วาระที่ ๓ เรื่องสืบเนื่องเพื่อพิจารณา : ผลการดำเนินงานปี ๒๕๖๗ และแผนการดำเนินงานปี ๒๕๖๘ โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตามพระราชดำริสมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี

๓.๑ โครงการความร่วมมือไทย – KATRIN และ KIT ตามพระราชดำริฯ

(ผู้ถวายรายงาน : นายไพรัช ธัชยพงษ์)

๑. ความเป็นมา

เมื่อวันที่ ๒๘ มิถุนายน ๒๕๖๒ สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตร KATRIN Experiment ณ Karlsruhe Institute of Technology (KIT) เมืองคาร์ลสรู สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ทรงสนพระทัยงานวิจัยของ KATRIN และทรงมีพระราชดำริว่าการมีความร่วมมือกับ KATRIN น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย

KATRIN (KArlsruhe TRItium Neutrino experiment)

KATRIN เป็นการทดลองเพื่อวัดมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน (electron antineutrino) ที่ปลดปล่อยออกมาจากการสลายตัวแบบบีตาของทริเทียมด้วยความแม่นยำที่ระดับต่ำกว่าอิเล็กตรอนโวลต์ (sub-eV) ตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีคาร์ลสรู (Karlsruhe Institute of Technology) เมืองคาร์ลสรู สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี มีนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร ช่างเทคนิค และนักศึกษามากกว่า ๑๕๐ คน จาก ๒๓ สถาบันใน ๗ ประเทศ ได้แก่ สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี สหราชอาณาจักร สหพันธรัฐรัสเซีย สาธารณรัฐเช็ก สาธารณรัฐอิตาลี สหรัฐอเมริกา และราชอาณาจักรสเปน และราชอาณาจักรไทย (http://www.katrin.kit.edu/)

อุปกรณ์สำคัญ คือ สเปกโทรมิเตอร์ หนัก ๒๐๐ ตัน ติดตั้งและผ่านการทดสอบจนสมบูรณ์เมื่อปี ๒๐๑๕ การทดลองเริ่มเมื่อปลายปี ๒๐๑๖ และเปิดตัวอย่างเป็นทางการช่วงกลางปี ๒๐๑๘ ด้วยการสลายตัวของทริเทียมเป็นครั้งแรกและมีการวัดผลทางวิทยาศาสตร์ครั้งแรกเมื่อเดือนเมษายน ๒๐๑๙ คาดว่าจะทดลองต่อไปอีก ๕ ปี ณ ปี ๒๐๒๓ ได้ทำการเก็บข้อมูลแล้ว ๑๔ ครั้ง (KNM1-11) (อ้างอิงจากตารางรายชื่อผู้ร่วมทำหน้าที่เฝ้าตรวจวัดทางไกลเป็นกะ เดือนธันวาคม ๒๕๖๗)

มวลนิวทริโน

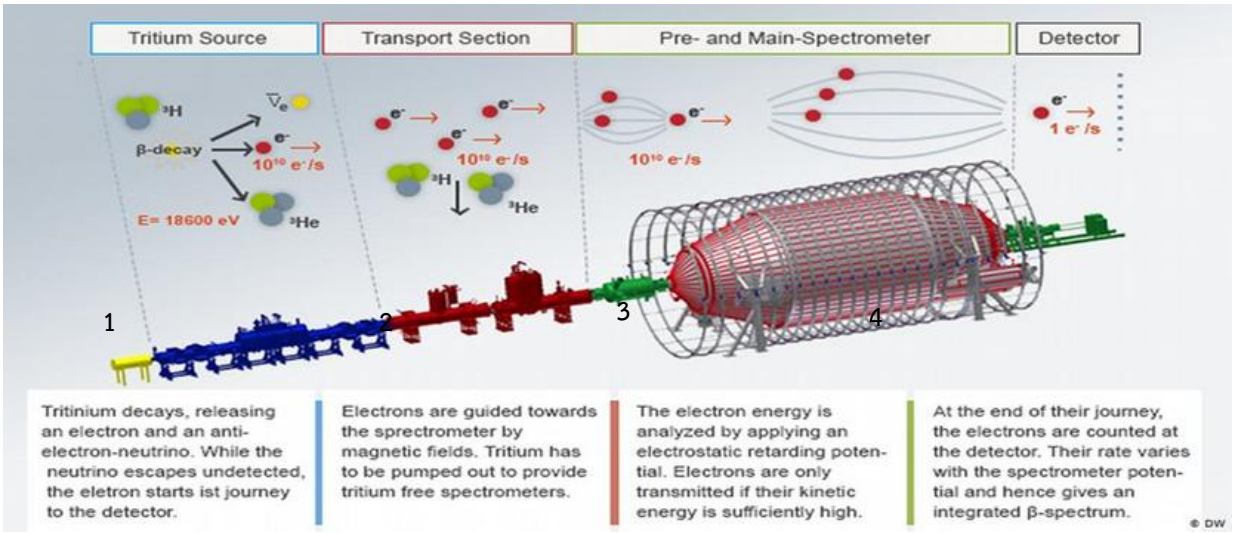
เดิมนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่านิวทริโนไร้มวลเหมือนโฟตอน จึงเคลื่อนเร็วเท่าแสงไปทั่วเอกภพ แต่ในปี ๒๐๑๕ มีผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากการที่พบว่า นิวทริโนในขณะเดินทาง เช่น จากดวงอาทิตย์มายังโลกเรา เป็นต้น สามารถเปลี่ยนชนิดไปมาได้ (นิวทริโนที่ตรวจพบในปัจจุบันมี ๓ ชนิด คือ อิเล็กตรอนนิวทริโน มิวออนนิวทริโน และทาวนิวทริโน) ปรากฏการณ์นี้แสดงว่านิวทริโนมิได้ไร้มวล มวลของนิวทริโนนั้นน้อยมาก ต่ำกว่าอิเล็กตรอนราว ๕๐๐,๐๐๐ เท่า (electron mass 0.511 MeV/c^2) วัดได้ยากและยังไม่ทราบค่าที่แท้จริง การทดลองก่อนหน้านี้ที่ Mainz (เยอรมนี) และ Troitsk (รัสเซีย) พบว่า เพดานของมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนไม่เกิน 2.3 eV/c^2

