

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ประจำปี พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018)

“For ground-breaking inventions in the field of laser physics”

ธิดารัตน์ วิชัยดิษฐ¹ และ สรศักดิ์ ดำนวนรพงศ์²¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี²สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

บทคัดย่อ

ปี พ.ศ. 2561 ผู้ได้รับรางวัลโนเบลด้านฟิสิกส์แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกมอบให้กับผู้ค้นพบแหนบคิปปิงแสง (optical tweezer) Arthur Ashkin และส่วนที่สองมอบให้กับผู้พัฒนาเทคนิคการเพิ่มกำลังให้กับพัลส์ของแสงเลเซอร์โดยใช้เทคนิค chirped pulse amplification คือ Gerald Mourou และ Donna Stricklands โดยแหนบคิปปิงแสง (optical tweezer) ใช้หลักการความดันรังสี (radiation pressure) ภายใต้กฎอนุรักษ์โมเมนตัม ทำให้เกิดแรงเกรเดียนท์ (gradient force) และแรงกระเจิงไปข้างหน้า (forward scattering force) แรงทั้งสองควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคโปร่งใสที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าสิ่งแวดล้อม ขณะที่เทคนิค chirped pulse amplification ใช้หลักการขยายช่วงเวลาของพัลส์เพื่อลดกำลังของแสง ก่อนที่แสงจะเข้าสู่วัสดุเพิ่มจำนวนโฟตอน กำลังที่ลดลงจะไม่ทำลายวัสดุทำให้สามารถเพิ่มจำนวนโฟตอนได้ตามต้องการ หลังจากแสงผ่านออกมา พัลส์แสงจะเข้าสู่ระบบบีบให้พัลส์มีช่วงเวลาสั้นลง ทำให้กำลังของพัลส์เพิ่มขึ้น ในปัจจุบันถึงระดับเพตะวัตต์ การค้นพบแหนบคิปปิงแสงทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถศึกษาวิจัยวัสดุถึงระดับอะตอม และวัสดุทางชีววิทยาเช่น แบคทีเรีย หรือ DNA โดยไม่ทำลาย การพัฒนาการเพิ่มกำลังพัลส์ของแสงเลเซอร์ทำให้การศึกษาความไม่เป็นเชิงเส้นของวัสดุมีความก้าวหน้า และกำลังที่เพิ่มขึ้นถูกนำมาใช้ในการแพทย์โดยเฉพาะการผ่าตัด การใช้งานอย่างหนึ่งที่รู้จักกันทั่วไป คือ การผ่าตัดปรับเปลี่ยนสายตา หรือ เลสิก เป็นที่ประจักษ์ว่าการค้นพบของ Ashkin, Mourou และ Stricklands มีประโยชน์ต่อนุชนชาติตามวัตถุประสงค์ของรางวัลโนเบล

คำสำคัญ: รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์, แหนบคิปปิงแสง, พัลส์เลเซอร์แบบชริป

รางวัลโนเบลทางฟิสิกส์ประจำปี พ.ศ. 2561 ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ผู้ได้รับรางวัลครั้งแรกคือ Arthur Ashkin (ปัจจุบันอายุ 96 ปี) รางวัลอีกครั้งมีผู้ได้รับรางวัลสองท่านคือ Donna Stricklands และ อาจารย์ที่ปรึกษา Gerard Mourou งานวิจัยของสามท่านเกี่ยวข้องกับการใช้งานเลเซอร์ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) โดยท่านแรกเป็นผู้คิดค้น optical tweezers หรือ แหนบคิปปิงแสง อีกสองท่านเป็นผู้ที่คิดค้นวิธีเพิ่มกำลังให้พัลส์ของเลเซอร์ให้เกินขีดจำกัดเดิมโดยไม่ทำลายตัวกลางที่ใช้สำหรับเพิ่มจำนวนโฟตอน

