



วาระที่ ๓.๑

ความร่วมมือไทย-สิงคโปร์เรื่องนาฬิกาอะตอม* เพื่อพัฒนากำลังคนและการวิจัยพัฒนา

ตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
(ประจำปี ๒๕๖๓)

รายงานเมื่อ
๕ มีนาคม ๒๕๖๔

หน่วยงานร่วมโครงการ

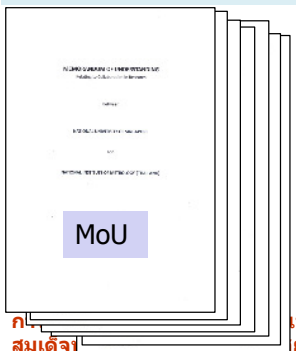
1. มูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริฯ
2. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

*ชื่อเต็มคือนาฬิกาอะตอมเชิงแสงด้วยไอออนเย็นของธาตุอิทเทอเรียม

1. ศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม (Centre for Quantum Technologies :CQT) มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์(NUS)



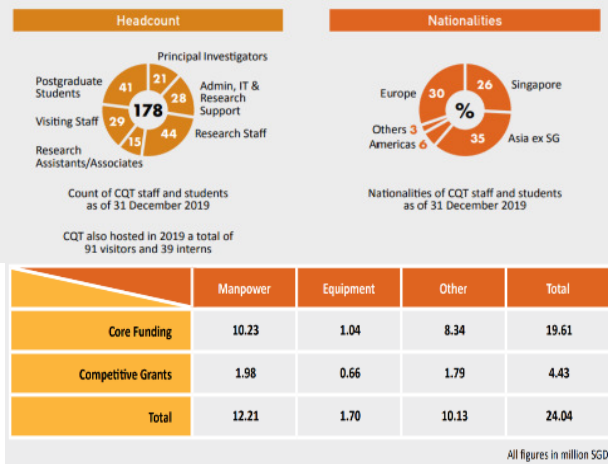
เมื่อ 20 มกราคม 2562 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม ระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (NIMT: National Institute of Metrology of Thailand) กับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS : National University of Singapore)



ภาพในห้องปฏิบัติการนาฬิกาอะตอมของ CQT

สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี วันที่ ๕ มีนาคม ๒๕๖๔

- ก่อตั้งเมื่อธันวาคม ค.ศ.2007 เพื่อเป็นศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติแรกของสิงคโปร์ ตั้งอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS)
- ภารกิจมุ่งเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม 3 ด้าน คือ
 - ✓ **Quantum Communication & Security**
 - ✓ **Quantum Computation & Simulation**
 - ✓ **Quantum Sensing & Metrology**
- บุคลากร 178 คน เป็นนักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา 150 คน
- งบประมาณปีละราว 716 ล้านบาท



2. แผนความร่วมมือ NIMT-CQT ในการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง(1/2)

3



วัตถุประสงค์ เพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัม

- NIMT ใช้ไอออนของธาตุอิธเรียม (Yb⁺)
- CQT ใช้ไอออนของธาตุลูทีเทียม (Lu⁺)

นักวิจัยไทย

- ดร. ปิยะพัฒน์ พูลทอง NIMT
- ดร. ธเนศ พุกทวีริน ม.มหิดล
- ดร. ธรา เลลิมทรงศักดิ์ ม.มหิดล
- ดร. รุธิรา แก้วอ่วม มทส (จบป.เอกจากCQT/NUS)
- นายนครินทร์ ชาญโจง จบป.โท ม.มหิดลแล้ว และจะไปเรียนป.เอกที่NUS(CQT)ด้านนาฬิกาอะตอม เริ่มเมษายน64

