ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี

ที่ได้พระราชทานโอกาสแก่เยาวชนไทยเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2561

นายแบรนด์ดอน กานต์ แคนทะเลย์

ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยการสนับสนุนของ

สถาบันวิจัยเดซี (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

ด้วยสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี

ที่ได้พระราชทานโอกาสแก่เยาวชนไทยเข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ประจำปี 2561

นายแบรนด์ดอน กานต์ แคนทะเลย์

ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยการสนับสนุนของ

สถาบันวิจัยเดซี (Deutsches Elektronen-Synchrotron, DESY)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

และสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

คำนำ

รายงานฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นจากความทรงจำและจากประสบการณ์ของข้าพเจ้าในการเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ณ เมืองซอยเธน สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ประจำปี 2561 ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี (ซอยเธน) กิจกรรม งานวิจัยของข้าพเจ้า และบันทึกของข้าพเจ้า

การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีนั้นเป็นประสบการณ์อันมีค่ายิ่งของข้าพเจ้า ข้าพเจ้าหวังว่ารายงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ได้อ่าน หากมีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับและขออภัยในความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

แบรนด์ดอน กานต์ แคนทะเลย์

ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี 2561

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณล้นเกล้าฯ อันหาที่สุดมิได้ของสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ที่ได้พระราชทานโอกาสอันมีค่าให้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี ณ เมืองซอยเธน สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ประจำปี 2561

ข้าพเจ้าขอขอบคุณคณะทำงานจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ได้ประสานงาน ช่วยจัดการอบรมเตรียมพร้อม และดูแลในเรื่องต่างๆเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Mr. Stefan Krohn ท่านกงสุลกิตติมศักดิ์ประจำสถานทูตไทย ณ เมืองฮัมบูร์ก สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่ได้สนับสนุนกิจกรรมนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีตลอดมา อีกทั้งยังได้ให้โอกาสและต้อนรับนักศึกษาไทยจากกิจกรรมภาคฤดูร้อนเดซีได้เข้าพบเพื่อแนะนำและพูดคุยเกี่ยวกับความร่วมมือกับเดซีในภายหน้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ Dr. Gernot Maier และ Raul R. PaDro ที่ได้ดูแลและให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้าในฐานะที่ปรึกษาโครงการวิจัยและพี่เลี้ยงในการทำวิจัยที่เดซีอย่างต่อเนื่อง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณอย่างสุดซึ้งสำหรับครอบครัว อาจารย์ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนทั้งทางรูปธรรมและนามธรรมกับข้าพเจ้าโดยเสมอมา

แบรนด์ดอน กานต์ แคนทะเลย์

ผู้แทนประเทศไทยโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี 2561	5
บทที่ 2 งานวิจัยระยะสั้นระหว่างเข้าร่วมโครงการ	9
บทที่ 3 บันทึกประจำวัน	15
ภาคผนวก	42

บทที่ 1 โครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซี (Zeuthen) 2561

ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีที่เมืองซอยเธน ทางตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเบอร์ลิน สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ระหว่างวันที่ 17 กรกฎาคม ถึง 6 กันยายน พ.ศ.2561 เดซีที่เมืองซอยเธนนั้นมุ่งเน้นงานวิจัยทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาคเป็นหลัก และมีเฉพาะที่เดซีซอยเธนเท่านั้น ที่เดซีซอยเธนนี้ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมทำวิจัยทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาค ในกลุ่มวิจัย CTA หรือ Cherenkov Telescope Array ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคพลังงานสูงที่มาจากอวกาศส่วนลึก โดยใช้หมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟในการตรวจวัดอนุภาคเหล่านั้น ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในกลุ่มวิจัยนี้จึงมาจากหมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟและยังใช้ข้อมูลจากหมู่กล้องโทรทรรศน์อื่นๆ ด้วย เช่น VERITAS, HESS, MAGIC เป็นต้น

มีนักศึกษาเข้าร่วมโครงการนักศึกษาภาคฤดูร้อนเดซีทั้งหมด 16 คน โดยมีข้าพเจ้าซึ่งเป็นนักศึกษาจากราชอาณาจักรไทย 1 คน และนักศึกษาจากสาธารณรัฐอิตาลี 5 คน, สาธารณรัฐโปแลนด์

2 คน, สาธารณรัฐบัลแกเรีย 1 คน, สหราชอาณาจักร 1 คน, สหพันธรัฐบอสเนียและเฮอร์เซโกวีนา 1 คน, สหพันธรัฐรัสเซีย 1 คน, สหรัฐอเมริกา 1 คน, สาธารณรัฐฮอนดูรัส 1 คน, สาธารณรัฐเอลซัลวาดอร์ 1 คน และสาธารณรัฐโบลีวาร์แห่งเวเนซุเอลา 1 คน ซึ่งแบ่งเป็นนักศึกษาที่ทำงานวิจัยทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาค 12 คน ฟิสิกส์ของเครื่องเร่งอนุภาค 3 คน และฟิสิกส์ทฤษฎี 1 คน

การเข้าร่วมโครงการนักศึกษาฤดูร้อนเดซี (ซอยเธน) นั้นเป็นประสบการณ์อันล้ำค่าที่หาได้ยากยิ่ง ทั้งความรู้ที่ได้รับจากการร่วมทำงานกับนักวิจัยระดับโลก และยังได้รับมิตรภาพอันดีจากเพื่อนๆ หลากหลายเชื้อชาติ เนื่องจากจำนวนนักศึกษาที่ซอยเธนนี้มีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับที่ฮัมบูร์กซึ่งมีราวๆ 100 คน ทำให้นักศึกษาที่ซอยเธนสามารถรู้จักและได้พูดคุยกันทุกคน และยังได้มีโอกาสทำกิจกรรมร่วมกันทั้ง 16 คน ทั้งการทำอาหารของชาติตนเองมาร่วมรับประทานด้วยกัน เล่นกีฬา และชมภาพยนตร์ด้วยกัน การได้รู้จักและแลกเปลี่ยนความคิด ประสบการณ์ และทัศนคติต่างๆ ซึ่งกันและกันนั้นเป็นการเปิดประสบการณ์ใหม่ให้กับข้าพเจ้าเป็นอย่างมาก

เดซีซอยเธนนั้นมีพื้นที่ไม่ใหญ่มากนั้น แต่แวดล้อมไปด้วยธรรมชาติอันร่มรื่นและเงียบสงบ พื้นที่ด้านหลังติดกับทะเลสาบซอยเธเนอร์ (Zenthener see) สามารถมองเห็นเมืองเบอร์ลินซึ่งอยู่ฝั่งตรงข้ามของทะเลสาบได้ เดซีซอยเธนนั้นถือว่ามีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การทำงานและเรียนรู้ โดยปราศจากสิ่งรบกวนจากภายนอก อีกทั้งลักษณะนิสัยของผู้คนที่ทำงานอยู่ที่นี่นั้นยังช่วยส่งเสริมการทำงานซึ่งกันและกัน ข้าพเจ้าจึงไม่แปลกใจเลยว่าเหตุใดเดซีจึงสามารถเป็นศูนย์กลางการวิจัยทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาคในระดับโลกได้

โครงการเดซีได้ให้นักศึกษาทุกคนได้มีโอกาสได้ในการเข้าร่วมฟังการบรรยายจากนักวิทยาศาสตร์ที่เชี่ยวชาญในด้านต่างๆ ทุกวันในช่วงเช้า ซึ่งจะมีหัวข้อที่น่าสนใจแตกต่างกันไป

วันที่	หัวข้อบรรยาย	ผู้บรรยาย
17 กรกฎาคม	Welcome Introduction	Gernot Maier
18 กรกฎาคม	Introduction to the Standard Model I	Thorsten Kuhl
19 กรกฎาคม	Introduction to the Standard Model ll	Thorsten Kuhl
20 กรกฎาคม	Introduction to the Standard Model III	Thorsten Kuhl
23 กรกฎาคม	Computing and Analysis Hands on	Stephen Wiesand, Tarek Hassan
24 กรกฎาคม	LHC I	Ingo Bloch
24 กรกฎาคม	LHC II	Ingo Bloch
26 กรกฎาคม	Accelerator Physics I	PeDro Castro
27 กรกฎาคม	Accelerator Physics II	PeDro Castro
30 กรกฎาคม	Astroparticle Theory	Iurii Sush
1 สิงหาคม	Introduction into Data Analysis I	Orel Gueta
2 สิงหาคม	Introduction into Data Analysis II	Orel Gueta
6 สิงหาคม	Photoinjector PITZ I	Gregor Loisch
7 สิงหาคม	Photoinjector PITZ II	Gregor Loisch
8 สิงหาคม	Machine Learning Techniques	Stefan Ohm
9 สิงหาคม	Lattice Gauge Theory	Constancia AlexanDrou
10 สิงหาคม	Physics beyond the Standard Model I	Elisa Pueschel
13 สิงหาคม	Physics beyond the Standard Model II	Elisa Pueschel
14 สิงหาคม	Neutrino Physics I	Walter Winter
15 สิงหาคม	Neutrino Physics II	Walter Winter
16 สิงหาคม	Astroparticle Physics	Gernot Maier
21 สิงหาคม	Cosmology I	Jakob Nordin
22 สิงหาคม	Cosmology II	Janob Nordin

23 สิงหาคม	Dark Matter I	David Berge
24 สิงหาคม	Dark Matter II	David Berge
27 สิงหาคม	Pertubative QCD I	Kay Schoenwald
28 สิงหาคม	Pertubative QCD II	Kay Schoenwald

บทที่ 2 งานวิจัยระยะสั้นระหว่างเข้าร่วมโครงการ

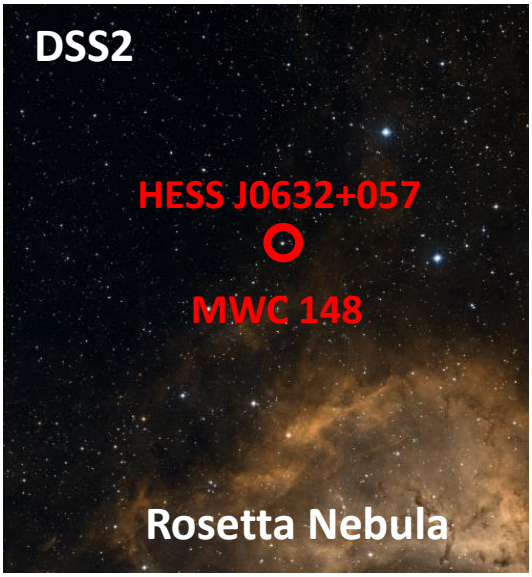
ข้าพเจ้าได้เข้าร่วมกลุ่มวิจัย Cherenkov Telescope Array หรือ CTA ซึ่งเป็นกลุ่มวิจัยทางด้านฟิสิกส์ดาราศาสตร์อนุภาค กลุ่มวิจัย CTA นั้นมุ่งเน้นทำการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์พลังงานสูง มีเป้าหมายหลักในการศึกอนุภาคพลังงานสูงจากอวกาศห้วงลึกอันได้แก่ โฟตอนพลังงานสูง เช่น รังสีคอสมิก รังสีแกมม่า, อิเล็กตรอน โดยใช้ Cherenkov Telescope Array หรือ หมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟเป็นเครื่องมือในการตรวจวัดอนุภาคพลังงานสูงที่ผ่านชั้นบรรยากาศโลกเข้ามา

