไรสักอย่างมากกว่า เวลาผ่านไปเป็นทศวรรษ เรื่องจึงเริ่มแดงขึ้น เพราะแอนเดอร์สันไม่พบความผิดพลาดใดๆ มีทีมอื่นเข้ามาตรวจสอบอย่างอิสระ นำตัวประกอบเท่าที่นึกได้เข้ามาคิดด้วยเช่น แก๊สรั่ว, แรงโน้มถ่วงจาก Kuiper Belt, ลมสุริยะ, แรงจากคลื่นวิทยุที่ใช้ติดต่อกับโลก ฯลฯ แต่ไม่มีตัวใดส่งผลที่สามารถนำไปอธิบายความวิปริตนี้ได้

ถ้าความวิปริตนี้เป็น "ของจริง" ก็แปลว่าอาจต้องสร้าง

สรุปข่าว



John Anderson เกษะติดเรื่องนี้ตั้งแต่หนุ่มจนแก่
(ตอนนี้อายุ 70 ปีแล้ว)

วิชาฟิสิกส์ใหม่ เพราะสาเหตุของความวิปริตเป็น "ของใหม่" ที่มีการสนับสนุนกันหลายแนว เช่น มีสสารมืด (dark matter) คอยอุดหนุนสำรวจไว้ นักเอกภพวิทยาหลายคนเชื่อว่าสสารมืดมีจริงเพราะมวลสารและพลังงานของเอกภพที่วัดได้จริงในปัจจุบันมีเพียง 10% เท่านั้นหรือเป็นเพราะมิติที่มองไม่เห็น (นอกเหนือจาก 4 มิติที่เราคุ้นเคย) ซึ่งมีรากฐานมาจาก "String Theory" ที่บอกว่ามีมากถึง 11 มิติ หรืออาจเป็นเพราะว่าจริงๆ แล้ว เรายังไม่รู้จักร่างโน้มถ่วงดีพอ

วิธีการตรวจสอบยืนยันที่ดีที่สุดก็คือการส่งยานสำรวจออกไปใหม่ องค์การ NASA ไม่สนใจความคิดนี้ แต่มีข่าวดีที่ ESA ให้ความสนใจดังกล่าวแล้ว ข่าวที่ไม่ค่อยดีก็คือกว่าจะส่งยานสำรวจออกไปได้ก็จะไม่ก่อนปี 2015 และต้องรออีกเป็นสิบปีกว่าจะมีข้อมูลชัดเจนพอให้มาตัดสินใจกัน รอไหวไหมครับ!

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติของอิหร่าน

รัฐบาลอิหร่านประกาศอนุมัติงบประมาณหนึ่งแสนห้าหมื่นล้านริอัล หรือเท่ากับ 17.5 ล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อลงทุนครั้งใหญ่ที่สุดในโครงการด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ชนิดที่ไม่เคยมีมาก่อน ซึ่งก็คือ การสร้างศูนย์วิจัยดาราศาสตร์อันประกอบด้วยตัวกล้องโทรทรรศน์ขนาด 2 เมตร (ขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่อิหร่านมีในปัจจุบันคือ 60 เซนติเมตร), ตัวศูนย์วิจัย Iranian National Observatory และการฝึกอบรมบุคลากร โดยมีเป้าหมายให้กล้องโทรทรรศน์ที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติเหมือนหุ่นยนต์เริ่มปฏิบัติการได้ในปี 2009 ปัจจุบันกำลังอยู่ในระหว่างกระบวนการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่ของมลภาวะทางแสง, การเกิดแผ่นดินไหว, ลม, ฝุ่น, เมฆ และการปนเปื้อนของบรรยากาศ แห่งหนึ่งที่มีความเป็นไปได้สูง คือ ที่ภูเขา Karkas ในตอนกลางของประเทศ



"Just checking."

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติของไทย

คณะรัฐมนตรี มีมติเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2547 เห็นชอบในหลักการให้กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จัดตั้งสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติขึ้นในประเทศไทย โดยมีปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นประธานกรรมการ โครงการนี้ จะมีการจัดสร้างกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 เมตร ซึ่งจะเป็นกล้องดูดาวที่มีขนาดใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งในเอเชีย

คณะกรรมการฯ ได้เห็นชอบให้ดำเนินการสร้างหอดูดาวแห่งชาติ ให้แล้วเสร็จและเปิดเป็นทางการภายในวันที่ 5 ธันวาคม พ.ศ. 2550 เพื่อเฉลิมพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ในวโรกาสครบรอบปี พระราชสมภพ 80 พรรษา โดยหอดูดาวจะตั้งอยู่ ณ บริเวณยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ (ละติจูด $18^{\circ} 04' 57''$ เหนือ ลองจิจูด $98^{\circ} 29' 57''$ ตะวันออก ระดับความสูง 2,565 เมตร จากระดับน้ำทะเล ปานกลาง) ซึ่งเป็นทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุดแห่งหนึ่งในประเทศไทย นอกจากนี้ยังจะมีการจัดตั้งศูนย์สารสนเทศและศูนย์อบรมดาราศาสตร์ ณ บริเวณที่ทำการอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ (ละติจูด $18^{\circ} 31' 52''$ เหนือ $98^{\circ} 31' 35''$ ตะวันออก ระดับความสูง 1,258 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) รวมทั้งสำนักงานสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ ในตัวเมืองเชียงใหม่ งบประมาณที่ได้รับอนุมัติในหลักการคือ 312 ล้านบาท

กล้องโทรทรรศน์ที่จะนำมาติดตั้ง ณ หอดูดาวแห่งชาติเป็นกล้องโทรทรรศน์ แบบสะท้อนแสง ชนิด ริชชี-เครเทียน (Ritchey - Chretien) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(กระจก) 2.4 เมตร ซึ่งมีระบบการขับเคลื่อนแบบโรโบติก (robotic) กล่าวคือสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติเหมือนหุ่นยนต์ และระบบควบคุมระยะไกล

(remote control) กล้องโทรทรรศน์ดังกล่าวเป็นกล้องดูดาวที่มีประสิทธิภาพสูง ทันสมัย และมีมาตรฐานระดับสากล ที่จะนำมาใช้ในการวิจัย การจัดการเรียนการสอนในระดับสูง และการบริการวิชาการแก่สังคมทางดาราศาสตร์ของประเทศ และความร่วมมือทางด้านดาราศาสตร์กับองค์กรและสถาบันต่างๆ ทั่วโลก ทำให้สามารถยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีของประเทศไทยรวมทั้งการสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางด้านการวิจัยกับหอดูดาวที่มีชื่อเสียงทั่วโลกได้

นอกจากการจัดซื้อจัดหาในเรื่องกล้องโทรทรรศน์แล้ว ยังได้เตรียมการในการสร้างอาคารหอดูดาวแห่งชาติ อาคารศูนย์สารสนเทศและอบรมดาราศาสตร์ ณ บริเวณอุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์ ซึ่งต้องมีการศึกษาทางด้านอุทุนิยมวิทยาและสภาพท้องฟ้า โดยใช้อุปกรณ์ทางอุทุนิยมวิทยา และดาราศาสตร์ เพื่อทดสอบสถานที่ตั้ง (Site Testing) ประเมินคุณภาพของท้องฟ้าตลอดปี ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนในการใช้กล้องโทรทรรศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงเวลาต่างๆ ในรอบปี และประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment) เพื่อยืนยันว่าหอดูดาว และศูนย์สารสนเทศฯ ที่จะดำเนินการก่อสร้าง ณ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น

สำหรับอาคารสำนักงานของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ จะเป็นสำนักงานกลาง (Headquarter) ที่จะมีห้องควบคุมกล้องโทรทรรศน์จากระยะไกล ห้องประชุม ห้องทำงานของนักวิจัยและวิศวกร ห้องปฏิบัติการและห้องซ่อมบำรุงกล้องโทรทรรศน์และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ซึ่งจะมีสถานที่ตั้งในตัวเมืองเชียงใหม่

การประยุกต์ใช้ควอนตัมฟิสิกส์

ในเดือนเมษายน ปี 2004 ได้มีการนำ Quantum Cryptography มาใช้งานในการโอนเงินผ่านธนาคารเป็นครั้งแรก โดยได้มีการใช้กุญแจควอนตัมอันประกอบด้วยโฟตอน เพื่อให้การโอนเงินนั้นปลอดภัยมากขึ้น กุญแจควอนตัมนี้จะแตกต่างจากรหัสที่ใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยตัวเลขสุ่มที่ผู้ใช้งานจะต้องเก็บเป็นความลับ การใช้กุญแจควอนตัมนั้นอาศัยหลักการ

พื้นฐานทางควอนตัมโดยที่กุญแจดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นที่ธนาคาร โดยการใช้ผลึกเปลี่ยนโฟตอนที่ได้จากเลเซอร์ไปเป็นคู่ของโฟตอนที่พันกัน (entangled pair of photons) และหนึ่งในคู่โฟตอนจะอยู่ที่ธนาคาร ในขณะที่อีกหนึ่งตัวจะถูกส่งไปปลายทาง และโดยการวัดสภาพการมีขั้ว (polarization) ของโฟตอนทำให้สามารถเปลี่ยนเป็นรหัส 0 และ 1 ที่เหมือนกันทั้งสองฝ่าย เพื่อใช้เป็นรหัสหรือกุญแจในการโอนเงินดังกล่าว ซึ่งผลงานดังกล่าวก็ได้ส่งผลให้เมื่อเดือนธันวาคม 2004 กลุ่มวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องดังกล่าวในประเทศออสเตรียได้รับรางวัล Descartes จากสมาคมแห่งชาติยุโรป

ควอนตัมไดอารี่

กิจกรรมร่วมฉลอง "ปีฟิสิกส์โลก 2005" ที่น่าสนใจมากอีกโครงการคือการติดตามชีวิตของนักฟิสิกส์ชั้นนำร่วมสมัย 25 ท่านจากทั่วโลกซึ่งได้รวมตัวกันจัดทำสมุดไดอารี่อินเทอร์เน็ตขึ้นมา เรียกชื่อว่า "Quantum Diaries" บรรดานักฟิสิกส์พันธุ์แท้เหล่านี้ อาสาว่าจะเข้ามาถ่ายทอดประสบการณ์ส่วนตัว, ความคิดเห็น, ความสำเร็จและแม้แต่ความล้มเหลวในชีวิตจริงที่เกิดขึ้น อันจะทำให้สาธารณชนเข้าใจชีวิตนักวิทยาศาสตร์มากขึ้น และเป็นโอกาสเปิดเผยให้เห็นว่าการเป็นนักฟิสิกส์นั้น ถึงแม้ว่าจะยุ่งยาก ซับซ้อน แต่ก็เปี่ยมไปด้วยความสุขแท้จริงที่คนทั่วไปอาจคาดไม่ถึง

ดังเช่น Debbie Harris นักฟิสิกส์แห่ง Fermilab สหรัฐอเมริกาได้มาเขียนเล่าเรื่องการทดลองของเธอที่ชื่อ MINOS Experiment ซึ่งผลิตและยิงลำอนุภาคนิวตริโน จากเครื่องเร่งอนุภาคของ Fermilab ที่ตั้งอยู่ที่เมืองบาตาเวียใกล้ นครชิคาโก มลรัฐอิลลินอยส์ ทะลุดินเป็นระยะทางประมาณ 725 กม. ไปทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือมุ่งสู่หอดูดาวที่อยู่ใต้ดินลึกเกือบหนึ่งกิโลเมตรที่มลรัฐมินเนโซต้า นอกจากนี้ผู้อ่านยังจะได้สัมผัสชีวิตจริงๆ ของผู้หญิงคนหนึ่งซึ่งที่ทำงานเป็นนักฟิสิกส์รับผิดชอบดูแลโครงการทดลองขนาดใหญ่ แต่ที่บ้านเป็นคุณแม่ลูกสองที่ยังเล็กอยู่ เธอเปรียบเทียบความสำเร็จของการผลิตลำอนุภาคนิวตริโนเหมือนกับการคลอดลูก

ถ้าเริ่มสนใจแล้วเชิญคลิกไปได้เลยที่

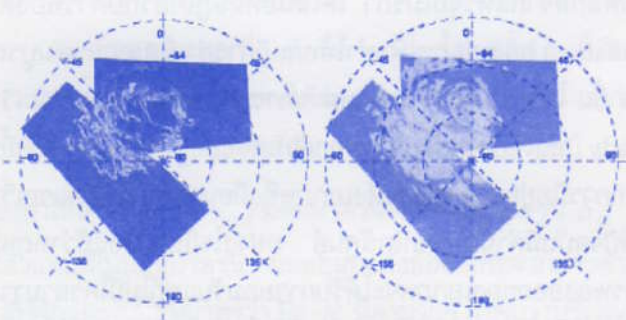
["www.quantumdiaries.org"](http://www.quantumdiaries.org)

สรุปข่าวสำคัญทางฟิสิกส์ในปี 2547

ในฉบับแรกของปี 2548 นี้ ขอเริ่มต้นด้วยการสรุปประเด็นข่าวของการค้นพบทางฟิสิกส์ที่สำคัญที่เกิดขึ้นระหว่างปี 2547 มาให้ท่านผู้อ่านได้เห็นภาพรวมว่ามีอะไรเด่นๆ เกิดขึ้นมาแล้วบ้าง เพื่อเป็นการจุดประกายให้ทุกท่านได้ติดตามความก้าวหน้าทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยขอสรุปเอามาแต่อันดับต้นๆ จากการจัดอันดับของวารสาร Science เพราะเนื้อที่มีน้อย

น้ำบนดาวอังคาร

ในปี 2547 ยาน Opportunity และยาน Spirit ขององค์การนาซาได้ลงสำรวจบนพื้นผิวดาวอังคาร และยาน Mars Express ขององค์การอวกาศแห่งยุโรป (European Space Agency) ยังได้โคจรรอบดาวอังคารเพื่อทำการสำรวจเช่นเดียวกัน จากหลักฐานที่สำรวจได้จากยานทั้งสามแสดงให้เห็นถึงหลักฐานของการเคยมีอยู่ของน้ำบนดาวอังคาร ทั้งนี้ภาพถ่ายที่ได้จากยาน Opportunity แสดงถึงชั้นหินที่มีลักษณะคล้ายกับชั้นหินตะกอนบนพื้นโลก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าครั้งหนึ่งเคยมีการไหลของน้ำผ่านชั้นหินเหล่านั้น นอกจากนี้ยาน Spirit ซึ่งลงสำรวจในอีกด้านหนึ่งของดาวอังคารยังได้แสดงหลักฐานว่า น้ำมีผลในการเปลี่ยนแปลงลักษณะของหินภูเขาไฟที่หลุมอุกกาบาต Gusev ในขณะที่เครื่องมือ OMEGA บนยาน Mars Express ยังได้ตรวจวัดได้ถึงหลักฐานโดยตรงขั้นแรกๆ ที่ชี้ให้เห็นถึงน้ำแข็งบนผิวดาวอังคาร โดยผ่านการวิเคราะห์แถบรังสีอินฟราเรดย่านใกล้ของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากผิวดาวอังคาร



รูปถ่ายที่แสดงให้เห็นแก๊ส CO_2 (ซ้าย) และ น้ำแข็ง (ขวา) ที่ขั้วใต้ของดาวอังคาร

ฮีเลียม - ของแข็งยวดยิ่ง

สำหรับในส่วนของการวิจัยทางด้านฟิสิกส์อุณหภูมิต่ำ ได้มีการทำให้เกิดสถานะใหม่ของสสารที่เรียกว่า “ของแข็งยวดยิ่ง (Supersolid)” โดย Eun-Seong Kim และ Moses Chan แห่ง

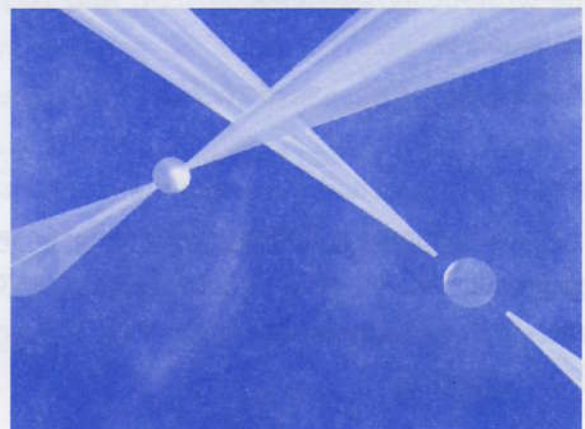
Pennsylvania State University ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งของแข็งยวดยิ่ง หรือ Supersolid ฮีเลียม-4 นี้จะมีพฤติกรรมของของไหลยวดยิ่ง (Superfluid) ซึ่งไหลโดยไม่มีแรงต้านทาน แต่ก็ยังมีคุณลักษณะทั้งหมดของของแข็งอยู่ด้วย การวิจัยนี้ทำให้พบว่า พฤติกรรมของไหลยวดยิ่งนั้นสามารถสังเกตได้ในทั้งสามสถานะของสสาร คือ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง

การควบแน่นเฟอร์มิออนิก

นักฟิสิกส์จากห้องปฏิบัติการ JILA ในมลรัฐโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทำให้เกิด “การควบแน่นเฟอร์มิออนิก” (Fermionic Condensate) เป็นครั้งแรก โดยที่กลุ่มวิจัยดังกล่าวสามารถทำให้อะตอมเฟอร์มิออน ซึ่งประพฤติตัวตามหลักการกีดกันของเพาลี (Pauli Exclusion's Principle) เกิดการรวมตัวกันเป็นคู่โบซอน ซึ่งไม่ประพฤติตัวตามหลักการดังกล่าว ซึ่งมีผลทำให้อะตอมควบแน่นในสถานะพื้นทางควอนตัมเดียวกัน ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำให้เข้าใจถึงการไหลยวดยิ่งและการเป็นตัวนำยวดยิ่งได้ดียิ่งขึ้น (ดูวารสารฟิสิกส์ไทยเล่มแรกประกอบ)

การทดสอบทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป

นักดาราศาสตร์ซึ่งใช้กล้องโทรทรรศน์ Parkes ในออสเตรเลีย และกล้องโทรทรรศน์ Lovell ในอังกฤษ ได้ค้นพบระบบพัลซาร์คู่ (Double Pulsar) เป็นครั้งแรก โดยพัลซาร์นั้นเป็นดาวนิวตรอนที่มีความหนาแน่นสูงมากและหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วสูง พร้อมทั้งยังมีมวลมากกว่าโลกหลายล้านเท่า แต่มีขนาดเล็กกว่ามากโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่กี่สิบกิโลเมตร การค้นพบนี้จะทำให้นักฟิสิกส์สามารถที่จะทดสอบทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปของไอน์สไตน์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น



รูปวาดแสดงระบบพัลซาร์คู่

พลังงานมืด: จากความผิดพลาดของ ไอน์สไตน์สู่ฟิสิกส์แรงโน้มถ่วงแห่งศตวรรษที่ 21

ณฤทธิ์ ปิฎกรัษต์*

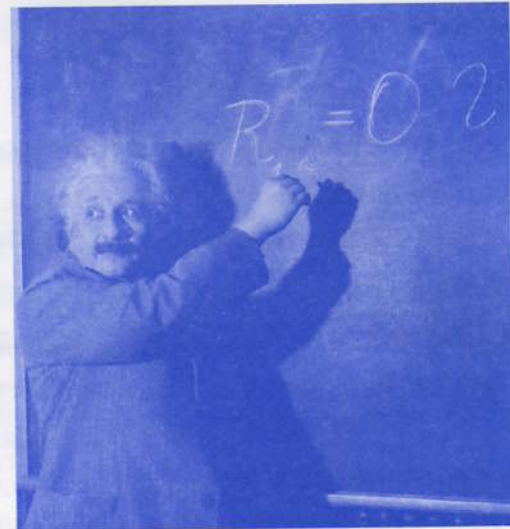
ในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป สมการที่เป็นจุดศูนย์กลาง คือ สมการแรงโน้มถ่วงที่เรียกว่า **สมการไอน์สไตน์**

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (1)$$

สมการไอน์สไตน์ถือว่าเป็นสมการที่สวยงามที่สุดและทรงพลังมากที่สุดสมการหนึ่งในโลกแห่งฟิสิกส์ ตัวแปร Λ (แลมด้า) ในพจน์ที่สามของสมการ (1) นี้เรียกว่า **ค่าคงที่แห่งเอกภพ (cosmological constant)** ที่ไอน์สไตน์ได้ใส่เพิ่มลงไปหลังจากพบว่าสมการ (1) ที่ปราศจากพจน์ค่าคงที่แห่งเอกภพทำนายว่าเอกภพจะไม่อยู่อย่างสถิตและอยู่อย่างชั่วนิรันดร์ (static and eternal) กล่าวคือเอกภพจะหดตัวหรือขยายตัวออกไป การที่ไอน์สไตน์เชื่อว่าเอกภพจะต้องอยู่อย่างชั่วนิรันดร์ก็เพราะว่ากระบวนทัศน์ (paradigm) ในวิชาเอกภพวิทยาในสมัยนั้นเป็นแบบของ Fred Hoyle ผู้ที่เชื่อว่าเอกภพจะต้องอยู่อย่างสถิตและชั่วนิรันดร์ ไอน์สไตน์จึงไม่มีทางเลือกที่จะขัดต่อแนวความคิดเช่นนั้น เพราะไม่มีเหตุผลใดๆ มาขัดแย้งจนกระทั่ง **Edwin Hubble ค้นพบว่าในความจริงแล้วเอกภพขยายตัวออกและเป็นเช่นนั้นมาตั้งแต่ยุคแรกเริ่ม** การค้นพบนั้นทำให้ไอน์สไตน์รู้สึกผิดหวังกับการที่เขาได้เพิ่มพจน์ค่าคงที่แห่งเอกภพลงไปในสมการแรงโน้มถ่วงที่เขาค้นพบด้วยเหตุที่เขาไม่เชื่อว่าสมการ

