ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง
วารสารวิทย์ไมตรีไทย-จีน ฉบับเดือนสิงหาคม 2566

วิทย์ไมตรีไทย-จีน

ไทยโทคาแมค-1 (Thailand Tokamak-1: TT-1) เครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันเครื่องแรกของไทย และความก้าวหน้าการพัฒนาเครื่องโทคาแมคในจีน

วารสารรายเดือน วิทย์ไมตรีไทย-จีน นำเสนอข่าวสาร ข้อมูล ความรู้ และเรื่องราวเกี่ยวกับการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม รวมถึง เรื่องที่น่าสนใจหลากหลายมิติของสาธารณรัฐประชาชนจีน

บรรณาธิการ

พสุภา ชินวรโสภาค

อัครราชทูตที่ปรึกษา

ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กองบรรณาธิการ

บุษรินทร์ เณรแก้ว

จัดทำโดย

ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง

กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

เลขที่ 21 ถนนกวงหวา เขตฉาวหยาง กรุงปักกิ่ง 100600

สาธารณรัฐประชาชนจีน

โทรศัพท์ (86-10) 8531-8700

โทรสาร (86-10) 8531-8791

เว็บไซต์ www.stsbeijing.org

อีเมล stsbeijing@mhesi.go.th

เฟซบุ๊ก ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ประจำสถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง

สวัสดีค่ะ

หนึ่งในความร่วมมือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างไทย-จีน ที่เห็นผลเป็นรูปธรรม คือ ความร่วมมือทางด้านนิวเคลียร์ฟิวชั่น ซึ่งสถาบันพลาสมาฟิสิกส์ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน หรือ Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science (ASIPP) ได้มอบเครื่องโทคาแมค HT-6M ให้กับประเทศไทย โดย สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นผู้รับมอบ เมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2561 ณ สถาบัน เมืองเหอเฝย (Hefei) มณฑลอันฮุย (Anhui) สาธารณรัฐประชาชนจีน ต่อมา สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติได้ก่อสร้างอาคารปฏิบัติการโทคาแมค และได้ร่วมกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยพัฒนาระบบสนับสนุนเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องโทคาแมค Thailand Tokamak-1 หรือ TT-1 สามารถทำงานได้ และเมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม 2566 สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ ได้เสด็จพระราชดำเนินเปิดอาคารและกดปุ่มเดินเครื่องโทคาแมคเป็นครั้งแรก

ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง ได้ร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ จัดทำวารสารวิทย์ไมตรีไทย-จีน ฉบับเดือนสิงหาคม 2566 เพื่อให้ผู้สนใจได้รู้จักกับเครื่องโทคาแมคเครื่องแรกของประเทศไทยและเครื่องแรกในภูมิภาคอาเซียน ขอเชิญติดตามข้อมูลได้ในวารสารวิทย์ไมตรีไทย-จีน ฉบับ Thailand Tokamak-1 ได้เลยค่ะ

พสุภา ชินวรโสภาค
บรรณาธิการ

สารบัญ

ไทยโทคาแมค-1 (Thailand Tokamak-1: TT-1).....6

- ความเป็นมา 7
- ส่วนประกอบหลัก 10
- แผนงานพัฒนาระยะ 30 ปี (พ.ศ. 2560-2589).....11
- แนวทางการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีฟิวชัน 12
- การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาและฟิวชัน 13
- หนังสือภาพ Thailand Tokamak-1 2017-2023 โดย ASIPP 20

โทคาแมคของจีน.....42

- ความก้าวหน้าการวิจัย (ค.ศ. 1960-2000) 42
- แผนการพัฒนาในอนาคต (ค.ศ. 2015-2060).....45
- แผนพัฒนาการสร้างฟิวชันด้วยการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมของจีน (โทคาแมค) 49
    - เครื่องโทคาแมค J-TEXT (Joint Texas Experimental Tokamak).....50
    - เครื่องโทคาแมค EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 51
    - เครื่องโทคาแมค HL-2M (Huan Liu Qi-2 Modification) 52
    - เครื่องโทคาแมค ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).....53
    - เตาปฏิกรณ์ CFETR (China Fusion Engineering Test Reactor).....55

ข้อมูลการศึกษาด้านโทคาแมคในจีน 56

- สถาบันวิจัย 57
    - สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) 57
    - สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (SWIP) 59
- มหาวิทยาลัย.....60
    - มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (HUST) 60
    - มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (USTC) 61
    - มหาวิทยาลัยชิงหัว (THU) 62
    - มหาวิทยาลัยปักกิ่ง (PKU).....63
    - มหาวิทยาลัยแห่งสภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน (UCAS) 64
- สาขาวิชา 65
    - การจัดอันดับมหาวิทยาลัยในแต่ละสาขาวิชา.....67

คำอธิบาย

นิวเคลียร์ฟิวชัน (Nuclear Fusion)

นิวเคลียร์ฟิวชัน เป็นกระบวนการสร้างพลังงานอันมหาศาล โดยดึงพลังงานออกมาจากการทำปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยมีเชื้อเพลิงเป็นธาตุไฮโดรเจน โดยใช้ดิวเทอเรียม (deuterium) ที่เป็นธาตุไฮโดรเจนชนิดหนักและมีอยู่มากมายในทะเลมาผลิตพลังงานสะอาดที่มีเสถียรภาพ วัตถุดิบสำหรับ “ดวงอาทิตย์ประดิษฐ์” นั้น มีอยู่มากล้นเหลือคณาบนโลก แตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ที่อาจถูกใช้จนหมดและเป็นภัยคุกคามสิ่งแวดล้อม ดังนั้น พลังงานฟิวชันจึงอาจเป็น “พลังงานสุดท้าย” ในอนาคตของมนุษยชาติ

ฟิวชัน (Fusion)

ในจักรวาล ฟิวชันเกิดได้ในสามรูปแบบ คือ โดยแรงโน้มถ่วง แรงแม่เหล็ก และการใช้พลังงานจากเลเซอร์

การสร้างฟิวชันให้เกิดบนโลก มีอยู่สองวิธีหลัก วิธีแรกเรียกว่า Magnetic Confinement Fusion (MCF) การใช้สนามแม่เหล็กในการควบคุมไอออนพลังงานสูง (ซึ่งอยู่รวมกันในสถานะพลาสมา) เพราะเนื่องจากไอออนเหล่านี้มีมวลต่ำ แรงทางแม่เหล็ก (และไฟฟ้า) จึงมีขนาดที่สูงกว่าแรงโน้มถ่วงอย่างมาก การใช้สนามแม่เหล็กควบคุมมักทำในเครื่องควบคุมพลาสมาที่ชื่อ **“โทคาแมค” (Tokamak)**

วิธีที่สองของการสร้างฟิวชันบนโลก คือ การใช้ลำเลเซอร์พลังงานสูงยิงเข้าหาแคปซูลเชื้อเพลิง วิธีนี้เรียกว่า Inertial Confinement Fusion (ICF) พลังงานจะทำให้เม็ดเชื้อเพลิงเกิดการบีบตัว เพิ่มความหนาแน่นขึ้น และสร้างความร้อนระดับหลายล้านองศาเพื่อทำให้เกิดฟิวชันขึ้นมา

โทคาแมค (Tokamak)

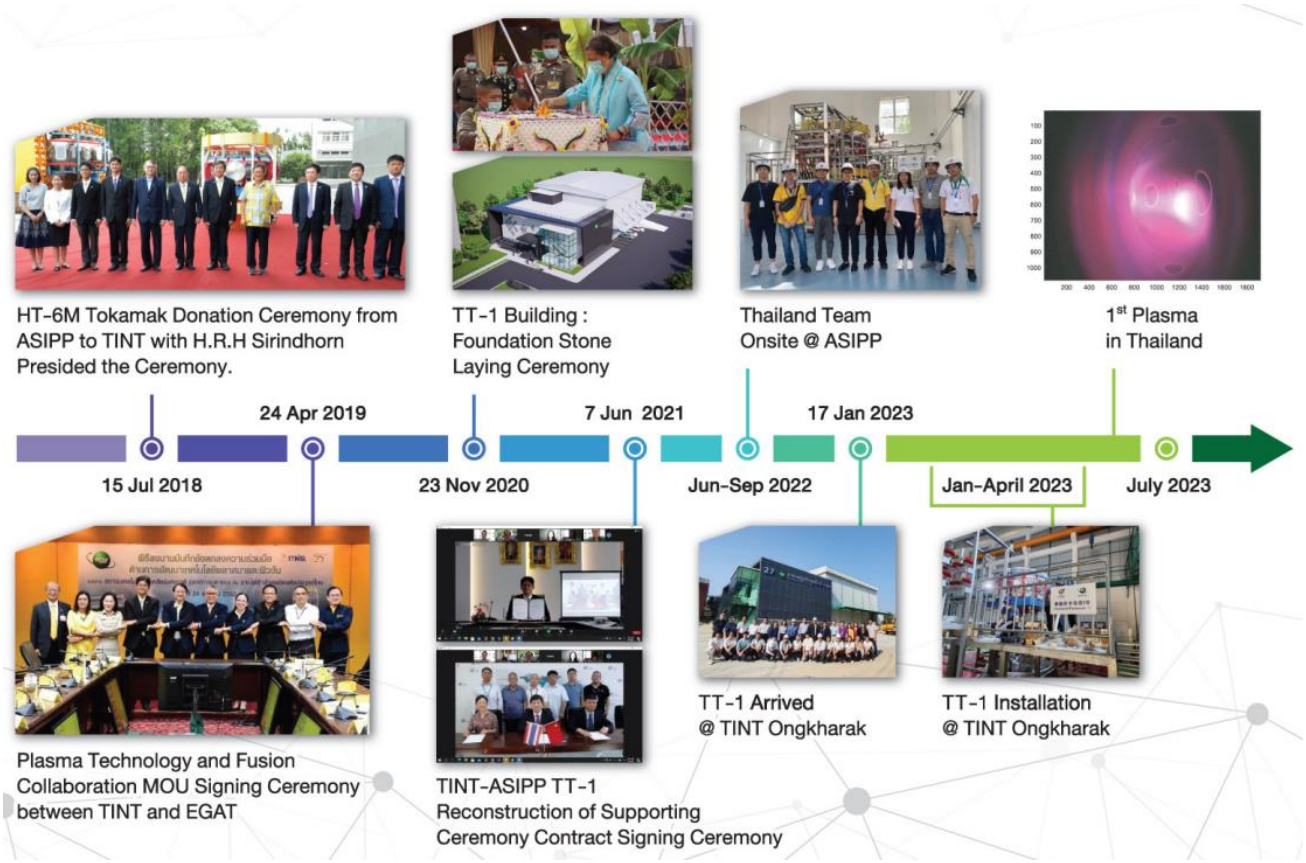
โทคาแมค (Tokamak) เป็นอุปกรณ์กักเก็บพลาสมาพลังงานสูงโดยใช้สนามแม่เหล็ก และเป็นเครื่องมือหลักอย่างหนึ่งที่ใช้ควบคุมปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน โทคาแมคมีลักษณะรูปทรงคล้ายโดนัท พลาสมาจะวิ่งเป็นทางไขว้แบบ Helix หลักการในการควบคุมพลาสมานี้คือการใช้แรงแม่เหล็กจากสมการลอว์เรนซ์ ($F = qvB*\sin(t)$) โดยมีการควบคุมในสองแนว คือ วงรอบยาวที่มีทรงคล้ายห่วงยาง (toroidal) และรอบขวาง (poloidal) แสดงให้เห็นถึงแรงทางแม่เหล็กและสนามแม่เหล็ก

ในการพัฒนาพลังงานฟิวชันสำหรับประเทศไทย ซึ่งเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อให้เกิดกากกัมมันตรังสี เป็นหนึ่งในทางเลือกของพลังงานในอนาคต การพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับโรงไฟฟ้าฟิวชัน สนับสนุนให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์และประยุกต์ทางอื่น เช่น ด้านเกษตรกรรมและอาหาร เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอาหารและผลิตผลทางการเกษตร ด้านการแพทย์ เพื่อบำบัดแผลติดเชื้อและแผลเรื้อรัง พร้อมช่วยกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ การรักษาแผลด้านสุขภาพเพื่อกระตุ้นผิวหน้า ตลอดจนการกำจัดขยะและของเสีย รวมถึงการพัฒนาโรงไฟฟ้าฟิวชันในอนาคต

ไทยโทคาแมค-1
(Thailand Tokamak-1: TT-1)

ดาวน์โหลดข้อมูลความก้าวหน้าการดำเนินการเครื่องโทคาแมค TT-1 ได้ที่

https://www.tint.or.th/th/useful_detail/Thailand%20Tokamak%20-%201



ความเป็นมา

สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) หรือ สทน. ได้เล็งเห็นถึงปัญหาวิกฤติทางด้านพลังงานของประเทศไทยในอนาคต จึงได้มีแผนการพัฒนาเทคโนโลยีฟิวชันเพื่อเตรียมการรองรับอนาคตทางด้านเทคโนโลยีฟิวชันและโรงไฟฟ้าฟิวชัน ก้าวแรกในการพัฒนาจะเป็นการพัฒนาเครื่องโทคาแมคซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างและควบคุมพลาสมาที่มีความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงในการนำไปสู่การเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน ในการนี้สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ได้รับบริจาคห้องสุญญากาศและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า จากสถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science: ASIPP) สาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งชิ้นส่วนดังกล่าวเดิมเป็นของเครื่องโทคาแมค HT-6M ที่ โดยการพิธีรับมอบห้องสุญญากาศและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจาก สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้ากรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ เสด็จเป็นองค์สักขีพยานในพิธีรับมอบดังกล่าวเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม 2561 ณ สถาบัน ASIPP เมือง Hefei มณฑล Anhui สาธารณรัฐประชาชนจีน

เนื่องจากชิ้นส่วนที่ได้รับบริจาคมานั้นจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบสนับสนุนเพิ่มเติม เพื่อให้เครื่องโทคาแมคสามารถกลับมาทำงานได้ สทน. จึงได้หารือกับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เกี่ยวกับแผนการพัฒนาเทคโนโลยีฟิวชัน ซึ่ง กฟผ. ก็ยินดีที่จะเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาดังกล่าว และได้ลงนามในบันทึกความเข้าใจร่วมกันระหว่าง สทน. และ กฟผ. รวมถึงสนับสนุนงบประมาณทุนวิจัยในการพัฒนาระบบสนับสนุนเพิ่มเติม 4 ระบบ ได้แก่ ระบบจ่ายกระแสไฟฟ้าศักย์สูง ระบบสุญญากาศ ระบบวัดคุณสมบัติพลาสมา และระบบรับและประมวลผลสัญญาณ

ต่อมา สทน. และ ASIPP ได้ลงนามในสัญญาเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนทั้ง 4 ระบบดังกล่าว รวมไปถึงการอบรมและถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาและเดินเครื่องโทคาแมค เมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2563 แต่เนื่องจากสถานการณ์โรคโควิด-19 ไม่สามารถส่งบุคลากรมาร่วมดำเนินการได้ในช่วง ส่งผลให้โครงการล่าช้าบางส่วน อย่างไรก็ตาม ต่อมาเมื่อสถานการณ์โรคโควิดคลี่คลายลง สทน. ร่วมกับ กฟผ. จึงได้ส่งบุคลากรรวม 9 คน มายังสถาบัน ASIPP ในการอบรม เรียนรู้การพัฒนาและเดินเครื่องโทคาแมค ในช่วงระหว่าง มิถุนายน-กันยายน 2565 และได้มีการทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยเจ้าหน้าที่ของไทยสามารถเดินเองได้ หลังจากนั้นจึงได้มีการถอดประกอบชิ้นส่วนของเครื่องโทคาแมค และทำการขนส่งทางเรือมายังประเทศไทย โดยถึงท่าเรือแหลมฉบังในวันที่ 13 มกราคม 2566 ผ่านกระบวนการทางศุลกากรในวันที่ 16 มกราคม 2566 และขนส่งทางรถมาถึง สทน. องครักษ์ ในเช้าวันที่ 17 มกราคม 2566 เพื่อติดตั้งยังอาคารปฏิบัติการโทคาแมค ซึ่ง สทน. ได้สร้างขึ้นมาใหม่จากงบประมาณแผ่นดิน โดยการก่อสร้างอาคารปฏิบัติการโทคาแมคนั้น ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพพระรัตนราชสุดาฯ เสด็จวางศิลาฤกษ์ เมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน 2563

สำหรับการประกอบและติดตั้งเครื่องโทคาแมคนั้น ทางสถาบัน ASIPP ได้ส่งทีมวิศวกรและผู้เชี่ยวชาญมาร่วมกับเจ้าหน้าที่ของไทยของ สทน. และ กฟผ. โดยได้ดำเนินการตั้งแต่ปลายเดือนมกราคม และแล้วเสร็จในต้นเดือนพฤษภาคม 2566 ซึ่งเครื่องโทคาแมคที่ได้รับการพัฒนาดังกล่าว มีชื่อเรียกว่าเครื่องโทคาแมค Thailand Tokamak-1 หรือ TT-1 ถือเป็นเครื่องโทคาแมคเครื่องแรกของประเทศไทยและเครื่องแรกในภูมิภาคอาเซียน ต่อมาในวันที่ 25 กรกฎาคม 2566 สทน. ได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากองค์สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ อีกวาระหนึ่งในการเสด็จเป็นองค์ประธานในพิธีเปิดอาคารและกดปุ่มเดินเครื่องโทคาแมคเป็นครั้งแรก

