

ชื่อแผนงานสำคัญ แผนงานสร้างโอกาสและความสามารถในการเข้าสู่ยุคเทคโนโลยีควอนตัม

ภายใต้โปรแกรม ส่งเสริมการวิจัยขั้นแนวหน้าและการวิจัยพื้นฐานที่ประเทศไทยมีศักยภาพ (P5)

1. เป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (objective and Key result) ของโปรแกรม (P5) ภายในปี 2565

Objective (O1.5a): พัฒนาระบบนิเวศการวิจัยพื้นฐานและการวิจัยขั้นแนวหน้าที่ส่งเสริมและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยและนวัตกรรม

Key Results: (ภายในปี 2565)

- KR1.5a.1 มีระบบบริหารจัดการการวิจัยพื้นฐานและการวิจัยขั้นแนวหน้าที่มีประสิทธิภาพ สามารถผลิตผลงานวิจัยที่นำไปต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสังคมได้เพิ่มขึ้นทุกปี
- KR1.5a.2 โครงสร้างพื้นฐานการวิจัยพื้นฐานของประเทศและการวิจัยขั้นแนวหน้าที่เพียงพอ ที่มีกระบวนการประเมินประสิทธิภาพและคุณภาพ

Objective (O1.5b): พัฒน่องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และเทคโนโลยี เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของคนไทย สร้างโอกาสให้คนไทยเป็นเจ้าของเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ตอบสนองต่อโจทย์ท้าทายในอนาคต

Key Results: (ภายในปี 2565)

- KR1.5b.1 องค์ความรู้และกระบวนการค้นคว้าใหม่ทางมนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ หรือวิทยาศาสตร์ที่สร้างความเข้าใจและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสังคม หรือวิทยาการที่สำคัญที่ประเทศต้องมีในอนาคต อย่างน้อย 5 เรื่องต่อปี
- KR1.5b.2 จำนวนบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (Top-tier Journals) ที่อยู่ในฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับ เพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ต่อปี และติดอันดับ 1 ของ ASEAN ภายในปี 2570
- KR1.5b.3 ผลงานวิจัยที่เป็นการค้นพบสิ่งใหม่ (New Discovery) การทำสำเร็จเป็นครั้งแรกในโลก (First in Class) หรือการสร้างสิ่งที่ดีที่สุดในโลก (Best in Class) อย่างน้อย 3 เรื่อง
- KR1.5b.4 เครือข่ายนักวิจัยไทยมีส่วนร่วมใน global research value chain เกิดโครงการวิจัยร่วมกับกลุ่มวิจัยสำคัญของโลกหรือได้รับทุนวิจัยจากหน่วยงานให้ทุนสำคัญของโลก เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 ต่อปี
- KR1.5b.5 ธุรกิจที่ใช้เทคโนโลยีเข้มข้น (Deep-tech) ที่มีการพัฒนาเทคนิคทางด้านวิศวกรรมหรือต้นแบบ (Prototype) ที่เกิดจากงานวิจัยขั้นแนวหน้า อย่างน้อย 10 บริษัท
- KR1.5b.6 มีระบบที่เก็บหรือเชื่อมโยงวิทยาการหรือองค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ และเทคโนโลยีของประเทศ ทั้งเชิงปริมาณ เชิงคุณภาพ และผู้ถือครองงานความรู้ในปัจจุบันที่สามารถเข้าถึงและสืบค้นและเป็นที่ยอมรับ ตลอดจนมีการวิเคราะห์วิทยาการสำคัญที่ประเทศต้องมีในอนาคต

2. เป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (objective and Key result) ของแผนงานสำคัญ

เป้าหมายระยะแรก 3 ปี (ปี 2563-2565)

- เกิดโครงการวิจัยที่อยู่ในขอบข่ายการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม ที่ข้อเสนอโครงการบ่งบอกถึงศักยภาพของงานและคณะผู้วิจัย มีโจทย์การวิจัยที่ชัดเจน น่าสนใจและท้าทาย โดยเป็นโจทย์ที่สามารถสร้างพื้นฐานที่จำเป็นให้แก่การวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมในอนาคตและสามารถผลักดันให้เข้าไปสู่การร่วมวิจัยกับกลุ่มวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมที่สำคัญอื่น
- เพิ่มนักวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมในประเทศให้มีรวมกันมากกว่า 60 คน มีนักวิจัยหลังปริญญาเอกอย่างน้อย 6 คนและมีนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ทำวิจัยด้านนี้อย่างน้อย 20 คน เกิดเครือข่ายนักวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม ในปี 2565 สามารถจัดกิจกรรม หรือการประชุมวิชาการนานาชาติด้านเทคโนโลยีควอนตัมได้
- เกิดหลักสูตร หรือหลักสูตรร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม รวมทั้งหลักสูตรอบรมเฉพาะสำหรับนักวิจัยที่ต้องการปรับพื้นฐานเพื่อเข้าร่วมการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม
- เกิดระบบนิเวศการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมในระดับที่จำเป็นอย่างสมบูรณ์ในประเทศไทย
- สร้างการรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีควอนตัม รวมทั้งความจำเป็นและประโยชน์ของเทคโนโลยีควอนตัมในกลุ่มเยาวชน ประชาชน ภาคธุรกิจ ผู้กำหนดนโยบายและฝ่ายการเมือง

เป้าหมายระยะ 10 ปี (ปี 2563 – 2572)

1. ประเทศไทยเป็นผู้นำอันดับ 1 ใน 5 ของเอเชียและเป็นผู้นำในอาเซียนในด้านการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมที่ดึงดูดนักวิจัยและการลงทุนด้านการวิจัยเทคโนโลยีเข้ามาในประเทศไทย
2. โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศมีความปลอดภัยในยุคเทคโนโลยีควอนตัม
3. การประยุกต์เทคโนโลยีควอนตัมกับปัญหาเฉพาะของประเทศไทย หรือปัญหาในบริบทของประเทศไทย เช่น การบริหารจัดการทรัพยากรและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การลดระยะเวลาในการคิดค้นและผลิตยาสำหรับโรคในเขตร้อน
4. สามารถสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม
5. เยาวชน ประชาชน สังคม แรงงาน ผู้ประกอบการ การศึกษา อุตสาหกรรม การสาธารณสุข การสื่อสาร และความมั่นคงมีความเข้าใจและการเตรียมการที่พร้อมเข้าสู่สังคมยุคเทคโนโลยีควอนตัม

Objective and Key Results ปี 2563 – 2572

วัตถุประสงค์ (objectives)	ผลดำเนินการที่สำคัญ (key results)
1. เตรียมพร้อมและพัฒนาขีดความสามารถของประเทศเพื่อรองรับเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่	1.1 กิจกรรมการเรียนรู้อย่างเป็นระบบให้กับเยาวชนซึ่งจะเป็นผู้ใช้เทคโนโลยีควอนตัมในอนาคต และประชาชนทั่วไปที่จะต้องเข้าใจและให้การสนับสนุน

	<p>1.2 หลักสูตรฝึกอบรมผู้ประกอบการให้มีความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเปิดรับและใช้โอกาสจากเทคโนโลยีควอนตัม</p> <p>1.3 หลักสูตรการเรียนการสอนและหลักสูตรฝึกอบรมเพื่อผลิตบุคลากรที่จะรองรับเทคโนโลยีควอนตัม</p> <p>1.4 ความร่วมมือและพันธมิตรในการพัฒนาและดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมขนาดใหญ่ที่สำคัญของโลก</p>
<p>2. การประยุกต์เทคโนโลยีควอนตัมกับปัญหาเฉพาะของประเทศไทย หรือปัญหาเฉพาะในบริบทของประเทศไทย เช่น การบริหารจัดการทรัพยากรและการเพิ่มผลผลิต การเกษตร การแก้ปัญหาทางโลจิสติกส์ การลดระยะเวลาในการคิดค้นและผลิตยาสำหรับโรคในเขตร้อนและการค้นหาวัสดุชนิดใหม่จากวัตถุดิบธรรมชาติที่มีในประเทศไทย</p>	<p>2.1 สาธิตการนำเทคโนโลยีควอนตัมไปใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะบริบทของประเทศไทย</p> <p>2.2 กระบวนการใหม่ในการแก้ไขปัญหาเฉพาะของประเทศไทย</p>
<p>3. เพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศ ด้วยความรู้ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม รวมทั้งทรัพย์สินทางปัญญาด้านเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อให้ประเทศสามารถพัฒนาเทคโนโลยีของตัวเอง เกิดเป็นอุตสาหกรรมใหม่และดึงดูดการลงทุนรูปแบบใหม่</p>	<p>3.1 เป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีควอนตัมในอาเซียนและติดอันดับ 1 ใน 5 ของเอเชีย</p> <p>3.2 โครงการวิจัยร่วมกับสถาบันวิจัยที่เชี่ยวชาญระดับโลกผ่านเครือข่ายความร่วมมือในระดับนานาชาติ ไม่น้อยกว่า 3 โครงการ</p> <p>3.3 ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานการวัดแห่งชาติและหรือสามารถต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน</p> <p>3.4 บทความวิชาการที่นำเสนอผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชั้นนำเฉพาะทาง ไม่น้อยกว่า 50 ฉบับ</p>
<p>4. สร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยของประเทศเอื้อและรองรับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ ศิลปศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อเข้าสู่การพัฒนาเศรษฐกิจ และสังคมในยุคเทคโนโลยีควอนตัม</p>	<p>4.1 โครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีควอนตัม</p> <p>4.2 งานวิจัยและทีมวิจัยที่มีความเป็นเลิศทางวิชาการสามารถเป็นแหล่งกำเนิดและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม</p>