การทดลอง KATRIN จะใช้วิธีการวัดที่คล้ายกันเพื่อจะค้นหาเพดานมวลที่ต่ำลงไปอีก ๑๐ เท่า กล่าวคือที่ 0.2 eV/c^2 (90% CL) หรือ พบค่าที่แท้จริงหากมวลมากกว่า 0.35 eV/c^2 อุปกรณ์การทดลองที่ KATRIN จึงต้องสร้างให้มีสมรรถนะสูงกว่าอดีตขึ้นไป ๒๐ เท่า จึงจะทำได้ มีการเผยแพร่เมื่อวันที่ ๑๙ มิถุนายน ๒๐๒๔ พบว่า เพดานมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนอยู่ที่ 0.45 eV/c^2) (95% CL)

หลักการคิดในการหามวลของนิวทริโน

ทริเทียมสลายตัวได้ ฮีเลียม อิเล็กตรอน และอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน พลังงานส่วนใหญ่จากการสลายตัวของทริเทียมรวม 18.6 keV จะอยู่ในรูปพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนกับอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน (ส่วนฮีเลียมได้รับน้อยมาก) เมื่อเกิดการสลายตัว อิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนจะหนีไปจากสเปกโทรมิเตอร์ทันที จนเราไม่อาจวัดมวลโดยตรงของมันได้ จึงเหลือแต่อิเล็กตรอนที่เราจะวัดพลังงานแล้วนำไปประเมินมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน

อุปกรณ์ของ KATRIN จะมีสเปกโทรมิเตอร์ทำหน้าที่กรอง (ด้วยศักย์ไฟฟ้า) อิเล็กตรอนพลังงานต่ำ ๆ ออกไปให้มากที่สุด เหลือเพียงอิเล็กตรอนจากกรณีพิเศษที่พลังงานสูงพอ (ใกล้ 18.6 keV) เท่านั้นที่จะข้ามศักย์ไฟฟ้านี้ไปถึงหน่วยตรวจวัดได้ นักวิทยาศาสตร์ของ KATRIN จะใช้วิธีทางสถิติให้หน่วยตรวจวัดนับหลาย ๆ ครั้ง (ที่บริเวณใกล้ 18.6 keV) เรียกว่า การรณรงค์เพื่อหาค่ามวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน ผลจากการรณรงค์ครั้งแรก (๑๐ เมษายน - ๑๓ พฤษภาคม ๒๐๑๙) เผยแพร่เมื่อ ๑๓ กันยายน ๒๐๑๙ พบว่า เพดานมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนอยู่ที่ 1.1 eV



การทำงานของอุปกรณ์ของ KATRIN

[๑] การสลายตัวของทริเทียมจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนและอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน อิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนหนีไปจากสเปกโทรมิเตอร์อย่างรวดเร็ว ตรวจวัดไม่ได้ ทริเทียมและฮีเลียมจะถูกสูบออกไป อิเล็กตรอนเริ่มเดินทางไปสู่หน่วยตรวจวัด