ศาสตราจารย์ Arthur Ashkin นักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน จากห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Laboratories) แห่งเมืองบรูคลิน รัฐนิวยอร์ก เป็นผู้ซึ่งได้รับยกย่องให้เป็นบิดาแห่งเลเซอร์ระดับโลก Ashkin เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2465 ปัจจุบันอายุ 97 ปี นับว่าเป็นหนึ่งในบุคคลที่อายุมากที่สุดสำหรับการได้รับรางวัลโนเบลในรอบ 115 ปีที่ผ่านมา Ashkin จบการศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์จาก Columbia University ที่รัฐนิวยอร์กในปี พ.ศ. 2490 ศึกษาต่อปริญญาโทและปริญญาเอกด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ที่ Cornell University จบปี พ.ศ. 2495 เขาเข้าทำงานที่ห้องปฏิบัติการเบลล์ ครั้งแรกที่เมืองมัวเลย์ฮิลล์ นิวเจอร์ซีย์ หลังจากนั้น ย้ายไปที่เมือง ฮอล์มเดล รัฐเดิวกัน โดยได้ทำงานที่นั่นจนเกษียณในปี พ.ศ. 2535 [1] นับตั้งแต่เลเซอร์ลำแรกปรากฏขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2503 เป็นสิ่งที่ดึงดูดให้ Ashkin เข้ามาศึกษาสมบัติและปรากฏการณ์ต่างๆ จนเข้าใจได้ลึกซึ้งว่าแสงที่ส่องไปบนวัตถุสามารถทำให้เกิดความดันได้ แม้จะเป็นความดันในปริมาณน้อยๆ แต่ก็ส่งผลให้อนุภาคขนาดเล็กๆ ระดับไมโครเมตรเคลื่อนที่ได้ ในปี พ.ศ. 2513 Ashkin ก็ยังคงมุ่งทดลองด้านเลเซอร์ดังกล่าว จนสามารถใช้ลำแสงเลเซอร์เคลื่อนย้ายอนุภาคโปร่งใสขนาดตั้งแต่ 0.59 ถึง 2.68 ไมโครเมตร และพบว่าการใช้เลเซอร์ที่มีความเข้มแสงเท่ากันสองลำพุ่งเข้าหากัน สามารถดึงให้อนุภาคขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในน้ำเคลื่อนที่เข้าไปที่กึ่งกลางของลำแสงพร้อมกับเคลื่อนที่ไปตามแนวของลำแสง หลังจากนั้น Ashkin และเพื่อนร่วมงานคือ Steven Chu ที่ห้องปฏิบัติการเบลล์ ได้นำผลการทดลองข้างต้นมาต่อยอดเพื่อใช้ดักจับอะตอมเดี่ยว ส่งผลให้ Steven Chu ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2540 และบิดาแห่งเลเซอร์อย่าง Ashkin ก็ยังคงเดินทางศึกษางานทางด้านเลเซอร์ดังกล่าวอย่างต่อเนื่องจนได้รับรางวัลโนเบลฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2561 เป็นการพลิกวงการเลเซอร์ของโลกที่สามารถเชื่อมโยงทฤษฎีทางฟิสิกส์กับการประยุกต์ทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 Arthur Ashkin, Gérard Mourou และ Donna Stricklands (เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา) [4]