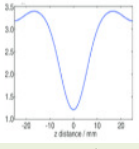
นักวิจัยสิงคโปร์

- Dr. Murray Barrett CQT

- ปี 2562 – 2563 ร่วมวิจัยและสร้างอุปกรณ์กักขังไอออนของธาตุอิธเรียม (Yb⁺) ซึ่งเป็นหัวใจของนาฬิกาอะตอมที่ NIMT
 - ปลายปี 2562 ร่วมพัฒนาเทคนิคในการเคลื่อนที่สัมบางทองคำบนแผ่นเซรามิกอะลูมินาในไตรดที่CQTที่สิงคโปร์แต่ไม่สมบูรณ์
 - ปี 2563 ไม่สามารถส่งนักศึกษาทุนปริญญาโท(พสวท)ไป CQTได้ เพราะCOVID-19ต้องเลื่อนไปหลังสถานการณ์ดีขึ้นแล้ว
 - ปี2563 พัฒนาชิ้นทองแดงบนแผ่นเซรามิกMACORเองในไทย เองจนสมบูรณ์**
- ปี 2564 – 2565 ติดตั้งระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System)ที่CQT เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอมระหว่างNIMT (มีGNSSแล้ว) และ CQT นอกจากนี้จะกระจายขยายความร่วมมือไปยัง NARIT (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (very large base interferometer) ในการเปรียบเทียบความถี่เพื่อให้แม่นยำกว่าระบบGNSS
- ปี 2566 – 2567 ทำการวัดความถี่ของนาฬิกาอะตอมเชิงแสงของทั้ง 2 หน่วยงานซึ่งทั้งสองคาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรฐานหน่วยวินาทีใหม่ของโลกในอนาคต
- ในปี 2569 จะเริ่มมีพิจารณาญานิยามใหม่ของหน่วยวินาที



RF field ทำให้เกิดหลุมพลังงาน ศักย์แบบพาราโบลาในแนวรัศมี ทำให้ไอออนถูกกักขังอยู่ที่ก้นหลุมหรือบริเวณตรงกลาง



DC field ทำให้เกิดหลุมพลังงาน ศักย์แบบพาราโบลาในแนวยาว ทำให้ไอออนถูกกักขังตรงกลาง

การทำงานเริ่มจาก(1)การกักขังไอออน(Linear quadrupole Trap)ของอิธเรียมด้วยสนามไฟฟ้าให้อยู่ที่อุณหภูมิใกล้ศูนย์องศาเคลวิน (2)ใช้เลเซอร์ที่ความถี่เฉพาะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนของไอออนนี้เปลี่ยนสถานะไปมาระหว่างชั้นพลังงานที่เรียกว่าSและDความถี่ของเลเซอร์นี้จึงเป็นนาฬิกาที่แม่นยำตามต้องการ

2. แผนความร่วมมือ NIMT-CQT ในการพัฒนานาฬิกาอะตอมเชิงแสง(2/2) การพัฒนาอุปกรณ์กักขังไอออน (Linear Quadrupole Trapในปี2563)

4

การดำเนินงานก่อนช่วง COVID-19 กับสิงคโปร์

- ปลายปี 2562 เดินทางไปร่วมกับCQTที่สิงคโปร์ทำวิจัยเคลื่อนชิ้นทองคำด้วยวิธี Electroplating บนแผ่นเซรามิกอลูมินาในไตรดโดยการ(1)ใช้สาร ละลาย Gold-SF ซึ่งมีความปลอดภัยสูง (2) ควบคุมค่า pH และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม



- พบว่ายังต้องปรับปรุงตัวแปรต่างๆ เพื่อทำให้เกิดความเรียบที่สม่ำเสมอ ชิ้นทองคำก่อน (ซ้าย)และหลัง (ขวา)ทำ

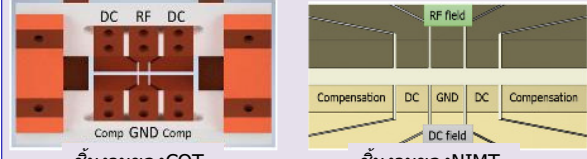
- มีนาคม 2563 ไม่สามารถส่งนักศึกษาไปปฏิบัติงานวิจัยที่CQT ต่อได้อีกเพราะเหตุการณ์ COVID-19 ต้องเลื่อนออกไปอย่างไม่มีกำหนดเนื่อง
- ทำให้เกิดแนวคิดการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์กักขังไอออนขึ้นเองโดยเทคโนโลยีการผลิตในประเทศไทย**

การดำเนินงานในช่วง COVID-19เองในประเทศไทย

- แผ่นรองรับฉนวนทำจากแผ่นเซรามิก MACOR
- เปลี่ยนจากการเคลื่อนทองคำมาเป็นการวางชิ้นทองแดงบริสุทธิ์ 99.99% บนแผ่นเซรามิก
- ใช้เครื่อง Wire Cut EDM ตัดชิ้นงาน เพื่อให้ได้รูปร่างแม่นยำตามต้องการ



