๓.๓ โครงการความร่วมมือไทย – สิงคโปร์เพื่อพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง ตามพระราชดำริฯ

(ผู้ถวายรายงาน : นายไพรัช ธัชยพงษ์)

๑. ความเป็นมา

สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินเยือนศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ เมื่อวันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๖๒ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT: National Institute of Metrology of Thailand) กับ มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)

ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (Centre for Quantum Technologies : CQT) มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS) ก่อตั้งเมื่อเดือนธันวาคม ค.ศ. ๒๐๐๗ เพื่อเป็นศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติแห่งแรกของสิงคโปร์ ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS) ภารกิจมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ๓ ด้าน คือ Quantum Communication & Security, Quantum Computation & Simulation และ Quantum Sensing & Metrology มีบุคลากร ๒๒๗ คน เป็นนักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา ๑๙๔ คน และมีงบประมาณราวปีละ ๖๗๖ ล้านบาท (๒๖.๑๔ ล้านเหรียญสิงคโปร์) (https://www.quantumlah.org/media/presentation/annualreport2021.pdf)

๒. โครงการ/กิจกรรมที่ดำเนินงาน

๒.๑ แผนความร่วมมือ NIMT-CQT ในการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง

๒.๑.๑ วัตถุประสงค์ : เพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัม โดย NIMT ใช้ไอออนของธาตุอิธเธอเบียม (Yb+) และ CQT ใช้ไอออนของธาตุลูทิเทียม (Lu+) โดยเป็นความร่วมมือระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) ของไทย และ ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (CQT) สิงคโปร์

๒.๑.๒ ระยะเวลาดำเนินการ : ๗ ปี (๒๕๖๒ - ๒๕๖๙)

๒.๑.๓ นักวิจัยที่เกี่ยวข้อง

<u>นักวิจัยไทย</u>

- ดร. ปิยพัฒน์ พูลทอง นักมาตรวิทยาชำนาญการพิเศษ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
- ดร. ธเนศ พฤทธิวรสิน นักวิจัย Quantum Technology Foundation Thailand
- ดร. ธารา เฉลิมทรงศักดิ์ อาจารย์ วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ดร. รัฐกร แก้วอ่วม นักมาตรวิทยาปฏิบัติการ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ
- นายนครินทร์ จายโจง นักศึกษาปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดลขณะนี้เรียนปริญญาเอกที่ NUS (CQT) ด้าน Lutetium ion clock

<u>นักวิจัยสิงคโปร์</u>

- • Dr. Murray Barrett Principal Investigator at CQT
- • Dr. Kyle Arnold Researcher at CQT

๒.๑.๔ งบประมาณ : ทั้งโครงการ ๘๓.๓๘ ล้านบาท (ได้รับอนุมัติแล้ว ๕ ปี (๒๕๖๒ - ๒๕๖๖) จำนวน ๕๓.๑๐ ล้านบาท)

