

รายงานการเข้าร่วม
โปรแกรมภาคฤดูร้อน

GSII HELMHOLTZ CENTRE FOR HEAVY ION RESEARCH

ตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ
สยามบรมราชกุมารี ประจำปี 2566

จัดทำโดย
นางสาวเยาวลักษณ์ บัณฑิต
นางสาวนันทนา มนต์คาถา



คำนำ

รายงานฉบับนี้เป็นเอกสารสรุปผลการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน ณ สถาบันวิจัยไอออนหนัก (GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research) เมืองดาร์มสตัดท์ ประเทศเยอรมนี ประจำปี พุทธศักราช 2566 ระหว่างวันที่ 24 กรกฎาคม ถึง 18 กันยายน พ.ศ. 2566 ของนางสาวนันทนา มนต์คาถา และนางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล โดยประกอบด้วยการบอกเล่าประสบการณ์และมุมมองทางด้านวิชาการ การทำงานวิจัย ตลอดจนการใช้ชีวิตผจญภัยในต่างแดน รวมทั้งรายงานทางวิชาการจากการทำวิจัยกับคณะวิจัย ณ GSI ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์

คณะผู้จัดทำหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ และสร้างแรงบันดาลใจ สำหรับผู้ที่สนใจเข้าร่วมโครงการ ณ สถาบันวิจัยแห่งนี้ นับเป็นโอกาสอันดีในการเพิ่มพูนประสบการณ์การทำงานวิจัยและใช้ชีวิต ในต่างประเทศ

นางสาวนันทนา มนต์คาถา
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล
สาขาวิชาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

นับเป็นพระมหากรุณาธิคุณอย่างหาที่สุดไม่ได้ที่สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงพระราชทานโอกาสแก่นิสิต และนักศึกษาไทย ให้ได้ไปเรียนรู้ และเพิ่มพูนประสบการณ์ในด้านการทำวิจัยทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ที่สถาบันวิจัยชั้นนำของโลก ซึ่งประสบการณ์ที่ได้จากการเข้าร่วมกิจกรรมนั้น มิได้เพียงแต่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย แต่นับเป็นประสบการณ์ที่มีคุณค่า และเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต และการทำงานวิจัยในหลากหลายแง่มุม ซึ่งแน่นอนว่าจะช่วยส่งเสริมการพัฒนาการเรียนรู้ให้มีความก้าวหน้าต่อตนเอง ตลอดจนนำไปสู่การพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

นอกจากนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการในการคัดเลือก และเจ้าหน้าที่ รวมทั้งหน่วยงานและโครงการต่าง ๆ อันได้แก่ หน่วยงานมูลนิธิเทคโนโลยีสารสนเทศตามพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี โครงการความร่วมมือไทย-เยอรมัน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่มอบโอกาสอันมีค่าและเป็นเกียรติอย่างสูงนี้ รวมไปถึงการส่งเสริม และผลักดันให้เกิดความร่วมมือที่ดีระหว่างประเทศไทย และสถาบันวิจัยจีเอสไอ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์ไทยเป็นอย่างยิ่ง

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ The Federal Government of Germany and the state of Hesse สำหรับทุนสนับสนุนและค่าใช้จ่ายในชีวิตประจำวันและที่พักตลอดระยะเวลาของโครงการ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI

- | | |
|---|----|
| 1. การบรรยาย | 2 |
| 2. การเยี่ยมชมสถานที่ | 7 |
| 3. กิจกรรมหลัก: การทำรายงานวิจัย (Report) | 16 |
| 4. กิจกรรมเสริมอื่น ๆ | 17 |

บทที่ 2 สรุปภาพรวมการทำวิจัยของโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนจีเอสไอ

- | | |
|---|----|
| 1. Electric Field Computation from Particle Distributions: A Study of Boundary Effects 19 | 19 |
| จัดทำโดย นางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล (มะเหมี่ยว) | |
| 2. Evolution of activity during and after the implantation of radioactive ions | 22 |
| จัดทำโดย นางสาวนันทนา มนต์คาถา (แอปเปิ้ล) | |

บทที่ 3 บันทึกประสบการณ์ระหว่างเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI

- | | |
|--|----|
| 1. นางสาวนันทนา มนต์คาถา (แอปเปิ้ล) | 30 |
| 2. นางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล (มะเหมี่ยว) | 50 |

ภาคผนวก A

i

ภาคผนวก B

vi

บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนจีเอสไอ

สถาบันวิจัยจีเอสไอ (The GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research) หรือ GSI เป็นศูนย์วิจัยชั้นนำระดับโลกในการศึกษาวิจัยไอออนหนัก ตั้งอยู่ที่ เมืองดาร์มสตัดท์ สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี จุดเด่นและเอกลักษณ์ของสถาบันวิจัยนี้คือ มีแหล่งกำเนิดไอออนที่หลากหลาย เมื่อเทียบกับบรรดาสถาบันวิจัยทั่วโลก เนื่องจากสามารถสร้างไอออนที่มีประจุบวกที่เกิดตามธรรมชาติได้หลากหลายชนิด ตั้งแต่ไอออนที่มีโครงสร้างอย่างง่ายเช่น ไฮโดรเจนไปจนถึงยูเรเนียม ซึ่งเป็นไอออนที่หนัก โดยประเภทของไอออนที่ถูกสร้างนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของนักวิทยาศาสตร์ที่กำลังดำเนินการวิจัย เครื่องมือหลักสำหรับการทำวิจัยคือ เครื่องเร่งอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง (Linear accelerator) และ เครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม (Heavy-Ion-Synchrotron 18, SIS18) โดยไอออนหนักจะถูกเร่งให้มีความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วแสง และยิงไปที่เป้าโลหะ นำไปสู่การค้นคว้าและทดลองในด้านฟิสิกส์พื้นฐานในสาขาวิจัย nuclear physics, nuclear astrophysics และ atomic physics และพร้อมกับงานวิจัยสาขาประยุกต์ ได้แก่ material research, plasma physics, biophysics, accelerator technology improvement และ radiation protection

นอกจากนี้ GSI ยังมีแผนการขยายขอบเขตการวิจัยในโครงการ ที่ชื่อว่า FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) เครื่องเร่งอนุภาคที่มีเส้นรอบวง 1,100 เมตร จะถูกใช้ในการเร่งไอออนให้มีความเร็วสูงยิ่งขึ้น ซึ่งขณะนี้กำลังอยู่ในขั้นตอนดำเนินการสร้าง และคาดว่าจะอุปกรณ์ส่วนหลักจะสามารถเปิดใช้งานได้ในปี 2566 และเสร็จสมบูรณ์ทั้งหมดในปี 2568

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI จัดขึ้นอย่างต่อเนื่องมา 41 ปี เพื่อให้ให้นักศึกษาระดับปริญญาตรีปีที่ 3-4 และระดับปริญญาโท จากกลุ่มประเทศยุโรปและประเทศที่มีความร่วมมือกับ GSI-FAIR ได้มีโอกาสเข้าร่วมทำงานกับกลุ่มวิจัยใน GSI-FAIR research groups เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยจะมีนักวิจัยจากกลุ่มวิจัยนั้น ๆ คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะตลอดการทำงาน ซึ่งจะเรียกผู้ดูแลว่าติวเตอร์ ในสัปดาห์ที่ 7 นักศึกษาจะต้องส่งรายงานการวิจัยที่ทำมา และนำเสนอผลงานในสัปดาห์ที่ 8 นอกจากนี้จากนั้นยังจัดการบรรยายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่หลากหลายใน GSI-FAIR เพื่อให้ให้นักศึกษาได้เรียนรู้นอกเหนือจากสาขาวิชาของตัวเอง พร้อมทั้งพาเยี่ยมชมสถานที่และอุปกรณ์การทําวิจัยจริง นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมอื่น ๆ ที่สนับสนุนให้นักศึกษาได้พัฒนาทักษะทางสังคมกับนักศึกษาและนักวิจัยนานาชาติ ได้แก่ กิจกรรมแรลลี่ในเมืองดาร์มสตัดท์, งานเลี้ยงบาร์บีคิว และการแข่งขันฟุตบอล ซึ่งในปีนี้ โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI ได้จัดขึ้นเป็นปีที่ 40 มีนักศึกษาเข้าร่วมทั้งหมด 33 คน จาก 20 ประเทศทั่วโลก มาอยู่ร่วมกันในโครงการตั้งแต่วันที่ 24 กรกฎาคม ถึง 14 กันยายน 2566 โดยทาง GSI ได้จัดสถานที่พักให้อยู่ร่วมกันที่โรงแรม Arheilger Hof ซึ่งห่างจากศูนย์วิจัยเป็นระยะทางประมาณ 4 กิโลเมตร สำหรับรายงานการสรุปการเข้าร่วมโครงการฉบับนี้ ในบทที่ 1 จะเป็นการอธิบายรายละเอียดของแต่ละกิจกรรมในโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI ต่อมาบทที่ 2 จะเป็นการอธิบาย

โครงการวิจัยของนักศึกษา และในบทที่ 3 จะเป็นบันทึกประสบการณ์ของนักศึกษาตลอด 8 สัปดาห์ ที่เข้าร่วมโครงการ

1.1 การบรรยาย

การบรรยายถือเป็นส่วนสำคัญของการเรียนรู้ที่ทำให้เห็นภาพเข้าใจองค์ประกอบมุมมอง ตรรกะความคิดและความเป็นเหตุและผลของการทำวิจัย โดยถูกสอดแทรกไว้ในแต่ละสัปดาห์ ซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมได้แลกเปลี่ยนในหัวข้อประเด็นต่าง ๆ ที่น่าสนใจ การบรรยายถูกจัดขึ้นในสัปดาห์แรกและสัปดาห์ที่สองเป็นหลัก และสัปดาห์อื่น ๆ ในจำนวนอีกไม่กี่วัน โดยมีหัวข้อดังต่อไปนี้

1.1.1 Accelerators: from the source to the target

เป็นหัวข้อแรก สำหรับการบรรยายเกี่ยวกับเครื่องเร่งอนุภาค เริ่มตั้งแต่การบอกเล่าประวัติและพัฒนาการของเครื่องเร่ง อธิบายหลักการทำงานและองค์ประกอบที่สำคัญของเครื่องเร่ง ซึ่งสามารถเร่ง อนุภาคได้ตั้งแต่ ไอออนเบาอย่างไฮโดรเจน ไปจนถึงไอออนหนักอย่างยูเรเนียม โดยเริ่มจากไอออนที่มาจาก Electron Cyclotron Resonance (ECR) Sources จะถูกเร่งด้วยเครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง UNILAC (UNiversal Linear Accelerator) จนกระทั่งมีพลังงาน 11.4 MeV/u แล้วจึงถูกส่งไปที่ SIS18 (Heavy-Ion-Synchrotron 18, SIS18) ซึ่งเป็นซินโครตรอนที่มี maximum bending power เท่ากับ 18 เทสลา·เมตร จากนั้นลำไอออนจะถูกแยกไปยังการทดลองส่วนต่าง ๆ โดยจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป

1.1.2 Biophysics & Cancer Therapy with Heavy Ions

การบรรยายนี้ อธิบายถึงการประยุกต์ใช้ไอออนหนักเพื่อประโยชน์ในทางรังสีรักษา และรังสีในชีวิตประจำวันที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายสิ่งมีชีวิต โดยเริ่มตั้งแต่เรื่องพื้นฐาน เช่น อันตรกิริยาระหว่างรังสีกับสสารตัวกลาง ไปจนถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้ไอออนหนัก โดยงานวิจัยในสาขานี้ จัดว่าเป็นอีกหนึ่งสาขาวิจัยที่สร้างชื่อเสียงให้กับ GSI เป็นอย่างมาก นั่นคือ “การรักษา มะเร็ง” ด้วยการฉายอนุภาคฮาดรอน (Hadron therapy) ซึ่งถูกนำมาใช้แทนการฉายรังสีเอ็กซ์ที่เป็นวิธีดั้งเดิม เทคนิคนี้จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและเจาะจงในการรักษา และลดความเสียหายแก่เนื้อเยื่อรอบข้างในร่างกายของผู้ป่วย โดยหลักการที่เรียกว่า Bragg's Peak ที่ให้ปริมาณรังสีสูงสุด ณ บริเวณนั้น จึงเหมาะกับการรักษาก่อนมะเร็งที่ตั้งอยู่ลึกและไม่สามารถผ่าตัดได้ นอกจากนี้ อนุภาคฮาดรอนยังให้พลังงานความเข้มสูงกว่ารังสีเอ็กซ์มาก จึงทำให้การรักษาได้ผลดีกว่า จนถึงปัจจุบันมีผู้ได้รับการรักษาโดยวิธีนี้ไปแล้วมากกว่า 40 คน

1.1.3 Compressed Nuclear Matter

การบรรยายนี้อธิบายถึงพื้นฐานของการเข้าใจในจักรวาล ตั้งแต่การกำเนิดของสสารหลังจากบิกแบง ซึ่งเป็นคำถามหลักที่นำพามาซึ่งการศึกษาสสารควอนตัมโครโมไดนามิกในสภาวะหนาแน่นสูงโดยการทดลองที่นำสนใจจากสถาบันที่มีการชนกันของไอออนหนัก (heavy ion) ทั้ง LHC RHIC BES SPS และ SIS18 ซึ่งตั้งอยู่ภายใน GSI ได้ถูกนำมาบรรยาย โดยในแต่ละสถาบันมุ่งเน้นความสนใจไปที่การศึกษาประเด็นสำคัญของแผนภาพเฟสของสสารควอนตัมโครโมไดนามิก (QCD matter phase diagram) โดยเริ่มต้นจากการพยายามที่จะระบุสสารแต่ละชนิดจากเครื่องมือวัด High Acceptance Di-Electron Spectrometer (HADES) ตลอดจนถึงการศึกษาปฏิสัมพันธ์กันของอนุภาคฮาดรอน และอนุภาคโฟตอน

ปัจจุบันโครงการ mCBM@SIS18 ได้ถูกจัดตั้งขึ้นเพื่อศึกษาการชนกันของอนุภาคมีประจุที่นิวเคลียสมวลสูง ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่จะทำให้เราได้เข้าใจกลไกการไขปริศนาของสสารควบแน่น (condensed matter) โดยมุ่งเน้นไปที่การผลิต lambda baryon (Λ) และเพื่อการเข้าใจอนุภาคฮาดรอนที่มากขึ้น และการก่อตั้งโปรแกรม Comprehensive Baryonic Matter (CBM) ที่กำลังเกิดขึ้นใน FAIR จะเป็นความหวังในการค้นพบสิ่งใหม่ๆ ด้วยเทคโนโลยีล้ำสมัยเพื่อเพิ่มอัตราการชนของอนุภาคให้อยู่ในระดับที่สูงขึ้น

1.1.4 Safety Instructions

การบรรยายนี้จัดขึ้นเพื่อแนะนำความปลอดภัยให้กับนักเรียน โดยเริ่มตั้งแต่พื้นฐานของรังสี รวมถึงแนวคิดต่างๆ เช่น การแผ่รังสี กิจกรรม และปริมาณรังสี โดยจะเจาะลึกเกี่ยวกับการสัมผัสกับรังสี อภิปรายเกี่ยวกับการสัมผัสภายนอก การรวมตัวกัน และการแผ่รังสีไอออไนซ์ที่ GSI พร้อมด้วยค่าปริมาณรังสีและขีดจำกัดโดยทั่วไป มีการเน้นความแตกต่างระหว่างอันตรายที่กำหนดและสุ่ม ควบคู่ไปกับการใช้เครื่องวัดปริมาณและความสำคัญของหมายเลข SSR เน้นการป้องกันส่วนบุคคลและมาตรการคุ้มครอง เช่น ALARA และการทำความเข้าใจกฎกำลังสองผกผัน ส่วนนี้ยังกล่าวถึงการเข้าสู่พื้นที่ควบคุมผ่านระบบบูรเพื่อความปลอดภัยและการสัมผัสในสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับรังสี

นอกจากนี้ยังครอบคลุมไปถึงการใช้ชีวิต การจราจร การข้ามถนน และกรณีเกิด อุบัติเหตุ หรืออัคคีภัยทั้งภายใน GSI และภายนอก GSI โดยได้เรียนรู้ถึงเบอร์โทรที่สำคัญ และข้อปฏิบัติที่ถูกต้องในยามฉุกเฉิน

1.1.5 ROOT tutorial

การบรรยายนี้จัดขึ้นเพื่อเป็นพื้นฐานให้กับนักเรียนที่อาจจะต้องใช้ความรู้ในส่วนของซอฟต์แวร์ Root ในการทำวิจัย ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในฟิสิกส์พลังงานสูงและสาขาวิชาวิทยาศาสตร์อื่นๆ อย่างไรก็ตาม ตัวซอฟต์แวร์นั้น ถูกพัฒนามานานแล้ว จึงมีความซับซ้อนด้วยเหตุนี้วิทยากรจึงให้นักเรียนถามติวเตอร์ประจำตัวของแต่ละคนว่าควรที่จะต้องเข้าฟังการบรรยายนี้หรือไม่ ในส่วนของเนื้อหา ในส่วนแรกของการบรรยายจะเป็นการติดตั้งโปรแกรม และวันที่สองจะเป็นการเริ่มสอนคำสั่งเบื้องต้น เช่น การพล็อตกราฟ การอ่านค่าข้อมูลต่าง ๆ

1.1.6 Computing for Experiment

ในการบรรยายนี้ถูกแบ่งเป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกได้พูดถึงประวัติการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยในงานวิทยาศาสตร์ พร้อมทั้งตัวอย่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองทางฟิสิกส์อนุภาคจากเครื่องเร่งอนุภาคที่มีชื่อเสียง เช่น CERN GSI และ DESY เป็นต้น ในส่วนที่สองนั้นเป็นการบรรยายถึง "Green IT Cube" ที่ GSI/FAIR ซึ่งเป็นศูนย์ซูเปอร์คอมพิวเตอร์ล้ำสมัยที่มีชื่อเสียงในด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่เป็นเอกลักษณ์ จะใช้พลังงานในการทำความเย็นน้อยกว่า 7% เมื่อเทียบกับศูนย์ระบายความร้อนด้วยอากาศแบบเดิม (30-100%) นวัตกรรมนี้ช่วยให้มีการออกแบบที่กะทัดรัด ประหยัดพื้นที่ ในขณะที่ให้ความสามารถในการประมวลผลที่ทรงพลัง ซึ่งถูกจัดตั้งเพื่อรองรับการก่อสร้างที่แล้วเสร็จในภายภาคหน้าของ FAIR ที่ซึ่งต้องการพื้นที่เก็บข้อมูลจำนวนมากและมีประสิทธิภาพ

1.1.7 Hadron Physics with Anti-Protons

การบรรยายนี้นำเสนอการสำรวจสถานะอันแปลกใหม่ของ Quantum Chromodynamics (QCD) โดยวิทยาการอภิปรายเกี่ยวกับฟิสิกส์ และสเปกโทรสโกปีที่ซับซ้อนของฮาดรอน โดยการบรรยายเน้นไปที่การสำรวจการผลิตฮาดรอนภายในการทดลอง PANDA ที่ FAIR ซึ่งเผยให้เห็นถึงลักษณะพิเศษของอนุภาคเหล่านี้ มีการนำผลการทดลองจากการทดลองแหล่งต่าง ๆ มาอธิบาย ซึ่งให้เห็นคุณลักษณะสำคัญ ๆ ของฮาดรอน และการมองภาพผลการทดลองให้เป็นข้อมูลที่นำมาใช้ได้จริง นอกจากนี้ ยังมีการบรรยายถึง exotic QCD bound states และเอ็กซ์โซติกฮาดรอน (Exotic Hadron) รวมถึงการทดลอง และผลลัพธ์ที่ชี้ให้เห็นคุณสมบัติของอนุภาคเหล่านั้น ในช่วงท้ายของการบรรยายเป็นเนื้อหาของแอนติโปรตรอน (Anti-Proton) เพราะในการที่จะผลิตฮาดรอนออกมาเพื่อทำการศึกษาก็จะต้องใช้แอนติโปรตรอนในการทดลองที่ชื่อว่า PANDA ที่ถูกจัดตั้งขึ้นใน FAIR เพื่อตอบปัญหาฟิสิกส์ของฮาดรอนและเอ็กซ์โซติกฮาดรอน

1.1.8 Atomic Physics

การบรรยายนี้เริ่มที่ความรู้พื้นฐานของ atomic physics และงานวิจัยที่ GSI/FAIR กำลังศึกษา รวมทั้งงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ Atomic Physics ถือเป็นแผนกที่ค่อนข้างใหญ่ โดยงานวิจัยหลัก ๆ คือการกักเก็บและลดอุณหภูมิของอนุภาค (storing and cooling of ions) และในกระบวนการขั้นตอนนี้สามารถแบ่งเครื่องเร่งหรือการทดลองออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ Experimental Storage Ring (ESR) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการกักเก็บไอออน เพื่อไม่ให้อนุภาคที่ถูกปล่อยออกมานั้นเสียเปล่า และเป็นส่วนที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของอนุภาคซึ่งเป็นการควบคุมความเร็วของอนุภาคในวงกักเก็บ (storage ring) ตัวอย่างของการทดลองใน ESR ได้แก่ X-ray Electron และ Laser spectroscopy ส่วนต่อมาคือ CRYRING ซึ่งเทียบได้กับการทดลองที่ ESR เป็นส่วนใหญ่ แต่พลังงานของไอออนใน CRYRING นั้นต่ำกว่าพลังงานใน ESR มาก และส่วนสุดท้ายคือ HITRAP ซึ่งเป็นส่วนที่มีการทดลองกับไอออนที่ช้า เย็นและมีประจุสูง

นอกจากนี้ในการก่อสร้าง FAIR ที่แล้วเสร็จในภายภาคหน้า การทดลองอีกส่วนที่ถูกติดตั้งภายใน และจะเป็นส่วนหนึ่งของแผนก atomic physics คือ SPARC ซึ่งเป็นสถานที่ที่ไอออนที่มีประจุสูง ถูกทำให้

เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเกือบแสง ในสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กอันทรงพลัง ที่ความเร็วสัมพัทธภาพ ซึ่งการศึกษาของไอออนหนักและมีประจุสูงเหล่านี้รับประกันความก้าวหน้าที่สำคัญในการวิจัยใน atomic physics

1.1.9 Nuclear Structure and Astrophysics

ในการบรรยายนี้ ได้มีการอธิบายถึงโครงสร้างนิวเคลียร์ โดยสำรวจว่าองค์ประกอบที่มีอยู่มากมายสะท้อนโครงสร้างนิวเคลียร์ที่ซ่อนอยู่ในจักรวาลได้อย่างไร การอภิปรายครอบคลุมถึงกระบวนการกระเจิงนิวเคลียร์ (nuclear scattering processes) โดยใช้ลำแสงพลังงาน โดยมุ่งเน้นไปที่การกระเจิงแบบยืดหยุ่น (elastic scattering) และการกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น (inelastic scattering) ซึ่งจะเผยให้เห็นข้อมูลเกี่ยวกับขนาด การกระจายตัวของสสาร และโครงสร้างรัศมีที่แปลกใหม่ โดยให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับโครงสร้างภายในและสมการสถานะ (equation of state (EOS)) ของสสารนิวเคลียร์แบบไม่สมมาตร (asymmetric nuclear matter) นอกจากนี้ ยังมีการบรรยายถึงการทดลองโครงสร้างนิวเคลียร์ และการจัดการกับความแตกต่างจากระบบฟิสิกส์พลังงานสูง การทำความเข้าใจการตอบสนองของเครื่องตรวจจับ (detector) เช่น TPC gas detector และ Fast Diamond Detectors เป็นต้น ทั้งยังยกตัวอย่างการออกแบบระบบที่แตกต่างกัน เช่น Tacquila System (Integrated Electronics) และ Full DAQ system for 16 channels เป็นต้น

1.1.10 Material Research

การบรรยายนี้ แผนก Material Research ที่ GSI สำรวจปฏิสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างไอออนหนักที่มีพลังงานสูงและสสารในสถานะต่าง ๆ การศึกษาหลักของแผนกนี้ได้แก่ การแทรกไอออน (Ion-track formation) การประเมินความแข็งแกร่งของการแผ่รังสีของวัสดุที่มีนัยสำคัญทางเทคโนโลยี (Radiation hardness of technologically relevant materials) สำรวจการรักษาเสถียรภาพของเฟสแรงดันสูงผ่านการฉายรังสีไอออน (Stabilization of high-pressure phases by ion irradiation) และการสร้างโครงสร้างนาโนโดยใช้เทคโนโลยีแทรกไอออน (Nanostructures fabricated by ion-track technology) โดยที่แผนก ในการทดลอง สถานที่ตั้งถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน M-branch และ A-branch ซึ่งทั้งสองส่วนก็จะทำการทดลองที่แตกต่างกัน และในแต่ละ branch ก็ยังมีการทดลองย่อยที่ต่างกันอีกด้วย เช่น ส่วนหนึ่งของ M-branch ที่เรียกว่า M1 ซึ่งเป็นการทดลอง Secondary Ion and Neutral Mass Spectroscopy เป็นต้น

1.1.11 Impact to Society

การบรรยายในหัวข้อนี้เป็นการพูดถึง Impact to society – from ideas to impact โดยการบรรยายเริ่มที่อะไรคือ social impact จากนั้นก็พูดถึง Sustainable development goals ซึ่งมีทั้งสิ้น 17 ข้อด้วยกัน โดยคำถามหลักคือการถามว่างานวิจัยที่เราทำอยู่นั้นตรงกับหนึ่งในเป้าหมายนั้นหรือไม่ จากนั้นก็เป็นการกล่าวถึงประโยชน์ของงานวิจัย รวมทั้งวิวัฒนาการของเทคโนโลยี และการทำ Start up และท้ายที่สุดก็เป็นการกล่าวถึงแผน Technology Transfer ของ GSI เพื่อส่งผ่านเทคโนโลยีให้กับสังคมและชุมชนใกล้เคียง

1.1.12 Tutorial: Scientific Writing/Latex Course

การบรรยายในหัวข้อนี้ เป็นการบรรยายถึงวิธีการและโครงสร้างการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ หัวข้อ บทนำ จนกระทั่งบทสรุปและอ้างอิงงานวิจัย พร้อมทั้งแนะนำการใช้ LATEX ซึ่งเป็นโปรแกรมการเขียนงานที่ออกแบบมาสำหรับงานด้านวิทยาศาสตร์หรือเทคนิคเฉพาะ ทำให้สะดวก ต่อการจัดรูปแบบโครงสร้างของรายงาน อีกทั้งยังชี้แจงรายละเอียดของโครงสร้างรายงานที่จะใช้ในการ เขียนรายงานการวิจัย ท้ายโครงการ และแจกไฟล์ตัวอย่างเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเขียนรายงาน ทั้งนี้ เกร็ดความรู้สำคัญในจากการบรรยายได้แก่ การเขียนไม่จำเป็นต้องเริ่มจากบทที่หนึ่ง และสิ่งที่ยากที่สุดในการเขียนรายงานคือ การเริ่มต้น

1.1.13 Plasma Physics with Intense Ion Beams

การบรรยายนี้ เริ่มต้นที่ลำแสงไอออนความเข้มสูง (Plasma Physics with Intense Ion Beams) ที่ GSI มีบทบาทสำคัญในสองแนวทางการวิจัยหลักภายในพลาสมาฟิสิกส์ ประการแรก ผ่านการทดลองด้วยหัววัดแบบปั๊มด้วยเลเซอร์ PHELIX ลำแสงไอออนจาก UNILAC จะตรวจสอบสภาวะพลาสมาที่มีไอออนไนซ์เต็มที่ จัดการกับปัญหาที่สำคัญ เช่น การสูญเสียพลังงานและการแลกเปลี่ยนประจุของไอออนหนักในพลาสมา ร้อน ประการที่สอง คานไอออนจาก SIS18 ใช้เพื่อสร้างสสารหนาแน่นอ่อน (WDM) เพื่อให้สามารถตรวจวัดคุณสมบัติทางอุณหพลศาสตร์และการขนส่งของวัสดุได้ โดยการก่อตั้ง FAIR ที่กำลังจะเสร็จสิ้นในเร็วๆ นี้ จะใช้ประโยชน์จากลำแสงไอออนความเข้มสูงเพื่อสร้างและบีบอัดตัวอย่างสสารหนาแน่นอุณหภูมิต่ำ สำหรับการศึกษาสถานะ (equation-of-state) ตลอดจนการถ่ายภาพตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงด้วยกล้องจุลทรรศน์โปรตอนผ่าน High Energy Density Science

1.1.14 Plasma Physics with Intense Laser Beams

ในหัวข้อบรรยายนี้ เช่นเดียวกับพื้นฐานของหัวข้อบรรยาย Plasma Physics with Intense Ion Beams ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ laser โดยมีการบรรยายถึงเทคนิคในการสร้าง femtosecond laser pulse ซึ่งเป็นเลเซอร์ที่สามารถมีกำลังสูงได้ถึง petawatt โดยเทคนิคนี้ จะเรียกว่า Chirped-Pulse Amplification (CPA) ซึ่งอยู่ในความสนใจของโครงการ PHELIX ก่อตั้ง ตั้งแต่ปี 2008 และเป็นศูนย์เลเซอร์พลังงานสูงที่เน้นผู้ใช้เป็นหลัก ซึ่งเปิดให้ประชาคมระหว่างประเทศทำการทดลองไอออนเลเซอร์แบบผสมผสานใน GSI อีกทั้งยังชี้ให้นักศึกษาเห็นว่า high peak-power lasers ก็เป็นอีกหนึ่งนวัตกรรมที่สามารถประยุกต์ใช้กับ เทคโนโลยีเครื่องเร่งอนุภาคได้ และยังมีสิ่งที่น่าสนใจอีกมากมายที่ยังคงต้องศึกษาต่อไป

1.2 การเยี่ยมชมสถานที่

การเยี่ยมชมพื้นที่และสถานที่ทดลอง รวมทั้งได้ฟังการบรรยายจากผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดลองนั้น ๆ ดังต่อไปนี้

1.2.1 แหล่งกำเนิดไอออน (Ion sources)

การส่งอนุภาคเข้าสู่เครื่องเร่งอนุภาคนั้น โดยมีจุดเริ่มต้นคือแหล่งกำเนิดไอออน (Ion sources) ที่เป็นเครื่องมือในการสร้างไอออน โดยนิยามของคำว่า ไอออน คือ อะตอมที่มีประจุไฟฟ้า ซึ่งจากนั้นจะถูกเร่งความเร็วในเครื่องเร่งอนุภาคยูนิแล็ค (UNILAC) ซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง และเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลมที่เรียกว่า SIS18 (Heavy-Ion-Synchrotron 18) พื้นที่นี้ภายนอกจะมีลักษณะเป็นตู้คอนเทนเนอร์โลหะขนาดใหญ่ที่มีสีส้ม และ ภายในจะเป็นที่ตั้งของแหล่งกำเนิดไอออนแสดงได้ดังภาพด้านล่าง

จุดเด่นและเอกลักษณ์ของสถาบันวิจัยไอออนหนักจีเอสไอ คือ มีแหล่งกำเนิดไอออนที่หลากหลายเมื่อเทียบกับบรรดาสถาบันวิจัยทั่วโลก เนื่องจากสามารถสร้างไอออนที่มีประจุบวกที่เกิดตามธรรมชาติได้หลากหลายชนิด ตั้งแต่ไอออนที่มีโครงสร้างอย่างง่าย เช่น ไฮโดรเจนไปจนถึงยูเรเนียม ซึ่งเป็นไอออนที่หนัก สิ่งนี้แสดงถึงความเชี่ยวชาญพิเศษของ GSI นั่นคือ “ไอออนหนัก (heavy ion)” และประเภทของไอออนที่ถูกสร้างนั้นจะขึ้นอยู่กับความต้องการของนักวิทยาศาสตร์ที่กำลังดำเนินการวิจัย