จุดเริ่มต้นของการพัฒนาเครื่องโทคาแมค

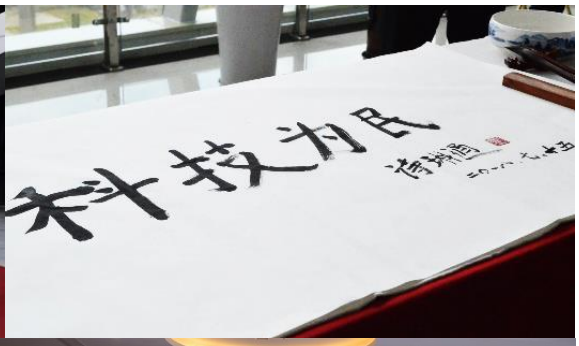
พ.ศ. 2560 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เริ่มหารือกับสถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) เพื่อพัฒนาเครื่องโทคาแมคของประเทศไทย โดยมีการถอดแบบและสำรวจตัวชิ้นส่วนโครงประกอบหลักของตัวเครื่องโทคาแมค HT-6M ตลอดจนประเมินความพร้อมในการพัฒนาต่อยอดต่างๆ

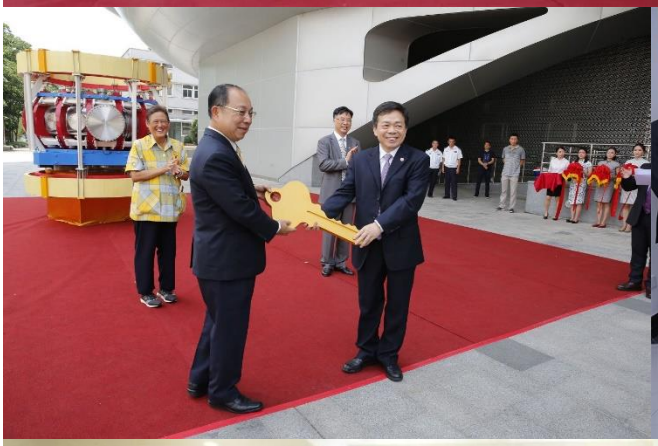
พ.ศ. 2561 รัฐบาลจีนได้มอบชิ้นส่วนเครื่องโทคาแมค HT-6M ให้กับทางประเทศไทย โดยมี สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เป็นองค์ประธาน

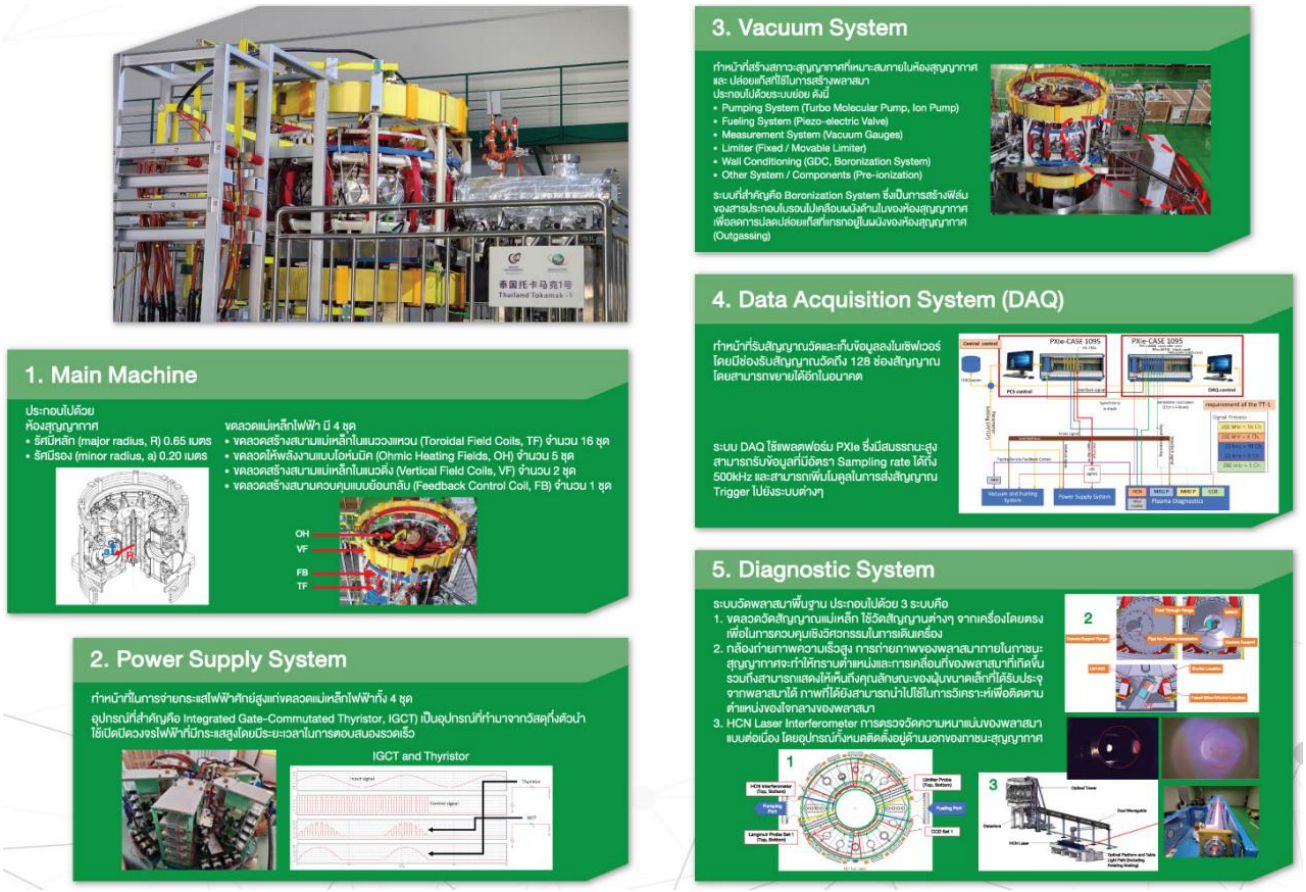
พ.ศ. 2561 ถึง 2563 สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ร่วมกับสถาบัน ASIPP ออกแบบระบบหลักที่สำคัญ ประกอบด้วย
1. ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply System)
2. ระบบสุญญากาศ (Vacuum System)
3. ระบบควบคุมและประมวลสัญญาณ (Control and Data Acquisition System: DAQ)
4. ระบบวัดพลาสมา (Diagnostics System)

พ.ศ. 2564 ทางสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ลงนามในสัญญาว่าจ้างสถาบัน ASIPP ดำเนินการพัฒนาเครื่องโทคาแมค ร่วมกัน ภายใต้การดำเนินการจัดซื้อจัดจ้างแบบมีมาตรการการชดเชย (Offset)

ภาพรับมอบชิ้นส่วนของเครื่อง HT-6M







ส่วนประกอบหลัก

เครื่องโทคาแมค TT-1 ประกอบไปด้วย 5 ส่วนหลัก คือ

1. ห้องสุญญากาศและขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า (Main Machine) ห้องสุญญากาศมีลักษณะเป็นท่อรูปทรงโทรอยด์โดยมีรัศมีหลักเป็น 0.65 เมตรและมีรัศมีรองเป็น 0.25 เมตร มีชุดขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าจำนวน 4 ชุดคือ (1) Toroidal Field coils (2) Ohmic Heating Field coils (3) Vertical Field coils (4) Feedback coils

2. ระบบจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง (Power Supply System) ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแก่ขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 4 ชุดดังกล่าว

3. ระบบสุญญากาศ (Vacuum System) ทำหน้าที่สร้างสภาวะสุญญากาศที่เหมาะสม และปล่อยแก๊สไฮโดรเจนเข้าไปในห้องสุญญากาศเพื่อสร้างพลาสมาของไฮโดรเจน (เครื่องโทคาแมค TT-1 จำกัดการเดินเครื่องเพื่อสร้างพลาสมาของไฮโดรเจนเท่านั้น ยังไม่มีการใช้ดิวทีเรียมและตริเตรียม)

4. ระบบวัดสมบัติพลาสมา ทำหน้าที่วัดสมบัติของพลาสมาที่เกิดขึ้น โดยประกอบไปด้วยระบบย่อยต่างๆ ได้แก่ (1) ระบบวัดสัญญาณแม่เหล็กจากพลาสมาที่เกิดขึ้น (Magnetic probes) (2) กล้อง CCD เพื่อดูพลาสมาที่เกิดขึ้น (3) HCN laser (4) Hα detector

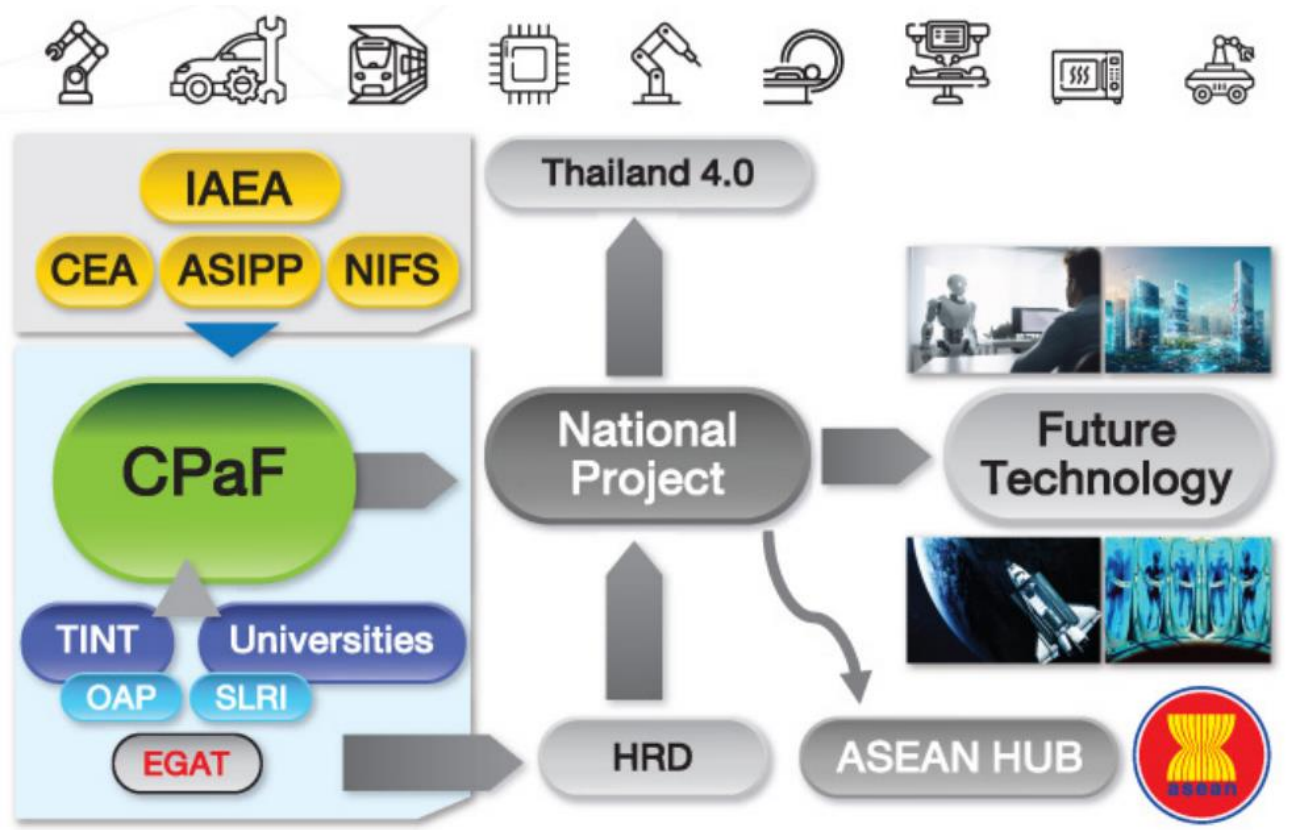
5. ระบบรับสัญญาณและประมวลผล ทำหน้าที่รับสัญญาณวัดและบันทึกข้อมูลลงในเซิฟเวอร์

แผนงานพัฒนาระยะ 30 ปี (พ.ศ. 2560-2589)

ภายใน 10 ปี จะมีการออกแบบและสร้างเครื่องโทคาแมคเครื่องใหม่ขึ้นมาเอง โดยจะใช้เทคโนโลยี Superconducting Magnet เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูงขึ้นสำหรับกักพลาสมาและการให้ความร้อนเสริมด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งคาดว่าจะสามารถสร้างพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงในระดับ 10,000,000 องศาเซลเซียสได้ เครื่องโทคาแมคที่ติดตั้งที่ สทน. จะใช้สำหรับการศึกษาปฏิกริยานิวเคลียร์ฟิวชัน เพื่อใช้เป็นพลังงานสะอาดในการผลิตกระแสไฟฟ้าในอนาคต รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ตั้งเป้าหมายขับเคลื่อนให้ประเทศไทยเป็น ศูนย์กลางการพัฒนาเทคโนโลยีฟิวชันและกำลังคนระดับสูงด้านเทคโนโลยีฟิวชันของอาเซียน ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงประเทศไทยไปสู่ประเทศที่ขับเคลื่อนด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แนวทางการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีฟิวชัน

- การจัดฝึกอบรมทักษะทางวิศวกรรม หรือเชิงเทคนิค ให้แก่ เจ้าหน้าที่ ที่ปฏิบัติงานอยู่ในปัจจุบัน และผู้สนใจทั่วไป
- การพัฒนาหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษาเพื่อพัฒนานักวิจัยและ วิศวกร ระดับหลังปริญญาเอกและหลังปริญญาโท
- การจัดกิจกรรมสาธารณะร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อเพิ่ม การตระหนักรู้แก่ประชาชน นักเรียน นิสิต นักศึกษา การจัดกิจกรรมสร้างอุปกรณ์สื่อการเรียนการสอน เชื่อมโยง เทคโนโลยีพลาสมาและฟิวชันสู่ชั้นเรียน ระดับมัธยมและปริญญาตรี



เครือข่ายศูนย์วิจัยและพัฒนาด้านพลาสมาและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ฟิวชัน **Center for Plasma and Nuclear Fusion Technology: CPaF**

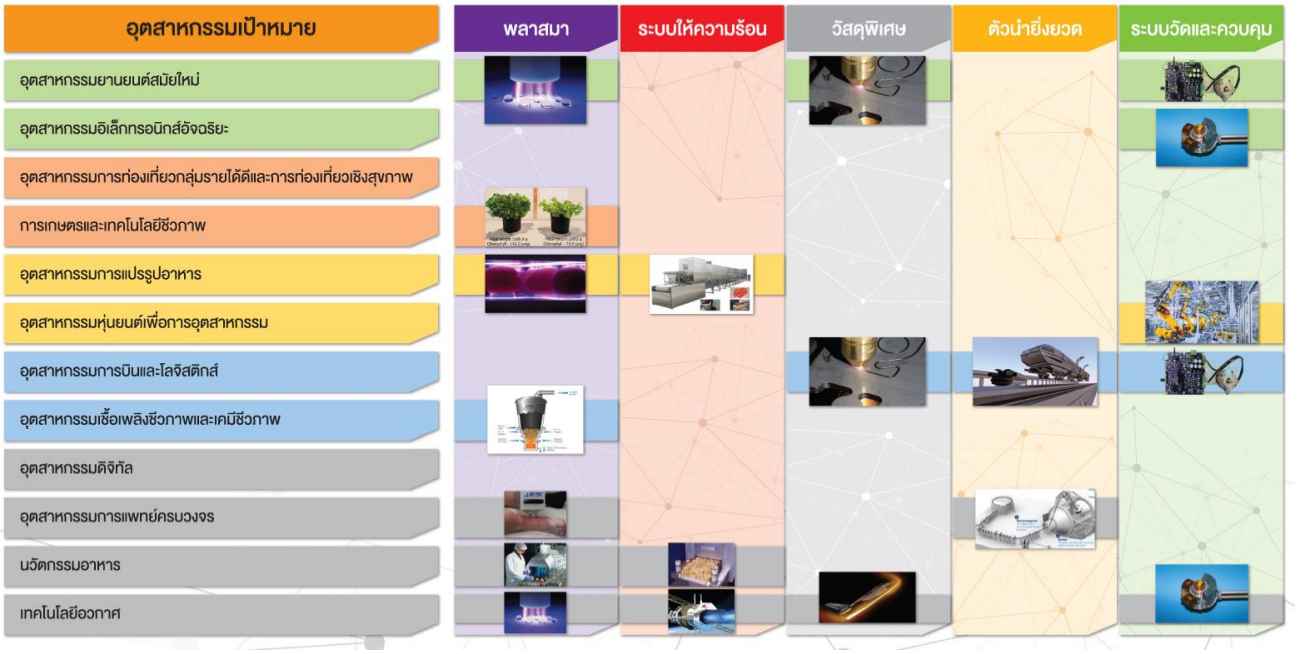
บันทึกความเข้าใจว่าด้วย ความร่วมมือเครือข่ายเพื่อการวิจัยและพัฒนาด้านพลาสมาและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ฟิวชัน ระหว่าง สทน. กฟผ. สช. และ 21 มหาวิทยาลัย

พิธีลงนาม MOU CPaF ครั้งที่ 1 เมื่อวันที่ 9 ก.ย. 2559

ภาคีมีเจตนารมณ์ร่วมกันในการประสานความร่วมมือทางวิชาการด้านการวิจัยและพัฒนาพลาสมา เทคโนโลยีนิวเคลียร์ฟิวชันและห้องปฏิบัติการขั้นสูงรวมทั้ง เตรียมความพร้อมของบุคลากรเพื่อรองรับเทคโนโลยีด้านพลาสมาและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ฟิวชัน

พิธีลงนาม MOU CPaF ครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 11 เม.ย. 2565