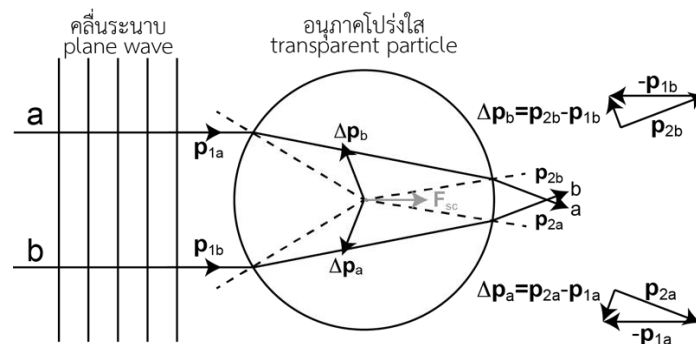
อีกส่วนของรางวัลโนเบลฟิสิกส์ในปีนี้เกิดจากความร่วมมือของ Professor Donna Strickland และอดีตอาจารย์ที่ปรึกษา Professor Gérard Albert Mourou ทั้งสองได้ร่วมมือกันเพื่อมุ่งสู่การทลายขีดจำกัดของการสร้างเลเซอร์ความเข้มสูง การประดิษฐ์เครื่องขยายสัญญาณพัลส์เลเซอร์แบบ chirped-pulse amplification (Chirped-Pulse-Amplification) แสงพลังงานสูงในระยะเวลาสั้น ๆ เพื่อใช้ในการผ่าตัด ศาสตราจารย์ Mourou เป็นชาวฝรั่งเศสอายุ 74 ปี เกิดเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2487 เมือง Albertville ได้รับปริญญาด้านฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัย Grenoble Alpes ในปี พ.ศ. 2510 หลังจากนั้นเขาได้เรียนต่อที่มหาวิทยาลัย Laval ในควิเบกซิตี และได้รับปริญญาเอกจาก Pierre and Marie Curie University (ปัจจุบันคือมหาวิทยาลัย Sorbonne) ในปารีสปี พ.ศ. 2516 เขาได้ทำวิจัยหลังปริญญาเอกที่มหาวิทยาลัยแห่งแคลิฟอร์เนียที่ซานดิเอโกและใช้เวลาสามปีที่ École Polytechnique ในปารีส จากนั้นเขาได้เป็นอาจารย์ที่ University of Rochester ในปี พ.ศ. 2520 โดยมุ่งงานวิจัยด้าน

เลเซอร์ความเร็วสูง ศาสตราจารย์ Mourou เป็นผู้ก่อตั้งศูนย์ Ultrafast Optical Science ที่ University of Michigan ในปี 2533 เป็นเวลากว่าสามสิบปีที่ Mourou เป็นผู้บุกเบิกด้านเลเซอร์ความเร็วสูงและนำไปประยุกต์ใช้ในสาขาวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และการแพทย์ เขายังเป็นผู้ริเริ่มโครงการ Extreme Light Infrastructure (ELI) ในยุโรป งานวิจัยของ Mourou ได้รับรางวัลต่างๆ มากมาย ในวงการวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับแสงเลเซอร์ [2]

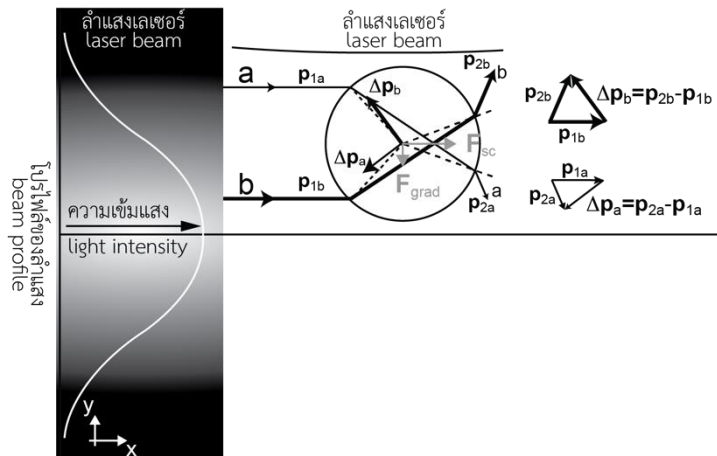
ศาสตราจารย์ Donna Stricklands แห่ง University of Waterloo เป็นนักวิทยาศาสตร์หญิงชาวแคนาดาคนแรกในรอบ 55 ปี ที่ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ และนับเป็นสตรีคนที่ 3 ในประวัติศาสตร์รอบ 115 ปี ที่ได้รับรางวัลอันทรงเกียรตินี้ ศาสตราจารย์ Stricklands เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2502 ที่เมืองกูเกิลฟ ออนแทรีโอ ประเทศแคนาดา เธอตัดสินใจเข้าเรียนที่ McMaster University เพราะมีหลักสูตรฟิสิกส์วิศวกรรมเลเซอร์ซึ่งเป็นสาขาที่เธอสนใจเป็นพิเศษ ที่ McMaster เธอเป็นหนึ่งในสามสตรีในชั้นเรียนยี่สิบห้าคน Stricklands สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ด้านวิศวกรรมฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2524 Stricklands เรียนจบจากปริญญาเอกจากสถาบันทัศนศาสตร์ University of Rochester ในปี พ.ศ. 2532 เธอทำการวิจัยระดับปริญญาเอกที่ห้องปฏิบัติการ Laser Energetics ภายใต้การดูแลของอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ศาสตราจารย์ Mourou ในปี พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2534 Stricklands เป็นสมาชิกสภานิติบัญญัติแห่งชาติของแคนาดา และทำงานในแผนกเลเซอร์ของ Lawrence Livermore National Laboratory หลังจากนั้นใน ปี พ.ศ. 2534 ถึง 2535 เธอได้เข้าร่วมกับเจ้าหน้าที่ด้านเทคนิคของศูนย์เทคโนโลยีขั้นสูงของ Photonics และ Opto-electronics ที่มหาวิทยาลัย Stanford และเธอได้เข้าไปทำงานที่ University of Waterloo ในปี พ.ศ. 2540 ในฐานะผู้ช่วยศาสตราจารย์ เธอกลายเป็นอาจารย์สตรีประจำสาขาฟิสิกส์คนแรกที่นี่ ปัจจุบัน Stricklands เป็นศาสตราจารย์ และเป็นผู้นำกลุ่มเลเซอร์ความเร็วสูงที่มุ่งพัฒนาระบบเลเซอร์ความเข้มสูงสำหรับการตรวจสอบเชิงแสงแบบไม่เชิงเส้น เธอให้สัมภาษณ์กับตัวเองว่า เธอคือ "เลเซอร์จ๊อค" (laser jock) [3-5] ศาสตราจารย์ Stricklands เป็นประธานของ The Optical Society และดำรงตำแหน่งประธานคณะกรรมการที่ปรึกษาประธานาธิบดี ในปี 2018 และได้รับการจัดอันดับให้เป็นหนึ่งใน 100 ผู้หญิงของปีบีบีซี