ภาพแสดง พื้นที่การทดลองและการบรรยายแหล่งกำเนิดไอออน

1.2.2 เครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง (UNiversal Linear Accelerator: UNILAC)

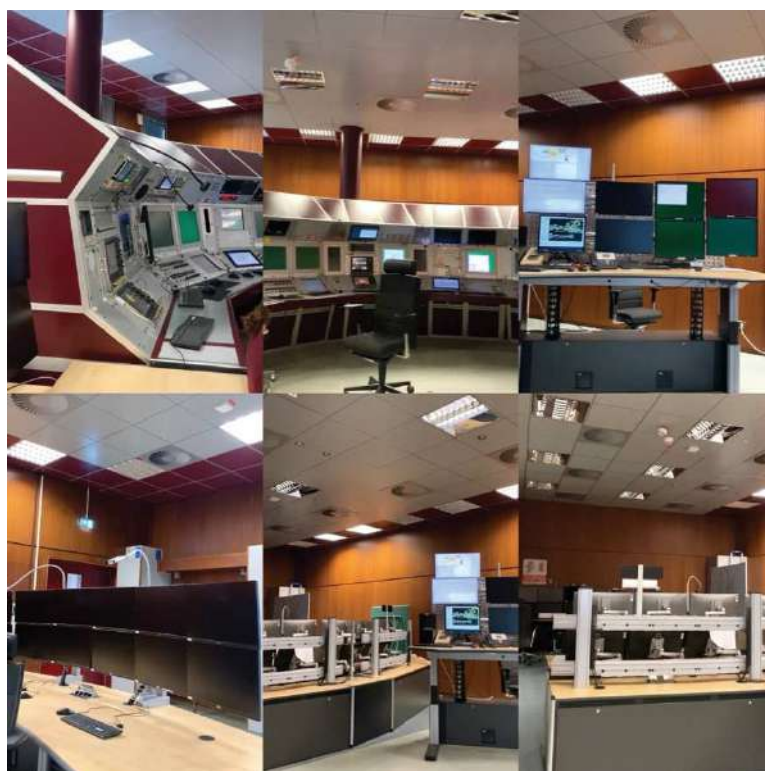
เครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง เป็นเครื่องเร่งอนุภาคที่มีความยาวของเส้นทางการเร่งประมาณ 120 เมตร สามารถเร่งไอออนได้ตั้งแต่โปรตอนจนไปถึงยูเรเนียม ซึ่งไอออนดังกล่าวถูกเร่งให้มีความเร็วประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วแสง (60.000 km/s) หรือมีพลังงาน 11.4 MeV/u อนุภาคที่มีประจุสำหรับการเร่ง ถูกส่งมาจากแหล่งกำเนิดไอออน (Ion source) ที่ได้กล่าวไปก่อนหน้านี้ คุณสมบัติเฉพาะของ UNILAC คือการมี Alvarez-cavities ที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องเร่ง ดังนั้นจึงสามารถให้พลังงานต่าง ๆ เช่น 3.6, 4.8, 5.9, และ 8.6 MeV/u ได้อย่างรวดเร็ว สุดท้ายส่วนที่ประกอบด้วย single gap resonators (ERs) ช่วยให้สามารถตั้งค่าพลังงานไอออนใด ๆ ตามต้องการระหว่าง 3.4 และ 11.6 MeV/u โดยที่ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่แน่นอนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนมวลไอออนต่อประจุ จากนั้นจะถูกส่งให้เครื่องเร่งอนุภาคถัดไป นั่นคือเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลมที่ เรียกว่า SIS18 (Heavy-Ion-Synchrotron 18)



ภาพแสดง เครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรง

1.2.3 ห้องควบคุมหลัก (Main control)

ระบบเครื่องเร่งอนุภาคที่จีเอสไอจะประกอบไปด้วยเครื่องมือที่หลากหลายที่ต้องมีการควบคุมทางไฟฟ้ากว่า 2,500 ชิ้น เช่น แม่เหล็ก เครื่องปั๊มสุญญากาศ และเครื่องมือวัดต่าง ๆ ดังนั้นเพื่อความสะดวกสำหรับวิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ในการควบคุมระบบนี้ สัญญาณจากเครื่องมือทั้งหมดจึงถูกนำมารวมกันในห้องควบคุมหลัก และระบบทั้งหมดถูกควบคุมจากที่นี่ เริ่มตั้งแต่แหล่งกำเนิดไอออน เครื่องเร่งอนุภาคแบบเชิงเส้น และเครื่องเร่งอนุภาคแบบวงกลม SIS18 (Heavy-Ion-Synchrotron 18) ไปจนถึง วงแหวนกักเก็บไอออน ESR (Experimental Storage Ring) และแม่เหล็ก, สตรีปเปอร์ (strippers) และอิเล็กโทรด (electrodes) ที่นำลำไอออน (ion beam) ไปยังห้องทำการทดลองอื่น ๆ (caves)



ภาพแสดง ภายในห้องควบคุมหลักและเครื่องมือ

1.2.4 Materials Research Irradiation Facilities

การวิจัยและศึกษาวัสดุจากการฉายรังสี (Materials Research Irradiation Facilities) มีการทดลองที่หลากหลาย ซึ่งห้องการทำงานทดลองที่คณะผู้จัดทำได้เข้าไปเยี่ยมชมนั้น คือ M-Branch ที่ประกอบด้วย 3 บีมไลน์ (beamlines) ได้แก่ บีมไลน์ M1 ซึ่งมีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron microscope) บีมไลน์นี้เชื่อมต่อกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีความละเอียดสูง (high resolution scanning electron microscope :HRSEM) ทำให้สามารถดูภาพโดยตรงของการปรับเปลี่ยนพื้นผิวที่เกิดขึ้นจากลำไอออน บีมไลน์ถัดมาคือ M2 ซึ่งมีการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Diffraction) และเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (x-ray diffractometer) แบบ on-line four-circle ที่ช่วยให้สามารถใช้ไอออนในการกระจายรังสีเอ็กซ์ในหลากหลายมุม วิธีการนี้ช่วยในการระบุการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางผลึก (crystallographic structure) ที่เกิดขึ้นจากการฉายด้วยไอออน และบีมไลน์สุดท้ายคือ M3 ซึ่งเป็นบริเวณ In-situ spectroscopy ในส่วนนี้ประกอบด้วยห้องอเนกประสงค์ที่ติดตั้งเครื่องมือต่าง ๆ เช่น He-cryostat แบบวงจรถัด, เครื่องวิเคราะห์ก๊าซตกค้าง (residual gas analyser) และตัวควบคุมการไหลของก๊าซ (gas flow controller) การติดตั้งนี้ช่วยให้ควบคุมและบันทึกสถานะการฉายรังสีเกี่ยวกับอุณหภูมิและบรรยากาศของก๊าซโดยทั่วไป เช่น สำหรับการวัดค่าก๊าซออกจากวัสดุภายใต้การฉายรังสี นอกจากนี้ มีเครื่องมือสำคัญอื่น ๆ อีกเช่น สเปกโตรมิเตอร์อินฟราเรด (infrared spectrometer) และสเปกโตรมิเตอร์ UV/Vis (UV/Vis spectrometer) ช่วยให้ติดตามการดัดแปลงวัสดุ และเครื่องมือที่วัดค่าการเปล่งแสง (Luminescence Spectrophotometer) ถูกนำไปใช้เพื่อตรวจสอบเวลา อุณหภูมิ และการแยกสเปกตรัมของการเปล่งแสงที่ถูกกระตุ้นด้วยลำแสงไอออนในวัสดุกึ่งตัวนำ (semi-conductors) รวมถึงกล้องจุลทรรศน์แบบ long-distance on-line แสดงพื้นผิวตัวอย่างและการวัดความโค้งของตัวอย่างบ่งชี้ถึงการดัดแปลงโครงสร้างของวัสดุ

1.2.5 SHIP-SHIPTRAP

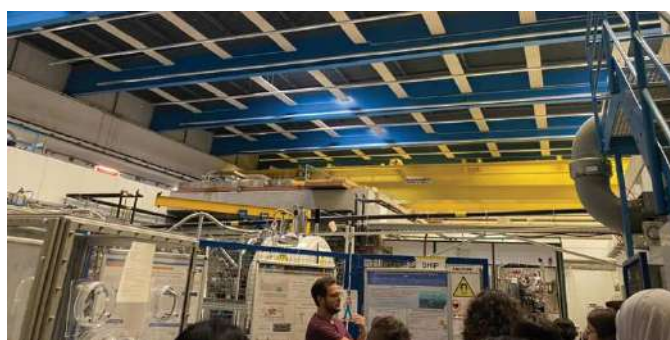
SHIP (Separator for Heavy Ion Reaction Products) เป็นเครื่องมือสำหรับการแยกผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาของไอออนหนักที่อยู่ในช่วงเวลาเคลื่อนที่ ซึ่ง SHIP ใช้ในการแยกนิวไคลด์ (nuclide) หนักที่ถูกสร้างขึ้นในปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดยที่ไม่ทำให้นิวไคลด์มีความเร็วลดลง ซึ่งช่วยให้นักวิจัยสามารถศึกษาไอโซโทปหนักอย่างเฉพาะเจาะจงได้ และมีความเชี่ยวชาญในการศึกษานิวไคลด์ที่หนักและไม่มีความเสถียร รวมทั้งอาจมีชีวิตครั้งที่สั้นมาก บางครั้งในระดับไมโครวินาที การศึกษาเหล่านี้ทำให้เพิ่มความเข้าใจโครงสร้างนิวเคลียร์ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ และคุณสมบัติของนิวเคลียสที่แปลกใหม่ (exotic nuclei)

SHIPTRAP เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคุณสมบัติไอออนที่หนักมาก (super heavy ion) ที่มีเลขอะตอมมากกว่า 100 ซึ่งไม่มีความเสถียร โดยเครื่องนี้มีความซับซ้อนมากและสามารถวัดคุณสมบัติได้อย่างแม่นยำ เช่น มวล (mas), ประจุ (charge) และโครงสร้างทางนิวเคลียร์ (nuclear structure)

นักวิจัยที่ทำการทดลองนี้ ใช้เครื่องมือเพื่อค้นหาและศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานของ super heavy elements ในส่วนนี้ มีความสำคัญในการขยายตารางธาตุ นอกจากนี้ยังใช้ในการขนส่งนิวเคลียส ให้แก่ห้องทดลอง (Cave) อื่น ๆ ด้วย



ภาพแสดง เครื่องมือ SHIP



ภาพแสดง การบรรยายเครื่องมือ SHIPTRAP

1.2.6 Green cube (computer)

Green cube หรือ Green IT Cube ตั้งอยู่ภายในวิทยาเขต GSI/FAIR เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ ถูกสร้างขึ้นเพื่อรองรับการมาถึงของการก่อตั้ง FAIR และยังเป็นที่ยู่อัจกว่าถือเป็นหนึ่งในศูนย์ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ทรงพลังที่สุดในโลก นอกจากประสิทธิภาพทางพลังงานแล้ว การออกแบบที่มีประสิทธิภาพด้านพื้นที่เองก็สำคัญ ด้วยการจัดเก็บระบบคอมพิวเตอร์แบบ "high-bay storage" ซึ่งเป็นการจัดเรียงของชั้นวางเซิร์ฟเวอร์แบบหนาแน่น โดยอุปกรณ์จะถูกวางเรียงตั้งตามแนวตั้ง เพื่อใช้พื้นที่ที่มีอยู่ให้เต็มที่ ด้วยกลยุทธ์การจัดเก็บแนวตั้งนี้ ศูนย์คอมพิวเตอร์สามารถเก็บอุปกรณ์การคำนวณมากขึ้นโดยไม่ต้องขยายพื้นที่ ทำให้มั่นใจได้ว่าทั้งพื้นที่และประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะสูงสุด ปัจจุบัน ตัวอาคารยังมีชั้นที่ว่างจากการใช้งาน เพื่อรองรับการก่อสร้างที่จะแล้วเสร็จของ FAIR

ลักษณะเด่นของ Green Cube อีกอย่าง คือระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบกับศูนย์ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้เทคนิคการระบายความร้อนด้วยอากาศ Green Cube ได้ใช้การระบายความร้อนด้วยน้ำ กลยุทธ์นี้ลดการใช้พลังงานสำหรับการระบายความร้อนลงอย่างมาก โดยประมาณแล้วไม่เกิน เจ็ดเปอร์เซ็นต์ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้สำหรับการคำนวณ

นอกจากนี้ ท่ามกลางเทคโนโลยีและกระบวนการที่ได้มาตรฐาน Green Cube มีมาตรการเพื่อรักษาความปลอดภัยของบุคลากรและผู้เข้าเยี่ยมชม โดยเนื่องจากระดับเสียงที่สูง ที่สร้างจากอุปกรณ์การคำนวณขนาดใหญ่และระบบระบายความร้อน จึงมีข้อกำหนดให้ใช้หูฟังป้องกัน เสียงได้รับการกำหนดในขณะที่อยู่ภายในสถานที่



ภาพแสดง ตัวอาคาร Green cube และภายในอาคาร และห้องปั้มน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น

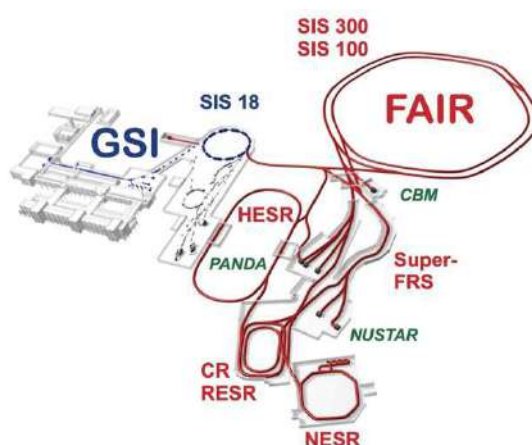
1.2.7. View-point FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)

ปัจจุบัน FAIR ซึ่งเป็นโครงการวิจัยที่ใหญ่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก อยู่ระหว่างการก่อสร้างที่ GSI โดยโครงการนี้จะให้ประโยชน์ในทางวิชาการให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วทุกมุมโลก โดยระบบเร่งอนุภาคที่เป็นเอกลักษณ์ทั้งในเชิงวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมทางเทคนิค เพื่อทำการวิจัยที่ทันสมัยในสาขาวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานของสาร ทั้งนี้เครื่องเร่งอนุภาคที่ FAIR มีความสามารถเฉพาะในการจัดหาลำอนุภาค (Particle beams) และอนุภาคสามารถเร่งความเร็วได้เกือบจะเข้าใกล้ความเร็วแสง ตัวอย่างการทดลองงานวิจัยที่สำคัญเช่น NUSTAR, CBM, PANDA และ APPA เป็นต้น

บริเวณส่วนกลางของสถานที่ FAIR ประกอบด้วยตัวเร่ง SIS100 และ SIS300, ทั้งสองตัวเร่งนี้มีความเร็วในการวนรอบสูงถึง 4 T/s และเป็นไซโคลตรอนที่วิ่งอยู่ตามรอบเส้นรอบวงขนาด 1100 เมตร รวมทั้งมีวงแหวนกักเก็บอนุภาค (Storage rings) และพื้นที่การทดลองมีเส้นทางของลำอนุภาค รวมหลายกิโลเมตร การมีอยู่ของระบบเครื่องเร่งอนุภาคที่ GSI จะช่วยในการเร่งอนุภาคและเป็นกำลังสำคัญของ FAIR facility



ภาพแสดง สถานที่ก่อสร้างสำหรับโครงการ FAIR



ภาพแสดง แผนผังโครงการ FAIR ที่ GSI

ที่มา : Guenther Rosner (2007)

1.2.8 Medical cave

Medical cave คือส่วนหนึ่งของ GSI ที่ลำอนุภาคนำพาอนุภาคมีประจุมาเพื่อใช้ในการรักษาผู้ป่วย โดยเครื่องมือทั้งหมด ถูกก่อสร้างขึ้นด้วย GSI เอง โดยมีระบบ CT และเตียงสำหรับผู้ป่วย ภายในลักษณะเหมือนกับพิพิธภัณฑน์ มีงานวิจัยในภาษาเยอรมัน ถูกห้อยไว้ที่ผนัง และวิทยากรก็ได้ชี้ให้เห็นเตียงผู้ป่วย และเครื่องมือลือคผู้ป่วยในระหว่างทำการรักษา ในปัจจุบัน GSI ไม่ได้ทำการการรักษาผู้ป่วยอีกต่อไป มีเพียงแค่งานวิจัยเท่านั้น และนักวิจัยที่ดำเนินการในปัจจุบัน ส่วนมากแล้วจะเป็นนักชีววิทยา ซึ่งจะแตกต่างจากแผนกอื่น ๆ ที่เป็นนักฟิสิกส์หรือวิศวกร ในระหว่างการเยี่ยมชม มีการถามคำถามโดยนักเรียน ซึ่งพบว่าคำถามที่ถูกถามมากในทุก ๆ กลุ่มคือ ผู้ป่วยนั้นรู้สึกเจ็บปวดหรือไม่ ในระหว่างที่การรักษาด้วยการฉายรังสี ซึ่งในส่วนนี้ วิทยากรเองก็ไม่สามารถให้คำตอบได้ ถือเป็นแนวคิดและคำถามที่แตกต่างและเปลี่ยนมุมมองไปจากมุมมองของนักวิทยาศาสตร์ที่สนใจแค่ว่า



ภาพแสดง บริเวณภายใน Medical cave และเตียงผู้ป่วยที่ตั้งอยู่ภายใน

1.2.9 CRYRING

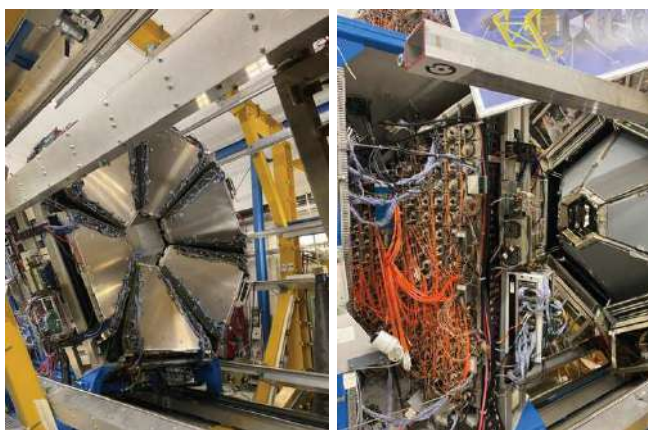
“CRYRING” เป็นวงแหวนจัดเก็บไอออนหนักที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งอยู่ถัดจาก ESR และเป็นวงแหวนกักเก็บอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยไอออนทุกชนิดที่มีการสร้างที่ GSI เช่น ไอออนที่มีประจุสูง ไอโซโทปที่แปลกใหม่ สามารถกักเก็บที่นี้และในอนาคตอาจเป็นแอนติโปรตอน เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง เช่น นิวเคลียร์ฟิสิกส์ ฟิสิกส์อนุภาค และการวิจัยทางด้านวัสดุ ทั้งยังสามารถลดพลังงานไอออนจนเหลือประมาณ 100 KeV/ ไอออน ทั้งนี้ มีการปรับปรุงให้ทันสมัย และปรับให้เข้ากับเทคโนโลยีของ FAIR ที่แปลกใหม่ เนื่องจากตอนนี้อยู่ในโครงการ FAIR ด้วย



ภาพแสดง บริเวณพื้นที่ของ CRYRING และแม่เหล็กที่ใช้ในการบังคับทิศทางของลำไอออน

1.2.10 High Acceptance Di-Electron Spectrometer (HADES)

การทดลอง HADES เป็นสเปกโตรมิเตอร์ที่มีหน้าตัดกว้าง ใช้ในการตรวจวัดอนุภาค เพื่อศึกษาและค้นหาคุณสมบัติของนิวคลีออน (nucleon) โดยเร่งอนุภาคให้ความเร็วสูงมาก ทำให้ชนกันและศึกษาอนุภาคหรือสสารที่เกิดขึ้น เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับอนุภาคภายในเครื่องตรวจจับ (detector) ด้วยการออกแบบพิเศษและการมีหน้าตัดขนาดใหญ่ ทำให้สามารถวัดอนุภาคได้อย่างแม่นยำอย่างยิ่งและตรวจจับอนุภาคที่หายากมากได้ โครงการนี้มีความร่วมมือจากนักวิจัยจากทั่วยุโรป และด้วยเหตุนี้จึงเป็นก้าวสำคัญของการไขความลับบางประการของฟิสิกส์ควอนตัม



ภาพแสดง เครื่อง HADES

1.2.11 The Fragment Separator (FRS)

ห้องทดลอง FRS ที่ GSI เป็นสถานที่ทำการทดลองที่ควบคุมและจัดการการเข้ามาของ ลำไอออนทุติภูมิ (secondary ion beam) โดยลำไอออนปฐมภูมิ (primary ion beam) จะถูกเร่งมาจากเครื่องอนุภาค SIS18 จากนั้นจะเข้าไปกระทบเป้า เบริลเลียม (beryllium product, ^9Be) ที่ทางเข้าของ FRS จึงทำให้เกิดไอออนทุติภูมิดังกล่าว ห้องทดลองนี้ช่วยให้สามารถทดลองกับอนุภาคใหม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับไอโซโทปใหม่ที่หายากมาก ไอโซโทปที่น่าสนใจสามารถแยกออกจากผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาอื่นๆ จากนั้นจะถูกนำไปยังวงแหวนจัดเก็บ ESR เพื่อใช้สำหรับการทดลองอื่น ๆ ต่อไป



ภาพแสดง บริเวณและห้องทดลอง FRS

1.3 กิจกรรมหลัก: การทำรายงานวิจัย (Report)

กิจกรรมหลักของ summer school at GSI คือ การทำโปรเจกต์รายบุคคลควบคู่ไปกับตัวเตอร์ที่ได้รับการจัดสรรให้ และในช่วงท้ายของกิจกรรมจะมีการนำเสนอ ทั้งนี้คณะผู้จัดทำทั้งสอง ก็ได้ทำงานวิจัยในหัวข้อ ดังต่อไปนี้

1. Electric Field Computation from Particle Distributions: A Study of Boundary Effects
2. Evolution of activity during and after the implantation of radioactive ions

โดยรายละเอียดของโปรเจกต์ทั้งสอง จะถูกกล่าวถึงในบทที่ 2

1.4 กิจกรรมเสริมอื่น ๆ

ในระหว่างสัปดาห์ที่มีการฟังบรรยายและการทำโปรเจกต์เป็นกิจกรรมหลัก ยังมีภารกิจที่สนุกสนานอื่น ๆ ที่ทาง GSI ได้ทำการจัดขึ้นเพื่อให้ได้นักเรียนได้ผ่อนคลาย ทั้งยังได้ทำความรู้จักกับ บรรดาติวเตอร์, พนักงานจีเอสไอ และนักศึกษาชาวต่างชาติจากโปรแกรมอื่น ๆ ให้มีความสนิทสนมมากขึ้น

1.4.1 กิจกรรมแรลลี่ในเมืองดาร์มสตัดท์ (Pedestrian rally in Darmstadt)

กิจกรรมนี้จะจัดขึ้นในวันเสาร์ของสัปดาห์แรก ส่วนที่สนุกสนานและเพลิดเพลินคือ การเดินสำรวจรอบเมือง ได้สัมผัสบรรยากาศ วิถีชีวิต ร้อยยิ้ม ของผู้คน ตลอดจนระบบขนส่งของเมืองนี้ นอกจากนี้จะช่วยให้รู้จักเมืองนี้แล้ว ยังช่วยเพิ่มกระชับมิตร สนุกสนนกับเพื่อน ๆ ในโครงการอีกด้วย โดยกิจกรรมนี้จะแบ่งนักศึกษาเป็นกลุ่มละ 5 คน เพื่อทำภารกิจเดินรอบเมืองเพื่อตอบคำถาม ภายในเมืองดาร์มสตัดท์นี้ให้ได้ครบถ้วน ซึ่งจะมีรางวัลให้กับกลุ่มที่ชนะ

1.4.2 ปาร์ตี้ “Grill & Chill”

ปาร์ตี้ “ Grill & Chill” จัดขึ้นตั้งแต่วันที่ 18:00 – 22:00 น. เป็นกิจกรรมที่ให้นักศึกษาภาคฤดูร้อนทุกคนมีส่วนร่วมในการจัดงาน ทั้งเตรียมอาหาร เครื่องดื่ม และจัดเก็บของ นักศึกษา ติวเตอร์ และผู้บรรยายจะมาร่วมสังสรรค์กัน เพื่อกระชับความสัมพันธ์แก่นักวิจัยในองค์กร พวกเราสามารถนำอาหารหรือสิ่งที่ต้องการอย่างเข้ามาในปาร์ตี้นี้ได้

1.4.3 GSI sport club

ในระหว่างกิจกรรม GSI มีสวัสดิการทางการกีฬาให้กับเหล่านักเรียนตามความสนใจ ไม่ว่าจะเป็น ปิงปอง, ยิงธนู, ฟุตบอล, วอลเลย์บอล นอกจากนี้ยังมีกระสอบทรายสำหรับซ้อมมวยและชมรมคนมาซ้อมดนตรีอีกด้วย เราสามารถมาเล่นกีฬาได้ตามตารางที่จัดขึ้นในแต่ละสัปดาห์ และสิ่งพิเศษอีกอย่างคือที่นี่มีตู้เย็นขนาดใหญ่ที่บรรจุ น้ำดื่ม น้ำผลไม้ เบียร์ และน้ำประเภทอื่น ๆ เตรียมไว้ให้เลือกอีกมากมาย และมีห้องน้ำสำหรับการอาบน้ำอีกด้วย

1.4.4 Ioni Summer Cup

การแข่งขันกีฬาที่เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมของ โครงการที่จัดขึ้น โดยทุกคนสามารถลงแข่งได้ตามความสมัครใจ อีกทั้งบุคลากรของ GSI ที่สนใจสามารถลงแข่งได้ โดยให้จับกลุ่มกัน 3-5 คน มีกีฬาให้เลือกหลากหลาย มีเหรียญรางวัลและเกียรติบัตร ของรางวัลสำหรับผู้ชนะอีกด้วย และเราสามารถไปเชียร์เพื่อน ๆ ระหว่างการแข่งขันได้ ถือเป็นอีกวันที่ทุกคนสนุกสนาน รื่นเริงกันมาก

1.4.5 การท่องเที่ยวส่วนบุคคล

ในแต่ละสัปดาห์ หลังจากที่ไม่มีคาบเรียนแล้ว เป็นช่วงเวลาของการทำโปรเจกต์ และในช่วงที่ว่างจากการทำงาน หรือในวันเสาร์อาทิตย์ นักเรียนทุกคนสามารถวางแผนการท่องเที่ยวได้ดังที่ต้องการ

บทที่ 2 สรุปภาพรวมการทำวิจัยของโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนจีเอสไอ

รายงานวิจัยส่วนบุคคลของนักศึกษาที่ได้ทำในระหว่างเข้าร่วมกิจกรรมนั้น จะต้องส่งในช่วงสัปดาห์ที่ 7 และเตรียมตัวนำเสนอในงานในสัปดาห์ต่อไป ทั้งนี้รูปแบบรายงานถูกรวบรวมเป็นหนังสือและพิมพ์แจกให้กับผู้เข้าร่วมทั้งสิ้นคนละ 2 เล่ม โดยส่วนมากแล้วผู้เข้าร่วมจะเก็บไว้เองหนึ่งเล่มและนำอีกเล่มมอบให้กับตัวเตอร์ประจำตัว โดยรายงานและหนังสือรวมโปรเจกต์เหล่านั้นไม่ได้ถูกเผยแพร่ทางออนไลน์ ทั้งนี้ผู้แทนประเทศไทยจึงได้แนบรายงานที่ได้ทำไว้ในภาคผนวกเชิงวิชาการ A และ B และทำสรุปโดยย่อของการทำวิจัยซึ่งมีเนื้อความดังต่อไปนี้

2.1 ประสบการณ์การทำงาน

หัวข้อฝึกงาน : Electric Field Computation from Particle Distributions: A Study of Boundary Effects (การคำนวณสนามไฟฟ้าจากการกระจายตัวของอนุภาค: การศึกษาผลกระทบจากขอบเขต)

จัดทำโดย นางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล (มะเหมี่ยว)

1. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของขอบเขตต่อสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการกระจายอนุภาคแบบสม่ำเสมอ (uniform) และแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ภายในเครื่องเร่งอนุภาค SIS100 สถาบันวิจัยไอออนหนัก FAIR โดยใช้ python package ที่ได้รับการพัฒนาโดยทีมจาก CERN และ GSI ที่มีชื่อว่า PyPIC โดยศึกษาสนามไฟฟ้า จากทั้งกรณีที่มีขอบเขต และไม่มีขอบเขต รวมถึงตำแหน่งของการกระจายของอนุภาคภายในขอบเขต

2. ที่มาและความสำคัญ

สถาบันวิจัยไอออนหนัก FAIR กำลังพัฒนาเพื่อการศึกษาวิจัยฟิสิกส์อนุภาค เครื่องเร่งอนุภาคใหม่จึงต้องได้รับการติดตั้ง หนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญของ FAIR คือเครื่องเร่งอนุภาค SIS100 โดยจำเป็นจะต้องมีการเน้นย้ำถึงความสำคัญของขอบเขต เช่น อิทธิพลของท่อสุญญากาศ ซึ่งจะมีการส่งผลกระทบต่อสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคที่มีประจุ ปัจจุบันที่สถาบัน ยังไม่ได้มีการทำวิจัยที่คำนึงถึงผลกระทบจากขอบเขต (ท่อสุญญากาศ) การศึกษานี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการนำขอบเขตเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณ เพื่อศึกษาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากการกระจายตัวของอนุภาคทั้งแบบสม่ำเสมอ (uniform) และแบบเกาส์เซียน (Gaussian) ว่ามีปฏิสัมพันธ์กับขอบเขตที่คล้ายกับขอบเขตในเครื่องเร่งอนุภาคอย่างไร

3. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

ในการทำงานวิจัยหัวข้อนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษา และเข้าใจความรู้พื้นฐานในเรื่องของสนามไฟฟ้า ตั้งแต่ Gauss's law ไปจนถึง Poisson equation (1)

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (1)$$

โดยในการวิจัยนี้ มีการศึกษาสนามไฟฟ้าที่เกิดจากอนุภาคที่มีประจุสองประเภท คือ อนุภาคมีประจุที่ถูกกระจายตัวในลักษณะแบบ uniform และแบบ gaussian โดยในเบื้องต้นจะทำการศึกษาจากกรณีที่ไม่มีการขอบเขต โดยสมการที่ใช้อธิบายสนามไฟฟ้าจากอนุภาคมีประจุที่กระจายตัวในรูปแบบ uniform คือสมการที่ตัดแปลงมาจาก Gauss's law โดยสามารถเขียนออกมา ได้ดังนี้

$$E_{x_{\text{circ}}} = \begin{cases} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 R^2} x & \text{if } |x| \leq R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 x} & \text{if } |x| \geq R \end{cases} \quad (2)$$

ส่วนในกรณีของอนุภาคมีประจุที่กระจายตัวแบบ Gaussian ใช้สมการที่มีต้นแบบมาจาก Poisson's equation โดยสามารถเขียนออกมา ได้ดังนี้

General analytic approach:

$$E_{x_{\text{Gauss}}} = -\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \times x \times \int_0^\infty \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2+t} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2+t}\right)}{(\sigma_x^2+t)\sqrt{(\sigma_x^2+t)(\sigma_y^2+t)}} dt \quad (3)$$

Round beams $\sigma_x = \sigma_y$:

$$E_{x_{\text{Gauss}}} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r^2} \cdot x \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)\right) \quad (4)$$