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาและฟิวชัน



การศึกษาและวิจัยพัฒนาด้านพลังงานฟิวชัน เกิดจากการผนวกเอาเทคโนโลยีขั้นสูงหลายเรื่องไว้ด้วยกัน ประสบการณ์และความเชี่ยวชาญจากการพัฒนาเทคโนโลยีประกอบเหล่านี้ จะช่วยให้ต่อยอดหรือขยายผลไปประยุกต์ใช้ในงานที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศ ในอีกหลากหลายด้าน ได้แก่

01 Advanced Materials ด้านวัสดุ ต่อยอดไปใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน การก่อสร้างขนาดใหญ่
- อุตสาหกรรมยานยนต์
- อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน
- การก่อสร้างขนาดใหญ่

02 Vacuum & Cryogenic ด้านเทคโนโลยีสุญญากาศ ใช้ในอุตสาหกรรมการเคลือบ การผลิตชิ้นส่วน อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- อุตสาหกรรมการเคลือบ
- อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วน
- อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

03 Superconductor ด้านวัสดุตัวนำยิ่งยวด ใช้ในการพัฒนารถไฟความเร็วสูง การแพทย์ เครือข่ายไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง
- รถไฟความเร็วสูง (Maglev)
- การแพทย์ MRI, NMR
- เครือข่ายไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

04 Energy Storage ด้านเทคโนโลยีการเก็บประจุ ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ธุรกิจพลังงานทดแทน โรงงานอุตสาหกรรม
- ยานยนต์ไฟฟ้า
- อุตสาหกรรมพลังงานทดแทน
- โรงงานอุตสาหกรรม

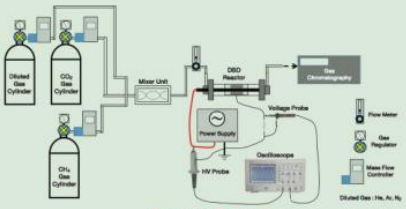
05 Heating Technology องค์ความรู้การให้ความร้อนด้วยคลื่น ไปช่วยในการผลิตวัสดุ อาหารและเกษตร การแพทย์การรักษาโรค
- อุตสาหกรรมการผลิตวัสดุ
- อุตสาหกรรมอาหารและเกษตร
- การแพทย์การรักษาโรค

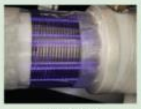
06 Remote Handling วิศวกรรมการควบคุมระยะไกล ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติ หุ่นยนต์เพื่อความมั่นคง การแพทย์ เป็นต้น
- ระบบควบคุมอัตโนมัติ
- หุ่นยนต์เพื่อความมั่นคง
- การแพทย์การรักษาโรค

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาในปัจจุบัน

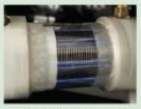
• พลาสมาประยุกต์เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแก๊ส

หนึ่งในเทคโนโลยีหลักที่สำคัญต่อการพัฒนาด้านพลังงานฟิวชัน คือ เทคโนโลยีพลาสมา เทคโนโลยีนี้อาศัยพลังงานจากอนุภาคต่างๆ ในสถานะพลาสมาไปกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแก๊สในระบบ สามารถนำไปช่วยกำจัดแก๊สเรือนกระจกหรือเปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สอื่นที่เป็นประโยชน์มากกว่า เทคโนโลยีพลาสมานี้สามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาในการดำเนินการที่น้อยกว่าเทคโนโลยีอื่นที่ใช้กันอยู่ จึงช่วยประหยัดพลังงานและลดเวลาดำเนินการลง

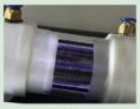




Argon (Ar)



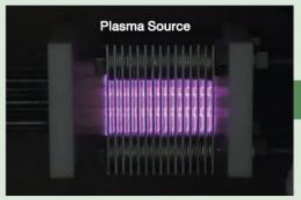
Carbon Dioxide (CO_2)

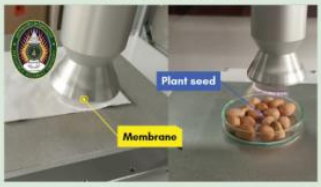


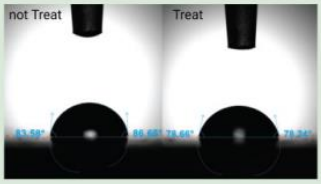
Air

• พลาสมาเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานด้านเกษตรกรรม

เมื่อเราจ่ายไฟฟ้าศักย์สูง ให้กับแก๊สที่ความดันบรรยากาศ แก๊สจะถูกกระตุ้นให้เกิดการแตกตัว ได้ไอออนและอิเล็กตรอนในช่วงแรก และอนุมูลอิสระในเวลาต่อมา อนุมูลอิสระเหล่านี้ บางชนิดมีความว่องไวและมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดเชื้อแบคทีเรีย คุณสมบัติที่โดดเด่นของเทคโนโลยี คือ สามารถทำงานที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ จึงเหมาะแก่การนำไปฆ่าเชื้อบนผิวของวัสดุที่อ่อนไหวต่อความร้อน เช่น ผลิตผลทางการเกษตร หรือปรับสภาพพื้นผิววัสดุที่ทนความร้อนได้ต่ำ นอกจากนี้ เทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีสะอาด ไม่ใช้สารเคมี ส่งผลให้ไม่มีสารตกค้างในตัวอย่าง และไม่ปลดปล่อยสารเคมีออกสู่ธรรมชาติ จึงถือเป็นกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



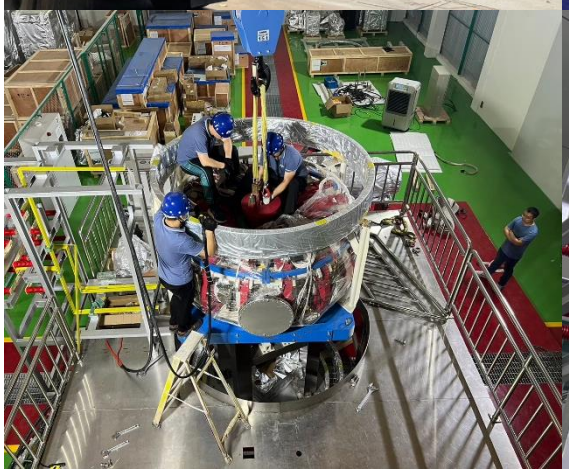




ภาพพิธีวางศิลาฤกษ์อาคารโทคาแมค

ภาพการไปร่วมพัฒนา ณ ASIPP

การประกอบติดตั้ง ณ สทน. องครักษ์



การประกอบติดตั้ง ณ สทน. องครักษ์

ภาพพิธีเปิดอาคารโทคาแมค

หนังสือภาพ

THAILAND TOKAMAK-1 2017-2023

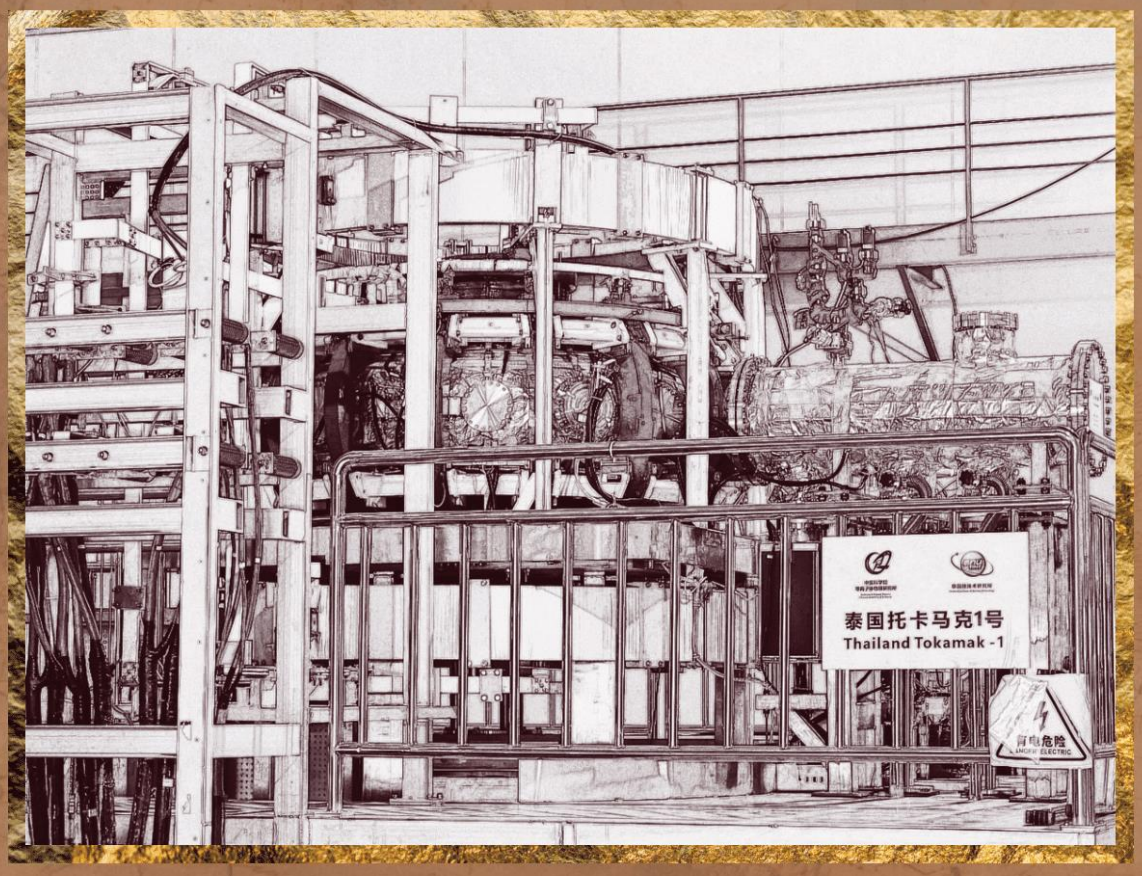
โดย ASIPP

中泰聚变合作 共创美好未来

CHINA-THAILAND

FUSION COOPERATION
FOR A BETTER WORLD

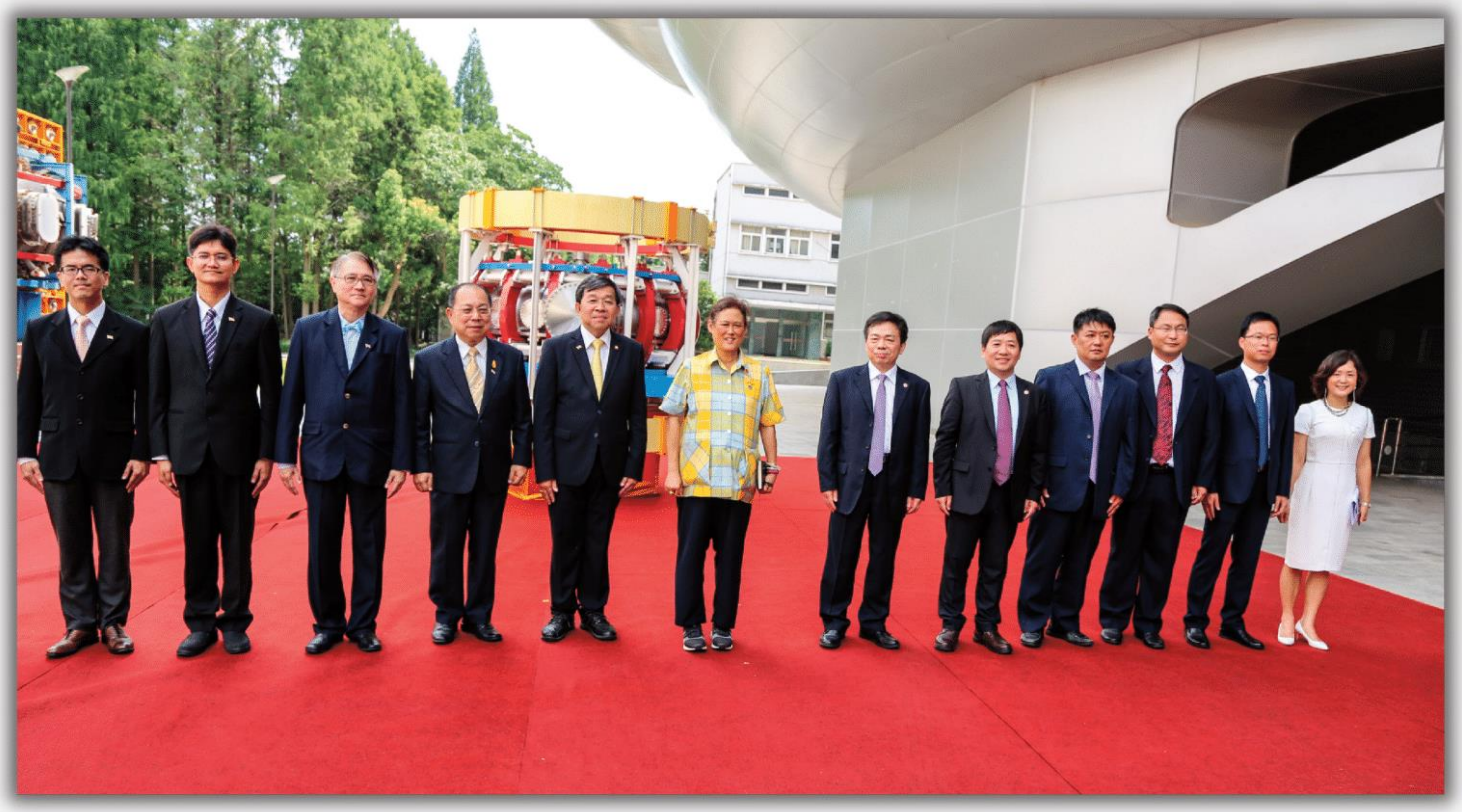
科技为民



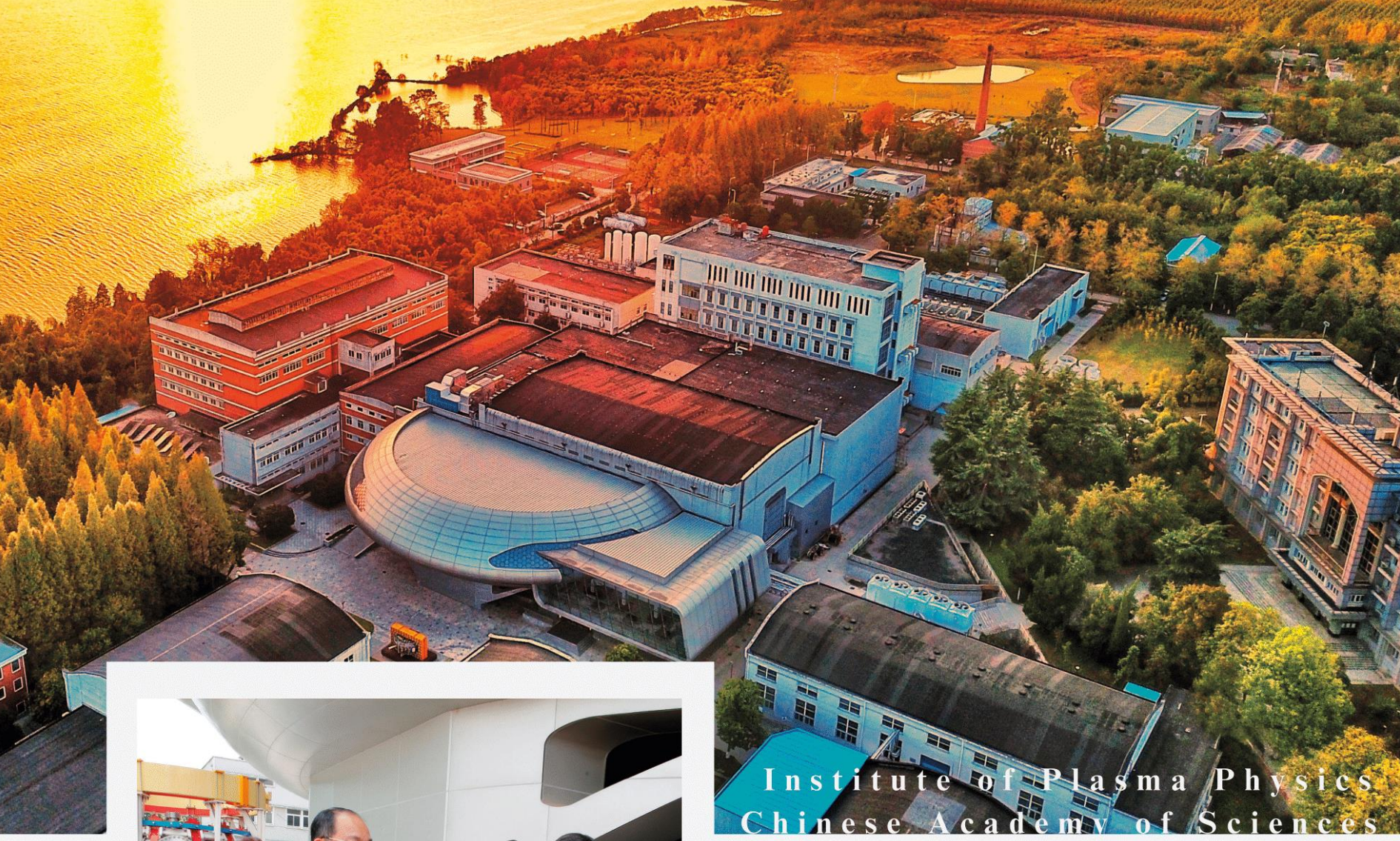
科技为民

诗琳通

二〇一八、七、十五



Witnessed by HRH Princess Sirindhorn, Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences (ASIPP) hands over its HT-6M tokamak to Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT) on July 15, 2018.



