



## แผนการดำเนินงาน

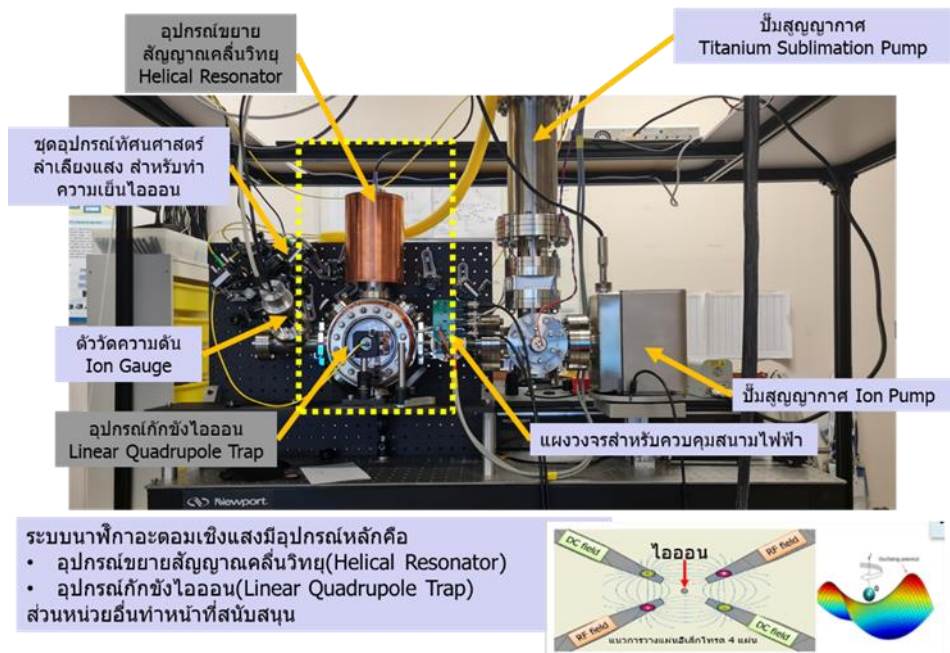


- ปี ๒๕๖๒ - ๒๕๖๕ ร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่ CQT และ NIMT
- ปี ๒๕๖๒ ร่วมพัฒนาเทคนิคในการเคลือบฟิล์มบางทองคำบนแผ่นเซรามิกอะลูมินาไนไตรด์ที่ CQT ที่ลิงคโพรแต่ไม่สมบูรณ์
- ปี ๒๕๖๓ พัฒนาชิ้นทองแดงและแผ่นเซรามิก MACOR ด้วยเทคโนโลยีในประเทศไทย
- ปี ๒๕๖๔ สร้างชิ้นส่วนอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้อุปกรณ์กักขังไอออน
- ปี ๒๕๖๕ ประสบความสำเร็จในการกักขังไอออนเย็นของธาตุอิตเทอเรียม
- ปี ๒๕๖๕ - ๒๕๖๖ ทดสอบคุณสมบัติของไอออนอิตเทอเรียมที่กักขังได้
- ปี ๒๕๖๖ - ๒๕๖๘ CQT มีแผนที่จะพัฒนานาฬิกาอะตอมขนาดเล็กเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นโอกาสที่ดีของประเทศไทยที่จะได้ร่วมวิจัยและออกแบบระบบต่างๆ ของนาฬิกาอะตอมขนาดเล็ก
- ปี ๒๕๖๗ - ๒๕๖๘ การเปรียบเทียบความถี่ด้วยระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System) เพื่อเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงระหว่าง NIMT และ CQT นอกจากนี้จะเจรจาขยายความร่วมมือไปยัง NARIT (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (Very Long Baseline Interferometer) เปรียบเทียบความถี่เพื่อให้ได้ความแม่นยำมากกว่าการเปรียบเทียบด้วยระบบ GNSS
- ปี ๒๕๖๘ - ๒๕๖๙ ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง ๒ หน่วยงานซึ่งทั้งสองธาตุนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ในอนาคต
- ปี ๒๕๖๙ จะเริ่มพิจารณานิยามใหม่ของหน่วยวินาที