3. ชื่อ PMU ที่รับผิดชอบ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคน และทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) PMU-B

ประกาศนโยบายแผนงานสำคัญ (Flagship)

ชื่อแผนงาน แผนงานสร้างโอกาสและความสามารถในการเข้าสู่ยุคเทคโนโลยีควอนตัม

1. วัตถุประสงค์

- 1) สร้างงานวิจัยและคณะนักวิจัยที่มีความเป็นเลิศทางวิชาการ สามารถเป็นแหล่งกำเนิดและผู้พัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมได้
- 2) สร้างบุคลากรเพื่อรองรับเทคโนโลยีควอนตัม
- 3) เป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีควอนตัมในกลุ่มประเทศอาเซียน
- 4) เป็นพันธมิตรในโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมที่สำคัญของโลก

2. เหตุผลความจำเป็น

ในต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 มีการค้นพบ สร้างหลักวิชาและสร้างความเชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ควอนตัม รวมทั้งได้นำเอาลักษณะสมบัติบางประการของระบบเชิงควอนตัมมาใช้ประโยชน์ นำมาสู่การพัฒนาเป็น ทรานซิสเตอร์ ซึ่งกลายมาเป็นพื้นฐานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่เป็นหัวใจของระบบเทคโนโลยีและการพัฒนา อุตสาหกรรมตั้งแต่บัดนั้นจนถึงปัจจุบัน ชีวิตประจำวันของเราเกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์และระบบสื่อสารทาง อิเล็กทรอนิกส์มากขึ้นเรื่อยๆ จนเกือบจะเป็นปรกติที่เราจะดำเนินชีวิตเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เหล่านี้ อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เราใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เกิดจากเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่ 1 หรือเทคโนโลยี ควอนตัมยุคแรก (quantum technology generation 1: QT G1) ซึ่งเป็นการใช้สมบัติทางควอนตัมมาสร้างเป็น เทคโนโลยี สมบัติทางควอนตัมที่ว่าเป็นสมบัติโดยรวม หรือสมบัติโดยเฉลี่ยของระบบควอนตัม แต่ยังไม่ใช้สมบัติ มูลฐานของอนุภาคควอนตัมแต่ละตัว เนื่องจากยังไม่มีเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมอนุภาคควอนตัมได้เป็นตัวอย่าง อย่างแม่นยำ

ปัจจุบัน ความสามารถทางเทคโนโลยีได้รับการพัฒนาสูงขึ้นจนเริ่มสามารถควบคุมอนุภาคควอนตัมได้ แม่นยำขึ้น จึงทำให้เกิดการคาดหมายว่าจะมีเทคโนโลยีที่ใช้สมบัติมูลฐานของอนุภาคควอนตัม เช่น quantum entanglement, quantum superposition และ quantum tunnelling จะเริ่มปรากฏตัวขึ้นในทศวรรษถัดจาก นี้ เทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่นี้จะมีศักยภาพสูงกว่าเทคโนโลยียุคแรกอย่างยิ่ง และเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่สอง หรือ quantum technology generation 2: QT G2 นี้จะทำให้เกิดอุตสาหกรรมและธุรกิจใหม่จำนวนมาก รวมทั้งจะช่วยแก้โจทย์จากสถานการณ์ที่โลกกำลังเผชิญหน้าอยู่ที่เทคโนโลยีปัจจุบันไม่สามารถแก้ได้ นอกจากนี้ยัง คาดหมายด้วยว่า เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่สองจะทำให้เกิดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะมีความสามารถและลักษณะ พิเศษที่มีอิทธิพลในวงกว้างต่อไป เช่น ระบบโครงข่ายการสื่อสารที่ปลอดภัย ตัวรับรู้ความละเอียดสูงสำหรับการ สร้างภาพในชีวการแพทย์ (sensitive sensors) และเครื่องควอนตัมคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถและความเร็วใน การประมวลผลสูงกว่าเดิมนับหมื่น นับแสนเท่า เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่สองนี้จะนำไปสู่การปฏิวัติความสามารถ ของเทคโนโลยีทั้งในด้านกำลัง ความสามารถ ความแม่นยำ ความละเอียดและความเร็ว

ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีควอนตัมจึงได้รับการคาดหมายว่าจะเป็นปัจจัยชี้ขาดความสำเร็จของหลาย อุตสาหกรรม รวมไปถึงความสามารถในการพัฒนานวัตกรรม เช่น functional nanomaterial การออกแบบ

อาหารเพื่อสุขภาพ การออกแบบพืช การปรับปรุงยา และการวินิจฉัยโรคบนพื้นฐานลักษณะทางพันธุกรรม เป็นต้น ประเทศไทยจึงควรมียุทธศาสตร์และแผนการลงทุนที่ชัดเจนและเป็นระบบเพื่อสร้างโอกาสและความพร้อมด้านการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม ทั้งในแง่ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถทางเทคโนโลยี กระบวนการนวัตกรรม บุคลากรด้านฟิสิกส์ควอนตัมและเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อให้ประเทศไทยสามารถร่วมอยู่ในกระบวนการปฏิบัติเทคโนโลยีครั้งต่อไป โดยได้รับประโยชน์ในการพัฒนาประเทศทั้งในด้านวิทยาศาสตร์ นวัตกรรม เศรษฐกิจ และสังคมตามสมควร รวมทั้งสามารถสร้างเทคโนโลยีของตนเองและสามารถสร้างและรักษาอุตสาหกรรมฐานบางกลุ่มไว้ได้

3. กรอบแนวคิด

เทคโนโลยีควอนตัมยุคที่สอง (QT G2) กำลังได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว และจะกลายเป็นเทคโนโลยีใหม่ (emerging technology) ที่ส่งผลกระทบต่ออย่างสูงต่อการดำเนินชีวิตและธุรกิจ เทคโนโลยีควอนตัมจึงได้รับการกล่าวถึงในฐานะเทคโนโลยีเปลี่ยนโลก (disruptive technology) หลายบริษัท หลายองค์กรและหลายประเทศจึงให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมนี้ จะเห็นได้จากจำนวนทุนวิจัยที่ทุ่มลงอย่างมหาศาลและการพัฒนากำลังคนอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทุกประเทศจะได้รับผลกระทบจากการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม ส่วนความมากน้อยและความเป็นบวกหรือลบของผลกระทบขึ้นอยู่กับความพร้อมและศักยภาพของแต่ละประเทศ ความพร้อมจะสร้างโอกาสมหาศาล ส่วนความไม่พร้อมก็จะสร้างความเสี่ยงในด้านความมั่นคงและการไม่สามารถแข่งขันเชิงเศรษฐกิจได้ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมแม้จะมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น ประเทศไทยจึงยังพอจะมีพื้นที่และโอกาสในการเข้าไปมีส่วนร่วมและเป็นผู้นำในบางด้านของเทคโนโลยีควอนตัมนี้ ซึ่งเท่ากับเป็นการสร้างโอกาสใหม่ให้กับประเทศ ทั้งด้านความมั่นคงของประเทศและความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาอุตสาหกรรมใหม่ อย่างไรก็ตามการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมจำเป็นต้องใช้การลงทุนจำนวนมากและต่อเนื่อง ทั้งในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัย การพัฒนากำลังคน การพัฒนาความเข้าใจและความพร้อมของประชาชนและสังคม และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านผลิตเชิงอุตสาหกรรม กล่าวโดยสรุปคือการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมอย่างมียุทธศาสตร์จะส่งผลกระทบต่อประเทศในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านความมั่นคง เศรษฐกิจ สาธารณสุข สังคม การศึกษา สิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติ รวมทั้งด้านความร่วมมือกับประชาคมโลกด้วย

โอกาสและความท้าทายสำหรับประเทศไทย

ประเทศไทยมีการลงทุนด้านการพัฒนาบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาอย่างยาวนานและต่อเนื่อง จึงทำให้มีบุคลากรที่ได้รับการศึกษาและได้รับการฝึกฝนจากสำนักวิชาที่สำคัญของโลกด้านเทคโนโลยีควอนตัมอยู่พอจำนวนหนึ่ง บุคลากรวิจัยกลุ่มนี้ทำวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมอยู่แม้จะเป็นโครงการวิจัยขนาดเล็ก จึงเป็นต้นทุนที่ดีในการพัฒนาโครงการวิจัยขนาดใหญ่ด้านเทคโนโลยีควอนตัม อย่างไรก็ตาม เป็นที่ประจักษ์ว่าระบบการสนับสนุนและผลักดันการวิจัยของประเทศที่ผ่านมาไม่เอื้อต่อการวิจัยวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานและการวิจัยวิทยาศาสตร์ขั้นแนวหน้าที่ต้องการงบวิจัยค่อนข้างสูงและต่อเนื่องเป็นเวลานาน รวมทั้งมีความเสี่ยงสูงในการไม่บรรลุวัตถุประสงค์การวิจัยที่คาดหวัง ดังนั้นสัมฤทธิ์ผลของการสนับสนุนและผลักดันการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมนี้จึงขึ้นอยู่กับ การสร้างสมดุลระหว่างการใช้ออกสาจากบุคลากรด้านการวิจัยที่มีความสามารถและมี