[๒] อิเล็กตรอนจะเดินทางต่อไปยังสเปกโทรมิเตอร์โดยมีสนามแม่เหล็กนำไป ทริเทียมและฮีเลียมที่เหลือก็จะถูกสูบออกไปอีกเพื่อไม่ให้เดินทางเข้าไปในในสเปกโทรมิเตอร์

[๓] กำแพงศักย์ไฟฟ้าสถิตจะกรองไม่ให้อิเล็กตรอนพลังงานจลน์ต่ำผ่านไปได้ อิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์สูงมากพอเท่านั้นจึงจะสามารถผ่านสเปกโทรมิเตอร์ไปยังหน่วยตรวจวัดที่อีกปลายหนึ่งของสเปกโทรมิเตอร์ได้

[๔] อิเล็กตรอนมาถึงปลายทางและถูกนับจำนวนด้วยเครื่องตรวจวัดจำนวนที่นับได้ต่อวินาทีขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าในสเปกโทรมิเตอร์ที่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่านได้ ผลลัพธ์สุดท้ายจะได้สเปกตรัมพลังงานของอิเล็กตรอน

๒. โครงการ/กิจกรรมที่ดำเนินงานในปี ๒๕๖๗

๒.๑ ภาคีไทย - แคทรินและทุนสนับสนุนวิจัย

ทุนสนับสนุนจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนากำลังคนและทุนด้านการพัฒนาสถาบันอุดมศึกษาการวิจัยและการสร้างนวัตกรรม (บพค.) หรือ PMUB เพื่อ (๑) ส่งนักศึกษาและนักวิจัยไปร่วมงานที่ KIT (๒) จัดอบรมให้ความรู้ด้านนิวทริโน (๓) สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่

(๑) โครงการ “ภาคีฟิสิกส์พลังงานสูงไทย: พรมแดนพลังงานสูง สสารมืด และนิวทริโน” ได้รับทุนสนับสนุนจาก PMUB จำนวน ๒,๕๐๐,๐๐๐ บาท ในปี ๒๕๖๖ (เม.ย. ๒๕๖๖ ถึง มี.ค. ๒๕๖๗ และขยายถึง ก.ย. ๒๕๖๗)

(๒) โครงการพัฒนาระบบตรวจวัดสนามแม่เหล็กสำหรับการทดลองที่ KATRIN และวิจัยด้านฟิสิกส์ของนิวทริโนร่วมกับ KATRIN และ JUNO เพื่อยกระดับงานวิจัยขั้นแนวหน้าฟิสิกส์พลังงานสูงของไทย ได้รับทุนสนับสนุนจาก PMUB จำนวน ๓.๒ ล้านบาท ในปี ๒๕๖๗ (เม.ย. ๒๕๖๗ ถึง มี.ค. ๒๕๖๘)

๒.๑.๑ วัตถุประสงค์เพื่อ

(๑) ส่งนักศึกษาและนักวิจัยไปร่วมงานที่ KIT

(๒) จัดอบรมให้ความรู้ด้านนิวทริโน

(๓) สร้างอุปกรณ์ตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่

๒.๑.๒ คณะนักวิจัยไทยภาคีไทย-แคทรินจากจุฬามหาวิทยาลัย (จฬ.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (มทส.) ประกอบด้วย

[๑] ผศ. ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี (จฬ.) (PI for Thai-KATRIN consortium)

[๒] รศ. ดร.อรรถกฤต ฉัตรภูติ (จฬ.)

[๓] รศ. ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข (จฬ.)

[๔] ผศ. ดร.ชิโนรัตน์ กอบเดช (มทส.)

[๕] ผศ. ดร.ขรรค์ชัย โกศลทองกี่ (มทส.)

[๖] อ. ดร.วรินทร ศรีทะวงศ์ (มทส.)

๒.๒ การอบรม THAI-KATRIN School on Neutrino Physics ระหว่าง ๑๓-๑๗ พ.ค. ๒๕๖๗ มทส. ร่วมกับจุฬาฯ และ KATRIN Collaboration ณ มทส. นักศึกษาและนักวิจัยเข้าร่วมการอบรม ๓๓ คน จาก ๕ ประเทศ ได้แก่ ประเทศไทย (๒๗ คน) เยอรมนี (๒ คน) ฝรั่งเศส (๑ คน) อินโดนีเซีย (๒ คน) และ อินเดีย (๑ คน) โดยมีวิทยากรให้การบรรยาย ดังนี้

วิทยากร (ผู้เชี่ยวชาญจาก KATRIN)	หัวข้อการบรรยาย
[๑] Dr. Martin Descher (KIT)	[๑] Basic Knowledge of Neutrino
[๒] Dr. Frank Edzards (TU Munich)	[๒] Introduction to KATRIN Experiment
[๓] Dr. Enrico Ellinger (U Wuppertal)	[๓] Sterile Neutrino
[๔] Dr. Alexey Lokhov (KIT)	[๔] Magnetic Field Measurement
[๕] Dr. Alexander Marsteller (KIT)	[๕] Simulation for KATRIN & TRISTAN
[๖] Sonja Schneidewind (U Münster)	[๖] Experimental Methods for Data Analysis