๒.๑.๕ แผนการดำเนินงาน

- ปี ๒๕๖๒ – ๒๕๖๕ ร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่ CQT และ NIMT
- ปี ๒๕๖๒ ร่วมพัฒนาเทคนิคในการเคลือบฟิล์มบางทองคำบนแผ่นเซรามิคอะลูมินาไนไตรด์ที่ CQT ที่สิงคโปร์แต่ไม่สมบูรณ์
- ปี ๒๕๖๓ พัฒนาชิ้นทองแดงและแผ่นเซรามิค MACOR ด้วยเทคโนโลยีในประเทศไทย
- ปี ๒๕๖๔ สร้างชิ้นส่วนอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ได้อุปกรณ์กักขังไอออน
- ปี ๒๕๖๕ ประสบความสำเร็จในการกักขังไอออนเย็นของธาตุอิธเธอเบียม
- ปี ๒๕๖๕ - ๒๕๖๖ ทดสอบคุณสมบัติของไอออนอิธเธอเบียมที่กักขังได้
- ปี ๒๕๖๖ - ๒๕๖๘ CQT มีแผนที่จะพัฒนานาฬิกาอะตอมขนาดเล็กเชิงพาณิชย์ ซึ่งเป็นโอกาสที่ดีของประเทศไทยที่จะได้ ร่วมวิจัยและออกแบบระบบต่าง ๆ ของนาฬิกาอะตอมขนาดเล็ก
- ปี ๒๕๖๗ - ๒๕๖๘ การเปรียบเทียบความถี่ด้วยระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System) เพื่อเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงระหว่าง NIMT และ CQT นอกจากนี้จะเจรจาขยายความร่วมมือไปยัง สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (NARIT) (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (Very Long Baseline Interferometer) เปรียบเทียบความถี่เพื่อให้ได้ความแม่นยำมากกว่าการเปรียบเทียบด้วยระบบ GNSS
- ปี ๒๕๖๘ - ๒๕๖๙ ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง ๒ หน่วยงานซึ่งทั้งสองธาตุนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่ง ในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ในอนาคต
- ปี ๒๕๖๙ จะเริ่มพิจารณานิยามใหม่ของหน่วยวินาที

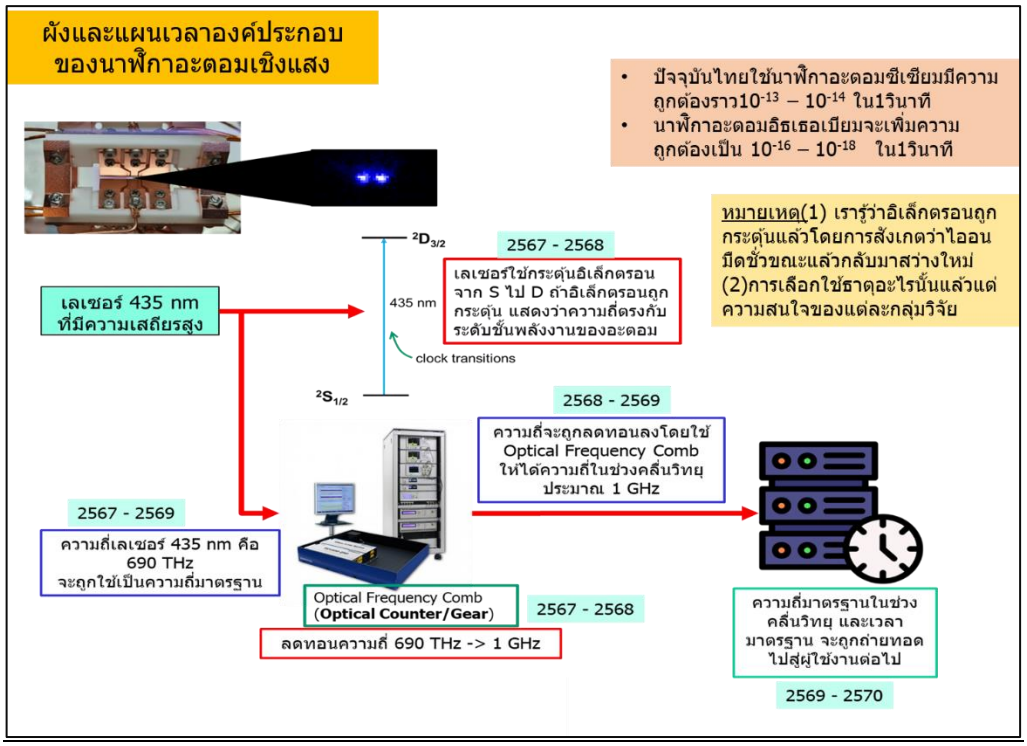
๒.๒ ความก้าวหน้าในการวิจัยพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง ในปี ๒๕๖๖ สร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่กักขังไอออน