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu} \quad (2)$$

นั่นคือสมการที่ทำนายความเป็นไปของเอกภพได้อย่างเหมาะสมแล้ว **ไอน์สไตน์ถึงกับกล่าวว่า นี่คือการผิดพลาดครั้งร้ายแรงที่สุดในชีวิตของเขา** (เป็นที่รู้จักในคำเดิมภาษาเยอรมันว่า *Einstein's größter Schnitzer*) นับแต่นั้นมาเขาก็ประกาศสมการ (2) เป็นสมการแรงโน้มถ่วงเต็มรูปแบบ



รูปที่ 1 ไอน์สไตน์กำลังบรรยายเรื่องทฤษฎีสัมพัทธภาพให้นักฟิสิกส์อเมริกันฟัง ที่เมือง Pasadena มลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประมาณปี 1930

วงการฟิสิกส์ไม่ได้กล่าวถึง ค่าคงที่แห่งเอกภพอีกจนกระทั่งราวๆ ต้นทศวรรษ 1980 เมื่อ **อลัน กูธ (Alan Guth)** นักฟิสิกส์จากสหรัฐอเมริกา ได้เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการพองตัว (inflation) ของเอกภพเพื่อให้ทฤษฎีการกำเนิดเอกภพสมบูรณ์มากขึ้น โดยเขาเชื่อว่า เอกภพผ่านการพองตัวออกในยุคแรกเริ่ม (early universe) และการพองตัวออกของเอกภพน่าจะเกิดขึ้นจากการมีอยู่ของค่าคงที่แห่งเอกภพซึ่งมีขนาดใหญ่ในยุคแรกเริ่ม แต่ปัจจุบันมีค่าน้อยมากใกล้ศูนย์ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าทฤษฎีการพองออกของเอกภพจะได้รับการยอมรับแต่ก็ไม่มีใครสามารถวัดค่าคงที่ของเอกภพได้ จนกระทั่งปลายทศวรรษ 1990 จากการศึกษา supernova **ทำให้นักฟิสิกส์สามารถวัดค่าคงที่ของเอกภพได้ ซึ่งมีค่าประมาณ 10^{-120} ในหน่วยของพลังค์ (Planck unit)** และถือว่าเป็นค่าคงที่ที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลกวิทยาศาสตร์ ดังนั้น ณ จุดนี้เราอาจกล่าวได้ว่าไอน์สไตน์ไม่ได้ทำผิดพลาดเสียทีเดียวที่ได้เพิ่มพจน์ค่าคงที่แห่งเอกภพลงไปในสมการที่ (2)

และสิ่งที่ทำให้นักฟิสิกส์ต้องคิดหนักมากขึ้นอีกก็คือการ

*นักศึกษาระดับปริญญาเอกแห่ง Quantum and Field Theory Group ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสตีจอน ประเทศสวีเดน



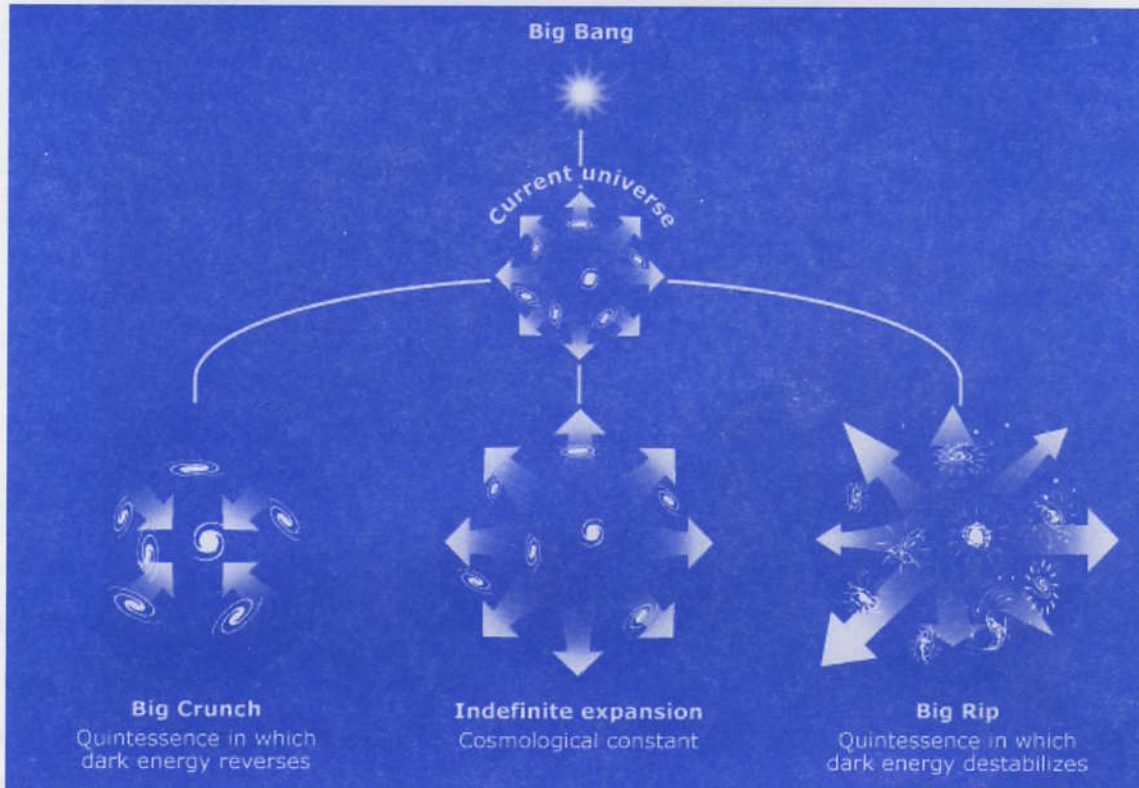
รูปที่ 2 ไอน์สไตน์กับนักฟิสิกส์อเมริกัน คนที่ตัวสูงที่สุดคือ Edwin P. Hubble (1889-1953) ส่วนคนที่ยืนด้านขวามือของไอน์สไตน์คือ Albert Michelson (1852-1931)

ค้นพบเมื่อไม่นานมานี้จากการวัด คลื่นไมโครเวฟพื้นหลังของ เอกภพ (CMBR: Cosmic Microwave Background Radiation) นักฟิสิกส์ค้นพบว่า ปัจจุบันนี้เอกภพก็ยังมี การขยายตัวอย่างเร่ง และต่อเนื่องเช่นเดียวกับการพองตัวของเอกภพที่ ทำให้เอกภพขยายตัว ออกอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเริ่ม เราก็ยังไม่สามารถบอกได้ว่า ทำไม เอกภพถึงเป็นอย่างนี้ หรือกล่าวได้ว่า นักฟิสิกส์ก็ยังไม่คำตอบ ต่อคำถามที่ว่ากลไกในการเกิดการพองตัวคืออะไรกัน? ในทาง ทฤษฎีก็ยังไม่แบบจำลองใด ๆ ที่สามารถอธิบายค่าคงที่ของ เอกภพได้อย่างสมบูรณ์แบบที่สุด อนึ่ง การศึกษาการพองตัวของ เอกภพทำให้เราสามารถเข้าใจการเกิดโครงสร้าง (structure formation) ของเอกภพได้อย่างละเอียดเพราะโครงสร้างเหล่านั้น จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อมีการพองตัวอย่างเหมาะสม

สำหรับการเกิดการพองตัวของเอกภพ (ซึ่งแปลว่าการขยายตัว อย่างเร่ง) เชื่อกันว่าเกิดจากการที่มีค่าคงที่ของเอกภพ ซึ่งค่าคงที่ ของเอกภพมีความสัมพันธ์กับพลังงานสุญญากาศ (vacuum energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ทุกแห่งหนในเอกภพ สมบัติพิเศษ อันหนึ่งของพลังงานสุญญากาศคือ ค่าความหนาแน่นของพลังงาน สุญญากาศ (vacuum energy density) ถ้ามีค่าเป็นบวกจะทำให้เกิด

แรงกดที่ติดลบ (negative pressure) ซึ่งหมายความว่า มันก่อให้เกิดการผลักรอก (ถ้าท่านนั่งคิดก็จะนึกออกว่าถ้าทุก ๆ ที่ในเอกภพ มีแรงกดที่ติดลบ เอกภพก็ต้องขยายตัวออกอย่างเร่งแน่นอน) ซึ่ง ตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงที่เป็นแรงที่ดึงดูดทุกสิ่งเข้าอยู่ด้วยกัน นอกจากค่าคงที่ของเอกภพที่เชื่อว่ามีส่วนที่ทำให้เอกภพขยายออก อย่างเร่งแล้ว นักฟิสิกส์ก็ได้ตั้งสมมติฐานด้วยว่าจะต้องมีพลังงาน บางอย่าง ที่ รับผิดชอบการมีอยู่ ของค่าคงที่ของเอกภพ พลังงาน ที่ว่าเรียกว่า พลังงานมืด (dark energy)

นอกจากนั้น อีกรูปแบบหนึ่ง ของพลังงานมืดนอกจาก ค่าคงที่ของเอกภพ คือสิ่งที่เรียกว่า ฮาตุแท้ (quintessence) สาเหตุที่เราเรียกมันว่าฮาตุแท้ก็เพราะเรายังไม่รู้ว่ามันประกอบ ด้วยอะไร นักฟิสิกส์ด้านแรงโน้มถ่วงทางทฤษฎีกำลังพยายาม สร้างแบบจำลองของฮาตุแท้ และถือว่าสิ่งนี้คือ priority ของ ฟิสิกส์แรงโน้มถ่วงในต้นศตวรรษที่ 21 สำหรับความแตกต่าง ระหว่างกลไกการทำงานของค่าคงที่แห่งเอกภพและฮาตุแท้ คือ อย่างแรกจะอยู่อย่างสถิต ส่วนอันหลังจะมีพลศาสตร์ อย่างไรก็ตามยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าพลังงานมืดจะมีกลไกในรูปแบบ ของค่าคงที่ของเอกภพหรือแบบฮาตุแท้ วิธีการที่จะแยกสิ่ง



รูปที่ 3 แสดงความเป็นไปได้ของพรหมลิขิตของเอกภพในอนาคต (รูปจาก NASA)

ทั้งสองออกจากกันต้องใช้การตรวจวัดขั้นสูงอย่างละเอียด การทดลองในเอกภพวิทยาในปัจจุบันให้ความสำคัญกับการวัดตรวจด้านนี้อย่างมาก สิ่งที่น่าพิศวงที่คาดหวังจากการศึกษาด้านนี้คือ คำตอบที่เป็นคำตอบต่อความอยากรู้อยากเห็นพื้นฐานว่า **เอกภพที่เราอยู่จะมีพรหมลิขิตอย่างไร** เพราะว่าพลังงานมืดมีอยู่กว่า 70% ของความหนาแน่นพลังงานวิกฤติของเอกภพ จึงเป็นตัวกำหนดสำคัญต่อพรหมลิขิตของเอกภพ และพลังงานมืดสามารถก่อให้เกิดผลลัพธ์ได้ในสามลักษณะคือ (โปรดดูรูปที่ 3)

ก. ถ้าพลังงานมืดลดลงเมื่อเวลาผ่านไปทำให้แรงไม่เป็นแรงผลักอีกต่อไป มวลของเอกภพก็จะดึงดูดทุกอย่างเข้า ซึ่งจะทำให้เอกภพหดตัวอย่างแรงหรือที่เราเรียกว่า **การบดครั้งยิ่งใหญ่ (Big Crunch)** คือทุกอย่างในเอกภพเหมือนจะถูกบดให้กรอบไป กรณีนี้พบว่ามีความเป็นไปได้น้อยมาก

ข. ถ้าพลังงานมืดมีลักษณะในแบบค่าคงที่ของเอกภพที่ไอน์สไตน์ไม่อยากจะเกิดขึ้นก็จะทำให้เอกภพ ขยายตัวอย่างไม่มีขีดจำกัด (โปรดระลึกว่าการที่เอกภพขยายตัวคือการที่กาลอวกาศขยายตัว)

ค. ถ้าพลังงานมืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป จะยังทำให้การขยายตัวของเอกภพเป็นไปอย่างรุนแรงขึ้น และอาจจะถึงจุดที่แม้แต่อะตอมก็ถูกฉีกกระชากขาดออกจากกันเนื่องด้วยกาลอวกาศที่ขยายตัวอย่างเร่งสุดขีด ในกรณีนี้เราเรียกว่า **การฉีกกระชากครั้งยิ่งใหญ่ (Big Rip)** ซึ่งจะทำให้เอกภพกลายเป็นเอกภพที่ว่างเปล่าและไม่มี โครงสร้างใดๆ เหลืออยู่

การที่เราจะรู้ได้ว่าเอกภพจะมีพรหมลิขิตอย่างไรก็จะได้มาจากการศึกษาทั้งทางทฤษฎี (สร้างแบบจำลองและสร้างกรอบความคิด) และการตรวจวัดและการทดลอง ซึ่งเชื่อกันว่าการศึกษาวิจัยทั้งสองทางนี้จะครอบครองจิตวิญญาณของนักฟิสิกส์แรงโน้มถ่วงแห่งศตวรรษนี้ ไปจนกว่าพวกเขาจะพบกับความสำเร็จ

บทสรุปสำหรับบทความพิเศษนี้ก็คือ ความผิดพลาดครั้งยิ่งใหญ่ของไอน์สไตน์อาจจะไม่ใช่ความผิดของเขาเลย ตรงกันข้ามเขาได้จุดประกายต้นกำเนิดของฟิสิกส์แรงโน้มถ่วงแห่งศตวรรษที่ 21 โดยที่ตัวเขาเองไม่มีโอกาสรับรู้



1905

ตอนจบของการตุนญี่ปุ่นเรื่อง *อิคารุเซียนโกะ* อิคารุที่เป็นตัวเอกได้ให้เหตุผลที่เขาเล่นโกะว่า

"เพื่อเชื่อมอดีตอันไกลโพ้น กับอนาคตอันแสนไกล"

เมื่อมองดูงานฟิสิกส์เก่า ๆ ในอดีต ไม่ว่าจะเป็นงานที่ถูกหรือผิด งานเหล่านั้นก็เป็นพื้นฐานให้ฟิสิกส์ในยุคถัดมา เมื่อเวลาล่วงเลยไป **งานส่วนใหญ่** ก็จะถูกลืมเลือนไม่มีใครกล่าวถึงอีก เหมือนกับทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อไปยังอนาคตแล้วก็จบกัน ปลายทางของฟิสิกส์เหมือนจะไม่มีที่สิ้นสุด เพราะเมื่อเราอธิบายธรรมชาติได้อย่างลึกซึ้งขึ้น ด้วยโครงสร้างทฤษฎีที่สลับซับซ้อนขึ้น ด้วยการทดลองวัดค่าที่ละเอียดมากขึ้น ธรรมชาติก็ดูเหมือนแกล้งให้เราจนมุมอีก ด้วยการยื่นโจทย์ใหม่เป็นปรากฏการณ์ที่ยากซับซ้อนกว่าเดิม ครั้งแล้วครั้งเล่า

เมื่อเวลาผ่านไปนานเข้านักฟิสิกส์ยุคต่อ ๆ มา ก็อยากจะเข้าใจว่านักฟิสิกส์ในอดีตก่อนหน้านี้เน้นอยู่กับความท้าทายจากโจทย์ของธรรมชาติแบบไหน

เมื่อย้อนกลับไปดูฟิสิกส์ยุคปี ค.ศ.1905 จะเห็นถึงพัฒนาการที่เข้มข้นที่ต่อมาเป็นพื้นฐานที่สำคัญของฟิสิกส์ยุคใหม่ บทความนี้ใช้งานของไอน์สไตน์ในปี ค.ศ.1905 เป็นแกนหลักในการถ่ายทอดเรื่องราวจุดเริ่มต้นของวิชากลศาสตร์เชิงสถิติ และทฤษฎีควอนตัม ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเสาหลักของฟิสิกส์ในปัจจุบัน

1. กลศาสตร์เชิงสถิติ (Statistical Mechanics)

ในปี 1905 วิชาเทอร์โมไดนามิกส์มีอายุได้ประมาณ 50 ปี แล้ว โดยเริ่มนับจากการวางรากฐานไว้ของ J. P. Joule, W. Thomson (Lord Kelvin), R. Clausius, J. W. Gibbs และคนอื่น ๆ ตั้งแต่ประมาณปี 1850 เป็นต้นมา ในตอนนั้นมีกฏนิยามสเกลอุณหภูมิตั้งแต่ปี 1850 เป็นต้นมา ในตอนนั้นมีกฏนิยามสเกลอุณหภูมิตั้งแต่ปี 1850 เป็นต้นมา และนิยามศูนย์องศาสัมบูรณ์, มีการนิยามเอนโทรปี, มีการตั้งกฎข้อที่ 1 และ 2 อย่างรัดกุม

วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ประสบความสำเร็จอย่างมากในแง่ของการทดลอง เพราะมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเครื่องจักรไอน้ำ และสามารถใช้อธิบายได้ว่าเครื่องจักรที่เคลื่อนไหวได้ด้วยตนเองตลอดเวลา ที่มนุษย์เฝ้าฝันจะสร้างมานานนั้น เป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้

รูจิกร ธนวิทยาพล * และ อธิภา ทองกุล +



ไอน์สไตน์ กับ Mileva และ Hans Albert ในปี 1904

วิชาเทอร์โมไดนามิกส์ มีการนิยาม กฎ ปริมาณที่จะวัด และการทดลองที่สมบูรณ์ในตัวเองโดยไม่ต้องอ้างอิงกลศาสตร์แผนเดิม จึงทำให้นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่ นับแต่ปี 1850 เป็นต้นมา มองว่าวิชานี้แยกออกต่างหากไม่ขึ้นกับกลศาสตร์

อย่างไรก็ดียังมีนักฟิสิกส์บางคน **"ฝัน"** จะสร้างเทอร์โมไดนามิกส์จากกลศาสตร์แผนเดิม โดยเชื่อมโยงปริมาณมหภาค (macroscopic quantity) ที่วัดได้ในเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น ความดัน กับ ผลเชิงสถิติของปริมาณจุลภาค (microscopic quantity) ซึ่งได้แก่ การชนของโมเลกุลของแก๊สกับผนัง

ที่ว่านักฟิสิกส์เหล่านี้ **"ฝัน"** เพราะแนวคิดนี้ ออกจะล้ำยุคเกินกว่านักฟิสิกส์ร่วมสมัยจะรับได้

แม้แต่ในยุคของไอน์สไตน์เอง **"โมเลกุล"** ก็ยังเป็นเรื่องที่นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่ยังไม่เชื่อถือ ถึงแม้ในวิชาเคมีจะใช้ **"อะตอม"** มารวม 100 ปีแล้ว นักฟิสิกส์ในยุคนั้นคิดว่าอะตอมน่าจะต้องประสานกันแน่นเป็นสสารที่ต่อเนื่อง แนวคิดนี้อาจได้รับอิทธิพลครอบงำจากความสำเร็จในการใช้วิชากลศาสตร์ กับ ตัวกลางที่ต่อเนื่อง เช่น เมื่อใช้กลศาสตร์คำนวณเรื่อง คลื่นเสียง เราจะมองว่าอากาศเป็นตัวกลางต่อเนื่อง ดังนั้นความคิดที่ว่าอนุภาคของแก๊สเป็นโมเลกุลแยกออกมาโดด ๆ สามารถเคลื่อนที่ไปมา ขนกับผนังให้ผลเป็นความดัน จึงเป็นสิ่งที่ก้าวล้ำเกินกว่าที่นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่ร่วมสมัยจะยอมรับกัน

* อาจารย์ (ดร.) จากกลุ่มวิจัยด้านทฤษฎีของฟิสิกส์พลังงานสูงและจักรวาลวิทยา ภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ

+ บัณฑิตปริญญาโท จากภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่ใช้การกระจายเชิงสถิติของโมเลกุลเป็นพื้นฐานเริ่มโดย J. C. Maxwell (1860) และส่งต่อให้ L. Boltzmann ผู้ทฤษฏีคนอย่างขมขื่นและเสียชีวิตพัฒนาต่อให้เป็นกลศาสตร์เชิงสถิติ แต่ละก้าวของความสำเร็วจของ Boltzmann ในตลอด 30 ปีต่อมา ก็ได้รับการตอบรับเป็นการโจมตีเป็นระยะๆ จากผู้ใหญ่ในวงการเทอร์โมไดนามิกส์หลายคน เพราะส่วนใหญ่ยังเชื่อว่า "โมเลกุล" เป็นเพียงเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ในทฤษฎีจลน์ของแก๊สเท่านั้น อีกทั้งการคิดแบบโมเลกุลก็ไม่ได้ช่วยให้เข้าใจง่ายขึ้นกว่าการมองภาพแบบปริมาณความร้อนเป็นของไหล

แต่สำหรับ Boltzmann "โมเลกุล" เป็นเครื่องมือที่ทรงพลังมาก เขาสร้าง ฟังก์ชัน H (eta) ที่สามารถบรรยายการเข้าสู่สมดุลของระบบได้ ในขณะที่เทอร์โมไดนามิกส์ใช้ได้กับระบบเมื่อเข้าสู่สมดุลแล้วเท่านั้น