Institute of Plasma Physics
Chinese Academy of Sciences

KE

科

技 JI

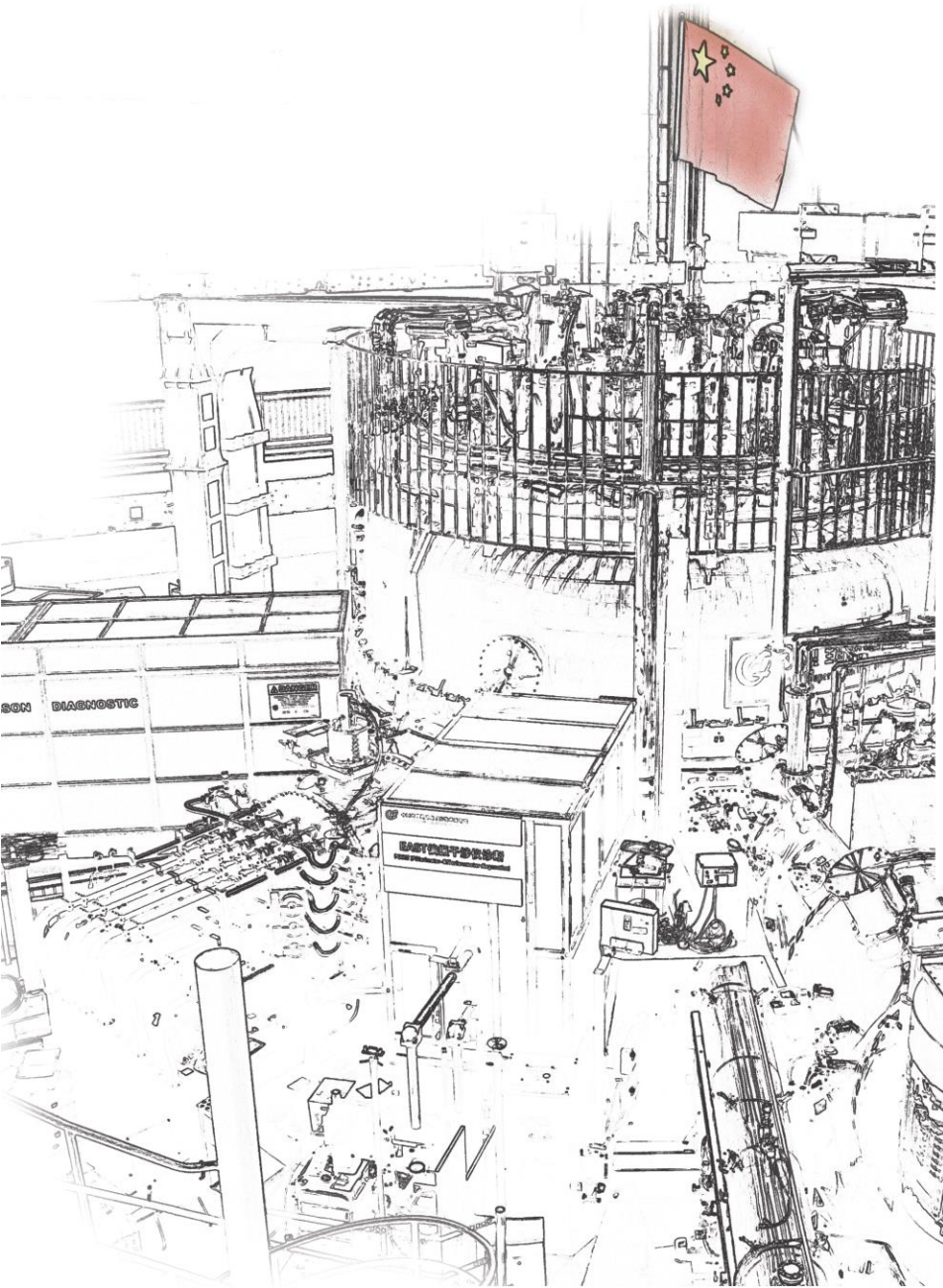
为 WEI

HIGHLIGHTS

HRH Princess Sirindhorn's visit to ASIPP, accompanied by DG Yuntao SONG

HIGHLIGHTS

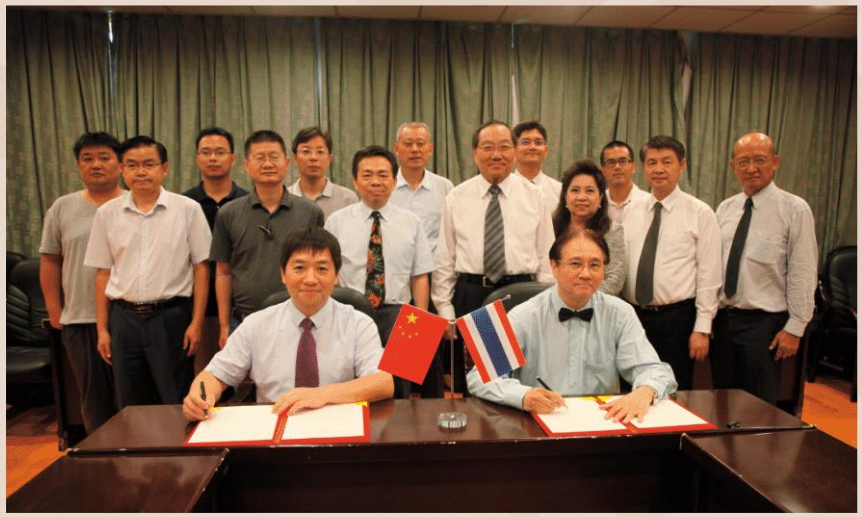
HRH Princess Sirindhorn with Academician Yunxi WAN (right)
and Academician Jiangang LI (left)

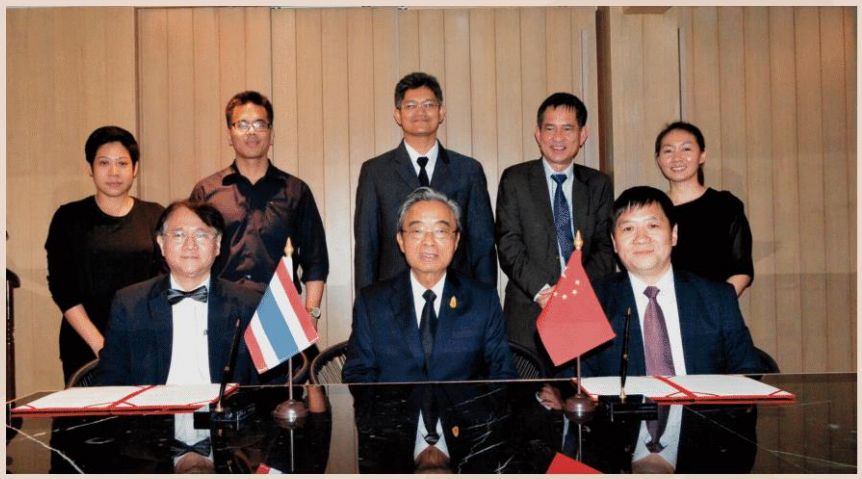


HRH Princess Sirindhorn starts a plasma discharge on EAST.

民

MIN





The first ASIPP-TINT cooperation agreement signed in 2017 and expanded in the coming years

Thai scientists working at ASIPP

Ms. Pasupha Chinvarasopak, Minister Counsellor of Science and Technology at Royal Thai Embassy (the fifth from the right) inspects TT-1 at ASIPP.

Consul General Ms. Lada Phumas visits ASIPP
on August 31, 2022.

EAST

Experimental Advanced Superconducting Tokamak

TT-1

Installed in TINT, HT-6M is given a new name, Thailand Tokamak - 1 (TT-1).

Life at ASIPP

科技为民

科学岛

Thailand Institute of Nuclear Technology

Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences

ASIPP

โทคาแมคของจีน

โทคาแมคของจีน

ภาพเครื่องโทคาแมค HT-6M (ที่มา : ASIPP)

ความก้าวหน้าการวิจัย (ค.ศ. 1960-2000)

การวิจัยพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันในประเทศจีนเริ่มต้นขึ้นในต้นทศวรรษ 1960 ได้สร้างสถาบันวิจัยที่ผสมผสานวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ 2 แห่งขึ้น คือ สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP) และสถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP) อีกทั้ง มีจัดตั้งสาขาวิชาและห้องปฏิบัติการวิจัยด้านนิวเคลียร์ฟิวชันและฟิสิกส์พลาสมาขึ้นในมหาวิทยาลัยต่าง ๆ เช่น มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (University of Science and Technology of China: USTC) มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (Huazhong University of Science and Technology: HUST) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีต้าเหลียน (Dalian University of Technology: DLUT) และมหาวิทยาลัยชิงหัว (Tsinghua University: THU) นับตั้งแต่ทศวรรษ 1970 เป็นต้นมา โทคาแมคได้รับเลือกให้เป็นแนวทางการวิจัยหลักของประเทศ เครื่องโทคาแมคดังต่อไปนี้ถูกสร้างขึ้น

เครื่องโทคาแมค	ผู้พัฒนา
CT-6	สถาบันฟิสิกส์ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences)
KT-5	มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (University of Science and Technology of China: USTC)
HT-6B	สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP)
HL-1	สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP)
HT-6M	สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP)

ค.ศ. 1990-2000

เครื่องโทคาแมค	ผู้พัฒนา
HT-7	สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP)
HL-1M	สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP)
EAST	สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP)
HL-2A	สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP)
SUNIST	สถาบันฟิสิกส์ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences) และมหาวิทยาลัยชิงหัว (Tsinghua University)
J-TEXT	มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (Huazhong University of Science and Technology: HUST)

ในปี 1994 สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) ได้ใช้ส่วนหลักของอุปกรณ์ T-7 จากสหภาพโซเวียต สร้างเครื่องโทคาแมคแม่เหล็กตัวนำยิ่งยวด (superconducting) รุ่น HT-7 เครื่องแรกของจีนขึ้นมา ทำให้จีนเป็นประเทศที่ 4 ในโลกที่มีอุปกรณ์ชนิดนี้ ต่อจากรัสเซีย ฝรั่งเศส และญี่ปุ่น และตัวเครื่องมีขนาดใหญ่เป็นอันดับสองของโลก

ในปี 1994 สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (SWIP) สร้างเครื่องโทคาแมค HL-1M ซึ่งอัพเกรดมาจากเครื่องโทคาแมค HL-1

ในปี 2000 สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) ได้เริ่มสร้างส่วนตัวนำยิ่งยวดแบบไม่เป็นวงกลมของโทคาแมค (all-superconducting non-circular section tokamak equipment) รุ่นใหม่ขึ้นมาที่สถานี HT-7 และให้ชื่อเครื่องปฏิกรณ์นี้ใหม่ว่า EAST การปรับปรุง HT-7 ทำให้ EAST นำจีนขึ้นมาเป็นผู้นำในกลุ่มการวิจัยนิวเคลียร์ฟิวชัน โดย EAST เริ่มติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดในปี 2003

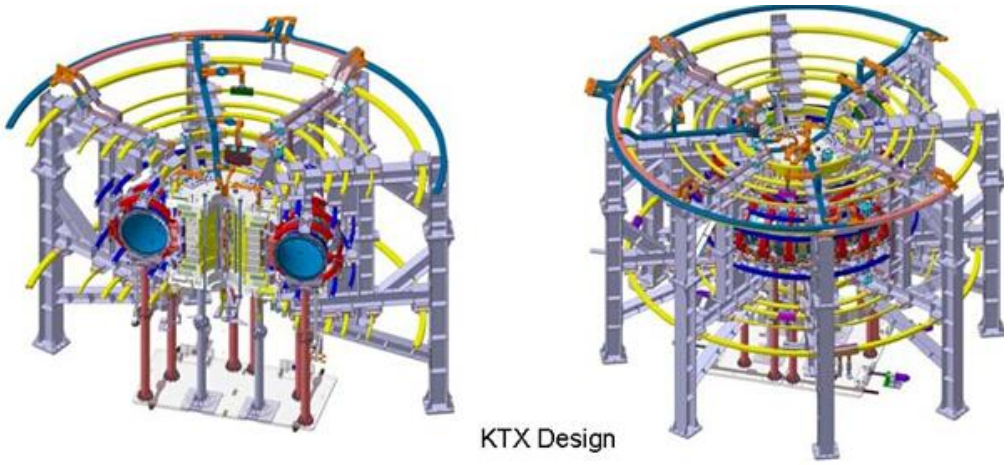
ในปี 2002 สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (SWIP) ได้ใช้ส่วนหลักของอุปกรณ์ ASDEX จากเยอรมันสร้างเครื่องโทคาแมค HL-2A

ในปี 2002 สถาบันฟิสิกส์ สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP) และมหาวิทยาลัยชิงหัว (Tsinghua University) ได้ร่วมมือกันสร้างเครื่องโทคาแมคทรงกลม SUNIST (Sino-United Spherical Tokamak)

ในปี 2003 มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (Huazhong University of Science and Technology: HUST) สร้างเครื่องโทคาแมค J-TEXT ผ่านความร่วมมือระหว่างประเทศ เดิมคือเครื่องโทคาแมครุ่น TEXT-U ของศูนย์วิจัยฟิวชันในมหาวิทยาลัยเท็กซัสที่มอบให้แก่มหาวิทยาลัย HUST

ในปี 2005 ประเทศจีนเข้าร่วมโครงการ ITER อย่างเป็นทางการ หลังจากนั้น การวิจัยเกี่ยวกับฟิสิกส์พลาสมา (plasma physics) นิวเคลียร์ฟิวชัน (nuclear fusion) การบีบลำอนุภาคด้วยสนามแม่เหล็ก (magnetic confinement) เริ่มพัฒนาขึ้น

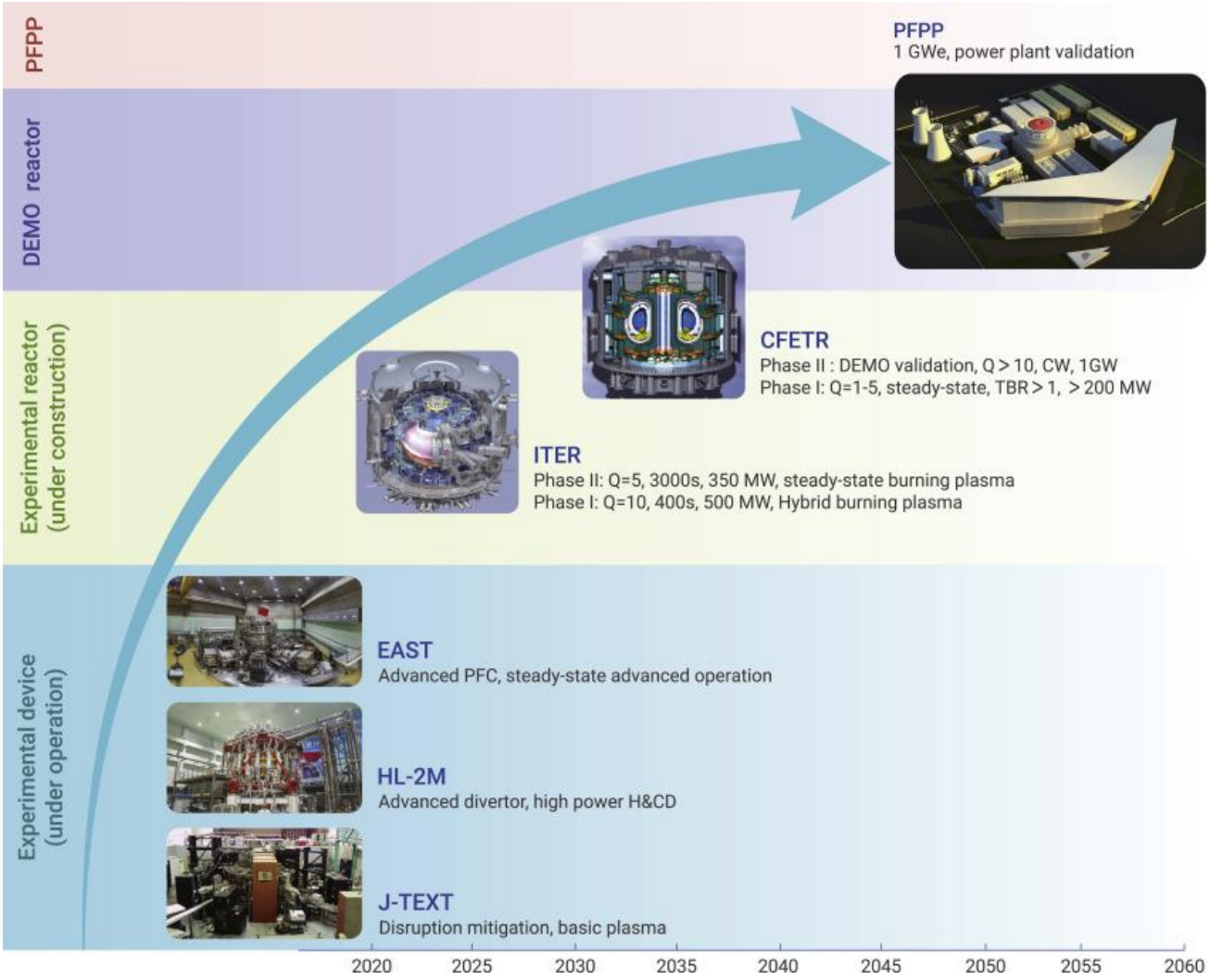
มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (University of Science and Technology of China: USTC) เป็นมหาวิทยาลัยแห่งแรกในประเทศจีนที่เปิดสอนระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์พลาสมา (plasma physics) ได้ฝึกฝนผู้มีความสามารถจำนวนมากสำหรับสถาบันวิจัยฟิวชันทั้งในและต่างประเทศ และเป็นหนึ่งในมหาวิทยาลัยในประเทศจีนที่สำคัญที่สุดที่ดำเนินโครงการวิจัยพิเศษของโครงการ ITER เช่น การศึกษาการกำจัดฟิวชันที่กักขังด้วยแม่เหล็กที่จำกัด การวิจัยเทคโนโลยีหลักของการวินิจฉัยพลาสมาการเผาไหม้ของเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันปัจจุบัน ด้วยการสนับสนุนของโครงการพลังงานฟิวชันกักขังแม่เหล็กแห่งชาติ มหาวิทยาลัย USTC กำลังออกแบบและสร้างอุปกรณ์ KTX ซึ่งเป้าหมายทางวิทยาศาสตร์หลักคือการทดสอบทฤษฎีใหม่นี้เกี่ยวกับวิวัฒนาการของพลาสมาที่ถูกจำกัดด้วยแม่เหล็กด้วยการทดลอง