แหนบคิปลิงแสง (optical tweezers)

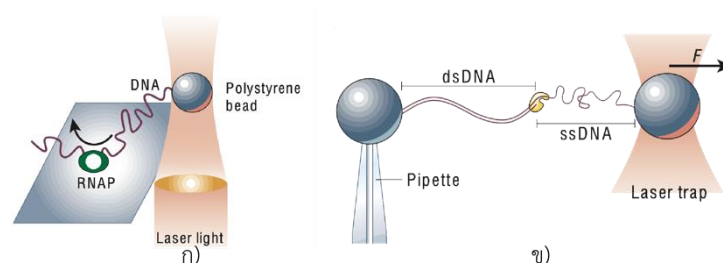
หนึ่งในสมบัติที่สำคัญของแสงคือ แสงมีโมเมนตัม สมบัตินี้จะถูกระบุครั้งแรกโดย Kepler จากการสังเกตทางของดาวหาง ที่เบนออกไปในทิศตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ ทำให้ดูเหมือนว่าดาวหางกำลังพุ่งเข้าหาดวงอาทิตย์ หางของดาวหางนั้นได้รับความดันรังสี (radiation pressure) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม ซึ่งแน่นอนทำให้เกิดแรงกระทำขึ้นในทิศตรงข้ามกับแสงที่มาตกกระทบทำให้หางของดาวหางเบี่ยงไปในทิศตรงข้ามกับรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์ แรงที่เกิดจากแสงถูกสาธิตให้เห็นด้วยการทดลอง โดย P.N. Lebedev ในปี พ.ศ. 2444 [5] แต่แรงดังกล่าวไม่มากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ จนกระทั่งมีการสร้างเลเซอร์ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2503 โดย T.H. Maiman [6] เลเซอร์ เป็นแหล่งกำเนิดแสงอาพันธ์สูง (highly coherent) และ เกือบเอกรงค์ (nearly monochromatic) แสงเลเซอร์เป็นลำขนานและควบคุมได้ด้วยทัศนอุปกรณ์ เมื่อพิจารณาการอนุรักษ์โมเมนตัมของแหนบคิปลิงแสงที่เกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นระนาบและมีความเข้มแสงคงที่ตลอดหน้าคลื่นดังรูปที่ 2 เส้นรังสีที่ตกกระทบบนอนุภาคโปร่งใส (ค่าดัชนีหักเหมากกว่าสิ่งแวดล้อม) มีโมเมนตัมตอนเริ่มต้นของเส้นรังสี a และ b คือ p_{1a} และ p_{1b} ตามลำดับ และอนุภาคอยู่นิ่ง ($p_i=0$) โมเมนตัมรวมหลังการตกกระทบคือ p_{2a} และ p_{2b} และโมเมนตัมของอนุภาค เมื่อพิจารณาผลต่างโมเมนตัมของเส้นรังสี Δp_a และ Δp_b จะพบว่าอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปในทิศตรงข้าม หรือเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ โดยแรงที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนี้ เรียกว่า forward scattering force (F_{sc})