๒.๓ 47th KATRIN Collaboration Meeting ระหว่างวันที่ ๓๐ ก.ย. – ๒ ต.ค. ๒๕๖๗ ณ สถาบัน KIT, Karlsruhe เพื่อประชุมและหารือกับนักวิจัยที่สนใจในการศึกษาฟิสิกส์ของ sterile neutrino โดยมีนักวิจัยไทย ๕ คน ได้แก่ รศ. ดร. อรรถกฤต ฉัตรภูติ (จุฬาฯ) ผศ. ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี (จุฬาฯ) และนายจักรภัทร สียางนอก (จุฬาฯ) อ. ดร.วรินทร ศรีทะวงศ์ (มทส.) และนักศึกษานายจุลนันทน์ ทรงวัฒนา (มทส.) และ นักวิจัย KATRIN จำนวน ๓ คน ได้แก่ Dr. Martin Descher Dr. Alexey Lokhov และ Joscha Lauer

๒.๔ Remote shift takers เมื่อ ๒ ก.พ. ๒๕๖๖ Dr. Diana Parno (Carnegie Mellon University, CMU) ส่งอีเมล์ถามถึงความเป็นไปได้ที่จะให้นักวิจัยไทยช่วย take remote monitoring shifts โดยแต่ละ shift ใช้เวลา ๑ สัปดาห์ นักวิจัยทำหน้าที่จดบันทึกและรายงานผลหรือปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการเดินเครื่องให้ที่ประชุม KATRIN general call ทราบหลังจากเสร็จสิ้นแต่ละ shift โดยมีผู้เข้าร่วมทำหน้าที่นี้ ๔ คน ได้แก่ รศ. ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข (จุฬาฯ) อ.ดร.วรินทร ศรีทะวงศ์ (มทส.) นายจักรภัทร สียางนอก (จุฬาฯ) และนายจุลนันทน์ ทรงวัฒนา (มทส.)

Take shifts แล้ว ๕ ช่วง (ปี ๒๕๖๖ รวม ๒ ช่วง และ ปี ๒๕๖๗ รวม ๓ ช่วง)

[๑] ๒๒ มีนาคม – ๑๘ เมษายน ๒๕๖๖ ข้อมูล KNM8 – KNM9

[๒] ๑๐ สิงหาคม – ๑๐ ตุลาคม ๒๕๖๖ ข้อมูล KNM10 – KNM11

[๓] ๑๔ กุมภาพันธ์ – ๘ เมษายน ๒๕๖๗ ข้อมูล KNM12

[๔] ๑๗ เมษายน – ๑๒ มิถุนายน ๒๕๖๗ ข้อมูล KNM13

[๕] ๒๕ กรกฎาคม – ๑๔ กันยายน ๒๕๖๗ ข้อมูล KNM14

๒.๕ แผนการทดลอง KATRIN (๑) การทดลองที่ทำแล้วเสร็จ KNM1-KNM14 (พฤษภาคม ๒๐๑๙ – กันยายน ๒๐๒๔) (๒) การทดลองที่กำลังดำเนินการ KNM15 (๓) การทดลองที่จะดำเนินการ KNM16 และ KNM17 จะเก็บข้อมูลให้ได้ตามแผนที่วางไว้ โดยคาดการว่าจะสิ้นสุดการวัดในช่วงเดือนพฤศจิกายน ๒๐๒๕ จากนั้นจะเริ่มการทดลอง TRISTAN เป็นลำดับถัดไป

๓. TRISTAN เพื่อการค้นหาอนุภาค Sterile Neutrinos

๓.๑ สเตอไรล์นิวทริโน

ในปี ค.ศ. ๒๐๐๕ Mikhail Shaposhnikov และ Takehiko Asaka นักฟิสิกส์อนุภาคทฤษฎีชาวรัสเซียและญี่ปุ่นตามลำดับ พยายามเชื่อมโยงแบบจำลองมาตรฐานกับสสารมืด โดยได้เสนอว่าเอกภพควรจะมีอนุภาคสเตอไรล์ นิวทริโนอีกอย่างน้อย ๓ ตัว นอกเหนือจากนิวทริโน ๓ ตัว (อิเล็กตรอนนิวทริโน มิวออนนิวทริโนและทาวนิวทริโน) ที่รู้จักกันมาก่อน