KTX Design

ในปี 2006 สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP) ประสบความสำเร็จในการสร้างโทคามักตัวนำยิ่งยวดขั้นสูงสำหรับการทดลอง EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak)

แผนการพัฒนาในอนาคต (ค.ศ. 2015-2060)



ที่มา : https://doi.org/10.1016/j.xinn.2022.100269

ยุทธศาสตร์การพัฒนาฟิวชันในอนาคตของประเทศจีนมุ่งเป้าไปที่ระดับแนวหน้าระหว่างประเทศ (International Frontier) ใช้ประโยชน์จากความร่วมมือระหว่างประเทศอย่างกว้างขวาง วางรากฐานที่มั่นคงสำหรับการพัฒนาและการวิจัยพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันกักขังแม่เหล็ก (magnetic confinement) เร่งพัฒนาความสามารถบุคลากร ดำเนินการวิจัยขั้นแนวหน้า (Frontier) นิวเคลียร์ฟิวชันระหว่างประเทศ โดยอาศัยเครื่องโทคาแมคขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่มีอยู่ สร้างฐานการทดลองพลาสมาฟิวชันกักขังแม่เหล็กที่มีชื่อเสียง และสำรวจประเด็นพื้นฐานของฟิสิกส์และเทคโนโลยีทางวิศวกรรมสำหรับเครื่องปฏิกรณ์วิศวกรรมฟิวชันที่มีเสถียรภาพ มีประสิทธิภาพ ปลอดภัย และใช้งานได้จริงในอนาคต

1. เป้าหมายระยะสั้น (ค.ศ. 2015 -2020)

- ดำเนินการวิจัยฟิสิกส์พลาสมาขั้นสูง ออกแบบและวิจัยส่วนประกอบล่วงหน้าของเตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน (CFETR)
- สร้างห้องปฏิบัติการแห่งชาตินิวเคลียร์ฟิวชันกักขังแม่เหล็กระดับชั้นนำนานาชาติ
- ดำเนินการวิจัยทางกายภาพและทางเทคนิคเกี่ยวกับการทำงานโทคาแมคขั้นสูงในสภาวะคงที่ของเครื่องโทคาแมค EAST
- ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับตัวเปลี่ยนทิศทางขั้นสูงภายใต้ความหนาแน่นพลังงานสูงบนเครื่องโทคาแมค HL-2M
- ดำเนินการวิจัยพื้นฐานเกี่ยวกับวิธีการใหม่ การวินิจฉัยใหม่ และเทคโนโลยีใหม่บนอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น เครื่องโทคาแมค J-TEXT
- เสริมสร้างการวิจัยการจำลองทางทฤษฎีและตัวเลข และปรับปรุงความสามารถในการทำความเข้าใจและคาดการณ์พฤติกรรมของพลาสมาในโหมดการทำงานของเครื่องโทคาแมคขั้นสูง
- เข้าร่วมในการก่อสร้างโครงการ ITER ซึมซับ เรียนรู้ และเชี่ยวชาญเทคโนโลยีหลัก
- ดำเนินการออกแบบทางวิศวกรรมและการวิจัยล่วงหน้า (pre-research) ส่วนประกอบเตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน (CFETR)
- ฝึกฝนทีม ฝึกฝนความสามารถ และทำให้ประเทศจีนก้าวไปสู่การวิจัยและพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันขั้นสูงในโลก

2. เป้าหมายระยะกลาง (ค.ศ. 2020-2050)

(1) ค.ศ. 2021-2030 : การสร้างวิศวกรรมเตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน (CFETR) และการวิจัยเชิงทดลองที่ไม่ใช่นิวเคลียร์

- ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับโหมดที่มีข้อจำกัดสูงในสถานะคงที่บนเครื่องโทคาแมค EAST
- ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับไดเวอร์เตอร์ขั้นสูงภายใต้ความหนาแน่นพลังงานสูงของเครื่องโทคาแมค HL-2M
- เสร็จสิ้นการวิจัยแบบบูรณาการเกี่ยวกับการคำนวณทางทฤษฎีขนาดใหญ่และการจำลองเชิงตัวเลข และได้ดำเนินการตรวจสอบการทดลอง วิเคราะห์และคาดการณ์ทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับพฤติกรรมพลาสมาการเผาไหม้
- เข้าร่วมในการวิจัยเชิงทดลองของ ITER และเชี่ยวชาญความรู้อย่างครอบคลุมเกี่ยวกับการควบคุมพลาสมาการเผาไหม้ การทำงานของดิวทีเรียม-ทริเทียม (deuterium-tritium) และความปลอดภัยทางนิวเคลียร์
- สร้างเครื่องปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน (CFETR) และดำเนินการวิจัยเชิงทดลองที่ไม่ใช่นิวเคลียร์
- พัฒนาเทคโนโลยีหลักและส่วนประกอบหลัก เช่น Advanced Divertor, Low Activation Materials and Cladding, Tritium Factory, Intelligent Remote Operation

(2) ค.ศ. 2031-2040 : “ตรวจสอบการทดลองทางฟิสิกส์วิศวกรรม” ของเตาปฏิกรณ์ฟิวชันเป้าหมายระยะที่ 1 ของเตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน (CFETR)

- ตรวจสอบความสามารถและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์หลักและระบบเสริมอย่างครอบคลุม ภายใต้สภาวะโหมดข้อจำกัดสูงของการเผาไหม้ดิวทีเรียม-ทริเทียมแบบพัลส์ยาว (long pulse deuterium-tritium)
- บรรลุการส่งออกพลังงานฟิวชันในสภาวะคงที่ที่ 50MW ~ 200MW โดยมี Fusion Energy Gain Factor (Q) ที่ 1 ~ 5
- สำหรับ "การเผาไหม้ในสภาวะคงที่" และ "ความยั่งยืนในตัวเองของทริเทียม" ให้ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน ตรวจสอบและทดสอบตัวบ่งชี้การทำงานต่างๆ ของโรงงานทริเทียม ส่วนประกอบเทอร์โมนิวเคลียร์ รีโมทคอนโทรลอัจฉริยะ และระบบอื่น ๆ ในขณะเดียวกัน ก็สำรวจโหมดการทำงานเพื่อให้ได้เครื่องปฏิกรณ์สาธิตประสิทธิภาพสูงและขั้นสูง
- หลังจากดำเนินการนาน 8 ถึง 10 ปี จนถึงขั้นต่อมาของ "เป้าหมายระยะแรก" ให้ดำเนินการวิจัยเชิงทดลองที่มีพารามิเตอร์สูงโดยมีปัจจัยเกนของพลังงานฟิวชัน (fusion power gain factor) เท่ากับ 10 ซึ่งคล้ายกับ ITER
- ในตอนท้ายของขั้นตอนนี้ พารามิเตอร์การออกแบบ มาตรฐานการปฏิบัติงาน และข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับการอัพเกรดอุปกรณ์และการเปลี่ยนแปลงของระยะที่สองของ “การตรวจสอบเครื่องปฏิกรณ์สาธิต” ของเครื่องปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชันสามารถดำเนินการต่อไปได้

(3) ค.ศ. 2041-2050 : ตรวจสอบการสาธิตของเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันเป้าหมายระยะที่สองของเครื่องปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน

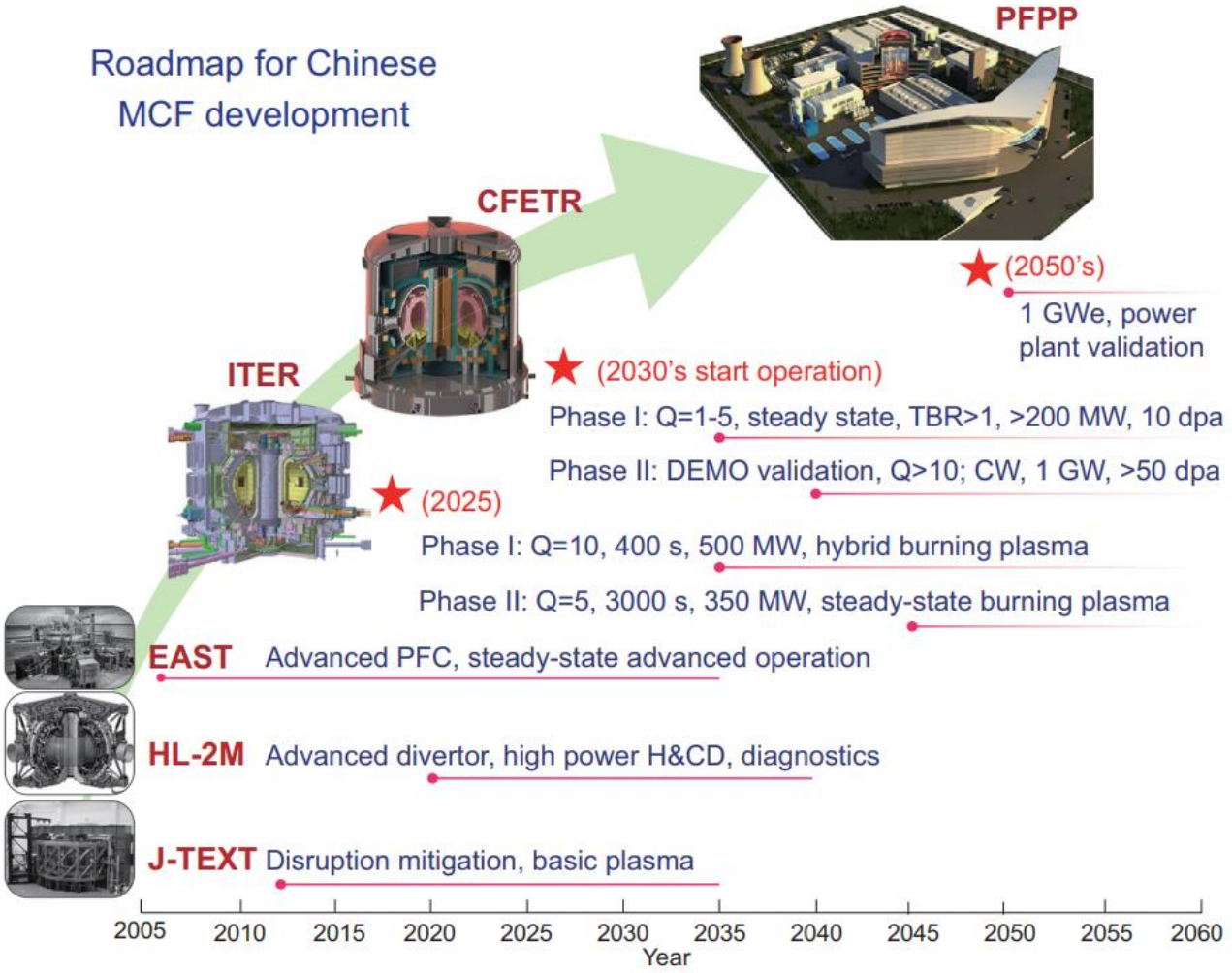
- ในขั้นตอนนี้ การวิจัยเชิงทดลองส่วนใหญ่ดำเนินการในประเด็นทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพสูงและการจำกัดพลาสมาการเผาไหม้ในขั้นตอนเครื่องปฏิกรณ์สาธิต
- บรรลุการส่งออกพลังงานฟิวชันที่เสถียรมากกว่า 1,000MW เป็นเวลานาน บรรลุการทำงานที่เสถียรและการควบคุมที่เชื่อถือได้ของโหมดการทำงานขั้นสูงของพลาสมาการเผาไหม้ดิวทีเรียม-ไอโซโทป ภายใต้เงื่อนไขว่า Fusion Energy Gain Factor (Q) มากกว่า 10
- เริ่มตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์และปัญหาทางเทคนิคทางวิศวกรรมของการผลิตไฟฟ้าจากนิวเคลียร์ฟิวชัน ได้แก่ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอร์พลาสมาและวัสดุภายใต้สภาวะของฟลักซ์ความร้อนสูงและการฉายรังสีนิวตรอนที่รุนแรง ความเป็นไปได้ของฟังก์ชันต่างๆ ของส่วนประกอบเทอร์โมนิวเคลียร์ และความเสถียรของประสิทธิภาพการบริการ ความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยีการทำงานระยะไกลอัจฉริยะและนิวเคลียร์ฟิวชัน สามารถสร้างกระแสไฟฟ้าได้
- เมื่อสิ้นสุดระยะนี้ พารามิเตอร์การออกแบบ มาตรฐานการทำงาน และข้อกำหนดด้านความปลอดภัยสำหรับเครื่องปฏิกรณ์สาธิตฟิวชันสามารถได้รับการพัฒนาได้ ในเวลาเดียวกัน สำรวจวิธีการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ฟิวชันที่มีปัจจัยการรับพลังงานมากกว่า 30 ซึ่งวางรากฐานที่มั่นคงสำหรับการออกแบบและสร้างโรงไฟฟ้าต้นแบบฟิวชัน

3. เป้าหมายระยะยาว (ค.ศ. 2050-2060) : โรงไฟฟ้าต้นแบบสาธิตนิวเคลียร์ฟิวชัน

- สร้างและดำเนินการโรงไฟฟ้าต้นแบบนิวเคลียร์ฟิวชันด้วยกำลังไฟฟ้า 1 ล้านกิโลวัตต์ สำรวจความเป็นไปได้ทางเทคนิคทางวิศวกรรม ความเป็นไปได้ด้านสิ่งแวดล้อม และความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจของโรงไฟฟ้าเชิงพาณิชย์แบบฟิวชัน จากนั้นจึงตระหนักถึงการใช้พลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันในเชิงพาณิชย์

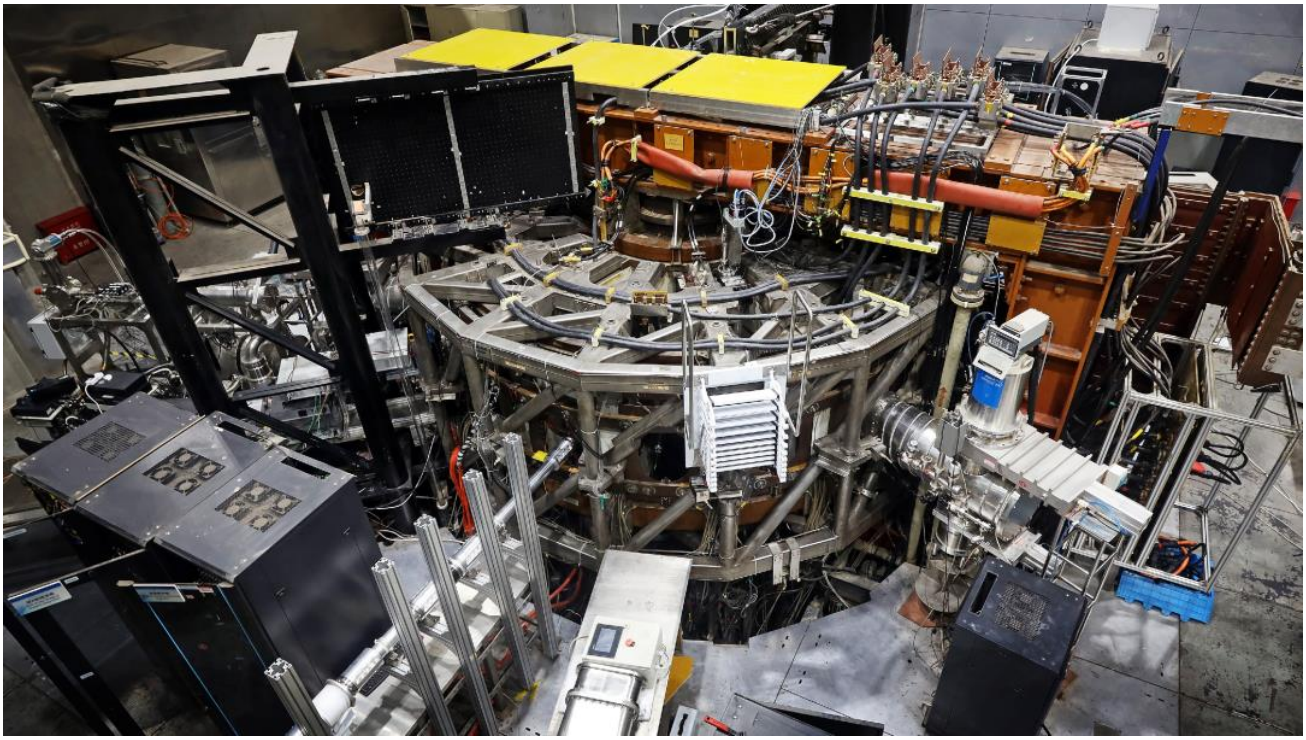
ภาพ : Handout

แผนพัฒนาการสร้างฟิวชันด้วยการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าควบคุมของจีน (โทคาแมค)
Roadmap for Chinese Magnetic Confined Fusion (MCF) Development