เครือข่ายระดับนานาชาติ กับความเสี่ยงในการไม่บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการวางแผน ติดตามและประเมินโครงการที่เหมาะสม

นอกจากนี้ยังมีความท้าทายในการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากการวิจัยสู่กระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมอีกด้วย เนื่องจากประเทศไทยไม่มีประสบการณ์ในการถ่ายทอดเทคโนโลยีจนเป็นผลสำเร็จ และเทคโนโลยีควอนตัมก็มีความซับซ้อนในตัวเอง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมความพร้อมเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่อุตสาหกรรมอย่างเป็นระบบ มีการเตรียมโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม รวมทั้งมีการวิจัยเชิงนโยบายในด้านที่เกี่ยวข้องกับการนำเทคโนโลยีควอนตัมไปใช้ประโยชน์ เพื่อให้การลงทุนด้านการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมเป็นบันไดที่มั่นคงสู่การพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศในระยะยาว เพราะลำพังการเพิ่มผลิตภาพให้แก่การเกษตรแบบดั้งเดิม การประกอบชิ้นส่วนอุตสาหกรรมและบริการท่องเที่ยวจะไม่เพียงพอในการสร้างรายได้เพื่อรักษาระดับคุณภาพชีวิตของคนไทยในอนาคต

โอกาสที่สำคัญอีกประการหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมคือการสร้างเส้นทางอาชีพสำหรับคนรุ่นใหม่ และคนรุ่นต่อไป ทั้งนี้เพื่อสร้างบุคลากรที่มีศักยภาพด้านการวิจัยสูงให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นและรังสรรค์บุคลากรที่มีศักยภาพเหล่านี้ยังคงทำงานอยู่ในประเทศ ซึ่งบุคลากรเหล่านี้ผนวกกับโครงสร้างพื้นฐานการวิจัยที่ดีสามารถดึงดูดการลงทุนด้านการวิจัย หรือการตั้งศูนย์การวิจัยของบริษัทเทคโนโลยีชั้นสูงได้ ซึ่งจะเท่ากับเป็นการดึงดูดนักวิจัยความสามารถสูงจากต่างประเทศเข้ามาสู่ประเทศของเรา

3.1 ประเด็นเชิงกลยุทธ์

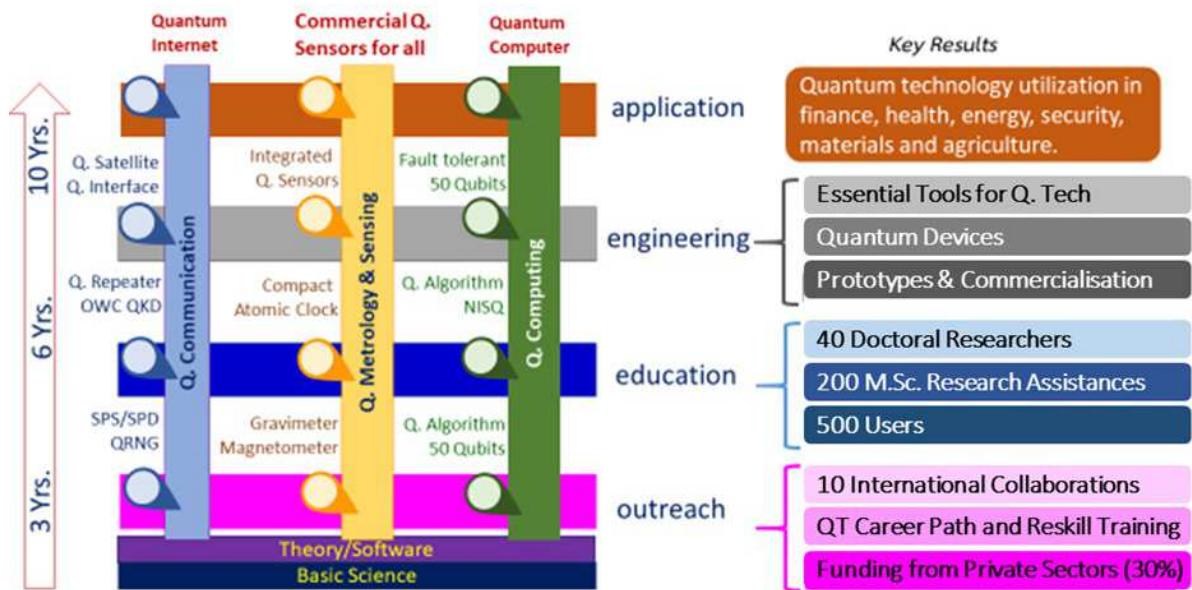
เสาหลักของควอนตัมเทคโนโลยี (Pillars of Quantum Technology)

เทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทยประกอบด้วย 3 เสาหลักคือ (1) การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม (2) การสื่อสารเชิงควอนตัม และ (3) มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม เมื่อเทียบกับแผนที่นำทางของต่างประเทศจะพบว่าระบบของไทยเกิดจากการรวมการคำนวณเชิงควอนตัมและการจำลองเชิงควอนตัมเข้าเป็นเสาหลักเดียวกัน เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกันในบางลักษณะ การรวมกันไว้เป็นเสาเดียวกันน่าจะส่งผลให้สามารถพัฒนาร่วมกันได้ อีกทั้งประเทศไทยยังไม่มีกลุ่มวิจัยทางด้านนี้ที่ใหญ่และหลากหลายพอ

แต่ละเสาหลักมีเป้าหมายและแผนที่นำทางของตนเอง เช่น เป้าหมายปลายทางของการคำนวณเชิงควอนตัมคือการสร้างควอนตัมคอมพิวเตอร์ (ซึ่งรวมถึงอัลกอริทึม) และเป้าหมายปลายทางของการสื่อสารเชิงควอนตัมคือการสร้างอินเทอร์เน็ตควอนตัม เพื่อให้ไปถึงเป้าหมายปลายทางที่กำหนดไว้ ก็จำเป็นต้องมีการวิจัยคิดค้นและสร้างอุปกรณ์จำเป็นต่างๆ ซึ่งผลของการวิจัยระหว่างทางเหล่านี้บางส่วนสามารถต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้ หรือการใช้ประโยชน์ทางด้านมาตรวิทยาเพื่อให้ระบบการวัดของประเทศมีความแม่นยำ เทียบตรง มีเสถียรภาพสูง และทันสมัย อยู่ในแนวหน้าของประชาคมโลก

ปัจจัยเกื้อหนุนและส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม ประกอบด้วย การเรียนและการศึกษา การเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะเพื่อความเข้าใจ และการยอมรับของผู้กำหนดนโยบายและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการมีโครงสร้างพื้นฐานและระบบนิเวศที่เอื้อต่อการวิจัยและพัฒนาของประเทศ

Research Pillars, Milestones and Key Results



3.2 เป้าหมาย

เป้าหมายระยะแรก 3 ปี (ปี 2563-2565)

- เกิดโครงการวิจัยที่อยู่ในขอบข่ายการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม ที่ข้อเสนอโครงการบ่งบอกถึงศักยภาพของงานและคณะผู้วิจัยมีโจทย์การวิจัยที่ชัดเจน น่าสนใจและท้าทาย โดยเป็นโจทย์ที่สามารถสร้างพื้นฐานที่จำเป็นให้แก่การวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมในอนาคตและสามารถผลักดันให้เข้าไปสู่การร่วมวิจัยกับกลุ่มวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมที่สำคัญอื่น
- เพิ่มนักวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมในประเทศให้มีรวมกันมากกว่า 60 คน มีนักวิจัยหลังปริญญาเอกอย่างน้อย 6 คนและมีนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่ทำวิจัยด้านนี้อย่างน้อย 20 คน เกิดเครือข่ายนักวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม ในปี 2565 สามารถจัดกิจกรรม หรือการประชุมวิชาการนานาชาติด้านเทคโนโลยีควอนตัมได้
- เกิดหลักสูตร หรือหลักสูตรร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม รวมทั้งหลักสูตรอบรม เฉพาะสำหรับนักวิจัยที่ต้องการปรับพื้นฐานเพื่อเข้าร่วมการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัม
- เกิดระบบนิเวศการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมในระดับที่จำเป็นอย่างสมบูรณ์ในประเทศไทย
- สร้างการรับรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีควอนตัม รวมทั้งความจำเป็นและประโยชน์ของเทคโนโลยีควอนตัมในกลุ่มเยาวชน ประชาชน ภาคธุรกิจ ผู้กำหนดนโยบายและฝ่ายการเมือง

เป้าหมายระยะ 10 ปี (ปี 2563 – 2572)

- ประเทศไทยเป็นผู้นำอันดับ 1 ใน 5 ของเอเชียและเป็นผู้นำในอาเซียนในด้านการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมที่ดึงดูดนักวิจัยและการลงทุนด้านการวิจัยเทคโนโลยีเข้ามาในประเทศไทย
- โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญทางเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศมีความปลอดภัยในยุคเทคโนโลยีควอนตัม