โดยสมการที่ (3) นั้นเป็นสมการที่วิเคราะห์โดยตรงและค่อนข้างที่จะซับซ้อน อย่างไรก็ตาม หากเราพิจารณาเฉพาะในกรณีที่ x และ y มีขนาดเท่ากัน หรือก็คือมีรูปร่างเป็นลักษณะวงกลม จะทำให้ได้สมการที่เรียบง่ายขึ้นดังที่แสดงในสมการที่ (4)

นอกจากนี้ ในกรณีที่ x และ y มีค่าไม่เท่ากัน จะต้องมีการคิดสมการที่รองรับกรณีนี้ขึ้นมา ซึ่งในที่นี้คือสมการ Basetti-Erskine formula (5) ที่ซึ่งมีการนำ Faddeeva function (6) ช่วยในการคำนวณ โดยสมการมีรูปดังนี้

Basetti-Erskine equation approach:

$$E_y + iE_x = -\frac{\lambda}{2\epsilon_0 \sqrt{2\pi(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \left[w\left(\frac{x+iy}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}}\right) - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times w\left(\frac{x\left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x}\right) + iy\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_y}\right)}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}}\right) \right] \quad (5)$$

$$w(z) = \exp(-z^2) \left[1 + \frac{2i}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt \right], \quad (6)$$

ในการทดลองนี้เราใช้สมการเหล่านี้ในการคำนวณสนามไฟฟ้า และใช้ PyPIC ที่ถูกพัฒนาโดยนักวิจัยจาก CERN และ GSI โดยถูกใช้เพื่อการคำนวณสนามไฟฟ้าด้วยเทคนิค numerical เพื่อทำการเปรียบเทียบ

ผลของสนามไฟฟ้าจากทั้งทฤษฎี (คำนวณจากสมการ) และจากการจำลองด้วย PyPIC ด้วยเทคนิคที่เรียกว่า Finite Difference (PIC_FD) ซึ่งเป็นหนึ่งใน numerical technique ทั้งนี้ ในกรณีที่มีขอบเขต มีเพียงแค่การใช้ PIC_FD เพราะยังไม่มีวิธีการคิดค้นสมการที่จะนำมาใช้ในการคำนวณที่พิจารณาขอบเขต งานวิจัยนี้จึงเป็นเสมือนจุดริเริ่มของการก้าวเข้าสู่การพิจารณาขอบเขต

4. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

Distribution type:	uniform	Gaussian round	Gaussian elliptic
Free space	analytic	analytic	analytic
Closed boundary		PIC FD	

analytic = fast computation

PIC FD = slow computation

สำหรับกรณีที่ไม่มีขอบเขต (Free space) เราเปรียบเทียบผลจากสมการวิเคราะห์ กับ numerical technique พบว่าการกระจายของอนุภาคที่มีประจุแบบสม่ำเสมอ พบว่าผลของสนามไฟฟ้านั้นมีค่าที่เหมือนกัน ในขณะที่การกระจายตัวแบบเกาส์เซียนนำเสนอความท้าทายในการคำนวณอันเนื่องมาจากสมการอินทิกรัลที่ซับซ้อน เราจึงพิจารณาการกระจายแบบวงกลม หรือซิกม่าของการกระจายตัวบนแนว x และ y มีค่าเท่ากัน ซึ่งคือการใช้สมการ Basseti-Erskine ซึ่งพบว่าผลการทดลอง ก็ยังคงรักษาความสอดคล้องจาก numerical technique และจากการวิเคราะห์ด้วยสมการ

ในกรณีของการมีขอบเขต (Closed boundary) เราพิจารณากรณีที่อนุภาคมีประจุที่มีการกระจายตัวทั้งสองแบบอยู่ที่กึ่งกลาง และขยับขึ้นในแนวแกน y โดยพิจารณาผลลัพธ์จาก numerical technique ซึ่งชี้ให้เห็นชัดเจนว่าเมื่อประจุไม่ได้อยู่ที่จุดกึ่งกลาง ขอบเขตนั้นมีผลต่อสนามไฟฟ้า

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ประเด็นสำคัญประการหนึ่งจากการศึกษาของเราก็คือ แม้ว่าเทคนิค Finite Difference (FD) จะละเอียดถี่ถ้วน แต่ก็ใช้เวลาในการคำนวณเช่นกัน ดังนั้น ความพยายามในอนาคตอาจมุ่งเน้นไปที่การหาสูตรกึ่งวิเคราะห์ที่คล้ายกับสูตร Basseti-Erskine แต่ปรับแต่งให้คำนึงถึงขอบเขตด้วย

2.2 ประสบการณ์การทำงาน

หัวข้อฝึกงาน : Evolution of activity during and after the implantation of radioactive ions

(การเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสีของไอออนกัมมันตรังสี ใน PMMA phantom)

จัดทำโดย นางสาวนันทนา มนต์คาถา (แอปเปิ้ล)

1. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสีของการถ่ายภาพรังสีด้วยโพซิตรอน (Positron Emission Tomography : PET) ในการฉายไอออนกัมมันตรังสีของไอโซโทป ออกซิเจน (Oxygen Isotopes) ได้แก่ ^{15}O และ ^{14}O ผังเข้าไปใน PMMA phantom (homogeneous polymethyl methacrylate phantom)

2. ที่มาและความสำคัญ

การรักษามะเร็งถือเป็นหนึ่งในความท้าทายในทางการแพทย์ เป็นการรักษาที่มีความยากและซับซ้อน เนื่องจากมะเร็งมักมีลักษณะที่หลากหลายและต้องการการรักษาที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันมีการพัฒนาและค้นคว้าวิธีการรักษามะเร็งอย่างกว้างขวางและเริ่มมีการใช้วิธีการรักษาด้วยอนุภาคโปรตอน (Proton Beam Therapy) และไอออนหนัก (Heavy Ion Therapy) ซึ่งเป็นเทคนิคการรักษาที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการรักษาและลดความเสียหายแก่เนื้อเยื่อรอบข้างในร่างกายของผู้ป่วย เนื่องด้วยคุณลักษณะพิเศษที่เรียกว่า Bragg's Peak คือให้ปริมาณสูงสุดบริเวณนั้น เหมาะสำหรับการใช้ในการรักษาก่อนมะเร็งที่ตั้งอยู่ลึกและไม่สามารถผ่าตัดได้ รวมถึงไม่ต้องการให้รังสีผ่านไปกระทบอวัยวะอื่นๆ วิธีการรักษานี้ เริ่มนิยมมากขึ้นในประเทศต่าง ๆ ในโลก แต่อย่างไรก็ตามในประเทศไทย ยังไม่ได้รับความนิยมนหรือใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่มีความสนใจและความตั้งใจในการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ ถึงแม้วิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพในการรักษา แต่ยังคงมีปัญหาใหญ่เกี่ยวกับระบบภาพนำวิถี (Image-guided system) ที่ไม่คอยแม่นยำมากนัก ซึ่งระบบภาพนำวิถีคือการถ่ายภาพรังสีของผู้ป่วย ขณะที่นั่งนอนอยู่บนเตียงในห้องฉายรังสี เพื่อคอยติดตามความเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ขนาดและตำแหน่ง ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากการที่อวัยวะในร่างกายมีการเคลื่อนไหวในขณะที่หายใจ เช่น ปอด, ตับ และ ต่อมลูกหมาก เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่แม่นยำและลดประสิทธิภาพของการรักษามะเร็งลง จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาวิธีใหม่ในการสร้างระบบภาพที่แม่นยำขึ้นสำหรับการรักษานี้

ในปี 2020 สถาบันไอออนหนักจีเอสไอ ได้ริเริ่มโครงการ BARB (www.gsi.de/BARB) ที่งานวิจัยมุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ภายใต้หัวข้อ “ Preclinical validation of real-time beam visualization in heavy ion therapy using positron- emitting isotopes” ในห้องทดลองที่เรียกว่า The Fragment Separator (FRS) โดยหลักการคือการใช้ลำไอออนที่เป็นกัมมันตรังสี (Radioactive beams) ซึ่งเมื่อสลายตัวจะปลดปล่อยโพซิตรอน (positron-emitting) ออกมา เพื่อศึกษาภาพจากเครื่อง PET ที่เป็นการถ่ายภาพรังสีด้วยโพซิตรอน ในการฉายไอออนกัมมันตรังสีของไอโซโทปคาร์บอน (Carbon Isotopes)

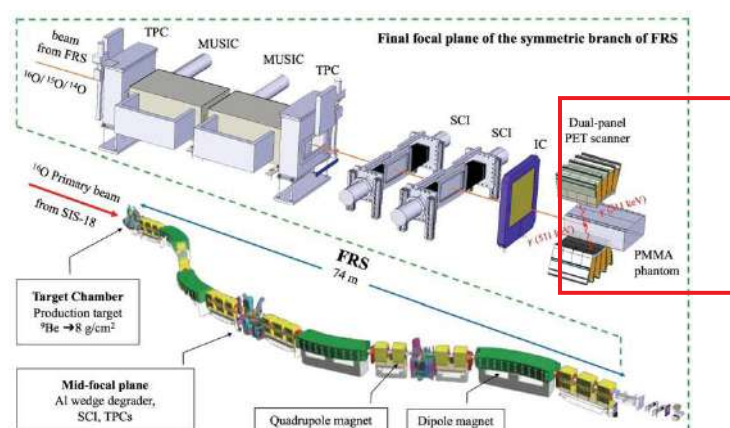
ได้แก่ ^{10}C และ ^{11}C และ ออกซิเจน (Oxygen Isotopes) ได้แก่ ^{15}O และ ^{14}O หรือเรียกไอโซปเหล่านี้ว่า ตัวปล่อยโพซิตรอน (positron emitters)

ในทำนองเดียวกันนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสีของการถ่ายภาพรังสีด้วยการปล่อยโพซิตรอน (Positron Emission Tomography : PET) ในการฉายไอออนกัมมันตรังสีของไอโซโทปออกซิเจน (Oxygen Isotopes) ได้แก่ ^{15}O และ ^{14}O เข้าสู่ PMMA phantom (homogeneous polymethyl methacrylate phantom, $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) ที่มีความหนาแน่น 1.18 g/cm^3 เพื่อให้เข้าใจโปรไฟล์กัมมันตภาพรังสี (activity profile) และกำหนดความไม่แน่นอนให้กับข้อมูลช่วงที่ได้รับ ดังนั้นการทราบการมีส่วนร่วมเชิงสัมพัทธ์ (Relative contributions, R) ของตัวปล่อยโพซิตรอน (positron emitters) จึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีที่จะประเมินและคำนวณการมีส่วนร่วมจากตัวปล่อยโพซิตรอนที่แตกต่างกันคือ การศึกษาวิวัฒนาการของเวลาของโปรไฟล์กัมมันตภาพรังสีโดยรวม และการแยกส่วนการมีส่วนร่วมของแต่ละตัวปล่อยโพซิตรอน

3. ทฤษฎีและหลักการทำงาน

3.1 The Fragment Separator (FRS)

FRS ที่ GSI เป็นสถานที่ทำการทดลองที่ควบคุมและจัดการการเข้ามาของ ลำไอออนทุติยภูมิ (secondary ion beam) ซึ่งในงานนี้ได้สนใจในการทดลองของ ^{15}O และ ^{14}O โดยเป็นไอออนกัมมันตรังสีที่ปลดปล่อยโพซิตรอนดังกล่าว ถูกผลิตขึ้นจาก Projectile fragmentation ของลำไอออนปฐมภูมิ ^{16}O (primary ion beam) โดยลำไอออนปฐมภูมินี้ ถูกเร่งมาจากเครื่องอนุภาค SIS-18 จากนั้นจะเข้าไปกระทบเป้า เบอริลเลียม (beryllium product, ^9Be) ที่ทางเข้าของ FRS จึงทำให้เกิดไอออนทุติยภูมิดังกล่าว ซึ่งแสดงดังภาพที่ 1



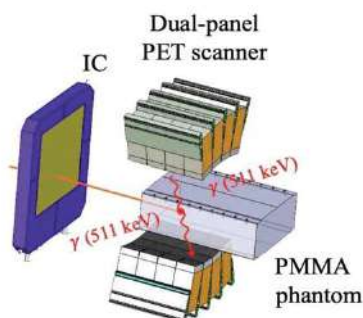
ภาพที่ 1 แผนผังของห้องทดลองของ The Fragment Separator (FRS)

โดยขอบเขตของการศึกษานี้จะอยู่ในช่วงสุดท้ายของห้องทดลอง FRS ซึ่งเรียกว่า Final focal plane of the symmetric branch of FRS แสดงได้ดังกรอบที่มีลักษณะเป็นเส้นปะสีเขียว จากรูปจะเห็นได้ว่าช่วง

สุดท้ายนี้จะมีลำไอออนที่เป็นไอโซโทปของออกซิเจน (oxygen) เข้ามาได้แก่ ^{16}O , ^{15}O และ ^{14}O ที่ได้จาก FRS ผ่านเข้าไปยังเครื่องมือต่าง ๆ เช่น time projection chambers (TPC), ionization chambers (MUSIC), Plastic scintillators (SCI) และ ionization chamber (IC) ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้จะช่วยวัดคุณสมบัติของลำไอออนขณะเดินทางผ่าน เช่น energy deposition, magnetic rigidity ($B\rho$) และรวมถึง SCI ที่ถูกติดตั้งสองอุปกรณ์ เพื่อวัดความแตกต่างของเวลา (time of flight, TOF) การวัดเหล่านี้ยังสามารถนำไปคาดการณ์คุณสมบัติอื่น ๆ ได้ จนถึงช่วงสุดท้ายก่อนลำไอออนเข้าสู่ PMMA phantom จะถูกวัดความเข้มของลำไอออนด้วยเครื่องมือ IC ซึ่งในระหว่างบนและล่างของ PMMA phantom จะมีเครื่องเพท (Positron emission tomography, PET) ที่ช่วยตรวจจับคู่ของรังสีแกมมาเพื่อสร้างภาพถ่ายรังสี โดยจะอธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป

3.2 Positron emission tomography (PET) based range verification

โดยทั่วไปเครื่องเพท (Positron Emission Tomography: PET) เป็นเครื่องมือตรวจวินิจฉัยชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ถ่ายภาพรังสีที่เปล่งออกมาจากผู้ป่วย เพื่อดูความผิดปกติของอวัยวะและเนื้อเยื่อในร่างกาย แต่สำหรับในงานนี้ อาศัยการใช้ลำไอออนของตัวปล่อยโพซิตรอนที่มีค่าครึ่งชีวิตสั้น (short half-life) ซึ่งตำแหน่งกัมมันตภาพรังสีสูงสุดของ PET จะวางแนวใกล้กับ Bragg peak และ ตัวปล่อยโพซิตรอนเหล่านี้มีการปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสี (activity) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นจะทำให้เกิดการปลดปล่อยกัมมันตภาพรังสีอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ เครื่องเพท มีการตรวจวัดและถ่ายภาพรังสีได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2 แสดง ลำไอออนขณะเคลื่อนที่ผ่านเครื่องมือ IC และเข้าสู่ phantom

ในขณะที่ลำไอออนผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อของผู้ป่วย ซึ่งการทดลองนี้ใช้ PM Phantom (1.18 g/cm^3) แทนการใช้เนื้อเยื่อดังกล่าว ทั้งลำไอออนที่ผ่านเข้าไปและนิวเคลียสของอะตอมในเนื้อเยื่อนั้น จะเกิดปฏิกิริยาที่เรียกว่า nuclear fragmentation ซึ่งทำให้เกิด projectile fragmentation และ target fragmentation โดยบางส่วนของที่เกิเกิดขึ้นจากทั้งสองส่วนนี้คือ ตัวปล่อยโพซิตรอน (positron emitters) คือเมื่อสลายตัวจะให้อนุภาคบีตาบวก β^+ หรือโพซิตรอนออกมา โดยความแตกต่างของสอง fragmentation นี้คือ projectile fragmentation จะยังคงมีความเร็วและทิศทางในการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไป แต่อย่างไรก็ตามภาพรวมของ

กัมมันตภาพรังสีที่เกิดขึ้นจะมาจากทั้งสองส่วนนี้ที่มีการซ้อนทับกัน

เมื่อโพซิตรอนที่ปล่อยออกมาชนกับอิเล็กตรอนที่อยู่ใกล้เคียงใน phantom จะทำให้เกิดการประลัยอิเล็กตรอน-โพซิตรอน (Electron-positron annihilation) คือการเกิดโฟตอนรังสีแกมมา (gamma) ที่มีพลังงาน 511 keV ที่ทั้งสองมีทิศทางตรงกันข้าม จากนั้น PET จะทำการตรวจจับการเกิดของคู่อิเล็กตรอน-โพซิตรอนที่เกิดจากการประลัยนี้

3.3 การสลายตัวของกัมมันตรังสี (Radioactive decay)

การสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี (Activity; A) จะแปรผันโดยตรงกับจำนวนอะตอม (N) ณ ขณะเวลา (t) ใด ๆ

$$A(t) = \frac{dN}{dt} = -\lambda N(t), \quad (1)$$

$$N(t) = N_0 \text{Exp}[-\lambda t], \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

เมื่อ $N(t)$ คือจำนวนนิวไคลด์หรืออะตอมที่เวลา t ใด ๆ

N_0 คือจำนวนนิวไคลด์หรืออะตอมที่เวลาเริ่มต้น t_0

$T_{1/2}$ คือ คาครึ่งชีวิต

t คือ ช่วงระยะเวลาที่นิวไคลด์เกิดการสลายตัว

λ คือ ค่าคงที่การสลายตัว

พฤติกรรมของการสลายตัวของกัมมันตภาพรังสีที่เสถียรโดยการฉายรังสีสามารถแสดงได้ด้วยสมการเชิงอนุพันธ์

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N + R = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} N + R \quad (2)$$

โดยที่ R คือ implantation rate เมื่อ $N(t = 0) = 0$ ซึ่งหมายความว่าไม่มีนิวเคลียสกัมมันตรังสีอยู่ก่อนการฉายรังสี จะได้ผลเฉลยของการแก้สมการเชิงอนุพันธ์คือ

$$N(t) = R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \text{Exp} \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right) \quad (3)$$

ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราการสลายตัวของกัมมันตรังสีดังนี้

$$A(t) = R \left(1 - \text{Exp} \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right) \quad (4)$$

พฤติกรรมของการสลายตัวของกัมมันตรังสี ทั้งระหว่างการสะสมผ่านการฉายรังสี ($t < t_{irr}$) และหลังจากสิ้นสุดการฉายรังสี ($t \geq t_{irr}$) ที่ผ่านเข้าไป PM phantom, ซึ่งอธิบายโดยสมการต่อไปนี้

$$A(t) = \begin{cases} R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \text{Exp} \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right), & t < t_{irr} \\ R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \text{Exp} \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_{irr} \right] \right) \text{Exp} \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} (t - t_{irr}) \right], & t \geq t_{irr} \end{cases} \quad (5)$$

4. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของกัมมันตภาพรังสี ในงานนี้จะใช้สมการที่ 1 และ 5 โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยของ **Purushothaman et al** โดยรายละเอียดเบื้องต้นของข้อมูลนี้จะแสดงอยู่ในภาคผนวกของรายงาน B ตามที่หัวข้อที่ 3.2 ได้กล่าวถึง projectile fragmentation และ target fragmentation ซึ่งบางส่วนที่เกิดขึ้นจากทั้งสอง fragments นี้คือ ตัวปล่อยโพซิตรอน (positron emitters) และเนื่องจากองค์ประกอบของ PM Phantom (target) คือ $C_5H_8O_2$ โดยที่ คาร์บอน (Carbon ,C) คือ ^{12}C และ ออกซิเจน (Oxygen , O) คือ ^{16}O เมื่อพิจารณา projectile fragments ของลำไอออน ^{14}O จะให้ไอโซปที่เป็นไปได้ ตัวอย่างเช่น ^{13}O แต่มีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นเกินไป และ ^{13}N ที่อาจตรวจวัดเจอได้

นอกจากนี้องค์ประกอบของ C ใน target มีจำนวนมาก ซึ่งเป็นไปได้ที่จะให้ ^{11}C เป็น target fragmentation เช่นเดียวกับลำไอออน ^{15}O และถ้าพิจารณา projectile fragments ของ ^{15}O จะมีไอโซปที่เป็นไปได้ เช่น ^{14}O และ ^{13}N นอกจากนี้ยังมีไอโซโทปอื่น ๆ ที่อาจเป็นไปได้ แต่ PET ไม่สามารถตรวจวัดได้ และคาดว่าจะพบ ^{11}C และ ^{15}O ที่มาจาก target จากการพิจารณาข้างต้นคาดการณ์ว่าจะพบไอโซโทปที่เป็นตัวปล่อยโพซิตรอนที่สามารถตรวจวัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

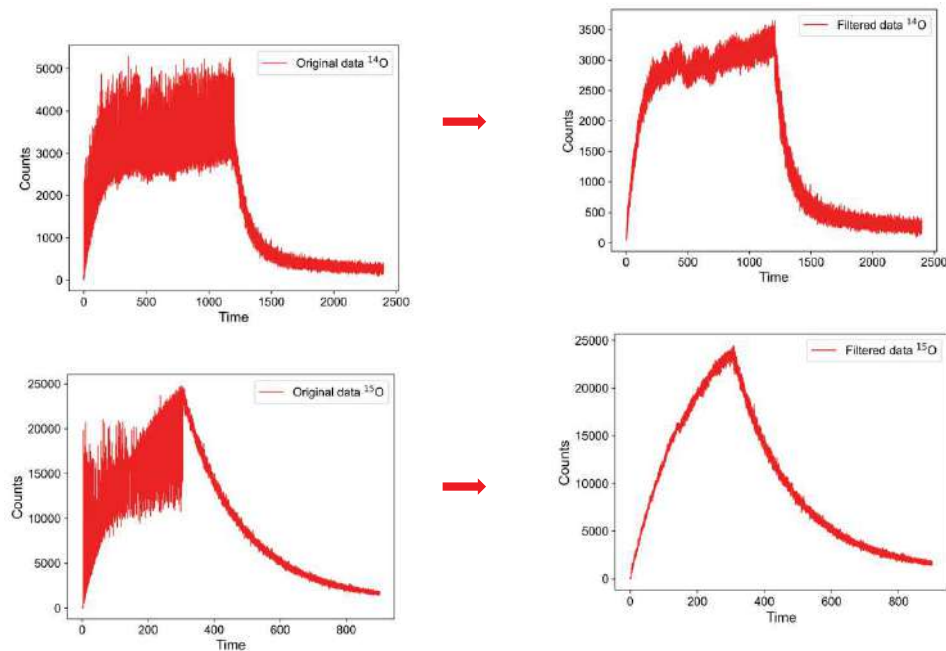
Isotope	half-life [s]
^{15}O	122.24
^{14}O	70.606
^{13}N	597.9
^{11}C	1221.8
^{10}C	19.29

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าครึ่งชีวิต ($T_{1/2}$) ของไอโซปที่เป็นตัวปล่อยโพซิตรอน

4.1 การกรองข้อมูล

จากข้อมูลงานวิจัยของ **Purushothaman et al** เมื่อนำมาพล็อตกราฟจะถูกแบ่งเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกคือช่วงที่ลำไอออนกัมมันตรังสีสะสม (accumulation) ผ่านเข้าไปใน phantom และอีกช่วงคือช่วงที่ไอออนเหล่านี้เกิดการสลายตัว (decay) จากภาพดังกล่าวจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกมีความยากในการหาเส้นโค้งที่เหมาะสม (curve fitting) แสดงได้ดังภาพที่ 5 แต่ในช่วงที่สองนี้สามารถใช้สมการที่ 1 ในการหาเส้นโค้งที่เหมาะสมได้ทันที ในงานนี้จะจึงแก้ปัญหาในส่วนแรกโดยใช้การกรองแบบมัธยฐาน (median filter) ซึ่งเป็น

เทคนิคในการกรองเพื่อลบจุดรบกวน หรือสัญญาณที่ไม่ต้องการออกจากภาพหรือสัญญาณ และยังคงรักษาขอบของสัญญาณหรือภาพขณะที่ลบจุดรบกวนเหล่านั้น เมื่อทำการกรองข้อมูลดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 5 ดังด้านล่างนี้



ภาพที่ 3 แสดงข้อมูลก่อนการกรองและหลังการกรองของลำไอออน ^{15}O และ ^{14}O

4.2 การหาเส้นโค้งที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูล (curve fitting)

4.2.1 การหาเส้นโค้งที่เหมาะสมสำหรับในช่วงการสลายตัว

จากกราฟข้างต้นในหัวข้อ 4.1 โดยข้อมูลดังกล่าวเป็นการรวมกันและซ้อนทับของกัมมันตภาพรังสีในแต่ละตัวปล่อยโพซิตรอน (positron emitters) ที่ตรวจวัดได้ เพื่อที่จะแยกตัวปล่อยโพซิตรอนในแต่ละไอโซโทปนี้ ดังนั้นจึงใช้ฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (*exponential function*) ที่แสดงถึงการสลายตัวในสมการ (1) ในการหาเส้นโค้งจากสมการข้างต้นให้สอดคล้องกับข้อมูลจากทดลอง ซึ่งจะสามารถประมาณค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น A_0 และแยกอัตราการนับ (count) ของแต่ละไอโซโทปได้ จากนั้นจึงทำการพล็อตกราฟ กระบวนการนี้ใช้การเขียนโค้ดโปรแกรมภาษา Python โดยเรียกใช้ไลบรารี (*library*) ได้แก่ pandas, numpy, matplotlib, และ scipy.optimize เริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าคงที่สำหรับครึ่งชีวิต ($T_{1/2}$) ของไอโซโทปต่าง ๆ (ดังตารางที่ 1) ข้อมูลถูกอ่านจากไฟล์ Excel ที่มีข้อมูลเวลา (t) และอัตราการนับ (count) นอกจากนี้ข้อมูลส่วนที่เหลือถูกพล็อตในสองพล็อตย่อยที่แสดงความแตกต่างระหว่างข้อมูลการทดลองและการหาเส้นโค้งตามสมการดังกล่าว และการวิเคราะห์นี้ไม่ได้พิจารณาไอโซโทปบางชนิด เนื่องจากอัตราการนับเริ่มต้นต่ำและค่าครึ่งชีวิตที่สั้นเกินไป

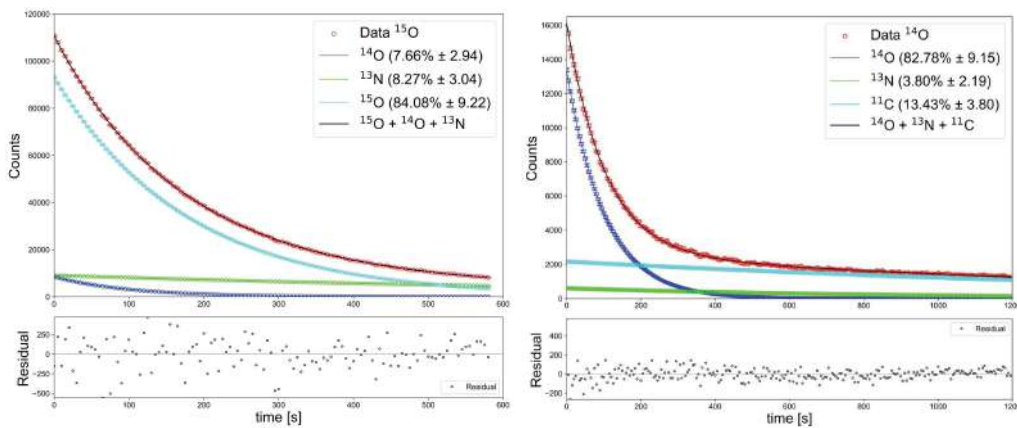
4.2.2. การหาเส้นโค้งที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองช่วง

ในขั้นตอนนี้ใช้กระบวนการเดียวกันกับหัวข้อ 4.2.1 แต่พิจารณาทั้งสองช่วงและใช้ข้อมูลที่ผ่านกระบวนการกรองในหัวข้อ 4.1 โดยช่วงแรกคือช่วงที่ลำไอออนกัมมันตรังสีสะสม (accumulation) และอีก

ช่วงคือช่วงที่ไอออนเหล่านี้เกิดการสลายตัว (decay) ใน PM phantom ทั้งสองช่วงนี้ใช้สมการที่ (5) ในหาเส้นโค้งที่เหมาะสม และสามารถหาค่าพารามิเตอร์ R ที่แตกต่างกันได้

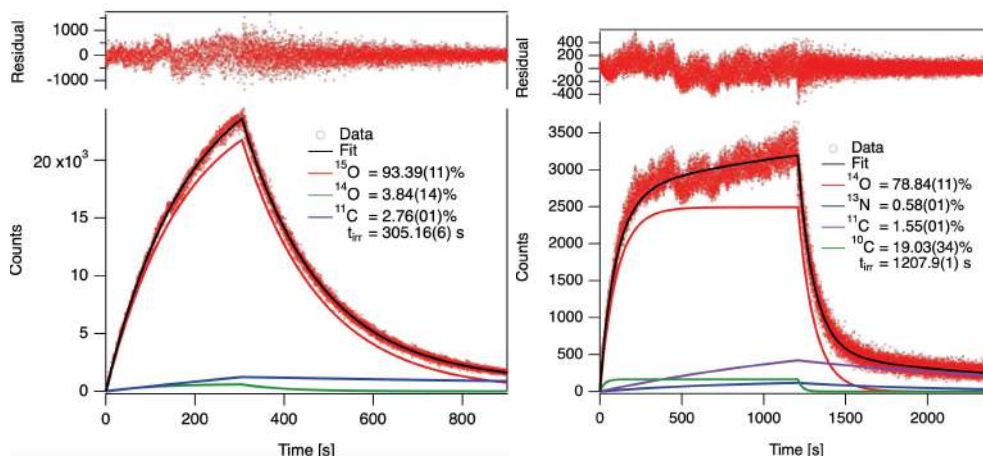
5. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ผลการทดลองในช่วงการสลายตัวของไอออนกัมมันตรังสี



กราฟที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงการสลายตัวของกัมมันตรังสีจากลำไอออน ^{15}O และ ^{14}O

5.2 ผลการทดลองในช่วงไอออนกัมมันตรังสีสะสมและช่วงที่ไอออนเกิดการสลายตัว



กราฟที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงการสะสมและการสลายตัวของกัมมันตรังสีจากลำไอออน ^{15}O และ ^{14}O

จากกราฟผลการทดลองข้างต้น สำหรับการตรวจวัดนี้ มีเพียงคู่ของแกมมาที่มีพลังงาน 511 keV เท่านั้น ที่สามารถตรวจวัดได้ เนื่องจากขีดจำกัดการทำงานของเครื่อง PET เช่น geometry และ sensitivity อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้สามารถแสดงสัดส่วนของตัวปล่อยโพซิตรอนที่เกิดขึ้นได้ โดยแสดงได้ดังตารางที่

เมื่อไอออนกัมมันตรังสี ^{15}O และ ^{14}O ขณะเข้าสู่ PM Phantom ซึ่งจะทำให้เกิด projectile และ target fragment ที่เบากว่า นั่นคือไอโซโทปหรือตัวปล่อยโพซิตรอน สำหรับลำไอออน ^{15}O มีไอโซโทปที่สามารถตรวจวัดได้จากเครื่อง PET ได้แก่ ^{15}O , ^{14}O และ ^{11}C และมีค่าที่แสดงการมีส่วนร่วมของตัวปล่อยโพซิตรอน (Relative fraction, R) ในแต่ละไอโซโทปเท่ากับ 93.39(11)%, 3.84(14)% และ 2.76(01)% ตามลำดับ และสำหรับ ^{14}O พบไอโซโทปที่ตรวจวัดได้ ได้แก่ ^{14}O , ^{13}N , ^{11}C และ ^{10}C โดยมีค่า R เท่ากับ 78.84(11) %, 0.58(01) %, 1.55(01) % และ 19.03(34) % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ^{11}C ตรวจวัดพบได้ทั้งสองไอออนกัมมันตรังสี ^{15}O และ ^{14}O ซึ่งคาดว่าตัวปล่อยโพซิตรอนนี้เป็น fragments ที่มาจาก target ดังนั้นตัวปล่อยโพซิตรอนส่วนใหญ่มาจาก projectile