ที่มา : https://doi.org/10.1093/nsr/nwz029

เครื่องโทคาแมค	เริ่มดำเนินงานปี	ผู้พัฒนา
J-TEXT	ค.ศ. 2007	Huazhong University of Science and Technology (HUST)
EAST	ค.ศ. 2006	Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences (ASIPP, CAS)
HL-2M	ค.ศ. 2020	CNNC's Southwestern Institute of Physics (SWIP)
ITER	ค.ศ. 2025	China International Nuclear Fusion Energy Program Execution Center
CFETR	ค.ศ. 2035	Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences (HFIPS, CAS) ร่วมกับ University of Science and Technology of China (USTC)

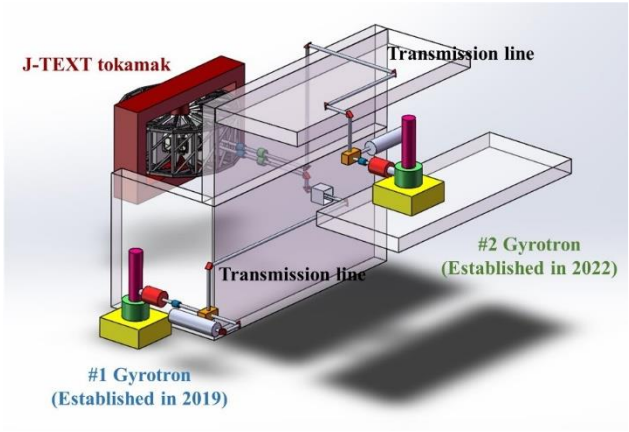


ภาพ : ASIPP

เครื่องโทคาแมค J-TEXT

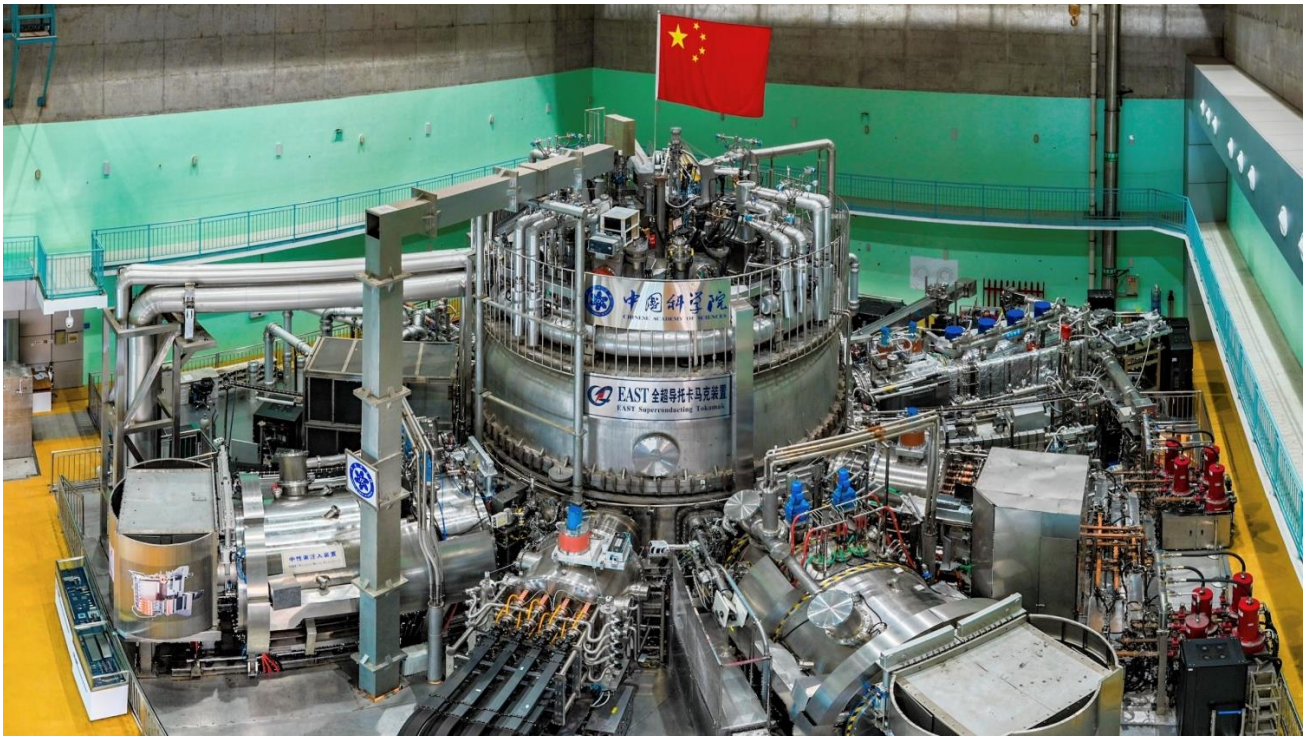
เครื่องโทคาแมค J-TEXT (Joint Texas Experimental Tokamak) เป็นอุปกรณ์โทคาแมคแกนเหล็กหน้าตัดวงกลม (circular cross-section) เดิมคือเครื่องโทคาแมครุ่น TEXT-U ของศูนย์วิจัยฟิวชันในมหาวิทยาลัยเท็กซัส ต่อมาได้รับการอนุมัติจากกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกามอบให้แก่มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (Huazhong University of Science and Technology: HUST)

ปัจจุบัน J-TEXT เป็นเครื่องโทคาแมคขนาดกลางเพียงเครื่องเดียวในมหาวิทยาลัยของจีน และเป็นหนึ่งในสามเครื่องโทคาแมคหลักในจีน รวมอยู่ในแผนงานสำหรับการพัฒนาฟิวชันกักขังแม่เหล็กของจีน (Chinese magnetic confined fusion (MCF) development) นอกจากนี้ ยังเป็นแพลตฟอร์มการวิจัยหลักของ “ศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ฟิวชันกักขังแม่เหล็กแห่งกระทรวงศึกษาธิการ” ที่ก่อตั้งโดยมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง



ระบบ ECRH

เมื่อเดือนมีนาคม-พฤษภาคม 2565 กลุ่มวิจัยการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟของสถาบันฟิวชันและพลาสมาของคณะวิศวกรรมไฟฟ้า ม.HUST ประสบความสำเร็จในการแก้ไขจุดบกพร่องของระบบทำความร้อนด้วยคลื่นอิเล็กตรอนไซโคลตรอน (Electron Cyclotron Resonance Heating: ECRH) ใหม่ โดยอัพเกรดกำลังของระบบจากเดิม 500kW เป็น 1MW ทำให้เครื่องโทคาแมค J-TEXT ติดตั้งระบบ ECRH ระดับเมกะวัตต์อย่างเป็นทางการ



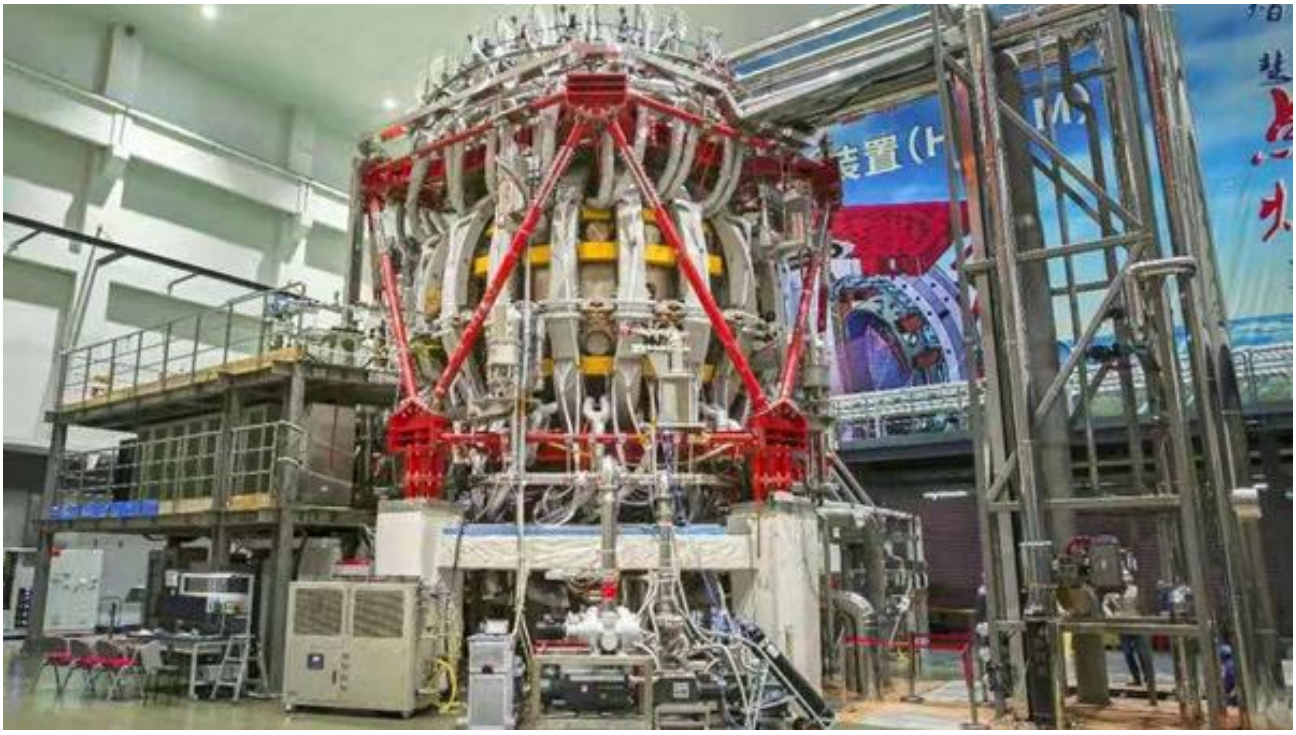
ภาพ : ASIPP

เครื่องโทคาแมค EAST

เครื่องโทคาแมค EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) เริ่มต้นเดินเครื่องในปี ค.ศ. 2006 พัฒนาโดย สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP) มีเป้าหมาย คือ ศึกษาเทคโนโลยีฟิสิกส์และวิศวกรรมของเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันสำหรับการทำงานในสภาวะคงตัวแบบพัลส์ยาว (long-pulse steady-state) ของเครื่องโทคาแมค และเพื่อสร้างรากฐานเทคโนโลยีทางวิศวกรรมสำหรับการก่อสร้างเตาปฏิกรณ์โทคาแมค CFETR ตัวนำยิ่งยวดเต็มรูปแบบในอนาคต

เครื่องโทคาแมค EAST มีคุณสมบัติที่โดดเด่น 3 ประการ คือ หน้าตัดที่ไม่เป็นวงกลม (non-circular cross-section) โครงสร้างภายในที่เป็นแม่เหล็กที่มีตัวนำยิ่งยวดเต็มรูปแบบ (fully superconducting magnets) และส่วนประกอบหันหน้าไปทางพลาสมา (PFC) ระบายความร้อนด้วยน้ำ (fully actively water cooled plasma facing components (PFCs)) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการสำรวจโหมดการทำงานของพลาสมาในสภาวะคงตัวขั้นสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการเตาปฏิกรณ์เพื่อการทดลองเทอร์โมนิวเคลียร์ระหว่างประเทศ (ITER) แล้ว EAST มีขนาดเล็กกว่า แต่มีรูปร่างและความสมดุลใกล้เคียงกัน แต่มีความยืดหยุ่นมากกว่า

เมื่อปี ค.ศ. 2021 เครื่องโทคาแมค EAST สามารถเดินเครื่องที่อุณหภูมิ 120 ล้านองศาเซลเซียส นาน 101 วินาที เมื่อเดือนธันวาคม ค.ศ. 2022 ประสบความสำเร็จในการทำงานต่อเนื่องภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงเป็นเวลา 1,056 วินาที ระหว่างการทดลองที่อุณหภูมิเกือบ 70 ล้านองศาเซลเซียส และเมื่อเดือนเมษายน ค.ศ. 2023 บรรลุการปฏิบัติการกักพลาสมาระดับสูง ณ สถานะคงตัวเป็นระยะเวลา 403 วินาที หลังจากยิงพลาสมามากกว่า 120,000 ครั้ง ซึ่งถือเป็นความก้าวหน้าครั้งสำคัญสู่การพัฒนาเตาปฏิกรณ์ฟิวชัน และยกระดับสถิติโลกจากเดิม 101 วินาที ซึ่งดวงอาทิตย์ประดิษฐ์ของจีนทำไว้ในปี ค.ศ. 2017



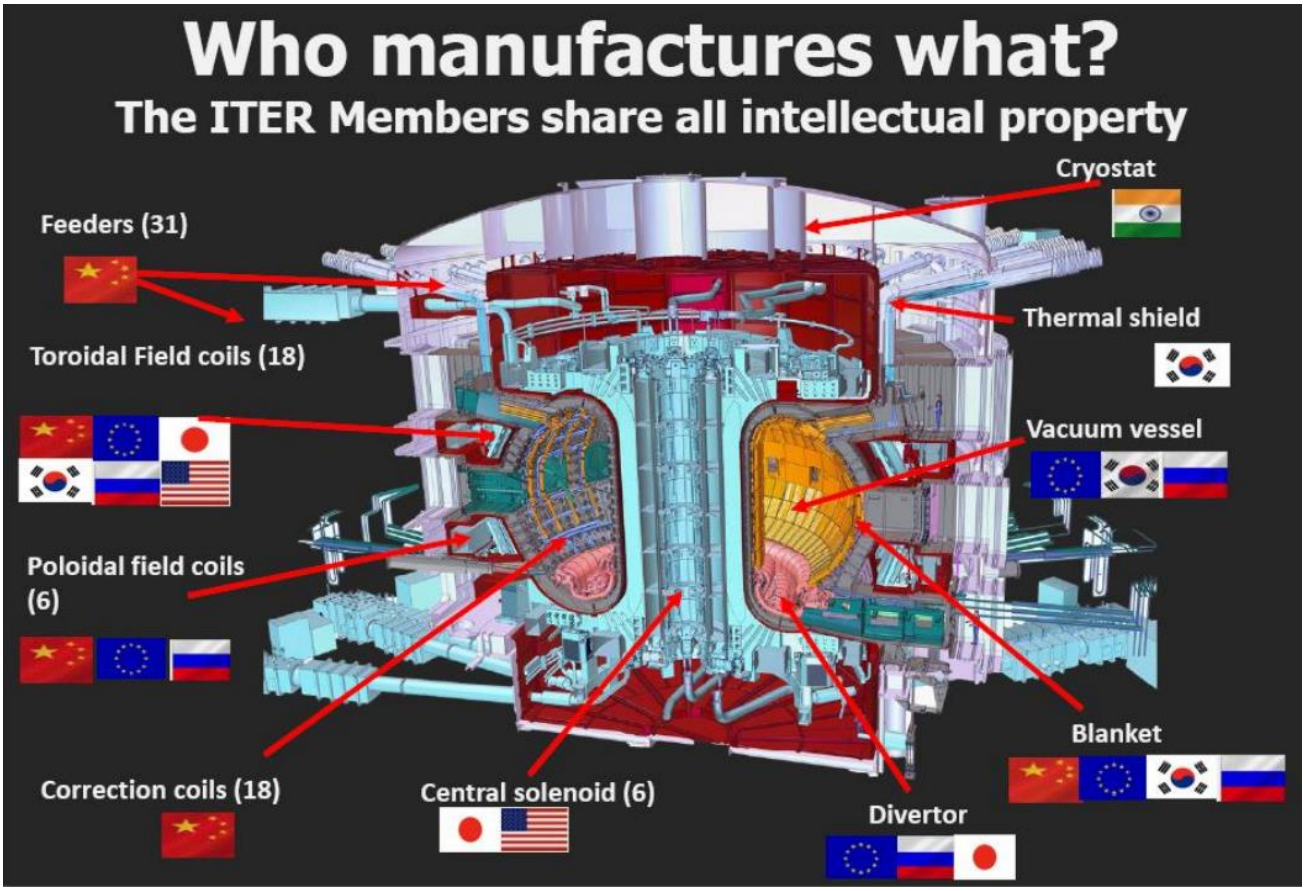
ภาพ : ASIPP

เครื่องโทคาแมค HL-2M

เครื่องโทคาแมค HL-2M (Huan-Liuqi-2M) พัฒนาโดย สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP) ประสบความสำเร็จในการปล่อยประจุพลาสมาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 2020

เครื่องโทคาแมค HL-2M ถูกสร้างขึ้นเพื่อจำลองปฏิกิริยาธรรมชาติที่เกิดขึ้นกับดวงอาทิตย์ โดยใช้ไฮโดรเจนและดิวทีเรียมเป็นเชื้อเพลิง และมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างพลังงานสะอาดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันที่ควบคุมได้ จะสร้างพลาสมาที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 200 ล้านองศาเซลเซียส

ทั้งนี้ เครื่องโทคาแมค HL-2M มีส่วนสำคัญในการสนับสนุนเชิงเทคนิคแก่โครงการสร้างเครื่องปฏิกรณ์เพื่อการทดลองเทอร์โมนิวเคลียร์ระหว่างประเทศ (ITER) ที่จีนได้เข้าร่วม รวมทั้งเป็นส่วนสำคัญในการสร้างและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชันของจีน



ภาพ : IHEP, CAS

เครื่องโทคาแมค ITER

เตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ความร้อนขั้นทดลองนานาชาติ (International Thermonuclear Experimental Reactor: ITER) เป็นหนึ่งในโครงการวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติที่ใหญ่ที่สุดและกว้างขวางที่สุดในโลกปัจจุบัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างอุปกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันระดับเตาปฏิกรณ์ เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมของการใช้การผลิตไฟฟ้าฟิวชันอย่างสันติ ได้รับความร่วมมือร่วมกันจากกว่า 30 ประเทศ รวมถึงจีน สหภาพยุโรป รัสเซีย สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และอินเดีย ซึ่งจีนเข้าร่วมแผน ITER อย่างเป็นทางการในปี ค.ศ. 2006 เป็นโครงการความร่วมมือทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างประเทศที่ใหญ่ที่สุดที่จีนเข้าร่วมในฐานะหุ้นส่วนที่เท่าเทียมกันและเต็มรูปแบบ