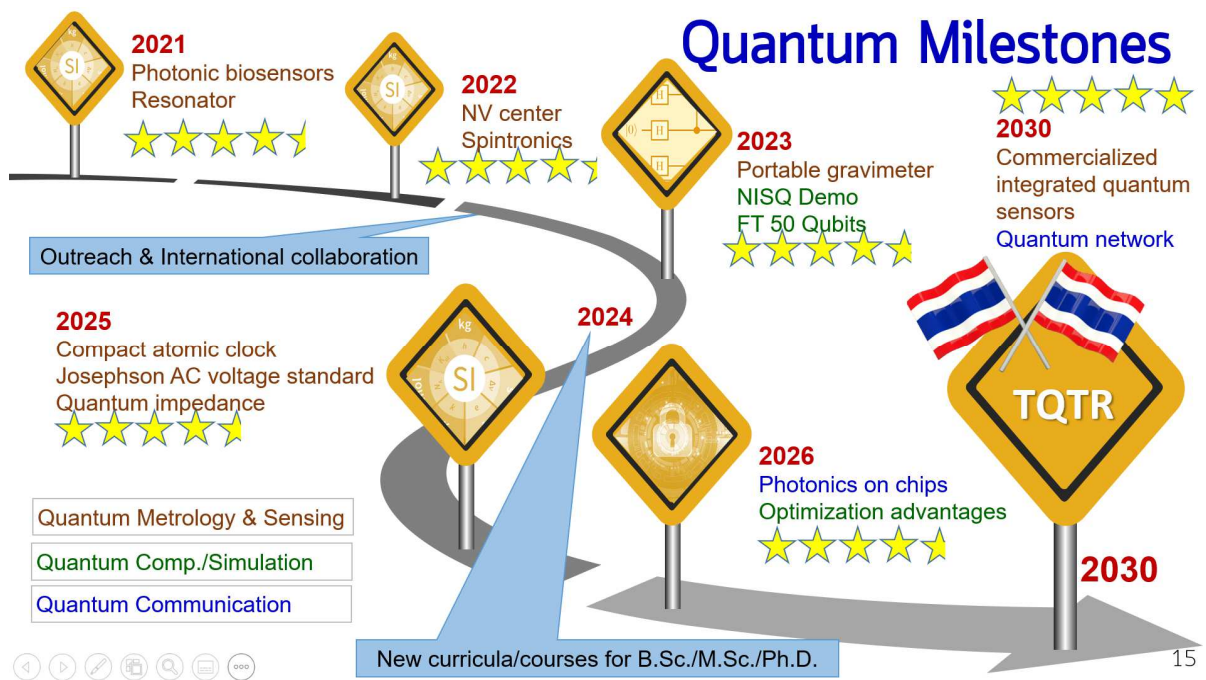
3. การประยุกต์เทคโนโลยีควอนตัมกับปัญหาเฉพาะของประเทศไทย หรือปัญหาในบริบทของประเทศไทย เช่น การบริหารจัดการทรัพยากรและการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร การลดระยะเวลาในการคิดค้นและผลิตยาสำหรับโรคในเขตร้อน
4. สามารถสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีศักยภาพในการพัฒนาสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรม
5. เยาวชน ประชาชน สังคม แรงงาน ผู้ประกอบการ การศึกษา อุตสาหกรรม การสาธารณสุข การสื่อสารและความมั่นคงมีความเข้าใจและการเตรียมการที่พร้อมเข้าสู่สังคมยุคเทคโนโลยีควอนตัม

3.3 Objective and Key Results จาก (ร่าง) แผนที่นำทางการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทย พ.ศ. 2563 – 2572

วัตถุประสงค์ (objectives)	ผลดำเนินการที่สำคัญ (key results)
1. เตรียมพร้อมและพัฒนาขีดความสามารถของประเทศเพื่อรองรับเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่	1.1 กิจกรรมการเรียนรู้อย่างเป็นระบบให้กับเยาวชนซึ่งจะเป็นผู้ใช้เทคโนโลยีควอนตัมในอนาคต และประชาชนทั่วไปที่จะต้องเข้าใจและให้การสนับสนุน 1.2 หลักสูตรฝึกอบรมผู้ประกอบการให้มีความรู้และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเปิดรับและใช้โอกาสจากเทคโนโลยีควอนตัม 1.3 หลักสูตรการเรียนการสอนและหลักสูตรฝึกอบรมเพื่อผลิตบุคลากรที่จะรองรับเทคโนโลยีควอนตัม 1.4 ความร่วมมือและพันธมิตรในการพัฒนาและดำเนินโครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมขนาดใหญ่ที่สำคัญของโลก
2. การประยุกต์เทคโนโลยีควอนตัมกับปัญหาเฉพาะของประเทศไทย หรือปัญหาเฉพาะในบริบทของประเทศไทย เช่น การบริหารจัดการทรัพยากรและการเพิ่มผลผลิตผลการเกษตร การแก้ปัญหาทางโลจิสติกส์ การลดระยะเวลาในการคิดค้นและผลิตยาสำหรับโรคในเขตร้อนและการค้นหาวัสดุชนิดใหม่จากวัตถุดิบธรรมชาติที่มีในประเทศไทย	2.1 สาธิตการนำเทคโนโลยีควอนตัมไปใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะบริบทของประเทศไทย 2.2 กระบวนการใหม่ในการแก้ไขปัญหาเฉพาะของประเทศไทย
3. เพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจให้แก่ประเทศ ด้วยความรู้ความสามารถทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม รวมทั้ง	3.1 เป็นผู้นำด้านเทคโนโลยีควอนตัมในอาเซียนและติดอันดับ 1 ใน 5 ของเอเชีย 3.2 โครงการวิจัยร่วมกับสถาบันวิจัยที่เชี่ยวชาญระดับโลกผ่านเครือข่ายความร่วมมือในระดับนานาชาติ ไม่น้อยกว่า 3 โครงการ

<p>ทรัพย์สินทางปัญญาด้านเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อให้ประเทศสามารถพัฒนาเทคโนโลยีของตัวเอง เกิดเป็นอุตสาหกรรมใหม่และดึงดูดการลงทุนรูปแบบใหม่</p>	<p>3.3 ผลงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานการวัดแห่งชาติ และหรือสามารถต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ ไม่น้อยกว่า 5 ผลงาน 3.4 บทความวิชาการที่นำเสนอผลการวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชั้นนำเฉพาะทาง ไม่น้อยกว่า 50 ฉบับ</p>
<p>4. สร้างโครงสร้างพื้นฐานด้านการวิจัยของประเทศเอื้อและรองรับการวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ ศิลปศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อเข้าสู่การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในยุคเทคโนโลยีควอนตัม</p>	<p>4.1 โครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีควอนตัม 4.2 งานวิจัยและทีมวิจัยที่มีความเป็นเลิศทางวิชาการ สามารถเป็นแหล่งกำเนิดและพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม</p>

ภาพรวมของแผนที่นำทาง และ Milestones ตลอดระยะเวลา 10 ปี



Milestones แยกในแต่ละเสาหลัก

งานวิจัยในแผนนี้จะเน้นและมุ่งเป้าการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ (QT G2) ซึ่งสำหรับประเทศไทยประกอบ 3 เสาหลัก คือ (1) การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม (Quantum Computing and Simulation) (2) การสื่อสารเชิงควอนตัม (3) มาตรฐานวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม และการประยุกต์เทคโนโลยีควอนตัม นอกจากนี้ประเทศไทยจำเป็นต้องพัฒนากำลังคนและโครงสร้างพื้นฐาน จึงรวมแผนทางด้านการศึกษา (Education) การเผยแพร่สู่สาธารณะ (Public Outreach) และงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) อยู่ในแผนที่นำทาง และ milestones ช่วงเวลา 3 ปี 6 ปี และ 10 ปี

1) การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม (Quantum Computing and Simulation)

การคำนวณเชิงควอนตัม (quantum computing) คือการสร้างอัลกอริทึมเพื่อการคำนวณ และฮาร์ดแวร์ เพื่อสร้างควอนตัมคอมพิวเตอร์ การจำลองเชิงควอนตัม (quantum simulation) คือการใช้ระบบทางควอนตัม มาจำลองระบบอีกระบบหนึ่ง ทั้งสองใช้หลักการทางควอนตัม เช่น การทับซ้อน (superposition) และการพันกัน (entanglement) และมีเป้าหมายใกล้เคียงกัน คือเพื่อให้ได้ผลลัพธ์รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบบเดิม (classical computing)

เทคโนโลยีนี้มีผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจสูงมาก ทำให้การแข่งขันสูงในหลายบริษัท เช่น Google, IBM, Microsoft และได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยอย่างมากในหลายประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา จีน สหราชอาณาจักร สิงคโปร์ และสหภาพยุโรป แผนพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทยหวังจะ (1) สร้างองค์ความรู้เพื่อรองรับเทคโนโลยีฯ (2) เพิ่มเติม หรือมีส่วนช่วยพัฒนา (contribute) องค์ความรู้ของเทคโนโลยีฯ ระดับสากล และ (3) สร้างบางส่วนของเทคโนโลยีฯ เป็นของตัวเองเพื่อเพิ่มโอกาสทางพาณิชย์

การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) ระบบทางควอนตัม (qubit system) ที่มีเสถียรภาพและสามารถควบคุมได้ (2) ตัวดำเนินการตรรกะเชิงควอนตัม (quantum logic gates) และ (3) ตัวอ่านผล (readout) ของระบบทางควอนตัม งานวิจัยทางด้านการคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัมจึงส่งเสริมหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นเหล่านี้ รวมถึงงานวิจัยด้านอัลกอริทึมเชิงควอนตัม งานวิจัยเชิงทฤษฎีที่สนับสนุนการคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม การแก้ความผิดพลาดในระบบทางควอนตัม (errors correction) และการประยุกต์ใช้การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ระบบคำนวณ และจำลองเชิงควอนตัมพื้นฐาน <ul style="list-style-type: none"> ▪ สาธิตประโยชน์ของการจำลองควอนตัม ▪ สาธิตประโยชน์ของการคำนวณควอนตัมด้วย "Noisy Intermediate-Scale Quantum" (NISQ) ▪ คิวบิตที่แสดงความทนทานต่อข้อผิดพลาด 50 ▪ สร้างกลุ่มต้นฉบับอัลกอริทึมควอนตัม
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ระบบคำนวณ และจำลองเชิงควอนตัมที่สามารถโปรแกรมได้ <ul style="list-style-type: none"> ▪ ประยุกต์ใช้การจำลองควอนตัมเบื้องต้น เช่น ระบบการเข้ารหัสลับ การสอบบัญชีการเลือกตั้ง ลอตเตอรี่ การประกันส่วนแบ่งผลประโยชน์ในคริปโทเคอร์เรนซี ▪ คิวบิตตรรกะ (quantum qubit gates) ที่สามารถโปรแกรมได้ ▪ กลุ่มต้นฉบับอัลกอริทึมควอนตัมที่ทำงานได้
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ระบบคำนวณ และจำลองเชิงควอนตัมที่เหนือกว่าการคำนวณแบบเดิม <ul style="list-style-type: none"> ▪ การจำลองควอนตัมแก้ปัญหาทางเคมี วัสดุศาสตร์และเภสัชศาสตร์ ▪ อัลกอริทึมควอนตัมใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ควอนตัมแสดงศักยภาพที่เหนือกว่าการคำนวณแบบเดิม

2) การสื่อสารเชิงควอนตัม (Quantum Communication)

การสื่อสารเชิงควอนตัมคือ การใช้หลักการทางควอนตัมในการรับส่ง ประมวลผลข้อมูล และปกป้องความลับของข้อมูล ทำให้มีความปลอดภัยสูง เช่น การสร้างรหัสในการทำธุรกรรมบนอินเทอร์เน็ต การสื่อสารเชิงควอนตัมใช้สถานะของระบบควอนตัม และ/หรือ ความพัวพันเชิงควอนตัม (quantum entanglement) ในการส่งข้อมูล (teleportation) มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เทคโนโลยีการสื่อสารเชิงควอนตัมส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของข้อมูล และความเร็วในการสื่อสาร ทั้งในมิติความมั่นคงของชาติ (national security) และข้อมูลส่วนบุคคล (privacy protection) แผนพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทยหวังจะพัฒนาทั้งภาครับและภาคส่ง ตลอดจนโครงข่ายเชิงควอนตัมให้ได้มาตรฐานสากล เพื่อสามารถเข้าเชื่อมต่อกับโครงข่ายของนานาชาติได้ โดยไม่ลดทอนความมั่นคงของโครงข่าย

องค์ประกอบหลักสำหรับการสื่อสารเชิงควอนตัม คือการสร้างจำนวนสุ่มเชิงควอนตัม (quantum random number generator: QRNG) วิธีการส่งแบบควอนตัม (quantum protocol) และการวัดเชิงควอนตัมในภาครับ ในการสร้างโครงข่ายควอนตัมสำหรับการสื่อสารระยะไกล ไม่ว่าจะผ่านสถานีขยายสัญญาณหรือผ่านดาวเทียม จำเป็นต้องสร้างตัวต่อสัญญาณ (quantum repeaters) และตัวเก็บข้อมูลเชิงควอนตัม (quantum memory)

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ รากฐานสำหรับการสื่อสารเชิงควอนตัม <ul style="list-style-type: none"> ▪ แหล่งกำเนิดโฟตอนเดี่ยว (Single Photon Source: SPS) และเครื่องวัดโฟตอนเดี่ยว (Single Photon Detector: SPD) ▪ วงจรแสงบน bulk optics เพื่อสาธิตการใช้ประโยชน์อย่างง่าย เช่น เครื่องกำเนิดจำนวนสุ่มเชิงควอนตัม (Quantum Random Number Generator: QRNG) ▪ เครื่องขยายสัญญาณเชิงควอนตัม (quantum repeater)
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ การสื่อสารเชิงควอนตัมที่มีประสิทธิภาพสูง <ul style="list-style-type: none"> ▪ SPS และ SPD ที่มีประสิทธิภาพสูง ▪ ถ่ายโอนการทดลองจาก bulk optics สู่การทดลองบน optical waveguide circuit ▪ ภาครับ และภาคส่ง QKD ระยะทางไกล รวมถึงสถานีภาคพื้นสำหรับดาวเทียมเพื่อกระจายรหัสแบบควอนตัม (Quantum Key Distribution: QKD)
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ควอนตัมอินเทอร์เน็ต <ul style="list-style-type: none"> ▪ ระบบโครงข่ายควอนตัม (quantum network) ▪ ระบบการรับรองและหน่วยรับรอง QKD (QKD standard verification and certification protocols, and certification bodies) ▪ หน่วยการเชื่อมอุปกรณ์ควอนตัม (quantum device interface)

3) มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม (Quantum Metrology and Sensing)

มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัมคือการนำหลักการ สมบัติ หรือปรากฏการณ์เชิงควอนตัมมาใช้ในการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ต่างๆ เช่น เวลา ความถี่ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก สนามโน้มถ่วง กระแสไฟฟ้าและปริมาณการวัดทางไฟฟ้าอื่นๆ มวล อุณหภูมิ รวมทั้งการวัดและวิเคราะห์เชิงการแพทย์ด้วย การวัดเชิงควอนตัมมีลักษณะเด่นที่แตกต่างหลักๆ จากการวัดแบบเดิมคือความเร็วในการแสดงผลการวัดและความสามารถผลิตซ้ำได้ของผลการวัด (reproducibility) ซึ่งมักจะดีกว่าการวัดด้วยระบบการวัดแบบดั้งเดิมอย่างน้อย 1,000 เท่า ส่งผลให้เกิดใช้ประโยชน์ระบบเชิงควอนตัมในทางมาตรวิทยาสูงขึ้นเรื่อยๆ เช่น ในการนิยามระบบหน่วยระหว่างประเทศและการประยุกต์อื่นๆ เช่น การสื่อสารรูปแบบ 5G และ 6G ระบบดาวเทียมนำทางของสหรัฐฯ (Global Positioning Satellite, GPS) และระบบดาวเทียมนำทางสากล (Global Navigation Satellite System, GNSS) ซึ่งล้วนแต่ต้องอาศัยความแม่นยำของนาฬิกาอะตอมในการประมวลผลและสื่อสาร

เทคโนโลยีมาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัมนี้คาดว่าจะจะเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการนำไปใช้จริงก่อนเครื่องควอนตัมคอมพิวเตอร์และการสื่อสารเชิงควอนตัม แผนพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทยจึงให้น้ำหนักในการส่งเสริมการวิจัยด้านมาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัมในระยะเริ่มต้นนี้ เนื่องจากมีศักยภาพสูงกว่าอีก 2 เสาหลัก รวมทั้งมีความเป็นไปได้สูงที่ทีมนักวิจัยของไทยจะพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมสาขานี้เป็นของตัวเอง เพื่อต่อยอดในเชิงอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ในอนาคต

องค์ประกอบหลักสำหรับมาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม คือระบบทางควอนตัมซึ่งมีหลากหลาย ตามความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ การสนับสนุนงานวิจัยทางด้านนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาระบบการวัดความแม่นยำและความละเอียดสูง มีความไม่แน่นอนการวัดลดลง และมี reproducibility สูงขึ้นกว่าระบบการวัดเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ มาตรวิทยาเชิงควอนตัมมาตรฐานสากล <ul style="list-style-type: none"> ▪ พัฒนาระบบการวัดปริมาณทางไฟฟ้า เวลาและความถี่ รวมทั้งสนามโน้มถ่วงโลก และสร้างอุปกรณ์และผลงานวิจัยที่แสดงถึงความสามารถในการวัดเชิงควอนตัมที่ให้ผลการวัดได้เร็วกว่าเดิม แม่นยำกว่าเดิม และมี reproducibility สูงกว่าเดิม ▪ ต้นแบบระบบการวัดเวลาและความถี่ ปริมาณทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก สนามโน้มถ่วงโลก และอื่นๆ ที่พร้อมนำไปประยุกต์ หรือลดความไม่แน่นอนการวัดลง ▪ สร้างความยอมรับความสามารถทางวิชาการและผลการวัดในเวทีโลก
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ต้นแบบการผลิตเซ็นเซอร์ควอนตัม <ul style="list-style-type: none"> ▪ ต้นแบบอุปกรณ์ควอนตัมต้นแบบเพื่อกำหนดค่ามาตรฐานทางมาตรวิทยา และต้นแบบเซ็นเซอร์สำหรับพาณิชย์ ▪ ต้นแบบระบบการวัดเวลาและความถี่ ปริมาณทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก สนามโน้มถ่วงโลก และอื่นๆ ที่มีความไม่แน่นอนการวัดลง ▪ การบ่มเพาะเชิงธุรกิจ รวมถึงแนวทางในการสร้างห่วงโซ่อุปทาน