จากฟังก์ชัน H ทฤษฎีกลศาสตร์เชิงสถิติก็มีเครื่องมือพร้อมที่จะนิยาม เอนโทรปี และพิสูจน์ กฎข้อที่สอง ของเทอร์โมไดนามิกส์ จากหลักความน่าจะเป็น และกฎทางกลศาสตร์

ในเวลานั้นไอน์สไตน์ ประทับใจงานของ Boltzmann และเป็นหนึ่งในนักฟิสิกส์เพียงไม่กี่คนที่รับช่วงงานพัฒนาหลักการของกลศาสตร์เชิงสถิติมาทำต่อ จะเห็นได้จากงานของไอน์สไตน์ ช่วงปี 1901-1904 จะเน้นไปที่การทุ่มเทพลังงานกลศาสตร์เชิงสถิติให้สมบูรณ์ขึ้น แต่ทว่าผลงานช่วงนี้ไปขัดกับที่ J. W. Gibbs (1901-1902) ได้ทำไว้แล้วก่อนหน้านี้ จึงทำให้งานของไอน์สไตน์ในช่วงนั้นไม่ได้เครดิตเท่าไรนัก

แต่ถ้าดูผลงานของไอน์สไตน์ตั้งแต่ปี 1905 เป็นต้นไป จะพบว่าน้ำพุกน้ำแรงที่เขาใช้บุกเบิกกลศาสตร์เชิงสถิติมีสูงส่งล้ำนก็เหมือนกับการเพิ่มพลังยุทธ์ เขาสามารถไขกลศาสตร์เชิงสถิติบุกเบิกไปถึงสุดขอบของกลศาสตร์แผนเดิม และเป็นหนึ่งในผู้นำที่บุกเบิกอาณาจักรควอนตัมในเวลาต่อมา

งานของไอน์สไตน์ในปี 1905 เรื่อง Brownian motion เป็นการขยายขอบเขตของกลศาสตร์เชิงสถิติที่เดิมสนใจแต่โมเลกุลของแก๊สไปศึกษาโมเลกุลของของเหลว ไอน์สไตน์ไขปริศนาการเคลื่อนที่ของละอองเกสรดอกไม้เล็กๆ บนผิวน้ำที่ค้นพบตั้งแต่ปี 1828 โดย R. Brown แต่ยังไม่มีการอธิบายได้ว่าเกิดจากอะไร มีบางคนตั้งทฤษฎีว่าละอองพวกนี้มีชีวิตด้วยซ้ำ เชื่อกันว่าความสนใจของไอน์สไตน์ในเรื่องนี้มาจากข้อความในหนังสือของ H. Poincaré ที่อ้างงานของคนอื่นมาอีกทีว่า Brownian

motion อาจเป็นหลักฐานที่แสดงถึงการละเมิดกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

ไอน์สไตน์อธิบายการเคลื่อนที่ของละอองเกสรว่า เกิดจากการถูกชนแบบสุ่มโดยโมเลกุลของน้ำซึ่งเมื่อดูในขณะหนึ่งๆ จะพบว่าละอองเกสรถูกชนให้เคลื่อนที่ไปอย่างสะเปะสะปะไร้ทิศทางกลับไปกลับมา แต่เมื่อใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ยของการกระจัดกำลังสองเมื่อเวลาผ่านไป t จะเป็นไปตามสมการ

$$\langle r^2 \rangle = \frac{RTt}{3\pi a \mu N_A} \quad (1)$$

โดยที่ a คือเป็นรัศมีของละอองเกสรดอกไม้ (โดยคิดว่าเป็นทรงกลม) และ R, T, μ คือ ค่าคงที่ของแก๊ส, อุณหภูมิ, และสัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำตามลำดับ ซึ่งเทคนิคการทดลองสมัยนั้นสามารถให้ค่าเหล่านี้ได้ค่อนข้างแม่นยำอยู่แล้ว ดังนั้นผลการทดลองนี้จึงสามารถให้ค่าตัวแปรที่เหลือคือ N_A ซึ่งก็คือ Avogadro's number หรือจำนวนโมเลกุลของสารหนึ่งโมล

งานเรื่อง Brownian motion ไม่เพียงเป็นหลักฐานแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของโมเลกุลเท่านั้น แต่ในปี 1908-1909 J. B. Perrin ยังใช้การทดลองนี้หาค่า Avogadro's number ได้ 6.06×10^{23} ซึ่งก็ใกล้เคียงกับค่าในปัจจุบัน (6.022×10^{23}) มาก นับเป็นก้าวสำคัญก้าวหนึ่งของทฤษฎีโมเลกุล

2. ทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory)

ย้อนกลับในปี 1850 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการค้นพบปรากฏการณ์ทางไฟฟ้า-แม่เหล็กมาแล้วมากมาย ในตอนนั้น M. Faraday รู้แล้วว่าสนามแม่เหล็กมีผลต่อแสงอย่างไร งานสำคัญในเวลาต่อมา คือ การนำภาพเส้นแรงแม่เหล็กที่ Faraday ใช้ มาพัฒนาเป็นทฤษฎีไฟฟ้า-แม่เหล็ก ผู้ที่ทำงานนี้ลุล่วง คือ Maxwell ซึ่งสามารถรวมกฎต่างๆ ทางไฟฟ้าแม่เหล็กในอดีตทั้งหมดเข้าด้วยกัน เหลือเพียง 4 สมการ ซึ่งให้สมการคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของแสง และทำนายความเร็วแสงในตัวกลางต่างๆ ได้

จากความสำเร็จของ สมการ Maxwell ฟิสิกส์ในช่วง 1850-1905 จึงเน้นศึกษาเรื่อง แสง และสเปกตรัมต่างๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างจริงจัง อนุกรมสเปกตรัม Balmer(1885) และ อนุกรม Rydberg(1890) ก็รู้จักกันในช่วงนี้ นอกจากนี้ยังมีการทดลองที่สำคัญอื่นๆ เกี่ยวกับสเปกตรัมของแสงเช่น การทดลองโดย P. Zeeman (1896) ซึ่งภายหลังพบว่าผล

การทดลองเหล่านี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการสร้างวิชาฟิสิกส์ควอนตัม

ราวปี 1853-1854 B. Stewart และ G. Kirchhoff เริ่มพัฒนาทฤษฎีอธิบายเรื่องการดูดกลืนและแผ่รังสีของวัตถุดำ (black body) โดยเฉพาะ Kirchhoff มีจินตนาการกว้างไกลมองว่าวิธีนี้ช่วยให้สามารถศึกษาธาตุที่ประกอบขึ้นเป็นดวงอาทิตย์และดวงดาว รวมถึงสามารถหาอุณหภูมิของดาวได้

จากทฤษฎีของ Kirchhoff รู้ว่า ฟังก์ชันการแจกแจงพลังงาน $U(v, T) = \rho(v, T) dv$ สำหรับการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่ v ที่อุณหภูมิ T จะไม่ขึ้นกับชนิดของวัตถุ แต่ยังไม่ก้าวหน้าพอจะหาหน้าตาของฟังก์ชัน $U(v, T)$ ได้ จนกระทั่งปี 1879 J. Stefan เดาว่าสูตรการแผ่รังสีจะสอดคล้องกับ $\int \rho dv \propto T^4$ ซึ่งต่อมาลูกศิษย์ก็คือ Boltzmann สามารถพิสูจน์สูตรนี้ได้จากกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิกส์

เมื่อถึงปี 1900 มีสูตร $U(v, T)$ สองสูตรที่มาจาก ฟิสิกส์แผนเดิม ใช้ได้ผลในช่วงความถี่ที่ต่างกัน คือสูตรของ W. Wien (1893)

$$U = \frac{8\pi h v^3}{c^3} e^{-hv/kT} dv \text{ ใช้เมื่อ } v \rightarrow \infty \text{ และ สูตรของ J.}$$

$$\text{Rayleigh, J. Jean (1900) } U = \frac{8\pi v^2}{c^3} kT dv \text{ ใช้เมื่อ } v \rightarrow 0$$

ซึ่งสูตรทั้งสองก็ไม่สามารถอธิบายผลการทดลองได้ดีพอ (สูตรทั้งสองในบทความนี้ใช้ค่าคงที่ h, k แบบที่ M. Planck หาได้ภายหลัง)

M. Planck จึงพยายามสร้างสูตรใหม่ โดยมองว่าวัตถุประกอบด้วยตัวสั่นแบบเฮิร์ตซ์ (Hertzian oscillators) จำนวนมาก ซึ่งตัวสั่นของ Planck อาจจะหมายถึงอิเล็กตรอนที่เพิ่งค้นพบโดย J.J. Thomson (1897) ก็ได้ โดยสมบัติสำคัญของตัวสั่นคือ สามารถดูดกลืนพลังงานจากสิ่งแวดล้อมและแผ่รังสีออกมาได้อย่างสมบูรณ์

ต่อมาปลายปี 1900 Planck ก็สำรวจสูตรของ Wein กับ Rayleigh โดยเขียนเอนโทรปี S ของวัตถุในรูปพลังงานเฉลี่ย $u(v)$ ของตัวสั่นที่มีความถี่ v โดย $dS = du/T$ และ $U = \frac{8\pi v^2}{c^3} u dv$ เขาพบว่าเมื่อแทนค่า U จากสูตร Wein และ Rayleigh ฟังก์ชันที่อยู่ในรูปของเอนโทรปี S ของทั้งสอง

สูตรมีความสัมพันธ์กัน โดยมองว่าสูตรทั้งสองสามารถลดรูปมาจากสมการเอนโทรปีที่อยู่ในรูปทั่วไปเดียวกัน สมการเอนโทรปีในรูปทั่วไปที่ Planck ค้นพบคิดค่าคงที่ 2 ตัว ซึ่งจัดรูปกลับไปหาสูตรการแจกแจงพลังงานแบบใหม่จะได้

$$U = \frac{a v^3 dv}{e^{bv/T} - 1}$$

โดยที่ a, b เป็นค่าคงที่ สามารถหาได้จากการทดลอง ปรากฏว่าสูตรใหม่ของ Planck สอดคล้องกับการทดลองเป็นอย่างดีในทุกช่วงความถี่

อีกสองเดือนถัดมา Planck พบที่มาของสูตรดังกล่าว โดยมองว่าระบบประกอบด้วย ตัวสั่นจำนวนมาก ที่ดูดซับและแผ่รังสีด้วยปริมาณพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง ϵ ในการคำนวณเอนโทรปีจากตัวสั่นด้วยวิธีการแบบ discrete เขาใช้นิยามเอนโทรปีที่ดัดแปลงมาจากทฤษฎีของ Boltzmann คือ

$$S = k \ln W \quad (2)$$

โดยที่ W เป็น ความน่าจะเป็นเทอร์โมไดนามิกส์ของสถานะมหภาคของระบบ หรือ จำนวนการแจกแจงแบบที่เป็นไปได้ หักที่สุดเขาพบว่าถ้า $\epsilon = hv$ จะได้สูตรการแจกแจงใหม่คือ

$$U = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{v^3 dv}{e^{hv/kT} - 1} \quad (3)$$

จากสูตรของ Planck เมื่อเทียบกับผลการทดลองจะสามารถคำนวณเชิงตัวเลขหาค่าคงที่ของ Planck h และค่าคงที่ของ Boltzmann k ออกมาได้ และตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ค่า k จะเชื่อมกับสัมประสิทธิ์ R ในสมการแก๊สอุดมคติ

โดย $R = kN_A$ ดังนั้นจากค่า k โดยทางของ Planck ก็สามารถหาค่า Avogadro's number N_A ได้

ความสอดคล้องของสองทฤษฎีจากกลศาสตร์เชิงสถิติที่ใช้รากฐานจากกลศาสตร์แผนเดิมในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบ Brownian กับ สมมุติฐานทางควอนตัมของ Planck ให้ Avogadro's number เดียวกัน เป็นการยืนยันอย่างลึกซึ้งถึงมุมมองที่ว่า สสารไม่ต่อเนื่องประกอบด้วยอนุภาคอย่างอะตอมและโมเลกุลที่มีลักษณะควอนตัม

อย่างไรก็ดี Planck ยังมองว่าความไม่ต่อเนื่องของพลังงานเกิดจากตัวสั่น ส่วนพลังงานที่แผ่ออกมาคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ายังเป็นปริมาณที่ต่อเนื่องอยู่ ก้าวต่อมาจึงเป็นของ

ไอน์สไตน์ในปี 1905

เริ่มจากพิจารณาวัตถุดำซึ่งเป็นโพรงที่บุนภายในให้มีการสะท้อนแสงอย่างสมบูรณ์ ให้มีรูเปิดเล็กๆ เพื่อรับแสง ไอน์สไตน์เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปี S กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโพรง V สำหรับแสงความถี่เดียว ν โดยจากสูตรของ Wein จะได้สมการ

$$S - S_0 = \frac{Ek}{h\nu} \ln \frac{V}{V_0}$$

โดยที่ S_0 เป็นเอนโทรปีสำหรับแสงในปริมาตรตั้งต้น V_0 ที่มากกว่า V เมื่อเทียบกับสมการเอนโทรปี (2) ที่ Planck ใช้ จะพบว่าความน่าจะเป็น W โดยสัมพันธ์กับระบบเดิมที่ V_0 ก็คือ

$$\left(\frac{V}{V_0} \right)^{\frac{E}{h\nu}}$$

หากแทนค่าพลังงานแสงในความถี่นี้ทั้งหมด $E = nh\nu$ ในรูปแบบเดียวกับ Planck ความน่าจะเป็นของระบบจะกลายเป็น

$$\left(\frac{V}{V_0} \right)^n$$

พักไว้ก่อน....

เปลี่ยนมาพิจารณา ความน่าจะเป็นที่แก๊ส 1 โมเลกุล ซึ่งอยู่ในปริมาตร V_0 จะไปอยู่ในปริมาตร V ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ V_0 ก็จะได้ V/V_0 ต่อมาถ้าคิดว่าทุกโมเลกุลเป็นอิสระจากกัน ความน่าจะเป็นที่มีแก๊ส n โมเลกุลจะอยู่ในปริมาตร V ก็คือ $(V/V_0)^n$ ซึ่งจะตรงกับความน่าจะเป็นที่แสงทั้งหมดจากปริมาตร V_0 จะไปอยู่ในปริมาตร V ตามที่ไอน์สไตน์หาได้ข้างต้น

ถึงจุดนี้ไอน์สไตน์ก็ได้แสดงความกล้าหาญสรุปข้อสังเกตข้างบนว่า **แสงเองเป็นอนุภาค** และก็เสนอแนะว่าแนวคิดนี้สามารถอธิบายการทดลอง Photoelectric effect ของ P. Lenard (1902) ได้ ซึ่งในตอนนั้นเป็นเพียงการใช้แสงเหนือม่วงกับโลหะชนิดเดียว แล้ววัดจำนวนและความเร็ว ของอิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะ ซึ่งไอน์สไตน์มองไปไกลกว่านั้น โดยมองว่าถ้าเปลี่ยนโลหะเป็นชนิดอื่นๆ พลังงานจลน์สูงสุดของอิเล็กตรอนจะสอดคล้องกับสมการ

$$K_{\max} = h\nu - w \quad (4)$$

โดยที่ w คือ work function หรือก็คือพลังงานยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนกับโลหะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ

จากผลการดังกล่าว R. A. Millikan ได้ทำการทดลองอย่างละเอียดกับโลหะหลายประเภทและพบว่าเป็นไปตามที่ไอน์สไตน์ทำนายไว้ นอกจากนั้นเมื่อปรับเปลี่ยนความถี่ขนาดของพลังงานจลน์เขาก็สามารถหาค่าคงที่ของ Planck h ได้ **สอดคล้อง**กับที่หาได้จากการแผ่รังสีของวัตถุดำ นับเป็นความสำเร็จที่น่าตื่นตะลึงอย่างยิ่ง

จากผลงานของ Planck และ ไอน์สไตน์พบว่าทั้งสสาร (ตัวสั่น) และ แสง มีความสัมพันธ์ $E = nh\nu$ แสดงความไม่ต่อเนื่องของพลังงานเช่นเดียวกัน เป็นจุดเริ่มต้นของการกำเนิดทฤษฎีควอนตัม ที่เป็นทฤษฎีของทุกองค์ประกอบพื้นฐานในธรรมชาติอันมีวิภาพของคลื่นและอนุภาค ไม่ว่าทั้งสสารและแสง

ไอน์สไตน์และ ปี 1905 ปีมหัศจรรย์ของผลงานของเขา มาพร้อมกับความสำเร็จสำคัญอื่นๆ ของฟิสิกส์ในทศวรรษ 1900 ไม่เพียงแต่เป็นจุดเริ่มต้นของทฤษฎีรากฐานของฟิสิกส์ยุคใหม่อย่างทฤษฎีควอนตัม แต่เป็นจุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนกระบวนทัศน์ (paradigm) ของมนุษย์ที่มีต่อธรรมชาติรอบตัวเราให้เป็นอย่างที่มีในทุกวันนี้ อย่างเช่น การยอมรับทั่วไปว่าสสารประกอบด้วยอะตอมและโมเลกุล

ปีฟิสิกส์โลก 2005 ไม่ใช่แค่ปีแห่งการรำลึกการครบรอบ 100 ปีของผลงานไอน์สไตน์เท่านั้น แต่น่าจะเป็นตัวแทนปีที่มีความหมายลึกซึ้งถึงการรำลึกการเปลี่ยนแปลงวิทยาศาสตร์และกระบวนทัศน์วิทยาศาสตร์ของคนทั้งโลกให้เป็นอย่างที่มีในทุกวันนี้



เอกสารอ้างอิง (บางส่วน)

- A. Einstein. (1998). Einstein's Miraculous Year: Five Papers That Changed the Face of Physics. (1905, edited and introduced by J. Stachel). Princeton University. USA.
- M. Planck. (1991). The Theory of Heat Radiation. (1914). Dover. New York.
- E. T. Whittaker. (1960). A History of the Theories of Aether and Electricity. 2 vols. (1910, revised and enlarged 1951). Harper Torchbooks. New York.

ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

นิรันดร์ วิทิตอนันต์ *

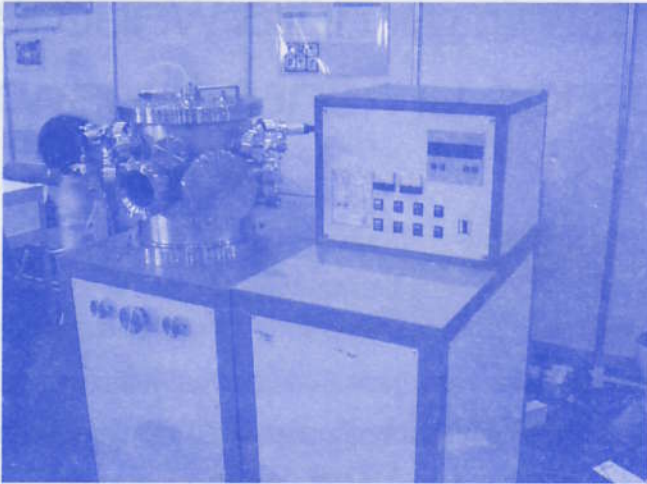
การปรับปรุงคุณภาพผิววัสดุวิธีหนึ่ง คือ การเคลือบด้วยสารที่มีลักษณะเป็นชั้นเคลือบบางๆ เรียกว่า "ฟิล์มบาง (thin film)" บนผิววัสดุ ในอดีตการเคลือบส่วนใหญ่จะใช้สารเคมีในกระบวนการซึ่งทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคนิคการเคลือบในสุญญากาศ (vacuum deposition) ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ (1) Chemical Vapor Deposition : CVD อาศัยการแตกตัวของสารเคมีในสภาพแก๊สและเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นสารใหม่เคลือบบนผิววัสดุ และ (2) Physical Vapor Deposition : PVD อาศัยการทำให้อะตอมสารเคลือบหลุดออกจากผิวสารเคลือบแล้วฟุ้งกระจายเข้าจับและยึดติดกับผิววัสดุรองรับ ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งในประเทศไทยมีการนำเครื่องเคลือบในสุญญากาศมาใช้มากขึ้น (ส่วนใหญ่เป็นการเคลือบแบบ PVD) ซึ่งจะเป็นการนำเข้าเครื่องสำเร็จรูปเพื่อเร่งการผลิตเป็นสำคัญ แต่ในด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีนี้ของประเทศพบว่ามีอยู่น้อยมากและส่วนใหญ่จะจำกัดอยู่ในสถาบันการศึกษาเท่านั้น หากพิจารณารายละเอียดของเครื่องเคลือบในสุญญากาศจะพบว่าอุปกรณ์ส่วนใหญ่สร้างขึ้นโดยใช้เทคนิคพื้นฐานซึ่งสามารถวิจัยและพัฒนาขึ้นได้ในประเทศ เพียงแต่องานด้านนี้จะต้องความละเอียดมากในการออกแบบ/สร้าง ซึ่งหากทำได้ก็จะช่วยประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องมือที่มีราคาสูงเหล่านี้จากต่างประเทศได้

คณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา นำโดย รศ.สุรสิงห์ ไชยคุณ (หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยฯ) และคณะทำงาน ประกอบด้วย รศ.สำเนา จงจิตต์, ผศ.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ (ผู้จัดการห้องปฏิบัติการวิจัยฯ), อ.จักรพันธ์ ถาวรธรา และ อ.สกุล ศรีญาณลักษณ์ ตระหนักถึงความสำคัญของเทคโนโลยีนี้ต่อการพัฒนาประเทศ จึงได้เริ่มทำการศึกษาวิจัยและเตรียมความพร้อมสำหรับเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางนี้