รูปที่ 2 ลำแสงที่มีความเข้มคงที่มีลักษณะเป็นคลื่นระนาบตกกระทบบนอนุภาคที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าสิ่งแวดล้อม การตกกระทบบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม การอนุรักษ์โมเมนตัมทำให้เกิด แรงกระเจิงไปข้างหน้า F_{sc} (forward scattering force)



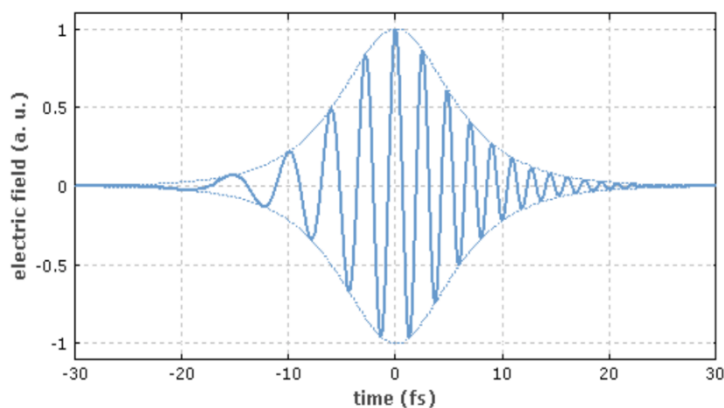
รูปที่ 3 ลำแสงเลเซอร์ที่มีความเข้มแบบเกาส์ มีตกกระทบบนอนุภาคที่มีค่าดัชนีหักเหมากกว่าสิ่งแวดล้อม การตกกระทบบทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม การอนุรักษ์โมเมนตัมทำให้เกิด แรงกระเจิงไปข้างหน้า F_{sc} (forward scattering force) ไปในแนวแกน x และ แรงเกรเดียนต์ (gradient force) ไปในแนวแกน -y



รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้แหนบเชิงแสงทางด้านชีววิทยา ในรูปเป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของ DNA และผลกระทบของแรงตึง (tension) ต่อ DNA ในด้านต่างๆ เช่น transcription packaging และ replication เป็นต้น [12-13]

เลเซอร์ Ultrafast และความเข้มแสงสูง

เลเซอร์ ultrafast ให้แสงเลเซอร์แบบพัลส์ (pulse) ในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้กำลังของเลเซอร์มีค่าสูงขึ้น ถึงแม้ว่าพัลส์ของเลเซอร์จะถูกทำให้ช่วงเวลาสั้นลงไปได้อย่างต่อเนื่องด้วยเทคนิคโหมดล็อก (mode-locking) แต่จำนวนโฟตอนต่อพัลส์ก็ไม่ได้เพิ่มขึ้นตามเวลาที่สั้นลงจากเทคนิคโหมดล็อกได้ แสงระดับนาโนจูลสามารถขยายไปถึงระดับมิลลิจูลได้ แต่หากต้องการขยายพลังงานให้มากกว่านี้จะทำให้อุปกรณ์แสงที่เกี่ยวข้องและวัสดุสำหรับเพิ่มจำนวนโฟตอน (amplifying material) เสียหายได้ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ การเพิ่มพลังงานหรือจำนวนโฟตอนให้พัลส์ ดำเนินการโดยขยายขนาดของลำแสง เพื่อเพิ่มพื้นที่รับพลังงาน (ลดความเข้ม) ของอุปกรณ์หรือวัสดุเพิ่มจำนวนโฟตอน แต่กระบวนการนี้ต้องใช้งบประมาณจำนวนมหาศาลและห้องปฏิบัติการที่ใช้เทคนิคนี้ มีแต่ห้องปฏิบัติการระดับชาติเท่านั้น และที่สำคัญอัตราการเกิดซ้ำ (repetition rate) ของพัลส์อยู่ที่ระดับ ไม่กี่ครั้งต่อวัน เพื่อให้วัสดุที่ใช้เพิ่มจำนวนโฟตอนได้เย็นตัวลงก่อนที่จะถูกยิงซ้ำ [14]



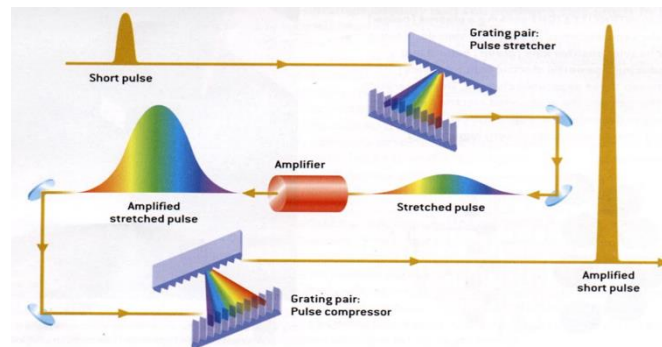
รูปที่ 5 ตัวอย่างของ chirped pulse ในกรณีนี้คือ up chirped ความถี่เพิ่มขึ้นตามเวลา กรณี down chirped ความถี่จะลดลงตามเวลา

(Reproduced from <http://rp-photonics.com/chirp.html>)

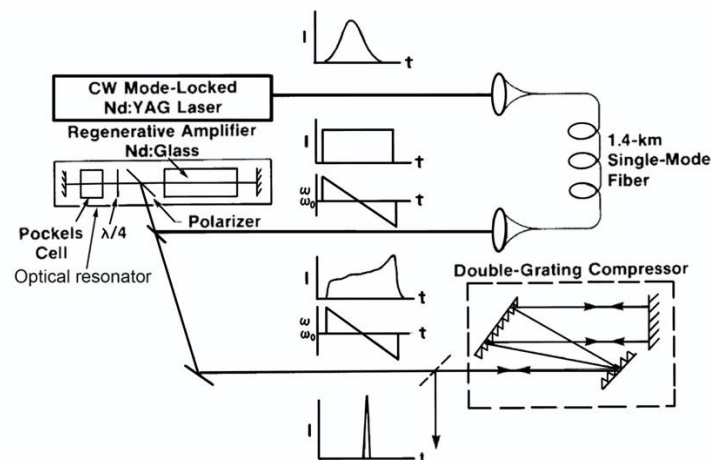
ในปี พ.ศ. 2528 Stricklands และ Mourou ได้คิดค้นเทคนิคใหม่ chirped pulse amplification หรือ CPA สำหรับพัลส์ของแสง เทคนิคนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากเทคโนโลยีเรดาร์ [14] เทคนิค CPA สามารถสรุปย่อๆ ดังรูปที่ 6 ได้สามขั้นตอน [15-16]

- 1) พัลส์ของเลเซอร์ถูกยืดออกในมิติเวลาเป็นร้อยเท่า พันเท่าหรือมากกว่า เพื่อให้กำลังสูงสุดของแสงลดลง
- 2) พลังงานของพัลส์เลเซอร์ถูกเพิ่มขึ้น โดยวัสดุที่ใช้เพิ่มจำนวนโฟตอนไม่ถูกทำลาย
- 3) พัลส์ของเลเซอร์ถูกบีบอัดกลับเข้าสู่ช่วงเวลาเดิมทำให้กำลังของแสงเพิ่มขึ้นมหาศาล