ทีมวิจัยประสบความสำเร็จในการสร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงที่กักขังไอออนโดยลำพังในปี ๒๔๖๕ - ๒๕๖๖ โดยปี ๒๕๖๕ สามารถสร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงสำเร็จของไทยมีอุปกรณ์หลัก คือ อุปกรณ์ขยายสัญญาณคลื่นวิทยุ (Helical Resonator) อุปกรณ์กักขังไอออน (Linear Quadrupole Trap) และส่วนอื่นทำหน้าที่สนับสนุน และเมื่อวันที่ ๑๖ มีนาคม ๒๕๖๕ ประสบความสำเร็จในการกักขังไอออน Trapped ions (Yb 171)

<u>ความก้าวหน้าในปี ๒๕๖๖</u>

- ติดตั้งระบบเลเซอร์เสถียรภาพสูงเพื่อวัดความถี่มาตรฐานของธาตุอิธเธอเบียม
- ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อควบคุมการทำงานของนาฬิกาอะตอมเชิงแสง
- คาดว่าจะได้ความถี่นาฬิการาว ปี ๒๕๖๗ – ๒๕๖๘ เพื่อใช้งานเบื้องต้น

ผังและแผนเวลาองค์ประกอบของนาฬิกาอะตอมเชิงแสง



<u>การทำงานของไทยโดยลำพังในปี ๒๕๖๕ – ๒๕๖๖</u>

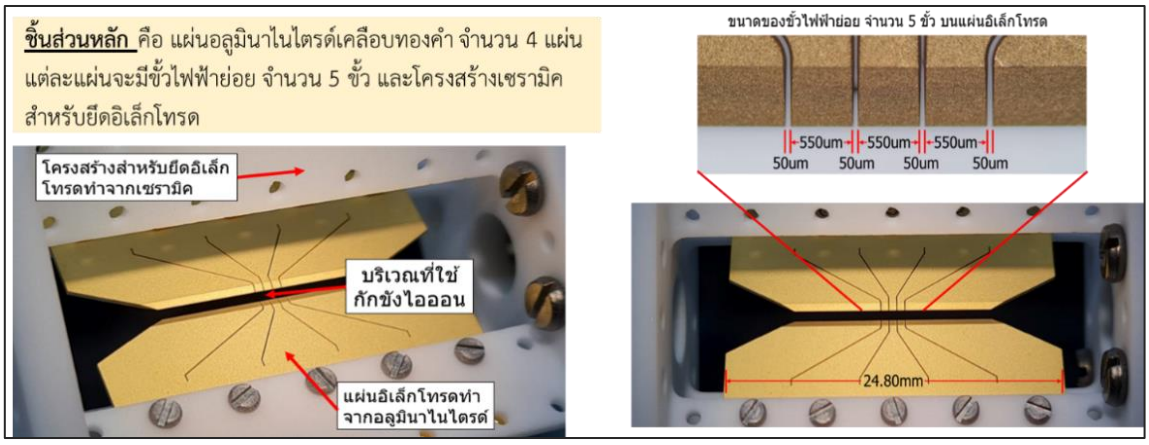
ปัจจุบันไทยใช้นาฬิกาอะตอมซีเซียมมีความถูกต้องราว 10^{-13} – 10^{-14} ใน ๑ วินาที นาฬิกาอะตอมอิธเธอเบียมจะเพิ่มความถูกต้องเป็น 10^{-16} – 10^{-18} ใน ๑ วินาที

<u>ความร่วมมือกับสิงคโปร์ในปี ๒๕๖๖</u>

จากที่สถานการณ์ COVID - 19 คลี่คลาย นักวิจัยไทยได้มีโอกาสเดินทางไปยัง CQT ร่วมกันสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนที่ตกลงกันไว้ก่อนการระบาดของ COVID – 19 จนแล้วเสร็จตามแผน ประเทศไทยได้อุปกรณ์กลับมา ๑ ชุด อุปกรณ์กักขังไอออนที่พัฒนาขึ้นเองโดยประเทศไทยจะถูกใช้กับอิธเธอเบียมเป็นนาฬิกาอะตอมของประเทศเราเท่านั้น ในขณะที่อุปกรณ์กักขังไอออนที่ได้ร่วมสร้างกับ CQT จะสามารถใช้งานกับไอออนธาตุลูทิเทียม (CQT) หรืออิธเธอเบียม (NIMT) ก็ได้ ทั้งของไทยและสิงคโปร์ใช้ประโยชน์ต่อแผนการทำวิจัยของไทยในอนาคต ดังนี้