Implanted isotope	Identifiable Isotopes	Relative fraction [%]
^{15}O	^{15}O	93.39(11)
	^{14}O	3.84(14)
	^{11}C	2.76(01)
^{14}O	^{14}O	78.84(11)
	^{13}N	0.58(01)
	^{11}C	1.55(01)
	^{10}C	19.03(34)

ตารางที่ 2 แสดงค่าสัดส่วนร่วม (Relative fraction, R) ในแต่ละไอโซโทป

จากกราฟการการสะสมและการสลายตัวของกัมมันตรังสีจากลำไอออน ^{14}O จะสังเกตเห็นได้ว่าความเข้มของลำไอออนมีความผันแปรและความไม่แน่นอน ซึ่งตรงข้ามกับ ^{15}O ที่มีความไม่แน่นอนเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ การศึกษานี้ได้จำลองว่าลำไอออนที่เข้าสู่ PM Phantom เป็นแบบต่อเนื่อง (continuous beam) แต่ในการทดลองจริงเป็นแบบพัลส์ (pulsing dynamics) ซึ่งในหนึ่งรอบของการฉายไอออนจะมีช่วงของ beam-off และ beam-on และรูปแบบของพัลส์นี้ ไม่ได้อยู่ในขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. เพื่อลดความไม่แน่นอนของข้อมูล ^{14}O ควรพิจารณาการในรูปแบบโครงสร้างของพัลส์ (pulse structure) และความผันแปรของความเข้มของลำไอออน (beam intensity fluctuations)
2. การปรับปรุงเพิ่มเติมในการวิเคราะห์ coincident event แยกพื้นที่อื่น ๆ กับพื้นที่รอบจุด Bragg จะเป็นวิธีการแก้ปัญหาในการแยก projectile และ target fragment ได้

บทที่ 3 บันทึกประสบการณ์ระหว่างเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน GSI

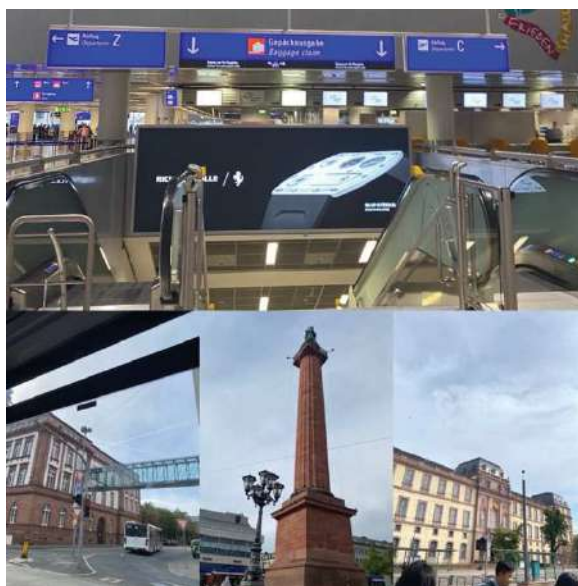
ในการเข้าร่วมกิจกรรมครั้งนี้ ผู้แทนประเทศไทยทั้งสองได้ทำการจดบันทึกประจำสัปดาห์ โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

1. นางสาวนันทนา มนต์คาถา

Chapter 1 : เส้นทางสู่ดาร์มสตัดท์

ณ ตอนเช้าเวลา 06.34 น. ของวันอาทิตย์ที่ 23 กรกฎาคม เป็นเวลาที่พวกเราถึงสนามบินแฟรงก์เฟิร์ต (Frankfurt Airport) โดยบินตรงจากสนามบินสุวรรณภูมิ (ไทย) - แฟรงก์เฟิร์ต (เยอรมัน) มีเพื่อนร่วมทางคือน้อง เยาวลักษณ์ หรือ “น้องมะเหมี่ยว” การเดินทางครั้งนี้มีความโชคดีมาก เนื่องจากพี่วีตรา จารุจินดา หรือ “พีพี้นซ์” ซึ่งเป็นนักศึกษาที่ได้เข้าร่วมโครงการ GSI/FAIR ปี 2562 ได้มารับที่สนามบิน จากนั้นออกเดินทางต่อโดยรถบัส ขณะเดินทางบังเอิญเจอเพื่อนร่วมทางที่ขึ้นรถบัสมาด้วยกัน นอกจากการทักทายแล้วได้พูดคุยกันในเรื่องต่าง ๆ พวกเรายิ้มและพูดคุยกันหัวเราะสนุกสนาน รู้สึกได้ว่าผู้คนที่นี้ อธิยาศัยดีและมีความเป็นมิตรมาก

เมื่อถึงซานซาลา จากนั้นขึ้นรถไฟมุ่งหน้าไปยังเมืองดาร์มสตัดท์ พร้อมทั้งสำรวจเมืองและบรรยากาศ การเดินทางครั้งนี้เป็นไปอย่างราบรื่น ดิฉันขอขอบคุณพีพี้นซ์เป็นอย่างมาก ที่พาเดินทางจนถึงที่พักของโรงแรม รวมถึงให้คำแนะนำการใช้ชีวิต การซื้อตั๋วรถบัสและรถไฟ พาไปซื้อของที่ร้านค้า และบอกเล่าวัฒนธรรมของผู้คนที่นี้ จึงทำให้รู้สึกไม่เหนื่อยและลำบากสำหรับการเริ่มต้นของสัปดาห์แรก



ภาพที่ 1 สนามแฟรงก์เฟิร์ต (ด้านบน) และเมืองดาร์มสตัดท์ (ด้านล่าง)

สัปดาห์ที่ 1 (24 ก.ค. – 30 ก.ค พ.ศ. 2566)

Chapter 2 : ตะลุยจีเอสไอ

เช้าวันแรกของสัปดาห์ ในขณะที่กำลังรอรถมารับที่หน้าโรงแรมเพื่อไปยังสถาบันจีเอสไอ ได้เจอเพื่อน ๆ ครั้งแรก มีการทักทายพูดคุย ทุกคนให้การต้อนรับที่อบอุ่นมาก ในช่วงเช้ามีการลงทะเบียนและเข้ากิจกรรม จากนั้นช่วงบ่ายเวลา 14.00 น. เริ่มแรกเป็นการบรรยายในหัวข้อ Accelerators: from the source to the target ขณะฟังบรรยายมีความตื่นเต้นมาก เนื่องจากเป็นวันแรก และในสวนกิจกรรมสุดท้ายของวันคือการพบปะกับตัวเตอร์ของตัวเอง ซึ่งเป็นที่ปรึกษางานวิจัยของแต่ละคน ในโครงการภาคฤดูร้อนนี้

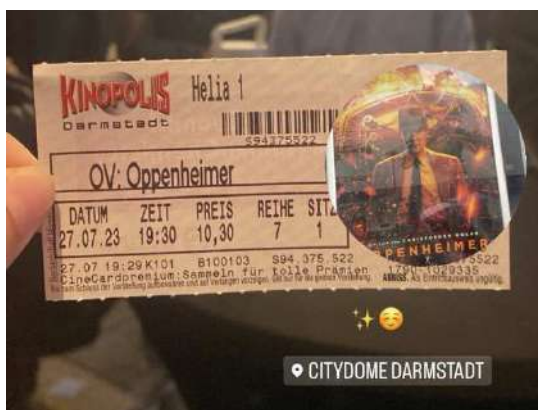
สัปดาห์นี้ส่วนใหญ่เป็นการบรรยาย แบ่งเป็นบรรยายเรื่องละ 1 ชั่วโมง 30 นาที และบางวันจะมีการสอนภาคปฏิบัติ ได้แก่ การ ฝึกใช้โปรแกรม ROOT เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้สอนใจดีมาก ช่วยในการติดตั้งโปรแกรมรวมทั้งพาเขียนโค้ดและพาทำแบบฝึกหัด นอกจากนี้ในแต่ละวันเมื่อบรรยายเสร็จก็ปิดท้ายด้วยการไปเยี่ยมชมห้องทดลองและเครื่องมือต่าง ๆ เช่น Ion source, UNILAC, Main control, Green Cube และ FAIR เป็นต้น ในระหว่างสัปดาห์นี้ได้ไปสำรวจห้องทำงานและห้องวิจัยของตนเอง รวมทั้งทำความรู้จัก เพื่อนร่วมงานที่ใจดีและเป็นกันเองมาก นั่งทำงานด้วยกันในห้องทำงานทั้งหมด 5 คน และตัวเตอร์ของฉันทันคือ Dr. Sivaji Purushothaman เป็นคนมีอารมณ์ขัน ขอบิ๊ยม ทำให้รู้สึกไม่เครียดและกดดัน พร้อมช่วยให้คำแนะนำและส่งงานวิจัยมาให้อ่านเพื่อเลือกหัวข้อวิจัยที่สนใจ สัปดาห์แรกรู้สึกผ่อนคลายและได้ปั่นจักรยานไปเที่ยวรอบเมือง



ภาพที่ 2 กิจกรรมของสัปดาห์ที่ 2

Chapter 3 : OPPENHEIMER (27 ก.ค. พ.ศ. 2566)

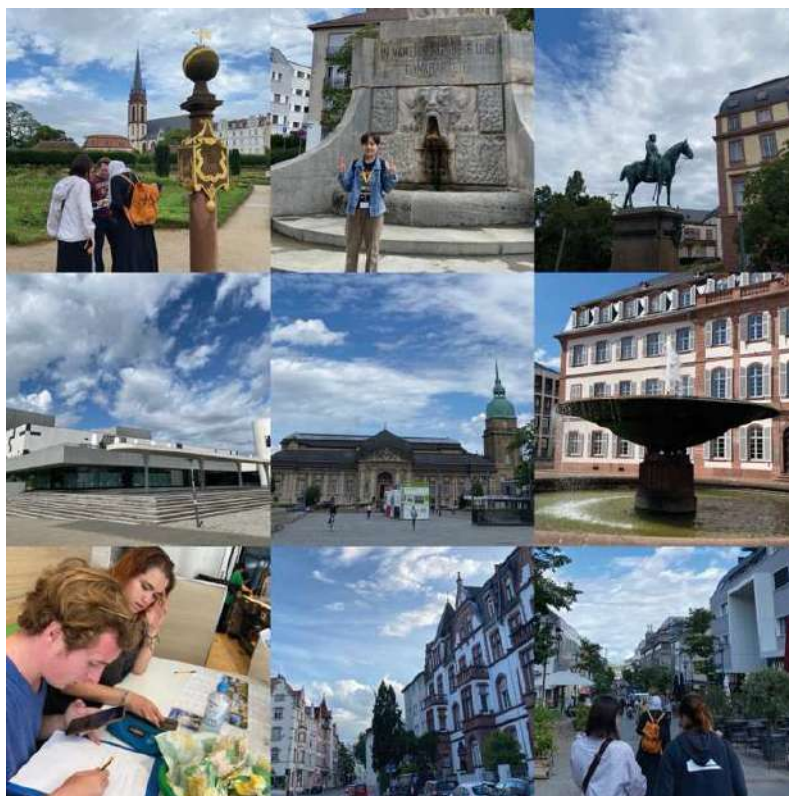
หากจะเอ่ยถึง “บิดาแห่งระเบิดปรมาณู” พวกเราคงนึกถึง J. Robert Oppenheimer ซึ่งกระแสในช่วงนี้ หนัง OPPENHEIMER ดังมากในต่างประเทศ รวมถึงประเทศไทยด้วย พวกเราจึงชวนกันไปดูที่ Citydome Darmstadt เป็นโรงหนังที่อยู่กลางเมือง ภายในโรงหนังมีผู้ชมเข้าไปดูเยอะมาก ขากลับมีตมมากและมีฝนตกปรอย ๆ แต่ก็กลับถึงโรงแรมอย่างปลอดภัย



ภาพที่ 3 ตั๋วหนัง OPPENHEIMER

Chapter 4 : ต้อนรับวันหยุดด้วย Pedestrian rally in Darmstadt (29 ก.ค. พ.ศ. 2566)

“Pedestrian rally” คือ กิจกรรมสำรวจเมืองและสถานที่ต่าง ๆ ที่สำคัญในตอนเช้าพวกเราไปเจอกันที่จุดนัดหมายในเมืองดาร์มสตัดท์ จากนั้นแบ่งกลุ่ม กลุ่มละประมาณ 5-6 คน ซึ่ง Dr. Ralf ผู้ดูแลกิจกรรม ได้มอบกระดาษคำถามให้พวกเราแต่ละกลุ่ม โดยให้เราหาคำถามจากการเดินเที่ยวรอบเมือง พร้อมทั้งได้พูดคุยและปรึกษาหาคำตอบกับเพื่อน ๆ ทำให้รู้จักและสนิทกันมากยิ่งขึ้น ก่อนจากลากิจกรรม กลุ่มของพวกเราได้แวะเข้าห้าง Luisencenter และได้ซื้อแต่งโมลูกโตเพื่อกลับไปกินด้วยกัน แต่อันที่จริงแล้ว เมื่อพวกเรากลับไปยังจุดนัดพบ บิงโกเดย์ เกมส์ช่อนหาแต่งโมและได้เขียนจดหมายทิ้งท้ายไว้ว่า “หากกลุ่มไหนหาเจอจะได้แต่งโมนั้นไป” แต่ท้ายที่สุด พวกเราหลายคนได้กินแต่งโมนั้นด้วยกันที่ร้านอาหารแห่งหนึ่งในใจกลางเมือง อย่างเอร็ดอร่อย



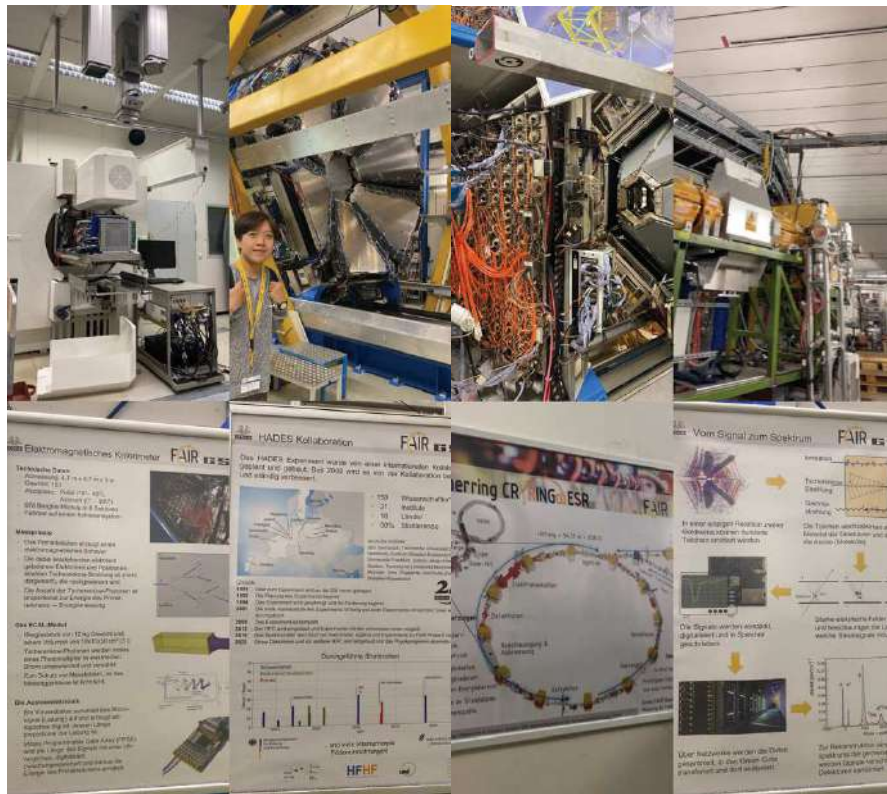
ภาพที่ 4 กิจกรรม Pedestrian rally

สัปดาห์ที่ 2 (31 ก.ค. 66 – 6 ส.ค. พ.ศ. 2566)

Chapter 5 : การเริ่มต้นอีกครั้ง

วันจันทร์ของสัปดาห์นี้มี Medical check โดยเป็นการตรวจสุขภาพ สอบถามวิเคราะห์โรคทั่วไป และตรวจเลือด เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพขณะทำงาน ในห้องวิจัยที่มีเครื่องมือ และสภาพแวดล้อมตามการทดลองนั้น ๆ ทั้งนี้สัปดาห์นี้มีการบรรยายเพียง 2 วันเท่านั้น วันอังคารมีการบรรยายหัวข้อเกี่ยวกับ Compressed Nuclear Matter (Dilepton & Strangeness Production) และ Hadron Physics with Anti-Proton I และอีกวันคือวันพุธในหัวข้อ Nuclear and Astrophysics I, Atomic Physics และ Materials Research ปิดท้ายด้วยการเยี่ยมชมสถานที่ห้องทดลองอีกครั้ง ได้แก่ Medical cave, CryRing & HADES ตลอดการเดินทาง เยี่ยมชมไปยังห้องทดลองต่าง ๆ พบเครื่องมือที่ทันสมัยและน่าทึ่งมาก แต่ละห้องทดลองมีการเชื่อมโยงกัน และใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย ทำให้รู้สึกว่าการเรามีความสนใจในด้านนั้น ๆ ยังคงมีงานวิจัยอีกหลายเรื่อง ให้ได้ศึกษา รวมทั้งก่อนมาโครงการนี้ ไม่ทราบมาก่อนว่ามีห้องทดลองวิจัยทางการแพทย์ ซึ่งหลังจากที่วิทยากรบรรยาย เครื่องมือเสร็จ มีการถามคำถามต่าง ๆ ด้วยความสงสัย เช่น ห้องทดลองทางการแพทย์ได้พาคณปว

มาทำการทดลองที่นี้หรือไม่ เครื่องมือชิ้นนี้ทำงานอย่างไร รวมทั้งแลกเปลี่ยนไอเดียกับวิทยากร นอกจากนี้สัปดาห์นี้มันัดถ่ายภาพหมู่ของนักศึกษาทั้งหมด ในโครงการนี้ด้วย



ภาพที่ 5 การเยี่ยมชมห้องทดลองในสัปดาห์ที่ 2

Chapter 6 : เพื่อนใหม่

สัปดาห์ที่ผ่านมาได้รู้จักเพื่อนใหม่ที่ชื่อว่า Görkem เป็นชาวตุรกี เขาเป็นคนใจดี มีอารมณ์ขันเฮฮาและอัธยาศัยดีมาก หลังจากตกทายได้ไม่นาน ได้ชวนกันมานั่งฟังบรรยายข้างกัน โดยปกติเมื่อเสร็จสิ้นกิจกรรมของวัน จากนั้นพวกเราจะปั่นจักรยานกับเพื่อนไปร้านค้าที่ชื่อว่า EDEKA Patschull เป็นซ็อบที่ใหญ่มากและมีของให้เลือกมากมาย เช่น เนื้อสด, อาหารแห้ง, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เครื่องครัว, ขนม และอื่น ๆ หลังจากซื้อเสร็จ ที่ประจำของพวกเราคือ ม้านั่งด้านข้างซ็อบ มักพูดคุยบอกเล่าเหตุการณ์ในแต่ละวันก่อนกลับโรงแรม

วันหนึ่งหลังจากกลับถึงที่พัก ตกเย็นได้มีการชวนไปทานมื้อเย็นกันในเมือง เป็นครั้งแรก ที่อยู่ในเมืองจนถึงตอนดึก สาเหตุเพราะเดินหลงทาง เนื่องจากพวกเรา เดินมาไกลมากถ้าเทียบ จากจุดที่ขึ้นรถบัสที่ Luisenplatz และเดินจนไปถึงสถานีรถไฟดาร์มสตัดท์ จากนั้นรีบซื้อตั๋วกลับอย่างรวดเร็ว โดยถึงที่พักอย่างปลอดภัย ภายในไม่ถึง 15 นาที เนื่องจากสถานีรถไฟดังกล่าว อยู่ห่างจากสถานีรถไฟที่ใกล้กับโรงแรม โดยใช้เวลาเดินทางเพียง 5 นาที

ในช่วงสัปดาห์นี้ได้เริ่มทำโปรเจ็ค เพื่อน ๆ มีการช่วยเหลือกันและกัน และช่วยกันติดตั้งโปรแกรม จิงรู๊สกีไม่โดดเดี่ยว นอกจากนี้ได้ไปเยี่ยมชมสวนสัตว์อัลปาก้าที่อยู่ใกล้ ๆ ที่พักอีกด้วย



ภาพที่ 6 กิจกรรมในสัปดาห์ที่ 2

สัปดาห์ที่ 3 (7 ส.ค. – 13 ส.ค. พ.ศ. 2566)

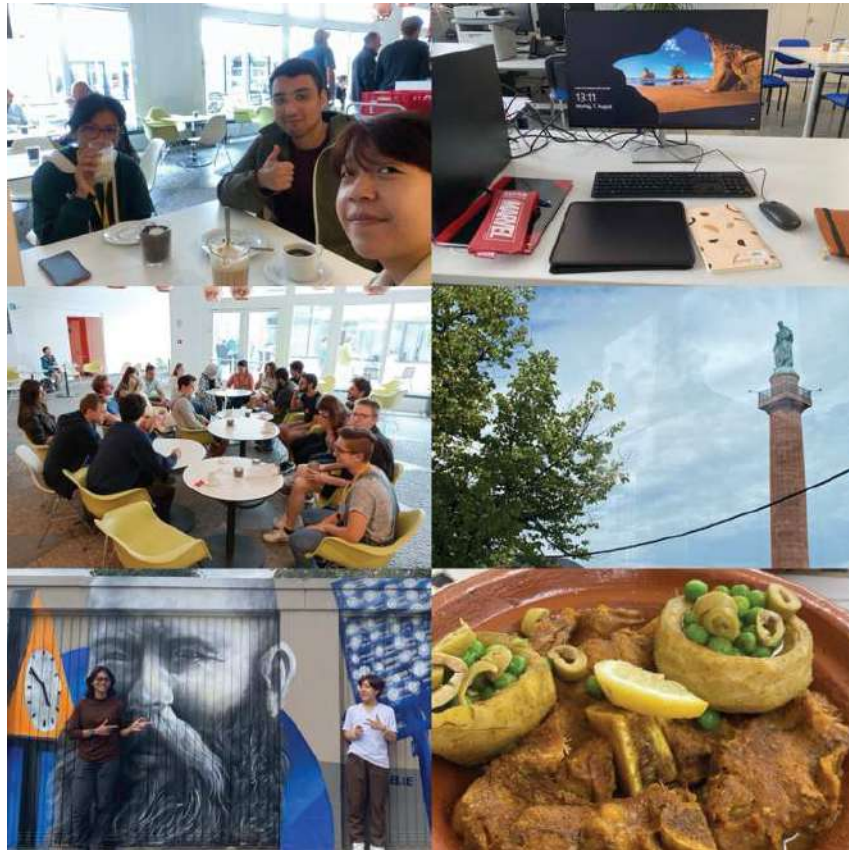
สัปดาห์นี้มีเพียงการบรรยายเนื้อหาแคว้นอังการเท่านั้น ในหัวข้อ Plasma Physics with Intense Ion & Laser Beams, Hadron physics with Anti-Proton II และ Nuclear Structure and Astrophysics III (Experiments at the ESR) และจากนั้นเวลาประมาณ 15.45 น. ได้ไปเยี่ยมชมห้องทดลอง FRS โดยได้เข้าไปสำรวจกับเพื่อน ๆ และติวเตอร์ตั้งแต่สัปดาห์แรกก่อนแล้ว ถือว่าเป็นการทบทวน และได้ฟังรายละเอียดเชิงลึกของการทดลองมากยิ่งขึ้น

Chapter 7 : เริ่มทำงานวิจัย (7 ส.ค. พ.ศ. 2566)

วันนี้เป็นวันแรกที่ฉันเข้าไปนั่งทำงานในห้องทำงาน โดยสัปดาห์ที่ผ่านมาได้ศึกษาเนื้อหาบางส่วนจากการอ่านเปเปอร์ตามที่ได้รับมอบหมายจากที่ติวเตอร์ ภายในห้องมีแสงส่องผ่านม่านทำให้บรรยากาศภายในสดใส โล่ง และไม่อึดอัด โดยมีเพื่อนอีก 4 คน และเจ้าหน้าที่อีก 1 ท่านที่ประจำอยู่ที่ห้องนี้ ฉันรู้สึกตื่นเต้นอีกเช่นเคย เพราะเป็นครั้งแรกของการนั่งโต๊ะทำงาน และได้เห็นความขยันตั้งใจทำงานของเพื่อน ๆ ในกลุ่มแลบ พอถึงตอนเที่ยงได้เดินลงมาทานข้าวพร้อมกันที่โรงอาหาร หลังจากนั้นพวกเราจะไปนั่งที่ร้านกาแฟ ซึ่งเป็นที่ประจำของพวกเราในยามเที่ยง

Chapter 8 : วันหยุดสุดสัปดาห์

วันสุดท้ายของสัปดาห์ ฉันและน้องมะเหมียวไปกินเลี้ยงขอบคุณพีพันธ์ ที่คอยช่วยเหลือเกื้อหนุนพวกเราที่ร้านอาหาร TAJINE MARRAKECH ซึ่งตั้งอยู่ในเมือง โดยเป็นร้านอาหารโมร็อกโกแท้ ๆ ค่อนข้างอร่อยและพนักงานบริการดีมาก หลังจากได้พูดคุยและบอกลาพีพันธ์ พวกเราได้นั่งรถบัสกลับช่วงระหว่างทางแอบแวะลงไปถ่ายรูปที่ Street art gallery นับว่าเป็นวันสุดท้ายของสัปดาห์ที่เยี่ยมมาก



ภาพที่ 7 กิจกรรมในสัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 4 (14 ส.ค. – 20 ส.ค. พ.ศ. 2566)

ในช่วงสัปดาห์ที่ผ่านมา ฉันได้เริ่มเขียนโครงร่างรายงานบางส่วน ซึ่งต้องส่งรีพอร์ตสัปดาห์ที่ 7 และในระหว่างสัปดาห์นี้ มีการบรรยายเกี่ยวกับการนำเสนองานในเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Presentations) และ การฝึกใช้ Latex สำหรับการเขียนรายงาน (Scientific Writing/ Latex Course) ในระดับเบื้องต้น โดยทางสถาบัน GSI มีรูปแบบของ Latex ที่เสร็จสมบูรณ์ให้เรียบร้อย แล้วจึงทำให้สะดวกมากยิ่งขึ้น

Chapter 9 : รายงานความก้าวหน้าของการทำวิจัย

สัปดาห์นี้ มีรายงานความคืบหน้าที่ห้องของติวเตอร์ นอกจากนี้ยังมี Zixin ซึ่งเป็นนักศึกษ.โท ปีที่ 3 จากแคนาดา คอยตรวจเช็คกราฟ พร้อมทั้งอธิบายในสิ่งที่ฉันสงสัย และจากการวิเคราะห์กราฟพบว่า อัตราการนับเริ่มต้น (initial count rate) ของ ${}^8\text{B}$ ต่ำเกินไป และมีค่าครึ่งชีวิตที่สั้นมาก เราจึงเลือกที่จะไม่พิจารณา ${}^8\text{B}$ ในรายงาน และเมื่อเสร็จในส่วนนี้ เราจึงได้เริ่มกระบวนการต่อไป

Chapter 10 : สนามกีฬา GSI (18 ส.ค. พ.ศ. 2566)

หลังจากฟังบรรยายเสร็จ พวกเรา Görkem, Yuyang, Rika และฉัน ซนกัน去玩วอลเลย์บอล ที่สนามกีฬาของ GSI โดยใช้เวลาปั่นจักรยานเพียง 5 นาทีจากสถาบัน ความพิเศษ ของที่นี่คือ นักวิจัย วิศวกร พนักงานทุกคน รวมไปถึงนักศึกษาที่มาทำงานวิจัยในสถาบัน GSI สามารถ เข้ามาเล่นที่นี่ได้ ทำให้ได้พบปะและรู้จักเพื่อนใหม่สาขาอื่น ๆ กว้างขึ้น นอกจากนี้ ที่นี่มีตู้เย็นขนาดใหญ่ที่บรรจุ น้ำดื่ม น้ำผลไม้ เบียร์ และน้ำประเภทอื่น ๆ เตรียมไว้ให้เลือกอีกมากมาย โดยในวันนั้นพวกเราเล่นวอลเลย์บอล ทีมละ 3 คน และอีกทีมเป็นนักศึกษาและนักวิจัยที่ บังเอิญมาเล่นวันเดียวกัน พวกเรายิ้มหัวเราะสนุกมาก เป็นอีกหนึ่งวันที่ประทับใจมาก



ภาพที่ 8 สนามกีฬา GSI

Chapter 11 : ทริปวันหยุดที่ Heidelberg (19 ส.ค. พ.ศ. 2566)

สำหรับวันหยุดสุดสัปดาห์ พวกเรา มะเหมียว, Görkem และฉัน ไปเที่ยวเมือง Heidelberg ซึ่งเป็นเมืองที่ใหญ่และถือว่าเป็นเมืองเก่าแก่มากในประเทศเยอรมัน โดยนั่งรถไฟไปใช้เวลาไม่มานาน ตื่นเต้นมากเพราะกลัวหลงทาง สุดท้ายก็ไปถึงที่นั่นอย่างราบรื่น และเดินอ้อมเมืองไปยัง สถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญหลายแห่งได้แก่ Heidelberg Castle, The Old Bridge, Heidelberg University (หนึ่งในมหาวิทยาลัยที่เก่าแก่ของยุโรป) ได้เห็นความงดงามและทิวทัศน์ของธรรมชาติ เพราะเมืองนี้ล้อมรอบด้วยภูเขาและแม่น้ำ พวกเราเดินอ้อมเมืองไปยังพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อชมความสวยงามและถ่ายรูปเก็บไว้เป็นบันทึกความทรงจำที่จะไม่มีวันลืม



ภาพที่ 9 ทริปวันหยุดที่เมือง Heidelberg

สัปดาห์ที่ 5 (21 ส.ค. – 27 ส.ค. 2566)

Chapter 12 : วันธรรมดาที่ไม่ธรรมดา

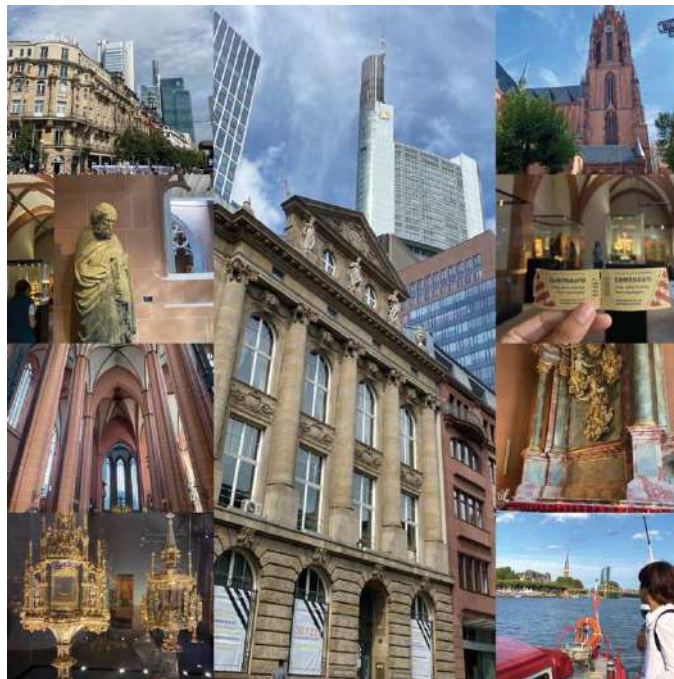
ตามตารางนั้น สัปดาห์ที่ 5-6 ไม่มีการบรรยายและกิจกรรมใด ๆ และอีกสองสัปดาห์จะต้องส่งรายงานวิจัย ดังนั้นจึงเป็นช่วงที่เราและเพื่อน ๆ ต้องเข้าไปสถาบันเกือบทุกวัน โดยปกติหลังเลิกงานพวกเราจะปั่นจักรยานไปจอดที่ป้ายข้างร้าน EDEKA Patschull และรอขึ้นรถบัสเข้าไปในเมืองซึ่งเดินทางสะดวกมาก ถือว่าระบบขนส่งของประเทศเยอรมันให้ความสะดวกสบายและมาตรงเวลามากไม่ต้องรอนาน ยิ่งไปกว่านั้นคือพวกเราซื้อตั๋วรายเดือนในราคา 50 ยูโร ที่สามารถขึ้นรถไฟหรือรถบัสประจำทางที่รอบก็ได้ไม่จำกัด ยกเว้นรถไฟที่วิ่งด้วยความเร็วสูงและรถบัสเฉพาะทางเท่านั้นพวกเราและน้องเพื่อนจึงชอบนั่งรถไฟไปในเมืองหรือต่างเมืองที่อยากไป

Chapter 13 : รายงานความก้าวหน้าของการทำวิจัย

สัปดาห์นี้ได้ทำการวิเคราะห์หาเส้นโค้งที่เหมาะสมของทั้งสองช่วงได้แก่ช่วงไอออนแก๊มมันตรังสีสะสมและช่วงที่ไอออนเกิดการสลายตัว โดยใช้กระบวนการเดียวกันเช่นเดียวกับพาร์ทแรก แต่ใช้สมการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ซึ่ง Zixin ได้ให้คำแนะนำสำหรับการเรียกใช้ไลบรารีและฟังก์ชันที่จำเป็นต้องใช้ในการเขียนโค้ด โดยปกติเมื่อเสร็จงาน ดิฉันจะรีบส่งให้ Zixin เพื่อช่วยตรวจเช็คความถูกต้องและส่งอีเมลรายงานความคืบหน้าก่อนที่จะนัดคุยงานกับตัวเตอร์ในตอนเที่ยงของวันถัดไป

Chapter 14 : สวัสดิ์วันหยุดสุดสัปดาห์

ส่วนวันหยุดสุดสัปดาห์นี้ พวกเราไปเที่ยวเมืองแฟรงก์เฟิร์ต (Frankfurt) ที่ตั้งอยู่ใกล้กับเมืองดัมชตัตต์ คราวนี้ไปกันสองคนกับมะเหมี่ยว โดยใช้เวลาเดินทางประมาณ 30 นาที ช่วงนี้มีจัดเทศกาลอยู่บ่อยครั้ง นอกจากการเดินเที่ยวชมบรรยากาศรอบเมือง ได้แวะเยี่ยมชมพิพิธภัณฑที่ชื่อว่า Frankfurt Cathedral หรือ the Imperial Cathedral of Saint Bartholomew เป็นโบสถ์ที่ใหญ่มาก โดยได้รับชื่อที่สองเนื่องจากพระบรมสารีริกธาตุที่เก็บไว้หลังกำแพง คือชิ้นส่วนหัวของเซนต์ บาร์โธโลมิว (St. Bartholomew) เชื่อกันว่ามีการอุปถัมภ์โบสถ์มาตั้งแต่ปี 1239 รวมทั้งภายในยังมีพิพิธภัณฑอีกด้วย โดยต้องซื้อตั๋วก่อนที่ทางเข้า และมีนักท่องเที่ยวเข้าไปเยี่ยมชมอย่างล้นหลาม ปิดท้ายด้วยการไปยืนชมวิวอันสวยงามข้างแม่น้ำไมน์ (Main river) บวกกับท้องฟ้าที่สว่างสดใส เสียงดังครึกครื้นไปด้วยผู้คนและเสียงเพลง เป็นอีกสัปดาห์ที่เดินรอบเมืองอย่างสนุกสนาน



ภาพที่ 10 ทริปวันหยุดที่เมืองแฟรงก์เฟิร์ต

สัปดาห์ที่ 6 (28 ส.ค. – 3 ก.ย. 2566)

Chapter 15 : สถานการณ์เริ่มตึงเครียด

สัปดาห์หน้าเป็นกำหนดการส่งรายงาน ตัวเตอร์ช่วยลิสต์หัวข้อที่สำคัญและช่วยวางโครงสร้างรายงาน เพื่อจัดระบบการเขียนรายงานให้ถูกต้องและเข้าใจง่าย รวมทั้งอธิบายเพิ่มเติม นอกเหนือจากเปเปอร์ที่ฉันได้อ่านในสัปดาห์ที่สอง จึงทำให้เห็นภาพและเข้าใจกระบวนการทดลองของแลบ FRS มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้อยากขอขอบคุณตัวเตอร์ และ Zixin ที่ช่วยคลายข้อสงสัย คอยให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอด 6 สัปดาห์ที่ผ่านมา

Chapter 16 : Ioni Summer Cup (1 ก.ย. 2566)

วันนี้มีการแข่งขันกีฬา “Ioni Summer Cup” ที่เป็นอีกหนึ่งกิจกรรมของโครงการที่จัดขึ้น โดยทุกคนสามารถลงแข่งได้ตามความสมัครใจ อีกทั้งบุคลากรของ GSI ที่สนใจสามารถลงแข่งได้ และเราสามารถไปเชียร์เพื่อน ๆ ระหว่างการแข่งขันได้ วันนี้เป็นที่สนุกสนาน รื่นเริงกันมาก



ภาพที่ 11 หลังจากการแข่งขันกีฬา “Ioni Summer Cup” สิ้นสุดลง

Chapter 17 เที่ยวครั้งสุดท้ายที่ Berlin (2 ก.ย. – 3 ก.ย. 2566)

วันนี้มีโอกาสไปเที่ยวที่เบอร์ลิน ซึ่งเป็นเมืองหลวงของประเทศเยอรมนี มีเพื่อนสมัยมัธยมชื่อ “โจ” รู้จักกันมาตั้งแต่พวกเราอยู่ม.ต้น เคยเรียนโรงเรียนเดียวกัน โดยเขาอาศัยและทำงานอยู่ที่นี่ สิ่งที่น่าสนใจและตื่นตาตื่นใจมากคือ โจเป็นไกด์นำทางพาเดินรอบเมือง พร้อมทั้งเล่าประวัติศาสตร์ของชาติ ที่ละเอียดมาก ลึกมากกว่าที่เคยเรียนในหนังสือ พร้อมทั้งได้เห็นภาพวิวและทิวทัศน์ ในแต่ละสถานที่ ขณะบรรยาย ซึ่งสถานที่สำคัญได้แก่ Humboldt-Universität (มหาวิทยาลัยที่เก่าแก่ที่สุดในกรุงเบอร์ลิน), Altes Museum, Lustgarten, Berlin Cathedral, Brandenburger Tor, Berlin Wall (กำแพงเบอร์ลิน), Checkpoint Charlie (เป็นจุดข้ามกำแพงเบอร์ลินที่รู้จักกันดีที่สุทธระหว่างเบอร์ลินตะวันออกและเบอร์ลินตะวันตกในช่วงสงครามเย็น (1947–1991) และ Platz der Republik (ที่ประชุมเชิงปฏิบัติการของนายกรัฐมนตรีแห่งสหพันธรัฐ สถานทูตสวีต) นอกจากนี้ยังได้ไปร้านอาหารไทยที่ชื่อว่า Kamala โดยเจ้าของร้านเป็นคนไทย มีการทักทายและพูดคุยเล็กน้อย อีกทั้งอาหารอร่อย มีหลายเมนูมากขึ้นชื่อของไทย และยังมีที่อื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งใช้เวลาเที่ยวเพียง 1 วัน เริ่มเดินชมเมือง ตั้งแต่เวลา 11:00 น. จนถึงประมาณ 02:00 น. แต่ได้ผจญภัยหลายสถานที่มาก ต้องขอบคุณโจอีกครั้งที่เป็นไกด์นำทางและทำให้ได้ประสบการณ์เดินทางในครั้งนี้ จากนั้นฉันจึงรื้อขึ้นรถไฟกลับประมาณตี 5 และมาถึงเมืองดาร์มสตัดท์ประมาณ 9 โมงเช้า



ภาพที่ 12 สถานที่ท่องเที่ยว ที่เบอร์ลิน



ภาพที่ 13 ถ่ายกับเพื่อนโจ

สัปดาห์ที่ 7 (4 ก.ย. – 10 ก.ย. 2566)

สัปดาห์ส่งท้ายของการส่งรายงานวิจัย กำหนดส่งคือวันที่ 9 ก.ย. 2566 โดยรูปเล่มรายงานของเรา และเพื่อน ๆ จะจัดรวมรูปเล่มเป็นหนังสือ และด้านล่างของหนังสือมีรูปภาพกิจกรรม ที่พวกเรา ได้ทำด้วยกันตลอด 7 สัปดาห์ที่ผ่านมา

Chapter 18 : เข้าสู่ช่วงอำลา (7 ก.ย. 2566)

วันนี้เดินทางไปส่ง Görkem ที่สนามบินแฟรงก์เฟิร์ต พวกเราชอบชวนกันไปแอสค้อเอาต์อยู่บ่อยครั้ง และได้คุยกันในระหว่างถึงกิจกรรมที่ทำร่วมกันตลอด 7 สัปดาห์ พวกเราพยายามฝึกภาษาอังกฤษ ให้ดีขึ้นและหวังว่าสักวันจะได้กลับมาเจอกันและทำงานร่วมกัน นอกจากนี้ ยังทำให้รู้จักการเดินทางไปยังสนามบินก่อนวันกลับจริงอีกด้วย



ภาพที่ 14 ภาพถ่ายกับ Görkem ที่สถานีรถไฟดัมชตัดด์

Chapter 19 : Grill & Chill (8 ก.ย. 2566)

ปาร์ตี้ “ Grill & Chill ” จัดขึ้นตั้งแต่เวลา 18:00 – 22:00 น. พวกเราสามารถนำอาหาร หรือสิ่งที่ต้องการเข้ามาในปาร์ตี้นี้ได้ โดยตอนบ่ายฉันเข้าไปในเมือง เพื่อซื้อไส้กรอกและหมูสามชั้นมาอย่าง เมื่อไปถึงบรรยากาศค่อนข้างครึกครื้น ทุกคนกำลังนั่งเอนจอย กับการย่าง และฟังเพลงที่เปิดอย่างสนุกสนาน นอกจากนี้จะมีเพื่อน ๆ จากโครงการ GSI แล้ว ยังมีนักวิจัย และนักศึกษาจากโครงการอื่น ๆ อีกด้วย



ภาพที่ 15 Grill & Chill Party

สัปดาห์ที่ 8 (11 ก.ย. – 17 ก.ย. พ.ศ. 2566)

Chapter 20 : สัปดาห์การนำเสนองานวิจัย

ขอเกริ่นก่อนเลยว่า ฉันรู้สึกดีตั้งแต่สัปดาห์ที่หกแล้ว ถือเป็นโอกาสครั้งแรกที่ต้องนำเสนอให้ผู้ฟังที่เป็นชาวต่างชาติ นอกจากนี้ยังต้องปรับแก้รายงานบางส่วนก่อนนำเสนอผลงาน ทั้งนี้ต้องขอบคุณ Zixin ที่ช่วยตรวจเช็คความถูกต้องและเนื้อหาใจความสำคัญของสไลด์นำเสนอผลงาน เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลและช่วยให้สไลด์เข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงเหลือความกังวลในเรื่องของภาษาและสำเนียงการพูด

ก่อนวันนำเสนอผลงาน พยายามซ้อมหลายรอบ จนถึงตีสองจึงกลับไปนอนพักผ่อน จากนั้นรีบตื่นมาซ้อมอีกครั้งในตอนตีห้าครึ่ง ด้วยความกังวลและตื่นเต้นจึงทำให้ไม่่วงนอนในตอนเช้า ณ วันที่ 13 ก.ย. พ.ศ. 2566 ของวันพุธ เวลา 09.30 น. ฉันได้นำเสนองานเป็นคนแรก หลังจากที่นำเสนอเสร็จรู้สึกโล่งใจมาก ไม่คิดว่าจะผ่านตรงนั้นมาได้ อันที่จริงกลัวเพื่อนไม่เข้าใจงานที่นำเสนอ แต่พอเดินออกมา William และ Carol บอกว่านำเสนอได้ดีและเข้าใจง่าย ฉันคิดว่าเพื่อน ๆ พยายามพูดให้กำลังใจและอยากให้เราพัฒนาต่อไปอีกเรื่อย ๆ ประสบการณ์ครั้งนี้ ฉันรู้สึกดีและประทับใจในตัวเอง ไม่ว่าจะผลลัพธ์จะออกมาเป็นอย่างไร ตอนนั้นฉันได้ทำมันเต็มที่แล้ว



ภาพที่ 16 ขณะกำลังนำเสนองาน

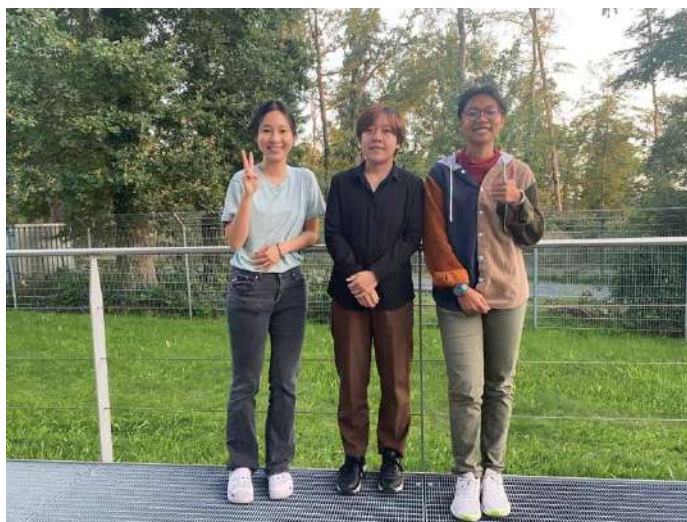
สำหรับการฟังการนำเสนอผลงานวิจัยของเพื่อน ๆ ที่มาจากต่างแดนประมาณ 20 ประเทศ โดยมีงานวิจัยหลากหลายประเภท เช่น ทฤษฎี, การทดลอง, ออกแบบ และการประดิษฐ์ เป็นต้น แม้ว่าฉันไม่ค่อยเข้าใจมากเท่าไร แต่ได้สัมผัสกับบรรยากาศการนำเสนอที่ยอดเยียมและรู้สึกทั้งในความสามารถและความพยายามของเพื่อน ๆ ทุกคน สุดท้ายนี้สัปดาห์แห่งการนำเสนอผ่านไปอย่างราบรื่นและเพื่อน ๆ ทุกคนต่างยิ้มแยมและรู้สึกโล่งใจที่การนำเสนอได้เสร็จสิ้น



ภาพที่ 17 ภาพถ่ายบันทึกความทรงจำ

Chapter 21 : สุขสันต์วันอำลา Farewell dinner in canteen (14 ก.ย. พ.ศ. 2566)

วันนี้มีดินเนอร์ส่งท้ายอำลา ตั้งแต่ 17:00 – 23:00 น. ที่โรงอาหารของ GSI มีเพื่อน ๆ และติวเตอร์ของแต่ละคนมาร่วมด้วย มีอาหารหลากหลายให้เลือก นอกจากการร่วมนั่งโต๊ะกับเพื่อน ๆ แล้ว ยังได้พบกับพี่พันธ์อีกครั้ง และมี Zixin มาร่วมทานข้าวที่โต๊ะอีกด้วย พวกเราคุยกันหลายเรื่องมาก จนกระทั่งเวลาประมาณ 22:30 ได้เข้าไปห้อง Lecture ซึ่งพบกับ เพื่อน ๆ กำลังเดิน ร้องคาราโอเกะ อย่างสนุกสนาน จนถึงเวลา 23:00 พวกเราต้องขึ้นรถกลับโรงแรมและได้กล่าวขอบคุณอำลา Dr. Ralf และ คุณ Abby ที่ดูแลพวกเราตลอด 8 สัปดาห์ เป็นการปิดท้ายโครงการนี้อย่างสวยงาม



ภาพที่ 18 ถ่ายกับพี่พันธ์ (ทางด้านซ้าย) และน้องมะเหมี่ยว (ทางด้านขวา)

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการคัดเลือกและผู้ดูแลโครงการ GSI ทุกท่านอีกครั้ง ที่มอบโอกาสนี้ให้แก่ข้าพเจ้า การได้ใช้ชีวิตเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ การได้พบเห็นและสัมผัสบรรยากาศของการทำงาน ของนักฟิสิกส์และนักวิจัย พนักงานและบุคคลกร รวมไปถึงการใช้ชีวิตในต่างแดน ถือเป็นประสบการณ์ ที่ยอดเยี่ยมเกินกว่าจะสามารถบรรยายออกมาได้ทั้งหมด และอยากขอบคุณเพื่อนร่วมทางครั้งนี้ “น้องมะเหมี่ยว” ที่คอยเป็นปรีกษา ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน รวมทั้งตอนที่ไม่มีสายชาร์จ ตอนที่เจ็บป่วย ไม่เคย รู้สึกเหนื่อยล้าและโดดเดี่ยว เพราะมีเพื่อนร่วมทางที่คอยให้กำลังใจและอยู่ข้าง ๆ กันมาตลอด 8 สัปดาห์



ภาพที่ 19 ภาพถ่ายบันทึกความทรงจำกับตัวเตอร์ Dr. Sivaji Purushothaman (ด้านซ้าย) และ Zixin He รุ่นพี่นักศึกษาป.โท (ด้านขวา)



ภาพที่ 20 บันทึกความรู้สึกและความทรงจำโดยภาพถ่ายโพลารอยด์

2. นางสาวเยาวลักษณ์ บัวนิล

สัปดาห์ที่ 1 (วันที่ 23 - 30 ก.ค. 2566) :

Arriving

สนามบินแฟรงก์เฟิร์ต เรามาถึงตั้งแต่ 6 โมงเช้า การผ่านตม.มาก่อนข้างยากลำบากสำหรับฉัน เพราะฉันไม่ได้ปิ่นเอกสารต่าง ๆ มาในรูปแบบกระดาษ ทำให้ฉันต้องเปิดเอกสารจากไอแพด ทั้งตำรวจตรวจคนเข้าเมืองที่ฉันเผชิญก็ค่อนข้างที่จะจู้จี้ แน่ใจว่าอาจจะกลัวเราแอบเข้าไปแล้วไม่กลับมา เขาตั้งคำถามถึงประเภทวีซ่าที่ให้เวลานานกว่ารอบบินที่เราซื้อไว้ เขาจึงถามว่าจะหาทางอยู่ต่อหรือ ในขณะที่ตำรวจอีกคนกลับให้พื้นันทนาเดินผ่านไปอย่างง่ายดาย ทั้ง ๆ ที่เอกสารทุกอย่างก็เหมือนกัน นับเป็นเก้าแรกที่ดีชัดเล็กน้อย

เมื่อผ่านพ้นตม.มาได้ พี่วีริศรา จารุจินดา อดีตนักเรียนซัมเมอร์สกูลที่จีเอสไอ ซึ่งปัจจุบันเป็นนักศึกษาปริญญาเอกที่จีเอสไอก็มารับพวกเราเพื่อไปส่งเข้าที่พัก โดยมีเพื่อนร่วมทางอีกคน เป็นพี่ชาย(ไม่สามารถจำชื่อได้) ที่เป็นเพื่อนสมัยเด็กของพี่วีริศราที่กำลังจะไปเรียนต่อปริญญาเอกที่ตามสตัดเซนกันร่วมทางไปด้วย พี่เขาจะไปเรียนต่อทางด้านเศรษฐศาสตร์ แต่การสนทนาบนรถไฟ และรถบัสไปจนถึงที่พัก ฉันก็รู้สึกได้ความรู้มาตั้งมากมายแล้ว ทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ว่าสำคัญต่อโลกแค่ไหน และหากมีใครสักคนไขว่คว้าศาสตร์ในการจัดการความเท่าเทียม และเหลื่อมล้ำได้ โลกนี้จะสวยงามขึ้นขนาดไหน และฉันยังได้เรียนรู้เรื่องของชีวฟิสิกส์ การแพทย์ โดยเฉพาะเทคนิคการรักษามะเร็งที่เรียกว่า ‘Flash therapy’ ที่เป็นงานวิจัยปัจจุบันของพี่วีริศรา

เมื่อถึงที่พัก เราก็ทำเรื่องเช็คอิน เราได้รับมอบแฟ้มของทาง GSI จากเจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์ พูดถึงรายละเอียดของการทำวิจัย ตัวเตอร์ประจำตัว และกำหนดการของสกูล จากนั้นเราก็ว่างสัมภาระไว้ในห้องก่อนจะออกไปหาซื้อเสบียงยังชีพกับพี่วีริศรา เนื่องจากประเทศเยอรมนีมีวิถีที่ถูกกล่าวถึงบ่อย ๆ ว่า ‘the german, they take the lazy sunday too seriously’ นั่นก็เพราะในวันอาทิตย์ ร้านค้าทุกร้านห้างสรรพสินค้าทุกร้านจะปิด จะเปิดแค่ร้านตามปั้มน้ำมัน หรือสถานีรถไฟเท่านั้น พวกเราจึงต้องไปที่สถานีรถไฟเพื่อหาซื้อวัตถุดิบทำอาหารมาไว้ เมื่อกลับมาถึงที่พักฉันก็ได้พบกับบรูมเมทจากประเทศเนเธอร์แลนด์ แต่ฉันที่เพิ่งพบเจอกับความต่างของเวลา และการนอนหลับที่ไม่เพียงพอ ฉันจึงเข้านอนไว และพวกเราจึงยังไม่ได้คุยกันมากนัก



ภาพแสดง ภาพสนามบินแฟรงก์เฟิร์ต (ซ้าย) และภาพวิวจากหน้าต่างรถไฟไปที่เมืองตามสตัดซ์ท์ (ขวา)



ภาพแสดง ภาพฉันทน์ถ่ายภาพสถานีรถไฟด้วยความตื่นตาตื่นใจ

First school day

ผู้คนมากหน้าหลายตา ฉันทน์และอีกหลาย ๆ คน ทักทายเหล่าเพื่อนใหม่บนรถบัส รัลล์ฟ ผู้ดูแลเราและคนที่คอยให้การสนับสนุนตั้งแต่การจัดทำวีซ่า จนถึง ณ วันนี้ วันที่เรามาถึงประเทศเยอรมนี บนรถบัสที่เรากำลังจะใช้ในการเดินทางไปที่ GSI ในวันแรกเราได้ทำเรื่องยืมจักรยานและทำเรื่องเข้าเป็นผู้มาเยือน GSI ทุก ๆ คน ได้บัตรประจำตัวจากในแฟ้มที่พนักงานต้อนรับในโรงแรมแจกให้เมื่อวาน เพื่อใช้ในการเข้าไปในพื้นที่ของ GSI หลังจากที่ทุกคนได้ทำการลงทะเบียน และได้รับจักรยานเรียบร้อยแล้ว รัลล์ฟก็กล่าวต้อนรับทุกคน ชี้แจงอย่างชัดเจนว่ากิจกรรมหลักของนักเรียนคือการทำโปรเจกต์กับตัวเตอร์และจะมีการส่งรายงาน 4 หน้า รวมทั้งการนำเสนองานที่ได้ทำไป

จากนั้นเราก็เข้าฟังบรรยายเรื่อง Accelerator: from the source to the target โดยรายละเอียดของเนื้อหาได้ถูกกล่าวถึงในส่วนต้นของรายงานฉบับนี้แล้ว การบรรยายนี้ให้ความรู้ในเรื่องของ accelerator ตั้งแต่ต้นจนจบอย่างที่หัวข้อได้กล่าวไว้จริง ๆ โดยเฉพาะงานวิจัยที่ฉันทน์จะต้องทำกับตัวเตอร์เป็นงานที่อยู่ในส่วนของ Accelerator ทำให้การบรรยายหัวข้อนี้มีประโยชน์กับฉันทน์อย่างมาก

เมื่อการบรรยายจบลง ก็เป็นเวลาสุดแสนจะตื่นเต้น การพบกันครั้งแรกของเหล่าตัวเตอร์และนักเรียน แต่สำหรับฉันทน์ ฉันทน์และตัวเตอร์ประจำตัวฉันทน์(เอเดรียน) เราเคยพบกันแล้วหนึ่งครั้งผ่านการโทรทางวิดีโอด้วยโปรแกรมซูมก่อนที่ฉันทน์จะมาที่เยอรมัน เพื่อถามถึงรายละเอียดงานที่อาจจะได้ทำระหว่างที่อยู่ซัมเมอร์สกูล เอเดรียนเองก็เคยเป็นนักเรียนซัมเมอร์ที่ CERN มาก่อน และก็ยังได้เล่าว่าเพื่อนที่สนิทกันจนทุกวันนี้ก็มาจากซัมเมอร์สกูลด้วย เอเดรียนเป็นคนที่อัธยาศัยดีมาก ๆ เอเดรียนบอกกับฉันทน์ตั้งแต่วันแรกว่า summer school is a once in a lifetime opportunity หรือก็คือการได้ไปเข้าร่วมซัมเมอร์สกูลมันไม่ได้เกิดขึ้นบ่อย ๆ ในชีวิตของคนหนึ่งคน เอเดรียนจึงแนะนำให้ฉันทน์สนุกกับมันมาก ๆ ถามทุกข้อสงสัย มีเพื่อนเยอะ ๆ ที่นี้ทุกคนพร้อมตอบคำถามและให้ความรู้ และที่สำคัญที่สุด There is no stupid question ไม่มีคำถามในที่โง่หรือไร้สาระเกินกว่าจะถูกถาม

เมื่อทำความรู้จักกันเล็กน้อยแล้ว เอเดรียนก็พาฉันไปดูออฟฟิศที่ฉันจะต้องนั่งทำงาน และเอเดรียนก็พาฉันเดินไปทำความรู้จักกับทุกคนในทุก ๆ ห้องของแผนก Accelerator ต้องยอมรับว่าในวันแรก ฉันจำไม่ได้ว่าใครเป็นใคร ชื่อของชาวยุโรปนั้นยังไม่คุ้นหูฉันมากนัก เมื่อทักทายทุกคนเรียบร้อยแล้ว เราก็เดินไปรวมกลุ่มกับวิศวกรอีกคน ซึ่งอยู่ในแผนกเดียวกับเอเดรียน ชื่อว่า วาลิเดเมียร์ ซึ่งเป็นวิศวกรของรุ่นพี่นักเรียนซัมเมอร์สกูลที่จีเอสโอปีที่แล้ว (พีริติ) ปีนี้เขาได้เป็นวิศวกรให้กับนักเรียนจากประเทศสเปน เรานั่งคุยสัพเพเหระกันสักพักก่อนที่เอเดรียนจะต้องขอตัวกลับ

First full lecture day

วันนี้เราได้ฟังบรรยายทั้งสี่สามเรื่องด้วยกัน Biophysics and cancer therapy compressed nuclear matter I และ safety Instruction สำหรับฉันแล้ว หัวข้อแรกนี้น่าสนใจมาก ๆ เพราะเป็นสิ่งที่ฉันตั้งใจจะศึกษาในระดับปริญญาโท cancer therapy ในส่วนที่สองนั้นผู้บรรยายเป็นลักษณะ active teaching เขาคาดหวังให้เราตอบทุกคำถาม เป็นลักษณะการเรียนรู้แบบ active แต่สำหรับฉัน ฉันถนัดเรียนแบบ passive เสียมากกว่า จึงไม่ค่อยประทับใจมากนัก ในส่วนของเนื้อหาฉันได้ทำการบรรยายผ่านในส่วนต้นของรายงานฉบับนี้แล้ว และหัวข้อสุดท้าย Safety instruction เป็นการบรรยายตั้งแต่การใช้ชีวิตบนท้องถนนจราจร เพลิงไหม้ อุบัติเหตุ ไปจนถึงการระมัดระวังเรื่องรังสีในสถาบันวิจัย GSI ผู้บรรยายชี้แจงถึงการปฏิบัติตนเมื่อเจอเหตุการณ์ต่าง ๆ รวมทั้งเบอร์ติดต่อฉุกเฉินในแต่ละกรณีด้วย

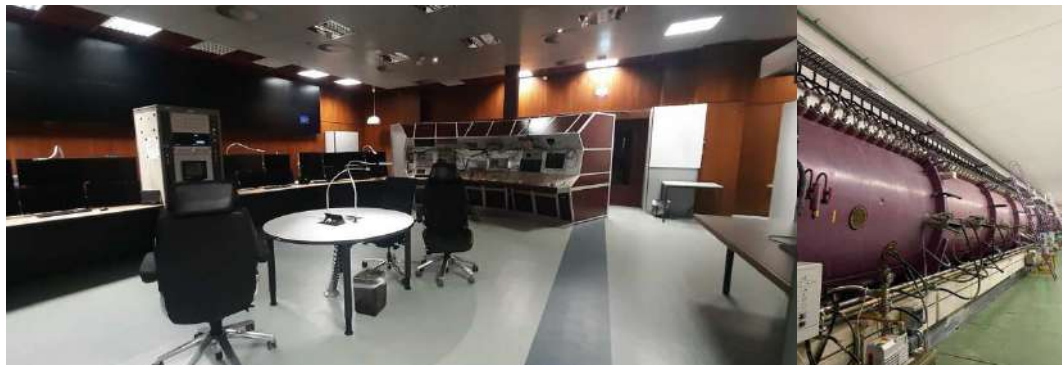


ภาพแสดง บรรยายภาคห้องเลเซอร์ในวันแรก (ซ้าย) และภาพฉันจักรยานที่ให้ยืมจาก GSI (ขวา)

Visit of Ion Sources, UNILAC, Main Control; Material Science Cave & SHIPP-SHIPTRAP

เมื่อการบรรยายสิ้นสุดลง เราก็ได้ไปเยี่ยมชมสถานที่ต่าง ๆ โดยนักเรียนทั้งหมด ถูกแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม กลุ่มของฉันเริ่มจาก SHIP-SHIPTRAP แล้วไปที่ ION- sources จากนั้นไปที่ Material science ไปที่ UNILAC และสุดท้ายคือ Main Control room ในการเยี่ยมชมสถานที่วันแรก ใช้เวลายาวนานทีเดียว ฉันได้เรียนรู้หลายอย่าง ได้เห็นการบุกคอนกรีต การวางตัวของตู้คอนเทนเนอร์และเครื่องมือต่าง ๆ รวมทั้งบันไดเหล็กโปร่งที่ให้

บรรยากาศเหมือนกับห้องทดลองในภาพยนตร์วิทยาศาสตร์ เป็นประสบการณ์ที่ดีมาก ๆ นอกจากนี้ การเยี่ยมชมทั้งหมดนี้ช่วยให้เข้าใจการฟังการบรรยายเรื่อง accelerator ได้มากขึ้น ทั้งยังเสริมภาพโครงสร้างของ GSI accelerator ให้ชัดเจนมากขึ้นด้วย



ภาพแสดง ห้อง Monitor (ซ้าย) และภาพ UNILAC (ขวา)

First project day

ในวันนี้มีการบรรยายเรื่อง Root software ซึ่งรายละเอียด ได้กล่าวถึงในบทที่ 1 แล้ว อย่างไรก็ตาม ฉันปรึกษาเอเดรียน และเอเดรียนบอกว่าฉันไม่จำเป็นต้องเข้าร่วมการบรรยายในหัวข้อนี้ วันนี้จึงเป็นวันที่ฉันเดินทางไปห้องออฟฟิศที่ถูกจัดไว้ให้ ฉันได้พบกับเพื่อนร่วมห้อง โดยทั้งสองเป็นนักเรียนในซัมเมอร์สคูลเช่นกัน หนึ่งในนั้นมีคิวเตอร์อยู่แผนกเดียวกับเอเดรียน บรรยากาศการทำงานวันแรก ฉันไปพบเอเดรียนที่ห้องของเอเดรียน ฟังถึงงานที่ได้รับมอบหมาย จากนั้นก็พบว่า มีหลายสิ่งที่จะต้องรู้ก่อนที่จะเริ่มทำงานจริง ๆ จัง ๆ การทำงานในวันแรกนี้ จึงเป็นการปรับความรู้พื้นฐานก่อนจะเริ่มลงมือทำงานวิจัย



ภาพแสดง ภาพเซลฟีในวันแรกที่ออฟฟิศของฉันและนักเรียนซัมเมอร์สคูลจากสเปน

Movie night

หนึ่งในสัปดาห์นี้ มีภาพยนตร์ชื่อดังที่กล่าวกันว่าจะมาส์นคลอนวงการวิทยาศาสตร์ นั่นก็คือภาพยนตร์ Oppenheimer ซึ่งในวันอาทิตย์แรกที่เพื่อน ๆ เอ่ยชวนกันไปชม ฉันก็ตอบตกลงในทันที เพราะอยากจะลองเห็น

โรงภาพยนตร์ของเยอรมันดูเช่นกัน ซึ่งในช่วงนี้ ฉันกับรูมเมทจากเนเทอร์แลนด์ก็เริ่มสนิทกันมากขึ้นแล้ว เธอช่วยสอนหลายสิ่งหลายอย่างให้ฉัน ตั้งแต่การแยกขยะ ไปจนถึงการใช้ชีวิตอย่างชาวยุโรป และที่สำคัญที่สุดคือการปั่นจักรยานอย่างชาวยุโรป อันเป็นที่มาให้ฉันหลงใหลในการสำรวจทุก ๆ ที่ ด้วยจักรยานประจำตัว ฉันเดินทางไปโรงภาพยนตร์ด้วยการปั่นจักรยานกับพินันทนา อย่างไรก็ตาม ในขาไป ฉันใช้จีพีเอสในการนำทางซึ่งก็ไม่ใช่ว่าที่ตึก เราผ่านป่า และอุโมงค์ เรียกได้ว่าเป็นเส้นทางชนบทที่สวยงามดี แต่ไม่สะดวกสบายนัก โชคดีที่ขากลับมีรูมเมทนำทางให้ เราจึงได้ใช้เส้นทางที่สะดวกกว่า แต่กระนั้นฟ้าฝนก็ไม่เป็นใจนัก ทำให้เราต้องปั่นจักรยานตากฝนกลับที่พักกัน

ภาพยนตร์นั้นสนุก และยาวนานมาก เป็นความรู้สึกที่แปลกใหม่ เพราะเพิ่งจะเคยได้ชมภาพยนตร์แบบภาษาอังกฤษ ไม่มีคำบรรยายเป็นครั้งแรก และยังได้รู้เรื่องราวที่ไม่เคยได้รู้มาก่อนในเรื่องของระเบิดปรมาณู และ Manhattan Project อีกด้วย



ภาพแสดง เส้นทางชนบทในการไปโรงภาพยนตร์ (ซ้าย) และภาพโปสเตอร์ภาพยนตร์ (ขวา)

Visit Green Cube and viewpoint FAIR

ในวันศุกร์ของสัปดาห์แรก มีการฟังบรรยายหลาย ๆ หัวข้ออย่างวันที่ผ่าน ๆ มา โดยรายละเอียดได้บรรยายไว้แล้วในบทที่ 1 หลังจากการบรรยายของวันจบลง เราได้ไปเยี่ยมชมสถานที่เพิ่มเติม คือที่ Green Cube และ viewpoint ที่แสดงถึงการก่อสร้างของ FAIR ในระหว่างการเดินชม มีคำถามน่าสนใจคือจะมีก้อนสี่เหลี่ยมที่วางอยู่รอบ ๆ หลังคาตู้คอนเทนเนอร์ที่ถูกบุด้วยคอนกรีตหนาหลายชั้น ซึ่งก้อนเหล่านั้นคือก้อนไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในการป้องกันรังสีจากอนุภาคอย่างนิวตรอน และอีกหนึ่งคำถามที่น่าสนใจคือก้อนกลม ๆ สีดำ ที่วางอยู่ตามมุมต่าง ๆ ของอาคาร โดยก้อนเหล่านั้นคือก้อนที่ใช้แทนมนุษย์ เป็นก้อนที่จะใช้วัดเพื่ออ้างอิงว่าปริมาณรังสีโดยรอบในปัจจุบันนั้นอยู่ในสถานะที่อันตรายหรือไม่ แต่ฉันไม่ได้ถ่ายภาพไว้ จึงเป็นที่น่าเสียดาย

Pedestrian rally in Darmstadt

ในวันเสาร์ของสัปดาห์แรกนี้ มีกิจกรรม Rally ที่จัดให้นักเรียนในส쿨ได้เดินไปรอบ ๆ ชมบรรยากาศของเมืองพร้อมกับทำภารกิจ และตอบคำถามในใบกิจกรรมที่แจกให้มา วันนี้ฟ้าฝนเป็นใจ จากการที่ฝนตกมาทั้งสัปดาห์ ในวันที่มีกิจกรรมกลางแจ้งวันนี้ แดดออกจ้า อากาศอบอุ่น เหมาะแก่การเดินรอบเมืองเป็นที่สุด โดยในการ

เดินทางไปจุดเริ่มต้นของกิจกรรม ซึ่งคือที่มหาวิทยาลัยชื่อย่อว่า TU นักเรียนจำนวนหนึ่งเลือกที่จะไปด้วยรถบัส แต่ฉันเลือกที่จะปั่นจักรยานตามรูมเมทไป ซึ่งค่อนข้างไกลทีเดียว แต่ก็เป็นการเดินทางที่สนุก และได้เห็นอีกฟากของตามสตัดซ์ท เมื่อไปถึง เราก็ได้พบรอล์ฟที่เป็นเสมือนผู้จัดการกิจกรรมนี้ โดยนักเรียนก็จับกลุ่มตามคนที่ยืนอยู่ใกล้ ๆ กัน กลุ่มของฉันใช้เทคนิคค้นหาคำตอบในอินเทอร์เน็ต แทนที่จะเดินไปรอบ ๆ ตามแผนที่ อย่างไรก็ตาม เรามีโอกาสได้เห็นเมืองในหลาย ๆ มุม พร้อมทั้งได้สนุกสนานไปกับการถามคำถามมาก นักการเมืองที่ตั้งโต๊ะหาเสียง และได้ซื้อสับปะรดเพื่อใช้เป็นหนึ่งในคำสั่งของกิจกรรมแรลลี่ โดยภาพรวมแล้ว การแรลลี่นี้เป็นวันที่สนุกสนานมากจริง ๆ



ภาพแสดง ภาพของเพื่อนสมาชิกในทีมที่ไปปรีนภาพถ่ายของสมาชิกในทีม (ซ้าย)
และภาพเพื่อนสมาชิกในทีม รวมทั้งสับปะรดที่ถูกตั้งชื่อว่า “ฮานส์” (ขวา)

สัปดาห์ที่ 2 (วันที่ 31 ก.ค. - 6 ส.ค. 2566)

ในสัปดาห์นี้กิจกรรมหลักคือการบรรยาย ซึ่งได้บรรยายไว้แล้วในบทที่ 1 และอีกสิ่งที่สำคัญคือการตรวจสอบสุขภาพ อย่างไรก็ตามในกรณีของฉันที่ทำงานอยู่กับโปรแกรมเป็นส่วนใหญ่ใน accelerator department ฉันจึงไม่จำเป็นต้องได้รับการตรวจสอบสุขภาพ และไม่จำเป็นที่จะต้องรับ Dosimeter ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดปริมาณรังสีประจำตัวผู้ใช้ ในสัปดาห์นี้ ฉันจึงเพียงแค่ไปฟังบรรยายตามกำหนดการณ์ และไปที่ออฟฟิศเพื่อทำงานวิจัยในเวลาที่ไม่มีการบรรยาย

Lunch with the tutors

ในวันที่ว่างจากการบรรยาย ฉันจะไปประจำอยู่ที่ออฟฟิศ เมื่อมีปัญหา ฉันก็จะส่งอีเมลถามเอเดรียนและหากไม่สามารถแก้ได้ ฉันก็จะไปพบเอเดรียนที่ห้องเพื่อขยายความเข้าใจเพิ่มเติม ในตอนเที่ยงวัน เอเดรียนและเพื่อนร่วมแผนกจะไปทานข้าวเที่ยงด้วยกัน ซึ่งฉันและเพื่อนร่วมออฟฟิศชาวสเปนก็ไปร่วมด้วยเช่นกัน ในการทานข้าวนี้ เอเดรียนและเพื่อนร่วมงานจะพูดคุยกันถึงชีวิตประจำวัน ถามไถ่สารทุกข์สุกดิบ และเมื่อทานข้าวเสร็จ ทุกคนก็จะเดินไปที่ร้านกาแฟในอาคารเดียวกับที่มีห้องฟังการบรรยาย ที่นี่จะมีการคุยกันผสมผสาน

ระหว่างชีวิต และงานของแผนก ประสบการณ์นี้ทำให้ฉันได้เห็นวัฒนธรรมอีกอย่างของ GSI ที่จะดื่มกาแฟหลังอาหารเที่ยงเสมอ

อีกสิ่งหนึ่งที่ฉันอยากจะกล่าวถึง คืออาหารที่ GSI โรงอาหารที่นี่จะแตกต่างจากโรงอาหารที่ฉันเคยรู้จักจากที่ประเทศไทย อาหารที่นี่จะมีเมนูจำกัด สี่ถึงห้าเมนู และในแต่ละวันก็จะถูกสับเปลี่ยนหมุนเวียน มีทั้งอาหารนานาชาติ อาหารเยอรมัน บางวันก็มีเมนูของหวาน และมีเมนูสำหรับมังสวิรัตทุกวันอีกด้วย แต่เมนูที่เพื่อน ๆ ร่วมสคูลชอบกันมากที่สุด คือ Pizza Friday ซึ่งหมายถึง มีเมนูพิซซ่าในทุกวันศุกร์

ฉันยังไม่คุ้นชินกับอาหารสไตล์ยุโรปมากนัก ในวันไหนที่เป็นเมนูจากทางแถบประเทศเอเชียและมีข้าวเป็นองค์ประกอบ ฉันจึงตั้งใจและตื่นตัวเป็นพิเศษ



ภาพแสดง ภาพอาหารมื้อแรกที่ได้ทานร่วมกับติวเตอร์ (ข้าวและผัดที่มีซอสมะเขือเทศเป็นหลัก)

Group meeting

ในวันพฤหัสบดีของทุกสัปดาห์จะมีการประชุมประจำสัปดาห์ และ ในสัปดาห์นี้เอง เอเดรียนชวนฉันไปฟังการบรรยายของนักศึกษาปริญญาเอกของเขาในการประชุมประจำสัปดาห์ ทำให้ฉันได้ฟังงานของนักศึกษาคณะนั้น ซึ่งก็พอช่วยให้เข้าใจงานของเอเดรียนมากขึ้นไม่มากนัก

นอกจากนี้ สิ่งหนึ่งที่สร้างความประทับใจและประหลาดใจต่อฉันมาก ๆ ก็คือ การที่จบการพีรีเซนต์ หรือเมื่อใครสักคนจบการบรรยาย ในประเทศไทย และหลาย ๆ ประเทศทั่วโลกมักจะปรบมือให้กับผู้บรรยายที่เยอรมันนั้นแตกต่างออกไป ทันทีที่นักศึกษาปริญญาเอกพูดจบ ทุกคนก็ร่วมใจกันเคาะโต๊ะเสียงดังก้องสนั่น ซึ่งส่งผลให้ฉันตกใจมากทีเดียว โชคดีที่ไม่ร้องอุทานด้วยความตกใจ หลังจบการประชุม ฉันก็ถามเอเดรียนถึงการเคาะโต๊ะ จึงได้รู้ว่าเป็นสิ่งที่นักศึกษาทำเป็นปกติในเยอรมัน ฉันจึงกลับไปกูเกิ้ลเพิ่มเติมและรู้ว่าการกระทำนี้ มีชื่อเรียกว่า “academic knocking” โดยถูกคิดค้นตั้งแต่ศตวรรษที่ 18

Adrian's lecture

นอกจากนักเรียนจาก Summer Student Program ยังมีนักเรียนจากอีกหลายโครงการมาเยี่ยมชมงานที่ GSI ซึ่งในสัปดาห์นี้ มีนักเรียนจากประเทศไต้หวันมาทำวิจัยระยะสั้น 2 สัปดาห์ เอเดรียนจึงได้รับมอบหมายให้บรรยายให้กับนักเรียนกลุ่มนั้นฟัง ถึงงานใน accelerator physics โดยการฟังบรรยายนี้ ช่วยให้ฉันเห็นภาพของงานที่เกิดขึ้นในแผนก accelerator physics และงานของเอเดรียนมากขึ้น โดยงานส่วนมากจะเป็นการใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นการคำนวณและจำลองสิ่งที่จะเกิดขึ้นใน accelerator tube และงานในตำแหน่งนี้ จะช่วยตอบคำถามทั้งผู้มาขอใช้งานว่าพลังงานของอนุภาคจะเป็นอย่างไร และยังเป็นหน้าที่ที่สำคัญในการควบคุมให้อนุภาคถูกเร่งได้อย่างสมบูรณ์ โดยปัญหาหลัก ๆ ของ accelerator physics ในปัจจุบัน คือการควบคุมอนุภาคให้คงอยู่ในท่อลำเลียง และสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุด

นอกจากนี้ สิ่งหนึ่งที่ฉันได้เรียนรู้ คือวัฒนธรรมการถามคำถามของนักเรียนต่างชาติ พวกเขาควรมีคำถามอยู่เต็มไปหมด และการถามคำถามก็ดูเป็นเรื่องปกติ ไม่ใช่สิ่งที่น่าอายแต่อย่างใด

หลังจบการฟังบรรยายของเอเดรียน ฉันกับเอเดรียนเดินกลับจากห้องบรรยายไปด้วยกัน ทำให้ฉันมีโอกาสดำถามคำถามเพิ่มเติมถึงงานวิจัยที่ต้องทำ เพราะ ณ วันนั้น ฉันยังคงค่อนข้างสับสนในงานที่ต้องทำ และอีกสิ่งหนึ่งที่ฉันประทับใจมาก ๆ คือการที่เอเดรียนบอกกับฉันว่า ให้ถามคำถามเยอะ ๆ เอเดรียนบอกว่าอยากเห็นอีเมลถามคำถามสักสิบอีเมลในการเจอกันครั้งถัดไป เอเดรียนบอกว่าถ้าสงสัยก็ให้ถามเลย เพราะยิ่งเก็บไปคิดเองนานก็ยิ่งเสียเวลา และนั่นคือวินาทีแรกที่ฉันเริ่มซึมซับว่าการเรียนรู้ คือการถามคำถาม และมันไม่ใช่เรื่องน่าอายที่เราไม่รู้ในบางสิ่งบางอย่าง และจะเป็นข้อคิดเล็ก ๆ ที่ฉันจะเก็บไปใช้ตลอดชีวิต

Alpaca farm

ฉันได้ยินมาว่าใกล้ ๆ กับที่พักมีฟาร์มอัลปาก้าอยู่ด้วย ฉันในฐานะผู้คลั่งไคล้อัลปาก้าจึงสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม และรู้ว่าในทุก ๆ วันศุกร์แรกของเดือนจะมีการเปิดให้เยี่ยมชมสินค้าจากอัลปาก้า โดยไม่ต้องจองล่วงหน้า ในวันนั้นเอง ฉันจึงชวนเพื่อน ๆ ทุกคนไปที่ฟาร์มอัลปาก้ากัน โดยที่ฟาร์ม เจ้าของฟาร์มนั้นเป็นชาวเยอรมันที่พูดภาษาอังกฤษไม่ได้ แต่โชคดีที่มีเพื่อนผู้คลั่งไคล้อัลปาก้าชาวเยอรมันไปด้วยกัน เธอจึงช่วยเป็นล่ามบรรยายให้กับเจ้าของฟาร์ม

Group Photo

ในสัปดาห์นี้มีการถ่ายภาพกลุ่มที่ซึ่งใช้เป็นหน้าปกของรายงานเล่มนี้ บรรยายภาคครึกครื้นดีมาก ช่างภาพที่มาถ่ายให้ ก็เป็นหนึ่งในนักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานที่ GSI เธอออกคำสั่งทั้งตำแหน่งที่ยืน ทั้งท่าทาง แม้กระทั่งรอยยิ้ม เธอก็ออกคำสั่งในเชิงติดตลก เป็นบรรยากาศที่สนุกสนาน รูปภาพนี้จะไปปรากฏในเว็บเพจของ GSI จึงต้องตั้งใจกันสักหน่อย

Visit of Medical cave, CryRing & HADES

ในสัปดาห์นี้การเยี่ยมชมสถานที่เพิ่มเติม ซึ่งนักเรียนก็ถูกแบ่งเป็นสามกลุ่มอีกเช่นเคย ในวันนี้มีการเดินเยอะมากทีเดียว และวิทยากรเองก็ดูกระตือรือร้นที่จะให้ข้อมูล ฉันฟังอย่างเพลิดเพลินทีเดียว มีการเดินขึ้น ลง บันได มีการยืนที่นานเพราะบางจุดชม ไม่สามารถเข้าใกล้ได้ จึงต้องยืนฟังบรรยายจากที่เดียววน ๆ ฉันปวดขาเล็กน้อย แต่ก็ยังเป็นวันที่สนุกอีกวัน ซึ่งรายละเอียดของสถานที่ทั้งสามได้ถูกบรรยายในบทที่ 1 แล้ว

Forming a group of close friends

ในสัปดาห์นี้ สามารถกล่าวได้ว่า ฉันเริ่มที่จะคุ้นชินกับสถานที่มากขึ้นแล้ว ฉันไปที่ซูเปอร์มาร์เก็ต เพื่อซื้อของมาทำอาหารด้วยจักรยาน และในบางวัน ฉันก็นั่งรถบัสไปที่ใจกลางเมืองดาร์มสตัดท์เพื่อซื้อวัตถุดิบอาหารเอเชียจากห้างสรรพสินค้าที่ตั้งอยู่ใจกลางเมือง โดยมีฉัน พี่นันทนาและเพื่อนชาวตุรกีที่ชอบการดื่มเบียร์เป็นชีวิตจิตใจอีกหนึ่งคน



ภาพแสดง ฉัน พี่นันทนา และเพื่อนชาวตุรกีที่หน้าห้างสรรพสินค้าที่ใจกลางเมืองดาร์มสตัดท์

สัปดาห์ที่ 3 (วันที่ 7 - 13 ส.ค. 2566)

ในสัปดาห์ที่สามนี้วันที่มีการบรรยายเหลือน้อยลง และมีการเยี่ยมชมสถานที่เพียงแค่แห่งเดียว ในเวลาที่เหลือต่อจากนั้น ฉันใช้ไปกับการทำวิจัยในออฟฟิศ

Project progress

ในสัปดาห์นี้ฉันเริ่มลงมือทำงานวิจัย เอเดรียนช่วยให้งานง่ายขึ้นด้วยกันแบ่งสโคปของงานออกเป็นหัวข้อ ซึ่งนับรวมกัน จะมีทั้งสิ้น 6 หัวข้อด้วยกัน ในสัปดาห์นี้ ฉันสามารถทำให้งานคืบหน้าได้ไปถึงข้อที่ 2

งานวิจัยที่ฉันทำเป็นงานที่ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยภาษาที่ต้องใช้คือ Python และแพ็คเกจหรือส่วนเสริมที่จะทำให้งานดำเนินการไปได้ก็จะต้องถึงติดตั้งลงในแล็ปท็อปของฉัน ซึ่งเอเดรียนก็ช่วยให้การติดตั้งทุกอย่างเป็นไปได้ด้วยดี จากนั้นฉันก็ลองใช้โปรแกรมเหล่านั้น เมื่อคล่องมือแล้ว ก็กลับไปวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ต่อ โดยสำหรับฉัน โปรแกรมเป็นสิ่งที่ไม่ยากและตรงไปตรงมา แต่ที่ฉันมักจะติดปัญหาคือส่วนของสมการทางฟิสิกส์ ฉันจะต้องเข้าใจมันอย่างแจ่มชัด จึงจะสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรมได้ และในเมื่อฉันมีโอกาสได้เรียนรู้ทั้งนี้ ฉันเองก็อยากที่จะเข้าใจทุกสิ่งทุกอย่างอย่างถ่องแท้

ประสบการณ์ดี ๆ อีกสิ่งหนึ่งที่เกิดขึ้นในการทำงานสัปดาห์นี้ คือ ทุกครั้งที่ฉันติดปัญหา ฉันจะถามเอเดรียนด้วยความรู้สึกผิด และเป็นการรบกวน แต่เอเดรียนช่วยให้ฉันเข้าใจมุมมองของการเรียนรู้มากขึ้น เอเดรียนกล่าวไว้ว่า ทุก ๆ คนที่ทำการเรียนรู้ เคยผ่านขั้นตอนนี้มาเหมือนกันแล้วทั้งนั้น ทุก ๆ คน ต้องผ่านการสับสน ความไม่เข้าใจ และผ่านการถามคำถามนับร้อย นอกจากนี้ ในเวลาที่ฉันไม่เข้าใจจริง ๆ เอเดรียน จะบอกวิธีการ

ในการเรียนรู้ว่าฉันควรจะต้องเริ่มจากตรงไหน เป็นการแก้ความไม่รู้จากรากของความไม่รู้ นั่น และก็ทำให้อะไร ๆ เข้าใจง่ายขึ้นอย่างมาก หากสักวันฉันต้องสอนใครสักคน ฉันก็อยากที่จะใช้กระบวนการนี้เช่นกัน

“Now you know, is it less scary?”

นั่นคือประโยคที่เอเดรียนมักจะพูด หลังจากอธิบายปัญหาที่ฉันลืมนจนคิดว่าขมวดกัน

First traveling day

ในวันเสาร์ของสัปดาห์นี้ ฉันตัดสินใจออกไปท่องเที่ยวรอบ ๆ ในเมืองดาร์มสตัดท์ และเป็นครั้งแรกที่ฉันจะได้ลองใช้รถรางในการเดินทาง จากที่ปกติใช้การปั่นจักรยานเท่านั้น ฉันเดินจากที่โรงแรมไปที่ป้ายรถราง ระหว่างทางพบว่ามีร้านขายของเก่าในบ้านตามทาง เป็น Garage sale แต่ละบ้านนำเสื้อผ้า ข้าวของที่ไม่ใช้แล้วออกมาวางขาย นอกจากนี้ วันนี้ยังเป็นวันที่ฉันได้ทดลองกินเคบับ อันเป็นที่มาของความชอบเคบับที่คงจะติดตัวฉันไปอีกนาน หลังจากทานข้าวเสร็จ ฉันและพ่อก็นั่งรถรางก็ไปเดินเล่นที่ห้างสรรพสินค้าที่ชื่อ Luiscenter



ภาพแสดง Garage sale ในระหว่างทางไปป้ายรถราง (ซ้าย) และภาพบรรยากาศภายในรถราง (ขวา)



ภาพแสดง เคบับแซนวิช (ซ้าย) และพิซซ่าของพ่อก (ขวา)

Thank you lunch

อย่างที่บรรยายไปแล้วในสัปดาห์แรกของการมาถึงที่เยอรมัน พี่วีริศราได้ช่วยเหลือทั้งการมาส่งที่ที่พัก พาไปซื้อของใช้ และให้คำแนะนำต่าง ๆ อีกมากมายตั้งแต่ก่อนมาถึงเยอรมันจนปัจจุบัน ฉันและพ่อก็นึกถึงว่าเป็นโอกาสดีที่จะเลี้ยงอาหารพี่วีริศราเป็นการขอบคุณในวันเสาร์ของสัปดาห์นี้ โดยเราให้พี่วีริศราเลือกร้านอาหาร และเราก็กินที่ร้านอาหารสไตล์โมร็อกโก โดยนี่เป็นครั้งแรกที่ฉันทานอาหารที่ร้านอาหารในเยอรมัน พวกเรา

เลือกนั่งที่นอกร้าน ใต้โถงที่มีร่มบังแดด ให้บรรยากาศเหมือนกับในภาพยนตร์ฝรั่งที่เคยได้ดูตอนเด็ก ๆ พนักงานบริการดีมาก ๆ แม้จะพูดกันคนละภาษา แต่เราก็สามารถสื่อสารกันได้ด้วยสีหน้าท่าทาง และอาหารวันนี้ก็อร่อยสุด ๆ



ภาพแสดง ฉันทน์ พี่นันทนา และพี่วีริศราที่ร้านอาหารโมร็อกโก

ในวันนี้ พี่วีริศราได้เล่าถึงประสบการณ์ในครั้งที่พี่วีริศราเคยเป็นนักเรียนในสกูลเช่นกัน ทำให้เราได้เรียนรู้ว่ามีที่เที่ยงที่ไหนนำไปชมบ้าง โดยในท้ายของอาหารมื้อนี้ ฉันทน์และพี่นันทนาตัดสินใจว่าเราจะไป Heidelberg กัน เพราะพี่วีริศราเล่าว่าเป็นเมืองที่สวยงาม ราวกับในเทพนิยายเจ้าหญิง แต่วันนี้รอบรถไฟนั้นไม่มีแล้ว พวกเราจึงค้นหาสถานที่ท่องเที่ยว และไปที่ Street Art Gallery ใกล้ ๆ แทน นอกจากจะได้ถ่ายภาพสวย ๆ โดยพี่นันทนาแล้ว ฉันทน์ยังได้มีโอกาสพูดคุยถามไถ่ชีวิตกับพี่นันทนาในระหว่างที่อยู่บนรถราง ซึ่งพี่นันทนาเป็นคนที่มีความคิดชีวิตจำนวนมาก นับว่าฉันโชคดีจริง ๆ ที่ได้ฟังเรื่องราวของพี่นันทนา วันนี้จึงเป็นอีกหนึ่งวันที่ดีมาก ๆ



ภาพแสดง พี่นันทนากับขาตั้งกล้องที่ Street Art Gallery

สัปดาห์ที่ 4 (วันที่ 14 - 20 ส.ค. 2566)

ในสัปดาห์นี้ มีการบรรยายเรื่องการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์ และการทำพรีเซนเทชัน โดยรายละเอียดนั้นถูกกล่าวถึงแล้วในบทที่ 1 โดยทั้งสองการบรรยายนั้นมีประโยชน์อย่างมากในมุมมองของฉัน โดยเฉพาะการทำพรีเซนเทชัน (Give a talk) สิ่งหนึ่งที่ฉันรู้สึกว่ามีเสน่ห์มาก ๆ คือ การที่เวลาเราเตรียมสไลด์ในการบรรยาย เราควรโฟกัสที่การพูดของเรา ไม่ใช่ที่เนื้อหาของสไลด์ และนอกจากนี้ สิ่งเดียวที่จะพัฒนาทักษะคือการฝึกฝนบ่อย ๆ ไม่สามารถเรียนแล้วเก่งได้เลย และต่อจากนี้ไป หากไปฟังบรรยายที่ใด ก็ให้ลองโฟกัสถึงทักษะการพูดของวิทยากร โดยเฉพาะในเวลาที่การบรรยายนั้นน่าเบื่อ หรือยากเกินไป แทนที่จะปล่อยให้ใจลอยไปที่อื่น ควรจะลองโฟกัสดูว่าสิ่งใดที่วิทยากรทำ ที่ทำให้การบรรยายนี้ออกมาน่าเบื่อ หรือสิ่งใดที่ทำให้การบรรยายยากเกินไป วิธีนี้นอกจากจะช่วยพัฒนาทักษะการพูดพรีเซนเตชันของเราแล้ว ยังช่วยให้เราโฟกัสที่เนื้อหาของผู้บรรยายด้วย

Project progress

ในสัปดาห์นี้ ฉันติดปัญหาที่ตัวโค้ดโปรแกรม มีบางอย่างที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ผลข้อมูลที่ฉันวิเคราะห์ออกมาไม่ตรงกับที่ควรจะเป็น ในสัปดาห์นี้ ฉันจึงไปหาเอเดรียนที่ออฟฟิศบ่อย ๆ เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และอีกปัญหาหนึ่งที่ฉันพบคือ ความผิดพลาดในการสื่อสาร ฉันเข้าใจงานที่ได้รับมอบหมายผิดไป ทำให้ที่ความคืบหน้างานของสัปดาห์ที่แล้ว ที่ว่าแล้วเสร็จที่ข้อ 2 ต้องกลับมาเริ่มต้นใหม่ที่ 0 ดังนั้น สัปดาห์นี้ ความคืบหน้าจากทั้งหมด 6 ข้อ ฉันจึงทำได้ถึงข้อที่ 3

Perfect riding and a nice coincident meeting friend

ในสัปดาห์นี้ ฉันคุ้นชินกับเส้นทางมาก ๆ แล้ว ฉันสามารถปั่นจักรยานด้วยตัวคนเดียวไปที่ GSI ซุปเปอร์มาร์เก็ต และรอบ ๆ เมืองดาร์มสตัดท์ได้แล้ว โดยในแต่ละวัน กิจกรรมประจำวันเริ่มจากการตื่นเข้ามาทานอาหารเช้าของโรงแรม และปั่นจักรยานไปที่ GSI ทำงาน ทานอาหารเที่ยงที่ร้านอาหารและดื่มกาแฟกับเพื่อนสนิทและเพื่อนชาวตุรกี ทำงานต่อในภาคบ่าย เมื่อถึงเวลาค่ำ ก็ปั่นจักรยานกลับ โดยแวะไปซุปเปอร์มาร์เก็ต ก่อนจะกลับโรงแรม และในเกือบทุกวัน บางทีก็สองครั้งต่อวัน ฉันมักจะพบเจอกับเพื่อนของเอเดรียนที่ซึ่งทำงานที่ GSI เช่นกัน โดยทุก ๆ ครั้งที่เราเจอกัน เราจะยกมือขึ้นเป็นการทักทายกันเสมอ แต่เราก็ไม่เคยพูดคุยกัน เพียงแค่โบกมือทักทาย จนเสมือนว่าทุก ๆ ครั้งที่เราปั่นจักรยานไปในเมือง ฉันจะต้องมองหาเขาตลอด เป็นเสมือนเกมเล็ก ๆ ที่ฉันเล่นในยามปั่นจักรยาน



ภาพแสดง อาหารเช้าของโรงแรม (ซ้าย) และบริเวณร้านกาแฟที่ฉันดื่มทุกวัน (ขวา)

Heidelberg visit

อย่างที่ฉันและเพื่อนทนาตกลงกันว่าเราจะต้องไปชม Heidelberg ให้ได้ และวันนี้ก็มาถึงโดยมีเพื่อนชาวตุรกีอีกคนร่วมเดินทางไปด้วย ฉันวางแผนการเดินทาง จัดเวลา ศึกษารอบรถไฟ ราคาตั๋ว โดยเมื่อไปถึง แน่ใจว่าแผนที่วางไว้ไม่เหมือนที่คิดเลยแม้เพียงเล็กน้อย เริ่มตั้งแต่เราเดินทางไปในวันเสาร์กัน จึงทำให้มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก ทำให้แผนการหลาย ๆ อย่างผิดพลาดไป ยกตัวอย่างเช่น ฉันวางแผนจะให้เราขึ้นกระเช้าไปชมปราสาท แต่ว่าเมื่อไปถึง มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก เราจึงจำเป็นต้องเดินขึ้นไปบนปราสาทแทน