หมู่กล้องโทรทรรนศ์เชอเรนคอฟตรวจวัดอนุภาคพลังงานสูงผ่านรังสีเชอเรนคอฟหรือแสงเชอเรนครอฟ ถูกตั้งชื่อตามนักฟิสิกส์ชาวโซเวียต Pavel Alekseyevich Cherenkov ผู้ซึ่งค้นพบรังสีเชอเรนคอฟ ในปี 1934 ร่วมกับ Ilya Frank และ Igor Tamm และได้รับรางวัลโนเบลจากการค้นพบนี้ร่วมกันเมื่อปี ค.ศ.1958 แสงเชอเรนคอฟเกิดจากการที่รังสีแกมม่าพลังงานสูงจากนอกโลกทำ อันตรกิริยากับชั้นบรรยากาศโลก ทำให้อนุภาคในตัวกลาง (ชั้นบรรยากาศโลก) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากกว่าแสงในตัวกลางเดียวกัน (ไม่มีสิ่งใดเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแสงในสุญญากาศ) ซึ่งความเร็วแสงในอากาศนั้นจะลดลงไปราวๆ 0.03% ของความเร็วแสงในสุญญากาศ ทำให้เกิดแสงวาบสีฟ้าของแสงเชอเรนคอฟขึ้น คล้ายกับการเกิดโซนิกบูมในอากาศเมื่อเครื่องบินเคลื่อนที่เร็วกว่าความเร็วเสียง อย่างไรก็ตามแสงเชอเรนคอฟจะกระจายไปทั่วพื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 250 เมตร และเกิดขึ้นเป็นเวลาเพียงหนึ่งในพันล้านส่วนวินาทีเท่าเท่านั้น ทำให้สายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สำหรับ CTA ซึ่งเป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ติดตั้งกระจกขนาดใหญ่และกล้องความเร็วสูงจึงทำให้สามารถตรวจวัดแสงเชอเรนคอฟนี้ได้

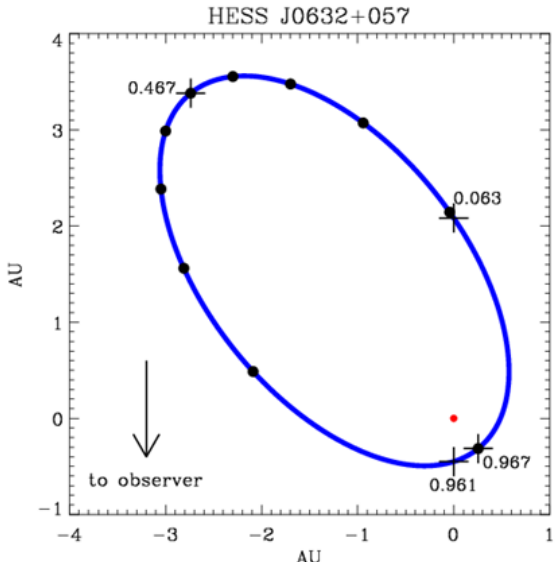
เนื่องจากหมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟนั้นยังอยู่ในขั้นตอนการก่อสร้าง ทำให้ยังไม่สามารถนำข้อมูลจากหมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟมาใช้ได้ ดังนั้นงานวิจัยของกลุ่มวิจัย CTA จึงเป็นการศึกษาข้อมูลจากกล้องต้นแบบหรือจากกล้องโทรทรรศน์ที่ตรวจวัดอนุภาคพลังงานสูงผ่านแสงเชอเรนคอฟเหมือนกัน เช่น VERITAS, H.E.S.S และ MAGIC ซึ่งเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จหมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟจะมีจำนวนกล้องโทรทรรศน์ทั้งสิ้น 150 กล้อง สามารถตรวจวัดอนุภาค

พลังงานสูงครอบคลุมท้องฟ้าทั้งซีกโลกเหนือและใต้ หมู่กล้องโทรทรรศน์เชอเรนคอฟจะเป็นศูนย์สังเกตการณ์รังสีแกมม่าพลังงานสูงภาคพื้นดินที่ใหญ่ที่สุดในโลก

ข้าพเจ้าได้ทำวิจัยในหัวข้อ “Leptonic Emission of HESS J0632+057” ซึ่งเป็นการศึกษาและสร้างแบบจำลองการแผ่รังสีที่เกิดจาก Leptons ของวัตถุที่มีชื่อว่า HESS J0632+057 ซึ่งเป็นวัตถุที่ปลดปล่อยรังสีแกมม่าพลังงานสูงมากได้ (Very-High-Energy Gamma-ray : VHE gamma-ray) รังสีแกมม่านี้มีพลังงานสูงถึงช่วงเทระอิเล็กตรอนโวลต์ (TeV) และวัตถุนี้ถูกค้นพบเป็นวัตถุที่แผ่รังสีแกมม่าพลังงานสูงมาก ในปี ค.ศ.2007 จากการสำรวจกาแล็กซีโดยกล้องโทรทรรศน์ H.E.S.S. ซึ่งถูกค้นพบบริเวณใกล้ๆ กับ Rosetta Nebulae และ Monoceros Loop Supernova Remnant ห่างจากโลก 1.5 กิโลพาร์เซก(หรือราวๆ 5,000 ปีแสง) 10 กิโลพาร์เซกจากใจกลางทางช้างเผือก จากการศึกษาอย่างต่อเนื่องได้เผยให้เห็นถึงธรรมชาติการแผ่รังสีแบบระบบดาวคู่ของวัตถุนี้คือการมีคาบการแปรผันของรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมม่าTeV ซึ่งเกิดขึ้นทุกๆ 315 วัน และในปีค.ศ.2009 ได้ถูกเสนอให้เป็นระบบดาวคู่รังสีแกมม่าระบบที่ 4 ถัดจาก PSR B1259-63, LS 5039 และ LS I +61 303



รูป 3.1 ตำแหน่งของ HESS J0632+057 บริเวณ Monoceros Loop ใกล้กับ Rosetta Nebula



รูป 3.2 แสดงลักษณะวงโคจรของ HESS J0632+057 โดยมีสัดส่วนของดาวกับวง

ในวงโคจรของ HESS J0632+057 ประกอบด้วยดาวฤกษ์ MWC148 ซึ่งเป็นดาวฤกษ์มวลมาก ชนิด B0Vpe เป็นดาวฤกษ์ชนิดที่ให้สเปคตรัมสีฟ้าและมีอุณหภูมิพื้นผิวราว 30,000 เคลวิน ดาวฤกษ์ MWC148 มีรัศมี 6.6 เท่าของรัศมีดวงอาทิตย์และมวล16เท่าของมวลดวงอาทิตย์ สำหรับธรรมชาติของวัตถุที่เป็นคู่ของ MWC148 นั้นยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน แต่ได้ถูกเสนอว่าเป็นพัลซาร์อายุน้อย เช่นเดียวกับพัลซาร์ในระบบ PSR B1259-63 สำหรับการศึกษาวัตถุที่อาจเป็นพัลซาร์อายุน้อยที่โคจรรอบ MWC148 นั้นทำได้ยากเนื่องจากไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบทั่วไปได้ ซึ่งกล้องโทรทรรศน์แบบทั่วไปนั้นจะมองเห็นเพียง MWC148 เท่านั้น สำหรับวัตถุที่ดูเหมือนจะเป็นพัลซาร์อายุน้อยนี้นั้นมีขนาดเล็กมาก และกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้เทคนิกแสงเชอเรนคอฟนั้นสามารถตรวจวัดและให้ข้อมูลของสเปตรัม (พลังงานที่ตกกระทบต่อพื้นที่ต่อวินาที) ที่พลังงานต่างๆได้เท่านั้น ซึ่งเรียกลักษณะวัตถุแบบนี้ว่า “point source” ซึ่ง HESS J0632+057 เองนั้นก็เป็น point source

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ข้อมูลสเปกตรัมสองชุดข้อมูลจาก NuSTAR และ VERITAS โดย NuSTAR เป็นหมู่กล้องโทรทรรศน์ในอวกาศที่ตรวจวัดสเปกตรัมในช่วงรังสีเอกซ์ และ VERITAS เป็นหมู่กล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นที่ใช้เทคนิกแสงเชอเรนคอฟตรวจวัดสเปกตรัมในช่วงรังสีแกมม่า ซึ่งข้อมูลทั้งสองชุดนี้จะถูกนำมาสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายและทำนายสเปกตรัมของ HESS J0632+057 แบบจำลองในที่นี้คือการจำลองโดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองกระบวนการที่เกิดจากอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนและให้สเปกตรัมที่พลังงานต่างๆ ออกมา

แบบจำลองการแผ่รังสีเลปโทนิกในงานวิจัยนี้สร้างโดยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python และแพ็คเกจ Naima ในการจำลอง non-thermal radiation จากประชากรอนุภาคพลังงานสูง และใช้ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) fitting ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแบบจำลอง

แบบจำลองอนุภาค

1. ฟังก์ชันการกระจายตัวของอนุภาค

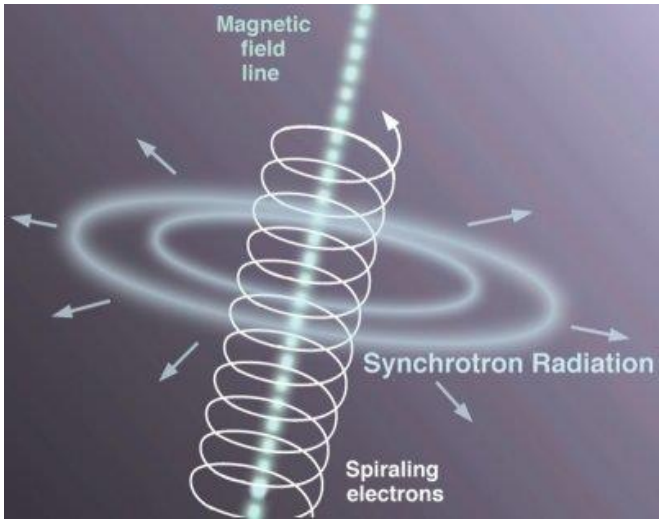
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ฟังก์ชันแบบจำลองกฎกำลังที่มีจุดตัดเอ็กโพเน็นเชี่ยลเป็นฟังก์ชันการกระจายตัวของอนุภาค โดยให้แหล่งของอิเล็กตรอนเป็นดาวฤกษ์ MWC148

$$f(E) = A(E/E_0)^{-\alpha} exp\left(-\left(E/E_{cutoff}\right)\right)$$

โดยที่ A คือ แอมพลิจูดของสเปกตรัม, E_0 คือพลังงานที่จุดอ้างอิง, α คือดัชนีกฎกำลัง, E_{cutoff} คือ พลังงานที่จุดตัด

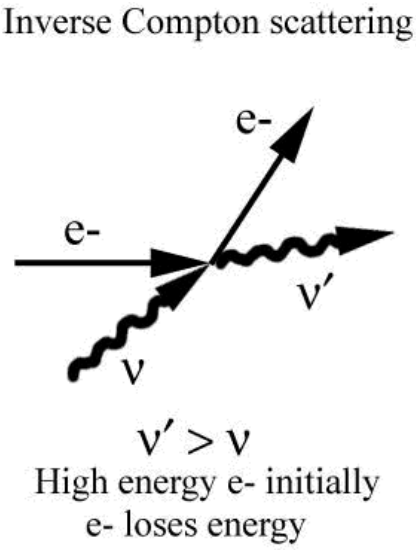
2. รังสีซินโครตรอน

เมื่ออนุภาคพลังงานสูงที่มีประจุถูกเร่งให้เคลื่อนที่รอบแนวสนามแม่เหล็กจะแผ่รังสีซินโครตรอนออกมา การแผ่รังสีซินโครตรอนจึงเกิดขึ้นในบริเวณที่มีอนุภาคเลปตรอน ในงานวิจัยนี้ให้พลังงานต่ำสุดของอิเล็กตรอนมีค่า 1 GeV และพลังงานสูงสุดมีค่า 50 PeV ในส่วนของค่าสนามแม่เหล็กนั้นได้มาจากกระบวนการ MCMC ซึ่งให้ค่าสนามแม่เหล็กมีค่า 60 มิลลิเกาส์