10 ปี	<p>✓ มาตรวิทยาเชิงควอนตัมสู่ตลาด และประชาคมโลก</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ใช้ประโยชน์จริงเชิงธุรกิจ (commercialization) ▪ ต้นแบบระบบการวัดเวลาและความถี่ ปริมาณทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก สนามโน้มถ่วงโลก และอื่นๆ ที่มีความไม่แน่นอนการวัดสูง และอยู่ในกลุ่มที่มีความไม่แน่นอนการวัดที่ดีติดอันดับโลก ▪ โครงข่ายระบบมาตรวิทยา และเซ็นเซอร์ควอนตัมรวม
-------	--

4) การประยุกต์ใช้ควอนตัมเทคโนโลยี (Application of Quantum Technology)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมที่มีผลกระทบต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี เศรษฐกิจ สังคม และการดำเนินชีวิตประจำวันของคนไทย ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมเพื่อประโยชน์ของสังคมไทย เช่น

- การพัฒนาวัสดุ เช่น วัสดุเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงหรือการค้นหาโครงสร้างทางเคมีสำหรับผลิตยาที่เฉพาะต่อโรคเขตร้อน
- การพัฒนาควอนตัมอัลกอริทึมในทางธุรกิจการเงินการธนาคาร เช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยงในตลาดหุ้นและการลงทุน การจัดอันดับผู้กู้และโอกาสหนี้เสีย
- การพัฒนาการตรวจวัดทางการแพทย์ เช่น การตรวจจับโรคมะเร็ง การคำนวณ DNA sequencing ตามเป้าหมายเฉพาะที่ต้องการ
- การแก้ปัญหาโลจิสติกส์ที่สำคัญ เช่น การจราจร หรือการจัดการน้ำ
- การเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจหาทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แหล่งน้ำใต้ดิน หรือการเตือนภัยจากการเปลี่ยนแปลงใต้พิภพ

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัม เป็นเรื่องจำเป็นสำหรับสังคมไทย เพื่อความก้าวหน้าของประเทศ ให้ประเทศมีโอกาสในการแข่งขันเชิงธุรกิจ ยกกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน เป้าหมายหลักของการวิจัยด้านนี้คือ (1) การศึกษา ค้นหาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย (2) การสาธิตการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัม และ (3) การพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีควอนตัมสู่ชิ้นงานสำหรับการประยุกต์ในประเทศไทยและการส่งออก

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ สาธิตการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัม ▪ สร้าง ecosystem สำหรับประชาคมนักวิจัย ผู้ใช้เทคโนโลยีควอนตัม และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ประดิษฐ์เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการประยุกต์ใช้ ▪ สร้างองค์กรเพื่อส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมในภาคส่วนต่างๆ
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ขยายงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ชัดเจนเป็นการพัฒนาอุตสาหกรรมใหม่สำหรับประเทศไทย

5) การศึกษาสำหรับควอนตัมเทคโนโลยี (Education for Quantum Technology)

เทคโนโลยีควอนตัมเป็นเทคโนโลยีขั้นสูงที่เกิดจากองค์ความรู้เชิงลึกในหลายศาสตร์สาขา ความซับซ้อนของการคำนวณหรือการสร้างเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง จึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่เชี่ยวชาญและมีทักษะสูง ดังนั้นการจัดการศึกษาที่เป็นระบบจะช่วยให้บุคลากร โดยเฉพาะเยาวชนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้โดยตรง โครงสร้างการศึกษาพื้นฐานจะสอดคล้องกับงานวิจัย 3 สาขาหลัก โดยการย่อยงานวิจัยให้เล็กลงอยู่ในรูปสื่อการสอนที่ทำความเข้าใจได้ง่าย สะดวกต่อการถ่ายทอด และการสร้างแรงบันดาลใจ

องค์ประกอบหลักของกิจกรรมด้านการศึกษาคือการสร้างหลักสูตรในการผลิตกำลังคน การสร้างระบบฝึกอบรมผู้ดำเนินการ และผู้ประกอบการ รวมทั้งนักวิจัยสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องที่สนใจมาทำวิจัยในสาขาเทคโนโลยีควอนตัม (reskills) และการสร้างกิจกรรมสำหรับผู้เรียนเพื่อวางรากฐานตั้งแต่เยาว์วัย เป้าหมายที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากการมีหลักสูตร การประชุมวิชาการ หรือระบบฝึกอบรม คือการสร้างเส้นทางอาชีพ (career path) เพราะเทคโนโลยีควอนตัมจะเป็นเส้นทางอาชีพที่สำคัญในอนาคต และจะเข้าไปเชื่อมโยงกับหลากหลายอาชีพในชีวิตประจำวันของประชาชน

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ รายวิชาระดับปริญญาตรี ปริญญาโทและปริญญาเอกที่ส่งเสริมทักษะที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีควอนตัม ▪ กิจกรรม หรือหัวข้อการเรียนสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ▪ ออกแบบเนื้อหาการอบรมสัมมนา และ micro credentials สำหรับเทคโนโลยีควอนตัม
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ การปรับเนื้อหาในหลักสูตรแกนกลางระดับมัธยมศึกษาให้เชื่อมโยงกับการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม ▪ การสร้างหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาสำหรับนักวิจัย และผู้ใช้เทคโนโลยีควอนตัม
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ สร้าง career path สำหรับผู้เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีควอนตัม ▪ สร้างองค์กร และกิจกรรมสำหรับการพัฒนานักวิจัย และผู้ใช้อย่างต่อเนื่อง โดยจะเป็นการศึกษาในรูปแบบ multidisciplinary หรือ trans-disciplinary ที่สอดคล้องกับการพัฒนานวัตกรรม และการขับเคลื่อนด้านอุตสาหกรรม

6) การเผยแพร่สู่สาธารณะ (Public Outreach)

การพัฒนาเครือข่ายนักวิจัย นักศึกษาและประชาชนทั่วไป ที่เป็นทั้งผู้ใช้และผู้ดำเนินการเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง การเผยแพร่ความรู้และความเข้าใจเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม เช่น การชักชวนให้เกิดการมีส่วนร่วมในการใช้และสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีควอนตัมอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ นักวิจัยจำเป็นต้องเข้าใจปัญหาของภาคอุตสาหกรรมทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อสามารถสร้างและถ่ายทอดนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการของประเทศได้ รวมถึงสามารถสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชน ทำให้เกิดการพัฒนาร่วมกันระหว่างวิชาการและอุตสาหกรรมไปด้วยกันอย่างยั่งยืนได้

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ สร้างความตระหนักและความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีควอนตัม ▪ สร้างการยอมรับและสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมในประเทศไทยของประชาชน ผู้กำหนดนโยบายและฝ่ายการเมือง ▪ สร้างระบบนิเวศที่เอื้อต่อการเรียนรู้และแลกเปลี่ยนภายในประชาคมวิจัยและผู้มีส่วนได้เสีย
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ กิจกรรมส่งเสริมการลงทุนร่วมระหว่างภาครัฐและเอกชนในการส่งเสริมและพัฒนาการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ระบบนิเวศและระบบแบ่งปันผลประโยชน์ที่เปิดกว้างในการเชื่อมโยงการนำผลงานวิจัยไปขยายผลในเชิงอุตสาหกรรม และการพัฒนาเทคโนโลยีของประเทศ

7) งานวิศวกรรมศาสตร์ (Support Engineering)

งานวิศวกรรมศาสตร์มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการพัฒนางานวิจัยและการนำงานวิจัยไปต่อยอดเป็นชิ้นงาน งานวิศวกรรมศาสตร์จึงเป็นฟันเฟืองที่สำคัญในการตัดสินใจเร็วในการผลิตงานวิจัย เป้าหมายหลักของการพัฒนางานด้านวิศวกรรมศาสตร์คือการมีศักยภาพ ทักษะและความสร้างสรรค์ทางเทคโนโลยีในการออกแบบและพัฒนาระบบทางวิศวกรรมที่สนับสนุนการวิจัยของทีมนักวิจัยหลักและมีเทคโนโลยีเป็นของตัวเองในบางเรื่อง โดยเฉพาะในด้านที่มีการใช้งานจำนวนมาก

เป้าหมายตามระยะเวลา

ระยะเวลา	เป้าหมาย
3 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ สร้างเครื่องมือที่จำเป็นตามแผนที่นำทางของแต่ละสาขา ▪ สร้างเครือข่าย เครื่องมือและระบบนิเวศทางวิศวกรรมควอนตัม
6 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ออกแบบและสร้างเครื่องมือ เพื่อต่อยอดงานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีควอนตัมเป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้งานได้จริง หรือเป็นต้นแบบ
10 ปี	<ul style="list-style-type: none"> ▪ เชื่อมโยงและสร้างกระบวนการนำต้นแบบเทคโนโลยีควอนตัมที่เลือกแล้วสู่การผลิตภาคอุตสาหกรรม

3.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับประเทศไทยและมนุษยชาติ

แผนพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมคาดว่าจะเกิดประโยชน์อย่างชัดเจนต่อประเทศไทยและมนุษยชาติ ในทั้ง 4 ชั้นของแผน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ชั้นเตรียมพร้อมเพื่อรองรับเทคโนโลยีควอนตัม (readiness)

- 1.1) ประเทศไทยมีโครงสร้างและสิ่งที่เป็นขั้นพื้นฐาน (minimum requirement) สำหรับการวิจัยแต่ละสาขาของเทคโนโลยีควอนตัม เพื่อรองรับการพัฒนาในด้านต่างๆ ในยุคเทคโนโลยีควอนตัม