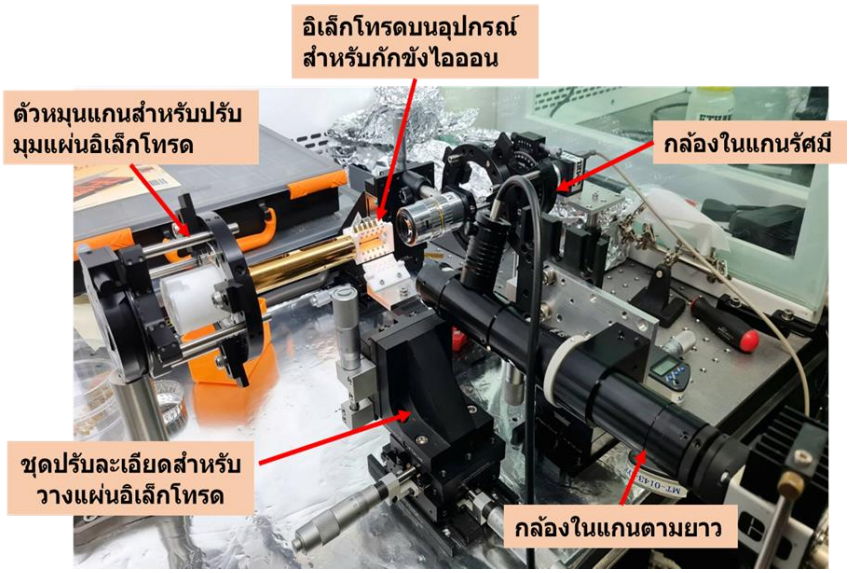
(๑) แต่ละชุดสามารถใช้ทำงานเป็นนาฬิกาอะตอมขนาดเล็กต้องการตู้ Rack Network ประมาณ ๒ ตู้เท่านั้น

(๒) เป็นเครื่องมือพื้นฐานสำคัญสำหรับนักวิทยาศาสตร์ไทยในการศึกษาระบบทางควอนตัม



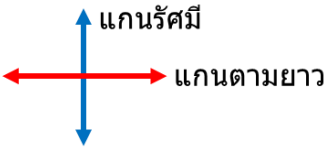
การประกอบและการจัดวางแนวของอิเล็กโทรด

ระบบกักขังไอออนที่ร่วมกันสร้างนี้ จำเป็นที่จะต้องวางแผ่นอิเล็กโทรดให้ขนานกัน และแนวร่องของแผ่นอิเล็กโทรดทั้ง ๔ แผ่นต้องตรงกัน คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ๑๐ ไมโครเมตร ต้องใช้ชุดเครื่องมือพิเศษที่ร่วมกันพัฒนาเพื่อวางแผ่นอิเล็กโทรดแต่ละแผ่นเรียงตัวกันตามที่ต้องการ



การทำงานของนักวิจัย

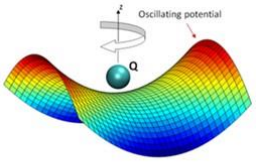
นักวิจัยจาก NIMT design (ไทย)



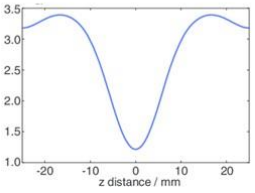
- ขั้วไฟฟ้า ๑๒ ขั้ว
- ทำจากทองแดงบริสุทธิ์
- ใช้ขั้วไฟฟ้า ๔ ขั้วในการสร้างสนามไฟฟ้าในแกนรัศมี
- ใช้ขั้วไฟฟ้า ๘ ขั้วในการสร้างสนามไฟฟ้าในแกนตามยาว