3. การกระเจิงคอมป์ตันแบบย้อนกลับ

เมื่ออนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงชนเข้ากับโฟตอนพลังงานต่ำ อนุภาคจะเกิดการสูญเสียพลังงานให้กับโฟตอนทำให้โฟตอนมีพลังงานสูงขึ้น ซึ่งการเกิดการกระเจิงคอมป์ตันแบบย้อนกลับนี้เองเป็นกระบวนการหลักที่ทำให้เกิดรังสีแกมม่าพลังงานสูงมาก ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดแหล่งของโฟตอนพลังงานต่ำซึ่งมาจาก MWC148, รังสีคอสมิกพื้นหลัง, รังสีอินฟราเรดพื้นหลังช่วงไกล, รังสีอินฟราเรดพื้นหลังช่วงใกล้ ซึ่งมีอุณหภูมิ 30,000 K, 2.72 K, 30 K, และ 3,000 K และมีความหนาแน่นพลังงาน 0.1 erg/cm^3, 0.261 eV/cm^3, 0.5 eV/cm^3, และ 1 eV/cm^3 ตามลำดับ

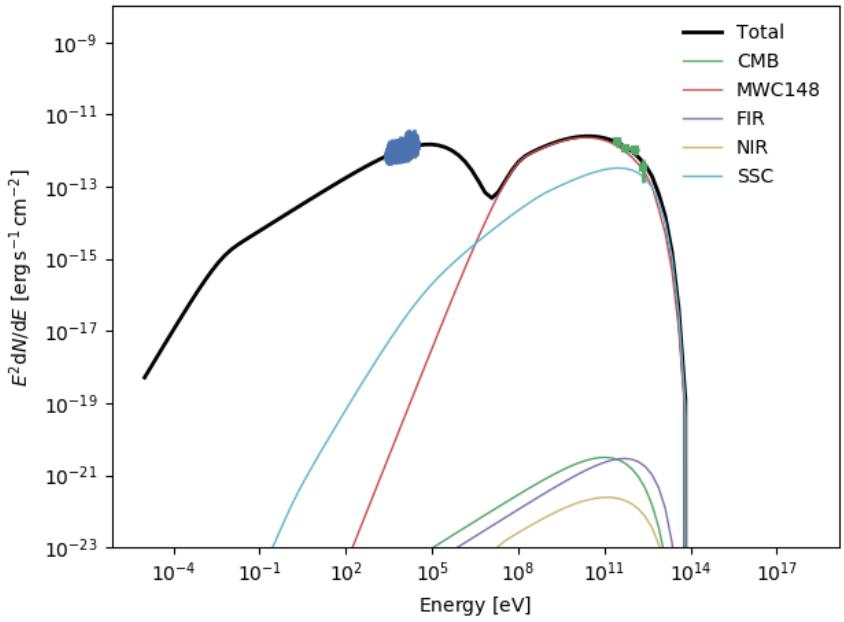


4. Synchrotron self Compton (SSC)

เมื่ออนุภาคอิเล็กตรอนถูกเร่งให้เคลื่อนที่ตามสนามแม่เหล็กแล้วแผ่รังสีซินโครตรอนออกอนุภาคอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงได้ชนกับโฟตอนของซินโครตรอนเข้าอีกครั้งหนึ่งทำให้พลังงานของโฟตอนเพิ่มขึ้นไปอยู่ในช่วงของรังสีแกมม่า เรียกกระบวนการนี้ว่า Synchrotron self Compton โดยให้กระบวนการเกิดแสงซินโครตรอนและแหล่งของแสงซินโครตรอนเกิดขึ้นในดาวฤกษ์ MWC148

ผลการวิจัย

จากแบบจำลองที่ได้จะเห็นว่าข้อมูลที่มาจาก NuSTAR (สีน้ำเงิน) และ VERITAS (สีเขียว) สอดคล้องกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยแบบจำลองที่ได้จะมีลักษณะของกราฟคล้ายภูเขาสองลูกโดยลูกแรกเป็นสเปกตรัมที่เกิดจากกระบวนการแผ่รังสีซินโครตรอนซึ่งมี MWC148 เป็นแหล่งของรังสีซินโครตรอน และลูกที่สองเป็นสเปกตรัมที่เกิดจากกระบวนการกระเจิงคอมป์ตันแบบย้อนกลับโดยมี MWC148 เป็นแหล่งของโฟตอนพลังงานต่ำที่เกิดกระบวนการกระเจิงคอมป์ตันแบบย้อนกลับ ซึ่งมีแหล่งอนุภาคอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่เกิดจากพายุสุริยะใน MWC148 หรือจากพัลซาร์ แต่เนื่องจากเราไม่สามารถทราบพารามิเตอร์ต่างๆของพัลซาร์นี้ได้จึงไม่สามารถนำข้อมูลของพัลซาร์มาใช้ในแบบจำลองนี้ได้ ในขณะเดียวกันโฟตอนพลังงานต่ำที่มาจาก รังสีคอสมิกพื้นหลัง, รังสีอินฟราเรดพื้นหลังช่วงไกล และรังสีอินฟราเรดช่วงใกล้นั้นไม่มีผลในแบบจำลองนี้



บทที่ 3 บันทึกประจำวัน

วันจันทร์ 16 กรกฎาคม

ข้าพเจ้าเดินทางมาถึง DESY Zeuthen ราวๆ เที่ยง การเดินทางจากสนามบิน Tegel มายัง DESY เป็นไปอย่างราบรื่น บรรยากาศที่นี่เงียบสงบกว่าที่คิดดูไม่เหมือนว่าอยู่ใกล้เมืองหลวงเลย ที่นี่น่าอยู่มาก ข้าพเจ้าเริ่มรู้สึกว่าไม่อยากกลับบ้านขึ้นมาเสียแล้ว

หลังจากกำลังจัดเตรียมข้าวของเข้าตู้ไม่นานนัก รูมเมทของข้าพเจ้าก็มาถึง เขามีชื่อว่า Alexie มาจากรัสเซีย อายุอ่อนกว่าข้าพเจ้า 2 ปี หลังจากจัดการข้าวของเรียบพวกเราก็ชวนกันไปสำรวจห้างสรรพสินค้าใกล้ๆเพื่อเตรียมของไว้สำหรับทำอาหารในวันพรุ่งนี้

วันพุธที่ 17 กรกฎาคม

ช่วงเช้าของวันนี้เป็นการกล่าวต้อนรับโดย Dr. Gernot Maier ผู้ซึ่งเป็นหัวหน้าโครงการนักศึกษาฤดูร้อนและที่ปรึกษาของข้าพเจ้า หลังจากเลคเชอร์เรื่องเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้ชีวิตใน DESY เสร็จ นักศึกษาก็ได้พบกับที่ปรึกษาและเป็นการพาเดินชมและแนะนำ DESY โดยที่ปรึกษา

ในช่วงบ่ายก็เป็นปาร์ตี้ต้อนรับ ข้าพเจ้าก็ได้มีโอกาสทำความรู้จักกับเพื่อนๆ อีกหลายคน หลังจากที่เมื่อเช้าได้เจอกับ Krzysztof, Pawel, และ Luigi ที่ห้องครัวไปแล้ว

วันพฤหัสบดีที่ 18 กรกฎาคม

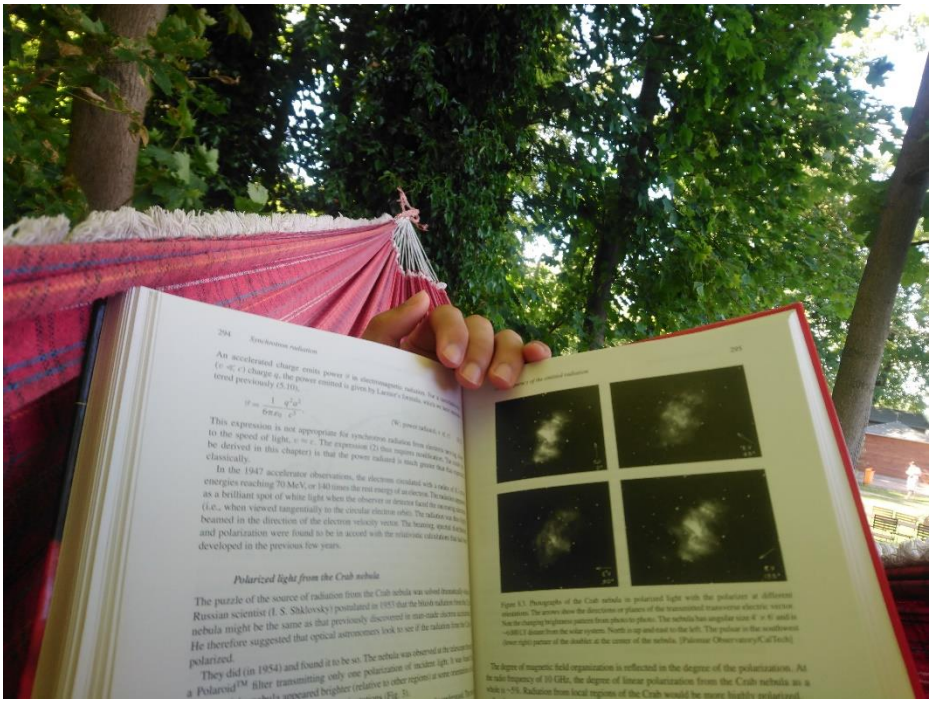
วันนี้หลังจากเลคเชอร์เสร็จในตอนเช้า ช่วงบ่ายได้เข้าไปคุยเรื่องงานวิจัยกับ Dr. Gernot และ Raul ผู้ซึ่งจะมาเป็นพี่เลี้ยง เนื่องจาก Dr. Gernot จะไม่อยู่ราว 3 สัปดาห์ เพื่อไปพักผ่อนกับครอบครัว ถึงแม้จะยังไม่เข้าใจเรื่องงานวิจัยดีนัก แต่ก็เป็นงานที่ดูน่าสนใจดี

วันศุกร์ที่ 19 กรกฎาคม

วันนี้เริ่มงานวิจัยด้วยการลงโปรแกรมสำหรับเขียนภาษาไพธอนซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ แต่เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้เป็นคอมพิวเตอร์ในลูกข่าย การจะลงโปรแกรมใดๆจะต้องเป็นผู้ได้รับอนุญาตจากแอดมินจึงจะลงได้ ข้าพเจ้าจึงต้องค้นหาวิธีลงโดยไม่ต้องขออนุญาตจากแอดมิน ซึ่งกว่าจะทำสำเร็จก็ถึงเวลาเลิกงานเสียแล้ว ไม่เป็นไรวันจันทร์เราค่อยมาเริ่มใหม่

วันอาทิตย์ที่ 21 กรกฎาคม

วันนี้ข้าพเจ้าได้ออกมาเดินดูรอบๆบริเวณ DESY และพบว่ามีเปลผูกไว้ใกล้ๆ กับทะเลสาบ ข้าพเจ้าจึงเอาอ่านหนังสือที่ Dr. Gernot แนะนำให้มาอ่านเพื่อปรับพื้นฐานก่อนเริ่มทำงานวิจัย ถึงจะยังมองไม่ค่อยเห็นภาพว่ากำลังจะทำอะไร แต่ก็พอจะเริ่มประติดประต่ออะไรได้บ้าง



วันอังคารที่ 22 กรกฎาคม

ข้าพเจ้าได้เริ่มศึกษาตัวอย่างงานวิจัยที่เคยมีคนทำเอาไว้แล้ว ดูเหมือนจะง่ายก็ไม่ง่าย จะยากก็ไม่ยาก อาจเป็นเพราะข้าพเจ้ายังไม่ค่อยเข้าใจมากนัก ยิ่ง Dr. Gernot ไม่อยู่ข้าพเจ้าจะต้องกระตือรือร้นทำความเข้าใจให้ได้

วันพุธที่ 1 สิงหาคม

สองสัปดาห์ผ่านไปเร็วจริงๆ ต้องขอบคุณ Raul ที่คอยช่วยเหลือตลอดที่ Dr. Gernot ไม่อยู่ ทำให้งานต่างๆยังเดินหน้าไปได้ ถึงแม้ว่าข้าพเจ้าและ Raul จะเริ่มต้นในงานนี้พร้อมกัน แต่เขาก็ดูจะเข้าใจและมีประสบการณ์มากกว่าและยังช่วยสอนข้าพเจ้าได้อีกด้วย

วันพฤหัสบดีที่ 2 สิงหาคม

วันนี้ข้าพเจ้าได้อ่านงานวิจัยเกี่ยวกับ HESS J0632+057 จบไปอีก 1 เรื่อง ทำให้มองเห็นภาพรวมของงานวิจัยได้มากขึ้น สิ่งที่เหนื่อยจริงๆ คือการเขียนโปรแกรมที่ข้าพเจ้ายังมีประสบการณ์น้อย แต่คิดว่าอีกไม่นานข้าพเจ้าจะเข้าใจอะไรมากขึ้น

วันศุกร์ที่ 3 สิงหาคม

วันศุกร์กำลังจะผ่านพ้นไป สุดสัปดาห์นี้ข้าพเจ้าจะออกไปเที่ยวในเมืองเบอร์ลินให้ได้

วันเสาร์ที่ 4 สิงหาคม

วันนี้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสเข้าไปเที่ยวชมมหาวิหารแห่งเบอร์ลินหรือเบอร์ลินนาร์โดมพร้อมกับ Krzysztof เพื่อนชาวโปลิชและ Alexie จากรัสเซีย ที่แห่งนี้ทำให้รู้สึกทึ่งกับความงามและความสามารถของชาวเยอรมันเมื่อราว 100 กว่าปีที่แล้ว ที่ได้สร้างมหาวิหารแห่งนี้ขึ้นมา และยังได้ขึ้นไปชมความงามของเมืองเบอร์ลินจากบนโดมอีกด้วย

วันอาทิตย์ที่ 5 สิงหาคม

เนื่องจากเมื่อวานเดินข้าพเจ้าเที่ยวชมเมืองตั้งแต่เช้ายันมืด วันนี้จึงรู้สึกเหนื่อยล้าเหลือเกิน ทำให้ไม่รู้สึกอยากออกไปไหน จึงได้นอนพักผ่อนในห้องทั้งวัน แต่ในช่วงเย็นก็ได้ไปเล่นวอลเลย์บอลกับ Krzysztof และ Alexie ที่สนามวอลเลย์ที่เป็นสนามแบบวอลเลย์บอลชายหาดและมันก็เป็นกิจกรรมคลายเบื่อให้พวกเราดีทีเดียว กลุ่มคนที่ไม่เคยเล่นวอลเลย์บอลมาเล่นวอลเลย์บอลด้วยกัน

วันจันทร์ที่ 6 สิงหาคม

วันนี้หลังจากเรียนและทำงานเสร็จ ช่วงเย็นข้าพเจ้าได้ไปนั่งคุยกันกับ Krzysztof และ Alexie ริมทะเลสาบ พวกเราค่อนข้างจะตัวติดกันเลยทีเดียวและยังเป็นพวกเบื่อง่ายเหมือนกัน ข้าพเจ้าก็เลยเสนอเพื่อนๆ ว่าเรามาว่ายน้ำกันเถอะ Krzysztof สนใจที่จะว่ายด้วย แต่ Alexie ไม่เอาด้วยเพราะว่ายน้ำไม่เป็น แต่แผนการว่ายน้ำก็ต้องเลื่อนไปก่อน เพราะเพื่อนๆ ชาวอิตาเลี่ยนชวนไปทานอาหารที่ร้านอาหารเม็กซิกัน ใน Königs Wusterhausen เพราะหลายๆ คนเบื่อที่จะต้องทำอาหารเองแล้ว

วันอังคารที่ 7 สิงหาคม

วันนี้ก็เป็นวันที่อากาศดีเหมือนเดิม ไม่หนาวไม่ร้อนเหมาะแก่การว่ายน้ำจริงๆ เลคเชอร์วันนี้ก็เป็น ภาค 2 ของ Photoinjector PITZ สำหรับข้าพเจ้าที่ไม่ได้มีความรู้และสนใจในสายงานเครื่องเร่งอนุภาคก็เลยไม่ค่อยรู้เรื่องเสียเท่าไร แต่ก็พยายามทำความเข้าใจและกลัวผู้สอนจะรู้สึกไม่ดี เพราะวันนี้มีคนเข้าฟังน้อยเหลือเกิน (ไม่ถึงครึ่ง) แต่ผู้สอนก็ช่างใจดีเหลือเกินยังชวนพวกเราไปดูหน้าตาของเจ้า Photoinjector PITZ ในวันพรุ่งนี้ช่วงบ่าย

เนื่องจากนัดหมายร้านอาหารเม็กซิกันถูกเลื่อนไปเป็นวันพรุ่งนี้แทน วันนี้ช่วงเย็นพวกเราก็เล่นวอลเลย์บอลกันอีก วันนี้มี Pawel เพื่อนชาวโปลิชอีกคนมาร่วมด้วย พวกเราจึงแบ่งทีมกันเป็นสองฝั่งระหว่างทีมโปแลนด์และทีมยูเรเชีย และทีมยูเรเชียได้พ่ายแพ้ให้แก่ทีมโปแลนด์ 2 ต่อ 1 เซ็ต Pawel นั้นเป็นคนตัวใหญ่และยังดูงุ่มง่ามไปบ้าง แต่นึกไม่ถึงจริงๆ ว่าเวลาเล่นวอลเลย์บอลจะดูคล่องแคล่วกว่าที่เห็นแถมยังเป็นคนที่ใจดีและเป็นมิตรอย่างมาก

วันพุธที่ 8 สิงหาคม

ในช่วงบ่ายพวกเราได้มีโอกาสเข้าไปดูหน้าตาของเจ้า Photoinjector PITZ อีกด้วย ซึ่งตั้งอยู่ในชั้นใต้ดินของอาคารหลัก ในเนื้อหาเลคเชอร์เกี่ยวกับเจ้า PITZ ที่ชวนให้สับสนงุนงงแล้ว เมื่อเจอของจริงแล้วยิ่งชวนให้สับสนงุนงงเข้าไปอีก โลกของเครื่องเร่งอนุภาคไม่น่าจะเหมาะกับข้าพเจ้าเสียเท่าไร

ช่วงค่ำวันนี้นัดทานอาหารเม็กซิกันไม่ถูกเลื่อน นักศึกษา 12 คนจาก 16 คนไปทานอาหารด้วยกัน และแน่นอนพวกเรานักศึกษาฟิสิกส์เมื่ออยู่ด้วยกันความสนุกสนานก็ไม่หนีไปไหน วันนี้ได้ลอง

ทาน Tacos เพราะเมนูนั้นเป็นภาษาเยอรมันละสเปนิช ด้วยความที่ข้าพเจ้ารู้ภาษาสเปนิชนิดหน่อย และคุ้นหูกับ Tacos จึงได้สั่งมา วันนี้ได้มีโอกาสได้พูดคุยกับ Luis Fernando เพื่อนชาวฮอนดูเรเนี่ยนมากขึ้นในหลายๆเรื่อง แล้วพบว่าพวกเราช่างเป็นคนที่มีนิสัยใจคอเหมือนกันเหลือเกินปานพี่น้องที่พลัดพรากจากกัน จากนั้นพวกเราเรียกกันพี่น้องในแบบภาษาสเปนิช amigo

วันพฤหัสบดีที่ 9 สิงหาคม

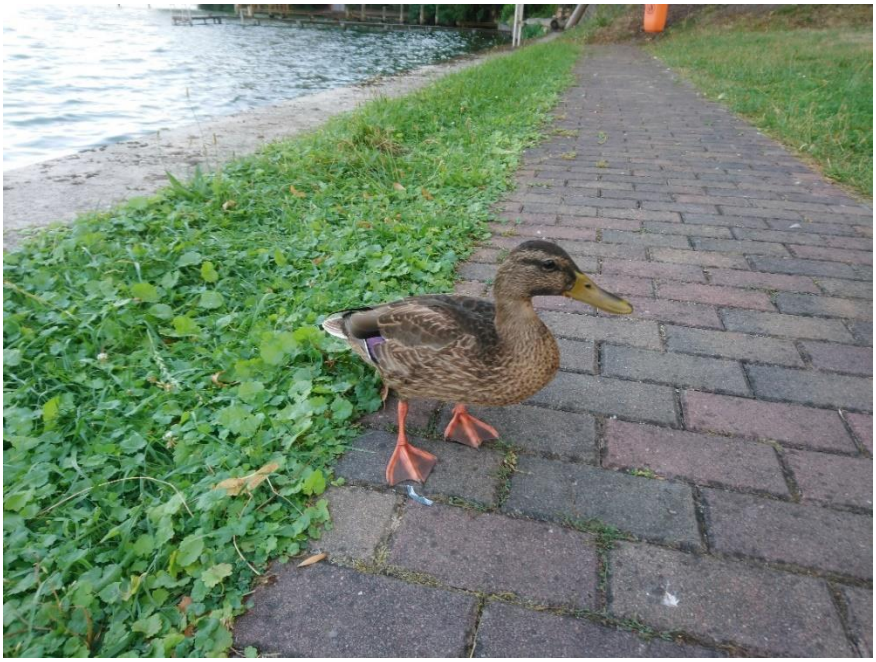
ในที่สุดวันนี้ก็สามารถเขียนโปรแกรมในการทำงานวิจัยและได้ผลการวิจัยสำเร็จ ส่วนต่อไปที่ต้องทำก็คือการตรวจสอบโปรแกรมใหม่อีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าผลที่ได้ออกมานั้นถูกต้อง ซึ่งข้าพเจ้าคิดว่าต้องมีผิดแน่นอนเพราะตลอดชีวิตที่ทำรายงานหรือแบบฝึกหัดใดๆ ล้วนมีความผิดพลาดเกิดขึ้นเสมอ ครั้งนี้ก็คงเช่นเดิมนอกเสียจากจะมีปาฏิหาริย์เกิดขึ้น

วันศุกร์ที่ 10 สิงหาคม

วันนี้ในช่วงเย็นได้ไปนั่งคุยเรื่อยเปื่อยและกับ Krzysztof ที่ริมทะเลสาบ และไม่นานนักก็มีสาวๆ มาร่วมวงคุยด้วย Ralitsa ชาวบัลแกเรียน Roberta และ Serena ชาวอิตาเลียน พวกเรานั่งคุยและดูเป็ดที่กำลังกลับเข้ารังกันได้สักพัก Roberta ก็ขอตัวไปทำงานต่อเพราะที่ปรึกษาจะต้องไปทำงานที่เมืองอื่นและจะไม่ได้กลับมาจนสิ้นสุดโครงการนักศึกษาฤดูร้อน Ralitsa ก็ขอตัวไปทำงานเช่นกัน แต่ Serana ได้ชวนพวกเราไปทำเค้กด้วยกัน ข้าพเจ้านั้นมีประสบการณ์เคยทำมาบ้างแต่ Krzysztof นั้นไม่เคย แต่ก็สนใจที่จะลองทำดู และนี่ก็เป็นครั้งแรกที่ได้มีโอกาสเข้าไปดูหอพักอื่นนอกจากหอพักของข้าพเจ้า หอพักของ Serena และ Roberta นั้นมีนักศึกษาพักอยู่ 4 คน อีก 2 คน

คือ Michelle ชาวอเมริกัน และ Claudia จาก เอลซัลวาดอร์ พักกันอยู่คนละห้อง ที่สำคัญคือที่หอพักนี้ถึงตัวตึกจะดูเล็กแต่ข้างในทุกอย่างดูใหญ่ไปหมดทั้งห้องครัวที่มีเตาอบและเครื่องล้างจานด้วย แถมห้องน้ำยังมีอ่างอาบน้ำอีกด้วย มันช่างแตกต่างจากหอพักชายเสียเหลือเกิน

พวกเราทั้ง 3 คนช่วยกันทำเค้กไปสักพัก Roberta ที่คงได้ยินเสียง Serena ออกคำสั่งให้พวกเราทำหน้าที่ต่างๆ ก็ออกมาช่วยทำเค้กด้วยอีกคน Roberta นั้นทำทุกขั้นตอนได้อย่างคล่องแคล่วจริงๆ เพียงครู่เดียวพวกเราก็ทำเสร็จเรียบร้อย และชวนเพื่อนๆ ที่เหลือมาร่วมกินเค้กด้วยกัน กลายเป็นปาร์ตี้น้ำชากับเค้กแบบไม่ได้นัดหมาย



วันเสาร์ที่ 11 สิงหาคม

วันนี้ข้าพเจ้ามีแผนไปเที่ยวต่างเมืองกับ Krzysztof, Serena และ Roberta พวกเราตื่นกันแต่เช้าตรู่และนัดพบกันตอน 6 โมงเช้า วันนี้พวกเราได้ไปชมเมือง Dresden เมืองหลวงของรัฐ Saxony เป็นเมืองแห่งประวัติศาสตร์ที่สวยงามมาก มีพระราชวัง วิหาร และพิพิธภัณฑ์มากมายในเขตเมืองเก่า เป็นอีกวันที่เดินจนขาลากเหนื่อยล้ากันทีเดียว คนเยอรมันนั้นเป็นสุดยอดนักอนุรักษ์เมือง Dresden นั้นเคยถูกทำลายไปเมื่อสงครามโลกครั้งที่ 2 รวมทั้ง Dresden Frauenkirche อันโด่งดังที่เคยถูกทำลายจนไม่เหลือยังสามารถสร้างกลับขึ้นมาใหม่ได้อีกครั้ง

Souvenirartikel

20
ZONE
C&A
vodafone

วันอาทิตย์ที่ 12 สิงหาคม

วันนี้ช่วงเช้าใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการทำความสะอาดห้องและซักผ้า ในช่วงบ่ายโทรศัพท์ไปพูดคุยกับแม่และบอกรักแม่เนื่องในวันแม่เพราะกลัวแม่จะคิดถึงลูกจนเกินไป

ในช่วงบ่ายได้มีโอกาสไปเดินเล่นและถ่ายรูปกับ Luis Fernando ที่เพิ่งจะซื้อกล้องมือสองมาจากวัยรุ่นเยอรมันที่เจอบน facebook พวกเราเดินไปที่สวนสาธารณะใกล้ๆ และที่นี่เองก็ได้รู้ว่าเป็ดที่เจอในทะเลสาบมาจากไหน ซึ่งพวกมันก็น่าจะอยู่ที่สวนสาธารณะที่นี้แหละ ที่นี่มีเป็ดมากมายเต็มไปหมดเลย

วันจันทร์ที่ 13 สิงหาคม

วันนี้ทั้งวันข้าพเจ้าง่วนอยู่กับการจัดการ code ที่ใช้คำนวณงานวิจัยของข้าพเจ้า พยายามจะจัดการให้เรียบร้อยก่อนที่จะถึงวันพุธซึ่งพวกเราชาว Zeuthener จะต้องออกเดินทางไปยัง DESY ที่ Hamburg ข้าพเจ้าชักจะอดใจรอไม่ไหวแล้วที่จะได้เจอน้องๆ ข้าพเจ้าอยากเจอคนไทยและพูดภาษาไทยสักที

วันอังคารที่ 14 สิงหาคม

ในที่สุดโปรแกรมการคำนวณที่ข้าพเจ้าเขียนขึ้นด้วยตนเองและภูมิใจเป็นที่สุดก็สามารถคำนวณงานได้สำเร็จและถูกต้องครบถ้วนเสียที ขั้นตอนต่อไปข้าพเจ้าจะต้องอ่านให้มากขึ้นเพื่อทำความเข้าใจในความหมายของผลการวิจัยนี้ เพราะเส้นตายส่งรายงานนั้นได้เข้าใกล้มาเรื่อยๆ แล้วเหลือเวลาอีกเพียง 3 สัปดาห์เท่านั้นที่จะต้องสรุปผลและเขียนรูปเล่มรายงาน แต่ก่อนที่จะถึงเวลานั้นข้าพเจ้าขอใช้เวลาที่เมือง Hamburg เป็น 5 วันตั้งแต่พรุ่งนี้จนถึงวันอาทิตย์ให้คุ้มค่าเสียก่อน

วันพุธที่ 15 สิงหาคม

วันนี้ชาว Zeuthener ได้ออกเดินทางในช่วงบ่าย หลังจากเรียนเลคเชอร์เสร็จในช่วงเช้า พวกเราได้แยกย้ายกันไปเตรียมตัวและนัดเจอกันเวลาบ่ายสองที่หน้าประตูใหญ่เพื่อจะออกเดินทาง จากสถานี Zeuthen ไปเจอกับ Dr. Gernot Maier ที่สถานี Südkreuz ซึ่งเป็นสถานีใหญ่และขึ้นรถไฟ Intercity-Express หรือ ICE ไปยังสถานี Hamburg-Altona ที่เมือง Hamburg

หลังจากเดินทางราวๆ 3 ชั่วโมงก็ถึงเมือง Hamburg หลังจากนั้นก็ต่อรถโดยสารประจำทางไปจนถึงหน้า DESY แม้การเดินทางจะไกลแต่ข้าพเจ้ากลับไม่รู้สึกเหนื่อยล้าเลย แต่ตื่นเต้นเสียมากกว่า ระหว่างทางข้าพเจ้าก็ได้นัดแนะน้องกรัณฑ์ น้องเบสท์ และน้องเจเจ (ผู้แทนประเทศไทยรุ่นเดียวกัน) มาเจอเพื่อพูดคุยถามไถ่กัน และน้องๆ ได้พาข้าพเจ้า Luis และ Krzysztof เยี่ยมชม DESY ยามค่ำคืนก่อนแยกย้ายกันกลับห้อง

ที่ DESY Hamburg ข้าพเจ้าได้นอนห้องเดี่ยวทำให้ข้าพเจ้ามีความสุขมาก เพราะเพื่อนร่วมห้องของข้าพเจ้าที่ Zeuthen คือ Alexie นั้นมักนอนละเมอกลางดึกเสมอทำให้ข้าพเจ้าซึ่งเป็นคนตื่นง่ายแต่หลับยากลำบากอยู่ไม่น้อย

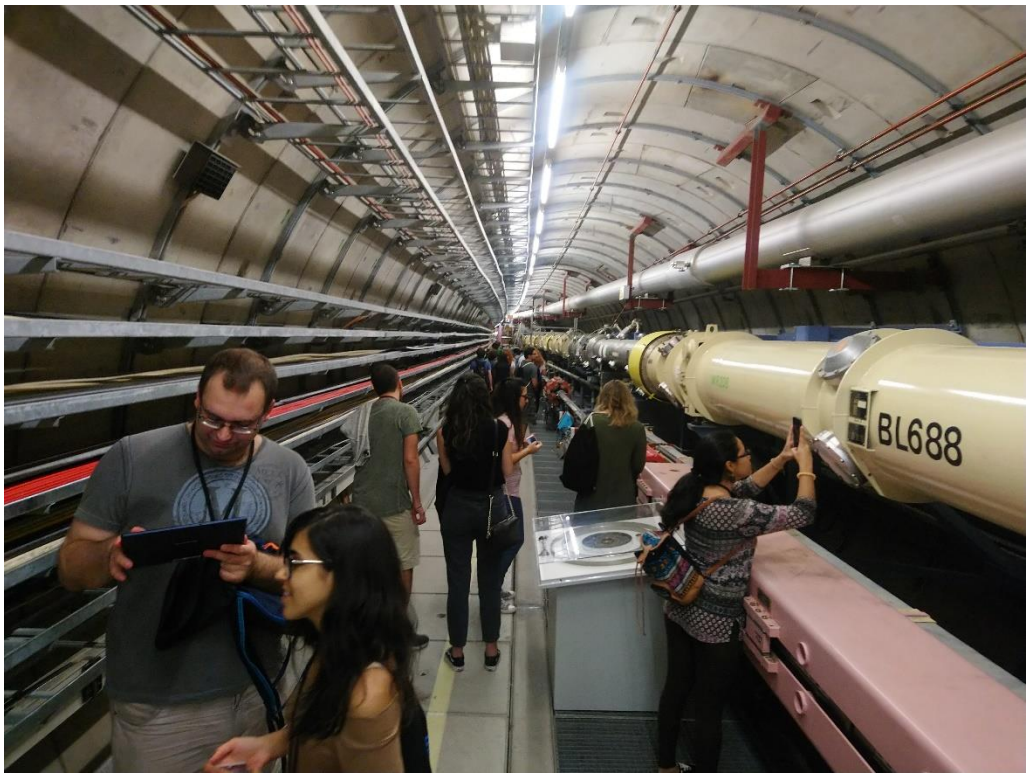
Hamburg-Altona
Information
12
DB

วันพฤหัสบดีที่ 16 สิงหาคม

วันนี้ในช่วงเช้าชาว Zeuthener ได้มีโอกาสไปเยี่ยมชมอดีตเครื่องเร่งอนุภาคที่กลายเป็นพิพิธภัณฑ์อย่างไม่เป็นทางกลาง HERA ที่อยู่ลึกลงไปใต้ดินราว 30 เมตร หลังจากที่บรรลุการทำงานถึงขอบเขตพลังงานทั้งหมดที่มันสามารถทำได้ HERA ได้ถูกปิดตัวลงเมื่อ วันที่ 30 มิถุนายน ค.ศ.2007 เวลา 11.23 น. หลังจากทำการมาราว 15 ปี (รูปภาพที่ 1 และ 2) หลังจากนั้นพวกเราได้ไปเยี่ยมชม PETRA III ต่อซึ่งเป็นเครื่องเร่งอนุภาคประเภท Synchrotron ที่ใหญ่ที่สุดในโลกด้วยเส้นรอบวง 2.3 กิโลเมตรล้มรอบ DESY (รูปภาพที่ 3) PETRA III นั้นไม่จำเป็นต้องลงไปดูถึงใต้ดินเหมือน HERA เพราะมีบางช่วงที่อยู่บนพื้นผิวแต่เนื่องจากยังอยู่ในช่วงเดินเครื่องพวกเราจึงได้เห็นเพียงด้านบนของ PETRA III ที่ถูก shield ไว้

ในช่วงบ่ายพวกเราได้ออกเดินทางไปยัง European XFEL โดยเดินทางด้วยรถยนตร์ 4 คันที่มีนักศึกษาอาสาขับ ข้าพเจ้าได้นั่งรถที่ขับโดย Luigi หนุ่มอิตาเลียนจากเมืองนโปลี พร้อมกับ Luis Fernando และ Pawel อีก 3 คันที่เหลือนั้นขับโดย Dr. Gernot, Serena และ Krzysztof ระหว่างทาง Luigi นั้นเล่าให้ฟังว่าที่นโปลีบ้านเกิดผู้คนขับรถกันใจร้อนมากไม่เหมือนในเยอรมนี ซึ่งแน่นอน Luigi ก็ได้โชว์ฝีมือการขับรถสไตล์นโปลิตันให้พวกเราดูด้วยการที่ออกเดินทางเป็นคันสุดท้ายแต่ถึงที่หมายก่อนใครเพื่อน

European XFEL เป็นชื่อของเครื่องเร่งอนุภาคแบบเส้นตรงยาว 3.4 กิโลเมตรที่ให้แสงเลเซอร์เอ็กซ์เรย์จากการเร่งอิเล็กตรอน เครื่องเร่งอนุภาคนี้ให้แสงแรกเมื่อเดือนพฤษภาคม ค.ศ.2017 European XFEL มีจุดเริ่มต้นอยู่ที่ DESY Hamburg ไปยังศูนย์ European XFEL ที่เมือง Schenefeld ใน Schleswig-Holstein ซึ่งเป็นที่ตั้งของสถานีวิจัย ห้องปฏิบัติการ และอาคารอำนวยการของ European XFEL (รูปภาพที่ 5 และ 6)


BL688

วันศุกร์ที่ 17 สิงหาคม

เริ่มต้นตอนเช้าด้วยเลคเชอร์ Astroparticle Physics ที่สอนโดย Dr. Gernot Maier และในช่วงบ่ายได้ไปเยี่ยมชม European Molecular Biology Laboratory ซึ่งตั้งอยู่ใน Centre for Structural Systems Biology เป็นศูนย์ปฏิบัติการทางชีววิทยาที่ใช้แสง Synchrotron จาก PETRA III ในการศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบทางชีววิทยาโดยเฉพาะเหล่าองค์ประกอบขนาดเล็กๆ ที่อยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ในช่วงเย็นที่ DESY Hamburg มีปาร์ตี้บาร์บีคิว ข้าพเจ้าได้เชิญน้องกรัณฑ์ น้องเบสท์ และน้องเจเจ มาร่วมโต๊ะกับชาว Zeuthener เป็นการร่วมวงพูดคุยกันที่สนุกสนานเฮฮาเป็นอย่างมาก เพื่อนๆ ชาวอิตาเลียนดูจะสนุกสนานกับพวกเราเป็นพิเศษ อาจเป็นเพราะพวกเรามีลักษณะนิสัยที่คล้ายกัน ชอบความสนุกสนานเฮฮาอีกทั้งยังเข้าใจมุกตลกของกันและกันได้อย่างง่ายดาย

วันเสาร์ที่ 18 สิงหาคม

วันนี้เป็นวันท่องเที่ยว Hamburg ของชาว Zeuthener เป็นการท่องเที่ยวแบบเดินไปเรื่อยตามสถานที่ที่น่าสนใจ ไม่ได้มีจุดมุ่งหมายที่ใดพิเศษนัก อีกทั้งกล้องโทรศัพท์มือถือของข้าพเจ้าก็เริ่มมีปัญหาไม่สามารถเปิดได้ ข้าพเจ้าจึงรู้สึกเสียดายจริงๆ ที่ไม่ได้ถ่ายภาพสถานที่ต่างๆ ได้ทั้งหมด

วันอาทิตย์ที่ 19 สิงหาคม

ชาว Zeuthener ออกเดินทางกลับกันในช่วงบ่าย และกลับมาถึง DESY Zeuthen ฟ้าก็มืดแล้ว คืนนี้ที่ Zeuthen หนาวมาก ระหว่างทางเดินจากสถานีไปยัง DESY มีหมอกจากๆ ตลอดทาง เป็นบรรยากาศที่ข้าพเจ้าชอบเหลือเกินทำให้อยากกลับไปนอนบนเตียงเร็วๆ

วันจันทร์ที่ 20 สิงหาคม

ชาว Zeuthen กลับสู่วงจรชีวิตปกติ และเข้าสู่ช่วงทำรายงาน หลายๆ คนยังคงอยู่ในห้องทำงานแม้จะถึงเวลาเลิกงานแล้ว สำหรับข้าพเจ้านั้นมีแผนการทำรายงานแบบค่อยเป็นค่อยไป ไม่รีบร้อนทำให้เสร็จในทีเดียวจะชวนให้เครียดและหดหู่เสียเปล่าๆ

วันศุกร์ที่ 24 สิงหาคม

หลังจากมุ่งมั่นทำรายงานมาเป็นวันที่ 5 ข้าพเจ้าก็เริ่มรู้สึกว่าควรจะพักเสียหน่อย รายงานเริ่มเป็นรูปเป็นร่างขึ้นมาบ้างแล้ว และมาถึงครึ่งทางแล้วด้วย

วันเสาร์ที่ 25 สิงหาคม

วันนี้ข้าพเจ้าไม่ได้ออกไปเที่ยวที่ไหน และใช้เวลาไปกับการเดินเล่นผ่อนคลายรอบๆ ทะเลสาบ ข้าพเจ้าวางแผนว่าจะไปงีบที่เปลที่ผูกไว้ริมทะเลสาบเสียหน่อยแต่กลับพบว่าเปลนั้นขาดไปแล้ว ช่างน่าเสียดายจริงๆ

วันอาทิตย์ที่ 26 สิงหาคม

วันนี้ข้าพเจ้าจัดการทำความสะอาดห้องพักและซักผ้า ข้าพเจ้ามักอ้างว่านี่เป็นวิธีการผ่อนคลายของข้าพเจ้า ซึ่งมันก็ช่วยได้ส่วนหนึ่ง แต่ที่จริงแล้วมันเป็นเพราะข้าพเจ้าไม่อยากจะแตะต้องรายงานจึงทำเหมือนว่ามีเรื่องอื่นที่ต้องจัดการก่อนทำรายงาน วันนี้ข้าพเจ้าจึงยังไม่ได้แตะต้องรายงานเลย แต่พรุ่งนี้ข้าพเจ้าจะต้องเริ่มทำรายงานต่อได้แล้ว

วันจันทร์ที่ 27 สิงหาคม

ข้าพเจ้าสานต่อรายงานของข้าพเจ้า แต่ก็เป็นไปได้ช้ากว่าปกติ ความขี้เกียจเริ่มเข้าครอบงำข้าพเจ้าเสียแล้ว ข้าพเจ้าจึงได้ไปพูดคุยกับ Luis Fernando เพื่อไปทำรายงานในห้องทำงานของ Luis Fernando ด้วยกัน เพราะเมื่อข้าพเจ้าเห็นเพื่อนนั่งทำรายงานจะได้มีแรงฮึดในการทำรายงานต่อด้วย

วันอังคารที่ 28 สิงหาคม

สิ่งที่ข้าพเจ้าคิดเอาไว้เมื่อวานนั้นเป็นการแนวคิดที่ผิดจริงๆ เพราะข้าพเจ้าดันลืมไปว่าเราทั้งคู่นั้นนิสัยเหมือนกัน แต่อย่างน้อยได้นั่งทำงานกับเพื่อนก็ดูเหมือนรายงานจะเข้าใกล้ความสำเร็จได้เร็วกว่าทำคนเดียว เพราะเมื่ออีกคนเริ่มอีกคนก็จะเตือนอีกคนว่าอย่านิ่งสิ ทำงานสิ ถึงแม้เราจะมีความขี้เกียจเหมือนๆ กัน แต่เราก็ยังตระหนักถึงหน้าที่ของเราอยู่

วันศุกร์ที่ 31 สิงหาคม

หลังจากมุ่งมั่นทำงานอย่างเดียวไม่สนใจสิ่งอื่นใด ในที่สุดรายงานของข้าพเจ้าก็เข้าใกล้จุดสิ้นสุดเสียที ถ้าหากพรุ่งนี้มีแรงฮึดทำต่อข้าพเจ้าจะสามารถทำเสร็จได้แน่นอน

วันเสาร์ที่ 1 กันยายน

ในที่สุดวันนี้ข้าพเจ้าก็สามารถบรรลุเป้าหมายการทำรูปเล่มรายงานได้ตามแผนที่วางไว้ แต่ก็ยังเหลือการเตรียมนำเสนอผลงานที่ข้าพเจ้าวางแผนว่าจะใช้เวลาในวันอาทิตย์ทั้งวันในการเตรียมก าร เพื่อที่วันพรุ่งนี้ข้าพเจ้าจะสามารถไปเยี่ยมชมกล้องโทรทรรศน์ CTA ต้นแบบได้อย่างสบายใจ

วันอาทิตย์ที่ 2 กันยายน

วันนี้ก็เป็นอีกวันที่สามารถดำเนินการตามแผนได้สำเร็จลุล่วง ข้าพเจ้าจึงฉลองด้วยการว่ายน้ำในทะเลสาบท่ามกลางอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส พร้อมกับ Krzysztof, Luis Fernando และ Pawel โดยข้าพเจ้าเป็นหน่วยกล้าตายลงไปเป็นคนแรก เมื่อข้าพเจ้ากระโจนลงน้ำเป็นคนแรกก็ได้แต่ต้องอดทนไว้ก่อนซ่อนอาการหนาวสั่นเอาไว้ เพื่อหลอกล่อให้เพื่อนๆ ที่เหลือตายใจและลงเล่นน้ำด้วยกันแบบไม่กลัวหนาว และแน่นอนหลังจากทุกคนลงน้ำกันหมดแล้วหลังจากนั้นพวกเราก็ตะโกนร้องเพราะความหนาวเย็นของน้ำและหมอกเริ่มลงแล้ว พวกเราลงน้ำได้ไม่นานนักก็รีบขึ้นจากน้ำและวิ่งกลับห้องไปอาบน้ำอุ่นกันแบบไม่สนใจอะไรอีกแล้ว

เป็นอีกหนึ่งวันที่มีช่วงเวลาสนุกสนานร่วมกับเพื่อนๆ ก่อนจะจากกันในอีกไม่กี่วัน หลังจากอาบน้ำแต่งตัว รับประทานอาหารเรียบร้อย พวกเราก็ไปนั่งคุยพลางดูดาวไป แบ่งปันเรื่องราวๆ ต่างๆ

วันจันทร์ที่ 3 กันยายน

วันนี้ข้าพเจ้าได้พบกับอาจารย์ที่ปรึกษา ดร มณีเนตร เวชกามา ที่ปรึกษาของข้าพเจ้าที่มหาวิทยาลัยเกษตร์ ซึ่งอาจารย์จะมาศึกษาการทำงานของ Cherenkov Telescope Array ที่ DESY เป็นเวลา 1 เดือนต่อจากนี้ จึงได้มีโอกาสได้พูดคุยถึงแผนงานและสถานการณ์ของกลุ่มวิจัย Astroparticle Physics ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตลอดระหว่างทางที่เดินทางไปเยี่ยมชมกล้องโทรทัศน์ CTA ต้นแบบด้วยกัน

วันอังคารที่ 4 กันยายน

วันนี้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสได้เข้าพบท่านกงสุลกิตติมศักดิ์ Mr. Stefan Krohn และยังได้รับประทานอาหารร่วมกันพร้อมกับนักศึกษาผู้แทนประเทศไทยอีก 3 คน Mr. Stefan นั้นมีความเป็นกันเองอย่างมาก อีกทั้งยังช่วยแนะนำแนวทางในการเรียนต่อในประเทศเยอรมนี ถือเป็นประสบการณ์อันดียิ่งที่ได้เข้าพบท่านกงสุลกิตติมศักดิ์ Mr. Stefan Kronh