- 1.2) ประเทศไทยมีการพัฒนากำลังคนสำหรับการพัฒนาประเทศยุคเทคโนโลยีควอนตัม ซึ่งรวมทั้งนักวิจัย ผู้ประกอบการ และผู้ดำเนินการในภาคอุตสาหกรรม
- 1.3) เยาวชนและประชาชนชาวไทยมีความรู้และเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีควอนตัมและพร้อมที่จะเข้าสู่ยุคควอนตัมเทคโนโลยีในอนาคต ประชาชนสามารถตัดสินใจการเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีควอนตัมอย่างเหมาะสม
2. **ขั้นใช้งานเทคโนโลยีควอนตัมเพื่อแก้โจทย์บริบทประเทศไทย (usage)**
 - 2.1) ประเทศไทยมีข้อมูลที่ชัดเจนในการเลือกซื้อ หรือขอร่วมใช้ (collaboration) เทคโนโลยีที่จำเป็นที่ผลิตโดยต่างชาติ เช่น เครื่องควอนตัมคอมพิวเตอร์ หรือดาวเทียมควอนตัม และสามารถดำเนินการใช้เทคโนโลยีนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย
 - 2.2) นำเทคโนโลยีควอนตัมมาใช้สร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาที่สำคัญของประเทศ ทำให้สามารถทุเลาปัญหา จัดการ หรือป้องกันปัญหาได้ เช่น การใช้ควอนตัมอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาทางโลจิสติกส์
3. **ขั้นเพิ่มองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและยกระดับมาตรฐานการวัดสำหรับมวลมนุษยชาติ (contribution)**
 - 3.1) ประเทศไทยมีบทบาทในการร่วมสร้างความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ (basic science) เพื่อเทคโนโลยีควอนตัม
 - 3.2) ประเทศไทยร่วมกำหนดมาตรฐานและในการนิยามหน่วยวัด เพื่อประโยชน์ต่อการสร้างความเข้าใจร่วมของมนุษยชาติและเป็นชื่อเสียงของประเทศไทย
4. **ขั้นสร้างเทคโนโลยีบางอย่างขึ้นใช้เอง และเป็นผู้นำในด้านนั้น (creation)**
 - 4.1) ประเทศไทยสามารถผลิตเทคโนโลยีควอนตัมบางอย่างใช้ได้เอง สามารถเป็นผู้นำในด้านเหล่านั้น และสามารถพัฒนาต้นแบบสู่การต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้
 - 4.2) ประเทศไทยสามารถดึงดูดนักวิจัย นักลงทุนเข้าสู่ประเทศ เพื่อสร้าง ส่งเสริมและขับเคลื่อนอุตสาหกรรมใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีควอนตัม

4. ผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญ (Key result) (ภายในปี 2565)

- องค์ความรู้ กระบวนทัศน์ใหม่ หรือวิทยาการที่สำคัญ จำนวนไม่น้อยกว่า 2 เรื่อง
- จำนวนบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ที่อยู่ในฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับ จำนวนไม่น้อยกว่า 10 บทความ
- ผลงานวิจัยที่มีนัยสำคัญทางวิทยาศาสตร์ จำนวนไม่น้อยกว่า 1 เรื่อง
- เครือข่ายนักวิจัยไทยมีส่วนร่วมใน global research value chain เกิดโครงการวิจัยร่วมกับกลุ่มวิจัยสำคัญ หรือได้รับทุนวิจัยจากหน่วยงานให้ทุนสำคัญของโลก จำนวนไม่น้อยกว่า 2 โครงการ

5. ขอบเขตผลผลิต (Output)/ ผลลัพธ์(Outcome)/ ผลกระทบ(Impact) การดำเนินโครงการในปี 2563-2565 ขอบเขตผลผลิต (Scope) การดำเนินโครงการในปี 2563-2565

โครงการวิจัยในแผนงานฯ จะต้องมุ่งเน้นการวิจัยด้านเทคโนโลยีควอนตัมยุคที่สอง (QT G2)
ขอบเขตของงานวิจัยในแต่ละเสาหลักของควอนตัมเทคโนโลยีสำหรับช่วง 3 ปี สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม (Quantum Computing and Simulation)

การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ (1) ระบบทางควอนตัมที่มีเสถียรภาพและสามารถควบคุมได้ (2) ตัวดำเนินการตรรกะเชิงควอนตัม (quantum logic gates) และ (3) ตัวอ่านผล (readout) ของระบบทางควอนตัม งานวิจัยทางด้านการคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัมจึงส่งเสริมหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประเด็นเหล่านี้ รวมถึงงานวิจัยด้านอัลกอริทึมเชิงควอนตัม งานวิจัยเชิงทฤษฎีที่สนับสนุนการคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม การแก้ความผิดพลาดในระบบทางควอนตัม (errors correction) และการประยุกต์ใช้การคำนวณและการจำลองเชิงควอนตัม

2) การสื่อสารเชิงควอนตัม (Quantum Communication)

องค์ประกอบหลักสำหรับการสื่อสารเชิงควอนตัม คือการสร้างจำนวนสุ่มเชิงควอนตัม (quantum random number generator: QRNG) วิธีการส่งแบบควอนตัม (quantum protocol) และการวัดเชิงควอนตัมในภาครับ ในการสร้างโครงข่ายควอนตัมสำหรับการสื่อสารระยะทางไกล ไม่ว่าจะผ่านสถานีขยายสัญญาณ หรือผ่านดาวเทียม จำเป็นต้องสร้างตัวต่อสัญญาณ (quantum repeaters) และตัวเก็บข้อมูลเชิงควอนตัม (quantum memory) งานวิจัยทางด้านการสื่อสารเชิงควอนตัมในช่วง 3 ปีแรก จะเน้นองค์ความรู้พื้นฐานในการสร้างอุปกรณ์ หรือกระบวนการเหล่านี้ รวมทั้งการต่อยอดกระบวนการเหล่านี้ให้สู่การผลิตบนไมโครชิป (photonics on microchip) และการวิจัยตัวเชื่อมต่อ (interface) ระหว่างระบบทางควอนตัมที่เป็นหน่วยประมวลผล และระบบทางควอนตัมที่เป็นหน่วยเดินทาง (flying/ travelling qubits)

3) มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม (Quantum Metrology and Sensing)

มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัมมีระบบที่หลากหลาย เช่น สปิน ไอออนที่ถูกกัก (trapped ions) โฟตอนเดี่ยว เป็นต้น ตามความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ เป้าหมายของวิจัยด้านนี้คือการเพิ่มความสามารถในการวัดด้วยสมบัติเชิงควอนตัม หรือปรากฏการณ์เชิงควอนตัม จนระบบการวัดใหม่ หรือมาตรฐานการวัดใหม่มีความสามารถในการวัดที่เหนือกว่า ทั้งในแง่ความละเอียด (resolution) ความเสถียร (stability) และ reproducibility ขอบเขตของงานวิจัยในช่วง 3 ปีแรกจะเน้นการสร้างต้นแบบมาตรฐานการวัด หรือระบบการวัด ซึ่งจะได้นำไปปรับปรุงในระยะถัดไปเพื่อให้สามารถแสดงความเหนือกว่าได้อย่างมีนัยสำคัญตามที่ตั้งเป้าหมายไว้

4) การประยุกต์ใช้ควอนตัมเทคโนโลยี (Application of Quantum Technology)

ขอบเขตงานวิจัยด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ในช่วงเวลา 3 ปีแรก เป็นการสาธิตการนำเทคโนโลยีควอนตัมไปใช้ประโยชน์จริง และมีแนวโน้มผลกระทบต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคมและการใช้ชีวิตประจำวัน เช่น

- การใช้ควอนตัมคอมพิวเตอร์ หรืออัลกอริทึมทางควอนตัมในการศึกษาและพัฒนาวัสดุ เช่น วัสดุเก็บพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง หรือการค้นหาโครงสร้างทางเคมีสำหรับผลิตยาที่เฉพาะต่อโรคเขตร้อน หรือกระบวนการสังเคราะห์ปุ๋ยที่ประหยัดพลังงาน
- การพัฒนาควอนตัมอัลกอริทึมในทางธุรกิจการเงินการธนาคาร เช่นการวิเคราะห์ความเสี่ยงในตลาดหุ้นและการลงทุน การจัดอันดับผู้กู้และโอกาสหนี้เสีย

- การประยุกต์ใช้ควอนตัมเซนเซอร์ (quantum sensors) การพัฒนาเครื่องมือวัด และกระบวนการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เช่น quantum-assisted photosynthesis
- การพัฒนาการตรวจวัดทางการแพทย์ ซึ่งอาจจะเป็นการใช้ควอนตัมเซนเซอร์ หรือควอนตัมอัลกอริทึมในการวิเคราะห์ผล หรือทั้งสอง เช่น การตรวจจับโรคมะเร็ง การคำนวณ DNA sequencing ตามเป้าหมายเฉพาะที่ต้องการ
- การใช้มาตรวิทยา เช่น gravimeter เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจหาทรัพยากรธรรมชาติ และแหล่งน้ำใต้ดิน หรือการเตือนภัยจากการเปลี่ยนแปลงใต้พิภพ

เป้าหมายหลักของการวิจัยด้านนี้ คือ (1) การศึกษา ค้นหาแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย (2) การสาธิตการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ และ (3) การพัฒนาต่อยอดเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่สู่ชิ้นงานสำหรับการประยุกต์อย่างแพร่หลาย

5) การศึกษาสำหรับควอนตัมเทคโนโลยี (Education for Quantum Technology)