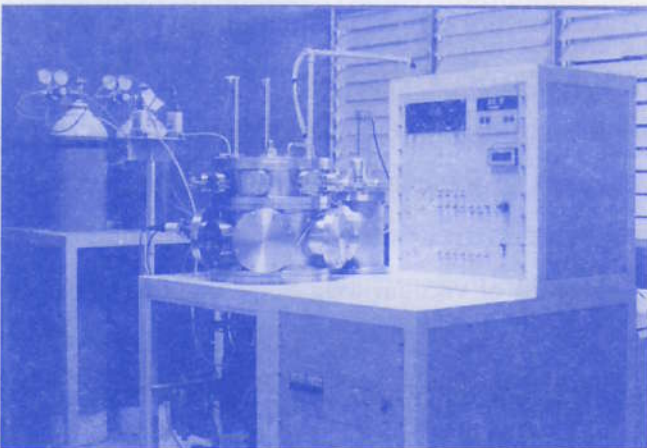
ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 ทั้งด้านบุคคลากร อุปกรณ์ และเครื่องมือวิจัย เป็นต้นมา จนสามารถสร้างเครื่องเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสเป็คเตอรืงซึ่งใช้วัสดุส่วนใหญ่ในประเทศได้เป็นสำเร็จในปี พ.ศ. 2540 ต่อมาในปี พ.ศ.2541 คณะผู้วิจัยจึงได้จัดตั้ง "ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (Vacuum Technology and Thin Films Research Laboratory ; VTTF)" เพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง โดยจะมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยและพัฒนาใน 3 ด้านหลักคือ (1) ด้านฟิสิกส์และเทคโนโลยีสุญญากาศ (vacuum physics and technology) (2) ด้านเทคโนโลยีฟิล์มบาง (thin films technology) และ (3) ด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (applications of vacuum technology and thin films) และยังจัดให้มี (4) หน่วยบริการวิชาการด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (vacuum technology and thin films services unit) ทำหน้าที่ให้บริการวิชาการแก่หน่วยงานและบุคคลที่สนใจทั่วไป ตลอดจนเพื่อสนับสนุนการเรียนการสอนของภาควิชาฟิสิกส์ในสาขานี้ โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากแหล่งทุนต่าง ๆ เช่น สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ฝ่าย 5) งบประมาณแผ่นดิน/งบประมาณรายได้ ของมหาวิทยาลัยบูรพา ฯลฯ

สำหรับวัตถุประสงค์ของห้องปฏิบัติการวิจัยฯ นี้จะครอบคลุมตั้งแต่ (1) การศึกษาวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (2) การศึกษาวิจัยและพัฒนา เพื่อสร้างชิ้นส่วนเครื่องมือและอุปกรณ์ สำหรับงานด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ (3) การศึกษาวิจัยและพัฒนาการประยุกต์ใช้ฟิล์มบางสำหรับงานด้านต่าง ๆ เช่น การเคลือบแข็ง การเคลือบเพื่อความสวยงาม การเคลือบฟิล์มบางแสง การเคลือบฟิล์มบางสำหรับงานอิเล็กทรอนิกส์ (4) ส่งเสริมและพัฒนาบุคลากรของประเทศด้านเทคโนโลยี

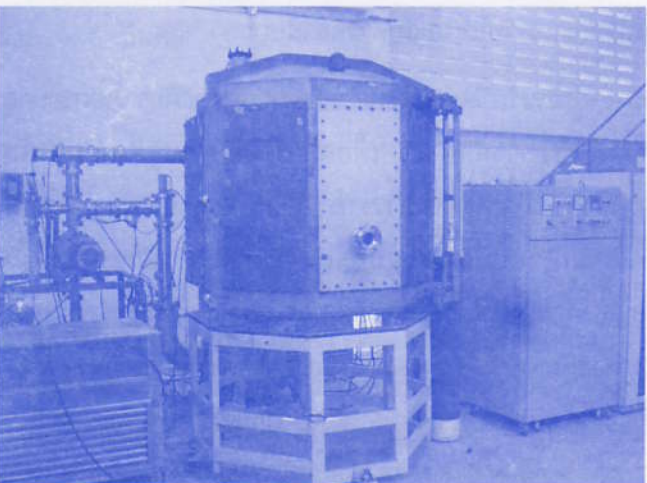
*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี



เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสเป็คเตอรืงสำหรับงานวิจัยพื้นฐาน



เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสเป็คเตอรืงสำหรับงานวิจัย
ต้นแบบอุตสาหกรรม



เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสเป็คเตอรืงสำหรับงานเคลือบ
ต้นแบบ ระดับอุตสาหกรรม

สุญญากาศและฟิล์มบาง (5) ให้บริการวิชาการด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางแก่หน่วยงานและบุคคลทั่วไป และ (6) เป็นแหล่งสนับสนุนด้านการเรียนการสอนและการวิจัยในสาขาเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางของประเทศ

ในส่วนของการดำเนินงานด้านการวิจัยและพัฒนา ห้องปฏิบัติการวิจัยฯ แบ่งกิจกรรมออกเป็น 2 กิจกรรมหลัก ดังนี้คือ

(1) การวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีสุญญากาศ เน้นการวิจัยและพัฒนาเพื่อออกแบบสร้าง ชิ้นส่วนอุปกรณ์พื้นฐานและจำเป็นในงานด้านสุญญากาศ โดยเน้นการใช้วัสดุในประเทศเป็นหลักเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ แบ่งเป็น กลุ่มวิจัยและพัฒนาชิ้นส่วน/อุปกรณ์ด้านสุญญากาศ (vacuum parts and accessory) เป็นการออกแบบสร้างชิ้นส่วนพื้นฐานของงานด้านสุญญากาศทั้งหมดตั้งแต่ ภาชนะสุญญากาศ เครื่องสูบลสุญญากาศ ท่อ วาล์วสุญญากาศ ชุดควบคุมระบบสุญญากาศ ฯลฯ กลุ่มวิจัยและพัฒนาเครื่องเคลือบในสุญญากาศ (vacuum coater) เป็นการศึกษาถึงฟิล์มและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและจำเป็นสำหรับการออกแบบ สร้างและซ่อมบำรุง เครื่องเคลือบในสุญญากาศ ทั้งในระดับวิจัยและระดับอุตสาหกรรม ฯลฯ

(2) การวิจัยและพัฒนาด้านเทคโนโลยีฟิล์มบาง เน้นการศึกษาวิจัยด้านฟิล์มของฟิล์มบางและการใช้งานลักษณะต่าง ๆ แบ่งเป็น กลุ่มศึกษาการเตรียมและหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง (growth and characterization of thin films) เป็นการศึกษาตั้งแต่เทคนิค กระบวนการเตรียม ตลอดจนสมบัติและลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง กลุ่มการเคลือบแข็ง (hard coating) เป็นการเคลือบเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของชิ้นงานเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เช่นการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไนไตรด์ (TiN) บน มีดกลึงหรือ ดอกสว่าน เพื่อยืดอายุการใช้งาน ฯลฯ กลุ่มการเคลือบเพื่อความสวยงาม (decorative coating) เป็นการเคลือบเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงผิวของชิ้นงานให้มีความสวยงาม เช่น การเคลือบโลหะมีค่าบนชิ้นงานราคาถูก เช่น การเคลือบทองคำบนชิ้นงานปกติแล้วเคลือบทับด้วยฟิล์มบางอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ซึ่งมีสมบัติเด่นคือเป็นฟิล์มบางที่ใสและมีความแข็งแรงทนการขีดข่วนดีทำให้เห็นผิวของทองคำที่สวยงาม และ กลุ่มการเคลือบฟิล์มบางแสง (optical coating) เป็นการเคลือบเพื่อปรับปรุงสมบัติทางแสงของ

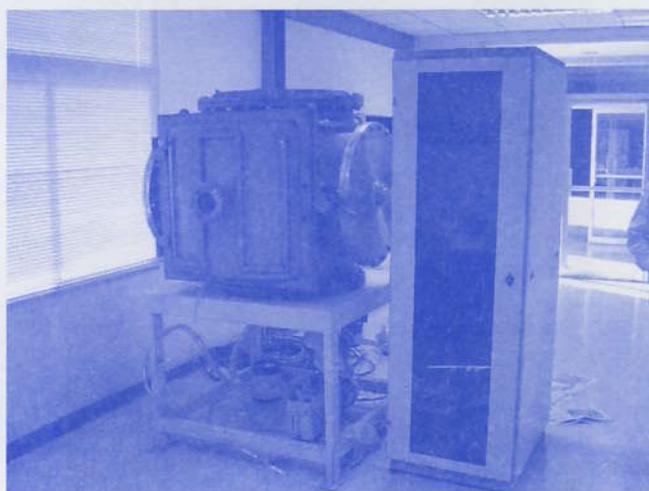
ชิ้นงานให้มีสมบัติตามต้องการ เช่น การเคลือบกระจกให้ส่งผ่านเฉพาะบางความยาวคลื่น หรือการเคลือบกันสะท้อน (anti-reflection) หรือ การเคลือบกระจกสะท้อนความร้อน (heat mirror) ซึ่งทำได้โดยการเคลือบฟิล์มบางไดอิเล็กทริกสลับกับฟิล์มบางโลหะ เป็นต้น

พร้อมกันนี้ห้องปฏิบัติการวิจัยฯ ยังจัดให้บริการวิชาการในลักษณะต่าง ๆ เช่น การเปิดให้บุคคลต่าง ๆ ได้เข้าศึกษาเยี่ยมชมเครื่องเคลือบและรับฟังการบรรยายเกี่ยวกับเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง เปิดโอกาสให้นักศึกษาจากสถาบันต่าง ๆ เข้าใช้เครื่องเคลือบในสุญญากาศของห้องปฏิบัติการวิจัยฯ ทำวิจัยรวมถึงยังจัดการอบรมแก่บุคคลทั่วไปในหัวข้อต่าง ๆ เช่น "เทคโนโลยีสุญญากาศกับการประยุกต์ทางอุตสาหกรรม" "การเคลือบในสุญญากาศกับการประยุกต์ทางอุตสาหกรรม" และ "การวิจัยและพัฒนาการเคลือบผิวโลหะด้วยวิธีสปีดเตอริง" นอกจากนี้ยังจัดอบรมเรื่อง "เทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางพื้นฐาน" แก่บุคลากรของ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด จำนวน 4 รุ่น และ บริษัท เวสเทิร์นดิจิิตอล (บางปะอิน) จำกัด จำนวน 3 รุ่น นอกจากนี้ยังมีการให้คำแนะนำ/ปรึกษาด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางเพื่อแก้ปัญหาด้านการผลิต ตลอดจนทำการศึกษาวิจัยต้นแบบสำหรับสถาบันการศึกษาและภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องภายในประเทศอีกหลายแห่ง

ปัจจุบันห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบางมีผลงานวิจัยและพัฒนาที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารและการประชุมวิชาการทั้งในระดับนานาชาติและระดับประเทศกว่า 60 เรื่อง (ตั้งแต่ปี พ.ศ.2542) ครอบคลุมทั้งงานด้านเทคโนโลยีสุญญากาศและงานด้านเทคโนโลยีฟิล์มบาง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยต้นแบบสำหรับภาคอุตสาหกรรมบางส่วน รวมถึงการออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบในสุญญากาศขนาดต่าง ๆ ด้วยวัสดุและช่างฝีมือในประเทศจำนวน 8 เครื่อง สำหรับงานในระดับต่าง ๆ ตั้งแต่งานวิจัยพื้นฐาน จำนวน 4 เครื่อง งานวิจัยต้นแบบสำหรับอุตสาหกรรม จำนวน 2 เครื่อง และงานเคลือบต้นแบบระดับอุตสาหกรรม จำนวน 2 เครื่อง และจากการทำงานวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานของคณะนักวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยฯ ทำให้โครงการวิจัย ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก สกว. (ฝ่าย 5) จำนวน 3 โครงการ ได้แก่ โครงการการวิจัยและพัฒนาการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีสปีดเตอริงสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ (2543) โครงการการวิจัยและพัฒนาเครื่องเคลือบในสุญญากาศเพื่อการศึกษาและฝึกอบรม



เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสปีดเตอริงสำหรับงานวิจัยต้นแบบอุตสาหกรรม



เครื่องเคลือบในสุญญากาศระบบสปีดเตอริงสำหรับงานเคลือบต้นแบบระดับอุตสาหกรรม

(2545) และโครงการการวิจัยและพัฒนาการเคลือบฟิล์มบางหลายชั้นของไททาเนียมไนไตรด์/ทองคำด้วยวิธีสปีดเตอริงไอออนเพลตติงสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ (2545) ถูกนำไปใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรม และได้รับคัดเลือกให้เป็นหนึ่งในผลงานวิจัยเด่น สกว.ประจำปี 2547 ซึ่งมีการมอบรางวัลไปเมื่อวันที่ 17 มกราคม 2548

สำหรับผู้สนใจสามารถติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131. โทรศัพท์/โทรสาร (038) 745-900 ต่อ 3084 หรือ <http://vtff.buu.ac.th> หรือ e-mail: nirun@buu.ac.th





พ่อ (Hermann) ไฮน์ริชเคสเลอร์
พ่อเป็นคนมีเมตตา กรุณา โอบอ้อมอารี
และฉลาดรอบรู้



แม่ (Pauline) มีความรู้ทางด้านวรรณคดี
และดนตรีสูง เล่นเปียโนได้ ไฮน์ริช
ได้อุปนิสัยรักดนตรีจากแม่



ไฮน์ริชอายุ 17 ปี ขณะเป็นนักศึกษา
ที่ Aarau สหพันธรัฐสวิส



น้องสาว (Maja) ตอนไปเรียนหนังสือ
ด้วยกันที่ Aarau



กับภรรยาคนแรก (Mileva Maric) และลูกชายคนโต (Hans Albert)
ที่กรุงเบิร์น สหพันธรัฐสวิส



ลูกชายทั้งสองคน Hans Albert(ขวา)กับ Eduard(ซ้าย) [ค.ศ.1917]



ภรรยาคนที่สอง Elsa Lowenthal



และลูกสาวของเธอทั้งสอง Ilse (ซ้าย) กับ Margot (ขวา)



ห้องทำงานที่กรุงเบอร์ลิน (ค.ศ. 1927) ท่านผู้อ่านพอจะเดาได้หรือไม่ว่า
รูปที่เห็นแขวนอยู่ข้างฝา ซ้ายมือ เป็นรูปอะไร (โปรดอดดูเฉลยฉบับหน้า)



รักตนตรี เล่นได้ทั้งไวโอลิน และเปียโน
(ณ โรงแรมที่เมืองนารา ประเทศญี่ปุ่น ค.ศ.1922)



ท่านพันทรรณาท ฐาทร วะไปเยียม
ที่กรุงเบอร์ลิน (ค.ศ. 1930)



กับชาติ แบลิน วันเปิดฉายรอบปฐมทัศน์ภาพยนตร์
เรื่อง City Lights (ค.ศ. 1931)



Irene Joliot - Curie วะมาเยียมเพื่อนเก่าของแม่ (มาตามคูรี)
[ค.ศ. 1948]



ในห้องเล็กเซอร์ที่ Institute for Advanced Study มหาวิทยาลัยพรินซ์ตัน
ไอน์สไตน์ไม่เคยเกษียณจากฟิสิกส์



บ้านปลายชีวิตกับสมาชิกในครอบครัวที่เหลือคือ Margot(คนกลาง)
และเลขา คู่บุญ Helene Dukas

Einstein Relation

สมศร สิงขรัตน์

ตอนเรียนอยู่ที่ Zurich Polytechnic (หรือในชื่อย่อ ETH Zurich ในปัจจุบัน) ครูบาอาจารย์ที่นั่น รู้กันดีว่าลูกศิษย์ที่ชื่อ ไฮน์สไตน์ไม่ค่อยชอบเข้าฟังเล็กเชอร์ ดีว่ามีเพื่อนอย่าง Marcel Grossmann (1878-1936) คอยให้ยืมเล็กเชอร์โน้ต ถึงเรียนจบมาได้ ไฮน์สไตน์จะทุ่มเทเฉพาะแต่เรื่องที่ตัวเองสนใจ ทั้งฟิสิกส์และปรัชญา วิชาหนึ่งที่ไฮน์สไตน์ศึกษาเองจนเชี่ยวชาญ คือ ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้าของแมกซ์เวลล์ เพราะอาจารย์ฟิสิกส์ที่วิทยาลัยยังไม่เอามาสอน และเชื่อกันว่านี่คือจุดเด่นที่ขมขื่นด้วยอื่นๆ ช่วยให้ไฮน์สไตน์ผ่านสอบสัมภาษณ์ได้งานทำที่ Patent Office ในกรุงเบิร์น เมื่อปี 1901 (แต่เริ่มทำงานจริงเมื่อ 23 มิถุนายน 1902) และมาถึงช่วงนี้ไฮน์สไตน์ก็กลายเป็นผู้เชี่ยวชาญ Thermodynamics ไปอีกวิชาด้วย บางเอกสารระบุว่าไฮน์สไตน์ขึ้นชื่อบงานของ Boltzmann เมื่อเทียบกับนักฟิสิกส์ดังๆ คนอื่นของยุคนั้น ส่วนหนึ่งอาจเป็นเพราะ Boltzmann เป็นนักปรัชญาด้วย ขำว่าเมื่อตอนที่ Boltzmann กลับไปเป็นอาจารย์ที่มหาวิทยาลัยเวียนนา ในปี 1901 นอกจากสอนฟิสิกส์และคณิตศาสตร์แล้ว Boltzmann ยังไปสอนวิชาปรัชญาแทน Ernst Mach (1836-1916) ที่เกษียณออกไปเพราะปัญหาสุขภาพ ปรากฏว่าได้รับความนิยมมาก จนนักศึกษาล้นห้องบรรยาย

ในช่วงเวลานั้น วงวิชาการในยุโรป กำลังมีข้อถกเถียงกัน



รูปที่ 1 Ludwig Boltzmann (1844-1906) สถาปนิกคนสำคัญที่สร้างวิชา Statistical Mechanics เชื่อกันว่าสาเหตุสำคัญส่วนหนึ่งที่ Boltzmann กระทำอัตวินิบาตกรรม มาจากการต่อต้านของเหล่าสาวกจากสำนัก Mach

ในแนวคิดเรื่องอะตอมและโมเลกุล โดยเฉพาะในแง่ละแวกประเทศเยอรมันนี่ มีการต่อต้านค่อนข้างเข้มข้น ทั้งนี้เพราะยังมีความเชื่อตามสำนักปรัชญาอันทรอทิฟของ Mach ที่จะเชื่อในสิ่งที่สามารถสังเกตได้โดยตรงเท่านั้น (แต่ในประเทศอังกฤษกลับไม่มีปัญหา อาจเป็นเพราะอิทธิพลของนิวตันและดัลตันที่ก็เชื่อในแนวคิดเรื่องอะตอม) Boltzmann ไม่แต่เพียงเชื่อเรื่องอะตอมและโมเลกุลยังนำมาใช้จริงในงานวิชาการของตัวเอง ไฮน์สไตน์ก็คงเป็นเหมือนกับนักฟิสิกส์รุ่นใหม่ของยุคนั้น เช่น Arnold Sommerfeld (1868-1951) เป็นต้น ที่เชื่อเช่นเดียวกับ Boltzmann ดังจะเห็นได้เป็นอย่างดีจากผลงานเรื่อง Brownian motion

ในเรื่องการเคลื่อนที่แบบบราวน์นั้น อนุภาคขนาดเล็กมาก (จนต้องดูผ่านกล้องจุลทรรศน์) ที่อยู่ในของเหลวที่อยู่นิ่งสนิทถูกระดมชนแบบสุ่มด้วยโมเลกุลของของเหลว (ที่มองไม่เห็นแม้ใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วย) บังเกิดการแปรปรวนแบบสุ่ม (random fluctuation) ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มตามไปด้วย เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคจะมีตำแหน่งแห่งหนดังแสดงในรูปที่ 2

ไฮน์สไตน์ประยุกต์ใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สมาศึกษาเรื่องนี้ โดยใช้ค่าเฉลี่ยของการกระจัดตามแนวแกน ยกกำลังสองเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ที่สังเกตเห็นได้ของอันตรกิริยาที่เกิดจากพฤติกรรมในระดับจุลภาคที่มองไม่เห็น กล่าวคือ

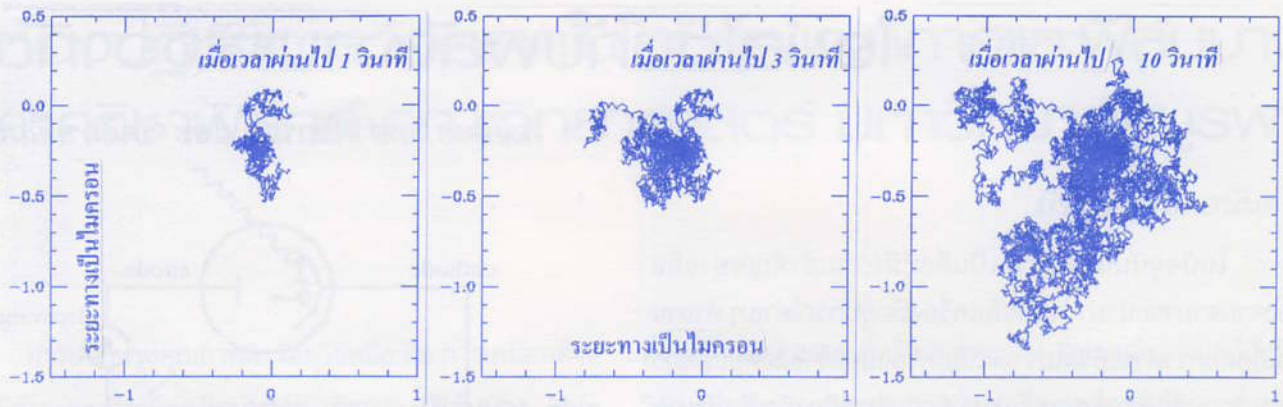
$$\langle x^2 \rangle = 2Dt \quad (1)$$

โดย t คือเวลาที่ปล่อยให้อนุภาคเคลื่อนที่ไป และ D คือค่า diffusion constant ของอนุภาค (บางทีก็เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า "square-root law of Brownian motion")