ชิ้นงานที่ตัดด้วย Wire Cut EDM



ชิ้นงานของCQT

- เมื่อเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองการกักขังไอออนพบว่าระบบของไทยและสิงคโปร์มีความสามารถในการควบคุมและกักขังไอออนที่ใกล้เคียงกันทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ในการผลิตชิ้นส่วนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของนาฬิกาอะตอม

แผนดำเนินงานปี 2564 – 2565

- ทดสอบอุปกรณ์กักขังไอออน(Linear Quadrupole Trap)
- ติดตั้งระบบดาวเทียมนำทาง GNSS (Global Navigation Satellite System)ที่CQT เพื่อทำการเปรียบเทียบความถี่ของนาฬิกาอะตอม ระหว่าง NIMT (ซึ่งมีGNSSแล้ว) และ CQT
- ขยายความร่วมมือไปยัง NARIT (ไทย) และ NICT (ญี่ปุ่น) เพื่อใช้ระบบ VLBI (very large base interferometer) ในการเปรียบเทียบความถี่เพื่อให้แม่นยำกว่าระบบ GNSS

3.ประโยชน์และผลที่ประเทศไทยได้รับ

5

สิ่งที่ประเทศไทยจะได้รับ

1. เป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดนิยามของหน่วยวินาที งานวิจัยไทยเป็นที่ยอมรับในเวทีนานาชาติ
2. สร้างนักวิจัยและนักศึกษาไทยที่มีคุณภาพและมีศักยภาพในการทำงานวิจัยเทียบเคียงสถาบันวิจัยชั้นนำ
3. ความถี่ที่ได้จากนาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย นำไปใช้งานในด้านการสื่อสารโทรคมนาคม (5G network)(รักษาเวลาของcell siteให้ตรงกัน) ระบบ(ลงเวลา)การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดหมุดหลักฐานแห่งชาติ(ในการรังวัดที่ดิน) เป็นต้น

การนำนาฬิกาอะตอมเชิงแสงไปใช้งาน

นาฬิกาอะตอม



ปัจจุบันใช้นาฬิกาอะตอมซีเซียม เป็นมาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย **UTC(NIMT)คลาดเคลื่อน 1 วินาทีในระยะเวลา 100 ล้านปี**

ในอนาคตโครงการวิจัย **Ytterbium Ion Clock** จะได้นาฬิกาอะตอมสมรรถนะสูง เป็น**มาตรฐานเวลาและความถี่ของประเทศไทย โดยจะมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ในระยะเวลาหนึ่งพันล้านปี**


พิกัดและเวลามาตรฐาน



สถานีเวลาที่ มว. เป็นการเทียบเวลาระหว่างประเทศด้วย GNSS พร้อมบ่งชี้คุณภาพของผลการวัด

การประยุกต์ใช้ พิกัดและเวลามาตรฐานประเทศไทยเพื่อประเมินความเสียหายในพื้นที่เสี่ยงภัยที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ร่วมกับ กรม ปก. มท. และ สสนก. วท.

การปรับเทียบเวลาผ่านอินเทอร์เน็ต




จำนวนผู้ให้บริการ (ล้านครั้งต่อวัน)

140 ล้านครั้งต่อวัน

ผู้ใช้งาน

- ✓ สำนักพระราชวัง
- ✓ ธนาคารแห่งประเทศไทย
- ✓ ตลาดหลักทรัพย์
- ✓ บริษัทวิทยุการบิน
- ✓ การท่าอากาศยานแห่งประเทศไทย
- ✓ กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- ✓ กองบัญชาการกองทัพไทย
- ✓ ETDA and e-Government
- ✓ Laos Standard Time
- ✓ ระบบโทรคมนาคม

การปรับเทียบเวลาผ่านวิทยุ (FM-RDS)