China International Nuclear Fusion Energy Program Execution Center

https://english.iterchina.cn/

โครงสร้างหน่วยงานการเข้าร่วมโครงการ ITER ของจีน

ภารกิจ ITER CHINA

1. เพื่อมีส่วนร่วมในการตัดสินใจและการจัดการโครงการ ITER อย่างครอบคลุม
2. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือทวิภาคีและความร่วมมือพหุภาคีด้านการวิจัยนิวเคลียร์ฟิวชัน
3. เพื่อสร้างและปรับปรุงกลไกการจัดการการดำเนินงานของการจัดซื้อจัดจ้างวัสดุที่มอบหมายให้กับประเทศจีน และระบบการจัดการของค่าใช้จ่าย กำหนดการ คุณภาพ มาตรฐาน เพื่อจัดทำแผนการดำเนินงาน
4. เพื่อปลูกฝังกลุ่มบุคลากรวิจัยทางวิทยาศาสตร์และทีมงานเทคโนโลยีวิศวกรรมที่มีความมุ่งมั่นแน่วแน่และระดับสูง
5. เพื่อส่งเสริมการเปลี่ยนแปลง/อัพเกรดอุปกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันขนาดใหญ่และขนาดกลางของจีน สำหรับงานเตรียมการสำหรับโครงการ ITER และการทดสอบที่เกี่ยวข้อง
6. เพื่อซึมซาบ เรียนรู้ และเชี่ยวชาญผลการวิจัยของโครงการ ITER

ภาพ : Handout

เตาปฏิกรณ์ CFETR

เตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชันของจีน (China Fusion Engineering Test Reactor: CFETR) ตั้งอยู่ที่เมืองเหอเฝย เป็นโครงการโครงสร้างพื้นฐานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สำคัญระดับชาติ เป้าหมายคือการสร้างแพลตฟอร์มการวิจัยและทดสอบที่ครอบคลุมด้วยพารามิเตอร์สูงสุดและมีฟังก์ชันที่สมบูรณ์ที่สุดในสาขานิวเคลียร์ฟิวชันระดับนานาชาติ ดำเนินการโดย สถาบันวิทยาศาสตร์กายภาพเหอเฟย สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Hefei Institutes of Physical Science, Chinese Academy of Sciences) และมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (University of Science and Technology of China: USTC) เพื่อดำเนินการวิจัยการออกแบบทางวิศวกรรมแบบบูรณาการ และจะให้ความร่วมมือและการสนับสนุนอย่างเต็มที่ในแง่ของการฝึกอบรมบุคลากร กำลังคน และวัสดุ ฯลฯ โครงการ CFETR วางแผนดำเนินงาน 3 ระยะ ดังนี้

- ตั้งแต่ระยะแรกถึงปี ค.ศ. 2021 เริ่มการก่อสร้างโครงการ CFETR
- ในระยะที่สองจนถึงปี ค.ศ. 2035 วางแผนที่จะสร้างเตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชัน และเริ่มการทดลองทางวิทยาศาสตร์ขนาดใหญ่
- ในระยะที่สามจนถึงปี ค.ศ. 2050 เตาปฏิกรณ์ทดลองทางวิศวกรรมฟิวชันได้รับการทดสอบสำเร็จ และเตาปฏิกรณ์สาธิตเชิงพาณิชย์แบบฟิวชันถูกสร้างขึ้น เพื่อสร้างแหล่งพลังงานขั้นสูงสุดสำหรับมนุษยชาติ

ข้อมูลการศึกษาด้านโทคาแมคในจีน

| สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัย สาขาวิชา

สถาบันวิจัย

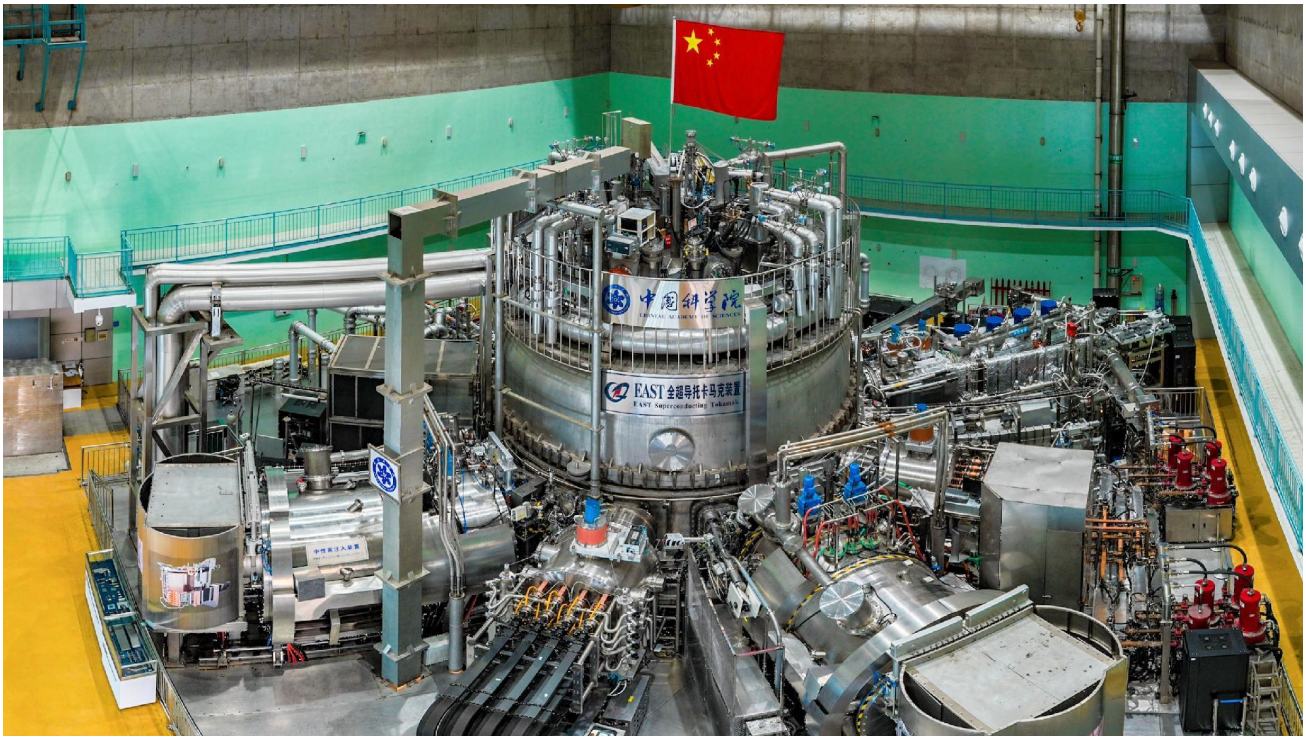
สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน
(Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences: ASIPP)

Address: No. 350, Shushanhu Road, Hefei, Anhui, China, 230031

Email: yangyao@ipp.ac.cn , Website: http://english.ipp.cas.cn/

สถาบันฟิสิกส์พลาสมา สถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) ก่อตั้งขึ้นในเดือนกันยายน ค.ศ. 1978 งานวิจัยหลักครอบคลุมฟิสิกส์พลาสมาอุณหภูมิสูง วิศวกรรมนิวเคลียร์ฟิวชันกักขังแม่เหล็ก และการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีขั้นสูงที่เกี่ยวข้อง โดยมีเป้าหมายสูงสุดในการสำรวจ พัฒนา และแก้ปัญหาพลังงานใหม่ที่สะอาดและไม่มีที่สิ้นสุดสำหรับมนุษย์ สถาบัน ASIPP ได้สร้างความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความสัมพันธ์กับภูมิภาคต่าง ๆ มากกว่า 30 ประเทศ เช่น ยุโรป สหรัฐอเมริกา รัสเซีย ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย และเป็นหน่วยงานที่สำคัญของคณะทำงาน ITER จีน

สถาบัน ASIPP เป็นฐานสำคัญสำหรับการวิจัยฟิวชันเทอร์โมนิวเคลียร์ (thermonuclear fusion) ในจีน โดยได้สร้างเครื่องโทคาแมค HT-6B, HT-6M, HT-7, EAST ซึ่ง HT-7 เป็นเครื่องโทคาแมคหน้าตัดทรงกลมเครื่องแรกในประเทศจีน และ EAST เป็นเครื่องโทคาแมคตัวนำยิ่งยวดแบบเต็มหน้าตัดที่ไม่ใช่วงกลมเครื่องแรกของโลก นอกจากนี้ สถาบันมีส่วนร่วมในการก่อสร้างศูนย์วิทยาศาสตร์แห่งชาติเหอเฟย และดำเนินการออกแบบและการวิจัยเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องปฏิกรณ์ทดสอบทางวิศวกรรมฟิวชันของจีน



สถาบัน ASIPP มีห้องปฏิบัติการวิจัย 13 แห่ง ศูนย์วิจัย 3 แห่ง และบริษัทเทคโนโลยีขั้นสูงมากกว่า 20 แห่ง สถาบัน ASIPP เปิดสอนระดับปริญญาเอกในสาขาฟิสิกส์พลาสมาและวิศวกรรมฟิวชัน ปริญญาโทใน 11 สาขาวิชา เช่น ฟิสิกส์พลาสมา วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมพลังงานนิวเคลียร์ ทฤษฎีไฟฟ้าและเทคโนโลยีใหม่ วิศวกรรมอุณหภูมิต่ำ (Cryonics) และการทำความเย็น เทคโนโลยีนิวเคลียร์และการประยุกต์

<u>ห้องปฏิบัติการวิจัย (Divisions)</u>

1) Fusion Engineering Research Division
2) Power and Control Engineering
3) Applied Superconductor Engineering Technology Laboratory
4) Reactor Design Division
5) Theory and Simulation Division
6) Tokamak Division
7) Division of Control and Computer Application
8) Cryogenic Engineering and Technology Division
9) Division of Plasma Diagnostics
10) Division of Microwave Technology
11) Division of Plasma Application
12) Fusion Reactor Materials and Components Division
13) Neutral Beam Injection Division

核工业西南物理研究院
中核集团 Southwestern Institute of Physics
CNNC

สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน
(CNNC's Southwestern Institute of Physics: SWIP)

Address: No. 5, Huangjing Road, Southwest Airport Economic Development Zone, Shuangliu District, Chengdu, Sichuan, China, 610225

Email: xxgk@swip.ac.cn , Website: https://www.swip.ac.cn/

สถาบันฟิสิกส์ตะวันตกเฉียงใต้ บริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (SWIP) ก่อตั้งขึ้นในปี 1958 โดยอยู่ในเครือของบริษัทนิวเคลียร์แห่งชาติจีน (China National Nuclear Corporation: CNNC) เป็นสถาบันวิจัยที่เก่าแก่ที่สุดในการพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันในประเทศจีน สถาบัน SWIP ได้สร้างความร่วมมือและแลกเปลี่ยนความสัมพันธ์กับภูมิภาคต่าง ๆ มากกว่า 30 ประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา เยอรมนี ญี่ปุ่น รัสเซีย สหราชอาณาจักร และฝรั่งเศส และเป็นหน่วยงานที่สำคัญของคณะทำงาน ITER จีน และส่งบุคลากรเข้าร่วมการแลกเปลี่ยนในโครงการ ITER

สถาบัน SWIP ได้สร้างเครื่องโทคาแมค HL-1, HL-1M, HL- 2A ซึ่ง HL- 2A เป็นเครื่องโทคาแมคที่มีการกำหนดค่าไดเวอร์เตอร์ (divertor) เครื่องแรกในประเทศจีน เครื่องโทคาแมค HL-2A ประสบความสำเร็จในการทดลองซึ่งได้เสริมฐานข้อมูลของเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ทดลองระหว่างประเทศ (ITER) และวางรากฐานสำหรับการพัฒนาพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันในประเทศจีน

ความร่วมมือกับมหาวิทยาลัย

大连理工大学 DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

成都理工大學 CHENGDU UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

สถาบัน SWIP ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีต้าเหลียนในการก่อตั้ง “ห้องปฏิบัติการร่วมของฟิสิกส์พลาสมาฟิวชันนิวเคลียร์” (Joint Laboratory of Nuclear Fusion Plasma Physics, Dalian University of Technology)

สถาบัน SWIP ได้ร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเฉิงตูในการก่อตั้ง “วิทยาลัยเทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีเฉิงตู” (Chengdu University of Technology, College of Engineering Technology)

มหาวิทยาลัย

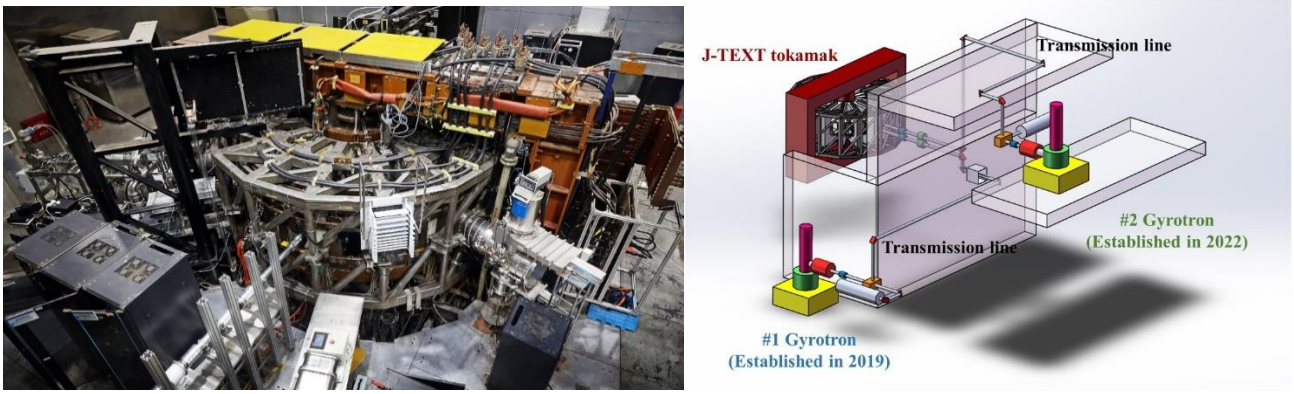
มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง
(Huazhong University of Science and Technology: HUST)

Website : http://english.hust.edu.cn/

มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวจง (HUST) ก่อตั้งขึ้นในปี 1952 ตั้งอยู่ในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย ในปี ค.ศ. 2022 เว็บไซต์ Times Higher Education (THE) จัดอันดับให้ ม. HUST อยู่ในอันดับ 10 ของมหาวิทยาลัยในประเทศจีน เมื่อปี ค.ศ. 2008 ม. HUST ประสบความสำเร็จในการสร้างสร้างเครื่องโทคาแมค J-TEXT (Joint Texas Experimental Tokamak) เดิมคือเครื่องโทคาแมครุ่น TEXT-U ของศูนย์วิจัยฟิวชันในมหาวิทยาลัยเท็กซัสที่มอบให้แก่ ม. HUST ซึ่งเครื่องโทคาแมค J-TEXT เป็นเครื่องโทคาแมคขนาดกลางเพียงเครื่องเดียวในมหาวิทยาลัยของจีน และเป็นหนึ่งในสามเครื่องโทคาแมคหลักในจีน รวมอยู่ในแผนงานสำหรับการพัฒนาฟิวชันกักขังแม่เหล็กของจีน (Chinese magnetic confined fusion (MCF) development)

สถาบันที่เกี่ยวข้องกับโทคาแมค

1. สถาบันวิจัยฟิวชันและพลาสมา (Institute of Fusion and Plasma Reserch)
   http://ifpr.hust.edu.cn/
2. คณะวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (School of Electrical and Electronic Engineering)
   http://english.seee.hust.edu.cn/



เครื่องโทคาแมค J-TEXT

中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

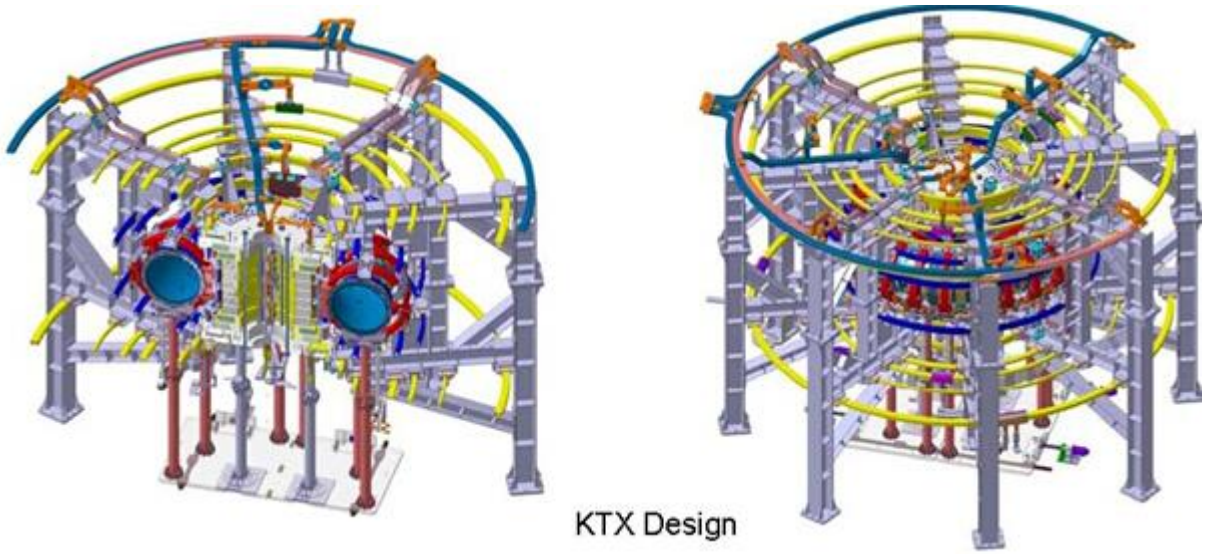
มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน
(University of Science and Technology of China: USTC)

Website : https://en.ustc.edu.cn/

มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศจีน (USTC) ก่อตั้งขึ้นในปี 1958 ตั้งอยู่ในเมืองเหอเฟย มณฑลอานฮุย เป็นมหาวิทยาลัยที่อยู่ภายใต้การดูแลของสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (CAS) มุ่งเน้นวิทยาศาสตร์ที่ล้ำสมัยและเทคโนโลยีขั้นสูง และเป็นมหาวิทยาลัยแห่งแรกในประเทศจีนที่เปิดสอนระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์พลาสมา (plasma physics) ได้ฝึกฝนผู้มีความสามารถจำนวนมากสำหรับสถาบันวิจัยฟิวชันทั้งในและต่างประเทศ และเป็นหนึ่งในมหาวิทยาลัยในประเทศจีนที่สำคัญที่สุดที่ดำเนินโครงการวิจัยพิเศษของโครงการ ITER เช่น การศึกษาการกำจัดฟิวชันที่กักขังด้วยแม่เหล็กที่จำกัด การวิจัยเทคโนโลยีหลักของการวินิจฉัยพลาสมาการเผาไหม้ของเครื่องปฏิกรณ์ฟิวชัน ปัจจุบัน ด้วยการสนับสนุนของโครงการพลังงานฟิวชันกักขังแม่เหล็กแห่งชาติ มหาวิทยาลัย USTC กำลังออกแบบและสร้างอุปกรณ์ KTX ซึ่งเป้าหมายทางวิทยาศาสตร์หลักคือการทดสอบทฤษฎีใหม่นี้เกี่ยวกับวิวัฒนาการของพลาสมาที่ถูกจำกัดด้วยแม่เหล็กด้วยการทดลอง

สถาบันที่เกี่ยวข้องกับโทคาแมค

1. วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (School of Nuclear Science and Technology) https://www.snst.ustc.edu.cn/



อุปกรณ์ KTX

มหาวิทยาลัยชิงหัว

(Tsinghua University: THU)

Website : https://www.tsinghua.edu.cn/en/

สถาบันที่เกี่ยวข้องกับโทคาแมค

2. ภาควิชาฟิสิกส์วิศวกรรม (Department of Engineering Physics)
   https://www.ep.tsinghua.edu.cn/en/
3. ภาควิชาฟิสิกส์ (Department of Physics)
   https://www.phys.tsinghua.edu.cn/phyen/
4. สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์และพลังงานใหม่ (Institute of Nuclear and New Energy Technology)
   https://www.inet.tsinghua.edu.cn/ineten/

สาขาวิชาในภาควิชาฟิสิกส์วิศวกรรม (Department of Engineering Physics)		
ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
Engineering Physics	Nuclear Science and Technology	Nuclear Science and Technology
Nuclear Engineering and Nuclear Technology	Safety Science and Technology	Safety Science and Technology
	Physics	Physics
	Nuclear Energy and Nuclear Technology Engineering	

เครื่องโทคาแมค SUNIST-02

การออกแบบและพัฒนาร่วมกันของภาควิชาฟิสิกส์วิศวกรรม มหาวิทยาลัยชิงหัว สถาบันฟิสิกส์พลาสมาแห่งสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (ASIPP) และบริษัทเอกชน มีเป้าหมายเพื่อใช้สำรวจเทคโนโลยีใหม่ ๆ เพื่อการทำความร้อนพลาสมาอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเชื่อมต่อด้วยแม่เหล็กพัฒนาวิธีการควบคุมพลาสมาแบบใหม่ การศึกษาเหล่านี้ จะให้การสนับสนุนต่อเส้นทางการพัฒนาพลังงานฟิวชันกักขังแม่เหล็กที่คิดค้นขึ้นเองของมหาวิทยาลัยชิงหัว

มหาวิทยาลัยปักกิ่ง

(Peking University: PKU)

Website : https://english.pku.edu.cn/

สถาบันที่เกี่ยวข้องกับโทคาแมค

1. คณะวิชาฟิสิกส์ (School of Physics)
   http://english.phy.pku.edu.cn/
2. ภาควิชาฟิสิกส์เทคนิค (Department of Technical Physics)
   https://ppnp.pku.edu.cn/
3. สถาบันฟิสิกส์ไอออนหนัก (Institute of Heavy Ion Physics)
   https://ihip.pku.edu.cn/
4. สถาบันฟิสิกส์ทฤษฎี (Institute of Theoretical Physics)
   http://itp.phy.pku.edu.cn/
5. ห้องปฏิบัติการหลักของฟิสิกส์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งรัฐ มหาวิทยาลัยปักกิ่ง (State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, Peking University)
   http://sklnpt.pku.edu.cn/

สาขาวิชาในคณะวิชาฟิสิกส์ (School of Physics)		
ปริญญาตรี	ปริญญาโท	ปริญญาเอก
Physics	Theoretical Physics	Theoretical Physics
	Particle Physics and Nuclear Physics	Particle Physics and Nuclear Physics
	Atomic and Molecular Physics	Atomic and Molecular Physics
	Plasma Physics	Plasma Physics
	Condensed Matter Physics	Condensed Matter Physics
	High Energy Density Physics	High Energy Density Physics

รายชื่อสาขาวิชาระดับปริญญาโท :
https://admission.pku.edu.cn/zsxx/lxszs/lxszyml/2023/ss/zsml_ss_lxs_cn_00004.pdf
รายชื่อสาขาวิชาระดับปริญญาเอก (ภาคจีน) :
https://admission.pku.edu.cn/zsxx/lxszs/lxszyml/2023/bs/zsml_bs_lxs_cn_00004.pdf
รายชื่อสาขาวิชาระดับปริญญาเอก (ภาคอังกฤษ) :
https://admission.pku.edu.cn/zsxx/lxszs/lxszyml/2023/bs/zsml_bs_lxs_en_00004.pdf

มหาวิทยาลัยแห่งสภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน

(University of Chinese Academy of Sciences: UCAS)

Website : http://www.ucas.ac.cn

มหาวิทยาลัยแห่งสภาวิทยาศาสตร์แห่งชาติจีน (UCAS) ก่อตั้งขึ้นในปี 1978 ตั้งอยู่ในกรุงปักกิ่ง เซี่ยงไฮ้ อู่ฮั่น กว่างโจว เฉิงตู และหลานโจว เป็นมหาวิทยาลัยที่อยู่ภายใต้การดูแลของสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์จีน (Chinese Academy of Sciences: CAS)

สาขาวิชาระดับปริญญาโท	เว็บไซต์
Atomic and Molecular Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070602
Power Engineering and Engineering Thermophysics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=080701
Nuclear Technology and Applications	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=082703
สาขาวิชาระดับปริญญาเอก	**เว็บไซต์**
Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=0702
Plasma Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070204
Condensed Matter Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070205
Theoretical Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070201
Particle Physics and Nuclear Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070202
Power Engineering and Engineering Thermophysics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=0807
Nuclear Energy Science and Engineering	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=082701
Particle Physics and Nuclear Physics	https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/major/5822-major1?subjectcode=070202

หลักสูตรระดับปริญญาโท : https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/notice/6175-call-for-2023-master-s-programs-for-international-students

หลักสูตรระดับปริญญาเอก : https://english.ucas.ac.cn/index.php/admission/international-students/notice/6158-call-for-2023-doctoral-programs-for-international-students

สาขาวิชา

ภาพ : Xinhua

ตัวอย่างสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับวิจัยด้านโทคาแมค

1. **วิศวกรรมนิวเคลียร์ (Nuclear Engineering)** ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในการสร้างไฟฟ้าและใช้ประโยชน์ในการผลิตวัสดุนิวเคลียร์เช่นเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ รวมถึงการควบคุมและจัดการกับสารตะกั่ว
2. **ฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics)** ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และโครงสร้างของนิวเคลียร์ การแยกและวิเคราะห์องค์ประกอบของนิวเคลียร์ และศึกษาปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการกำเนิดพลังงานจากนิวเคลียร์
3. **ฟิสิกส์พลาสมาและพลังงานฟิวชัน (Plasma Physics and Fusion Energy)** ศึกษาเกี่ยวกับพลังงานนิวเคลียร์และการควบคุมและการดัดแปลงเงื่อนไขของก๊าซพลาสมาเตอร์เพื่อใช้ในการสร้างพลังงานนิวเคลียร์

ภาพ : Xinhua/Zhou Mu

4. **วิศวกรรมฟิสิกส์ (Engineering Physics)** เป็นสาขาที่รวมระหว่างความรู้ด้านฟิสิกส์และวิศวกรรมเข้าด้วยกัน เนื้อหาของสาขาวิชานี้มุ่งสู่การประยุกต์ใช้ความรู้ในฟิสิกส์ในการแก้ปัญหาในด้านวิศวกรรม
5. **วิศวกรรมเครื่องกลและเครื่องมือ (Mechanical and Instrumentation Engineering)** ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมและวัดพลังงานนิวเคลียร์
6. **วิทยาศาสตร์ความปลอดภัย (Nuclear Safety Science)** ศึกษาและพัฒนามาตรฐานและเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการใช้พลังงานนิวเคลียร์
7. **วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (Environmental Science)** ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานนิวเคลียร์และการดำเนินงานโครงการโทคาแมค
8. **วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science)** เนื่องจากการจำลองและการวิเคราะห์โทคาแมคและการประมาณผลข้อมูลในงานนิวเคลียร์มีความซับซ้อนมาก การพัฒนาเทคนิคและเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เป็นสิ่งสำคัญในการจำลองและทดสอบระบบโทคาแมค
9. **วิทยาศาสตร์วัสดุ (Materials Science)** การพัฒนาวัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิและการรังสีสูงเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ในงานนิวเคลียร์
10. **วิศวกรรมไฟฟ้า (Electrical Engineering)** เนื่องจากโทคาแมคเป็นระบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูง การพัฒนาระบบควบคุมและจัดการกับกระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญ

การจัดอันดับมหาวิทยาลัยในแต่ละสาขาวิชา

1. สาขาวิชาฟิสิกส์ (Physics)

อันดับ	มหาวิทยลัย	ที่ตั้ง
1	Peking University	ปักกิ่ง
2	University of Chinese Academy of Sciences	ปักกิ่ง
3	Fudan University	เซี่ยงไฮ้
4	Shanghai Jiaotong University	เซี่ยงไฮ้
5	Zhejiang University	เจ้อเจียง

ที่มา : https://www.dxsbb.com/news/2069.html

2. สาขาวิชาฟิสิกส์พลาสมา (Plasma Physics)

อันดับ	มหาวิทยลัย	ที่ตั้ง
1	Peking University	ปักกิ่ง
2	University of Chinese Academy of Sciences	ปักกิ่ง
3	Tsinghua University	ปักกิ่ง
4	Fudan University	เซี่ยงไฮ้
5	Shanghai Jiaotong University	เซี่ยงไฮ้

ที่มา : https://www.dxsbb.com/news/2069.html

3. สาขาวิชาฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics)

อันดับ	มหาวิทยลัย	ที่ตั้ง
1	Peking University	ปักกิ่ง
2	University of Science and Technology of China	เหอเฟย
3	Tsinghua University	ปักกิ่ง
4	Fudan University	เซี่ยงไฮ้
5	Shanghai Jiaotong University	เซี่ยงไฮ้

ที่มา : https://www.hfplg.com/dxpm/11025.html

4. สาขาวิชาวิศวกรรมและเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (Nuclear Engineering and Nuclear Technology)

อันดับ	มหาวิทยลัย	ที่ตั้ง
1	Tsinghua University	ปักกิ่ง
2	Xi'an Jiaotong University	ซีอาน
3	Peking University	ปักกิ่ง
4	University of Science and Technology of China	เหอเฟย
5	Shanghai Jiaotong University	เซี่ยงไฮ้

ที่มา : 2023 Shanghai Ranking

5. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์ (Nuclear Science and Technology)

อันดับ	มหาวิทยลัย	ที่ตั้ง
1	Tsinghua University	ปักกิ่ง
2	University of Science and Technology of China	เหอเฟย
3	Peking University	ปักกิ่ง
4	Harbin Engineering University	ฮาร์บิน
5	Xi'an Jiaotong University	ซีอาน

ที่มา :https://www.dxsbb.com/news/94749.html

อ้างอิง

- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.). ข้อมูลความก้าวหน้าการดำเนินการเครื่องโทคาแมค TT-1 https://www.tint.or.th/th/useful_detail/Thailand%20Tokamak%20-%201
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน). โทคาแมก (Tokamak) https://elibrary.tint.or.th/โทคาแมก-tokamak/
- โทคาแมค “ดวงอาทิตย์ประดิษฐ์” เครื่องแรกของประเทศไทย. กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.). https://www.mhesi.go.th/index.php/all-media/infographic/8939-660426general.html
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.). การติดตั้งเครื่องไทยโทคาแมค-1 เป็นไปตามแผนทดสอบการเดินเครื่องได้กระแสพลาสมาครั้งแรกฉลองวาระครบรอบ 17 ปี สทน.. 26-04-2566 https://www.tint.or.th/th/press_relea_detail/การติดตั้งเครื่องไทยโทคาแมค-1%20เป็นไปตามแผนทดสอบการเดินเครื่องได้กระแสพลาสมาครั้งแรกฉลองวาระครบรอบ%2017%20ปี%20สทน.
- สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (สทน.). กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ เสด็จพระราชดำเนิน เปิดอาคารปฏิบัติการเครื่องโทคาแมค. 26-07-2566 https://www.tint.or.th/th/press_relea_detail/กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ%20เสด็จพระราชดำเนิน%20เปิดอาคารปฏิบัติการเครื่องโทคาแมค
- 中国核能行业协会. 我国磁约束核聚变能创新发展之路. 2020-06-09 https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzA4ODI4ODMzOA==&mid=2650211370&idx=1&sn=9f8cc0da125cf0a18537fb834c68e82d&chksm=882fd917bf585001f5952bd2731daeb0cc5c77b1b9c102e76ef9d80a19734105911a8249c24b&scene=27
- สำนักข่าวซินหัว. ดูกันชัดๆ! 'ดวงอาทิตย์ประดิษฐ์' รุ่นใหม่ฝีมือพัฒนาจีน. 05-12-2020 https://www.xinhuathai.com/tech/158554_20201205
- สำนักข่าวซินหัว. ‘ดวงอาทิตย์ประดิษฐ์’ รุ่นใหม่ของจีนเตรียมเดินเครื่องปี 2020. 26-11-2019 https://www.xinhuathai.com/tech/55407_20191126
- สำนักข่าวซินหัว. ‘ดวงอาทิตย์ประดิษฐ์’ ฝีมือจีน ทดลองคืบหน้า มุ่งสู่เป้าหใายเตาปฏิกรณ์ฟิวชัน. 14-04-2023 https://www.xinhuathai.com/china/351455_20230414
- 中国科学院等离子体物理研究所. EAST. http://www.ipp.cas.cn/dakexuegongcheng/east/
- 李建刚. 托卡马克研究的现状及发展[J]. 物理,2016(2):88-97. DOI:10.7693/wl20160203.
- Li, Jiangang & Ni, Mingjiu & Lu, Yu. (2019). The frontier and perspective for tokamak development. National Science Review. 6. 382-383. 10.1093/nsr/nwz029.

- ASIPP. Brief Introduction
  http://east2.hfsxw.cn/index/article/info/id/52.html
- 中国核电网.深度解读我国的“人造太阳”之路. 2021-01-13. https://www.cnnpn.cn/article/23010.html
- สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. การทดสอบเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันของจีน. 2006.
  https://www.nst.or.th/article/article494/article49411.htm
- 中国科学院等离子体物理研究所. 本所简介. http://www.ipp.cas.cn/dwgk/bsjj/
- 核工业西南物理研究院建院. 院情简介. https://www.swip.ac.cn/swip/ygk/yqjj/index.html
- 清华大学工程物理系.清华大学 SUNIST-2 球形托卡马克建成并获得第一等离子体. 2023-07-12
  https://www.ep.tsinghua.edu.cn/info/1002/3229.htm
- 华中科技大学电气与电子工程学院. J-TEXT 托卡马克实验装置正式具备兆瓦级电子回旋共振加热系统.
  2022-06-02. http://seee.hust.edu.cn/info/1063/16805.htm
- ITER. 中国科学院等离子体物理研究所. http://www.ipp.cas.cn/dakexuegongcheng/iter/
- Function. China International Nuclear Fusion Energy Program Execution Center
  https://english.iterchina.cn/function/index.html
- 合肥综合性国家科学中心大科学装置集群态势初显. 合肥市人民政府网. 2018-01-24
  http://www.hefei.gov.cn/xwzxdt/wghf/201801/t20180124_2468391.html

ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง
เลขที่ 21 ถนนกวงหวา เขตฉาวหยาง กรุงปักกิ่ง 100600
สาธารณรัฐประชาชนจีน

โทรศัพท์ (86-10) 8531-8700
โทรสาร (86-10) 8531-8791
เว็บไซต์ www.stsbeijing.org
อีเมล stsbeijing@mhesi.go.th
เฟซบุ๊ก ฝ่ายวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงปักกิ่ง