นักวิจัยจาก CQT design (สิงคโปร์)

- ขั้วไฟฟ้าทั้งหมด ๒๐ ขั้ว
- ทำจากอลูมินาไนไตรด์ เคลือบด้วยทองคำ
- ใช้ขั้วไฟฟ้า ๑๒ ขั้วในการสร้างสนามไฟฟ้าในแกนรัศมี
- ใช้ขั้วไฟฟ้า ๘ ขั้วในการสร้างสนามไฟฟ้าในแกนตามยาว



RF field ทำให้เกิดหลุมพลังงานศักย์แบบพาราโบลาในแกนรัศมี ทำให้ไอออนถูกกักขังอยู่ที่ก้นหลุมหรือบริเวณตรงกลาง



DC field ทำให้เกิดหลุมพลังงานศักย์แบบพาราโบลาในแกนตามยาว ทำให้ไอออนถูกกักขังบริเวณตรงกลาง

๓. สรุป

- เมื่อวันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๖๒ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) กับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)
- นับตั้งแต่ ปี ๒๕๖๒ - ๒๕๖๕ ประเทศไทยสามารถสร้างระบบนาฬิกาอะตอมเชิงแสงสำเร็จโดยมีอุปกรณ์หลักคือ (๑) อุปกรณ์ขยายสัญญาณคลื่นวิทยุ (Helical Resonator) และ (๒) อุปกรณ์กักขังไอออน (Linear Quadrupole Trap) และกำลังสร้างระบบเลเซอร์ที่จะไปทำให้อะตอมย้ายชั้นพลังงานให้ความถี่เป็นนาฬิกาที่ต้องการ
- ปี ๒๕๖๖ สถานการณ์ COVID – 19 คลี่คลายลง นักวิจัยไทยจึงได้เดินทางไปร่วมกับสิงคโปร์สร้างอุปกรณ์สำหรับกักขังไอออน ร่วมกับ CQT เป็นงานต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มโครงการ แต่หยุดชะงักไปเนื่องจากโควิด ๑๙ ได้ต้นแบบ Linear Quadrupole Trap เพื่อนำมาทำการทดลองต่อในไทย เทียบผลกับสิงคโปร์
- ปี ๒๕๖๖ ยังได้ขยายความร่วมมือทางวิชาการกับสถาบันมาตรวิทยาแห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, PTB) โดยดร. ปิยพัฒน์ พูลทอง และดร.รัฐกร แก้วอ่วม ไปร่วมวิจัยระหว่างวันที่ ๒ ตุลาคม ๒๕๖๖ - ๓๑ มีนาคม ๒๕๖๗

<u>แผนเวลา</u>

(๑) ปี ๒๕๖๕ - ๒๕๖๘ ทดสอบคุณสมบัติของไอออนอิตเทอเบียมที่กักขังได้

(๒) ปี ๒๕๖๖ - ๒๕๖๘ CQT มีแผนที่จะพัฒนานาฬิกาอะตอมขนาดเล็กเชิงพานิชย์ ซึ่งเป็นโอกาสที่ดีของประเทศไทยที่จะได้ร่วมวิจัยและออกแบบระบบต่างๆ ของนาฬิกาอะตอมขนาดเล็ก

(๓) ปี ๒๕๖๗ - ๒๕๖๘ การเปรียบเทียบความถี่ด้วยระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System) เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมระหว่าง NIMT และ CQT

(๔) ปี ๒๕๖๘ - ๒๕๖๙ ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง ๒ หน่วยงานซึ่งทั้งสองธาตุนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่ง ในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ของโลกในอนาคต

(๕) ปี ๒๕๖๙ จะเริ่มพิจารณานิยามใหม่ของหน่วยวินาที

๔. ประเด็นเสนอต่อที่ประชุม

เพื่อรับทราบผลการดำเนินงานปี ๒๕๖๖ และเห็นชอบแผนการดำเนินงานปี ๒๕๖๗