การจัดการศึกษาที่เป็นระบบจะช่วยให้บุคลากร โดยเฉพาะเยาวชนสามารถเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลต่อการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้โดยตรง โครงสร้างการศึกษาพื้นฐานจะสอดคล้องกับงานวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม กิจกรรมหลักด้านการศึกษาคือการสร้างหลักสูตรในการผลิตกำลังคน การสร้างระบบฝึกอบรมผู้ดำเนินการ และผู้ประกอบการ รวมทั้งนักวิจัยสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องที่สนใจมาทำวิจัยในสาขาเทคโนโลยีควอนตัม (reskills) และการสร้างกิจกรรมสำหรับผู้เรียนเพื่อวางรากฐานตั้งแต่เยาว์วัย

6) การเผยแพร่สู่สาธารณะ (Public Outreach)

การพัฒนาเครือข่ายนักวิจัย นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ที่เป็นทั้งผู้ใช้ ผู้ดำเนินการ และผู้ประกอบการ เทคโนโลยีควอนตัมเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง การเผยแพร่ความรู้และความเข้าใจเป็นหัวใจสำคัญในการพัฒนาและส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม เช่น การชักชวนให้เกิดการมีส่วนร่วมในการใช้และสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีควอนตัมอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ นักวิจัยจำเป็นต้องเข้าใจปัญหาของภาคอุตสาหกรรมทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อสามารถสร้างและถ่ายทอดนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการของประเทศได้ รวมถึงสามารถสร้างความร่วมมือกับภาคเอกชน ทำให้เกิดการพัฒนาทั้งส่วนวิชาการและอุตสาหกรรมไปด้วยกันอย่างยั่งยืนได้ กิจกรรมหลักด้านการเผยแพร่สู่สาธารณะ คือการสร้างแรงบันดาลใจให้เยาวชน การให้ข้อมูลที่ถูกต้องแก่ประชาชน และการสร้างเครือข่ายงานวิจัยที่สามารถดึงดูดภาคเอกชนเข้ามาร่วมมือลงทุนวิจัยในการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม

7) งานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Support Engineering)

เป้าประสงค์หลักสำหรับงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ คือการทำวิจัยร่วมเชิงกระบวนการ การสร้างเครื่องมือและกระบวนการ ที่พร้อมในการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมในสาขาหลัก ในช่วงแรกของการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัม งานวิศวกรรมศาสตร์จะเป็นส่วนสนับสนุนที่ขาดไม่ได้ในการวางพื้นฐานการวิจัยทางด้านเทคโนโลยีอย่างมั่นคง ยั่งยืน โดยจะเป็นผู้ช่วยออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ที่สำคัญในการวิจัยเทคโนโลยีควอนตัม และเมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง งานวิศวกรรมศาสตร์จะเป็นตัวขับเคลื่อนในการนำผลงานวิจัยสู่ชิ้นงานต้นแบบ (prototype) และการขยายผลเชิงพาณิชย์

วิศวกร หรือนักวิจัยในสายวิศวกรรมศาสตร์สามารถเข้าร่วมการทำวิจัยในสาขาเทคโนโลยีควอนตัมด้วยเช่นกัน โดยสามารถเป็นได้ทั้งผู้ร่วมวิจัยในโครงการวิจัยของสาขาหลัก หรือเป็นนักวิจัยหลัก (principal investigator) ในโครงการวิจัยที่กระบวนกรทางวิศวกรรมศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีควอนตัม

ตัวอย่างข้อโจทย์วิจัยที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาเทคโนโลยีในช่วง 3 ปีแรก (ปี 2563-2565)

เรื่อง	ตัวอย่างโจทย์วิจัยในช่วง 3 ปีแรก
1. การคำนวณ และการจำลองเชิงควอนตัม	1.1 ระบบคำนวณเชิงควอนตัม 1.2 ระบบจำลองเชิงควอนตัม 1.3 คิวบิตที่แสดงความทนทานต่อข้อผิดพลาด 1.4 กระบวนการแก้ไขข้อผิดพลาดในการคำนวณเชิงควอนตัม 1.5 อัลกอริทึมควอนตัม หรืออัลกอริทึมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากควอนตัม (quantum-inspired algorithm) 1.6 การใช้ประโยชน์การคำนวณเชิงควอนตัม หรือการจำลองเชิงควอนตัม ในศาสตร์อื่น หรือในเชิงพาณิชย์
2. การสื่อสารเชิงควอนตัม	2.1 เครื่องสร้างจำนวนสุ่มเชิงควอนตัม 2.2 โฟตอนคู่หรือมากกว่าที่มีคุณสมบัติพัวพัน 2.3 แหล่งกำเนิดโฟตอนเดี่ยว 2.4 ระบบการตรวจวัดโฟตอนเดี่ยว 2.5 วงจรเชิงแสงเพื่อการประมวลผลข้อมูลขนาดระดับชุดทดลอง (bulk optical circuit, BOC) 2.6 ตัวขยายสัญญาณเชิงควอนตัม (quantum repeater) ของโฟตอนเดี่ยว 2.7 ตัวเชื่อมต่อ (interface) ระหว่างระบบควอนตัมหน่วยประมวลผลกับระบบควอนตัมเดินทาง (flying qubits) 2.8 กระบวนการส่งข้อมูลเชิงควอนตัม (quantum teleportation) 2.9 กระบวนการส่งกุญแจรหัสเชิงควอนตัม (quantum key distribution protocol) 2.10 กระบวนการแก้ไขข้อผิดพลาดในการส่งรหัสเชิงควอนตัม 2.11 การใช้ประโยชน์การสื่อสารเชิงควอนตัมในศาสตร์อื่น หรือในเชิงพาณิชย์
3. มาตรวิทยาและการวัดเชิงควอนตัม	3.1 ระบบการวัดเวลาเชิงควอนตัม 3.2 ระบบการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กเชิงควอนตัม 3.3 ต้นแบบการวัดมวลเชิงควอนตัม 3.4 ต้นแบบระบบการวัดกระแสไฟฟ้าและอิมพีแดนซ์เชิงควอนตัม 3.5 ระบบทางควอนตัมสำหรับวัดค่าแรงโน้มถ่วง 3.6 ระบบการวัดปริมาณอื่นๆ เชิงควอนตัมบนพื้นฐานของเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ 3.7 อัลกอริทึมควอนตัม หรืออัลกอริทึมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากควอนตัม (quantum-inspired algorithm) สำหรับช่วยประมวลผลการวัด หรือทำให้การวัดมีประสิทธิผลมากขึ้น 3.8 การใช้ประโยชน์การวัดเชิงควอนตัม ในศาสตร์อื่น หรือในเชิงพาณิชย์

4. การประยุกต์ใช้ ควอนตัมเทคโนโลยี ยุคใหม่ (QT G2)	4.1 การใช้ประโยชน์เทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ศาสตร์อื่น หรือในเชิงพาณิชย์
5. ทฤษฎีและความรู้ พื้นฐานขั้นสูง และ ซอฟต์แวร์สำหรับ ช่วยพัฒนา เทคโนโลยีควอนตัม	5.1 อัลกอริทึมหรือซอฟต์แวร์ในการช่วยพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ 5.2 ทฤษฎีสำหรับคำนวณสถานะทางควอนตัม 5.3 ทฤษฎีสำหรับลดดีโคฮีเรนซ์ในระบบทางควอนตัม 5.4 ทฤษฎีสำหรับการคำนวณเชิงควอนตัมที่มี fault-tolerant 5.5 ทฤษฎีอื่น ๆ ที่ช่วยสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่
6. งานวิศวกรรมศาสตร์ สำหรับการพัฒนา เทคโนโลยีควอนตัม	6.1 งานวิศวกรรมศาสตร์สำหรับช่วยสนับสนุนเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ 6.2 งานวิศวกรรมศาสตร์เพื่อช่วยต่อยอดผลงานวิจัยเทคโนโลยีควอนตัมยุคใหม่ สู่ต้นแบบผลิตภัณฑ์ การนำไปใช้เชิงพาณิชย์
7. การศึกษา	7.1 หลักสูตรระดับปริญญาตรีด้านเทคโนโลยีควอนตัม 7.2 หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาด้านเทคโนโลยีควอนตัม 7.3 หลักสูตรระดับผู้ประกอบการ และนักลงทุนด้านเทคโนโลยีควอนตัม 7.4 กิจกรรม หรือหัวข้อการเรียนในระดับมัธยมศึกษา เพื่อเตรียมความพร้อม ด้านเทคโนโลยีควอนตัม 7.5 แผนงาน และเนื้อหาการอบรมสัมมนา และการออกแบบ micro credentials สำหรับเทคโนโลยีควอนตัม
8. การเผยแพร่สู่ สาธารณะ	8.1 วิธีการสร้างความตระหนัก และสื่อสารความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยี ควอนตัมสู่สาธารณะ 8.2 วิธีการสร้างระบบนิเวศ (ecosystem) สำหรับประชาคมนักวิจัย และผู้มีส่วน เกี่ยวข้อง 8.3 วิธีการสนับสนุน และขับเคลื่อนการพัฒนาเทคโนโลยีควอนตัมของประเทศไทย หลัง 3 ปีแรก (หรือระหว่างปี 2565 – 2572) ตามแผนที่นำทาง

6. สถานที่ดำเนินการ

มหาวิทยาลัยต่างๆ หน่วยงานต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ

7. ระยะเวลาดำเนินการ

1 ปี (ปี 2563)