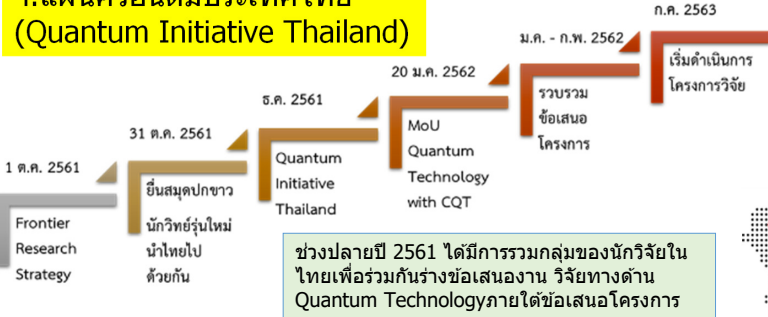
กระจายสัญญาณเวลามาตรฐานประเทศไทย ผ่านสถานีวิทยุของกองทัพอากาศและสมท. จำนวน 40 สถานี ทั่วประเทศไทย

ผู้ใช้งาน RDS

- ✓ กรมสื่อสารทหารอากาศ กองทัพอากาศ
- ✓ เวลามาตรฐานวิทยุกระจายเสียง
- ✓ นาฬิการะบบ FM-RDS

4.แผนควอนตัมประเทศไทย (Quantum Initiative Thailand)

6



1 ต.ค. 2561 Frontier Research Strategy

31 ต.ค. 2561 ยื่นสมุดปกขาว นักวิจัยรุ่นใหม่ นำไทยไปด้วยกัน


ธ.ค. 2561 Quantum Initiative Thailand

20 ม.ค. 2562 MoU Quantum Technology with CQT

ม.ค. - ก.พ. 2562 รวบรวมข้อเสนอโครงการ

ก.ค. 2563 เริ่มต้นการโครงการวิจัย

กลุ่มนักวิจัยจาก 9 สถาบัน: เชียงใหม่, สุรนารี, เนคเทค/สวทช, มหิดล, ธรรมศาสตร์, สถาบันมาตรวิทยา, สงขลานครินทร์, จุฬา, มจธ



- Quantum Simulation and Algorithm
- Quantum Metrology and Sensing
- NECTEC
- Quantum Metrology and Sensing
- Quantum Communication
- Quantum Simulation and Algorithm
- Quantum Communication

วิจัยการสร้างและเสริมแกร่งระบบนิเวศแบบบูรณาการสำหรับการวิจัยทางเทคโนโลยีควอนตัมระดับประเทศ โดยมี รศ.ดร. วรวิวัฒน์ มีวาสนา เป็นหัวหน้าโครงการวิจัย ได้รับทุนวิจัยในปีแรก จำนวน 62.64 ล้านบาท จากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม โดยมุ่งเน้นงานวิจัย 3 ด้านคือ (1) Quantum Metrology and Sensing (2) Quantum Communication (3) Quantum Simulation and Algorithm

- #### 5.สรุป
1. เมื่อ 20 มกราคม 2562 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินไปยังศูนย์เทคโนโลยีควอนตัม มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ ทรงเป็นประธานในการลงนามความร่วมมือด้านการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัมระหว่างสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติกับมหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์ (NUS)
 2. การกิจกรรมเน้นการพัฒนาบุคลากรในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อสนับสนุนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม และงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัม 3 ด้าน คือ Quantum Communication Quantum Computing และ Quantum Metrology/Precision Measurement
 3. ทั้งสองประเทศจะร่วมกันวิจัยและพัฒนานาฬิกาอะตอมเพื่อใช้เป็นนิยามของหน่วยวินาทีในอนาคตของประเทศไทย รวมทั้งการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีควอนตัมระยะเวลา 7 ปี งบประมาณฝ่ายไทย 83.38 ล้านบาท
 4. สิ่งไทยได้รับคือ (4.1) การกำหนดนิยามของหน่วยวินาที (4.2) งานวิจัยไทยเป็นที่ยอมรับในเวทีนานาชาติ (4.3) สร้างบุคลากรที่มีคุณภาพและศักยภาพทัดเทียมนานาชาติ (4.4) นาฬิกาอะตอมเชิงแสงจะเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญให้กับประเทศไทย ในด้านสื่อสาร (5G network) ระบบธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Financial Technology) ระบบโครงข่ายพิกัดหมุดหลักฐานแห่งชาติ เป็นต้น
 5. นาฬิกาที่พัฒนาใหม่นี้จะแม่นยำกว่านาฬิกาซีเซียมของประเทศในปัจจุบันถึง 10,000 เท่าให้ประโยชน์หลากหลายแก่หน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทย