๓.๒ โครงการความร่วมมือไทย - สิงคโปร์เรื่องนาฬิกาอะตอมเพื่อพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนาตามพระราชดำริฯ
(ผู้ถวายรายงาน : นายไพรัช ธัชยพงษ์)

๑. ความเป็นมา

เมื่อวันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๖๒ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินเยือนศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ 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 ๑๗๕ คน เป็นนักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา ๑๕๐ คน และมีงบประมาณราวปีละ ๗๑๖ ล้านบาท (๒๔.๐๔ ล้านดอลลาร์สหรัฐ) (https://www.quantumlah.org/media/presentation/annualreport2019.pdf)

๒. โครงการ/กิจกรรมที่ดำเนินงาน

แผนความร่วมมือระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT) และ ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (CQT)

๒.๑ โครงการการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง

วัตถุประสงค์ : เพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัม โดย NIMT ใช้ไอออนของธาตุอิธเธอเบียม (Yb^+) และ CQT ใช้ไอออนของธาตุลูทิเทียม (Lu^+)

ระยะเวลาดำเนินการ : ๗ ปี (๒๕๖๒-๒๕๖๙)

งบประมาณ : ทั้งโครงการ ๘๓.๓๘ ล้านบาท

ได้รับอนุมัติแล้ว ๔ ปี (๒๕๖๒ - ๒๕๖๕) จำนวน ๓๔.๒๒ ล้านบาท

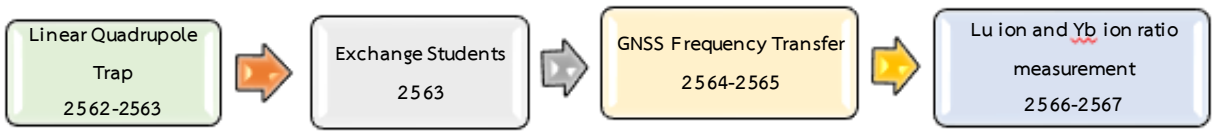
นักวิจัยไทย

- ดร. ปิยพัฒน์ พูลทอง NIMT
- ดร. ธเนศ พฤทธิวรสิน อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ดร. ธารา เฉลิมทรงศักดิ์ อาจารย์ วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ดร. รัฐกร แก้วอ่วม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จบปริญญาเอก จาก NUS (CQT)
- นายนครินทร์ จายโจง นักศึกษาปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล ขณะนี้เรียนปริญญาเอกที่ NUS (CQT) ด้าน Quantum Science with Strontium

นักวิจัยสิงคโปร์

- Dr. Murray Barrett CQT

แผนการดำเนินงานในแต่ละปี



ในปี ๒๕๖๔ ได้ปรับแผนเนื่องจาก COVID-19 โดยงดการแลกเปลี่ยนนักศึกษากับ CQT ไปก่อน

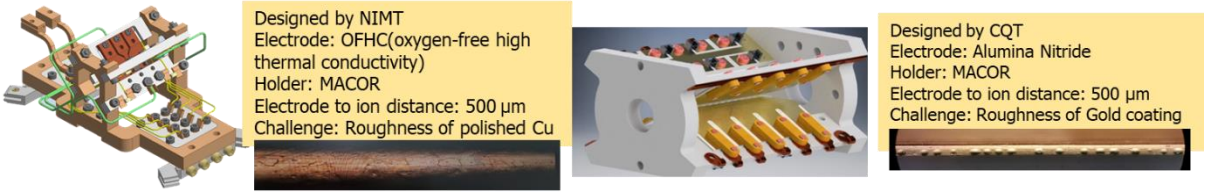
- ปี ๒๕๖๒ – ๒๕๖๓ ประเทศไทยร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนของธาตุอิธเธอเบียม (Yb+) ซึ่งเป็นหัวใจของนาฬิกาอะตอมที่ NIMT
    - ปลายปี ๒๕๖๒ ร่วมพัฒนาเทคนิคในการเคลือบฟิล์มบางทองคำบนแผ่นเซรามิคอะลูมินาไนไตรด์ที่ CQT ที่สิงคโปร์แต่ไม่สมบูรณ์
    - ปี ๒๕๖๓ ไม่สามารถส่งนักศึกษาทุนปริญญาโท (พสวท.) ไป CQT ได้เพราะ COVID - 19 ต้องเลื่อนไปหลังสถานการณ์ดีขึ้นแล้ว
    - ปี ๒๕๖๓ พัฒนาชั้นทองแดงบนแผ่นเซรามิค MACOR เองในไทยเอง
    - ปี ๒๕๖๔ สร้างชิ้นส่วนเพิ่มเติมเพื่อให้ได้หน่วยกักขังไอออนอิธเธอเบียม
- ปี ๒๕๖๕ - ๒๕๖๖ ทดลองการกักขังไอออนอิธเอเบียม
- ปี ๒๕๖๕ – ๒๕๖๗ ติดตั้งระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System) ที่ CQT เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอม ระหว่าง NIMT (มี GNSS แล้ว) และ CQT
- นอกจากนี้จะเจรจาขยายความร่วมมือไปยัง สถาบันวิจัยดาราศาสตร์ (สดร. : NARIT) (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (very large base interferometer) ในการเปรียบเทียบความถี่เพื่อให้แม่นยำมากกว่าระบบ GNSS
- ปี ๒๕๖๖ – ๒๕๖๗ ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง ๒ หน่วยงานซึ่งทั้งสองธาตุนี้คาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ของโลกในอนาคต
- ในปี ๒๕๖๙ จะเริ่มมีพิจารณานิยามใหม่ของหน่วยวินาที

๒.๒ ความก้าวหน้าในการวิจัยพัฒนา Atomic Clock ในปี ๒๕๖๔

การทำงานต้องอาศัยทั้ง ๓ ส่วนทำงานร่วมกัน

ส่วนที่ ๑ อุปกรณ์ขยายสัญญาณความถี่ทำหน้าที่ป้อนความถี่ให้ **ส่วนที่ ๒** อุปกรณ์กักขังไอออนเปลี่ยนสนามไฟฟ้าไปมาจนกักขังไอออนได้ **ส่วนที่ ๓** เลเซอร์ช่วยทำให้ไอออนเย็นลงและเข้าไปอยู่ในอุปกรณ์กักขังได้ นอกจากนี้เลเซอร์ยังช่วยทำให้ไอออนเปลี่ยนสถานะเกิดความถี่ของนาฬิกานำออกไปใช้งานภายนอกได้ด้วย

เปรียบเทียบอุปกรณ์กักขังไอออนระหว่าง NIMTและCQT



ความก้าวหน้ารวมในแต่ละระบบจนถึงปัจจุบัน (ปี ๒๕๖๔)

FPGA based Experimental Control
Pulse Sequencer: 4ns resolution
Direct Digital Synthesizer: 200pHz resolution

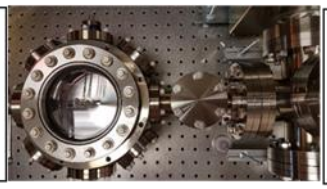
PID Laser stabilization
External Cavity Diode Laser
Doppler Free Dichroic Atomic Vapor Laser Lock

Linear Quadrupole Trap
In-house technology
Electrical field simulation

Utra-high Vacuum
Fluorescence of Ytterbium atom 398.911 nm
Vacuum pressure below 1E-10 mbar

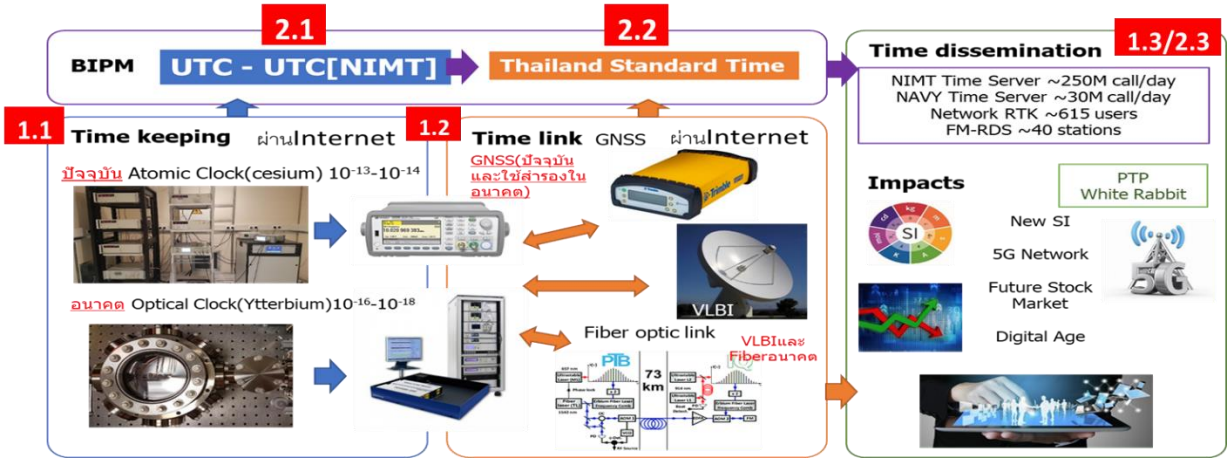
๒.๓ ผลที่คาดว่าจะได้รับ : Atomic Clock ที่แม่นยำกว่าปัจจุบัน

Present definition (2019)
Research
Cesium Fountain Clock: 10^{-16}
Commercial product
Cesium beam atomic clock: 10^{-13}-10^{-14}



Proposed definition (2026)
Research
Optical Clock: 10^{-16}-10^{-18}
CODATA 2026
NIMT value: Ytterbium ion frequency standard

๒.๔ กลไกการผลิตระบบเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยใช้ Atomic Clock



ระบบเวลามาตรฐานประเทศไทยประกอบไปด้วย (๑.๑) ระบบการรักษาเวลาและความถี่ (Time Keeping) (๑.๒) ระบบการเปรียบเทียบเวลาและความถี่ (Time Link) และ (๑.๓) ระบบการถ่ายทอดเวลาและความถี่ (Time Dissemination) ในการทำงานจะเป็นดังนี้ (๒.๑) เวลาและความถี่ของ Atomic Clock ไทยและเวลาไทยเทียบกับ GNSS ทั้งสองข้อมูลนี้ผ่านอินเทอร์เน็ตไปคำนวณผลต่าง UTC (สากลที่ BIMP) – UTC (NIMT) ซึ่งปกติจะต่างกันราว ๑๐๐ นาโนวินาที (๒.๒) นำผลต่าง

มาแก้ไข Atomic clock ไทยแล้วบวกด้วย ๗ ชม. ทำให้ได้เวลามาตรฐานไทย (Thailand Standard Time) (๒.๓) ส่งผลให้หน่วยงานต่างๆ ผ่าน Time dissemination ไปใช้ได้

ปัจจุบันไทยใช้นาฬิกาอะตอมซีเซียมมีความถูกต้องประมาณ ๑๐-๑๓ – ๑๐-๑๔ ใน ๑ วินาทีและผ่านระบบดาวเทียมนำทาง (GNSS : Global Navigation Satellite System) ในอนาคตเมื่อนาฬิกาอะตอมอิธเธอเบียมสำเร็จจะเพิ่มความถูกต้องเป็น ๑๐-๑๖ – ๑๐-๑๘ ใน ๑ วินาทีและผ่าน VLBI และ Fiber optics ที่สัญญาณรบกวนต่ำกว่า

ปัจจุบันมีการขอปรับเทียบเวลาจากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติประมาณวันละกว่า ๒๕๐ ล้านครั้ง/วัน กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือประมาณ ๓๐ ล้านครั้ง/วัน และระบบระบุพิกัดด้วยระบบดาวเทียมนำทางซึ่งต้องใช้ค่าชดเชยเวลาเพื่อเพิ่มความแม่นยำ มีจำนวนผู้ใช้งานประมาณ ๖๑๕ ราย และระบบการกระจายเวลามาตรฐานไทยผ่านสถานีวิทยุจำนวน ๔๐ สถานี ซึ่งจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นทุกปีอย่างมีนัยยะสำคัญเพราะการใช้งานระบบการทำธุรกรรมออนไลน์และระบบการสื่อสารต่างๆ เติบโตอย่างก้าวกระโดด

หมายเหตุ: (๑) การคำนวณเวลามาตรฐานสากลเชิงพิกัด (Coordinated Universal Time, UTC) ทำ ณ สำนักงาน ชั่ง ตวง วัด ระหว่างประเทศ (BIPM : Bureau International des Poids et Measures) ประเทศฝรั่งเศส (๒) PTP White Rabbit ระบบเวลาสำหรับเครื่องเร่งอนุภาค

๓. สรุป

- เมื่อวันที่ ๒๐ มกราคม ๒๕๖๒ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)
- ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (CQT) มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ เน้นการพัฒนาบุคคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ๓ ด้าน คือ Quantum Communication, Quantum Computing และ Quantum Metrology/Precision Measurement
- ทั้งสองประเทศจะร่วมกันวิจัยและพัฒนานาฬิกาอะตอมเพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัมระยะเวลา ๗ ปี งบประมาณฝ่ายไทย ๘๓.๓๘ ล้านบาท
- สิ่งที่ประเทศไทยได้รับ คือ การกำหนดนิยามของหน่วยวินาที งานวิจัยไทยเป็นที่ยอมรับในเวทีนานาชาติ สร้างบุคลากรที่มีคุณภาพและศักยภาพทัดเทียมนานาชาติ และนาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย ในด้านสื่อสาร (5G network) ระบบธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดหมุดหลักฐานแห่งชาติ เป็นต้น
- นาฬิกาที่พัฒนาใหม่นี้จะแม่นยำกว่านาฬิกาซีเซียมของประเทศในปัจจุบันถึง ๑๐,๐๐๐ เท่า ให้ประโยชน์หลากหลายแก่หน่วยงานต่าง ๆ ในประเทศไทย
- ผลกระทบจาก COVID – 19 ทั้งในปี ๒๕๖๓ และ ๒๕๖๔ ทำให้ต้องปรับแผนโดยงดการแลกเปลี่ยนนักศึกษาระหว่าง NIMT และ CQT ไปก่อน อย่างไรก็ดียังคงกิจกรรมการแลกเปลี่ยนนักศึกษาไว้ โดยคาดว่าจะสามารถดำเนินการได้ภายในปี ๒๕๖๗
- ผลกระทบเนื่องจาก COVID -19 ทำให้ NIMT ต้องวิจัยพัฒนาอุปกรณ์กักขังไอออนอิเธอเบียมขึ้นมาเองในประเทศและจะทำการเปรียบเทียบกับของ CQT ในสิงคโปร์

๔. ประเด็นเสนอต่อที่ประชุม

เพื่อรับทราบผลการดำเนินงานปี ๒๕๖๔ และเห็นชอบแผนการดำเนินงานปี ๒๕๖๕