ในตอนแรกเริ่มการขยายพัลส์ในมิติของเวลา (temporal stretching) Stricklands และ Mourou ใช้ใยแก้วนำแสงแบบโหมดเดี่ยว (single mode optical fiber) เพื่อนำแสง พัลส์ของแสงจะเคลื่อนที่ในใยแก้วจะยืดออก (broadening) เนื่องจากปรากฏการณ์ group velocity dispersion หรือ GVD และปรากฏการณ์ความไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinearity) ของวัสดุทำใยแก้ว ทำให้ค่าดัชนีหักเห (n) ของแสงเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสง หรือเรียกว่า self-phase modulation ทำให้ส่วนหน้าของพัลส์มีความถี่ต่ำลง ในขณะที่ส่วนตาม หรือ ส่วนหลังของพัลส์มีความถี่สูงขึ้น เป็นไปตามปรากฏการณ์เคอร์ (Kerr effect) ทั้งสองปรากฏการณ์ทำให้พัลส์ของแสงยืดออกในเทอมของ เวลาและเกิดการเลื่อนความถี่ขึ้น [17-18]



รูปที่ 6 กระบวนการ chirped pulse amplification อย่างง่าย (Reproduced from Center for Ultrafast Optical Science, University of Michigan in Ann Arbor)



รูปที่ 7 เส้นทางเดินแสงและทัศนอุปกรณ์ของ chirped pulse amplification จากงานพิมพ์ในวารสาร Optics Communications ของ Mourou และ Stricklands ในเดือนธันวาคมปี 2528 [16]

ในรูปที่ 7 พัลส์ของแสงจากเลเซอร์ Nd:YAG ถูกโฟกัสเข้าสู่ใยแก้วนำแสงที่ยาว 1.4 กิโลเมตร ทำให้เกิดการยืดออกของพัลส์ในเทอมของเวลา (จากปรากฏการณ์ GVD) ดังแสดงในกราฟความเข้ม (I) และ เวลา (t) และความถี่ที่แยกออกจากกัน (จากปรากฏการณ์เคอร์) ดังแสดงในกราฟระหว่างความถี่ (ω) และเวลา โดยในกราฟนี้ แกนเวลานั้นอยู่ที่ตำแหน่งความถี่ที่มีความเข้มสูงสุดของพัลส์ (ω_0) พัลส์ที่เปลี่ยนไปนี้ เคลื่อนที่เข้าสู่ระบบเพิ่มจำนวนโฟตอนแบบ regenerative ที่ใช้ Nd:glass เป็นวัสดุเพิ่มจำนวนโฟตอน มี Pockels cell ที่ทำจากผลึก Potassium Dihydrogen Phosphate (KDP) ผลึกนี้มีบทบาทสำคัญในการสร้างพัลส์ของแสง เป็นทัศนอุปกรณ์ที่ค่าดัชนีหักเหขึ้นกับ

สนามไฟฟ้า (electro-optic) ทำให้โพลาไรเซชันของแสงที่ผ่านเข้าผลึกเปลี่ยนไป และส่งผ่านออกไปทาง $\lambda/4$ -waveplate ในกรณีที่ควบคุมให้พัลส์ออกมาไม่ได้ จำนวนโฟตอนสะสมภายใน resonator เพิ่มขึ้น จาก population inversion ใน Nd:glass เมื่อต้องการปล่อยพัลส์ของแสง Pockels cell ก็จะถูกสวิตช์ เพื่อให้พัลส์ผ่าน $\lambda/4$ -waveplate ออกมาเข้าสู่เกรตติงคู่ เพื่อบีบอัดพัลส์ให้สั้นลง พัลส์ที่ออกมาจะมีความกว้างพัลส์แคบขึ้นและจำนวนโฟตอนมากขึ้น