### ๒.๒ ความก้าวหน้าในการวิจัยพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง ในปี ๒๕๖๕ และแผนดำเนินงานปี ๒๕๖๖

ทีมวิจัยประสบความสำเร็จในการสร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่กักขังไอออนได้แล้ว สามารถกักขังไอออนเย็นของธาตุอิตเทอเรียม ด้วยอุปกรณ์ที่สามารถพัฒนาและสร้างขึ้นเองด้วยเทคโนโลยีที่มีในประเทศไทย อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย

- อุปกรณ์ขยายสัญญาณคลื่นวิทยุ (Helical Resonator) ลักษณะทรงกระบอก สร้างจากทองแดงบริสุทธิ์ภายใต้ความถี่ ๒ ขดทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณที่สั้นพ้องภายในท่อทองแดงทรงกระบอก ซึ่งจะสามารถกรองความถี่อื่นๆ ที่ไม่ต้องการออกไปได้
- อุปกรณ์กักขังไอออน (Linear Quadrupole Trap) เป็นอุปกรณ์หลักของนาฬิกาอะตอมเชิงแสง ใช้สร้างสนามไฟฟ้าสำหรับกักขังไอออน ได้รับความร่วมมือจาก CQT (ลิงคโพร) ในการสร้างแบบจำลองและยืนยันผลของแบบจำลองระหว่าง 2 สถาบัน โดยชิ้นส่วนต่างๆ สร้างจากบริษัท startup ในประเทศไทยและจากห้องปฏิบัติการโรงงาน (Mechanical workshop) ของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ



ทั้งนี้ ขั้นตอนในการกักขังไอออนโดยปกติจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน ตัวอย่างเช่น ขั้นตอนการกำหนดสนามไฟฟ้า ขั้นตอนการควบคุมความถี่ของเลเซอร์ และขั้นตอนการเตรียมระบบถ่ายภาพ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนต่างๆ จะต้องทำงานตามลำดับเวลาที่ตั้งไว้ ทำให้เกิดความยุ่งยากในการกักขังไอออนแต่ละครั้ง ทางทีมวิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการกักขังไอออน ทำให้ลดระยะเวลาในการเตรียมกักขังไอออน ในปัจจุบันทีมวิจัยสามารถควบคุมจำนวนไอออนที่ต้องการกักขังได้ โดยสามารถกักขังไอออนได้มากที่สุดถึง ๗ ตัว นอกจากระบบโปรแกรมควบคุมการกักขังและทำความเย็นไอออนแล้วยังได้พัฒนาระบบควบคุมกล้องในการถ่ายภาพไอออน อีกด้วย

นอกจากนี้ทีมวิจัยได้ทำการทดลองกักขังไอโซโทปอื่นๆ ของธาตุอิตเทอเรียม เช่น ๑๗๑ ๑๗๒ และ ๑๗๔ โดยไอโซโทปที่ใช้ทำนาฬิกาอะตอมคือ ๑๗๑ และพัฒนาระบบเลเซอร์ที่มีความเสถียรสำหรับควบคุมอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานต่างๆ ดังนี้

- ทำให้อะตอมกลายเป็นไอออน ด้วยเลเซอร์ความยาวคลื่น ๓๙๘.๙ nm และ ๓๖๙.๕ nm เพื่อให้ไอออนวงนอกหลุดออกไป
- ทำให้ไอออนเย็นและถูกกักขัง ด้วยเลเซอร์ความยาวคลื่น ๓๖๙.๕ nm และ ๙๓๕.๒ nm เพื่อทำให้เกิดการถ่ายเทโมเมนตัม จนพลังงานของไอออนลดลง
- วัดความถี่นาฬิกา(E2 clock transition) ด้วยเลเซอร์ความยาวคลื่น ๔๓๕.๕ nm กระตุ้นอิเล็กตรอนจากระดับชั้นพลังงาน S ไป D การตรวจสอบว่าอิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปหรือไม่ สามารถทำได้โดยการถ่ายภาพไอออน ถ้าภาพถ่ายยังคงเห็นไอออนสว่าง แสดงว่าอิเล็กตรอนยังไม่โดนกระตุ้น ให้ปรับความถี่ของเลเซอร์จนกระทั่งได้ภาพที่มืด แสดงว่าอิเล็กตรอนโดนกระตุ้นไปแล้ว วัดความถี่ของเลเซอร์ที่ทำให้อิเล็กตรอนโดนกระตุ้น จะได้ความถี่มาตรฐานของนาฬิกาอะตอมเชิงแสง