สิ่งที่ได้จากการเดินทางในวันนี้ คือได้เห็นบรรยากาศของชาวยุโรป ถนนเมืองเก่า ร้านค้าสไตล์ยุโรป งานอีเวนต์แบบคิมเปียร์ในที่สาธารณะ ดนตรีที่ใจกลางเมือง ได้ชมมหาวิทยาลัยอันเก่าแก่ที่สุดของเยอรมัน และเป็นที่ที่เหล่าผู้ได้รับรางวัลโนเบลสังกัดอยู่ ได้ฝึกแก้ปัญหาในตอนที่มีเพื่อนชาวตุรกีไม่มีตัวขึ้นรถไฟ และได้ฝึกความอดทนในยามที่ตารางเวลาไม่เป็นไปตามที่คิด นับได้ว่าเป็นวันที่ได้เรียนรู้ และได้ชมหลายสิ่งหลายอย่าง เป็นอีกวันที่ดีจริง ๆ



ภาพแสดง บรรยากาศการเยี่ยมชมเมือง Heidelberg

สัปดาห์ที่ 5 (วันที่ 21 - 27 ส.ค. 2566)

ในสัปดาห์นี้ เป็นสัปดาห์ที่ไม่มีการบรรยายแล้ว และทุก ๆ คนก็เริ่มโฟกัสที่งานมากขึ้น ฉันทงเองก็เริ่มวางแผนที่จะเขียนรายงานส่ง ส่วนงานที่ฉันทงทำอยู่นั้นก็ไม่ค่อยจะราบรื่นนัก เมื่อผลการทดลองที่ฉันทงได้ ไม่ตรงกับทฤษฎีที่ควรจะเป็น ทำให้ฉันทงทำอะไรไม่ได้มาก นอกจากนั้น เอเดรียนเองก็มีธุระที่สวิสเซอร์แลนด์ จึงไม่สามารถไปหาที่ห้องเพื่อให้ช่วยแก้ไขปัญหาได้ แต่เราก็ตัดต่อกันผ่านอีเมลล์ โดยวิธีการแก้ปัญหาในจุดนี้ คือ ข้ามในส่วนที่ติดขัดไป และทำในส่วนที่ทำได้ไปก่อน ในตอนนี้ ฉันทงจึงดำเนินการได้ถึงข้อที่ 4 จากทั้ง 6 ข้อ

Forming regular habit

ในสัปดาห์นี้ก็จวัตรประจำวันเริ่มชัดเจนมากขึ้น คือทุก ๆ วันเมื่อเลิกจากงาน ฉันทง ฟีนันทนา และเพื่อนจากตุรกี จะไปที่ซูเปอร์มาเก็ตกันเพื่อซื้อขนมหรือวัตถุดิบสำหรับทำอาหารเย็นในแต่ละวัน บางวันเราก็ก็นไปในเมืองเพื่อซื้อของจำเป็นอื่น ๆ และเมื่อเอเดรียนไม่อยู่ที่ออฟฟิศ และบางครั้งอีเมลล์ก็ยังไม่ได้รับการตอบกลับ หลังจากนั่งทดลองแก้ปัญหาจนเคร่งเครียดแล้ว ฉันทงก็ออกจากออฟฟิศเร็วกว่ากำหนดเวลาเดิมเพื่อทำการผ่อนคลายด้วยการปั่นจักรยานไปรอบ ๆ เมือง สำรวจเส้นทางใหม่ ลองไปในถนนที่ไม่เคยไป จนถึงตอนนั้นการปั่นจักรยานได้ถือเป็นเรื่องสร้างความสุขที่ฉันทงต้องทำในทุก ๆ วันไปเสียแล้ว



ภาพแสดง สวนสาธารณะ และเส้นทางถนนในเมืองดาร์มสตัดท์ บริเวณใกล้กับที่พัก

The best meal in GSI

สิ่งหนึ่งที่ฉันทงอยากจะทำคือในวันพุธของสัปดาห์นี้ มีเมนูอาหารจากญี่ปุ่น คือเมนูหมูสามชั้นเทอริยากิ และข้าวสวยร้อน ๆ ฉันทงมีความสุขกับอาหารเที่ยงที่ GSI วันนี้นี้มาก ๆ เพราะไม่ได้ทานข้าวสวยมานาน



ภาพแสดง เมนูอาหารกลางวันโรงอาหาร GSI ที่อร่อยที่สุดในความคิดเห็นของฉันทง

Frankfurt visit

เนื่องจากฉันและพี่น้องหาได้ซื้อตั๋วเดินทางรอบเยอรมันในราคา 50 ยูโรมาแล้ว เราจึงลงความเห็นกันว่า จะเป็นการดีที่สุด หากเราไปเที่ยวทุก ๆ สุดสัปดาห์ โดยในสัปดาห์นี้ เราเดินทางไปที่แฟรงก์เฟิร์ต แฟรงก์เฟิร์ต เป็นเมืองท่าในอดีต และปัจจุบันถือเป็นหนึ่งในเมืองเศรษฐกิจของเยอรมัน ในวันที่พวกเราไป เป็นวันที่มีงานเทศกาลในตัวเมืองพอดี จึงมีนักท่องเที่ยวค่อนข้างเยอะ มีการแสดงดนตรีสด มีรถขายอาหาร ชุ้มขายเบียร์ และกิจกรรมให้เด็ก ๆ ทำจำนวนมาก

อีกกิจกรรมที่น่าตื่นตาตื่นใจคือการเข้าชมพิพิธภัณฑ์ ในแฟรงก์เฟิร์ตมีพิพิธภัณฑ์จำนวนมาก แต่ในวันที่พวกเราไปนั้น เรามีเวลาไม่มากนัก จึงตัดสินใจเข้าไปที่โบสถ์ the Imperial Cathedral of Saint Bartholomew ข้างในนั้นใหญ่มาก และสวยงามมาก ในส่วนของพิพิธภัณฑ์ก็โชว์ให้เห็นถึงเครื่องกาย เครื่องงานต่าง ๆ ที่บาทหลวงในสมัยแต่ก่อนใช้ ทั้งแก้วไวน์ ผ้าคลุม และเครื่องเงินเครื่องทองอีกมากมาย น่าเสียดายที่ทุก ๆ คำอธิบายถูกเขียนไว้ด้วยภาษาเยอรมัน ฉันจึงไม่สามารถที่จะซาบซึ้งถึงเรื่องราวได้อย่างเต็มที่ แต่เพียงได้เดินชมก็คุ้มค่ามากเพียงพอแล้ว



ภาพแสดง บรรยากาศที่แฟรงก์เฟิร์ต



ภาพแสดง บรรยากาศที่โบสถ์ the Imperial Cathedral of Saint Bartholomew

สัปดาห์ที่ 6 (วันที่ 28 ส.ค. - 3 ก.ย. 2566)

ในสัปดาห์นี้เป็นอีกสัปดาห์ที่ไม่มีการบรรยาย นักเรียนทุกคนต่างก็แยกย้าย รับผิดชอบงานวิจัยกัน เพราะเวลาเหลือน้อยลงทุกที ในสัปดาห์หน้าทุก ๆ คนจะต้องส่งเล่มรายงาน ฉันทึ่งมือทำงานวิจัย ทั้งนี้ งานก็ไม่คืบหน้ามากนัก เพราะเอเดรียนไม่สบาย ฉันทึ่งพยายามที่จะไม่รบกวนมากนัก และพยายามใช้เวลาในการแก้ปัญหาด้วยตัวเอง แต่ว่าแต่ละวันก็เป็นไปอย่างเชื่องช้า

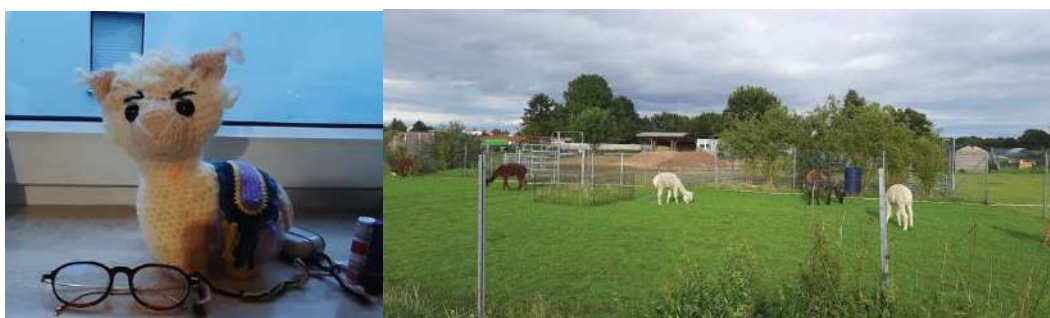
ในช่วงท้ายสัปดาห์เอเดรียนหายจากการป่วย และเราก็ได้ช่วยกันแก้ปัญหาที่ติดขัด จนในช่วงสุดสัปดาห์นี้ฉันสามารถทำงานได้ไปจนถึงข้อที่ 5 จากทั้ง 6 ข้อ

Comforting office mate

เรื่องน่าประทับใจอีกเรื่องหนึ่งที่ฉันอยากจะกล่าวถึง คือ ในช่วงที่เอเดรียนไม่สบาย และฉันติดปัญหา ไม่สามารถทำงานต่อไปได้ ทุกครั้งที่ฉันถามเพื่อนร่วมออฟฟิศชาวสเปน เธอจะรีบเดินเข้ามาช่วยเสมอ ถึงแม้ว่าจะช่วยไม่ได้ก็ตาม และในครั้งหนึ่งที่ฉันคิดว่า ถึงเวลาแล้วที่ฉันควรต้องหาทางอื่น จึงคิดว่าไปถามนักศึกษาปริญญาเอกของเอเดรียนดีกว่า แต่ก็ต้องรวบรวมความกล้าหาญมากหน่อย โดยเพื่อนชาวสเปนก็คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนให้ฉันกล้าที่จะไปถามนักศึกษาปริญญาเอกของเอเดรียนในที่สุด

Buying Alpaca doll

วันศุกร์แรกของเดือนนวนมาอีกครั้ง ฉันตัดสินใจไปที่ฟาร์มอีกครั้งเพื่อซื้อตุ๊กตาอัลปาก้าไปฝากพี่สาว แต่ครั้งนี้ฉันไปคนเดียว ฉันมีโอกาสดูคุยกับเจ้าของฟาร์มอีกครั้ง เธอเล่าถึงอัลปาก้าแต่ละตัวในฟาร์ม เธอมีความสุขในการพูดถึงพวกมันมาก ๆ และเธอยังเล่าถึงสินค้าทุก ๆ ชิ้นในร้านค้า จนท้ายที่สุดฉันก็ตัดสินใจซื้อตุ๊กตาอัลปาก้าอย่างที่เราได้เห็นในภาพด้านล่าง นับเป็นวันที่สดชื่นอีกวันหนึ่ง



ภาพแสดง ตุ๊กตาอัลปาก้าและอัลปาก้าในฟาร์ม

Marburg visit

วันหยุดสุดสัปดาห์นี้ ฉันวางแผนไปท่องเที่ยวที่ Marburg การเดินทางครั้งนี้ ฉันเดินทางไปคนเดียว เพราะที่นั่นหนาและเพื่อนชาวตุรกีติดภารกิจ การเดินทางวันนี้ใช้เวลาประมาณสองชั่วโมง Marburg เป็นเมืองที่สวยงาม มีบรรยากาศเป็นเมืองเก่า มีปราสาท และมีถนนที่เป็นอิฐเหมือนกับที่ Heidelberg แต่ให้ความรู้สึกที่สงบ และมีขนาดเล็กกว่า บริเวณย่านท่องเที่ยวอยู่บนเนินเขา วันนี้ทั้งวันฉันเดินไปรอบ ๆ เข้าชมร้านขายของฝาก

หลาย ๆ ร้าน ผู้คนที่นี้ใจดี น่ารัก บวกกับบรรยากาศที่ดี เพราะเมืองตั้งอยู่บนเนินเขา ก่อนจะกลับฉันแวะเข้าร้านอาหาร เพื่อซื้อกาแฟและนั่งทำรายงานเพิ่มเติมเล็กน้อยก่อนจะเดินทางกลับ

นอกจากจะเยี่ยมชมเมืองแล้ว วันนี้ฉันได้แวะซื้อกระเป๋าใบใหม่ เพราะกระเป๋าที่นำมาใช้นั้นขาดในช่วงเวลาตอนที่อยู่ Marburg ฉันซื้อกระเป๋าในราคานักศึกษา เป็นอีกหนึ่งข้อดีของเมืองที่มีมหาวิทยาลัย ทำให้หลาย ๆ ร้านค้ามีส่วนลดสำหรับนักศึกษา และอีกสิ่งหนึ่งที่ฉันชอบมาก ๆ คือ ด้วยความที่เป็นเมืองท่องเที่ยว จึงมีโปสการ์ดขายจำนวนมาก ฉันมีความสุขกับการซื้อโปสการ์ดและส่งกลับไปที่บ้านและเพื่อน ๆ ซึ่งทำให้ฉันคิดว่าฉันค้นพบงานอดิเรกชิ้นใหม่เข้าแล้ว



ภาพแสดง บรรยากาศในเมือง Marburg

สัปดาห์ที่ 7 (วันที่ 4 - 10 ก.ย. 2566)

สัปดาห์สุดท้ายก่อนเสร็จสิ้นการทำงานวิจัย บรรยากาศดีเครียดเป็นอย่างมาก ฉันเองก็ยอมรับว่ามีความเครียดสูง แต่ทุกอย่างก็ผ่านไปได้ด้วยดี ด้วยกำลังใจและความช่วยเหลือของเอเดรียน มาถึงสัปดาห์นี้ความคืบหน้าของงานวิจัยของฉันจบลงที่ข้อที่ 5 จากทั้ง 6 ข้อ เพราะด้วยเวลาที่จำกัดฉันจึงต้องยุติเพียงแค่นี้

ในช่วงสองวันสุดท้าย เอเดรียนช่วยฉันแก้ปัญหาที่ติดขัดทั้งหมด ช่วยอธิบายในทุก ๆ ข้อที่ไม่เข้าใจของงานวิจัย เพื่อให้พร้อมที่จะนำเสนอ

Stressed out on the report

ช่วงก่อนวันกำหนดส่งรายงาน ฉันเริ่มมีความเครียดที่มาก เพราะทำหลาย ๆ สิ่งไม่ทัน และมีความคิดว่าควรจะทำให้ได้มากกว่านี้ ฉันจึงใช้เวลานานมาก ๆ ในการทำรายงาน เพราะอยากจะทำให้ดีที่สุด ในวันถัดมาที่ฉันไปพบเอเดรียนเพื่อทำการแก้ไข เอเดรียนเหมือนจะจับได้ถึงความเครียดในสีหน้าของฉัน เอเดรียนจึงช่วยพูดให้แนวคิดว่า ฉันทำดีแล้ว และทุก ๆ สิ่งที่เกิดขึ้นที่นี่ ที่ซัมเมอร์สคูลไม่ควรต้องเป็นบ่อเกิดของความเครียดแต่

อย่างไร เพราะการมาที่นี้ ฉันมาเพื่อเรียนรู้ และเพียงแค่นี้ก็มากพอแล้ว เอเดเรียนถามว่าสรุปจากการทำงานวิจัยทั้งหมด ฉันได้เรียนรู้อะไรเพิ่มเติมหรือไม่ และฉันพบว่า ฉันได้เรียนรู้เยอะมาก ๆ ทั้งการใช้ชีวิต การทำงานกับโปรแกรม หลักการปฏิบัติของนักวิจัย เนื้อหาฟิสิกส์ของ accelerator และสิ่งที่ฉันมั่นใจว่าจะมีประโยชน์ต่อชีวิตทั้งชีวิตของฉัน คือประสบการณ์ ฉันได้เรียนรู้การที่จะถามคำถาม ได้เรียนรู้การใช้ชีวิตอย่างมีสมดุล (work life balance) และการเข้าร่วมกิจกรรม งานปาร์ตี้ต่าง ๆ ฉันได้เรียนรู้เยอะมากจริง ๆ

Report sending party & Bye bye Turkish friend

ตั้งแต่เวลาที่มาอยู่ที่โรงแรม ในทุก ๆ สัปดาห์ เพื่อน ๆ ต่างชาติมักจะจัดปาร์ตี้เล็ก ๆ ในยามค่ำคืน เช่น Movie night, lake day party, vine and cheese party, Ukraine memorial day party ซึ่งที่ผ่านมา ฉันไม่ค่อยได้เข้าร่วมนัก แต่ในวันสุดท้ายของการส่งรายงาน ฉันตัดสินใจไปร่วมงานเลี้ยง ร่วมฉลองส่งท้ายประสบการณ์ดี ๆ สิ้นสุดการทำงานวิจัย เหล่าเพื่อน ๆ เองก็พูดคุยกันดีกันอย่างสนุกสนาน

นอกจากงานเลี้ยงส่งท้ายการทำงาน พุธนี้ยังเป็นวันที่เพื่อนชาวตุรกีจะเดินทางกลับประเทศเพราะเหตุผลทางครอบครัว เราจึงถือโอกาสนี้ในการรำลาเพื่อนชาวตุรกีคนนี้ นับเป็นมิตรภาพที่ดีมาก ๆ เพื่อนคนนี้สอนฉันในเรื่องการเป็นคนที่ไม่อ่อนคาลัย การเที่ยวเล่นบ้างก็ไม่ใช่เรื่องผิด ถือเป็นประสบการณ์ดี ๆ อีกหนึ่งอย่างที่ได้จากซัมเมอร์ส쿨นี้



ภาพแสดง ฉันกับเพื่อนชาวตุรกี (ซ้าย) และบรรยากาศในปาร์ตี้เลี้ยงส่งท้ายการทำงาน (ขวา)

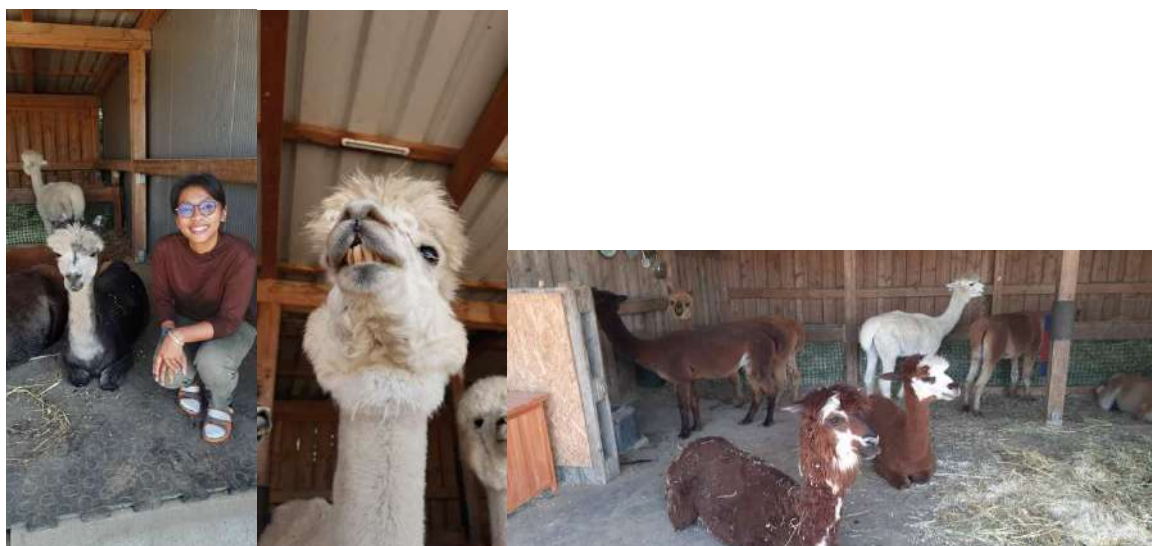
Visit the biophysics department

ในวันสุดท้ายระหว่างการเดินทางแก่ไซริฟอาร์ท ได้มีการติดต่อขออาจารย์ที่อยู่ในแผนก biophysics ไป เพื่อขอเยี่ยมชมแผนกสำหรับผู้ที่สนใจ ซึ่งฉันเองก็ได้มีโอกาสไปเยี่ยมชมด้วย ซึ่งทำให้ได้รู้หลายอย่างเพิ่มเติม โดยวิทยากรเล่าให้ฟังถึงรายละเอียดงานทั้งหมด โดยรายละเอียดสามารถดูได้ในเว็บไซต์โดยตรง และยังได้ไปดูห้องเครื่องมือต่าง ๆ เพิ่มเติมจาก medical cave ที่แสดงในกำหนดการณ์

ฉันได้เห็นถึงความสำคัญของเครื่องมือ CT และเครื่อง 3D printing ที่มีความละเอียดสูง ในปัจจุบันที่ GSI กำลังศึกษาผ่านสัตว์ทดลอง การมีเครื่องมือที่ใช้ศึกษาสัตว์เล็ก ๆ ได้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และการเยี่ยมชมครั้งนี้ยังช่วยให้เห็นถึงช่องทางในการทำงานของนักฟิสิกส์ในสาขาของ biophysics อีกด้วย

Alpaca visit

วันอาทิตย์ของสัปดาห์นี้ ฉันได้มีโอกาสไปที่ฟาร์มอัลปาก้าอีกครั้ง แต่ครั้งนี้เป็นการเข้าไปเยี่ยมชม โดยเหล่าผู้คลั่งไคล้อัลปาก้าตัดสินใจรวมกลุ่มกันและติดต่อไปจองคิวเพื่อเข้าไปสัมผัสใกล้ชิดกับอัลปาก้า ฉันได้เรียนรู้เรื่องราวของอัลปาก้ามากขึ้น ที่ฟาร์มที่ฉันไปเยี่ยมชม มีอัลปาก้าทั้งสิ้น 2 สายพันธุ์ ฉันได้เรียนรู้พฤติกรรมของอัลปาก้า รู้การวางตัวของมัน รู้ว่าหากจะมีอัลปาก้า ควรจะมีอย่างน้อย 3 ตัว ได้เรียนรู้พฤติกรรมการถ่มน้ำลาย การเคี้ยวอาหารด้วยการเก็บในกระเพาะพัก และยังสามารถถ่ายภาพคู่กับอัลปาก้าอีกด้วย นับเป็นความรู้และการเติมเต็มความฝันที่ต่ออย่างยิ่ง



ภาพแสดง บรรยากาศที่ฟาร์มอัลปาก้า

สัปดาห์ที่ 8 (วันที่ 11 - 17 ก.ย. 2566)

งานเลี้ยงย่อมมีวันเลิกรา ในสัปดาห์สุดท้ายนี้ มีการพิธีเซ่นงาน รวมทั้งสิ้นสามวัน มีการส่งคืนจักรยาน มีงานเลี้ยงส่งท้าย และช่วงเวลาเดินทางกลับ

Presentation day

ในวันนำเสนอ ฉันนั้นตื่นเต้นอย่างมาก ฉันตื่นเต้นอย่างที่ไม่เคยเป็นมาก่อน แม้จะเตรียมตัวมาดีเพียงใด หากเราตื่นเต้นแล้ว มันก็ยากที่จะทำให้การนำเสนอเป็นไปอย่างราบรื่น ในวันนี้เอเดรียนและนักศึกษาปริญญาเอกของเอเดรียนมาฟังฉันนำเสนอด้วย ฉันยอมรับว่าฉันทำได้ไม่นึก เพราะความประหม่าและตื่นเต้น แต่นักศึกษาริญาเอกก็ให้กำลังใจ และบอกว่าฉันทำได้ดีมาก ๆ ส่วนเอเดรียนก็ให้คำแนะนำที่จะช่วยให้การนำเสนอครั้ง

ถัด ๆ ไปราบรื่นมากขึ้น หนึ่งในเทคนิคที่เอเดรียนแนะนำ คือ ให้นำแก้วน้ำไปวางไว้ และเราจะสามารถใช้ จังหวะพักดื่มน้ำ ในการเตรียมตัว และพูดพาร์ทต่อ ๆ ไปได้ โดยรวมแล้วบรรยากาศในการนำเสนอเป็น บรรยากาศที่สนับสนุนเกื้อกูลกัน ทุกคนทำอย่างเต็มที่ และภาคภูมิใจในตนเอง



ภาพแสดง ฉันทในวันนำเสนองาน

Bike return

วันบอกลาจักรยานคู่ใจก็มาถึง ฉันทหลงใหลการปั่นจักรยาน และเชื่อว่าต่อจากนี้ไป ฉันทก็จะยังคงปั่นต่อไป แม้จะไม่ได้อยู่ที่เยอรมันแล้วก็ตาม

Photo for memory

ฉันทได้ขอถ่ายภาพกับเอเดรียนและนักศึกษาปริญญาเอกของเขาเพื่อเก็บไว้เป็นความทรงจำ



ภาพแสดง เอเดรียน (ซ้าย) ฉันท (กลาง) และนักศึกษาปริญญาเอกของเอเดรียน (คอนราต) (ขวา)

Farewell dinner

วันสุดท้ายที่ GSI มีปาร์ตี้สังท้าย เอเดรียนและฉันเราร่ำลากันในช่วงแรกของงานเพราะเขาไม่สามารถมาอยู่ร่วมงานจนจบได้ เราได้แลกเปลี่ยนกันเรื่องเส้นทางต่อจากนี้ ว่าฉันอยากที่จะทำวิจัยต่อไปหรือไม่ และเส้นทางของนักวิจัยในมุมมองของเอเดรียนเป็นอย่างไร ฉันรู้สึกซาบซึ้งและโชคดีมาก ๆ ที่ได้มีเอเดรียนเป็นติวเตอร์ เขาได้สอนฟิสิกส์ สอนโปรแกรม สอนการทำงานในฐานะนักวิจัยอย่างมีระบบ การสำรองข้อมูลในอินเทอร์เน็ต และที่สำคัญที่สุดคือมุมมองในชีวิตที่ฉันคิดว่ามีประโยชน์ยิ่งกว่าตัวความรู้เองเสียด้วยซ้ำ



ภาพแสดง ฉັນ (ขวา) และพีเปิ้ล (ซ้าย)

ฉันอยากจะแสดงความซาบซึ้งต่อคณะผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้ซัมเมอร์สคู่นี้เกิดขึ้นมาได้ การมาที่ซัมเมอร์สคู่นี้เป็นประสบการณ์ที่ล้ำค่าอย่างหาเทียบไม่ได้ และประสบการณ์กับทักษะต่าง ๆ ที่ฉันได้รับจากโครงการนี้จะติดตัวฉันตลอดไป นอกจากนี้ อีกบุคคลหนึ่งที่ฉันอยากจะแสดงความขอบคุณมาก ๆ คือพีปิ้นทนา ขอขอบคุณพีปิ้นทนาที่คอยให้กำลังใจ ช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่อง การได้มีพีปิ้นทนาเป็นเพื่อนร่วมทางทำให้การเดินทางครั้งนี้พิเศษมาก และทุก ๆ บทสนทนา ทุก ๆ ข้อคิดในชีวิตที่พีปิ้นทนาเคยพูดให้ฟัง ฉันจะรักษามันและนำมาใช้ในชีวิตประจำวันอย่างแน่นอน

สุดท้ายนี้ เอกสารเพียงไม่กี่แผ่นไม่อาจบรรยายความรู้สึก และประสบการณ์ทั้งหมดได้ แต่ก็หวังว่าบันทึกประจำวันนี้จะประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนัก

ภาคผนวกเชิงวิชาการ A

Electric Field Computation from Particle Distributions: A Study of Boundary Effects

Yaowaluk Buanill

Suranaree University of Technology, B6211066@g.sut.ac.th

This study examines the influence of boundaries on electric fields arising from uniform and Gaussian particle distributions within accelerators like the SIS100 at FAIR. Initial investigations were conducted without considering boundaries, progressing to scenarios that incorporate boundary considerations. Findings highlight computational challenges in Gaussian distributions and emphasize the importance of symmetrical configurations in bounded settings. The research underscores the necessity for efficient field computation methods in real-world accelerator contexts.

1 Introduction

As the world of particle physics evolves, so do the facilities designed to probe its mysteries. The Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) in Darmstadt, Germany, stands at the forefront of this progress. One of FAIR's promising components, the SIS100 accelerator, highlights the significance of boundaries, like vacuum pipes, in affecting the electric fields generated by charged particle distributions. This study explores how electric fields, originating from both uniform and Gaussian particle distributions, interact with boundaries similar to those in accelerators. Initial investigations considered fields without boundary influences. As the research progressed, the effects of these boundaries were introduced and analyzed. The primary focus of this work is on identifying efficient methods for computing these fields, essential for real-world accelerator applications such as the SIS100.

1.1 Research tools and repository

To lay the groundwork for this study, several essential Python libraries were incorporated. PyPIC[1] serves as a pivotal tool, utilizing the numerical particle-in-cell (PIC) algorithm: given a charge distribution, represented by electric charge density ρ , the algorithm first interpolates onto a regular grid. The potential ϕ is obtained by solving the discrete Poisson equation,

tion,

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad (1)$$

where ∇^2 is the Laplacian operator and ϵ_0 is the electric vacuum permittivity. Within PyPIC, the FFT (Fast Fourier Transform) [6] technique is employed for unbounded charge distributions in free space. On the other hand, the FDSW (Finite Difference with Shortley-Weller) [5] technique is employed for bounded distributions, ensuring the potential at the boundary on the grid approaches zero by modifying the discrete Poisson equation. Hereafter, we will refer to it simply as the Finite Difference (FD) method for brevity. `numpy` is employed for various calculations, spanning mathematical operations to particle generation, while `matplotlib` aids in plotting and data visualization. Following open science and FAIR principles, the entire codebase, results, and a concise overview of the work have been made available via Ref. [2].

1.2 Importance of geometry

In accelerator physics, the importance of geometry is widely recognized. This is highlighted by the elliptical design adopted for the SIS100 ring. A symmetric circular uniform disk was initially investigated, before attention was directed towards the more realistic Gaussian distributions.

2 Free space considerations

In the following analyses without boundary, we denote e as the elementary charge and x and y as the coordinates of the charged particles. For simplicity and to align with typical 2d considerations in accelerator beam dynamics, we assume a uniform linear charge density λ per unit length (i.e., per meter).

2.1 Uniform charge distribution

The electric field produced by a uniform charge distributed within a circular region of radius R centered at $(x, y) = (0, 0)$ along the x-axis was assessed. This was done using both the Fast Fourier Transform (FFT) method from the PyPIC library and an analytical approach rooted in Gauss's law. The resulting equation from Gauss's law, which describes the electric field in terms of λ and R , is:

$$E_{x_{\text{circ}}} = \begin{cases} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{x}{R^2} & |x| \leq R \\ \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{x} & |x| \geq R \end{cases} \quad (2)$$

The electric field, computed along $y = 0$ (x-axis), demonstrates consistent results between the analytical approach given by Eq. (2) and the numerical method, FFT. This congruence can be observed in Fig. 1, where the fields from both methods overlap. Adjacent to this representation in the same figure, the circular uniform distribution with a radius of 0.02 m is depicted on the right side.

2.2 Round Gaussian charge distribution

The electric field arising from a Gaussian charge distribution centered at $(x, y) = (0, 0)$ amounts to

$$E_{x_{\text{Gauss}}} = -\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \times x \times \int_0^\infty \frac{\exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2+t} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2+t}\right)}{(\sigma_x^2+t)\sqrt{(\sigma_x^2+t)(\sigma_y^2+t)}} dt \quad (3)$$

where σ_x and σ_y represent the standard deviations for the respective plane. For the round case, the standard deviation of this Gaussian distribution is set equal to the one of the uniform distribution, namely $\sigma_{x,y} = R/2$, which corresponds to 0.01 m.

To compute the discrete electric field, we employed the PyPIC library and its associated FFT method, similarly to the approach in section 2.1. For the analytical approach, Eq. (3) provides a direct method; however, the numerical evaluation of this intricate integral is computationally expensive. For the round beam case, the integral can be solved analytically [4]:

$$E_{x_{\text{Gauss}}} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r^2} \cdot x \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)\right) \quad (4)$$

where $r^2 = x^2 + y^2$, and σ denotes the standard deviation of the Gaussian distribution.