ไฮน์สไตน์ได้หาค่า D ไว้ให้ด้วย ซึ่งต่อมาเรียกขานกันว่า "Einstein Relation"

$$D = \frac{kT}{\zeta} \quad (2)$$

เมื่อ k คือ Boltzmann's constant, T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของของเหลว และ ζ คือ drag coefficient



รูปที่ 2 รอยทางจำลองของการเคลื่อนที่แบบบราวน์ของอนุภาคตัวหนึ่งที่มีค่า $D = 0.16$ ไมครอน²/วินาที ที่ฉายเงาลงบนระนาบ $x-y$ ตอนเริ่มต้น ($t = 0$) อนุภาคอยู่ที่ตำแหน่ง $(x,y) = (0,0)$

ในการคำนวณไอน์สไตน์ให้อนุภาคมีรูปร่างกลม จึงสามารถใช้กฎของ Stokes (1851) ได้ เพราะเป็นกรณีที่มีค่า Reynold's number ต่ำเหมือนกัน นั่นคือ

$$\zeta = 6\pi\eta R \quad (3)$$

เมื่อ R คือ รัศมีของอนุภาคและ η คือค่าความหนืด (viscosity) เช่น ค่า η ของน้ำคือ 0.01 Poise หรือ 0.001 Pa.sec

เมื่อแทนค่าสมการ (2) และ (3) ในสมการ (1) ก็จะได้ว่า

$$\langle x^2 \rangle = \frac{kT}{3\pi\eta R} t \quad (4)$$

สมการนี้ เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาเรื่องการแพร่ (diffusion) เช่น บอกว่า การแพร่นั้นแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิ แต่ผกผันกับความหนืดของตัวกลาง อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า จะแพร่ได้ดีกว่า เช่น อนุภาคที่มีรัศมี 1 ไมครอน อยู่ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง จะมีค่า $D = 0.2$ ไมครอน²/วินาที ในช่วงเวลา 5 วินาทีจะเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 3 Jean Baptiste Perrin (1870-1942) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้รับรางวัลโนเบลในปี 1926 จากผลงานการวิจัยที่สืบเนื่องมาจากการทดลองเรื่องการเคลื่อนที่แบบบราวน์

ระยะทางประมาณ 1.4 ไมครอน แต่ในเงื่อนไขเดียวกันสำหรับอนุภาคที่มีรัศมีเพียง 1 นาโนเมตรจะมี $D = 200$ ไมครอน²/วินาที และมีระยะทางของการเคลื่อนที่มากกว่าอนุภาคตัวแรกประมาณ 32 เท่า

ในปี 1908 Perrin เริ่มต้นทำการทดสอบทฤษฎีของไอน์สไตน์โดยทำเม็ดอนุภาคกลมที่เล็กมาก แต่รู้ขนาดและความหนาแน่นที่แน่นอนจากยางไม้ gamboge Perrin ใช้เวลาหลายปีในการเก็บข้อมูล ผลสัมฤทธิ์ที่เป็นรูปธรรมนอกเหนือจากการยืนยันความถูกต้องสมบูรณ์ของทฤษฎีของไอน์สไตน์ ก็คือเป็นการเสนอวิธีการใหม่ที่เป็นอิสระ ในการทดลองหาค่าของ Avogadro's number [Perrin คือผู้ที่เสนอให้เรียกตัวเลขจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลต่อกรัมโมลนี้ว่า Avogadro's constant ($N_A = \text{Universal gas constant} / k$) ในบทความเรื่อง "Brownian Movement and Molecular Reality" ที่ตีพิมพ์ในปี 1909] ซึ่งสามารถโยงไปหาจำนวนโมเลกุลในหนึ่งหน่วยมวลของของเหลวได้ และนั่นคือการยืนยันที่หนักแน่นต่อการมีตัวตนอยู่จริงของอะตอมและโมเลกุล

ถ้าใช้ความเท่าเทียมกัน อาจดูว่าผลงานเรื่องการเคลื่อนที่แบบบราวน์ด้อยค่าการศึกษามากกว่าผลงานเรื่องทฤษฎีสัมพัทธภาพ แต่ในโลกของความเป็นจริงและในโลกของนักปฏิบัติ ผลงานเรื่อง Brownian motion นี้ กลับได้รับการอ้างอิงและเอาไปใช้จริงมากกว่า ทั้งนี้เป็นเพราะมีประโยชน์ต่อหลายวงการทั้งฟิสิกส์, เคมี, ชีววิทยา, chemical engineering, colloidal science, เภสัชกรรม, อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากนม, หรือแม้แต่การจราจรและตลาดหุ้น (ใช้สร้างแบบจำลองการแปรปรวนของราคาหุ้น)

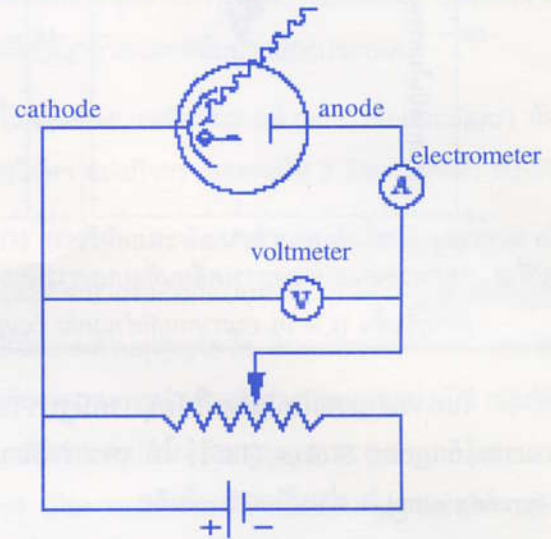


ไอ้สไตน์กับพลังงานแสงอาทิตย์

ยงยุทธ เหล่าศิริถาวร และ รัตติกร ยิ้มนิรัญ

ในปัจจุบันนี้พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถนำมาจ่ายให้กับเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ ทำงานเพื่อเอื้อต่อการดำรงชีวิตไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือสร้างสิ่งตอบสนองพื้นฐานความต้องการของมนุษย์(เช่นปัจจัยสี่) เครื่องมือเพื่ออำนวยความสะดวกสบายและเพื่อความบันเทิง (เช่นยวดยานพาหนะเพื่อการคมนาคม เครื่องมือสื่อสารโทรคมนาคม) หรือจนไปถึงเครื่องมือทางการแพทย์เพื่อช่วยชีวิต พลังงานในรูปแบบที่แพร่หลายที่สุดรูปแบบหนึ่งในปัจจุบันคือพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากความสะดวกในการกักเก็บและการแปลงรูปให้เป็นพลังงานอื่นในการใช้งานโดยทั่วไป (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา) พลังงานไฟฟ้ามักจะผลิตจากจากพลังงานความร้อน (ผ่านพลังงานกล) จากเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน และแก๊สธรรมชาติ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิงในทุกวันนี้มีราคาที่สูงขึ้น (โดยเฉพาะปัจจัยกระทบจากการเมืองของประเทศมหาอำนาจกับกลุ่มประเทศผู้ผลิต) เป็นพลังงานสิ้นเปลืองอันจะหมดสิ้นไปในเวลาไม่นานเมื่อเทียบกับอายุขัยของโลกที่เหลืออยู่และก่อให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมของโลกในแง่ของปรากฏการณ์เรือนกระจก (ทำให้โลกร้อนขึ้น) ดังนั้นจึงได้เริ่มพิจารณาถึงแหล่งพลังงานอื่น ๆ ที่สะอาด (ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม) ที่สามารถนำมาทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้และเป็นพลังงานใช้ไปได้นาน (sustainable energy) เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ (เช่นจากเขื่อน) พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามสืบเนื่องจากความแปรปรวนของทั้งบรรยากาศโลกและตัวโลกเองทำให้การสร้างโรงไฟฟ้าจากพลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานความร้อนใต้พิภพเอง ไม่สามารถกระทำได้อย่างสะดวก เช่น การเปลี่ยนทิศของลมมรสุมเนื่องจากอุณหภูมิโลกที่เปลี่ยนไป หรือการเลื่อนของเปลือกโลกที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวอันจะทำความเสียหายต่อเขื่อนผลิตไฟฟ้า ส่วนพลังงานความร้อนใต้พิภพเมื่อเทียบกับพลังงานอื่น ๆ จัดอยู่ในสเกลที่นำมาใช้งานได้น้อยมากและยังขึ้นกับสภาวะภูมิประเทศเป็นหลัก ด้วยเหตุนี้พลังงานทดแทนที่จัดได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญในทศวรรษนี้คือพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาด สาดส่องไปทุกที่ และดวงอาทิตย์ยังคงอยู่กับมนุษย์

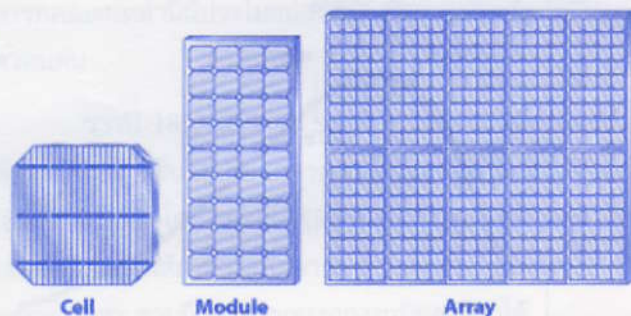


รูปที่ 1 การทดลองปรากฏการณ์ทางแสงที่ตกกระทบโลหะแล้วก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหล

ไปอีกนาน

พลังงานแสงแดดสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ เช่น การนำพลังงานแสงแดดไปให้สารทำงาน (เช่นน้ำ) เกิดความร้อนเป็นไอไปขับเคลื่อนกังหันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่เนื่องจากต้องใช้พื้นที่มากและการพัฒนาในแง่ประสิทธิภาพมีความจำกัดมาก ดังนั้นการเปลี่ยนพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นที่นิยมมากกว่าคือใช้สารกึ่งตัวนำรับแสงแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเลย ซึ่งปรากฏการณ์ธรรมชาติเช่นนี้ (คือ สารบางชนิดเมื่อได้รับแสงจะส่งไฟฟ้าออกมา) ถูกค้นพบมานานกว่าศตวรรษโดย Heinrich Hertz และเริ่มทำการวัดอย่างจริงจังโดย Philipp Lenard ในปี ค.ศ. 1899 (รูปที่ 1) แต่ก็ไม่สามารถอธิบายได้ว่าทำไมเฉพาะแสงความถี่อย่างน้อยค่าหนึ่ง ๆ จึงจะสามารถกระตุ้นให้โลหะชนิดหนึ่ง ๆ ปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ ถ้าใช้ทฤษฎีแบบฉบับ (classical theory) ที่ว่าแสงเป็นคลื่น ดังนั้นไม่ว่าจะมีความถี่เท่าไรถ้าปล่อยไปสักพัก (หรือเพิ่มความเข้มแสงขึ้น) โลหะน่าจะเกิดการสะสมพลังงานแล้วปล่อยอิเล็กตรอนออกมาได้ แต่ในความเป็นจริงเหตุการณ์เช่นนี้ไม่เกิดขึ้น นอกจากนี้หากสมมติให้ทฤษฎีแบบฉบับใช้ได้จริง เพียงแค่เรามองดูแสงจากดวงจันทร์ (ในเวลาที่นานพอ) ดวงตาของเราก็อาจได้รับพลังงานสูงจนไหม้เกรียมได้

จวบจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1905 Albert Einstein ได้เสนอ

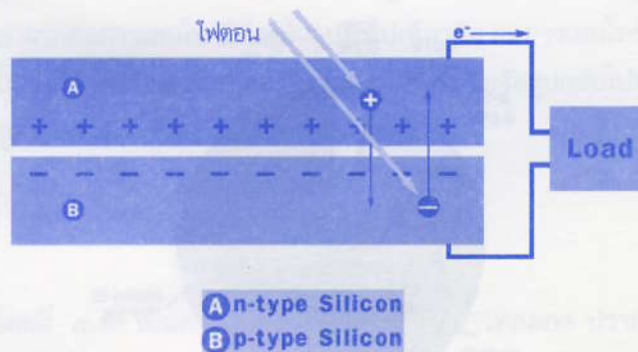


รูปที่ 2 แผงรับเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์ย่อยประกอบกัน [1]

ความเป็นควอนตัมของพลังงานแสงในแง่ของกลุ่มก้อนพลังงานคือโฟตอนซึ่งนำไปสู่คำตอบของปรากฏการณ์ดังกล่าว (และทำให้ Albert Einstein ได้รับรางวัลโนเบลจากการค้นพบนี้ในเวลาต่อมา) คือเมื่อโฟตอนที่มีความถี่ที่เหมาะสม(เท่านั้น) ส่องกระทบโลหะจะส่งถ่ายพลังงานให้อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานสูงพอจะเอาชนะพลังงานยึดเหนี่ยวภายในจนหลุดออกมาจากอะตอม ปรากฏการณ์เช่นนี้ได้รับชื่อว่าโฟโตอิเล็กทริก (photoelectric effect) อันมีรูปแบบสมการ คือ $hf - W = E_k$ เมื่อ h คือ ค่าคงที่ของพลังค์, W คือ ค่าฟังก์ชันงานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานยึดเหนี่ยวระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอม และ E_k คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนที่ปรากฏหลังจากหลุดออกมาจากอะตอม ดังนั้นจะพบว่าถ้าอิเล็กตรอนจะหลุดออกมาได้ค่า hf จะต้องสูงกว่าค่าฟังก์ชันงานเท่านั้น (ไม่ขึ้นกับความเข้มแสงและเวลาที่ใช้สาดส่องเลย)

อย่างไรก็ตามในการนำมาประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน พลังงานของแสงไม่จำเป็นต้องถึงขนาดที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดมาจากอะตอม เพียงแค่สามารถกระโดดจากแถบวาเลนซ์มาสู่แถบการนำผ่านช่องว่างแถบพลังงาน (energy gap) แล้วให้ความต่างศักย์ภายนอกเพื่อบังคับทิศทางการไหลของประจุก็สามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ ถ้าทำไฟฟ้าเหล่านี้ในปริมาณที่มากพอก็จะสามารถนำไปจ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้ในบางเวลาที่ยังไม่มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าก็อาจจะนำกระแสไปจัดเก็บลงในแบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้งานในเวลาที่ต้องการ เช่น เวลากลางคืนที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ซึ่งแผงอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้า (เซลล์แสงอาทิตย์) โดยทั่วไปจะประกอบขึ้นจากหลายๆเซลล์มาต่อกันเป็นชุด (โมดูลและอะเรย์) ดังแสดงในรูปที่ 2

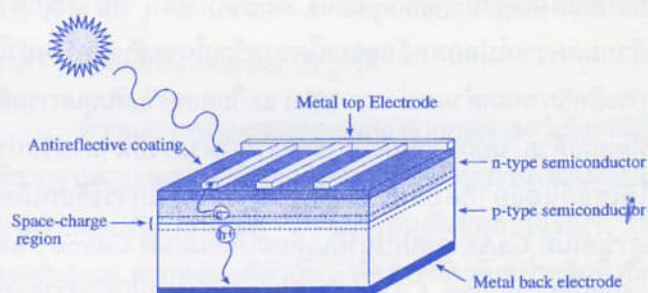
สารที่นิยมนำมาใช้ในส่วนรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์นี้



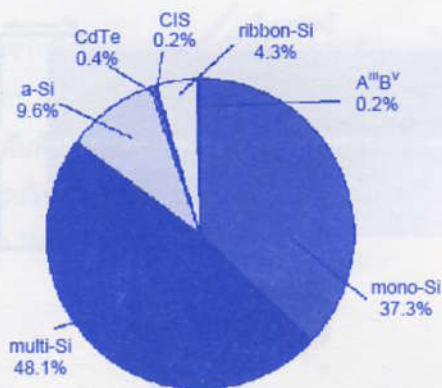
รูปที่ 3 การทำงานของสารกึ่งตัวนำในเซลล์แสงอาทิตย์[2]

คือสารกึ่งตัวนำซึ่งส่วนใหญ่ในปัจจุบันคือเป็นสารซิลิกอนซึ่งเมื่อทำการเจือด้วยสารหมู่สาม เช่น โบรอน ก่อให้เกิดเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทเอ็น(n-type) และถ้าทำการเจือด้วยสารหมู่ห้า เช่น ฟอสฟอรัสจะได้เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทพี (p-type) เมื่อนำสาร n-type และ p-type นี้มาทำเป็นรอยต่อพี-เอ็น เมื่อมีโฟตอนที่มีความถี่เหมาะสมตกกระทบจะเกิดการไหลของพาหะไฟฟ้า คือ อิเล็กตรอนและโฮลก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลนั่นเองดังแสดงในรูปที่ 3

เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพในแง่พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเทียบกับพลังงานแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับในปัจจุบันจะพบเพียงแค่ 15% หรือต่ำกว่าเท่านั้น (ในทางทฤษฎีควรจะได้ถึง 25%) สาเหตุที่สำคัญคือแสงอาทิตย์ที่สาดส่องประกอบไปด้วยหลายความถี่แต่สารกึ่งตัวนำสามารถใช้ได้เพียงความถี่ที่สอดคล้องกับช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำนั้น (ประมาณ 1.1 eV สำหรับผลึกซิลิกอน) ความถี่ที่ไม่เหมาะสมจะไม่ถูกดูดซับและอาจสูญเสียไปในรูปของความร้อน ดังนั้นเราอาจจะเพิ่มประสิทธิภาพของ



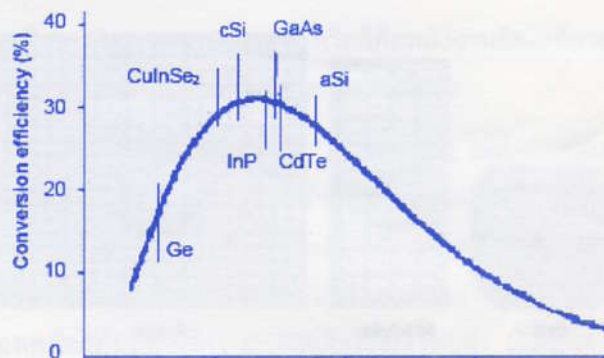
รูปที่ 3 องค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป เริ่มจากชั้นบนสุดเป็นชั้นลดการสะท้อนกลับของแสง มีซิลิคอนวางคั่นเป็นระยะเพื่อรองรับกระแสไฟฟ้า ถัดมาเป็นชั้นสารกึ่งตัวนำและล่างสุดเป็นชั้นรอง(substrate)



รูปที่ 4 สัดส่วนของสารชนิดต่างๆที่นำมาใช้ในเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์[3]

เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารที่มีช่องว่างแถบพลังงานต่ำๆ (จะได้ใช้โฟตอนได้หลายความถี่ขึ้น) แต่เนื่องจากช่องว่างแถบพลังงานก็เป็นตัวกำหนดความแรง (ความต่างศักย์) ของสนามไฟฟ้าด้วย ดังนั้นถ้าเราใช้สารที่มีช่องว่างแถบพลังงานต่ำก็อาจจะได้กระแสเพิ่มขึ้นจริงแต่ความต่างศักย์จะต่ำลง ดังนั้นเราจะต้องค้นหาสารที่ให้ค่ากำลังไฟฟ้า (ผลคูณระหว่างความต่างศักย์และกระแส) ที่ดีที่สุด องค์ประกอบรวมของเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปแสดงได้ดังในรูปที่ 3

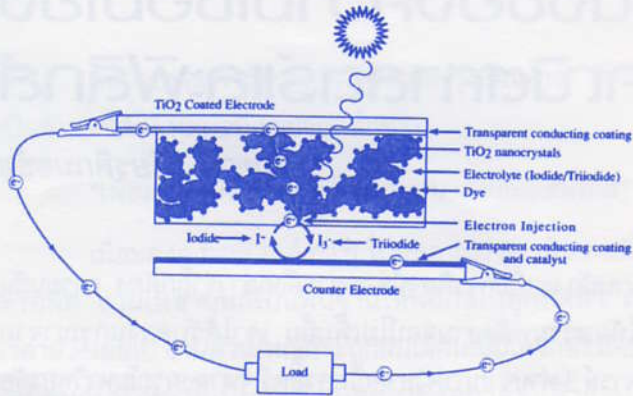
อย่างไรก็ตามสารซิลิกอนผลึกเชิงเดี่ยว (single crystalline silicon) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่มีประสิทธิภาพสูงในการแปลงแสงเป็นไฟฟ้าและมักจะใช้เป็นต้นแบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการศึกษานั้นผลิตได้ยากและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง ดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ จึงได้มีการพิจารณาใช้สารซิลิกอนผลึกเชิงซ้อน (polycrystalline silicon) และสารซิลิกอนอสัณฐาน (amorphous silicon) แทน อย่างไรก็ตาม ด้วยผลความไม่สอดคล้องของโครงสร้างในระดับจุลภาคทำให้ประสิทธิภาพลดต่ำลง (ต่ำกว่า 10%) แต่ก็ขัดแย้งกับต้นทุนการผลิตที่ลดลงด้วย นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาหาสารอื่นๆมาปรับปรุงให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเช่นการใช้แกเลียมอาร์เซไนด์ GaAs, คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ CuInSe₂, และแคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe เป็นต้น สารเหล่านี้มีช่องว่างแถบพลังงานที่ต่างกัน ดังนั้นโดยใช้เทคโนโลยีฟิล์มบาง (thin-films) มาช่วยทำสารกึ่งตัวนำหลายชั้น (โดยแต่ละชั้นเป็นสารคนละชนิดกัน) โดยที่ชั้นแรกมีช่องว่างแถบพลังงานสูงสุดแล้วลดหลั่นกันลงมา ดังนั้นโฟตอนที่มิพพลังงานสูงจะถูกดูดซับพลังงานจากชั้นแรกก่อนส่วนโฟตอนที่มิพพลังงานต่ำกว่าจะถูกดูดกลืนในชั้นถัดๆ ไป