วันพุธที่ 5 กันยายน

วันนี้เป็นวันแรกของการรายงานผลงานวิจัย นักศึกษาหลายคนได้ปลดแอกแห่งความยากลำบากในการทำรูปเล่มรายงานและการนำเสนอผลงาน วันนี้ข้าพเจ้าได้เตรียมตัวเพื่อที่จะนำเสนอผลงานวิจัยในวันพรุ่งนี้ ทุกอย่างก็ดูเหมือนจะเป็นไปได้ด้วยดี

วันพฤหัสบดีที่ 6 กันยายน

การนำเสนอผลงานเป็นไปด้วยดี แต่ไม่ค่อยราบรื่นเท่าไรนักเนื่องจากเมื่อคืนตื่นเต้นจนเกินไป ทำให้นอนไม่หลับ ตอนนำเสนอจึงมีพูดติดขัดไปบ้างแต่ข้าพเจ้าก็รู้สึกพอใจในผลงานของตนเองแล้ว หลังจากเสร็จสิ้นการนำเสนอ ข้าพเจ้าก็ได้ไปกล่าวอำลาและขอบคุณ Dr. Gernot Maier และ Raul P Rado ที่คอยดูแลข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่อยู่ที่ DESY

คืนนี้เป็นคืนสุดท้ายที่ได้อยู่ที่นี่ เพื่อนๆ เกือบทุกคนก็ได้ทำอาหารมาทานร่วมกัน ก่อนที่พรุ่งนี้ต่างคนจะแยกย้ายกันกลับไปยังบ้านเกิดของตนเองเพื่อศึกษาเล่าเรียนและทำตามความฝันกันต่อไป

ภาคผนวก

Leptonic Emission from HESS J0632+057

DESY Summer Student Programme, 2018

Brandon Khan Cantlay
Kasetsart University, Thailand

Supervisor
Dr Gernot Maier

November 22, 2018

Contents

1 Introduction **1**
1.1 HESS J0632+057 1

2 Methods **2**
2.1 Charged Model 2
2.1.1 Particle distribution function 2
2.1.2 Synchrotron radiation 2
2.1.3 Inverse Compton radiation 3
2.2 Model Fitting 3

3 Results **4**

1 Introduction

1.1 HESS J0632+057

HESS J0632+057 is a very-high-energy (VHE) gamma-ray source that has been detected at TeV energies. The object was discovered by the High Energy Stereoscopic System (HESS) survey of the Galactic plane in 2007[1], located close to the rim of Monoceros Supernova Remnant (SNR) at the distance of 1.5 kpc from Earth. It was proposed to be the fourth gamma-ray binary in 2009[7] after PSR B1259–63, LS 5039 and LS I +61 303. The follow up observations revealed the binary nature of this object that has periodic time variations of emission in X-ray and TeV with the period of 315 days.

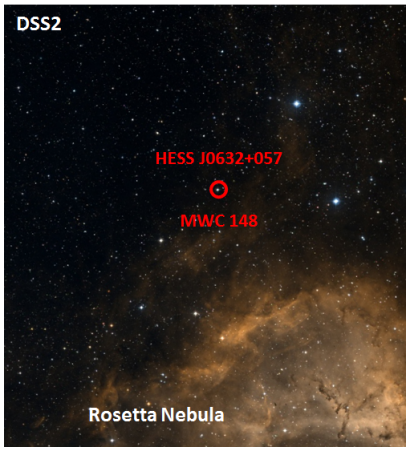


Figure 1: The location of HESS J0632+057 in Monoceros loop near Rosetta nebula, coincidence with MWC148. The image captured from Digitized Sky Survey 2 map on Aladin Lite.

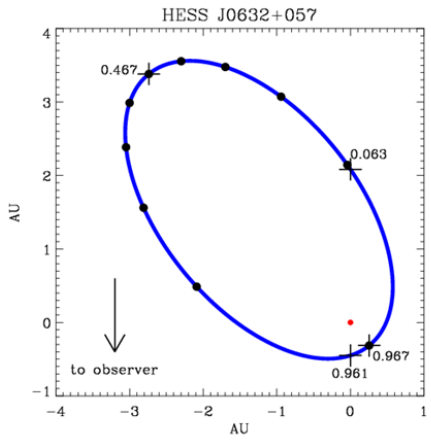


Figure 2: [6] Orbit of HESS J0632+057. The star size is to scale. Periastron/apastron phase at 0.967/0.467. Dots mark intervals of 0.1 in orbital phase, starting from periastron.

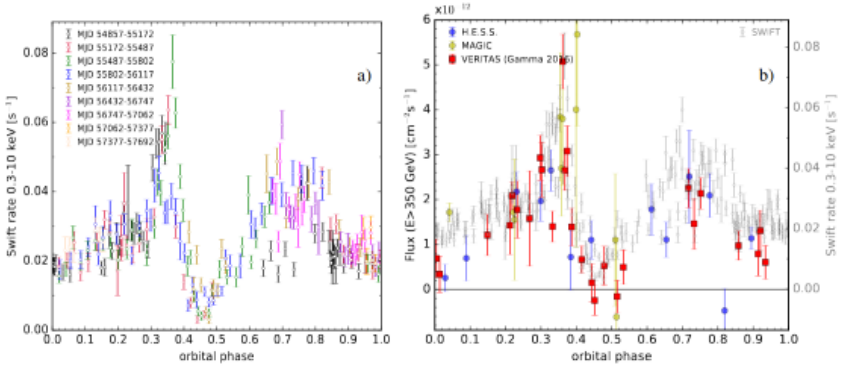


Figure 3: [8] Observation of HESS J0632+057. Phase-folded X-ray and TeV lightcurve of an orbital period of 315 days. a) *Swift*-XRT X-ray light curvein different orbital periods. b) Gamma-ray light curve for energies $>$ 350 GeV overlaid with *Swift* data

The orbit of HESS J0632+057 is eccentric with the B0Vpe type massive star MWC148. The star has the radius of $6.6R_{\odot}$, the mass of $16M_{\odot}$ and the effective temperature of 30,000 K. The nature of the compact object in this system is not known, but it has been proposed to be a young pulsar as in PSR B1259–63/LS2883

P_{orb} (days)	315($\pm$5)
e	0.83
ω ($^{\circ}$)	129
i ($^{\circ}$)	47-80
d (kpc)	1.5
Spectral Type	B0Vpe
$M_{\star}$ ($M_{\odot}$)	16
$R_{\star}$ ($R_{\odot}$)	6.6
$T_{\star}$ (K)	30,000
$d_{periastron}$ (AU)	0.40
$d_{apastron}$ (AU)	4.35
$\phi_{periastron}$	0.967
$\phi_{sub.conj.}$	0.063
$\phi_{inf.conj.}$	0.961

Table 1: [2, 4, 5, 6] System parameters of HESS J0632+057.

2 Methods

This work used a python package Naima for computation of non-thermal radiation from relativistic particle populations and Markov Chain Monte Carlo (MCMC) fitting to observed spectra.

2.1 Charged Model

2.1.1 Particle distribution function

All the charged models take a particle distribution function as a first argument. The one dimension power law with an exponential cutoff model function has used as the particle distribution function,

$$f(E) = A(E/E_0)^{-\alpha} \exp(-(E/E_{cutoff})^{\beta}) \quad (1)$$

where A is the spectrum amplitude, E_0 is the reference energy, α is the power law index, E_{cutoff} is the energy cutoff point, and β is the cutoff exponent.

2.1.2 Synchrotron radiation

Synchrotron radiation is produced when relativistic charged particles are accelerated radially in the presence of magnetic fields. Synchrotron radiation is the emitted spectrum of leptonic sources. The parameters of synchrotron radiation computation are provided with minimum electron energy for the electron distribution at 1 GeV, and maximum electron

energy for the electron distribution at 50 PeV. For the value of isotropic magnetic field strength (B) will be discussed in chapter 3.

2.1.3 Inverse Compton radiation

Inverse Compton (IC) scattering involves the scattering of low energy photons to high energy by relativistic electrons, the gamma-rays from IC process are the main channel for electron populations[3]. Naima implements the analytical approximations to IC upscattering of blackbody radiation developed by Khangulyan et al. (2014). In non-thermal seed photon fields computation, Naima uses the differential cross-section presented in Aharonian & Atoyan (1981).

The computation of inverse Compton radiation is compute on four seed photon fields that consider as black body sources. There are MWC148 the companion star itself, cosmic microwave background, far-infrared dust emission, and near-infrared stellar emission. The radiation fields parameter are provided with temperatures of 30,000 K, 2.72 K, 30 K, and 3,000 K, and energy densities of 0.1 erg/cm^3, 0.261 eV/cm^3, 0.5 eV/cm^3, and 1 eV/cm^3, respectively. Where the energy density of the star (u_*) can be calculated by this equation

$$u_* = \frac{\sigma_{SB} T_*^4}{c} \left(\frac{R_*}{d}\right)^2 \approx \frac{\sigma_{SB} T_*^4}{c} \left(\frac{R_*}{3\mathrm{AU}}\right)^2 \approx 0.1 \mathrm{erg/cm}^3 \tag{2}$$

where d is the orbital separation, the data that used in this work have fluxes $\approx 10^{-13}$ by this value we could assumed that the object is in the phase ≈ 0.3. We could find the distance between MWC148 and compact object (D) ≈ 3 AU, and assume that $D \approx d$.

Synchrotron self Compton (SSC) is the non-black body seed photon field in the inverse Compton radiation computation. Synchrotron self Compton is the synchrotron emission from the same particles emitting inverse Compton. The computation of upscattering of the SSC is possible by computing the synchrotron spectrum from the particle population and proceed it as seed photon field for Inverse Compton. The calculation of synchrotron photon density in the source can be done by setting the source volume. In this work, assuming the source is MWC148 with radius of $6.6 R_\odot$ as a uniform emitter.

2.2 Model Fitting

Naima use Markov Chain Monte Carlo (MCMC) to acquire the best-fit and uncertainty distributions of spectral model parameters by sampling the likelihood distributions.

Assume that the measurements and uncertainties in the provided spectrum are correct, Gaussian, and independent. The likelihood of observed data given the spectral model $S(\vec{p}\,;E)$, for a parameter vector $\vec{p}$, is

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^{N} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \exp\left(-\frac{(S(\vec{p};E_i) - F_i)^2}{2\sigma_i^2}\right), \tag{3}$$

where (F_i,σ_i) are the flux measurement and uncertainty at an energy E_i over N spectral measurements. Taking the logarithm,

$$\ln \mathcal{L} = K - \sum_{i=1}^{N} \frac{(S(\vec{p}; E_i) - F_i)^2}{2\sigma_i^2}. \tag{4}$$

Given that the MCMC procedure will sample the areas of the distribution with maximum value of the objective function, it is useful to define the objective function as the log-likelihood disregarding constant factors:

$$\ln \mathcal{L} \propto \sum_{i=1}^{N} \frac{(S(\vec{p}; E_i) - F_i)^2}{\sigma_i^2}. \tag{5}$$

In this work, we are fitting the parameters of the particle distribution function spectrum amplitude (A), cutoff energy (E_0), power law index (α), and isotropic magnetic flied strength (B) by fixed the parameters as the cutoff exponent (β) at 1, and reference energy at 1 TeV.

3 Results

In figure 4 shows the spectral energy distribution of HESS J0632+057 which using the parameter for particle distribution function from the model fitting. The result shows that the data compatible with the model emission of HESS J0632+057. The NuSTAR data are dominated with seed photons originating from the star.