ในงานของ Mourou และ Stricklands ทั้งสองสามารถเพิ่มกำลังของเลเซอร์ จาก 2.3 วัตต์ เป็น 0.5 เมกกะวัตต์ ความสำเร็จของ Mourou และ Stricklands ทำให้กำลังของพัลส์ของเลเซอร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับเพตะวัตต์ (10^{15} W) เทคนิค CPA ทำให้ระบบพัลส์เลเซอร์กำลังสูงมีขนาดเล็กลง ใช้งานได้ง่ายขึ้น เหมาะกับอุตสาหกรรม และการแพทย์ การใช้งานทางการแพทย์เรารู้จักกันมากที่สุดคงเป็น laser assisted in situ keratomileusis หรือ LASIK ในยุคแรก เลเซอร์ระดับเฟมโตวินาที (femtosecond laser) มาถูกนำมาใช้ผ่าตัดเนื้อเยื่อด้านบนของกระจกตา เพื่อให้ excimer laser (เลเซอร์นี้มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 350 นาโนเมตรในช่วงอัลตราไวโอเล็ต) สามารถเข้าถึงเนื้อกระจกตา และเปลี่ยนรูปกระจกตาได้ เพื่อรักษาอาการสายตาสั้น (myopia) และสายตาเอียง (astigmatism) ในปี พ.ศ.2544 ระบบเลเซอร์เฟมโตวินาที แบบ all-in-one ถูกนำมาใช้ในการทำเลสิก โดยไม่จำเป็นต้องผ่ากระจกตาออก เพียงแค่เปิดกระจกตาด้านน้อยกว่า 4 มิลลิเมตร เพื่อให้แสงเข้าไปเปลี่ยนรูปกระจกตาให้มีความโค้งน้อยลง ทำให้แสงที่เข้าสู่ตาโฟกัสลงบนเรตินาพอดี [19] นอกจากนี้การแพทย์แล้ว CPA ยังถูกนำมาใช้ในการวิจัยพื้นฐานในการศึกษาฟิสิกส์ระดับอะตอมโดยใช้สนามความเข้มสูง (strong field) ซึ่งนอกจากจะสูงพอที่จะทำให้ไอเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมแล้วยังถ่ายทอดพลังงานให้กับไอเล็กตรอน ทำให้ไอเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูง โดยกระบวนการนี้เรียกว่า above-threshold ionization (ATI) [20]

เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.britannica.com/biography/Arthur-Ashkin>
- [2] <https://www.britannica.com/biography/Gerard-Mourou>
- [3] <https://www.britannica.com/biography/Donna-Strickland>
- [4] <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.1.20181002a/full/>
- [5] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2018/popular-information/>
- [6] P. N. Lebedev, "Experimental examination of light pressure", Annalen de Physik, 6, 433 (1901).
- [7] T. H. Maiman, "Stimulated optical radiation in ruby", Nature, 187, 493 (1960).
- [8] A. Ashkin, "Acceleration and trapping of particles by radiation pressure", Physical Review Letters, 24, 156 (1970).
- [9] A. Ashkin, "Atomic-beam deflection by resonance-radiation pressure", Physical Review Letters, 25, 1321 (1970).
- [10] A. Ashkin and J. M. Dziedzic, "Optical levitation by radiation pressure", Applied Physics Letters, 19, 283 (1971).
- [11] A. Ashkin and J. M. Dziedzic, "Stability of optical levitation by radiation pressure. Applied Physics Letters, 24, 586 (1974).
- [12] C. Bustamante, Z. Bryant, and S. B. Smith, "Ten years of tension: Single-molecule DNA mechanics", Nature, 421(6921), 423 (2003).

- [13] M. D. Wang, H. Yin, R. Landick, J. Gelles and S. M. Block, "Stretching DNA with optical tweezers", *Biophysical Journal*, 72(3), 1335 (1997).
- [14] C. H. Townes, *Quantum Electronics: A Symposium*, Columbia University Press, New York (1960).
- [15] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2018/advanced-information/>
- [16] D. Strickland and G. Mourou, "Compression of amplified chirped optical pulses", *Optics Communications*, 56(3), 219–221 (1985).
- [17] B. Nikolaus and D. Grischkowsky, "12× pulse compression using optical fibers", *Applied Physics Letters*, 42(1), 1–2 (1983).
- [18] W. J. Tomlinson, "Curious features of nonlinear pulse propagation in single-mode optical fibers", *Optics News*, 15(1), 7 (1989).
- [19] W. Sekundo, K. S. Kunert and M. Blum, "Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction (SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: Results of a 6-month prospective study", *British Journal of Ophthalmology*, 95(3), 335 (2011).
- [20] K. J. Schafer, B. Yang, L. F. Dimauro and K. C. Kulander, "Above threshold ionization beyond the high harmonic cutoff", *Physical Review Letters*, 70, 1599 (1993).