รายงานโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์

น.ส.สิดารัศมิ์ คำภักดี

ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สารบัญ

1. ความเป็นมาของโครงการ 2
2. หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ 4
3. IceCube Bootcamp (Science and Software Workshop) 7
4. Pencil Beam Project 12
5. การเยี่ยมชม Helically Symmetric eXperiment (HSX) 17
6. การเยี่ยมชม Physical Sciences Lab (PSL) 20
7. บันทึกความทรงจำ ข้อคิด และประสบการณ์ 24
8. ภาคผนวก Pencil Beam Project Documentation 39

1. ความเป็นมาของโครงการ

โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ (IceCube Summer Student Program) เป็นโครงการที่จัดขึ้นโดยความร่วมมือของ Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center: WIPAC ซึ่งเปิดโอกาสให้นักศึกษาไทยระดับปริญญาตรี และระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญา โท หรือปริญญาเอก) สาขาดาราศาสตร์ ฟิสิกส์ และสาขาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องมาเข้าร่วมโครงการดังกล่าว ณ University of Wisconsin-Madison ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเวลา 10 สัปดาห์ หรือประมาณ 2 เดือน โดยมีหนึ่งสัปดาห์ที่นักศึกษาไทยจะได้รับโอกาสเข้าร่วมหลักสูตรเข้มข้น และได้รับได้ประกาศนียบัตรการเข้าร่วมทางด้านรังสีคอสมิกและนิวตริโนพลังงานสูงจากอวกาศ ภายใต้การอบรมเชิงปฏิบัติการ IceCube Bootcamp ซึ่ง WIPAC ดำเนินการจัดขึ้นทุกปี (https://events.icecube.wisc.edu/)

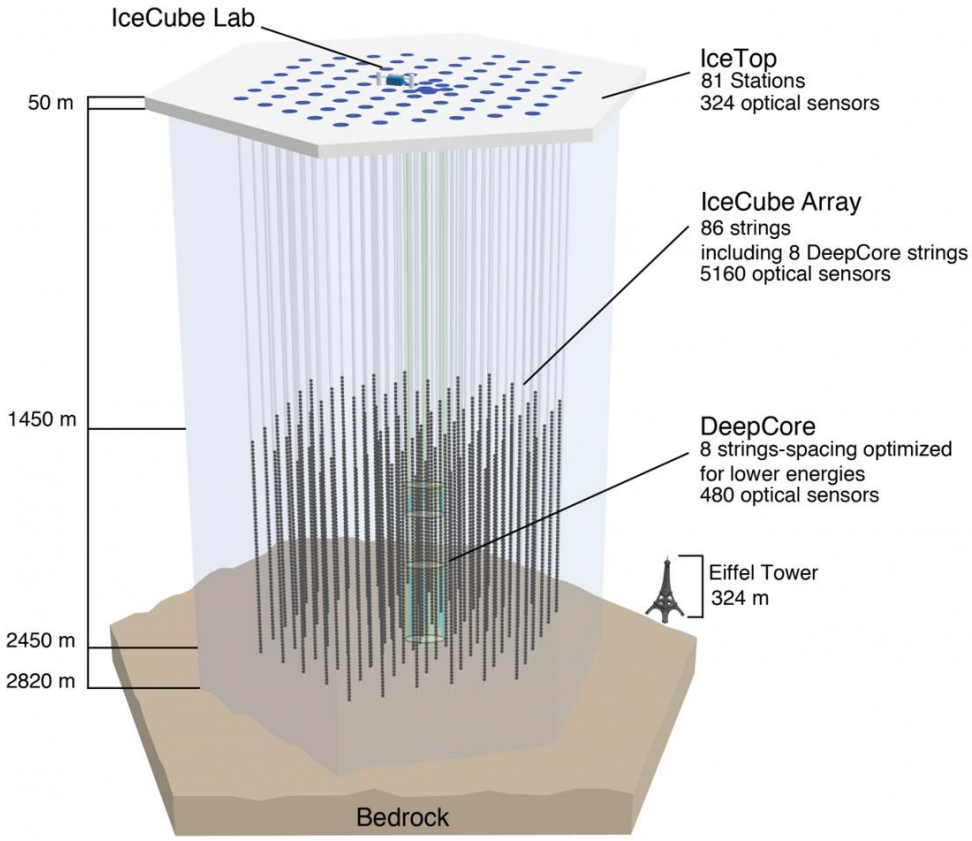
Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center: WIPAC ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ทูลเกล้าฯ ถวายทุนจำนวน 7,500 เหรียญสหรัฐแด่สมเด็จพระกนิษฐาธิราชเจ้า กรมสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี เพื่อพระราชทานแก่นักศึกษาสาขาดาราศาสตร์ ฟิสิกส์ และสาขาวิทยาศาสตร์ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องให้เข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ “IceCube Summer Student Program” ณ มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน ประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 2 คนต่อปี

สำหรับปี พ.ศ. 2565 Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center: WIPAC ทูลเกล้าฯ ถวายทุนโครงการ นักศึกษาภาคฤดู เป็นจำนวน 2 ทุน โดย WIPAC จะสนับสนุนค่าใช้จ่ายรายเดือนและที่พักในช่วงที่นักศึกษาทำงานอยู่ที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน (University of Wisconsin - Madison) ส่วนประเทศไทยโดยโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและกำลังคนที่เกี่ยวข้องกับหอสังเกตการณ์นิวตริโนในทวีปแอนตาร์กติกา (Thai-Antarctic Neutrino Observatory: TANO) ตามพระราชดำริฯ จะสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เป็นค่าตั๋วเครื่องบินไป-กลับระหว่างประเทศ ค่าเบี้ยเลี้ยงเสริมจากที่ WIPAC สนับสนุน ค่าวีซ่า และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม โดยคุณสมบัตินักศึกษาที่จะเข้าร่วมโครงการคือ กำลังศึกษาในชั้นปีที่ 3-4 ของการศึกษาระดับปริญญาตรี หรือกำลังศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท หรือปริญญาเอก) ในสาขาที่เกี่ยวข้อง เคยได้ศึกษาในหลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่ง ดังต่อไปนี้ (1) รังสีคอสมิก (cosmic rays) (2) ฟิสิกส์ดาราศาสตร์พลังงานสูง (high energy astrophysics) หรือฟิสิกส์พลังงานสูง (high energy physics) (3) ฟิสิกส์ดาราศาสตร์คณนา (computational

astrophysics) หรือฟิสิกส์คณนา (computational physics) (4) ดาราศาสตร์ฟิสิกส์สังเกตการณ์ (observational astrophysics) ซึ่งโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อน สำหรับปี พ.ศ. 2565 จัดขึ้นระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน - 31 กรกฎาคม 2565 ณ มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน (University of Wisconsin - Madison) ประเทศสหรัฐอเมริกา

2. หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์

ไอซ์คิวบ์ (IceCube) เป็นชื่อเรียกอย่างง่ายของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ (IceCube Neutrino Observatory) ตั้งอยู่ ณ สถานีขั้วโลกใต้ อมันด์เซน-สก็อตต์ ในทวีปแอนตาร์ติก (Amundsen–Scott South Pole Station) หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์สร้างเสร็จเมื่อวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2553 ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (NSF : National Science Foundation) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ไอซ์คิวบ์มีรูปแบบโครงสร้างการตรวจวัดอนุภาคนิวตริโนที่เป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยตรวจวัดแสงนับพันตัวกระจายอยู่ภายในน้ำแข็งหนึ่งลูกบาศก์กิโลเมตรภายใต้ชั้นผิวหน้าของขั้วโลกใต้ หน่วยตรวจวัดแสงแต่ละหน่วยนี้มีรูปร่างเป็นทรงกลมหรือเรียกว่า ดอม (DOMs: Digital Optical Modules) ซึ่งประกอบด้วยหลอดทวีคูณแสง (photomultiplier tube: PMT) และเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อกับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์แผ่นเดียว เซนเซอร์นี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากดอมแล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งอยู่ภายในห้องปฏิบัติการไอซ์คิวบ์บนพื้นผิวของทวีปแอนตาร์กติก ดอมทั้งหลายจะแบ่งออกเป็นชุด ชุดละ 60 ตัว แขวนอยู่บนเส้นลวด (string) แต่ละเส้นลงไปใต้น้ำแข็งที่ทำให้ละลายด้วยสว่านน้ำร้อน ในระดับความลึกจากชั้นผิวหน้าระหว่าง 1,450 ถึง 2,450 เมตร ไอซ์คิวบ์ได้รับการออกแบบเพื่อทำหน้าที่ตรวจหาจุดกำเนิดของอนุภาคนิวตริโนนอกระบบสุริยะ (ซุปเปอร์โนวา, หลุมดำ, พัลซาร์ ฯลฯ) ในย่านพลังงาน เทระอิเล็กตรอนโวลต์เพื่อศึกษากระบวนการพลังงานสูงทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์ที่ทำให้เกิดอนุภาคนิวตริโนดังกล่าว เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ได้มีการแถลงข่าวว่าไอซ์คิวบ์ตรวจพบอนุภาคนิวตริโนจำนวน 28 ตัวที่มาจากแหล่งกำเนิดภายนอกระบบสุริยะ และการค้นพบอนุภาคพลังงานสูงพิเศษของไอซ์คิวบ์เมื่อวันที่ 22 กันยายน พ.ศ. 2560 เป็นการค้นพบว่าอนุภาคพลังงานสูงดังกล่าวมีต้นกำเนิดมาจากเบลซาร์ ซึ่งเป็นหลุมดำที่ปล่อยลำเจ็ทมาที่โลกแบบพอดี ก่อนที่กล้องโทรทรรศน์ทั่วโลกและในอวกาศสามารถยืนยันการค้นพบได้ในเวลาต่อมา จากเหตุการณ์นี้ทำให้คำว่า ดาราศาสตร์พหุพาหะ (Multi-messenger astronomy) ได้รับการกล่าวขานถึงอย่างแพร่หลายจนนำมาสู่การยอมรับในระดับสากล และทำให้โครงการไอซ์คิวบ์เป็นโครงการขั้นแนวหน้า (Frontier) ในระดับโลก



รูปที่ 1 *แบบจำลองหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ ณ ขั้วโลกใต้*

กลุ่มการทำงานของไอซ์คิวบ์

กลุ่มการทำงานของไอซ์คิวบ์มี 5 กลุ่มดังนี้

กลุ่มทำงานของไอซ์คิวบ์

การวิเคราะห์ข้อมูล	กลุ่มทำงานเชิงเทคนิค	เครื่องมือวัดและแบบจำลอง	การวิจัยและการพัฒนา	กลุ่มงานอื่น ๆ
• การสั่น • รังสีคอสมิก • การแพร่/นิวตริโนในชั้นบรรยากาศ • ซูเปอร์โนวา • ฟิสิกส์นอกเหนือจากแบบจำลองมาตรฐาน • แหล่งกำเนิดนิวตริโน	• งานก่อสร้างและการวางระบบ • การคาลิเบรทตามเวลาจริง	• แบบจำลอง • ผลจากแบบจำลอง	• อะคูสติก • AURA • RASTA • PINGU • การสลายตัวของโปรตอน • การสร้างแบบจำลอง • ส่วนขยายของไอซ์คิวบ์ • ไอซ์แอค IceAct	• การสั่นของนิวตริโน • นิวตริโนพลังงานต่ำ • ทาวเลปตอนที่พลังงานสูงและองค์ประกอบ • อนุภาคแปลกประหลาด • WIMPs/สสารมืด • Transients Point source • การแตกตัว/ทาวเลปตอน • มิวออน • การตรวจสอบ

เนื่องจากกลุ่มทำงานของไอซ์คิวบ์ มีความร่วมมือกันหลายกลุ่ม ในการเข้าร่วม

3. IceCube Bootcamp (Science and Software Workshop)

การอบรมเชิงปฏิบัติการ IceCube Bootcamp ซึ่งดำเนินการจัดขึ้นทุกปีโดย WIPAC เป็นการอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรเข้มข้น ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ของไอซ์คิวบ์ อาทิเช่น เครื่องมือวัดนิวตรีโนไอซ์คิวบ์ ดาราศาสตร์พหุพาหะ ฟิสิกส์ สถิติ และรวมไปถึงการวิเคราะข้อมูลของ**หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ ณ ขั้วโลกใต้** การอบรมเชิงปฏิบัติการ IceCube Bootcamp จัดขึ้นทั้งหมดห้าวัน โดยเริ่มจากวันที่ 13 มิถุนายน ถึง 17 มิถุนายน 2564 โดยมีกำหนดการการอบรมดังนี้

13-Jun-2022

08:50-09:00	Introduction
09:00-09:30	Multi-messenger Astronomy
09:30-10:00	IceCube Detector
10:30-11:00	Diffuse Neutrinos from 1 TeV to 1 EeV
11:00-12:00	Computer Setup
13:00-13:45	Intro to Python
13:45-14:30	Advanced Python
15:00-16:00	Statistics-1

14-Jun-2022

09:00-10:30	Intro to IceTray
11:00-12:00	I3Tools and Visualization
13:00-13:30	Coding Best Practices
13:30-14:30	Distributed Computing
15:00-16:00	Statistics 2

15-Jun-2022

09:00-10:00	Simulation

10:30-11:00	Snowstorm
11:00-11:30	Cosmic Rays
11:30-12:00	Neutrino Physics
13:00-13:30	Detector Physics
13:30-14:00	Oscillations and BSM
14:00-16:30	Calibrations and Ice Models

16-Jun-2022

09:00-09:30	Analyses in IceCube
09:30-10:00	Filtering
10:30-11:00	Event Reconstruction
11:00-11:30	Event Selection
11:30-12:00	Gen2 Upgrade
13:00-13:10	Early Career Scientists
13:10-15:30	Diffuse Activity
15:30-16:00	Diffuse Activity Discussion

17-Jun-2022

09:00-09:30	South Pole
09:30-10:00	IceCube Upgrade
10:30-11:00	IceCube Science
11:00-11:30	Radio Detection of Neutrinos
11:30-12:00	Calibration Lab Tour

13:00-13:10	DEI Intro
13:10-15:30	Point Source Activity
15:30-16:00	Point Source Activity Discussion

การอบรมครั้งนี้ เปิดโอกาศให้ได้เรียนรู้หลายอย่างจาก เช่น ตั้งแต่ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของอนุภาคพลังงานสูง รังสีคอสมิค ประวัติความเป็นมาของ IceCube รวมไปถึงการสร้าง**หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ ณ ขั้วโลกใต้** วัดนิวตรีโนไอซ์คิวบ์ มีการอบรมเชิงปฏิบัติในการเลือกข้อมูลจากเครื่องมือวัดและการจัดการกับข้อมูล รวมไปถึงวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการจัดการข้อมูลที่ถูกต้อง มีการพูดเกี่ยวกับแผนการดำเนินงานเพื่อที่จะพัฒนาเครื่องตรวจวัด ณ ขั้วโลกใต้ **หรือที่เรียกว่าไอซ์คิวบ์อัพเกรด** (IceCube upgrade) และ**ไอซ์คิวบ์รุ่นที่** 2 (IceCube Gen2) นอกจากนี้ยังได้ไปเยี่ยมชมแล็ปของ**หอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ที่ตั้ง**อยู่ที่ตึกภาควิชาฟิสิกส์ของมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน (University of Wisconsin - Madison) อีกด้วย

รูปที่ 2 การบรรยายเรื่องขั้วโลกใต้ในการอบรม

รูปที่ 3 ผู้เข้าร่วมประชุมทางออนไลน์ เนื่องจากการระบาดของโรคโควิด 19

รูปที่ 4 การเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการไอซ์คิวบ์

รูปที่ 5 ผู้เข้าร่วม IceCube Bootcamp

4. งานวิจัยระยะสั้น Pencil Beam Project

ในการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนของหอสังเกตุการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ครั้งนี้ มีการทำงานวิจัยระยะสั้น โดยอยู่ในกลุ่มทำงานเกี่ยวกับการคาลิเบรท (Calibration group) ซึ่งเป็นกลุ่มย่อยของกลุ่มทำงานเชิงเทคนิค โดยหัวข้อที่ได้รับคือ “Pencil Beam” มีผู้ดูแลคือนักวิทยาศาสตร์ชื่อว่า Christopher Wendt และวิศวกรผู้ช่วย Jack Nuckles โดยทั้งสองคนทำงานอยู่ที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน

สำหรับโครงการ Pencil Beam เป็นโครงการที่สร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ เนื่องจากการสร้างหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ต้องนำเซนเซอร์ตรวจวัดไปติดตั้งไว้ที่ใต้พื้นน้ำแข็งเพื่อตรวจจับอนุภาคพลังงานสูงจากอวกาศ โดยอนุภาคนั้นจะมาถึงเซนเซอร์ได้ต้องผ่านชั้นน้ำแข็ง ซึ่งชั้นน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทุกๆปีที่ศึกษา ดั้งนั้นจึงต้องศึกษาคุณสมบัติน้ำแข็งร่วมด้วย โดย Pencil Beam คือการยิงแสงเลเซอร์ไปยังน้ำแข็งบริเวณและใช้โฟโตไดโอดตรวจจับแสงที่ปล่อยออกมา เพื่อที่จะหาว่าแสงที่ยิงออกมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปอย่างไร เพื่อสร้างแบบจำลองของน้ำแข็งในบริเวณเซนเซอร์ที่ขั้วโลกใต้ได้

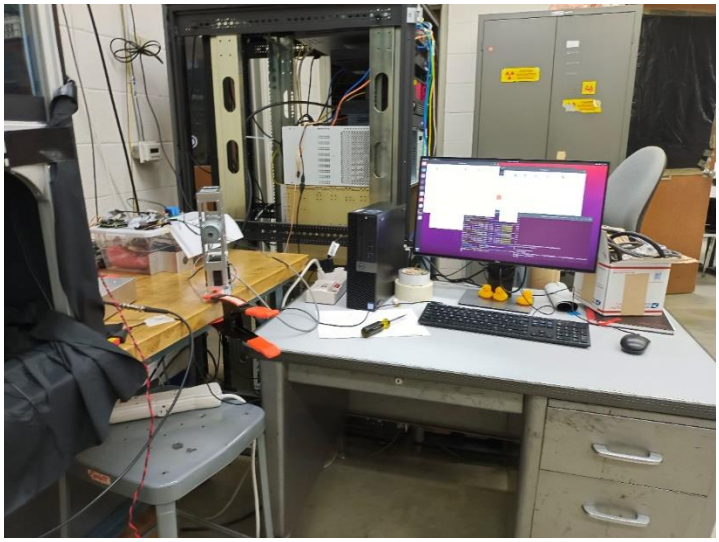
อุปกรณ์ Pencil Beam ประกอบไปด้วยสองส่วนหลักๆคือ ส่วนของ LED ที่ทำหน้าที่ปล่อยแสงออกมาในความเข้มแสงที่เราต้องการ และโฟโตไดโอด ซึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณที่ถูกปล่อยออกมาจากตัว LED ในงานวิจัยระยะสั้นในครั้งนี้ พวกเราได้มีโอกาศในการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะสื่อสารกับอุปกรณ์ โดยทำการสั่งให้ตัว LED ปล่อยแสงออกมาที่ความถี่และความสว่างในช่วงต่างๆ และรับสัญญาณแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากตัว LED เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากโฟโตไดโอดมาวิเคราะห์

สำหรับการได้มางานวิจัยระยะสั้นในครั้งนี้ ได้เปิดโอกาสให้พวกเราได้เรียนรู้เกี่ยวกับการคาริเบรทอุปกรณ์ ได้ศึกษาเครื่องมือมากยิ่งขึ้น มีการวิเคราะห์ข้อมูล และได้ร่วมนำเสนอและรายงานความก้าวหน้าการทดลองร่วมกันทุกสัปดาห์ และได้แลกเปลี่ยนมุมมองความรู้ของกันและกัน

รูปที่ 6 Jack อธิบายการโปรแกรมสื่อสารกับอุปกรณ์ Pencil Beam

รูปที่ 7 Christ กำลังแนะนำงานคำสั่งต่างๆในคอมพิวเตอร์

รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษา Calibration ภายใต้โปรเจค Pencil Beam

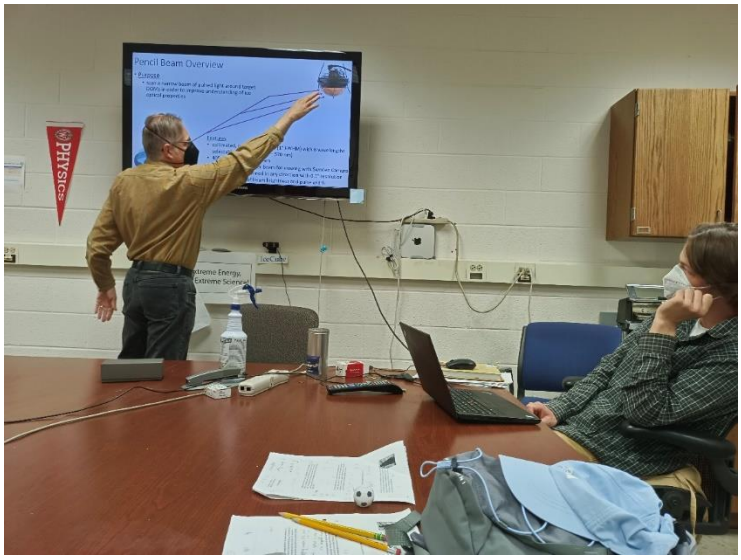


รูปที่ 9 คอมพิวเตอร์ที่ใช้สื่อสารกับอุปกรณ์ pencil beam ซึ่งเราจะทำงานกับคอมพิวเตอร์เครื่องนี้

รูปที่ 10 บรรยากาศการนำเสนอความก้าวหน้า

รูปที่ 11 บรรยากาศการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

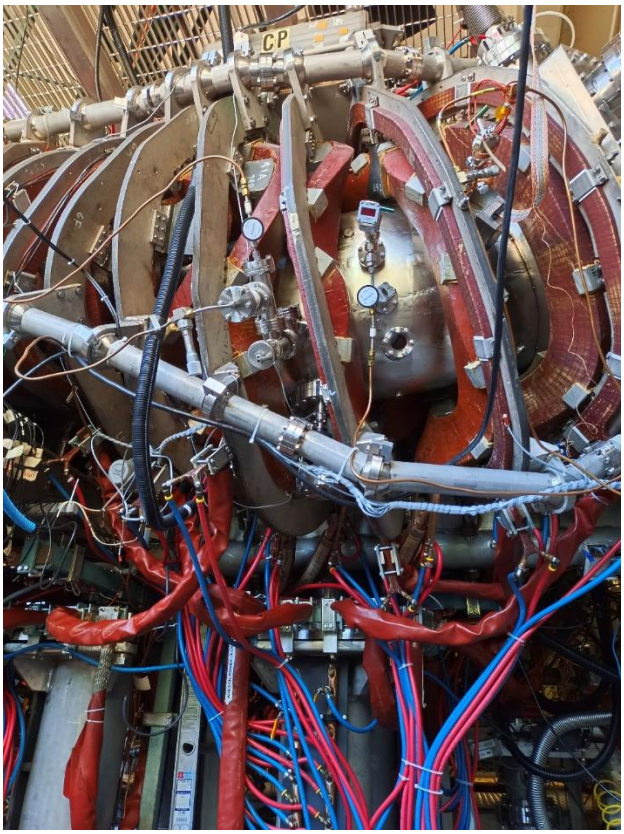
รูปที่ 12 บรรยากาศการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น



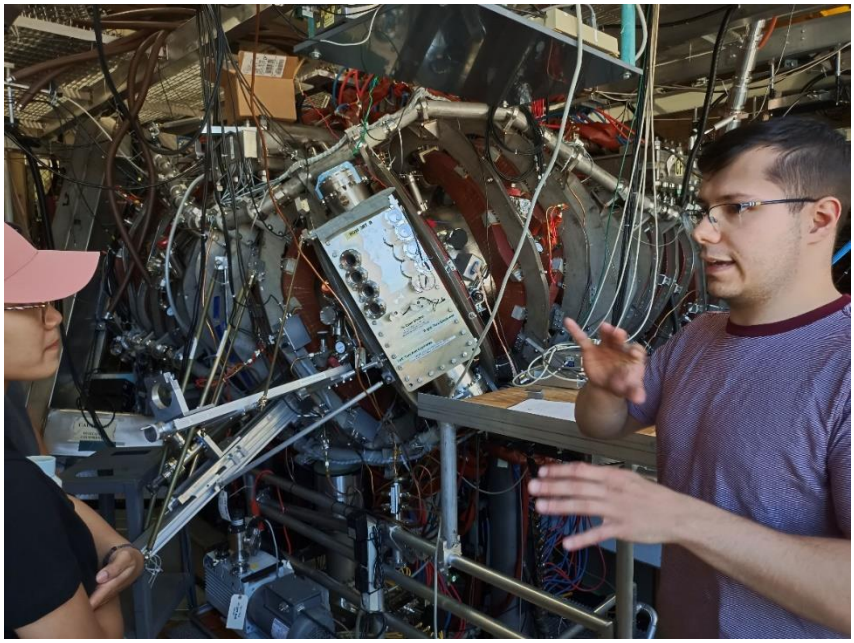
รูปที่ 13 บรรยากาศการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น

5. การเยี่ยมชม Helically Symmetric eXperiment (HSX)

ในระหว่างการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ พวกเราได้มีโอกาศได้รู้จักพี่นักเรียนไทยที่ไปเรียนอยู่ที่มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน ที่เรียนและทำวิจัยเกี่ยวกับพลาสม่าฟิสิกส์ และได้รับโอกาศจากรุ่นพี่ให้เข้าไปเยียมชมแล็ปที่พี่กำลังเรียนอยู่ได้ พวกเราจึงได้มีโอกาศได้เห็นเครื่องมือที่เรียกว่า Helically Symmetric eXperiment (HSX) ที่ตั้งอยู่ในอาคารวิศวกรรมของมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน โดยเครื่องมือ HSX เป็นเครื่องมือในการสร้างนิวเคลียฟิวชั่น เพื่อใช้ในในการศึกษาทางพลาสม่าฟิสิกส์ ซึ่งหนึ่งในจุดประสงค์เกี่ยวกับพลาสม่าฟิสิกส์คือการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (transport) ความแปรปรวน (turbulence) ในสนามแม่เหล็กแบบ quasi-helically symmetric



รูปที่ 14 Magnetic field generator



รูปที่ 15 นักศึกษาที่ทำวิจัยเกี่ยวกับ HSX กำลังอธิบายหลักการทำงานของเครื่อง

รูปที่ 16 บรรยากาศของการเยี่ยมชม

รูปที่ 17 บรรยากาศของการเยี่ยมชม

6. การเยี่ยมชม Physical Sciences Lab (PSL)

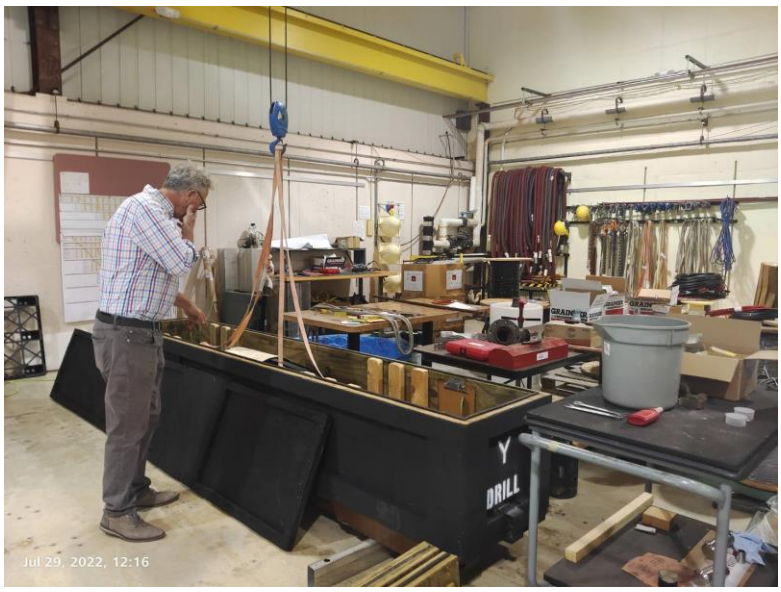
Prof. James Madsen – Executive Director, Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center (WIPAC), ได้พาพวกเราไปเยี่ยมชม Physical Sciences Lab (PSL) ในวันที่ 29 กรกฎาคม 2565

PSL เป็นแล็ปที่ทำงานวิจัย ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ให้กับโครงการต่างๆ รวมถึงโครงการหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ด้วย นอกจากนี้ PSL ยังเปิดโอกาศให้นักวิจัย วิศวกร นักฟิสิกส์ที่สนใจเข้ามาร่วมในการทำงานวิจัยกับ PSL โดยสร้างความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน-แมดิสัน ตั้งแต่ปี พศ 2510 เป็นต้นมา โดยได้สร้างงานวิจัยไปแล้วกว่า 6000 โปรเจ็ค รวมถึงโครงการใหญ่อย่างหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ที่ขั้วโลกใต้และเซิร์นที่สวิสแลนด์

Prof. James ได้พาพวกเราไปดูเครื่องมือเจาะน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ (driller) และพื้นที่ของแล็ปที่ทำงานวิจัยในการสร้าง DOMs และ PMT ให้กับหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์. นอกจากนี้ PSL ยังเป็นสถานที่ในการทดสอบและอบรมการใช้อุปกรณ์ของหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ก่อนที่จะขนส่งไปยังขั้วโลกใต้

รูปที่ 18 สถานที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนส่งไปขั้วโลกใต้

รูปที่ 19 กล่องอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับโครงการไอซ์คิวบ์



รูปที่ 20 บรรยากาศภายในแล็ป

รูปที่ 21 ฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ขุดเจาะน้ำแข็ง

รูปที่ 22 เครื่องมือเจาะน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ (driller)

รูปที่ 23 เครื่องมือเจาะน้ำแข็งที่ขั้วโลกใต้ (driller)

รูปที่ 24 ดอม (DOMs: Digital Optical Modules)

7. บันทึกความทรงจำ ข้อคิด และประสบการณ์

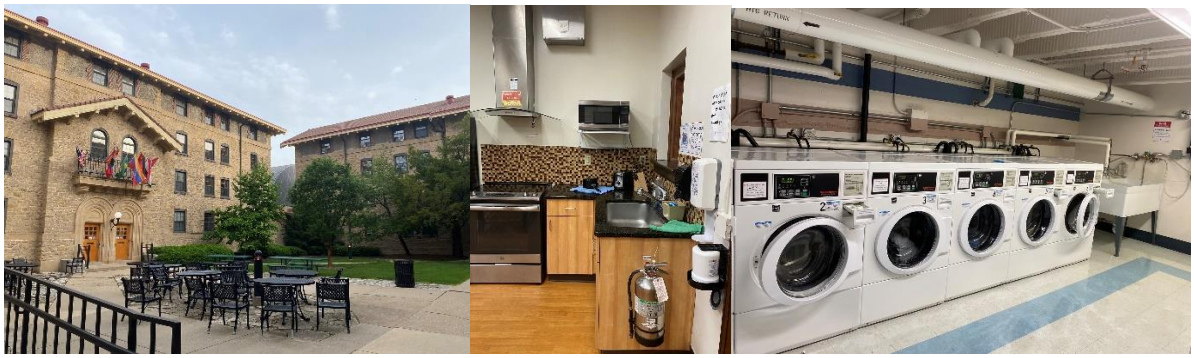
สัปดาห์ที่ 1 (30 พฤษภาคม 2565 – 5 มิถุนายน 2565)

การผจญภัยกำลังเริ่มขึ้น! สมาชิกที่จะเดินทางไปเข้าร่วมโครงการไอซ์คิมบ์ทั้ง 4 คน ได้แก่ ผศ.ดร.วราภรณ์ นันทิยกุล, ดร.อัจฉรา เสรีเพียรเลิศ, นางสาวเกล็ดทราย ภูผาคุณ และฉัน นางสาวสิดารัศมิ์ คำภักดี อยู่พร้อมหน้าพร้อมตากันเพื่อรอการเดินทางไกลในครั้งนี้ จุดหมายปลายทางของพวกเราอยู่ที่เมืองแมดดิสัน รัฐวิสคอนซิล ประเทศสหรัฐอเมริกา เที่ยวบินออกเดินทางจากสนามบินสุวรรณภูมิ ต่อเครื่องที่สนามบินฮาเนดะ ประเทศญี่ปุ่น และลงเครื่องที่เมืองชิคาโก ใช้เวลาทั้งหมดเกือบ 24 ชั่วโมงในการเดินทางโดยเครื่องบิน จากนั้นได้ต่อรถบัสจากสนามบินที่ชิคาโกไปยังเมืองแมดดิสันอีก 3 ชั่วโมง ถึงที่หมายในวันที่ 30 พฤษภาคม 2565 นับได้ว่าเป็นการเดินทางที่ยาวนานที่สุด

รูปที่ 256 ผู้เข้าร่วมโครงการ IceCube Summer 2022 เรียงจากทางซ้ายมือ ดร.อัจฉรา, ผศ.ดร.วราภรณ์, ฉัน และพี่เกล็ดทราย ณ สนามบินสุวรรณภูมิก่อนออกเดินทาง

เมืองแมดดิสันค่อนข้างสงบ ผู้คนที่อาศัยส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของนักเรียน นักศึกษา วัยทำงาน และวัยเกษียณ ไม่ได้วุ่นวายมากเหมือนเมืองชิคาโก คนมากมายหลายเชื้อชาติ ในวันที่เดินทางมาถึงที่แมดิสัน Prof. James Madsen พาพวกเราไปที่พักซึ่งเป็นหอพักภายในมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน - แมดิสัน หอพักมีเครื่องอำนวยความสะดวกครบครัน มีห้องนั่งทำงาน ห้องอ่านหนังสือ ห้องซักอบรีด และที่สำคัญคือ ห้องครัวส่วนกลางที่

เปิดตลอดเวลา และแน่นอนว่าการทำอาหารทานเอง มันทำให้การมาอยู่ที่นี่ง่ายขึ้นอย่างมาก อย่างน้อยๆก็คือทำให้คิดถึงอาหารที่ไทยได้น้อยลง



รูปที่ 27 หอพักภายในมหาวิทยาลัย, ห้องครัว และห้องซักรีด

ในช่วงวันที่ 1-2 มิถุนายน 2565 เป็นเวลาในการปรับตัวเข้ากับเวลาและสถานที่แห่งนี้ เนื่องจากเวลาของแมดดิช้ากว่าเวลาประเทศไทย 12 ชั่วโมง ดั้งนั้นช่วงเวลากลางวันของที่นี่จะตรงกับกลางคืนของประเทศไทย เมื่อปรับตัวเข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ได้แล้วก็ถึงเวลาเรียนรู้สิ่งใหม่ๆ ในวันที่ 3 มิถุนายน 2565 เป็นครั้งแรกที่ฉันได้ไปที่ทำงานของ Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center: WIPAC อยู่ห่างจากที่พักราวๆ 2 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินประมาณ 30 นาที เมื่อไปถึง Prof. James Madsen ได้แนะนำพวกเราให้รู้จักกับคนที่นี่หลายคน มีทั้งนักวิจัย วิศวกร และนักศึกษาปริญญาเอก และได้พูดคุยเกี่ยวกับโปรเจคงานที่จะช่วยทำ

รูปที่ 28 สถานที่ทำงานของ Wisconsin IceCube Particle Astrophysics Center: WIPAC และประชุมกับ Prof. James Madsen เกี่ยวกับโปรเจคงาน

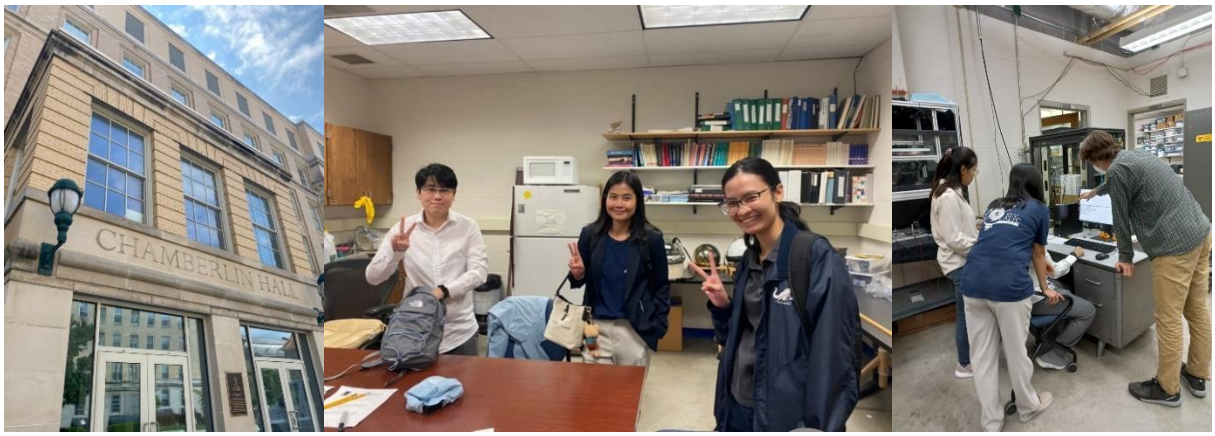
ในช่วงวันที่ 4 – 5 มิถุนายน 2565 เป็นวันที่พวกเราออกสำรวจเมือง รวมถึงซื้อของใช้จำเป็นเข้าหอพัก รู้สึกเหมือนได้กลับเป็นเด็กนักศึกษาปีหนึ่งที่ตื่นเต้นไปกับทุกอย่าง รวมถึงเป็นช่วงเวลาที่ต้องปรับตัวกับการสิ่งใหม่ๆ เป็นช่วงเวลาที่คิดถึงครอบครัวและอาหารไทยมาก จนต้องเข้าครัวทำกับข้าวเพื่อคลายความคิดถึงลงบ้าง เริ่มต้นเมนูง่ายๆคือ สุกี้ ที่เอาน้ำจิ้มมาจากไทย

รูปที่ 29 ไปซื้อของใช้จำเป็นและวัตถุดิบในการทำอาหารที่ Fresh Market และอาหารเย็นเป็นสุกี้

<u>สัปดาห์ที่ 2 (6 มิถุนายน 2565– 12 มิถุนายน 2565)</u>

หลังจากที่พักผ่อนอย่างเต็มที่ในวันที่ 6 มิถุนายน เป็นวันที่พวกเราทั้งสี่ทบทวนเนื้อหาและรายละเอียดคร่าวๆที่ต้องเริ่มงานเกี่ยวกับโปรเจคที่เคยคุยไว้กับ Prof. James Madsen จากนั้นในวันที่ 7 มิถุนายน มีนัดกับนักวิจัยและวิศวะกรผู้ช่วยที่ตึกภาควิชาฟิสิกส์ซึ่งมีชื่อว่า Chamberlin Hall ซึ่งอยู่ไม่ไกลมากจากหอพัก ใช้เวลาเดินประมาณ 10 นาที ภายในตัวอาคาร ห้องแลปและห้องเรียนดูสะอาดสะอ้าน มีจุดเติมน้ำดื่ม ห้องน้ำ และที่นั่งอ่านหนังสือกระจายอยู่ทุกที่ เห็นได้ว่าที่นี่เป็นมหาวิทยาลัยที่ให้ความสำคัญกับผู้เรียนเป็นอย่างมาก ห้องที่พวกเราจะต้องไปทำงานอยู่ชั้นสี่ เป็นห้องปฏิบัติการเล็กๆของ IceCube ลักษณะเป็นห้องเล็กหลายห้องเชื่อมกัน ส่วนใหญ่จะเป็นที่ให้เก็บของและมีพื้นที่สำหรับทำการทดลองทางไฟฟ้า หลังจากเดินสำรวจห้องเรียบร้อย ถึงเวลาประชุมงานกับนักวิทยาศาตร์ของ IceCube ชื่อว่า Christopher Wendt และผู้ช่วยวิศวกร Jack Nuckles ทั้งสองคนรับผิดชอบงานเกี่ยวกับการพัฒนา IceCube Gen2 ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ Christ และ Jack อธิบายเกี่ยวกับงาน

และสิ่งที่ต้องการให้เราช่วยทำและการคุยงานครั้งนี้เป็นไปอย่างราบรื่น มีการตกลงเวลาทำงานว่าจะให้พวกเราเข้ามาทำแลปสัปดาห์หลัง Ice cube bootcamp ที่จะจัดในสัปดาห์หน้า



รูปที่ 30 ตึกฟิสิกส์ Chamberlin Hall และภายในห้องปฏิบัติการของ IceCube

ช่วงวันที่ 8 - 9 มิถุนายน เป็นช่วงที่ว่างงานของทางฝั่งอเมริกาแต่ก็มีงานวิจัยของไทยที่ต้องทำเพื่อให้ได้ผลภายในที่ 10 มิถุนายน เนื่องจากพวกเราต้องเข้าร่วมการประชุมประจำสัปดาห์ของ IceCube ที่จัดทุกๆวันศุกร์ และสิ่งสำคัญคือครั้งนี้อาจารย์วราภรณ์จะนำเสนอผลงานวิจัยของพวกเราในที่ประชุมด้วย การเข้าร่วมประชุมครั้งนี้ มีทั้งผู้เข้าร่วมในห้องและเข้าผ่านออนไลน์ นักวิจัย นักวิทยาศาสตร์ นักศึกษาช่วยวิจัย ไปจนถึงผู้บริหารของ IceCube เป็นบรรยากาศการประชุมที่สนุกสนาน ไม่ได้เคร่งเครียดอย่างที่คิดเอาไว้

รูปที่ 31 อาจารย์วราภรณ์นำเสนองานวิจัยและแนะนำพวกเราอย่างเป็นทางการในการประชุมประจำสัปดาห์ของ IceCube

วันเสาร์ที่ 11 มิถุนายน เป็นวันที่ได้พักผ่อนอย่างเต็มที่ ได้รับความอนุเคราะห์จาก Prof. James Madsen พาไปซื้อวัตถุดิบที่ร้านขายของเอเชีย ของในร้านมีหลากหลาย ทั้งเครื่องปรุง เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ มีทั้งของไทย เกาหลี จีนอิเดีย แน่นอนว่าพวกเราไม่พลาดที่จะซื้อข้าวหอมมะลิกลับมาด้วย หลังจากนั้นได้พากันเข้าครัวทำอาหาร เมนูที่ทำก็คือ ผัดกุ้ยช่ายขาวเต้าหู้หมูสับ ผัดผัวงอก และข้าวสวย นับได้ว่าเป็นการศึกทักษะการทำอาหารไทยได้อย่างดี อีกทั้งทำอาหารกินเองช่วยประหยัดและอร่อยกว่าการไปทานอาหารฝรั่งข้างนอกเสียอีก

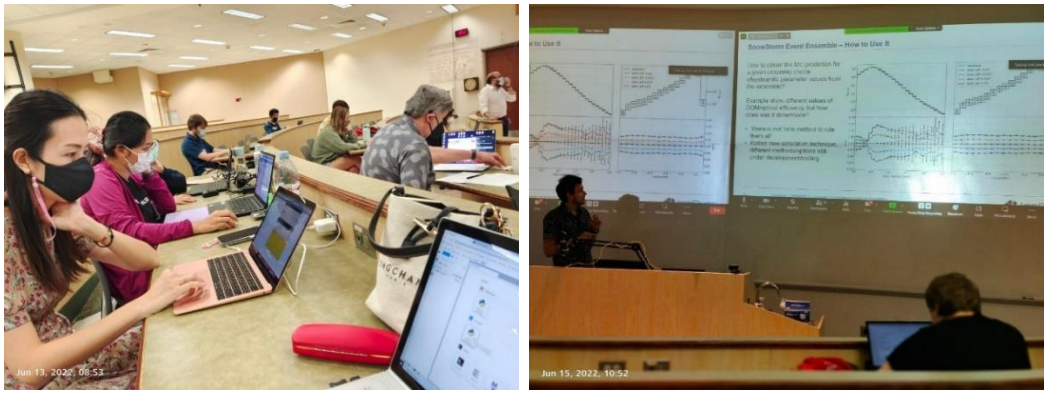
รูปที่ 32 เมนูอาหารที่ทำทานกันในช่วงค่ำวันที่ 11 มิถุนายน ผัดกุ้ยช่ายขาวเต้าหู้หมูสับ ผัดผัวงอก และข้าวสวย

วันที่ 12 มิถุนายน วันนี้อาจารย์ชญานิษฐ์ อัศวตั้งตระกูลดี จากภาควิชาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย เดินทางมาหาถึงหอพักเพื่อเข้าร่วม IceCube Bootcamp อาจารย์เป็นคนยิ้มแย้มแจ่มใส เป็นกันเอง ทำให้พวกเราสนิทสนมกันได้อย่างรวดเร็ว ช่วงบ่ายได้รับคำเชิญจาก Prof. James ให้ไปทานอาหารที่บ้านพักตากอากาศริมทะเลสาบ ใช้เวลาขับรถออกนอกเมืองไปประมาณ 30 นาที พอถึงบ้านพัก ภรรยาและคุณแม่ของ Prof. James ก็ออกมาต้อนรับพวกเรา พร้อมกับแนะนำบ้านพักด้วย Prof. James เล่าว่าบ้านหลังนี้เป็นบ้านพักของครอบครัวที่สร้างกันเองมาตั้งแต่รุ่นคุณปู่ เป็นบ้านหลังเล็กๆสองชั้น ติดริมทะเลสาบ บรรยากาศข้างในดูอบอุ่นมาก

รูปที่ 33 ช่วย Prof. James ทำอาหารและภาพถ่ายหน้าบ้านพักริมทะเลสาบ

<u>สัปดาห์ที่ 3 (13 มิถุนายน 2565– 19 มิถุนายน 2565)</u>

เริ่มต้นสัปดาห์ด้วยความตื่นเต้น วันที่ 13 – 17 มิถุนายน เป็นช่วงเวลาแห่งการเก็บเกี่ยวความรู้และประสบการณ์ IceCube Bootcamp เป็นการอบรมเชิงปฏิบัติการที่นำเสนอองค์ความรู้ทั้งหมดของ IceCube ให้แก่ผู้ที่สนใจ ลักษณะของการอบรมเป็นแบบบรรยาย มีนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์มาให้ความรู้ตั้งแต่ประวัติ ความเป็นมา ที่คนทั่วไปสามารถเข้าใจได้ง่าย ไปจนถึงเนื้อหาเชิงลึกและเข้มข้นมาก ยอมรับตามตรงว่าเนื้อหาที่อบรมตลอดระยะเวลา 5 วัน มีเข้าใจบ้างไม่เข้าใจบ้าง ด้วยเนื้อหาที่ค่อนข้างยากและสำเนียงการพูดของเจ้าของภาษา แต่ยังดีที่สามารถซักถามข้อสงสัยกับอาจารย์ชญานิษฐ์และอาจารย์วราภรณ์ได้ ทำให้สามารถประติดประต่อเรื่องราวได้ จากการเข้าร่วมการอบรมในครั้งนี้ นับได้ว่าเป็นประสบการณ์ที่ดีมากๆ ในช่วงที่จัดกิจกรรม ได้เรียนรู้สิ่งใหม่ๆที่ยังไม่เคยเจอมาก่อน นอกจากนี้ยังได้ไปเยี่ยมชมห้องปฏิบัติการของ IceCube ที่พวกเราจะใช้ในการทำแลปในสัปดาห์ต่อไปอีกด้วย



รูปที่ 34 บรรยากาศการเข้าร่วมอบรมเชิงปฏิบัติการ IceCube Bootcamp

วันที่ 18 มิถุนายน พวกเราทราบมาว่าทุกวันเสาร์ บริเวณรอบๆ State capital city ซึ่งเป็นแลนด์มาร์คสำคัญใจกลางเมือง จะมี Farmer Market หรือตลาดที่ชาวสวนจะนำผลผลิตมาจำหน่าย สินค้ามีหลากหลายตั้งแต่ของขึ้นชื่ออย่างเช่น ชีส นมวัว น้ำผึ้ง ผัก ผลไม้ ไปจนถึงสินค้าทางการเกษตร พวกเราตื่นตาตื่นใจมากเพราะรู้สึกว่าบ้านเมืองที่นี่ให้ความสำคัญกับเกษตรกร และถือว่าเป็นการสร้างรายได้สู่ชุมชนได้อย่างดี นอกจากนั้นยังเกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิดและน่าตกใจเกิดขึ้น เมื่อมีขบวนขี่รถจักรยานไม่สวมเสื้อผ้าขับผ่าน เพื่อรณรงค์ลดการใช้ลดการใช้น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ รวมถึงการสนับสนุนความแตกต่างทางด้านร่างกายที่นำเสนอว่า "Your Body Is Beautiful" จังหวะนั้นพวกเราทำตัวไม่ถูกกันเลยทีเดียว และสิ่งนี้ทำให้เห็นว่าคนที่นี่ค่อนข้างเคารพสิทธิของแต่ละบุคคลเป็นอย่างมาก นั่นคือไม่มีการพูดจาถากถาง ดูถูกหรือตำหนิเรื่องรูปร่างหน้าตา

วันที่ 19 มิถุนายน พวกเราได้นัดหมายรุ่นพี่คนไทยที่ศึกษาระดับปริญญาเอกที่มหาลัยวิสคอนซินเพื่อที่จะไปเที่ยวกันโดยเช่ารถขับไปยัง Devil’s lake ซึ่งเป็นทะเลสาบที่มีวิวธรรมชาติที่สวยงามและมีเส้นทางเดินขึ้นเขาได้ ก่อนจะเริ่มกิจกรรมได้แวะทานอาหารเช้ากันที่ร้านใกล้ๆจุดที่จะไป เป็นร้านที่คนค่อนข้างเยอะ เพราะเป็นร้านที่ขึ้นชื่อ อาหารอร่อยและบรรยากาศดีอยู่ริมติดแม่น้ำ หลังจากเติมพลังกันแล้วก็ถึงเวลาเริ่มต้นเดินเขาชมธรรมชาติกัน เส้นทางเดินไม่ได้ยากและไกลเกิน มีจุดชมวิวเรื่อยๆ อากาศในช่วงที่พวกเราเดินไม่ร้อนมาก นับได้ว่าเป็นประสบการณ์เดินเขาครั้งแรกในสหรัฐอเมริกาทำให้รู้สึกตื่นเต้น สนุกสนาน จนลืมความเหนื่อยล้าในการเดิน

รูปที่ 35 ภาพสมาชิกผู้ร่วมเดินเขาถ่ายในร้านอาหารและวิวทะเลสาบที่จุดชมวิวสูงสุดของเส้นทางการเดินเขา

<u>สัปดาห์ที่ 4 (20 มิถุนายน 2565 – 26 มิถุนายน 2565)</u>

หลังจากพักผ่อนเต็มที่ ได้เวลาเริ่มงานแบบจริงจัง วันจันทร์ที่ 20 มิถุนายน พวกเราเดินทางไปห้องปฏิบัติการของ IceCube ที่ Chamberlin Hall เพื่อเรียนรู้อุปกรณ์ที่จะต้องศึกษาในโปรเจค Pencil beam โดยมี Jack Nuckles วิศกรช่วยวิจัยให้ความช่วยเหลือและอธิบายหลักการทำงานของเครื่องมือคร่าวๆ หลังจากที่พูดคุยกันเรียนร้อย พวกเราได้ทำการเก็บไฟล์ข้อมูลที่จำเป็นต่อการเขียนโปรแกรมในการติดต่อกับอุปกรณ์มา เพื่อใช้เวลาว่างในการศึกษาไฟล์ห้ดียิ่งขึ้น ช่วงเย็นพวกเราได้เดินสำรวจสถานที่ต่างๆในมหาวิทยาลัยแห่งนี้ อาทิเช่น ห้องสมุด ห้องอ่านหนังสือ ห้องนั่งทำงานส่วนกลาง ห้องติวหนังสือ ไม่ใช่เพียงมีสิ่งอำนวยความสะดวกครบครัน แต่รวมไปถึงสิ่งเพื่อความบันเทิง เช่น ซีดีเกม บอร์ดเกม แผ่นหนังและยังคอมพิวเตอร์ให้ใช้อีกด้วย สิ่งที่เห็นเหมือนการเปิดโลกเพราะที่นี่ให้ความสำคัญแก่นักศึกษามากๆ ไม่ใช่เพียงมุ่งเน้นที่การเรียนเท่านั้นแต่ยังรวมไปถึงอุปกรณ์ที่ทำให้ผ่อนคลายได้อีกด้วย และยังแอบหวังในใจว่าอยากให้มหาวิทยาลัยในประเทศไทย สามารถทำสิ่งที่จำเป็นต่อการเรียนของนักศึกษาได้แบบนี้

วันที่ 21 มิถุนายน พวกเราเดินทางไปทำงานที่เดิม และได้ลองนำโปรแกรมที่ ดร. อัจฉรา และพี่เกล็ด ทรายช่วยกันเขียนมาเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ โดยข้อมูลที่เก็บมาได้เป็นข้อมูลทางสถิติที่ต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ จากที่วิเคราห์ข้อมูลเชิงลึกไปยังตัวข้อมูลดิบก่อนที่จะเก็บข้อมูลออกมา ด้วยทักษะการวิเคราะห์ข้อมูลของอาจารย์วราภรณ์และฉัน ได้เกิดความคิดใหม่ที่จะวิเคราะห์ข้อมูลจากสถิติแบบการการกระจายแบบเกาส์เซียน โดยให้ฉันเขียนโปรแกรมที่สามารถนำข้อมูลดิบมาวิเคราะห์แบบเกาส์เซียนเพื่อนำไป

22 มิถุนายน พวกเรายังคงเดินทางไปทำแลปเช่นเคย แต่ที่สำคัญคือในวันนี้ พวกเราได้รับโอกาสไปเยี่ยมชมแลปเครื่องผลิตพลาสมา Helically Symmetric eXperiment (HSX) ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวิสคอนซินแมดิสัน ในการเยี่ยมชมครั้งนี้มีนักศึกษาระดับปริญญาเอกพาเดินสำรวจและแนะนำแลป แลปพลาสมาของที่นี่ถือได้ว่าเป็นแลปที่ได้รับเงินทุนสนับสนุนที่เยอะมาก เห็นได้ว่าที่นี่ให้ความสำคัญกับงานวิจัยค่อนข้างมาก

ช่วงวันพฤหัสบดีและศุกร์ที่ 23 – 24 มิถุนายน พวกเรายังคงทำงานที่แลป IceCube ณ Chamberlin Hall เช่นเดิน งานที่ทำช่วงนี้คือการพัฒนาโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลจากโฟโตไดโอดด์แบบอัตโนมัติ ในวันพฤหัสบดีทุกๆสัปดาห์ จะมีการประชุมเพื่อรายงานความก้าวหน้าร่วมกับ Christopher Wendt และ Jack Nuckles ถือได้ว่าการรายงานในครั้งนี้ค่อนข้างตื่นเต้นมากเพราะเป็นครั้งแรกที่เรามีการพูดถึงข้อมูลที่เก็บมาตลอดสัปดาห์นี้ ผลออกมาเบื้องต้นเป็นที่ค่อนข้างน่าพอใจเป็นอย่างมาก

25 มิถุนายน เป็นวันหยุดที่สบายๆ พวกเราพักผ่อนที่หอพัก มีช่วงเย็นที่ฉันออกไปเดินออกกำลังกายริมทะเลสาป ส่วนวันอาทิตย์ที่ 26 มิถุนายน พวกเราได้รับคำเชิญจาก James Haugen และภรรยาคนไทยซึ่งต่อไปนี้จะขอเรียกว่าพี่เชอร์รี่ ให้เดินทางไปทานอาหารค่ำที่บ้าน พี่เชอร์รี่เป็นคนใจดีมาก พอทราบว่าพวกเราอยากทานอาหารไทยก็ทำข้าวเหนียว ส้มตำ ไก่ย่าง และลาบหมูไว้ให้ อาหารที่ทำอร่อยมาก เหมือนออกมาจากต้นฉบับอาหารไทยแท้ๆ ทำให้พวกเรามีความสุขในการมาครั้งนี้มาก จากนั้นหลังทานอาหารเสร็จก็พากันนั่งคุยกันแล้วแยกย้ายกลับที่พัก

รูปที่ 36 เตรียมทำส้มตำและอาหารค่ำได้แก่ ข้าวเหนียว ส้มตำ ไก่ย่าง และลาบหมู

สัปดาห์ที่ 5 (27 มิถุนายน 2565 – 3 กรกฎาคม 2565)

วันที่ 27 – 30 มิถุนายน ยังคงเป็นวันที่เก็บข้อมูลแลปและวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเคย เนื่องจากว่าการทำโปรเขคครั้งนี้ต้องมีการกำหนดและรวมรวมข้อมูลซึ่งใช้เวลาค่อนข้างนาน วันศุกร์ที่ 1 กรกฎาคม พวกเรายังคงมีการประชุมประจำสัปดาห์เช่นเดิม มีการรายงานสิ่งที่เราได้ทำมาตลอดทั้งสัปดาห์นี้ อีกทั้งเรายังพบว่าเครื่องมีที่ใช้เชื่อมระหว่างอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ไม่ค่อยเสถียร ทำให้ต้องมีการเก็บข้อมูลซ้ำๆ ในเรื่องที่เหมือนจะร้ายก็ยังเป็นเรื่องที่ดี เพราะการเกิดปัญหากับทำแลปครั้งนี้ทาง Christopher Wendt และ Jack Nuckles ผู้รับผิดชอบโครงการจะได้ทราบปัญหาและแก้ไขได้อย่างถูกประเด็น หลังจากนั้นวันหยุดเสาร์อาทิตย์ที่ 2 – 3 กรกฎาคม ก็เป็นช่วงเวลาพักผ่อนเช่นเคย พวกเราใช้เวลาไปกับการซื้อของ เดินเที่ยวรอบๆเมือง และได้เข้าไปชมภายใน Capital

รูปที่ 37 บรรยากาศการประชุมและรายงานความก้าวหน้าของงานประจำสัปดาห์

สัปดาห์ที่ 6 (4 กรกฎาคม 2565 – 10 กรกฎาคม 2565)

4 กรกฎาคม เป็นวันหยุดประจำชาติของสหรัฐอเมริกา วันนี้พวกเราไม่ได้ไปทำงาน พักผ่อนที่หอพัก ช่วงบ่าย Prof. James ชวนพวกเราไปที่บ้านพักตากอากาศเพื่อทานอาหารเย็นร่วมกัน พอไปถึงก็นั่งเล่นเกมโดมิโนร่วมกับ Prof. James และภรรยา หลังจากนั้นก็ช่วยกันทำอาหาร เดินเล่น และใช้เวลาพูดคุยกัน เป็นวันหยุดที่คลายเครียดและได้ใช้เวลาทำกิจกรรมที่ผ่อนคลายแบบสไตล์อเมริกัน

รูปที่ 37 บรรยากาศการเฉลิมฉลองวันชาติอเมริกาที่บ้านพักริมทะเลสาปของ Prof. James

วันที่ 5 – 6 กรกฎาคม ยังคงเป็นวันทำงานปกติ ใช้เวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลเช่นเคย ไม่ค่อยมีเรื่องราวหรือหวามากนัก แต่ในช่วงเย็นวันที่ 6 พี่เชอร์รี่และ James Haugen เดินทางมาหาพวกเราเพื่อทานอาหารเย็นร่วมกัน พี่เชอร์รี่ทำส้มตำ หมูทอด ลาบหมู และข้าวเหนียวมาฝากพวกเรา เป็นมื้ออาหารที่อร่อยมากๆเหมือนเดิม เป็นการมาอเมริกาครั้งแรกที่ได้ทานอาหารไทยแบบต้นฉบับแท้ๆ

รูปที่ 37 James Haugen และพี่เชอร์รี่กับบรรยากาศการทานอาหารเย็นริมทะเลสาป

สัปดาห์นี้ยังคงเร่งทำงานเพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ให้ทันก่อนกลับประเทศไทย วันที่ 8 - 17 กรกฎาคม อาจารย์วราภรณ์และ ดร.อัจฉรา จะเดินทางไปคุยงานที่รัฐเดลาแวร์ ทำให้ฉันและพี่เกล็ดทรายต้องใช้ชีวิตกันเพียงสองคน แต่ไม่เป็นไร สบายมากๆ พวกเราทั้งสองต้องรอดสัปดาห์นี้ไปให้ได้ หลังจากบ่ายวันที่ 7 กรกฎาคม ทำการส่งอาจารย์วราภรณ์ขึ้นรถเพื่อเดินทางเรียบร้อยแล้ว ฉันและพี่เกล็ดทรายก็พากันเดินไปซื้อเบอร์เกอร์มานั่งปิกนิกริมทะเลสาปและนั่งพูดคุยกัน พอช่วงวันทำงานก็ไปทำงานอย่างเดิมทุกวัน อีกทั้งตัวฉันเองที่เริ่มเข้าเรียนระดับปริญญาโทที่ประเทศไทย และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เริ่มเปิดภาคการเรียนแล้ว ทำให้ในช่วงกลางวันไปทำงานของ

แลป IceCube ส่วนในตอนกลางคืนก็มีเรียนออนไลน์ของประเทศไทยอีกด้วย นับได้ว่าเป็นช่วงเวลาที่เหนื่อยมาก แต่ก็เชื่อมั่นก็เราต้องทำให้ได้ เพราะทุกอย่างก็ล้วนเป็นหน้าที่ที่เราต้องรับผิดชอบ ส่วนวันหยุดในสัปดาห์นี้พวกเราได้รับคำเชิญจากพี่เชอร์รี่ให้ไปพักที่บ้านในช่วงที่อาจารย์ไม่อยู่ พี่เชอร์รี่พาพวกเราไปเดินเขาใกล้ๆบ้าน ทำให้ได้เห็นวิวธรรมชาติของแม่น้ำวิสคอนซินอย่างชัดเจน เป็นช่วงวันหยุดที่มีความสุขมากๆ

สัปดาห์ที่ 7 (11 กรกฎาคม 2565 – 17 กรกฎาคม 2565)

ช่วงสัปดาห์นี้ อาจารย์อยู่ที่เดลาแวร์ ฉันและพี่เกล็ดทรายช่วยกับเก็บข้อมูลโปรเจค Pencil Beam โดยทำการทดลองเพิ่มซึ่งจะมีการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรองหรือ Filter ในระหว่างทำการทดลอง ก็มี Jack Nuckles ช่วยเหลือในการติดตั้งอุปกรณ์ และพวกเราสองคนก็ทำการเก็บข้อมูล แต่ด้วยความที่อุปกรณ์มีปัญหาการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ทำให้การทำแลปมีอุปสรรคบ้างเล็กน้อย แต่ก็ผ่านพ้นไปได้ด้วยดี พวกเราพยายามจัดการเวลาให้เก็บข้อมูลทั้งหมดที่วางแผนไว้ให้ได้มากที่สุด ในระหว่างที่เก็บข้อมูลพวกยังได้ไปนั่งทำงานที่ห้องสมุดของภาควิชาฟิสิกส์

รูปที่ 37 บรรยากาศการทำแลปเพื่อเก็บข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์และภาพห้องสมุดภาควิชาฟิสิกส์

สัปดาห์ที่ 8 (18 กรกฎาคม 2565 – 24 กรกฎาคม 2565)

ช่วงนี้เป็นสัปดาห์สุดท้ายที่เราจะเข้าไปทำงานและอาจารย์วราภรณ์เดินทางกลับมายังแมดิสัน แต่ข่าวร้ายก็คืออาจารย์มีอาการไม่สบายและตรวจโควิดพบว่ามีเชื้อ ทำให้ช่วงนี้เป็น วันจันทร์ถึงพฤหัสบดีที่ 18 - 21 กรกฎาคม พวกเราเร่งเก็บข้อมูล เพื่อนำเสนอผลครั้งสุดท้ายกับ Christopher Wendt และ Jack Nuckles ใน

วันที่ 22 กรกฎาคม อีกทั้งต้องส่งทำรายงานผลให้แก่ IceCube การรายงานผลครั้งสุดท้ายเป็นไปด้วยดี ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจพอสมควร ถือว่าสิ้นสุดในส่วนของการทำงานตลอดทั้งการเข้าร่วมโครงการ IceCube Summer Camp ในครั้งนี้อย่างสมบูรณ์

ในวันหยุดเสาร์อาทิตย์ ที่ 23-24 กรกฎาคม พวกเราได้รับเชิญจากพี่เชอร์รี่และเพื่อนๆชาวอเมริกัน ให้ไปล่องเรืองในทะเลสาปโมโนนา (Lake Monona) เป็นประสบการณ์การล่องเรือครั้งแรก รู้สึกอบอุ่น สนุกสนาน ได้ลองทำอะไรใหม่ๆ เช่นได้ลองขับเรือเป็นครั้งแรก เป็นอีกหนึ่งวันที่มีความสุขมากๆ

รูปที่ 37 บรรยากาศการล่องเรือในทะเลสาปโมโนนา

<u>สัปดาห์ที่ 9 (25 กรกฎาคม 2565 – 31 กรกฎาคม 2565)</u>

สัปดาห์สุดท้ายในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากสะสางเรื่องงานและโปรเจคทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว สัปดาห์นี้เราใช้เวลาไปกับการสำรวจ และท่องเที่ยวอย่างต็มที่ วันจันทร์ที่ 25 กรกฎาคมเป็นช่วงเวลาที่พักผ่อน เริ่มเก็บของเล็กๆน้อยลงกระเป๋า แต่ยังไม่ได้จัดเก็บแบบจริงจัง วันที่ 26 กรกฎาคม พวกเราเดินทางไปยังตึกทำงานของ WIPAC และเดินทางไปยังคอนโดของ Prof. James เพื่อทำทาร์ตไข่ โดยมี ดร. อัจฉรา เป็นแม่ครัวหลักและฉันเป็นลูกมือ หยิบจับเล็กๆน้อย แต่หน้าที่สำคัญคือเป็นคนชิม พวกเราใช้เวลาอยู่ที่นี่จนถึงช่วงบ่ายๆ ทำการนำทาร์ตไข่ไปแจกให้กับนักวิจัยและบุคลากรของ IceCube และที่สำคัญคือนำไปมอบให้แก่ Christopher Wendt และ Jack Nuckles เพื่อเป็นการขอบคุณที่ช่วยเหลือพวกเรามาโดยตลอดในโปรเจค Pencil Beam เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ หลังจากที่มอบขนมให้ทุกคนเป็นที่เรียบร้อย เราได้กลับไปทานอาหารเย็นที่คอนโดของ Prof. James อีกทั้งพูดคุยเรื่องราวทั้งหมดของการมาอเมริกาในครั้งนี้

รูปที่ 38 ทำขนมทาร์ตไข่ไปให้บุคลากรของ IceCube ที่ให้การช่วยเหลือและภาพถ่ายร่วมกับ Christopher Wendt และ Jack Nuckles

ในวันที่ 29 กรกฎาคม 2565 ได้พาพวกเราไปเยี่ยมชม Physical Sciences Lab (PSL) ซึ่งเป็นแล็ปที่ทำงานวิจัย ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ให้กับโครงการต่างๆ รวมถึงโครงการหอสังเกตการณ์นิวตริโนไอซ์คิวบ์ด้วย นอกจากนั้นหลังจากเสร็จกิจกรรมที่แล็ป Prof. James พาพวกเราไปเยี่ยมชม Thai pavilion ซึ่งเป็นศาลาทรงไทยในเมืองแมดิสัน

วันที่ 30 กรกฎาคม เป็นวันสุดท้ายในเมืองแมดิสัน โดยเป็นช่วงเวลาที่ต้องเตรียมตัวเก็บของเพื่อเดินทางกลับประเทศไทย เริ่มจัดเก็บของลงกระเป๋าเดินทาง และจัดการทำความสะอาดห้องพักให้เรียบร้อย เย็นวันนั้นฉันใช้เวลาในการเดินรอบๆทะเลสาป รู้สึกใจหายเหมือนกันว่าเวลาสองเดือนกำลังจะผ่านไปแล้ว

วันที่ 31 กรกฎาคม พวกเราตื่นแต่เช้าเพื่อเก็บของจัดการห้องพักให้เรียบร้อย จากนั้นเดินทางไปขึ้นรถบัสเพื่อเดินทางต่อไปยังชิคาโก ใช้เวลานั่งรถทั้งหมด 3 ชั่วโมงจากนั้นพวกเราเดินทางต่อไปยังที่พักใกล้สนามบิน เหลือเวลาอีกครึ่งวันในการท่องเที่ยวในชิคาโก พวกเราเดินทางเข้าเมือง ฉันและพี่เกล็ดทรายใช้เวลาในการเดินรอบๆเมืองตามริมทะเลสาปและสวนสาธารณะ ชิคาโกคนเยอะพลุกพล่านกว่าแมดิสันมาก ทำให้ฉันซึ่งเป็นคนไม่ค่อยชอบความวุ่นวาย ไม่ค่อยอยากจะไปเที่ยวไหนสักเท่าไหร่ พวกเราลองขึ้นรถไฟและรถสาธารณะของชิคาโกครั้งแรกค่อนข้างเปิดใหม่ สนุกกับการผจญภัยในเมืองใหญ่แห่งนี้ จากนั้นก็พักผ่อนเพื่อรอขึ้นเครื่องกลับประเทศไทยในเช้าตรู่ของวันที่ 1 สิงหาคม

1 สิงหาคม 2565 เป็นการเดินทางที่ยาวนานกว่าตอนมาอเมริกา เพราะต้องนั่งเครื่องบินหลายต่อ จากชิคาโกไปยังซานฟรานซิสโก ไปต่อที่ญี่ปุ่นและบินกลับไปที่ไทย ขอบคุณทุกๆคนที่ทำให้สองเดือนที่ผ่านมาเป็นช่วงเวลาที่มีค่ามากที่สุดในชีวิต การมาอเมริกาในครั้งนี้เป็นประสบการณ์ที่ฉันจะไม่มีวันลืม

8. ภาคผนวก Pencil Beam Project Documentation

Scientific background

To calculate the photons/pulse received by the photodiode, we must record the average ADC value both with the LED on and off. This is because light contamination from sources other than the LED as well as residual offsets in the amplifier circuit will produce some background current even when the LED is off. To determine the signal produced by the LED, subtract the background value from the value measured with the LED on:

$$C_{signal} = C_{on} - C_{off}$$

C_{signal} = ADC counts produced by LED

C_{on} = ADC counts with LED on

C_{off} = ADC counts with LED off

A conversion factor (which depends on components used in the amplifier circuit) is used to calculate the photodiode current from the recorded ADC signal value. For this circuit, the conversion factor is: α = 16.3 fA / ADC-count (note: 1 fA = 10^{-15} A).

$$I_{PD} = \alpha * C_{signal}$$

I_{PD} = current produced by the LED [A]

α = conversion factor [A / ADC-count]

Finally, the following equation is used to calculate the number of photons per pulse:

$$N = \frac{I_{PD}}{\eta_\lambda E_\lambda^\gamma f}$$

N = photons per pulse

IPD = photodiode current [A]

$\eta\lambda$ = photodiode efficiency at wavelength λ [$\mathrm{A/W}$]

E_λ^γ = energy of a photon of wavelength λ [J]

f = pulse frequency [Hz]

Here we use $\eta_\lambda = 0.2$ and $E_\lambda^\gamma = \frac{hc}{\lambda}$, $\lambda = 405$ nm

Objectives

- To perform Gaussian plots (with animations) for each iteration to see in detail whether the photodiode receiver has any issue at a certain brightness.
- To verify the linearity of LED using photodiode by performing experiment with various brightness and frequency without filter.
- To verify that the bright light pulses do not saturate the amplifier circuit with filter.
- Report the connection problems of using instruments.

Methodology

- Setup instruments as per objectives
- Write Python & ROOT scripts to run multiple cycles and produce asci results (.txt and .dat) for further analysis. The source code is in directory /code/uw-labcal/pencil_beam/photodiode/
- Write Python & ROOT scripts to produce Gaussians, a plot of photons/pulse vs. LED brightness setting (at some fixed pulse frequencies), and current produced by the LED vs. frequency setting for some brightness settings. All source codes are in directory /code/uw-labcal/pencil_beam/photodiode/
- Analyze data between with and without filters.

Methods for an average value for large cycle runs

- There are two methods to get mean values for large cycle runs in this work:
    1. Mean value of several cycles by averaging from Uhist_stats. This will be called "**Uhist_stats**" method

2. Mean value of several cycles by filling data in Histogram. This will be called "**Gaussian**" method

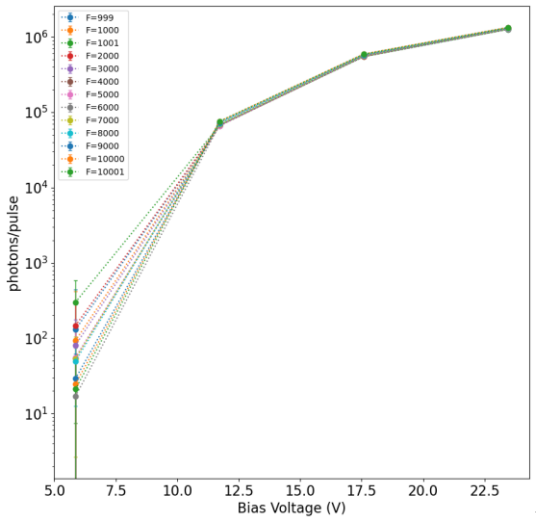
- We add uncertainties into our analysis. For the Uhist_stats method, we calculated by coding error propagation into our Python program. For the second method, the Gaussian method, we obtained uncertainties from the ROOT program itself. ROOT is an object-oriented program and library developed by CERN. It was originally designed for particle physics data analysis and contains several features specific to this field, but it is also used in other applications such as astronomy and data mining. **ROOT** is written mainly in C++

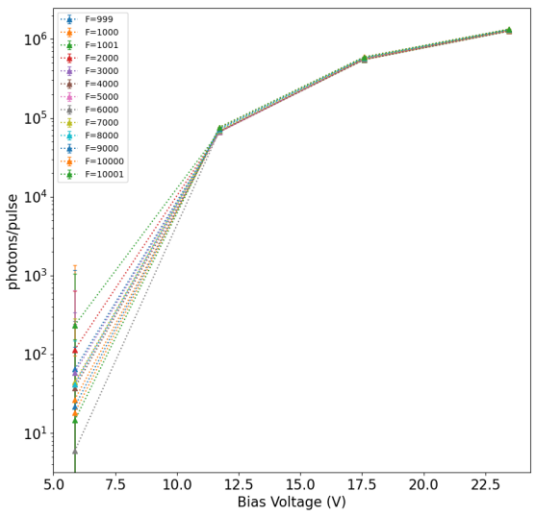
Experiments

Experiments 1 | No filter

We perform experiments with frequencies 999, 1000, 1001, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 9999, 10000, 10001. Each frequency use brightness 1000, 2000, 3000, 4000. For each setting, we perform 50 experiments. We then analyze results from Uhists_stats and Gaussian methods.

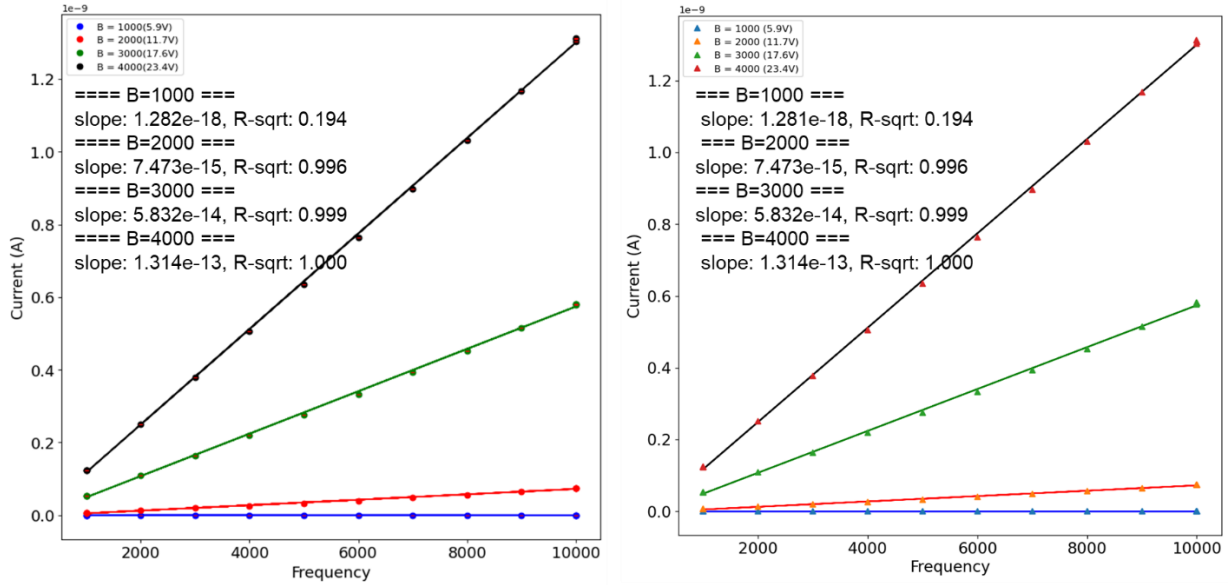
Plot between photons/pulse vs bias voltages





When we increase bias voltage, the number of photons/pulse rises as expected. However, the uncertainty is significant at photons/pulse (N) < 1000. There is no significant difference between the mean from the Uhist_stats and Gaussian fitting method. Both methods can be used in the analysis.

Plot between current vs frequency

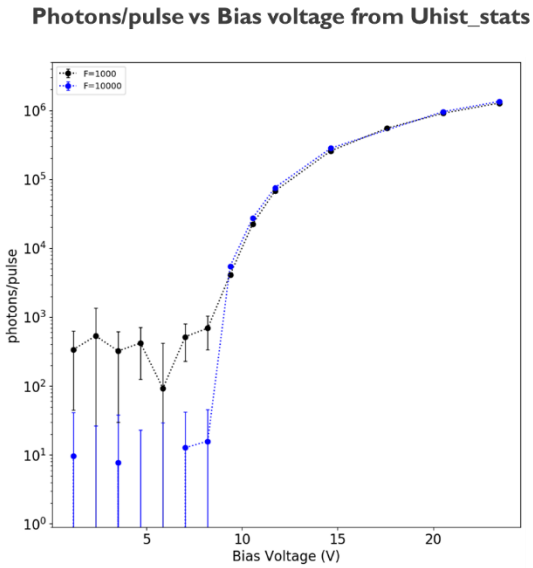


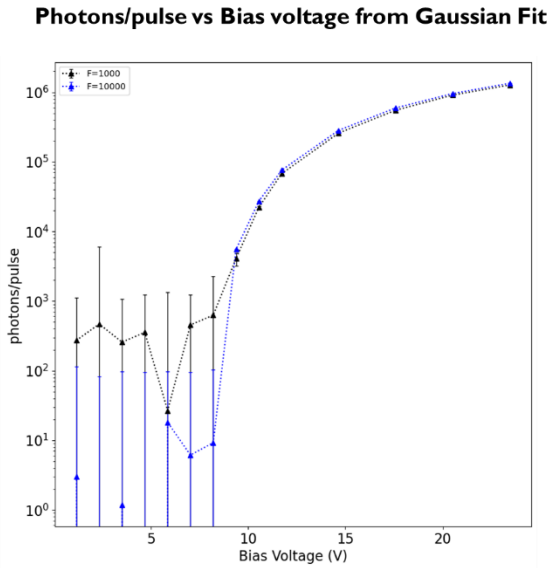
At a certain brightness, when we increase frequency, the current is increasing linearly as per theory. The more brightness, the more current. There is no significant different between mean from Uhist_stats and Gaussian fitting method.

Experiments 2 | No filter; more brightness points

We perform experiments with more brightness values, i.e., 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2500, 3500 for frequencies 1000 and 10000. For each setting we perform 50 experiments. Then we analyse results from Uhists_stats and Gaussian fitting with the same method.

Plot between photons/pulse vs bias voltages





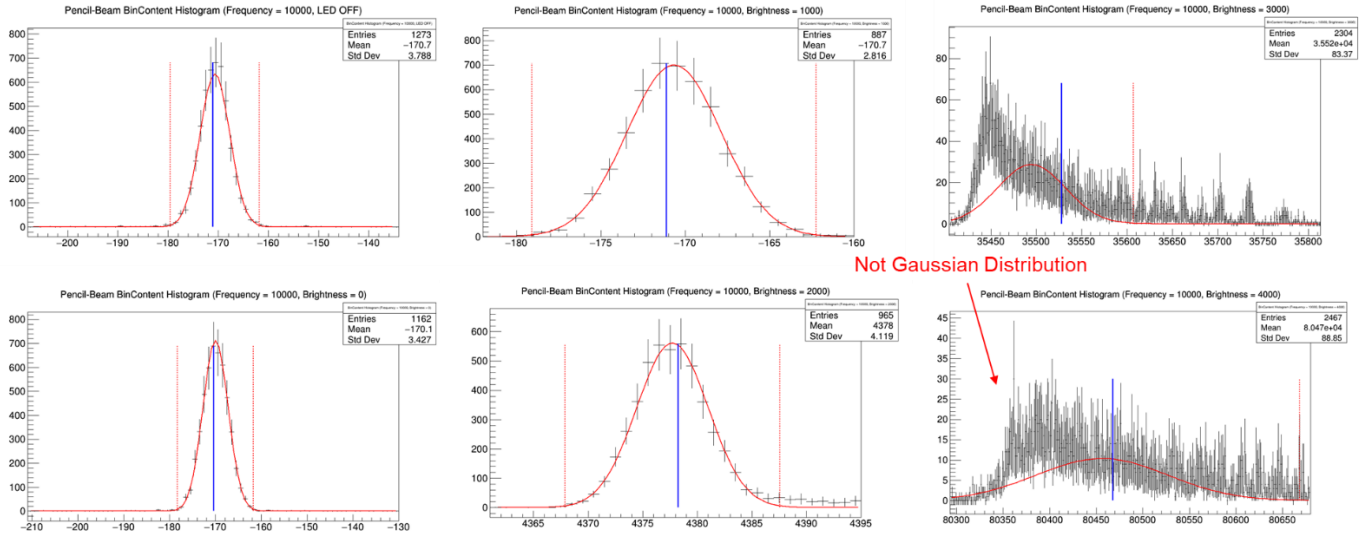
Each point is the data of 50 iterations. When we focus on low brightness values (bias voltage lower than 9 volts) we can see that there is no continuity relationship with high bias volts. If this is included in the tolerance it can be said that at bias voltage values below 9 volts there is no relationship between photon/pulse and the bias voltage.

When we increase bias voltage, the number of photons/pulse is increasing as expected and is likely more horizontal on the logarithmic scale at high voltage. When bias voltage < 9 volts, there seems to be more or less no reciprocal relationship between photon/pulse and bias voltage with a large error bar. There is no significant difference between the mean from the Uhist_stats and the Gaussian fitting method.

More on Gaussian Fitting Results

At high brightness (3000 and 4000) a histogram plot is not Gaussian anymore. So we investigate what happened in those experiments by taking a look at one by one Gaussian fitting of each experiment.

Gaussian Fittings



Note about Filters

A neutral density filter transmits some fraction of the light which hits it. The filter is called "neutral density" because the transmission factor is approximately equal for all wavelengths of light. The filters we have are a piece of glass with a thin metallic coating on one side. The metallic coating attenuates the light beam by reflecting most of the incident light. The intensity of light before and after the filter is given by the simple relation:

$$P_{after} = T * P_{before}$$

P = light intensity

T = transmission factor

Neutral density filters are typically rated by their "optical density" (OD). The nominal transmission factor can be calculated from the optical density as:

$$T_{nominal} = 10^{-OD}$$

$T_{nominal}$ = nominal transmission factor (not exact)

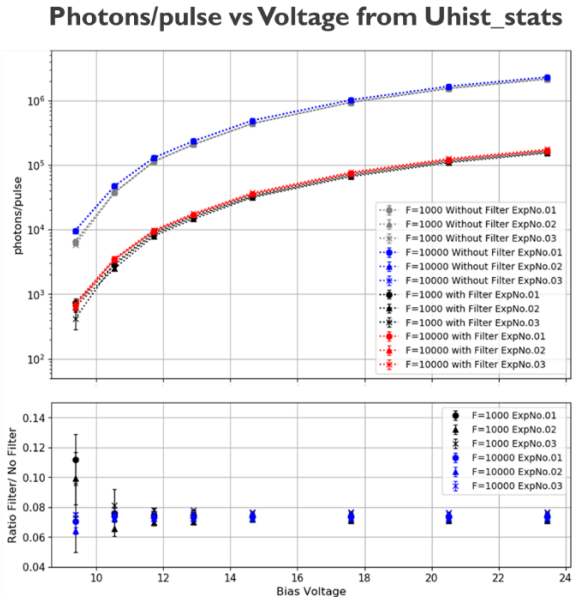
OD = optical density of filter

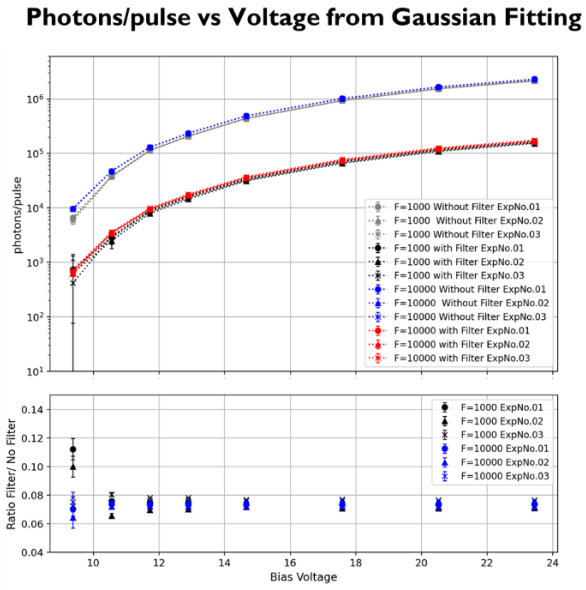
However, the manufacturer does not guarantee the actual transmission factor will be exactly the rated (nominal) value. (For example, the tolerance for T may be ±5% or more). The transmission factor may also differ from the rated value due to scratches or dirt on the filter. Therefore, for any experiment that relies on knowing T precisely, it is important to measure its exact value. Once the value is measured, it is important not to damage or contaminate the filter during the rest of the experiment. The optical density of the filter installed in the setup is OD = 1.5. So, the expected transmission factor is T = 10-1.5 = 0.0316, or about 3%.

Experiments 3 | with/without Filter

We perform experiments with brightness values 1600, 1800, 2000, 2200, 2500, 3000, 3500, 4000 with frequency 1000 and 10000. Note that the selected brightness values provided photons/pulse (N) greater than 105. For each setting we perform 50 experiments. Re-run experiment with and without filter 3 times per frequency. Each experiments were independent, i.e., the filter was placed and removed every time. Then we analyse results from Uhists_stats and Gaussian fitting.

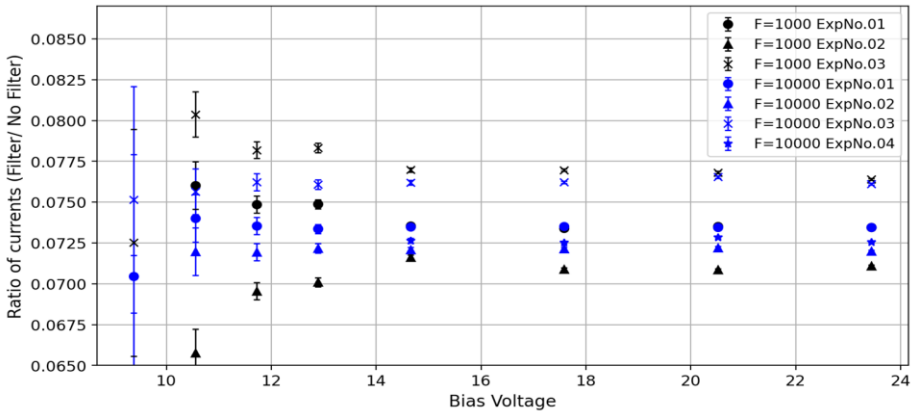
Plot between photons/pulse vs bias voltages and ratio between filter/no filter





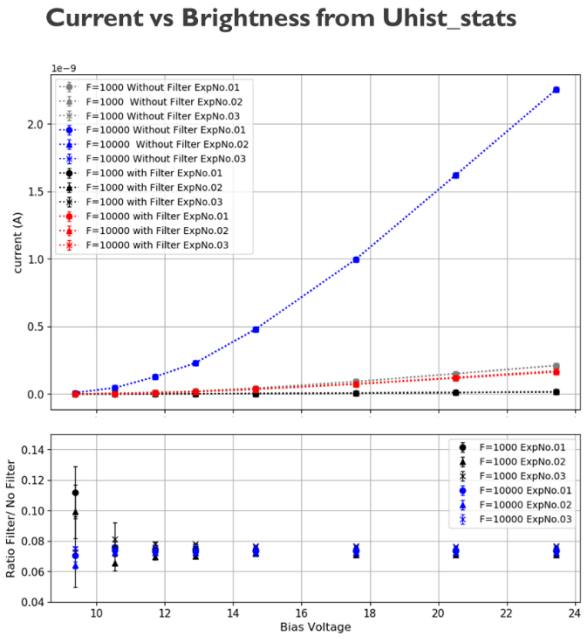
We start to plot the relationship between photons/pulse (N) vs. bias voltage logarithmic scale for both methods, Uhist_stats & Gaussian fitting, and find the ratio of N with/without a filter. We can see the ratio is more stable at bias voltage larger than 15 with error bars less than 1%—lower bias voltages with larger error bars.

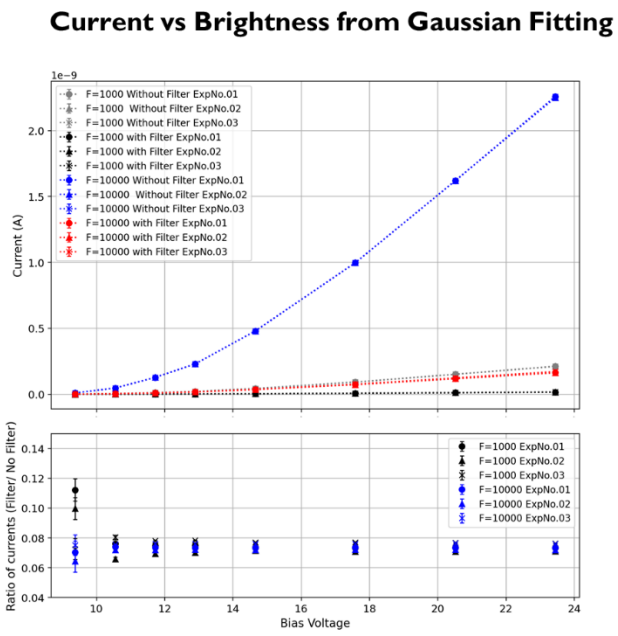
Zoom in Ratio filter/No filter from Photons/pulse from Gaussian Fitting



We zoom in to see the stability of the ratio between with and without a filter from Gaussian method. Note that each value is a total of 50 repetitions.

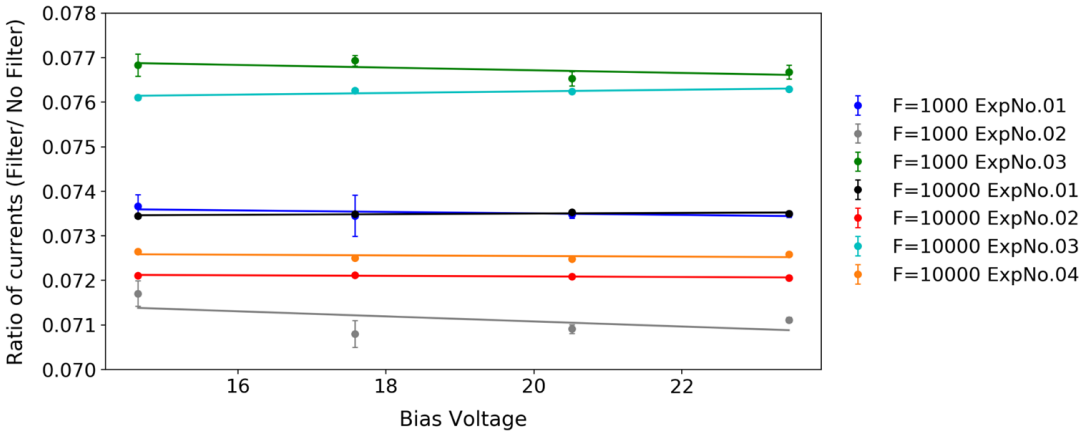
Plot between current vs frequency and ratio between filter/no filter





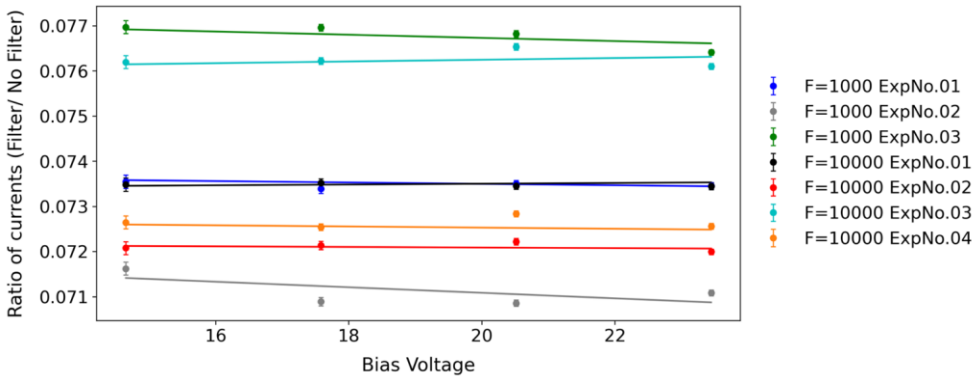
Current vs. bias voltage and the ratio between with and without filter in linear scale. We perform this experiment we perform alternate between the same frequencies of each brightness value with and without a filter. We do 1000 Hz first until the end of the process with 50 iterations for all brightness values and then we continue with 10000 Hz later.

Fitting Ratios of filter/no filter From uhist_stats method



Only bias voltages higher than 15 volts due to smaller error bars (less than 1%) are selected to fit linear regression by using the least square fitting method. The solid line shows the linear fit of each profile as specified in the legend. Note that this results obtained by Uhist_stats method.

Fitting Ratios of filter/no filter From Gaussian method



Only bias voltages higher than 15 volts due to smaller error bars (less than 1%) are selected to fit linear regression by using the least square fitting method. The solid line shows the linear fit of each profile as specified in the legend. Note that these results obtained by Gaussian method.

Conclusion

When increasing bias voltage, the ratio between filter/no filter remains approximately 7% which does not correspond to the expected value calculated when the OD is 1.5 (obtained by manufacturer). T = 10-1.5 = 0.0316, or about 3%. We may hypothesize that filters may be stored for too long to deteriorate the glass and metal coating or there may be scratches or there may be dust. From fitting the ratio, the slope are in the order ~10-5 which indicate that there is no significant different when bias voltages have been changed. There is no saturation at higher voltages.