The results of model fitting on synchrotron and inverse Compton emission from an electron distribution shows in figure 5.

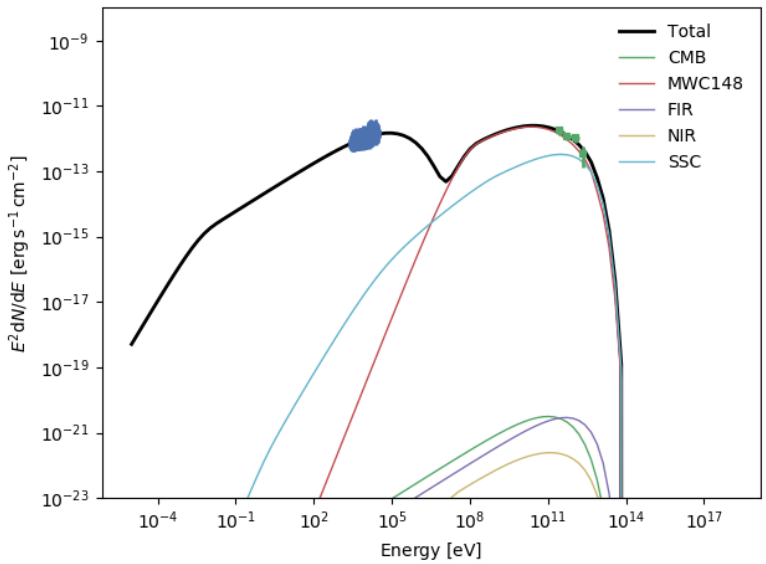


Figure 4: Spectral Energy Distribution of HESS J0632+057, where the spre

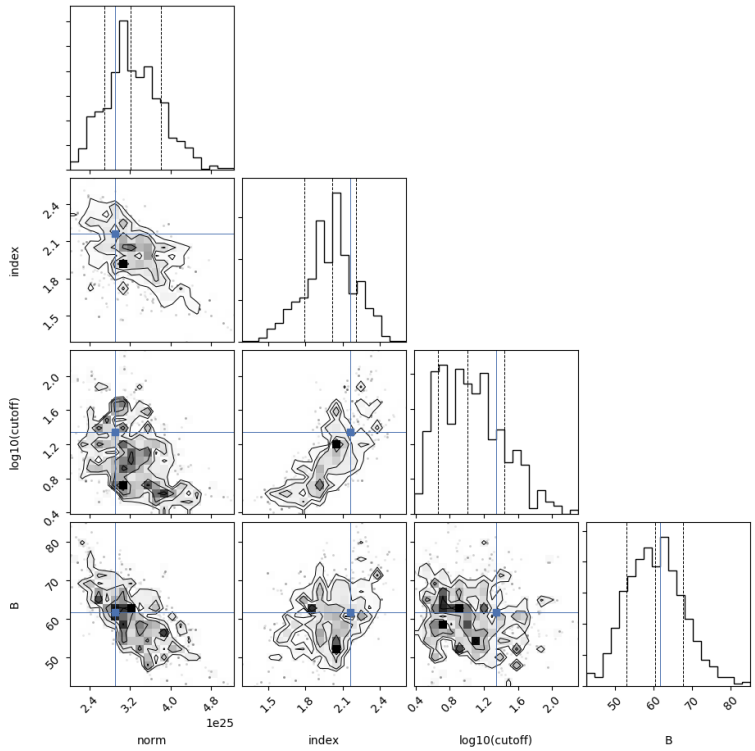


Figure 5: The relationship between the samples of the different parameters. The maximum likelihood parameter vector can be indicated with cross.

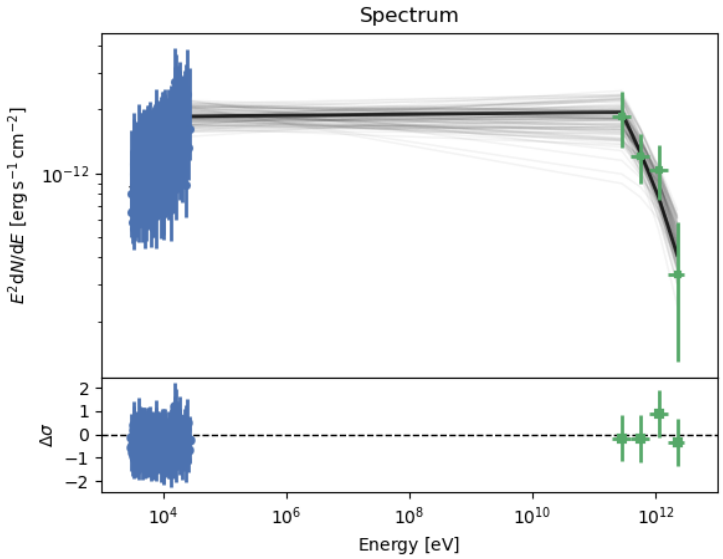


Figure 6: Result of MCMC fitting. The plot shows the Maximum Likelihood model with a black line, and 100 samples from the posterior distribution in gray.

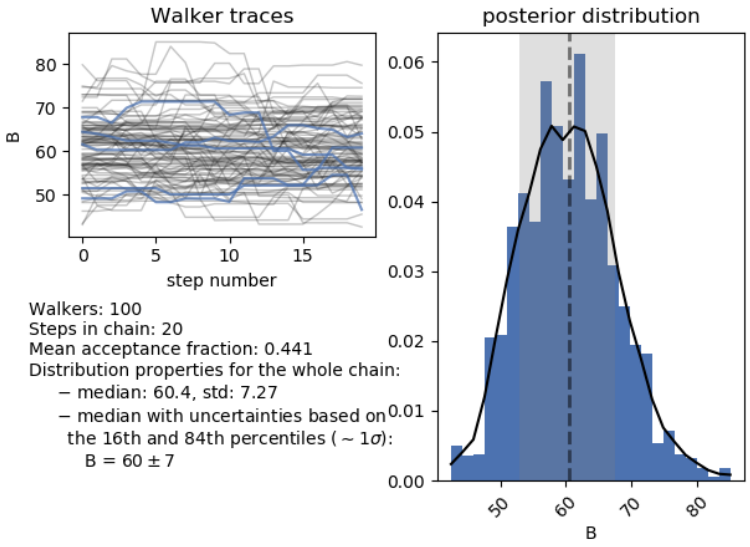


Figure 7: Model fitting result of isotropic magnetic field strength B of 60±7 mG.

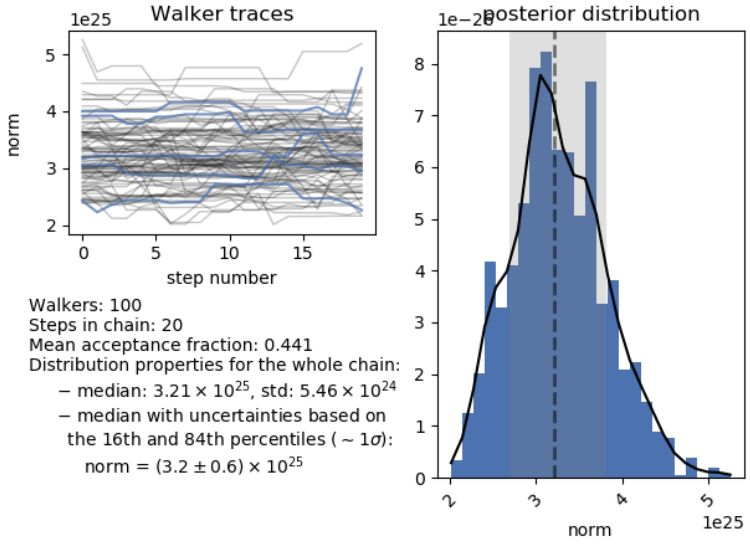


Figure 8: Model fitting result of amplitude of (3.2±0.8)×10^{25} eV^{-1}.

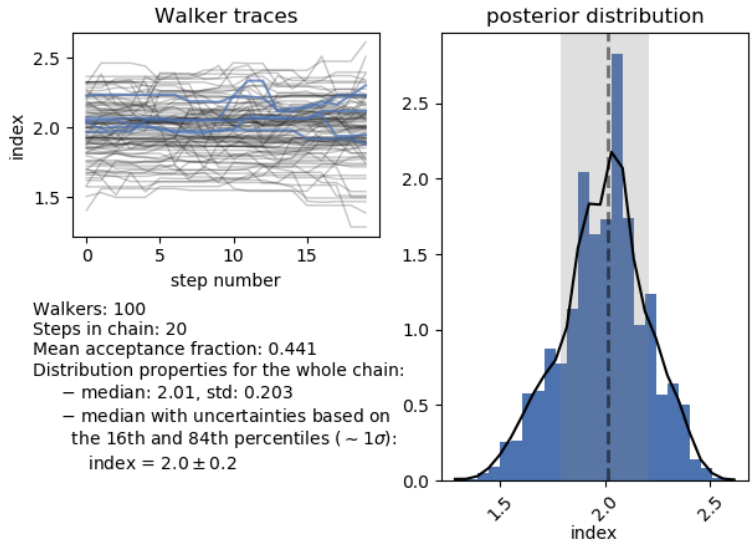


Figure 9: Model fitting result of power law index of 2.0 ± 0.2.

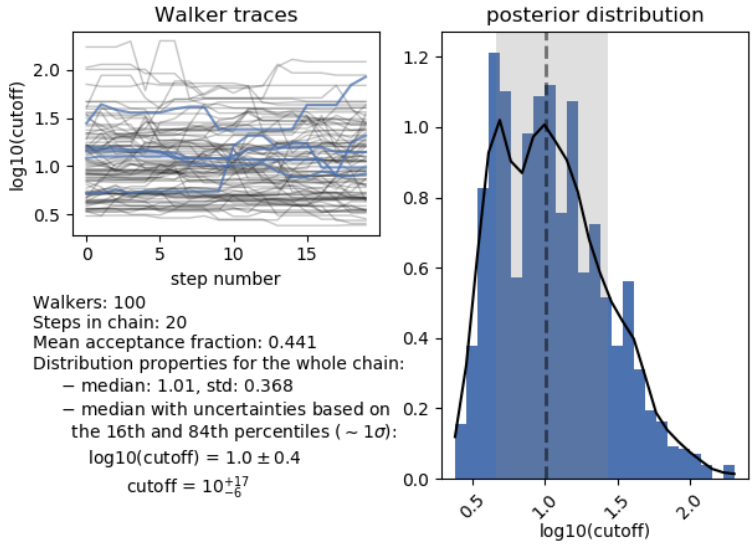


Figure 10: Model fitting result of cutoff energy of 10^{+17}_{-6} TeV.

References

[1] Aharonian, F.A., et al, (2007) Astronomy & Astrophysics **469**, L1-L4.

[2] Aragona C., McSwain, M.V., De Becker, M., (2010) Astrophys J **724**, 306.

[3] Blumenthal, G.R., & Gould, R.J., (1970) Rev. Mod. Phys. **42**, 237-270.

[4] Bordas, P., & Maier, G., (2012) AIP Conference Proceedings **1505**, 366.

[5] Casares J., Ribó M., Ribas I., et al (2012) Mon. Not. R. Astron. Soc., **421**, 1103.

[6] Dubus, G., (2013) Astron. Astrophys. Rev..

[7] Hinton, J.A., et al, (2009) Astrophys J **690**, L101-L104.

[8] Schlenstedt, S., and VERITAS collaboration, (2017) arXiv:1610.03751 [astro-ph.HE]

[9] Zalbaza, V., (2015) arXiv:1509.03319 [astro-ph.HE].