รูปที่ 5 ประสิทธิภาพสูงสุดในทางทฤษฎีในการแปลงแสงเป็นไฟฟ้าที่ขึ้นกับช่องว่างแถบพลังงานของสารต่างๆ (หมายเหตุ cSi และ aSi คือ ซิลิกอนผลึกสัณฐานและอสัณฐานตามลำดับ)[3]

ผลลัพธ์ของระบบเช่นนี้ (ที่เรียกว่าเซลล์หลายรอยต่อ, multi-junction cells) ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าหลายสนามมารวมกันเกิดประสิทธิภาพสูงขึ้น สัดส่วนของสารชนิดต่างๆที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปที่ 4 และประสิทธิภาพที่ขึ้นกับช่องว่างแถบพลังงานของสารชนิดต่างๆแสดงในรูปที่ 5

อย่างไรก็ตาม ตะกั่วและแคดเมียมเป็นสารพิษซึ่งไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ รวมทั้งสารตระกูลหมู่ III-IV ที่นำมาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำก็มีราคาแพง จึงได้มีความพยายามหาสารที่มีราคาถูกกว่าและคิดค้นเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเทคโนโลยีหนึ่งที่เป็นที่สนใจคือเทคโนโลยีนาโน ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจากอุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์ Grätzel ซึ่งได้นำเทคโนโลยีนาโนเข้ามาช่วย ในเซลล์นี้จะประกอบไปด้วยชั้นบางๆของอนุภาคไทเทเนียมออกไซด์ TiO₂ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตร) หนาประมาณ 10 ไมโครเมตร มีโมเลกุลที่มีสี (dye molecule) ซึมซาบอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาค TiO₂ ล้อมรอบด้วยของเหลวอิเล็กโทรไลต์ (เช่น สารละลายระหว่างไอโอดีนและไอโอดีน) $I_2 + I^- \rightleftharpoons I_3^-$ ต่อกับขั้วอิเล็กโทรดสำหรับนำไฟฟ้าที่โปร่งใส โดยในหลักการทำงานนั้น โมเลกุลที่มีสี ซึ่งอาจจะเป็นสารที่ได้จากสารอินทรีย์เช่นกรดซิตริก ทำหน้าที่ดูดกลืนพลังงานจากโฟตอนแล้วส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังผลิกระดับนาโนของ TiO₂ เกิดเป็นกระแสไฟฟ้าไหล (รูปที่ 6) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของเซลล์ Grätzel ยังมีค่าต่ำกว่าของผลึกซิลิกอนเชิงพาณิชย์มาก (ประมาณ 7-8% แทนที่จะเป็น 15%) ดังนั้นในปัจจุบันเซลล์ Grätzel ยังคงไม่ใช่คู่แข่งที่สำคัญสำหรับตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เนื่องจากสารอินทรีย์ที่เป็น



รูปที่ 6 การทำงานของเซลล์ Grätzel [4]

โมเลกุลสีนี้มีความไวต่อแสงมากทำให้สามารถใช้งานได้ในที่ร่ม จึงเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบหนึ่งที่น่าสนใจมากและมีการวิจัยเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย นอกจากนี้ในยุโรปเซลล์ชนิดนี้ยังเป็นชุดการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์จากนาโนเทคโนโลยีสำหรับเด็กนักเรียนด้วยเนื่องจากสารโมเลกุลสีเป็นสารอินทรีย์ ปรากฏอยู่ในพืชเช่นองุ่นดำ(blackcurrant) หรือพวกพืชตระกูลชบา(hibiscus) ซึ่งหาได้ง่าย

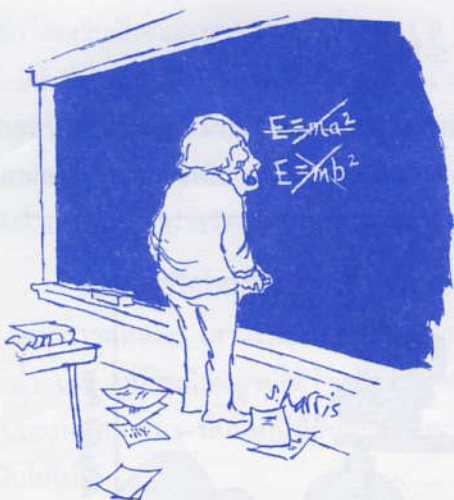
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลจากการศึกษาเรื่องปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกของไอน์สไตน์เป็นคุณูปการทำให้เราทราบเกี่ยวกับพลังงานของแสงที่ขึ้นต่อความถี่และนำมาสู่การค้นหาคำอธิบายที่มี

ช่องว่างแถบพลังงานที่สอดคล้องกัน ผลที่ตามมาทำให้เกิดการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งโดยทั้งทางตรงและทางอ้อมนำมาสู่คุณภาพชีวิตของมนุษย์ที่ดีขึ้น



เอกสารอ้างอิง

1. The U.S. Department of Energy, "Photovoltaics", <http://www.eere.energy.gov/solar/photovoltaics.html>
2. Howstuffworks, "How Solar Cells Work", <http://www.howstuffworks.com/solar-cell.htm>
3. V. Benda, "Solar Cell Physics and Technology", Technical Report, Czech Technical University in Prague
4. NanoLab Department of Physics & Astronomy, The University of Oklahoma, "Solar Cells", Powerpoint presentation, <http://www.nhn.ou.edu>
5. J. Nelson, "The Physics of Solar Cells (Properties of Semiconductor Materials)", (Imperial College Press, London, 2003)
6. D. Cassidy, "Einstein on the Photoelectric Effect", Center for History of Physics, America Institute of Physics, <http://www.aip.org/history/einstein/essay-photoelectric.htm>



EINSTEIN SIMPLIFIED



อีกตัวอย่างหนึ่งของความเชื่อมโยง ระหว่าง คณิตศาสตร์และฟิสิกส์

สมชาย เกียรติกมลชัย

คอลัมน์เรียน เล่น ฟิสิกส์ฉบับนี้ขอเสนอเรื่อง
ราวที่เกี่ยวข้องกับ "การชนและพลังงาน" ซึ่งความรู้ในตำรา
ทั่วไปกล่าวไว้ว่า "เมื่อวัตถุสองชนิดชนกันผลรวมโมเมนตัมเชิงเส้น
จะอนุรักษ์ในขณะที่ผลรวมพลังงานจลน์อาจอนุรักษ์หรือไม่ก็ได้"
คำถามหลังโมเมนตัมการชนของมนุษย์เพราะการชนที่พบเห็น
ทั่วไปในชีวิตประจำวันมักเป็นการชนแบบไม่อนุรักษ์พลังงานจลน์
กล่าวคือพลังงานจลน์มักเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานรูปอื่น เช่น เมื่อ
รถชนกันก็เกิดเสียงดัง (พลังงานเสียง) อาจมีประกายไฟแลบ
ให้เห็น (พลังงานแสง) และก็ยังอาจมีพลังงานมากพอที่จะชน
ต้นไม้ให้ล้มได้อีกหลายต้น (พลังงานกล) ดู ๆ แล้วแทบเป็นไปได้
ไม่ได้เลยที่การชนจะมีพลังงานจลน์รวมมากขึ้น

"เป็นไปได้หรือไม่ที่ผลรวมพลังงานจลน์จะเพิ่มขึ้น?" นี่คือ
คำถามในคอลัมน์เรียน เล่นฟิสิกส์คราวนี้ที่ต้องการหาคำตอบ

เราเริ่มต้นพิจารณาปัญหาในกรณีที่ย่างที่สุดคือการชน
ใน 1 มิติ ให้วัตถุมวล m_1 ความเร็ว u_1 และวัตถุมวล m_2
ความเร็ว u_2 เข้าชนกันภายใน 1 มิติแล้วติดกันไปด้วยความเร็ว v
เรามีสมการหลักคือการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงเส้น

$m_1 u_1 + m_2 u_2 = Mv$ โดยที่ $M = m_1 + m_2$ "เป็นไปได้หรือไม่

ที่เราจะพิสูจน์ว่า $\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 \geq \frac{1}{2} Mv^2$ "

คำถามนี้ได้ถูกกระจายผ่านอีเมลของกลุ่มอาจารย์ใหม่
ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และในเวลา

ไม่นานนัก เราก็มีการพิสูจน์สมการดังกล่าวว่าถูกต้อง การชนกัน
ทำให้ผลรวมพลังงานจลน์ไม่เพิ่มขึ้น เราได้รับความกรุณาจาก
อาจารย์ 3 ท่านจากภาควิชาคณิตศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ซึ่งถือว่าเป็นกระบี่มือหนึ่งเลยก็ว่าได้ ลองติดตามกันดูครับ

แบบที่ 1 โดย ผศ.ดร.ไพศาล นาคมหาสินธุ์

วิธีทำ กำหนดให้ $\vec{A} = (\sqrt{m_1}, \sqrt{m_2})$ และ

$$\vec{B} = (\sqrt{m_1} u_1, \sqrt{m_2} u_2)$$

$$\|\vec{A}\| = \sqrt{m_1 + m_2} = \sqrt{M} \text{ และ}$$

$\|\vec{B}\| = \sqrt{m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2} = \sqrt{2E_i}$ เมื่อ E_i เป็นผลรวม
พลังงานจลน์ก่อนชน เราอาจเขียนปริมาณต่อไปนี้ได้

$$Mv = m_1 u_1 + m_2 u_2 = \vec{A} \cdot \vec{B}$$

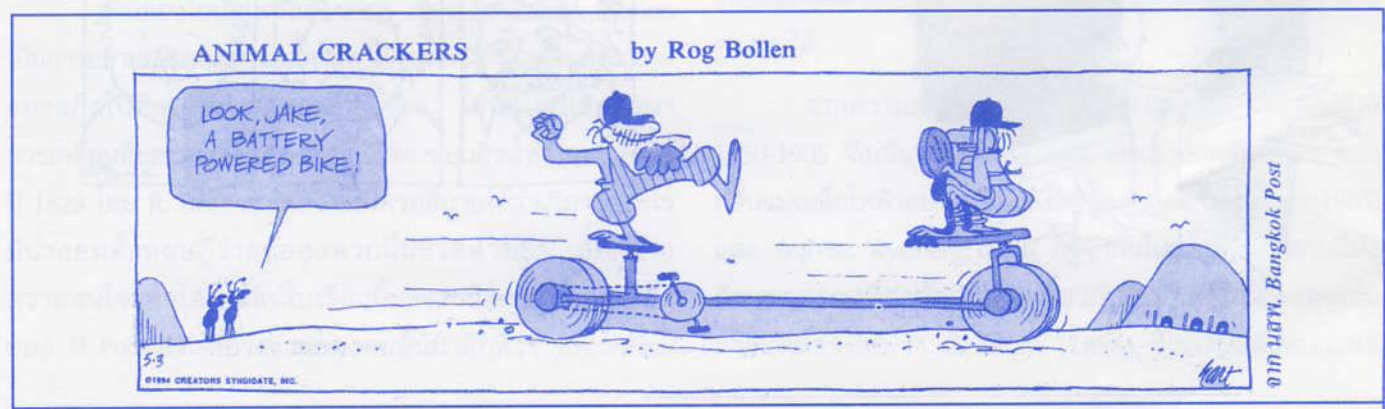
จากความรู้เรื่องเวกเตอร์ที่ว่า $\vec{A} \cdot \vec{B} \leq \|\vec{A}\| \|\vec{B}\|$

$$\text{และ } \|\vec{A}\| \|\vec{B}\| = \sqrt{M} \sqrt{2E_i}$$

ซึ่งทำให้ $\sqrt{M} v \leq \sqrt{2E_i}$ หรือจัดรูปใหม่เป็น

$$\frac{1}{2} Mv^2 \leq E_i$$

แปลได้ว่า ผลรวมพลังงานจลน์หลังชน (เทอมซ้ายมือของ
สมการ) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมพลังงานจลน์ก่อนชน



แบบที่ 2 โดย อ.ดร.ทรงเกียรติ สุเมธกิจการ

วิธีทำ ใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นในเรื่องค่าคาดหวัง (expected value หรือค่าเฉลี่ยแบบมีน้ำหนัก) ดังนี้

กำหนดให้ความเร็ว u_1 มีความน่าจะเป็น (หรือน้ำหนัก) $\frac{m_1}{M}$ และความเร็ว u_2 มีความน่าจะเป็น $\frac{m_2}{M}$

ค่าคาดหวัง (expected value) ของความเร็ว $E[u]$ คำนวณได้จาก

$$E[u] = \frac{u_1 m_1 + u_2 m_2}{M} = v$$

และค่าคาดหวังของความเร็วยกกำลังสองคือ

$$E[u^2] = \frac{m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2}{M}$$

ในเรื่องค่าคาดหวังมีสมการทางคณิตศาสตร์สมการหนึ่งที่ว่า

$$E[u^2] - (E[u])^2 = E[(u - E[u])^2] \geq 0$$

เพื่อให้เข้าใจสมการนี้โดยง่ายเราอาจจินตนาการว่า ถ้าเรามีกลุ่มตัวเลขที่มีทั้งค่าลบและบวก ปริมาณ u คือตัวเลขแต่ละตัว ปริมาณ $E[u^2]$ เป็นการเฉลี่ยปริมาณที่เป็นบวกเท่านั้น (เพราะยกกำลังสองก่อน) ในขณะที่ $(E[u])^2$ เป็นการเฉลี่ยก่อนแล้วจึงค่อยยกกำลังสอง ซึ่งมีโอกาสสูงที่จะให้ค่าน้อยกว่าเพราะเป็นการเฉลี่ยทั้งค่าบวกและลบ

กลับมาที่อสมการกันต่อครับ โดยการใช้สมการดังกล่าว เราจะเห็นได้ว่า $E[u^2] \geq v^2$ ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า $m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2 \geq Mv^2$ เมื่อคูณด้วย 0.5 ทั้งสองข้างของสมการ ก็จะพบว่าผลรวมพลังงานจลน์หลังชนมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมพลังงานจลน์ก่อนชน

แบบที่ 3 โดย ผศ.ดร.พิเชษฐ์ ขาวหา

วิธีทำ ใช้ความรู้เรื่องอสมการโดยกำหนดให้ w_1, w_2, u_1 และ u_2 เป็นจำนวนจริงใด ๆ ซึ่ง $0 \leq w_1 \leq 1, 0 \leq w_2 \leq 1$ และ $w_1 + w_2 = 1$

ในขั้นตอนแรกนี่จะเป็นการแสดงให้เห็นว่า

$$(w_1 u_1 + w_2 u_2)^2 \leq w_1 u_1^2 + w_2 u_2^2$$

โดยพิจารณาปริมาณต่อไปนี้ตามลำดับ

$$\begin{aligned} & w_1 u_1^2 + w_2 u_2^2 - (w_1 u_1 + w_2 u_2)^2 \\ &= w_1 u_1^2 + w_2 u_2^2 - w_1^2 u_1^2 - w_2^2 u_2^2 - 2w_1 w_2 u_1 u_2 \\ &= (w_1 - w_1^2) u_1^2 + (w_2 - w_2^2) u_2^2 - 2w_1 w_2 u_1 u_2 \\ &= w_1 (1 - w_1) u_1^2 + w_2 (1 - w_2) u_2^2 - 2w_1 w_2 u_1 u_2 \\ &= w_1 w_2 u_1^2 + w_2 w_1 u_2^2 - 2w_1 w_2 u_1 u_2 \\ &= w_1 w_2 (u_1^2 + u_2^2 - 2u_1 u_2) \\ &= w_1 w_2 (u_1 - u_2)^2 \\ &\geq 0 \end{aligned}$$

เมื่อพิสูจน์ได้แล้วในลำดับถัดไปเรากำหนดให้

$$w_1 = \frac{m_1}{M}, \quad w_2 = \frac{m_2}{M}$$

เมื่อแทนในอสมการดังกล่าวเราจะได้ว่า

$$\left(\frac{m_1}{M} u_1 + \frac{m_2}{M} u_2 \right)^2 \leq \frac{m_1}{M} u_1^2 + \frac{m_2}{M} u_2^2$$

$$Mv^2 \leq m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2$$

เมื่อเอา 0.5 คูณตลอดก็จะได้พบว่าพลังงานจลน์หลังชนน้อยกว่าผลรวมพลังงานจลน์ก่อนชนนั่นเอง นอกจากนี้พลังงานจลน์รวมจะคงที่ก็ต่อเมื่อ $u_1 = u_2$

บทพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 แบบให้ข้อสรุปตรงกันว่า "การชนแล้วติดกันไป ผลรวมพลังงานจลน์หลังชนมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมพลังงานจลน์ก่อนชนเสมอ" ไม่มีโอกาสมากกว่า

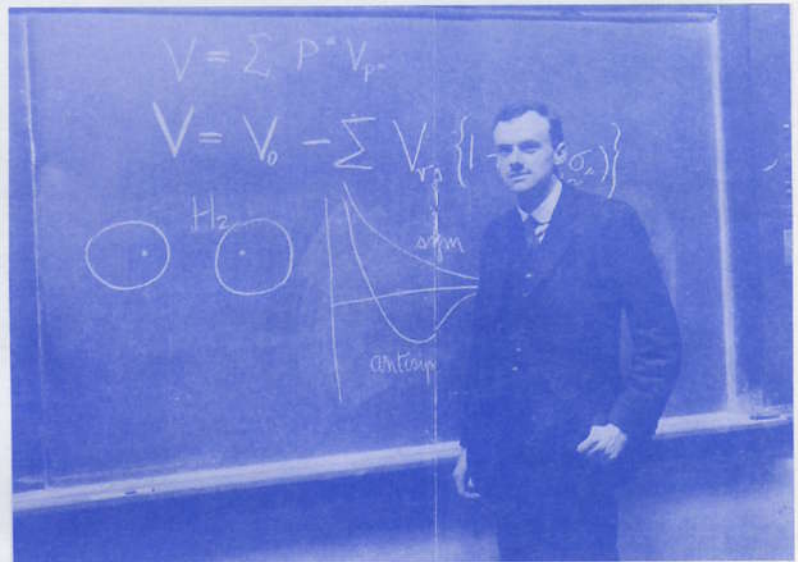
ประเด็นอีกประเด็นหนึ่งซึ่งน่าสนใจและอยากท้าทายท่านผู้อ่านช่วยกันคิดก็คือว่า ข้อมูลจากหนังสือตำราเรียนต่างประเทศ (textbook) หลายเล่มระบุว่านอกจากการชนที่วัตถุสองก้อนติดกันไปจะมีการสูญเสียพลังงานจลน์แล้วยังเป็นการสูญเสียมากที่สุดอีกด้วย ซึ่งในที่นี้ไม่ได้แนะนำใครครับ (อันที่จริง ผศ.ดร.ไพศาล นาคมหาสาสินธุ์ ได้ให้แนวทางไว้แล้วครับ แต่ผมขอยุบไว้ก่อนครับ) ขอบคุณาจารย์ทั้ง 3 ท่านที่ให้ข้อเสนอแนะ ๆ และผู้อ่านที่พยายามอ่านจนจบ

พบกันฉบับหน้าครับ



“ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก

ชาญกิจ คั่นฉ่อง



III. วิธีนิยาม

อย่างเคร่งครัดและความหมาย

ตอนที่ III นี้จะกล่าวถึงวิธีนิยาม “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก อย่างเคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์ตามแนววิธีของ G. Temple (Lighthill, 1970: หน้า 10-29) ซึ่งใช้ลิมิตของการดำเนินการด้วยลำดับของฟังก์ชันธรรมดา และจะอธิบายความหมายด้วยการวิเคราะห์วิธีนิยามนี้ ผมไม่ใช่นักคณิตศาสตร์ ยังไม่สามารถนำเสนออย่างเคร่งครัดเชิงคณิตศาสตร์จริงๆ ได้ ขอเพียงเล่าให้เห็นแนวความคิดคร่าวๆ เท่านั้นครับ

การนิยาม “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก

นิยาม สำหรับฟังก์ชัน $f(x)$ ไคโดบนทุกจำนวนจริง x ที่ต่อเนื่องและมีอนุพันธ์ในทุกอันดับ นิยาม “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก (หรือฟังก์ชันวางนัยทั่วไปดิแรก) $\delta(x - x_0)$ ด้วยผลการดำเนินการต่อฟังก์ชัน ในรูปดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \delta(x - x_0) f(x) \equiv \lim_{N \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} dx \delta_N(x - x_0) f(x) = f(x_0) \quad (3.1)$$

โดยที่ $\{\delta_N(x - x_0)\}$; $N = 1, 2, 3, \dots$ เป็นลำดับของฟังก์ชันบนทุกจำนวนจริง x ที่ต่อเนื่องและมีอนุพันธ์ในทุกอันดับโดยเฉพาะในบริเวณย่านใกล้เคียง (neighbourhood) ของ x_0 , นอกจากนั้น มีขอบเขต (bounded) ในลักษณะที่ $|x - x_0| \rightarrow \infty$, มี

$\delta_N(x - x_0)$ กับอนุพันธ์ในทุกอันดับ $\frac{d^n}{dx^n} \delta_N(x - x_0)$, และ

ทำให้ลิมิต (3.1) เป็นจริง มักเรียก $f(x)$ ที่ถูกดำเนินการด้วย $\delta(x - x_0)$ ว่า ฟังก์ชันทดสอบ (test function)

ข้อสังเกตต่อนิยามนี้

1) ทุกฟังก์ชันในลำดับ $\{\delta_N\}$ มีนิยามของทั้งตัวมันเองและแคลคูลัส (เช่น อนุพันธ์, อินทิเกรต) อย่างแจ่มชัด จึงมีแนวคิดในการนิยาม “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรกและแคลคูลัสของมันด้วยการอาศัยนิยามและแคลคูลัสของฟังก์ชันในลำดับเหล่านี้ แล้วค่อยตั้ง (take) ลิมิต $N \rightarrow \infty$ ภายหลังจากที่ได้อินทิเกรตสิ่งที่อินทิเกรตได้ไปแล้ว จึงจะได้ concept ของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรกและแคลคูลัสของมันออกมา ดังเช่น

- นิยามอินทิเกรตของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก ก็คือ (3.1) โดยอัตโนมัติ

- นิยามอนุพันธ์ของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก ก็ใช้วิธีทำนองเดียวกันดังนี้

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} dx \frac{d}{dx} \delta(x - x_0) f(x) \\ & \equiv \lim_{N \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^{\infty} dx \frac{d}{dx} \delta_N(x - x_0) f(x) \\ & = \lim_{N \rightarrow \infty} \left[- \int_{-\infty}^{\infty} dx \delta_N(x - x_0) \frac{d}{dx} f(x) \right] \text{ (by parts)} \\ & = - \int_{-\infty}^{\infty} dx \delta(x - x_0) \frac{d}{dx} f(x) = - \frac{d}{dx} f(x) \Big|_{x_0} \end{aligned} \quad (3.2)$$

ซึ่งก็ไม่ใช่ฟังก์ชัน แต่เป็น ฟังก์ชันวางนัยทั่วไป เช่นเดียวกัน

โดยค่าที่จุด $x = x_0$ นิยามไม่ได้ทางคณิตศาสตร์ แต่แสดงผลต่อฟังก์ชันทดสอบ $f(x)$ ได้ภายใต้เครื่องหมายอินทิกรัล ดังบรรทัดสุดท้ายของ (3.2)

2) ลำดับ $\{\delta_N(x - x_0)\}$ ที่สอดคล้องกับลิมิตใน (3.1) มีได้หลายแบบ เช่น (Weisstein, 1999)

$$\delta_N^{(1)}(x - x_0) = \sqrt{\frac{N}{\pi}} e^{-N(x-x_0)^2}$$

$$\delta_N^{(2)}(x - x_0) = \frac{1}{\pi} \frac{N}{(Nx)^2 + 1}$$

$$\delta_N^{(3)}(x - x_0) = \frac{1}{2\pi} \frac{\sin[(N+1/2)x]}{\sin\left(\frac{1}{2}x\right)}$$

$$\delta_N^{(4)}(x - x_0) = \lim_{N \rightarrow \infty} N J_N(N((x - x_0) + 1))$$

โดยที่ $J_N(y)$ เป็นฟังก์ชันเบสเซลชนิดที่ 1, ฯลฯ ถ้าลำดับเหล่านี้ให้ผลการดำเนินการกับฟังก์ชันทดสอบใดใดในรูป (3.1) เช่นเดียวกัน ถือว่าลำดับเหล่านี้เป็นตัวแทน (representation) ต่างๆ ของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรกเดียวกัน พบว่าลิมิต $N \rightarrow \infty$ ของทุก $\delta_N(x - x_0)$ ที่สอดคล้องกับ (3.1) มีค่าลู่ออกที่จุด $x = x_0$, แต่ลู่เข้าสำหรับอินทิกรัลของ δ_N (Arfken and Weber, 1995: หน้า 84) สังเกตว่าอินทิเกรตของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรกเป็นการ ปรับ ผลการอินทิเกรตของสิ่งที่อินทิเกรตได้ไปโดยใช้ลิมิต $N \rightarrow \infty$ ไม่ใช่สิ่งที่ได้โดยตรงจากการอินทิเกรต

3) ถ้าวางแทนที่ $\delta_N(x - x_0)$ ใน (3.1) ด้วย $\delta_N(-(x - x_0))$ ก็พบว่ายังคงได้ผล $f(x_0)$ ดังนั้น $\delta(x - x_0)$ มีสมมาตรรอบจุด x_0 แม้ฟังก์ชัน δ_N อาจไม่มีสมมาตรนี้ แต่ก็ต้องทำให้ได้ว่า $\delta(x - x_0)$ มีสมมาตรนี้ ตัวอย่างเช่น รูป $\delta_N^{(4)}$ เป็นตัวแทนที่ไม่มีสมมาตรนี้ ผมขอลองตั้งข้อสังเกตจากบางตัวแทนที่รู้จักและไม่มีสมมาตรว่า ยิ่ง N มีค่ามากๆ ถ้าพบว่าบริเวณที่ x ใกล้ๆ จากจุด x_0 ยังคงไม่มีสมมาตร, $\delta_N(x - x_0)$ ก็จะแกว่งกวัดอย่างรุนแรงมากขึ้นเพื่อที่จะหักล้างกันเองในอินทิกรัล ในขณะที่บริเวณย่านใกล้เคียง x_0 จะมีสมมาตรมากขึ้นเรื่อยๆ

การมีอยู่ของลำดับฟังก์ชันที่สอดคล้องกับ (3.1) มองได้ง่ายๆ จากการมองหาฟังก์ชัน $\delta_N(x - x_0)$ ที่ต่อเนื่อง มีอนุพันธ์ และมีสมบัติที่ N มีค่ามากๆ คือ มีสมมาตรในบริเวณย่านใกล้เคียง x_0 ซึ่งเป็นผลให้ทฤษฎีบทค่าเฉลี่ยของ $f(x)$ ในบริเวณนี้

ให้ค่าเฉลี่ยลู่เข้าสู่ $f(x_0)$ ซึ่งเราจะกล่าวถึงต่อไป ในขณะเดียวกันที่ x ห่างไกลจาก x_0 ต้องมีค่าเข้าสู่ 0 หรือ แกว่งกวัดอย่างรุนแรงเพื่อหักล้างกันเองในอินทิกรัล

ความหมายและการอินทิเกรตของ “ฟังก์ชัน” เดลตาดีแรก

สังเกตว่าสำหรับตัวแทนรูปโค้งเกาส์เซียน $\delta_N^{(1)}$ ถ้า N มีค่ามากๆ โค้งก็สูงและกระจายในบริเวณแคบๆ คล้ายกับกราฟรูปแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าสูงๆ ที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 เฉพาะในบริเวณย่านใกล้เคียง x_0 เรียกกราฟรูปสี่เหลี่ยมนี้ว่า $\delta_N^{(5)}$ เราจะประมาณ $\delta_N^{(1)}$ ที่มี N มากๆ ด้วย $\delta_N^{(5)}$ โดยให้โดเมนของบริเวณที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 เป็น $[x_0 - \Delta x/2, x_0 + \Delta x/2]$ โดยที่ $\frac{\Delta x}{2} \equiv \sqrt{\frac{1}{2N}}$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของ $\delta_N^{(1)}$ ดังนี้

$$\delta_N^{(5)}(x - x_0) = \begin{cases} \sqrt{\frac{N}{2}}; & x_0 - \sqrt{\frac{1}{2N}} \leq x \leq x_0 + \sqrt{\frac{1}{2N}} \\ 0; & x \text{ ที่อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.3)$$

เพื่อให้เห็นภาพได้ง่ายเปลี่ยนวิธีตั้งลิมิตโดยไม่เสียความทั่วไปจาก $N \rightarrow \infty$ เป็น $\Delta x \equiv \sqrt{\frac{2}{N}} \rightarrow 0$ และเขียน (3.3) ใหม่ในรูป Δx ว่า

$$\delta_{\Delta x}^{(5)}(x - x_0) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta x}; & x_0 - \frac{\Delta x}{2} \leq x \leq x_0 + \frac{\Delta x}{2} \\ 0; & x \text{ ที่อื่นๆ} \end{cases} \quad (3.4)$$

เนื่องจาก $\delta_{\Delta x}^{(5)}$ เป็นฟังก์ชันต่อเนื่องเป็นช่วงๆ จึงสามารถอินทิเกรตได้ ก็สามารถใช้ศึกษาลิมิตใน (3.1) ได้ แต่ศึกษาอนุพันธ์ตาม (3.2) ไม่ได้ เพราะไม่มีอนุพันธ์บนทุกจำนวนจริง x อย่างตัวแทน δ_N ตามปกติที่นิยามใน (3.1) เพื่อให้ง่ายที่สุดต่อการศึกษาความหมายแต่เฉพาะด้านการอินทิเกรตและลิมิตภายใน (3.1) จึงใช้รูป $\delta_{\Delta x}^{(5)}$ ซึ่งง่ายมาก แทนตัวแทน δ_N ต่างๆ

พิจารณาความหมายของ

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} dx \delta_{\Delta x}(x - x_0) f(x) \quad (\text{เพื่อความสะดวก ละดัชนี “(5)” ใน } \delta_{\Delta x}^{(5)})$$

โดยการวิเคราะห์ดังนี้

$$\int_{-\infty}^{\infty} dx \{ \delta_{\Delta x}(x-x_0) \} f(x) = \int_{x_0-\Delta x/2}^{x_0+\Delta x/2} dx \left\{ \frac{1}{\Delta x} \right\} f(x)$$

$$= \frac{1}{\Delta x} \int_{x_1}^{x_2} dx f(x) \equiv \bar{f} \text{ (รอบจุด } x_0 \text{ ในช่วง } \Delta x)$$
(3.5)

(1) จะเห็นจากรูปบรรทัดสุดท้ายของสมการ (3.5) ว่า

รูป $\int_{-\infty}^{\infty} dx \delta_{\Delta x}(x-x_0) f(x)$ ในนิยาม (3.1), ที่จริงก็คือค่าเฉลี่ย

ของ $f(x)$ โดยมี $\delta_{\Delta x}(x-x_0)$ เป็น ฟังก์ชันความหนาแน่นถ่วงน้ำหนักแบบสมมาตร (symmetric weighted density function) ที่คัดเลือกเอาค่า $f(x)$ จากเฉพาะบริเวณย่านใกล้เคียงจุด x_0 มาเฉลี่ยเท่านั้น x_0 สังเกตว่าค่าเฉลี่ยนี้ย่อมขึ้นกับ Δx กับ จึงสามารถเขียนเป็น $\bar{f}(x_0, \Delta x)$

(2) เมื่อ $\Delta x \rightarrow 0$ ก็จะได้ว่า $f(x)$ ทุกค่าภายในช่วง $[x_0 - \Delta x/2, x_0 + \Delta x/2]$ รอบๆ จุด x_0 มีค่าเข้าสู่ $f(x_0)$, ซึ่งทำให้ได้ว่า ค่าเฉลี่ยของ $f(x)$ ในบริเวณย่านใกล้เคียงจุด x_0 ,

ซึ่งก็คือ $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \int_{-\infty}^{\infty} dx \delta_{\Delta x}(x-x_0) f(x)$ ใน (3.1), มีค่าเป็น

$f(x_0)$ นั่นเอง การอ้างเหตุผลนี้มาจาก ทฤษฎีบทค่าเฉลี่ย (mean-value theorem) ในแคลคูลัสที่ได้ตั้งลิมิต $\Delta x \rightarrow 0$ [ดูเพิ่มเติมใน Byron and Fuller (1992: หน้า 225-228)] ซึ่งเขียนได้ว่า

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \bar{f}(x_0, \Delta x) = f(x_0)$$

สังเกตว่าเป็นลิมิตของค่าเฉลี่ยในช่วงแคบๆ ซึ่งเป็นลิมิตของอินทิกรัล ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการอินทิเกรตโดยตรง



เอกสารอ้างอิง

- Arfken, G. B. and Weber, H. J. (1995). *Mathematical method for physicists*. 4th ed. Academic.
- Byron, F. W. and Fuller, R. W. (1992). *Mathematics of classical and quantum physics*. Dover.
- Lighthill, M. J. (1970). *Introduction to Fourier analysis and generalized function*. Cambridge.
- Weisstein, E. W. (1999). "Delta function." From MathWorld -- A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/DeltaFunction.html>



บทบาทและหน้าที่ของ นักฟิสิกส์การแพทย์ในรังสีวิทยา

นิสา ขวพันธ์* และ สุพจน์ เอื้ออภิสิทธิ์วงศ์†

เมื่อพูดถึงนักฟิสิกส์การแพทย์หรือ Medical Physicist ผู้อ่านหลายท่านอาจไม่รู้จักรหรือไม่เคยได้ยินและอาจสงสัยว่า บุคลากรเหล่านี้ทำงานอย่างไร มีบทบาทหน้าที่อะไรในโรงพยาบาล และถ้าต้องการปฏิบัติงานในตำแหน่งนี้จะต้องมีพื้นความรู้ อะไรบ้าง วันนี้เรามาทำความรู้จักกับบุคคลกลุ่มนี้กันดีกว่า

ความจริงแล้วอาชีพนี้ไม่ใช่อาชีพใหม่เลย ถ้าดูตาม รากศัพท์ medicine หรือการแพทย์สมัยใหม่ได้เริ่มมีมาตั้งแต่ ศตวรรษที่สิบเจ็ด หลังจากนั้นก็เริ่มมีการนำเอาความรู้ทางฟิสิกส์ ไปประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงหลัง ปี ค.ศ.1920 ซึ่งเป็นช่วงหลังการค้นพบรังสีเอกซ์โดย Roentgen ในปี 1985 ก็เริ่มมีนักฟิสิกส์เข้ามาทำงานเพื่อนำเอา ionizing radiation มาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ ในลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีรักษา การป้องกันอันตรายจากรังสี และชีวรังสี หลังจากปี 1940 ก็เริ่มมีการนำเอาสารกัมมันตรังสีมาใช้ในการวินิจฉัยโรค และการรักษาโรคจึงทำให้จำนวนของนักฟิสิกส์ ในโรงพยาบาลเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การทำงานของนักฟิสิกส์ในสมัย นั้นจะเป็นการพัฒนาด้านเครื่องมือ เทคนิคของการฉายรังสี และ โดสิเมตรี (dosimetry) ของรังสีรักษา รวมไปถึงการใช้สาร กัมมันตรังสีในทางการแพทย์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ปัจจุบัน ขอบเขตของงานของนักฟิสิกส์การแพทย์ในแต่ละประเทศจะ ไม่เหมือนกัน แต่ส่วนใหญ่แล้วจะครอบคลุมงานด้านรังสีวิทยา ทั้งหมด และอาจรวมไปถึง non-ionizing radiation เช่น ultrasound, ultraviolet, radiofrequency และเลเซอร์ ในบางประเทศ อาจรวมถึงวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ และวิศวกรรมไฟฟ้า การทำงานจะเป็นการประสานกันโดยตรงอย่างใกล้ชิดกับแพทย์ ผู้ให้การรักษา ในอนาคตนักฟิสิกส์จะมีความสำคัญอย่างมาก ทางทางการแพทย์เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคและการรักษา โรคจำเป็นต้องอาศัยความรู้ด้านฟิสิกส์มากขึ้น

The European Federation of Organization for Medical Physics (EFOMP) ได้ให้นิยามนักฟิสิกส์การแพทย์ดังนี้

"Persons.. qualified with a university degree or equivalent in physics, mathematics, computing sciences, physical chemistry, mechanical, electrical or electronic engineering, etc. and ...working in alliance with medical staff in hospitals, universities or research institutes. In addition to their university degree or equivalent they will have training in the concepts and techniques of applying physics in medicine and they will also have practical training in the field."

สำหรับประเทศไทยเราเอง สมาคมนักฟิสิกส์การแพทย์ ไทยได้กำหนดคุณสมบัติของนักฟิสิกส์การแพทย์ว่าจะต้องเป็น ผู้ที่จบการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์การแพทย์ หรือเทียบเท่า และได้รับการฝึกอบรมทางฟิสิกส์การแพทย์ด้าน รังสีวินิจฉัย หรือรังสีรักษา หรือเวชศาสตร์นิวเคลียร์ โดยมี ขอบเขตของงานที่รับผิดชอบคือการควบคุมการใช้รังสีให้ปลอดภัย และเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ รวมไปถึงการดูแลด้านการป้องกัน อันตรายจากรังสีของหน่วยงานด้วย ดังนั้นเครื่องมือทางรังสี ทุกชนิดจะต้องได้รับการสอบเทียบมาตรฐาน และมีการควบคุม คุณภาพ นักฟิสิกส์การแพทย์ต้องสามารถให้คำปรึกษา แนะนำ แก่แพทย์ในการเลือกใช้เครื่องมือ เทคนิคต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ ทางฟิสิกส์ การคำนวณปริมาณรังสี และผลของรังสี ในขณะที่ เดียวกันก็ต้องสามารถทำงานเป็นทีมร่วมกับบุคลากรสาขาวิชาชีพอื่น ที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันสมาชิกของสมาคมนักฟิสิกส์ การแพทย์ไทยมีประมาณ 100 คน กระจายกันทำงานทั้งในภาค รัฐ และเอกชน

เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นผู้เขียนขอยกตัวอย่างการ ทำงานของนักฟิสิกส์การแพทย์ในส่วนของรังสีรักษา

* อาจารย์ (ดร.) และ †อาจารย์ ประจำภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

1. ด้านการควบคุมคุณภาพเครื่องมือรังสีรักษา

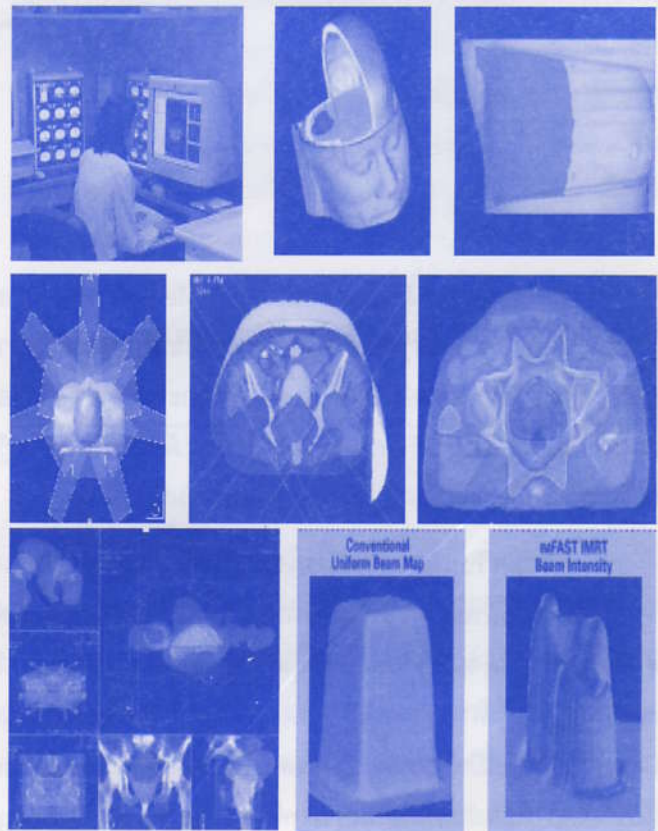
ในปัจจุบันได้มีการนำอุปกรณ์เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีขั้นสูงต่าง ๆ มาร่วมใช้ในวิธีการรักษาเนื้องอกชนิดต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น

♦ **เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์จำลองการรักษา (Computerized Tomography Simulator)** ใช้ในการถ่ายภาพรังสีตัดขวางโครงสร้างรูปผิว เป้าหมายที่ต้องการฉายรังสีและอวัยวะภายในที่ต้องการเลี่ยงรังสี เพื่อการวางแผนกำหนดขอบเขตพื้นที่และเทคนิคการรักษาที่เหมาะสม โดยปกตินิยมใช้ในรายที่มีการรักษาด้วยเทคนิคซับซ้อนที่ต้องการประเมินการกระจายของปริมาณรังสีในปริมาตรการรักษาแบบสามมิติ

♦ **เครื่องเอกซเรย์จำลองการรักษา (Conventional Simulator)** ใช้เพื่อการวางแผนกำหนดขอบเขตพื้นที่ เทคนิคการรักษาที่เหมาะสมใน 2 มิติ โดยมีการบันทึกข้อมูลบนฟิล์มเอกซเรย์ เพื่อใช้ในการวางแผนการรักษา

♦ **เครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษาแบบสอง หรือ สามมิติ (2-3D Treatment Planning Computer)** เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำข้อมูลผู้ป่วยที่ได้จากเครื่องจำลองการรักษา มาสร้างโครงสร้างผิวผู้ป่วย เป้าหมายที่ต้องการรักษา และเนื้อเยื่อสำคัญที่ต้องการเลี่ยงรังสีมาวางแผนการรักษา โดยอาศัยข้อมูลของเครื่องฉายรังสีที่ป้อนไว้ในเครื่อง การเลือกใช้เทคนิคและปริมาณรังสีที่เหมาะสม ระบบสามารถประเมินผลการกระจายของปริมาณรังสีในปริมาตรรักษาในตัวผู้ป่วยได้ โดยจุดมุ่งหมายต้องการให้ก้อนเนื้องอกได้รับปริมาณรังสีสูงสุดในขณะที่เนื้อเยื่อปกติหรืออวัยวะสำคัญได้รับน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดอันตราย ดังแสดงในรูปที่ 1

♦ **เครื่องฉายรังสีชนิดต่าง ๆ (Radiation Treatment Machines)** อันมีเครื่องฉายรังสีระยะไกลภายนอก (Radiation Teletherapy Machines) เช่น เครื่องฉายรังสีโคบอลต์-60 (Cobalt-60 Treatment Machine), เครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (Linear Accelerator Machine) ที่สามารถผลิตรังสีเอกซ์พลังงานสูงและลำรังสีอิเล็กตรอน เครื่องใส่แร่ระยะชิด (Brachytherapy Machine) ที่วางหรือใส่ต้นกำเนิดรังสีชิดกับรอยโรค ทำให้ปริมาณรังสีสูงตรงบริเวณที่รักษาและปริมาณรังสีที่เนื้อเยื่อปกติข้างเคียงลดลง ตามกฎระยะทางกำลังสองทำให้ประสิทธิภาพการรักษาดีขึ้น



รูปที่ 1 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา, การวางแผน และการประเมินผลของแผนการรักษาที่ได้บางส่วน

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ร่วมรักษาต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้เพื่อให้ปริมาณรังสีแก่ผู้ป่วยถูกต้อง แม่นยำตรงตามจุดมุ่งหมายการรักษาที่ตั้งไว้ เช่น อุปกรณ์ตรวจวัด หรือประเมินปริมาณรังสีต่าง ๆ (Electrometer and Dosimeters) เครื่องจัดสร้างอุปกรณ์ดัดแปลงการกระจายปริมาณรังสี (Beam Modifier Devices) เช่นเครื่องตัดกั้นกำบังรังสีเฉพาะรายผู้ป่วย ที่นำไปวางกั้นบริเวณที่เป็นเนื้อเยื่อปกติที่อยู่ในลำรังสี ทำให้ปริมาณรังสีของเนื้อเยื่อปกติลดลงได้มาก ลดเกิดการแทรกซ้อนที่เกิดแก่ผู้มารักษาภายหลัง จะเห็นได้ว่าขั้นตอนในการรักษาผู้ป่วยจะประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้จำนวนมาก ซึ่งจะต้องให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างถูกต้องอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีการประกันคุณภาพของอุปกรณ์เครื่องมือต่าง ๆ ทุกเครื่องที่กล่าวมาข้างต้น โดยระดับของความคลาดเคลื่อนต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล รวมไปถึงการทำ acceptance test เพื่อตรวจสอบเครื่องมือให้เป็นไปตามที่กำหนด และ commissioning เครื่องมือที่ซื้อใหม่

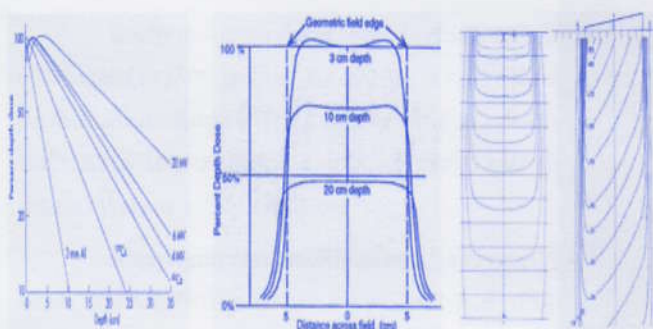
เพื่อจัดเตรียมข้อมูลของลำรังสีเพื่อใช้ในการรักษาผู้ป่วย และนำข้อมูลนี้ใส่ในเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา การควบคุมคุณภาพเครื่องมือรังสีรักษาต่าง ๆ นี้ต้องทำตามช่วงระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินการที่กำหนดในเอกสารที่จัดทำอย่างเคร่งครัด ประเมินผลและดำเนินการแก้ไขอย่างเร่งด่วนและทันที บันทึกข้อมูลเมื่อเครื่องเสีย หรือมีการปรับแต่ง

2. ด้านการวัดและคำนวณปริมาณรังสี

ปริมาณรังสีที่ให้แกผู้ป่วยในด้านรังสีรักษาจะมีปริมาณสูงทั้งนี้พื้นที่รักษาจะครอบคลุมทั้งก้อนเนื้องอก และบางส่วนของเนื้อเยื่อปกติ ดังนั้นความถูกต้องของปริมาณรังสีและความแม่นยำของเทคนิคในการรักษาต่าง ๆ ที่ให้แกผู้ป่วยเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นในด้านโดสิเมตริกของรังสีรักษา นักฟิสิกส์การแพทย์จำเป็นต้องมีหน้าที่ครอบคลุมไปถึง

- การวัดเปรียบเทียบและคำนวณอัตราปริมาณรังสีจากเครื่องรังสีรักษาตาม protocol มาตรฐาน

- การตรวจวัด-เก็บ และประเมินความถูกต้องข้อมูลของลำรังสีเพื่อใช้ในการรักษาผู้ป่วย เช่น ค่าแสดงคุณลักษณะการดูดกลืนปริมาณรังสีต่อความลึกต่าง ๆ เช่น Percentage Depth Dose หรือ Tissue Maximum Ratio และข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นแสดงดังแสดงในรูปที่ 2 เพื่อนำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ไปใช้ในการวางแผนคำนวณปริมาณรังสีในการรักษาผู้ป่วยและนำข้อมูลนี้ใส่ในเครื่องคอมพิวเตอร์วางแผนการรักษา เพื่อประเมินเทคนิคและการกระจายของปริมาณรังสีในบริเวณที่รักษา



รูปที่ 2 แสดงข้อมูลฟิสิกส์รังสีบางส่วนของเครื่องฉายรังสีในรูปแบบ percentage depth dose, beam profile และ isodose chart

- วางแผนการรักษาเพื่อหาเทคนิคการรักษาที่เหมาะสมในผู้ป่วยแต่ละราย ดูการกระจายของปริมาณรังสีในผู้ป่วยว่าตรงตามจุดมุ่งหมายการวางแผนหรือไม่ คำนวณเวลาเพื่อใช้รักษาผู้ป่วย

- ตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคและปริมาณรังสีที่ให้แกผู้ป่วยว่าตรงตามแผนการรักษาที่วางไว้หรือไม่ โดยใช้อุปกรณ์และวิธีการวัดปริมาณรังสีต่าง ๆ เช่น ใช้หัววัดรังสีชนิด ionization chamber ไดโอด TLD หรือฟิล์มที่ใช้สำหรับการตรวจวัดปริมาณรังสี วางในบริเวณที่ต้องการตรวจสอบปริมาณรังสีโดยตรง หรือใส่ในหุ่นจำลองแทนผู้ป่วย โดยเฉพาะในเทคนิคที่อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงแกผู้ป่วยได้สูง เช่น การฉายรังสีผู้ป่วยทั้งตัว (total body irradiation) หรือในเทคนิคที่ซับซ้อน เช่น การฉายรังสีแบบรังสีศัลยกรรม (stereotactic radiosurgery) หรือการฉายรังสีแบบแปรความเข้ม (intensity modulated radiotherapy) ที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำของปริมาณรังสีบริเวณก้อนเนื้องอกสูงมาก และต้องมีการประเมินเป็นระยะ ๆ ในช่วงของการรักษาจากปัจจัยหลายประการ ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างผู้ป่วยที่อาจทำให้การกระจายของปริมาณรังสีต่างจากที่วางแผนไว้ตั้งแต่แรก

3. ด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานที่ไม่อาจสัมผัสได้ด้วยประสาททั้ง 5 แต่อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงแก่ผู้ที่ได้รับ ซึ่งอาจเป็นผู้ป่วยที่ได้รับปริมาณรังสีโดยไม่จำเป็น ผู้ปฏิบัติงานที่ไม่รักษาวินัยและไม่ปฏิบัติตามกฎการรักษาความปลอดภัยเบื้องต้นด้านรังสี หรือผู้เกี่ยวข้องต่าง ๆ เช่น บุคลากรจากหอผู้ป่วยอื่น หรือญาติ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยด้านรังสีแก่บุคลากรทุกกลุ่มดังกล่าว บทบาทของนักฟิสิกส์การแพทย์ต้องทำ

- จัดระบบและแผนงานให้เหมาะสม เช่น บริเวณที่ให้รังสีพลังงานสูงไม่ควรอยู่ในบริเวณที่ผู้ไม่เกี่ยวข้อง หรือบริเวณที่ผู้ป่วยมาพักรอเพื่อฉายรังสี ควรจัดโซนการปฏิบัติงาน เช่น บริเวณตรวจรับผู้ป่วยให้อยู่ด้านหน้า บริเวณฉาย หรือให้รังสีอยู่ด้านหลังที่ผู้ไม่เกี่ยวข้องไม่สามารถเข้าถึงได้โดยสะดวก

- การออกแบบห้องเครื่องมือรังสีเพื่อให้มีความหนาในระดับที่ปลอดภัย โดยต้องคำนึงถึงทิศทางของลำรังสี และบุคลากรที่ต้องทำงานร่วมข้างเคียง

- ♦ การจัดหาเครื่องมือวัดรังสีประจำห้อง ในกรณีที่อาจเกิดอุบัติเหตุการฉกฉวยเงิน และเครื่องวัดรังสีส่วนบุคคลเพื่อตรวจวัด-บันทึกปริมาณรังสีในขณะที่ทำงานปกติและในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุการฉกฉวยเงิน

- ♦ การตรวจวัดปริมาณรังสีโดยรอบห้องที่มีการใช้รังสี โดยต้องกำหนดระยะที่แน่นอน และต้องติดป้ายสัญลักษณ์การใช้รังสี (trefoil) บ่งบอกปริมาณรังสีที่วัดได้อย่างเด่นชัด เพื่อกำหนดเป็นบริเวณปฏิบัติงานระดับต่าง ๆ

- ♦ จัดเตรียม-จัดเก็บหลักฐานเอกสารที่จำเป็นเกี่ยวกับสารกัมมันตรังสีที่ใช้ เช่น การจัดทำใบอนุญาตการมีไว้ในครอบครองสารกัมมันตรังสี การส่งคืนสารกัมมันตรังสีที่หมดอายุการใช้งาน การจัดทำเอกสารรายการเกี่ยวกับการครอบครองสารกัมมันตรังสีที่ใช้จนอยู่เป็นต้น

- ♦ จัดแผนฉุกเฉินด้านรังสีทั้งในรูปของเอกสารที่ระบุกลุ่มระดับบุคคลปฏิบัติงาน วิธีการติดต่อประสานงาน และขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ชัดเจน และจะต้องมีการซ้อมแผนฉุกเฉินที่กำหนดไว้เป็นระยะ

4. ด้านการศึกษา

เนื่องจากในปัจจุบัน วิชาชีพฟิสิกส์การแพทย์ยังเป็นสาขาที่ขาดแคลน และนักฟิสิกส์การแพทย์ส่วนใหญ่อยู่ในแวดวงการศึกษาในโรงเรียนแพทย์ ดังนั้นหน้าที่หนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยคือการให้บริการทางวิชาการด้านฟิสิกส์การแพทย์แก่ นิสิต-นักศึกษาแพทย์ แพทย์ประจำบ้านรังสีวิทยา นักศึกษาฟิสิกส์

การแพทย์ นักศึกษารังสีเทคนิค และประชาชนทั่วไป

5. ด้านงานวิจัย

เพื่อให้ประสิทธิภาพของการศึกษาด้านฟิสิกส์การแพทย์ และการบริการผู้ป่วยในศูนย์การรักษามะเร็งต่าง ๆ และเพื่อติดตามเทคโนโลยีของเครื่องมือการรักษาที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว การศึกษา วิจัยเพื่อพัฒนาและการสร้างโปรแกรมควบคุมเครื่องมือ หรือการพัฒนาเครื่องมือต่าง ๆ ล้วนเป็นงานวิจัยที่น่าสนใจและท้าทายแก่ผู้ทำงานในวิชาฟิสิกส์การแพทย์นี้ทั้งนั้น นอกจากนี้ความร่วมมือกับวิชาชีพอื่นก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของการรักษาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ป่วยมะเร็ง

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่านอกเหนือจากความรู้ด้านฟิสิกส์รังสีแล้ว นักฟิสิกส์การแพทย์จำเป็นต้องมีความรู้ด้านกายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวรังสี และการป้องกันอันตรายจากรังสี หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาฟิสิกส์การแพทย์ในประเทศไทยได้เปิดการเรียนการสอนแล้ว 3 แห่งคือที่คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งเป็นสถาบันแรกของประเทศ แห่งที่สองคือคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และที่เปิดรับนักศึกษาในปีการศึกษา 2548 นี้คือคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับหลักสูตร Medical Imaging ของคณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นั้นก็เป็นอีกแขนงหนึ่งที่น่าสนใจ และตามลักษณะงานก็จัดว่าเป็นแขนงหนึ่งของฟิสิกส์การแพทย์เช่นกัน



ออนไลน์กับการทดสอบทางด้านการแพทย์ (ปี 1948)

- 1920 แม่(Pauline) เสียชีวิตที่กรุงเบอร์ลินหลังจากได้รับทราบความสำเร็จที่ยิ่งใหญ่ของลูกชายแล้ว
- 1921 ไปอเมริกาเป็นครั้งแรก ได้รับการต้อนรับเยี่ยงวีรบุรุษ
- 1922 . W. Rathenau รัฐมนตรีต่างประเทศของเยอรมัน ซึ่งมีเชื้อสายยิวถูกลอบสังหารในกรุงเบอร์ลิน
- . ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี 1921 จากผลงานเรื่อง Photoelectric Effect เงินรางวัลที่ได้ ไอน์สไตน์มอบให้ Mileva กับลูก
- . ตีพิมพ์ผลงานที่เกี่ยวกับ Unified Field Theory เป็นครั้งแรก และทุ่มเทกับเรื่องนี้ตรากตรำจนเสียชีวิตโดยไม่ประสบความสำเร็จ
- . เดินทางไปญี่ปุ่น ปาเลสไตน์ และสเปน
- 1925 ตีพิมพ์ผลงานเกี่ยวกับ Bose-Einstein Condensation
- 1926 . เกิดสมการคลื่นสสารของ Schroedinger
- . เกิดคำว่า "Photon" โดย Gilbert N. Lewis
- 1928 ล้มป่วยต้องนอนเตียงเป็นเวลา 4 เดือน
- 1929 ได้เป็นพลเมืองกิตติมศักดิ์ของกรุงเบอร์ลิน
- 1930 . มีหลานชาย (Bernhard) จากลูกชายคนโต ส่วนลูกชายคนเล็ก เริ่มป่วยด้วยโรค Schizophrenia ซึ่งเป็นโรคทางสมอง
- . ได้รับเชิญเป็น Guest Professor ขาประจำ ที่อเมริกา ต้องเดินทางกลับไปกลับมาระหว่าง 2 ทวีป



กับนักฟิสิกส์อเมริกันที่เมือง Pasadena ในสหรัฐอเมริกา คนขวามือของไอน์สไตน์คือ Albert Michelson ส่วนทางด้านซ้ายมือคือ Robert Millikan ซึ่งเป็นตัวจักรสำคัญที่ดึงนักวิทยาศาสตร์เยอรมันหลายคนมาอเมริกา

- 1931 ได้พบกับ Edwin Hubble ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการทดลอง ว่าเอกภพขยายตัวตลอดเวลา ต่อมาไอน์สไตน์จึงล้มเลิกความคิดเรื่อง Cosmology Constant และแบบจำลองเอกภพที่อยู่นิ่ง
- 1932 . ออดอล์ฟ ฮิตเลอร์ เถลิงอำนาจ
- . J. Chadwick ค้นพบอนุภาคนิวตรอน
- . เดินทางไปสหรัฐอเมริกา กับ Elsa

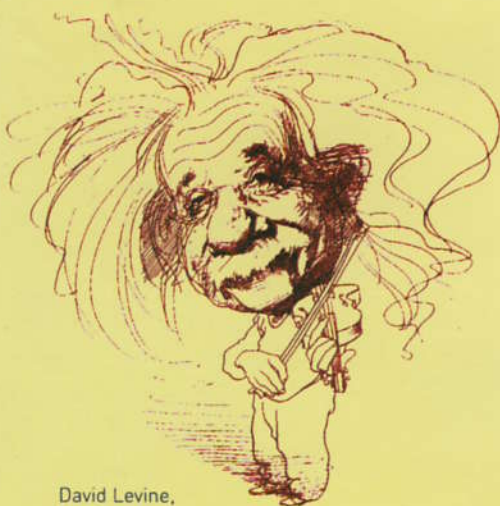
- 1933 . A. Flexner ชักชวนให้ไปทำงานวิจัยอย่างเต็มที่ที่ Institute for Advanced Study ของมหาวิทยาลัย Princeton ที่นิวเจอร์ซีย์
- . ถูกพวกนาซีค้นบ้านที่ Caputh หมู่บ้านเล็กๆ ชานกรุงเบอร์ลิน และตอนหลังก็ถูกยึดไป การเป็นพลเมืองเยอรมันกิตติมศักดิ์ ก็ถูกถอดถอนด้วย
- 1934 . Ilse เสียชีวิตที่กรุงปารีส
- . Maja, Hans, Albert และ Margot อพยพมาอยู่อเมริกา
- 1935 . นั่งเรือไป Bermuda กับ Elsa และ Margot เพื่อการขอต่อวีซ่าและเป็นการเดินทางออกนอกสหรัฐอเมริกาครั้งสุดท้าย
- . ร่วมกับ Boris Podolsky และ Nathan Rosen เขียนบทความวิพากษ์กลศาสตร์ควอนตัมว่าเป็นทฤษฎีที่ยังไม่สมบูรณ์
- 1936 Elsa เสียชีวิตด้วยวัย 60 ปี จากโรคเกี่ยวกับไตและหัวใจ
- 1938 . ประเทศออสเตรียถูกกองทัพนาซียึดครอง
- . เขียนบทความเรื่อง "Why Do They Hate the Jews?"
- 1939 ร่วมลงชื่อในจดหมายถึงประธานาธิบดี Roosevelt ขอให้เห็นวาระเปิดปรมาณูสามารถจะถูกสร้างขึ้นมาได้จริง (แต่ไอน์สไตน์ ก็เกี่ยวข้องด้วยเพียงแค่การร่วมเซ็นชื่อนี้ และเป็นผู้คิดสมการ $E=mc^2$ เท่านั้นโดยไม่เคยเกี่ยวข้องกับ Manhattan Project เลย)
- 1940 ได้สัญชาติอเมริกัน แต่ก็ยังคงรักษาสัญชาติสวิสเอาไว้ด้วย
- 1941 ญี่ปุ่นโจมตี Pearl Harbor ของสหรัฐอเมริกา
- 1942 ควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันได้สำเร็จเป็นครั้งแรกโดย E. Fermi และคณะ
- 1945 . ระเบิดปรมาณูถูกแรกถูกทิ้งที่เมืองฮิโรชิมา เมื่อได้ทราบข่าว ไอน์สไตน์กล่าวว่า "If I knew they were going to do this, I would have become a shoemaker."
- . สงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติ
- 1946 Maja กลายเป็นคนทุพพลภาพมาอาศัยอยู่ด้วย Margot ก็มาอยู่ด้วยหลังหย่าขาดจากสามี และคอยช่วยดูแล Maja ส่วนเรื่องบ้านช่องได้ Helene Dukas เลขาฯ ที่ติดตามกันมาตั้งแต่สมัยกรุงเบอร์ลิน คอยช่วยดูแลให้ ไอน์สไตน์ให้ความรักใคร่ เอาใจใส่น้องสาวเป็นอย่างดี อ่านวรรณคดีให้เธอฟังเกือบทุกคำ จนเธอจากไปในปี 1951
- 1948 Mileva ภรรยาคนแรกเสียชีวิตที่ซูริค ด้วยโรคหัวใจวาย
- 1952 ปฏิเสธคำเชิญให้เป็นประธานาธิบดีคนที่สองของอิสราเอล ต่อจาก Chaim Weizmanns ที่เสียชีวิต ด้วยเหตุผลว่าอายุมากแล้วและไม่มีประสบการณ์ทางการเมือง
- 1955 . เขียนจดหมายถึงเพื่อนเก่า Bertrand Russel อนุญาตให้ใส่ชื่อในจดหมายเปิดผนึกเรียกร้องให้ประเทศต่างๆ เลิกผลิตอาวุธนิวเคลียร์
- . ทำงานที่ มหาวิทยาลัย Princeton ตราบจนเสียชีวิตเมื่อวันที่ 18 เมษายน ที่โรงพยาบาลด้วยปัญหาเกี่ยวกับหลอดเลือดหัวใจ ไอน์สไตน์ได้สั่งห้ามพิธีรื้อศพของงานศพ ไม่ต้องมีหม้อหลุมฝังศพ เพื่อนสนิทและญาติใกล้ชิดจึงนำอัฐิไปโปรยในสถานที่ที่ปกปิด(อาจเป็นที่แม่น้ำเดลาแวร์)



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



David Levine,
1983.

สิ่งตีพิมพ์

หากไม่ถึงผู้รับ โปรดส่งคืน
สมาคมฟิสิกส์ไทย