สเตอไรล์นิวทริโนมีสมบัติดังนี้

- นิวทริโนชนิดมือขวา (ที่รู้จักกันเป็นชนิดมือซ้าย)
- ทำอันตรกิริยาด้วยแรงโน้มถ่วงเท่านั้น (ซึ่งคล้ายกับอนุภาคของสสารมืด)
- มีมวลน้อยที่สุดในระดับ keV มีอายุยาวพอที่จะเป็นตัวแทนของอนุภาคสสารมืดที่พบในเอกภพ

การค้นหาทำได้โดยการพัฒนาเครื่องตรวจวัดอิเล็กตรอน (Main Spectrometer) ให้สามารถวัดสเปกตรัมพลังงานของอิเล็กตรอนด้วยความละเอียดที่สูงมากซึ่งจะต้องตรวจวัดหมดทั้งช่วงพลังงานของอิเล็กตรอน 0-18.6 keV จนสามารถมองเห็นร่องรอยของอนุภาคสเตอไรล์ที่ทิ้งไว้กับอิเล็กตรอน และคำนวณหาค่ามุมผสม (mixing angle) ได้ละเอียดถึง $\sin^2\theta < 10^{-6}$ จึงต้องมีการอัพเกรดหน่วยตรวจวัดให้เป็น silicon drift detector (SDD) ที่มีความละเอียดสูงมากจนสามารถตรวจวัดปริมาณอิเล็กตรอนจำนวนมหาศาลเพื่อวัดสเปกตรัมของพลังงานอิเล็กตรอน

๓.๒ งานวิจัยของนายจุลนันทน์ ทรงวัฒนา ปี ๒๕๖๗ ร่วมกับอ. ดร.วรินทร ศรีทะวงศ์ (มทส.) และ Dr. Martin Descher (KIT) งานวิจัย "การกระเจิงของอิเล็กตรอนภายในกับดักสนามแม่เหล็กในแหล่งกำเนิดทริเทียมสำหรับโครงการทริสตัน" วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสูญเสียพลังงานของอิเล็กตรอนที่กระเจิงจากโมเลกุลทริเทียมจนสามารถหลุดออกจากกับดักสนามแม่เหล็กภายในแหล่งกำเนิดทริเทียม

การศึกษาพบว่าบริเวณแหล่งกำเนิดทริเทียม โปรแกรม KASSIOPEIA ให้ผลที่ไม่ถูกต้อง

- ค่าพลังงานหลังจากการกระเจิงของอิเล็กตรอนปฐมภูมิแบบมีการแตกตัวของไอออน (final energy of primary electron in ionization) หลังจากปรับแก้ ค่าที่ได้สอดคล้องกับค่าทางทฤษฎี
- เดิมอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (KE2) ที่มาจากการแตกตัวของทริเทียมมีค่าพลังงานและโมเมนตัมแบบสุ่ม ปรับแก้โดยให้พลังงานของอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (KE2) ขึ้นอยู่กับพลังงานของอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่มาจากการสลายของโมเลกุลทริเทียม (KE1) ดังสมการ KEi = KE1 + KE2 + ๑๕.๔๓ เมื่อ KEi คือ พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนปฐมภูมิมีค่า 18,575 eV และ 15.43 eV คือ พลังงานที่ทำให้โมเลกุลทริเทียมแตกตัวเป็นอิออน หลังการปรับแก้ อัตราส่วนพลังงาน (KE1 + KE2) ต่อ (KEi – 15.43) ที่ค่า KE1 ต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ ๑

๓.๓ งานวิจัยของนายจักรภัทร ศรียางนอก ปี ๒๕๖๗ (กันยายน ๒๕๖๖ - สิงหาคม ๒๕๖๗) ร่วมกับ Ferenc Gluck, Rudolf Sack และ Martin Descher (KIT) การออกแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดลองทริสแตน (Electromagnetic design for TRISTAN)

- ศึกษาการสลับค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดระหว่างทางเข้า (BPS2) และทางออก (BPCH) ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์หลัก (Main Spectrometer, MS) พบว่า อิเล็กตรอนทั้งหมดที่เคลื่อนที่เข้า MS แม้ว่าจะมีการเคลื่อนที่แบบนอนอะเดียแบติก (non-adiabatic) ก็สามารถเคลื่อนที่ไปยังเครื่องตรวจวัด (detector) ได้ทั้งหมด โดยเราทราบว่าอิเล็กตรอนตัวใดมีการเคลื่อนที่แบบ adiabatic หรือ non-adiabatic ใน MS
- ผลจากการจำลอง สอดคล้องกับผลการวัดของ KATRIN โดยแบบจำลองนี้จะนำไปใช้ในการออกแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการทดลอง TRISTAN ต่อไป

๓.๔ งานวิจัยของนายจักรภัทร สียางนอก (สิงหาคม ๒๕๖๗ – ๒๕๖๘) Prof. Ignatios Antoniadis, ดร. อรรถกฤต ฉัตรภูติ, Dr. Hiroshi Isono (จุฬาฯ) Dr. Alexey Lokhov, Joscha Lauer และ Shailaja Mohanty (KIT) "มิติพิเศษและการทดลองแคทริน (Extra Dimension and KATRIN Experiment)"

- ทฤษฎีฟิสิกส์เหนือแบบจำลองมาตรฐานกล่าวว่าจักรวาลอาจดำรงอยู่ในอวกาศ (space) ที่มีมากกว่า ๓ มิติ (กว้าง ยาว สูง) แต่เรายังหามิติที่ ๔ ในทางปฏิบัติไม่พบ
- คนที่เดินไต่เส้นเชือกก็คิดว่าทิศของเขามีมิติเดียวเท่านั้นเดินไปข้างหน้าหรือถอยหลัง แต่มดบอกว่ามี ๒ มิติ เพราะมันสามารถเดินตามแนวเส้นรอบวงของเชือกได้ด้วย
- ในอวกาศนั้นคนเราเห็นจักรวาลเพียง ๓ มิติแสดงด้วยเส้นตามทรงกระบอกและระนาบแบน โดยยังมีอีกหนึ่งมิติพิเศษในอวกาศที่ยังไม่ถูกตรวจพบ มีเพียง "แรงโน้มถ่วง" และอนุภาคที่ไม่ตอบสนองกับแรงนิวเคลียร์และแรงไฟฟ้า เช่น สเตอร์ไรล์นิวทริโน เท่านั้นที่สามารถแพร่กระจายไปทั่วทุกมิติได้
- การหนีรอดออกไปยังมิติพิเศษนั้นสเตอร์ไรล์นิวทริโนอาจทิ้งร่องรอยไว้ในสเปกตรัมการสลายตัวให้อนุภาคบีตา การตรวจสอบการมีมิติพิเศษผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลและแบบจำลองของสเปกตรัมของอิเล็กตรอนของ KATRIN จึงอาจเป็นไปได้

๔. การปรับปรุงหน่วยวัดสนามแม่เหล็กของ TRISTAN

เนื่องจาก sensor ที่ใช้ในการวัดสนามแม่เหล็กในบริเวณ Main Spectrometer (MS) ของ KATRIN วัดได้ไม่เกิน 10 G ไม่สามารถใช้กับ TRISTAN ได้ จึงจำเป็นต้องพัฒนาขึ้นไปถึง 30 G แบ่งภารกิจออกเป็น (๑) การพัฒนาชุดตรวจวัด

สนามแม่เหล็ก 30 G ใช้ที่ TRISTAN (๒) การนำต้นแบบ mobile device วัดสนามแม่เหล็กจาก KATRIN มาศึกษาที่ มทส. เพื่อประโยชน์งานอื่นเช่น JUNO เป็นต้น แบ่งออกเป็น (๒.๑) ชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ในแนววงกลมระนาบดิ่ง (vertical ring) และ (๒.๒) ชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ในแนวพิกัด (x,y,z)

๔.๑ การพัฒนาชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กวัดค่าสนามแม่เหล็ก 30 G ใช้ที่ TRISTAN

ระยะที่ ๑ (๑๑ พฤศจิกายน – ๑๔ ธันวาคม ๒๕๖๖) วิจัย ณ KIT ศึกษาการตั้งค่าของ sensor ชื่อ Adafruit LIS๒MDL ซึ่งใช้ชิป LIS2MDL ในการตรวจวัดสนามแม่เหล็ก แล้วทำการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิ และอ่านค่าต่าง ๆ ของสนามแม่เหล็ก ทำการเปรียบเทียบ sensor Adafruit LIS2MDL กับ MikroE LIS2MDL ซึ่ง sensor ทั้งสองใช้ชิปแบบเดียวกัน ต่างกันที่การประกอบลงในแผงวงจรที่มีลักษณะต่างกัน พบว่า MikroE LIS2MDL มีความสามารถในการอ่านค่าสนามแม่เหล็กที่แม่นยำกว่า

ระยะที่ ๒ หลังจากกลับมาจาก KIT ศึกษาเปรียบเทียบ sensor ชื่อ MiKroE สองรุ่น ได้แก่ LIS2MDLและ AK09970N

- พบว่า sensor LIS2MDL มีช่วงในการวัดอยู่ที่ 50G มีความละเอียดที่ 0.15 μT ซึ่งละเอียดมากกว่า AK09970N ที่มีช่วงการ วัด 360G และความละเอียดที่ 1.10 μT นอกจากนี้เซนเซอร์ LIS2MDL ยังสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -๔๐ ถึง ๘๕ องศาเซลเซียส ที่จำเป็นต่อการชดเชยค่าสนามแม่เหล็กที่อ่านได้อีกด้วย จึงสรุปว่าเลือกใช้ MikroE รุ่น LIS2MDL ในการพัฒนาเพื่อใช้วัดสนามแม่เหล็กภายใต้โครงการ TRISTAN
- อย่างไรก็ดีพบว่าค่าสนามแม่เหล็กที่ได้จาก sensor MikroE LIS2MDL ช่วงอุณหภูมิ ๒๐ ถึง ๓๕ องศาเซลเซียส ค่าที่อ่านได้เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงสรุปอีกด้วยว่า ยังต้องศึกษาเปรียบเทียบ sensor เดียวกันนี้กับตัวอื่น ๆ เพื่อสังเกตและสรุปพฤติกรรมต่อไปอีก
- เนื่องจากขดลวดสร้างสนามแม่เหล็ก (Helmholtz coils) ที่ใช้ทดสอบมีเพียงหนึ่งมิติ จึงต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งของเซนเซอร์ในทดสอบแต่ละครั้งซึ่งอาจส่งผลต่อการสอบเทียบได้
- ทีมวิจัยจึงออกแบบและสร้างระบบขดลวด ๓ มิติ ทรงสี่เหลี่ยมขนาด 30 cm x 36 cm x 42 cm เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กสูงถึง 30G ในการทดสอบ ขณะนี้อยู่ระหว่างการสอบเทียบค่าสนามแม่เหล็กของขดลวดโดยใช้อุปกรณ์ฟลักซ์เกท (Fluxgate) ที่ได้รับอนุเคราะห์ยืมจาก KIT
- ค่าสนามแม่เหล็กจาก MiKroE LIS2MDL ทั้ง ๓ แกน จะต้องถูกส่งค่าเข้าไปยังระบบกลางของโครงการ TRISTAN เพื่อใช้ในการคำนวณ นักวิจัยจึงต้องออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) และกล่องอะลูมิเนียมต่อกับคอนเนคเตอร์เพื่อรับส่งสัญญาณกับระบบเดิมได้ การออกแบบแล้วเสร็จโดยผ่านความเห็นชอบของนักวิจัยจาก KIT แล้ว และอยู่ระหว่างขั้นตอนการผลิตต่อไป

<u>แผนการต่อไปในส่วนของการพัฒนาชุดวัดสนามแม่เหล็กของ TRISTAN</u>

[๑] มกราคม ๒๕๖๘ มทส. จะส่งมอบ ชุดวัดสนามแม่เหล็กวัดสนามแม่เหล็กได้ 30G ที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว ชุดแรก จำนวน ๘ ชิ้น

[๒] ๒๐ มกราคม – ๑๙ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๘ นายวิทพงษ์ คล้ายกบิลท์ และ นายพชรพล ธรีเศรษฐ์ เดินทางไปร่วมทำวิจัย ณ KIT โดยนำชุดวัดสนามแม่เหล็กไปติดตั้งและทดสอบการใช้กับ ระบบกลางของ TRISTAN

[๓] ๑๖ - ๒๐ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๘ ผศ.ดร.ขรรค์ชัย โกศลทองกี่ เดินทางไปร่วมวิจัย ณ KIT

๔.๒ การจัดสร้างต้นแบบ mobile device เพื่อทดสอบวัดสนามแม่เหล็กโครงการ JUNO ที่ มทส.

นำความรู้การสร้างหุ่นยนต์ที่ใช้วัดสนามแม่เหล็กบริเวณ MS ของ KATRIN มาออกแบบสร้างหุ่นยนต์วัดสนามแม่เหล็กที่อาจส่งผลกระทบต่อ PMT ในห้องทดลองมืด (ในโครงการ JUNO) ณ มทส. โดยแบ่งได้ ๒ ชุด

[๑] ชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ในแนวเส้นรอบวงกลมระนาบดิ่ง (vertical ring) (i) เริ่มต้นด้วยศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บนเส้นทางตรงซึ่งสะดวกต่อการควบคุมและปรับปรุงประสิทธิภาพ เส้นทาง ๒

เมตร (ii) จากนั้นศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นวงกลมในแนวระนาบดิ่ง วงกลมนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 1.8 m และระนาบของวงกลมเคลื่อนที่ได้ อยู่ระหว่างการทดสอบ (นักวิจัย:นายพชรพล ธีรเศรษฐ์นักศึกษา ป.โท (มทส.))

[๒] ชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้ในแนว ๓ แกนที่ตั้งฉากกัน (แกน x แกน y และ แกน z) สามารถระบุตำแหน่งการวัดภายในห้องทดสอบอย่างอัตโนมัติ ขณะนี้ (ตุลาคม ๖๗) อยู่ระหว่างการสั่งซื้อวัสดุต่าง ๆ เพื่อสร้างชุดตรวจวัดดังกล่าว (นักวิจัย:นายวิทพงษ์ คล้ายกบิลท์ นักศึกษา ป.โท (มทส.))

๕. สรุป

- การทดลอง KATRIN (KArlsruhe TRItium Neutrino experiment) ตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีคาร์ลสรู (Karlsruhe Institute of Technology) เมืองคาร์ลสรู สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี เริ่มเก็บผลการทดลองทางวิทยาศาสตร์เมื่อเดือนเมษายน ๒๕๖๒
- มีนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร ช่างเทคนิค และนักศึกษามากกว่า ๑๕๐ คนจาก ๒๓ สถาบันใน ๗ ประเทศ ได้แก่ สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี สหราชอาณาจักร สหพันธรัฐรัสเซีย สาธารณรัฐเช็ก สาธารณรัฐฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา ราชอาณาจักรสเปน และราชอาณาจักรไทย
- วัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาค่ามวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโน ที่ได้จากการสลายแบบบีตาของทริเทียม (ไอโซโทปหนึ่งของไฮโดรเจน) เผยแพร่ล่าสุดเมื่อ ๑๙ มิถุนายน ๒๕๖๗ รายงานว่าเพดานมวลของอิเล็กตรอนแอนตินิวทริโนอยู่ที่ 0.45 eV/c^2 (90% CL)
- การทราบมวลของนิวทริโนจะทำให้เราเข้าใจว่า เหตุใดนิวทริโนจึงมีมวลที่น้อยนิดและมีที่มาอย่างไร นอกจากนี้ยังอาจช่วยไขปริศนาเกี่ยวกับสสารมืดและพลังงานมืดที่เป็นองค์ประกอบหลักของเอกภพด้วยก็ได้
- นักวิจัยจากจุฬาฯ และ มทส. มีความสนใจที่จะเข้าร่วมการทดลอง KATRIN โดยในเบื้องต้นจะร่วมศึกษาเกี่ยวกับการประเมินค่าสนามแม่เหล็กในสเปกโทรมิเตอร์โดยใช้ประสบการณ์จากการทดลอง JUNO
- นักศึกษาระดับ ป.โท และเอก สามารถเข้าร่วมรับฟังการบรรยาย การประชุมเชิงปฏิบัติการ และการฝึกงานวิจัยที่ KIT ได้ ซึ่งมีลักษณะเป็นหลักสูตรระยะสั้น ๒ - ๓ สัปดาห์
- หลังสิ้นสุด KATRIN ตอนปลายปี ๒๕๖๔ ก็จะเริ่มโครงการใหม่ในการค้นหาสเตอร์ไรล์นิวทริโนที่เรียกว่า TRitium Investigation on STerile to Active Neutrino Mixing : TRISTAN ซึ่งมีแผนจะเริ่มในปี ๒๕๖๘
- ประเทศไทยเริ่มต้นด้วยการเข้าร่วมทำการพัฒนาชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็กของ TRISTAN และหาค่าสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม KASSIOPEIA เพื่อการค้นหา sterile neutrino ในปี ๒๕๖๖ และทำงานต่อเนื่องจนปัจจุบัน
- กิจกรรม ปี ๒๕๖๗ มีความก้าวหน้าดังนี้ (๑) เกิดภาคีไทย-แคทริน (๒) การอบรม THAI-KATRIN School on Neutrino Physics ที่ประเทศไทย (๓) 47^{th} KATRIN Collaboration Meeting ที่ KIT (๔) Remote shift takers จากประเทศไทย (๕) วิจัยการกระเจิงของอิเล็กตรอนภายในกับดักสนามแม่เหล็กที่ KATRIN (๖) ศึกษาการสลับค่าสนามแม่เหล็กสูงสุดระหว่างทางเข้า (BPS2) และทางออก (BPCH) ของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์หลักที่ KATRIN (๗) การค้นหามิติที่ ๔ (๘) การพัฒนาชุดตรวจวัดสนามแม่เหล็ก 30G ใช้ที่ TRISTAN (๙) การนำต้นแบบ mobile device วัดสนามแม่เหล็กจาก KATRIN มาศึกษาที่ มทส. เพื่อประโยชน์อื่นเช่น JUNO เป็นต้น (๑๐) ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก บพค. (ปี ๒๕๖๖ – ๒๕๖๘)

๖. ประเด็นเสนอต่อที่ประชุม

เพื่อรับทราบผลการดำเนินงานปี ๒๕๖๗