ในปี ๒๕๖๖ จะเป็นการทดสอบความเสถียรของการทำงานและวัดความถี่ของนาฬิกา

กล่าวโดยสรุป โครงการวิจัยที่สามารถที่จะกักขังไอออนของธาตุอิตเทอเรียมได้สำเร็จ และแผนการดำเนินงานในขั้นถัดไป จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติของไอออนอิตเทอเรียมที่กักขังได้ และมีแผนที่จะเดินทางไปร่วมวิจัยกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ เพื่อพัฒนานาฬิกาอะตอมขนาดเล็กเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นโอกาสที่ดีของประเทศไทยที่จะได้ร่วมวิจัยและออกแบบระบบต่างๆ รวมทั้งเรียนรู้เทคโนโลยีที่ใช้สร้างของนาฬิกาอะตอมขนาดเล็ก นอกจากนี้จะเตรียมการเพื่อเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมระหว่างประเทศไทยและสิงคโปร์ผ่านระบบดาวเทียมนำทาง หรือ GNSS และจะขยายกรอบความร่วมมือไปยังสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ และ National Institute of Information and Communication Technology เพื่อทดลองใช้งานระบบ VLBI หรือ Very Long Baseline Interferometer สำหรับการเปรียบเทียบความถี่ระหว่างประเทศที่มีความแม่นยำสูง

เป้าหมายหลักของโครงการวิจัย คือ การใช้งานนาฬิกาอะตอมเชิงแสงเป็นโครงสร้างพื้นฐานหลักทางด้านเวลาของประเทศไทย เพื่อสนับสนุนงานทางด้านโทรคมนาคม ระบบธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และโครงข่ายพิกัดพิกัดหลักฐานแห่งชาติ นอกจากนี้จะเป็นโอกาสของประเทศไทยที่จะมีส่วนร่วมกำหนดนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคต

### ๓. สรุป

- เมื่อวันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๖๒ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) กับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)
- ทั้งสองประเทศจะร่วมกันวิจัยและพัฒนานาฬิกาอะตอมเพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระยะเวลาดำเนินงาน ๗ ปี (๒๕๖๒-๒๕๖๙) งบประมาณฝ่ายไทย ๘๓.๓๘ ล้านบาท อนุมัติแล้ว ๕ ปี (๒๕๖๒-๒๕๖๖) จำนวน ๕๗.๕๓ ล้านบาท
- สิ่งประเทศไทยได้รับจากการทำโครงการฯ คือ
  - (๑) นาฬิกาที่พัฒนาใหม่นี้จะแม่นยำกว่านาฬิกาซีเซียมของประเทศในปัจจุบันถึง ๑๐,๐๐๐ เท่า
  - (๒) ทัดเทียมนานาชาติด้านมาตรฐานการกำหนดนิยามของหน่วยวินาที
  - (๓) ลดค่าใช้จ่ายจากการนำเข้าเครื่องมือจากต่างประเทศ เช่น อุปกรณ์สำหรับกักขังไอออนที่มีขายในต่างประเทศมีราคาสูงถึงกว่า 300,000 USD เป็นต้น
  - (๔) นาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย ในด้านสื่อสาร (5G network) ระบบธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดพิกัดหลักฐานแห่งชาติ เป็นต้น
  - (๕) สร้างบุคลากรที่มีคุณภาพและศักยภาพระดับนานาชาติ
  - (๖) เกิดบริษัทในประเทศไทยที่สามารถที่จะสร้างชิ้นส่วน หรืออุปกรณ์เพื่อสนับสนุนเทคโนโลยีควอนตัมได้
- ผลกระทบเนื่องจาก COVID – 19 ทำให้ NIMT ต้องพัฒนาอุปกรณ์กักขังไอออนอิตเทอเรียมขึ้นมาเองในประเทศ และจะทำการเปรียบเทียบกับของ CQT ในสิงคโปร์
- ปี ๒๕๖๕ สามารถสร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่กักขังไอออนได้แล้วและสามารถกักขังไอออนได้ถึง ๗ ไอออน
- ปี ๒๕๖๖ – ๒๕๖๘ มีแผนทำนาฬิกาขนาดเล็กเชิงพาณิชย์ และในปี ๒๕๖๙ สามารถทำนิยามใหม่ของหน่วยวินาที

### ๔. ประเด็นเสนอต่อที่ประชุม

เพื่อรับทราบผลการดำเนินงานปี ๒๕๖๕ และเห็นชอบแผนการดำเนินงานปี ๒๕๖๖