The electric fields derived from Eq. (4) and those computed using the FFT method show strong agreement. Figure 2 presents these fields alongside those from the linearized version of Eq. (4) and a uniform distribution. Notably, near the center of the distribution, the slope of the Gaussian field is twice as steep compared to the uniform distribution, while both approach the same electric field at large amplitudes. The geometry of the Gaussian charge distribution is also depicted on the right side of the figure.

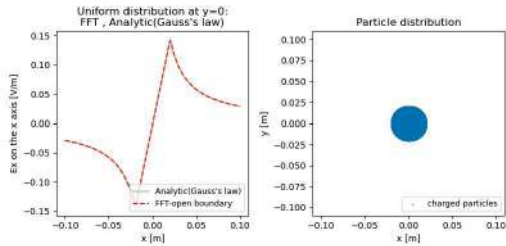


Fig. 1: Electric field along the x-axis due to a uniform charge distribution, and the geometry of the distribution

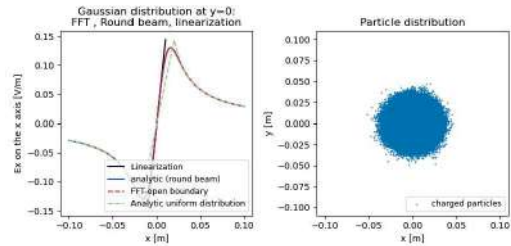


Fig. 2: Electric field along the x-axis due to a round Gaussian charge distribution, and the geometry of the distribution

2.3 Asymmetric elliptic Gaussian charge distribution and Bassetti-Erskine formula

In the case of non-round elliptical Gaussian charge distribution centered at $(x, y) = (0, 0)$, the equation for the electric field of a round beam (given by equation 4) becomes inapplicable. An alternative approach would be to use the integral form of the Gaussian distribution, as represented by Eq. (3). However, this method can be computationally intensive. The Bassetti-Erskine method [7], which leverages the Faddeeva function,

$$w(z) = \exp(-z^2) \left[1 + \frac{2i}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-t^2} dt \right], \quad (5)$$

offers a more computationally efficient electric field expression¹.

For the Bassetti-Erskine formula to be valid, the standard deviations must differ, $\sigma_x \neq \sigma_y$. Here, we consider $\sigma_x = 1.5\sigma_y$ with $\sigma_y = R/2$ set to 0.01 m. The computational region for the FFT method is expanded accordingly to be 1.5 times larger in the x-plane compared to the y-plane, creating an asymmetric computational domain for the FFT.

Comparing the electric fields calculated using both the semi-analytic Bassetti-Erskine equation and the numerical FFT method reveals matching results for the elliptic Gaussian distribution, as depicted in Fig. 3. Furthermore, by referencing the results from Eq. (4) computed using a round beam (from Fig. 2), it becomes evident that Eq. (4) is not suitable for the case of an elliptical charge distribution where σ_x differs from σ_y .

3 Boundary Considerations

In accelerators, the beams are confined in a vacuum pipe. The effect particularly of the SIS100 vacuum pipe on the electric field of the distribution is to be investigated. While studies have been conducted on the SIS100 [3], the influence of the boundary has not been extensively explored, making this study's focus especially pertinent. For a more accurate simu-

¹ The Bassetti-Erskine expression reads

$$E_y + iE_x = -\frac{\lambda}{2\epsilon_0 \sqrt{2\pi(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \left[w \left(\frac{x + iy}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \right) - \exp \left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) w \left(\frac{x \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_x} \right) + iy \left(\frac{\sigma_x}{\sigma_y} \right)}{\sqrt{2(\sigma_x^2 - \sigma_y^2)}} \right) \right]$$

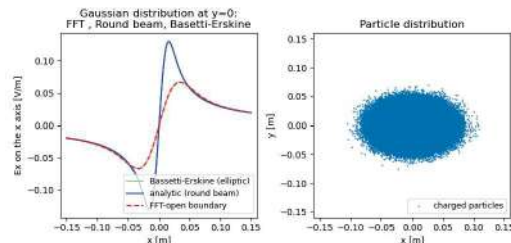


Fig. 3: Electric field along the x-axis from a Gaussian distribution in an ellipse shape is compared to the one from a circular shape, and the geometry of the ellipse shape distribution

lation of such environments, it is essential to account for these boundaries. One approach to achieving this is by solving the Poisson equation with the stipulation that the potential is set to zero at the boundary. The electric field of the beam is thus distorted to be perpendicular to the boundary. The Finite Difference with Shortley-Weller (FDSW) method, here abbreviated as the Finite Difference (FD) method, available in the PyPIC package, is well-suited for this task. While a symmetric boundary around a symmetrically located distribution has no impact on the electric field, asymmetric boundaries or dislocated distributions can lead to substantial distortions. For simulating these different scenarios and demonstrating the distortion, the FFT method is employed as a proxy for the open boundary case, while the FD method gives the correct result for a closed boundary. Here, we consider round beams in a round pipe.

3.1 Uniform Charge Distribution

For the uniform charge distribution, we retain the parameters previously defined in the unbounded scenario. The distribution has a set radius of $R = 0.02$ m, and the vacuum pipe, serving as the boundary, has a radius of 0.1 m. The charge distribution remains centrally positioned at $(x, y) = (0, 0)$.

The simulation results for this setup, along with the accompanying geometry of the distribution on the right side, are illustrated in Fig. 4. Both FFT and FD results are congruent, which is

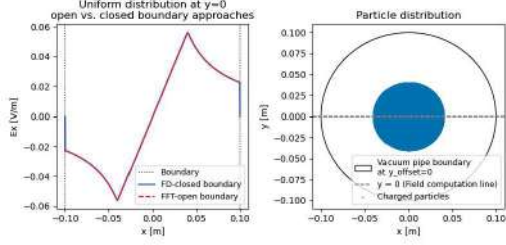


Fig. 4: Electric field along the x -axis due to a uniform charge distribution with boundary and the geometry of the distribution

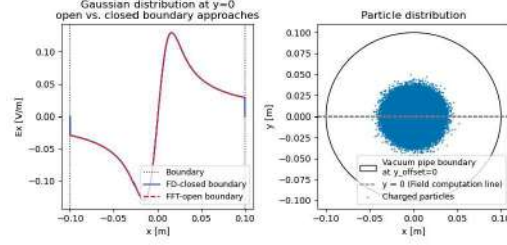


Fig. 6: Electric field along the x -axis due to a Gaussian charge distribution with boundary and the geometry of the distribution

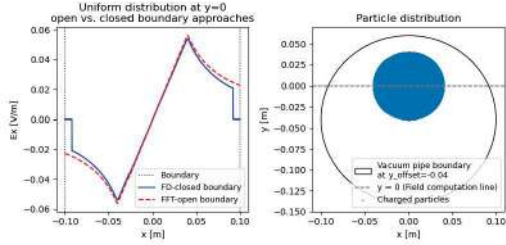


Fig. 5: Electric field along the x -axis due to a uniform charge distribution with boundary with offset $= -0.04$ m and the geometry of the distribution

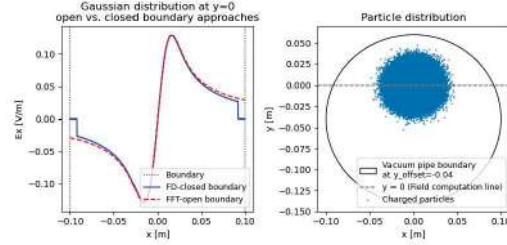


Fig. 7: Electric field along the x -axis due to a Gaussian charge distribution with boundary with offset $= -0.04$ m and the geometry of the distribution

expected given the symmetric arrangement of the charge distribution inside the vacuum pipe.

Upon altering the chamber's position downward to $y = -0.04$ m, this symmetry is broken. The resulting disparity between the FFT and FD methods is evident in Fig. 5. This discrepancy primarily emerges due to the asymmetry introduced by shifting the vacuum pipe.

3.2 Gaussian Charge Distribution

For the Gaussian charge distribution, we again adhere to the parameters set in the unbounded context. Retaining these specifications, the charge distribution is centered at $(x, y) = (0, 0)$.

Results from our simulations, using these parameters, are showcased in Fig. 6. As with the uniform distribution, there is an agreement between the FFT and FD computations due to the symmetric placement of the charge within the vacuum pipe.

Introducing asymmetry by adjusting the chamber's position to $y = -0.04$ m leads to variations between the FFT and FD results, as displayed in Fig. 7. Similar to the uniform distribution, this difference is attributed to the distortion of symmetry caused by the chamber's displacement.

4 Conclusion

For unbounded cases, we compared analytical equations to the numerical FFT method. Uniform charge distributions proved straightforward, while Gaussian distributions presented computational challenges due to the intricate integral equation involved. For round distributions ($\sigma_x = \sigma_y$), the analytic formula yielded consistency with FFT results. For elliptical distributions ($\sigma_x \neq \sigma_y$), the semi-analytic Bassetti-Erskine approach preserved this consistency.

Shifting to bounded scenarios with a vacuum pipe, centered charge placements mirrored unbounded results. However, deviating from this symmetry—by repositioning the pipe—revealed the expected discrepancies between FD and FFT calculations due to the distortion of the electric field by the present boundary.

5 Outlook

One key takeaway from our studies is that while the FD method is thorough, it is also computationally expensive. Therefore, future endeavors could focus on deriving a semi-analytical formula akin to the Bassetti-Erskine formulation but tailored to include the boundary effect.

Acknowledgments

The author wishes to offer profound and heartfelt gratitude to Adrian Oeftiger. His continuous support and extensive knowledge, ranging from beam dynamics to programming to how to learn, have been not only instructional but transformative.

Furthermore, my gratitude is extended to GSI for offering the opportunity to embark on this journey as a summer student. This project was a good learning experience, and the assistance and tools offered by GSI were critical in its completion.

References

- [1] Iadarola, G., Oeftiger, A., et al. (2023). PIC codes at CERN, software repository, PyCOMPLETE/PyPIC. url: <https://github.com/PyCOMPLETE/PyPIC>
- [2] Buanill, Y. (2023), Zenodo software repository, YaowalukB/indirect-beam. url: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8322384>
- [3] Oeftiger, A., Boine-Frankenheim, O., Chetvertkova, V., Kornilov, V., Rabusov, D. and Sorge, S. (2022). *Simulation study of the space charge limit in heavy-ion synchrotrons*. Phys. Rev. Accel. Beams, 25, 054402, <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevAccelBeams.25.05440>
- [4] Herr, W. (2006). *Beam-beam interactions*. url: <https://cds.cern.ch/record/941319>
- [5] Shortley, G., & Weller, R. (1938). *The numerical solution of Laplace's equation*. Journal of Applied Physics, 9(6), 334-348.
- [6] Cooley, J. W., & Tukey, J. W. (1965). *An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series*. Mathematics of computation, 19(90), 297-301.
- [7] Bassetti, M. & Erskine, G. (1980). *Closed expression for the electrical field of a two-dimensional Gaussian charge*. url: <https://cds.cern.ch/record/122227>

ภาคผนวกเชิงวิชาการ B

Evolution of activity during and after the implantation of radioactive ions

Nantana Monktata

Khon Kaen University, nantana.mon@kkumail.com

This study develops a model to study the time evolution of PET activity during and after the irradiation of positron-emitting isotope of oxygen, ^{15}O and ^{14}O Ions implanted in a homogeneous polymethyl methacrylate (PMMA) phantom. During ion implantation, nuclear fragmentation occurs, primarily influencing positron yield via projectile emission. Although not all positron annihilation events are detectable, our results accurately represent relative positron emitter proportions. The results demonstrate that the proposed model effectively captures the data when there are no fluctuations in intensity during the ion implantation process. Further analysis is needed to differentiate target and projectile contributions, considering pulsing dynamics during implantation to reduce uncertainties.

1 Introduction

Building on the fundamental understanding that charged particles moving through matter interact with atoms, gradually losing energy. However, their energy loss is not constant along their path. Instead, the energy loss increases as the particle slows down due to interactions with the material's electrons and nuclei. This interaction depends on particle type, speed, and material characteristics. The particle initially loses energy relatively slowly, and then, as it approaches a certain depth within the material, its energy loss increases significantly. This results in a distinct peak in the energy deposition profile, where a higher amount of energy is deposited in a localized region near the end of the particle's path which is referred to as the Bragg peak. The Bragg peak has important implications for radiation therapy, particularly in proton therapy and heavy ion therapy. Understanding the Bragg peak makes the control of the radiation dosage to a specific depth possible, which allows for the precise targeting of tumor tissue while minimizing damage to surrounding healthy tissue. Proton and heavy ion particle therapy offers advantages over photon or electron methods thanks to a thinner Bragg peak, which results in a narrower deposition range.

One of the major problems of particle therapy is the lack of accuracy in the image guid-

ance systems. This is due to the inherent uncertainties in the conversion from X-ray CT data to particle stopping powers, ranges and the anatomical changes leading to margin inclusion and potential harm to healthy tissues. Accurate monitoring of this range is crucial to ensure treatment effectiveness and safety. Feedback is lacking during ion therapy, necessitating precise planning. Anatomical changes pose challenges. A solution being explored involves feedback via image-guided ion therapy with positron-emitting radioactive beams, aligning activity peaks with ion-beam ranges for enhanced accuracy. For this reason, there is a need for the next generation of heavy-ion therapy facilities to provide therapy beams of short-lived positron-emitters for in vivo beam visualization.

In the pioneering work at Lawrence Berkeley National Laboratory in the early 1980s, this technique was first used as a low-dose probe beam for pre-treatment localization of malignant tissue prior to the heavy-ion therapy with stable beams. At the early stage of ion-beam therapy investigations at GSI, the scope of the in-beam PET imaging using radioactive ion-beam was investigated. Further developments at HIMAC, Japan, are focused on the positron-emitting isotopes of carbon and oxygen for therapy [1, 2].

In 2020, GSI initiated the BARB project (www.gsi.de/BARB), primarily aimed at pre-

clinical validation of real-time beam visualization in heavy ion therapy using positron-emitting isotopes, alongside fundamental research in this area [3]. As a part of this project, experiments were performed with the fragment separator FRS studying the evolution of the PET image during irradiation with positron emitters of carbon (^{10}C and ^{11}C) and oxygen (^{14}O and ^{15}O) [4, 5, 6]

The work outlined in this report is to develop a model to study the time evolution of PET activity during and after the irradiation of positron-emitting isotope of oxygen, ^{15}O ions implanted in a homogeneous polymethyl methacrylate (PMMA) phantom for PET imaging studies.

2 Material and Methods

FRS at GSI where this experiment was conducted is an in-flight secondary-beam facility. Secondary beams of positron emitters of oxygen were produced by projectile fragmentation of the ^{16}O ion beams accelerated by the SIS18 synchrotron and impinging on a beryllium production target at the entrance of the FRS. Isotopically pure beams of ^{15}O was delivered to the PET imaging setup. Details of the experiments can be found in [5, 6].

2.1 Positron emission tomography (PET) based range verification

The basic idea behind PET-based range verification involves utilizing a beam of positron-emitters with short lifespans for therapy purposes. The location of their PET activity peak aligns closely with the Bragg peak, and these positron-emitters emit significantly more activity. This results in the advantage of shorter PET measurement times. As the ion beam passes through the tissue, both the primary beam ions and the atomic nuclei in the patient, undergo nuclear fragmentation reactions respectively called projectile and target fragmentation. Some of these reaction products are positron emitters. Projectile fragments retain the velocity and direction of the projectile but with some deviations. The overall positron activity profile is composed of the contributions from the positron-emitting projectile fragment peaks superimposed on a plateau formed by the positron-emitting target fragments. The ac-

tivity peaks resulting from the implantation of positron-emitting therapy beams are expected to match closely the corresponding ion-beam range.

PET relies on the detection of coincident 511 keV gamma pairs produced in the annihilation of positrons released in the decay of positron-emitters. To understand the activity profile and to assign the uncertainty to the range information obtained, it is vital to know the relative contributions of positron emitters other than the therapeutic positron emitter, especially the secondary fragments whose main contribution is within the vicinity of the peak of interest. The only method to estimate contributions from different positron emitters is by studying the time evolution of the overall activity profile and disentangling individual contributions using the known half-lives of the potential candidates.

2.2 Radioactive decay

The rate at which a radioactive element decays is expressed in terms of its half-life, i.e., the time required for one-half of any given quantity of the isotope to decay. The "activity" $A(t)$, or the number of decays per unit time of a radioactive sample, can be expressed by the differential equation:

$$A(t) = \frac{dN}{dt} = -\lambda N(t), \quad (1)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

Here, $N(t)$ is the number of atoms present at time t , and λ is the decay constant. The decay constant λ and the half-life ($t_{1/2}$), which is the time required for a quantity of the isotope to reduce to half of its initial value.

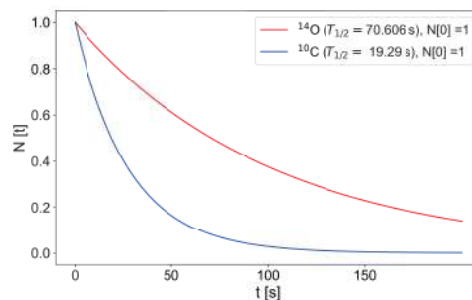


Fig. 1: Radioactive sample decay.

Decay behaviour of an radioactive sample accumulated by irradiation can be expressed by the differential equation is shown in Fig. 1

$$A(t) = \frac{dN}{dt} = -\lambda N + R = -\frac{\ln 2}{T_{1/2}} N + R \quad (2)$$

Where R is the implantation rate. Here the initial condition is $N(t = 0) = 0$, which signifies that no radioactive nuclei exist before irradiation. The solution of this differential equation is:

$$N(t) = R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \exp \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right) \quad (3)$$

The corresponding activity is given by

$$A(t) = R \left(1 - \exp \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right) \quad (4)$$

The saturation activity A_s is obtained when the rate of implantation is equal to the rate of nucleus decay, i.e., $A_s = A(t \rightarrow \infty)$.

It can easily be shown that after an irradiation time equivalent to 5 half-times of the activation material, the obtained activity already accounts for 97% of the saturation activity. If the scenario involves the accumulation of a radioactive isotope through an external process for a specified duration and data collection by the detector occurs both during and after this accumulation, as seen in experiments described by Kostlyeva et al. and Purushothaman et al., the decay behavior of a radioactive sample can be described by the following Eq.(5):

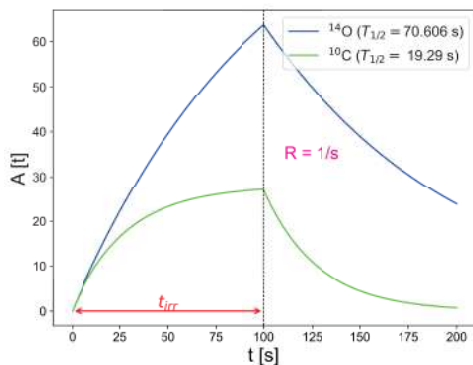


Fig. 2: The decay behavior of a radioactive sample during the accumulation through irradiation and after the irradiation is ended.

$$A(t) = \begin{cases} R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \exp \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t \right] \right), & t < t_{\text{irr}} \\ R \frac{T_{1/2}}{\ln 2} \left(1 - \exp \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t_{\text{irr}} \right] \right) \\ \times \exp \left[-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} (t - t_{\text{irr}}) \right], & t \geq t_{\text{irr}} \end{cases} \quad (5)$$

3 Analysis

To test the model described by Eq.(5), we utilized time evolution data recorded during coincidence events of positron activity signals from the high-energy run of ^{15}O , as presented by Purushothaman et al. During this run, a 99.5% pure secondary beam of ^{15}O with an energy of 307 MeV/u was implanted in a homogeneous polymethyl methacrylate (PMMA) phantom (with a density of 1.18 g/cm³) for 312 s. Coincidence events of positron activity signals were accumulated over a total of 900 s. The positron emitters considered for the analysis, taking into account the chemical composition of the phantom, are listed in Table 1. Positron emitters with lifetimes shorter than ^{10}C are not expected to be identified due to the experimental conditions and their low production cross-sections.

The source data collected by the sensor setup is in timestamp format, accurate to 1 millisecond. The timestamps were binned into segments of 100 ms, then curve fitted. The data can be divided into two consecutive segments, the first segment records during implantation and the second segment records the decay of the isotopes implanted and generated in the phantom. The first segment features peaks that coincide with beam-ON times, leading to a regular spiking in the reading, whereas the later segment features a simple decay curve that is immediately suitable for curve fitting. The rate increase during beam-ON time can be attributed to the fast-decaying positron-emitting projectile fragments (e.g. ^9C , ^{12}N , ^{13}O with half-lives in the millisecond range) produced within the phantom during the stopping process as well as to prompt g-emission from excited nuclear levels.

Curve fitting was performed for both sections using slightly different processes to account for the differences in the situation. Implantation was performed in a pulsed mode with a cycle time of 2.5 seconds (comprising 1.0 s of beam-on time followed by a 1.5s beam-off period). Naturally, this predictable behavior could be used

Isotope	half-life [s]
^{15}O	122.24
^{14}O	70.606
^{13}N	597.9
^{11}C	1221.8
^{10}C	19.29

Tab. 1: *The characteristics of positron-emitters isotopes considered for the analysis*

to simply remove the data in the beam's active times. However, because of a lack of recording of the beam timing signal, the next best solution was to filter this PET data directly. This implantation segment was filtered using a moving median filter of a duration equal to the cycle duration of the beam, and it removed any value beyond 1 standard deviation of the moving median. This filtering works because the median cannot be close to the peak values because the spill time is shorter than half of the beam cycle. To preserve the time information, a time axis was made for the binned data, and the removal of a data point by filtering also removed the corresponding time on the time axis. This filtering approach avoids any guesswork that other kinds of smoothing lead to. All data points that remain from the filtering originate from the original binned data. The curve fitting can then be performed on this filtered data. The curve fitting made use of a piece-wise function where the implantation and the decay behaviors were modeled using a linear combination of exponential functions. The model function was fitted using an iterative fitting model built into the Python library. Given the number of possible isotope candidates, the fitting was performed in steps. The curve fit only needed to find the initial value parameter of the exponential functions as the half-lives of the isotopes should not deviate significantly from literature values. A curve fit was first obtained in the later section of the decay curve, beyond 5 half-lives of the shorter-lived isotopes. This provided a reliable estimate of the initial amount for longer-lived isotopes. These estimates were then provided to the fitting tool, which further decreased the uncertainty reported by the algorithm.

The Python code is designed to execute the parameter fitting process using Python 3 for data acquisition based on Eq.(5). This equation represents a superposition of exponential decay components. The process assumes the

existence of specific isotopes, as mentioned earlier, and aims to illustrate their initial count rates. The code utilizes libraries such as pandas, numpy, matplotlib, and scipy.optimize. It begins by defining constants for the half-life (T) of various isotopes (see Table 1). It also defines the exponential and decay functions necessary based on Eq.(1) for the fitting process. Data is read from an Excel file containing time and count information. The data is then fitted to the defined decay function using curve fitting techniques. Coefficients representing initial counts are calculated based on the fitting. The fitted data and residuals are plotted on two subplots within a single figure. The main graph displays the original data and the fitted decay function, while the residual subplot shows the difference between the data and the fit. Subsequently, our analysis led us to discard certain isotopes due to their low initial count rates and shorter half-lives, while incorporating others into the investigation.

4 Results and discussion

For simplicity's sake, let's begin by examining the pure decay aspect of the activity profiles' temporal evolution. In Figures 3 and 4, we can observe the recorded time evolution data from coincidental positron activity signals during the high-energy run of ^{15}O and ^{14}O .

In Figure 3, ^{14}O dominates initially, followed by ^{13}N and ^{15}O . The percent of initial count rates for ^{15}O , ^{14}O , and ^{13}N are $84.08\% \pm 9.22$, $7.66\% \pm 2.94$, and $8.27\% \pm 3.04$. In Figure 4, ^{14}O dominates, with minor contributions from other isotopes. The percent of for ^{14}O , ^{13}N , and ^{11}C are $82.78\% \pm 9.15$, $3.80\% \pm 2.19$, and $13.43\% \pm 3.80$.

To improve fitting, a sequential approach is suggested, starting with the longest-lived isotope's data and progressing to shorter-lived ones.

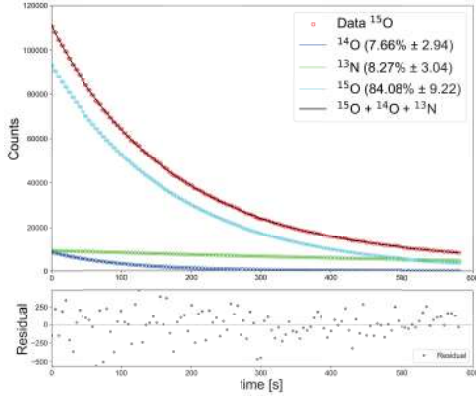


Fig. 3: the time evolution data recorded during coincidence events of positron activity signals from the high-energy run of ^{15}O .

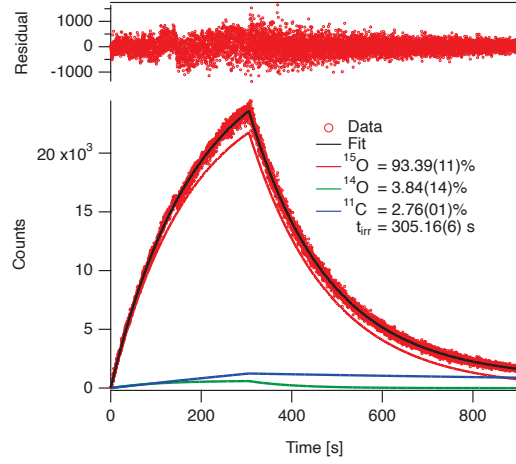


Fig. 5: The curve fitting performed on filtered data for ^{15}O .

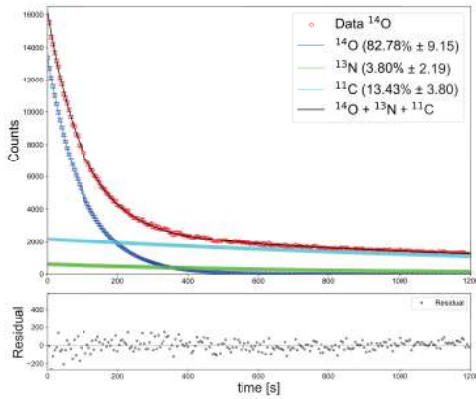


Fig. 4: the time evolution data recorded during coincidence events of positron activity signals from the high-energy run of ^{14}O .

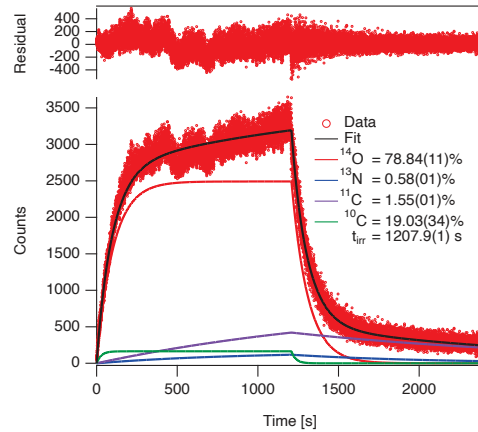


Fig. 6: The curve fitting performed on filtered data for ^{14}O .

The curve fitting model utilizing Eq.(5) and given the number of possible isotope candidates as shown in Fig.5 and Fig.6

Fig.5 and Fig. 6 depict the curve fitting performed on this filtered data and compare it to the number of possible isotope candidates obtained previously. The fit to the data shows that the isotopes are present in relative quantities, especially those that emit positrons. In the case of ^{14}O , it is observed that the evolution of activity during and after the implantation of radioactive ions exhibits beam intensity fluctuations, contrasting with ^{15}O , which shows minimal fluctuation. When the ion beam is implanted in the PMMA phantom, both the projectile and target nuclei undergo nuclear fragmentation, resulting in the production of lighter fragments. The production yield depends on the cross-sections of the processes involved.

The data used for the analysis presented in this report is generated by implanting positron-emitting isotopes of oxygen, specifically ^{14}O and ^{15}O , as described in [6]. Consequently, the positron yield is primarily influenced by the positron emission projectile itself. It's important to note that only a fraction of the 511 keV gamma pairs produced in the positron annihilation process are detectable, depending on the geometry and sensitivity of the PET scanner. However, the results obtained in this study accurately represent the relative proportions of various positron emitters produced during the implantation process. The outcomes of the analysis, as detailed in Section 3, are presented in Table 2

The preliminary assumption is that the ^{11}C

Implanted isotope	Identifiable Isotopes	Relative fraction [%]
^{15}O	^{15}O	93.39(11)
	^{14}O	3.84(14)
	^{11}C	2.76(01)
^{14}O	^{14}O	78.84(11)
	^{13}N	0.58(01)
	^{11}C	1.55(01)
	^{10}C	19.03(34)

Tab. 2: Relative contributions of positron-emitting isotopes relevant for the implantation of ^{15}O and ^{14}O beams to a PMMA phantom

component observed in the data is from the target fragmentation and the rest from the projectile fragments. The data used in this report consists of the total coincidence events recorded by the PET scanner. A further refinement of separately analyzing the coincidence events from the plateau region and the region around the Bragg peak will be a way forward to disentangle the projectile and target fragmentation contribution to a certain degree. Further, this study assumes that the implantation was carried out using a continuous beam. In reality, the beam operated in a pulsed mode. Incorporating the pulsing dynamics into the model was beyond the scope of this work. A comprehensive analysis process, which considers the pulse structure of the implantation as well as the intensity fluctuations of the beam, would be necessary to mitigate associated uncertainties as observed in ^{14}O data.

5 Conclusion

In this study, we developed a model to analyze the time evolution of PET activity during and after the implantation of positron-emitting isotopes in a PMMA phantom for PET imaging studies.

Isotopically pure beams of ^{14}O , ^{15}O were delivered to the PET imaging setup, ions were implanted in a PMMA phantom but significant amount of lighter positron-emitting isotopes produced by nuclear fragmentation of both the beam and the target can be identified.

The study assumed continuous beam implantation but the beam in the experiment is pulse. Pulsing dynamics were not included in the model due to the study's scope. To reduce uncertainties in ^{14}O data, a comprehensive analysis should consider implantation pulse structure

and beam intensity fluctuations.

Acknowledgments

This project has been successfully completed with great satisfaction. I would like to express my sincere gratitude to Dr. Sivaji Purushothaman, my tutor during the GSI summer student program, for his guidance, clear explanations, and project instructions. I'm also thankful to my fellow graduate student, Zixin He, for their valuable assistance in clarifying concepts and addressing my questions. My experience at GSI has been incredibly enriching, and I'm grateful for this opportunity.

References

- [1] M Kanazawa, A Kitagawa, S Kouda, T Nishio, M Torikoshi, K Noda, T Murakami, M Suda, T Tomitani, T Kanai, et al. *Nuclear Physics A*, 701(1-4):244–252, 2002.
- [2] Marco Durante and Katia Parodi. *Frontiers in physics*, 8:326, 2020.
- [3] Daria Boscolo, Daria Kostyleva, Mohammad Javad Safari, Vasiliki Anagnostatou, Juha Äystö, Soumya Bagchi, Tim Binder, Georgios Dedes, Peter Dendooven, Timo Dickel, et al. *Frontiers in oncology*, 11:737050, 2021.
- [4] Daria Boscolo, Daria Kostyleva, Christoph Schuy, Uli Weber, Emma Haettner, Sivaji Purushothaman, Peter Dendooven, Timo Dickel, Vasył Drozd, Bernhard Franczack, et al. 1043:167464, 2022.
- [5] D Kostyleva, S Purushothaman, P Dendooven, E Haettner, H Geissel, I Ozoemelum, C Schuy, U Weber, D Boscolo, T Dickel, et al. *Physics in Medicine & Biology*, 68(1):015003, 2022.
- [6] Sivaji Purushothaman, Daria Kostyleva, Peter Dendooven, Emma Haettner, Hans Geissel, Christoph Schuy, Ulrich Weber, Daria Boscolo, Timo Dickel, Christian Graeff, et al. 2023.